

**BASISKENNIS
BETON ALGEMEEN**
[bba]

De Betonvereniging en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het verwerken van de in deze publicatie vervatte gegevens. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat zich toch onjuistheden in deze publicatie kunnen bevinden. Degene die van de publicatie gebruik maakt, aanvaardt daarvoor het risico. De Betonvereniging sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.

VOORWOORD

De cursus Basiskennis Beton Algemeen [BBA] heeft een tweeledig doel:

1. Veel mensen zijn dagelijks bij de productie of verwerking van betonspecie en beton betrokken, maar hebben in hun vooropleiding daarover geen informatie gekregen. De cursus is bedoeld hen de basisbegrippen bij te brengen over het materiaal beton en zijn toepassingen. Dit geldt bijvoorbeeld voor truckmixerchauffeurs en mengmeesters, die dagelijks met het materiaal omgaan en waarvoor de basiskennis van het materiaal onontbeerlijk is. Maar ook voor de werkvoorbereider of uitvoerder in de (civiele) betonbouw.
Als zij meer willen weten van dat bijzondere bouw materiaal beton, dan is de cursus Basiskennis Beton Algemeen precies wat ze nodig hebben.
De cursus is ook geschikt werknemers in de betonsector die een niet-technisch beroep uitoefenen, zoals verkopers en administratief personeel.
2. Als werknemers bij een betoncentrale of een betonfabriek willen doorgroeien naar een laborantenfunctie of wellicht naar de functie van betontechnoloog is deze cursus een verplichte eerste stap in de richting van de opleiding Betonlaborant BV. En, afhankelijk van de vooropleiding, mogelijk ook voor Betontechnoloog BV.

De plaats van de cursus in deze loopbaanlijn is in het schema op de volgende pagina aangegeven.

De basiskennis valt in twee delen uiteen:

- Basiskennis van de materialen, ook wel aangeduid met 'betontechnologie'.
De samenstellende delen en de betonspecie krijgen daarbij speciale aandacht.
- Basiskennis over het product beton in al zijn verschijningsvormen en toepassingen. In het dictaat is uitgegaan van de Europese norm over Betontechnologie (NEN-EN 206) en de Nederlandse aanvulling daarop (NEN 8005).

De cursus wordt afgesloten met een examen. Daarom zijn sommige tekstgedeelten alleen ter informatie toegevoegd onder het motto: "Interessant maar geen examenstof". Het betreft ook de stukken tekst tegen deze grijze achtergrond en alle tabellen.

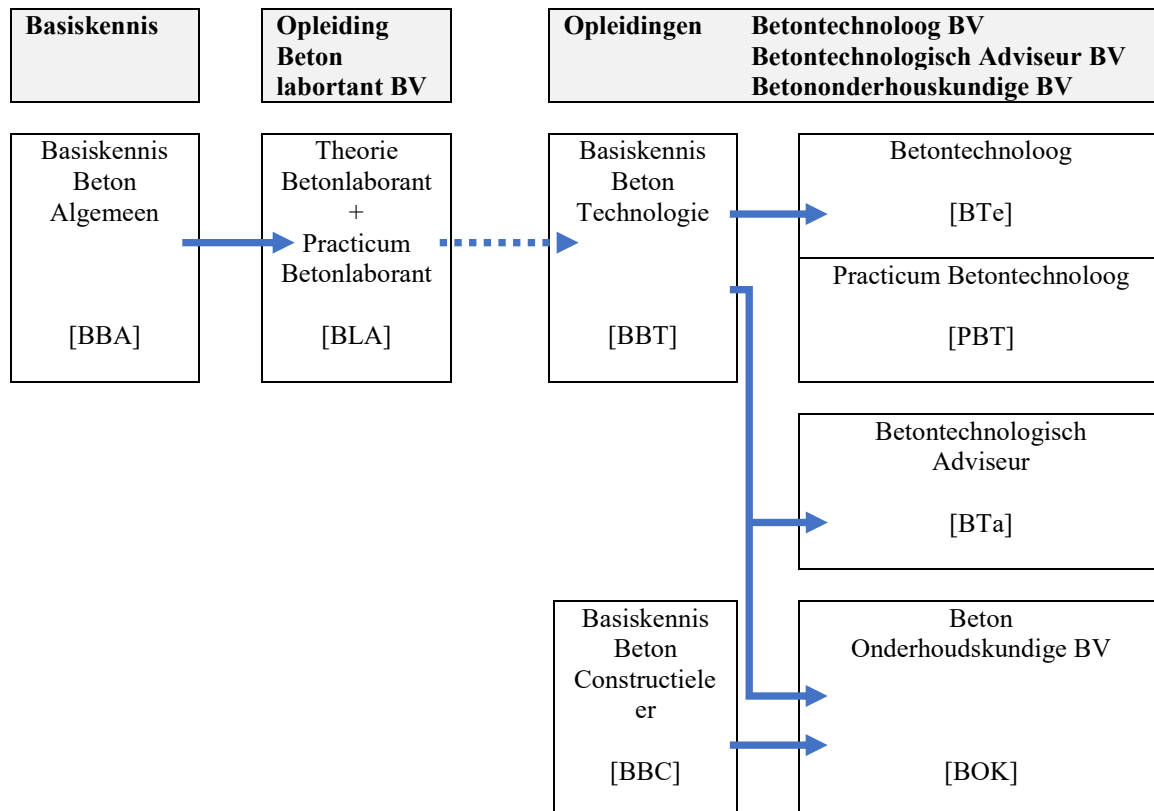
Voor definities van allerlei begrippen op het gebied van beton wordt in dit dictaat verwezen naar www.betonlexicon.nl.

Dit dictaat is in 2019 volledig herzien door R.T. de Vree

Veel succes met het bestuderen van dit dictaat.

Betonvereniging, januari 2020

De plaats van de opleiding Basiskennis Beton Algemeen (BBA) in relatie met de overige opleidingen van de Betonvereniging waarin betontechnologie een (hoofd)rol speelt, staat in onderstaand schema aangegeven.



INHOUD

H1 Beton in het algemeen

- 1.1 Inleiding
- 1.2 Begrippen en benamingen
- 1.3 Eigenschappen van betonspecie en beton

H2 Grondstoffen

- 2.1 Inleiding
- 2.2 Cement
- 2.3 Veel in Nederland gebruikte cementen
- 2.4 Toeslagmaterialen
- 2.5 Water
- 2.6 Hulpstoffen
- 2.7 Vulstoffen
- 2.8 Schuimmiddelen
- 2.9 Kleurstoffen

H3 Eigenschappen van betonspecie en beton

- 3.1 Inleiding
- 3.2 Eigenschappen van betonspecie
- 3.3 Eigenschappen van beton
- 3.4 Bijzondere betonsoorten

H4 Samenstellen van beton

- 4.1 Grondslagen
- 4.2 Gereedschappen
- 4.3 De mengselberekening

H5 Het maken van betonspecie

- 5.1 Inleiding
- 5.2 Aanvoer en opslag van grondstoffen
- 5.3 Het doseren van grondstoffen
- 5.4 De menginstallaties en het mengen
- 5.5 De betonproductenindustrie
- 5.6 De betonmortelindustrie

H6 Bekisting en wapening

- 6.1 Bekisting
- 6.2 Wapening
- 6.3 Voorspanstaal
- 6.4 Voorspanmethoden
- 6.5 Voorspansystemen

H7 Verwerking en nabehandeling

- 7.1 Betonwerk algemeen
- 7.2 Voorbereiding voor het storten
- 7.3 Transport op het werk of in de fabriek
- 7.4 Storten
- 7.5 Verdichten
- 7.6 Ontkisten
- 7.7 Nabehandelen

H8 Kwaliteit en veiligheid

- 8.1 Kwaliteit
- 8.2 Voorschriften
- 8.3 Kwaliteitscontrole
- 8.4 CE-markering en prestatieverklaring
- 8.5 Interessant maar geen examenstof

1 BETON IN HET ALGEMEEN

INHOUDSOPGAVE

Pag.

1.1	Inleiding.....	1-3
1.2	Begrippen en benamingen	1-4
1.3	Eigenschappen van betonspecie en beton.....	1-4
1.3.1	Betonspecie is vervormbaar.....	1-5
1.3.2	Betonspecie heeft tijd nodig om te verharden	1-5
1.3.3	Betonspecie hecht aan verhard beton	1-6
1.3.4	Betonspecie hecht aan staal	1-6
1.3.5	Beton is een stevig materiaal	1-6
1.3.5.1	Ongewapend beton.....	1-8
1.3.5.2	Gewapend beton.....	1-9
1.3.5.3	Voorgespannen beton.....	1-10
1.3.6	Beton heeft een lange levensduur	1-11
1.3.7	Duurzaamheid van beton	1-12
	Verklarende woordenlijst.....	1-15

1.1

Inleiding

Beton is een bouw materiaal. Het wordt heel veel toegepast. Voor de bouw van huizen, kantoren, bruggen, viaducten, wegen, kades, sluizen en nog veel meer. In zijn uiteindelijke vorm lijkt beton op steen. Het bestaat ook voor een groot gedeelte uit natuurlijk gesteente dat met behulp van een bindmiddel samengevoegd is tot één geheel.

In Nederland is het gesteente dat wordt gebruikt om beton mee te maken meestal grind en zand. De zandkorrels vullen de ruimte tussen de grindkorrels op en beide worden met behulp van een lijm aan elkaar geplakt. Die lijm bestaat uit een mengsel van cement en water (dat ook daadwerkelijk cementlijm wordt genoemd).

In deze cursus wordt onder meer uitgelegd wat cement is en hoe dat samen met water, zand en grind tot beton wordt.

In de oudheid maakten mensen al constructies met stenen. Andere bouwsels gemaakt van hout en riet waren minder stevig en gingen ook niet zo lang mee. Vaak werden primitieve bindmiddelen gebruikt zoals klei en leem om de gebruikte materialen met elkaar te verbinden. Klei en leem zijn echter niet erg duurzaam. Bij een flinke regenbui spoelt een deel van de klei of leem weg. Regelmatig repareren of aansmeren is nodig.

Een beter bindmiddel is gebrande kalk. Dat werd en wordt (nog steeds) gemaakt door kalksteen (of schelpen) te verhitten ("branden") en vervolgens met water te mengen. Dat wordt "blussen" van de gebrande kalk genoemd. Deze gebluste kalk wordt langzaam hard doordat het met koolzuurgas uit de lucht reageert. De Grieken en Romeinen pasten dit al toe.

In landen waar vulkanisch gesteente voorkomt, gebruikte men dat om er een bindmiddel mee te maken. De Romeinen hadden ontdekt dat een mengsel van gebrande kalk met fijne vulkaanas (bekend onder de naam "tras" of "puzzolaanaarde") heel bruikbaar was. Dit mengsel werd hard en was niet gevoelig voor weer en wind.

Met dit bindmiddel werd op dezelfde wijze beton gemaakt zoals dat ook nu plaatsvindt. Nu nog zijn er gebouwen uit de Romeinse tijd te bezichtigen waarin dit beton is toegepast. Het bekendste voorbeeld daarvan is het Pantheon in Rome. De bouw van de enorme stenen koepel met een diameter van ruim 40 meter kon alleen maar gerealiseerd worden door slim gebruik van beton.



Figuur 1.1 - Het Pantheon te Rome, gebouwd in de jaren 113 - 125 van onze jaartelling

In Nederland brandde men kalk afkomstig uit kalksteen en schelpen. Met de hiermee maakte gebluste kalk werden vooral metselspecies gemaakt. Deze zogenoemde kalkspecies verhardten vrij langzaam.

In de tweede helft van de 18e eeuw ontdekte men in Engeland dat je met kalksteen een sterker bindmiddel kon maken. Hiervoor moest je kalksteen vóór het branden verontreinigen met kleine hoeveelheden klei. Met dit bindmiddel kon een sterke mortel worden gemaakt. Deze mortel was ook goed bestand tegen de invloeden van weer en wind. Het duurde tot 1850 voordat men echt wist wat klei deed in het brand- en verhardingsproces van kalk. Hiermee werd de basis gelegd voor de fabricage van portlandcement. In 1824 werd het octrooi voor portlandcement verleend.

De naam is afgeleid van het bouw materiaal portlandsteen dat werd gewonnen uit de Portlandformatie op het eiland Portland in Dorset, Engeland. Portlandcement lijkt op dit materiaal.

Met portlandcement maakte men vanaf die tijd steeds meer gemetselde en betonnen constructies. Toen voldoende hoeveelheden betrouwbaar cement met constante eigenschappen beschikbaar kwamen, konden daarmee duurzame betonconstructies worden gemaakt.

1.2 Begrippen en benamingen

Deze cursus behandelt het maken van beton. Het wordt gemaakt door de benodigde grondstoffen te mengen. Direct na het mengen van alle grondstoffen wordt een materiaal verkregen dat "specie" wordt genoemd. Afhankelijk van de gebruikte hoeveelheid water is een specie meer of minder plastisch of vloeibaar. Daarna verhardt de cementlijm in de specie en wordt langzamerhand een steviger materiaal verkregen. Afhankelijk van de gebruikte grondstoffen en het al dan niet verhard zijn, heeft het mengsel een afgesproken naam. Voorbeeld: een mengsel van cement en water. In onverharde toestand wordt dit cementlijm of ook wel cementpasta genoemd en in verharde toestand is het cementsteen.

Om misverstanden te voorkomen zijn de mengsels goed gedefinieerd (zie tabel 1.1).

Tabel 1.1 Mengsels van grondstoffen.

mengsel van	niet-verharde toestand	verharde toestand
C + W	cementlijm of cementpasta	cementsteen
C + W + F	mortelspecie	mortel
C + W + F + G	betonspecie	beton

C = cement
W = water
F = zand (kleine korrels)
G = grind (grote korrels)

Het zand en grind dat in beton wordt gebruikt, wordt "toeslagmateriaal" genoemd. Zand is dan een fijn toeslagmateriaal en grind een grof toeslagmateriaal. De afmeting van de verschillende korrels bepaalt of een toeslagmateriaal fijn of grof wordt genoemd.

1.3 Eigenschappen van betonspecie en beton

Afhankelijk van de samenstelling van de betonspecie en het beton hebben zowel de betonspecie als het beton verschillende eigenschappen. Om beton op een zinvolle manier te kunnen toepassen, moeten deze eigenschappen bekend zijn.

De belangrijkste eigenschappen zijn:

- betonspecie is een vervormbaar materiaal;
- betonspecie heeft tijd nodig om te verharden;

- betonspecie hecht bij het verharden aan eerder gestort beton;
- betonspecie hecht bij het verharden aan staal;
- beton is een stevig steenachtig materiaal;
- beton heeft een relatief lange levensduur.

In de volgende paragrafen wordt verder op deze eigenschappen ingegaan.

1.3.1

Betonspecie is vervormbaar

Betonspecie is vaak een plastisch materiaal. Soms gedraagt het zich zelfs als een vloeistof. Het kan daardoor in elke gewenste vorm (zie figuur 1.2 en 1.3) worden gebracht door gebruik van geschikte mallen. Na het vullen van een mal verhardt de betonspecie.



Figuur 1.2 Muziektent in Veldhoven (Fotografie Frank Beek)



Figuur 1.3 Betonnen brug in Nijmegen (Fotografie Spanbeton)

1.3.2

Betonspecie heeft tijd nodig om te verharden

Het duurt soms enkele uren voordat een betonspecie merkbaar verhardt. Dat heeft voordelen en nadelen. Voordeel: bij een redelijk werktempo kan een volgende laag betonspecie op een eerder aangebrachte maar nog niet merkbaar verharde laag worden aangebracht. De

betonspecie verhardt naadloos tot één geheel. Hierbij ontstaan geen verzwakkingen in de constructie. Overigens, het aanbrengen van betonspecie wordt "storten" genoemd. Nadeel: Het duurt vaak lang voordat de specie zo veel verhard is, dat het uit de mal waarin het is gestort kan worden gehaald.

1.3.3 Betonspecie hecht aan verhard beton

Doordat de betonspecie aan verhard beton hecht, kan een betonconstructie in een aantal stappen worden gemaakt. De hechting is echter niet zo goed als in het geval van een tweede laag specie op een vlak daarvoor gestorte laag betonspecie. Er blijft altijd sprake van een zogenoemde stortnaad.

1.3.4 Betonspecie hecht aan staal

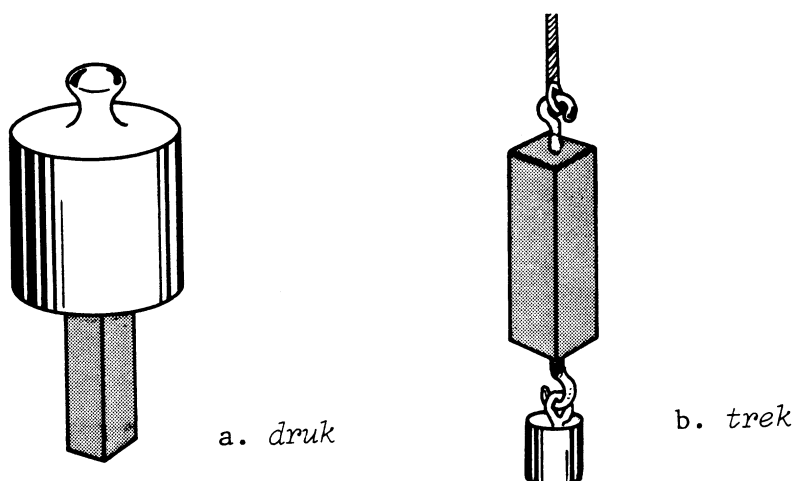
In een betonconstructie wordt vaak staal gebruikt om optredende trekkrachten op te vangen. Daarover later meer. Die trekkrachten moeten via het verharde beton op het staal worden overgebracht. Dat kan alleen als er sprake is van hechting van het staal aan het beton. En die hechting is er.

1.3.5 Beton is een stevig materiaal

Beton kan heel sterk zijn. Als drukkracht wordt uitgeoefend op beton, dan blijkt dat het pas bezwijkt bij hoge belastingen.

Echter, ... als trekkracht op het beton wordt uitgeoefend, dan bezwijkt het bij veel lagere belastingen. De trekkracht die beton kan opnemen is ongeveer één-tiende van de opneembare drukkracht (zie figuur 1.1).

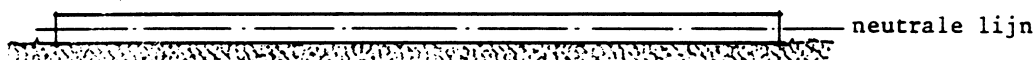
Beton kan dus goed drukkracht opnemen, maar niet zo goed trekkracht. Tenzij daarvoor speciale maatregelen worden getroffen.



Figuur 1.1 De begrippen druk en trek.

Dat trek- en drukkrachten in figuur 1.4 optreden is duidelijk. In de praktijk komen situaties voor waarbij tegelijk druk- en trekkrachten optreden in één constructiedeel. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij doorbuiging van een constructie, bijvoorbeeld een balk of een vloer.

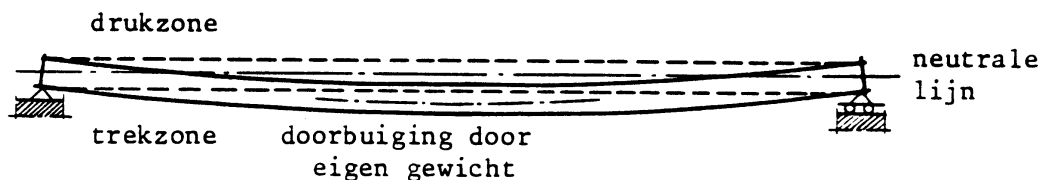
Om dit duidelijk te maken, nemen we een lange houten balk. We leggen deze balk op een vlakke vloer en meten de lengte van de balk (zie figuur 1.2).



Figuur 1.2 Balk op vlakke ondergrond.

De balk is haaks afgezaagd, daarom zie je dat de onderkant en de bovenkant van de balk even lang zijn.

Leg je de balk met de uiteinden op twee ondersteuning, dan buigt de balk door zijn eigen gewicht een beetje door (zie figuur 1.3).



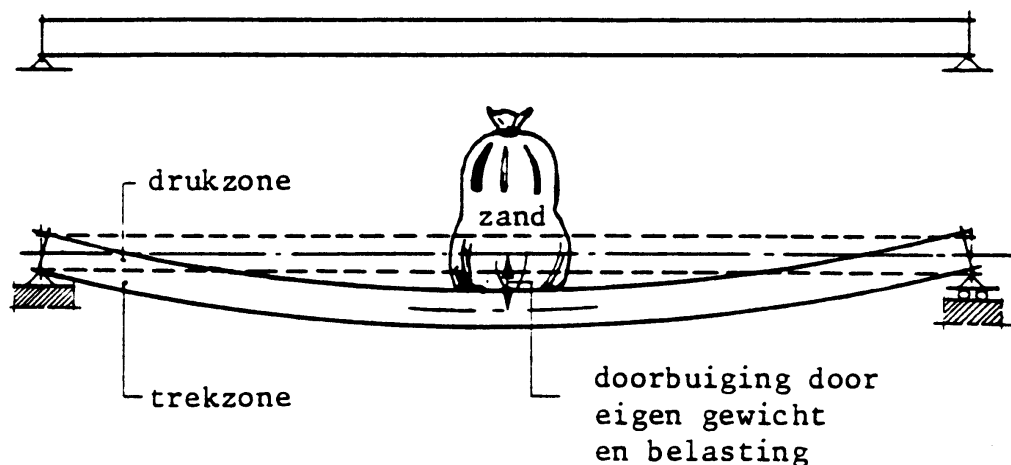
Figuur 1.3 Onbelaste balk, aan de einden vrij opgelegd.

Als je met een meetlint meet, zie je dat de bovenkant van de balk nu korter is en de onderkant langer. Als je in het midden van de hoogte van de balk meet, zie je daar dezelfde lengte als in ongebogen toestand.

De lijn die bij buiging niet van lengte verandert, wordt de neutrale lijn genoemd.

De bovenkant is korter geworden, dus samengedrukt. Het hout staat daar dus onder drukspanning. De onderkant is langer geworden, dus uitgerekt. Het hout staat daar dus onder trekspanning.

Als je deze opgelegde balk belast met zakken zand, zal de balk verder doorbuigen (zie figuur 1.4). Dit betekent dat de drukspanningen in de bovenste helft en de trekspanningen in de onderste helft groter zijn geworden.



Figuur 1.4 Belaste balk, aan de einden vrij opgelegd.

In plaats van een houten balk nemen we een balk van beton. Het lijkt misschien onvoorstelbaar, maar ook die balk buigt door als die aan de uiteinden vrij wordt opgelegd. Natuurlijk niet zo ver als de houten balk. Dat komt doordat beton minder elastisch is dan hout.

Bij een bepaalde belasting scheurt de balk aan de onderkant (daar waar de trekkracht optreedt en ook het grootst is). Zodra de scheur ontstaat, zal dat ertoe leiden dat de betonnen balk breekt.

Wat kan daartegen worden gedaan? Eenvoudig: door op de plaats in het beton waar trekspanningen optreden een materiaal aan te brengen dat het beton helpt deze trekspanning op te nemen zonder dat het beton breekt. En daarvoor wordt staal gebruikt.

Door onderin de eerdergenoemde balk een stalen staaf aan te brengen, zal dat staal het beton helpen de trekkracht op te nemen. Staal is daar uitstekend toe in staat. Het moet natuurlijk wel goed aan het beton hechten om de krachten van het beton op het staal over te brengen. In § 1.3.4 is al opgemerkt dat beton goed hecht aan staal.

Het aanbrengen van stalen staven in beton wordt het "wapenen" van beton genoemd en de stalen staven heten "de wapening". Beton met daarin wapening wordt "gewapend beton" genoemd. Zonder wapening is het dus "ongewapend beton".

1.3.5.1

Ongewapend beton

Ongewapend beton wordt toegepast in constructies waarin alleen trekspanningen kunnen optreden die lager zijn dan wat het beton kan verdragen. Denk bijvoorbeeld aan:

- vloeren in kruipruimten van woningen;
- werkvloeren onder betonconstructies;
- betontegels, trottoirbanden en straatstenen.

1.3.5.2

Gewapend beton

Gewapend beton wordt gebruikt in constructies waarin drukspanningen én trekspanningen optreden. Zonder maatregelen bezwijkt het beton door trekspanningen. Daarom wordt het beton gewapend met staal.

Als wapeningsstaal wordt aangebracht in de constructie op plaatsen waar trekspanningen optreden, ontstaat een sterke constructie. Het beton neemt de drukspanningen op en het wapeningsstaal neemt de trekspanningen op. Een prima samenwerking dus.

Het gebruik van wapeningsstaal in beton kan echter ook tot problemen leiden. Staal kan roesten als het in aanraking komt met zuurstof en water. Dat kan ook gebeuren met het wapeningsstaal in het beton.

Roestend staal neemt meer ruimte in. Dit veroorzaakt trekspanningen in het beton rond het staal. Deze spanningen kunnen zo groot worden, dat het beton scheurt. Zelfs stukken van het beton worden weggedrukt. Het staal is daardoor nog beter toegankelijk en roest nog meer. En verroeste wapening kan op den duur niet meer in voldoende mate de trekspanning opvangen waardoor het desbetreffende constructiedeel kan bezwijken.



Maar hoe komen zuurstof en water bij het in het beton opgesloten wapeningsstaal? Dat kan op twee manieren:

1. door scheurtjes in het beton;
2. door poriën in het beton.

Eerst even over de scheurtjes: In gewapend beton zijn trekkrachten in de trekzone van de constructie aanwezig. Hierdoor ontstaan in deze trekzone scheurtjes in het beton, ondanks de aanwezigheid van wapening. Deze scheurtjes lopen door tot aan het wapeningsstaal. Eigenlijk zijn deze scheurtjes niet gevaarlijk voor de constructie. Als ze maar klein genoeg zijn! Niet groter dan 0,1 tot 0,3 mm. Dit wordt de toegestane scheurwijdte genoemd.

Door grotere scheurtjes kunnen zuurstof (uit de lucht) en water bij het staal komen en het laten roesten.

De tweede mogelijkheid dat het wapeningsstaal met zuurstof en water in aanraking komt zijn poriën. Beton is namelijk een min of meer poreus materiaal. Zo op het eerste gezicht zou je dat niet zeggen, maar als je het onder een microscoop legt, zie je openingetjes in het beton. Poriën noemen we die. En als je droog beton in aanraking brengt met water, zie je dat het water in het beton trekt. Er zijn dus poriën aanwezig in dat oppervlak. Maar niet alleen daar, ook in de rest van het beton. Waar die poriën door ontstaan, wordt in hoofdstuk 2 uitgelegd.



Samenvattend:

De combinatie van wapeningsstaal en beton is mogelijk omdat:

1. staal niet roest in goed beton;
Dat wil zeggen: goed beton zorgt ervoor dat stoffen die het staal doen roesten, het staal niet bereiken of aantasten.
2. beton goed hecht aan staal;
Voor een goede hechting van de betonspecie aan het wapeningsstaal moet dit staal goed schoon zijn. Dit betekent dat er geen roestbladders, olie, ijs, modder, enz. op het wapeningsstaal mogen zitten.

En bovendien: Staal en beton hebben dezelfde uitzettingscoëfficiënt.

Alle materialen zetten uit bij verwarming en krimpen bij afkoeling. Hoe groot die uitzetting of krimp is, wordt uitgedrukt in een getal. Dat getal is de uitzettingscoëfficiënt. Dat is niet voor alle materialen gelijk. Beton en wapeningsstaal hebben ongeveer dezelfde uitzettingscoëfficiënt.

Beide materialen zullen evenveel uitzetten of krimpen bij temperatuursveranderingen. Hierdoor blijft de hechting tussen staal en beton bestaan.

Ook de zogenoemde "dekking" van het beton op het wapeningsstaal is belangrijk. De dekking is de dikte van de laag beton tussen de buitenlucht en het wapeningsstaal. Het is dus de afstand van het betonoppervlak tot aan het wapeningsstaal. Hoe dikker deze laag, hoe kleiner de kans dat water en zuurstof kunnen binnendringen en het wapeningsstaal laten roesten.

Afhankelijk van de omgeving waarin de betonconstructie staat (ook wel "het milieu" genoemd) moet in gewapend beton:

- het staal voldoende dekking hebben;
- het beton dat de dekking vormt, voldoende dicht zijn. Dat wil zeggen een lage porositeit en kleine scheurwijdte hebben;

1.3.5.3

Voorgespannen beton

Soms moeten dunne constructies en/of constructies met een laag gewicht worden gemaakt. Het gewapend beton kan de aanwezige belasting niet opnemen zonder dat de scheurwijdte te groot wordt. Het kan niet voldoen aan de eisen van maximale scheurwijdte. Soms is het milieu zo agressief dat de wapening aangetast kan worden door zelfs het kleinste scheurtje in het beton. In deze gevallen is voorgespannen beton een oplossing.

Wat is voorgespannen beton? Onderstaand voorbeeld maakt het begrip voorspannen duidelijk.

Als we een rij boeken van een plank halen, doen we dat meestal niet één voor één. We plaatsen de ene hand aan het begin van de rij en de andere hand aan het eind. We drukken de boeken tegen elkaar. Dan tillen we de boeken op en kunnen ze verplaatsen zonder dat ze vallen. De hele rij boeken kunnen we nu in één keer van de plank nemen. We moeten natuurlijk wel de nodige kracht blijven uitoefenen om de boeken bij elkaar te houden. We brengen dus van tevoren een drukkracht (dus spanning) aan voordat de boeken worden opgetild. Er is dus "voorspanning" aanwezig in de rij boeken. (zie figuur 1.5)



Figuur 1.5 Aanbrengen van voorspanning op een stapel boeken.

Terug naar beton. Bij voorgespannen beton brengen we beton zo onder druk dat bij gebruiksbelasting geen trekspanningen meer ontstaan. De aangebrachte drukspanning is groter dan de optredende trekspanning. Als gevolg daarvan zullen zich ook geen scheurtjes in het beton vormen.

De voorspanning wordt aangebracht door de wapening bijvoorbeeld voorafgaande aan het storten van het beton een stukje uit te rekken. Daarna wordt het beton gestort en laat men het verhard. Het verharde beton hecht zich aan de wapening. Als het beton voldoende is uitgehard, laat men de uitgerekte wapening los. De wapening wil dan weer krimpen, maar het verharde beton voorkomt dat. Het houdt de wapening tegen. Daardoor ontstaat een grote drukspanning in het beton.

Hetzelfde effect zou je krijgen als je de eerdergenoemde rij boeken met een flink uitgerekt elastiek zou hebben omwonden. Het elastiek zorgt dan voor de nodige drukkracht in de rij boeken.

De krachten die bij voorspanning op het beton worden overgebracht zijn groot. Op het moment van voorspannen moet het beton daarom sterk zijn. Het beton moet de drukkrachten weerstaan. Door te vroeg voorspannen, bezwijkt het beton en kan de constructie vervormen of breken!

1.3.6

Beton heeft een lange levensduur

Onder een lange levensduur van beton verstaan we dat beton zijn functie lang kan vervullen in een constructie. Anders gezegd: het vervult zijn functie gedurende de levensduur die men wenst. Vaak wordt in dit verband gesproken over de "duurzaamheid" van beton. Onder duurzaamheid wordt echter ook iets anders verstaan. Daarover meer in § 1.3.7.

De levensduur van beton hangt af van de samenstelling van beton. De levensduur wordt beïnvloed door:

- het milieu waarin het beton zich bevindt;
- het gebruik van de constructie;

- de belastingen op de constructie;
- de dichtheid van het beton.

Milieu

In het milieu komen stoffen voor waar beton niet goed tegen kan. Dit zijn bijvoorbeeld zuren. Zuren komen voor in de lucht, het grondwater en mest. Door die zuren kan het beton langzaam oplossen. Het kunnen ook stoffen zijn die uitzetting veroorzaken in het beton. Die uitzetting wordt ook wel expansie genoemd. Door die expansie ontstaan grote trekspanningen. Hierdoor wordt het beton van binnenuit kapot gedrukt. Een voorbeeld hiervan is de aantasting van beton in zeewater.

Het is ook mogelijk dat stoffen het beton binnendringen en de wapening aantasten.

Bij de samenstelling en verwerking van betonspecie wordt rekening gehouden met het milieu. Daardoor krijgt het beton de gevraagde levensduur.

Meestal zijn er niet veel schadelijke stoffen in het milieu. Normaal beton volstaat in dat milieu. Als die schadelijke stoffen wel aanwezig zijn of als we denken dat ze later aanwezig kunnen zijn, dan moet de samenstelling van beton worden aangepast om de gevraagde levensduur te verkrijgen. Richtlijnen hiervoor staan in de Voorschriften Betontechnologie (NEN-EN 206/NEN 8005). Soms moet ook een beschermende laag op het beton worden aangebracht.

Gebruik en belasting

Vermindering van levensduur treedt ook op bij verkeerd gebruik of het aanbrengen van hogere belasting dan waarvan bij het ontwerp van de constructie was uitgegaan. Aantastingen en scheurvorming kunnen hiervan het gevolg zijn.

Dichtheid

Al eerder is aangegeven dat beton poreus is. Door deze poriën kunnen schadelijke stoffen in het beton binnendringen. Hoe dichter het beton, des te beter het bestand is tegen beschadigen door agressieve stoffen. In hoofdstuk 2 wordt uitgelegd hoe de dichtheid van beton kan worden beïnvloed.

1.3.7

Duurzaamheid van beton

Duurzaamheid van beton heeft lang gestaan voor de degelijkheid en levensduur van beton. Tegenwoordig verwijst duurzaamheid veel meer naar "duurzame ontwikkelingen en het milieueffect van beton".

Duurzaamheid van producten en processen staat hoog op de maatschappelijke agenda. Denk hierbij aan de ontwikkeling van elektrische apparaten met een goed energielabel zoals A+++ of auto's met een lage CO₂ uitstoot.

Ook in de bouw staat duurzaamheid hoog op de agenda. Daarbij wordt ook gekeken naar de duurzaamheid van het bouw materiaal beton. Hoe goed of hoe slecht is het voor het milieu?

Effectcategorieën

Voor de beoordeling van de duurzaamheid van beton wordt gekeken naar diverse zogenoemde milieueffectcategorieën zoals de invloed op klimaatverandering, verzuring, vermist en aantasting van de ozonlaag. Een milieueffect wordt uitgedrukt in een equivalente eenheid. Het milieueffect "klimaatverandering" wordt bijvoorbeeld uitgedrukt in kg CO₂.

CO₂

Een belangrijke milieuparameter voor beton is de CO₂-uitstoot of de CO₂-footprint(voetafdruk) van bijvoorbeeld 1 m³ beton.

Beton is een mengsel van zand, grind en cement. En natuurlijk water. Van deze drie grondstoffen heeft in de regel het cement de grootste invloed op de CO₂-voetafdruk van een betonsamenstelling. En dan vooral cement met een hoog aandeel van de grondstof "portlandcementklinker". Wat dat is, wordt in hoofdstuk 2 behandeld.



Maatregelen die genomen kunnen worden om de CO₂-voetafdruk van beton te verlagen zijn:

- toepassen van een cement met een laag portlandcementklinkergehalte;
- verlagen van het totaal cementgehalte.

Een tweede belangrijke parameter om het milieueffect van beton te beperken, is het gebruiken van gerecycleerd toeslagmateriaal zoals betongranulaat. Dat is oud beton dat wordt gebroken tot brokjes, die in plaats van grind in beton kunnen worden gebruikt. Hierdoor hoeft er minder nieuw zand en grind te worden gewonnen.

Beton wordt ontworpen voor een lange levensduur. Ook dit kan gunstig zijn voor het milieueffect en de duurzaamheid van beton. Het milieueffect van beton kan dan over de volledige levensduur van het beton worden uitgesmeerd.

Normen

De toekomstige gebruiker van een bouwwerk bouwt dit meestal niet zelf. Hij laat dat aan anderen over. Er moeten dus goede afspraken gemaakt worden. Tussen de gebruiker/eigenaar en de aannemer, maar ook tussen de aannemer en alle andere betrokkenen in het bouwproces. Ook de aannemer laat gespecialiseerd werk aan anderen over. Denk bijvoorbeeld aan het maken van betonspecie. Dat gebeurt vrijwel alleen nog door een betoncentrale en alleen in uitzonderingsgevallen op het bouwwerk zelf.

Bouwen is dus vooral: samenwerken. Om deze samenwerking goed te laten verlopen, hebben we afspraken gemaakt. Deze afspraken geven bijvoorbeeld aan hoe sterk een bouwdeel moet zijn en hoe je dat moet meten. Ook speelt veiligheid een rol. Alle afspraken zijn vastgelegd in documenten zoals normen maar ook wetten. Soms door de overheid als het om wetten gaat en soms door het bedrijfsleven als het om de normen gaat. Normen worden gepubliceerd door het Nederlands Normalisatie Instituut te Delft.

Belangrijke wetgeving zijn het Bouwbesluit en het Besluit Bodemkwaliteit.

De belangrijkste normen op het gebied van beton zijn:

- voor de grondstoffen: de desbetreffende productnormen;
- voor het ontwerp van een betonconstructie: NEN-EN 1992 Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies en NEN-EN 13670 Het vervaardigen van betonconstructies;
- voor het maken van betonspecie: de Europese norm NEN-EN 206 (Beton Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit), samen met de Nederlandse aanvulling NEN 8005 (Nederlandse aanvulling van NEN-EN 206);
- voor het toepassen van betonstaal: NEN 6008.

Vraagstukken

1. Wat is beton?
2. Wat is het verschil tussen betonspecie en mortelspecie?
3. Noem een aantal eigenschappen van betonspecie en van beton, waardoor het bijzonder geschikt is om toe te passen als bouw materiaal.
4. Wat verstaat men onder duurzaamheid?
5. Geef voorbeelden van stoffen die een schadelijke invloed op beton kunnen uitoefenen. Hierdoor kan het beton op drie manieren worden aangetast. Noem deze.
6. Van welke drie factoren is de levensduur van een betonconstructie afhankelijk?
7. Welke maatregelen moeten we nemen om een beton met een lange levensduur te produceren?
8. Op welke wijze kunnen schadelijke stoffen het beton binnendringen?
9. Op welke wijze kan men een betonconstructie ook trekkrachten laten opnemen?
10. Als men een balk aan zijn twee uiteinden ondersteunt en in het midden belast, waar treedt dan trekspanning in de balk op?
11. Noem drie factoren waardoor beton en staal een goede combinatie vormen.
12. Wat verstaat men onder de uitzettingscoëfficiënt?
13. Wat wordt verstaan onder de dichtheid van beton?
14. Wat verstaat men onder de dekking van de wapening? En waaraan moet deze voldoen?
15. Wat verstaat men onder voorgespannen beton? En wat is het voordeel hiervan?
16. Welke maatregelen kunnen we nemen om de milieu impact van beton te verlagen?
17. Welk nadeel heeft het toepassen van staal in beton?

VERKLARENDE WOORDENLIJST

beton

verhard mengsel van cement, water, toeslagmaterialen en eventueel hulp- en vulstoffen.

(beton)dekking

minimale afstand tussen de wapening en het buitenoppervlak van het beton.

duurzaamheid

duurzame ontwikkelingen en het milieueffect van beton.

neutrale lijn

het gedeelte van een constructie dat bij belasting spanningsloos is.

uitzettingscoëfficiënt

getal dat de lengteverandering aangeeft, waarmee één meter van een materiaal bij één graad temperatuursverandering vervormt.

voorspannen

het vooraf onder druk zetten van een (beton)constructie.

INHOUDSOPGAVE

Pag.

2.1	Inleiding.....	2-4
2.2	Cement.....	2-5
2.2.1	Waarom wordt een mengsel van cement en water hard?	2-5
2.2.2	Cementsoorten	2-7
2.2.3	Sterkteklassen	2-8
2.2.4	Overige eigenschappen	2-10
2.2.4.1	Hydratatiewarmte	2-10
2.2.4.2	Sulfaatbestandheid.....	2-10
2.2.5	Voorbeelden van cementnamen	2-11
2.3	Veel in Nederland gebruikte cementen	2-11
2.3.1	Portlandcement (CEM I).....	2-11
2.3.2	Hoogovencement (CEM III)	2-13
2.3.3	Portlandvliegascement (CEM II/B-V)	2-13
2.3.4	Verschillen tussen portlandcement en hoogovencement	2-14
2.3.5	Cement met speciale eigenschappen.....	2-14
2.3.6	Andere bijzondere cementsoorten:.....	2-15
2.3.7	Maalfijnheid van het cement.....	2-15
2.3.8	Mengen van cementen	2-16
2.4	Toeslagmaterialen	2-17
2.4.1	Zwaar toeslagmateriaal	2-17
2.4.2	Normaal toeslagmateriaal	2-17
2.4.2.1	Zand en grind.....	2-17
2.4.2.2	Alternatieve toeslagmaterialen voor zand en grind	2-18
2.4.2.3	Natuurlijke toeslagmaterialen.....	2-18
2.4.2.4	Materialen afkomstig van sloopafval.....	2-18
2.4.3	Lichte toeslagmaterialen	2-19
2.4.4	Verontreiniging	2-19
2.4.4.1	Slib.....	2-19
2.4.4.2	Organische materialen	2-19
2.4.4.3	Sulfaten en chloriden	2-20
2.4.4.4	ASR gevoelig materiaal.....	2-20
2.4.4.5	Overige verontreinigingen	2-20
2.4.5	Eigenschappen van toeslagmaterialen	2-20
2.4.5.1	Hardheid, sterkte en bestendigheid.....	2-20
2.4.5.2	Korrelgrootteverdeling	2-20
2.4.5.3	Korrelgroepen.....	2-22
2.4.5.4	Zeven	2-22
2.5	Water	2-22
2.6	Hulpstoffen.....	2-23
2.6.1	Plastificeerder en superplastificeerders.....	2-23
2.6.2	Luchtbelvormer.....	2-24
2.6.3	Vertrager	2-24
2.6.4	Versneller.....	2-24
2.6.5	Algemene opmerkingen bij de toepassing van hulpstoffen	2-24
2.7	Vulstoffen.....	2-25
2.8	Schuimmiddelen.....	2-25
2.9	Kleurstoffen.....	2-26

Vraagstukken	2-27
Verklarende woordenlijst.....	2-30

2.1 Inleiding

Beton is een mengsel van zand, grind, cement, water en eventueel hulp- en/of vulstoffen (zie figuur 2.1). In dit mengsel zijn alle korrels aan elkaar gekit door cementsteen. Cementsteen is een verhard mengsel van cement en water. Grind en zand noemen we toeslagmaterialen. Het cement is een bindmiddel en lijmt in aanwezigheid van water de toeslagmaterialen aan elkaar. Andere bindmiddelen zijn bijvoorbeeld bitumen en kunstharsen (zie tabel 2.1).

Tabel 2.1 Voorbeelden van betonsoorten en bijbehorende bindmiddelen.

betonsoort	bindmiddel	toepassing	eigenschappen
asfaltbeton	bitumen	wegenbouw	sterk, taai, waterbestendig, niet bestand tegen hoge temperaturen
kunstharsbeton	kunstharsen, epoxy, acrylaat	reparatiematerialen, kleine betonproducten met hoge chemische bestandheid	waterbestendig, hoge chemische bestandheid, niet altijd bestand tegen hoge temperaturen en/of zonlicht, duur
cementbeton	cement	brede toepassing in de bouw, van woningbouw tot weg- en waterbouw	sterk, lange levensduur, waterbestendig, bestand tegen hoge temperaturen

Deze cursus gaat over cementbeton. Daarom wordt met "beton" steeds cementbeton bedoeld.

Afhankelijk van de toepassing en eisen wordt met de bovengenoemde bestanddelen in diverse variaties het beton samengesteld. Dit hoofdstuk behandelt deze grondstoffen voor beton.



Figuur 2.1 Grondstoffen voor beton

2.2 Cement

Het woord cement betekent letterlijk bindmiddel. Cement kan steenachtige materialen aan elkaar lijmen. Deze steenachtige materialen worden toeslagmaterialen genoemd.

De ontwikkeling van de moderne cementen begon in het midden van de 19e eeuw. Men kon toen op industriële wijze portlandcement fabriceren. Het belangrijkste bestanddeel van portlandcement is portlandcementklinker. Daarover later meer.

In de loop van de tijd werden ook andere grondstoffen samen met portlandcementklinker verwerkt. In Nederland is dat sinds ongeveer 1930 hoogovenslak, voor het maken van hoogovenscement. Puzzolanen zijn een ander voorbeeld van grondstoffen voor cement. Deze kunnen van natuurlijke oorsprong zijn, bijvoorbeeld tras (vulkanisch). Het kan ook een industrieel product zijn zoals poederkoolvliegias. Ook gebrande leisteen, kalksteen en mengsels van bovenvermelde materialen kunnen als grondstof voor cement worden gebruikt.

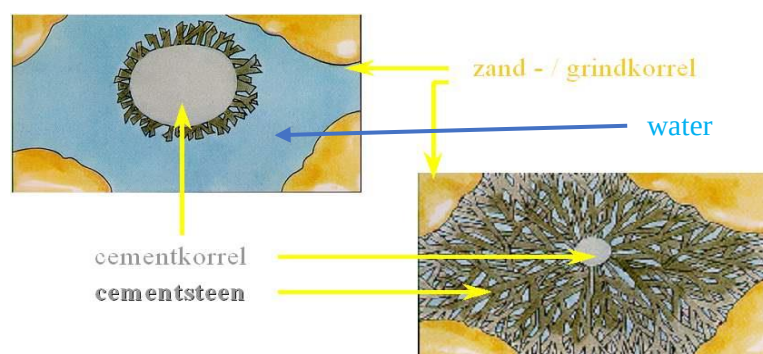
2.2.1 Waarom wordt een mengsel van cement en water hard?

Als cement met een bepaalde hoeveelheid water wordt gemengd, ontstaat een papje dat op pasta lijkt. Dit papje (de cementlijm) wordt daarom ook cementpasta genoemd. Behalve cement en water zit er ook een beetje lucht in deze pasta. De pasta is goed gietbaar. Na enige tijd - meestal binnen een (paar) uur - wordt deze pasta dikker en stijver. Uiteindelijk is het heel hard en voelt het aan als steen. Het verharde product wordt daarom cementsteen genoemd.

Deze cementsteen is sterk, heeft een lange levensduur en is onoplosbaar in water. Bovendien hecht cementsteen uitstekend aan andere steenachtige materialen. Cementsteen kan deze dus goed aan elkaar lijmen. Het is de lijm in beton en mortel.

Cementsteen ontstaat in een ingewikkeld chemisch proces. In dit proces reageren cement en water met elkaar. Dit proces heet "hydratatie" (zie figuur 2.2). Als een cementkorrel met water in aanraking komt, vormen zich aan het oppervlak van die korrel reactieproducten van cement en water. Deze reactieproducten groeien in elkaar. Er ontstaat een hard eindproduct. Het is daarom onjuist om te spreken van het 'drogen' van cement of beton, als het om deze reactie van cement en water gaat. Als het beton echt zou uitdrogen, stopt de chemische reactie en wordt de cementsteen niet sterker dan wat het op dat moment heeft bereikt.

Bij de reactie van cement en water komt ook warmte vrij.



Figuur 2.2 Reactie cement met water (hydratatie).

Het proces van hydratatie heeft tijd nodig. Afhankelijk van cementsoort en sterkteklasse en de temperatuur verloopt de reactie snel of langzaam. In het algemeen is bij kamertemperatuur na 28 dagen 60-80% van de sterkte bereikt. (Zie ook figuur 2.4)

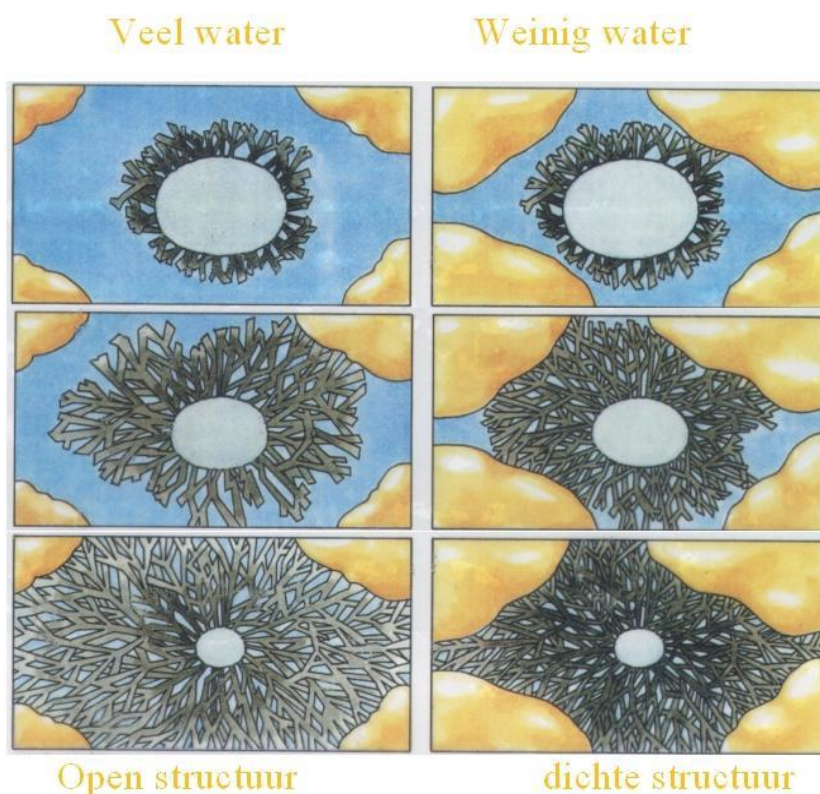
Zoals eerder opgemerkt kan cement alleen reageren als er water aanwezig blijft. Als water te snel verdampt, stopt de reactie. In het begin heeft de gevormde cementsteen nog weinig sterkte of is er zelfs geen samenhang tussen de cementdeeltjes. Als een betonvloer niet goed wordt afgedekt, kan het water te snel - vooral uit de toplaag - verdampen. Het gevolg is een zacht en stuivend oppervlak.

Een kilo cement kan ongeveer 0,4 kg water binden. Met deze hoeveelheid water wordt over het algemeen een slecht verwerkbaar betonspecie verkregen. De specie is dan te stug om bijvoorbeeld alle hoekjes en gaatjes van een bekisting te kunnen vullen. Daarom wordt meer water toegevoegd. Dus meer water dan met het cement kan reageren.

Water dat niet reageert, blijft achter in kleine poriën. Veel poriën veroorzaken een minder sterke cementsteen met een open structuur (zie figuur 2.3). Deze poreuze cementsteen kan een oorzaak zijn waardoor schade aan het beton kan ontstaan.

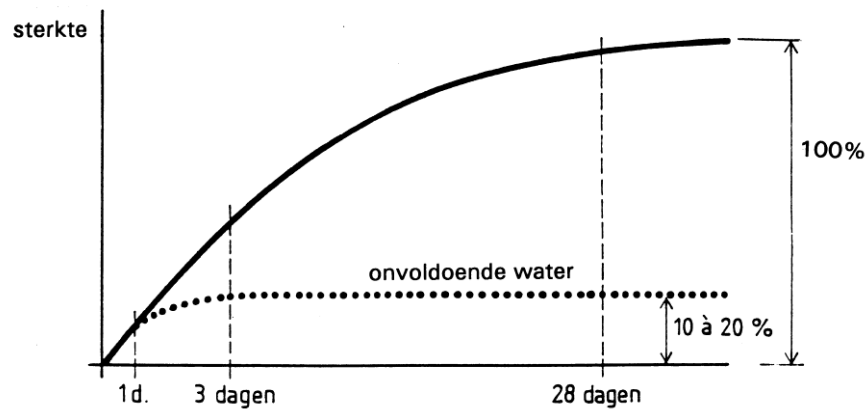
De verhouding van de massa's water en cement wordt de "water-cementfactor" genoemd.

Water-cementfactor



Figuur 2.3 Te veel water, de cementkorrels vormen poreuze, zwakke cementsteen.

Water in de betonspecie zorgt voor een verwerkbaar specie en voor de verhardingsreactie. Met water kan het cement verhard. Wanneer het water te snel uit het jonge beton verdampt, wordt de verharding afgeremd (zie figuur 2.4).



Figuur 2.4 Sterkteontwikkeling is onder meer afhankelijk van de tijd. Voor de cementreactie is water nodig.

Samengevat

Het cement is een hydraulisch bindmiddel, want:

- cement reageert met water;
- het reactieproduct (de cementsteen) is bestand tegen water;
- bij de reactie komt warmte vrij.

2.2.2

Cementsoorten

Cement dat op de Europese markt komt, moet voldoen aan de eisen in de Europese normen EN 197-1 of EN 14216. Alle landen van de Europese Unie gebruiken deze normen en hanteren daarom dezelfde namen en aanduidingen voor een bepaald cement. In Nederland worden deze normen door het Nederlands Normalisatie Instituut (NEN) op de markt gebracht onder de naam NEN-EN 197-1 en NEN-EN 14216. Als aanvulling op EN 197-1 geldt in Nederland bovendien de norm NEN 3550.

In de cementnorm NEN-EN 197-1 zijn de grondstoffen voor cement, cementsoorten en kwaliteiten vastgelegd. De grondstoffen voor cement die in deze norm worden genoemd, zijn weergegeven in tabel 2.3. Aan elke grondstof is een letter toegekend die in sommige gevallen in de naam van het desbetreffende cement wordt vermeld.

Tabel 2.2 Enkele hoofdbestanddelen van cement volgens NEN-EN 197-1.

hoofdbestanddeel	lettercode
portlandcementklinker	K
gegranuleerde hoogovenslak	S
microsilica	D
natuurlijke puzzolanen	P
poederkoolvliegias	V
gebrande leisteen	T
kalksteen	L
mengsel van meerdere hoofdbestanddelen	M

Op basis van hun samenstelling worden cementen in vijf hoofdsoorten verdeeld. Deze soorten worden aangegeven met Romeinse cijfers van I-V, voorafgegaan door de letters CEM (zie tabel 2.3).

Tabel 2.3 Cement; hoofdsoorten volgens NEN-EN 197-1.

hoofdsoort	benaming
CEM I	portlandcement
CEM II	samengesteld portlandcement
CEM III	hoogovencement
CEM IV	puzzolaancement
CEM V	composietcement

Afhankelijk van de toegepaste grondstoffen en/of de gewichtsverhoudingen daarvan, vindt nog een onderverdeling van de hoofdsoorten plaats. Hierbij geeft de lettercode uit tabel 2.2 aan welke grondstof is gebruikt. De letters A-B-C geven informatie over de hoeveelheid portlandcementklinker in het cement (zie tabel 2.4). A betekent relatief veel klinker, B minder en C het laagste aandeel binnen een type cement.

Tabel 2.4 geeft in totaal 27 cementsoorten weer. Van alle cementen die de cementnorm noemt, worden in Nederland vooral portlandcement (CEM I), hoogovencement (CEM III/A en CEM III/B en portlandvliegascement (CEM II/B-V) gebruikt (circa 90% van alle toepassingen).

2.2.3

Sterkteklassen

Een belangrijke eigenschap van cement is de sterkteontwikkeling na mengen met water. Niet elk cement heeft dezelfde sterkteontwikkeling. De cementnorm hanteert sterkteklassen om deze verschillen tussen cementen duidelijk te maken.

De sterkteontwikkeling wordt met behulp van proefstukken (bestaande uit cement, zand en water) gemeten als druksterkte. De methode van vervaardiging, bewaring en beproeving van de proefstukken is vastgelegd in een norm. De druksterkte die zo wordt gemeten, wordt daarom de normsterkte van het cement genoemd. De gemeten waarde wordt weergegeven in de eenheid N/mm² (spreek uit als Newton per vierkante millimeter). Op basis van de gemeten normsterkte valt een cement in een bepaalde sterkteklasse waarvan de cementnorm er drie kent.

De sterkteklassen worden weergegeven met een cijfer en een letter. Het cijfer geeft de normsterkte aan die het cement na 28 dagen ten minste moet hebben. Sommige cementen reageren in het begin sneller dan andere. Dat zorgt ervoor dat er niet alleen verschillen zijn in de normsterkte na 28 dagen verharden maar ook al na bijvoorbeeld 1 of 2 dagen. Dit verschil in "beginsterkte" wordt met behulp van een letter (L, N of R) in de sterkteklasse aangeduid.

De sterkteklasse is onderdeel van de cementnaam waarmee dat cement op de markt wordt gebracht.

Fout! Verwijzingsbron niet gevonden. geeft de eisen van de drie sterkteklassen aan en verduidelijkt bovenstaande uitleg.

Tabel 2.4 Cementsoorten en samenstelling volgens NEN-EN 197-1.(geen examenstof!)

Hoofdgroepen	Cementsoort	Cement aanduiding	Hoofd bestanddeel										Neven bestanddeel		
			hydraulisch	Latent Hydraulisch	Microsilica	Puzzolaan				Vliegask	Gebrande Leiesteen	Inert			
						Natuurlijke	Gebrande natuurlijke	Siilicium houdend	Calcium houdend			[L]	[LL]		
			[K]	[S]	[D]	[P]	[Q]	[V]	[W]		[T]				
CEM I	Portlandcement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM II	Portlandslakement	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portlandmicrosilicacement	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portlandpuzzolaacement	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portlandvliegascement	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
	Portlandleiestement	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5	
	Portlandkalksteement	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	21-35	6-20	-	0-5	
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	
	Portlandcomposietement	CEM II/A-M	80-94	↓	↓	↓	6-20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0-5	
		CEM II/B-M	65-79	↓	↓	↓	21-35	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0-5	
CEM III	Hoogovenement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	Puzzolaacement	CEM IV/A	65-89	-	↓	↓	11-35	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	↓	↓	36-55	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0-5	
CEM V	Composietement	CEM V/A	40-64	18-30	-	↓	18-30	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-50	-	↓	31-50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0-5	

Tabel 2.5 Grenswaarden voor de sterkteklassen. (geen examenstof)

sterkteklasse	normsterkte in N/mm ²			
	na 2 dagen	na 7 dagen	na 28 dagen	
	minimum	minimum	minimum	maximum
32,5 N	-	16	32,5	52,5
32,5 R	10	-	32,5	52,5
42,5 N	10	-	42,5	62,5
42,5 R	20	-	42,5	62,5
52,5 N	20	-	52,5	-
52,5 R	30	-	52,5	-

Om het verschil in sterkteontwikkeling van de verschillende cementen duidelijk te maken, is voor de normsterkte na 28 dagen verharden niet alleen een minimum waarde maar ook een maximum waarde in de norm opgenomen. Duidelijkheid dus voor de afnemer.

Het bereiken van een bepaalde beginsterkte van beton is daarom onder meer afhankelijk van de keuze van een sterkteklasse van het cement. Deze beginsterkte kan van belang zijn voor het tijdstip van ontkisten of voorspannen van beton.

2.2.4 Overige eigenschappen

In de benaming van een cement worden (indien van toepassing) nog twee andere eigenschappen opgenomen. Dat zijn:

1. de hydratatiewarmte;
2. de bestandheid tegen sulfaataantasting.

2.2.4.1 Hydratatiewarmte

Eerder werd al genoemd dat bij de reactie van cement en water warmte vrijkomt: de hydratatiewarmte. Ook die is niet hetzelfde voor de verschillende cementen.

Bij grote betonconstructies, zoals tunnelelementen en grote funderingen (ook wel "massabeton" genoemd), wordt geprobeerd de warmteontwikkeling zo laag mogelijk te houden. De vrijkomende hydratatiewarmte zorgt ervoor dat de temperatuur van het beton stijgt. In het midden van het beton kan de vrijkomende warmte eigenlijk niet zo snel worden afgevoerd. Daardoor kunnen grote temperatuurverschillen tussen de kern en de buitenkant van het beton ontstaan met als gevolg scheurvorming in het beton. Daarom wordt bij massabeton liever een cement met een lage hydratatiewarmte gebruikt.

Een cement dat weinig hydratatiewarmte ontwikkelt, wordt in de benaming met de letters LH aangeduid. (LH staat voor: Low Heat)

2.2.4.2 Sulfaatbestandheid

Beton kan worden aangetast door sulfaten afkomstig van de omgeving waarin de constructie staat. Sulfaten komen voor in zeewater, soms in grondwater en ook in mest. Als dat het geval is, moet een cement worden gebruikt dat niet gevoelig is voor sulfaten. Dat soort cementen is herkenbaar aan de toevoeging SR in de benaming van het cement. In de cementnorm is opgenomen aan welke eisen een cement moet voldoen om de letters SR in de naam te mogen voeren. (SR staat voor: Sulphate Resistant)

2.2.5 Voorbeelden van cementnamen

CEM III/B 42,5 N LH SR

Daarin komen veel van de besproken onderdelen van een cementnaam voor:

CEM III/B : Het is een hoogovencement met een klinkergehalte tussen 20 - 34% (letter B, weinig klinker).

42,5 N : Het cement voldoet aan de sterkteklasse 42,5. De beginsterkte is na 2 dagen ten minste 10 N/mm². De normsterkte zal na 28 dagen liggen tussen 42,5 en 62,5 N/mm².

LH : Het cement heeft een lage hydratatiewarmte

SR : Het cement is bestand tegen sulfaten.

CEM II/B - V 32,5 R

CEM II/B : Het is een poederkoolvliegascement met een klinkergehalte van 66 - 79%

V : Als tweede grondstof is een siliciumhoudende poederkoolvliegascement gebruikt

32,5 R: Het cement voldoet aan de sterkteklasse 32,5. De beginsterkte is na 2 dagen ten minste 10 N/mm². De normsterkte zal na 28 dagen liggen tussen 32,5 en 52,5 N/mm².

Deze benamingen van een cement geven veel informatie over samenstelling, sterkte en overige eigenschappen van het cement.

2.3 Veel in Nederland gebruikte cementen

Aan de orde komen portlandcement CEM I, hoogovencement CEM III en portlandvliegascement CEM II/B-V.

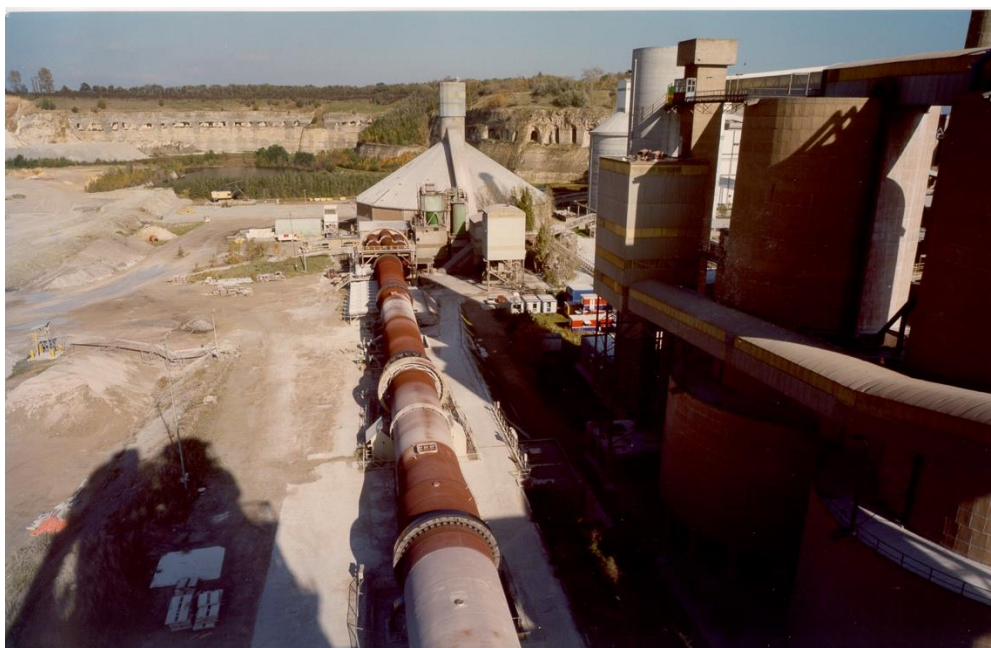
2.3.1 Portlandcement (CEM I)

Zoals eerder vermeld, is de belangrijkste grondstof voor de fabricage van portlandcement portlandcementklinker. De belangrijkste grondstof daarvoor is kalksteen. In Nederland wordt een kalksteen gebruikt die "mergel" wordt genoemd.

Aan deze kalksteen worden nog enkele andere grondstoffen toegevoegd. Deze bevatten silicium, aluminium en ijzer. Deze grondstoffen worden vermalen tot een poeder. Dit poeder (ook wel meel genoemd) wordt vervolgens in een oven gebracht. Zo'n oven is een lange langzaam draaiende buis met een diameter van wel 5,5 meter (zie figuur 2.5). De ovenbuis is licht hellend opgesteld, waardoor het materiaal in de oven door het draaien langzaam van het begin naar het einde van de buis wordt getransporteerd. In de oven wordt het meel geleidelijk verhit ("gebrand") tot circa 1400 °C

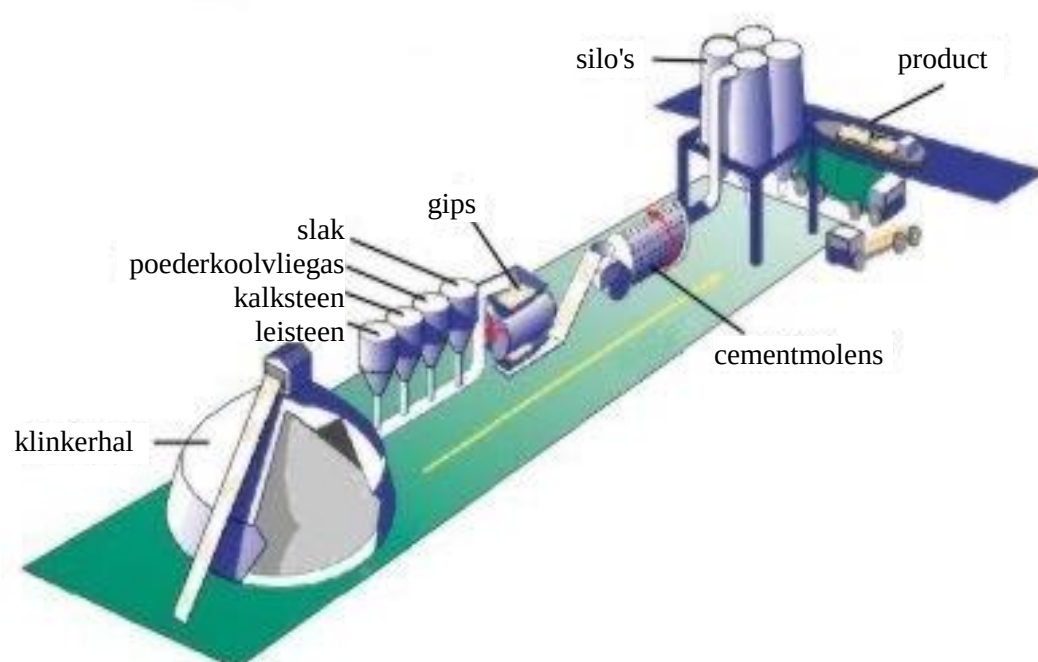
Bij deze hoge temperatuur in de oven treden scheikundige reacties op waarbij nieuwe verbindingen worden gevormd die tezamen portlandcementklinker worden genoemd. Door een snelle afkoeling en de draaiende beweging verlaat de klinker de oven als bolletjes met afmetingen tot enkele centimeters.

Bij het branden van het meel (dat dus voornamelijk uit kalksteen bestaat) komt veel koolzuurgas (CO₂) vrij. Dat heeft als gevolg dat de productie van portlandcementklinker gepaard gaat met een relatief hoge CO₂ uitstoot.



Figuur 2.5 klinkeroven.

Portlandcement (CEM I) wordt gemaakt door het malen van de portlandcementklinkerbolletjes. Daarbij worden enkele procenten gips meegemalen. Het gips regelt de bindtijd van het cement. De bindtijd is de tijd tussen het mengen van het cement met water en het opstijven van de cementpasta. Zonder gips stijft de cementlijm binnen enkele minuten op en daarmee kan geen betonspecie worden gemaakt die nog moet worden verwerkt.



Figuur 2.6 proces overzicht cementproductie

2.3.2 Hoogovencement (CEM III)

Bij de productie van ijzer in een hoogoven ontstaat het bijproduct: hoogovenslak. Deze hoogovenslak is geschikt als grondstof voor hoogovencement als de gloeiende slak zodra die uit de hoogoven komt snel wordt afgekoeld met veel water. Dat wordt "granuleren" genoemd. De hoogovenslak komt als een zandachtig materiaal beschikbaar (het slak-zand).

Gegranuleerde slak kan met water reageren tot een verhard product. Maar dat gaat heel erg langzaam. Deze eigenschap wordt daarom "latent-hydraulisch" genoemd. Deze reactie kan worden versneld met portlandcementklinker.

Hoogovencement (CEM III) is daarom een poeder van gemalen portlandcementklinker en gegranuleerde hoogovenslak. Het slakgehalte mag volgens de cementnorm variëren van 35% tot 95%. Voor een duurzamer cement zijn hoogovencementen meestal samengesteld met meer dan 65% slak. Ook in hoogovencement worden bij het malen enkele procenten gips toegevoegd om de bindtijd te regelen. Figuur 2.6 geeft een overzicht van een molenbedrijf.

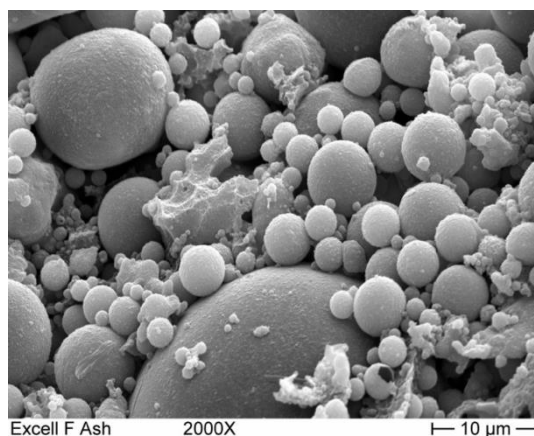


2.3.3 Portlandvliegascement (CEM II/B-V)

Portlandvliegascement bestaat uit portlandcementklinker, poederkoolvliegascement en een bindtijdsregelaar (meestal gips). De hoeveelheid poederkoolvliegascement in het cement wordt door NEN-EN 197-1 beperkt tot maximaal 35%.

Poederkoolvliegascement is een zeer fijn stof afkomstig uit de rookgasfilters van met poederkool gestookte elektriciteitscentrales. Afhankelijk van de chemische samenstelling is het geschikt als grondstof voor een cement en vulstof voor beton. Door selectie bij de met poederkool gestookte elektriciteitscentrales wordt poederkoolvliegascement verkregen dat geschikt is voor deze toepassing.

De geselecteerde vliegascement heeft puzzolane eigenschappen, vergelijkbaar met de vulkanische as die de Romeinen al gebruikten (zie hoofdstuk 2.2). Een stof met puzzolane eigenschappen reageert niet uit zichzelf met water. Zo'n stof kan wel geactiveerd worden door de reactieproducten van portlandcement en water. Hierdoor draagt het bij aan de sterkteontwikkeling en dichtheid van de cementsteen.



Het gebruik van portlandvliegascement (CEM II/B-V) bespaart grondstoffen en energie bij de cementfabricage. Ook wordt een restproduct op een zinvolle en milieuvriendelijke wijze hergebruikt.

2.3.4 Verschillen tussen portlandcement en hoogovencement

De eigenschappen van beton gemaakt met een portlandvliegascement (CEM II/B-V) zijn bijna hetzelfde als die van een portlandcement (CEM I).

De verschillen in eigenschappen van beton gemaakt met een CEM I en een CEM III (met name het CEM III/B) zijn groter. Hieronder een overzicht.

Hydratatiewarmte

Bij de verharding van CEM III/B komt minder hydratatiewarmte vrij. Als gevolg daarvan zal de temperatuur in het beton minder hoog oplopen.

Chemische bestendigheid

Beton op basis van CEM III/B is beter bestand tegen bepaalde stoffen in zeewater en grondwater. (Sulfaten en chloride)

Invloed temperatuursverandering op hydratatiesnelheid

De reactie tussen cement en water gaat trager bij een lage temperatuur en sneller naarmate de temperatuur hoger is. CEM III/B is voor deze temperatuurveranderingen gevoeliger dan CEM I of een CEM II/B-V.

Daardoor verhardt beton met CEM III bij lage temperatuur relatief langzamer dan beton met CEM I of CEM II/B-V.

Bij hogere temperaturen (boven 30 °C) reageert CEM III sneller dan CEM I of CEM II/B-V. CEM III wordt daarom vaak gebruikt als door verhoging van de specietemperatuur de verharding moet worden versneld.

Buigtreksterkteontwikkeling

Buigtreksterkte is een sterkte-eigenschap. Het is de sterkte die wordt gemeten door een betonnen proefstuk te buigen. De ontwikkeling van de buigtreksterkte verloopt bij hoogovencementbeton sneller dan bij portlandcementbeton. In de industrie voor kleine betonwaren (tegels, banden) gebruikt men om deze reden vaak CEM III/B.

Blauwkleuring

Een typisch kenmerk van beton gemaakt met CEM III/B is de blauwe kleur die zichtbaar is direct na het verwijderen van een bekisting of op een vers breukvlak. Als het beton in aanraking komt met lucht, verdwijnt deze kleur.

Milieueffect

CEM III/B bevat minder portlandcementklinker dan CEM I. CEM III/B heeft om die reden een kleinere CO₂-voetafdruk. Beton met CEM III/B heeft daarom een kleiner milieueffect.

2.3.5 Cement met speciale eigenschappen

NEN 3550 is de voormalige Nederlandse norm voor cement. De inhoud van deze norm is vrijwel volledig vervangen door de Europese normen voor cement.

Op dit moment kent het nog 1 onderdeel: eisen aan wit cement.

Wit cement

Bij de fabricage van wit (portland) cement worden grondstoffen gebruikt die geen ijzer bevatten. Daardoor heeft het een witte kleur. Met dit cement kan wit beton worden gemaakt of beton met een kleur. Kleurstoffen in combinatie met wit cement hebben een sterker effect.

2.3.6 Andere bijzondere cementsoorten:

Aluminiumcement

Dit cement is niet op basis van portlandklinker. Het cement heeft een zeer snelle sterkteontwikkeling. Dit cement is alleen geschikt voor reparatiemortels en vuurvaste toepassingen. Voor gewoon beton mag het niet worden gemengd met cement op basis van portlandklinker.

Metselcement

Onder 'metselcement' wordt een speciaal cement op de markt gebracht. De cementfabrikant voegt hulp- en vulstoffen toe. Hierdoor is het cement speciaal geschikt voor de vervaardiging van metselspecie. Dit cement is door deze hulp- en vulstoffen niet geschikt voor vervaardiging van beton.

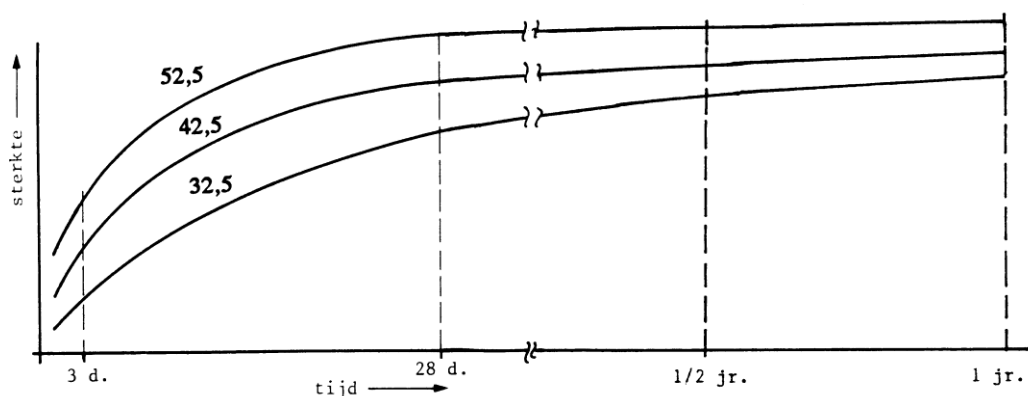
2.3.7 Maalfijnheid van het cement

De sterkteklassen van cement kunnen ook als volgt worden omschreven:

- klasse 32,5 is een cement met een trage sterkteontwikkeling;
- klasse 42,5 is een cement met een gewone sterkteontwikkeling;
- klasse 52,5 is een cement met een snelle sterkteontwikkeling.

Meestal leidt een snellere sterkteontwikkeling (dus hogere beginsterkte) ook naar een hogere sterkte na 28 dagen. Zolang er water beschikbaar blijft, zal het cement verder hydrateren. Dat heeft tot gevolg dat ook lang na 28 dagen het beton nog steeds een beetje sterker wordt. Maar de toename van de sterkte in de tijd wordt wel steeds kleiner. Ook blijkt dat het verschil in sterkte tussen de sterkteklassen van dezelfde cementsoort steeds kleiner wordt (zie figuur 2.7).

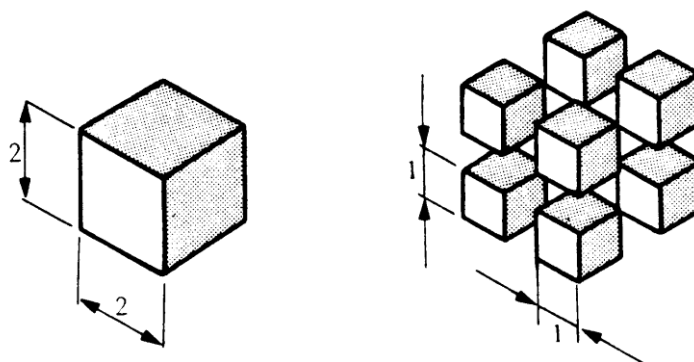
Hoe wordt het verschil in beginsterkte van eenzelfde cementsoort verkregen? De belangrijkste oorzaak ligt in de grootte van de cementkorreltjes. Cement wordt gemalen in speciale molens. Een portlandcement 52,5 is fijner gemalen dan een portlandcement 42,5. Dit cement is weer fijner dan een portlandcement 32,5.



Figuur 2.7 Sterkteontwikkeling van verschillende cementsterkteklassen.

Bij de reactie van cement met water ontstaat cementsteen. Deze reactie gaat sneller en makkelijker als het contactoppervlak tussen het cement en het water groter is. Door het cement

fijner te malen ontstaat voor eenzelfde gewicht aan cement een veel groter contactoppervlak. Figuur 2.8 laat dat schematisch zien.



Figuur 2.8 Groter contactoppervlak voor eenzelfde massahoeveelheid.

De kubus in figuur 2.8 heeft een totaal oppervlak van $2 \times 2 \times 6 = 24$. Als diezelfde kubus wordt opgedeeld ("gebroken") in 8 kubussen dan is het totale oppervlak: $1 \times 1 \times 6 \times 8 = 48$.

De verhouding tussen gewicht en oppervlak wordt 'specifiek oppervlak' genoemd. Dus: het specifiek oppervlak is de verhouding tussen het totaal van de omtrekoppervlakten van alle korrels, gedeeld door het gewicht van deze korrels. Het specifiek oppervlak wordt uitgedrukt in m^2/kg .

Het specifiek oppervlak van cement kan worden bepaald met het toestel van Blaine. De op die manier verkregen waarde van het specifiek oppervlak wordt daarom de Blainewaarde genoemd. Hoe fijner het cement, hoe groter de Blainewaarde. Bijvoorbeeld: bij een bepaalde cementfabriek zijn de globale Blainewaarden van een portlandcement 32,5, 42,5 en 52,5 respectievelijk 280, 420 en $550 \text{ m}^2/\text{kg}$.

2.3.8 Mengen van cementen

Portlandklinker is de basisgrondstof voor de vervaardiging van CEM I, CEM II/B-V en CEM III. Deze cementsoorten met verschillende sterkteklassen kunnen zonder problemen met elkaar worden gemengd. Dat leidt natuurlijk wel tot een "mengcement" met afwijkende eigenschappen.

Soms is het nuttig het productieproces van beton te beïnvloeden. Dit kan door menging met een andere cementsoort of -sterkteklasse.

Een voorbeeld is de 'koude' gietbouw. Betonspecie wordt bij deze werkwijze 's middags in een bekisting gebracht met als doel de volgende morgen de bekisting te kunnen verwijderen. ("koud" omdat het beton tijdens het verharden niet wordt verwarmd). Om te kunnen ontkisten, is natuurlijk een bepaalde sterkte van het beton nodig. In de zomermaanden is dat meestal geen probleem. De temperatuur waarbij het beton verhard is hoog genoeg, ook bij gebruik van een CEM III/B.

Wanneer de temperatuur daalt, verloopt de reactie van cement en water trager en dan lukt deze cyclus niet meer.

Een mogelijkheid is nu bijmenging van CEM I sterkteklasse 52,5. Dat kan de reactiesnelheid zodanig verhogen, dat ontkisten nog wel mogelijk is. Op deze manier kan het gebruikelijke ééndaagse sterkteniveau van het beton nog een tijd worden gehandhaafd.

Het mengen van cementen mag alleen in goed overleg tussen de uitvoerder en de betontechnoloog van de betoncentrale.

2.4 Toeslagmaterialen

Als toeslagmateriaal in beton worden steenachtige materialen van natuurlijke of kunstmatige oorsprong gebruikt. Om praktische redenen worden deze materialen ingedeeld naar volumieke massa. Dat is het gewicht dat een bepaald volume materiaal heeft.

We onderscheiden:

- zwaar toeslagmateriaal;
- normaal toeslagmateriaal;
- licht toeslagmateriaal.

2.4.1 Zwaar toeslagmateriaal

Zwaar toeslagmateriaal bestaat uit zware gesteenten en ertsen, zoals bariet, basalt en ijzererts. Deze materialen worden in beton gebruikt dat wordt toegepast waar veel massa nodig is, of op plaatsen waar radioactieve straling tegengehouden moet worden.

2.4.2 Normaal toeslagmateriaal

2.4.2.1 *Zand en grind*

Het in Nederland meest gebruikte toeslagmateriaal in beton is zand (fijn toeslagmateriaal) en grind (grof toeslagmateriaal) omdat deze in ruime mate beschikbaar zijn. De oorsprong daarvan is als volgt:

Uit het bergland namen snelstromende rivieren grote en kleine stukken rots mee. In de benedenloop van deze rivieren en in zee bezonken de rondgeslepen rotsdeeltjes. Deeltjes in deze vorm worden zand en grind genoemd. De bedding van rivieren is in de loop van de tijd vaak van plaats veranderd. Daardoor hebben deze rivieren over een groot gebied lagen grind en zand afgezet.

In ons land komen het zand en grind vooral uit de benedenloop van de Rijn en de Maas. Ook worden zand en grind afkomstig zee gebruikt. Deze materialen komen vooral uit het kustgebied van Engeland.

Zand en grind worden over het algemeen met behulp van baggermolens gewonnen. Het opgebaggerde materiaal wordt gewassen, gezeefd en gescheiden in zand en grind. Dit wordt de "natte winning" genoemd.



Als zand en grind worden gewonnen door afgaven, wordt dat "droge winning" genoemd. De samenstelling van het op deze wijze gewonnen materiaal verschilt weinig van de samenstelling van toeslagmateriaal uit de rivieren. Wel kunnen hierin meer verontreinigingen voorkomen.

2.4.2.2 *Alternatieve toeslagmaterialen voor zand en grind*

De winning en de verkrijgbaarheid van zand en grind komen in Nederland onder steeds grotere druk te staan. Vergunningen voor het winnen worden nauwelijks verlengd. Nieuwe vergunningen worden nauwelijks uitgegeven vanwege de aantasting van het landschap.

Voor het verhogen van de duurzaamheid en het beperken van het milieueffect van beton wordt daarom ook steeds vaker gekeken naar het toepassen van alternatieven voor zand en grind.

Gezocht is naar vervangende materialen die geschikt zijn voor toepassing in beton. Hierbij is gekeken naar materialen zoals natuursteen. Ook is de geschiktheid van puin afkomstig van de sloop van bouwwerken beoordeeld. Over het algemeen worden alternatieve toeslagmaterialen alleen nog maar als vervanger van grind gebruikt.

2.4.2.3 *Natuurlijke toeslagmaterialen*

Natuurlijke toeslagmaterialen zijn in feite niets anders dan gebroken natuursteen. Dat wordt overal ter wereld gebruikt als toeslagmateriaal. Natuursteen dat geschikt is als toeslagmateriaal voor beton komt in Nederland nauwelijks voor. Daarvoor moeten we naar de bergen. Daar zijn steengroeven.

Door middel van brekers en zeefinstallaties worden rotsblokken teruggebracht tot de gewenste afmetingen. Hierdoor hebben de materialen een heel andere vorm en vertonen ze een ander gedrag in betonspecie. Het materiaal is niet rond maar hoekig en scherp. Het neemt bovendien water op in de korrels. Hierdoor vraagt de toepassing in beton extra aandacht.

Het betreft gebroken harde kalksteen, gebroken kwartsiet, gebroken graniet, gebroken porfier en gebroken harde zandsteen.

2.4.2.4 *Materialen afkomstig van sloopafval*

Bij het slopen van bouwwerken komen steenachtige materialen vrij. Vroeger werden die als puin gestort op een stortplaats. Of ze werden toegepast als wegverharding. Een aantal van deze materialen kan na bewerking ook weer gebruikt worden als (grof) toeslagmateriaal in beton.

Niet alle materialen zijn bruikbaar. Hoofdzakelijk worden betonpuin en metselwerkpuin gebruikt. Hierin mogen geen gipsbrokken aanwezig zijn omdat dat tot problemen leidt in het beton.

Materiaal verkregen uit gebroken puin wordt granulaat genoemd: betongranulaat (gebroken beton) en metselwerkgranulaat (gebroken metselwerk). Granulaat wordt verkregen door het puin te breken met een brekerinstallatie tot de gewenste afmetingen.

Gescheiden aanvoer van beton en metselwerk bij een brekerinstallatie vereist bij de sloop van een gebouw extra maatregelen. Dat is duur. Van niet-gescheiden aanvoer van betonpuin en metselwerkpuin maakt men in het breekproces menggranulaat. Hierbij worden extra eisen gesteld aan de verhouding beton/metselwerk. Het is duidelijk dat ook granulaten een hoekige en scherpe vorm hebben. Ook hebben ze een ander opzuiggedrag van water dan zand en grind (veel hoger). Ook hier is dus extra aandacht nodig bij de verwerking in betonspecie.

2.4.3 Lichte toeslagmaterialen

Lichte toeslagmaterialen zijn poreuze, steenachtige materialen met een lagere volumieke massa dan zand en grind. Deze materialen worden in beton toegepast om het gewicht van het beton te verlagen en de warmte-isolatie waarde te verhogen. Er zijn twee groepen:

- natuurlijke lichte toeslagmaterialen
Dit zijn gesteenten van vulkanische oorsprong, waarin kleine gasbelletjes aanwezig zijn; bijvoorbeeld bims, puimsteen en lavaslakken.
- fabrieksmatig geproduceerde lichte toeslagmaterialen
Deze maakt men door klei, mijnsteen, vlieg-as of leisteen bij hoge temperaturen te sinte-ren. Hierdoor ontstaat een poreuze korrel.

2.4.4 Verontreiniging

In het onderstaande worden de volgende mogelijke "verontreinigingen" in toeslagmateriaal aan de orde gesteld:

- Slib;
- Organische verontreinigingen;
- Sulfaten en chloriden;
- ASR gevoelig materiaal;
- Overige verontreinigingen.

Toeslagmaterialen moeten daarom altijd voor gebruik worden gecontroleerd op de aanwezigheid van verontreinigingen.

2.4.4.1 Slib

Toeslagmateriaal moet in het beton een hechte verbinding vormen met cementsteen. Voorwaarde voor een goede hechting is een schoon oppervlak. Vooral stoffen met een heel kleine korrelgrootte zijn slecht voor de hechting. Zo'n stof is bijvoorbeeld slib met een korrelgrootte kleiner dan $0,063 \text{ mm}^1$. In de voorschriften voor toeslagmaterialen zijn eisen gesteld aan het maximaal toegestane gehalte aan slib.

Materialen die gewonnen worden met de natte winning, worden bij de winning ook al gewassen. Hierdoor wordt het meeste slib verwijderd.

Bij materialen afkomstig van de droge winning moet erop worden gelet dat het materiaal schoon is, omdat daar geen wassing plaatsvindt. Een kleilaagje op de korrels kan bijvoorbeeld de aanhechting tussen toeslagmateriaal en cementsteen verhinderen. Als klei aanwezig is, moet dit materiaal gewassen worden.

Gebroken (natuurlijke) toeslagmaterialen mogen geen slib bevatten afkomstig uit brekerstof.

2.4.4.2 Organische materialen

Naast slib kunnen ook verontreinigingen van organische oorsprong aanwezig zijn. Dit is meestal in de vorm van houtresten, rottende plantendelen en humus. Deze verontreinigingen mogen niet in het toeslagmateriaal voorkomen. Zij benadelen de sterkteontwikkeling. Bij materialen uit de droge winning, worden deze verontreinigingen vaker aangetroffen dan bij de natte winning. Als deze verontreinigingen aanwezig zijn, moet het toeslagmateriaal worden gewassen.

¹ $0,063 \text{ mm}$ wordt ook wel aangeduid als $63 \mu\text{m}$ (spreek uit: 63 micrometer).
 $1 \mu\text{m} = \text{één duizendste mm}$ ($0,001 \text{ mm}$).

2.4.4.3 *Sulfaten en chloriden*

Bij het gebruik van zeegrind en zeezand als toeslagmaterialen, zijn genoemde verontreinigingen meestal verwijderd. Zeegrind en zeezand worden gewassen bij de winning. Dit wassen gebeurt met zeewater. Zeewater bevat echter chloriden en sulfaten die schadelijk zijn.

Sulfaten zijn schadelijk voor beton en chloride is schadelijk voor wapeningsstaal. Chloride veroorzaakt een sterke roestvorming op staal. Materiaal uit zee moet daarom ook altijd opnieuw worden gewassen met zoet water om sulfaat en chloride te verwijderen.

2.4.4.4 *ASR gevoelig materiaal*

Bepaalde bestanddelen in het toeslagmateriaal kunnen een chemische reactie aangaan met de alkaliën (dat zijn natrium- en kaliumverbindingen) in het beton. Dit wordt de Alkali-Silica Reactiviteit, afgekort ASR, genoemd. Er treedt zwelling op in het beton die pas na 10 tot 15 jaar ernstige scheurvorming in het beton kan veroorzaken.

2.4.4.5 *Overige verontreinigingen*

Naast de aanwezigheid van 'natuurlijke' verontreinigingen kan verontreiniging van toeslagmaterialen ook plaatsvinden tijdens transport, laden en lossen. Zo kan een scheepsruim resten van een vorige lading bevatten. Ook kan een grijperkraan voor het lossen van andere materialen gebruikt zijn. Sommige materialen, zoals kunstmest en suiker, hebben zelfs in kleine hoeveelheden een nadelige invloed op betonspecie of beton. Als deze materialen in betonspecie aanwezig zijn, kan het wel enkele dagen duren voordat de verharding begint.

2.4.5 Eigenschappen van toeslagmaterialen

2.4.5.1 *Hardheid, sterkte en bestendigheid*

Het zand en grind dat in Nederland voorkomt, voldoet aan de eisen van hardheid, sterkte en bestendigheid. Andere soorten toeslagmateriaal moeten eerst op deze eigenschappen worden onderzocht voordat er beton mee gemaakt wordt. Hiertoe schrijven de normen speciale beproevingsmethoden voor.

Licht toeslagmateriaal is door de holle ruimtes in de korrels minder sterk dan zand en grind. De warmte-isolatie is veel beter. Lichte toeslagmaterialen nemen bij de speciebereiding veel water op in de korrels. Daarmee moet bij de dosering van water in de betonspecie rekening worden gehouden.

2.4.5.2 *Korrelgrootteverdeling*

Bij een mengsel van toeslagmaterialen (meestal zand en grind) moeten alle korrels goed in elkaar passen. Op die manier ontstaat een zo compact mogelijk skelet. De fijne korreltjes moeten de ruimte vullen tussen de grovere korrels. Daarom moet bekend zijn hoe groot de verschillende korrels zijn. Dit wordt de "korrelgradering" of "korrelopbouw" genoemd.

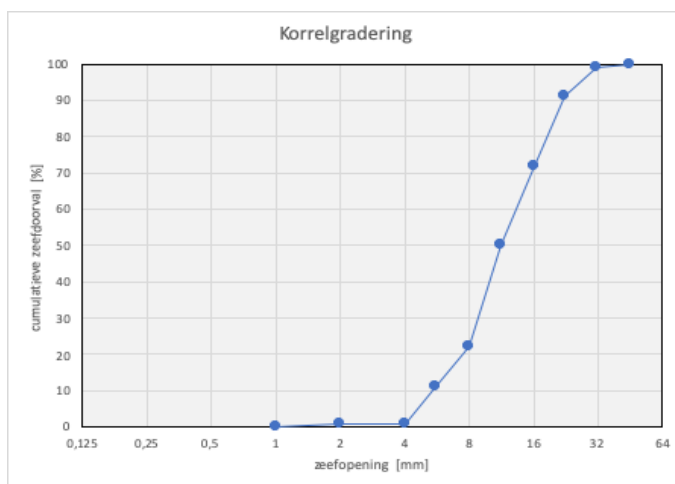
De grootte van de korrels wordt met behulp van zeven bepaald. Zeven zijn platen met gaten of weefsels van metaaldraad met exact bekende afmeting van de gaten die de "zeefopening" wordt genoemd. Zie figuur 2.9.



Figuur 2.9 Draadzeef (links) en plaatzeef (rechts).

Door zeven te gebruiken met gaten (zeefopeningen) van verschillende grootte kan van een hoeveelheid toeslagmateriaal worden bepaald hoeveel materiaal door een zeef gaat en hoeveel erop blijft liggen. Alle korrels die door de zeef vallen zijn dus kleiner dan de zeefopening van die zeef. Alles wat erop blijft liggen is groter dan de zeefopening van die zeef.

Door zeven boven elkaar te plaatsen met de zeef met de grootste zeefopening boven en de kleinste zeefopening onder kan in één keer een hoeveelheid materiaal worden gezeefd. Na de zieving wordt gewogen hoeveel materiaal op elke zeef ligt. Uit de gewichten kan de korrelgradering van het toeslagmateriaal worden berekend. Het resultaat daarvan kan in een grafiek worden weergegeven. Zie figuur 2.10.



Figuur 2.10 - voorbeeld van een grafische weergave van een korrelgradering van grind

Ook kan uit het resultaat van de zieving de "fijnheidsmodulus" van het toeslagmateriaal worden berekend. Met de fijnheidsmodulus kan met één getal een indruk worden verkregen of een toeslagmateriaal fijn of grof is.. Zo ligt de fijnheidsmodulus van zand meestal tussen 2,2 en 3,5. Voor grind is dat tussen 6,7 en 7,2. Zo wordt wel een minder precies beeld verkregen, maar voor een globaal inzicht is het vaak wel voldoende.

Bij het zeven van toeslagmateriaal worden zeven met afgesproken grootte van de zeefopening gebruikt. Op die manier kunnen de resultaten van verschillende monsters toeslagmateriaal met elkaar worden vergeleken.

De zeven die kunnen worden toegepast, worden genoemd in de norm NEN-EN 933-2. De afgesproken afmeting van de zeefopeningen (in mm) zijn 0,063, 0,125, 0,250, 0,500, 1, 2, 4, 8, 16, 31,5 en 63 mm.

Andere zeven met gaten van bijvoorbeeld 22,4 mm, 11,2 mm en 5,6 mm kunnen ook worden gebruikt om een nog nauwkeuriger bepaling van de korrelopbouw te krijgen. Deze zeven worden ook wel tussenzeven genoemd.

2.4.5.3 Korrelgroepen

Elke partij toeslagmateriaal behoort tot een korrelgroep. Een korrelgroep bestaat uit korrels die blijven liggen tussen twee duidelijk omschreven zeven. Grof grind voor betonspecie valt het meest in korrelgroep 4/32. Dat wil zeggen: Er zijn niet veel korrels kleiner dan 4 mm of groter dan 31,5 mm in dat grind. Betonzand hoort in het algemeen tot de korrelgroep 0/4 mm. De meeste zandkorrels vallen door de zeef 4 mm.

De korrelgroep die wordt toegepast in betonspecie hangt af van het te maken onderdeel. Voor de fabricage van betontegels van 40 mm dik wordt bijvoorbeeld de korrelgroep 0/8 mm gebruikt. Het mengsel van toeslagmaterialen in betonspecie afkomstig van een betoncentrale heeft meestal afmetingen van 0 tot 32 mm.

2.4.5.4 Zeven

Het zeven van toeslagmateriaal wordt een "zeefanalyse" genoemd. Daarbij worden de eerdergenoemde zeven in volgorde gestapeld met de zeef met de grootste zeefopening boven. Helemaal onderaan is een opvangbak. Hierin wordt het materiaal opgevangen dat door de zeef met de kleinste zeefopening valt.

Het te zeven toeslagmateriaal moet goed droog zijn. Zelfs met een beetje vocht plakken vooral de fijne korrels aan elkaar. Een goede scheiding van de korrels door het zeven is dan niet mogelijk. Een verkeerd beeld van de korrelverdeling is het gevolg.



zeefmachine met
boven elkaar ge-
plaatste zeven

2.5 Water

Leidingwater is geschikt om beton mee te maken (Het water dat wordt toegevoegd aan betonspecie wordt "aanmaakwater" genoemd). Zonder onderzoek mag dat worden gebruikt. Aanmaakwater mag geen bestanddelen bevatten die de reactie van cement verstoren. Daarom moet ander water zoals bronwater, oppervlakte- en grondwater (die best geschikt kunnen) voor gebruik worden onderzocht.

Bij de toepassingen in gewapend beton is het chloridegehalte van het water belangrijk. Hoge concentraties kunnen de wapening in het beton aantasten.

Spoelwater wordt opgevangen bij het spoelen van mixers en truckmixers. Na het eruit zeven van het zand en grind blijft cementslibwater over. Dat is een mengsel van veel water en de fijne delen uit de betonspecie (fijn zand en cement). Dit cementslibwater is geschikt voor hergebruik. Maar het kan slechts een deel van het benodigde aanmaakwater vervangen. De toe te voegen hoeveelheid cementslibwater is daarom beperkt.

2.6 Hulpstoffen

Een hulpstof voor beton is een product dat tijdens het mengen van de betonspecie in een kleine hoeveelheid wordt toegevoegd. Met een hulpstof wordt één of meer eigenschappen van de betonspecie of van het beton beïnvloed.

De gebruikte hoeveelheid is (veel) minder dan 5% van de cementhoeveelheid.

Hulpstoffen worden ingedeeld naar de invloed op de eigenschappen van betonspecie en beton. Dit wordt de hoofdwerking van de hulpstof genoemd.

Hoofdwerking

- Hulpstoffen die de verwerkbaarheid van betonspecie beïnvloeden.
 - o Dit zijn plastificeerders en superplastificeerders
- Hulpstoffen die het luchtgehalte van het beton verhogen
 - o Dit zijn luchtbelvormers
- Hulpstoffen die de binding en verharding beïnvloeden.
 - o Vertragers en versnellers

Deze indeling is volgens de norm voor hulpstoffen, de NEN-EN 934-2. In deze norm staan ook de eisen waaraan hulpstoffen moeten voldoen.

2.6.1 Plastificeerder en superplastificeerders

Met een (super)plastificeerder kan de verwerkbaarheid (ook consistentie of vloeigedrag genoemd) van betonspecie worden verhoogd of de waterbehoefte verlaagd. (De waterbehoefte van een betonspecie is die hoeveelheid water die nodig is om een bepaalde vloeibaarheid van de specie te krijgen.) Het zal duidelijk zijn dat een superplastificeerder effectiever is dan een plastificeerder. Er is echter ook een verschil in prijs.

Toevoegen van meer water maakt betonspecie weliswaar meer vloeibaar, maar het gevolg is een lagere druksterkte en een hogere porositeit van het beton. Met een (super)plastificeerder kunnen we de betonspecie beter verwerkbaar maken zonder water toe te voegen.

Andersom kan ook: soms moet minder water worden gebruikt om een hogere sterkte en dichtheid te krijgen. Daardoor wordt de betonspecie stugger, maar met een (super)plastificeerder kan de verwerkbaarheid worden verbeterd.

Met een plastificeerder kan bij gelijke hoeveelheid water, de verwerkbaarheid van de betonspecie een consistentieklasse toenemen (voor uitleg over consistentieklassen, zie hoofdstuk 3). Bij gelijkblijvende verwerkbaarheid is door gebruik van de plastificeerder tot 5% minder water nodig. Dit wordt een waterreductie van 5% genoemd.

Superplastificeerders hebben een sterkere werking dan plastificeerders. Bij gelijkblijvende hoeveelheid water kan de betonspecie 2 consistentieklassen omhoog gaan. De te bereiken waterreductie is ten minste 12%.

Voor zelfverdichtend beton past men een superplastificeerder toe met een zeer sterke werking. Voor dit type is de aanduiding “derde generatie” plastificeerder in gebruik geraakt.

Zelfverdichtend beton zou eigenlijk "zelfverdichtende betonspecie" moeten worden genoemd. Het is een specie die uit zichzelf alle ruimten in een bekisting kan opvullen zonder dat het daarbij moet worden geholpen en waarbij vrijwel alle ingesloten lucht uit zichzelf uit de specie verdwijnt. Bij normale betonspecie wordt dit gedaan door de specie bijvoorbeeld met behulp van een trilnaald in beweging te brengen.

2.6.2 Luchtbelvormer

Door toepassing van een luchtbelvormer vormen zich tijdens het mengen van de specie kleine luchtbelletjes in de betonspecie. Deze luchtbelletjes, waarvan de diameter ongeveer 0,1 mm is, zijn zeer stabiel. Ze worden door trillen tijdens het verdichten niet verdreven. Een luchtbelvormer wordt vooral toegepast om de vorst- en dooizoutbestandheid van het beton te verhogen. Hiervoor moet, afhankelijk van de betonsamenstelling, circa 4% extra lucht in de specie worden ingebracht. Bekende toepassingen zijn bijvoorbeeld de wegenbouw en erfverhardingen. Een bijkomend effect bij de toepassing van een luchtbelvormer in betonspecie is de plastificerende werking. Hierdoor verbeteren de samenhang en verwerkbaarheid van de betonspecie. Ook de waterdichtheid van het beton wordt beter.

Naast deze positieve eigenschappen van de luchtbelvormer is er ook een belangrijke negatieve eigenschap. Het inbrengen van extra lucht in de betonspecie verzwakt het beton. Grofweg kan worden gezegd dat door 1% extra lucht de sterkte van het beton met ongeveer 5% daalt. Bij het ontwerpen van de betonsamenstelling moet daarmee goed rekening worden gehouden.

2.6.3 Vertrager

Een vertrager vertraagt de reactie tussen cement en water. Hierdoor bindt de betonspecie minder snel en blijft dus langer verwerkbaar.

Een vertrager wordt met name gebruikt:

- bij hogere temperaturen;
- bij grotere storten, waarbij het langer duurt voordat er op of tegen eerder gestorte betonspecie weer verse betonspecie wordt gebracht; dit is om stornaden te voorkomen;
- in de betonproductenindustrie voor de fabricage van uitgewassen beton. Hierbij wordt de mal ingesmeerd met een vertragende pasta. Hierdoor kan de volgende dag na het ontkisten de toplaag nog makkelijk worden verwijderd en wordt het toeslagmateriaal zichtbaar.

2.6.4 Versneller

Een versneller versnelt de reactie van cement en water. De betonspecie bindt of verhardt sneller.

De effectiefste versneller is calciumchloride. Deze chloridehoudende versneller kan echter alleen in ongewapend beton worden toegepast. Bij gewapend beton tast chloride de wapening aan. Het effect van chloridevrije versnellers is over het algemeen zeer klein. Een alternatief is om de betonspecietemperatuur te verhogen of te kiezen voor een 'sneller' cement (zie hoofdstuk 2.3.7).

De belangrijkste reden om het verhardingsproces te versnellen, is tijdwinst. Snel ontkisten is de wens, vooral bij gietbouw en in de betonproductenindustrie.

2.6.5 Algemene opmerkingen bij de toepassing van hulpstoffen

Hulpstoffen moeten verstandig worden toegepast. Een hulpstof kan nooit een slechte samenstelling van een betonspecie verbeteren. Soms ontstaan zelfs ongewenste bijwerkingen. Daarom moet voorafgaande aan het gebruik van een hulpstof altijd onderzoek worden uitgevoerd om na te gaan of het beoogde effect daadwerkelijk wordt behaald. Zeker als er nog

geen ervaring met de desbetreffende hulpstof is opgedaan. Zo'n onderzoek wordt een "geschiktheidsonderzoek" genoemd.

Het effect van hulpstoffen is gebaseerd op fysische en chemische reacties. Deze reacties kunnen sterk beïnvloed worden door de betonspecie- en omgevingstemperatuur. Hierdoor kan het effect van de hulpstof veel groter of kleiner zijn dan eigenlijk de bedoeling was. Als meer soorten hulpstof in één betonspeciemenngsel worden toegepast, kunnen ze elkaar tegenwerken of versterken.

2.7

Vulstoffen

Soms wordt aan de betonspecie, naast cement, een ander fijn poedervormig materiaal toegevoegd. Deze stoffen – vaak veel fijner dan cement – worden vulstoffen genoemd. Vulstoffen vullen als het ware de nog open ruimte tussen de allerkleinste korreltjes en zorgen er dankzij het grote specifieke oppervlak voor dat de betonspecie het water beter vasthoudt. Hierdoor wordt ontmenging tijdens transport en verdichten tegengegaan. Dit is handig als betonspecie moet worden verpompt of getransporteerd op een transportband.

Bij het storten van hoge betonwanden in schoon werk kan het gebruik van een vulstof helpen om een mooi egaal betonvlak uit de kist te krijgen.

De meest toegepaste vulstoffen zijn:

- poederkoolvliegias;
- silicafume;
- (kalk)steenmeel.

Poederkoolvliegias en silicafume zijn vulstoffen die in combinatie met cement ook bijdragen aan de sterkteontwikkeling en hogere dichtheid van het beton. Deze stoffen hebben puzzolane eigenschappen. (zie hoofdstuk 2.3.3) Een betonspecie met puzzolane vulstoffen, maar zonder cement, wordt niet hard.

2.8

Schuimmiddelen

In tegenstelling tot hulpstoffen wordt een schuimmiddel in grotere hoeveelheden gebruikt voor het maken van schuimbeton. Omdat het schuimmiddel wordt gemengd met een mortelspecie zou het uiteindelijk verkregen materiaal eigenlijk schuimmortel moeten worden genoemd.

Het schuimmiddel vormt daarin grote en stabiele luchtbelletjes (0,2 tot 0,4 mm).



Het beton wordt gespoten en vervolgens gladgestreken. (© Piet Bosma)

Afhankelijk van de dosering kan het gewicht van de mortel worden verlaagd tot zelfs 400 kg/m³. Naast dit lage gewicht wordt ook een materiaal verkregen met een hoge warmte-isolatiewaarde. Schuimbeton wordt daarom toegepast in kruipruimten, wegfunderingen en bij dakbedekkingen.

2.9

Kleurstoffen

Kleurstoffen zijn fijngemalen stoffen, die – in kleine hoeveelheden – het beton de gewenste kleur kunnen geven. Deze kleurstoffen moeten bestand zijn tegen het alkalische milieu van beton (Alkalisch betekent in dit verband: met een hoge pH-waarde).

Toegepast worden vooral ijzeroxiden (rood, geel, zwart) en titaandioxide (wit).



VRAAGSTUKKEN

1. Waaruit bestaat beton?
2. Noem een aantal bindmiddelen waarmee beton kan worden gemaakt.
3. Vul de bijbehorende benamingen in:

mengsel van	niet verhard	verhard
C + W		
C + W + F		
C + W + F + G		
4. Wat wordt verstaan onder hydratatie van cement?
5. Noem de eigenschappen van cementsteen.
6. Verklaar waarom men cement een hydraulisch bindmiddel noemt.
7. Waarom is het onjuist om over 'drogen' van beton te spreken als 'verharden' wordt bedoeld.
8. Wat zijn zes basisgrondstoffen waarmee cement volgens de cementnorm kan worden vervaardigd?
Met welke lettercode worden zij in de naamgeving van het cement aangegeven?
9. Cementsoorten worden volgens de norm in vijf hoofdgroepen onderverdeeld. Benoem de CEM-codering en de volledige benamingen van deze cementsoorten.
10. Waarvoor staan de letters A - B - C in de naamgeving van een cement?
11. Noem drie grondstoffen, die voor de vervaardiging van portlandcementklinker worden gebruikt.
12. Waarom wordt bij de productie van portlandcement een kleine hoeveelheid gips aan portlandcementklinker toegevoegd?
13. Hoe ontstaat hoogovenslak?
14. Uit welke grondstoffen wordt hoogovencement gemaakt?
15. Waaruit bestaat portlandvliegascement? Wat voor eigenschappen heeft geselecteerd poederkoolvliegascement?
16. Noem vijf kenmerkende verschillen tussen portlandcement en hoogovencement.
17. Wat is hydratatiwarmte?
18. Waarom gebruikt men voor grote betonconstructies, bijvoorbeeld dikke funderingen, vaak hoogovencement?

19. Hoe kan men bij beton dat met hoogovencement is samengesteld, na enkele weken zien of men met een dicht of poreus beton te maken heeft?
20. Is er voorkeur voor hoogovencement of portlandcement wanneer betonspecie wordt gestort bij een lage temperatuur zonder verwarming?
21. Wat betekent de aanduiding LH in de cementbenaming?
22. Wat betekent de aanduiding SR in de cementbenaming?
23. Wat verstaan we onder de normsterkte van cement?
24. Welke drie sterkteklassen onderscheidt men en wat zijn de kenmerkende eigenschappen?
25. Wat betekent de letter R bij de aanduiding van de sterkteklassen?
26. Waarom wordt in de betonproductenindustrie meestal een cement met een hoge beginsterkte toegepast?
27. Wat verstaat men onder de Blainewaarde van cement en waarom is deze belangrijk voor de reactie van cement en water?
28. Kan men portlandcement en hoogovencement mengen zonder (nadelige) gevolgen?
29. Kan metselcement gebruikt worden voor het maken van betonspecie?
30. Waarin worden toeslagmaterialen volgens hun volumieke massa onderverdeeld?
31. Waar worden zand en grind gewonnen?
32. Noem een aantal alternatieve toeslagmaterialen voor zand en grind.
33. Welke twee soorten van lichte toeslagmaterialen kan men onderscheiden?
34. Noem vier soorten verontreinigingen in toeslagmaterialen, die een schadelijke invloed kunnen hebben op de sterkteontwikkeling en levensduur van het beton.
35. Welke zeven gebruikt men om de korrelverdeling van de toeslagmaterialen te bepalen?
36. Wat betekent ' μm ' en welk deel van een meter is dit?
37. Wat verstaat men onder een korrelgroep? Noem enkele voorbeelden.
38. Waarom maakt men een korrelgrootteverdeling van het toeslagmateriaal?
39. Wat is de fijnheidsmodulus van zand?
40. Wat verstaat men onder het specifiek oppervlak?

41. Welk van de onderstaande materialen heeft het kleinste, en welk het grootste specifiek oppervlak?
A. cement;
B. fijn zand;
C. fijn grind;
D. grof grind.
42. Welk water mag altijd als aanmaakwater voor beton worden gebruikt?
43. Noem een aantal hulpstoffen en geef aan met welk doel deze worden toegepast?
44. Welke hulpstof zal men toepassen om de verwerkbaarheid van betonspecie te verbeteren zonder extra water toe te voegen?
45. Welke eigenschappen van beton kan men verbeteren met luchtbelvormer?
46. Wat kan een nadeel zijn bij dosering van een luchtbelvormer?
47. In welke gevallen kan het gewenst zijn een vertrager toe te passen?
48. Noem de drie meest toegepaste vulstoffen en wat is hun functie?
49. Hoe worden vulstoffen genoemd die tevens een bijdrage leveren aan de sterkteontwikkeling en de dichtheid van beton?
50. Wat is het verschil tussen een luchtbelvormer en een schuimmiddel?

VERKLARENDE WOORDENLIJST

aanmaakwater

water dat voor de productie van beton wordt toegepast.

betongranulaat

toeslagmateriaal, verkregen door het breken van beton.

betonspecie

onverhard mengsel van cement, water en fijn en grof toeslagmateriaal en eventueel hulp- en vulstoffen.

bindtijddregelaar

stof, die bij de productie van cement wordt toegevoegd om ervoor te zorgen dat het cement niet te snel, maar ook niet te langzaam opstijft.

Blainewaarde

deze geeft de fijnheid van het cement aan en wordt uitgedrukt in m^2/kg .

cementlijm

onverhard mengsel van cement en water.

cementpasta

zie cementlijm.

cementsteen

verhard mengsel van cement en water.

chloride

zoutverbinding, schadelijk voor staal.

fijn toeslagmateriaal

toeslagmateriaal met korrels kleiner dan 4 mm.

fijnheidsmodulus

getal waarmee de fijnheid van toeslagmateriaal wordt aangegeven.

geschiktheidonderzoek

onderzoek vooraf van een nieuw ontworpen betonsamenstelling.

grof toeslagmateriaal

toeslagmateriaal met korrels groter dan 4 mm.

hoogovenslak

bijproduct bij de productie van ruwijzer in een hoogoven.

hulpstof

product, dat in de regel in hoeveelheden van ten hoogste 5 % van het cementgehalte aan de betonspecie wordt toegevoegd met het doel om één of meerdere eigenschappen van de betonspecie of het beton te beïnvloeden.

humus

resten van planten en dergelijke, voorkomend als verontreiniging in toeslagmaterialen.

hydratatie

reactie van cement en water.

hydratatiesnelheid

de snelheid waarmee de hydratatie plaatsvindt. Onder meer afhankelijk van temperatuur en cementtype.

hydratatiewarmte

de warmte die bij de reactie van cement en water vrijkomt.

hydraulisch bindmiddel

bindmiddel dat met water reageert en waarvan het reactieproduct tegen water bestand is.

klinker

(portlandcement)klinker is de belangrijkste grondstof voor de productie van cement. Het wordt gemaakt door het gezamenlijk verhitten en smelten bij circa 1400 °C van kalk-, silicium-, aluminium- en ijzerhoudende grondstoffen.

korrelgroottegroep

een verzameling korrels, die grotendeels blijven liggen tussen twee aangeduide zeven.

korrelverdeling / korrelopbouw

de verdeling van de korrelafmetingen in het toeslagmateriaal. De bepaling geschiedt met behulp van een zeefanalyse

maximale korrelafmeting

de theoretische zeefopening waar alle korrels nog doorheen gaan.

mortel

verhard mengsel van cement, water en fijn toeslagmateriaal.

mortelspecie

onverhard mengsel van cement, water en fijn toeslagmateriaal.

normsterkte cement

druksterkte van proefstukken samengesteld uit cement, zand en water, die op een gestandaardiseerde wijze worden vervaardigd en beproefd.

normzeven

serie zeven met gestandaardiseerde openingen.

organische verontreinigingen

plantaardige organische stoffen in toeslagmateriaal die de verhardingsreactie of de aanhechting van cementsteen kunnen verhinderen.

plastificeerder

hulpstof die de verwerkbaarheid van de betonspecie verbetert zonder toevoeging van water.

poederkoolvliegias

reststof die uit de rookgassen van met poederkool gestookte elektriciteitscentrales wordt gefilterd.

puzzolanen

stoffen die reageren met kalk tot een product dat daarna net zoals cement met water verhardt. Bijvoorbeeld: poederkoolvliegias.

sterkteklasse cement

indeling van cement naar de normsterkte van het cement na 28 dagen.

sulfaat

gipsverbinding, schadelijk voor beton.

vulstof

poeder die aan beton wordt toegevoegd om het gehalte zeer fijn materiaal te verhogen.

zeven

bepaling van de korrelgrootteverdeling van toeslagmateriaal door middel van zeven.

3

EIGENSCHAPPEN VAN BETONSPECIE EN BETON

INHOUDSOPGAVE	Pag.
3.1 Inleiding.....	3-3
3.2 Eigenschappen van betonspecie	3-3
3.2.1 Verwerkbaarheid	3-4
3.2.1.1 De verdichtingsmaat	3-5
3.2.1.2 De zetmaat	3-6
3.2.1.3 De schudmaat	3-7
3.2.1.4 De consistentie volgens NEN 8005	3-9
3.2.2 Groene sterkte.....	3-9
3.2.3 Volumieke massa van betonspecie	3-10
3.2.4 Luchtgehalte	3-10
3.2.5 Bleeding.....	3-10
3.2.6 Plastische krimp	3-11
3.2.7 Warmteontwikkeling.....	3-12
3.3 Eigenschappen van beton	3-13
3.3.1 Druksterkte	3-13
3.3.1.1 Sterkteklassen	3-15
3.3.2 Splijttreksterkte	3-16
3.3.3 Buigtreksterkte	3-17
3.3.4 Volumieke massa van beton.....	3-17
3.3.5 Slijtvastheid	3-17
3.3.6 Krimp van beton	3-17
3.3.6.1 Uitdrogingskrimp	3-18
3.3.6.2 Temperatuurkrimp.....	3-18
3.4 Bijzondere betonsoorten.....	3-19
3.4.1 Vloeistofdichtbeton	3-19
3.4.2 Vorstbestand en dooizoutbestand beton	3-21
3.4.3 Colloidaal beton	3-21
3.4.4 Vezelbeton.....	3-22
3.4.4.1 Staalvezelbeton.....	3-22
3.4.4.2 Kunststofvezelbeton	3-22
3.4.5 Hogesterktebeton.....	3-22
3.4.5.1 Druksterkte	3-22
3.4.5.2 Levensduur	3-23
3.4.5.3 Verwerkbaarheid	3-23
3.4.5.4 Aandachtspunten	3-23
3.4.6 Attestbeton.....	3-23
3.4.7 Zelfverdichtend beton.....	3-23
3.4.7.1 Verwerkbaarheid	3-24
3.4.8 Lichtbeton.....	3-27
3.4.9 Schuimbeton.....	3-28
3.4.10 Beton in agressief milieu	3-28
Vraagstukken	3-29
Verklarende woordenlijst.....	3-31

3.1 Inleiding

Beton is eigenlijk een kunstmatig gevormd gesteente. Eerst is het materiaal plastisch (vervormbaar) en wordt het betonspecie genoemd. Dan wordt het hard en heet het beton. De overgang van betonspecie naar beton verloopt geleidelijk.

Dit verhardingsproces kan in drie fasen worden ingedeeld:

1. betonspecie;
2. jong beton;
3. (verhard) beton.

In de eerste fase is de betonspecie nog vervormbaar; de betonspecie is weinig sterk en stijf. In de tweede fase begint de betonspecie een vaste stof te worden. Kenmerkend voor de tweede fase (het jonge beton) zijn de warmte- en snelle sterkteontwikkeling die gedurende deze fase plaatsvinden. Afhankelijk van cementsoort, cementsterkteklasse en temperatuur duurt deze fase circa vijf dagen. Jong beton gaat geleidelijk over in de derde fase van verhard beton. De sterkteontwikkeling gaat door, maar wel langzamer dan tijdens de overgang van betonspecie naar jong beton.

In dit hoofdstuk worden de eigenschappen van betonspecie en van beton besproken.

3.2 Eigenschappen van betonspecie

De volgende eigenschappen van betonspecie worden in deze paragraaf besproken:

- de verwerkbaarheid;
- de groene sterkte;
- de volumieke massa;
- het luchtgehalte;
- de waterafscheiding (ook wel "bleeding" genoemd);
- plastische krimp;
- de warmteontwikkeling.

Deze eigenschappen van betonspecie kunnen vanaf het moment dat de specie wordt gemengd totdat de specie in de bekisting zit, op nadelige wijze worden beïnvloed door:

- de menginstallatie;
- de transportmiddelen;
- de bekisting en de wapening;
- de stort- en verdichtingstechniek;
- de afwerking.

De menginstallatie moet in korte tijd een homogeen mengsel maken van de gebruikte grondstoffen. Homogeen betekent dat op alle plaatsen in het mengsel dezelfde verhouding bestaat tussen de grondstoffen. Onvoldoende menging heeft een niet-homogene betonspecie tot gevolg. Dit kan tot allerlei problemen leiden zoals plaatsen in het beton met te veel grof grind of met te weinig cement.

Ook moet de installatie al het toeslagmateriaal kunnen doseren. Niet alle menginstallaties kunnen bijvoorbeeld twee soorten zand en twee soorten grind doseren.

Betonspecie is een gemengd product. Door het vervoer naar of op de bouwplaats kan vrij eenvoudig ontmenging optreden. Betonspecie die met een transportband of op een kieper wordt vervoerd, moet voldoende stug zijn en samenhang hebben zodat het niet ontmengt. Betonspecie die in een truckmixer wordt vervoerd, wordt door de truckmixer homogeen gehouden. Dit komt doordat de mixer draait en zo ontmenging tegengaat.

Een transportmiddel op de bouwplaats is bijvoorbeeld een betonpomp. Betonspecie die wordt verpompt, moet een continue korrelopbouw hebben en voldoende fijn materiaal (korrels kleiner dan 0,25 mm) hebben om verpompt te kunnen worden.

Met een continue korrelopbouw wordt bedoeld dat een bepaalde korrelgroep in het mengsel toeslagmaterialen niet mag ontbreken. Een onjuist samengestelde betonspecie kan leiden tot het vastlopen van de pomp.

De plasticiteit van de betonspecie en de grootste korrel van het te gebruiken toeslagmateriaal zijn afhankelijk van:

- de vorm en afmeting van de bekisting;
- de ruimte tussen wapening en bekisting;
- de ruimte tussen de wapening onderling.

Als de specie niet goed is afgestemd op de bekisting en wapening kan dat tot gevolg hebben dat de bekisting onvoldoende wordt gevuld en/of de wapening niet volledig door specie kan worden omhuld.

De betonspecie moet na het in de bekisting of mal brengen, worden verdicht. Daarbij worden de holle ruimtes in de specie verdreven en wordt de mal of bekisting volledig met specie gevuld.

Verdichten vindt meestal plaats door de betonspecie te trillen. Betonspecie gedraagt zich tijdens het trillen als een vloeistof. Betonspecie kan ook door porren worden verdicht. In dat geval moet de betonspecie vloeibaarder zijn dan wanneer met trillen wordt verdicht. In hoofdstuk 7 komt het verdichten van betonspecie uitgebreid aan de orde.

De betonspecie-eigenschappen moeten ook zijn afgestemd op de afwerking van het betonoppervlak. Afwerken is het gladstrijken van het betonoppervlak.

Zo zal betonspecie bestemd voor een vloer die direct moet worden afgewerkt geen waterafscheiding aan het oppervlak mogen vertonen.

Ook aan betonspecie bestemd voor "schoon werk" moet speciale aandacht worden besteed. Schoon werk is beton dat na het ontkisten geen verdere bewerking meer ondergaat en in het zicht blijft.

Soms is het zelfs nodig de cementkeuze op de gewenste betonafwerking af te stemmen.

3.2.1

Verwerkbaarheid

Met verwerkbaarheid wordt een aantal aspecten beoogd: het gemak waarmee betonspecie kan worden gemengd, getransporteerd en verwerkt.

De verwerkbaarheid is afhankelijk van:

- soort en hoeveelheid cement;
- soort toeslagmateriaal, korrelvorm en korrelopbouw van de toeslagmaterialen;
- de hoeveelheid water;
- de toepassing van eventuele hulpstoffen.

Helaas bestaat er geen meetmethode die alle aspecten van de verwerkbaarheid in één getal vastlegt. Daarom wordt de plasticiteit (vloeibaarheid) van de specie gemeten. De betonvoorschriften geven drie methoden om de plasticiteit van betonspecie te meten:

1. de verdichtingsmaat voor droge en aardvochtige species;
2. de zetmaat voor half-plastische en plastische species;
3. de schudmaat voor zeer plastische en vloeibare species.

In de volgende paragrafen is een beschrijving van deze meetmethoden opgenomen.

3.2.1.1

De verdichtingsmaat

De verdichtingsmaat is het meest geschikt voor droge of aardvochtige betonspecie.

De verdichtingsmaat wordt bepaald met het 'vat van Walz'. Dit is een metalen vat met een vierkante doorsnede (200 x 200 mm²) en een hoogte van 400 mm.

Het meetvat wordt gevuld met betonspecie door de specie vanaf de rand van het vat met een speciale troffel in het vat te laten glijden.

Het meetvat wordt afwisselend vanaf alle kanten gevuld. Als het vat ruim gevuld is, wordt het afgestreken zonder de specie samen te drukken.

Hierna wordt de specie in het vat zo volledig mogelijk verdicht, bijvoorbeeld met een trilnaald (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).

Vervolgens wordt de inzakking van de specie aan de vier zijanten gemeten (zie figuur 3.1).

Het gemiddelde van de vier afgelezen meetwaarden is de inzakking (s) van de betonspecie.

De bepaling van de verdichtingsmaat wordt beschreven in NEN-EN 12350-4.



Figuur 3.1 Verdichten betonspecie in vat van Walz



Figuur 3.1 Het meten van de inzakking ten behoeve van het berekenen van de verdichtingsmaat.



De verdichtingsmaat wordt berekend door de hoogte van het vat (h) te delen door de betonspeciehoogte (h-s).

$$\text{Verdichtingsmaat} = \frac{h}{h-s} = \frac{400}{400 - \text{inzakking}}$$

$$s = \frac{s1 + s2 + s3 + s4}{4} \text{ mm}$$

Voorbeeld: de gemeten inzakkingen van de specie zijn 78, 80, 83 en 79 mm

$$s = \frac{78 + 80 + 83 + 79}{4} = 80 \text{ mm}$$

$$\text{verdichtingsmaat} = \frac{400 \text{ mm}}{(400 - 80) \text{ mm}} = 1,25$$

3.2.1.2

De zetmaat

De zetmaat is het meest geschikt voor half-plastische en plastische betonspecie.

De zetmaat wordt gemeten met behulp van de 'kegel van Abrams'. Dit is een stalen mantel met de vorm van een afgeknotte kegel met afmetingen: hoogte 300 mm, boven middellijn 100 mm en onder middellijn 200 mm (zie figuur 3.2).

De kegelmantel wordt in drie lagen met specie gevuld. Elke laag wordt handmatig verdicht door te porren. Vervolgens wordt het bovenvlak glad afgestreaken en wordt de kegelmantel weggehaald door hem loodrecht omhoog te trekken (zie figuur 3.3). De betonspecie zakt dan – afhankelijk van de plasticiteit van de specie – meer of minder in (zie figuur 3.4 b).

De inzakking ten opzichte van de oorspronkelijke hoogte is de zetmaat die wordt opgemeten en afgerond op tientallen millimeters (zie figuur 3.4a).

De bepaling van de zetmaat wordt beschreven in NEN-EN 12350-2.



Figuur 3.2 Heffen van de kegel voor het bepalen van de zetmaat.



Figuur 3.3a Het meten van de zetmaat.



Figuur 3.4b Zetmaat van verschillende consistenties.

3.2.1.3

De schudmaat

De schudmaat is het meest geschikt voor zeer plastische en vloeibare betonspecie.

De schudmaat wordt bepaald op een schudtafel, die bestaat uit een vlakke en vierkante stalen plaat van 700 x 700 mm², bevestigd op een raamwerk. Op deze plaat moet een duidelijke centrering aanwezig zijn door middel van 2 loodrechte lijnen evenwijdig aan de zijkant van de plaat. Het raamwerk is aan één zijde scharnierend bevestigd aan het onderliggende raamwerk van dezelfde afmetingen. De raamwerken moeten zodanig van een aanslag zijn voorzien dat het bovenliggende raamwerk aan de zijde tegenover de scharnieren 40 mm kan worden opgetild.

Op de schudtafel wordt een metalen kegelmantel geplaatst. Ook die heeft de vorm van een afgeknotte kegel, echter met een inwendige boven middellijn van 130 mm, een inwendige onder middellijn van 200 mm en een hoogte van 200 mm. Dit is dus een andere kegelmantel dan die voor het bepalen van de zetmaat wordt gebruikt.

De kegelmantel wordt in twee gelijke lagen met betonspecie gevuld, elke laag wordt handmatig verdicht met een houten staaf. Na het optrekken van de kegelmantel wordt de achterblijvende specie door schokken in beweging gebracht. Dat vindt plaats door het bovenblad van de schudtafel op te tillen tegen de aanslag en dan los te laten (zie figuur 3.5). Dit wordt 14 keer herhaald (totaal dus 15 keer). Vervolgens wordt de afmeting van de ontstane speciekoek opgemeten langs de twee lijnen op het bovenblad van de schudtafel. Het gemiddelde van deze twee meetwaarden is de schudmaat uitgedrukt in mm en afgerond op 10 mm.

$$\text{Schudmaat} = \frac{d_1 + d_2}{2} \text{ mm}$$

Vooraf bij gebruik van plastificeerders verdient het aanbeveling de plasticiteit van de betonspecie te meten met de schudmaat in plaats van met de zetmaat.

De bepaling van de schudmaat wordt beschreven in NEN-EN 12350-5.



Figuur 3.4 Heffen en laten vallen van bovenblad ter bepaling van schudmaat.

Voorbeeld: Als gemeten is $d_1 = 380$ mm en $d_2 = 390$ mm, dan geldt:

$$\text{Schudmaat} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{380 + 390}{2} = 385 \text{ mm, afgerond } 380 \text{ mm.}$$

3.2.1.4

De consistentie volgens NEN 8005

De meting van de plasticiteit is niet zo nauwkeurig. Als bijvoorbeeld meerdere keren de meting van de zetmaat van dezelfde specie wordt bepaald, worden vrijwel nooit dezelfde meetwaarden gevonden. Afwijkingen van 20 tot 30 mm zijn gebruikelijk.

Om die reden heeft men het begrip "consistentieklasse" ingevoerd. Een bepaalde reeks van meetuitkomsten ligt daarbij in één gebied. Dit maakt het bestellen en produceren van betonspecie met een gewenste consistentie eenvoudiger. In tabel 3.1 is een overzicht gegeven.

Tabel 3.1 Indeling in consistentieklassen.

consistentie ↓	consistentie- klasse	verdichtings- maat [-]	consistentie- klasse	zetmaat [mm]	consistentie- klasse	schudmaat [mm]
droog	C0	$\geq 1,46$				
aardvochtig	C1	1,45-1,26	S1	(10-40)	F1	(≤ 340)
half plastisch	C2	(1,25-1,11)	S2	50-90	F2	(350-410)
plastisch	C3	(1,10-1,04)	S3	100-150	F3	(420-480)
zeer plastisch			S4	(160-210)	F4	490-550
vloeibaar			S5	(≥ 220)	F5	560-620
						vloeimaat [mm]
zeer vloeibaar					SF1	550 - 650
zelfverdichtend					SF2	660 - 750
zelfverdichtend					SF3	760 - 850
() betekent niet-maatgevend voor betreffende consistentieklasse.						

Van tevoren moet een bepaalde meetmethode worden afgesproken.

In twijfelgevallen geldt de in tabel 3.1 aangegeven methode met waarden zonder grijze achtergrond:

- voor consistentieklasse C0 en C1 : de verdichtingsmaat.
- voor consistentieklasse S2 en S3 : de zetmaat.
- voor consistentieklasse F4 en F5 : de schudmaat.

De consistentieklassen SF1 t/m SF3 zijn bedoeld voor zeer vloeibare en/of zelfverdichtende betonspecie. Daarover wordt in hoofdstuk 3.4.7 meer informatie opgenomen.

3.2.2

Groene sterkte

Het klinkt misschien vreemd, maar "groene sterkte" is een eigenschap van betonspecie. 'Groen' heeft niets te maken met de kleur van het beton of de betonspecie. Als een droge of aardvochtige betonspecie met voldoende fijn (toeslag)materiaal pas is gemaakt, kan direct na het verdichten de mal of bekisting worden verwijderd. De betonspecie zakt dan niet meer uit. Het water 'lijmt' als het ware de vaste delen aan elkaar. Het lijkt een beetje op het maken van zandkastelen op het strand.

Deze sterkte wordt groene sterkte genoemd. Een sterkte die overigens nooit wordt gemeten. Uit het wel of niet vervormen van het product na het lossen van de mal, blijkt of de betonspecie voldoende groene sterkte heeft.

Vooral in de betonwarenindustrie komt deze productiewijze van beton veel voor. Denk aan betonstenen uit een stenenpers, tegels, stoepranden en rioolbuizen.

3.2.3 Volumieke massa van betonspecie

De volumieke massa van betonspecie is de massa van 1 m³ verdichte betonspecie. Deze wordt aangeduid met het symbool ρ_b . (Spreek uit als: ro b)

De volumieke massa van betonspecie kan worden bepaald met het vat van een luchtmeter (zie hoofdstuk 3.2.4). De inhoud van dit vat wordt nauwkeurig vastgesteld door het eerst leeg en dan vol water te wegen. Het verschil in gewicht is de hoeveelheid water in het vat. 1 kg water heeft een volume van 1 liter. Als het gewichtsverschil 8,00 kg zou zijn, is de inhoud van het vat dus 8,00 liter.

Voor het bepalen van de volumieke massa van een betonspecie wordt het vat gevuld met betonspecie die daarin wordt verdicht. Het met specie gevulde vat wordt gewogen. Door van dat gewicht het gewicht van het lege vat af te trekken wordt het gewicht van de 8,00 liter specie verkregen. Met dat gewicht en het volume wordt de volumieke massa berekend.

Voorbeeld:

Massa vat + verdichte betonspecie	23200	gram
Massa leeg vat	4000	gram
Massa 8 liter verdichte betonspecie	19200	gram
Volumieke massa = 19200 / 8 =	2400	gram/l
=	2400	kg/m ³

3.2.4 Luchtgehalte

Tijdens het verdichten verdwijnt de meeste lucht uit de betonspecie. Toch blijven er luchtbelletjes in de betonspecie, bijvoorbeeld in holten en spleten van het toeslagmateriaal.

Zeer kleine luchtbelletjes blijven ook in de betonspecie. Goed verdicht beton bevat altijd nog zo'n 1% luchtbelletjes, dat wil zeggen 10 liter lucht in 1 m³ verdichte betonspecie. Met een luchtbelvormer kan het luchtgehalte (in de vorm van kleine stabiele luchtbelletjes) worden verhoogd.

Beton dat bestand is tegen vorst, moet een luchtgehalte van 3 tot 5% bezitten. Dit hangt af van de grootste korrelafmeting. Het juiste luchtgehalte in beton is heel belangrijk.

Bij te weinig lucht is beton niet bestand tegen vorst.

Bij te veel lucht in het beton ontstaat er te veel verlies van sterkte.

Een goede en regelmatige controle op het luchtgehalte is daarom zeer belangrijk. Deze controle wordt uitgevoerd met een luchtgehaltemeter (zie figuur 3.5).



Figuur 3.5 Luchtgehaltemeter voor de bepaling van het luchtgehalte van betonspecie.

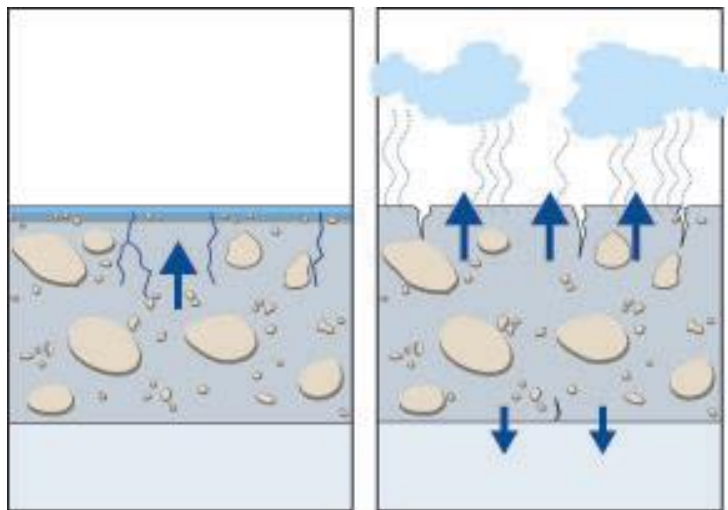
3.2.5 Waterafscheiding / Bleeding

Bleeding of waterafscheiding is een vorm van ontmenging van betonspecie. Water is het lichtste materiaal in een betonspecie. Alle overige componenten zijn zwaarder en zullen dus in het water bezinken. Daardoor komt het water naar boven.

Vergelijk het met een kleine hoeveelheid zand in een fles met water. Door schudden verdelen de zandkorreltjes zich gelijkmatig in het water. Als de fles daarna met rust wordt gelaten, zinkt het zand naar de bodem van de fles en blijken de grofste korrels onderin de fles te liggen. In het bovenste laagje zitten alleen de fijnste korrels van het zand.

Bij het verdichten van betonspecie (vooral door trillen) gebeurt ook zo iets.

Als gevolg van het trillen gaat de specie zich als een vloeistof gedragen. In een waterrijke betonspecie zakken dan de grofste delen (grindkorrels) naar de onderzijde van de betonspecie. De onderzijde wordt dan grindrijker, terwijl de bovenzijde meer fijne delen (cement, zand en water) bevat. Bovenop de betonspecie komt dan vaak een laagje met alleen helder water. (zie figuur 3.6a).



Figuur 3.6a en b - Bleeding en plastische krimp.

Bleeding kan worden voorkomen door een goede afstemming van de korrelopbouw van de toeslagmaterialen, de hoeveelheid fijn materiaal, de hoeveelheid aanmaakwater en de verdichtingsapparatuur. Een bovenlaag met water is na verharding weinig slijtvast. Soms verzamelt zich ook water onder de wapening of onder een grindbiggel. Er vormen zich dan waterlenzen en die verlagen de hechting van het beton aan de wapening en het grind.

Als gevolg van waterafscheiding treedt ook een geringe volumevermindering van de specie op. Hierdoor zal de betonspecie iets nazakken. De betonspecie boven de bovenwapening wordt tegengehouden. Er ontstaan dan scheuren in de vers gestorte betonspecie. Deze scheuren volgen het patroon van de wapening.

Dit zijn de zogenoemde zettingsscheuren. Deze kunnen in de plastische fase van de betonspecie nog worden dichtgeschuurd.

3.2.6

Plastische krimp

Uit verse betonspecie kan ook water verdampen of naar de ondergrond verdwijnen (zie figuur 3.7b). Zo ontstaan krimpverschijnselen. Dit wordt "plastische krimp" genoemd. Het scheurenpatroon lijkt in dat geval op het scheurenpatroon van uitdrogende klei (zie figuur 3.7).

Figuur 3.7 Voorbeeld van plastische krimp-scheuren (in uitgedroogde klei.)



Voor al bij droog weer met veel wind ontstaan al snel krimpscheuren na het afreien. Omdat de betonspecie dan nog plastisch is, kunnen de scheurtjes gemakkelijk worden dichtgeschuurd met bijvoorbeeld een schuurbord.

Als de ondiepe scheurtjes in de bovenste betonspecielaag niet wordt dichtgeschuurd, kunnen ze later aanleiding geven tot diepere scheuren.



Plastische krimpscheuren in beton

3.2.7

Warmteontwikkeling

De reactie tussen cement en water gaat altijd samen met warmteontwikkeling als gevolg van de hydratatiwarmte. Invloed op de grootte van de warmteontwikkeling hebben het cementgehalte, de cementsoort, cementsterkteklasse (zie hoofdstuk 2) en de aanvangstemperatuur van de betonspecie. Als gevolg van deze warmteontwikkeling stijgt de temperatuur van het beton. De grootte van de temperatuurstijging hangt ook af van de afmetingen van het constructiedeel.

Beton geleidt warmte slecht. Hierdoor kunnen grote temperatuurverschillen ontstaan tussen de kern van het beton en de buitenkant. Aan de buitenkant kan de warmte meestal gemakkelijk aan de omgeving worden afgestaan. Te grote temperatuurverschillen heeft scheuren in het beton tot gevolg.

De ontwikkelde warmte kan ook nuttig worden gebruikt. Als een isolerende laag wordt aangebracht op de bekisting en op het onbekiste betonoppervlak, kan een deel van de hydratatiwarmte in het beton worden vastgehouden. Vooral bij lage buitentemperaturen is dat gunstig voor de sterkteontwikkeling.

Bij zeer grote betonconstructies moet de warmteontwikkeling worden beperkt in verband met de kans op scheurvorming. Maatregelen om deze scheurvorming te verminderen zijn:

- toepassing van een cement met een lage hydratatiewarmte;
- beperking van het cementgehalte;
- eventueel afvoeren van een gedeelte van de hydratatiewarmte door koelen van het verhardende beton;
- verlaging van de aanvangstemperatuur van de betonspecie.

3.3 Eigenschappen van beton

In dit hoofdstuk worden de eigenschappen van beton behandeld. Natuurlijk zijn de sterkte en levensduur belangrijke eigenschappen. Maar er zijn nog meer eigenschappen die van belang zijn en aandacht verdienen. In de volgende paragrafen komen de volgende aan de orde:

- druksterkte;
- splijttreksterkte;
- buigtreksterkte;
- volumieke massa;
- slijtvastheid;
- krimp.

3.3.1 Druksterkte

De belangrijkste eigenschap van beton is de druksterkte.

De constructeur rekent bij het ontwerpen van een betonconstructie met een (door hem beoogde) druksterkte. De aannemer bepaalt met metingen of de sterkte wanden of vloeren voldoende zijn om ontkist kunnen worden. Hij bepaalt ook of een betonconstructie al belast of voorgespannen kan worden. Daarom vormt bij de controle van beton de druksterkte een belangrijk criterium.

Het is niet eenvoudig om de druksterkte van een constructie(deel) vast te stellen. Daarom worden tijdens het storten van het beton ook proefstukken in de vorm van kubussen met een riblengte van ongeveer 150 mm gemaakt. Deze kubussen worden gemaakt in mallen waarvan strenge eisen zijn gesteld. Deze mallen moeten gemaakt zijn van een niet-vochtafzuigend materiaal. Ze moeten ook waterdicht zijn, zodat het water niet kan weglekken. En ze moeten zeer vlak en haaks zijn.

De druksterkte wordt bepaald door de kubussen te beproeven op een drukbank (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).

De druksterkte is de kracht (in Newton) die wordt afgelezen op de drukbank als de kubus bezwijkt (zie figuur 3.9), gedeeld door de oppervlakte (in mm²) van de zijde waarop de druk wordt uitgeoefend. De druksterkte wordt dus uitgedrukt in Newton per vierkante millimeter.



Figuur 3.9 - Druksterkte bepalen in een drukbank

Voorbeeld:

Een kubus met een riblengte van 158 mm bezwijkt bij een belasting van 830 kN.
Hoeveel bedraagt de druksterkte?

De bezwijkbelasting is 830 kN = 830 000 N
De oppervlakte is 158 x 158 = 24 964 mm²

De druksterkte bedraagt: $\frac{830.000 \text{ N}}{24.964 \text{ mm}^2} = 33,2 \text{ N/mm}^2$



Figuur 3.8 Afleesvenster drukbank.



Figuur 3.9 De kubus na het bezwijken.

Een alternatief voor kubusvormige proefstukken zijn cilinders met een diameter van 150 mm en een hoogte van 300 mm. In Nederland komt dat nauwelijks voor.

Ook kunnen cilindervormige proefstukken uit de constructie worden geboord waarvan vervolgens de druksterkte wordt gemeten. Dat geeft een goed beeld van de werkelijke sterkte van het beton in de constructie. Het grote nadeel van deze methode is dat er een gat in de constructie wordt gemaakt. En dat is meestal niet gewenst. Deze methode wordt daarom alleen gebruikt als er echt geen andere manier mogelijk is.

3.3.1.1

Sterkteklassen

In hoofdstuk 3.3.1 staat dat de sterktemeting plaatsvindt door het bepalen van de kracht die nodig is om een betonnen kubus kapot te drukken. Hoe sterker het beton, hoe meer kracht daarvoor nodig is.

Helaas zijn de uitkomsten van deze metingen niet erg nauwkeurig. Er zijn veel invloeden die de grootte van de benodigde kracht bepalen. Daarom wordt bijna nooit dezelfde waarde gevonden, zelfs van kubussen die uit eenzelfde lading betonspecie zijn gemaakt. Als de kubussen uit meer ladingen komen, verschillen de gevonden waarden van de druksterkte nog meer. De oorzaak van deze verschillende waarden moet worden gezocht in het maken en bewaren van proefkubussen en in de samenstelling van het beton die in elke kubus toch niet precies hetzelfde is.

De mogelijke spreiding in meetresultaten van de sterkte heeft ertoe geleid dat een betonconstructie wordt ontworpen op een veilige waarde van de druksterkte. Een sterkte waarvan vrijwel zeker is dat het beton die ook daadwerkelijk heeft. Die minimumsterkte wordt de karakteristieke sterkte genoemd.

De vereiste karakteristieke sterkte wordt uitgedrukt in N/mm^2 en geldt voor de sterkte na 28 dagen verharden onder water bij 20°C .

Om te beoordelen of beton ten minste die karakteristieke sterkte heeft, kan niet worden volstaan met het meetresultaat van een enkele kubus. Die ene kubus zou door allerlei oorzaken wel eens een veel hogere waarde kunnen hebben, terwijl het desbetreffende beton eigenlijk wat minder sterk is.

Daarom moet volgens één van de methodes genoemd in NEN-EN 206 de sterkte worden beoordeeld aan de hand van 15 meetresultaten. Met deze 15 kubussen moet worden aangetoond dat de sterkte van het beton groter is dan de vereiste karakteristieke sterkte.

Bij gebruik van de 15 kubussen wordt zowel het gemiddelde van de 15 druksterktes berekend als de "standaardafwijking". De standaardafwijking is een maat voor de onderlinge spreiding in de gemeten sterkten. Met deze twee getallen, de gemiddelde sterkte en de standaardafwijking wordt beoordeeld of het beton de vereiste karakteristieke sterkte bezit.

De vereiste karakteristieke druksterkte voor een constructie kan zowel als kubusdruksterkte dan wel als cilinderdruksterkte worden opgegeven. Dat gebeurt met één notatie: de letter C gevolgd door de karakteristieke cilinderdruksterkte en kubusdruksterkte.

Bijvoorbeeld:

Voor normaal beton en zwaar beton: sterkteklasse C20/25.

Beton in de sterkteklasse C20/25 heeft een karakteristieke kubusdruksterkte van 25 N/mm^2 en een karakteristieke cilinderdruksterkte van 20 N/mm^2 .

Voor lichtbeton wordt nog de letter L toegevoegd.

Voorbeeld voor lichtbeton: sterkteklasse LC30/33.

In principe zou een constructeur elke gewenste karakteristieke sterkte voor een bepaalde constructie kunnen voorschrijven. Dat heeft echter niet zo veel zin. Per slot van rekening is het verschil in 1 of 2 N/mm^2 voor een karakteristieke sterkte niet echt relevant, zeker gezien de mogelijke spreiding in de meetresultaten.

Om die reden zijn sterkteklassen ingevoerd. Tabel 3.2 geeft aan welke keuzes de constructeur kan maken.

Tabel 3.2 Indeling in sterkteklassen volgens NEN-EN 206.

normaal- en zwaarbeton	lichtbeton
C8/10	LC8/9
C12/15	LC12/13
C16/20	LC16/18
C20/25	LC20/22
C25/30	LC25/28
C30/37	LC30/33
C35/45	LC35/38
C40/50	LC40/44
C45/55	LC45/50
C50/60	LC50/55
C55/67	LC55/60
C60/75	LC60/66
C70/85	LC70/77
C80/95	LC80/88
C90/105	
C100/115	

Bij het bestellen van beton moet daarom de vereiste karakteristieke sterkte van het beton worden opgegeven als sterkteklasse, bijvoorbeeld C35/45.

Bij de levering van betonmortel in Nederland zijn de sterkteklassen C20/25 en C30/37 de meest toegepaste sterkteklassen.

3.3.2

Splijttreksterkte

De splijttreksterkte wordt bepaald door het meten van de kracht die nodig is voor het splijten van een kubus in een drukbank. Om de kubus te splijten worden voorafgaande aan het belasten twee smalle triplex latjes tussen de drukplaten van de drukbank en de drukvlakken van de kubus aangebracht. Door de kubus op deze manier te belasten, splijt hij in tweeën (zie

figuur 3.10).

Uit de kracht nodig voor het splijten en de afmeting van de kubus wordt de splijttreksterkte berekend.

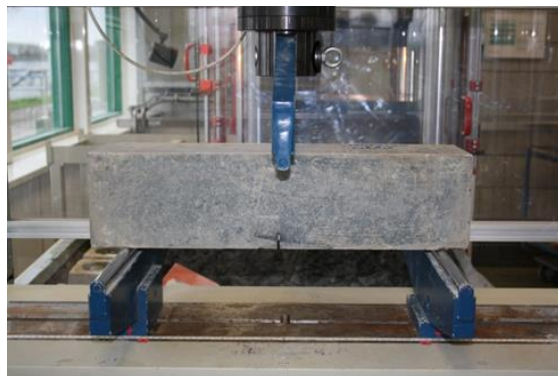


Figuur 3.10 Bepalen slijttreksterkte.

3.3.3

Buigtreksterkte

Om de buigtreksterkte te bepalen, wordt een prismavormig proefstuk of het product op buiging belast door middel van een driepuntsbuigproef. Het proefstuk wordt belast totdat het breekt (zie figuur 3.11).



Deze meting gebeurt vaak bij de kwaliteitscontrole van betonstenen. Deze (ongewapende) stenen moeten bij gebruik in een weg de aldaar ontstane trekkracht onderin de steen als gevolg van belasting door verkeer kunnen opnemen.

Figuur 3.11 Bepalen buigtreksterkte.

3.3.4

Volumieke massa van beton

De volumieke massa van beton wordt gemeten door proefkubussen met bekende afmetingen te wegen. Het volume van de kubus wordt berekend uit de afmetingen: lengte x breedte x hoogte.

Voorbeeld:

Een kubus met een lengte van 150 mm, een breedte van 150 mm en een hoogte van 152 mm weegt 8100 gram = 8,1 kg.

Wat is nu de volumieke massa?

De inhoud van de kubus bedraagt:

$$150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 152 \text{ mm} = 3420\,000 \text{ mm}^3 = 0,00342 \text{ m}^3$$

$$\text{De volumieke massa} = \frac{8,1 \text{ kg}}{0,00342 \text{ m}^3} = 2368 \text{ kg/m}^3$$

De volumieke massa van normaal, goed verdicht grindbeton, ligt meestal tussen 2350 en 2400 kg/m³. Bij onvoldoende verdichting of bij gebruik van een luchtbelvormer ligt de volumieke massa lager.

3.3.5

Slijtvastheid

De hardheid van de toeslagmaterialen en de sterkte en de hechting van de cementsteen aan de toeslagkorrels zijn belangrijk voor de slijtvastheid van beton.

De slijtvastheid kan verder worden vergroot door tijdens het afwerken van de betonspecie een slijtvast materiaal in te strooien. Zo'n slijtvast materiaal is bijvoorbeeld carborundum.

3.3.6 Krimp van beton

Bij betonspecie is het verschijnsel plastische krimp besproken.

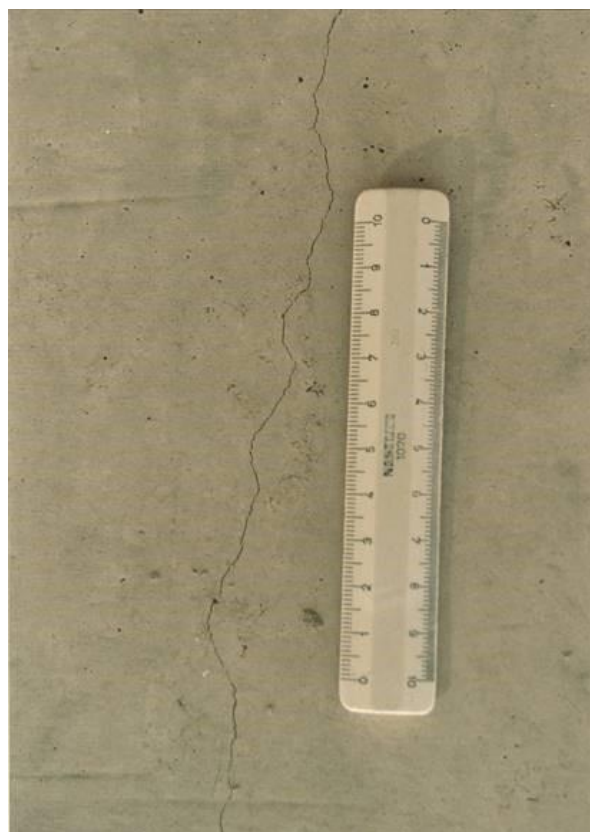
Ook beton krimpt in min of meerdere mate als gevolg van uittrekken en temperatuurverschillen. In de volgende paragrafen wordt daarom verder ingegaan op:

- uittrekkrimp;
- temperatuurkrimp.

3.3.6.1 Uittrekkrimp

Bij blootstelling van beton aan droge lucht verdampt water uit de poriën. Deze poriën zijn een soort opslagplaats voor het aanmaakwater. Dat aanmaakwater zit in elke betonspecie. Het is immers nodig voor de verwerkbaarheid van de betonspecie en het verharding van het cement.

Als water uit de poriën verdampt, vernauwen de poriën zich een beetje. Hierdoor ontstaat een volumevermindering. Die volumevermindering wordt uittrekkrimp genoemd. (Het is dus eigenlijk hetzelfde fenomeen als dat wat bij plastische krimp optreedt). Die krimp zorgt dat er trekspanningen in het betonoppervlak ontstaan. Bij het nog jonge beton ontstaan scheuren als deze trekspanningen groter zijn dan de nog lage treksterkte. Deze scheuren zijn groter en dieper dan plastische kripscheuren. Ze volgen meestal een bepaald patroon, dat wil zeggen ze lopen vaak min of meer evenwijdig op regelmatige afstanden (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). En in tegenstelling tot plastische kripscheuren kunnen de scheuren door uittrekkrimp niet meer worden gedicht.



De gevoeligheid voor uittrekkrimp van beton vermindert door verlaging van het watergehalte van de betonspecie. Dat heeft natuurlijk gevolgen voor de eigenschappen van betonspecie. Het gebruik van een plastificeerder kan uitkomst bieden. Soms moet ook de methode van verdichten worden aangepast om de specie met minder water (en dus met een lagere consistentie) te kunnen verdichten.

Een goede nabehandeling is ook hier van essentieel belang. Beton dat niet uittrekt, krimpt ook niet.

Figuur 3.12- Scheur door uittrekkrimp, die is opgetreden door onvoldoende nabehandeling waardoor water uit het oppervlak is verdampt.

3.3.6.2 Temperatuurkrimp

Zoals bij elk ander materiaal, beïnvloedt de temperatuur ook bij beton het volume. Als beton warmer wordt zet het uit, als het afkoelt krimpt het.

Door verschil in temperatuurveranderingen van een constructiedeel kan (vooral jong) beton scheuren. Om dit te voorkomen, moet ervoor worden gezorgd dat er geen

temperatuurverschillen in het jonge beton optreden. Dat kan door middel van thermische isolatie van het beton. In hoofdstuk 2.2.4.1 is een en ander al aan de orde geweest.

Ook kan een constructie zo worden ontworpen, dat deze vrij kan bewegen (uitzetten en krimpen). Dat wordt bereikt door het aanbrengen van dilatatievoegen.

Voor al bij het gezamenlijk optreden van temperatuurkrimp en uitdrogingskrimp is de kans groot dat de inwendige spanning groter is dan de treksterkte. Hierdoor scheurt het beton.

Tabel 3.3 Overzicht scheurvorming.

	betonspecie		beton	
	plastische krimp	zettingsscheuren	uitdrogingskrimp	temperatuurkrimp
uiterlijk	breed, ondiep, grillig	patroon wapening	smal, diep, evenwijdig	smal, diep, evenwijdig
oorzaak	uitdroging	bleeding, nazakken	uitdroging	temperatuur
voorkomen	nabehandeling, minder aanmaakwater, kunststof vezels toevoegen	samenhang betonspecie, minder aanmaakwater, snellere sterkteontwikkeling	nabehandeling, minder aanmaakwater	isolatie, dilateren
herstel	dichtschuren	naverdichten, dichtschuren	injecteren	injecteren

3.4 Bijzondere betonsoorten

In de voorgaande paragrafen zijn eigenschappen van beton aan de orde gekomen die in meer of mindere mate voor elk beton van toepassing zijn. In sommige gevallen wordt echter een specifieke eigenschap van zodanig belang gevonden dat het beton en/of de betonspecie onder de naam van die eigenschap wordt geleverd. In de volgende paragrafen wordt daaraan aandacht geschonken. Het betreft:

- vloeistofdicht beton;
- vorstbestand en dooizoutbestand beton;
- colloïdaal beton;
- vezelbeton;
- hogesterktebeton;
- attestbeton;
- zelfverdichtend beton;
- lichtbeton.

3.4.1 Vloeistofdichtbeton

De Wet op de bodemverontreiniging verlangt daar waar nodig vloeistofdichte constructies ter voorkoming van verontreiniging van de bodem. Dat geldt ook bij de toepassing van beton. Lekkende vloeistoffen moeten opgevangen en afgevoerd worden. Het materiaal beton maakt deel uit van de totale constructie en moet daarom ook vloeistofdicht zijn. Dit geldt ook voor andere onderdelen van de constructie, zoals voegen, doorvoeringen, enz.

Voorbeelden van toepassing van vloeistofdichte constructies zijn:

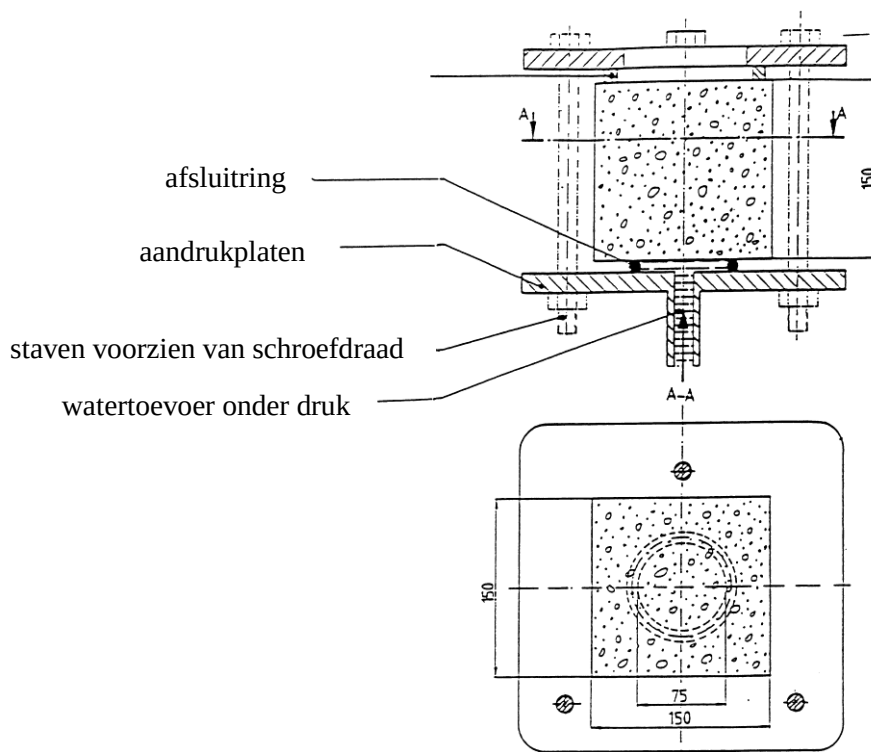
- bestratingen bij tankstations;
- vloeren in garagebedrijven;
- vloergedeelten bij autosloperijen;
- constructies in de tuinbouw;
- mestopslagsilo's;
- afvalwaterzuiveringen;
- platforms bij luchthavens.

Wanneer is beton vloeistofdicht? Beton is vloeistofdicht als een vloeistof maximaal 50 mm in dit beton kan indringen bij een genormaliseerde proef. Vloeistofdicht is dus wat anders dan waterdicht. Afhankelijk van de viscositeit van de vloeistof is de indringing groter of kleiner dan die van water.

Vloeistofdichtbeton wordt verkregen door toepassing van beton met een voldoende lage water-cementfactor en een zodanige korrelopbouw van de toeslagmaterialen dat zo min mogelijk ruimte tussen de korreltjes overblijft. Ook is de hoeveelheid fijne delen in het beton zeer belangrijk. Hiervoor worden vaak vulstoffen toegevoegd, zoals poederkoolvliegias. De waterindringingsproef (zie

figuur 3.13) is een manier om de vloeistofdichtheid te bepalen.

De proef wordt uitgevoerd op een kubus van het te onderzoeken beton. Gedurende enige tijd wordt water onder druk in aanraking gebracht met het oppervlak van de kubus. Vervolgens wordt de kubus gespleten en wordt beoordeeld tot hoever het water in het beton is gedrongen.



Figuur 3.13 Bepaling vloeistofdichtheid.



Figuur 3.14 Apparatuur voor de bepaling van de vloeistofdichtheid.

3.4.2 Vorstbestand en dooizoutbestand beton

Het water dat zich bevindt in de holle ruimten en poriën in het beton kan bevriezen. Als water bevroert, zet het uit. Als beton niet sterk genoeg is of het uitzettende water niet weg kan, wordt het beton daardoor van binnenuit kapot gedrukt. Vorst en dooizouten samen zorgen voor nog grotere temperatuurverschillen. Hierdoor wordt dit effect verder versterkt. Met een lage water-cementfactor ($< 0,45$) worden de poriën in het beton erg klein. Zo klein dat het beton bestand is tegen vorst en vorst in combinatie met dooizout. Dit kan ook door de toevoeging van een luchtbelvormer. Dan ontstaan zeer kleine fijnverdeelde luchtbelletjes in het beton. Deze luchtbelletjes werken als expansieruimten voor het door bevroering uitzettend water.

3.4.3 Colloïdaal beton

Soms is het nodig om beton onder water te storten, bijvoorbeeld voor een vloer in een met water gevulde bouwkuip of voor het vastleggen van waterbouwstenen van een dijkbekleding. Als dat met een normale betonspecie zou gebeuren, is de kans groot dat de specie door het langsstromend water "uit elkaar wordt gespeld". Eigenlijk is dit een zeer ernstige vorm van ontmenging.

Door toevoeging van een speciale hulpstof wordt een zodanige samenhang van de betonspecie verkregen dat er nauwelijks uitspoeling optreedt, zelfs bij een korte vrije val van de betonspecie in water. Een dergelijke betonspecie wordt "colloïdaal beton" genoemd. Eigenlijk een onjuiste naam. Het zou eigenlijk colloïdale betonspecie moeten worden genoemd. Na verharding is er geen verschil in beton gemaakt van colloïdale betonspecie en normale betonspecie.

3.4.4 Vezelbeton

Al in hoofdstuk 1 is uitgelegd dat beton erg goed drukkracht kan opnemen, maar niet zo veel trekkracht. Daarom wordt beton met staal gewapend op die plaatsen waar trekspanningen aanwezig kunnen zijn.

Door het toevoegen van staal- en/of kunststofvezels aan beton kan de treksterkte enigszins worden vergroot. Dat heeft invloed op een aantal eigenschappen van de specie en/of het beton.

3.4.4.1 Staalvezelbeton

Staalvezelbeton is normaal beton voor constructieve toepassing waaraan ten minste 30 kg/m³ staalvezel is toegevoegd. Door toevoeging van staalvezels aan betonspecie wordt een beton verkregen met een hogere buigtreksterkte. Toepassingen zijn bedrijfs- en monolietvloeren, betonwegen, betonproducten (o.a. betonbuizen), spuitbeton.

Nieuwe ontwikkelingen in de regelgeving maken het mogelijk om uitsluitend staalvezels als wapening toe te passen in vloeren gefundeerd op palen, mits hieronder geen (kruip)ruimte aanwezig is.



Staalvezels

3.4.4.2 Kunststofvezelbeton

Om plastische krimp in betonspecie te beperken, worden in veel situaties kunststof (polypropyleen) vezels aan betonspecie toegevoegd.

Toepassing van deze vezels veroorzaakt een lichte teruggang in de zetmaat en schudmaat. De verwerkbaarheid wordt nagenoeg niet beïnvloed.

Toepassingen zijn: betonproductenindustrie, vloeistofdichte verhardingen, reparatiemortels.

3.4.5 Hogesterktebeton

Hogesterktebeton is een betonsoort die zijn naam ontleent aan één eigenschap, namelijk een zeer hoge druksterkte. De naam hogesterktebeton wordt gebruikt voor sterkteklassen hoger dan C55/67 en LC60/66. Andere opvallende eigenschappen zijn de lange levensduur en de hoge vloeibaarheid.

3.4.5.1 Druksterkte

Het bereikbare sterkteniveau is de opvallendste eigenschap van hogesterktebeton. Een kwaliteit C90/105 heeft bijvoorbeeld al na 24 uur een sterkte van meer dan 40 N/mm². Ter vergelijking: voor een C30/37 duurt dat ongeveer 28 dagen.

De gemiddelde druksterkte van een C90/105 na 28 dagen verharden ligt op circa 115 N/mm². Dat is een voor beton bijzonder hoge waarde.

Hogesterktebeton wordt vooral gebruikt daar waar een hoge druksterkte en snelle sterkteontwikkeling echt nodig zijn, bijvoorbeeld in de betonelementenindustrie.

Door het bijzonder hoge sterkteniveau kan de doorsnede van het constructiedeel kleiner zijn. Daardoor kan er slanker en lichter worden gebouwd.

3.4.5.2

Levensduur

De zeer lange levensduur van hogesterktebeton komt door de lage water-cementfactor ($< 0,45$) en het gebruik van een zeer fijne vulstof zoals bijvoorbeeld silicafume. Hierdoor ontstaat een buitengewoon dicht beton.

Hogesterktebeton is daarom vooral ook geschikt als chemische bestendigheid en slijtweerstand belangrijk zijn, bijvoorbeeld bij:

- fundaties voor offshore constructies;
- chemicaliën- en voorraadtanks;
- spuitplaatsen voor voertuigen.

Natuurlijk geldt ook hier dat deze prestatie niet alleen komt door de bijzondere samenstelling. Een goede verwerking en een goede nabehandeling zijn ook heel belangrijk.

3.4.5.3

Verwerkbaarheid

Door het gebruik van silicafume ontstaat een zeer stabiele betonspecie. Met behulp van plastificeerders ontstaat een zeer vloeibare betonspecie. De betonspecie is goed te transporteren. De benodigde verdichting is gering en er treedt bijna geen tot geen waterafscheiding (bleeding) op. Dit kan wel een nadeel zijn bij het afwerken (schuren). De consistentie is vaak een schudmaat van 600 mm of meer. Ondanks de hoge plasticiteit leidt dit niet tot ontmenging.

3.4.5.4

Aandachtspunten

Voor het maken van hogesterktebeton is een speciale doseer- en mengprocedure nodig. Hierdoor wordt de capaciteit van de meeste betoncentrales wel veel kleiner. Bij de verharding van betonspecie van hogesterktebeton komt veel warmte vrij. Dit komt door het hoge cementgehalte. Het gebruik van hogesterktebeton heeft ook geleid tot de ontwikkeling van nieuwe verdichtingsarme betonsoorten.

3.4.6

Attestbeton

NEN 8005 stelt eisen aan het minimum cementgehalte en de maximum water-cementfactor van beton. Als in beton ook vulstoffen zoals poederkoolvliegias of gemalen gegraneerde hoogovenslak wordt toegepast, blijkt dat door deze norm maar ten dele rekening wordt gehouden met de mogelijke bindmiddelfunctie van deze materialen. Er worden veilige waarden aangehouden die in alle gevallen gelden.

Om toch de volledige mogelijkheden van deze vulstoffen te kunnen benutten, moet door middel van onderzoek worden aangetoond dat een gekozen betonsamenstelling met deze vulstoffen gelijkwaardig presteert aan beton zonder deze vulstoffen. Uiteraard is het cementgehalte van het te onderzoeken beton in dat geval (veel) lager dan de norm zou toestaan. De resultaten van het onderzoek worden vastgelegd in een document dat de naam "attest" draagt. Daarom wordt beton dat voldoet aan de samenstellingseisen in het attest "attestbeton" genoemd.

Attestbeton kan op vergelijkbare wijze worden gebruikt als beton overeenkomstig de eisen in NEN-EN 206 en NEN 8005.

3.4.7

Zelfverdichtend beton

In tegenstelling tot wat de naam suggereert, dankt zelfverdichtend beton zijn naam eigenlijk aan de eigenschappen van de specie. Die is zeer vloeibaar en heeft weinig of geen verdichting nodig bij het verwerken. In Nederland spreekt men ook wel van verdichtingsarm beton of hoogvloeibaar beton. Eigenlijk zou sprake moeten zijn van zelfverdichtende betonspecie.

Zelfverdichtend beton is een vervolg op de ontwikkeling van de bijzondere vloeieigenschappen van hogesterktebeton.

Wanneer geen groene sterkte vereist is, wordt in de betonproductenindustrie meestal zelfverdichtende betonspecie gebruikt.

In die industrie zijn de verbeterde arbeidsomstandigheden, het voldoen aan milieueisen (minder geluidsoverlast als gevolg van het verdichten) en het besparen op verdichtingsenergie belangrijke drijfveren om over te gaan op zelfverdichtende betonspecie. Ook op de bouwplaats wordt in toenemende mate bij het verwerken van betonspecie gebruik gemaakt van zelfverdichtende betonspecie. De belangrijkste reden hiervoor is dat het werk met steeds minder (deskundige) mankracht gedaan moet worden.

3.4.7.1

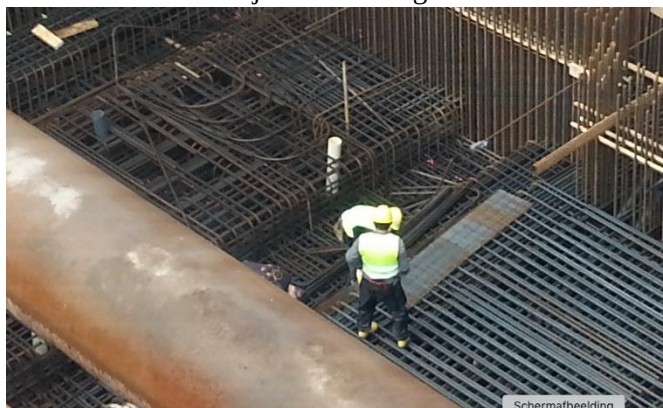
Verwerkbaarheid

De belangrijkste eigenschap van zelfverdichtend beton is dat het in de plastische fase erg vloeibaar is. Verdichten van de specie is niet of nauwelijks meer nodig.

Ook kunnen ingewikkelde bekistingsvormen of mallen worden gevuld zonder luchtinsluiting. Daarnaast geeft het goed omhullen van dichte wapeningsnetten met betonspecie veel minder problemen.

Specie maken met een hoge vloeibaarheid is niet moeilijk. Maar deze betonspecie maken zonder dat ontmenging optreedt tijdens het mengen, het transport en het storten, vereist een andere aanpak.

Door het toevoegen van fijne vulstoffen (steenmeel) en speciale hulpstoffen kan een stabiele en hoogvloeibare betonspecie worden gemaakt.



En daar moet ook nog betonspecie tussen.

Voor de beoordeling van het zelfverdichtende gedrag van zelfverdichtende betonspecie zijn drie meetmethoden beschikbaar die elk een ander aspect beoordelen.

Het betreft:

- de vloeimaat voor het bepalen van de vloeibaarheid;
- de trechtertijd voor het bepalen van de viscositeit;
- de J-ring test om te beoordelen hoe de specie zich gedraagt bij aanwezigheid van wapening;
- de zeefsegregatietest voor het meten van de stabiliteit van de specie.

In de hiernavolgende paragrafen wordt dieper ingegaan op deze metingen.

De vloeimaat

Met de vloeimaat wordt de vloeibaarheid van de specie geme-
ten. De meting lijkt een beetje op die van de schudmaat,
omdat gebruik gemaakt wordt van een kegelmantel die op een
vlakke ondergrond staat.

Er zijn echter nogal wat verschillen:

- de kegelmantel is die welke wordt gebruikt voor de zet-
maat;
- de specie in de kegel wordt niet verdicht;
- nadat de kegelmantel is opgetrokken wordt niet "ge-
schokt".

De vloeimaat is het gemiddelde van de in twee richtingen ge-
meten diameter van de ontstane speciekoek. Zie figuur 3.17

De gemeten waarde vormt de basis voor een indeling in vloe-
maatklassen. (Zie tabel 3.4)

Tabel 3.4 Klassen voor de vloeimaat

klasse	Vloeimaat (Slump-flow) in mm (grenswaarden voor individuele charges)
SF 1	550 – 650
SF 2	660 – 750
SF 3	750 - 850
Deze classificatie is niet van toepassing voor betonspecie met een grootste korrelafmeting boven 40 mm	



Figuur 3.17 - bepaling van de vloeimaat

De uitvoering van de vloeimaat wordt beschreven in NEN-EN 12350-8

De trechtertijd

Door middel van de trechtertijd wordt een indruk gekregen
van de viscositeit van de specie. Een lange trechtertijd be-
tekent een stroperige betonspecie, dat wil zeggen: de specie
vloeit wel, maar heel traag. Een korte trechtertijd betekent
dus minder stroperig. Deze specie stroomt dus wat sneller.

De uitvoering van de meting gaat als volgt:

Een V-vormige trechter (zie figuur 3.18) van voorgeschre-
ven afmetingen wordt gevuld met specie. Vervolgens wordt
gemeten hoe lang deze betonspecie erover doet om uit de
uitstroomopening te stromen. Deze tijd is de trechtertijd.
De gemeten waarden vormen de basis voor een indeling in
viscositeitklassen. (Zie tabel 3.6)

Het watergehalte bepaalt in belangrijke mate de viscositeit.
Een hoger watergehalte maakt de betonspecie minder stro-
perig met als gevolg een kortere trechtertijd.



Figuur 3.15 Meting met behulp van de V-trechter

De uitvoering van de meting van de trechtertijd wordt beschreven in NEN-EN 12350-9

Tabel 3.6 Klassen voor viscositeit gemeten met de V-trechter

klasse	V-trechter uitvloeitijd in seconden (grenswaarden voor individuele charges)
VF 1	< 9,0
VF 2	9,0 - 25,0
Deze classificatie is niet van toepassing voor betonspecie met een grootste korrelafmeting boven 22,4 mm	

Een alternatieve methode voor het bepalen van viscositeit is meten van de t_{500} . Dit is de tijd die de specie nodig heeft om tijdens bepalen van de vloeimaat een vloeï van 500 mm te bereiken. Ook hier is een indeling in viscositeitklassen. (Zie tabel 3.7)

Tabel 3.7 Klassen voor viscositeit op basis van de t_{500} -tijd

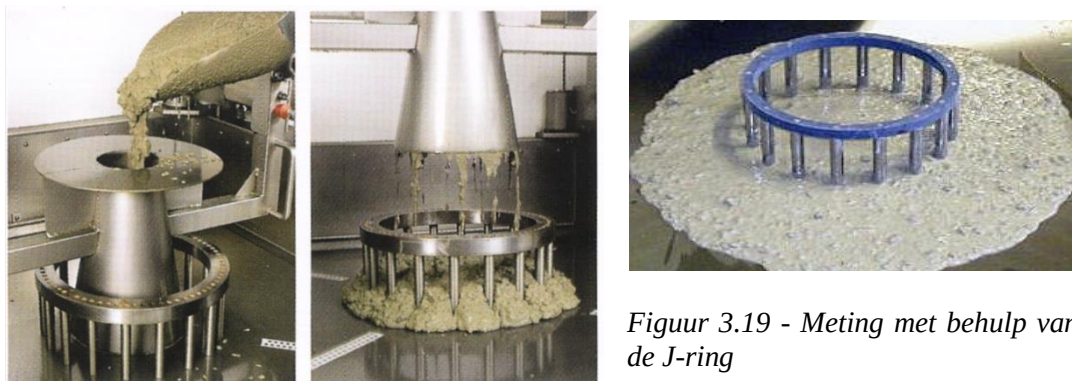
klasse	t_{500} -tijd in seconden (grenswaarden voor individuele charges)
VS 1	< 2,0
VS 2	≥ 2,0
Deze classificatie is niet van toepassing voor betonspecie met een grootste korrelafmeting boven 40 mm	

De J-ring test (of blokkeringsmaat)

Met de J-ring test (ook de blokkeringsmaat genoemd) wordt het gedrag van de betonspecie in een bekisting met wapening beoordeeld. Nagegaan wordt in hoeverre de wapening het vloeien van de specie blokkeert. Om die reden wordt de uitkomst van deze test de "blokkeringsmaat" genoemd.

De meting wordt met behulp van de kegelmantel voor het bepalen van de zetmaat op een vlakke, niet-vochttopzuigende ondergrond uitgevoerd. Om de voet van de kegelmantel wordt de J-ring geplaatst (zie figuur 3.19). Na het optillen van de kegelmantel stroomt de specie tussen de spijlen van de J-ring. De blokkeringsmaat wordt berekend uit het verschil van de speciehoogte voor en na de spijlen.

De uitvoering van de meting van de blokkeringsmaat wordt beschreven in NEN-EN 12350-12.



Figuur 3.19 - Meting met behulp van de J-ring

De gemeten waarde vormt de basis voor een indeling in blokkeringsmaat. (Zie tabel 3.8)

Tabel 3.8 Klassen voor de blokkeringsmaat: J-ring

klasse	J-ring stap in mm (grenswaarden voor individuele charges)
PJ 1	≤ 10 (J-ring met 12 staven)
PJ 2	≤ 10 (J-ring met 16 staven)
Deze classificatie is niet van toepassing voor betonspecie met een grootste korrelafmeting boven 40 mm	

De zeefsegregatietest

Met de zeefsegregatietest wordt de stabiliteit van de specie tegen ontmengen beoordeeld. De specie wordt daartoe op een zeef met openingen van 5 mm gebracht. Twee minuten daarna wordt bepaald hoeveel van de specie door de zeef is gegaan. Hoe meer materiaal door de zeef gaat, des te meer ontmengt de specie.

De uitvoering van de meting van de zeefsegregatietest wordt beschreven in NEN-EN 12350-11.

De gemeten waarde vormt de basis voor een indeling in segregatieklassen. (Zie tabel 3.9)

Tabel 3.9 - Klassen voor de stabiliteit tegen ontmenging

klasse	Zeefdoorval in %
SR 1	≤ 20
SR 2	≤ 15
Deze classificatie is niet van toepassing voor betonspecie met een grootste korrelafmeting boven 40 mm	

3.4.8

Lichtbeton

Beton met een ovendroge volumieke massa van niet minder dan 800 kg/m³ en niet meer dan 2000 kg/m³ behoort tot de betonsoort "lichtbeton". (Ovendroog: De meting van de volumieke massa vindt plaats met proefstukken die eerst in een oven gedroogd worden zodat al het water uit de poriën van het toeslagmateriaal is verdwenen).

Lichtbeton wordt gemaakt door het gebruik van licht toeslagmateriaal ter vervanging van een deel of al het normale toeslagmateriaal zoals zand en grind.

Op basis van de volumieke massa van het lichtbeton wordt het in een bepaalde gewichtsklasse ingedeeld. Een D1,4 is een lichtbeton met een volumieke massa tussen 1200 en 1400 kg/m³ (Zie tabel 3.10)

Tabel 3.10 - Indeling naar volumieke massa van lichtbeton

	klasse voor de volumieke massa					
	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
ondergrens	800	1000	1200	1400	1600	1800
bovengrens	1000	1200	1400	1600	1800	2000

De volumieke massa van lichtbeton mag ook door middel van een richtwaarde worden voorgeschreven.

3.4.9 **Schuimbeton**

Schuimbeton is een verhard mengsel van cement, fijn zand, water en een grote hoeveelheid luchtporiën. De poriën worden verkregen door een schuimmiddel of door polystyreenbolletjes. Er wordt dus geen grind toegepast. De verwerkbaarheid wordt vastgesteld door de vloeimaat. De volumieke massa ligt tussen 400 - 1600 kg/m³. Schuimbeton heeft een relatief groot isolerend vermogen.

Toepassingen zijn o.a. dakafschotlagen, lichte wegfunderingen, kruipruimtevloeren, vullingen van buiten gebruik gestelde rioleringen.

3.4.10 **Beton in agressief milieu**

Er zijn bepaalde chemische stoffen die beton aantasten. De belangrijkste daarvan zijn zuren. Maar, zoals besproken in hoofdstuk 2, ook sulfaten kunnen schade aanrichten.

Deze stoffen komen voor in zeewater, grondwater, afvalwater, rookgassen, enz. Door het beton zo dicht mogelijk te maken (door een zo laag mogelijke water-cementfactor toe te passen), wordt voorkomen dat deze aantastende (agressieve) stoffen het beton binnendringen. Door de keuze van een cementsoort kan beton ook beter bestand worden gemaakt tegen de invloeden van de agressieve omgeving. In bijzondere gevallen moet het betonoppervlak voorzien worden van een beschermende coating.

VRAAGSTUKKEN

1. Wat wordt verstaan onder een homogeen mengsel?
2. Aan welke eigenschappen voldoet een homogeen mengsel?
3. Wat verstaat men onder de verwerkbaarheid?
4. Van welke samenstellingsfactoren is de verwerkbaarheid van betonspecie afhankelijk?
5. Welke factoren bij de verwerking van de betonspecie bepalen de vereiste verwerkbaarheid?
6. Noem drie manieren om de plasticiteit van betonspecie te meten.
7. Beschrijf het bepalen van de zetmaat.
8. Wat is de zetmaat wanneer de hoogte van de ingezakte betonspeciekegel 140 mm bedraagt?
9. Beschrijf het bepalen van de schudmaat.
10. Beschrijf het bepalen van de verdichtingsmaat.
11. Hoe worden de consistentieklassen aangegeven en hoe worden ze omschreven?
12. Welke methode van meting van plasticiteit van betonspecie geldt in geval van twijfel bij consistentieklasse 2?
13. Wat verstaat men onder groene sterkte?
14. Wat wordt er onder de volumieke massa van betonspecie verstaan?
15. Waarop moet men letten bij het gebruik van een luchtbelvormer?
16. Wat is bleeding?
17. Welke maatregelen zijn er om bleeding te voorkomen?
18. Wat zijn waterlenzen?
19. Hoe noemt men de scheuren in beton die het patroon van de wapening volgen? Hoe ontstaan deze scheuren?
20. Wanneer en waardoor kan plastische krimp ontstaan?
21. Wanneer en hoe kan men plastische krimpscheuren nog dichten?
22. Wat verstaat men onder hydratatiewarmte en hoe kan deze warmte worden benut?
23. Hoe bepaalt men de kubusdruksterkte?

24. Wat verstaat men onder karakteristieke kubusdruksterkte? Onder welke omstandigheden moet deze worden bepaald?
25. Wat verstaat men onder de standaardafwijking?
26. Wat verstaat men onder een C 28/35?
27. Welke proef gebruikt men vaak bij de kwaliteitscontrole van betonstenen?
28. Wanneer is beton vloeistofdicht? Welke eisen moet men aan het betonmengsel stellen?
29. Met welke proef bepaalt men de vloeistofdichtheid van beton?
30. Hoe maakt men beton dat zo goed mogelijk bestand is tegen vorst?
31. Hoe maakt men beton dat zo goed mogelijk bestand is tegen aantasting door chemische stoffen?
32. Hoe maakt men beton met een grote mate van slijtvastheid?
33. Welke zijn de twee belangrijkste soorten van krimp die bij beton optreden?
34. Hoe kan de uitdrogingskrimp worden verminderd?
35. Welke maatregelen kan men treffen om scheurvorming door temperatuurkrimp te verminderen?
36. Welke scheuren kunnen er in beton optreden? Hoe zien ze eruit? En wat is de oorzaak?
37. Wanneer spreekt men over hogesterktebeton?
38. Welke speciale grondstof wordt voor hogesterktebeton gebruikt? Wat doet het in beton?

VERKLARENDE WOORDENLIJST

attestbeton

beton dat met een certificaat geleverd wordt waarvan door middel van een geschiktheids-onderzoek is aangetoond dat het voor een bepaalde toepassing geschikt is

bekisting

totale hulpconstructie die nodig is om een betonconstructie te realiseren.

bleeding

waterafscheiding van betonspecie na het verdichten.

buigtreksterkte

bestandheid van beton tegen buigtrekkrachten.

carborundum

slijtvast materiaal dat tijdens het afwerken wordt ingestrooid.

colloïdaal beton

beton, waarvan aan de specie een hulpstof is toegevoegd die het ontmengen tijdens het storten tegengaat en het mogelijk maakt beton met een open structuur te vervaardigen.

consistentie

de vervormbaarheid van betonspecie aangeduid door middel van een bepaalde meetmethode.

consistentieklasse

indeling van de consistentie.

continue korrelopbouw

korrelverdeling van het toeslagmateriaal waarbij alle fracties in meer of mindere mate aanwezig zijn.

druksterkte

bestandheid van beton tegen drukkrachten.

fijne delen

fijn materiaal $< 250 \mu\text{m}$ in beton(specie) (cement, fijn zand, vulstoffen en kleine, fijnverdeelde luchtbelletjes).

groene sterkte

een zodanige samenhang van betonspecie, dat de gemaakte producten direct na het verdichten zonder mal kunnen blijven staan of kunnen worden getransporteerd.

hogesterktebeton

beton met een karakteristieke druksterkte van meer dan $C 50/60 \text{ N/mm}^2$ bij normaal of zwaar beton en $LC 50/55 \text{ N/mm}^2$ bij lichtbeton

jong beton

beton aan het begin van de sterkteontwikkeling.

karacteristieke druksterkte

minimaal vereiste druksterkte na 28 dagen.

krimp

volumeafname van betonspecie of beton.

luchtgehalte

de hoeveelheid lucht die na verdichting overblijft in het mengsel.

minimumsterkte

zie karakteristieke druksterkte.

plasticiteit

vloeibaarheidsgraad, mate van vloeibaarheid.

plastische krimp

volumeafname door verdamping van water uit betonspecie.

schudmaat

maat waarmee de consistentieklasse van betonspecie wordt bepaald en waarmee de verwerkbaarheid van de betonspecie wordt aangegeven.

schuimbeton

beton zonder grind met een grote hoeveelheid luchtporiën, die de sterkte en de warmtegeleidingcoëfficiënt verlagen

splijttreksterkte

bestandheid van beton tegen splijttrekkkracht.

sterkteklasse beton

indeling van beton op basis van de karakteristieke cilinder- of kubusdruksterkte.

sterkteontwikkeling

in de tijd toenemende sterkte van beton.

stroperigheid

samenhang van een vloeistof.

temperatuurkrimp

volumeafname door temperatuurverlaging.

transporteerbaarheid

mate waarin een product te vervoeren is zonder in kwaliteit achteruit te gaan.

transportmiddelen

apparatuur om beton mee te verplaatsen.

uitdrogingskrimp

volumeafname door verdamping van water uit beton.

verdichtingsmaat

maat waarmee de consistentieklasse van betonspecie wordt bepaald en waarmee de verwerkbaarheid van de betonspecie wordt aangegeven.

verwerkbaarheid

aanduiding voor de eigenschappen van betonspecie bij het mengen, transporteren, verdichten en afwerken.

vezelbeton

beton waarvan aan de specie vezels zijn toegevoegd, die de buigtreksterkte van het beton verhogen en het ontstaan van krimp-scheuren verkleinen

vloeistofdichtbeton

beton, waaraan genormeerde eisen zijn gesteld ten aanzien van de doorlatendheid van beton voor vloeistoffen

volumieke massa

massa per volume.

vorst- en dooizoutbestandheid

de mate waarin beton bestand is tegen veelvuldig bevriezen en ontdooien, eventueel in combinatie met dooizouten.

waterlenzen

afgescheiden water in betonspecie dat onder wapening of grindbiggel blijft zitten.

zelfverdichtend beton

beton vervaardigd van betonspecie met hoge vloeibaarheid, waardoor verdichten tot een minimum beperkt blijft

zetmaat

maat waarmee de consistentieklasse van betonspecie wordt bepaald en waarmee de verwerkbaarheid van de betonspecie wordt aangegeven.

zettingsscheuren / sedimentatiescheuren

scheuren die ontstaan boven de wapening door verhinderde nazakking van de betonspecie.

4

SAMENSTELLEN VAN BETON

INHOUDSOPGAVE	Pag.
4.1 Grondslagen voor het samenstellen van beton	4-3
4.2 Gereedschappen.....	4-7
4.2.1 Verwerkbaarheid	4-7
4.2.2 Groene sterkte.....	4-7
4.2.3 Verwerkingstijd	4-8
4.2.4 Sterkte.....	4-8
4.2.4.1 Invloed van het toeslagmateriaal op de sterkte van beton	4-8
4.2.4.2 Invloed van de sterkte van de cementsteen op de sterkte van beton.....	4-9
4.2.5 Levensduur van beton	4-11
4.2.6 Volumieke massa van beton.....	4-12
4.3 De mengselberekening	4-12
Vraagstukken	4-14
Verklarende woordenlijst.....	4-16

4.1 Grondslagen voor het samenstellen van beton

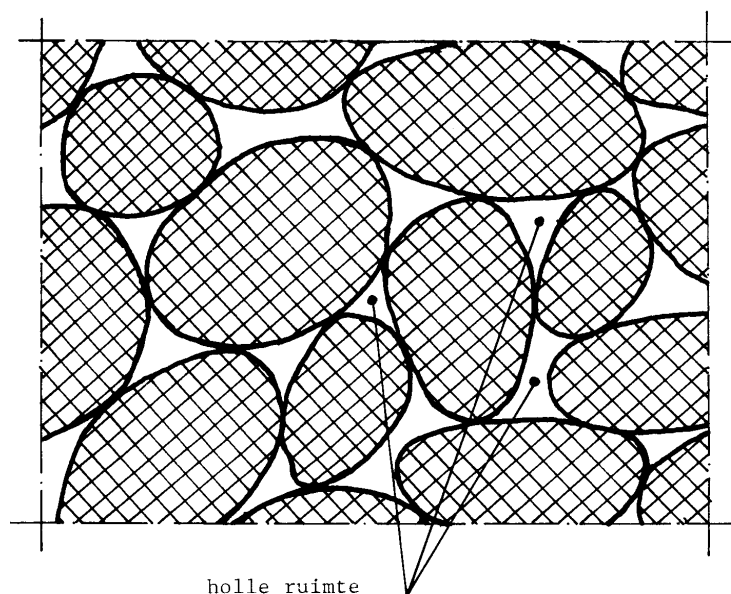
Met de grondstoffen water, cement, toeslagmaterialen en hulpstoffen zoals besproken in hoofdstuk 2 wordt beton gemaakt. Dat beton kan de verschillende eigenschappen zoals besproken in hoofdstuk 3 bezitten. Maar dat gaat niet zomaar.

De onderlinge verhouding en de eigenschappen van deze grondstoffen bepalen de eigenschappen van het beton.

Elk beton bestaat uit korrels van een steenachtig materiaal. De cementsteen houdt deze korrels bij elkaar.

Het geheel kan als volgt worden voorgesteld:

De grotere korrels, het grove grind, wordt zo goed mogelijk opgestapeld. Tussen deze grove korrels blijft holle ruimte over. Deze holle ruimte wordt opgevuld met kleinere korrels. Ook tussen de grote en kleinere korrels blijft ruimte over. Deze ruimte wordt opgevuld met nog fijner materiaal, het zand. Als dat zand onder een vergrootglas wordt bekeken, blijkt dat ook tussen die zandkorrels ruimte aanwezig is. Deze ruimte kan door nog fijner materiaal, bijvoorbeeld cementlijm, opgevuld worden (zie figuur 4.1).



Figuur 4.1 Zand onder een vergrootglas.

Als bij figuur 4.1 de tekst "holle ruimte tussen de grindkorrels" had gestaan, klopte het plaatje nog steeds. De 'holle ruimtes' tussen grindkorrels en zandkorrels zijn eigenlijk vergelijkbaar. Alleen zijn de afmetingen bij het zand natuurlijk veel kleiner. De cementlijm vult de overgebleven holle ruimte in het toeslagmateriaal.

De cementlijm speelt in de betonspecie een belangrijke rol. Natuurlijk lijmt het de korrels aan elkaar. Maar het heeft nog een andere functie. Als meer cementlijm wordt toegevoegd dan er holle ruimte is, komen de korrels zand en grind wat verder uit elkaar te liggen. De cementlijm zal in dat geval ook de korrels gaan omhullen. Dat maakt dat de korrels zand en grind gemakkelijk over en langs elkaar kunnen bewegen. Het mengsel van water, cement, zand en grind (de betonspecie) wordt plastischer. De betonspecie wordt gemakkelijker verwerkbaar. Als de cementlijm verhardt en in cementsteen verandert, ontstaat een hechte lijmverbinding.

De cementlijm zorgt dus voor:

- de opvulling van holle ruimte tussen de korrels toeslagmateriaal;
- het makkelijk over elkaar heen schuiven van die korrels.

En als het is verhard tot cementsteen lijmt het alle korrels aan elkaar.

De hoeveelheid holle ruimte tussen de verschillende korrels kan worden berekend en op basis daarvan zou de hoeveelheid van de verschillende korrels en de cementlijm kunnen worden berekend.

Helaas geeft deze beschrijving alleen maar een globaal beeld van de opbouw van beton(specie). De holle ruimte tussen de grove korrels kan echter aanmerkelijk variëren afhankelijk van de afmeting en de hoeveelheid van de verschillende korrels. Daarom wordt de onderlinge verhouding van het toeslagmateriaal en de hoeveelheid cementlijm op een andere manier bepaald.

De samenstelling van de cementlijm bepaalt voor een groot deel de sterkte en de levensduur van het beton. De hoeveelheid water ten opzichte van de hoeveelheid cement (uitgedrukt in de water-cementfactor) is erg belangrijk. Daarover later meer.

De betonvoorschriften stellen voor verschillende omstandigheden waarin het beton wordt toegepast eisen aan de samenstelling van de cementsteen en de minimale hoeveelheid cement. Het gaat dus om het milieu waarin het beton wordt gebruikt. Deze milieuomstandigheden worden beschreven in zogenoemde 'milieuklassen'. Tabel 4.1 geeft de mogelijke soorten aantasting van het beton aan en tabel 4.2 geeft een verdere onderverdeling van de in tabel 4.1 genoemde "aantastingsmechanismen". In tabel 4.3 worden de eisen aan de betonsamenstelling gegeven afhankelijk van de milieuklasse zoals genoemd in tabel 4.2. Dit alles ter informatie. Het is geen examenstof.

De betonspecie moet de bekisting opvullen. Daarop moet de verwerkbaarheid van de betonspecie worden afgestemd. Ook de hoeveelheid wapening en de manier waarop de betonspecie wordt verwerkt, zijn van invloed op de samenstelling van het beton. Een te stugge betonspecie kan een ingewikkelde bekisting niet goed opvullen. Een te vloeibare betonspecie kan ontmengen.

Bij de samenstelling van een betonspecie houdt de betontechnoloog rekening met de gestelde eisen aan de betonspecie en het beton.

Deze eisen zijn afhankelijk van de technische eisen van de betonconstructeur, de verwerkingseisen van de aannemer en de eisen in de betonvoorschriften. Bij het bestellen van betonspecie moet daarom ten minste worden opgegeven:

- sterkteklasse;
- milieuklasse;
- consistentieklasse;
- maximale korrelafmeting;
- soort beton (normaal, zwaar of licht beton. Uiteraard met opgave van de gewenste volumieke massa van het beton).

Zonder deze informatie kan de betontechnoloog geen betonsamenstelling uitrekenen.

Tabel 4.1 Aantastingsmechanisme van de milieuklassen.

aanduiding	aantastingsmechanisme
X0	Geen risico van corrosie of aantasting
XC	Corrosie ingeleid door carbonatatie (C)
XD	Corrosie ingeleid door chloriden, <i>niet</i> afkomstig uit zeewater (D)
XS	Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater (S)
XF	Vorst/dooi-aantasting met of zonder dooizouten (F)
XA	Chemische aantasting (A)

Tabel 4.2 Milieuklassen volgens NEN-EN 206

klasse	beschrijving omgeving	voorbeeldsituaties
1 Geen risico van corrosie of aantasting		
X0	Beton zonder wapening of ingestorte delen: alle milieus Beton met wapening: zeer droog	onderwaterbeton, werkvloeren, ongewapende funderingen binnen gebouwen met zeer lage relatieve vochtigheid (RV)
2 Corrosie ingeleid door carbonatatie (C)		
XC1	Droog of blijvend nat	binnen gebouwen met lage RV blijvend onder water
XC2	Nat, zelden droog	langdurig in contact met water veel funderingen
XC3	Beperkte vochtigheid	binnen met beperkte of hoge RV buiten beschermt tegen regen
XC4	Afwisselend nat en droog	in contact met water, niet als XC2
3 Corrosie ingeleid door chloriden, <i>niet</i> afkomstig uit zeewater (D)		
XD1	Matige vochtigheid	chloriden uit de lucht
XD2	Nat, zelden droog	chloridehoudend industriewater, zwembaden
XD3	Wisselend nat en droog	opspattend chloridehoudend water verhardingen, parkeerdekken
4 Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater (S)		
XS1	Zouten uit de lucht, niet in direct contact met zeewater	constructies bij of aan zee
XS2	Blijvend onder water	constructies in zee
XS3	Getijde- en spatzone	constructies in zee
5 Vorst/dooi-aantasting met of zonder dooizouten (F)		
XF1	Beperkt verzadigd met water, geen dooizouten	verticale oppervlakken, regen en vorst
XF2	Beperkt verzadigd met water, met dooizouten	verticale oppervlakken of wegen, vorst en verstoven dooizouten
XF3	Verzadigd met water, geen dooizouten	horizontale oppervlakken, regen en vorst
XF4	Verzadigd met water, met dooizouten of zeewater	wegen, brugdekken, direct gesproeide dooizouten en vorst, spatzone in zee met vorst
6 Chemische aantasting (A)		
XA1	Zwak agressief volgens tabel	funderingsbalken, bedrijfsvloeren in zuivel-industrie
XA2	Matig agressief volgens tabel	elementen in glastuinbouw, chemische industrie, vloeistofdicht beton, funderingspalen
XA3	Sterk agressief volgens tabel	riolering en rioolwaterzuiveringinstallaties

Tabel 4.3 Eisen aan de betonsamenstelling, afhankelijk van de milieuklassen volgens NEN 8005

milieu- klasse	maximaal toelaatbare water-cementfactor / water-bindmiddelfactor	minimaal vereiste cementgehalte / bindmiddelgehalte [kg]	Minimum luchtgehalte	
			grootste korrelafmeting D [mm]	luchtgehalte % (V/V)
1 Geen risico op corrosie of aantasting				
X0	0,70	200	-	-
2 Corrosie ingeleid door carbonatatie				
XC1	0,65	260	-	-
XC2	0,60	280	-	-
XC3	0,55	280	-	-
XC4	0,50	300	-	-
3 Corrosie ingeleid door chloriden anders dan afkomstig uit zeewater				
XD1	0,55	300	-	-
XD2	0,50	300	-	-
XD3	0,45	300	-	-
4 Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater				
XS1	0,50	300	-	-
XS2	0,45	300	-	-
XS3	0,45	320 ^d	-	-
5 Aantasting door vorst/dooi-wisselingen met of zonder dooizouten				
XF1	0,55	300	-	-
XF2	0,55	300	63	3,0
			31,5	3,5
			16	4,0
			8	5,0
XF2	0,45	300	-	-
XF3	0,50	300	-	-
XF4	0,50	300	63	3,0
			31,5	3,5
			16	4,0
			8	5,0
XF4	0,45	320	-	-
6 Chemische aantasting				
XA1	0,55	300	-	-
XA2	0,50	320	-	-
XA3	0,45	340	-	-

4.2 Gereedschappen

Om aan al die eisen te voldoen, beschikt de betontechnoloog over een aantal 'gereedschappen'. Met deze gereedschappen kan hij het beton zo aanpassen dat het zo goed mogelijk aan alle eisen voldoet.

4.2.1 Verwerkbaarheid

De verwerkbaarheid wordt opgegeven als een consistentieklasse (zie tabel 3.1 in hoofdstuk 3). Door de toevoeging van meer of minder water en/of plastificerende hulpstof aan de betonspecie, valt de betonspecie in de gewenste consistentieklasse.

De hoeveelheid water die nodig is om een betonspecie in een bepaalde consistentieklasse te krijgen, wordt de waterbehoefte van de betonspecie genoemd. De waterbehoefte wordt beïnvloed door het cement en de korrelopbouw van het toeslagmateriaal. Veel zand en fijn zand vergroten het oppervlak van het toeslagmateriaal en daarmee de waterbehoefte. Datzelfde geldt voor meer of minder cement. Tussen de fijnheid en de hoeveelheid cement en toeslagmateriaal bestaat echter een wisselwerking voor wat betreft de waterbehoefte. Afhankelijk van de korrelgradering van het cement kan soms wat meer cement de waterbehoefte verlagen. Daardoor kan alleen na onderzoek worden aangegeven hoeveel water nodig is voor een bepaalde betonspecie.

Meer water toevoegen voor het verkrijgen van een bepaalde verwerkbaarheid heeft gevolgen voor het cementgehalte. Er moet dan ook meer cement worden toegevoegd om dezelfde water-cementfactor te behouden. In plaats van water kan ook een plastificeerder of een superplastificeerder worden toegevoegd. Daardoor wordt zonder toevoeging van extra water (en dus ook cement) toch een betonspecie in de gewenste consistentieklasse en met de gewenste water-cementfactor verkregen.

Betonspecie mag ook niet te gemakkelijk ontmengen. Om dat te voorkomen, wordt meer fijn materiaal zoals fijn zand, cement, vulstof of kleine luchtbelletjes toegevoegd. De betonspecie krijgt daardoor meer samenhang. Het water plakt de fijne materialen beter aan elkaar. Er zijn nauwelijks metingen voor dit effect. Daarom geven de betonvoorschriften een minimum gehalte aan fijne materialen in een betonspecie. De betontechnoloog bepaalt op basis van zijn ervaring de hoeveelheid fijn materiaal die boven deze minimum hoeveelheid nodig is.

Soms moet betonspecie worden verpompt. Daarvoor wordt vaak een betonspecie gebruikt waarin meer zand aanwezig is dan een specie die niet wordt verpompt.

4.2.2 Groene sterkte

De groene sterkte van een betonspecie kan worden beïnvloed door:

- het watergehalte;
- de korrelopbouw van het toeslagmateriaal;
- de fijnheid van het cement;
- de hoeveelheid fijn materiaal in de betonspecie;
- de wijze van verdichting.

Meestal moet proefondervindelijk een betonsamenstelling worden gemaakt die de vereiste groene sterkte heeft voor het desbetreffende productieproces.



Figuur 4.4 Vervaardiging van betonproducten, gebruikmakend van 'groene sterkte'

4.2.3 Verwerkingstijd

Zodra cement in aanraking komt met water begint het te reageren. Het duurt echter enige tijd voordat de eigenschappen van de betonspecie daardoor merkbaar veranderen. Na enige tijd wordt de betonspecie echter minder plastisch en daardoor moeilijker verwerkbaar.

Afhankelijk van het cement, de hoeveelheid water en de temperatuur duurt de periode dat de verwerkbaarheid nauwelijks verandert een half uur tot een paar uren. Deze periode wordt de verwerkingstijd genoemd.

Door het toevoegen van een vertragende hulpstof kan de verwerkingstijd worden verlengd. Vooral voor betonspecie op de bouwplaats kan dat als gevolg van mogelijk lange transportafstanden erg nuttig zijn.

In een betonproductenfabriek is de verwerkingstijd meestal kort. De menginstallatie en de mallen staan dicht bij elkaar.

Bij het samenstellen en verwerken van betonspecie moet rekening worden gehouden met de gewenste en de maximaal beschikbare verwerkingstijd.

De betontechnoloog beïnvloedt de verwerkingstijd door te kiezen voor een cement dat 'traag' of 'snel' opstijft en/of door het toevoegen van een vertrager aan de specie.

Een traag opstijvend cement is bijvoorbeeld een hoogovencement CEM III/B 32,5 N. Een (zeer) snel opstijvend cement is portlandcement CEM I 52,5 R.

4.2.4 Sterkte

Eén van de bekendste eigenschappen van beton is de druksterkte. Die wordt met behulp van proefkubussen gemeten. (Zie hoofdstuk 3.3.1).

De sterkte van het beton is afhankelijk van het toeslagmateriaal en van de cementsteen. In de volgende paragrafen wordt hierop verder ingegaan.

4.2.4.1 *Invloed van het toeslagmateriaal op de sterkte van beton*

Twee factoren bepalen de bijdrage van het toeslagmateriaal aan de sterkte van het beton. De eerste en belangrijkste factor is de sterkte van het materiaal zelf. Sommige toeslagmaterialen, zoals zand en grind, zijn erg sterk. Lichte toeslagmaterialen zijn veel minder sterk. De tweede factor is de korrelopbouw van het toeslagmateriaal. Als de holle ruimte tussen de

grotere korrels goed is opgevuld met kleinere korrels toeslagmateriaal, ontstaat een stevig skelet. Dat skelet kan grotere krachten opnemen dan een skelet waarin de holle ruimte niet goed is opgevuld.

4.2.4.2

Invloed van de sterkte van de cementsteen op de sterkte van beton

De sterkte van de cementsteen levert de grootste bijdrage aan de sterkte van beton. De sterkte van de cementsteen hangt af van de tijd die is verstreken na menging van cement en water. Eerst is er geen sterkte. Dan wordt de cementsteen steeds sterker. Eerst gaat dat snel, daarna steeds langzamer. Daarom wordt een periode van 28 dagen na het maken van de specie als meetpunt voor de sterkte van de cementsteen aangehouden. Na 28 dagen neemt de sterkte nog wel toe, maar dat is zo weinig dat we daar normaal gesproken geen rekening meer mee houden (zie figuur 4.3 en ook figuur 2.7 in hoofdstuk 2).

De betontechnoloog beïnvloedt de sterkte en de sterkteontwikkeling van de cementsteen en daarmee ook de betonsterkte door:

- de keuze van soort en sterkteklasse van het cement;
- het aanhouden van een bepaalde water-cementfactor;
- de temperatuur van de betonspecie bij aanmaak en transport.

Zie tabel 2.7 in hoofdstuk 2 voor de sterkteontwikkeling van de verschillende cementen en sterkteklassen. Die verschillen komen terug in de sterkteontwikkeling van het beton.

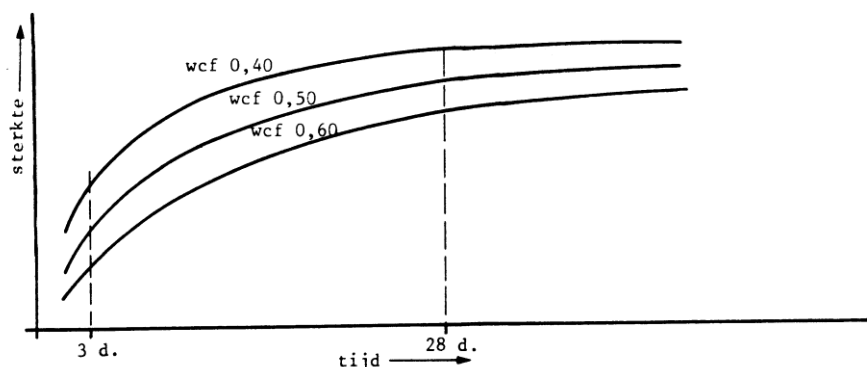
Eerder genoemd is de invloed van de water-cementfactor, dat is de verhouding tussen de massahoeveelheid water en cement in de cementlijm. Bevat een betonspecie bijvoorbeeld totaal 160 liter (= 160 kg) water en 320 kg cement, dan is de water-cementfactor:

$$\frac{160}{320} = 0,50$$

Deze hoeveelheid water is de totale hoeveelheid water aanwezig in de specie. Dat is het water dat is toegevoegd aan de betonspecie opgeteld bij het zogenoemde "aanhangend water" aan het toeslagmateriaal. Toeslagmateriaal kan ook water absorberen. Dat bevindt zich dan in de poriën en holle ruimten in vooral het lichte toeslagmateriaal. Het water dat zich daar bevindt, kan niet met het cement reageren. De hoeveelheid aanhangend water in het toeslagmateriaal wordt berekend uit het totaal watergehalte en de hoeveelheid geabsorbeerd water in het toeslagmateriaal.

Ook als water op andere wijze in de specie terecht komt (bijvoorbeeld bij gebruik van vulstoffen in slurryvorm) moet het hierin aanwezige water ook worden meegerekend bij de berekening van de water-cementfactor.

De water-cementfactor heeft grote invloed op de sterkte (zie figuur 4.2).



Figuur 4.2 Invloed van de water-cementfactor op de sterkteontwikkeling.

Uit figuur 4.2 blijkt dat een hogere water-cementfactor een lagere betonsterkte geeft. Dit geldt in het begin van de verharding, maar ook na 28 dagen. Bij een gelijke hoeveelheid cement wordt bij toevoeging van water de water-cementfactor groter. Daarmee wordt de sterkte van het beton lager. Voeg dus nooit zomaar water aan betonspecie toe!

De betontechnoloog kan op twee manieren de water-cementfactor verlagen:

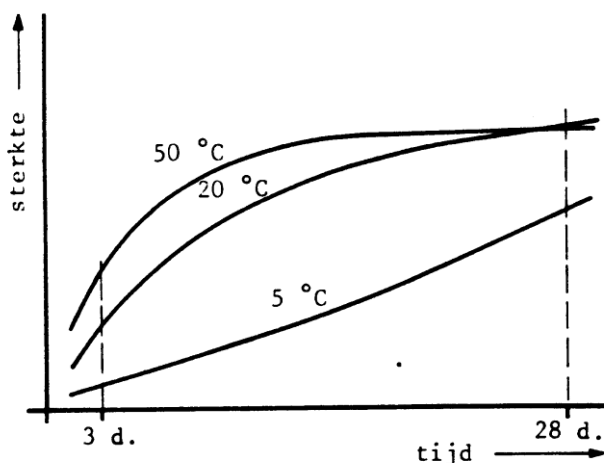
1. de hoeveelheid water verlagen en de hoeveelheid cement gelijk houden;
2. de hoeveelheid cement verhogen en de hoeveelheid water gelijk houden.

Een combinatie van deze twee mogelijkheden is natuurlijk ook mogelijk.

In beide gevallen wordt de water-cementfactor lager en dus de sterkte hoger, maar loopt de verwerkbaarheid terug. Bij 1 overigens meer dan bij 2.

Als de verwerkbaarheid hetzelfde moet blijven, kan een (super)plastificeerder worden toegevoegd.

Ook de temperatuur heeft een grote invloed bij de sterkteontwikkeling van beton (zie figuur 4.3).



Figuur 4.3 Verband tussen de temperatuur en de sterkteontwikkeling.

In figuur 4.3 kan de sterkteontwikkeling bij verschillende specietemperaturen worden vergeleken. Het valt op dat een hoge temperatuur niet altijd een hoge sterkte na 28 dagen geeft. Eigenlijk lijkt een hoge temperatuur alleen een hoge beginsterkte te geven. Na 28 dagen is het verschil in sterkte meestal helemaal weg. Het lijkt er zelfs op dat een temperatuur van 20 °C een hogere sterkte na 28 dagen geeft dan een temperatuur van 50 °C. Dat klopt. Een hoge temperatuur geeft een hoge beginsterkte, maar een relatief lagere eindsterkte. Een lage

temperatuur geeft een lage beginsterkte, maar een hogere eindsterkte. Dat laatste is in figuur 4.4 niet zichtbaar omdat de tijdschaal maar tot 28 dagen loopt.

Eindsterkte is dus niet de sterkte na 28 dagen verharden, maar na veel langere tijd als de sterkte eigenlijk niet of nauwelijks meer toeneemt.

Een hoge beginsterkte van beton kan soms erg nuttig zijn. Als het beton relatief snel een bepaalde sterkte heeft bereikt, kan ook sneller de bekisting worden verwijderd. Of kan eerder met het aanbrengen van voorspanning worden gestart. Daarmee wordt de productiesnelheid verhoogd. Dat geldt voor zowel de betonproductenindustrie als de bouwplaats.

Voor een snelle beginsterkte-ontwikkeling kan natuurlijk een sneller verhardend cement worden gebruikt. Maar het kan dus ook door het verhogen van de specie- en betontemperatuur, soms wel tot 65 °C. Dit wordt "versnelde verharding" genoemd.

De verhoging van de temperatuur heeft een groter effect bij hoogovencement (CEM III/B) dan bij portlandcement (CEM I). Daarom wordt, vooral op de bouwplaats bij versnelde verharding vaak een hoogovencement (CEM III/B) gebruikt.

De betontechnoloog moet wel rekening houden met de negatieve invloed van deze hoge temperatuur op de betonsterkte na 28 dagen.

4.2.5

Levensduur van beton

Of beton een lange levensduur heeft en dus lange tijd zijn functie nog kan vervullen, hangt af van verschillende factoren. Denk aan de omgeving waarin dat beton staat en aan de samenstelling van het beton. Vooral de water-cementfactor is van belang. Een lage water-cementfactor ($< 0,50$) zorgt bijna altijd voor beton met een lange levensduur. Het beton moet dan wel goed worden nabehandeld. Het beton moet voldoende kans krijgen om te verharden. Hoe hoger de water-cementfactor, hoe groter de kans op aantasting en dus een kortere levensduur.

De invloed van de water-cementfactor op de levensduur gaat gelijk op met de invloed van de water-cementfactor op de sterkte. De oorzaak van beide is dezelfde. Cement bindt zo'n 40% van zijn gewicht aan water. Het overige water blijft in minuscule kleine kanaaltjes (de poriën) in de cementsteen achter. Als dit water uit de poriën verdamppt, blijven daar dus kleine holle ruimtes achter. Meer water geeft meer holle ruimtes. Het gevolg is een lagere sterkte van de cementsteen en dus een lagere sterkte van het beton.

Poriën in de cementsteen laten ook agressieve stoffen makkelijker het beton binnendringen. Deze stoffen doen daar dan hun verwoestend werk.

Naast de water-cementfactor heeft de cementsoort ook invloed op de levensduur.

Voorbeeld:

Gebleken is dat beton gemaakt met CEM III/B beter bestand is tegen de inwerking van sulfaten. Die kunnen bijvoorbeeld uit zeewater komen.

CEM I blijkt beter bestand tegen het gebruik van dooizout.

De aantasting van het beton of de wapening heeft meerdere oorzaken.

Denk aan beschadiging of slijtage van mechanische oorsprong.

Maar denk ook aan vorst. In Nederland is vorst oorzaak van ernstige schade aan beton. Beton kan niet bevriezen, maar het water in de poriën kan dat wel. Bij bevriezing zet water uit. Als water in de poriën bevriest, gaat dat ook uitzetten. Het gevolg is dat de cementsteen van binnenuit kapot wordt gedrukt. Samen met dooizouten treedt deze schade in versterkte mate op.

Naarmate de poriën in het beton groter en talrijker zijn, treedt meer vorstschade op. Veel en grotere poriën zijn afhankelijk van de water-cementfactor. Bij een water-cementfactor groter dan 0,45 is er kans op vorstschade.

Een lage water-cementfactor en/of de toevoeging van een luchtbelvormer aan de specie kunnen deze schade voorkomen. De met een luchtbelvormer gevormde luchtbelletjes werken als een soort kleine expansievaatjes. Het door bevrozing uitzettende water kan in deze luchtbelletjes worden opgenomen.

Tabel 4.4 geeft een samenvatting van de invloed van de water-cementfactor, zowel op de sterkte als de levensduur.

Tabel 4.4 Vergelijking beton(specie) met hoge en lage wcf.

hoge water-cementfactor > 0,65	lage water-cementfactor < 0,45
1. veel water t.o.v. cement	1. weinig water t.o.v. cement
2. langzame sterkteontwikkeling	2. snelle sterkteontwikkeling
3. lage sterkte na 28 dagen	3. hoge sterkte na 28 dagen
4. grote poriën, dus slecht bestand tegen vorst en chemische aantasting	4. kleine poriën, dus goed bestand tegen vorst en chemische aantasting

4.2.6

Volumieke massa van beton

Beton dat wordt samengesteld uit zand, grind, cement en water weegt ongeveer 2400 kg per kubieke meter (m^3). Dit wordt de volumieke massa van het beton genoemd, weergegeven in kg/m^3 .

Voor sommige toepassingen is dat te zwaar, voor andere toepassingen te licht. Beton kan echter met een verschillende volumieke massa worden gemaakt door gebruik te maken van lichte, normale of zware toeslagmaterialen. Uiteraard veranderen ook andere eigenschappen (zoals het warmte-isolatievermogen) van het beton als de volumieke massa wordt aangepast.

De indeling in de betonvoorschriften is als volgt:

naam	volumieke massa (kg/m^3)	
	van	tot
lichtbeton	600	2000
normaal beton	2000	2600
zwaar beton	> 2600	—

Lichtbeton wordt gebruikt voor lichte en/of isolerende betonconstructies.

Zwaar beton wordt vaak gebruikt als ballastmateriaal of afscherming voor stralingsbronnen.

4.3

De mengselberekening

Alvorens een betonsamenstelling kan worden berekend, moeten alle eisen aan de betonspecie en het beton bekend zijn. Op basis daarvan wordt bepaald hoeveel cement en water nodig is, welke toeslagmaterialen moeten worden gebruikt en hoeveel.

Hieronder een globaal overzicht:

gewenste eigenschappen van betonspecie en beton	heeft invloed op:
1. consistentie	1. watergehalte
2. sterkte	2. water-cementfactor ten behoeve van de sterkte, cementsoort en sterkteklasse van het cement
3. levensduur	3. water-cementfactor ten behoeve van de levensduur, cementsoort
Het watergehalte en de vereiste water-cementfactor (de strengste van 2 en 3) bepalen het cementgehalte	
4. ruimte in de bekisting en tussen wapening onderling	4. maximale korrelafmeting van het grove toeslagmateriaal
5. massa van een kubieke meter beton	5. keuze van het te gebruiken toeslagmateriaal
Afhankelijk van het beschikbare toeslagmateriaal berekent de betontechnoloog een optimaal mengsel van grof en/of fijn toeslagmateriaal. Speciale uitvoeringseisen bepalen het gebruik van een hulpstof.	
De betontechnoloog voert een laboratoriumonderzoek uit om na te gaan of aan alle eisen voldaan wordt. Dat wordt het geschiktheidsonderzoek genoemd.	
Van het ontworpen mengsel wordt in elk geval bepaald: • de verwerkbaarheid; • de sterkteontwikkeling; • het luchtgehalte; • het effect van de hulpstof.	

VRAAGSTUKKEN

1. Wat is de holle ruimte?
2. Welke taken heeft cementlijm in betonspecie?
3. Wat wordt onder levensduur verstaan?
4. Hoeveel milieuklassen zijn er?
Waar duiden de letters in de aanduiding op?
Waar duiden de cijfers in de aanduiding op?
5. Welke eigenschappen van betonspecie moet men altijd aan de betontechnoloog opgeven om een betonmengsel te kunnen samenstellen?
6. Wat is de waterbehoefte van beton?
7. Welke factoren kunnen de waterbehoefte beïnvloeden?
8. Welke combinatie is van belang bij groene sterkte?
9. Waar is de verwerkingstijd van afhankelijk?
10. Wat verstaat men onder de water-cementfactor?
11. Welke factoren spelen een rol bij de sterkteontwikkeling?
12. Gegeven: 340 kg cement
180 kg totaalhoeveelheid water
Wat is de water-cementfactor?
 - a. 0,53
 - b. 0,50
 - c. 0,52
13. Is de sterkteontwikkeling van beton bij een water-cementfactor van 0,40 sneller of langzamer dan bij een water-cementfactor van 0,50?
14. Is de sterkteontwikkeling van beton bij 50°C sneller of langzamer dan bij 5°C?
15. Wat verstaat men onder versnelde verharding?
16. Waarom is de dichtheid van beton van zo groot belang?
17. Wat is de ideale water-cementfactor bij het vervaardigen van dooizoutbestand-beton?
Verklaar dit nader.
18. Noem voordelen van een betonsamenstelling met een lage water-cementfactor.
19. Wat heeft het voor gevolgen voor de dichtheid van beton indien in een betonmengsel te veel water wordt gebruikt?

20. Naar gelang het gewicht kan men beton indelen in drie groepen. Noem die groepen en geef in het kort aan hoe ze worden gemaakt.
21. Wat is een geschiktheidsonderzoek? Aan welke eisen moet worden voldaan?

VERKLARENDE WOORDENLIJST

cementgehalte

de totale hoeveelheid cement in kg per m³ betonspecie.

holle ruimte

ruimte tussen de korrels van een toeslagmateriaal.

lichtbeton

beton met een volumieke massa tot 600 tot 2000 kg/m³.

milieu

de omgeving waarin een betonconstructie zich bevindt.

milieuklassen

indeling naar het milieu waaraan het beton in de gebruikperiode wordt blootgesteld.

poriën

al dan niet met water gevulde, zeer dunne kanaaltjes.

verhardingstijd

de tijd benodigd om beton de vereiste sterkte te laten bereiken.

verwerkingstijd

beschikbare tijd om betonspecie correct te kunnen verwerken.

warmte-isolatievermogen

het vermogen om warmte vast te houden.

waterbehoefte

de totale benodigde hoeveelheid water om betonspecie de gewenste consistentie te geven.

water-cementfactor

massaverhouding tussen de totale hoeveelheden water en cement.

watergehalte

de totale hoeveelheid water in kg per m³ betonspecie.

zwaarbeton

beton met een volumieke massa groter dan 2600 kg/m³.

INHOUDSOPGAVE

Pag.

5.1	Inleiding.....	5-3
5.2	Aanvoer en opslag van grondstoffen.....	5-3
5.2.1	Cement.....	5-3
5.2.2	Vulstoffen.....	5-4
5.2.3	Toeslagmaterialen	5-4
5.2.4	Hulpstoffen.....	5-7
5.2.5	Pigmenten.....	5-7
5.2.6	Staal- en kunststofvezels	5-8
5.3	Het doseren van grondstoffen.....	5-8
5.3.1	Cement.....	5-8
5.3.2	Vulstoffen.....	5-8
5.3.3	Toeslagmaterialen	5-8
5.3.4	Hulpstoffen.....	5-9
5.3.5	Pigmenten.....	5-9
5.3.6	Water	5-9
5.3.7	Vezels	5-10
5.4	De menginstallaties en het mengen	5-11
5.4.1	Het mengproces.....	5-11
5.4.2	Mengers.....	5-12
5.4.2.1	Dwangmengers	5-12
5.4.2.2	Vrije-valmengers	5-13
5.5	De betonproductenindustrie.....	5-14
5.5.1	Betonwarenindustrie.....	5-14
5.5.2	Betonelementenindustrie	5-15
5.6	De betonmortelindustrie	5-17
5.6.1	Natte centrale.....	5-17
5.6.2	Half-natte centrale	5-17
	Vraagstukken	5-19
	Verklarende woordenlijst.....	5-20

5.1 Inleiding

Betonspecie bestaat uit een mengsel van cement, toeslagmateriaal en water. Als dat nodig is, worden ook nog andere grond- en/of hulpstoffen toegevoegd. De betontechnoloog bepaalt welke materialen nodig zijn en hij berekent de benodigde hoeveelheden om een kubieke meter betonspecie te maken.

In betonspecie moeten alle grondstoffen in de door de betontechnoloog opgegeven hoeveelheid aanwezig zijn en homogeen worden gemengd.

Voordat de specie wordt gemaakt, moet het volgende hebben plaatsgevonden:

1. de grondstoffen moeten bij aanvoer zijn gecontroleerd;
2. de opslag van de grondstoffen moet op de juiste wijze plaatsvinden;
3. de nauwkeurigheid van de te gebruiken weeginstallaties moet zijn gecontroleerd;
4. de menger moet goed onderhouden zijn.

5.2 Aanvoer en opslag van grondstoffen

5.2.1 Cement

Cement kan worden aangevoerd in verpakking of in bulk.

Verpakt cement wordt aangevoerd in zakken van ongeveer 20 kg of in zogenoemde "big bags". Onverpakt cement wordt aangevoerd in bulk met tankauto's of tankschepen.

Onverpakt cement wordt in silo's opgeslagen. Vanuit het vervoermiddel wordt het met lucht in de silo's geblazen. Daarom moet op de silo een ontluuchtingsopening aanwezig zijn om de ingeblazen lucht te laten ontwijken. De ontluuchtingsopeningen zijn van filters voorzien om stofoverlast te voorkomen.



Elke silo kan een ander cement bevatten. Voorkomen moet worden dat cement in de verkeerde silo wordt ingeblazen. Daarom moeten op de plaats waar het vervoermiddel op de inblaaspijp wordt aangesloten, op de inblaaspijp van silo duidelijk de cementsoort en sterkteklasse zijn aangegeven.

Cement moet droog worden opgeslagen om te voorkomen dat het al reageert met water. Het verpakte cement moet dus niet buiten worden opgeslagen en als het regent mag het regenwater niet in de silo's lopen. Dat is nogal logisch.

Maar cement kan ook nog op een andere manier met water in aanraking komen. Lucht bevat ook (een beetje) water. Dus als cement gedurende langere tijd aan lucht wordt blootgesteld, zal het water in de lucht met het cement reageren. Er ontstaan dan kluiten in het cement. Dat wordt de veroudering van het cement genoemd.

Bij het inblazen van cement in de silo's wordt lucht gebruikt. En bij het leegmaken van de silo's ook. Daardoor komt er via de lucht toch (condens)water in de silo's.

Zolang de gevormde kluiten en kluitjes in het cement gemakkelijk uit elkaar vallen, kan het cement nog worden gebruikt.



Als wordt verwacht dat een silo lang niet zal worden gebruikt, moet deze helemaal leeg worden gemaakt. Resten cement die blijven zitten, verouderen. Hierdoor ontstaan harde kluiten. Die kluiten geven problemen als de silo weer in gebruik wordt genomen.

Bij verpakt cement lijkt het soms of het cement als een blok in de zak zit. Dat hoeft geen veroudering te zijn. Het kan ontstaan als het cement in de zak is samengeperst. Dat gebeurt bijvoorbeeld als de zakken cement hoog worden opgestapeld. Na opening van de zak valt dit cement heel gemakkelijk in poeder uiteen.

Soms moet een monster van het cement worden genomen. Om te voorkomen dat het cement verouderd, moet het luchtdicht worden verpakt. Dat kan in kunststof containers of in (dicht gesoldeerde) blikken bussen. Luchtdicht verpakt cement is onbeperkt houdbaar.



5.2.2 Vulstoffen

Vulstoffen worden verpakt en onverpakt geleverd. Vulstoffen zijn net zo fijn als of nog fijner dan cement. Silicafume is extreem fijn en wordt daarom meestal als een mengsel met water geleverd en verwerkt. Dat werkt prettiger en voorkomt enorme stofoverlast. Vulstoffen moeten op dezelfde manier worden opgeslagen als cement. Vulstoffen reageren niet met water, maar als ze nat zijn klonteren ze meestal wel. Dan komt het niet meer uit de silo waarin het is opgeslagen.

Let op: Omdat een vulstof zoals poederkoolvliegias als fijn poeder veel op cement lijkt, kan het gemakkelijk voor cement worden aangezien. Verwisseling met cement kan dan eenvoudig plaatsvinden. Ook op de vulstofsilo's moet daarom duidelijk zijn aangegeven wat de silo bevat.

Een betonspecie met puzzolane vulstoffen maar zonder cement, wordt niet hard (zie hoofdstuk 2.6).

5.2.3 Toeslagmaterialen

Het skelet van beton wordt gevormd door de toeslagmaterialen (zie hoofdstuk 4). Toeslagmaterialen moeten schoon zijn. Dus bijvoorbeeld leem, klei, hout en plantenresten mogen niet in het toeslagmateriaal komen. De producent van het toeslagmateriaal zal zoveel mogelijk zijn best doen deze verontreinigingen bij het winproces te verwijderen.

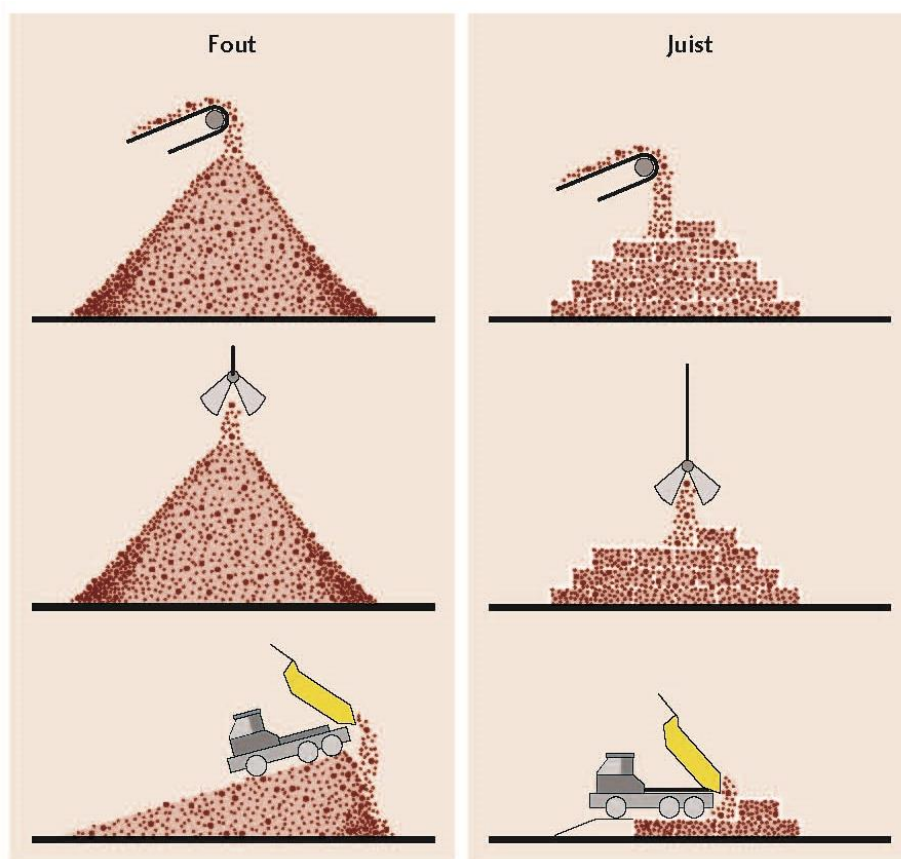
Bij de betonproducent betekent dit dat de toeslagmaterialen op een schone verharde ondergrond, liefst gedraineerd moeten worden opgeslagen. Anders nemen de grijper of de laadschop verontreinigingen uit de ondergrond mee bij het vullen van de bunkers in de centrale. Die verontreinigingen komen dan in de betonspecie en dat is natuurlijk niet de bedoeling.

Ook kunnen soms verontreinigingen in toeslagmateriaal aanwezig zijn die niet direct met het blote oog zichtbaar zijn, zoals leem, klei, schelpen en chloride. Daarom worden regelmatig monsters getrokken uit partijen toeslagmateriaal voor onderzoek in het betonlaboratorium. Dan wordt naast het bepalen van de korrelgradering ook de aanwezigheid van niet direct zichtbare verontreinigingen beoordeeld.

In grof toeslagmateriaal zitten soms kluiten leem of klei. Die kluiten kunnen met de hand worden stukgeknepen. Ze zijn dus niet sterk genoeg en gaan dan ook stuk in de menger. Klei in beton kan schade veroorzaken. De betontechnoloog moet worden gewaarschuwd als klei aanwezig is.

In zeezand of zeegrind zitten vaak resten van schelpen. In het betonlaboratorium wordt beoordeeld of het er niet te veel zijn. De belangrijkste verontreiniging in toeslagmateriaal uit zee is chloride. Het is afkomstig uit het zout dat in zeewater zit. Daarom moet toeslagmateriaal uit zee altijd onderzocht worden op de aanwezigheid van chloride.

Het opslaan van met name grof toeslagmateriaal is een vak apart. Vooral de korrelgroep 4/32 kan gemakkelijk ontmengen. De grove korrels zullen verder weg rollen van de kleinere korrels. De manier van opslaan van het toeslagmateriaal heeft hierop grote invloed. Figuur 5.1 laat zien hoe het niet en hoe het wel moet.



Figuur 5.1 Foute opslag en goede opslag.

Nieuwe ladingen waarvan de korrelgradering (heel) anders is dan die van een eerder aangevoerde lading van dezelfde korrelgroep, moeten apart (liefst in vakken) worden opgeslagen (zie figuur 5.2). Anders komt de ene keer te grof en de andere keer te fijn toeslagmateriaal in de menger. Er ontstaat dan een sterk wisselende korrelopbouw. Dat leidt tot problemen met de verwerkbaarheid.



Figuur 5.2 Opslag van verschillende korrelgroepen in aparte vakken.

Voor elk toeslagmateriaal is ook een zogenoemde "dagbunker" nodig. Hierin kan een kleine hoeveelheid toeslagmateriaal worden opgeslagen. Bij grote hoeveelheden per dag moet de dagbunker vaker vanaf de grote opslag worden gevuld.

In veel installaties zitten de dagbunkers in een grote silo boven de menger. Zo'n silo is in segmenten verdeeld, zoals partjes van een sinaasappel. Het toeslagmateriaal komt vanaf de grote opslag met een laadschop of grijperkraan op een lopende band. Die lopende band voert het materiaal naar de dagbunkers. Op een schakelpaneel in de bedieningsruimte kan worden ingesteld in welke dagbunker het materiaal komt.



Het vullen van de dagbunkers boven de menger

Voor het vullen van de dagbunkers is meestal extra transport op het terrein nodig. Ook bij dit transport bestaat het risico op verontreinigingen en/of ontmengen.

Er bestaan betonmenginstallaties met een zogenoemde "toeslagmaterialenster". Het toeslagmateriaal ligt daarbij in vakken rondom de menginstallatie. Door middel van een sleepschoep (dragline) wordt het toeslagmateriaal uit de opslag in de dagbunkers getrokken. Die sleepschoep werkt vaak automatisch. Meestal worden de vakken van de ster met een laadschop gevuld vanuit een andere opslag of het vullen vindt plaats direct bij de aanvoer van toeslagmaterialen.

De opslagvakken mogen niet te vol liggen. Anders rolt het toeslagmateriaal over de wand van het ene vak in het andere vak. Hierdoor komen ongewenste mengsels van toeslagmateriaal in de dagbunkers.

Bij het opslaan moet op de volgende zaken worden gelet:

- Open de grijper niet op grote hoogte; grote storthoogte geeft ontmenging.

- Laat de vakken van een ster nooit helemaal leegtrekken; de sleepschoep pikt dan veel grovere korrels op.
- Zorg dat de vakken van een ster of de laadpunt van een transportband geen vergaarbak voor aflopend modderwater worden.
- Zie erop toe dat uit de laadschoep of uit de kraan geen smeerolie lekt; die komt vroeger of later - als zeer ongewenste verontreiniging - in het toeslagmateriaal.

5.2.4

Hulpstoffen

Hulpstoffen worden in kleine hoeveelheden bij het mengen van de betonspecie toegevoegd. Ze beïnvloeden de eigenschappen van de betonspecie of het beton. Er zijn hulpstoffen in vloeibare vorm en in poedervorm. De vloeibare hulpstoffen worden meestal in IBC-containers aangevoerd. Een grootverbruiker laat de hulpstoffen met een tankauto aanvoeren. De poedervormige hulpstoffen zijn in zakken verpakt.



Er zijn veel soorten hulpstoffen. Elke soort hulpstof heeft een etiket met een vaste kleur. Alle hulpstoffabrikanten gebruiken dezelfde kleur voor dezelfde soort hulpstof. Ondanks de duidelijke kleurcode op de etiketten, moet altijd worden gecontroleerd of de juiste hulpstof in de container of in de zak zit. De controle van de eigenschappen van de hulpstof gebeurt in het laboratorium. Een verkeerde hulpstof in de betonspecie kan tot ernstige problemen leiden!

Hulpstoffen moeten altijd vorstvrij worden opgeslagen, liefst binnen, uit direct zonlicht (in verband met uv-straling). Op de verpakking wordt de productie- en/of aanvoerdatum duidelijk aangegeven. Sommige vloeibare hulpstoffen kunnen ontmengen en daardoor onbruikbaar worden. Dat ontmengen kan door roeren worden hersteld. Vaak beschikt de betoncentrale over apparatuur waarmee het mengen (als dat nodig is) op regelmatige tijdstippen plaats vindt. Vloeibare hulpstoffen die bevroren zijn geweest, moeten niet meer worden gebruikt.

Sommige hulpstoffen kunnen niet tegen warmte. De fabrikant geeft dan de maximale en minimale temperatuur op waarbij je ze mag opslaan.

Natuurlijk moet de opslagruimte van de hulpstoffen netjes, overzichtelijk en schoon zijn. Hulpstoffen in een rommelhok zorgen voor vergissingen.

5.2.5

Pigmenten

Pigmenten zijn in vloeibare vorm en als poeder beschikbaar.

Vloeibare pigmenten worden aangevoerd in vaten en moeten op vergelijkbare wijze als hulpstoffen worden opgeslagen.

Poedervormige pigmenten worden aangevoerd in zakken die droog moeten worden opgeslagen.

Door de fabrikant worden de productiedatum en de kleur op de verpakking aangegeven. Dit is vooral nodig als met verschillende kleuren wordt gewerkt. Ook hier geldt: eerst controleren of het goede materiaal is aangevoerd en dan pas opslaan. Voorzichtigheid is bij opslaan van poedervormige pigmenten nodig. Als een zak scheurt, verkleurt de hele omgeving.

5.2.6 Staal- en kunststofvezels

Staal- en kunststofvezels worden meestal in kleinere verpakking geleverd in verband met de handmatige dosering. Ze moeten in een droge omgeving worden opgeslagen.

5.3 Het doseren van grondstoffen

In de moderne betoncentrales en betonproductenfabrieken worden grondstoffen met computergestuurde weeginstallaties gedoseerd. Na het invoeren van gegevens zoals recept, klantcode enz., worden de benodigde hoeveelheden automatisch afgewogen. Elke weging wordt geregistreerd. Hierdoor kan iedere geproduceerde hoeveelheid betonspecie (ook achteraf) worden gecontroleerd op samenstelling.

Nauwkeurig doseren met deze moderne installaties kan alleen als ze goed worden onderhouden en na gebruik worden schoongemaakt. De betonvoorschriften stellen eisen aan de nauwkeurigheid waarmee de grondstoffen worden gedoseerd.

5.3.1 Cement

Verpakt cement wordt niet meer op industriële schaal in Nederland gebruikt. Het in de silo's opgeslagen cement komt via een cementschroef of een airlide in een weegbak boven de menger. Daarin wordt de berekende hoeveelheid cement afgewogen en vervolgens in de menger gelost.

5.3.2 Vulstoffen

Poedervormige vulstoffen worden op dezelfde manier gedoseerd als cement. Vulstoffen, verwerkt in een slurry, worden op dezelfde wijze als water gedoseerd.

5.3.3 Toeslagmaterialen

De benodigde hoeveelheid toeslagmateriaal wordt meestal door middel van weging gedoseerd. Het kan ook "volumetrisch". Dat wil zeggen dat een bepaald volume aan toeslagmateriaal in de menger wordt gebracht.

Bij gewichtsdosering loopt het toeslagmateriaal uit de dagbunker over een weegband of in een weegbak, totdat het gewenste gewicht is bereikt.

Bij een weegband wordt het toeslagmateriaal gewogen terwijl het via de band in de ophaalbak loopt. Bij een weegbak wordt het toeslagmateriaal vanuit de weegbak direct in de menger of de ophaalbak gestort.

Volumetrisch doseren vindt plaats via een zogenoemde "uittrekband". Dit is een lopende band onder de dagbunker. De dagbunker is voorzien van een klep. Die klep regelt de laagdikte op de band. De breedte van de band is bekend en de laagdikte is instelbaar. Door de uittrekband gedurende een vooraf ingestelde tijd te laten lopen, wordt een gewenst volume gedoseerd. Het gedoseerde volume is dus afhankelijk van de breedte van de band, de laagdikte en de tijd dat de band beweegt.

Gewichtsdosering is veel nauwkeuriger dan de volumetrische dosering, maar vraagt een grotere investering in de installatie.

Gecertificeerde betonspecie kan niet op basis van volumetrische dosering worden geproduceerd.

5.3.4 Hulpstoffen

Omdat hulpstoffen in kleine hoeveelheden worden toegevoegd (in de ordegrootte van 1% van het cementgewicht en soms nog minder) is daarop aangepaste apparatuur nodig om de gewenste hoeveelheid te doseren.

Vloeibare hulpstoffen kunnen zowel volumetrisch als via weging worden gedoseerd.

Voor de volumetrische dosering van vloeibare hulpstoffen worden meestal 3 à 4 maatcilinders van verschillende grootte gebruikt. Afhankelijk van de benodigde hoeveelheid hulpstof wordt een van deze maatcilinders gekozen. De maatcilinders staan bij de menginstallatie zodat dosering eenvoudig kan worden gecontroleerd. Ook kan de dosering plaatsvinden met zogenoemde "doorstroommeters".

Het afwegen van hulpstoffen gebeurt in volledig geautomatiseerde betoninstallaties door gebruik van een weegschaal met een voor de hulpstoffen aangepast weegbereik.

Vloeibare hulpstoffen worden over het algemeen samen met het water in de menger gebracht. De doseerinrichting voor vloeibare hulpstoffen moet regelmatig met water worden doorgespoeld om te voorkomen dat sommige hulpstoffen na verloop van tijd aankoeken.

Soms wordt het beste effect van vloeibare hulpstoffen verkregen indien deze worden "nage-doseerd". Dat wil zeggen: de hulpstof wordt pas aan het mengsel toegevoegd, wanneer water en cement zijn gemengd. Dit is vooral het geval bij hogesterktebeton en zelfverdichtende betonspecie als gevolg van de grote hoeveelheden cement en vulstoffen die daarin worden gebruikt.

Poedervormige hulpstoffen worden in een kleine weegbak afgewogen. Ze worden ook geleverd in afgemeten hoeveelheden. Deze hulpstoffen worden samen met het cement in de menger gebracht.

5.3.5 Pigmenten

Ook pigmenten worden in relatief kleine hoeveelheden aan het beton toegevoegd en het afwegen vindt op vergelijkbare wijze als bij poedervormige hulpstoffen plaats. Om de pigmenten zonder veel stuiven in de menger te brengen, kunnen deze het beste eerst met een gedeelte van het aanmaakwater worden gemengd. Daarna wordt het als een papje in de menger gebracht.

Bij het veranderen van kleur of na gebruik van een pigment moet alle apparatuur heel goed worden schoongemaakt.

5.3.6 Water

De benodigde hoeveelheid aanmaakwater kan zowel door weging als volumetrisch worden gedoseerd. Immers een liter water weegt altijd een kilo.

Niet al het aanmaakwater moet worden gedoseerd. Een deel komt met het natte toeslagmateriaal in de menger. Om toch zo nauwkeurig mogelijk de goede hoeveelheid water in het mengsel te krijgen, wordt regelmatig het watergehalte van het toeslagmateriaal gemeten en

berekend hoeveel water met het toeslagmateriaal mee in de menger komt. Deze hoeveelheid water wordt van de totaal benodigde hoeveelheid aanmaakwater afgetrokken.

Bij vorst wordt soms stoominjectie gebruikt om het toeslagmateriaal te ontdooien. De stoom condenseert in het toeslagmateriaal. Daardoor wordt het watergehalte van het toeslagmateriaal groter. Dat watergehalte moet dan opnieuw worden bepaald om bij de dosering de juiste hoeveelheid water toe te voegen.

Het watergehalte, vooral van het zand, wisselt sterk. Dat heeft invloed op de consistentie van de specie. Het is de taak van de mengmeester om ook met wisselende hoeveelheden water in het toeslagmateriaal een specie te produceren met de gewenste consistentie.

Daarvoor heeft hij de volgende mogelijkheden:

1. Als onderin de dagbunker van het zand een vochtmeter aanwezig is, maakt hij gebruik van de afgelezen waarde voor een eventuele correctie van de te doseren hoeveelheid water.
2. De mengmeester beoordeelt de consistentie van de betonspecie tijdens het lossen van de menger en corrigeert op basis daarvan het watergehalte van een volgende mengerlading.
3. Hij meet het vermogen van de elektrische motor van de menger tijdens het mengen. Dit vermogen geeft een indruk van de consistentie van de betonspecie. Een motor moet harder werken bij een droger mengsel.
4. Bij dwangmengers (vooral in gebruik bij de betonstenen- en -tegelandustrie) beoordeelt de mengmeester het watergehalte van de specie met elektrische sondes. Deze sondes meten de elektrische weerstand van de aardvochtige betonspecie.

Deze methodes geven slechts een idee van de hoeveelheid toe te voegen water. De mengmeester moet altijd rekenen met spreiding in het watergehalte van betonspecie. Hierbij is het watergehalte in de betonspecie niet overal gelijk. Hij moet de plasticiteit steeds door middel van steekproeven laten controleren.

5.3.7

Vezels

Staal- en kunststofvezels kunnen handmatig of mechanisch worden gedoseerd, zowel in de menginstallatie op de betoncentrale als in de truckmixer.

Handmatige dosering is arbeidsintensief en neemt veel tijd in beslag.

Vooral staalvezels worden mechanisch gedoseerd door middel van een inblaasmachine, een transportband of een trilgoot.

Voor in het werk gestort beton vindt de dosering meestal in de truckmixer plaats. Dit vraagt een extra mengtijd op het werk van 8-15 minuten per mixer. De tijd is afhankelijk van de hoeveelheid vezels per m^3 . Uiteraard moet de menger of truckmixer goed worden gespoeld als de volgende lading geen vezels mag bevatten.

Vaak worden de vezels geleverd in verpakkingen bestemd voor 1 m^3 beton. Bij kunststofvezels vaak circa $0,9 \text{ kg/m}^3$, bij staalvezels vaak circa 25 tot 35 kg/m^3 .

Van groot belang is dat de vezels gelijkmatig door de betonspecie verdeeld worden. Staalvezels kunnen gemakkelijk in elkaar klitten zodat balvorming ontstaat (ook wel "egels" genoemd).



Figuur 5.1 - 'Staalvezelballen'.

5.4 De menginstallaties en het mengen

5.4.1 Het mengproces

Het mengproces van betonspecie voor aardvochtig beton kent een droge mengfase gevolgd door een natte mengfase. Voor de overige consistentieklassen wordt de droge mengfase overgeslagen.

In de droge mengfase worden cement, toeslagmateriaal, vulstoffen en droge hulpstoffen of pigmenten goed in de menger verdeeld en gemengd. Cement, fijne delen uit het zand en andere poeders worden veel homogener verdeeld in een droog mengsel dan in een nat mengsel. Als droog fijn materiaal wordt toegevoegd aan een nat mengsel ontstaan klonten. Deze klonten zijn van buiten nat en van binnen droog. Natuurlijk is deze 'droge' mengfase niet helemaal droog. Het toeslagmateriaal bevat wat water. Voor een goede menging is dat geen bezwaar.

Na de droge mengfase volgt de natte mengfase. In de natte mengfase komen cement en poedervormige hulpstoffen in contact met water. De menging moet goed gebeuren om alle cement met water in contact te brengen.

Soms gebeurt het 's morgens bij het eerste mengsel, dat veel water meekomt met het toeslagmateriaal. Dan is water uit het toeslagmateriaal dat nog aanwezig was in de dagbunker gedurende de nacht onderin de dagbunker terechtgekomen. Er moet dan eigenlijk minder water worden gedoseerd om de juiste betonsamenstelling te krijgen. Dat gaat het eenvoudigst door bij de volgende mengerlading minder aanmaakwater toe te voegen, zodat het watergehalte van beide mengerladingen (die dan in de truckmixer zijn gelost) de juiste is.

Voor hogesterktebeton en zelfverdichtend beton is vaak een aangepaste mengprocedure noodzakelijk om een goede menging te verkrijgen. De capaciteit van de installatie wordt hierbij beperkt.

Het spreekt vanzelf dat mengers alleen goed werken als ze goed onderhouden en goed schoongemaakt worden.

5.4.2 Mengers

Er zijn vele uitvoeringen van mengers, maar deze behoren vrijwel altijd tot de volgende twee typen:

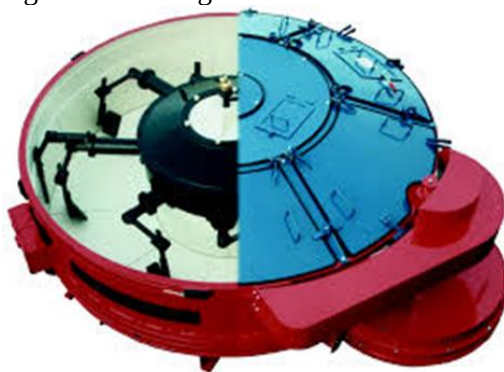
1. dwangmengers;
2. vrije-valmengers.

5.4.2.1 Dwangmengers

Een dwangmenger mengt de bestanddelen van de betonspecie met kracht door elkaar. Er zijn meerdere uitvoeringen van dit type menger: mengers met verticale en met horizontale as.

Mengers met verticale as

De mengers met verticale as bestaan uit een bak waarin een as ronddraait (zie fig. 5.4). Aan die as zitten vier of meer mengarmen met schoepen. Zo'n as met mengarmen noemt men een mengster. Er zijn dwangmengers met meer dan één mengster. Soms draait de bak ook tegengesteld aan de draairichting van de mengster. Zo'n menger noemt men een tegenstroommenger.

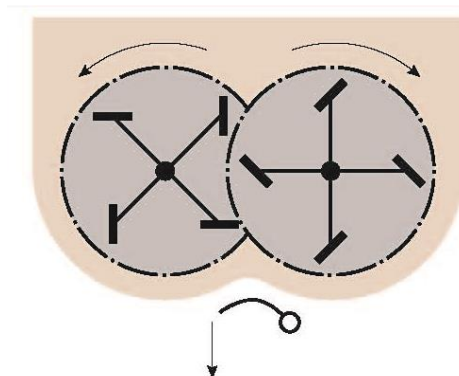


Figuur 5.2 Dwangmenger - menger met verticale as.

Dwangmengers zijn zeer geschikt voor het bereiden van betonspecies met een laag watergehalte. Zij mengen snel. Nauwkeurig onderhoud is nodig van de binnenbekleding van de mengtrommel. De afstelling van de mengschoepen aan de mengarmen moet zorgvuldig gebeuren. Bij te veel afstand tussen de mengschoepen en de trommelwand of trommelbodem blijft er een ongemengde materiaalkoek in de trommel zitten. Tegenstroommengers hebben om die reden vaak ook nog een schraapmes. Dat schraapmes staat stil, terwijl de trommelwand erlangs draait. De menger wordt gelost via een losopening in de bodem.

Mengers met horizontale as

Bij mengers met een horizontale as, ook wel trogmengers genoemd, vindt het mengen plaats in een horizontaal opgestelde, dubbel-cilindervormige bak. Hierin draaien twee van schoepen voorziene, horizontale assen tegen elkaar in. De menger wordt gelost via een losopening in de bodem (figuur 5.6). De trogmenger is een zeer effectieve menger die zowel in de betonmortel- als in de betonelementenindustrie wordt gebruikt. De mengcapaciteit is meestal 2 á 3 m³.



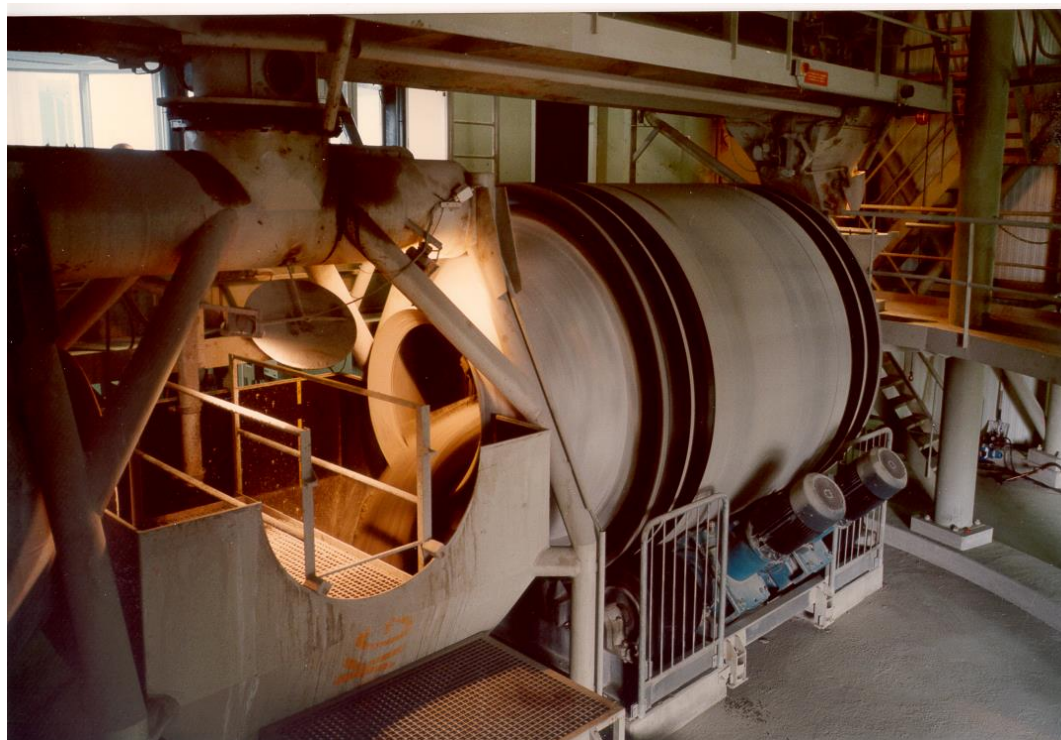
Figuur 5.6 Trogmenger

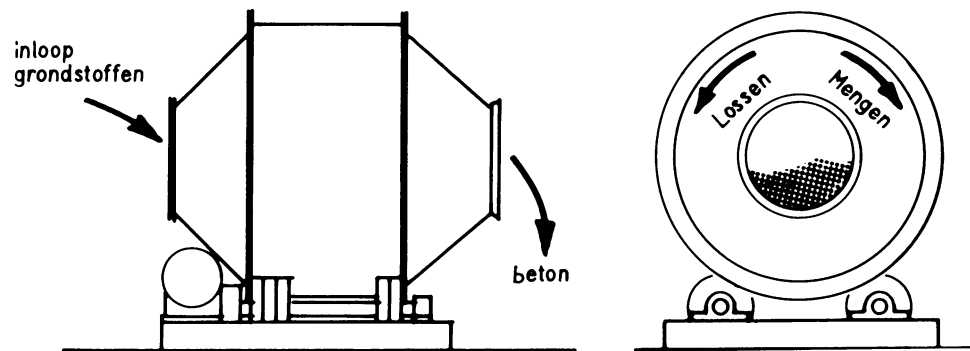
5.4.2.2

Vrije-valmengers

Er zijn ook mengers die de materialen 'omscheppen'. Denk aan zoals een schop schept en het materiaal vrij laat vallen. Zo'n type menger noemt men een vrije-valmenger. Een vrije-valmenger bestaat uit een mengtrommel waarin op de wand schoepen zijn gelast. De trommel draait op wielen om een denkbeeldige horizontale as (zie figuur 5.3). "Denkbeeldig" omdat de mengtrommel geen as heeft.

Door de draaiing nemen de schoepen de betonspeciegrondstoffen mee. Boven in de trommel vallen de grondstoffen vanaf de schoep naar beneden. Op die manier wordt het materiaal net zolang omgezet tot het een homogeen mengsel is.





Figuur 5.3 Vrije-valmenger - menger met denkbeeldige horizontale as.

De meeste vrije-valmengers hebben een vultrechter aan de ene kant en een losopening aan de andere kant. De schoepen zijn zo gevormd dat ze het materiaal mengen als de trommel in de ene richting draait. Als de trommel in de andere richting draait wordt de inhoud, als door een schroef, naar buiten geduwd.

Er zijn ook vrije-valmengers met een kantelbare trommel. De betonspecie komt eruit als de opening van de trommel naar beneden wordt gekanteld (kantelmenger).

Vrije-valmengers zijn minder onderhoudsgevoelig dan dwangmengers. Ze hebben geen uitstroomkleppen in de bodem en geen draaiende mengarmen met schoepen. Maar ze hebben meer mengtijd nodig voor droge en aardvochtige species.

5.5 De betonproductenindustrie

Bijzonder aan de betonproductenindustrie is dat het hele proces in eigen huis plaatsvindt: van de betonspeciebereiding tot en met de verharding en nabehandeling. Betonfabrieken hebben een grondstoffenopslag, een betoncentrale, transportmiddelen, mallen, verhardingsruimten en/of een tasveld en een laboratorium. Een tasveld is een plek waar de geproduceerde producten worden opgeslagen om verder te verharden totdat ze naar de afnemer worden vervoerd.

In de betonproductenindustrie worden allerlei voorwerpen van beton gemaakt. Denk aan grote kokerliggers of tunnelmoten, maar ook sierbetontegels of straatstenen.

Technisch gesproken valt de betonproductenindustrie uiteen in twee hoofdgroepen:

1. bedrijven die kleine betonproducten fabriceren (betonwarenindustrie);
2. bedrijven die grote betonproducten fabriceren (betonelementenindustrie).

5.5.1 Betonwarenindustrie

De productietechniek in de betonwarenindustrie maakt meestal gebruik van de groene sterkte van aardvochtige betonspecies en de meeste producten zijn niet gewapend.

Producten zoals stenen, dakpannen, blokken en tegels worden in mallen gevormd. Ze worden onder druk verdicht en daarna direct uit de mal genomen (zie



Figuur 5.4). In een klimaatkamer volgt dan gedurende 24 uur het verharden van de "vormelingen". In zo'n klimaatkamer wordt de lucht vochtig gehouden, waardoor het water niet uit het beton verdampt. Doordat met een laag watergehalte wordt gewerkt, zakken deze vormelingen niet uit. Ze hebben na 24 uur al zoveel sterkte dat ze buiten op het tasveld kunnen worden opgeslagen om verder te verharden.

Figuur 5.4 Voorbeeld van een mal voor straatstenen

De belangrijkste producten uit deze sector zijn:

- trottoirtegels en banden;
- siertegels;
- straatstenen;
- gevelstenen;
- dakpannen;
- metselblokken.

5.5.2

Betonelementenindustrie

In deze sector worden gewapende of voorgespannen elementen gemaakt. In een productiehal staan de mallen. Hierin wordt de betonspecie gestort en verdicht. Meestal kunnen de elementen binnen 24 uur uit de mallen worden gehaald. Indien nodig wordt de specie en/of de mal verwarmd om de verharding sneller te laten verlopen.

Daarna worden de elementen op het tasveld opgeslagen om verder te verharden.

In deze sector wordt over het algemeen met lage water-cementfactoren gewerkt, waarmee een snelle verharding en een hoge betonsterkte worden verkregen.

Vaak wordt gebruikgemaakt van sneller verhardende cementen zoals CEM I 42,5 R, CEM I 52,5 R of CEM III/A 52,5 N.

Als het beton moet worden voorgespannen, worden de elementen meestal al in de mal aangespannen voordat ze uit de mal worden genomen.

Een bijzondere vorm van productie in deze sector is de lange-bankmethode (zie figuur 5.5).



Figuur 5.5 Groot betonelement (heipaal) vervaardigd met de lange-bankmethode.

Zo'n "lange bank" is een baan van enkele meters breed en tientallen meters lang. Op deze baan wordt de wapening aangebracht en eventueel voorgespannen. Daarna wordt door een machine in één gang een betonstrook gestort, verdicht en afgewerkt (zie figuur 5.8). De gevormde strook wordt afgedekt om uitdroging te voorkomen. Als het nodig is, wordt ook verwarmd om de verharding van het beton te versnellen.

Dwarsprofielen in de baan bepalen de lengte van de elementen.

Soms wordt na verharding met een diamantzaag de betonstrook in moten van de gewenste lengte gezaagd.

Beide technieken worden gebruikt bij zowel gewapend als bij voorgespannen beton.



Figuur 5.6 Storten en afwerken van kanaalplaten vervaardigd volgens de lange-bank methode. (bron: Elematic)

5.6 De betonmortelindustrie

De betonmortelindustrie in Nederland beschikt over een groot aantal betoncentrales. Deze zijn over heel het land verspreid. Betoncentrale is eigenlijk een vreemd woord, omdat een betoncentrale geen beton, maar betonspecie maakt.

Een betoncentrale bestaat uit een grondstoffenopslag, een doseer- en menginstallatie voor betonspecie, transportmiddelen en een betonlaboratorium. Bij de betoncentrale stelt men het mengsel samen, doseert de grondstoffen en mengt de betonspecie. Hierna transporteert men de betonspecie naar de afnemer. De afnemer zorgt zelf voor transport op de bouwplaats, storten in de bekisting, verdichten, afwerken en nabehandelen.

De betontechnoloog van een betoncentrale moet altijd weten welke eisen aan het beton gesteld worden. Hij moet ook weten over welke transport- en verdichtingsmiddelen men beschikt op de bouwplaats. Als hij dat allemaal weet, kan hij de samenstelling van de betonspecie bepalen.



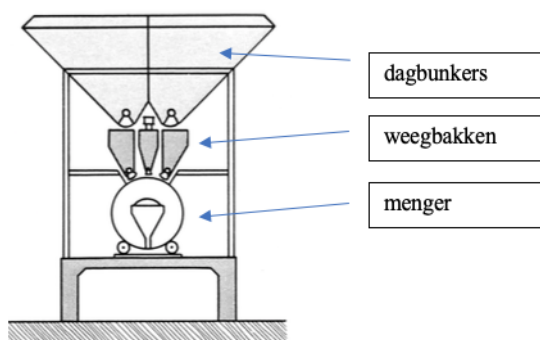
Controle van de eigenschappen van de grondstoffen en de betonspecie vindt plaats in het laboratorium van de betoncentrale.

Er bestaan twee soorten betoncentrales:

1. de natte centrale;
2. de half-natte centrale.

5.6.1 Natte centrale

In een natte centrale (figuur 5.7) wordt de betonspecie in een stationair opgestelde menger gemengd en in een truckmixer geladen.



De mengtrommel van de truckmixer hoeft onderweg slechts rustig te draaien (agiteren) om ontmenging van de betonspecie te voorkomen.

Figuur 5.7 Principe van een 'natte' centrale.

5.6.2 Half-natte centrale

In een half-natte centrale wordt de stationaire menger uitsluitend gebruikt voor het mengen van cement, zand, water en hulpstoffen. De op deze wijze gemaakte mortelspecie wordt in de truckmixer geladen. Het grove toeslagmateriaal gaat via een 'bypass'-leiding rechtstreeks

van de weegbak naar de truckmixer. Het mengen van de mortelspecie met het grove toeslagmateriaal gebeurt in en door de truckmixer.

Het grote voordeel van dit systeem is minder slijtage in de menger en het maken van grotere mengcharges. Het volume grind blijft immers buiten de menger.

VRAAGSTUKKEN

1. Hoe moet verpakt cement worden opgeslagen?
2. Wat verstaat men onder het verouderen van cement?
3. Hoe kan men bepalen of verouderd cement nog bruikbaar is?
4. Hoe moet een cementmonster worden bewaard?
5. Noem vier soorten verontreinigingen, die in het aangevoerde toeslagmateriaal aanwezig kunnen zijn. Hoe kan men dit voorkómen?
6. Waarom is het belangrijk erop te letten, dat grove toeslagmaterialen tijdens het transport niet ontmengen?
7. Welke maatregelen moeten worden getroffen om te voorkómen dat vaten met verschillende soorten hulpstof worden verwisseld?
8. Hoe moeten hulpstoffen worden opgeslagen?
9. Noem twee systemen voor het doseren van toeslagmateriaal. Met welk systeem wordt de grootste nauwkeurigheid bereikt?
10. Waarom moet de toe te voegen hoeveelheid aanmaakwater soms worden gecorrigeerd, terwijl toch de totale hoeveelheid water gelijk blijft?
11. Wat verstaat men onder een 'droge' en wat onder een 'natte' mengfase?
12. Noem drie soorten mixers en geef van alle enkele voor- en nadelen aan.
13. Wat verstaat men onder de lange-bankmethode?
14. Wat is het verschil tussen een natte en een half-natte betoncentrale?

VERKLARENDE WOORDENLIJST

cementveroudering

het achteruitgaan van de cementkwaliteit in de opslag door waterinvloeden.

half-natte centrale

betoncentrale waarbij grondstoffen (met uitzondering van grof toeslagmateriaal) in een stationair opgestelde menger worden gemengd. De grove toeslagmaterialen worden in de truckmixer bijgemengd

homogeen mengsel

mengsel waarin de grondstoffen gelijkmatig zijn verdeeld.

lange-bankmethode

productiemethode voor voorgespannen betonelementen die in één lijn zijn opgesteld met gemeenschappelijke voerspandraden.

massadosering

doseerwijze van grondstoffen door massameting.

natte centrale

betoncentrale waarbij alle grondstoffen in een stationair opgestelde menger worden gemengd.

natte mengfase

periode van mengen van droge grondstoffen met toevoeging van water.

tasveld

opslagplaats van gerede producten

volumedosering

doseerwijze van grondstoffen door volumemeting.

6

BEKISTING EN WAPENING

INHOUDSOPGAVE	Pag.
6.1 Bekisting.....	6-3
6.1.1 Algemeen.....	6-3
6.1.2 Algemene eisen aan de bekisting	6-4
6.1.3 Behoud van de vorm.....	6-4
6.1.4 Optredende krachten (belasting).....	6-4
6.1.5 Het opnemen van krachten	6-5
6.1.6 Maatvoering voor de wanddikte	6-6
6.1.7 Bekistingsconstructies op de bouwplaats	6-7
6.1.8 Mallen in de betonproductenindustrie	6-9
6.1.9 Materialen voor de bekisting	6-9
6.1.10 Ontkistingsmiddelen.....	6-10
6.2 Wapening.....	6-10
6.2.1 Vezels	6-11
6.2.2 Betonstaal	6-12
6.2.2.1 Productinformatie van betonstaal	6-12
6.2.2.2 Uiterlijk.....	6-13
6.2.2.3 Leveringstoestand.....	6-13
6.2.2.4 Verbindingen bij betonstaal	6-14
6.3 Voorspanstaal	6-14
6.3.1 Sterkte.....	6-15
6.3.2 Leveringsvorm.....	6-15
6.4 Voorspanmethoden.....	6-15
6.4.1 Methode met voorgerekt staal	6-15
6.4.2 Methode met nagerekt staal.....	6-16
6.5 Voorspansystemen.....	6-16
6.5.1 Voorspanning met aanhechting (VMA)	6-16
6.5.2 Voorspanning zonder aanhechting (VZA)	6-17
Vraagstukken	6-18
Verklarende woordenlijst.....	6-19

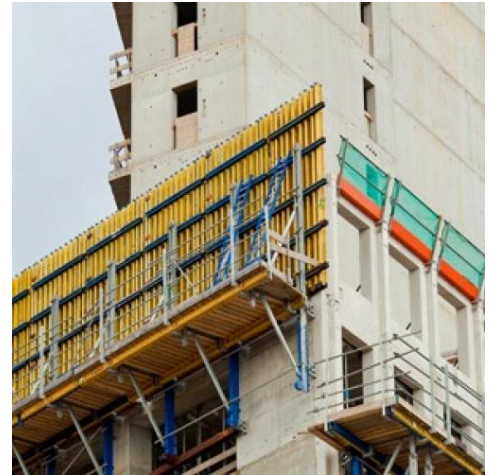
6.1 Bekisting

6.1.1 Algemeen

De bekisting geeft vorm aan een betonnen constructiedeel. Het is een tijdelijke hulpconstructie. In een bekisting wordt de betonspecie "gestort" en verdicht.

De term bekisting wordt gebruikt op een bouwplaats. In een betonproductenindustrie wordt daarvoor de term "mal" gebruikt.

Een deel van de bekisting raakt de betonspecie en wordt daarom de "contactbekisting" genoemd. Daarnaast bestaat de steunbekisting. Dit deel geeft steun aan de contactbekisting.



De onderdelen van de bekisting zijn goed te herkennen.



Dit is natuurlijk ook een bekisting

De contactbekisting bepaalt het uiterlijk van het constructiedeel of het product. Daarom moet voor de contactbekisting het te gebruiken materiaal zorgvuldig worden gekozen. Alle gebreken in de contactbekisting zijn later in het verharde beton terug te vinden.

Voor de steunbekisting wordt meestal gebruik gemaakt van metalen onderdelen.

Bij een mal is meestal geen steunbekisting nodig. De mal is zo gemaakt dat hij alle krachten direct opneemt.



Een mal voor een wandelement



Een mal voor een betonnen trap

6.1.2 Algemene eisen aan de bekisting

- Het maken en stellen moet zo gemakkelijk mogelijk zijn.
- Afmetingen van de onderdelen moeten passen bij de methode van stellen.
- De gehele constructiedoorsnede moet bereikbaar zijn voor betonspecie en de methode van verdichten.
- Aansluitingen tussen bekistingdelen en aansluitingen op verhard beton moeten dicht zijn. Dan kunnen fijne delen niet weglekken. Door weglekken ontstaan beschadigingen in het betonoppervlak.
- De contactbekisting moet de gewenste oppervlakstructuur geven.
- De bekisting moet eenvoudig te ontkisten zijn. Hierdoor wordt schade aan het oppervlak voorkomen.
- Veilig werken op de bekistingsconstructie moet gewaarborgd zijn.

6.1.3 Behoud van de vorm

De bekisting moet zijn vorm houden als de betonspecie wordt gestort en verdicht. De sterkte en stijfheid van de bekisting moeten zijn afgestemd op de optredende krachten. De sterkte geeft aan dat de bekisting niet bezwijkt. De stijfheid geeft aan dat de bekisting niet vervormt. Het gaat hierbij niet alleen om de bekisting. Het gaat ook om de ondergrond waarop de bekisting wordt geplaatst.

6.1.4 Optredende krachten (belasting)

Verschillende krachten worden uitgeoefend op de bekisting. Die krachten komen van het gewicht van de betonspecie, aan de bekisting bevestigde stortsteigers, het materieel en personeel. Ook moet rekening worden gehouden met stootbelastingen. Stootbelasting treedt op bij een grote valhoogte van de betonspecie en bij het stoten van stortapparatuur tegen de bekisting.

Op horizontale en verticale vlakken treedt druk op, bekistingsdruk genoemd. Bij verticale bekistingsvlakken is deze druk zijwaarts gericht. Deze druk kan heel hoog worden.

De bekistingsdruk is afhankelijk van de:

- consistentie van de betonspecie (hoe vloeibaarder, des te hoger);
- toepassing van hulpstoffen (vertragers verhogen de druk, omdat de specie langer vloeibaar blijft);
- stijgsnelheid van de betonspecie in de bekisting (hoge snelheid, hoge druk);
- manier van verdichten (bekistingstrillers – trilnaalden);
- totale hoogte van het te storten constructiedeel (hoe hoger, des te meer druk).

De druk is het grootst onderin de bekisting en bij het verdichten. De zijwaartse speciedruk neemt af als de betonspecie verhardt.

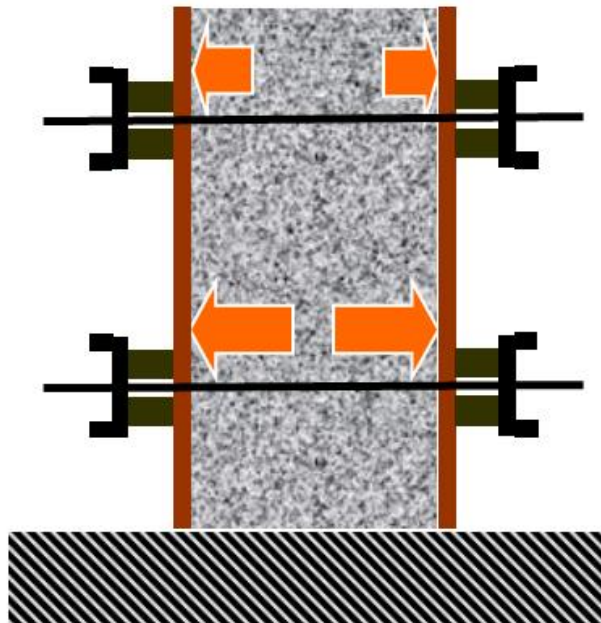
Als de bekisting niet stijf of sterk genoeg is, vervormt of bezwijkt hij. Dit wordt het "spatten" van de bekisting genoemd.

6.1.5 Het opnemen van krachten

Een bekisting moet voldoen aan de eisen van sterkte en stijfheid. Bij vloerbekisting treden vooral verticale krachten op. Bij wanden, hoge balken en kolommen treden vooral horizontale krachten op.

Om deze horizontale krachten op te nemen worden speciale voorzieningen aangebracht. Bij hoge balken en wanden bestaan deze voorzieningen uit stalen pennen door de bekisting, centerpennen genoemd. Met deze stalen pennen worden de bekistinghelften aan elkaar vastgemaakt (zie figuur 6.1).

Bij het ontkisten worden de centerpennen meestal weer verwijderd. Het achterblijvende gat wordt dichtgemaakt maar kan ook open worden gelaten.



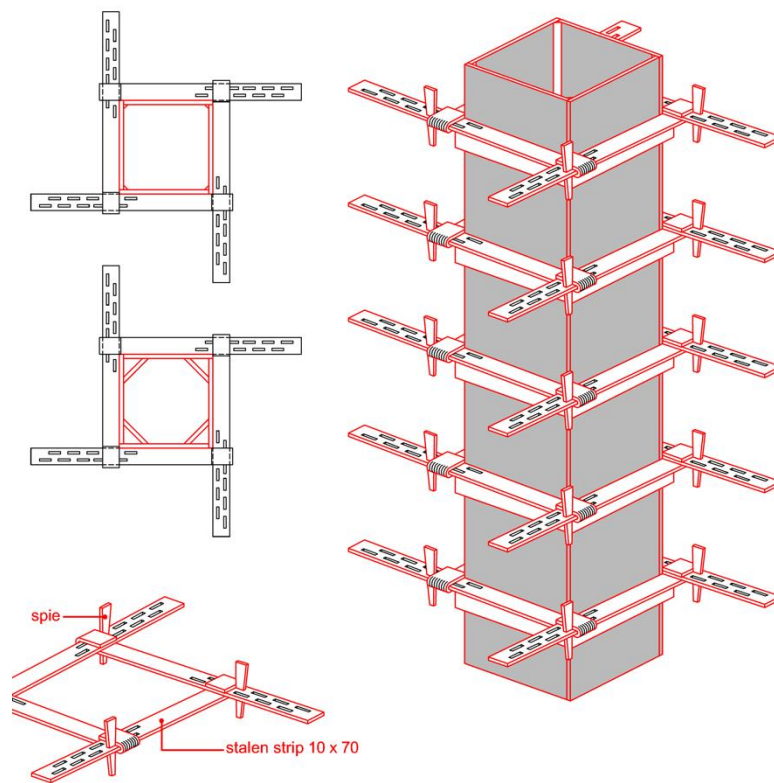
Figuur 6.1 principe centerpennen

Bij waterdicht werk wordt de centerpen in het beton achtergelaten. De uiteinden van de centerpen moeten dan bedekt worden om te voorkomen dat ze gaan roesten.



Bij kolommen worden geen centerpennen gebruikt.

Hier zorgen kransen om de bekisting voor het opvangen van de horizontale krachten (figuur 6.2 geeft veel informatie hierover).



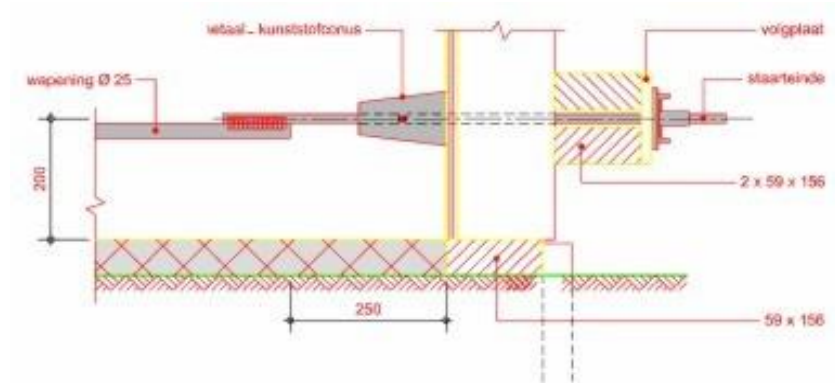
Figuur 6.2 Kransen

6.1.6 Maatvoering voor de wanddikte

De bekistinghelften moeten op de gewenste afstand van elkaar worden gehouden. Daarvoor wordt een afstandhouder rond de centerpen gebruikt met een lengte gelijk aan de wanddikte. Deze afstandhouder voorkomt dat de bekisting naar binnen gaat als de centerpen wordt aangedraaid. Dankzij deze afstandhouder kan de centerpen worden verwijderd als de betonspecie verhard is.

Afhankelijk van de constructie worden ook de afstandhouders verwijderd.

Bij waterdichte constructies zijn de centerpenen tegelijk afstandhouder voor de bekisting. Hierbij gebruiken worden opschroefbare conussen gebruikt (figuur 6.3).

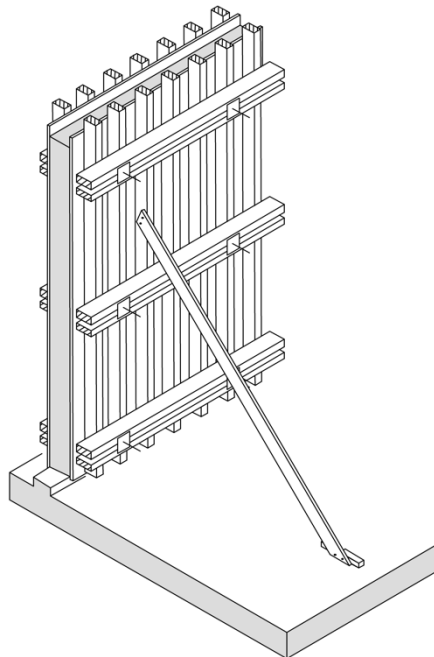


Figuur 6.3 - Opschroefbare conus

6.1.7 Bekistingsconstructies op de bouwplaats

Op de bouwplaats vinden we de volgende bekistingsconstructies:

- Verloren bekisting
Een verloren bekisting blijft zitten na het storten. Een voorbeeld is een bekisting van platen polystyreenschuim voor funderingsbalken.



- Traditionele bekisting
Een traditionele bekisting wordt meestal maar één keer gebruikt. Deze bekisting bestaat uit houten delen en balken (ook wel baddingen genoemd). Het materiaal is goedkoop. De constructie vereist veel aandacht en is arbeidsintensief.
In de praktijk wordt de traditionele bekisting bijna niet meer gebruikt (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).

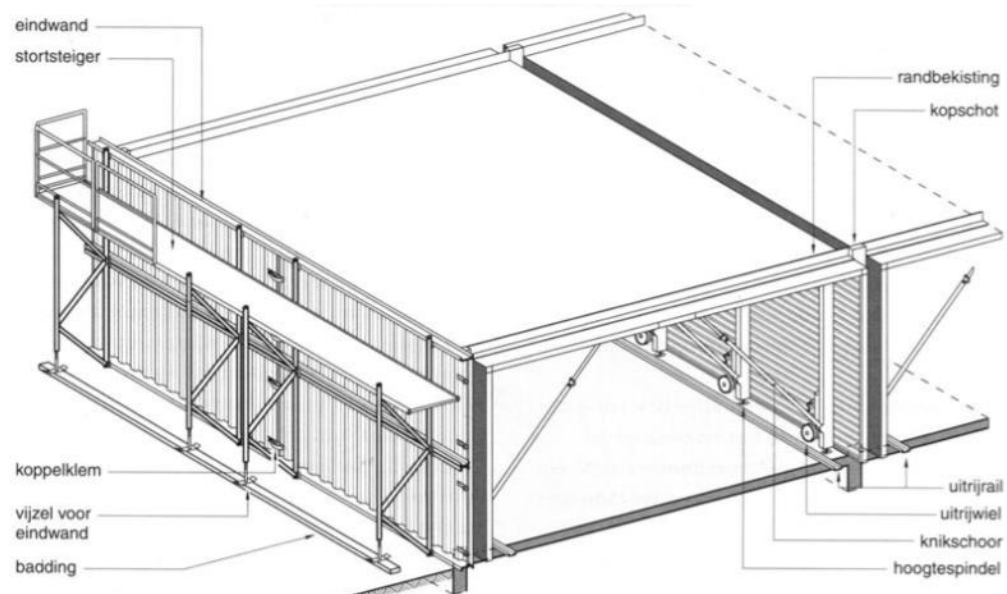
Figuur 6.4 Traditionele bekisting.

- Systeembekisting
Een systeembekisting is opgebouwd uit standaard onderdelen. De onderdelen worden speciaal ontworpen voor een bepaald werk. Het kunnen ook standaard elementen zijn, die voor meer projecten gebruikt worden. Vaak zijn hierbij aparte constructies ontworpen voor vloeren, wanden, balken en kolommen. De materiaalkosten zijn hoog. De eenvoudige wijze van montage is minder arbeidsintensief (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).



Figuur 6.4 Systeembekisting

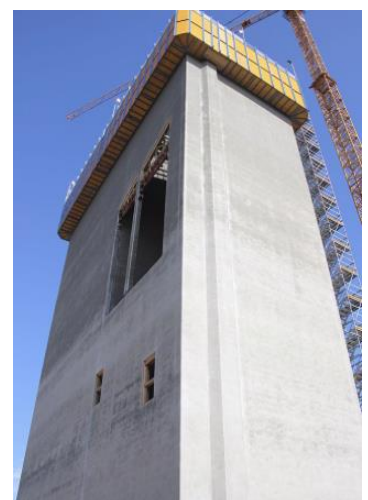
- Tunnelbekisting
Een tunnelbekisting bestaat uit een serie mallen die (naast elkaar geplaatst) het mogelijk maken om wanden en plafonds van bijvoorbeeld een woning tegelijk te storten. De tunnelbekisting is altijd van staal gemaakt. Vaak zijn in de tunnelbekisting verwarmingsapparaten aangebracht om daarmee direct na het storten de temperatuur van de specie zodanig te verhogen dat de volgende dag de bekisting kan worden verwijderd.



- Glijbekisting
Een glijbekisting bezit een geringe hoogte (0,80 m - 1,30 m) en wordt langzaam omhoog getrokken of omhoog gevizeld.
Het principe van het verwerken van betonspecie met een glijbekisting is eenvoudig. Men neme een wandbekisting, ongeveer 1,20 m hoog (de bekisting heeft géén bodem en is dus aan de onderzijde open!).
Vul de bekisting in lagen met betonspecie in een zodanig tempo dat een continu proces ontstaat waarbij de bekisting, veelal via in de wand geplaatste vijzelstaven, in kleine stapjes wordt opgevizeld.
Aan de bovenzijde wordt zo in een continu proces de wapening gesteld en de betonspecie gestort. Aan de onderzijde komt het jonge verhardende beton onder de bekisting tevoorschijn. Op dat moment moet het beton zodanig zijn verhard dat het zijn vorm behoudt en de erop uitgeoefende belasting kan opnemen.

Glijbekistingen worden ingezet voor verschillende constructievormen: rond, veelhoekig, vierkant en zelfs voor plattegronden die zijn opgebouwd uit verschillende cellen.

Het meest bekend zijn betonconstructies als gebouwkernen bij hoogbouw, schoorstenen, koeltorens en silo's. In deze constructies kunnen de (uitvoerings-) voordelen van het werken met de glijbekisting maximaal worden benut. Bij voorkeur moet de constructie relatief eenvoudig zijn en slechts weinig sparingsen bevatten.



De eisen aan de betonspecie voor gebruik in glijbekistingen, wijken nauwelijks af van normaal beton. Er zijn enkele specifieke aandachtspunten: zo moet de betonspecie stabiel zijn en niet te vet/plakkerig, de verwerkbaarheid/zetmaat moet binnen een zeer kleine bandbreedte liggen en het opstijfgedrag moet voorspelbaar, beheerst en gecontroleerd zijn.

Ook het continu storten van verkeersgeleidingswanden is eigenlijk een vorm van glijbekisting.



6.1.8 Mallen in de betonproductenindustrie

De mallen in de betonproductenindustrie verschillen per product. We onderscheiden de volgende soorten:

- Stempelmal
Deze mal maakt deel uit van een machine. In de machine wordt de betonspecie verwerkt. De machine heeft een vaste malconstructie. Alleen de onderplaat is beweegbaar. Met zo'n stempelmal worden bijvoorbeeld betonstenen, tegels en trottoirbanden gemaakt.
- Baanvormige mal
Bij deze mal is alleen een onderplaat aanwezig. De machine die de betonspecie verwerkt, bepaalt de vorm van het product. Bij het storten beweegt de machine over de baan. Het wordt ook wel de lange-bankmethode genoemd (zie ook hoofdstuk 5.5.2). Deze mallen worden onder andere bij de fabricage van kanaalplaten gebruikt.
- Losse mallen in combinatie met een machine
Hierbij vormt de machine het product in de opgestelde mal. Direct na het maken van het product wordt de mal verwijderd. Deze mallen worden gebruikt bij het maken van betonbuizen.
- Systeemmal
Deze mal heeft een vaste opstelling in de betonelementenfabriek. In deze mal worden producten met vaste afmetingen gemaakt zoals standaardbalken voor bruggdelen. Over het algemeen kunnen de lengte en breedte van zo'n mal makkelijk worden veranderd.
- Losse mallen
Deze mallen worden speciaal voor een bepaald product gemaakt.

6.1.9 Materialen voor de bekisting

Meestal worden hout en staal voor de contactbekisting gebruikt. De structuur van het oppervlak bepaalt de keus. Ook speelt mee hoe vaak de bekisting moet worden gebruikt.

Hout is relatief goedkoop en gemakkelijk te bewerken. Om veel naden te voorkomen wordt meestal plaatmateriaal gebruikt. Omdat hout snel slijt en gemakkelijk beschadigt, wordt het meestal voorzien van een harde kunststoflaag of verflaag. Onbehandeld hout zuigt veel vocht op. Daarom moet het oppervlak vóór het storten nat worden gemaakt. Eventueel aanwezige krimpnaaden sluiten dan ook weer.

Staal verdient de voorkeur als een bekisting vaak gebruikt wordt. De mallen voor standaard producten in een fabriek zijn dan ook altijd van staal. Het is kostbaar om een bekisting of mal van staal te veranderen.

Soms worden speciale eisen aan het betonoppervlak gesteld. Denk bijvoorbeeld aan schoon beton of een geprofileerd oppervlak. De bekisting moet in deze gevallen geen lekkage vertonen omdat dat direct een verstoring van het betonoppervlak geeft. Voor een geprofileerd oppervlak zijn speciale kunststof of rubberen bekledingsplaten beschikbaar.

6.1.10 Ontkistingsmiddelen

De betonspecie en de bekisting mogen niet aan elkaar hechten. Hiervoor worden ontkistingsmiddelen gebruikt, ook wel bekistingsolie genoemd.

Een ontkistingsmiddel:

- moet ervoor zorgen dat het beton niet aan de bekisting hecht en zodoende een goede lossing van de bekisting mogelijk maakt;
- mag het betonoppervlak niet aantasten;
- moet gemakkelijk zijn aan te brengen;
- moet zoveel mogelijk de vorming van luchtbellen in het betonoppervlak voorkomen;
- mag geen vlekvorming geven op het oppervlak;
- mag geen negatieve invloed hebben op het later aanbrengen van afwerklagen of verflagen.

Ontkistingsmiddelen worden in zo dun mogelijke laag aangebracht met een kwast, een bezem, een rol, een spuit of een doek. De laagdikte moet overal gelijk zijn. Voor verschillende bekistingsmaterialen bestaan verschillende ontkistingsmiddelen.

Let op: breng het ontkistingsmiddel niet aan op wapening of stornaden. Een ontkistingsmiddel voorkomt hechting, terwijl dit juist op deze plaatsen moet gebeuren.

6.2 Wapening

In bijna alle betonconstructies wordt wapening toegepast. De wapening neemt trekspanningen op.

Trekspanningen ontstaan door het belasten van de constructie, maar ook door het krimpen van beton of betonspecie

Wapening is meestal van staal, maar ook andere materialen worden gebruikt. De soorten wapening zijn ingedeeld in de volgende hoofdgroepen:

- vezels;
- betonstaal;
- voorspanstaal.

6.2.1 Vezels

Vezels kunnen zorgen voor het:

- opnemen van krimpspanningen in de verhardende betonspecie;
- verhogen van de buigtreksterkte van beton;
- verhogen van de stootvastheid;
- verhogen van de brandwerendheid;

De meest gebruikte materialen voor het maken van vezels zijn staal, kunststof en glas.

Staalvezels

Staalvezels verhogen de buigtreksterkte en de stootvastheid van het beton. De vezels zijn in verschillende uitvoeringen en lengten verkrijgbaar. De vorm is altijd van een profilering voorzien, waardoor een betere verankering en aanhechting van de vezel in het beton wordt verkregen. De verhouding van lengte en dikte is van invloed op de verwerkbaarheid van de betonspecie.

Over het algemeen kunnen de staalvezels niet de constructieve wapening vervangen. Alleen bij volledig ondersteunde vloeren kunnen staalvezels als constructieve wapening worden gebruikt.

Staalvezels kunnen ook worden toegepast in combinatie met betonstaal.

Bij toepassing van staalvezels in constructies in weer en wind zullen de aan het oppervlak liggende staalvezels gaan roesten. Dat geeft echter geen problemen.



Kunststofvezels

Kunststofvezels hebben een andere functie dan staalvezels. Ze nemen krimpspanning op in verhardende betonspecie. Ze zijn gemaakt van polypropyleen en hebben verschillende afmetingen. De te gebruiken afmeting hangt af van de betonsamenstelling, de aan te brengen laagdikten en het te maken product. De vezels zijn voorzien van een coating voor een betere mengbaarheid.

Kunststofvezels worden gebruikt in cementgebonden dekvloeren, vloeistofdichte constructies, spuitmortels en reparatiemortels.



Ook worden kunststofvezels toegepast om de brandwerendheid te verhogen. Brandschade aan beton ontstaat doordat het nog in de poriën en in de cementsteen aanwezige water door de hoge temperatuur zal verdampen. Omdat deze waterdamp niet snel uit het beton kan ontsnappen, wordt de druk heel erg hoog. Zo hoog dat stukjes beton kunnen worden afgedrukt. Kunststofvezels zullen bij die temperatuur smelten en als gevolg daarvan ontstaan kleine kanaaltjes in het beton waardoor de waterdamp kan ontsnappen.

Op die wijze kan het beton de wapening langer beschermen tegen de hoge temperaturen bij brand. Bij hoge temperaturen ($> 300\text{ }^{\circ}\text{C}$) verliest het staal veel van zijn sterkte. Met alle gevolgen van dien.

Glasvezels

Glasvezels nemen krimpspanningen op. Ze verhogen de buigtreksterkte. Glas wordt door de alkaliën in het beton aangetast. Glasvezels worden daarom van een speciale alkalibestendige glassoort gemaakt.

Glasvezels worden eigenlijk alleen in de betonproductenindustrie gebruikt, bijvoorbeeld voor het maken van dunwandige gevelelementen. Hierbij wordt de betonspecie in de mal gebracht door de specie daarin te verspuiten.



Glasvezelversterkt betonelement

6.2.2

Betonstaal

Betonstaal als wapening in beton zorgt voor:

- het opnemen van trekspanningen als gevolg van het belasten van de constructie;
- het opnemen van trekspanningen als gevolg van krimp en temperatuurinvloeden.

Niet elke staalsoort wordt gebruikt als wapening. Belangrijke eigenschappen zijn de treksterkte, de taaheid en het koolstofgehalte van het materiaal. Taaheid en koolstofgehalte zijn van belang bij de verwerking van het staal. Denk hierbij aan buigen en lassen.

De toepasbare staalsoorten worden genoemd in de norm NEN-EN 10080/NEN 6008: 'Betonstaal'.

6.2.2.1

Productinformatie van betonstaal

Betonstaal is ingedeeld op basis van taaheid van het staal, de zogenoemde 'ductiliteitsklassen' A, B en C. NEN-EN 10080/NEN 6008 geeft een en ander weer.

De taaheid zegt iets over de mogelijkheid om het staal zonder kwaliteitsverlies te kunnen (terug)buigen. Alle soorten hebben een treksterkte R_e van 500 N/mm² en zijn alle lasbaar.

De aanduidingen zijn: B500A, B500B en B500C.

De staalsoort B500C is bedoeld voor aardbevingsgebieden, maar ook voor plaatsen in de constructie die onder invloed van de belasting veel bewegen.

Het verschil tussen de drie ductiliteitsklassen is gelegen in

- de verhouding R_m/R_e van de vloeireksgrens R_m en de treksterkte R_e , wat iets zegt over de taaheid, en
- de rek-eis A_{gt} (ϵ_{su}).

In Tabel 6.1 zijn de waarden aangegeven.

Tabel 6.1 NEN 6008 :2008

betonstaalsoort	B500A	B500B	B500C
R_e (MPa)	500	500	500
R_m/R_e	1,05	1,08	1,15 - 1,35
A_{gt} (%)	3,0	5,0	7,5

6.2.2.2

Uiterlijk

Wapeningsstaal moet een profilering hebben ter verhoging van de aanhechting aan het beton. De norm NEN 6146 stelt eisen aan de profilering. Bovendien heeft elke fabrikant een speciale toevoeging aan de profilering, zodat herkenbaarheid mogelijk is. KIWA geeft een overzicht uit van staalproducenten met de profilering die zij gebruiken.

6.2.2.3

Leveringstoestand

Betonstaal wordt geleverd als staven, op rollen en als gepuntlaste wapeningsnetten. Bij gebruik van rollen moet het staal vanaf de rol worden gericht (dat is: recht worden gemaakt) in een richtbank. Hierbij veranderen de materiaaleigenschappen.

Staven worden geleverd in diameters van 6-40 mm.

Staal op rollen wordt geleverd in diameters van 4-16 mm.

Gepuntlaste wapeningsnetten worden geleverd in diameters van 4-16 mm. De netten zijn in vele vormen en afmetingen verkrijgbaar.

De tussendiameters zijn gestandaardiseerd volgens een bepaalde reeks.

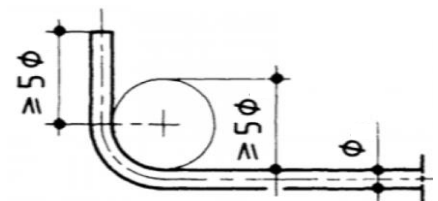
Tabel 6.3 geeft een overzicht van de leveringsvormen en oppervlak.

Tabel 6.3 Oppervlak en leveringsvormen betonstaal (geen examenstof)

betonstaalsoort	B500A	B500B	B500C
oppervlak	glad, gedeukt of geribd	gedeukt of geribd	geribd
leveringsvorm	rollen, staven, gepuntlaste wapeningsnetten en tralieliggers		rollen, staven, gepuntlaste wapeningsnetten
diameter (d) [mm]	4-16	6-50	6-50
minimale doorndiameter * [mm]	Bij één keer buigen: $d \leq 16 \text{ mm}: \geq 4d$ $d > 16 \text{ mm}: \geq 7d$		

* Bij het buigen van wapeningstaal wordt een zogenoemde doorn gebruikt om ervoor te zorgen dat de buigstraal niet te klein is. Anders kunnen er buigscheuren in het staal ontstaan. De wapeningsstaaf wordt om de doorn gebogen om de gewenste buigstraal te verkrijgen.

In figuur 6.6 is dit schematisch weergegeven.



Figuur 6.6 - buigdoorn



Onder: B500A, midden: B500B, boven: B500C

Profilering van betonstaal

6.2.2.4

Verbindingen bij betonstaal

Soms moeten wapeningsstaven aan elkaar worden verbonden, bijvoorbeeld om ze langer te maken.

Bij verbindingen in lengterichting kunnen de staven over een bepaalde lengte naast elkaar worden gelegd. Het beton draagt dan de trekkracht van de ene naar de andere staaf over. Dit wordt een “overlap-las” genoemd. Ook kunnen de staven elektrisch aan elkaar worden gelast.

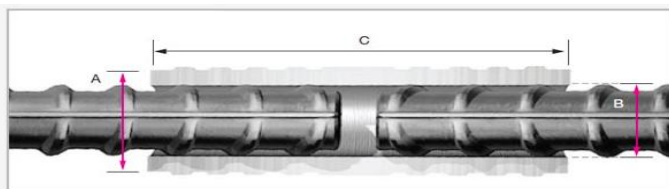
Naast lasverbindingen kan betonstaal ook worden verlengd met mechanische verbindingen. Bij een mechanische verbinding worden zowel drukkrachten als trekkrachten overgebracht. Voorbeelden hiervan zijn schroefmofverbindingen (zie figuur 6.7) en persmofverbindingen (zie figuur 6.8).



overlaplas



Figuur 6.7 Schroefmofverbinding.(bron: CABR TECH)



Figuur 6.8 Persmofverbinding.(Bron: Halfen)

Bij kruisingen worden de staven met vlechtdraad of met hecht- of puntlassen met elkaar verbonden. Het is niet de bedoeling dat via deze verbindingen krachten worden overgedragen, maar dat de staven op hun plaats blijven als de betonspecie wordt gestort.

Bij het lassen van verbindingen worden eisen aan het koolstofgehalte van het staal gesteld. Het lassen van staal is alleen toegestaan als de Praktijkrichtlijn NPR 2053 'Het lassen van betonstaal' wordt gevolgd. De staalsoorten volgens de norm NEN-EN 10080/NEN 6008 zijn lasbaar.

6.3

Voorspanstaal

Voorspanstaal wordt gebruikt in constructies van voorgespannen beton (zie hoofdstuk 1). In de norm NEN 3868 'Voorspanstaal' staan de eisen voor voorspanstaal. In deze norm zijn de mechanische eigenschappen en de leveringsvorm aangegeven.

6.3.1 Sterkte

Voor de sterkte wordt een code gebruikt. De code laat zien om welk staal en welke sterkte het gaat.

Voorspanstaal met de code FeP 1860 wordt het meest gebruikt.

- Fe = ijzer en P = précontraint = voorspanning, dus voorspanstaal;
- 1860 is de treksterkte van het staal in N/mm^2 .

De treksterkte van voorspanstaal is dus veel hoger dan die van betonstaal.

6.3.2 Leveringsvorm

Voorspanstaal wordt geleverd als draden, strengen en staven.

Voorspanndraden worden koud getrokken van walsdraad. Daarna worden ze geprofileerd en thermisch nabehandeld.

Voorspannstrengen zijn samengesteld uit gladde draden. Deze draden zijn schroefvormig met gelijkmatige slaglengte gewikkeld om een lengteas. Voorspannstrengen worden in twee uitvoeringen geleverd: als 3- en 7-draads streng. Bij de 3-draads streng zijn alle draden schroefvormig in elkaar geslagen.



Bij de 7-draads streng is één rechte iets dikkere draad in de kern aanwezig. Rond deze rechte draad zijn de andere draden schroefvormig geslagen.



Voorspanstaven zijn warmgewalste gladde of geprofileerde staven.

Met voorspanstaal moet zeer zorgvuldig worden omgaan.

- Het staal is zeer corrosiegevoelig.
- Kleine beschadigingen in het oppervlak verkleinen de voorspankracht.
- Spetters van het doorslijpen van strengen veroorzaken schade.

Daarom: lassen aan of dichtbij voorspanstaal is verboden.

6.4 Voorspanmethoden

De voorspanning op betonconstructies kan worden aangebracht met:

1. de methode met voorgerekt staal;
2. de methode met nagerekt staal.

6.4.1 Methode met voorgerekt staal

Bij de methode met voorgerekt staal wordt het staal onder spanning gebracht voordat de betonspecie wordt gestort. Daarvoor wordt een spanbank gebruikt. De in hoofdstuk 5 besproken lange-bankmethode is daar een voorbeeld van. In de spanbank worden de voorspanndraden aan de uiteinden verankerd. De verankering bevindt zich dus buiten de constructie.

De verankering kan ook aan de mal zelf plaatsvinden. Daarvoor moet de mal wel sterk genoeg zijn uitgevoerd.

Na het storten verhardt de betonspecie tot een bepaalde druksterkte. Dan worden de voorspandraden losgemaakt van de verankering door deze door te slijpen en brengen de voorspandraden de krachten over op het beton. Dit wordt ontspannen genoemd. De voorspanwapening wil verkorten, maar dit kan niet door de aanhechting van het staal aan het beton. Hierdoor komt het beton onder drukspanning te staan.

De methode kan alleen worden toegepast in de betonelementenindustrie.

Voorbeelden van betonelementen zijn: heipalen, liggers voor bruggen, kanaalplaten voor vloeren, lateien.



6.4.2 Methode met nagerekt staal

Bij de methode met nagerekt staal wordt het staal pas onder spanning gezet als de betonspecie verhard is en een bepaalde druksterkte heeft bereikt. De voorspanwapening mag daarom niet aan het beton hechten. De voorspandraden bevinden zich daartoe in buizen in het beton. Die buizen worden voorafgaande aan de stort in het beton aangebracht. De spankrachten worden in dit geval overgebracht door eindverankeringen in de constructie. Hierbij komt de betondoorsnede onder druk te staan. Na het spannen worden de buizen met voorspanwapening gevuld met cementlijm (zie 6.5.1) of met vet (zie 6.5.2).

Bij deze methode zijn geen verankeringen nodig buiten de constructie.

Dit systeem wordt vooral op de bouwplaats gebruikt om beton voor te spannen. Maar ook in de betonelementenindustrie gebruikt men deze methode.

Voorbeelden zijn brugdekken, wanden van opslagtanks.

6.5 Voorspansystemen

Voorgespannen beton wordt uitgevoerd in twee systemen:

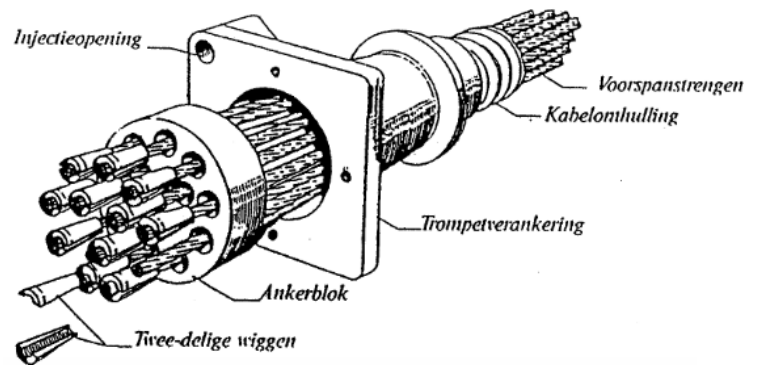
1. het VMA-systeem, dat is voorspanning met aanhechting tussen beton en staal;
2. het VZA-systeem, dat is voorspanning zonder aanhechting tussen beton en staal.

6.5.1 Voorspanning met aanhechting (VMA)

Bij het systeem “voorspanning met aanhechting” worden de voorspankrachten in het staal overgebracht door directe aanhechting van het staal aan het beton. Een duidelijk voorbeeld van dit systeem is de voorspanmethode met voorgerekt staal (zie 6.4.1).

Ook bij de methode met nagerekt staal kan soms sprake zijn van het VMA-systeem. Bij dit systeem wordt het voorspanstaal in omhullingsbuizen aangebracht. Als de volledige voorspanning is aangebracht, wordt de ruimte in de omhullingsbuis volgepompt met cementlijm (in dit geval een mengsel van cement, water en een hulpstof met zwellende werking). Dit wordt injecteren genoemd.

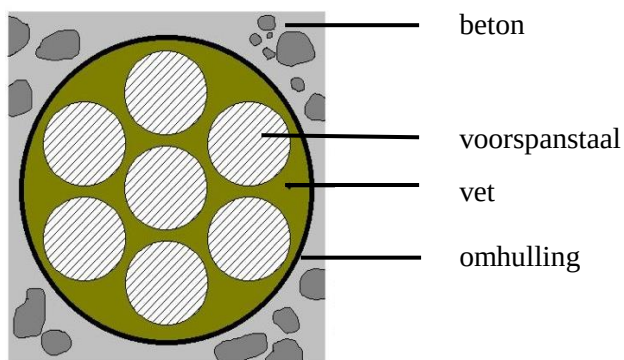
De omhullingsbuizen bestaan meestal uit geribd dun plaatstaal. Aan de einden hiervan worden de verankeringen aangebracht. Voor een goede vulling van de buizen met injectiespecie moeten injectie- en ontluuchtingsopeningen worden aangebracht. Het voorspanstaal is geheel in de injectiemortel opgenomen. Daardoor is het voorspanstaal ook beschermd tegen corrosie.



Figuur 6.5 Omhullingsbuis en verankeringen.

6.5.2 Voorspanning zonder aanhechting (VZA)

Bij voorspannen zonder aanhechting worden de voorspankrachten door de ingestorte verankeringen aan de einden van het voorspanstaal op de constructie overgebracht. Dat vindt plaats met de voorspanmethode met nagerekt staal.



Figuur 6.6 VZA-kabel.

Het voorspanstaal en de verankeringen worden vóór het storten van de betonspecie in de bekisting aangebracht. Het voorspanstaal zelf heeft een kunststof omhulling. Hierbij is de ruimte tussen staal en omhulling gevuld met vet. Het vet beschermt het staal tegen corrosie (zie figuur 6.10). Bij dit systeem is geen enkele aanhechting tussen beton en staal.

VRAAGSTUKKEN

1. Wat verstaat men onder een bekisting?
2. Waaruit is een bekistingsconstructie opgebouwd?
3. Aan welke eisen moet een bekistingsconstructie voldoen?
4. Wat verstaat men onder de bekistingsdruk?
5. Waarom is de bekistingsdruk tijdens het trillen maximaal?
6. Geef aan wat men verstaat onder een:
 - verloren bekisting;
 - systeembekisting;
 - glijbekisting.
7. Waarop moet worden gelet bij gebruik van een bekisting van houten delen?
8. Wanneer zal men kiezen voor een houten bekisting en wanneer voor een stalen bekisting?
9. Aan welke eisen moet een ontkistingsmiddel voldoen?
10. Waarop moet men letten bij het aanbrengen van een ontkistingsmiddel?
11. Welke drie soorten betonstaal worden voor wapening gebruikt?
12. Wat betekenen de volgende aanduidingen:
 - B500B;
 - FeP 1860?
14. Hoe is een voorspanstreng samengesteld?
15. Wat is het verschil tussen voorspanning met voorgerekte wapening en voorspanning met nagerekte wapening?
16. Wat kan men zeggen over de lasbaarheid van betonstaal en voorspanstaal?

VERKLARENDE WOORDENLIJST

bekisting

totale hulpconstructie die nodig is om een betonconstructie te realiseren.

bekistingsdruk

horizontale vloeistofdruk van betonspecie.

centerpen

een stalen staaf die de horizontale kracht ten gevolge van het storten en verdichten van de betonspecie in de bekisting moet opnemen.

contactbekisting

bekledingsmateriaal van de bekisting dat in rechtstreeks contact komt met de betonspecie.

ontkistingsmiddel

middel dat aanhechting van beton aan de bekisting voorkomt.

stortnaden / stortvoegen

naden die ontstaan als betonspecie tegen reeds verhard beton wordt gestort, waarbij de storten vast met elkaar worden verbonden.

voorspanning met aanhechting (VMA)

voorspanmethode waarbij het beton in contact komt met het voorspanstaal.

voorspanning met nagerekt staal

voorspanmethode waarbij het voorspanstaal op de gewenste spanning wordt gebracht nadat de betonspecie voldoende is verhard.

voorspanning met voorgerekt staal

voorspanmethode waarbij het voorspanstaal op de gewenste spanning wordt gebracht voordat betonspecie wordt gestort.

voorspanning zonder aanhechting (VZA)

voorspanmethode waarbij het beton niet in contact komt met het voorspanstaal.

wapening

materiaal dat trekspanningen in de constructie opneemt.

INHOUDSOPGAVE	Pag.
7.1 Betonwerk algemeen.....	7-4
7.2 Voorbereiding voor het storten	7-4
7.2.1 Bekisting.....	7-4
7.2.2 Wapening.....	7-5
7.2.3 Betondekking.....	7-6
7.2.4 Verontreinigingen.....	7-7
7.2.5 Apparatuur	7-7
7.2.6 Bestellen betonspecie	7-7
7.2.7 Aanvoer betonspecie.....	7-9
7.3 Transport op het werk of in de fabriek.....	7-9
7.3.1 Kubels.....	7-9
7.3.2 Stortgoten of -pijpen.....	7-10
7.3.3 Kruiwagens.....	7-10
7.3.4 Betonpompen.....	7-10
7.3.5 Truckmixerpompen	7-12
7.3.6 Transportbanden	7-12
7.4 Storten.....	7-13
7.4.1 Storthoogte	7-13
7.4.2 Maximale verwerkingstijd.....	7-14
7.4.3 Stortnaden.....	7-14
7.4.4 Wanden en hoge balken.....	7-14
7.5 Verdichten.....	7-15
7.5.1 Trillen	7-16
7.5.1.1 Trillen met een trilnaald.....	7-16
7.5.1.2 Trillen met bekistingstrillers.....	7-17
7.5.1.3 Trillen met een trilbalk	7-17
7.5.1.4 Trillen met een triltafel	7-18
7.5.2 Porren	7-19
7.5.3 Schokken	7-19
7.5.4 Centrifugeren.....	7-19
7.5.5 Extruderen	7-19
7.5.6 Persen	7-20
7.5.7 Zelfverdichtend beton.....	7-20
7.5.8 Afwerken	7-21
7.5.9 Methoden van afwerken	7-21
7.5.9.1 Afreibalk.....	7-21
7.5.9.2 Schuurbord.....	7-22
7.5.9.3 Stalen spaan	7-22
7.5.9.4 Machinaal afwerken van het oppervlak	7-22
7.5.9.5 Bezemen	7-23
7.5.10 Slipformpaver	7-23
7.6 Ontkisten.....	7-24
7.6.1 Methoden voor bepaling van de druksterkte door meting	7-24
7.6.1.1 Methode gewogen rijpheid	7-24
7.6.1.2 Verhardingsproef	7-25
7.6.1.3 Verhardingsproef met temperatuurregeling.....	7-25
7.6.2 Methode met de terugslaghamer.....	7-26
7.7 Nabehandelen.....	7-26

7.7.1	Functie van het nabehandelen.....	7-26
7.7.1.1	Vochtverlies.....	7-27
7.7.1.2	Temperatuurschommelingen	7-27
7.7.1.3	Bescherming tegen bevrozing.....	7-27
7.7.1.4	Bescherming tegen mechanische beschadigingen	7-28
7.7.1.5	Schokken en trillen	7-28
7.7.2	Tijdsduur van het nabehandelen	7-28
	Vraagstukken	7-29
	Verklarende woordenlijst.....	7-31

7.1 Betonwerk algemeen

Een betonconstructie met de gewenste eigenschappen krijg je niet zomaar. Behalve de samenstelling van de betonspecie is ook de wijze waarop deze specie wordt verwerkt heel belangrijk. De deskundigheid van het uitvoerend personeel bij het verwerken van de betonspecie speelt een grote rol.

Bij het samenstellen van betonspecie wordt al rekening gehouden met de manier van verwerken. Dit geldt voor in het werk gestort beton en voor de betonwaren- en betonelementenindustrie.

7.2 Voorbereiding voor het storten

Betonspecie wordt “gestort”. Een wat merkwaardige omschrijving van het in de bekisting brengen van de specie. Maar het is een ingeburgerde term geworden.

Voordat betonspecie wordt gestort (ook wel "betonstorten" genoemd) moet gecontroleerd worden of alles daarvoor klaar is. Aandachtspunten zijn:

- de bekisting;
- de wapening;
- de apparatuur;
- de wijze van aanvoer van de betonspecie.

7.2.1 Bekisting

In hoofdstuk 6 zijn de verschillende bekistingssystemen en de eisen waaraan de bekisting moet voldoen, beschreven.

Als een bekisting wordt gevuld met betonspecie ontstaan er grote krachten op de bekisting, zowel horizontaal als verticaal gericht. Het verdichten van de betonspecie veroorzaakt nog grotere krachten op de bekisting. Er mogen als gevolg daarvan geen zettingen optreden.

Daarom moeten de afstempeling en de ondersteuning van de constructie vooraf nog eens worden gecontroleerd. De ondersteuning mogen niet verzakken en van vorm veranderen tijdens het storten en verharderen van de betonspecie.

De delen van de bekisting moeten goed tegen elkaar aansluiten. Op die manier lekt er door de kieren geen cementlijm uit de betonspecie. Als er wel cementlijm lekt, ontstaan in het beton "grindnesten" op deze lekkende plaatsen. Een grindnest is een deel van het beton waaruit de cementlijm en het fijne toeslagmateriaal zijn weggelekt en het grind is achtergebleven. Dit kan ook gebeuren bij de aansluiting van wand- of kolombekistingen op vloeren. Ook hier moet voor een goede afdichting worden gezorgd.



Grindnest

Een houten bekisting moet kort voor het storten worden natgespoten. Het hout zuigt dit water op en zet een beetje uit. Eventueel aanwezige kleine kieren worden daardoor kleiner of geheel dichtgedrukt. Nat hout kan ook geen water uit de betonspecie opzuigen.

Dit voorkomt gebreken aan het betonoppervlak.

Alle resten binddraad dat wordt gebruikt om wapeningsstaven met elkaar te verbinden en vuil moeten uit de bekisting worden verwijderd. Dat kan plaatsvinden door schoonspuiten met water of perslucht of door oprapen met magneten.

Bij lage temperaturen moet worden gecontroleerd of de wapening ijsvrij is. Een ijslaag op de wapening voorkomt een goede aanhechting van beton aan staal. Bij kans op vorst mag een bekisting daarom niet worden schoongemaakt met water. Eventueel aanwezig ijs of sneeuw kan met stoom worden verwijderd.

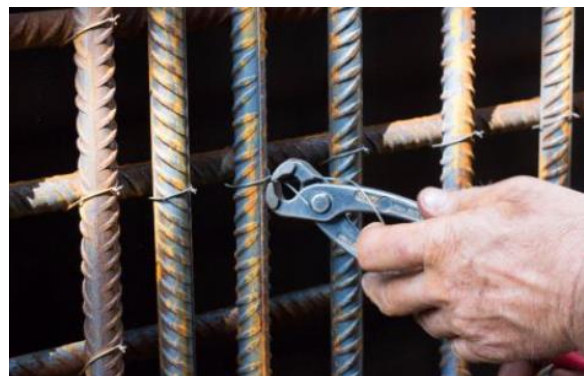
In de bekisting moeten voldoende spoelluiken zijn opgenomen. Door spoelluiken worden vuil en water afgevoerd nadat de bekisting is gesloten. Deze spoelluiken moeten natuurlijk dicht zijn voordat het storten van de betonspecie begint.

7.2.2

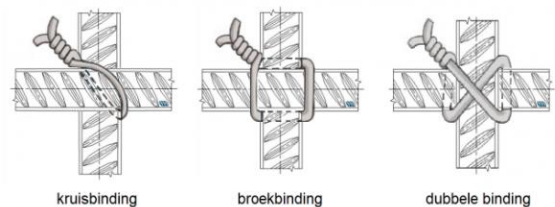
Wapening

De wapening moet op maat worden gemaakt voor een betonconstructie.

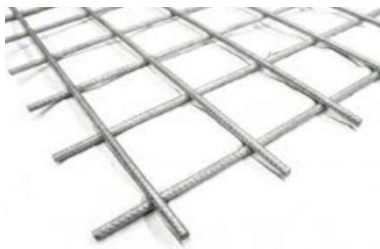
Aan de hand van wapeningstekeningen wordt een buigstaat gemaakt. Op deze buigstaat is van alle te gebruiken wapeningsstaven aangegeven hoeveel er nodig zijn, welke afmetingen (diameter en lengte) ze moeten hebben en in welke vorm ze moeten worden gebogen.



Het buigen en op lengte maken van de staven kan op het bouwwerk of in een buig-vlechtcentrale worden uitgevoerd. Steeds meer wapening wordt in buig-vlechtcentrales gemaakt. De wapeningskorven voor balken en kolommen komen dan kant-en-klaar op het werk.



Op het werk worden de op maat gemaakte staven (of kant en klare korven) samengevoegd tot de vereiste wapening en met behulp van binddraad (ook wel vlechtdraad genoemd) aan elkaar verbonden. Dit samenbinden wordt ook wel het vlechten van de wapening genoemd.



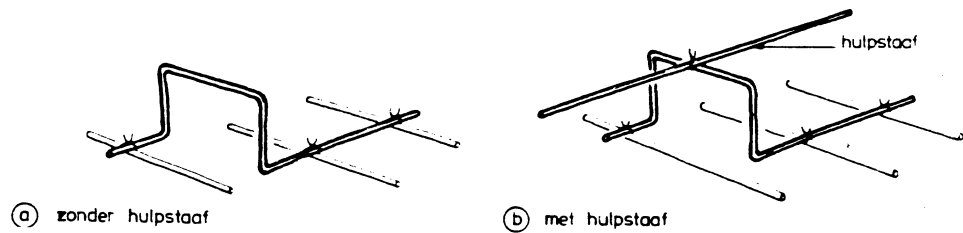
Voor grote vlakken worden gepuntlaste wapeningsnetten (bouwstaalnetten) gebruikt. Die hoeven misschien alleen nog hier en daar wat op maat te worden gemaakt en dan geplaatst.

De constructeur geeft aan hoe en waar de wapening moet worden geplaatst.

En natuurlijk moet worden gecontroleerd of alle wapening goed is aangebracht.

De wapening moet tijdens het storten en verdichten op de goede plaats blijven liggen en daarom goed worden opgesloten in de bekisting. Dit wordt "fixeren" genoemd.

Voor het op afstand houden van een boven- en onderwapeningsnet bij vloeren worden gebogen stukken wapeningsstaal gebruikt, supporten genoemd (zie figuur 7.1). Bij kleine staaldiameters voor het bovennet wordt ook een hulpstaaf over de supporten gebruikt.



Figuur 7.1 Traditionele supporten.

Ook kan gebruik worden gemaakt van prefab supportliggers (zie figuur 7.2). Het aantal supporten of supportliggers hangt af van de stijfheid van het wapeningsnet. Hoe dikker de staven (die dus minder doorbuigen) des te minder supporten nodig zijn.



Figuur 7.2 Supportligger

7.2.3

Betondekking

Het wapeningsstaal moet worden beschermd tegen corrosie. Daar kan het beton heel goed voor zorgen. Op twee voorwaarden:

1. Het beton mag niet te veel poriën bevatten. Het moet dus een voldoende lage watercementfactor hebben en voldoende zijn verhard;
2. De wapening mag niet te dicht onder het betonoppervlak liggen. De afstand tussen de wapening en het betonoppervlak wordt de “dekking” genoemd. Hoe groot die afstand (en dus de dekking) moet zijn, hangt af van het milieu waarin de betonconstructie komt én de functie van het constructiedeel. In eenzelfde milieu moet bijvoorbeeld een kolom een hogere dekking hebben dan een vloer.

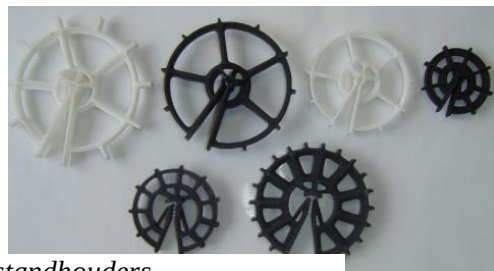


Figuur 7.3 betonnen afstandhouders.

Om zeker te zijn van de vereiste dekking worden afstandhouders gebruikt.

Dat kunnen betonblokjes zijn met een dikte overeenkomend met de vereiste dekking en die aan de wapening worden bevestigd. Het beton van deze blokjes moet dezelfde kwaliteit hebben als het beton van de constructie.

De afstandhouders kunnen ook van kunststof zijn gemaakt. Die zijn in vele vormen in de handel verkrijgbaar. De betonvoorschriften geven eisen waaraan de (kunststof) afstandhouders moeten voldoen.



Kunststof afstandhouders

Is de betondekking te klein of het beton in de dekking onvoldoende dicht, dan kan de wapening roesten.

Een te grote betondekking is ook niet goed. Dan is de kans groter dat scheurvorming in het beton van de dekking ontstaat. Bij scheurvorming ontstaat het gevaar dat de constructie lagere belastingen kan opnemen en de wapening sneller gaat roesten.

7.2.4 Verontreinigingen

Door verontreiniging zoals olie en modder op de wapening, vermindert de hechting aan het beton.

Te veel bekistingsolie zorgt voor kleurverschillen van het betonoppervlak. Het lopen over de wapening moet zo veel mogelijk worden voorkomen. Dit is om vervuiling, vervorming en verplaatsing tegen te gaan. Als toch op wapening moet worden gelopen, moet voor een goed beloopbare ondergrond worden gezorgd. Dat geldt vooral bij dunne wapeningsstaven. Dit kan bijvoorbeeld door middel van schotten op de wapening.

7.2.5 Apparatuur

Om storingen tijdens het storten te voorkomen, moet alle apparatuur, reserve-apparatuur en gereedschap in goede staat verkeren. Om vertraging tijdens het storten te voorkomen, moet er genoeg apparatuur en gereedschap zijn. Het bedieningspersoneel moet weten hoe apparatuur en gereedschap werkt.

Om een grote bedrijfszekerheid te garanderen, bijvoorbeeld bij omvangrijke langdurige storten, moet er voldoende reserve-apparatuur zijn.

Bij een grote stort is een stortplan nodig. Op een stortplan staat onder meer aangegeven wat te doen, voor, tijdens en na het storten.

7.2.6 Bestellen betonspecie

Voordat de betonspecie voor een bouwwerk wordt geleverd, hebben de betontechnoloog en de aannemer altijd vooroverleg. Zij spreken over de verwerkbaarheid van de betonspecie, de aflevering en het afleveringstempo. In de betonwarenindustrie bespreken de betontechnoloog en de productieafdeling het afleveringstempo. Hierbij houden ze rekening met de mogelijkheden van de machines.

De betontechnoloog is verantwoordelijk voor de samenstelling van de betonspecie. Hierbij houdt hij rekening met de grondstoffen, de gevraagde betonsterkte, de aard van het werk, het transport en de manier van verwerken. Zo houdt hij ook rekening met de vereiste

plasticiteit van de betonspecie. Die plasticiteit loopt terug door de reactie van cement met water tijdens het transport. Dit teruglopen gaat sneller als de betonspecietemperatuur hoger is.

De uitvoerder van het betonwerk of de productiechef in de fabriek is verantwoordelijk voor een goede verwerking en nabehandeling van de betonspecie.

Storing, schade of kwalitatief onvoldoende werk kan worden vermeden door goede afspraken en planning van de uitvoering. Hierdoor blijft reparatie of zelfs afkeuring tot een minimum beperkt.

Bij het bestellen van betonspecie op prestatie-eisen moet de afnemer aan de betoncentrale duidelijk maken aan welke prestatie-eisen de te leveren betonspecie moet voldoen. Vrijwel altijd gebeurt dat op basis van de norm NEN-EN 206 en NEN 8005.

De basis prestatie-eisen zijn:

- de sterkteklasse;
- de milieuklasse;
- de consistentieklasse;
- de chlorideklasse. Dat geeft het maximum chloridegehalte voor ongewapend, gewapend of voorgespannen beton aan;
- de maximale korrelafmeting van toeslagmateriaal.

Naast de eisen aan de eigenschappen van het beton en de verwerkbaarheid van de betonspecie kunnen ook nog extra eisen worden gesteld zoals:

- speciale soorten of klassen cement;
- de volumieke massa bij licht- of zwaar beton;
- sterkteontwikkeling in beginfase verharding;
- gebruik van een vertrager;
- speciale soorten toeslagmateriaal;
- beton voor speciale uitvoeringen, bijvoorbeeld monoliet afgewerkte vloeren of schoon beton.

Voor wat betreft de aflevering moet opgegeven worden:

- naam afnemer;
- afleveradres;
- datum aflevering;
- tijdstippen (eerste aflevering - schaftpauzes);
- hoeveelheden;
- stortsnelheid in m³/uur;
- stortwijze (pomp, kraan, kubel enz.).

Bij levering op prestatie-eisen is de leverende betoncentrale ervoor verantwoordelijk dat aan de prestatie-eisen wordt voldaan. Het voldoen aan de prestatie-eisen moet ook daadwerkelijk worden aangetoond.

Het is ook mogelijk dat de afnemer betonspecie bestelt op samenstellingseisen. Hierbij geeft hij aan de betoncentrale op hoe de samenstelling moet zijn (cementsoort en hoeveelheid, water-cementfactor, welke toeslagmaterialen en hulpstoffen enz.). In dit geval is de afnemer ervoor verantwoordelijk dat de specie en het beton voldoen aan de prestatie-eisen. De leverende betoncentrale is ervoor verantwoordelijk dat de gewenste samenstelling wordt geleverd.

7.2.7 Aanvoer betonspecie

Voor een goede verwerking van betonspecie is een storingsvrije en regelmatige aanvoer nodig op de bouwplaats. De bouwplaats moet goed toegankelijk zijn voor bijvoorbeeld een truckmixer. Daarvoor is nodig:

- een goede verbindingsweg van de openbare weg tot stortplaats;
- toelaatbare gronddrukken, niet alleen waar gereden wordt, maar ook daarnaast;
- voldoende bewegingsruimte;
- overzichtelijke opstelling;
- voorkomen van hinder voor het overige verkeer.

De hoeveelheid transport van de specie op het werk (zie hoofdstuk 7.3) wordt beperkt door de truckmixers zo dicht mogelijk bij de stort of direct in de bekisting te laten lossen. Bij het direct in de bekisting lossen moet rekening worden gehouden met het gewicht van een geladen truckmixer. De gronddruk op de bekisting mag niet te groot worden.

Bij aankomst van betonspecie op de bouwplaats moet worden gecontroleerd of de gegevens op de bestelbon overeenkomen met het bestek en de bestelling. Let op de vermelde sterkteklasse, milieuklasse en consistentieklasse.

Voor het lossen van de betonspecie moet deze nogmaals goed gemengd worden door de mixer op de truck enige tijd in de mengstand te laten draaien.

De plaats waar de betonspecie wordt gestort moet goed bereikbaar zijn voor het personeel. Zo nodig moeten speciale stortsteigers worden gebouwd met voldoende voorzieningen voor de veiligheid van de mensen.

7.3 Transport op het werk of in de fabriek

Op de bouwplaats of in de betonproductenindustrie wordt voor het transporteren van betonspecie de volgende apparatuur gebruikt:

- kubels;
- stortgoten of -pijpen;
- kruiwagens;
- betonpompen, al dan niet op een truckmixer gemonteerd (truckmixerpomp);
- transportbanden.

7.3.1 Kubels

Een kubel is een trechtervormige bak met onderin de trechter een afsluitklep. De kubel wordt aan de bovenkant van de trechter gevuld met betonspecie. Vervolgens wordt de gevulde kubel met behulp van een hijskraan op de plaats waar de specie moet worden gestort gebracht. De kubel wordt meestal rechtstreeks vanuit een truckmixer gevuld (zie figuur 7.3).

In de betonproductenindustrie kan het ook rechtstreeks vanuit de menger.

De grootte van de kubel op de bouwplaats hangt af van de reikwijdte en het hijsvermogen van de kraan. In de fabriek wordt de grootte meestal afgestemd op de inhoud van de menger. De vorm van de kubel moet zodanig zijn dat daarmee ook stijvere betonspecies kunnen worden gestort.



Figuur 7.3 Kantelkubel tijdens het vullen (horizontale stand) en tijdens storten (verticale stand). (Bron: VOBn)

In de betonproductenindustrie wordt de kubel ook toegepast in combinatie met andere transportsystemen:

- gemotoriseerde lorrie met kubel al dan niet op rails;
- kubel opgehangen aan railsysteem;
- in een kraan hangende kubel, eventueel uitgerust met een transportband;
- kubel gemonteerd aan een heftruck.

Welk type wordt gekozen, hangt af van de werkwijze in de fabriek, de bereikbaarheid en de te overbruggen afstanden.

7.3.2 Stortgoten of -pijpen

Goten van hout, plaatmateriaal en kunststof of kunststof buizen met grote diameter kunnen ook worden gebruikt voor het overbruggen van korte afstanden (enkele meters). De goten of buizen moeten wel een voldoende helling hebben en de betonspecie moet voldoende plastisch zijn. Mede door het gevaar van ontmenging wordt deze methode alleen voor korte afstand gebruikt.

Bij sommige truckmixers kan de korte stortgoot van de truckmixer worden verlengd.

7.3.3 Kruiwagens

Kruiwagens worden direct uit de truckmixer of een voorraadsilo gevuld. Deze transportmethode is alleen zinvol bij heel kleine hoeveelheden betonspecie of als andere mogelijkheden niet kunnen. Het is arbeidsintensief en traag.

7.3.4 Betonpompen

Betonpompen (zie figuur 7.4) worden heel vaak gebruikt. Er bestaan stationaire en mobiele pompen (zie figuur 7.5). Een stationaire pomp staat op een vaste plaats op de bouwplaats of in de betonfabriek. Een mobiele pomp wordt na een stort verplaatst naar een volgende stort. Dat kan op hetzelfde of een ander bouwwerk zijn.



Figuur 7.4 Schematische tekening van betonpomp.



Figuur 7.5 Mobiele pomp aan het werk.

Bij de bouw van hoge gebouwen stijgt een giek zonder pomp mee met het vorderen van het gebouw. Een stationaire betonpomp op de begane grond voedt deze giek met tijdelijke vaste leidingen.

Betonspecie die moet worden verpompt ("pompbeton") moet voldoen aan de volgende eisen:

- de samenstelling en plasticiteit moeten constant zijn. De plasticiteit voor pompbeton ligt in consistentieklasse S2 t/m SF3;
- de toeslagmaterialen in de specie moeten een goede korrelopbouw hebben. De grootste te gebruiken korrelafmeting is 32 mm;
- ontmenging moet worden voorkomen;
- het luchtgehalte van de betonspecie door gebruik van een luchtbelvormer, mag niet te hoog zijn. Veel lucht maakt de specie moeilijk verpompbaar.

Voordat betonspecie wordt verpompt, kan de leiding van een smeerlaag worden voorzien. Deze smeerlaag bedekt de wand van de leidingen. Tijdens het pompen beweegt de betonspecie zich langs deze smeerlaag. De smeerlaag wordt aangebracht met een smeerbed, bestaande uit een vloeibaar mengsel van cement, zand en water, verdunde betonspecie of een speciaal poeder.

Het smeerbed mag niet in de bekisting terechtkomen.

7.3.5

Truckmixerpompen

Truckmixerpompen zijn truckmixers waarop een betonpomp met giek is gemonteerd (zie figuur 7.6). Deze truckmixerpompen lossen en transporteren betonspecie in één arbeidsgang. De pompcapaciteit is circa 20 tot 25 m³ per uur. Deze combinatie is voor kleinere hoeveelheden heel geschikt. De ontvangbak van de truckmixerpomp wordt nadat de eigen mixer leeg is, gevuld door een andere truckmixer.



Figuur 7.6 Truckmixerpomp. (Bron: Putzmeister)

7.3.6

Transportbanden

Met een transportband kan betonspecie horizontaal, schuin omhoog of omlaag worden getransporteerd. Door de bewegingen van de transportband kan de betonspecie ontmengen. De kans daarop wordt groter naarmate de betonspecie plastischer is. De vervuiling van de transportband en het morsen worden dan ook veel erger.

Bij de transportbanden met rubberen band mag de zetmaat niet hoger zijn dan 60 mm.

Er zijn speciale transportbanden die ontmenging tegengaan. Deze transportbanden hebben een stalen band. Deze worden echter alleen in de betonwarenindustrie gebruikt.



7.4 Storten

7.4.1 Storthoogte

Als betonspecie van zekere hoogte op de wapening valt, stuiteren de grindkorrels op de wapeningsstaven en uit de specie. De fijnere delen van de specie zakken langs de staven. De betonspecie ontmengt. Deze ontmenging treedt vooral op bij het storten van wanden en kolommen. Horizontale wapeningsstaven en centerpenen zorgen hierbij voor nog meer ontmenging.

Deze vorm van ontmenging moet worden tegengegaan. De belangrijkste voorzorgmaatregel is het beperken van de vrije val van de betonspecie.

Als betonspecie toch van grotere hoogte moet worden gestort, dan zijn voorzieningen nodig om ontmenging te voorkomen. Deze voorzieningen moeten de betonspecie tussen de wapeningsstaven leiden, zodat de betonspecie niet in direct contact komt met deze staven.

Dit soort voorzieningen bestaat uit stortkokers (zie figuur 7.9), stortzakken (zie figuur 7.4) en dergelijke. Vaak wordt ook de flexibele slang aan het uiteinde van de giek van de betonpomp daarvoor gebruikt. Die slang moet dan wel tussen de wapeningsstaven in de bekisting zakken.

De keus hangt dus af van de bekisting en de ruimte tussen de wapeningsstaven.

Een stortkoker moet ten minste een diameter hebben van 150 mm. Dit is om verstoppingen te voorkomen. Stortzakken moeten ook zo groot mogelijk zijn. De pijpdiameter van de giek van betonpompen is meestal 120 mm. Maar die zal niet verstoppem omdat de specie in de leiding vooruit wordt gedrukt.



Figuur 7.7 Stortkoker bij een dikke vloer.

Kolommen en wanden worden vrijwel nooit in één keer gevuld. Dat kan alleen als de bekisting hierop is berekend. Dit is in verband met de optredende betonspeciedrukken en het verdichten van de betonspecie. Meestal wordt in lagen van circa 0,5 meter gestort.

Stortkokers en stortzakken moeten daardoor tijdens het storten worden ingekort. Ook kan van stortkokers van verschillende lengten gebruik worden gemaakt.

Uiteraard moet tijdens het storten de afstand tussen de onderzijde van de stortkoker en bovenzijde van de gestorte betonspecie beperkt worden gehouden om ontmenging tegen te gaan.

7.4.2 Maximale verwerkingstijd

Betonspecie heeft een maximale verwerkingstijd. Dit is ook logisch, omdat de betonspecie na een zekere tijd opstijft en dan moeilijk verwerkbaar wordt. De verwerkingstijd van betonspecie is onder meer afhankelijk van de

- specietemperatuur;
- omgevingstemperatuur;
- cementsoort en -sterkteklasse;
- water-cementfactor.

Als betonspecie in beweging wordt gehouden, kan de verwerkingstijd worden verlengd. Betonspecie kan in beweging worden gehouden door het langzaam ronddraaien van de trommel van de truckmixer. Dit wordt "agiteren" genoemd.

Ook met een vertragende hulpstof kan het opstijven van de betonspecie worden uitgesteld. Dit moet altijd gebeuren onder toezicht van de betontechnoloog van de leverende betoncentrale.

Als er tijdens een stort openthoud ontstaat, moet direct de betonmortelcentrale worden gewaarschuwd. De aanvoer van betonspecie wordt dan direct stopgezet. Betonspecie die door te lang wachten te veel is opgestijfd, moet worden afgekeurd. Want met de beschikbare middelen kan deze betonspecie niet meer goed worden gestort en verdicht. **Er mag geen water aan worden toegevoegd** omdat daarmee de eigenschappen van het uiteindelijk verkregen beton niet meer aan de eisen zullen voldoen.

7.4.3 Stortnaden

Een stortnaad ontstaat als betonspecie op (al een beetje) verhard beton wordt gestort. Die overgang blijft zichtbaar en wordt een stortnaad genoemd.

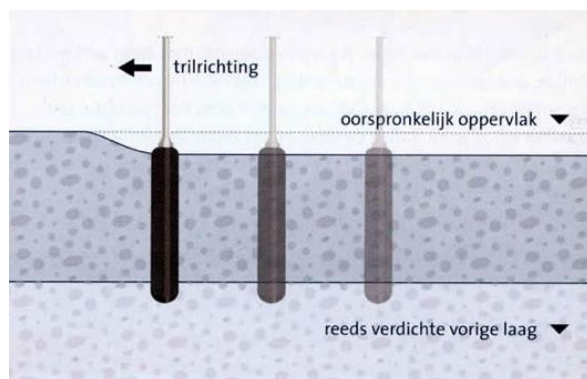
Het ontstaan van stortnaden wordt zoveel mogelijk voorkomen. Als dat niet mogelijk is, dan wordt door de constructeur de plaats van de stortnaden aangegeven en ook de wijze waarop die zo onzichtbaar mogelijk zijn. Daarmee wordt voorkomen dat de stortnaden het aanzicht van het beton lelijk maken of de constructie verzwakken.

Voordat op eerder gestort beton weer betonspecie wordt gestort, moet dat worden schoongemaakt, de cementshuid worden verwijderd en worden bevochtigd. Verwijderen van cementshuid gaat het eenvoudigst voordat de wapening wordt aangebracht.

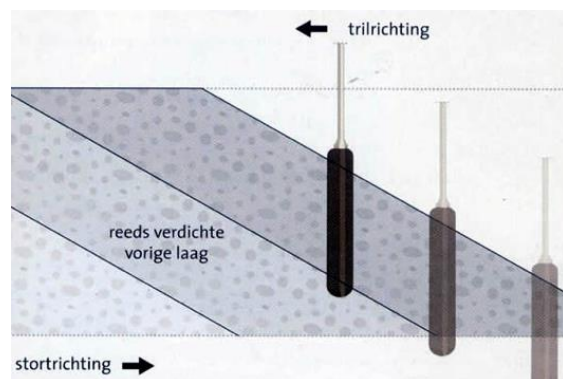
7.4.4 Wanden en hoge balken

Wanden en hoge balken kunnen op twee manieren worden gestort:

- in lagen (zie figuur 7.8);
- in stortfront (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).



Figuur 7.8 - Storten in lagen.



Figuur 7.9 - Storten in stortfront.

Storten in lagen

Als in lagen wordt gestort, moet de laagdikte worden beperkt tot ongeveer 500 mm. Die laag wordt vervolgens verdicht. Als die laag op een kort daarvoor gestorte laag ligt, wordt zo verdicht dat de nieuwe laag één geheel vormt met de eerder gestorte laag. Daartoe moet de trilnaald 100 tot 150 mm in die eerder gestorte laag doordringen.

De stortsnelheid moet dan wel zo worden aangehouden dat de nieuwe laag wordt verdicht voordat binding in de daaronder liggende laag optreedt. Zo nodig kan een vertragende hulpstof worden toegepast.

Storten in stortfront

Bij het storten in een stortfront wordt op een bepaald plaats in de bekisting gestart met storten. Daar wordt de bekisting tot de volle hoogte onder voortdurend verdichten gevuld. Daardoor ontstaat een talud van specie in de bekisting. Vervolgens wordt iets verderop maar nog boven het talud nieuwe specie gestort en verdicht tot in de eerder gestorte specie. Op deze wijze verschuift de plaats waar wordt gestort steeds een beetje op. Die plaats heet het "stortfront".

Bij deze manier van storten bestaat meer gevaar voor ontmenging dan bij storten in lagen. En als niet systematisch wordt getrild, is de kans heel groot dat plekken in het beton ontstaan die onvoldoende zijn verdicht.

Bij het werken met een stortfront kan wel veel sneller worden gestort dan bij laagsgewijs storten.

Omdat de bekisting bij het stortfront tot volle hoogte wordt gevuld, moet de bekisting daarop zijn berekend en dus sterk genoeg zijn om de druk van de specie te kunnen opvangen.

De kans op het ontstaan van scheuren door het nazakken van de betonspecie is bij deze methode groter dan bij storten in lagen.

7.5

Verdichten

Betonspecie moet worden verdicht om ervoor te zorgen dat de gehele bekisting wordt opgevuld en dat ingesloten lucht wordt verwijderd. Door verdichten wordt voorkomen dat holle ruimten ontstaan. Ook is het belangrijk dat de wapening geheel door betonspecie is omhuld.

Betonspecie die goed is samengesteld en gemengd, geeft door slechte verdichting toch een slecht beton.

Verdichten moet daarom nauwgezet en vakkundig worden uitgevoerd.

Voor het verdichten van betonspecie worden de volgende methoden gebruikt:

- trillen;
- porren;
- schokken;
- stampen;
- centrifugeren;
- extruderen;
- persen;
- toepassen van zelfverdichtende betonspecie.

De te gebruiken methode voor het verdichten, hangt onder meer af van de consistentie van de betonspecie.

Zeer vloeibare betonspecie (consistentieklasse F4) wordt meestal niet of zeer licht verdicht door porren. Zelfverdichtende betonspecie wordt eigenlijk helemaal niet verdicht.

Op een bouwplaats wordt meestal verdicht door trillen.

In de betonproductenindustrie wordt naast trillen ook gebruik gemaakt van stampen, schokken, persen, extruderen en centrifugeren.

7.5.1

Trillen

Trillen is de meest gebruikte methode om betonspecie te verdichten. Er zijn vier manieren:

- trillen met trilnaalden;
- trillen met bekistingstrillers;
- trillen met een trilbalk;
- trillen met een triltafel.

7.5.1.1

Trillen met een trilnaald

Verdichten van betonspecie door trillen gebeurt meestal met de trilnaald. Die zijn in verschillende afmeting beschikbaar. Hoe groter de diameter van de trilnaald des te groter de verdichtingsenergie.

Om de betonspecie te verdichten wordt de trilnaald in de betonspecie gestoken.



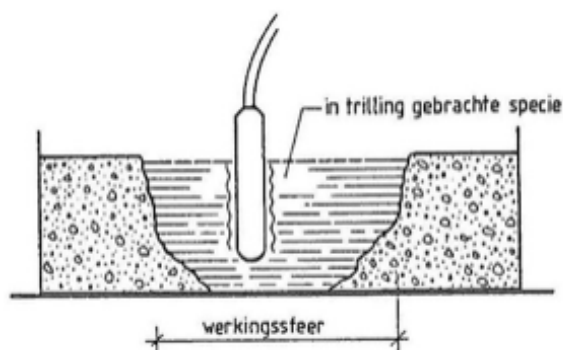
Met de trilnaald wordt de betonspecie over een bepaald gebied in trilling gebracht. Dit gebied wordt de werkingssfeer van de trilnaald genoemd. **(Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.)**. De wrijving tussen de deeltjes vermindert door het trillen. De betonspecie wordt vloeibaar en verdeelt zich in de bekisting. Ingesloten lucht ontsnapt. De trilnaald moet door zijn eigen gewicht in de betonspecie zakken. Hij mag

de wapening niet raken.

Op een bepaald moment gaat het oppervlak van de betonspecie glanzen of het wordt vochtig. Dan moet de trilnaald langzaam uit de specie omhoog worden getrokken. Het door de trilnaald veroorzaakte gat vloeit dicht. Hierna wordt de trilnaald iets verderop in de betonspecie

gebracht. Let op de afstand. De werkingssferen van de twee plekken waar wordt getrild, moeten elkaar overlappen.

Bij het op deze manier verdichten van betonspecie moet systematisch worden gewerkt. Op alle plekken moet immers de betonspecie worden verdicht. Geen plek mag worden overgeslagen.



Een trilnaald mag niet voor het transporteren van betonspecie in de bekisting worden gebruikt. Dit geeft ontmenging.

Ook te lang trillen en trillen met een horizontaal liggende trilnaald geeft ontmenging.

Figuur 7.11 Werkingssfeer van de trilnaald

Soms wordt het verdichten door trillen na verloop van enige tijd herhaald. Dat wordt "natrillen" of "naverdichten" genoemd. Door natrillen wordt het beton in het bovenste gedeelte van de constructie nog eens extra verdicht. Op zijn vroegst kan natrillen een uur na het storten plaatsvinden. Gebreken bijvoorbeeld als gevolg van ontmenging, kunnen daardoor nog worden verholpen. Denk ook aan holten onder horizontale wapeningsstaven en onder grove bestanddelen als gevolg van bleeding en plastische krimp- en nazakscheuren.

Natrillen wordt aanbevolen bij hoge wanden en kolommen (met een trilnaald) en dikke vloeren (met een trilbalk).

Natrillen mag alleen plaatsvinden als de betonspecie plastisch wordt als de trilnaald erin wordt gestoken. Bij het uittrekken van de trilnaald moet de holte zich weer sluiten. Als dat niet gebeurt, moet de betonspecie met rust worden gelaten.

7.5.1.2

Trillen met bekistingstrillers

Bij het storten van elementen in de betonelementenindustrie worden vaak bekistingstrillers gebruikt. Een trilmotor wordt aan de buitenkant van de bekisting aangebracht. Met deze trilmotor wordt de betonspecie via de bekisting in trilling gebracht en daarmee verdicht. De bekistingstriller heeft een beperkte werkingssfeer. Daarom worden bij een grotere bekisting meer trilmotoren aangebracht voor een goed resultaat. Deze manier van verdichten vereist een bijzonder stevige bekisting.



trilmotor

7.5.1.3

Trillen met een trilbalk

Bij het storten van dunne lagen (tot een dikte van maximaal 150 mm) kan eigenlijk niet van een trilnaald gebruik worden gemaakt. De naald kan niet diep genoeg in de betonspecie steken. De naald zou daardoor warmlopen en niet meer werken. Bij dunne lagen wordt daarom gebruikgemaakt van een trilbalk. Deze wordt langzaam over het gestorte vlak getrokken totdat de betonspecie achter de balk glad is en glanst van de waterfilm die erop komt (zie figuur 7.10). Met de trilbalk wordt daardoor ook een "afgewerkt oppervlak" verkregen (zie hoofdstuk 7.6).

Betonspecie met een zetmaat groter dan 120 mm ontmenst gemakkelijk door trillen. Dit wordt onder meer zichtbaar door een grote hoeveelheid bleedingwater op het betonoppervlak. (zie hoofdstuk 3.2.5).



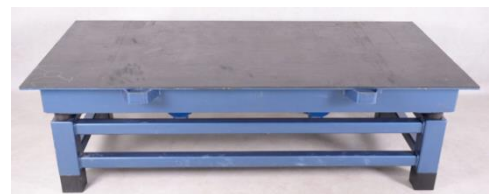
Figuur 7.10 Verdichten van betonspecie met een trilbalk. (Bron: De Poort Praktijkschool)

7.5.1.4

Trillen met een triltafel

In de betonproductenindustrie wordt regelmatig gebruikgemaakt van een triltafel voor het verdichten. Aan een flexibel opgesteld tafelblad zijn een of meer trilmotoren bevestigd.

Als de mal is gevuld, wordt deze op de triltafel



geplaatst en vastgeklemd. De triltafel laat de met betonspecie gevulde mal trillen, waardoor de specie in de mal wordt verdicht. Na verdichten wordt de mal van de triltafel gehaald. De triltafel komt zo weer vrij voor een volgende mal.



Grote triltafel met duidelijk zichtbare trilmotoren

Tril tafels zijn er in veel maten. Kleine, voor kleinere producten en hele grote waarop de mal voor het maken van volledige wanden kan worden bevestigd.

Het is bovendien vast opgestelde apparatuur, waardoor op eenvoudige wijze een geluidsisolatie kan worden aangebracht. Vooral grote triltafels produceren veel lawaai.

7.5.2 Porren

Het porren van betonspecie om het te verdichten vindt alleen nog in uitzonderingsgevallen plaats. (Zelfs de "doe-het-zelver" gebruikt tegenwoordig al een trilnaald) En dan alleen nog in consistentieklasse F4 en soms in consistentieklasse S3. Bij deze methode wordt de betonspecie niet in te dikke lagen gestort. Iedere laag wordt met een stevig stuk hout (de "porlat") gepord om de specie te verdichten. Deze methode is zeer arbeidsintensief. Het storttempo is laag.

7.5.3 Schokken

Het schokken van betonspecie om het te verdichten vindt alleen in de betonelementenindustrie plaats. Het lijkt op verdichten op de triltafel. De verdichtingsenergie is in dit geval niet afkomstig van trilmotoren, maar van het optillen en weer laten vallen van het tafelblad van de schoktafel. De mal, met daarin de betonspecie, wordt op een schoktafel geplaatst. Dit optillen en terugvallen gebeurt snel achter elkaar. Hierdoor treedt een zeer intensieve verdichting op. Deze methode maakt erg veel lawaai. Geluidsisolatie is daarom gewenst.

7.5.4 Centrifugeren

Ook het centrifugeren van betonspecie om het te verdichten vindt alleen plaats in de betonproductenindustrie bij de fabricage van betonbuizen. De betonspecie wordt gelijkmatig verdeeld door een band in het hart van een snel ronddraaiende mal. Door het ronddraaien wordt de betonspecie tegen de wand van de mal gedrukt. Hierbij treedt een zeer goede verdichting op. Een voordeel is, dat overtollig aanmaakwater uit de betonspecie verdwijnt.

7.5.5 Extruderen

Ook verdichten door extruderen vindt alleen in de betonproductenindustrie plaats. Bij dit proces wordt de betonspecie onder hoge druk door één of meer openingen geperst. Omdat de opening(en) de vorm heeft/hebben van het te produceren product, wordt met deze werkwijze het product gevormd en verdicht.



Een voorbeeld van dit proces is het maken van betonnen dakpannen en kanaalplaten.

Bij het maken van kanaalplaten (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) wordt een combinatie van extrusie en trilmotoren gebruikt. Bij dit proces verricht één machine alle handelingen. Vanaf de ontvangst van de betonspecie tot en met het afwerken van het betonoppervlak. De machine beweegt over de stortbaan.

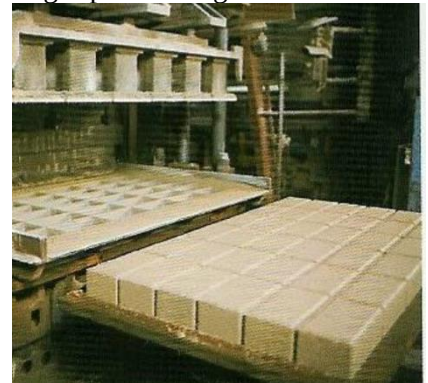
Figuur 7.11 Extrusie-apparaat bij de vervaardiging van kanaalplaten.

Ook het maken van voertuigkeringen zoals weergegeven in figuur 7.18b is een vorm van extruderen van betonspecie. Hierbij wordt echter niet met hoge speciedruk gewerkt.

7.5.6

Persen

Persen als verdichtingsmethode wordt gebruikt voor het verdichten van de betonspecie voor tegels, straatstenen en dergelijke en vindt dus plaats in de betonwarenin-dustrie. Bij dit proces wordt de droge betonspecie onder hoge druk en eventueel gelijktijdig trillen van de stem-pels in een mal geperst.



7.5.7

Zelfverdichtend beton

Voor de volledigheid vermelden we hier het toepassen van zelfverdichtend(e) beton(specie) (zie hoofdstuk 3.4.7). Dit is een manier om het verdichten tot een minimum te beperken. Als bij een dergelijke betonspecie nog licht wordt getrild, is dat alleen maar om een vlakke bovenzijde te verkrijgen.



Zelfverdichtende betonspecie wordt veel toegepast in de prefab industrie, vaak om geluidsoverlast als gevolg van verdichten zo veel mogelijk te voorkomen.

De toepassing op de bouwplaats blijft meestal beperkt tot speciale werken, bijvoorbeeld waar speciale eisen aan schoon beton worden gesteld. Een eerste project in zelf-verdichtende betonspecie was de Koninklijke Schouwburg in Den Haag (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).

Figuur 7.14 Koninklijke Schouwburg in Den Haag

7.5.8 Afwerken

Niet-bekiste oppervlakken moeten vaak worden afgewerkt. Met afwerken wordt het betonoppervlak na het verdichten op de goede hoogte gebracht en mogelijk ook om een glad en dicht oppervlak te verkrijgen. Soms moet een wat ruwer oppervlak worden verkregen. Denk aan wegen, bijvoorbeeld in verband met slipgevaar. Ook als we een afwerkvloer op het oppervlak aanbrengen, is een gladde afwerking niet nodig. Een afwerkvloer is vaak een dunne vloer van zand-cementspecie die op het beton wordt aangebracht om een vlakke vloer te verkrijgen.

7.5.9 Methoden van afwerken

Beton kan worden afgewerkt met de volgende gereedschappen:

- afreibalk,
- houten schuurbord,
- stalen handspaan,
- inschuurmachine voor het machinaal spanen,
- bezem.

Afwerken met een afreibalk kan direct na het storten en verdichten van de betonspecie plaatsvinden. De overige methoden kunnen pas plaatsvinden als er zich geen bleedingwater meer op het betonoppervlak bevindt en de betonspecie enigszins is opgestijfd.

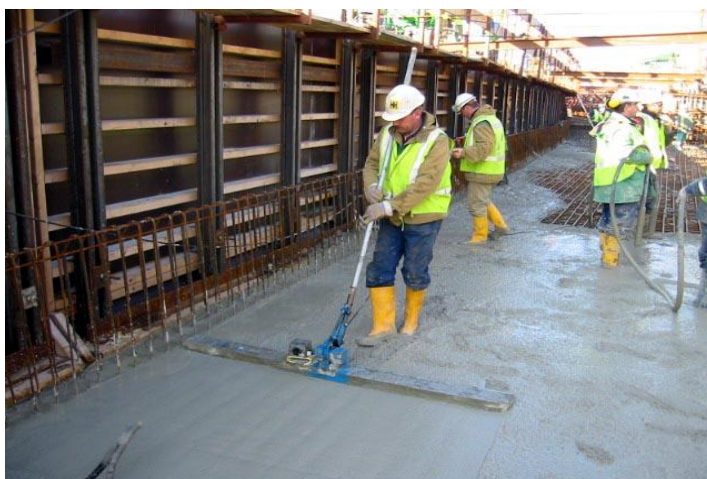
7.5.9.1 Afreibalk

Onder het ‘afreien’ van een betonspecieoppervlak verstaan we het op hoogte brengen en vlak afwerken van het betonspecieoppervlak direct na het storten en verdichten van de betonspecie.

Met de eenvoudigste manier van afreien wordt een plank op zijn kant over een geleiding heen en weer bewogen. Die geleiding bestaat uit twee planken. De geleiding moet op de gewenste hoogte worden aangebracht. Meestal wordt een afreibalk gebruikt die vergelijkbaar is met een lichte trilbalk.

Ook worden vaak op betonspecie drijvende afreibalken gebruikt. De gewenste hoogte wordt hierbij aangegeven door een roterende laser.

Met een afreibalk wordt het betonspecieoppervlak ook enigszins verdicht.



Figuur 7.12 Drijvende afreibalk.

7.5.9.2

Schuurbord

Met het schuurbord wordt de betonspecie op hoogte afge-
werkt. Het wordt gebruikt op die plaatsen waar een
afreibalk niet kan worden gebruikt. Met schuren wordt
handmatige verdichting van het oppervlak verkregen. Ar-
beidsintensief.



7.5.9.3

Stalen spaan

Na het afwerken met een schuurbord of afreibalk kan door het gebruik van een stalen spaan
een zeer glad en dicht oppervlak worden verkregen. Het is een zeer arbeidsintensieve han-
deling.



7.5.9.4

Machinaal afwerken van het oppervlak

Voor het machinaal afwerken van een betonoppervlak wordt een machine gebruikt die be-
weegt over het betonspecieoppervlak. Deze machine kan worden uitgerust met een
schuurschijf voor het inschuren van het oppervlak. Er kunnen ook 3 of 4 stalen spanen aan
worden bevestigd. Met het spanen wordt een vlak, glad en zeer dicht betonoppervlak ver-
kregen. Vanwege de vorm wordt de machine ook wel een helikopter genoemd (zie figuur
7.13). Tijdens dit afwerken kan ook een slijtvast materiaal (zoals carborundum) worden in-
gestrooid en ingeschuurd.



Figuur 7.13 Machine voor afwerking van een betonvloer.

7.5.9.5

Bezemen

Bij betonwegen of wanneer later nog een afwerkvloer wordt aanbracht, wordt door bezemen een voldoende ruw oppervlak verkregen.


Een gebezemd betonoppervlak

7.5.10

Slipformpaver

De slipformpaver (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**a en 7.18b) wordt gebruikt in de wegenbouw. Het is een glijbekisting die langzaam horizontaal vooruit beweegt.

Die bekisting zit onder en achter de machine. De betonspecie wordt op het zandbed of de fundering gestort. De machine spreidt en verdicht de betonspecie in één arbeidsgang. Door de glijdende bekisting wordt het product in de gewenste vorm achtergelaten. Direct achter de slipformpaver zit een afreibalk. Het afreien wordt gevolgd door een schuur- en spaanafwerking. Na het afwerken wordt de bezemstreek aangebracht. Het geheel wordt een betontrein genoemd. De slipformpaver wordt 'gestuurd' met een stalen geleide draad langs de aan te leggen betonweg. De slipformpaver volgt deze draad.


Figuur 7.17a Slipformpaver

Het gebruik van een slipformpaver stelt hoge eisen aan de betonspecie. De betonspecie moet stabiel zijn. De groene sterkte moet voldoende zijn. En de betonspecie moet een constante verwerkbaarheid hebben. In het algemeen zijn de betonmengsels bijzonder droog. Kleine variaties in het watergehalte veroorzaken al problemen bij de afwerking van het oppervlak en het verkrijgen van voldoende 'groene sterkte'.


Figuur 7.18b Slipformpaver voor voertuigkeringen

7.6 Ontkisten

De bekisting kan worden verwijderd als het verhardende beton voldoende sterkte bezit om de spanningen op te nemen die door het eigen gewicht van de constructie en door windbelasting (vooral bij wanden) optreden. Bij het verwijderen van de bekisting moet de constructie zichzelf gaan dragen.

Niet-dragende bekistingen, zoals bij wanden of kolommen, kunnen al bij een lagere sterkte worden verwijderd. Een sterkte van 5 N/mm^2 is dan voldoende om beschadigingen bij het ontkisten te voorkomen.

Betonnen buizen worden al ontkist als het beton nog geen sterkte heeft. De groene sterkte van de verdichte specie is dan voldoende om de buis ongeschonden uit de mal te nemen. Natuurlijk moet dat voorzichtig gebeuren. Door stoten tegen het nog onverharde beton beschadigt het direct. Het ontkisten bij groene sterkte gebeurt daarom vooral in de beton(waren)industrie. Het gebeurt ook bij horizontaal glijdende bekistingen, zoals bij de slipformpaver.

In alle gevallen moet bij het ontkisten de belasting geleidelijk en zonder schokken worden overgebracht op de betrokken betonconstructie. Het betonoppervlak mag niet worden beschadigd.

Bij te vroeg ontkisten van beton kan ernstige kruipvervorming ontstaan. Kruip is een langzame vervorming van beton onder de aanwezige belasting. Met name bij horizontale delen zoals vloeren en balken met grote overspanning gebeurt dit. Bij het ontkisten moet in dat geval het beton direct na het verwijderen van de bekisting met stempels worden ondersteund. Het is de taak van de constructeur om, op basis van de stabiliteit van het constructiedeel en de vervormingen die erin kunnen optreden, aan te geven bij welke sterkte mag worden ontkist.

In NEN-EN 13670 zijn regels voor het ontkisten vastgelegd. Er zijn twee mogelijkheden.

1. De sterkte van het verhardende beton kan worden gemeten. Als blijkt dat die groter is dan de door de constructeur opgegeven waarde kan worden ontkist.
2. Het ontkisten kan plaatsvinden na een zekere wachttijd. Deze methode kan worden toegepast wanneer het tijdstip van ontkisten er in het totale bouwproces niet toe doet: dus wanneer het niet uitmaakt of de bekisting een dagje of wat langer moet staan.

Als een bekisting pas mag worden verwijderd bij een bepaalde betonsterkte, dan moet worden vastgesteld of deze sterkte ook daadwerkelijk aanwezig is in het betreffende beton.

7.6.1 Methoden voor bepaling van de druksterkte door meting

De druksterkte kan worden bepaald door meting volgens één van de volgende methoden:

- de methode met de gewogen rijpheid;
- de verhardingsproef;
- de verhardingsproef met temperatuurregeling;
- meting met behulp van een terugslaghamer.

7.6.1.1 *Methode gewogen rijpheid*

Met behulp van de gewogen rijpheid wordt de sterkte bepaald aan de hand van het verloop van de betontemperatuur vanaf het moment van storten. Uit het temperatuurverloop wordt

de "gewogen rijpheid" berekend. In een ijkgrafiek wordt vervolgens afgelezen welke sterkte bij die gewogen rijpheid hoort.

De producent van de betonspecie stelt zo'n ijkgrafiek op. Elk betonmengsel heeft een eigen ijkgrafiek.

Bij het volgen van de temperatuur kan dus voortdurend de gewogen rijpheid worden berekend en op elk gewenst tijdstip de bijbehorende sterkte worden bepaald.

Deze methode moet wel zorgvuldig worden toegepast om geen onjuiste druksterktes te bepalen. Per slot van rekening zal zelfs beton zonder cement na enige tijd een gewogen rijpheid hebben. Maar één ding is zeker: Dat "beton" heeft geen sterkte.

7.6.1.2

Verhardingsproef

Bij de verhardingsproef wordt daadwerkelijk de sterkte bepaald. Echter niet van het beton zoals zich dat in de bekisting bevindt. Tegelijk met het storten van het beton in de bekisting worden drie kubusmallen gevuld met dezelfde betonspecie. Deze kubussen verhardenen in de buurt van het constructiedeel. Na verloop van tijd worden deze kubussen op sterkte beproefd. Dit geeft een indicatie van de sterkte van het beton in het constructiedeel.

Helaas zijn de verhardingsomstandigheden (met name de temperatuur) van het beton in de kubusmal niet dezelfde als dat van het beton in de bekisting. Dit (temperatuur)verschil kan grote verschillen in de sterkteontwikkeling van de betonspecie in de kubussen en in de bekisting geven. En wel groter naarmate de temperatuur verschillend is. Daardoor is een uitspraak over de werkelijke sterkte in de bekisting onbetrouwbaar.

Het bekendste nadeel van de verhardingsproef is, dat er na het bepalen van de sterkte van de drie kubussen geen proefstukken meer beschikbaar zijn. Dit geldt ook voor de verhardingsproef met temperatuurregeling (zie hoofdstuk 7.7.1.3). Als blijkt dat een gewenst sterkteniveau nog niet bereikt is, moeten eigenlijk op een later tijdstip opnieuw drie kubussen worden beproefd. Meestal zijn die extra kubussen niet gemaakt tijdens het storten.

Er worden drie kubussen gemaakt omdat een meting van de sterkte met 1 kubus te onnauwkeurig is. Het gemiddelde van drie kubussen geeft een betrouwbaarder beeld. Maar natuurlijk alleen van het beton zoals dat in de kubus is verhard.

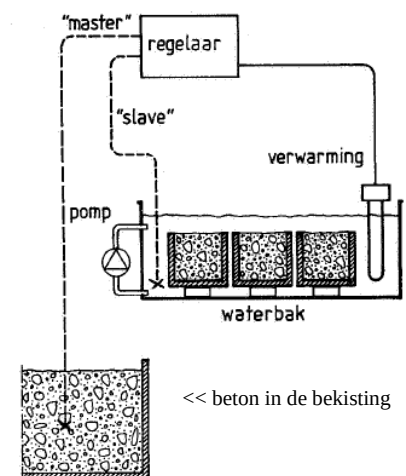
7.6.1.3

Verhardingsproef met temperatuurregeling

Bij de verhardingsproef met temperatuurregeling worden ook kubusmallen met betonspecie gevuld. Direct daarna worden de kubussen afgedekt en in een waterbad geplaatst. De temperatuur van het water in de waterbak wordt geregeld met een verwarmingselement. Met behulp van een temperatuurmeter van het beton in de bekisting wordt de temperatuur van het water (en daarmee van het beton in de kubussen) op dezelfde waarde gehouden als het beton in de bekisting. Daardoor is de gemeten druksterkte meer in overeenstemming met de werkelijkheid dan bij de verhardingsproef.

De temperatuur wordt gemeten met in het beton aangebrachte thermokoppels.

Het zal duidelijk zijn dat de uitvoering van deze proef omslachtig is. Daarom wordt het eigenlijk alleen op grotere en ingewikkelde bouwprojecten toegepast.



verhardingsproef met temperatuurregeling

7.6.2 Methode met de terugslaghamer

In de betonproductenindustrie wordt de druksterkte van het beton voor ontkisten of voorspannen ook wel met behulp van een terugslaghamer bepaald. De terugslaghamer wordt ook wel de "schiethamer" genoemd.

Bij deze methode wordt de druksterkte afgeleid uit de terugslagwaarden van de hamer en een correlatiegrafiek van het gebruikte betonmengsel. Deze methode geeft slechts een indicatie van de sterkte van het desbetreffende betonoppervlak.



7.7 Nabehandelen

7.7.1 Functie van het nabehandelen

Met nabehandelen wordt er onder meer voor gezorgd dat water niet uit het verhardende beton kan verdampen. Door de nabehandeling kan de sterkte-ontwikkeling van het beton ongestoord plaatsvinden. Het voortijdig verdampen van water uit het (oppervlak van) beton stopt de verharding op die plaats. Met als gevolg: een poreus oppervlak.

Met nabehandelen worden de betonspecie en het jonge beton ook beschermd tegen:

- sterke temperatuurschommelingen;
- bevriezen;
- mechanische beschadigingen;
- schokken, trillen.

De nabehandeling kan bestaan uit de volgende activiteiten:

- het laten staan van de bekisting;
- het constant besproeien of regelmatig natspuiten zodanig dat het beton vochtig blijft;
- het onder water zetten van het beton (dit geldt alleen voor vloeren en andere horizontale oppervlakken);
- het afdekken van het oppervlak met dampdicht materiaal (folie of zeilen van kunststof);
- het bespuiten van het oppervlak met een 'curing compound'. Dat is een verspreikbaar materiaal dat op het beton een wasachtig, min of meer waterdicht laagje vormt;
- het plaatsen in een klimaatruimte waar de vochtigheid en de temperatuur op een gewenste waarde worden gehouden (betonproductenindustrie).



Nabehandelen door afdekken met folie



Aanbrengen curing compound

Het water dat voor nabehandeling wordt gebruikt, moet minstens aan dezelfde kwaliteitseisen voldoen als het water voor het vervaardigen van de betonspecie.

Bij het gebruik van sommige soorten 'curing compound' ontstaan problemen met het hechten van later nog aan te brengen afwerkingen. Die curing compound moet dan eerst worden verwijderd.

Eigenlijk moet een andere curing compound worden gebruikt als bekend is dat er mogelijk aanhechtingsproblemen kunnen zijn.

Betonspecie met een lage water-cementfactor heeft een kortere nabehandelingstijd dan betonspecie met een hogere water-cementfactor.

Ook de temperatuur en de relatieve vochtigheid van de omringende lucht spelen een belangrijke rol. Wind betekent versnelling van de verdamping. Een droge vrieswind werkt dus op twee manieren nadelig: de sterkte neemt slechts langzaam toe door de lage temperatuur en de verdamping is groot door de wind. Bij kou moet daarom ook bij bewolking nabehandeld worden.

7.7.1.1

Vochtverlies

Vooraf in het begin van de verharding moet worden tegengegaan dat water verdampt uit de betonspecie ter voorkoming van plastische krimp scheuren.

Nabehandelen gedurende een langere tijd is dus wel aan te bevelen, maar de beginperiode is de meest gevoelige periode. Dit geldt voor de sterkteontwikkeling en voor de levensduur van het beton.

Al het aanmaakwater moet zoveel mogelijk in het beton opgesloten blijven tijdens de sterkteontwikkeling van de betonspecie.

Gewoonlijk omsluit een bekisting drie kanten van een gestorte constructie. Daarom wordt eerst alleen de open zijde nabehandeld. Als de bekisting na enkele dagen wordt verwijderd, moeten ook de overige vlakken tegen uitdrogen worden beschermd.

Bij sterk drogend weer is het raadzaam een houten bekisting nat te houden om te voorkomen dat de bekisting water aan het beton onttrekt.

7.7.1.2

Temperatuurschommelingen

Tijdens het productieproces of vlak daarna in de opslag, is beton heel gevoelig voor temperatuurschommelingen die uitzetten en krimpen van beton veroorzaken. Als gevolg daarvan ontstaan inwendige spanningen die het nog jonge beton mogelijk niet kan opvangen. En dat heeft scheuren tot gevolg.

Hetzelfde kan gebeuren als gevolg van de vrijkomende hydratatie warmte in een massieve betonconstructie. De temperatuur van het verhardende beton kan aanzienlijk oplopen. Na verloop van tijd koelt het beton weer af. Als eerste aan de buitenkant. Die krimpt terwijl de temperatuur aan de binnenkant hetzelfde blijft en het beton daar dus nog niet krimpt. Dat leidt tot spanningen in het beton en mogelijk tot (ernstige) scheurvorming.

7.7.1.3

Bescherming tegen bevriezing

Bij een te verwachten buitentemperatuur lager dan 0°C moet de vers gestorte betonspecie beschermd worden tegen bevriezing. Dat vindt plaats door het aanbrengen van isolatie.

Als vers beton aan vorst wordt blootgesteld, bevriest het water in het beton. Omdat ijs 9% meer ruimte inneemt dan water, zet de betonspecie uit. Na ontdooien zakt de massa niet weer ineen. Er blijft een poreus beton over met een veel lagere sterkte. Pas als het beton een kubusdruksterkte heeft van 5 N/mm², is het bestand tegen eenmalige bevriezing.

7.7.1.4 Bescherming tegen mechanische beschadigingen

Nabehandelen is ook het beschermen van jong beton tegen mechanische beschadigingen. Vooral bij het verplaatsen van onderdelen beschadigt het beton door stoten. Denk aan afspringen van hoeken, beschadigen van het oppervlak, enz.

7.7.1.5 Schokken en trillen

Tijdens het verhardingsproces kunnen door schokken en trillen inwendige beschadigingen in het jonge beton ontstaan. Vooral bij het vervoeren van jonge betonelementen moet trillen en stoten tot een minimum worden beperkt.

7.7.2 Tijdsduur van het nabehandelen

De tijdsduur van de nabehandeling wordt bepaald door de ontwikkeling van de sterkte van met name het betonoppervlak. De (druk)sterkte hangt af van de sterkteklasse van het cement, de water-cementfactor en de verhardingstemperatuur aan het oppervlak.

Voor de aan te houden tijd waarin nabehandeling moet plaatsvinden wordt onderscheid gemaakt tussen het milieu waaraan het beton later wordt blootgesteld.

Voor milieuklasse X0 geldt nabehandelingklasse 1 met een nabehandeling van ten minste een halve dag bij een minimum temperatuur van 5°C.

Bij de andere milieuklassen moet, afhankelijk van de voorgeschreven nabehandelingsklasse (zie Tabel 7.1), worden nabehandeld tot in het betonoppervlak een druksterkte van ten minste 35% van de voorgeschreven betonsterkteklasse is bereikt. In nabehandelingsklasse 4 is dat zelfs 70%. Het probleem is hier echter dat het niet zo eenvoudig is om precies vast te stellen wat de druksterkte is van het betonoppervlak.

Daarom kan ook gekozen worden voor het aanhouden van een bepaalde verhardingstijd. NEN-EN 13670 geeft hiervoor uitgebreide richtlijnen.

Het spreekt vanzelf: Hoe langer de nabehandeling duurt, hoe beter het resultaat is.

Tabel 7.1 Nabehandelingsklassen (Bron: NEN-EN 13670).

Tabel 4 — Nabehandelingsklassen				
	Nabehandelings- klasse 1	Nabehandelings- klasse 2	Nabehandelings- klasse 3	Nabehandelings- klasse 4
Periode (h)	12 ^a	NVT	NVT	NVT
Percentage van de gespecificeerde karakteristieke druksterkte na 28 dagen	Niet van toepassing (NVT)	35 %	50 %	70 %
^a Mits de zetting niet meer dan 5 h bedraagt en de oppervlaktetemperatuur van het beton 5 °C of hoger is.				

VRAAGSTUKKEN

1. Noem een aantal punten, waarop men moet letten bij de ondersteuning van de bekisting, voordat men kan gaan storten.
2. Op welke manier zorgt men ervoor, dat de wapeningsnetten ten opzichte van elkaar op hun plaats blijven?
3. Waarvan is het aantal supporten per m² afhankelijk?
4. Welke hulpmiddelen gebruikt men om de juiste dekking op de wapening te waarborgen?
5. Waarom mag de dekking niet te klein zijn?
6. Waarom mag de dekking niet te groot zijn?
7. Welke voorzorgsmaatregelen moet men nemen om ervoor te zorgen dat het beton goed aan de wapening hecht?
8. Wat is het gevolg, wanneer men bekistingsolie ongelijkmatig aanbrengt op de bekisting?
9. Noem een aantal methoden voor het transporteren van betonspecie op het bouwwerk. Beschrijf deze methoden kort met vermelding van hun voor- en nadelen en typische kenmerken.
10. Wat is een smeerbeed?
11. Wat gebeurt er, wanneer de valhoogte van betonspecie tijdens het storten te groot is?
12. Op welke manieren kan men de bezwaren van een te grote valhoogte tegengaan?
15. Waarop moet men letten, wanneer men het maken van een stortnaad niet kan vermijden?
16. Op welke twee manieren kan men wanden en hoge balken storten?
17. Welk nadeel heeft storten 'in front' ten opzichte van storten 'in lagen'?
18. Wat is de maximale zetmaat voor storten 'in front'?
19. Waarom is het verdichten van de gestorte betonspecie zeer belangrijk?
20. Waarom moet men een trilnaald langzaam omhoog halen bij het trillen?
21. Welke verdichtingsmethoden met behulp van trillen kent u en in welke gevallen past men deze toe?
22. Welke grens stelt men in het algemeen aan de zetmaat van betonspecie die door trillen wordt verdicht?

23. Wanneer moet men de betonspecie met rust laten?
24. Wat verstaat men onder porren van betonspecie en bij welke consistentie wordt dit toegepast?
25. Wat verstaat men onder het schokken van betonspecie?
26. Wat verstaat men onder centrifugeren?
27. Wat is het doel van het afwerken van betonoppervlakken?
28. Noem twee afwerkmethoden om een gladde vloer te krijgen.
29. Waartoe dient nabehandeling?
30. Waarom moet verhardend beton afgedekt of nat gehouden worden?
31. Geef een aantal methoden van nabehandeling.
32. Hoe lang moet men doorgaan met nabehandelen en van welke factoren is dit afhankelijk?

VERKLARENDE WOORDENLIJST

afreibalk

houten of metalen balk waarmee het betonspecieoppervlak op de juiste hoogte wordt uitgevlakt.

afwerken

behandelen van het oppervlak van pas gestorte en verdichte betonspecie.

agiteren

het langzaam draaien van de trommel van een truckmixer om de betonspecie in beweging te houden.

bekistingstriller

verdichtingselement dat op of aan een bekisting wordt bevestigd.

betonpomp

een pompinstallatie waarmee betonspecie naar de bekisting wordt verpompt.

bezemen

het ruwvegen van het betonspecieoppervlak met een bezem.

bouwstaalnetten

fabrieksmatig vervaardigde wapening van gelaste, elkaar kruisende staven

buigstaat

lijst waarin het aantal, de vorm en de doorsnede van wapeningsstaven is aangegeven.

centrifugeren

fabricagewijze voor dunwandige betonnen buizen waarbij plastische betonspecie in een snel ronddraaiende trommel wordt gestort.

curing compound

een spuitbaar materiaal dat verdamping van vocht uit het betonoppervlak tegen gaat.

extrusie

procédé waarbij betonelementen worden vervaardigd door betonspecie onder hoge druk uit een opening met een bepaalde vorm te persen.

gewogen rijpheidsmethode

methode voor het bepalen van de sterkte in de constructie, afhankelijk van verhardingstijd, temperatuur en cementsoort.

glijbekisting

bekisting die voortdurend langzaam wordt verplaatst tijdens het storten.

grindnest

een gedeelte in de betonconstructie waar de ruimte tussen de grindkorrels niet geheel gevuld is met mortel.

inschuurmachine (vlindermachine)

machine met spanen voor het gladschuren van het betonspecieoppervlak.

klimaatruimte

een ruimte waarin temperatuur en vochtigheid geregeld kunnen worden.

kubel

een trechtervormige bak met klep van waaruit de betonspecie in de bekisting wordt gestort.

nabehandelen

het verzorgen van een onverstoorde verharding van betonspecie.

natrillen

het nogmaals verdichten van betonspecie nadat zetting van de betonspecie is opgetreden.

ontmengen

ongewenst scheiden van de bestanddelen bij het verwerken van betonspecie.

porren

verdichten van plastische betonspecie met de hand met behulp van een staaf of lat.

persen

het vervormen van betonspecie onder hoge druk in een machine die tevens de vorm aan het element geeft.

rijpheid

aanduiding voor een grootte die is afgeleid uit betontemperatuur en verhardingstijd.

rijpheidsgrafiek

een grafiek die de relatie aangeeft tussen betonsterkte en rijpheid.

schokken

verdichtingsmethode in de betonelementenindustrie waarbij mallen in een schokkende beweging worden gebracht.

schuurbord

houten bord waarmee het betonspecieoppervlak wordt geschuurd.

slipformpaver

een machine die in de wegenbouw wordt gebruikt voor het aanbrengen, verdichten en afwerken van betonspecie.

smeerbed

mortelspecie die als glijlaag moet gaan dienen in de pompleidingen van een betonpomp.

spaan

stalen bord voor het bladschuren van het betonspecieoppervlak.

spoelluik

opening in de bekisting om vuil te kunnen verwijderen.

stortgoot

een goot waardoor transport van betonspecie naar de bekisting plaatsvindt.

stortplan

het vastleggen van de organisatie en uitvoering van het storten van betonspecie.

support

een hulpconstructie die de bovenwapening op juiste hoogte houdt.

trilbalk

balk waarop een trilelement is bevestigd.

trilnaald

metalen cilinder die draait om een punt buiten zijn middelpunt.

triltafel

in de betonproductenindustrie toegepaste verdichtingstechniek waarbij een tafel met daarop een betonelement in de mal in trilling wordt gebracht.

truckmixerpomp

een truckmixer die tevens is uitgerust met een betonpomp.

verdichten van betonspecie

het verwijderen van ingesloten lucht uit de betonspecie.

verhardingsdag

een dag met een gemiddelde etmaaltemperatuur hoger dan 4 °C.

verhardingsproef

een genormeerde proef voor het bepalen van de druksterkte van beton na een bepaalde tijd.

*vlindermachine – zie inschuurmachine**zelfverdichtende betonspecie*

betonspecie met hoge vloe-eigenschappen, waardoor verdichten (nagenoeg) overbodig is.

wapeningscentrale

bedrijf waar de wapening vooraf wordt vervaardigd in staven, netten of korven.

werkingssfeer

het gebied waarover het trilelement werkzaam is.

INHOUDSOPGAVE	Pag.
8.1 Kwaliteit	8-3
8.1.1 Hoe wordt voor "goede kwaliteit" gezorgd?	8-3
8.1.2 Betonkwaliteit	8-4
8.1.3 De kwaliteit van het betonnen eindproduct	8-5
8.1.4 Het beoordelen van de kwaliteit?	8-5
8.2 Voorschriften	8-6
8.3 Kwaliteitscontrole	8-7
8.3.1 Wat wordt er gecontroleerd?	8-8
8.3.2 Hoe wordt gecontroleerd?	8-8
8.3.3 Soorten controles	8-9
8.3.3.1 Productiecontrole bij een betoncentrale	8-9
8.3.3.2 Productiecontrole in de betonproductenindustrie	8-9
8.3.3.3 Controle op de bouwplaats	8-10
8.3.4 Controle van de sterkte in een constructie	8-10
8.4 Veiligheid	8-11
8.4.1 Risico's bij toepassing van cement	8-12
8.4.2 Maatregelen	8-12
8.5 Interessant maar geen examenstof	8-13
8.5.1 Algemene definities van begrippen rond kwaliteit	8-13
8.5.2 CE-markering en prestatieverklaring	8-13
8.5.3 Private (keur-)merken en kwaliteitsverklaringen	8-14
8.5.4 Beoordelingsrichtlijnen (BRL)	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.5.5 Voorbeelden van A-bladen uitgegeven door Vollandis (vroeger Arbouw):	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Verklarende woordenlijst	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.

8.1 Kwaliteit

Wat betekent eigenlijk "kwaliteit"?

De eenvoudigste omschrijving is: "Voldoen aan de eisen die aan de eigenschappen van een product worden gesteld". Dus als aan de eisen wordt voldaan, is sprake van "goede kwaliteit". Of misschien ook wel van de "gevraagde kwaliteit".

Kwaliteit is wel een relatief begrip. Dat wil zeggen: Het is afhankelijk van de omstandigheden.

Een voorbeeld: Op een horloge van € 10 kun je net zo goed de tijd aflezen als op een horloge van € 1000. Maar: mogelijk dat het duurdere horloge wat mooier of steviger is. Ook zou het duurdere horloge wat langer mee kunnen gaan. Dat is ten minste de verwachting.

Als een horloge van € 10 na een jaar kapot is, hebben we daar niet zo'n probleem mee. Dat is niet het geval met het horloge van € 1000. Die zou het eigenlijk altijd moeten doen en ook precies de juiste tijd moeten aangeven. Dat horloge heeft naar verwachting een betere kwaliteit. Dat wordt "vanzelfsprekend" genoemd.

En daarmee is "kwaliteit" ook gekoppeld aan de prijs die ervoor moet worden betaald.

Een ander voorbeeld, maar nu over beton:

De sterkte van beton wordt uitgedrukt in N/mm^2 . Er is beton met een sterkte van 35 N/mm^2 en ook beton met een sterkte van 90 N/mm^2 . Een gemakkelijke conclusie zou kunnen zijn dat het beton met een sterkte van 90 N/mm^2 een betere kwaliteit heeft. Maar dat is een onjuiste conclusie. In veel gevallen kan beton met een sterkte van 35 N/mm^2 prima worden toegepast en vervult het zijn taak gedurende de gehele levensduur van de desbetreffende constructie. In dat geval heeft het beton met een sterkte van 35 N/mm^2 een goede kwaliteit. Als dat beton echter gebruikt wordt in een constructie waar 90 N/mm^2 wordt vereist, is de kwaliteit dus slecht.

In NEN-EN-ISO 9001, de norm die gaat over kwaliteit, wordt kwaliteit daarom als volgt omschreven: *Kwaliteit is het geheel aan eigenschappen en kenmerken van een product of dienst, dat van belang is voor het voldoen aan de gestelde eisen of vanzelfsprekende behoeften.*

Hoofdstuk 8.9 geeft aanvullende informatie over het begrip "kwaliteit" zoals omschreven in NEN-EN-ISO 9001.

8.1.1 Hoe wordt voor "goede kwaliteit" gezorgd?

Kwaliteit heeft dus te maken met gestelde eisen aan het product en de verwachtingen van de afnemer. Daarom moeten die eisen en verwachtingen bekend zijn.

Voor sommige producten zijn de eisen in normen vastgelegd. In andere gevallen worden die eisen door de afnemer gesteld. Bij het bestellen wordt dan aangegeven dat het product aan een bepaalde norm moet voldoen of geeft de afnemer aan wat hij verwacht. Ook de combinatie van deze twee is mogelijk. Dat is bijvoorbeeld het geval bij de levering van beton(specie).

Niet altijd is de afnemer heel duidelijk als hij een product bestelt. In dat geval is het noodzakelijk dat de producent de eigenschappen van het product opgeeft in een koop/koopovereenkomst. Ook hierbij kan naar normen worden verwezen. Op deze manier liggen de eigenschappen en daarmee de kwaliteit van het te leveren product vast. Zo wordt voorkomen dat er tussen afnemer en leverancier later een onoplosbaar verschil van mening ontstaat over de eigenschappen van het geleverde product.

Daarmee is de eerste stap gezet. Maar door alleen technische en financiële eisen te stellen en vast te leggen, ontstaat niet vanzelfsprekend een product dat daaraan voldoet.

De producent moet tijdens de productie maatregelen nemen die ervoor zorgen dat aan de eisen wordt voldaan. Alle betrokkenen bij dat productieproces spelen daarom een rol om een product te maken dat aan de eisen voldoet. Zij zorgen samen voor "kwaliteit". Zij doen dat door de werkzaamheden volgens (bij voorkeur schriftelijk vastgelegde) afspraken uit te voeren.

En dan moet natuurlijk nog worden aangetoond dat aan de eisen wordt voldaan. Dat vraagt om controles. "Werkt het horloge?", "Kloppen de afmetingen van de kanaalplaten?", "Heeft het de gewenste druksterkte?", ...

Controleren speelt daarom een grote rol bij kwaliteit. Zonder deze controle is niet duidelijk of de gevraagde kwaliteit wordt geleverd.

8.1.2 Betonkwaliteit

De kwaliteit van beton is goed als kan worden gezegd: 'Het beton is van goede kwaliteit als het gedurende de geplande levensduur (van het product of de constructie) aan alle gestelde eisen voldoet'.

De gestelde eisen hangen dus af van het toepassingsgebied. Het is dus niet zo dat alle producten die volgens de regels zijn gemaakt, overal en goed toepasbaar zijn. Het beton of betonproduct dat voor een bepaalde toepassing goed is, kan voor een andere toepassing matig of slecht zijn. Maar voor die andere toepassing gelden daarom ook andere eisen.

De eisen hangen dus samen met het eindproduct: de betonconstructie of het betonnen rioleeringsysteem. Daarom worden andere eisen aan de verschillende eigenschappen gesteld afhankelijk van de omstandigheden waarin het beton wordt toegepast.

Bekende eisen zijn:

- sterkte;
- levensduur, waaronder ook eigenschappen zoals vorstbestandheid en bestandheid tegen chemicaliën vallen;
- vloeistofdichtheid;

Daarnaast zijn er eisen die gekoppeld zijn aan het effect dat de toepassing van beton heeft op het milieu. Daarvoor wordt het begrip "duurzaamheid" gehanteerd.

Bij het maken van een betonnen bouwwerk zijn veel partijen betrokken. Er is sprake van een productieketen. Vanaf de producenten van de grondstoffen (cement, toeslagmateriaal, hulpstoffen), de tussenproducten (betonspecie en betonproducten) tot de eindproducten (het gebouw). Allemaal dragen ze bij aan de kwaliteit van het eindproduct: het gebouw.

Een speciaal "geval" is wel de levering van betonspecie. Bij de overdracht aan de afnemer heeft het product nog niet de eigenschappen (sterkte en levensduur) die het uiteindelijk moet hebben. Het heeft eigenschappen die nodig zijn om het te kunnen transporteren en verwerken. Maar die eigenschappen veranderen als gevolg van de reactie van cement en water.

8.1.3 De kwaliteit van het betonnen eindproduct

De samenstelling van de betonspecie en de uitvoering van het betonwerk bepalen de kwaliteit van de betonconstructie. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat de constructie goed is uitgerekend door de betonconstructeur.

Door de betonspeciesamenstelling aan te passen, maakt de betontechnoloog een betonspecie met de gewenste eigenschappen. Dat is een betonspecie waarvan het verharde product aan alle eisen voldoet. Voorwaarde: het beton moet wel de gelegenheid krijgen om te verharden.

De uitvoering van het betonwerk speelt daarom een grote rol bij het bereiken van de gewenste betonkwaliteit. Het gaat hierbij niet alleen om de verdichting van de betonspecie. Ook het aanbrengen van wapening, het afwerken van betonoppervlakken en vooral de nabehandeling zijn belangrijk.

Als alles goed gedaan wordt, is er pas sprake van een goede kwaliteit van het eindproduct: het gebouw.

8.1.4 Het beoordelen van de kwaliteit

De beoordeling van de kwaliteit van het beton in een bouwwerk is uitvoerbaar. Het is echter niet de eenvoudigste manier om een uitspraak te doen over de eigenschappen van dat beton. Dat kan eenvoudiger door een stap eerder in het productieproces beoordelingen uit te voeren: bij en door de betoncentrale of de betonfabriek.

Voorbeeld: voor een bouwwerk wordt betonspecie geleverd. De eisen aan het beton in het bouwwerk worden "vertaald" naar eisen aan de betonspecie. Door met behulp van onderzoek na te gaan of de betonspecie voldoet, kan een conclusie getrokken worden over het beton in het bouwwerk. Daarbij wordt er dan wel vanuit gegaan dat bij de verwerking van de betonspecie geen fouten worden gemaakt.

Op deze manier wordt de sterkte en ook de vloeistofdichtheid beoordeeld. De methode waarmee die onderzoeken moeten worden uitgevoerd, is in normen vastgelegd.

De beoordeling van de eigenschap "levensduur" is moeilijker. Er zijn veel oorzaken waardoor een betonconstructie niet meer voldoet: vorstschade, chemische aantasting, beschadigingen, bezwijken onder te grote belasting, etc. Sommige schades kunnen worden voorkomen door het kiezen van een geschikte betonsamenstelling. Maar om aan te tonen dat beton goed tegen chemische aantasting of vorst bestand is, is ingewikkeld en tijdrovend onderzoek nodig.

De water-cementfactor en het gebruikte cement zijn de belangrijkste mogelijkheden om de levensduur van beton in bepaalde omstandigheden zeker te stellen. Die omstandigheden zijn vastgelegd in zogenoemde "milieuklassen" (Zie hoofdstuk 4). Het milieu waarin het beton terechtkomt, bepaalt de milieuklasse. En daarmee de minimum hoeveelheid en soort cement en de maximum water-cementfactor.

Door te controleren of het beton de juiste water-cementfactor heeft en de juiste hoeveelheid cement bevat, wordt dus indirect de levensduur van het beton beoordeeld.

Dezelfde redenering gaat op voor beton afkomstig uit de betonproducten- en betonelementenindustrie.

8.2

Voorschriften

In deze cursus is vaak aangegeven dat het een en ander in voorschriften en normen is beschreven. Wat wordt daarmee eigenlijk bedoeld?

Voor beton gelden eisen en regels waaraan moet worden voldaan als beton wordt toegepast. De belangrijkste zijn:

- het Bouwbesluit;
- normen;
- CUR-Aanbevelingen;
- attesten;
- het Besluit Bodemkwaliteit.

Het Bouwbesluit

Het Bouwbesluit is een wet. Het bevat bouwtechnische voorschriften waaraan alle bouwwerken, zoals woningen, kantoren en winkels in Nederland minimaal moeten voldoen. Verbouwingen vallen ook onder het Bouwbesluit. De eisen hebben betrekking op veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en milieu.

Het Bouwbesluit beschrijft alleen prestatie-eisen, maar niet hoe en met welke materialen deze moeten worden gerealiseerd. Dat wordt overgelaten aan degenen die het gebouw maken.

Het Bouwbesluit verwijst naar normen om de prestaties die worden vereist te kunnen meten. Voor het berekenen van een betonconstructie wordt bijvoorbeeld verwezen naar Europese normen die bekend zijn onder de naam "Eurocodes".

Door deze verwijzingen zijn deze normen in wezen onderdeel van het Bouwbesluit. De normen maken dus deel uit van een wet. Het is wettelijk verplicht om aan deze normen te voldoen.

Normen

In normen worden regels en eisen vastgelegd. De normen worden in Nederland uitgegeven door het Nederlands Normalisatie-instituut (NEN) te Delft. Deze normen hebben altijd een nummer, voorafgegaan door de letters NEN. Naast NEN-normen zijn in Nederland (en alle andere landen van Europa) ook de Europese normen van kracht. Ook die zijn voorzien van een nummer en dat wordt voorafgegaan door de letters EN. In Nederland worden ook die normen uitgegeven door NEN met hetzelfde nummer, maar voorafgegaan door de letters NEN-EN. Vaak wordt ook nog het jaar van uitgifte hieraan toegevoegd.

De huidige norm voor beton (met de naam: Beton - Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit) heeft daarom het nummer NEN-EN 206 : 2016

Er bestaan verschillende soorten normen:

- normen met rekenregels;
- uitvoeringsnormen;
- beproevingsnormen;
- productnormen.

Normen uit andere landen zijn niet automatisch van toepassing in Nederland. Zij moeten van toepassing worden verklaard bij overeenkomsten tussen bijvoorbeeld producent en afnemer. Deze normen hebben een andere aanduiding. Duitse normen bijvoorbeeld hebben de codering DIN.

Overigens: Een Duitse norm met de letters DIN-EN is dus een Europese norm die in Duitsland is uitgegeven. De inhoud daarvan is hetzelfde als de norm NEN-EN met hetzelfde nummer.

CUR-Aanbevelingen

Het opstellen van een norm kost heel veel tijd, omdat alle landen het er mee eens moeten zijn. Maar de ontwikkeling in de techniek kan bijzonder snel gaan. Het niet aanwezig zijn van een norm voor nieuwe ontwikkelingen werkt daardoor remmend. Als tijdelijke oplossing kunnen mogelijk voorlopige regels gelden.

Op het gebied van beton speelde hierbij de Stichting CUR een belangrijke rol. Deskundigen stelden een zogenoemde CUR-Aanbeveling op. Zo'n CUR-Aanbeveling is geen norm. Zo'n aanbeveling is dus ook niet automatisch van toepassing. Een CUR-Aanbeveling geldt alleen als alle betrokken partijen hiermee instemmen.

In 2018 is de rol van Stichting CUR overgenomen door CROW.

Attesten

Een attest is een kwaliteitsverklaring. Hierin wordt de geschiktheid van een product voor een bepaalde toepassing aangegeven. Een attest wordt vaak afgegeven voor producten waar (nog) geen normen voor bestaan. De geschiktheid wordt meestal eenmalig op basis van onderzoek aangetoond en het resultaat daarvan wordt in een attest vastgelegd. De wijze waarop het onderzoek moet worden uitgevoerd is vastgelegd in een beoordelingsrichtlijn. (Zie ook hoofdstuk 3.4.6)

Het Besluit bodemkwaliteit

Het Besluit bodemkwaliteit omvat regels voor het verantwoord toepassen van grond, baggerspecie en bouwstoffen en stelt kwaliteitseisen aan de uitvoering van bodemwerkzaamheden. Daarmee streeft het naar een balans tussen een gezonde bodemkwaliteit en ruimte voor maatschappelijke ontwikkelingen.

In het besluit zijn grenswaarden vastgelegd voor de aanvaardbare toename van de concentratie van een reeks (mogelijk gevaarlijke) stoffen in de bodem.

Van beton bestemd voor betonconstructies die in contact kunnen komen met hemelwater, grondwater en/of oppervlaktewater, moet door de producent worden aangetoond dat dit beton het grondwater niet meer vervuult dan het Besluit bodemkwaliteit toestaat.

8.3

Kwaliteitscontrole

Door het uitvoeren van onderzoek worden de eigenschappen van producten bepaald en beoordeeld of aan de eisen wordt voldaan. Als niet wordt voldaan, moet dat leiden tot acties. Die moeten ervoor zorgen dat de oorzaak van de afwijking wordt weggenomen, zodat volgende producten wel aan de eisen voldoen. Dit geheel aan werkzaamheden wordt "kwaliteitscontrole" genoemd.

Het controlesysteem begint al bij een zelfcontrole van de persoon die de werkzaamheden uitvoert. Hij (of zij) moet zeker weten dat op de voorgeschreven wijze wordt gewerkt.

Binnen het bedrijf zorgen andere personen voor de aanvullende controles. Bij een betoncentrale is dit meestal de laborant onder begeleiding van de betontechnoloog. In de betonproductenindustrie is dit een kwaliteitscontroleur. Ook afnemers kunnen controles uitvoeren op het aan hen geleverde product.

8.3.1 Wat wordt er gecontroleerd?

Om er zeker van te zijn dat een product wordt geleverd dat aan de eisen voldoet, moeten alle eigenschappen waaraan eisen zijn gesteld, ook worden gecontroleerd. De afnemer en de producent (of leverancier) hebben deze eisen in een overeenkomst vastgelegd. Vaak met een verwijzing naar een van toepassing zijnde norm.

Bij levering van betonspecie is NEN-EN 206 en de Nederlandse aanvulling daarop NEN 8005 van toepassing. Daarom wordt gecontroleerd op de wijze zoals beschreven in die normen. De belangrijkste eigenschappen zijn de consistentie, het cementgehalte, de watercementfactor en de sterkte. (Zie ook hoofdstuk 8.3.3.1)

Bij levering van een betonproduct worden ook de aanwezigheid van wapening, de afmetingen en de afwerking gecontroleerd. De methode en frequentie van controle moet zodanig zijn, dat zekerheid bestaat dat een product wordt geleverd dat aan de eisen voldoet. Vaak geven de desbetreffende normen al aan wat ten minste gedaan moet worden.

8.3.2 Hoe wordt gecontroleerd?

Natuurlijk wordt bij de levering van betonspecie niet alle betonspecie gecontroleerd. En bij betonproducten worden ook niet alle producten gecontroleerd. Naast heel veel werk kost dat ook veel geld. Bovendien blijven er bij destructieve proeven geen hele producten meer over. Daarom wordt bij het controleren van betonspecie en betonproducten gebruik gemaakt van steekproeven. Een (klein) gedeelte van de totale hoeveelheid producten wordt gecontroleerd. Als die voldoen, wordt geconcludeerd dat al het andere ook voldoet.

De omvang van zo'n steekproefsgewijze controle is vastgelegd in normen of voorschriften. Als er geen normen zijn, kan de fabrikant zelf of in overleg met de afnemer de omvang van de steekproef bepalen.

Als slechts een gedeelte van de producten wordt gecontroleerd, bestaat de kans dat verkeerde conclusies worden getrokken. Zo zou een goed product kunnen worden afgekeurd door het resultaat van één steekproef. Of een slecht product worden goedgekeurd.

Een product kan dus ten onrechte worden goed- of afgekeurd. Dat wordt mogelijk veroorzaakt door de onnauwkeurigheid van de gebruikte meetmethode.

Om dit risico zo klein mogelijk te maken, worden de resultaten van de steekproeven vaak met statistische methoden beoordeeld. Een goed voorbeeld daarvan is de beoordeling van de druksterkte van beton.

De druksterkte van beton wordt bepaald door de kracht te meten die nodig is om een betonnen kubus kapot te drukken (zie hoofdstuk 3). Hoe sterker het beton, hoe meer kracht daarvoor nodig is. Als deze proef wordt uitgevoerd met kubussen die gemaakt zijn uit dezelfde charge betonspecie, dan blijkt dat niet alle meetresultaten gelijk zijn. Als de kubussen uit verschillende charges of ladingen komen, zijn de verschillen nog groter.

Er zijn dus veel oorzaken die de benodigde kracht om de kubus kapot te drukken beïnvloeden. Denk hierbij aan kleine verschillen tussen de kubussen in betonsamenstelling, de ligging en grootte van de individuele grindkorrels en bij het maken en bewaren van de kubussen. Dit leidt tot verschillen in meetresultaten. Om de onzekerheid als gevolg van deze spreiding in meetresultaten te verkleinen, wordt de sterkte van beton niet alleen met één, maar met meer kubussen bepaald. De norm NEN-EN 206 geeft aan hoe met het meetresultaat van 1, 3 of 15 kubussen moet worden omgegaan om een conclusie te trekken.

De betonconstructeur is bij zijn berekeningen uitgegaan van een bepaalde betonsterkte. Op basis daarvan heeft hij een bepaalde sterkteklasse voorgeschreven. Met de resultaten van de

beproevingen van de kubussen moet de leverancier van het beton aantonen dat aan de vereiste sterkteklasse wordt voldaan.

8.3.3 Soorten controles

Controles worden uitgevoerd bij zowel de productie van de betonspecie en het maken van een betonproduct (productiecontrole) als bij het verwerken van de betonspecie op de bouwplaats (afnamecontrole).

Aanvullend op de beoordeling van het product worden zowel in de betonproductenindustrie als op de bouwplaats controles uitgevoerd van bekistingen en wapening.

8.3.3.1 *Productiecontrole bij een betoncentrale*

Bij een betoncentrale vinden controles plaats op onder meer de volgende punten:

- grondstoffen (herkomst, korrelgradering, watergehalte, verontreinigingen);
- productie van betonspecie;
- betonspeciesamenstelling;
- betonspecie (consistentie en sterkte);
- inspectie van mixers en doseerapparatuur.

De sterkte wordt bepaald met kubussen die gedurende 28 dagen bij 20 °C onder water zijn bewaard. Dat onderzoek wordt de "controleproef" genoemd. Of aan de eis voor de druksterkte wordt voldaan is dus pas 28 dagen na de dag waarop de specie werd geproduceerd bekend. En zolang kan niet worden gewacht met het verwerken van die specie.

Om zeker te weten dat de vereiste sterkte wordt behaald, moet steeds gecontroleerd worden of de beoogde betonsamenstelling ook daadwerkelijk wordt geproduceerd.

Dat begint met het beoordelen van de juiste werking van de doseerapparatuur van alle grondstoffen.

Ook de water-cementfactor moet kloppen. Als het watergehalte van het toeslagmateriaal tijdens de productie anders is dan bij de berekening van de betonsamenstelling werd aangenomen, is ook de water-cementfactor anders. En een hogere water-cementfactor heeft een lagere sterkte als gevolg.

Veranderingen in het watergehalte van het toeslagmateriaal hebben ook invloed op de consistentie van de specie. Als bij gelijkblijvende dosering van de grondstoffen blijkt dat de consistentie anders is dan bedoeld, is dat een waarschuwing dat er iets met het watergehalte aan de hand is. Goed opletten dus!

8.3.3.2 *Productiecontrole in de betonproductenindustrie*

Bij de betonproductenindustrie wordt de betonspecie op eenzelfde manier als bij de betoncentrale gecontroleerd. Maar omdat hier de specie meteen wordt verwerkt, worden ook de onderdelen van het productieproces gecontroleerd. Dat kan zijn:

- bekisting (schoon, voorzien van ontkistingsmiddel) ;
- wapening (aanwezig en op de juiste plek);
- in te storten onderdelen zoals buizen en elektradozen (aanwezig en op de juiste plek);
- verwerking van de betonspecie;
- afwerking van het oppervlak;
- bepaling ontkistings- of voorspansterkte;
- nabehandeling;
- controle gereed product.

Omdat hier de productie van betonspecie en beton in één hand ligt, is de producent verantwoordelijk voor de juiste eigenschappen van de specie en van het gemaakte product.

8.3.3.3 *Controle op de bouwplaats*

De controle op de bouwplaats is vergelijkbaar met de controles van het productieproces in de betonproductenindustrie. De opsomming in hoofdstuk 8.3.3.2 is dus ook hier van toepassing.

Onderzoek van betonspecie om bijvoorbeeld de sterkte na 28 dagen te bepalen, vindt eigenlijk niet of nauwelijks plaats. De aannemer vertrouwd op de resultaten van het onderzoek door de betoncentrale.

De kwaliteit van het verharde beton is hier dus het gevolg van een gezamenlijke inspanning van aannemer en betonspecieleverancier.

Bij levering van betonspecie op de bouwplaats moet wel worden gecontroleerd of de informatie op de afleveringsbon overeenkomt met wat werd besteld. Met name de sterkte- en milieuklasse zijn belangrijk. De aannemer kan de beproevingsresultaten bij de betoncentrale opvragen. Controle op de sterkte ten behoeve van ontkisten of voorspannen gebeurt wel op de bouwplaats (zie hoofdstuk 7).

De consistentie van de betonspecie wordt meestal beoordeeld door een visuele controle. Soms (bijvoorbeeld in geval van twijfel) wordt de consistentie ook gemeten..

Bij levering van betonproducten op het werk moet natuurlijk ook de vrachtbrief worden gecontroleerd om te beoordelen of wordt geleverd wat is besteld. En natuurlijk wordt het product ook op beschadigingen gecontroleerd die mogelijk ontstaan zijn tijdens het transport. Als de aannemer het product uitgebreid wil controleren, doet hij dat meestal bij de betonproductenfabriek.

8.3.4 *Controle van de sterkte in een constructie*

Het kan nodig zijn dat de sterkte van het beton in de constructie moet worden gemeten. Dit kan als de beoordeling van de sterkte door de betoncentrale (bij de uitvoering van de controleproef) een te lage waarde geeft. Ook kan een slechte verwerking een reden tot een aanvullende beoordeling zijn. Het kan ook nodig zijn als de sterkte van een oude betonconstructie moet worden bepaald.

NEN-EN 13791 geeft enkele methoden. Het betreft:

- een destructieve methode: Uit het beton worden cilinders geboord waarvan vervolgens de druksterkte wordt bepaald;
- een combinatie van deze destructieve methode met niet-destructieve methoden.

Het nadeel van de destructieve methode is voor iedereen duidelijk. Er blijven gaten in de constructie over die moeten worden gerepareerd. En dat blijft zichtbaar.

Niet-destructieve methoden zijn:

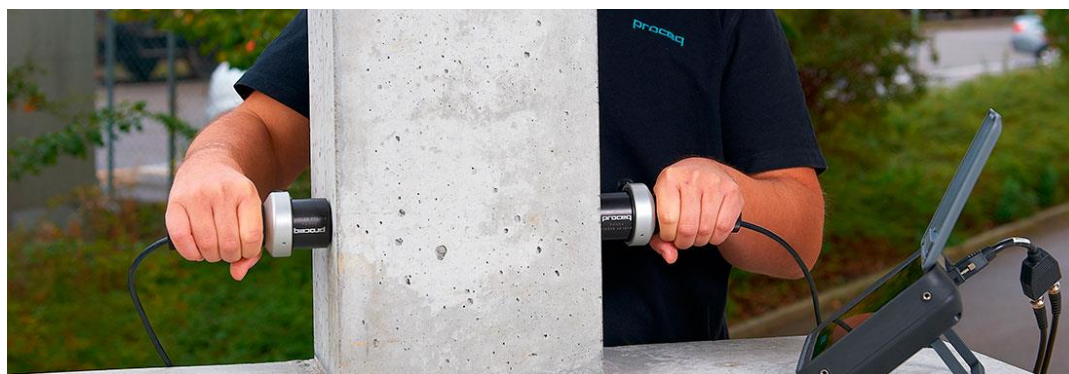
1. de bepaling van terugslagwaarden met een terugslaghamer (zie figuur 8.1);
2. ultrasone metingen. Hierbij wordt de snelheid van ultrasone geluidsgolven door het beton gemeten. Hoe hoger de betonsterkte des te hoger de sterkte. (zie figuur 8.2).

Helaas zijn de niet-destructieve methoden minder nauwkeurig dan de destructieve.

Voorafgaande aan het onderzoek moeten de betrokken partijen het eens zijn over de toe te passen methode.



Figuur 8.1 Terugslaghamer van Schmidt.(Bron: Proceq)



Figuur 8.2 Ultrasonie meting met een zogenaemde betontester.(Bron: Proceq)

8.4 Veiligheid

In de bouw kan men bij veiligheid denken aan het veilig werken op de bouwplaats en in de fabriek. Daar kunnen zeer veel onveilige situaties zijn of ontstaan. In het kader van deze cursus wordt echter vooral de veiligheid van het werken met cement en betonspecie aan de orde gesteld.

Voor de veiligheid op de bouwplaats maakt de Stichting Vollandis (vroeger: Arbouw) zich vooral sterk. Vollandis is door werkgevers- en werknemersorganisaties opgericht om de arbeidsomstandigheden in de bouwnijverheid te verbeteren.

Vollandis geeft onder meer publicaties uit in de vorm van A-bladen, model en beroepenfolders, die gratis zijn te downloaden van www.vollandis.nl. In hoofdstuk 8.5.5 zijn voorbeelden van deze A-bladen opgenomen.

Voor de veiligheid in de fabrieken speelt de Arbeidsinspectie een rol.

Voor de veiligheid bij het werken met cement en betonspecie hebben ENCI en de VOBN brochures uitgegeven.

8.4.1 Risico's bij toepassing van cement

- Cement is een poeder dat kan leiden tot *stofvorming* bij het verwerken. Dit stof kan hinderlijk zijn voor de luchtwegen.
Cement inademen kan niet leiden tot het ontstaan van zogenoemde stoflongen. Stoflongen worden veroorzaakt door het inademen van zogenoemde "vrije kwarts". Het kwarts dat in cement voorkomt is geen vrije kwarts: het is gebonden aan kalk en die verbinding kan geen stoflongen veroorzaken.
- *Inwendig gebruik* van cement is gemakkelijk te voorkomen en daarmee irritatie van mond, keel en slokdarm.
- *Huidcontact* met cement en betonspecie moet worden vermeden omdat dit kan leiden tot huidirritatie. De huidirritatie kan schrale en droge handen geven omdat cement een sterk ontvettende werking heeft en daardoor de natuurlijke vetten op de huid kan verwijderen. Bij het werken met betonspecie kan het zand een schurende werking op de huid uitoefenen en dat kan, in combinatie met de schrale huid, ontvellingen en kleine wondjes geven.

Volgens de Europese richtlijn 2003/53/EG mag cement slechts een heel kleine hoeveelheid ($< 0,0002\%$) van de stof chroom-6 bevatten. Als het gehalte aan chroom-6 groter is, moet de fabrikant een stof toevoegen die dit gehalte verlaagt. Het cement zal daardoor geen allergische reactie (cementeczeem) meer veroorzaken. De kans op huidirritatie bij intensief contact blijft echter wel bestaan.

8.4.2 Maatregelen bij het gebruik van cement

- Beperk de valhoogte bij het legen van een cementzak en zorg voor goede ventilatie.
Wanneer de stofbelasting langdurig is, wordt geadviseerd een stofkapje (type P1) te dragen. Ook een afzuiginstallatie kan dan goede diensten bewijzen.
Wanneer toch cement mocht zijn ingeademd, dan de betrokkene in de frisse lucht brengen.
- Draag beschermende kleding, zoals handschoenen en schoenen van neopreen en vermijd het gebruik van met betonspecie vervuilde kleding.
- Na contact met het oog, moet deze met overvloedig water 15 minuten lang worden gespoeld, nadat eerst een eventuele contactlens is verwijderd.
- Na het inslikken van cement de mond spoelen met 2 à 3 glazen water.
- Bij huidirritatie, cement en betonspecie verwijderen met water en een doek. Ten minste 10 minuten naspoelen en eventueel de huid invetten met een handcrème.
- Gebruik chromaatarm cement.

8.5 Interessant maar geen examenstof

8.5.1 Algemene definities van begrippen rond kwaliteit.

DEFINITIES (volgens de serie NEN-EN-ISO 9001)	
Kwaliteit	het geheel aan eigenschappen en kenmerken van een product of dienst, dat van belang is voor het voldoen aan de gestelde eisen of vanzelfsprekende behoeften
Kwaliteitsbeleid	de doelstellingen van een organisatie ten aanzien van kwaliteit, alsmede de wegen en middelen die leiden tot de verwezenlijking van deze doelstellingen, zoals deze formeel tot uitdrukking komen in een verklaring van de directie.
Kwaliteitszorg	het aspect van de totale managementfunctie dat bepalend is voor het vaststellen en ten uitvoer brengen van het kwaliteitsbeleid.
Kwaliteitssysteem	de organisatorische structuur, verantwoordelijkheden, procedures, processen en voorzieningen voor het ten uitvoer brengen van het kwaliteitsbeleid.
Kwaliteitsbeheersing	de operationele technieken en activiteiten die worden toegepast om te bewerkstelligen dat aan de kwaliteitseisen wordt voldaan.
Kwaliteitsborging	het geheel van alle geplande en systematische acties, nodig om in voldoende mate het vertrouwen te geven dat een product of dienst voldoet aan de gestelde eisen.
Controle	een activiteit voor het bewaken van de kwaliteit van processen, producten en diensten (keuren + actie!).
Keuren	een samengestelde handeling bestaande uit het doen van waarnemingen aan producten, processen of diensten en het vaststellen of deze aan de gestelde eisen voldoen.

8.5.2 CE-markering en prestatieverklaring

Voor bouwproducten die onder een zogenoemde geharmoniseerde norm vallen, geldt een verplichte CE-markering. Deze verplichting is vastgelegd in de Europese Verordening bouwproducten. Naast de verplichte CE-markering eist de Verordening ook een prestatieverklaring (Declaration of Performance, afgekort: DoP) van de producent.

De CE-markering is een door de producent aangebracht merk. Hiermee geeft hij aan dat het product aan de eisen van een geharmoniseerde Europese norm voldoet.



Figuur 8.3 - het CE merk

Voorbeelden van producten waarvoor geharmoniseerde Europese normen zijn en CE-markering verplicht is, zijn cement, hulpstoffen en toeslagmateriaal voor beton. Voor beton geleverd door een betoncentrale op basis van NEN-EN 206 bestaat geen verplichting tot CE-markering. Deze norm is niet "geharmoniseerd". (Een geharmoniseerde norm is herkenbaar door de aanwezigheid van een bijlage ZA in de norm).

8.5.3 Private (keur-)merken en kwaliteitsverklaringen

Naast de publiekrechtelijk (dat is volgens de wet) verplichte CE-markering (voor producten die onder een geharmoniseerde norm vallen) bestaat onder meer in Nederland ook een systeem van private kwaliteitsverklaringen.

Een kwaliteitsverklaring of certificaat is een verklaring dat een product of een proces (of ook een managementsysteem) voldoet aan de in dat certificaat vastgelegde specificaties.

Marktpartijen (dus producenten en afnemers) besluiten op vrijwillige basis dat er behoefte aan zo'n private verklaring bestaat. In de bouw wordt zo'n certificaat afgegeven door een certificatie-instelling die erkend moet zijn door de Raad voor Accreditatie.

Betonspecie afkomstig van een betoncentrale in Nederland is vrijwel altijd voorzien van zo'n private kwaliteitsverklaring herkenbaar aan het KOMO-merk.

Voor zowel producenten als afnemers kan certificatie kostenbesparend werken.

- De afnemer kan er dan op vertrouwen dat een gecertificeerd product of proces voldoet aan de in het certificaat gestelde eisen en hij hoeft niet meer de deskundigheid en faciliteiten te hebben voor afnamecontrole.
- De producent hoeft niet aan iedere afnemer apart aan te tonen dat zijn product aan de gestelde eisen voldoet.

De certificatie-instelling (die natuurlijk onafhankelijk en deskundig moet zijn) controleert producten en processen op basis van regels vastgelegd in beoordelingsrichtlijnen en normen.

De volgende kwaliteitsverklaringen bestaan:

- productcertificaat;
- procescertificaat;
- attest of technische goedkeuring;
- systeemcertificaat.

Een *productcertificaat* is precies wat het zegt: een certificaat voor een product.

Bijvoorbeeld een certificaat voor cement, betonspecie of een betonproduct. Het verklaart dat het in het certificaat omschreven product voldoet aan de eveneens in het certificaat weergegeven product- en productie-eisen.

Een *procescertificaat* wordt afgegeven voor een specifiek vervaardigings- of verwerkingsproces. Een voorbeeld van z'n proces is het aanleggen van een vloeistofdichte voorziening.

Een *attest of technische goedkeuring* is een verklaring over de geschiktheid van een product of proces voor een specifieke toepassing, vaak als gevolg van het ontbreken van norm.

Het attest voor de combinatie van cement met vulstof voor toepassing als bindmiddel in beton is een voorbeeld. In het attesteringsonderzoek moet zijn aangetoond dat het "cement-vulstofbeton" (ook wel attestbeton genoemd) minstens gelijkwaardig presteert als beton dat aan de norm NEN-EN 206 en NEN 8005 voldoet. Dit onderzoek wordt periodiek uitgevoerd.

Een *systeemcertificaat* geeft GEEN beoordeling van een product of proces, maar verklaart dat de werkwijze van een bedrijf in overeenstemming is met de eisen in een specifiek document.

Een bekend voorbeeld: een kwaliteitssysteem op basis van de norm NEN-EN-ISO 9001. Deze norm bevat eisen voor een kwaliteitsmanagementsysteem waarmee een bedrijf of organisatie kan aantonen dat zij consequent producten produceert en levert die voldoen aan de eisen van de klant en aan wettelijke voorschriften en voor klanttevredenheid zorgt door

effectieve toepassing van het systeem. De eisen in deze norm zijn algemeen van aard en kunnen door alle soorten bedrijven en organisaties worden gebruikt. Het certificaat doet in dit geval dus geen uitspraak over het voldoen aan bepaalde eisen van een specifiek product. Andere systeemcertificaten doen een uitspraak over het milieumanagementsysteem of het ARBO-managementsysteem.

Het verschil tussen product- en systeemcertificaten

Certificaten voor producten en systemen verschillen wezenlijk van elkaar.

Productcertificaten worden afgegeven op basis van een beoordelingsrichtlijn (BRL). Een beoordelingsrichtlijn bevat concrete eisen waaraan het product moet voldoen. Dat gaat vrij ver. Zo worden ook de grondstoffen, het productieproces, de kwaliteitscontrole en zelfs de vereiste deskundigheid van de medewerkers beschreven. Kortom, er worden eisen gesteld aan alle aspecten die van invloed zijn op de kwaliteit van een product.

In het geval van een certificaat voor een kwaliteitssysteem stelt de betreffende norm (NEN-EN-ISO 9001) slechts globale eisen aan de organisatie van een bedrijf. Elk bedrijf kan aan die eisen op eigen wijze invulling geven. De norm stelt ook eisen aan het verkoopproces, de nazorg en ook aan de klanttevredenheid.

In het algemeen wordt een productcertificaat gezien als een aanvulling op een kwaliteitssysteemcertificaat. Het mag echter duidelijk zijn dat voor een afnemer alleen een productcertificaat echt iets zegt over de kwaliteit van het product dat hij afneemt.

Alle soorten certificaten hebben één ding gemeen: er vindt regelmatige controle plaats door een onafhankelijke organisatie of het product, het proces en/of het systeem aan de eisen voldoet. Deze controles, ook wel audits genoemd, kunnen aangekondigd of onaangekondigd bij de producent plaatsvinden.

In de hieronder weergegeven tabel is een overzicht gegeven van de verschillende kwaliteitsverklaringen. In hoofdstuk 8.5.4 wordt verdere informatie gegeven over beoordelingsrichtlijnen.

8.5.4

Beoordelingsrichtlijnen (BRL)

Een beoordelingsrichtlijn BRL vormt de basis voor een productcertificaat en een attest. Het wordt opgesteld per specifiek product of proces.

Beoordelingsrichtlijnen die de bouw betreffen, bevatten behalve privaatrechtelijke eisen ook vaak publiekrechtelijke eisen. Het betreft dan het Bouwbesluit en het Besluit bodemkwaliteit. Als een product een KOMO-merk heeft, voldoet het altijd aan de van kracht zijnde publiekrechtelijke eisen.



KOMO-merk bij een product- of procescertificaat.



KOMO-merk bij een attest

8.5.5

Voorbeelden van A-bladen uitgegeven door Vollandis (vroeger Arbouw):

– **A-blad Ontkistingsmiddelen in de bouw**

In dit A-blad staan de afspraken om de blootstelling aan ontkistingsmiddelen van bekistingstimmerlieden te verminderen. De oplossing is onder meer het gebruik van 'zelflossende' bekistingsmaterialen, waarbij geen ontkistingsmiddel nodig is. Omdat zelflossende bekistingsmaterialen nog maar beperkt toepasbaar zijn, hebben Vollandis, de Stichting Betonlosmiddel Fabrikanten (BLF) en het ministerie van VROM een classificatiesysteem ontwikkeld waarmee een zo arbo- en milieuvriendelijk mogelijk ontkistingsmiddel kan worden gekozen. Aangeraden wordt om ontkistingsmiddelen te gebruiken uit klasse 1 en middelen uit klasse 5 niet (meer) te gebruiken. Er wordt bovendien op gewezen dat een milieuvriendelijk ontkistingsmiddel niet altijd een "mensvriendelijk" ontkistingsmiddel is.

(<https://www.vollandis.nl/media/2321/a-blad-ontkistingsmiddelen.pdf>; in revisie)

– **A-blad Epoxygebonden betonreparatiemiddelen (1999)**

In dit A-blad staan de afspraken om de gezondheidsrisico's terug te dringen bij het werken met epoxygebonden betonreparatiemiddelen (epoxygebonden reparatiemortels, injectievloeistoffen en reparatiepasta's). Het betreft afspraken over het gebruik van alternatieve middelen, het transport, de mengplaats, de werkwijze en het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen.

(<https://www.vollandis.nl/media/2317/a-blad-epoxygebonden-betonreparatiemiddelen.pdf>; in revisie)

– **A-blad Betonstaal verwerken (2001)**

In dit A-blad staan de afspraken om de lichamelijke belasting van betonstaalverwerkers te verminderen. Het betreft afspraken over tillen en sjouwen, knippen en buigen, binden en werkhoudingen. Daarnaast is er aandacht voor veiligheid (gevaarlijke stoffen, geluid, trillingen, klimaat) en persoonlijke beschermingsmiddelen.

(https://www.vollandis.nl/media/2093/17094787-a-blad-betonstaal_nieuw.pdf)

Vraagstukken

1. Waartoe dienen de betonvoorschriften?
2. Wat verstaat men in het algemeen onder 'de kwaliteit' van een product?
3. Noem twee methoden van niet-destructief onderzoek naar de betondruksterkte.
4. Noem een voorbeeld wanneer er besloten zal worden tot het uitvoeren van een (niet-destructief) onderzoek aan een constructie.
5. Wat wordt verstaan onder productiecontrole?
6. Wat betekent het als een fabriek zijn producten onder certificaat aflevert?
Wat betekent dit voor de afnemer?
7. Aan welke eigenschappen van beton worden eisen gesteld?
8. Welke factoren bepalen de kwaliteit van beton?
9. Wat is het verschil in rechtsgeldigheid tussen een norm en een CUR-Aanbeveling?
10. Wat wordt verstaan onder afnamecontrole?
11. Wat is het basisdocument dat bij certificatie wordt gebruikt?
12. Is een CE-markering vergelijkbaar met een KOMO-certificaat?
13. Wat doet de Stichting Vollandis?
14. Noem drie gezondheidsrisico's bij het gebruik van cement of betonspecie.
Vermeld tevens hoe deze risico's kunnen worden vermeden.
15. Welke maatregelen tref je als een collega een huidirritatie bij het afwerken van beton oploopt?

VERKLARENDE WOORDENLIJST

afnamecontrole

keuring van een product door of namens de afnemer.

attest

een kwaliteitsverklaring gebaseerd op onderzoek dat een materiaal geschikt is voor een bepaalde toepassing

besluit bodemkwaliteit

van overheidswege gegeven eisen waaraan bouwstoffen moeten voldoen met betrekking tot uitspoeling van voor het milieu schadelijke stoffen.

beoordelingsrichtlijn

document waarin de technische regelgeving is vastgelegd waarmee een certificatie-instelling een product of dienst beoordeelt.

bouwbesluit

van overheidswege gegeven voorschriften ten aanzien van levensduur en veiligheid.

certificatie

keuring en controle van product of dienst door een onafhankelijke instelling op basis van een norm of een beoordelingsrichtlijn.

charge

een bepaalde hoeveelheid materiaal die in één keer aangemaakt wordt.

controleproef

een gestandaardiseerde proef ter bepaling van de kubusdruksterkte van beton.

CUR-Aanbeveling

een door de stichting CUR (inmiddels opgegaan in CROW) uitgegeven richtlijnendocument waartoe partijen zich vrijwillig kunnen verplichten.

destructieve beproeving

een beproeving waarbij het proefstuk kapot gaat.

kruip

een toename van de vervorming bij een gelijktijdige belasting.

kwaliteit

mate waarin een product aan de gestelde eisen voldoet.

kwaliteitshandboek

handboek waarin is aangegeven hoe het bedrijf zijn kwaliteitssysteem heeft opgezet.

normen

regelgeving ten aanzien van eigenschappen en samenstelling van materialen, fabricageprocessen, beoordelingsmethoden, en dergelijke.

steekproef

monster dat een juist beeld geeft van de hele partij.

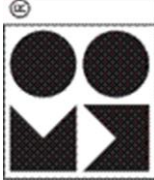
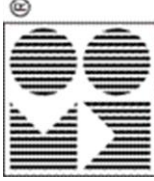
terugslaghamer / schiethamer

meetinstrument waarmee een schatting van de sterkte van beton kan worden gemaakt.

ultrasone meting

een meetmethode waarbij door middel van geluidsgolven een schatting van de sterkte van beton kan worden gemaakt.

Figuur 8.3 Overzicht kwaliteitsverklaringen. (Bron: vakblad Betoniek, afl. 14/03 "Gecertificeerd!")

	Productcertificaat	Procescertificaat	Systeemcertificaat	Attest/technische goedkeuring	EG-conformiteitsverklaring	FPC-certificaat	European Technical Approval
Eisenstellend document	BRL	BRL	Norm of Richtlijn. Bijv. ISO-norm of OHSAS richtlijn	BRL	Geharmoniseerde Europese norm	Geharmoniseerde Europese norm	EAD
Wat wordt gecertificeerd?	Een product	Een proces	Een bedrijf of organisatie	Een product in een bepaalde toepassing	Een product	Een product	Een product in een bepaalde toepassing
Wie controleert en hoe vaak?	Producent: opgelegde meetfrequentie; onafhankelijke toetsing meerdere keren per jaar	Bedrijf: eigen controles; onafhankelijke toetsing meerdere keren per jaar	Bedrijf: eigen controles; onafhankelijke toetsing meestal één keer per jaar	Eénmalige keuring	Volgens systeem 1 of 1+; eigen controles; onafhankelijke toetsing meestal één keer per jaar	Volgens systeem 2+ eigen controles; onafhankelijke toetsing meestal één keer per jaar	Volgens EAD; afhankelijk van het product
Waarom?	Een producent hoeft niet voor alle afnemers afzonderlijk aan te tonen dat het product aan gestelde eisen voldoet. Een afnemer hoeft zelf geen uitgebreide afnamecontrole uit te voeren.	Een producent hoeft niet voor alle afnemers afzonderlijk aan te tonen dat het proces aan gestelde eisen voldoet. Een afnemer hoeft zelf geen uitgebreide afnamecontrole uit te voeren.	Producent: bedrijfsprocessen verbeteren en transparant maken. Afnemer: Geen impact. Een producent kan op meer vertrouwen rekenen.	Aantonen dat een product geschikt is voor een bepaalde toepassing zonder dat daarvoor een norm bestaat	Voor vrije handel op de Europese markt	Voor vrije handel op de Europese markt	Voor vrije handel op de Europese markt voor producten waarvoor nog geen geharmoniseerde norm is.
Merkteken en voorbeeld	KOMO	KOMO	Het aan te brengen merkteken is afhankelijk van de certificatie-instelling	KOMO, voor attest	CE	CE	CE
							
Geldig in	Nederland	Nederland	Wereld	Nederland	Europa	Europa	Europa
Verklaring van voldoen aan het Bouwbesluit	Ja, indien van toepassing	Nee	Nee	Ja, indien van toepassing	Nee	Nee	Nee