

DE ROL VAN LUCHTGEHALTE, WATERABSORPTIE EN WATERGEHALTE IN DE VORSTGEVOELIGHEID VAN WEGENBETON

dr.ir. ANNE BEELDENS (OCW)

ir. CLAUDE PLOYAERT (INTER-BETON)

ir. LUC RENS (FEBELCEM)

ir. PIETER DE WINNE (Afdeling Wegenbouwkunde, AWV, Vlaamse Overheid))

Samenvatting

De diverse typebestekken bevatten een reeks duidelijke eisen op vlak van betonsamenstelling en van de eisen op vers en verhard beton. Het is algemeen geweten dat watergehalte en luchtgehalte een belangrijke invloed hebben op de vorstgevoeligheid van een beton, de eerste in negatieve en de tweede in positieve zin. De proef op de waterabsorptie door onderdompeling is een vrij eenvoudige en snelle proef waarvan het resultaat een maat is voor de compactheid van het beton en daarmee ook, tot in zekere mate, voor de duurzaamheid ervan. Een belangrijk aspect van het begrip duurzaamheid is de weerstand tegen afschilfering door vorstdooicycli in aanwezigheid van dooizouten. Daarom wordt een vorstdooiproef als tegenproef voorzien voor de waterabsorptie. Maar welk zijn de relaties tussen de verschillende parameters : watergehalte, waterabsorptie, luchtbelgehalte en weerstand tegen afschilfering? Aan de hand van een aantal voorbeelden van betonsamenstellingen wordt dit in deze bijdrage geïllustreerd.

Résumé

Les divers cahiers des charges types contiennent une série d'exigences claires sur le plan de la composition du béton et des exigences posées au béton frais et au béton durci. Il est de notoriété publique que la teneur en eau et la teneur en air ont une influence importante sur la sensibilité au gel d'un béton: la première dans le sens négatif; la deuxième dans le sens positif. L'essai sur l'absorption d'eau par immersion est un essai relativement simple et rapide dont le résultat est une mesure pour la compacité du béton et par la même occasion, jusqu'à un certain point, de sa durabilité. Un aspect important du concept durabilité est la résistance à l'écaillage dû aux cycles de gel/dégel en présence de sels de déverglaçage. C'est pourquoi un essai gel-dégel est prévu comme contre-essai pour l'absorption d'eau. Mais quels sont les liens entre les différents paramètres: teneur en eau, absorption d'eau, teneur en bulles d'air et résistance à l'écaillage? Ceci est illustré dans cette contribution à l'aide de quelques exemples de compositions de béton.

1. Inleiding

Een aangepaste betonsamenstelling en goede uitvoering zijn primordiaal voor een duurzaam beton. In de diverse typebestekken zijn een reeks duidelijke eisen op vlak van betonsamenstelling weergegeven die moeten zorgen voor een duurzaam beton. Naast de water/cement factor en het cementgehalte heeft ook het luchtgehalte een belangrijke invloed. Het is van belang om een zo compact mogelijk beton te maken met laag gehalte aan watertoegankelijke poriën. Bovendien dient voldoende lucht in het beton ingebracht te worden in de vorm van kleine luchtbelletjes om het netwerk dat gevormd wordt door de poriën te onderbreken en de spanningen in het beton te verlagen. Andere factoren zijn het zandgehalte, het totale watergehalte en de toevoeging van fijne deeltjes (zoals bijvoorbeeld pigmenten). Deze worden niet opgelegd door de typebestekken, maar hebben wel een grote invloed op de duurzaamheid van het verhard beton. Het is aan de betonfabrikant om de juiste samenstelling te kiezen in functie van de toepassing.

Dit artikel geeft een overzicht van het schademechanisme dat optreedt bij vorst-dooicycli al dan niet in aanwezigheid van dooizouten. Vervolgens worden kort de proeven omschreven die een maat zijn voor de weerstand tegen afschilfering. Tenslotte wordt dieper ingegaan op de verschillende parameters die bepalend zijn voor deze weerstand. Aan de hand van enkele voorbeelden van betonsamenstellingen worden de verbanden die bestaan tussen de resultaten van de verschillende proeven, evenals de noodzaak voor de bepaling van deze eigenschappen aangetoond.

2. Schademechanisme

Het schademechanisme dat optreedt bij vorst-dooicycli al dan niet in aanwezigheid van dooizouten is zeer complex en nog steeds niet volledig doorgrond. Aangenomen wordt dat de schade het gevolg is van een combinatie van het optreden van hydraulische druk en osmotische druk gelinkt aan de vorming van ijslenzen in de poriën.

Hydraulische drukken ontstaan ten gevolge van het uitzetten van water tijdens de overgang naar ijs. Algemeen wordt gesteld dat voor beton de schade die door dit mechanisme optreedt zeer beperkt is. Een belangrijker mechanisme voor de schade is de vorming van ijslenzen in de poriën. Bij afkoeling zal het water in de capillaire poriën bevriezen. Dit gebeurt eerst in de grotere poriën en pas daarna in de kleinere poriën. Hoe fijner de porie, hoe lager de temperatuur dient te zijn alvorens het water zal bevriezen. Door een verschil in dampspanning migreert het water van de kleinere poriën naar de grotere poriën. De spanningen die ontstaan ten gevolge van deze migratie van water zullen op een bepaald moment de trekspanningen van het beton overschrijden waardoor afschilfering ontstaat. Anderzijds zal de ijslens het water ook wegduwen. Bij omzetting van water in ijs is er een volumetoename van 9%. Door deze uitzetting wordt het nog niet bevroren water uit de porie gedreven waardoor spanningen ontstaan op de poriënwand. Het beton zal bijgevolg sterker

aangetast worden als het volledig verzadigd is. Ook de aanwezigheid van grotere poriën zal leiden tot een sterkere aantasting. De aanwezigheid van luchtbellen zal anderzijds de connectie tussen de kleinere en de grotere poriën verminderen en bijkomend uitzettingsmogelijkheden bieden voor het bevroren water.

De aanwezigheid van dooizouten versterkt dit effect. Enkel zuiver water zet zich om in ijs, de zouten zullen migreren naar het overblijvende water in de porie. Hierdoor zal de concentratie aan zouten in dit poriënwater in de grote deels bevroren porie sterk toenemen. Hierdoor ontstaan er grote verschillen in concentraties tussen het poriënwater in de grote poriën en de kleinere poriën. Door osmose, namelijk het streven naar evenwicht, zal water opnieuw van de kleinere naar de grotere poriën migreren, wat de spanningen opnieuw verder doet toenemen.

3. Proeven ter bepaling van de weerstand tegen afschilfering

Voor de bepaling van de weerstand tegen afschilfering zijn 3 proeven zeer belangrijk. In eerste instantie dient het luchtbelgehalte bepaald te worden. Dit luchtbelgehalte wordt bepaald op vers beton op de plaats waar het beton gestort wordt. Een tweede proef is de bepaling van de wateropsorping. Deze proef geeft een goede indicatie van het watertoegekankelijke poriëngehalte.

van het beton en daardoor ook niet rechtstreeks van de weerstand tegen afschilfering. Een derde proef is de bepaling van de weerstand tegen afschilfering. Bij deze proef wordt het beton onderworpen aan vorst-dooicycli in de aanwezigheid van dooizouten.

Het luchtgehalte wordt bepaald volgens de methode beschreven in NBN EN 12350-7 § 5, gebaseerd op het principe van de wet van Boyle-Mariotte ($p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$). Het verse beton wordt verdicht in een container. In een bovengelegen afgesloten ruimte wordt een druk opgebouwd. Vervolgens worden beide ruimtes in contact met elkaar gebracht. De evenwichtsdruk die ontstaat, is een maat voor het luchtgehalte in het proefstuk. Op de schaal kan onmiddellijk het luchtgehalte van het verse beton afgelezen worden.



Figuur 1: Bepaling van luchtgehalte op vers beton volgens NBN EN 12350-7

Het is van belang dat het luchtgehalte op de werf zelf bepaald wordt. Tijdens het transport kunnen immers luchtbelletjes verdwijnen uit het beton. Vaak zijn de waarden gemeten op de werf dan ook lager dan deze gemeten in de centrale.

De wateropslorping wordt bepaald volgens NBN B15-215. Hierbij wordt het proefstuk in een eerste fase ondergedompeld in water tot een constant gewicht bereikt wordt. Vervolgens wordt het proefstuk gedroogd bij 105°C. Hierdoor zal al het water uit de capillaire poriën verdampen. De wateropslorping wordt vervolgens uitgedrukt als de verhouding van het verschil tussen het verzadigd gewicht en het droge gewicht (de hoeveelheid water in het proefstuk) en het droge gewicht, zoals weergegeven in onderstaande vergelijking.

$$\text{Wateropslorplingscoëfficiënt [\%]} = \frac{M_{\text{verzadigd}} - M_{\text{droog}}}{M_{\text{droog}}} * 100$$

Belangrijk hierbij is op te merken dat de wateropslorplingscoëfficiënt steeds uitgedrukt wordt als hoeveelheid opgenomen water ten opzichte van het droge gewicht. Een lichter proefstuk dat een zelfde hoeveelheid water opneemt zal bijgevolg een grotere wateropslorplingscoëfficiënt hebben.

Tenslotte wordt de weerstand tegen afschilfering bepaald volgens de methodes beschreven in de typebestekken. Deze zijn gebaseerd op de vroegere ontwerpnorm ISO-DIS 4846.2. Na een conditionering van de proefstukken worden een zoutoplossing op het oppervlak aangebracht. Vervolgens worden de proefstukken onderworpen aan 30 cycli van 24 uur. Na bepaalde tijden wordt de hoeveelheid afgeschilferd materiaal opgemeten. De totale hoeveelheid afgeschilferd materiaal is een maat voor de weerstand tegen afschilfering in de aanwezigheid van dooizouten.

Het correct uitvoeren van een proef is uitermate belangrijk. Indien de parameters opgelegd in de proefmethode niet gerespecteerd worden zullen de resultaten beïnvloed worden en zal bijgevolg een goede interpretatie van de proefresultaten niet meer mogelijk zijn. Bij de bepaling van de afschilfering is het bijvoorbeeld van groot belang dat de afmetingen van de proefstukken gerespecteerd worden. Er is bijvoorbeeld gebleken dat de hoogte van het proefstuk een belangrijke rol heeft op de uiteindelijke aantasting. Een hoger proefstuk zal minder aangetast worden dan een lager proefstuk. Ook is het van belang dat het proefstuk in 'oorspronkelijke' vorm getest wordt. Voor wegenbeton gebeurt dit op kernen die ontnomen worden in de weg. De beproeving start na 90 dagen. Indien het proefstuk reeds langere tijd blootgesteld is aan dooizouten en vorst-dooicycli zal dit mogelijk de oppervlaktestructuur veranderen waardoor grotere aantasting waargenomen wordt. Proeven op latere leeftijd zullen bijgevolg wel kunnen aantonen of verdere aantasting zal optreden of niet maar zullen moeilijk uitsluitsel kunnen geven over de oorspronkelijke kwaliteit van het beton. Het is ook van belang om een proefstuk te nemen dat nog geen voorafgaandelijke beproeving heeft

ondergaan. Zo zal de droging bij 105°C tijdens de wateropsloppingsproef een belangrijke invloed hebben op de poriënstructuur aan het oppervlak en bijgevolg leiden tot grotere aantasting.

4. Invloedsfactoren betonsamenstelling en kenmerken

4.1 Water-cementfactor, watergehalte, cementgehalte

Van de water-cementfactor is algemeen gekend dat hij maatgevend is voor de kwaliteit van beton. Hoe lager de w/c-factor, hoe hoger de sterkte (druksterkte, treksterkte), hoe lager de watertogankelijke porositeit en bijgevolg hoe beter de weerstand tegen vorst-dooischade. Het watergehalte moet zo laag mogelijk gehouden worden omdat op die manier een compact beton kan bekomen worden met een lage porositeit. Maar een zekere hoeveelheid water is altijd nodig in het beton om een goede verwerkbaarheid te bekomen gedurende een voldoende lange verwerkingsperiode. Hulpstoffen (plastificeerder – superplastificeerder) spelen uiteraard een belangrijke rol om die hoeveelheid water te beperken en toch de nodige verwerkbaarheid te garanderen maar ook hier zijn grenzen aan. Een overdosis aan hulpstoffen kan het beton smeugig en kleverig maken, zodat het in de praktijk niet gemakkelijk verwerkbaar is voor de aannemer die het moet storten.

Een voldoende hoog cementgehalte is ook een noodzaak voor een kwaliteitsvol beton; door de extra hydratatieproducten wordt een gesloten beton bekomen. Dit is wel slechts waar indien de w/c-factor aangepast wordt, en dit om het watergehalte in de betonsamenstelling niet te verhogen. Dit betekent dat wanneer het cementgehalte wordt verhoogd in een samenstelling, bij voorbeeld omdat de maximale korrelafmeting D_{max} afneemt, de w/c-factor moet dalen om zo dezelfde hoeveelheid water te bekomen in het mengsel. Voor wegenbeton ligt de ideale hoeveelheid totale water die de factoren duurzaamheid en verwerkbaarheid optimaal combineert op 180 liter per m^3 .

In de typebestekken wordt met deze redenering al rekening gehouden. Zie ter illustratie hieronder tabel 1 met gegevens uit het Standaardbestek 250 voor de Wegenbouw van de Vlaamse Overheid, geldig voor de bouwklassen B1-B5.

D_{max} (mm)	Minimale cementhoeveelheid (kg/m^3)	Maximale w/c-factor
$20 < D_{max} \leq 31,5$	400	0,45
$6 < D_{max} \leq 20$	400	0,45
$D_{max} \leq 6$	425	0,42

4.2 Zandgehalte

Het zandgehalte zal een dubbele invloed hebben. Enerzijds zal een hoger zandgehalte een hogere hoeveelheid water en/of superplastificeerder vragen om eenzelfde verwerkbaarheid te verkrijgen wat een invloed zal hebben op de porositeit van het verharde beton. Bovendien zal een hoog zandgehalte het mortelgehalte in het beton verhogen waardoor de kans op

schade door vorst/dooicycli in aanwezigheid van dooizouten zal toenemen. Idealiter wordt het zandgehalte (fractie 0/2) beperkt tot 600 kg/m³ voor klassiek wegebeton 0/20. Meer informatie betreffende de invloed van het gehalte en de kwaliteit van het zand op de duurzaamheid van het beton is terug te vinden in ref. 4 en ref. 5.

4.3 Pigmenten

Ook pigmenten zullen een invloed hebben op de verwerkbaarheid van het beton. Door het toevoegen van fijn materiaal zal opnieuw een minder verwerkbaar beton bekomen worden en zal men bijgevolg verplicht zijn meer hulpstoffen toe te voegen of het watergehalte te vergroten. Toch is het mogelijk om een duurzaam gekleurd beton te bekomen als men de regels van de kunst betreffende de samenstelling volgt, dit is een continue korrelverdeling met beperkte hoeveelheid zand, een voldoende hoog cementgehalte met aangepaste w/c factor om een optimaal watergehalte te bekomen en voldoende lucht in het verse mengsel om de duurzaamheid te verzekeren. Meer details betreffende de optimale samenstelling zijn terug te vinden in ref. 6.

4.4 Luchtgehalte

Het luchtgehalte is een van de belangrijkste parameters die de duurzaamheid van het beton zal garanderen. Zeker bij betonsamenstellingen met een maximale diameter voor de grove granulaten kleiner dan 20 mm zal de hoeveelheid mortel toenemen en zal bijgevolg de kans op schade eveneens toenemen. Door toevoegen van een luchtbelvormer zullen in het beton kleine luchtbelletjes ontstaan. Deze luchtbelletjes zullen zich in de uitgeharde cementsteen/mortelfase bevinden en zullen helpen om de drukken die ontstaan ten gevolge van de vorming van een ijslens en ten gevolge van het onttrekken van water aan de fijnere poriën, te verminderen.

Het is van belang dat enerzijds de diameter van deze luchtballen niet te groot wordt en dat de luchtballen niet te ver van elkaar verwijderd zijn. Door microscopische analyse van het uitgehard beton kan dit gecontroleerd worden. Idealiter bedraagt de diameter van de luchtballen 10 à 100 µm en bedraagt de afstandsfactor niet meer dan 200 µm.

4.5 Combinatie luchtgehalte – wateropsorping – sterkte

De toevoeging van lucht zal een invloed hebben op de andere eigenschappen van het beton zoals soortelijk gewicht, sterkte en wateropsorping. Algemeen kan gesteld worden dat het soortelijk gewicht en de sterkte zullen afnemen en dat de wateropsorping zal verhogen.

De invloed van een hoger luchtgehalte op de sterkte van het beton is evident. Het inbrengen van lucht zal tot een minder dicht materiaal leiden waardoor de sterkte afneemt. Hier is rekening mee gehouden in de typebestekken waar een lagere druksterkte geëist wordt voor betonmengsels met toevoeging van luchtbelvormer. Door een minimumdruksterkte te eisen wordt impliciet ook een grens aan het maximale luchtbelgehalte opgelegd. In het SB 250 is

deze maximumeis niet rechtstreeks opgelegd, in tegenstelling tot de CCT Qualiroutes waar de maximum waarden van 6 of 8 % expliciet worden vermeld.

De invloed op de wateropslorping is minder duidelijk. Het is zo dat in principe de absolute hoeveelheid water die opgenomen wordt door het proefstuk slechts in beperkte mate zal beïnvloed worden door de toevoeging van de luchtbelvormer. Dit is het water dat aan het oppervlak door de capillaire poriën opgezogen wordt. De luchtballen bevinden zich anderzijds meer in de structuur en niet aan het oppervlak waardoor de invloed op deze capillaire werking beperkt is. Wat wel veranderd is de wateropslorplingscoëfficiënt. Zoals hoger beschreven is dit de verhouding tussen de hoeveelheid water die opgenomen wordt door het proefstuk en de droge volumiekemassa. Gezien de droge volumieke massa afneemt als luchtbelvormer aan het beton wordt toegevoegd zal eenzelfde hoeveelheid opgenomen water leiden tot een hogere wateropslorplingscoëfficiënt. Dit betekent niet dat het beton geen weerstand zou hebben tegen de inwerking van dooizouten. Integendeel, onderzoek toont aan dat indien een voldoende hoog luchtgehalte aanwezig is in het beton de weerstand tegen inwerking van dooizouten hoog is, ook al overschrijdt de wateropslorplingscoëfficiënt de toegelaten waarde van het standaardbestek.

Als voorbeeld is een oefening uitgevoerd waarbij verschillende parameters, zoals gehalte luchtbelvormer, waterhoeveelheid, water/cement factor gewijzigd zijn. Het beton is een beton voor gemeentewegen met 375 kg/m³ CEM III/A 42,5 N LA en D_{max} = 20 mm. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel. Twee punten zijn hier van belang. In eerste instantie kan gesteld worden dat een beton met een toenemende hoeveelheid luchtbelvormer (beton 3-4-5) zal leiden tot een verhoogde weerstand tegen afschilfering, ondanks het feit dat een te hoge wateropslorplingscoëfficiënt opgemeten wordt. Dit is zoals boven gesteld een gevolg van het verlaagd soortelijk gewicht van het beton.

Gevaarlijker is het wanneer het luchtgehalte in het beton te laag is (beton 1 en 2). In dit geval wordt wel een voldoende lage wateropslorping opgemeten. Ook de sterkte voldoet. Alleen is het luchtgehalte gemeten op het verse beton te laag. Indien met dit laatste geen rekening wordt gehouden lijkt het alsof het beton voldoet aan de gestelde eisen en bijgevolg duurzaam zou zijn. Nochtans worden hoge waarden van afschilfering opgemeten en zal het beton bijgevolg gevoelig zijn voor schade in de aanwezigheid van dooizouten. Het is dus uitermate belangrijk om niet alleen de sterkte en de wateropslorplingscoëfficiënt te bepalen maar ook het gehalte lucht in het verse beton. Als dit niet voldoende hoog is zal het beton een beperkte weerstand hebben tegen vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten.

	Beton 1	Beton 2	Beton 3	Beton 4	Beton 5	Beton 6
Plastificeerder	Neen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Luchtbelvormer	Neen	Neen	Ja	Ja	Ja	Ja
w/cfactor	0,49	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Slump Vebe	40 mm 4,0 s	40 mm 4,0 s	25 mm 4,0 s	45 mm 3,0 s	35 mm 3,5 s	65 mm 2,0 s
Luchtgehalte	0,8 %	1,3 %	2,4 %	4,5 %	5,7 %	8,3 %
Massa-verliesvorst-dooi	25,1 g/dm ²	14,0 g/dm ²	10,8 g/dm ²	7,1 g/dm ²	6,3 g/dm ²	3,9 g/dm ²
R'c 90 d	73,6 N/mm ²	82,0 N/mm ²	73,0 N/mm ²	65,9 N/mm ²	58,9 N/mm ²	44,6 N/mm ²
Abs _m	6,0 %	5,6 %	5,5 %	6,4 %	6,2 %	7,3 %

5. Aanbevelingen en besluiten

De samenstelling van het beton is zeer belangrijk om een duurzaam beton te verkrijgen. Hierbij speelt de samenwerking tussen de verschillende parameters een rol. Cementgehalte, watergehalte, w/c-factor, zandgehalte, mortelgehalte en gehalte aan luchtbelvormer moeten voldoen aan specifieke eisen om een beton met voldoende afschilfering te verkrijgen.

Bij de bepaling van de weerstand tegen de inwerking van dooizouten is de proef ter bepaling van de weerstand tegen afschilfering de belangrijkste methode. Als de resultaten van deze proef zich onder de toegelaten waarden bevinden zal het beton weerstaan. De wateropsorping op zich geeft een indicatie, maar zal in het geval van een beton met een hoog luchtbelgehalte de weerstand onderschatten. In het geval het beton een te laag luchtgehalte heeft zal de wateropsorplingscoëfficiënt de weerstand overschatten en kan schade optreden ook al voldoen de waarden van de wateropsorplingscoëfficiënt. Het is dan ook van zeer groot belang om zeker het luchtgehalte van het beton op de werf te bepalen. Als dit niet voldoet moet de betonsamenstelling bijgestuurd worden om de duurzaamheid te garanderen. De aanwezigheid van lucht wordt des te belangrijker naarmate het mortelgehalte en de waterbehoefte van het beton toenemen (kleinere grove granulaten, hoger zandgehalte, meer pigment). Het voorzien van de nodige controlemiddelen en de regelmatige uitvoering van de controlemetingen zijn dus cruciaal opdat de voorschriften van de typebestekken daadwerkelijk zouden leiden tot duurzame betonoppervlakken.

6. Referenties

1. Handleiding voor de toepassing van luchtbelvormers in wegbeton. Toepassing, mengselontwerp en keuring. Opzoekingscentrum voor de wegenbouw, R73/02, Brussel, 2002.
2. Naar een optimale samenstelling van wegconcreet. C. Ployaert. FEBELCEM, 2010.
3. Ontwerp van betonconstructies bestand tegen vorst-dooicycli en dooizouten. C. Ployaert. FEBELCEM, Dossier Cement en Beton, bulletin T-4, november 2012
4. L'influence du rapport sable/ciment sur la qualité des bétons routiers. C. Ployaert, Inter-Beton ; L. Rens, FEBELCEM. Congrès belge de la Route, Liège, 2013.
5. La granulométrie correcte des sables pour une qualité optimale des bétons routiers. O. Pilate, Sagrex ; C. Ployaert, Inter-Beton. Congrès belge de la Route, Liège, 2013.
6. Influence de l'ajout d'un colorant sur la résistance aux sels de déverglaçage d'un béton routier. C. Ployaert, Inter-Beton ; L. Rens, FEBELCEM. Congrès belge de la Route, Liège, 2013.