



monumentenwacht
Vlaanderen vzw

een initiatief van de Vlaamse provincies



INHOUD

1	INLEIDING	5
2	MATERIAAL EN CONSTRUCTIE	7
	Beton in ons erfgoed	7
	Wat is beton?	9
	Historische evolutie	14
3	OORZAKEN EN VORMEN VAN SCHADE	19
	Schade aan verhard beton	19
	Schade door wapeningscorrosie	24
	Veel voorkomende schadebeelden	29
4	ONDERHOUD EN PREVENTIEVE CONSERVERING, EEN TAAK VOOR DE BEHEERDER	33
	Algemeen	33
	Regelmatige monitoring en controle	33
	Schade voorkomen en beheersen	37
	Oppervlaktebehandeling en afwerkklagen	41
5	RESTAURATIE EN HERSTEL, EEN TAAK VOOR DE SPECIALIST	45
	Keuze van de herstmortel	45
	Plaatselijk herstel met een herstmortel	47
	Wapening behandelen	49
	BESLUIT	55
	BEKNOPTE BIBLIOGRAFIE	56
	COLOFON	58
	ADRESSEN	59



Beton krijgt nog steeds de stempel van een minder mooi, 'goedkoop' en hedendaags materiaal, dat niet onmiddellijk gelinkt wordt aan 'historische constructies'. Toch is modern beton al 150 jaar in gebruik als bouw materiaal. Aardig wat betonnen gebouwen, gevelelementen, bunkers, forten, bruggen, sluizen ... zijn beeldbepalend en zijn beschermd of geïnventariseerd als erfgoed. En niet alleen 'jonge monumenten' bevatten beton; heel wat oudere monumenten kregen in de loop van de 20ste eeuw betonnen spanten, lateien, vloeren ... die al dan niet zichtbaar zijn.

Net als alle bouwmaterialen lijdt beton onder de tand des tijds en is het onderhevig aan schadefactoren en -processen. Door preventief in te grijpen of snel te reageren zodra er schade vastgesteld wordt, kan het betonnen erfgoed langer bewaard blijven. Jammer genoeg dringt herstel zich al te vaak op door te weinig onderzoek, onvoldoende inzicht in het schademechanisme, een gebrekkige kennis van het historisch beton, het niet of te laat aanpakken van de oorzaken, onaangepaste herstelmaterialen of herstelmethodes, slechte uitvoeringsomstandigheden ... En dikwijls houden die herstellingen ook minder lang stand dan verhoopt.

De samenstelling en de eigenschappen van beton variëren in de tijd, afhankelijk van de inzichten en de beschikbare grondstoffen. Daardoor bieden standaardoplossingen voor herstel zelden uitkomst. Experts kunnen de schadeprocessen tijdig in kaart brengen, de schadeoorzaken achterhalen, zoeken naar betrouwbare herstelmaterialen en -technieken en die op een degelijke manier uitvoeren met respect voor de cultuurhistorische waarde.

Monumentenwacht kan u alvast helpen om problemen tijdig te signaleren. Deze brochure geeft een beknopt inzicht in beton in het gebouwde erfgoed en in de schadefactoren die het beton bedreigen. Ook geeft ze richtlijnen om betonnen erfgoed goed te onderhouden en het een zo lang mogelijk gezond leven te geven.



1. BETON IN ONS ERFGOED

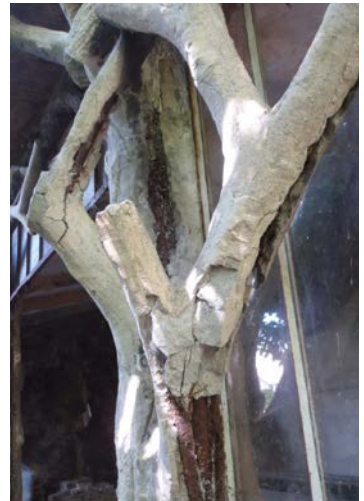
Modern beton is een vrij jong bouw materiaal, wat verklaart waarom er relatief weinig zuivere betonnen erfgoedobjecten aangesloten zijn bij Monumentenwacht. En toch, veel jonge monumenten bevatten betonnen elementen zoals dekstenen, trappen, lateien ... Enkele monumenten uit het eind van de 19de en het begin van de 20ste eeuw hebben zelfs een betonnen structuur van balken, vloeren, kolommen, koepels ... maar zijn aan de buitenkant 'traditioneel' afgewerkt zodat de betonstructuur niet te zien is. Ook in ouder gebouwd erfgoed vond beton soms ingang bij een uitbreiding of bij herstellingswerken.

In de objecten aangesloten bij Monumentenwacht behoren kunstbeton of cementrustiek tot de oudste toepassingen van beton, al is dat veeleer een voorloper van gewapend beton. Het komt voor in calvariebergen, imitatie-Lourdesgrotten of afsluitingen met het uitzicht van een houten constructie. Ze bestaan meestal uit een skelet van staalstaven en een soort van 'kippengaas', aangewerkt met een cementmortel met een hele fijne korrel, die gemakkelijk te boetseren was.

Massieve betonconstructies vinden we terug in de militaire monumenten uit het einde van de 19de en het begin van de 20ste eeuw, denk bijvoorbeeld aan de forten uit de tweede fortengordel rond Antwerpen, en aan bunkers. Verschillende industriële gebouwen zoals koolmijnen, pakhuizen of industriële molens zijn van gewapend beton.



▲ Betonnen raamverdeling



▲ Cementrustiek



▲ Onze-Lieve-Vrouwekapel in Kerselare

In Vlaanderen treffen we maar enkele kerken aan die volledig uit beton gebouwd zijn: de parochiekerk Sint-Rita in Harelbeke, de Onze-Lieve-Vrouwekapel in Kerselare en de Sint-Suzannakerk in Schaarbeek. Wel werden verwoeste of afgebrande houten dakstructuren vaak heropgebouwd uit beton, onder andere in de Sint-Catharinakerk in Hoogstraten, de Sint-Geertruikerk in Leuven en de Sint-Martinuskerk in Aalst.



▲ Kerkschip Sint-Jozef op weg naar nieuwe aanlegplaats

Beton komt ook voor in kleine bouw-elementen zoals beelden, friezen, daklijsten, tegels en dakpannen, en in grotere elementen zoals straatmeubilair, grafzerken, aquaducten en zwembaden. We vinden dit materiaal voorts nog terug in grafmonumenten, kunstwerken, bruggen, sluizen en zelfs schepen, zoals het kerkschip Sint-Jozef aan de Houtdok-Noordkaai in Antwerpen.

2. WAT IS BETON?

Volgens Haslinghuis' *Bouwkundige termen* is “beton een verzamelnaam voor alle kunstmatig vervaardigde, samengestelde steenachtige materialen die zijn opgebouwd uit samengeklitte stukken steen.” Beton bestaat voor ongeveer 75% uit granulaten – ook aggregaten, toeslagmateriaal of toeslagstoffen genoemd –, meestal grind of steenslag en zand. De andere bestanddelen zijn een bindmiddel op basis van kalk of cement, water en hulpstoffen. Alle onderdelen worden in de juiste verhoudingen grondig gemengd. De granulaten geven het materiaal draagsterkte, het bindmiddel brengt een chemische reactie op gang waarbij alle onderdelen ‘samenklitten’ en verharden. De eigenschappen van het beton veranderen volgens de samenstelling van de mengproducten. De verhoudingen zijn afhankelijk van het doel van het beton, de functie van de constructie, de gewenste sterkte, de manier van productie en – historisch gezien – ook van de kennis op dat moment en van de beschikbare materialen.

2.1 SAMENSTELLING

Bindmiddel

Al in de Oudheid werden er mortels of beton gemaakt met natuurlijke hydraulische bindmiddelen zoals hydraulische kalk of kalk gemengd met puzzolanen, tras of gemalen baksteen. In de middeleeuwen werden dikke muren opgebouwd uit een binnen- en een buitenvlak van mooi vlak metselwerk. De kern werd gevuld met onregelmatige stukken steen, puin en mortel die uithardden tot een ‘kalkbeton’. ‘Modern’ beton wordt vanaf de 19de eeuw gemaakt door kunstmatige bindmiddelen – ‘cement’ – te mengen met granulaten. Cement is eveneens een hydraulisch bindmiddel, wat wil zeggen dat het uithardt door een chemische reactie met water. Cement ontstaat door kalk en leemhoudende grondstoffen te malen, in bepaalde verhoudingen te mengen en dan te branden op een temperatuur van ongeveer 1450°C. Hoewel de procedés en de verhoudingen in de loop van de jaren verfijnd werden, verloopt de productie van cement vandaag nog grotendeels op deze manier. Er wordt geëxperimenteerd met verschillende soorten cement, elk



▲ Samengeklitte stukken steen

met hun specifieke eigenschappen. Die worden bepaald door het productieproces, de grondstoffen, de verhouding van de bestanddelen die gesinterd worden, en de bestanddelen die nadien toegevoegd worden. De kwaliteit en de samenstelling van cement beïnvloeden de duurzaamheid van het beton.

Granulaten

Om beton zijn draagkracht te geven, worden verschillende soorten granulaten gebruikt. De verhouding en de grootte hangen af van de gewenste toepassing en eigenschappen. Grove granulaten, zoals grind en steenslag, worden gemengd met fijne granulaten zoals zand, dat de gaten tussen de grove stukken kan vullen. Zowel grove granulaten als zand moeten zo zuiver mogelijk zijn – of hun samenstelling moet bekend zijn – om te voorkomen dat bijvoorbeeld zouten de eigenschappen van het beton negatief beïnvloeden. De kennis over de ideale granulaten en hun verhouding evolueerde in de loop van de 20ste eeuw. De eigenschappen van het beton van 100 jaar geleden beantwoorden dan ook niet altijd aan het strikt voorgeschreven, gecontroleerde beton van vandaag.

Water & water-cementfactor

Het aanmaakwater en de water-cementfactor – dat is de verhouding tussen het aanmaakwater en het cement – sturen de eigenschappen en de sterkte van het beton. Er is altijd een minimum aan water nodig voor het chemische verhardingsproces – de hydratatie – van het beton. Dat aanmaakwater moet zuiver zijn, zonder stoffen die een invloed kunnen hebben op het verhardingsproces, de eigenschappen of de duurzaamheid van het beton. Vroeger verschilde de kwaliteit van het aanmaakwater van site tot site, omdat bijvoorbeeld (vervuild) water uit een nabijgelegen sloot of vijver gebruikt werd.

Een lage water-cementfactor (weinig water) geeft een sterk, maar moeilijker verwerkbaar beton. Een hoger watergehalte levert een poreuzer beton op waarin water, zuurstof en schadelijke stoffen gemakkelijker kunnen binnendringen.

Hulpstoffen - andere stoffen

Vandaag worden hulpstoffen gecontroleerd toegevoegd aan de betonmix om specifieke eigenschappen te verkrijgen of om het beton beter verwerkbaar te maken. Vroeger werden er ook hulpstoffen gebruikt of slopen er stoffen in het beton via 'vervuilde' granulaten of aanmaakwater, al dan niet met negatieve gevolgen. Zo werden chloriden toegevoegd tijdens het storten van beton bij lage temperaturen of om een snellere verharding van prefabelementen te verkrijgen. Vandaag zijn chloriden verboden omdat ze wapenings-

corrosie bevorderen. In de jaren 1950 werden luchtbelvormers geïntroduceerd die het beton een hogere weerstand gaven tegen vorstschade. En al in de 19de eeuw werden pigmenten gebruikt om de kleur van beton te veranderen.

2.2 WAPENING

Beton kan – net als andere steenachtige materialen – grote druk weerstaan, maar geen trekkrachten. Ongewapend beton wordt aanvankelijk ook als ‘steen’ toegepast, in gegoten constructies of door in vorm gegoten ‘kunststenen’ te stapelen. Overspanningen worden geconstrueerd met bogen, net zoals bij metselwerk.



▲ Massief betonnen fort

Om beton beter bestand te maken tegen trekkrachten, wordt wapeningsijzer of -staal ingepast in de betonnen constructie. Beton en staal vormen een goed huwelijk: ze hechten goed aan elkaar, hebben vergelijkbare thermische uitzettingscoëfficiënten, en het staal wordt door de lage zuurgraad (hoge pH-waarde) van (vers) beton beschermd tegen roesten. De wapening – stalen baren of wapeningsnetten – wordt in het beton aangebracht op plaatsen die op trekkracht belast worden en wordt met een betonlaagje afgesloten van lucht, weer en wind. Dat laagje tussen de wapening en het betonoppervlak heet de betondekking. De dikte hiervan wordt vooral bepaald door de omgevingsfactoren en de betoneigenschappen.

2.3 VERWERKING OP DE BOUWPLAATS

Mengen en mixen

Alle onderdelen – zand, water, cement en grind – moeten goed gemengd worden om een homogene betonkwaliteit te krijgen. De betonspecie werd oorspronkelijk met de hand gemengd op de bouwplaats zelf, waar ze onmiddellijk verwerkt kon worden. Vanaf het midden van de 19de eeuw namen hand- en paardenmolens dit werk over. De eerste betonmolens, aangedreven door stoomkracht, werden rond 1930 vervangen door betonmolens met een motor (die vandaag nog in gebruik is). In de vroege 20ste eeuw

vervaardigde Duitsland al beton in speciale fabrieken. Het betonmengsel werd naar de bouwplaats getransporteerd, waar het onmiddellijk verwerkt moest worden. In Vlaanderen verschenen dergelijke betoncentrales pas halfgeweg de 20ste eeuw.

In vorm brengen en verdichten

De betonspecie moet vervolgens in vorm gebracht worden en uitharden. Het in vorm brengen kan op twee manieren: vooraf in de fabriek (geprefabriceerd) of op de bouwplaats zelf met behulp van een – meestal houten – bekisting.

Holtes en ingesloten luchtballen staan een homogeen eindproduct in de weg. Lange tijd werden vrijwel alle (ongewapende) betonconstructies uitgevoerd in **stampbeton**, een droge betonspecie met weinig water (lage water-cementfactor). De betonspecie werd aangebracht in lagen van ongeveer 15 cm dik en met stampers verdicht. Met de toename van gewapend beton rees de vraag naar een vloeibaarder beton, want tussen de wapening kon je niet stampen. Zo kwam er **stortbeton** (of gietbeton) op de markt, dat goed verwerkbaar was en gemakkelijk tussen de wapening kon worden gestort. Vaak echter werd er te veel water aan toegevoegd, wat het stortbeton poreus maakte.

In de jaren 1920 werd geëxperimenteerd met een zo droog mogelijke betonspecie voor prefabbeton die op mechanische wijze verdicht werd door trillen, centrifugeren of schokken. Het **schokbeton** ontstond in Nederland in de jaren 1930. Pas na de Tweede Wereldoorlog vond het ingang in België.

Uitharden

Beton op basis van cement wordt vandaag na 28 dagen uitharden geëvalueerd op de gewenste sterkte. Nadien gaat het verhardingsproces nog door, maar in afnemende mate. De verharding en de sterkte zijn vooral afhankelijk van het cement, de water-cementfactor en de in situ verkregen verdichting. In tegenstelling tot cement hardt een hydraulische kalk veel trager uit. Vooral in massieve constructies van kalkbeton kon de uitharding maanden duren.

2.4 KLEUR EN TEXTUUR VAN BETON

Het is een misvatting dat zichtbeton en de bijbehorende afwerk- en beschermingstechnieken pas na de Tweede Wereldoorlog ingang vonden. Op het einde van de 19de eeuw werd er zeker al geëxperimenteerd met de ‘architecturale’ mogelijkheden van beton. Dat kon door te spelen met de samenstelling van het beton, door het oppervlak af te werken met een

bijkomende laag (om het beton mooier te maken of te beschermen), of door het al dan niet verharde oppervlak te bewerken.

Betonmix

De samenstelling van beton bepaalt de eigenschappen maar ook het uitzicht, de textuur en de kleur. Granulaten kunnen geselecteerd worden volgens bepaalde kleuren, kleurstoffen kunnen toegevoegd worden aan de betonmix of 'standaard' grind kan vervangen worden door 'edelere' stukjes steen zoals marmer of gemalen natuursteen om granito of imitatie natuursteen te verkrijgen.



▲ Roze gekleurd beton (Sint-Suzannakerk, Schaarbeek - jaren 1920)

Afwerklaag

Vroeg beton kreeg soms al van bij de bouw maar ook later een kalei-, verf- of pleisterlaag op basis van kalk of cement. In de pleisterlaag wordt al eens natuursteen vermengd om een imitatie natuursteen te verkrijgen. Wanneer in de natte cementpleister verbrijzelde stukjes marbriet (ondoorschijnend, gemarmerd glas) gedrukt worden, ontstaat er een bijzondere afwerking, 'cimorné' genoemd.

Weinig verven of kleurpigmenten waren geschikt voor en bestand tegen de hoge pH-waarde van vers beton. Zo werd een andere techniek ontwikkeld: metallisatie. Door metaalzouten op het verharde oppervlak aan te brengen, veranderde de kleur van het beton.

Afwerktechnieken

Nog andere technieken kunnen het betonoppervlak een speciaal uitzicht geven. Zo kan er gespeeld worden met verschillende types van bekisting: een gladde bekisting, een houten bekisting waarbij de houtnerven in het beton afgetekend worden, of een speciaal getimmerde bekisting die het betonoppervlak bijvoorbeeld een geribbeld uitzicht of 'nep'voegen geeft. Gipsvormen kunnen ingezet worden om fijne profileringen en details te storten.

Een chemische bindingsvertrager in de bekisting kan voorkomen dat de betonhuid verhardt. Als het niet gebonden beton na het ontkisten weggespoeld wordt onder hoge



▲ Door vertering krijgt het geprofileerde beton een 'gewassen' afwerking



▲ Terrazzo

druk, zijn de granulaten duidelijk zichtbaar. Ook met zuren (en grondig naspoeien!) kan het gladde beton zachtjes opgeruwd worden tot het een zandsteenachtig uiterlijk krijgt.

Er bestaan verschillende mechanische behandelingen. Door gritstralen wordt de betonhuid dof gemaakt en zijn de granulaten duidelijker zichtbaar. Met natuursteen als inspiratiebron kan ook verhard beton gebouchardeerd, gehamerd of op een nog andere manier bewerkt worden. Het uitgeharde beton kan gepolierd worden. Door eerst enkele millimeters beton af te slijpen, komen de kleuren van de granulaten beter uit, zoals in granito of terrazzo vloeren en trappen. Niet volledig uitgehard beton kan geborsteld worden of behandeld met een textuurrol om bijvoorbeeld een frijnslag of bepleistering te imiteren.

3. HISTORISCHE EVOLUTIE



▲ Betonnen koepelgewelf, 2de eeuw, Pantheon, Rome

3.1 DE TIJD VAN DE ROMEINEN

Beton was al bekend in de tijd van de Romeinen. Het bindmiddel voor beton bestond uit kalk en puzzolanen (vulkaanas en -zand) of gemalen keramiek. Dit werd – net als vandaag – gemengd met granulaten: stukken steen, keramische tegels en puin uit gesloopte gebouwen. De Romeinen gebruikten het beton in bruggen, aquaducten, badhuizen, amfiteaters en tempels.

Met de ondergang van het Romeinse Rijk verdween de betontechnologie. In de middeleeuwen werd wel geëxperimenteerd met mortels voor metselwerk in natuursteen en later in baksteen. Er werd bijvoorbeeld ook tras aan kalkmortels toegevoegd om een hydraulische metselmortel te verkrijgen die onder water uithardt, maar het duurde tot in de 19de eeuw voordat er opnieuw sprake was van 'beton'.

3.2 VANAF DE 19^{DE} EEUW

Productie van cement

In 1824 vond de Engelsman Joseph Aspdin (1778-1855) het Portlandcement uit, waarvoor hij het patent kreeg. Rond 1840 ging de eerste Portlandcementfabriek open in Engeland. De naam verwijst naar de vergelijkbare kleur van Portlandsteen, een kalksteen die wordt ontgonnen op het Isle of Portland in Dorset (GB). Door zijn uitvinding werd de zoektocht naar andere hydraulische bindmiddelen, zoals hoogovencement, in gang gezet en werd beton in de 19de eeuw herontdekt. In 1872 startten Dufosse en Henry de eerste cementproductie in België.

Ongewapend beton vond toepassing in ornamenten en in kleinschalige waterbouwkundige werken (zoals sluizen), forten, rioolbuizen ... Het is goedkoper dan natuursteen en kan ook grote druk opvangen, maar is evenmin bestand tegen trekkrachten.

Gewapend beton

In de zoektocht naar alternatieven voor rottend hout werd halweg de 19de eeuw geëxperimenteerd met gewapend cement voor plantenbakken, watertanks en zelfs een boot. Stilaan groeide het besef dat de zwakke trekkrachten van beton verbeterd konden worden door het te combineren met ijzer. Verschillende patenten ondersteunden de ontwikkeling van gewapend cement tot gewapend beton, onder meer van pioniers zoals landbouwer Joseph-Louis Lambot (1814-1887), tuinman Joseph Monier (1823-1906) en ingenieur François Hennebique (1832-1907). Zo ontstond gewapend beton, met betere eigenschappen dan massief beton.



▲ Cementrustiek – houtimitatie

Een wapening met ijzer of staal maakte het beton voor het eerst geschikt als constructiemateriaal voor lateien, muren en vloeren. Na 1890 werden grotere eenheden in beton uitgevoerd zoals reservoirs, bruggen en gewelven. Op het einde van de 19de eeuw dook gewapend beton ook op in de woningbouw, vooral voor vloeren, maar de betonnen structuur werd vaak weggestopt achter klassieke gevels. In de vroege 20ste eeuw werden de eigenschappen van beton volledig geëxploiteerd in allerlei toepassingen, onder andere door architect Le Corbusier, die beton als het materiaal van de toekomst zag. Dankzij nieuwe inzichten en ervaringen ontstond een enorme vrijheid om ruimtes af te bakenen. Pas in de tweede helft van de 20ste eeuw werd het beton niet langer angstvallig weggestopt. De kwaliteit was intussen voldoende verbeterd. Zichtbaar gelaten beton wordt 'architectonisch beton' of 'zichtbeton' genoemd.

Geprefabriceerd beton

Al sinds het ontstaan van (gewapend) beton werd er geëxperimenteerd met **geprefabriceerd beton**. Kolommen, balken en platen werden in de fabriek gegoten en daarna naar de bouwplaats gevoerd. Ook sierelementen werden geprefabriceerd: dekstenen, dorpels, balkons en zelfs zitbanken. Het casino in Biarritz (1892) is een vroeg voorbeeld van een gebouw uit prefabelementen.



▲ Geprefabriceerde claustra

Een groot voordeel van geprefabriceerd beton is dat het in optimale en gecontroleerde omstandigheden geproduceerd wordt, zonder rekening te moeten houden met weersinvloeden. Er kan ook sneller gewerkt worden, zowel in de fabriek (in serie) als op de bouwplaats waar de afgewerkte producten alleen nog samengesteld moeten worden. Ook konden – bij gebrek aan voldoende geschoolde vaklieden tijdens en na de Eerste en Tweede Wereldoorlog – arbeiders zonder bouwervaring ingezet worden in de verschillende fasen van de prefabwoningbouw.

Prefabbeton heeft echter ook nadelen bij het fabriceren, transporteren en monteren.

Afgewerkte stukken kunnen nog moeilijk aangepast worden zodat last-minute wijzigingen tijdens de werken uitgesloten zijn. Na de Eerste Wereldoorlog bleek geprefabriceerd beton niet goedkoper te zijn voor de wederopbouw van vernielde woningen. De prefab-industrie brak pas echt door na de Tweede Wereldoorlog, in de jaren 1950-1960. Het geprefabriceerde beton leende zich vooral voor de woningbouw, maar ook voor kantoren en bedrijfsgebouwen.

Voorgespannen beton

Nog een belangrijke ontwikkeling was die van het **voorgespannen beton**, ook wel spanbeton genoemd. Dat is een speciaal soort gewapend beton, uitgevonden door de Franse ingenieur Eugène Freyssinet (1879-1962). Hij spande de stalen draden van een zeer hoge treksterkte in het beton voor, waardoor het draagvermogen van de betonconstructie toenam. Spanbeton is heel courant sinds 1950. Het voorgespannen staal vermijdt scheurvorming in het beton.

Verdere ontwikkeling van de betontechnologie

De betontechnologie blijft zich sterk ontwikkelen, wat resulteert in een heel nieuw gamma betonsoorten: hogesterktebeton, licht beton, schuimbeton, onderwaterbeton, vuurvast beton, spuitbeton, staalvezelbeton, lichtdoorlatend beton, zelfreinigend beton, kleurbeton, architecturaal beton ... Oud en hedendaags beton in onze monumenten kunnen op een heel andere manier verouderen, verkleuren en reageren met herstellmaterialen. Ze vergen dan ook een specifieke behandeling (zie verder).



3 OORZAKEN EN VORMEN VAN SCHADE

Heel wat factoren kunnen de kwaliteit en de levensduur van vers (nat) beton en jong (nog niet volledig uitgehard) negatief beïnvloeden: een slechte menging, een te snelle uitharding, een onaangepaste samenstelling, een ongunstige plaats van de wapening, bekistingsfouten, te hoge of te lage temperaturen tijdens het uitharden ... Zulke schade ontstaat meestal snel na de uitvoering en wordt hier niet verder behandeld.

We concentreren ons op schade aan volledig uitgeharde constructies en maken een onderscheid tussen schade aan het beton zelf en schade aan de wapening.

1. SCHADE AAN VERHARD BETON

1.1 MECHANISCH

Impact / beweging-zetting / explosies / trillingen

Bij het ontwerpen en het berekenen van betonconstructies wordt uiteraard rekening gehouden met verschillende vormen van impact, maar schade door aanrijdingen, explosies, zettingen in de ondergrond of aardbevingen kan moeilijk uitgesloten worden. Incidenten kunnen aanleiding geven tot oppervlakkige schade, die aan de bron ligt van corrosie, of tot structurele schade, met overbelasting, vervormingen, scheuren of (gedeeltelijke) instorting tot gevolg.

(Over)belasting

Elk materiaal vervormt onder invloed van belasting. Wanneer de belasting niet evenredig is met de draagkracht van de structuur, kan dit tot ernstige scheurvorming



▲ Explosie slaat krater in fortwand

ming of falen van de constructie leiden. Overbelasting kan ontstaan door een verkeerde dimensionering bij het ontwerp, door ondoordachte ingrepen, of wanneer bij herbestemming van een gebouw de nieuwe functie niet aangepast is aan de bestaande structuur. Een langdurige, constante belasting leidt tot kruip, een toenemende vervorming. Die kan zich manifesteren in scheurpatronen aan de onderkant van balken en lateien of verticale scheuren in kolommen. Ook langdurige belastingen zoals trillingen door zwaar verkeer, ondergrondse activiteiten, zettingen ... kunnen schade en uiteindelijk falen veroorzaken. Deze schade komt minder snel tot uiting.

1.2 FYSISCHE SCHADE

Water - relatieve vochtigheid

Regenwater op zich brengt weinig schade toe aan gezonde betonnen constructies. Maar als het beton niet meer in goede staat is, kan het water via scheuren of grindnesten tot bij de wapening raken of schadelijke stoffen in het beton brengen en zo corrosie bevorderen. (zie **3** 2) Betonnen balken, kolommen en andere betonelementen in het interieur, afgeschermd van het buitenklimaat, hebben weinig tot geen last van chemische agenten en corrosie. Dat geldt niet voor vochtige of onverwarmde ruimtes zoals badkamers, keukens, kelders, zwembaden ..., waar de relatieve vochtigheid boven de 75% uitstijgt. En ook niet voor plaatsen die gevoelig zijn voor condensatie zoals lateien of doorlopende vloerplaten die een koudebrug vormen, vooral nadat schrijnwerk met enkel glas vervangen werd door isolerende exemplaren. Een binnenklimaat kan snel veranderen in een vochtig buitenklimaat bij gebouwen die leegstaan en lijden onder lekken in het dak of gebroken ramen.

Vorst-dooicycli

Niet alleen bij vers beton maar ook bij verhard beton kan vorstschade optreden. Historisch beton is zonder luchtbelvormers gemaakt, waardoor het gevoeliger is voor vorstschade. Het ingesloten water in de poriën bevriest maar wordt gehinderd bij het uitzetten, wat spanningen in het beton veroorzaakt. Er ontstaat een netwerk van microscheuren in de oppervlaktelaag en het betonoppervlak gaat afschilferen. De schade komt meestal voor op horizontale vlakken of voegen die lang nat blijven of op detailleringen die sterk blootstaan aan regen en wind. Alhoewel het scheurpatroon indrukwekkend kan lijken, is het beton aanvankelijk slechts oppervlakkig beschadigd, maar dit kan wel aanleiding geven tot gevolgschade.

De schade wordt versterkt bij het gebruik van dooizouten. Die onttrekken warmte aan de omgeving om ijs te laten smelten. Wanneer deze endotherme reactie plaatsvindt op het betonnen oppervlak, daalt de temperatuur van de buitenste betonlaag snel. Deze thermische shock kan de betonhuid doen afschilferen. Een uitgewassen grindoppervlak, scheuren evenwijdig aan het oppervlak en desintegratie van het beton wijzen op vorst-dooischade.

Thermische werking

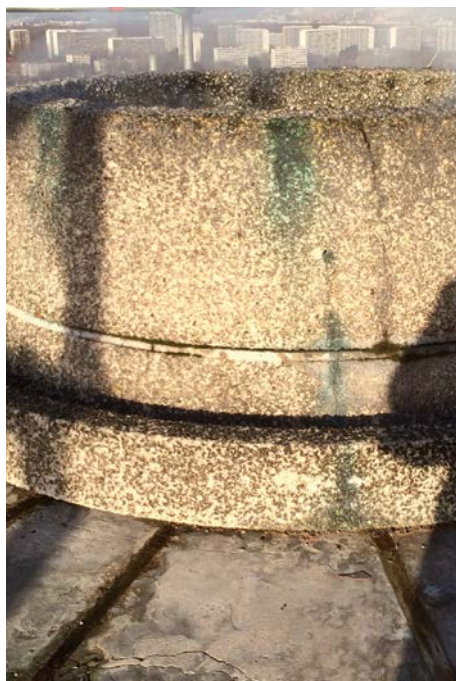
Door temperatuurschommelingen of temperatuurverschillen, bijvoorbeeld bij oppervlakken in de volle zon die aansluiten op oppervlakken in de schaduw, kunnen tegengestelde spanningen ontstaan in het materiaal en kan er scheurvorming optreden. Ook de thermische uitzetting kan verschillen tussen materialen. Zo kan het metselwerk scheuren ter hoogte van de oplegging van betonnen lateien. En ook massieve historische constructies van ongewapend beton, zoals forten, die zonder of met weinig uitzetvoegen gebouwd werden, vertonen scheuren door thermische zettingen.

Erosie

Het betonoppervlak kan aangetast worden door erosie bij een herhaalde mechanische beweging over een betonoppervlak. Schurende deeltjes – zoals zand aanwezig in water of wind – maken de betonhuid ruw en de granulaten beter zichtbaar. Deze verwerking beïnvloedt vooral het uitzicht en niet zozeer de sterkte van het beton.

Krimp

Ten gevolge van fysische en chemische reacties tijdens de verharding van beton treedt er krimp op. Krimp kan scheuren veroorzaken en de duurzaamheid van het beton aantasten wanneer het verhardingsproces niet gecontroleerd en langzaam verloopt, of wanneer de samenstelling van het beton, de water-cementfactor en de wapening niet optimaal is.



▲ Door een combinatie van erosie en agressieve rookgassen komen de granulaten duidelijk uit

Brandschade

Brand kan gevolgen hebben voor de gebruikswaarde en de veiligheid van een betonnen constructie. Vanaf een temperatuur van 250°C neemt de sterkte van de betonnen constructie af. Boven de 200°C wijzigen ook de eigenschappen van staal en vervormt de constructie. Door de hitte kunnen lokaal scheuren ontstaan of kunnen stukken beton worden losgedrukt. Uiteindelijk wordt de constructie minder stijf en kan ze op termijn bezwijken.

Ernstige brandschade komt gelukkig niet vaak voor en meestal is de brand geblust voordat het beton tot in de kern verhit is.

1.3 CHEMISCHE SCHADE

Zuren

Beton is een alkalisch materiaal en is gevoelig voor zuren afhankelijk van zijn porositeit en samenstelling. Zuren aanwezig in vervuiling, uitwerpselen van vogels, mossen of zure regen tasten het beton aan. De cementsteen lost op en de betonhuid wordt ruwer. In gebouwen waar gewerkt wordt met zure producten of in rioleringen die onvoldoende ontvlucht worden, kunnen zuren de samenhang van het beton geleidelijk aantasten en komen granulaten los te zitten aan het oppervlak.

Sulfaten / zouten / chloriden

Sulfaten uit de omgeving of in het cement (in gips dat als vertrager aan cementmix werd toegevoegd), kunnen in combinatie met water zeer expansieve ettringietkristallen vormen. De volumevermeerdering veroorzaakt een grote druk in het materiaal, wat kan leiden tot scheurvorming en falen van het constructieonderdeel.

Oude rookkanalen, ingesmeerd met een dun laagje cement of vroeg betonnen prefab-elementen zijn erg gevoelig voor zwavelhoudende rookgassen. Sulfaten kunnen in het beton dringen en vormen daar expansieve reactieproducten die scheuren veroorzaken, vooral in de voegen tussen de prefabelementen.

Alkali-silicareactie (ASR)

De alkali-silicareactie is een chemische reactie tussen de alkaliën in het poriënwater en bepaalde granulaten in het beton die reactieve silica bevatten. Hierbij wordt in de poriën een expansieve gel gevormd, die zwelt door waterabsorptie en het beton van binnenuit



▲ Massieve constructie met verschillende scheuren. Mossen wijzen op een verhoogde vochtbelasting

kapot drukt. De alkaliën (veelal natrium- en kaliumionen) kunnen aanwezig zijn in het beton (vooral via het cement, maar ook via het aanmaakwater, granulaten en hulpstoffen) of komen in het poriënwater van het beton terecht via dooizouten, zeewater ... De reactie kan alleen optreden als de granulaten voldoende reactieve silica bevatten, als er voldoende alkaliën in het poriënwater zitten en bij voldoende vocht. ASR leidt in eerste instantie tot verwaarloosbare microscheuren, maar kan onder de juiste voorwaarden progressief evolueren en leiden tot sterkteverlies en constructief falen.

Een typisch schadebeeld is een gecraqueleerd scheurpatroon met soms zichtbaar ASR-gel langs de scheuren.

Biologische groei

Hoe groter de poriën aan het oppervlak en hoe poreuzer de randzone, hoe meer vuil er achterblijft en hoe langer het oppervlak vochtig blijft. Dat vormt een ideale voedingsbodem voor een biofilm en later mossen. Zuren afgescheiden door mossen kunnen de betonhuid opruwen, maar zijn weinig schadelijk. Ze wijzen wel op een verhoogde vochtbelasting.

2. SCHADE DOOR WAPENINGSCORROSIE

Vaak ligt wapeningscorrosie aan de basis van ernstige betonschade, maar ook omgekeerd kan aangetast beton de corrosie van de wapening bespoedigen. Staal blootgesteld aan een buitenklimaat oxideert onder invloed van zuurstof en water. In het basisch milieu van vers beton ($\text{pH} > 13$) wordt het staal tegen corrosie beschermd door een stabiel oxide-laagje, de passivatielaag. Deze gunstige omgeving voor staal kan echter veranderen, bijvoorbeeld door het carbonatatieproces of door een te hoge concentratie van chloriden in het beton. Beide processen leiden tot corrosie van het wapeningsstaal, maar vertonen een zeer verschillend schadebeeld.

HET CORROSIEPROCES

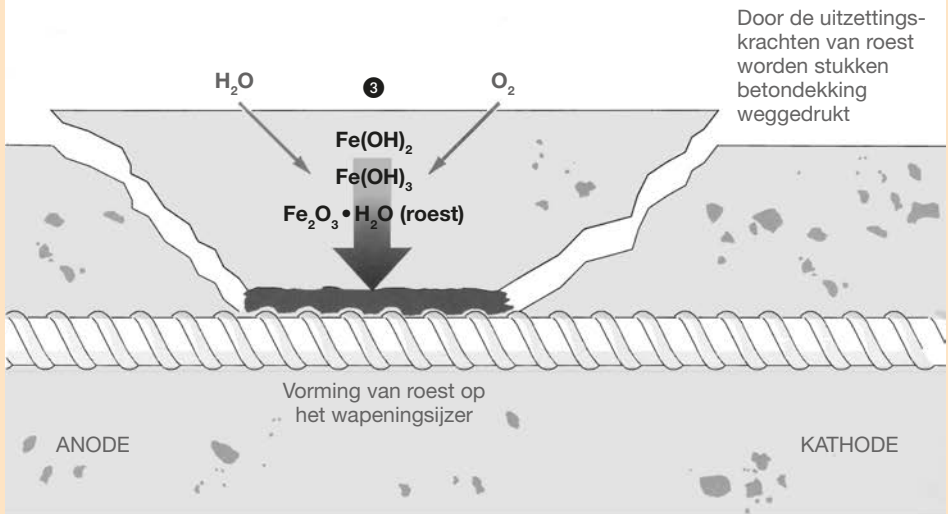
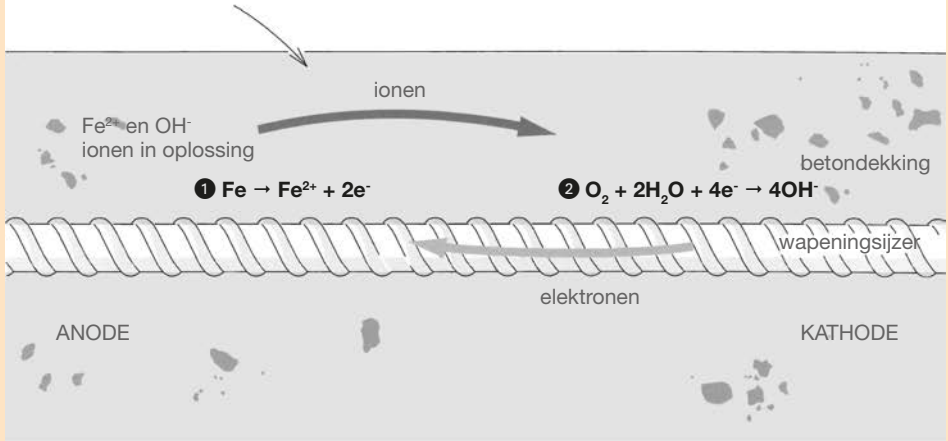
Als ijzer, ook wapeningsijzer of -staal, blootgesteld wordt aan water en lucht, heeft het de neiging terug te keren naar zijn natuurlijke staat, ijzeroxide. Dat heet corrosie, het elektrochemisch proces waarbij een elektrische lading – elektronen en ionen – uitgewisseld wordt tussen anode en kathode, vaak het metaal en zijn omgeving, via een elektrolyt, zoals water.

Atmosferische corrosie treft álle aan lucht blootgestelde metaaloppervlakken. In tegenstelling tot het compacte, stabiele oxidelaagje bij bepaalde metalen is de roodbruine ijzer-oxidelaag (roest) op ijzer en staal erg poreus en beschermt ze niet tegen verdere corrosie. Meer nog, roest heeft een groter volume en wil uitzetten, waardoor het tegen het beton drukt, spanningen veroorzaakt en de betondekking uiteindelijk beschadigt.

Onder invloed van agressieve stoffen treedt er vaak plaatselijke corrosie op: putcorrosie, spleetcorrosie, galvanische corrosie ... Bij deze processen is er dikwijls onvoldoende zuurstof (lucht) beschikbaar, zodat er geen oxidelaag gevormd wordt. Ook hier gaat het chemisch of elektrochemisch proces gepaard met materiaalverlies, maar het probleem blijft vaak lang onopgemerkt, juist omdat er aan de buitenkant van het beton geen zichtbare schade optreedt. Wanneer de wapeningssectie te klein wordt, verliest ze haar functie.

ELEKTROCHEMISCH PROCES BIJ WAPENINGSCORROSIE

Vrij water in beton kan optreden als elektrolyt



▲ Uit: 'Practical Building Conservation – Concrete' 2012, p.89.

2.1 CARBONATATIE

Door de reactie van koolstofdioxide in de lucht met calciumhydroxiden (kalk) in het beton worden calciumcarbonaten gevormd en zakt de pH-waarde in het materiaal tot onder 9. Dit natuurlijke proces waarbij beton gestaag verzuurt van buiten naar binnen, heet carbonatatie. De snelheid ervan hangt in grote mate af van de betonsamenstelling (cementtype, water-cementfactor en dus het poriëngehalte) en de deskundigheid van de uitvoering (verdichting van het verse beton). Het proces verloopt trager naarmate de carbonatatie dieper in het beton plaatsvindt; het koolstofdioxide moet dan immers een langere weg afleggen in het materiaal dat meer en meer dichtslibt door de vorming van calciumcarbonaten.



▲ Wapeningscorrosie ten gevolge van carbonatatie

Pas wanneer het carbonatatiefront – de grenslijn tussen het gecarbonateerde en het niet-gecarbonateerde beton – de wapening bereikt, wordt de passivatielaag rond het ijzer onstabiel en verliest ze haar beschermende werking tegen corrosie. Of de wapening daadwerkelijk zal roesten, hangt af van de hoeveelheid vocht en zuurstof die haar kan bereiken doorheen het beton zelf of via scheurtjes. Onder meer daarom is het belangrijk dat de wapeningsstaven voldoende betondekking hebben. Schade door wapeningscorrosie ten gevolge van carbonatatie is te herkennen aan scheuren boven de wapening en afbrokkellende delen van het beton die de sterk roestende wapening blootleggen.

2.2 CHLORIDEN

Chloridezouten werden soms tijdens het aanmaakproces toegevoegd als bindingsversnellers (vooral in de jaren 1960-1970, maar ook al vóór de Tweede Wereldoorlog) of komen voort uit componenten in het beton zelf zoals ongewassen zeegranulaten. Chloriden kunnen ook achteraf het beton binnendringen via strooizout of via wind en water in een maritieme omgeving.

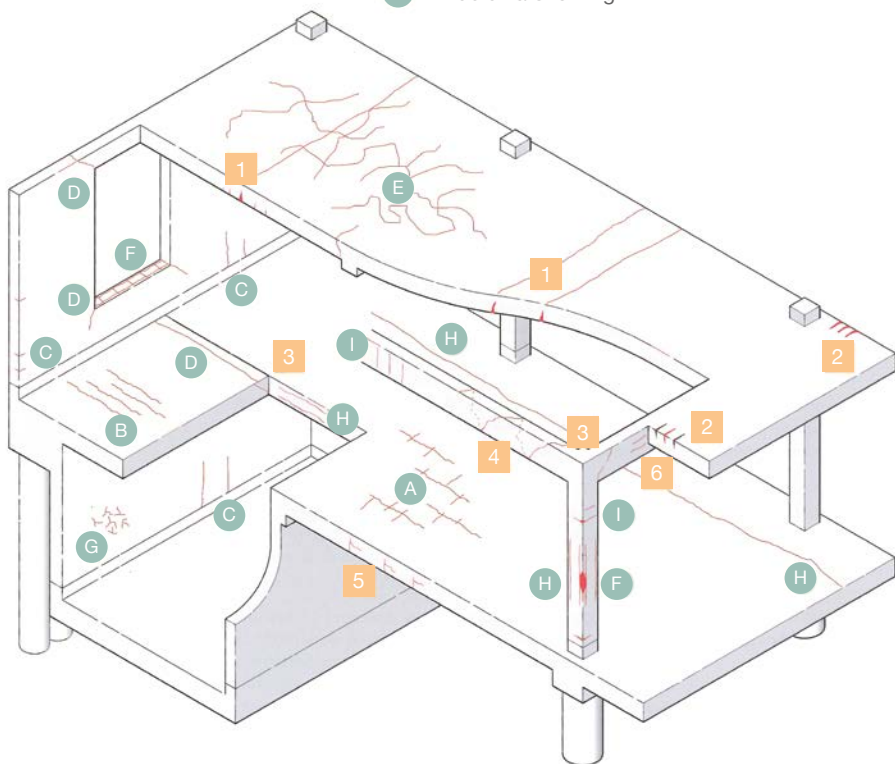
Chloriden opgelost in water kunnen door het materiaal migreren en veroorzaken bij voldoende hoge concentratie putcorrosie in de wapening. Deze zeer plaatselijke corrosie maakt gaatjes in het metaal, waardoor de doorsnede van het wapeningsstaal lokaal sterk verkleint. In een vergevorderd stadium kan het ijzer zo sterk aangetast zijn dat de wapening hier en daar onderbroken is, haar trekfunctie niet meer kan opnemen en de stabiliteit van de constructie in gevaar brengt. Vooral bij voorgespannen beton kan dat gevaarlijk zijn. Putcorrosie is geen expansief proces, zodat er – althans in een vroeg stadium – geen stukken beton worden afgedrukt. Corrosie door chloriden is vaak pas zichtbaar als ze al ver gevorderd is en ze is moeilijker op te sporen, tenzij door de roestkleurige vlekken of roestkleurige aftekening van de wapening die ontstaan wanneer de roest uitvloeit via scheuren en poriën.

2.3 ZWERFSTROOM

Zwerfstromen, bijvoorbeeld afkomstig van trein- en tramlijnen met gelijkstroomtractie, kan putcorrosie veroorzaken aan de wapening van betonconstructies. Wanneer de onderlinge verbinding van de rails slecht geleidend is, kan de elektrische stroom een ‘gemakkelijkere’ weg zoeken via de grond naar een andere geleider in de buurt, zoals wapeningsstaven. In principe kan elke gelijkspanningsbron zwerfstroom opwekken. De schade treedt op door elektrolyse. Zwerfstromencorrosie manifesteert zich als diepe putten of perforaties in het metaal.

VOORBEELDEN VAN – ZOWEL STRUCTURELE ALS NIET-STRUCTURELE – SCHEURPATRONEN IN BETON

- | | | | |
|---|---------------------------|---|---|
| 1 | Buiging | A | Plastische zettingsscheuren |
| 2 | Trek | B | Plastische krimp-scheuren |
| 3 | Afschuiving | C | Scheuren t.g.v. krimp in jong beton |
| 4 | Wringing | D | Scheuren door uitdrogingskrimp op lange termijn |
| 5 | Hechting | E | Oppervlaktecraquelé |
| 6 | Geconcentreerde belasting | F | Scheuren door wapeningscorrosie |
| | | G | Alkali-silica reactie |
| | | H | In de lengterichting |
| | | I | In de dwarsrichting |



▲ Uit: 'Practical Building Conservation – Concrete' 2012, p. 79.

3. VEEL VOORKOMENDE SCHADEBEELDEN

Scheuren

De meeste betonconstructies vertonen scheurtjes. Vaak is dat geen reden tot ongerustheid, al wijzen scheurpatronen wel op trek, druk, krimp, zetting, afschuiven, thermische uitzetting, wapeningscorrosie, ASR ... Als er scheuren in gewapend beton optreden op verwachte plaatsen, als gevolg van krimp, thermische uitzetting ... én als ze smaller zijn dan 0.3mm, dan worden ze beschouwd als normaal en 'niet gevaarlijk voor de constructie'. Is de oorzaak onduidelijk, zijn de scheuren groter, bevindt de constructie zich in een omgeving met verhoogd risico op carbonatatie of chloride aantasting, of evolueren ze, dan is het nodig om uit te zoeken welke gevolgen te verwachten zijn, of de scheuren gemonitord moeten worden en of verder onderzoek vereist is.

Massieve betonconstructies zijn gevoeliger voor scheuren omdat ze geen wapening hebben die de trekspanningen kan opvangen en verdelen.

Roestvlekken

Roestsporen kunnen afkomstig zijn van aflopend roest van hoger gelegen haken of ankers, maar ook van ijzerhoudende partikels in het beton zoals binddraadjes van de bekisting of ijzerhoudende mineralen, zoals pyriet, in de granulaten. Wanneer de roestsporen het wapeningspatroon aftekenen of gepaard gaan met scheuren, zijn ze allesbehalve onschuldig: ze wijzen op corrosie van de wapening. Dat is een signaal om de oorzaak en de omvang van de corrosie te achterhalen.

Stof / vuil / luchtverontreiniging

Gebouwen vervuilen door de afzetting van stofdeeltjes uit de lucht. Aflopend regenwater spoelt oppervlakken weer schoon, waarbij zich vaak donkere vlekken aftekenen op niet-beregende gevels en onder raamdorpels of waterlijsten. De afgezette stofdeeltjes kunnen schadelijke zuren, zouten en sulfaten bevatten en een chemische aantasting teweegbrengen, meestal alleen van de betonhuid.

Uitloging van kalk

Aan het betonoppervlak worden stalactieten en stalagmieten gevormd op dezelfde manier als in druipsteengrotten. Dat doet zich alleen voor op plaatsen waar regenwater zich een weg kan banen doorheen het beton, bijvoorbeeld langs scheuren of slecht verdichte plekken in bunkers, forten of viaducten, maar ook in leegstaande gebouwen waar het



▲ Uitloging van kalk in betonconstructie

binnen regent. Vrije kalk die niet uitgehard is, wordt met het water meegevoerd en aan het oppervlak afgezet.

Graffiti en vandalisme

Vandalisme komt in vele vormen voor, van doelbewuste vernieling tot lukrake graffiti. Hoewel graffiti het materiaal niet aantasten, zijn ze vaak visueel storend en kan een foute methode om ze te verwijderen schade veroorzaken. Hoe ruwer het betonoppervlak, hoe moeilijker de graffiti te verwijderen zijn.

Beschadigde historische afwerking

Ook afwerkragen kunnen beschadigd raken, al dan niet door schade aan het beton zelf. Verflagen of recent aangebrachte hydrofobering hebben een beperkte levensduur (een tiental jaar). Daarom moet naast het esthetische aspect ook onderzocht worden of het beton nog voldoende beschermd is.

Onoordekundige herstellingen en uitvoeringsfouten

Een foute of helemaal geen diagnose van het schademechanisme en een gebrek aan kennis, voorbereiding of ervaring, maken dat schadeoorzaken niet behandeld of zelfs niet (h)erkend worden. Dit kan leiden tot herstellingen die visueel storend zijn, tot onnodig verlies van historisch materiaal of reparaties die vroegtijdig (binnen 5 à 10 jaar) opnieuw losscheuren.



▲ Onaangepaste herstelling, gelukkig op grote hoogte



▲ Oude herstellingen scheuren opnieuw

Ook een te agressieve reiniging of het verwijderen van coatings tasten het betonoppervlak vaak aan. Wanneer reparaties te lang worden uitgesteld, wordt de schade alleen maar groter en gaat er nog meer historisch materiaal verloren.

Gebruik en herbestemming

Ingrepen voor een herbestemming of aanpassingen aan hedendaagse normen kunnen heel wat schade aanrichten wanneer ze geen rekening houden met het historisch karakter van het erfgoedcomplex. Doorboringen om leidingen aan te brengen, veroorzaken niet alleen visuele maar ook structurele schade wanneer ze door dragende onderdelen gaan en bijvoorbeeld de wapening doorsnijden.

Nog andere factoren kunnen het bouwfysisch evenwicht verstoren: isolatie aanbrengen, verwarmingssystemen vervangen of airco installeren, ruimtes met een binnenklimaat omvormen tot ruimtes met een buitenklimaat en vice versa, of er een heel ander binnenklimaat creëren ... Dit alles kan schadeprocessen in beton op gang brengen of versnellen, zoals carbonatatie.



4 ONDERHOUD EN PREVENTIEVE CONSERVERING, EEN TAAK VOOR DE BEHEERDER

1. ALGEMEEN

Goede herstelopties zijn pas mogelijk als er zicht is op het materiaal, de constructie en het schademechanisme. Daar komt heel wat bij kijken: de oorspronkelijke betonsamenstelling, de cultuurhistorische waarden, de ouderdom en de geschiedenis van de constructie, de gebruiksomstandigheden en de omgevingsfactoren (milieuklassen). Het is even belangrijk om de huidige fysische toestand grondig in kaart te brengen. Ook moet duidelijk zijn wat het opzet is van de herstellingen: hoe ver moeten ze gaan? De intentie is vaak dubbel: we willen zoveel mogelijk oorspronkelijk materiaal, het historisch karakter en de originele uitvoeringswijze behouden, maar tegelijk degradatie tegengaan. Al deze opties zijn niet altijd te rijmen. Zo worden gietfouten vandaag niet getolereerd, maar ze zijn misschien deel gaan uitmaken van het karakter van een bouwwerk. In dat opzicht zijn ze mogelijk het bewaren waard, tenzij ze verdere aftakeling in de hand zouden werken. Anderzijds is schade aan historische betonconstructies vaak te wijten aan uitvoeringsfouten of een slechte detaillering. En ook al maken die integraal deel uit van de erfgoedwaarde, toch kan het nodig zijn om ze grondig aan te pakken en zo de degradatie van het beton of de constructie een halt toe te roepen.

2. REGELMATIGE MONITORING EN CONTROLE

2.1 DOCUMENTATIE

Technische bouwgegevens spelen een belangrijke rol in de zoektocht naar de juiste herstelmethodes. Relevante informatie verzamelen is dan ook een goed begin. Maak een dossier op met beschikbare plannen, bestekteksten met informatie over de betonsamenstelling, maar ook met bouwhistorische gegevens. Voeg daarbij alle behandelingen, onderzoeken naar betonsamenstelling, afwerking en kleur, schademechanismen, de uitgevoerde onderhouds- en herstelwerkzaamheden ... en houd de informatie up-to-date. Een (eerste) visuele controle van het gebouw en alle onderdelen kan heel nuttig zijn om het dossier te staven.

2.2 VISUELE CONTROLE

Een visuele controle kan afwijkingen en schade in kaart brengen en een inschatting geven van eventuele (nog) niet zichtbare schade. Soms is het nodig om bekleding, verflagen die niet historisch waardevol zijn, plantengroei ... te verwijderen om het beton goed te



▲ Controleer oude herstellingen

kunnen bekijken. Richt je aandacht vooral op het uitzicht van het oppervlak, verkleuringen zoals roestsporen, scheurpatronen of nieuwe scheuren, afbrokkelende of holklinkende schellen beton of blootliggende wapening. Controleer de staat van oude herstellingen en het beton in contact met regenwaterafvoer, ter hoogte van uitzetvoegen, aangrenzende materialen ... Ook in de buurt van lekkages of op plaatsen waar regelmatig condensatie optreedt, is nauwere opvolging noodzakelijk. Staaf deze visuele controle met notities en foto's. Die kunnen later dienen als referentie om uit te maken of (kleine) schade stabiel gebleven of erger geworden is.

Stel een verantwoordelijke aan, bijvoorbeeld een onderhoudsman, om deze controle minstens één keer per jaar uit te

voeren. Om de 5 jaar is een grondige inspectie aan de orde, ook van de moeilijk bereikbare plaatsen. Dat kan door Monumentenwacht of een gespecialiseerde professional. Raadpleeg onmiddellijk een specialist wanneer de toestand snel evolueert of gevaarlijk wordt voor passanten.

Een visuele controle volstaat niet altijd om een definitieve diagnose te stellen voor de problemen. Dan zijn er proeven of labo-analyse nodig. Zeker wanneer wapeningscorrosie de oorzaak is van de betonschade, zijn de chemische en fysische degradatieprocessen bepalend voor de manier waarop het beton hersteld moet worden.

Schade is bovendien vaak te wijten aan een combinatie van factoren.

2.3 BIJKOMEND ONDERZOEK

Niet-destructieve onderzoeksmethodes leveren vaak al heel wat extra informatie op. Holtes en losse stukken kom je op het spoor door met een licht hamertje zacht op het betonoppervlak te tikken en te luisteren naar het verschil in geluid. Met een sclerometer meet je de oppervlaktehardheid en -homogeniteit, met diverse scheurmeters volg je de beweging van scheuren op. De plaats en de diepte van de wapening zijn vrij goed te bepalen met een pachometer of betondekkingsmeter die werkt op basis van elektromagnetische signalen.

De carbonatatie diepte, het chloridegehalte, de (petrografische) samenstelling, de porositeit ... van het beton zijn alleen te achterhalen met *destructieve* testen, die de historische constructie in min of meerdere mate aantasten. Richtlijnen voor onderzoek naar de schade-mechanismen zijn opgenomen in de normenreeks NBN-EN 1504.

Zo wordt de carbonatatie diepte bepaald door de zuurgraad of pH te meten op verse breukvlakken of boorsels, bijvoorbeeld met een pH-indicator. Deze informatie is nodig om



▲ Betonkern geeft informatie over beton en wapening

te kunnen inschatten of de wapening voldoende beschermd is tegen corrosie. Geboorde betonkernen geven een goed visueel beeld van het historisch beton en kunnen ook gebruikt worden voor verder microscopisch of materiaaltechnisch onderzoek.

Het chloridegehalte kan gemeten worden door boorstalen op verschillende dieptes te nemen en in het labo te analyseren. Samen met de resultaten van de onderzoeken met de pachometer bepalen de laboanalyses het risico op wapeningscorrosie door chloriden.

Omdat het vochtgehalte vaak cruciaal is voor verschillende schademechanismen, kan het interessant zijn om dat te meten. Oppervlaktemetingen op basis van elektrische weerstand geven alleen een indicatie van het vochtgehalte. Nauwkeurigere maar duurdere metingen van het vochtgehalte of de relatieve vochtigheid zijn mogelijk aan de hand van boorstalen of loggers waarvan de sensors op een bepaalde diepte in het beton zijn aangebracht.

Het vraagt wat ervaring om alle resultaten correct te interpreteren en om te beoordelen welke onderzoeken precies nodig zijn. Laat het testen bij voorkeur over aan een studie-bureau gespecialiseerd in historisch beton.

2.4 DIAGNOSE

Aan de hand van de gebreken vastgesteld tijdens een inspectie, van eventueel bijkomende proeven, van de bouw-, de onderhouds- en de restauratiegeschiedenis ... kan uiteindelijk de juiste diagnose gesteld worden. In combinatie met de klimatologische en andere omgevingsfactoren, vastgelegd in milieuklassen, het (gewijzigde) gebruik en daaraan gekoppelde risico's, en de gewenste toestand wordt nu bepaald welke interventies nodig en mogelijk zijn. Dat kan gaan van 'voorlopig niets doen' over 'aangepast onderhoud om verdere schade te beperken' of 'plaatselijke kleine herstellingen' tot 'het versterken van de constructie' en 'globale herstelling met vervanging van (onderdelen van) de structuur'. Bij erfgoedconstructies pleit Monumentenwacht voor een zo groot mogelijk behoud van de originele materialen en uitvoeringen.

Niet alleen de schade bepaalt de keuze voor de interventie, ook de te verwachten schadefactoren, de bestemming van het gebouw, eventuele beperkingen van bepaalde herstelmethode (gebruik, overlast in de omgeving, schade aan andere historisch waardevolle onderdelen van het gebouw ...) en de financiën. Voor een juiste diagnose en een gefundeerde behandelingsmethode is de inbreng van een gespecialiseerd architect, ingenieur of studie-bureau met ervaring met betonnen erfgoed vaak meer dan raadzaam.

Vul de basisdocumentatie aan met een onderhoudskalender waarin de herstelinterventies en de regelmatige inspecties en onderhoudswerken opgenomen zijn. Koppel aan alle interventies een verantwoordelijke/uitvoerder, de nodige materialen en het onderhoudsbudget. Evalueer de onderhoudskalender bij elke inspectie of ingreep en pas waar nodig de frequentie van de interventies aan.

3. SCHADE VOORKOMEN EN BEHEERSEN

Nu de diagnose gesteld is en de herstelopties bekend zijn, is de basis er om de verdere aanpak te bepalen.

3.1 REGELMATIG ONDERHOUD

Regelmatig onderhoud betekent voornamelijk: schade voorkomen. Dat is vaak goedkoper en eenvoudiger dan grote herstellingen. Als de schade te ver gevorderd is, kan het nodig zijn om eerst enkele herstellingen uit te voeren en dan pas met het onderhoud te starten. Breng de onderhoudsgevoelige zones in kaart en volg ze nauw op. Houd water op afstand: het kan agressieve stoffen bevatten. Herstel oppervlakkige schade. Verwijder



▲ Tijdig herstelde voegen tussen de dekstenen had schade kunnen voorkomen of beperken

vuil dat agressieve stoffen kan bevatten. Breng zo nodig een beschermlaag aan – maar vergeet niet dat die ook onderhouden moet worden –, bijvoorbeeld op plaatsen waar dooizouten kunnen inwerken op het beton. Voer kleine ingrepen uit buiten de constructie, zoals stootpalen of een beplanting aanbrengen om fysiek contact met fietsen, karren en ander materiaal te vermijden.

Een vlotte hemelwaterafvoer

Wapeningscorrosie en betonschade zijn het best in de hand te houden door indringend water te vermijden, zeker als dat chloriden (bv. uit dooizouten) of andere agressieve stoffen bevat. Zorg dat regenwater vlot kan afvloeien langs goed onderhouden goten en regenwaterafvoeren en correct geplaatste druiplijsten. Verkleuringen door algen en mossen zijn een goede indicator voor een verhoogde vochtbelasting. Snoei dichtbij staande bomen zodat de gevel beter kan drogen. Gaat het om een ontwerpfout, dan moet die aangepakt worden, zoveel mogelijk in harmonie met de historische constructie. Laat veranderingen in de originele detaillering altijd uitvoeren met respect voor het erfgoedkarakter en met de vereiste toelatingen, onder meer van het agentschap Onroerend Erfgoed voor beschermd erfgoed.



▲ Een lek in de waterafvoer zorgt voor betonaantasting

Bereikbaarheid

Maak moeilijk bereikbare plaatsen toegankelijk voor inspectie en onderhoud, zeker wanneer ze onderhoudsgevoelig zijn. Laat tijdens onderhoudswerken meteen ook de toegankelijkheid optimaliseren. Profiteer van stellingen of hoogtewerkers bij werkzaamheden om moeilijk bereikbare plaatsen te inspecteren.

Reiniging

Een reiniging kan nuttig zijn in functie van herstelwerkzaamheden, om graffiti te verwijderen of vuil dat zouten of zuren bevat die kunnen inwerken op het beton. Een patina maakt integraal deel uit van het beton en zijn verouderingsproces en daarom is het vaak niet nodig of

wenselijk om die te verwijderen. Een onaangepaste reiniging kan bovendien meer kwaad dan goed doen. Die kan het oppervlak aantasten en de textuur en de kleur van het beton beïnvloeden. Een oppervlak dat opgeruwd is door verwerking of reiniging, is gevoeliger voor vervuiling en zal – ook na een gevelreiniging – sneller vervuilen dan gladde oppervlakken.

Vooraleer te reinigen, is het zaak te onderzoeken wat precies de verontreiniging veroorzaakt, hoe ver ze gevorderd is en wat de impact is en zal zijn op het beton. Blijkt reinigen nodig, kies dan bij voorkeur voor de zachtste reiniging die het gewenste resultaat oplevert. Werk met aannemers die ervaring hebben met het reinigen van erfgoed en laat tests uitvoeren op een onopvallende plaats.

Reinigingsmethodes

De reinigingsmethodes voor beton zijn vergelijkbaar met die voor natuursteen of metselwerk. Reinigen met water onder lage druk werkt het zachtst, maar volstaat vaak niet om hardnekkig vuil te verwijderen. Een reiniging onder lage druk met toegevoegde zachte granulaten en lucht (hydropneumatische reiniging) kan een beter resultaat geven. Vermijd reinigen met hoge druk of met harde en grote granulaten, want zij kunnen blijvende schade aanrichten aan het betonoppervlak. Ook de meeste chemische reinigingssystemen zijn te mijden omdat de producten reageren met het beton. Vooral producten met een hoge zuurgraad kunnen het cement oplossen. Reinigingspasta's met alkalische bestanddelen zijn milder dan zuiver alkalische producten. Ze worden maximaal 24 uur na het aanbrengen weggeschraapt en de behandelde zones worden grondig nagespoeld met water onder lage druk. Zuiver alkalische producten zoals natriumhydroxide (NaOH, bijtende soda) kunnen – indien ze niet zorgvuldig geneutraliseerd worden bij het naspoelen – resulteren in schadelijke zouten die via scheuren en voegen in het beton dringen.

Specifieke vervuiling

Zijn er **roest**vlekken als gevolg van wapeningscorrosie, dan is het noodzakelijk om die grondig te onderzoeken, aan te pakken en te herstellen. Ingedrongen roestplekken zijn moeilijk weg te krijgen zonder de buitenste laag aan te tasten. Ze zijn alleen te verwijderen met een speciale reinigingspasta die trinatriumcitraat en glycerine bevat.

Algen- en mosgroei treden alleen op bij ideale omgevingsfactoren: vocht, licht, voedingsbodem. Ze wijzen vaak op een verhoogde vochtbelasting. Algen zijn moeilijk te verwijderen, tenzij gecontroleerd met biocides. Het effect van biocides is echter beperkt in tijd, waardoor de behandeling regelmatig herhaald moet worden, tenzij het aflopend



▲ Graffiti is niet altijd eenvoudig te verwijderen



▲ Oorzaak scheurvorming onderzoeken

regenwater beperkt kan worden door bijvoorbeeld druiplijsten aan te brengen.

Omdat beton een vrij poreus materiaal is en de verf in het beton dringt, zijn **graffiti** of oude coatings niet altijd eenvoudig volledig te verwijderen. Reinigingspasta's of hydropneumatisch reinigen onder lage druk met zachte granulaten geven vaak een behoorlijk resultaat. Laserreiniging is een optie voor beperkte en gedetailleerde oppervlakken, maar is veel duurder. Hogedrukreiniging of zandstralen met scherpe granulaten zijn schadelijk: ze verwijderen samen met de graffiti de buitenste betonlaag. Ook **oliën en vetten** kunnen diep in het beton dringen en zijn daardoor moeilijk volledig te verwijderen. Oude coatings wegnemen kan haast niet zonder de buitenste betonlaag te beschadigen.

Een witte waas van **zoutkristallen** kan droog van de gevel geborsteld worden. Probeer toch de vocht- en zouttoevoer op te sporen en te stoppen. Oplosbare zouten worden immers met het vochttransport doorheen het beton gevoerd en zullen dus regelmatig opnieuw uitbloeien op het oppervlak of uitkristalliseren in de poriën dicht bij het betonoppervlak, waar ze schade kunnen aanrichten.

3.2 LOKALE HERSTELLINGEN

Zowel scheurtjes als oppervlakkige schade aan het beton kunnen plaatselijk hersteld worden. Hoe en met welke materialen, tot

welke graad en met welke voorbereidingen, dat alles wordt in het volgende deel uitgelegd.

Schade herstellen heeft alleen zin als eerst de oorzaak van de scheurvorming of het losgekomen beton achterhaald worden: beweegt de scheur nog of is ze stabiel? Zijn er voldoende uitzetmogelijkheden en treedt er geen wapeningscorrosie op? Kleine scheuren kunnen in eerste instantie ongevaarlijk zijn voor de structuur, maar ze bieden vocht, zuurstof en chloriden wel een gemakkelijke toegang tot de wapening, waardoor corrosie kan ontstaan of ernstig kan toenemen. In scheuren of holtes kan water bevriezen en vorstschade aanrichten. In deze gevallen moeten ook kleine stabiele scheuren hersteld worden.

4. OPPERVLAKTEBEHANDELING EN AFWERKLAGEN

4.1 OPPERVLAKTEBEHANDELING

Het oppervlak van vers beton – ook in plaatselijke herstellingen – kan bewerkt worden om de textuur te laten aansluiten op de textuur en het patina van het omliggende beton. Er zijn verschillende opties: mechanische behandelingen zoals hameren, borstelen, boucharderen, waterstralen ..., of een chemisch behandeling waarbij het betonoppervlak met zuren geëetst wordt.

4.2 AFWERKLAGEN

Doel?

Een afwerklaag op het beton kan enerzijds decoratief bedoeld zijn, om bijvoorbeeld bij de herstelling van de originele afwerking kleurverschillen van (oude) herstellingen te verbergen, of als anti-graffitilaag. Anderzijds kan ze ook als bescherming dienen tegen indringing van water, koolstofdioxide of chloriden. Kies een afwerking in functie van het beoogde resultaat. Een anti-carbonatatiecoating die het indringen van CO₂ moet verhinderen, heeft alleen zin als het carbonatatiefront het grootste deel van de wapening nog niet bereikt heeft. De meeste afwerklagen moeten binnen de 10 à 15 jaar vernieuwd worden. Dit impliceert dat alle te behandelen bouwdelen ook dan vlot bereikbaar moeten zijn. Bovendien veranderen afwerklagen het uitzicht van de gevel. Ook wanneer transparante afwerklagen op het eerste gezicht in orde lijken, verwerpen zij anders dan niet behandelde oppervlakken en vallen ze bovendien op als de oppervlakken nat zijn.



▲ Voorzie voldoende proefvlakken om mogelijke afwerkingen een tijdje op te kunnen volgen



▲ Ga na of de constructie vlot bereikbaar is om een aangebrachte afwerklaag regelmatig te hernieuwen

In de eerste toepassingen was de afwerking met verf beperkt tot een aantal kleuren omdat de pigmenten bestand moesten zijn tegen de alkaliniteit van vers beton. Bij gecarbonateerd beton zijn er meer kleurkeuzes.

Mogelijke beschermingen

Een bescherm laag kan bestaan uit een waterdichte bekleding, een hydrofuge, een impregnering of een oppervlaktecoating. Een waterdichte wandbekleding is zelden een optie omdat ze de constructie verbergt. Alleen wanneer de historische waarde van het interieur primeert boven de waarde en het uitzicht van de buitenkant, valt dit te overwegen. De andere afwerkklagen worden rechtstreeks op het oppervlak gestreken of verneveld. Bij een **hydrofuge** dringt het waterwerende materiaal in het beton, waar het een laagje legt op de poriën en een waterwerende laag vormt van 3 tot 8 mm 'in' het betonoppervlak. Bij **impregneren** worden de oppervlakteporiën gevuld en wordt er een dun laagje op het oppervlak gelegd. Een **coating of verflaag** legt alleen een dun laagje op het oppervlak, zonder de oppervlakteporiën te vullen.

Waterwerende behandelingen beschermen het beton weliswaar tegen regeninslag, vocht- en zoutindringing langs de blootgestelde zijde, maar kunnen ook beletten dat vocht in het beton kan uitdrogen zodat het geheel langer nat blijft. Dit geeft meer kans op vorstschade, versnelt de wapeningscorrosie indien het carbonatatiefront de wapening bereikt heeft en veroorzaakt afschilferende verflagen. Ook hier is het belangrijk om eventuele vochtbronnen (optrekkend vocht, waterinfiltratie ...) op te sporen en af te sluiten en de technische eigenschappen van de producten goed te evalueren, vooraleer een waterwerende behandeling toe te passen.



5 RESTAURATIE EN HERSTEL, EEN TAAK VOOR DE SPECIALIST

Beton is meestal een structureel materiaal en betonnen constructies moeten als dusdanig benaderd en beoordeeld worden bij grote restauratiewerken of herbestemmingen. Zeker wanneer dragende betonnen elementen zoals vloeren, kolommen of balken anders belast zullen worden dan oorspronkelijk bedoeld. Betonnen erfgoedconstructies voldoen echter vaak niet aan de huidige normering. Ook kan de samenstelling van historisch beton erg afwijken van het hedendaagse genormeerde beton. Voor een restauratie of herbestemming kan daarom best advies gevraagd worden aan een architect, een ingenieur of een stabiliteitsbureau die ervaring heeft met de beoordeling, de restauratie en het herstel van historische betonconstructies.

NORMERING - CERTIFICERING

Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van (hedendaagse) betonconstructies zijn vastgelegd in een Europese normenreeks: NBN EN 1504. Die behandelt in 10 delen de definities van en kwaliteitseisen voor de producten en systemen om beton te herstellen en te beschermen. Deel 9, NBN EN 1504-9, gaat in op de algemene principes, zoals de noodzaak van inspectie, onderzoek en diagnose vóór een behandeling. Daarnaast bestaan er certificaties voor producten en systemen voor betonherstel en hun uitvoerders.

Hoewel deze normen en certificaties handige hulpmiddelen zijn voor kwaliteitsvolle herstellingen, vereisen historisch waardevolle structuren vaak een aparte, afwijkende strategie, bijvoorbeeld om de meest geschikte herstellmortel te vinden. Een gespecialiseerde aannemer met erfgoedervaring kan daarbij helpen.

1. KEUZE VAN DE HERSTELMORTEL

Omdat de eigenschappen en de samenstelling van historisch beton erg kunnen uiteenlopen, zelfs binnen dezelfde constructie, bestaat er geen 'ideale' herstellmortel die voor

alle toepassingen geschikt is. Geval per geval moet worden uitgezocht welke mortel het meest compatibel is met het bestaande beton. De herstelmortel moet vergelijkbaar zijn qua sterkte, porositeit, elasticiteit, krimp en hechting, maar ook qua samenstelling, mengverhoudingen, kleur en textuur. Bovendien moet hij goed hechten. Nog een vereiste is dat de samenwerking tussen de mortel en het beton op lange termijn goed blijft, om losscheuren (bijvoorbeeld door een verschil in thermische uitzetting) of verkleuren te vermijden. Stalen van het bestaande beton in de herstelzone en proefvlakken helpen de specialist om de juiste mortel te kiezen. Afhankelijk van de grootte van het herstelloppervlak, de dikte van de herstellingen en de herstelmethode kan de grootte van de granulaten afwijken van het bestaande beton.

Er bestaan twee groepen herstelmortels op basis van het bindmiddel: hydraulische mortels en mortels op basis van kunstzand.

1.1 HYDRAULISCHE MORTELS

Hydraulische mortels zijn erg geschikt omdat ze de alkaliniteit (pH-waarde) van het beton weer doen toenemen, waardoor de wapening opnieuw beschermd wordt tegen corrosie. De mortel wordt aangebracht op een vochtige ondergrond om een goede hechting te krijgen. Soms is een nabehandeling nodig om te voorkomen dat de mortel te snel uitdroogt.

Binnen de hydraulische mortels bestaan er 'trage' traditionele mortels en 'gemodificeerde' moderne cementmortels. De gemodificeerde mortels zijn aangepast met hulp- en toeslagstoffen om bijvoorbeeld mechanische eigenschappen of de vorstweerstand te verbeteren. Ze zijn doorgaans gemakkelijker in gebruik, voldoen aan de hedendaagse normen en worden daarop gecontroleerd, maar verweren en verouderen anders dan traditionele mortels.

Er bestaan kant-en-klare mortels die voldoen, maar vaak is een nauwkeurig samengestelde mortel noodzakelijk, precies voor de compatibiliteit met het bestaande beton en ook om de kleur te laten aansluiten, niet alleen op het moment van het herstel maar ook later, zodat de herstelling na verloop van tijd niet gaat afsteken. Veel hangt af van de keuze van zowel het bindmiddel en de granulaten als eventuele hulpstoffen zoals pigmenten. Teruggrijpen naar de 'originele' granulaten is zelden mogelijk omdat ze niet meer te vinden of volgens de huidige regelgeving ongeschikt zijn. Het zoeken naar de juiste mortelsamenstelling vraagt tijd, maar levert betere resultaten. Het is wel oppassen met sterk alkalische mortels bij beton dat zwaar gecontamineerd is door chloriden. De verse mortel beschermt de wapening in de herstelzone beter tegen roest, maar het elektrochemisch corrosieproces

kan verschuiven naar aanliggende, nog niet beschadigde zones. Het chlorideprobleem moet in elk geval grondig aangepakt worden.

1.2 KUNSTHARSGEBONDEN MORTELS

Kunstharsgebonden mortels zijn niet de eerste keuze om historisch beton op te lappen, maar zijn een optie voor kleine herstellingen. Voor een goede hechting is een hechtingslaag nodig op een droge ondergrond. Omdat deze mortels de alkaliniteit van het beton niet verhogen, moet de wapening grondig gereinigd en goed beschermd worden tegen corrosie. Door het grote verschil in uitzetting bij temperatuurschommelingen tussen de mortels en het bestaande beton, kunnen herstellingen gemakkelijk losscheuren of scheuren veroorzaken in het beton rond de herstelling. Kunstharsmortels verouderen vaak op een andere manier dan het beton, waardoor herstellingen na verloop van tijd meer gaan opvallen. Indien dit strookt met de erfgoedwaarden en de restauratiebenadering kunnen de oppervlakken achteraf geveerd worden om kleurverschillen te maskeren.

2. PLAATSELIJK HERSTEL MET EEN HERSTEMORTEL

2.1 HET BETONOPPERVLAK VOORBEREIDEN

Een goede voorbereiding van het betonoppervlak is essentieel voor een duurzaam herstel. Verwijder al het losse en aangetaste beton tot op gezond beton waarop de herstemortel goed kan hechten, maar neem niet meer historisch materiaal weg dan nodig. Of de wapening vrijgemaakt moet worden, hangt af van het schademechanisme, de diepte van het carbonatatiefront en de diepte van de wapening na de herstelling. Vermijd gekartelde, te zachte of te scherpe hoeken en kies bij voorkeur voor een lichte zwaluwstaartvormige holte (hoek ten opzichte van het betonoppervlak: $90^\circ \pm 5^\circ$). Reinig en ruw de oppervlakken van de herstelzone op zodat er een goede hechting ontstaat.

Voor een hydraulische mortel moet de ondergrond vooraf goed bevochtigd worden. Voor een harsgebonden herstemortel moet die juist voldoende droog zijn en is er een hechtingslaag nodig. Een herstelling maakt scheuren en andere plaatselijke problemen meestal duidelijker zichtbaar. Dan kan een afwerklaag over het volledige betonoppervlak uitkomst bieden.

Maak een proefopstelling om verschillende mortels, types van bekisting en afwerktechnieken uit te testen. Beoordeel de resultaten in zowel natte als droge toestand.

2.2 DE HERSTELMORTEL AANBRENGEN

De herstmortel moet goed hechten, wat niet evident is. Hij kan er met de hand in 'geboetseerd' worden of opgegoten worden in een op maat gemaakte bekisting. Ingezette stukken prefabbeton kunnen een goed alternatief zijn, zeker als het om een reeks repetitieve inzetstukken gaat. De prefabelementen worden met grout vastgezet. Voordelen zijn dat de kwaliteit van het beton beter controleerbaar is en dat de stukken droog (en gekrompen) zijn voor ze in het bestaande beton geplaatst worden. Een andere optie is spuitbeton: dat hecht goed met het bestaande beton, maar het is alleen rendabel bij grote hersteloppervlakken. Bovendien is het niet eenvoudig om de textuur en de afwerking goed te laten aansluiten op het bestaande beton.

2.3 AFWERKING EN TEXTUUR

Om de textuur en de afwerking van het bestaande beton te benaderen, kunnen herstmortels op een gelijkaardige manier bewerkt worden als nieuw beton. Een aangepaste bekisting of een chemische of mechanische behandeling van het oppervlak kunnen de gewenste afwerking opleveren. Daarvoor verwijzen we naar [2](#) 2.4. Ga voorzichtig te werk om het oppervlak rond de herstellingen niet te beschadigen.



▲ Origineel oppervlak en herstelling gebouchardeerd

2.4 NABEHANDELING

Een nabehandeling kan een duurzame herstelling verzekeren en een te snelle droging voorkomen. Die kan bestaan uit het afschermen van de herstellingen tegen weersinvloeden of het aanbrengen van een *curing compound* als bescherming.

2.5 BIJZONDERE HERSTELLINGEN

Scheuren

Scheuren kunnen geïnjecteerd worden met een fijne grout, maar die raakt niet tot in de smalste en fijnste plekken binnenin of aan de uiteinden. Een scheur uitkappen en opvullen met een herstelmortel veroorzaakt vaak meer schade dan de scheur zelf. Soms is dat wel een oplossing, in combinatie met een scheuroverbruggende wapening.

Grote oppervlakken

Als de schade aan het beton verspreid is, zijn lokale herstellingen niet meer mogelijk of zinvol. Een structurele reparatie met een gemodificeerde hydraulische betonreparatiemortel kan dan een optie zijn, bijvoorbeeld als de betondekking op de wapening te dun is, of het carbonatatie- of chlorideprobleem niet verholpen kan worden met een beschermende coating ... Deze 'moderne' betonmortels benaderen de eigenschappen van het bestaande beton zo goed mogelijk. Door een verlaagde krimp en hoge treksterkte wordt scheurvorming beperkt. Zelfverdichtend beton hoeft niet getrild te worden. Het beton wordt in een dikte van 5 mm tot enkele centimeters over grote oppervlakken aangegoten of gespoten.

3. WAPENING BEHANDELEN

Wapeningscorrosie is zowel een grote oorzaak als een gevolg van schade aan beton. Een (plaatselijke) betonherstelling heeft alleen zin als eerst de schademechanismen van en door de wapening in kaart gebracht zijn en uitwijzen dat plaatselijk herstel zinvol is.

Maatregelen aan de buitenzijde om regenwater weg te voeren van het beton, of oppervlaktebehandelingen om het beton te beschermen tegen indringend regenwater, zuurstof of chloriden, kunnen de voorwaarden voor corrosie wegnemen of sterk verminderen.



▲ Roestige wapening vrijmaken

3.1 WAPENING VRIJMAKEN EN BESCHERMEN

Of de wapening volledig vrijgemaakt moet worden, hangt af van de situatie, het schadeproces, het type herstellmortel, de hersteltechniek, de diepte van het carbonatatiefront, het chlorideprofiel en de uiteindelijke betondekking na herstelling. Als het carbonatatiefront het wapeningsstaal bereikt heeft, moet het beton zo diep als nodig worden weggehaald. Ligt de wapening grotendeels in de gecarbonateerde zone, dan moet het beton uitgehaald worden tot achter de wapening. Volg hierbij de voorschriften van het WTGB, TV 231 *'Herstelling en bescherming van beton, hfdst 7'*. Is de sectie van het wapeningsstaal zichtbaar verminderd, dan vraag je best een

stabiliteitsstudie aan een ingenieur of een stabiliteitsbureau. Die bepaalt of vervanging van de wapening of bijkomende maatregelen nodig zijn. Een vrijgemaakte wapening moet altijd ontroest worden.

De bescherming van de wapening hangt af van de nieuwe betondekking, de hersteltechniek, de herstellmortel en de eventuele bescherming of behandeling van het beton. Wanneer een herstelling met een hydraulische mortel onvoldoende beschermt tegen verdere carbonatatie of bij het gebruik van harsgebonden mortels, is een anticorrosiebescherming op de wapening vereist. Bij een elektrochemisch proces (zie **5** 3.2.) mag de wapening echter niet gecoat worden, want dat belemmert de werking van de behandeling.

Een hechtprimer en actieve beschermingsprimer op basis van cement kan een oplossing zijn in afwachting van verder herstel. Hij beschermt de wapening tegen corrosie en verbetert de hechting met de (later) aan te brengen reparatiemortel.

Betonschade herstellen met chloriden is vrij omslachtig. De wapening is moeilijk te reinigen. Vaak is de sectie van de wapening (plaatselijk) sterk afgenomen en is een



▲ Wapening behandelen tegen corrosie

bijkomende wapening nodig. Wanneer het beton te zeer doordrongen is van chloriden, kan een kathodische bescherming een oplossing bieden.

3.2 ELEKTROCHEMISCHE BEHANDELING

Elektrochemische processen proberen de wapeningscorrosie onder controle te houden of af te remmen. Ze beïnvloeden tijdelijk of permanent het natuurlijk elektrochemisch corrosieproces waarbij geladen ionen en elektronen bewegen tussen anode (waar elektronen verdwijnen en het metaal corrodeert) en kathode. Eén van de voorwaarden is dat de wapening voldoende doorverbonden is of gemaakt kan worden om een gesloten elektrisch circuit te verkrijgen.

Kathodische bescherming

Bij een kathodische bescherming wordt het corrosieproces van de wapening verschoven naar een anode buiten de constructie of ingewerkt aan de buitenkant van de constructie. Deze anode levert de elektronen die normaal vanuit de wapening komen. De wapening zelf wordt dan ‘gedwongen’ om als kathode op te treden. De schade treedt op aan de kant van de anode.

Er bestaat een zelfregulerend systeem met opofferingsanodes in een minder 'edel' metaal. De wapening wordt verbonden met het opofferingsmetaal, bijvoorbeeld zink. Het galvanisch proces waarbij het zink corrodeert is moeilijk te controleren en de levensduur varieert volgens de omstandigheden. Een ander systeem werkt met opgedrukte stroom. Er wordt een potentiaalverschil gecreëerd tussen de wapening en een op het oppervlak aangebrachte anode door een lage gelijkspanningsstroom door de wapening te sturen, die ongevaarlijk is voor mens en omgeving. Dit systeem kan onder de juiste voorwaarden lang succesvol zijn, maar vraagt een zorgvuldig ontwerp en aanpassingen. Het moet bovendien continu gemonitord en regelmatig onderhouden worden. Deze methode lijkt vooral nuttig bij beton met hoge chlorideconcentraties.

Kathodische bescherming kan ook overwogen worden in combinatie met grote herstellingen als maatregel om meer schade te voorkomen. De werking van het systeem stopt echter zodra de opgelegde stroom stilgelegd wordt of de opofferingsanodes opgebruikt zijn. Een kathodisch beschermingssysteem uittekenen en toepassen, is werk voor een specialist met ervaring in erfgoed.

Realkalisatie

Chemische realkalisatie is bedoeld om de alkaliniteit in gecarbonateerd beton te herstellen. Door natriumcarbonaat / soda (Na_2CO_3) in het beton te brengen en OH^- ionen te vormen rond de wapening, wordt de wapening opnieuw in een gunstig milieu gebracht zodat ze beschermd is tegen corrosie. Tot hiertoe is de methode alleen nog maar succesvol toegepast op beelden en decoratieve panelen, niet op historische gebouwen. De corrosie wordt hooguit enkele jaren tegengehouden en het proces kan de kleur en de afwerking van het beton beïnvloeden.

Chloride-extractie

Op plaatsen waar het beton te lijden heeft onder een hoge chloridebelasting uit de omgeving, kan het corrosieproces – weliswaar tijdelijk – ingeperkt worden door elektrochemisch chloriden uit het beton te halen tot het chloridegehalte onder een bepaald niveau gebracht is.

3.3 CORROSIEREMMERS

Corrosieremmers vertragen of verminderen de corrosie door een bescherm laag rond het staal te vormen. Ze kunnen aangebracht worden op het staal bij (plaatselijke) herstellingen, maar kunnen ook gemengd worden in de herstellmortels of op het betonoppervlak aan-

gebracht worden en doorheen het beton het staal bereiken. Omdat de efficiëntie afhangt van heel wat factoren, wordt deze laatste methode niet aangeraden.

3.4 STRUCTURELE VERSTERKING

Wanneer de stabiliteit van de constructie of een onderdeel in het gedrang komt door te verregaande wapeningscorrosie, kunnen structurele versterkingen noodzakelijk zijn, zoals gecorrodeerde wapening vervangen of inwendige wapening toevoegen. De wapening in de herstelzones moet daartoe vrij gehakt worden, wat ingrijpend en niet altijd mogelijk is. Nieuwe wapening kan ook buiten het constructie-element aangebracht worden, maar ook dat is niet evident en beïnvloedt het uitzicht van het object. Opgelijmde wapening met vezelversterkte polymeren of staalplaten geven doorgaans wel een goed resultaat. Neem contact op met een stabiliteitsingenieur met ervaring in betonnen erfgoed om de structuur te evalueren en de ingrepen te adviseren.



BESLUIT

Net zoals andere bouwmaterialen kan beton niet beschouwd en behandeld worden als een op zichzelf staand materiaal. Het maakt deel uit van de volledige constructie en staat dus in relatie met de andere bouwelementen en de bouwomgeving. Wanneer er schade wordt vastgesteld, is het essentieel om het schademechanisme te achterhalen. Een regelmatig nazicht van de toestand, een goede (regen)waterafvoer en een snelle aanpak van vastgestelde problemen, kunnen grote herstellingen en verlies van erfgoedmateriaal voorkomen of uitstellen. Neem gekwalificeerde professionals in de arm die ervaring hebben met betonnen erfgoed, zowel voor het nazicht en eventuele proeven als voor de diagnose bij problemen en het uitvoeren van herstelwerkzaamheden. Dat biedt de meeste garanties voor het behoud en duurzaam herstel van uw erfgoed.

BEKNOPTE BIBLIOGRAFIE

www.ingelicht.be/richtlijnen-voor-het-gebruik-van-gewapend-beton-voor-funderingen
www.isgeschiedenis.nl/nieuws/beton_is_sterk_veelzijdig_en_ouder_dan_je_denkt/
www.cultureelerfgoed.nl/sites/default/files/publications/gids-techniek-40-beton-schade-en-analyse-2004.pdf
www.kb-kenniscentrum.nl/techniek/algemeen/historie-beton
www.scientias.nl/het-maken-van-beton-kan-beter-op-zijn-romeins/
www.artestructo.be/historiek.htm
www.betonlexicon.nl
<http://mdcs.monumenten kennis.nl>
www.inventaris.onroerenderfgoed.be
<http://qc.aoso.vlaanderen.be/nl/pont/doc/H%201.6%20%20betonschade.pdf>
<http://www.corrosie.info/documents/2016/03/fiche-2-zwerfstromen.pdf>

APERS, J.; DE BLAERE, B., *Herstellen van oude gebouwen in beton*, Brussel, 1999.

BIJEN, J., *Het materiaal beton in monumenten; schade en herstel*, in: Restauratievademecum, Zeist, 1992, p. 2- 15.

HASLINGHUIS, E., *Bouwkundige termen, Verklarend woordenboek van de westerse architectuur- en bouwhistorie*, Leiden, 1997.

HEINEMANN, H.A., *Historic Concrete, From Concrete Repair to Concrete Conservation* PhD proefschrift, Delft 2013.

HEINEMANN, H.A., *Colour Alterations of Historic Concrete Surfaces during the Dutch Interwar Period, Case Studies in Construction Materials*, Amsterdam 2017.

HENDRIKS, N., *Eerste (en tweede) generatie prefab betonconstructies*, Syllabus studiedag WTA 21 april 2006: valorisatie en consolidatie van monumentale betonconstructies, Turnhout, 2006.

- JACOBS, J.; VYNCKE, J., *Betonschade: een overzicht*, in: WTCB tijdschrift, 1993, p. 37- 44.
- NIEUWMEIJER, G., *Construeren in beton ontwikkelingen tussen eind 19^e en eind 20^e eeuw*, Syllabus studiedag WTA 21 april 2006: valorisatie en consolidatie van monumentale betonconstructies, Turnhout, 2006.
- ODGERS, D., *Practical Building Conservation – concrete*, English Heritage, London, 2012.
- OOSTERHOFF, J., *Constructies van ijzer en beton: gebouwen 1800-1940, overzicht en typologie*, Delft, 1988.
- RDMZ, *Beton schade en analyse*, Info Restauratie en beheer 40, Zeist NL, 2004.
- URQUHART, D., *Historic concrete in Scotland part 1: History and development* Edinburg, 2013.
- VAN DER STEEN, R., *Betonkwaliteit na brand: hoe is de constructie?*, in *Renovatie & Onderhoud*, september 1997, p. 33- 35.
- VAN DE VOORDE, S., *Bouwen in beton in België (1890-1975). Samenspel van kennis, experiment en innovatie*, Doctoraatsthesis Ugent, Gent, 2011.
- VANDEWALLE, L., *Beton, een materiaal in evolutie*, Syllabus studiedag WTA 14 november 2008: beton behouden – theorie in de praktijk gezet, Leuven, 2008.
- VAN GEMERT, D., *Consolidatie van monumentale betonconstructies*, uit: syllabus infosessie Restauratie Betonstructuren 4 december 2007, Brussel, 2007.
- WTCB, *Herstellen en bescherming van beton* (technische voorlichting 231), WTCB, 2007.

■ COLOFON

Eerste druk

Tekst: Judith Delbaere (stagiaire) en Birgit van Laar

Eindredactie en

Coördinatie: Birgit van Laar

Lay-out: EPO drukkerij, www.epo.be/drukkerij

Foto's: © Monumentenwacht

Met dank aan: Katrien Moens, Herdis Heinemann (TU Delft), Bram Dooms (WTCB)
voor het nalezen en de vele constructieve opmerkingen

Verantwoordelijke uitgever: Luk Lemmens

Wettelijk depot: D/2018/10.191/1

© Monumentenwacht Vlaanderen vzw, november, 2017

Monumentenwacht is een organisatie van de vijf Vlaamse provincies met een ondersteunende koepelvereniging. De organisatie werd opgericht in 1991 om onderhoud te stimuleren en zo het behoud van waardevol erfgoed in Vlaanderen te bevorderen. Dit omvat zowel bouwkundig erfgoed, waardevolle interieurs (met inbegrip van hun kunstvoorwerpen), varend als archeologisch erfgoed. Monumentenwacht streeft hiermee naar een integrale erfgoedbenadering en kan beroep doen op multidisciplinaire inspectieteams.

Vandaag werkt Monumentenwacht met de steun van de vijf Vlaamse provincies en van de Vlaamse overheid.



ADRESSEN

Monumentenwacht Vlaanderen vzw

Erfgoedhuis Den Wolsack | Oude Beurs 27 | 2000 Antwerpen

T + 32 3 212 29 50

info@monumentenwacht.be

www.monumentenwacht.be

Monumentenwacht Provincie Antwerpen

Ruggeveldlaan 99 | 2100 Deurne

T + 32 3 360 52 34

monumentenwacht@provincieantwerpen.be

Monumentenwacht Limburg

Willekensmolenstraat 140 | 3500 Hasselt

T + 32 11 23 75 90

mowa@limburg.be

Monumentenwacht Oost-Vlaanderen

Leopoldkazerne blok C | Gaspar de Craeyerstraat 2 | 9000 Gent

T + 32 9 267 61 55

monumentenwacht@oost-vlaanderen.be

Monumentenwacht Vlaams-Brabant

Provincieplein 1 | 3010 Leuven

T + 32 16 31 97 50

monumentenwacht@vlaamsbrabant.be

Monumentenwacht West-Vlaanderen apb

Koning Leopold III-laan 31 | 8200 Brugge

T + 32 50 40 35 70

monumentenwacht@west-vlaanderen.be

