



VADEMECUM DER GEBREKEN

UITKRAGENDE BETONNEN BALKONS

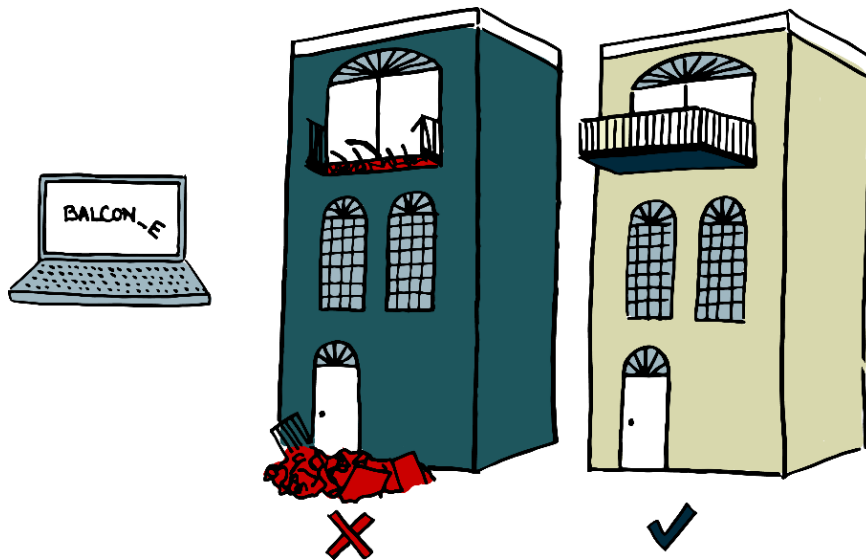
Balcon-e

Diagnose, beoordeling en duurzaam herstel van uitkragende betonnen balkons

Odisee
DE CO-HOGESCHOOL

VADEMECUM DER GEBREKEN

UITKRAGENDE BETONNEN BALKONS



balcon-e.odisee.be

Dit document werd opgemaakt in het kader van het PWO-project Balcon-e. Dit project werd gefinancierd via de middelen voor Praktijkgericht Wetenschappelijk Onderzoek (PWO) van Odisee, ter beschikking gesteld door de Vlaamse Overheid.

Odisee Hogeschool en degenen die aan dit document hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van dit document. Toch kan niet worden uitgesloten dat de inhoud onjuistheden bevat. De gebruiker van dit document aanvaardt daarvoor het risico. Odisee Hogeschool sluit, mede ten behoeve van de auteurs, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit dit gebruik. De gebruiker zal Odisee vergoeden en vrijwaren m.b.t. alle vorderingen, en m.b.t. alle bedragen die worden betaald met het oog op de regeling van een geschil met een derde partij die om het even welke schade lijdt die rechtstreeks of onrechtstreeks het gevolg is van de activiteiten van de gebruiker die gebruik maakt van dit document.

September 2021

Lydia Wittocx (Odisee Hogeschool – projectmedewerker)
Bart Craeye (Odisee Hogeschool – promotor)
Amaryllis Audenaert (Universiteit Antwerpen – partner)
Matthias Buyle (Universiteit Antwerpen – partner)
Robby Caspeele (Universiteit Gent – partner)
Elke Gruyaert (Katholieke Universiteit Leuven – partner)
Peter Minne (Katholieke Universiteit Leuven – partner)
Bram Dooms (WTCB – partner)



CC2021: mag niet aangepast, vertaald of gecommmercialiseerd worden zonder de uitdrukkelijke toestemming van de auteur(s).



Inhoud

Inleiding.....	2
Mechanische schade.....	8
Fysische schade.....	10
Chemische schade.....	15
Corrosie.....	17
Balustrade.....	21
Herstelschade.....	22
Literatuurlijst.....	23

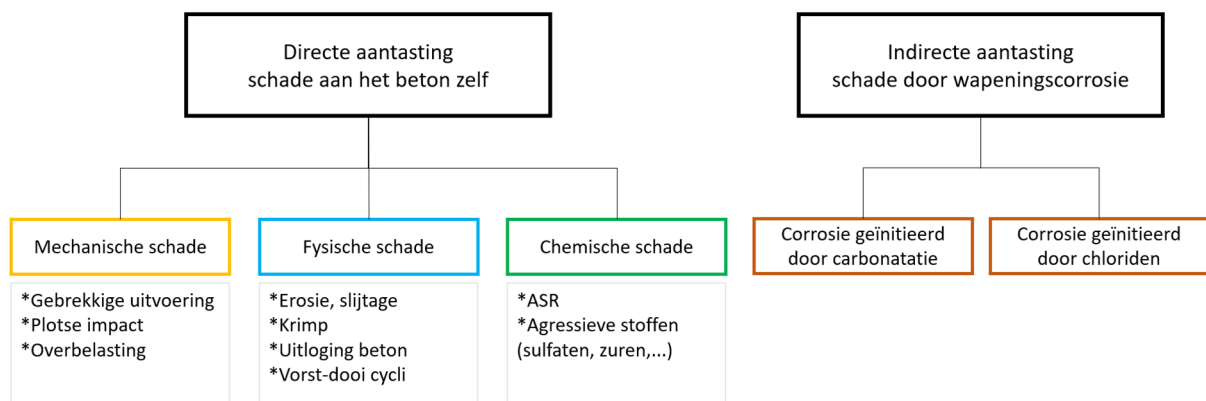
Inleiding

VADEMECUM DER GEBREKEN

Schade aan uitkragende gewapende betonnen balkons

In dit vademecum worden de meest voorkomende schadefenomenen besproken waar (uitkragende) gewapende betonnen balkons aan te lijden hebben. Voor elk fenomeen worden de oorzaken en schadebeelden beknopt besproken en gedocumenteerd met behulp van beeldmateriaal. Betonschade komt meestal tot uiting via scheuren, waardoor vocht en andere schadelijke stoffen nog sneller kunnen binnendringen. De vorm, plaats en tijdstip van optreden van de scheuren geven een eerste indicatie van de achterliggende oorzaak.

Aantasting van gewapend beton kan worden opgedeeld in directe en indirecte aantasting. Directe aantasting duidt op fenomenen waar het beton zelf beschadigd is. Dit kan veroorzaakt worden door mechanische, fysische of chemische processen. Indien de wapening wordt aangetast, en door het expansieve karakter van corroderende wapening bijgevolg ook het omhullende beton, wordt er gesproken van indirecte aantasting. Aantasting van de wapening, corrosie genoemd, kan geïnitieerd worden door carbonatatie en/of chloriden. Een vereenvoudigde versie van het schema met schademechanismen uit NBN EN 1504-9, specifiek toegepast op (uitkragende) betonnen balkons, is weergegeven in Figuur 1. Naast schade aan de gewapend betonnen structuur wordt ook schade aan de balustrade vermeld. Achteraan dit vademecum wordt een lijst met aanbevolen literatuur gegeven omtrent schade aan gewapend betonnen structuren in het algemeen.



Figuur 1: Directe en indirecte betonschade

De opgesomde schadefenomenen zijn opgenomen in de tool ter bepaling van de conditiescore, gebaseerd op NEN 2767. Om een conditiescore te kunnen bepalen is het van belang om de schadebeelden te herkennen en een inschatting te kunnen maken van enerzijds de omvang en anderzijds het stadium waarin de gebreken zich bevinden.

Bij de beoordeling kan gebruik gemaakt worden van Figuur 2 en Figuur 3 waarbij enkele veel voorkomende schadebeelden bij (uitkragende) gewapende balkons weergegeven worden. Er wordt tevens een aantal overzichtstabellen en schema's gegeven, die kunnen helpen bij de beoordeling (beeld vs. mechanisme, de bijhorende gevolgen (direct vs. secundair)).

Schema's en tabellen

De meest voorkomende schadefenomenen waaraan (uitkragende) betonnen balkons te lijden hebben worden voorgesteld Figuur 2 en Figuur 3. Het visuele kenmerk wordt hierbij telkens voorgesteld op de plaats waar dit schadebeeld zich vermoedelijk kan voordoen (onderscheid bovenzijde – onderzijde balkonplaat). Schade aan de balustrade of afwerkingslagen zoals een tegelvloer worden in deze figuren niet weergegeven. Verder in dit vademecum wordt van de meest voorkomende schadebeelden aanvullend beeldmateriaal voorzien.

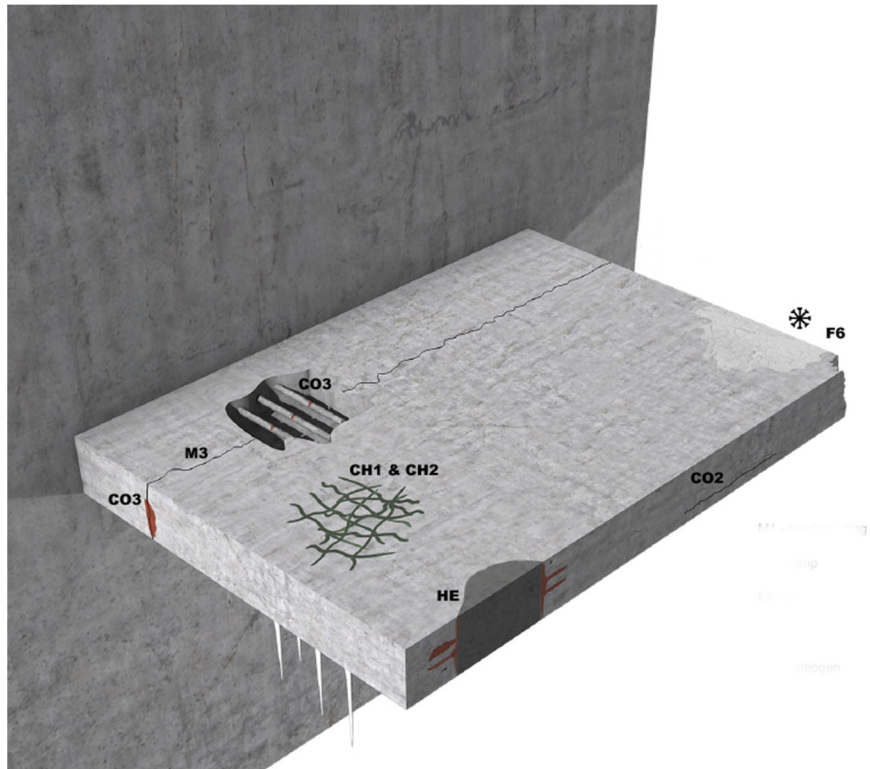
De schadefenomenen die in dit vademecum worden besproken, worden per categorie opgesomd in Tabel 1, zowel schade aan het beton als aan de balustrade. Dit is de onderverdeling die ook wordt toegepast in de tool ter bepaling van de conditiescore | [Balcon-e: Rekentool Conditiescore](#). Hierbij wordt telkens het visuele kenmerk of de vermoedelijke schadevorm gegeven, waarvan de conditiescore zal bepaald worden indien aanwezig aan het balkon. In deze tabel wordt bijkomend beknopt toegelicht hoe dit schademechanisme wordt veroorzaakt. Bij elk type schade wordt ook het gevolg (gering – matig - ernstig) vermeld, om een conditiescore te kunnen bepalen naar analogie met NEN 2767.

Een schademechanisme veroorzaakt een bepaald schadekenmerk. Deze schade kan op zijn beurt weer andere schade veroorzaken of een ander fenomeen doen versnellen. De directe schade en de mogelijke gevolgschade worden voor de meest voorkomende schademechanismen opgesomd bij betonconstructies in het algemeen in Tabel 2.

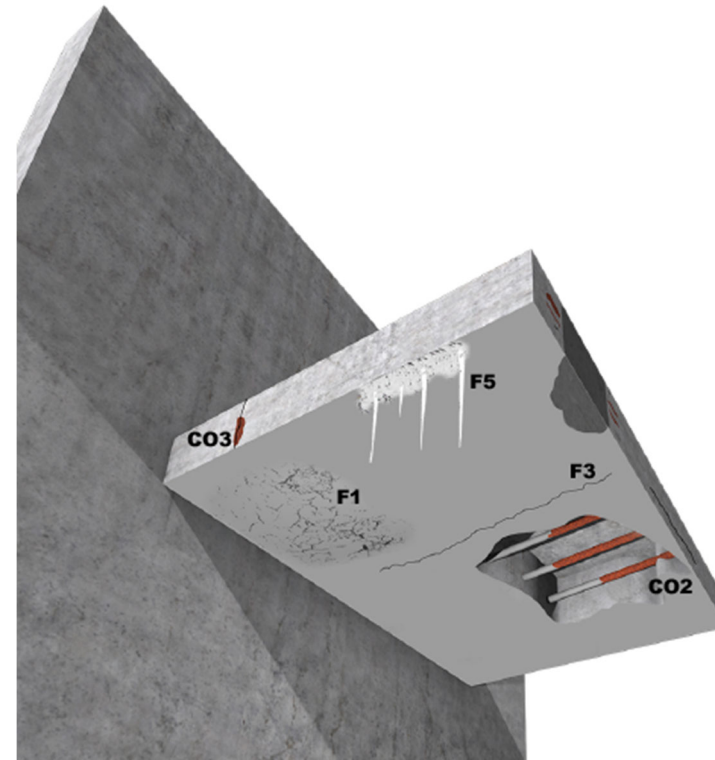
Bepaalde schadebeelden (zoals scheuren) kunnen verschillende oorzaken hebben en daarmee ook een ander gevolg. Deze samenhang tussen visueel kenmerk, mechanisme en oorzaak wordt schematisch voorgesteld in Figuur 4 en Figuur 5.

Figuur	Toelichting
1	Vereenvoudigde versie schema schademechanismen uit NBN EN 1504-9, specifiek toegepast op (uitkragende) betonnen balkons
2	Schets typische schade betonnen balkon - bovenzijde
3	Schets typische schade betonnen balkon - onderzijde
4	Schematische voorstelling connectie schadebeeld – mechanisme – oorzaak (scheurvorming)
5	Schematische voorstelling connectie schadebeeld – mechanisme – oorzaak (schadebeelden excl. scheurvorming)

Tabel	Toelichting
1	Overzicht schade balkons besproken in dit vademecum en opgenomen in de conditiescore-tool
2	Schema: directe en secundaire gevolgen van schademechanismen



Figuur 2: Typische schade betonnen balkon - bovenzijde



Figuur 3: Typische schade betonnen balkons - onderzijde

M3	Buigingsscheur // gebouw aan gebouwszijde
F1	Loskomen coating (blaasvorming)
F3	Krimpscheuren (plastisch, uitdroging, thermisch)
F5	Afzetting calciumcarbonaat, stalactieten, zoutkristallisatie
F6	Vorstschade (afbrokkeling, afschilfering)
CH1	Scheuren door ASR
CH2	Andere chemische schade (ettringiet, zuren, thaumasiet, ...)
CO2	Corrosie geïnitieerd door carbonatatie
CO3	Corrosie geïnitieerd door chloriden
HE	Herstelschade

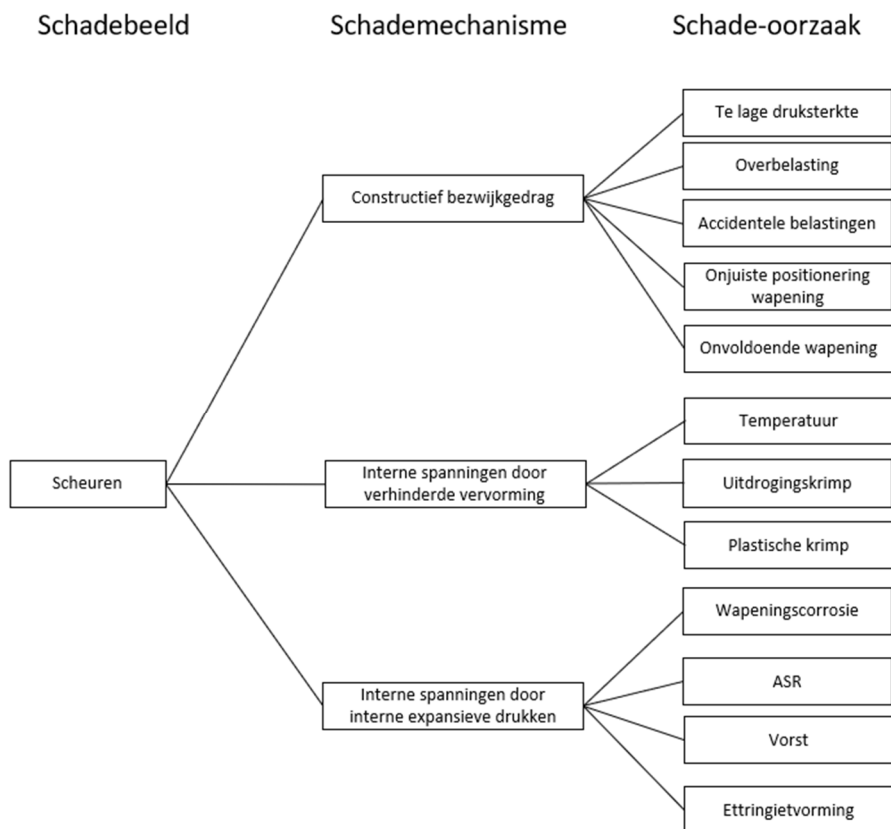
Tabel 1: Overzicht schade betonnen balkons

Mechanisch			
Visueel kenmerk / vermoedelijke schadevorm	Toelichting fenomeen / oorzaak		Gevolg
M1 Grindnesten, insluitsels, ...	Door een gebrekkige uitvoering* kunnen grindnesten, insluitsels of andere zichtbare gebreken ontstaan.		Matig
M2 Doorbuiging plaat	Doorbuiging o.w.v. kruipfenomeen door (langdurige) belasting.		Matig
M3 Scheur evenwijdig aan gebouw	Buigingscheur veroorzaakt door overbelasting van het uitkragende balkon.		Ernstig
Fysisch			
Visueel kenmerk / vermoedelijke schadevorm	Toelichting fenomeen / oorzaak		Gevolg
F1 Loskomen / blaasvorming coating	Veroorzaakt door (combinatie van): vocht, verminderde elasticiteit coating, UV, onjuist aangebracht, ...		Gering
F2 Verkleuringen, mosgroei, erosie, slijtage	Veroorzaakt door: vocht, herhaaldelijke beweging op dezelfde plaats, ...		Gering
F3 Krimpscheuren (plastisch, uitdroging, ...)	Door verhinderde krimp (ten gevolge van slechte nabehandeling, te weinig voegen, ...) ontstaan inwendige spanningen met scheurvorming tot gevolg.		Matig
F4 Uitbrokkelen voegen	Einde levensduur voegvulling (verduring), gebrekkige waterdichting		Matig
F5 Afzetting calciumcarbonaat, stalactieten, zoutkristallisatie	Door het ontbreken van of een gebrekkige waterdichting zal water in het beton kunnen indringen, Wanneer er voldoende stroming mogelijk is via scheuren, een waterdoorvoer of aan de rand, zal water zich kunnen binnendringen in het beton en een weg zoeken met uitloging tot gevolg.		Ernstig
F6 Vorstschade (afbrokkeling, afschilfering)	Interne spanningen door verhinderde uitzetting van bevrozend water		Ernstig
Chemisch			
Visueel kenmerk / vermoedelijke schadevorm	Toelichting fenomeen / oorzaak		Gevolg
CH1 Scheuren door ASR	De expansieve reactieproducten van de alkali-silica reactie, veroorzaakt door de combinatie reactieve granulaten, vocht en alkalische bestanddelen in beton, leiden tot interne spanningen met scheurvorming tot gevolg.		Ernstig
CH2 Overige chemische schade (ettringiet, zuren, thaumasiet, ...)	Aantasting beton(oppervlak) door zuren, reacties met interne vorming van expansieve producten, ...		Ernstig
Corrosie			
Visueel kenmerk / vermoedelijke schadevorm	Toelichting fenomeen / oorzaak		Gevolg
CO1 Roestvlekken door onzuiverheden (binddraadjes, afstandshouders, ijzerhoudende toeslag)	Corrosie veroorzaakt door de aanwezigheid van ijzerhoudende toeslag (vervuilde granulaten, binddraadjes, ...) in beton.		Gering
CO2 Scheuren t.h.v. de wapening, loszittende schollen beton, afgedrukte betondekking, uniforme corrosie staaf	Corrosie geïnitieerd door carbonatatie door de aanwezigheid van zuurstof, vocht en depassivering door carbonatatie.		Ernstig
CO3 Roestvlekken, lokale afname staafdiameter (indien staaf zichtbaar)	Corrosie geïnitieerd door chloriden door de aanwezigheid van zuurstof, vocht en depassivering door voldoende hoog chloridengehalte ter hoogte van de wapening. Chloriden zijn ingemengd (bindingsversneller) of ingedrongen (dooizouten, zee-omgeving, kuisproducten, ...).		Ernstig
Balustrade			
Visueel kenmerk / vermoedelijke schadevorm	Toelichting fenomeen / oorzaak		Gevolg
B1 Probleem verankering (loszittende balustrade, roest)	Falen van het bevestigingsmechanisme van de balustrade aan het balkon, vb. door corrosie.		Ernstig
B2 Loskomen verf/ coating	Veroorzaakt door (combinatie van): vocht, verminderde elasticiteit coating, UV, onjuist aangebracht, einde levensduur, ...		Gering

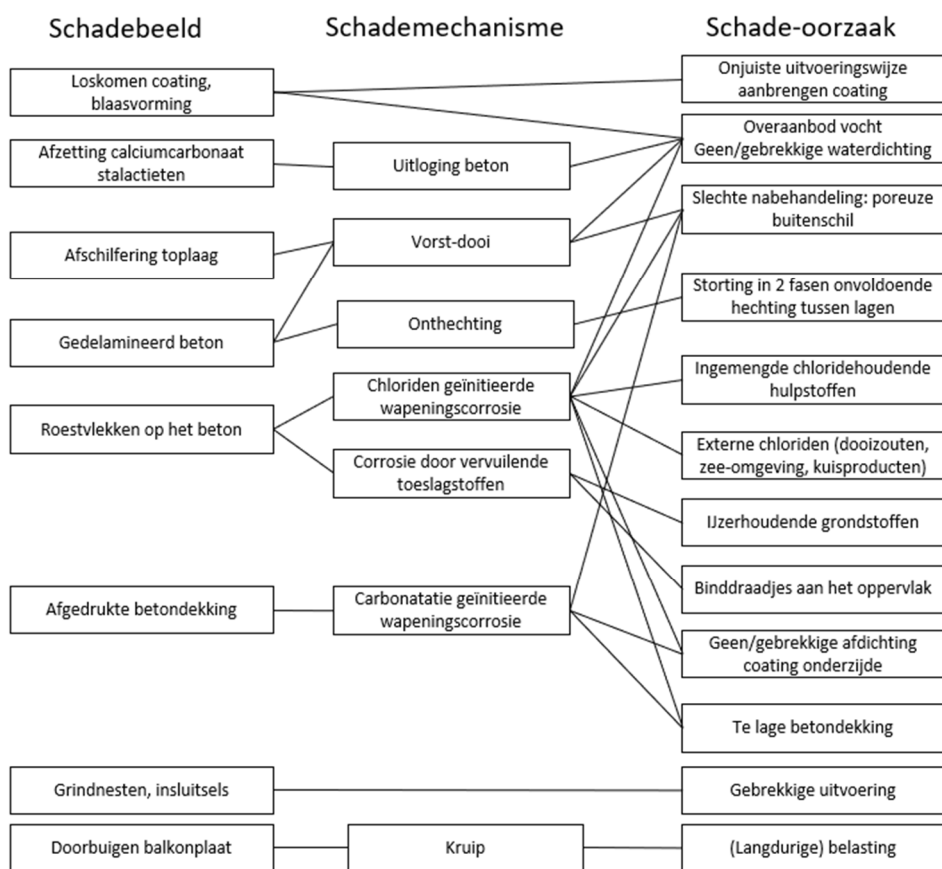
*Schade ten gevolge van een gebrekkige uitvoering wordt hier onder de categorie 'mechanische schade' geplaatst, hoewel dit feitelijk geen mechanische oorzaak is

Tabel 2: Directe en mogelijke vervolgschade per schademechanisme

Schademechanisme	Direct gevolg	Secundair gevolg
Plastische krimpscheuren	Scheurvorming	Versnelde indringing chloriden en/of carbonatatie Versnelde schade door sulfaten en/of zuren
Uitdrogingskrimp	Scheurvorming	Versnelde indringing chloriden en/of carbonatatie Versnelde schade door sulfaten en/of zuren
Thermische krimpscheuren	Scheurvorming	Versnelde indringing chloriden en/of carbonatatie Versnelde schade door sulfaten en/of zuren
Vorst	Verhoging interne spanningen in beton Afschilferen/afbrokkelen	Hogere spanningen in structurele elementen (door vermindering betonsectie) Vermindering betondekking kan leiden tot versnelde wapeningscorrosie tgv carbonatatie en chloriden
Erosie/slijtage	Afschilferen/afbrokkelen	Hogere spanningen in structurele elementen (door vermindering betonsectie) Vermindering betondekking kan leiden tot versnelde wapeningscorrosie tgv carbonatatie en chloriden
Uitloging	Beton wordt poreuzer Afzetting calciumcarbonaat/ stalactieten onderzijde balkon	Versnelde indringing chloriden en/of carbonatatie Versnelde schade door sulfaten en/of zuren Afname sterkte-eigenschappen
Chloride-indringing	Scheurvorming door corrosieproducten Roestvlekken Afname staafdiameter	Versnelde indringing chloriden en/of carbonatatie Versnelde schade door sulfaten en/of zuren Stabiliteitsprobleem door afname wapeningsdoorsnede
Carbonatatie	Scheurvorming door corrosieproducten Afdrukken betondekking (vergaand stadium) Afname staafdiameter	Versnelde indringing chloriden en/of carbonatatie Versnelde schade door sulfaten en/of zuren Verminderd chloride-bindend vermogen Stabiliteitsprobleem door afname wapeningsdoorsnede
ASR	Scheurvorming	Versnelde indringing chloriden en/of carbonatatie Versnelde schade door sulfaten en/of zuren ASR kan leiden tot het volledig desintegreren van het beton



Figuur 4: Samenhang schadebeeld – mechanisme en oorzaak: scheuren



Figuur 5: Samenhang schadebeeld – mechanisme en oorzaak: schadebeelden excl. scheuren

MECHANISCHE SCHADE

Schade aan een betonstructuur kan een mechanische oorzaak hebben. Een plotse impact, (hogere) langdurige belastingen met bijhorende kruipeffecten kunnen schade en scheurvorming veroorzaken. Ook differentiële zettingen, een gebrekkige uitvoeringstechniek of verkeerde detaillering van de wapening kunnen aan de oorzaak liggen. Deze oorzaken kunnen leiden tot esthetische problemen, scheuren en ontoelaatbare vervormingen. Typische zichtbare schadekenmerken veroorzaakt door mechanische fenomenen bij balkons zijn: een gebrekkige uitvoering waardoor grindnesten en insluitsels zichtbaar zijn (M₁), een overmatige doorbuiging van de plaat (M₂) en een buigingsscheur evenwijdig aan het gebouw aan de bovenzijde (M₃).

Accidentele belastingen kunnen door de impact afschilfering/afbrokkeling veroorzaken, maar werden niet mee opgenomen in dit vademecum.

	SCHADE	GEVOLG
M₁	Gebrekkige uitvoering (grindnesten, insluitsels,...)	Matig
M₂	Doorbuiging plaat	Matig
M₃	Buigingsscheur evenwijdig aan gebouw	Ernstig

Gebrekkige uitvoering (M₁)

Opmerking: schade ten gevolge van een gebrekkige uitvoering wordt hier onder de categorie 'mechanische schade' geplaatst, hoewel dit feitelijk geen mechanische oorzaak is.

Door een gebrekkige uitvoering bij ter plaatse gestorte balkons kunnen grindnesten, insluitsels of andere zichtbare gebreken ontstaan. Deze gebreken zijn vanuit esthetisch standpunt niet gewenst maar vormen ook een zwakkere zone waar vocht en andere schadelijke stoffen eenvoudiger kunnen binnendringen en op hun beurt bijkomende schade veroorzaken. Het gevolg van deze schade wordt als matig verondersteld.

Mechanische schade

Doorbuiging plaat (M₂)

Het fenomeen van kruip veroorzaakt doorbuiging bij betonnen elementen. Wanneer een betonnen balkon doorbuiging kan dit scheuren veroorzaken in de onder- of bovenstaande constructie. Echter, voor uitkragende balkons is dit niet zo van toepassing gezien de doorbuiging niet wordt verhinderd. Een doorbuiging zal meestal pas zichtbaar worden in een vergeaand stadium en zal vaak ook gepaard gaan met een buigingscheur (zie M₃) in het geval van uitkragende betonplaten. Een controle van de doorbuiging kan ook theoretisch benaderd worden door een berekening in bruikbaarheidsgrenstoestand (zie rekentool draagvermogen). Anderzijds kan een doorbuiging ook een probleem met de waterafvoer veroorzaken. Indien de afvoer langs de gebouwszijde voorzien is en de plaat buigt meer

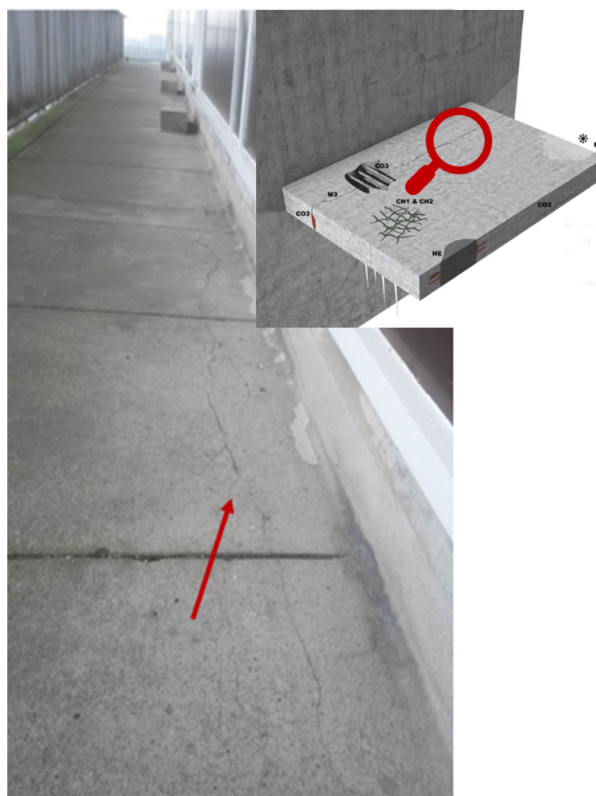
dan voorzien door naar de buitenzijde (of door foutieve/onvoldoende helling chape), kan het water blijven staan aan de opstand aan de balustrade. Deze accumulatie van vocht, al dan niet in aanwezigheid van verontreinigingen, kan een aanleiding zijn tot corrosie van de wapening die de randbalk/balustrade verankerd.



Figuur 6: Een zwembad installeren – overgenomen uit [1]

Buigingscheur evenwijdig aan gebouw (M₃)

Het vroegtijdig weghalen van de bekisting of overbelasting kan ook een buigingscheur evenwijdig aan de gevel veroorzaken. Deze buigingscheur aan de bovenzijde wordt als ernstige schade beschouwd, omdat langs deze weg vocht en andere schadelijke stoffen de bovenwapening kunnen bereiken op een kritieke plaats. Deze scheur kan vanaf het begin van de constructie aanwezig zijn of veroorzaakt worden door een overbelasting (vb. door het vroegtijdig weghalen van de bekisting/ondersteuning). Deze scheur wordt soms aan het zicht onttrokken door de aanwezigheid van bovenliggende afwerkingslagen.



Figuur 7: Buigingscheur evenwijdig aan de gevel

Fysische schade

FYSISCHE SCHADE

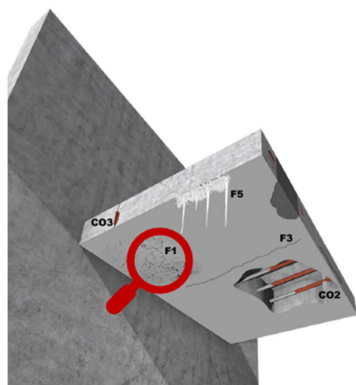
In de categorie 'fysische oorzaken' worden vorstschade, krimp, uitloging en blaasvorming van de coating door vochtproblematiek besproken. Andere aantastingen zoals ververing of mosgroei kunnen bijvoorbeeld het oppervlak laten verkleuren of veranderen van textuur. Dit is echter enkel een esthetisch probleem en brengt de constructieve veiligheid niet in gevaar.

Andere schade met een fysische oorzaak, zoals brand, worden, gezien het accidentele karakter, niet besproken.

	SCHADE	GEVOLG
F1	Loskomende coating (blaasvorming)	Gering
F2	Verkleuringen, mosgroei, erosie, slijtage	Gering
F3	Krimpscheuren	Matig
F4	Uitbrokkelen voegen	Matig
F5	Afzetting calciumcarbonaat, stalactieten, kristallisatie	Ernstig
F6	Vorstschade	Ernstig

Loskomen coating – blaasvorming (F1)

De coating aan de onderzijde van de balkons kan door ouderdom afbladderen of blaasvorming vertonen en loskomen door overmaat aan vocht of wanneer deze niet goed werd aangebracht. Het loskomen van de coating wordt beschouwd als een esthetisch probleem maar indien dit wordt veroorzaakt door een overmaat aan vocht kan dit een aanleiding zijn voor andere schade. Bovendien kan bij het doorbreken van de coating niet langer de beschermende werking ervan aangenomen worden.



Figuur 8: Blaasvorming coating



Figuur 9: Afbladderen coating

Fysische schade

Verkleuring, mosgroei, erosie, slijtage (F2)

Verkleuringen, mosgroei, erosie of slijtage aan de balkons is vaak zichtbaar bij oudere gebouwen maar is in vele gevallen louter een esthetisch probleem en wordt bijgevolg beschouwd als geringe schade. Door herhaaldelijke bewegingen zullen bepaalde delen sneller slijtage vertonen dan andere. Mosgroei wijst wel op de aanwezigheid van vocht wat weer aanleiding kan geven tot andere schade waarvoor de aanwezigheid van vocht een voorwaarde is. De oriëntatie van het gebouw speelt hierbij vaak een prominente rol.



Figuur 10: Verkleuringen – mosgroei balkonrand



Figuur 11: Groenvorming aan rand balustrade



Figuur 12: Grindnest zichtbaar door erosie

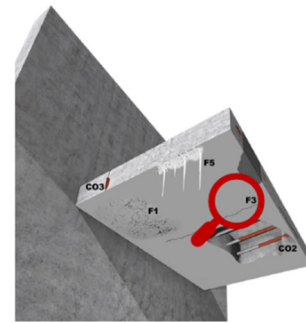
Krimpscheuren (F3)

Indien krimp verhinderd wordt kunnen interne spanningen en scheuren ontstaan die de duurzaamheid en de kwaliteit van de constructie kunnen beïnvloeden. Als de scheurwijdte beperkt blijft, vormen scheuren geen probleem voor de duurzaamheid of bruikbaarheid van een constructie. NBN EN 1992-1-1 stelt dat er geen gevaar is voor corrosie of duurzaamheid indien de scheurbreedte kleiner is dan 0,3 à 0,4 mm (eis maximale scheurbreedte is afhankelijk van de milieu-/omgevingsklasse). Hoewel kleine scheuren dus geen probleem vormen voor de veiligheid, zijn ze vanuit esthetisch standpunt vaak niet gewenst. Aan het fenomeen van krimpscheuren wordt een matig gevolg toegeschreven. Naargelang de oorzaak kan plastische, chemische en uitdrogingskrimp worden onderscheiden.

Fysische schade

Krimpscheuren (F3) - vervolg

Plastische krimp ontstaat doordat het aanmaakwater verdampt uit de nog plastische betonspecie. De verdampingssnelheid van het water wordt beïnvloed door de temperatuur, windsnelheid en relatieve vochtigheid. Als er te veel water verdampt, kunnen er scheuren ontstaan. Deze scheuren zijn echter vaker een esthetisch dan een constructief probleem. Een geschikte nabehandeling kan dit voorkomen.



Chemische of autogene krimp bij jong beton is een gevolg van interne uitdroging. Deze krimp wordt veroorzaakt doordat het volume van water en cement apart groter is dan het volume van de gevormde hydratatieproducten. Het type, de hoeveelheid cement en de W/C factor zullen dit proces beïnvloeden. Chemische krimp zal zelden het geval zijn bij klassiek betonsoorten waaruit een balkon is opgebouwd, maar kan wel voorkomen bij hogesterktebeton (HSB).

Uitdrogingskrimp is het gevolg van het verdampen van het niet-gebonden water dat zich in de capillaire poriën bevindt. Deze krimp treedt op na verloop van jaren en is een gevolg van uitdroging van het beton. Hoe meer cement het beton bevat en hoe lager de relatieve vochtigheid, hoe sneller deze uitdroging zal voortzetten. Deze krimpscheuren zijn bij balkons vaak zichtbaar aan de onderzijde, loodrecht op de gevel.



Figuur 13: Krimpscheur



Figuur 14: Krimpscheur

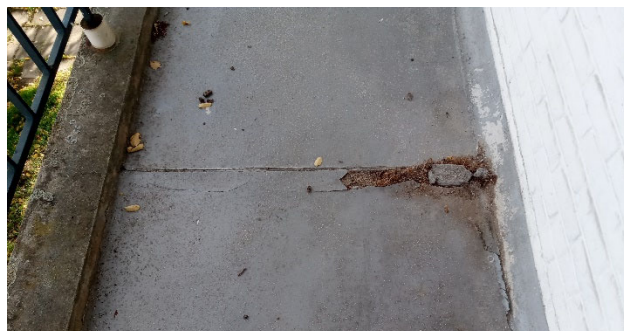
Uitbrokkelen voegen (F4)

Voegen, bijvoorbeeld tussen verschillende balkonelementen bij galerijen, zijn een gevoelige plaats voor schade. Wanneer de voegen tussen de (geprefabriceerde) betonplaten niet meer waterdicht zijn -de waterdichtingslaag boven het balkon is doorbroken of simpelweg afwezig- zal het water zijn weg doorheen de voeg vinden wat schade kan veroorzaken. Het gevolg wordt als matig beschouwd. Onderaan de plaat ter hoogte van de voeg kan er blaasvorming van de coating optreden, uitloging van het beton, al dan niet in combinatie met de vorming van stalactieten ten gevolge van de vorming van CaCO_3 (zie F5).

Daarnaast zal ook lokaal het risico op corrosie toenemen aangezien water en zuurstof (en ook andere schadelijke stoffen) de wapening makkelijker kan bereiken.

Fysische schade

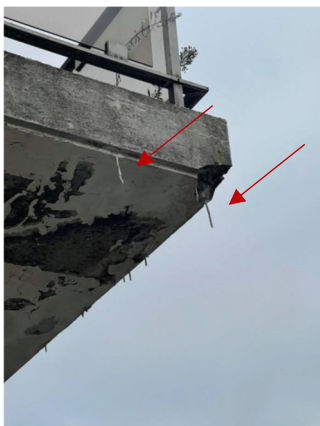
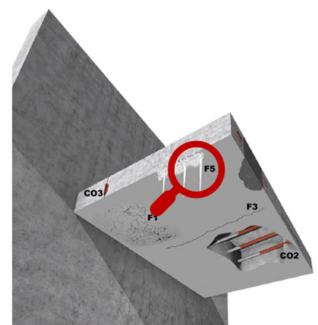
Uitbrokkelen voegen (F4) - vervolg



Figuur 15: Defecte voeg

Afzetting calciumcarbonaat, stalactieten, kristallisatie (F5)

Een typisch fenomeen dat zich voordoet bij balkons is schade aan het beton door waterproblematiek. Door een gebrekkige waterdichting, of door het simpelweg ontbreken ervan, zal water in het beton kunnen indringen, eventueel vermengd met schadelijke stoffen (vb. afkomstig van kuisproducten zoals bleekwater). Wanneer er voldoende stroming mogelijk is via scheuren, een waterdoorvoer of aan de rand, zal het water zich een weg zoeken en kunnen stalactieten gevormd worden. Deze stalactieten zijn meestal zichtbaar ter hoogte van voegen of scheuren of aan de rand van het balkon. Het water neemt op zijn weg doorheen het beton het oplosbare $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mee dat zal reageren met CO_2 tot CaCO_3 . Indien er ook zouten aanwezig zijn, kunnen deze mee de stalactiet vormen. Op deze manier zal het beton uitlogen en wordt het lokaal poreuzer. Dit heeft een negatieve invloed op de sterkte en kwaliteit van het beton. Dit wordt als een ernstig gebrek beschouwd.



Figuur 16: Stalactieten rand balkon – overgenomen van [2]



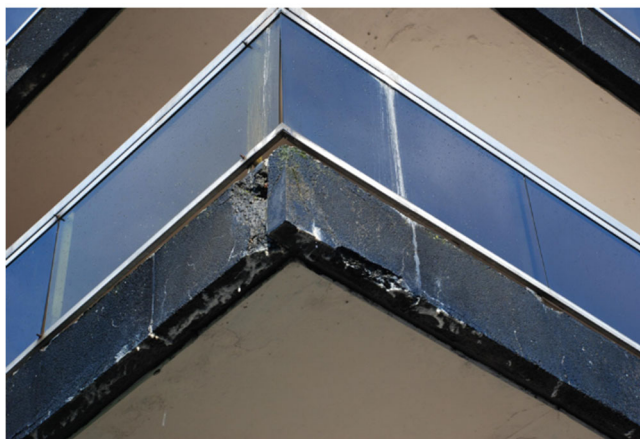
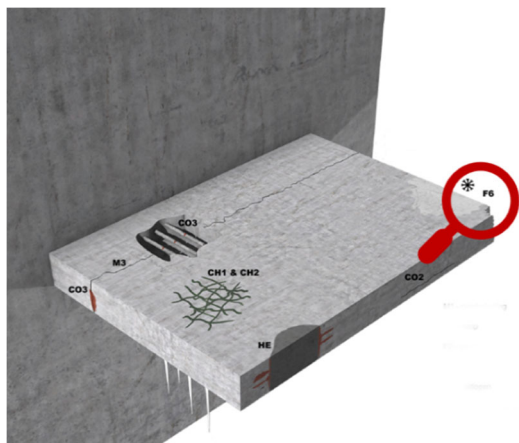
Figuur 17: Stalactieten onderzijde balkon

Fysische schade

Vorstschade (F6)

Reeds bij de eerste strenge winterperiode kan er schade door vorst optreden. Bij vorst kan het capillaire poriënwater en/of het water aanwezig in scheuren bevriezen. Omdat ijs een groter volume inneemt dan water, kan de druk die binnenin het beton wordt opgebouwd hoog oplopen en tot afschilfering, scheurvorming en afbrokkeling leiden. Wanneer er strooizout gebruikt wordt om de sneeuw en ijs te laten smelten neemt de ernst van de schade toe: het vochtgehalte stijgt en er wordt warmte onttrokken aan het betonoppervlak. Door deze temperatuurdaling ondervindt de bovenlaag een thermoshock. Dit veroorzaakt interne spanningen in het beton waardoor de bovenlaag kan afschilferen. Bovendien kan het zout ook kristalliseren (zie F5) of corrosie veroorzaken (zie CO₃). Op balkons zal meestal niet gestrooid worden maar bij galerijen, waar de balkons ook de toegang vormen tot het appartement, is de kans dat dooizouten worden gebruikt wel reëel.

Vorstschade neemt gradueel toe van lokaal afschilferen tot in ernstige gevallen het volledig gedelamineerd raken van de betonstructuur.



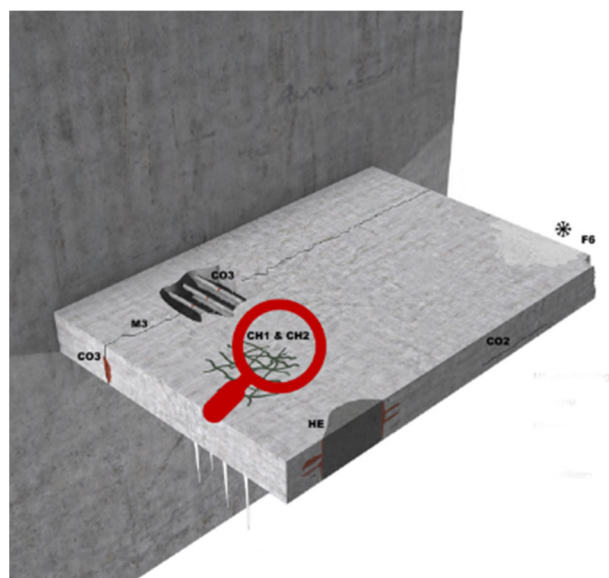
Figuur 17: Vorstschade – overgenomen van [2]

Chemische schade

CHEMISCHE SCHADE

De schadefenomenen met chemische oorzaak worden vaak gekenmerkt door interne vorming van expansieve producten, die spanningen in het beton veroorzaken waardoor scheurvorming kan ontstaan. De chemische reactie kan een inwendige of uitwendige oorzaak hebben. Inwendige oorzaken kunnen het gebruik zijn van reactieve of sulfaathoudende toeslagmaterialen. Wisselingen van nat en droog in combinatie met zuren, zouten, sulfaten etc. zijn voorbeelden van uitwendige oorzaken. Chemische schade wordt als ernstige schade beschouwd, maar komt eerder zelden voor in de context van balkons.

	SCHADE	GEVOLG
CH1	Scheuren door ASR	Ernstig
CH2	Overige chemische schade	Ernstig



Alkali-silica reactie (CH1)

Een schademechanisme met een chemische oorzaak is de alkali-silicareactie (ASR). ASR is een reactie tussen bepaalde bestanddelen van granulaten (kieselzuur) met alkaliën aanwezig in het poriënwater. Door deze reactie ontstaat er een alkali-silicagel die het aanwezige water kan absorberen en nadien opzwellen. Hierdoor ontstaan er interne spanningen en kan het beton scheuren. De scheuren hebben vaak een typische craquelé structuur. Dit schadefenomeen kan vaak herkend worden aan een verkleurde gel (typische een geel/oker van kleur) die in de scheuren zichtbaar wordt.

Chemische schade

Alkali-silica reactie (CH₁) - vervolg



Figuur 18: Scheurpatroon door ASR – overgenomen van [3]



Figuur 19: Inwendige ASR – overgenomen van [3]

Er moet gelijktijdig voldaan zijn aan drie voorwaarden opdat deze reactie kan plaatsvinden. Als eerste dienen de granulaten reactieve silica te bevatten. Als tweede geldt dat het beton een hoog alkaligehalte heeft. De laatste voorwaarde stelt dat de omgeving permanent of periodiek vochtig is. Enkel als deze drie voorwaarden voldaan zijn kan de alkali-silicareactie optreden. Om dit schadefenomeen te vermijden is het dus zaak om één van de voorwaarden te elimineren. Meest doeltreffend hierbij is het beperken van het alkaligehalte door bijvoorbeeld gebruik te maken van LA-cement.

Overige chemische schade (CH₂)

Andere chemische schade, veroorzaakt door zuren of sulfaten of door biologische aantasting zijn zelden het geval bij balkons maar kunnen ernstige gevolgen hebben inzake duurzaamheid. Voor bijkomende toelichting wordt verwezen naar de literatuurlijst.

Een voorbeeld van CH₂ is de chemische sulfaataantasting ten gevolge van thaumasietvorming. Deze interne expansieve reactie kan leiden tot ernstige betonschade met bijhorende desintegratie van de structuur en sterkteverlies.



Figuur 20: Thaumasiet – overgenomen van [3]

CORROSIE

Wapeningscorrosie wordt beschouwd als de belangrijkste oorzaak van het degraderen en falen van betonnen structuren, zo ook bij betonnen balkons. Meer dan de helft tot 80% van de schade aan gewapend beton is gelinkt aan corrosie. Het is dan ook van belang het mechanisme en de oorzaken van corrosie te kennen en de aangestreepte schade op te meten en een geschikt herstel hiervoor te selecteren.

Corrosie is een complex elektrochemisch proces waarbij zuurstof- en ijzeratomen in aanwezigheid van water reageren tot ijzerhydroxide en vervolgens tot ijzeroxide (roest). De snelheid van het corrosieproces wordt beïnvloed door de temperatuur, de aanwezigheid van een depassivator (chloriden, CO_2 , ...), de periodiciteit van benatting, etc.

Bij jong beton wordt een passiveringslaag (een harde laag ijzeroxide) gevormd rond het wapeningsstaal omwille van de zeer hoge pH 12-13 van het poriënwater. Deze laag beschermt het staal tegen verdere corrosie. Eens de passiveringslaag wegvalt kan corrosie van de wapening optreden. De corrosieproducten (roest) die worden gevormd nemen een groter volume in dan het oorspronkelijke staal waardoor het beton rondom het corroderende staal spanningen ondervindt. Hierdoor ontstaan scheuren en kan het beton worden weggedrukt en loskomen. Als gevolg van corrosie zal ook de staafdiameter verminderen, waardoor het draagvermogen vermindert.

Staal zal enkel corroderen indien er gelijktijdig voldaan is aan drie voorwaarden:

- Aanwezigheid van een elektrolyt als geleider (vb. water)
- Aanwezigheid van zuurstof
- Het wegvallen van de beschermende passiveringslaag

Het corrosieproces wordt onderverdeeld in twee fasen. De initiatiefase is de tijd die nodig is om de passiveringslaag te doorbreken. De tijd waarin het staal daadwerkelijk corrodeert, wordt de propagatiefase genoemd. Corrosie kan worden geïnitieerd door het indringen van CO_2 (carbonatatie) of door de aanwezigheid van (ingedrongen of ingemengde) chloorionen. Eventuele ijzerhoudende verontreinigingen in het beton kunnen ook tot (beperkte en lokale) corrosie leiden.

	SCHADE	GEVOLG
CO1	Roestvlekken door onzuiverheden	Gering
CO2	Corrosie geïnitieerd door carbonatatie	Ernstig
CO3	Corrosie geïnitieerd door chloriden	Ernstig

Corrosie

Roestvlekken door onzuiverheden (CO₁)

Onzuiverheden in de nabijheid van het oppervlak (zoals de binddraadjes of ijzerhoudende granulaten) kunnen lokale roestvlekken veroorzaken. Deze corrosieschade is echter voornamelijk een esthetisch probleem en wordt dus beschouwd als geringe schade. Dit schadebeeld mag niet verward worden met lokale roestvlekken ten gevolge van chloride-geïnitieerde corrosieschade (zie CO₃).



Figuur 21: Lokale roestvlekken onderzijde balkon

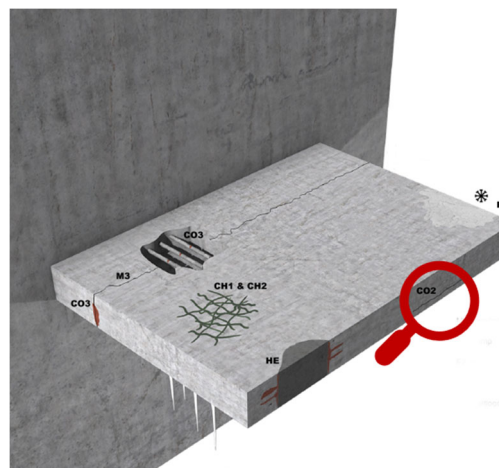


Figuur 22: Lokale roestvlek

Corrosie geïnitieerd door carbonatatie (CO₂)

Carbonatatie is een proces waarbij CO₂ uit de lucht reageert met de alkalische bestanddelen van het beton en dit in waterachtige omgeving. Hierdoor zal de pH van het beton dalen van ongeveer 12 à 13 naar onder de 9 door de vorming van calciumcarbonaat. Dit calciumcarbonaat zal de structuur dichter maken. De grens tussen het gecarbonateerde en niet-gecarbonateerde beton, het carbonatatiefront, verplaatst zich in de tijd doorheen de betondekking naar de wapening toe. Als de wapening wordt bereikt wordt de passiveringslaag, die de wapening beschermt tegen corrosie, onstabiel. Deze lost op en het corrosieproces kan starten.

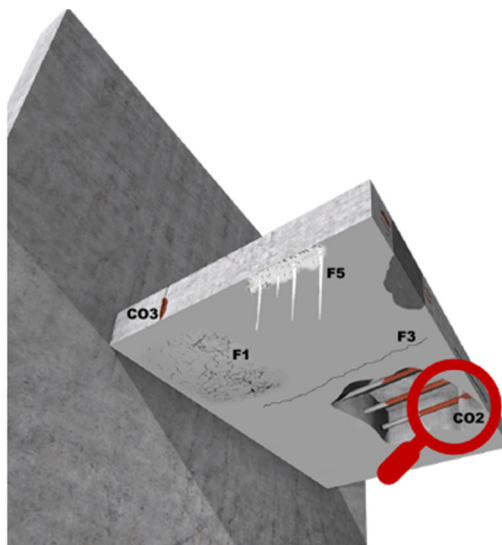
Corrosie door carbonatatie is meestal te herkennen door het loskomen van de betondekking, vaak over grotere zones, en door de uniforme corrosie van de wapeningsstaven. Het gevolg van dit schadefenomeen wordt als ernstig beschouwd.



Figuur 23: Vrijliggende wapening

Corrosie

Corrosie geïnitieerd door carbonatatie (CO_2) - vervolg



Figuur 24: Corroderende wapeningsstaaf onderzijde balkon



Figuur 25: Afdrukte betondekking als gevolg van corroderende wapening (combinatie carbonatatie en chloriden)

Corrosie geïnitieerd door chloriden (CO_3)

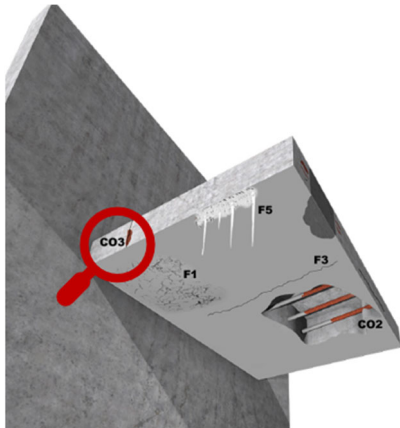
Een tweede mechanisme dat corrosie kan veroorzaken is de aanwezigheid van chloriden. Enerzijds kunnen chloriden initieel zijn ingemengd in het beton door gebruik van vervuilde bestanddelen (bv. zeezand) of door een bindingsversneller op basis van chloor, die veelvuldig in de jaren '60 en '70 werd toegepast. Anderzijds kunnen chloriden ook indringen in de structuur vanuit de omgeving, bv. via zeelucht of -water (mariene omgeving), dooizouten of kuisproducten zoals bleekwater. Indien de concentratie aan chloriden in het poriënwater ter hoogte van de wapening voldoende hoog is, kan dit plaatselijk de passiveringslaag aantasten en zo ook de wapening. De chloriden komen na de corrosiereactie opnieuw vrij waardoor deze reactie zich kan blijven verderzetten op dezelfde plaats.

Deze zeer plaatselijk vorm van corrosie, nl. putcorrosie (pitting), vermindert lokaal de staafdiameter wat vanuit structureel standpunt een ernstige situatie kan creëren. Bovendien worden er minder roestproducten gevormd, waardoor er pas veel later een waarschuwing volgt doordat het beton afschilfert of roestplekken vertoont. Vaak wordt het staal ook aangetast op een zeer kritische plaats, waardoor de constructie zeer plots kan bezwijken.

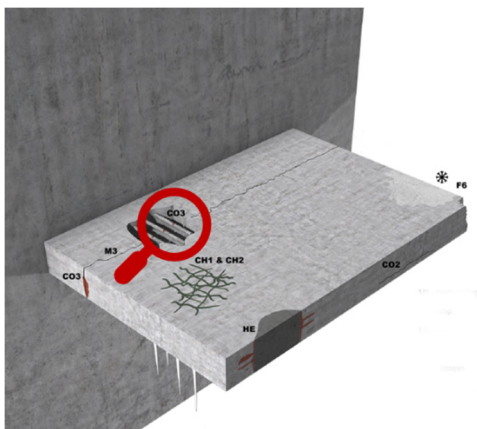
Corrosie

Corrosie geïnitieerd door chloriden (CO₃) - vervolg

Putcorrosie is te herkennen aan lokale roestvlekken op het beton. Dit mag echter niet verward worden met roestvlekken door onzuiverheden zoals binddraadjes. Echter, door het zeer lokale fenomeen van putcorrosie worden er weinig roestproducten gevormd en blijft dit soms lange tijd onzichtbaar, mede door de aanwezigheid van afwerkingslagen. Indien de wapeningsstaven zijn vrijgemaakt is chloriden-geïnitieerde corrosie te herkennen aan de putjes in de staaf tot zelf staven die volledig zijn doorgeroest.



Figuur 26: Roestvlekken als gevolg van corrosie geïnitieerd door chloriden in kustomgeving



Figuur 27: Doorgeroeste wapening door putcorrosie - overgenomen van [2]

Balustrade

BALUSTRADE

Naast schade aan de balkonplaat zelf, wordt ook schade aan de balustrade mee opgenomen in dit vademecum. Schade aan de balustrade zal niet de levensduur of het draagvermogen van de balkonplaat in het gedrang brengen, maar kan eerder tot onveilige situaties leiden bij loskomen. Het controleren of de balustrade voldoet aan de veiligheidseisen wordt bijgevolg best mee opgenomen in het onderzoek.

Indien de balustrade (deels) uit beton bestaat, kunnen hogergenoemde schade-oorzaken geïdentificeerd worden. Wanneer de balustrade uit een ander materiaal bestaat, worden er twee problematieken onderscheiden: problemen met de verankering (B1) wat als ernstige schade wordt beschouwd en louter esthetische schade zoals het afbladeren van de verf (B2).

	SCHADE	GEVOLG
B1	Probleem verankering (loszitten balustrade, roest)	Ernstig
B2	Loskomen verf/coating	Gering

Wanneer de balustrade verankerd is in een randbalk van de balkonplaat, is dit een kritische plaats voor corrosie. De (verticale) verankering kan ook problemen veroorzaken met vochtinfiltraties wanneer de waterdichting wordt doorbroken. Door onvoldoende afwatering of foutieve helling kan het water aan de rand blijven staan en aan aanleiding geven tot corrosie.



Figuur 28: Loskomen verf/coating balustrade

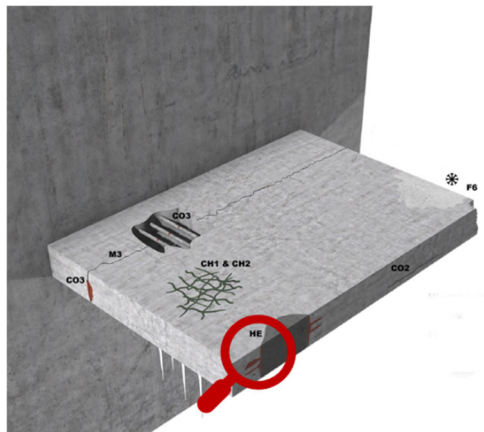


Figuur 29: Verankering balustrade doorgeroest

Herstelschade

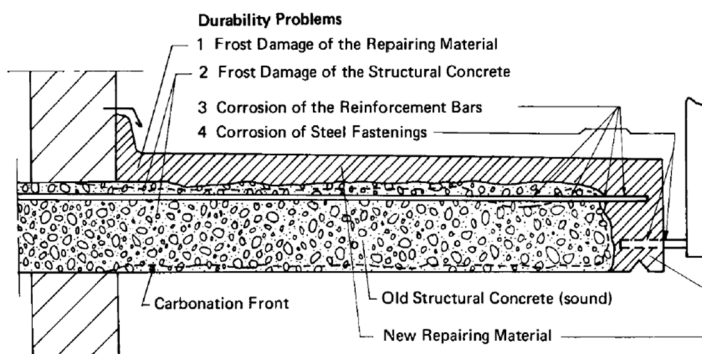
HERSTELSCHADE

Naast schade aan het originele beton, kan er schade aan eerder uitgevoerde herstellingen optreden. Door onvoldoende kwaliteit van de uitvoering of door onjuiste toepassing, zet het schadeproces zich verder rond de herstelde zone.



Ringanode-effect

Een typische vorm van herstelschade, voornamelijk bij chloride-verontreinigde constructies, is het ringanode-effect. Wanneer niet al het verontreinigde beton wordt verwijderd tijdens de herstelling en er dus nog chloriden achterblijven in de structuur, kan er opnieuw (en versneld) corrosie plaatsvinden, voornamelijk aan de randen van de herstelde zone. Er wordt dan gesproken van herstelschade.



Figuur 30: Verschillende mogelijke schadebeelden aan hersteld balkon – overgenomen uit [4]



Figuur 31: Herstelschade onderzijde balkon

Geraadpleegde en aanbevolen literatuur

Algemene naslagwerken betonschade

De Schutter, G., *Damage to concrete structures*, CRC Press Taylor & Francis Group, pp. 189, 2012.

- *Standaard naslagwerk omtrent betonschade*

Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., Redaelli, E., Polder, R., *Corrosion of steel in concrete: prevention, diagnosis, repair*, second completely revised and enlarged edition, Wiley, pp. 434, 2013.

- *Handboek omtrent corrosie van wapeningstaal in beton*

Dyer, T., *Concrete Durability*, London: CRC Press Taylor & Francis Group, pp. 447, 2014.

- *Handboek betonschade en herstel*

Craeye, B., *Betonschade: van waarneming tot duurzaam herstel*, Odisee Hogeschool, ISBN 222 0010000007, pp. 523, editie 2020-2021.

- *Cursus betonschade, bevat o.a. overzicht van de meest voorkomende schademechanismen aan betonstructuren*

Broomfield, J. P., *Corrosion of Steel in Concrete*, London: CRC Press Taylor & Francis Group, second edition, pp. 296, 2003.

- *Handboek omtrent corrosie van wapeningstaal in beton*

FIB, *Bulletin 53: Structural Concrete Volume 3, Textbook on behaviour, design and performance*, second edition, pp. 390, 2009.

Grantham, M., *Concrete repair: a practical guide*, London: CRC Press Taylor & Francis Group, pp. 328, 2011.

- *Het eerste hoofdstuk van dit handboek omtrent betonherstel behandelt de meest voorkomende schadefenomenen*

Alexander, M., Bentur, A., Mindess, S., *Durability of Concrete*, Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, pp. 345, 2017.

- *Hoofdstukken 3 en 4 behandelen schade-oorzaken en processen*

Blight, G., Alexander, M., *Alkali-Aggregate Reaction and Structural Damage to Concrete*, London: CRC Press Taylor & Francis Group, pp. 250, 2011.

- *Handboek omtrent AAR en het herstel ervan*

Publicaties - richtlijnen

CUR, *Duurzaamheid en onderhoud van betonconstructies*, publicatie 172 (tweede herziene uitgave), pp.505, 1998.

- *Hoofdstuk 3 van deze publicatie behandelt de schademechanismen die voorkomen bij beton*

Bonic Z., Toplicic G., Davidocic N., Savic J., *Damage of Concrete and Reinforcement of Reinforced-Concrete Foundations Caused by Environmental Effects*, Procedia Engineering 117, pp.411 – 418, 2015.

- *Publicatie met enkele duidelijk foto's van betonschade*

CUR, *Inspectie en onderzoek van betonconstructies*, Aanbeveling 72 (tweede herziene uitgave), pp.26, 2011.

WTCB, *Herstelling en bescherming van beton (gebouwen en burgerlijke bouwkunde)*, Technische Voorlichting TV 231, pp. 64, 2008.

WTCB-dossiers, *Wapeningscorrosie door de carbonatatie van beton voorkomen*, Katern nr. 2, pp. 7, 2007

WTCB-dossiers, *Vermijden van wapeningscorrosie ingeleid door de aanwezigheid van chloriden*, Katern nr. 12, pp. 14, 2008

WTCB-dossiers, *De verhinderde betonkrimp*, Katern nr. 3, pp. 12, 2009.

WTCB-dossiers, *De chemische aantasting van beton*, Katern nr. 9, pp. 4, 2004.

Digitaal te consulteren fiches

Duurzaam betonherstel, *De meest voorkomende vormen van betonschade en hun oorzaken*, Te raadplegen via: <https://www.duurzaam-betonherstel.be/output/>

- *Projectoutput van het VISiv-project “Duurzaam betonherstel: Nieuwe technologieën, producten en inzichten voor een duurzame herstelling van betonstructuren”*

Betonhuis, *Aantastingsmechanismen*, Te raadplegen via:

<https://betonhuis.nl/cement/aantastingsmechanismen>

- *Infofiches: aantasting van zuren, sulfaten, ASR, chemische aantasting, vorst...*

Referenties overgenomen figuren

- [1] <https://geekologie.com/2017/06/smart-thinking-kid-turns-his-apartment-b.php>
(geraadpleegd op 7/6/2021)
- [2] Foto verkregen via J. Beke (Bureau voor Expertise en Architectuur) – mailverkeer
- [3] Foto verkregen via F. Vanhaeren (Cibo) – mailverkeer
- [4] O. Svensson, G. Fagerlund, N. Petersons, REPAIR OF CONCRETE BALCONY SLABS, Editor(s): RAVINDRA K. DHIR, JOHN G.L. MUNDAY, Advances in Concrete Slab Technology, Pergamon, 1980, Pages 649-662, ISBN 9780080232560



Balcon-e

Diagnose, beoordeling en duurzaam herstel van uitkragende betonnen balkons