

Technisch dossier

De meest voorkomende vormen van betonschade en hun oorzaken

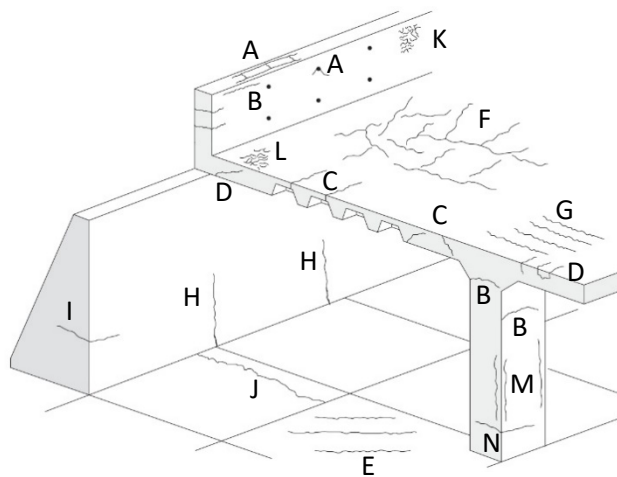
1. Schadebeeld

Betonschade kan op diverse manieren tot uiting komen. In de meeste gevallen treedt er scheurvorming op. De scheuren kunnen een rechtlijnig of een willekeurig verloop hebben en de scheuropening kan variëren.

Scheuren die gepaard gaan met ontoelaatbare vervormingen kunnen duiden op een structureel probleem. Bij twijfel over de structurele eigenschappen van de constructie (of een deel ervan) is het aangewezen een stabiliteitsstudie te laten uitvoeren.

Scheuren kunnen ook veroorzaakt worden door inwendige expansieve reacties in het beton of corroderende (roestende) wapening. Dergelijke scheuren resulteren, indien ze onbehandeld blijven, in afbrokkelingen en het loskomen van brokstukken beton.

In Figuur 1 wordt een overzicht gegeven van enkele veel voorkomende scheurpatronen in beton.



- A, B, C, D: Plastische zettingsscheuren
- E, F, G: Plastische krimpscheuren
- H, I: Thermische krimpscheuren
- J: Scheuren door uitdrogingskrimp
- K, L: Craquelé t.g.v. differentiële uitdrogingskrimp
- M, N: Scheuren door wapeningscorrosie

Figuur 1: Veel voorkomende scheurpatronen in beton

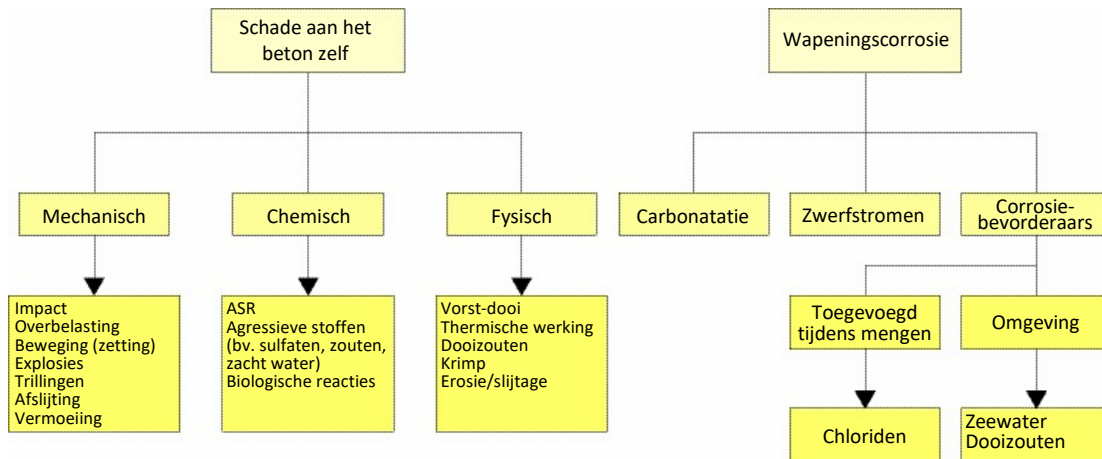
Andere schade-indicatoren van beton zijn verkleuringen, de ruwheid van het oppervlak, afschilferingen, vochtvlekken en roestsporen.

Een ervaren inspecteur kan, op basis van het schadebeeld (bv. de vorm en plaats van de scheur, de grootte van de scheuropening), doorgaans al een goed beeld krijgen van de schadeoorzaken die mogelijk spelen. Een diepgaande beoordeling is echter onontbeerlijk om precies te bepalen wat de schadeoorzaken zijn, om in te schatten wat de werkelijke omvang is van de schade en om de nodige gegevens verschaffen die nodig zijn om een duurzame betonherstelling uit te voeren volgens de wensen van de opdrachtgever.

2. Schadeoorzaken van beton

Volgens de norm NBN EN 1504-9 kan schade aan betonconstructies in twee hoofdgroepen onderverdeeld worden (zie Figuur 2):

1. Schade aan het beton zelf
2. Wapeningscorrosie



Figuur 2: Schadeoorzaken voor beton volgens de norm NBN EN 1504-9

Hieronder worden de meest voorkomende schadeoorzaken toegelicht.

2.1. Mechanische schade

Mechanische betonschade komt meestal tot uiting door scheurvorming, eventueel gepaard met een ontoelaatbare vervorming.

Bij belastingen van zeer korte duur (bv. een impact of explosie) kunnen er brokstukken beton loskomen. Hoewel het verband tussen de schade en de schadeoorzaak in dit geval doorgaans voor de hand ligt, is het toch aan te raden om na te gaan of er geen andere actieve schademechanismen behandeld moeten worden.

Schade ten gevolge van een langdurige beperkte overbelasting of zetting van de ondergrond onder de steunpunten komt veel langzamer tot uiting, aangezien de kruip van het beton hierbij een grote rol speelt. In dit geval dient men naast de beoordeling van de schadetoestand, ook een stabiliteitsstudie uit te voeren om de invloed van een eventuele overbelasting te evalueren.

Trillingen zijn dikwijls een bron van ongenoegen voor de gebruikers van de constructie, maar leiden slechts zelden tot schade.

2.2. Chemische schade

2.2.1. Alkali-silicareactie (ASR)

De 'alkali-silicareactie' betreft een reeks reacties tussen:

- Alkaliën in het beton, afkomstig van de bestanddelen (bv. het cement, de hulpstoffen, het aanmaakwater) of afkomstig uit de buitenomgeving (bv. zeewater, dooizouten);
- Reactieve (alkaligevoelige) silicaten, die in bepaalde granulaten zitten.

Deze reacties geven aanleiding tot de vorming van expansieve producten, waaronder een alkali-silicagel die water absorbeert en zodoende opzwellt. Hierdoor worden interne trekspanningen in het beton geïnduceerd, die uiteindelijk leiden tot scheurvorming.

De alkali-silicareactie kan dus ontstaan wanneer de volgende drie voorwaarden tegelijkertijd vervuld zijn:

1. De aanwezigheid van potentieel reactieve granulaten;
2. Een constante of regelmatige bevochtiging van de constructie;
3. Een voldoende hoge alkaliënconcentratie in het beton.

In ongewapend beton manifesteert de alkali-silica-reactie zich in de vorm van een willekeurig scheurpatroon. In gewapend en voorgespannen beton volgt het scheurpatroon de onderliggende wapening. Indien geen diepgaand onderzoek wordt uitgevoerd naar de schadeoorzaken zou men dus onterecht kunnen veronderstellen dat de schade veroorzaakt werd door wapeningscorrosie. Een microscopische analyse van betonslijpplaatjes maakt het mogelijk om de alkali-silicareactie vast te stellen.

Zo'n 3 % van de kunstwerken (bv. bruggen) in ons land wordt getroffen door dit verschijnsel, wat resulteert in dure herstellingen en er zelfs toe kan leiden dat het kunstwerk afgebroken en vervangen moet worden (Figuur 3). Voor nieuwe betonconstructies vermeldt de informatieve bijlage I bij de norm NBN B 15-001 enkele maatregelen die getroffen moeten worden om een alkali-silicareactie te vermijden.



Figuur 3: Een betonconstructie, getroffen door de alkali-silicareactie

2.2.2. Zuren en zouten

Beton is gevoelig voor zuren en zal bij rechtstreeks contact steeds aantasting ondervinden. De zuren reageren met de harde calciumverbindingen in het verharde cement en vormen zachte calciumzouten en siliciumdioxide. Ook de kalksteengranulaten worden hierdoor aangetast. De agressiviteit wordt bepaald door de aard en de concentratie van het zuur, de temperatuur en het debiet of de verversingsgraad.

Een specifieke vorm van zuuraantasting komt voor bij gescheurde betonnen elementen, die blootgesteld zijn aan regen. Regenwater (pH van 6 tot 6,8) dat doorheen de scheuren stroomt, ontbindt na herhaaldelijke doorgangen de calciumverbindingen en voert deze mee naar de onderkant van het element, waar ze worden

afgezet. Na langdurige blootstelling worden op deze manier stalactieten gevormd onderaan het betonnen element (Figuur 4).



Figuur 4: Stalactietvorming onderaan een balkon

Ook zoutoplossingen kunnen schade veroorzaken aan beton. Sulfaten (natrium-, calcium-, ammonium- en magnesiumsulfaat) kunnen voorkomen in de grond en het grondwater, in meststoffen en in industriële omgevingen. Bij contact dringen ze het beton binnen en veroorzaken zwelreacties (ettringietvorming) en scheurvorming.

Om nieuwe betonconstructies te wapenen tegen aantasting door zuren en zouten bij, worden in de normatieve bijlage F van de norm NBN B 15-001 duurzaamheidseisen opgelegd aan de betonsamenstelling.

2.2.3. Biologische aantasting

De biogene zwavelzuuraantasting (BZA) treedt vooral op in riolen en afvoersystemen waar het afvalwater rijk is aan zwavelverbindingen uit rottingsprocessen. In traag stromend of stilstaand afvalwater kan een anaeroob milieu ontstaan waarin bacteriën de zwavelverbindingen omzetten in zwavelwaterstof. Dit gas wordt vervolgens omgezet in elementaire zwavel, die neerslaat op het beton en door aerobe bacteriën wordt omgevormd tot zwavelzuur, dat op zijn beurt de cementsteen afbreekt (zie § 2.2.2).

2.3. Fysische schade

2.3.1. Vorst-dooischade

Bij bevriezing ondergaat water een volumetoename van ongeveer 9 %. Indien dit herhaaldelijk gebeurt bij een met water verzadigd betonoppervlak, kan dit leiden tot afschilferingen. Dergelijke schade komt vooral voor bij horizontale, aan neerslag blootgestelde oppervlakken (bv. buitenparkings). Het fenomeen wordt nog versterkt bij het gebruik van dooizouten (Figuur 5).



Figuur 5: Een betonverharding, aangetast door vorstschade in aanwezigheid van dooizouten

Om nieuwe betonconstructies te wapenen tegen vorst-dooischade, worden in de normatieve bijlage F van de norm NBN B 15-001 duurzaamheidseisen opgelegd aan de betonsamenstelling. Indien er een grotere weerstand tegen dooizouten gewenst wordt, dient men tevens een minimaal luchtgehalte te respecteren, dat behaald kan worden door de toevoeging van luchtbelvormers.

2.3.2. Thermische werking

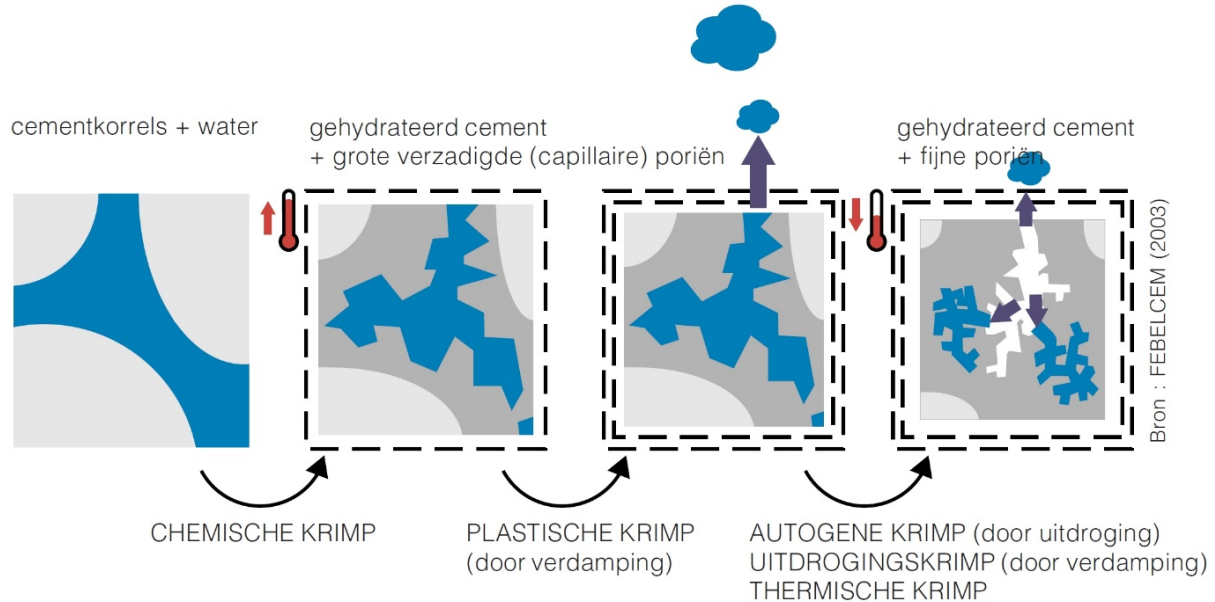
Bij differentiële oppervlakteverwarming in een element verhard beton (door de zon of een andere warmtebron) kunnen trekspanningen ontstaan in het beton die kunnen leiden tot scheurvorming.

2.3.3. Krimp

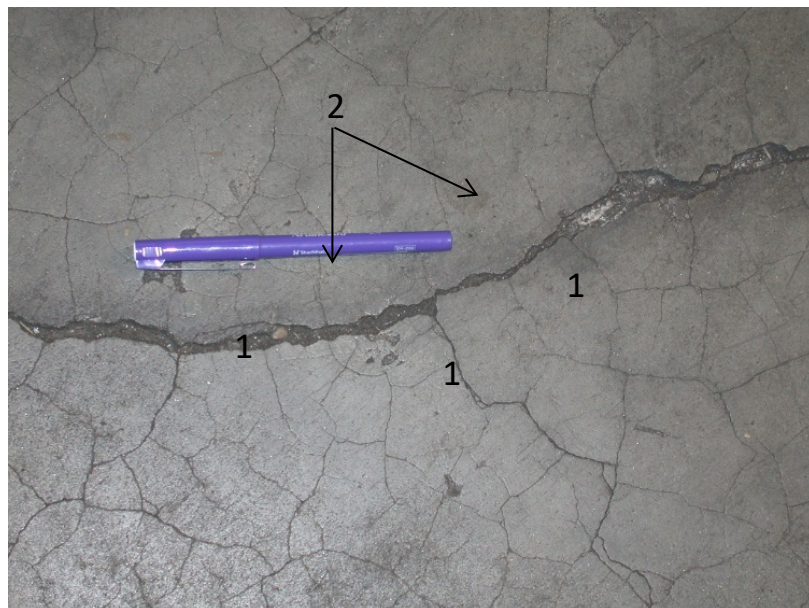
Onder invloed van verschillende fenomenen zal beton, tijdens zijn verschillende uithardingsstadia, de neiging hebben om in volume te verminderen, nl. om te 'krimpen'. Naargelang van de oorsprong onderscheidt men chemische krimp, plastische krimp, autogene krimp, thermische krimp en uitdrogingskrimp (Figuur 6). De omvang van dit verschijnsel hangt in grote mate af van de betonsamenstelling en eventuele beschermingsmaatregelen. Als deze krimp verhinderd wordt, intern of door de omliggende structuur, of niet homogeen plaatsvindt, kan dit leiden tot scheurvorming.

- **Chemische krimp** is een rechtstreeks gevolg van de hydratatie van het cement. Het volume van het gehydrateerde cement is immers kleiner dan de som van het oorspronkelijke volume van cement en water.
- **Plastische krimp** is te wijten aan de verdamping van het water aan het vrije oppervlak van betonspecie na zijn uitvoering. Wanneer het beton verhard is (of tijdens zijn verhardingsfase) heeft men het ook over **uitdrogingskrimp** of **hydraulische krimp**. Het risico is erg groot in het geval van onbekiste vlakke horizontale oppervlakken die niet beschermd zijn aan hun bovenvlak (wegen, betonvloeren, ...).
- **Autogene krimp** komt vooral voor bij betonsoorten met een lage water-/cementverhouding (W/C) en een hoog gehalte aan fijne stoffen (cement en/of andere fijne minerale toevoegingen). In deze omstandigheden neemt het cement tijdens de hydratatie van het jonge beton grote waterhoeveelheden op, zodat er snel met lucht gevulde poriën ontstaan. Dit verschijnsel (interne uitdroging) veroorzaakt capillaire druk, wat leidt tot een snelle krimp in de volledige massa van het beton.

- **Thermische krimp** volgt uit het feit dat beton tijdens de uitharding eerst zal opwarmen t.g.v. de exotherme hydratatiwarmte, waarna ze opnieuw zal afkoelen. Bij massieve constructies of bij elementen met een variërende doorsnede, leidt de ongelijke afgifte van de hydratatiwarmte tot grote interne temperatuurgadiënten en dus tot trekspanningen.



Figuur 6: De voornaamste types krimp van beton



Figuur 7: Scheurvorming in een betonvloer t.g.v. plastische krimp (1) en uitdrogingskrimp (2)

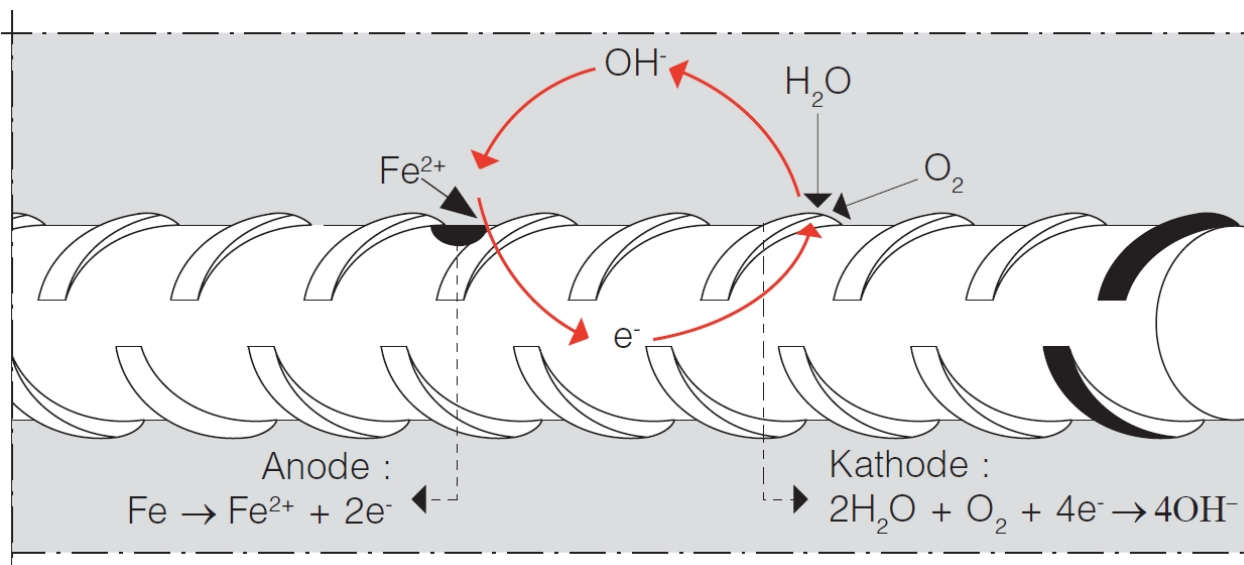
2.4. Wapeningscorrosie

2.4.1. Inleiding

Corrosie is een complex scheikundig proces waarbij zuurstof- en ijzeratomen in aanwezigheid van water eerst reageren tot ijzerhydroxide en vervolgens tot ijzeroxide (roest). Bij stalen elementen die worden blootgesteld aan de buitenlucht en vocht (regen) zal deze reactie ongehinderd kunnen plaatsvinden.

Bij wapeningsstaven in beton vormt er zich, omwille van de hoge pH-waarde van (het poriënwater in) jong beton, rond de wapening een passivatielaag, nl. een laag ijzerhydroxiden, die het staal beschermt tegen roestvorming. Door **carbonatatie van het beton**, de **aanwezigheid van chloriden** of t.g.v. **zwerfstromen** kan deze bescherm laag echter wegvallen of doorbroken worden en kan de wapening, in aanwezigheid van voldoende vocht, toch beginnen corroderen.

Er worden kleine corrosiecelletjes gevormd waarbinnen een stroom circuleert tussen de anode (plaats waar ijzer in oplossing gaat) en de kathode (plaats waar zuurstof getransformeerd wordt). Elektronen verplaatsen zich doorheen het staal van de anode (lage potentiaal) naar de kathode (hoge potentiaal). Aan de buitenkant van het staal verplaatsen hydroxide-ionen zich via het poriënwater in het beton van de kathode naar de anode. Hier komen ze in contact met ijzerionen waarmee ze reageren tot ijzeroxide (Figuur 8).



Figuur 8: Schematische voorstelling van het corrosie-proces van wapening in beton

2.4.2. Wapeningscorrosie door carbonatatie

Door de reactie van CO_2 uit de lucht met de vrije kalk in het beton (carbonatatie) daalt de pH van ongeveer 13 tot onder 9. Deze reactie begint aan het betonoppervlak, waarna het carbonatatiefront (de grenslijn tussen gecarbonateerd en niet-gecarbonateerd beton) ongeveer gelijkmatig in het beton dringt. Zodra het carbonatatiefront de wapening heeft bereikt, wordt de passivatielaag onstabiel en verliest het beton zijn beschermende werking tegen corrosie. Bij aanwezigheid van voldoende vocht (bv. blootstelling van het beton aan regen) zal de wapening geleidelijk aan beginnen te corroderen. De roestproducten die gevormd worden nemen een volume in dat meerdere malen groter is dan dat van staal, waardoor er trekspanningen ontstaan in het beton die snel resulteren in scheuren en vervolgens afbrokkelingen van het beton.

Doorgaans stelt men vast dat corrosie door carbonatatie de wapening over grote lengtes, min of meer gelijkmatig aantast (*gegeneraliseerde corrosie*). Vermits de gevormde roestproducten verdere corrosie van de wapening afremmen, is de vermindering in wapeningssectie doorgaans niet zo omvangrijk en heeft men voldoende tijd om in te grijpen na het vaststellen van de corrosie.

Om nieuwe betonconstructies te wapenen tegen wapeningscorrosie door carbonatatie, worden in de normatieve bijlage F van de norm NBN B 15-001 duurzaamheidseisen opgelegd aan de betonsamenstelling en wordt een minimale betondekking opgelegd in de Eurocode 2 (NBN EN 1992-1-1).

2.4.3. Wapeningscorrosie door chloriden

Bij voldoende hoge chlorideconcentraties kan de passivatielaag lokaal opgelost worden en kunnen zeer plaatselijke corrosiehaarden gevormd worden. Deze vorm van corrosie wordt aangeduid als putcorrosie ('pitting') en is gevaarlijk omdat de wapeningssectie hierdoor plaatselijk snel kan verminderen (Figuur 9). In het bijzonder bij voorgespannen constructies houdt het voorkomen van putcorrosie een groot risico in voor de stabiliteit van de constructie. Bovendien zijn de gevormde corrosieproducten in dit geval oplosbaar waardoor ze minder snel scheuren veroorzaken en het verschijnsel minder snel opgemerkt kan worden. De roestproducten kunnen uitlogen waardoor roestsporen veroorzaakt worden aan het betonoppervlak.



Figuur 9: Putcorrosie, veroorzaakt door chloriden



Figuur 10: Roestsporen aan het betonoppervlak

Chloriden kunnen bij het aanmaken van het beton aan het mengsel toegevoegd zijn onder de vorm van bindingsversnellers (bindingsversnellers op basis van chloriden zijn heden verboden volgens de norm NBN B 15-001) of voortkomen uit de componenten van het beton (o.a. zand, water). Daarnaast kunnen in de loop der jaren geleidelijk chloriden in het beton binnendringen. Dit verschijnsel wordt vooral vastgesteld bij constructies aan de kust of bij beton dat blootstaat aan dooizouten (bv. parkeergarages of delen van de weginfrastructuur).

Het kritische chloridgehalte (uitgedrukt t.o.v. de cementmassa) ter hoogte van de wapening, nodig om de putcorrosie te veroorzaken, is afhankelijk van tal van parameters (o.a. de betonsamenstelling, het relatieve vochtgehalte en de temperatuur). Algemeen wordt aangenomen dat een chloridgehalte, begrepen tussen 0,3 en 0,5 % t.o.v. de cementmassa, slechts een beperkt corrosiegevaar inhoudt.

2.4.4. Wapeningscorrosie door zwerfstromen

In de buurt van hoogspanningscentrales, transformatoren en tram- en spoorlijnen bevinden zich een heleboel zwerfstromen in de grond die het elektrochemische evenwicht van de betonwapening kunnen verstoren (Figuur 8). Hierdoor worden er bijkomende anodezones gecreëerd die op hun beurt aanleiding kunnen geven tot corrosie.