



UITKRAGENDE BETONNEN BALKONS

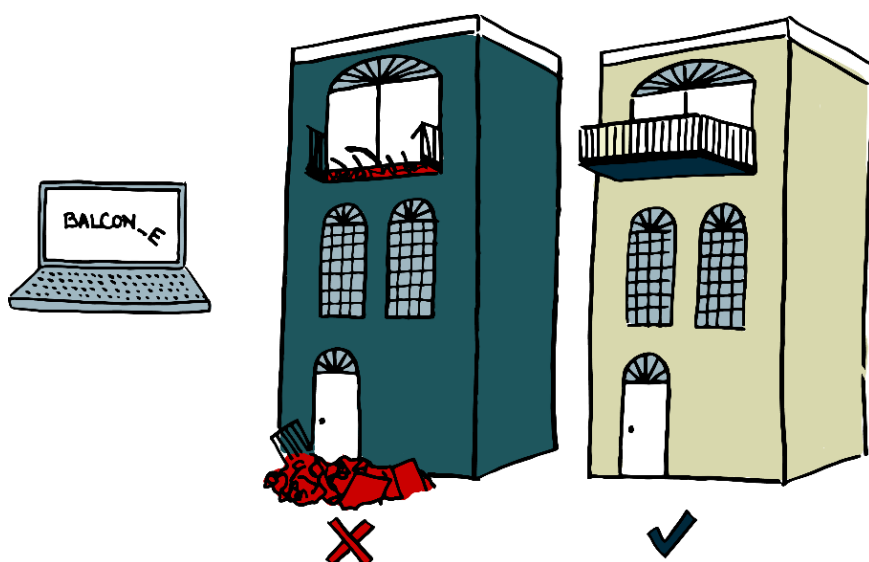
Balcon-e

Diagnose, beoordeling en duurzaam herstel van uitkragende betonnen balkons

Odisee
DE CO-HOGESCHOOL

PROTOCOL

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 Caspeeale (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
Aanleiding onderzoek balkons.....	4
Inventarisatie bestaande situatie.....	5
Inspectie.....	10
Evaluatie.....	21
Rapportering.....	28
Aanbevolen en geraadpleegde literatuur.....	29
Overzicht van de vermelde en relevante normen.....	30
Bijlagen.....	31

Inleiding

De jaren '70 worden onder meer gekenmerkt door een enorme bouw golf aan betonconstructies. Vele van deze constructies bereiken momenteel de beoogde ontwerplevensduur van 50 jaar. Van deze verouderde en beschadigde betonconstructies heeft een groot aandeel dringend een grondige herstel- of onderhoudsbeurt nodig. Het spreekt voor zich dat laattijdig ingrijpen een maatschappelijke, sociale én economische impact heeft. Vooraleer een gefundeerde beslissing kan gemaakt worden omtrent de toe te passen herstel- en/of onderhoudsstrategie, is het van belang om de huidige toestand van de constructie in kaart te brengen en te beoordelen. De aanpak die in dit protocol wordt voorgeschreven richt zich op het beoordelen van bestaande uitkragende betonnen balkons van (residentiële) gebouwen. Er wordt een strategie voorgesteld die de gebruiker kan helpen bij het uitvoeren van een vooronderzoek en inspectie ter plaatse om zo tot een diagnose te komen van de vastgestelde schade (de aard, oorzaak en omvang). Hierbij wordt zowel de duurzaamheid als het draagvermogen onder de loep genomen en geëvalueerd: hieruit volgt een advies naar de te treffen maatregelen om de schade af te remmen en/of te herstellen en eventueel bijkomend de constructie te versterken.

Het vooropgestelde protocol, gericht op de beoordeling van uitkragende betonnen balkons, is gebaseerd (sum of best practices) op volgende richtlijnen en vertaald naar de Belgische praktijkcontext:

- NBN EN 1504-9: Producten en systemen voor de bescherming en herstelling van betonconstructies. Definities, eisen, kwaliteitsborging, conformiteitsbeoordeling. Deel 9: algemene principes voor het gebruik van producten en systemen.
- WTCB TV231: Herstelling en bescherming van beton
- CUR 248: Onderzoek naar en beoordeling van de constructieve veiligheid van uitkragende betonnen vloeren van galerijflats
- CUR 121: Bepaling ondergrens verwachte restlevensduur van bestaande gewapende betonconstructies - Methode voor het bepalen van het einde van de initiatiefase bij bestaande civiele betonconstructies
- Toepassing van NEN 8700 bij betonreparatie en –onderhoud: Bijlage beoordeling bestaande situaties

Dit protocol omschrijft een stapsgewijze aanpak om via inspecties (destructief en niet-destructief) en evaluaties tot een diagnose en beoordeling van de duurzaamheid én het draagvermogen van de uitkragende gewapende betonnen balkons te komen. De schematische voorstelling van het protocol wordt weergegeven in Figuur 1.

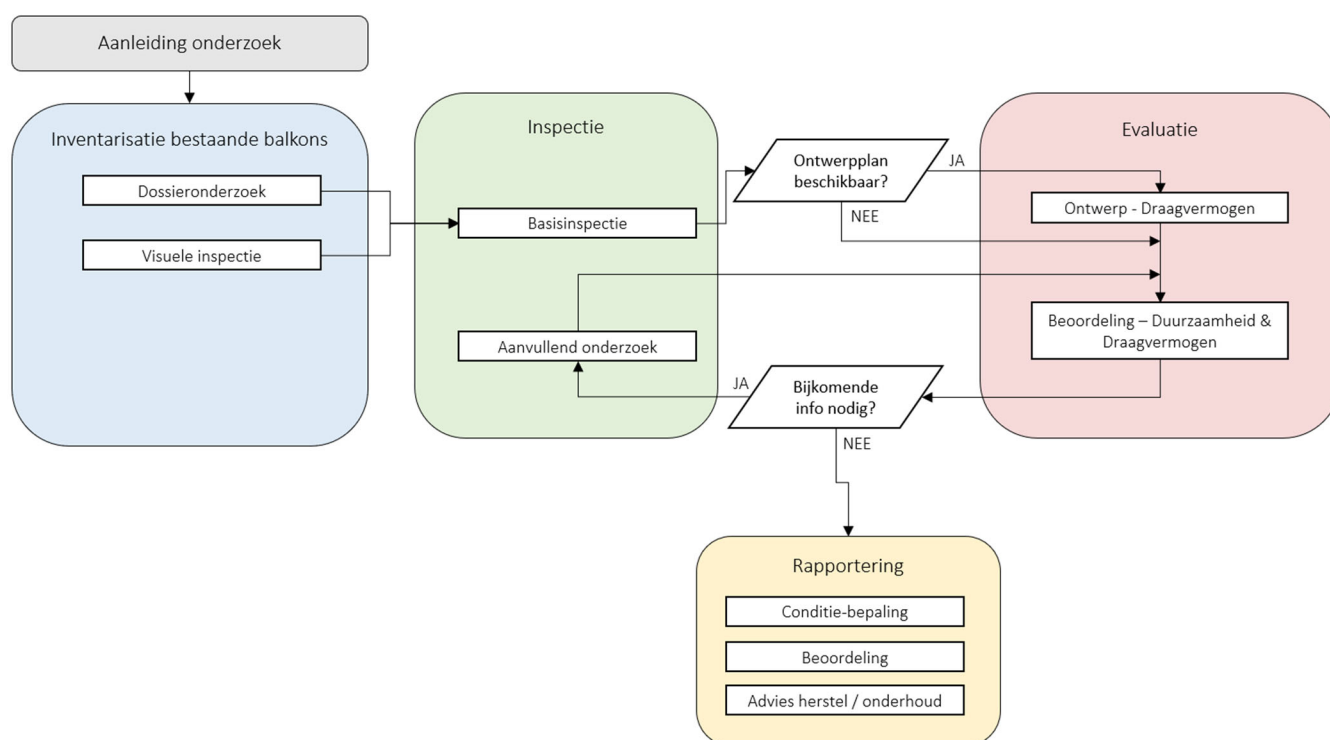
Definitie balkon – galerij:

Een balkon dat op dezelfde verdieping doorloopt over alle woningen en de toegang tot de woningen verleent, wordt een galerij genoemd. Een galerij is een openbare ruimte, dit in tegenstelling tot de meeste balkons van woningen. Onder 'balkons' worden zowel individuele (private) balkons als doorlopende platen bedoeld waarbij via tussenschotten een opdeling wordt gemaakt in verschillende terrassen van de woningen. Meestal wordt in de tekst de term 'balkon' gebruikt, wat zowel op een balkonplaat als galerijplaat kan duiden. Indien enkel specifiek een galerij wordt bedoeld, wordt dit ook zo benoemd.

Bij dit protocol hoort (i) een checklist (Excel format) die de conditie van de actuele toestand bepaalt en (ii) een rekentool (Excel format) die een inschatting van het actuele draagvermogen maakt. Opmerking: deze rekenkundige evaluaties van het draagvermogen geven een indicatie van de huidige toestand en hebben geenszins de ambitie om voorspellingen in de toekomst te doen. Voor een grondige evaluatie van de stabiliteit dient steeds een stabiliteitsingenieur gecontacteerd te worden.

De richtlijnen in het protocol en de bijhorende ontwikkelde tools werden opgesteld als een ondersteuning bij het uitvoeren van een betononderzoek aan uitkragende balkons. Echter, kennis en ervaring omtrent de schademechanismen en meettechnieken zijn noodzakelijk om de resultaten te kunnen interpreteren, een diagnose te stellen om vervolgens een geschikte herstel- en/of onderhoudsstrategie voor te schrijven.

Richtlijnen met betrekking tot het verzamelen van gegevens in het kader van de herstelprocedures zijn niet mee opgenomen in dit protocol.



Figuur 1: Protocol ter beoordeling van uitkragende betonnen balkons

Opmerking rekenkundige evaluaties draagvermogen: deze rekenmethode is louter geldig voor zuiver uitkragende gewapend betonnen balkons, dragend in één richting. Hierbij wordt de uitkragende plaat slechts aan één zijde ingeklemd in de gevel en niet ondersteund door consoles. Indien andere randvoorwaarden gelden, dient een aanpassing van de berekeningen te worden gemaakt en kan de rekentool niet zonder meer worden toegepast!

Aanleiding onderzoek balkons

In eerste instantie is het van belang om stil te staan bij de reden waarom de conditie van een gewapende betonstructuur onderzocht dient te worden. Hierbij zijn verschillende scenario's te bedenken waarom de balkons of galerijen onderzocht dienen te worden:

- Vaststelling of vermoeden van schade
- Ouderdom gebouw
- Wijziging in gebruik
- Verbouwing/renovatie
- Routinematige controle

In Nederland geldt er sinds 2016 een onderzoeksplicht voor uitkragende vloerplaten van galerijflats¹ volgens de richtlijnen van de CUR248 publicatie. Een gelijkaardige wetgeving (en handhaving van de verplichtingen) bestaat tot op heden niet in België. Bovendien is er bij appartementsgebouwen vaak een lange procedure te volgen (via de VME, syndicus,...) vooraleer er effectief tot een betononderzoek en herstel kan worden overgegaan. Daardoor wordt er vaak pas laattijdig ingegrepen met als gevolg dat er onveilige situaties kunnen ontstaan en dat herstelmaatregelen een grotere (financiële) impact kunnen hebben dan wanneer tijdig wordt ingegrepen. Met de hervorming van de wet op mede-eigendom (in werking getreden op 1 januari 2019) is getracht het beheer van gebouwen efficiënter te laten verlopen. Een langetermijnvisie en planning waaruit (preventieve) onderzoeken kunnen volgen, kan een eerste stap in de richting van een duurzamere aanpak betekenen.

¹ Bouwbesluit Online, 'Artikel 5.11 Galerijflats'. Te raadplegen via:
<https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/mrtoe2012/artikelsgewijs/hoofdstuk-5a/art5-11>

Inventarisatie bestaande situatie

De eerste stap in het protocol bestaat uit het verzamelen van informatie over de te onderzoeken balkons. Enerzijds omvat dit een dossieronderzoek (gegevens op papier) en anderzijds een visuele inspectie om de huidige toestand van de balkons te beoordelen.

Dossieronderzoek

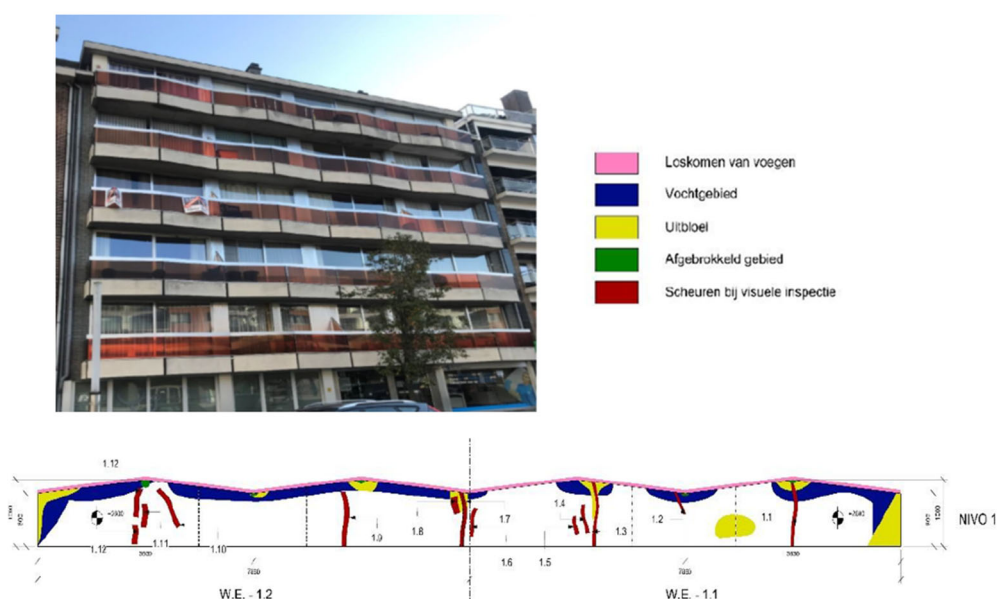
Het dossieronderzoek omvat het verzamelen van gegevens omtrent het oorspronkelijke ontwerp en gebruik van het gebouw. Bij oudere gebouwen kan dit een arbeidsintensieve taak zijn om wapenings- en bekistingsplannen en andere relevante rekennota's op te zoeken. In het merendeel van de gevallen zijn deze gewoonweg niet meer beschikbaar. Verdere gegevens van het gebouw zoals de omgeving (kust/binnenland), oriëntatie en bouwjaar dienen te worden opgezocht. Navraag bij de bewoners of gebouweigenaars kan ook relevante informatie opleveren (gebruik van dooizouten, reinigingsproducten, voorafgaand herstel of onderhoud, enz.).

Informatie over eerder uitgevoerde herstellingen en/of een voorgaande schadediagnose (rapporten) behoren ook tot het dossieronderzoek.

Daarnaast bepalen de wensen van de bouwheer tevens (deels) de randvoorwaarden van het onderzoek: uitvoeringstermijn, beschikbaar budget en gewenste levensduur(verlenging) van de balkons.

Visuele inspectie

Een tweede deel bevat een grondige visuele inspectie. Alle balkons worden hierbij visueel geïnspecteerd en een inventarisatie van de zichtbare gebreken wordt gemaakt. Hierbij is het aangewezen de beschadigde zones aan te duiden (roestvlekken, scheuren, blootliggende wapening, loskomende coating, ...) op een overzichtelijke schets zodoende een duidelijk overzicht (zowel in type, omvang als locatie) van alle zichtbare schade te bekomen (zie voorbeeld Figuur 2). Op basis van de [Balcon-e: Rekentool Conditie-score](#) kan de conditie van de balkons gekwantificeerd worden en wordt een oplijsting van de schadebeelden verkregen. De conditiescore kan zowel voor de balkons individueel of door de gebruiker gedefinieerde zones bepaald worden, alsook een globale score per verdieping en alle balkons samen.



Figuur 2: Voorbeeld van weergave visuele schadebeelden op schets [overgenomen van: Verslag betononderzoek balkons residentie "CENTRUM", Ivan Kozlov en Nele Van Impe]

Conditiescore

Het bepalen van de conditiescore heeft als doel op een eenduidige en objectieve wijze de conditie van het (uitkragend) balkon of de galerij vast te leggen. De procedure ter bepaling van de conditiescore is grotendeels gebaseerd op NEN 2767 'Conditiemeting van gebouw- en installatiedelen' die vertaald werd naar de Belgische praktijk en de meest voorkomende schadebeelden bij uitkragende gewapende balkons.

Afhankelijk van (i) de ernst, (ii) de omvang en (iii) de intensiteit van de schade wordt een score van 1 (uitstekend) tot 6 (geschikt voor sloop) toegekend. Tabel 1 geeft weer hoe de score bepaald wordt aan de hand van deze drie parameters. De bijhorende conditiescore rekentool kan gebruikt worden om de conditiescore te bepalen: per balkon wordt ingevoerd welke schade er voorkomt (intensiteit en omvang) waaruit vervolgens de conditie per balkon kan bepaald worden.

Bijkomende toelichting berekening conditiescore: zie [Bijlage A](#) en | [Balcon-e: Rekentool Conditiescore](#)

Tabel 1: Conditiescore volgens (i) ernst, (ii) intensiteit en (iii) omvang van het gebrek

Ernst	Intensiteit	Omvang				
		Incidenteel < 2%	Plaatselijk 2 – 10%	Regelmatig 10 – 30%	Aanzienlijk 30 – 70%	Algemeen > 70%
Gering	Laag (beginstadium)	1	1	1	1	2
	Midden (gevorderd stadium)	1	1	1	2	3
	Hoog (eindstadium)	1	1	2	3	4
Matig	Laag (beginstadium)	1	1	1	2	3
	Midden (gevorderd stadium)	1	1	2	3	4
	Hoog (eindstadium)	1	2	3	4	5
Ernstig	Laag (beginstadium)	1	1	2	3	4
	Midden (gevorderd stadium)	1	2	3	4	5
	Hoog (eindstadium)	2	3	4	5	6

In deze fase van het onderzoek is de conditiescore louter gebaseerd op visuele kenmerken: kennis en ervaring in het herkennen van betonschade is hierbij van primordiaal belang. Voor een overzicht van typische schadekenmerken en hun oorzaken wordt verwezen naar | [Balcon-e: Vademecum der gebreken](#).

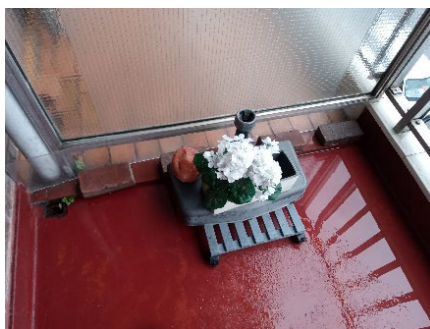
Visuele kenmerken zeggen weinig over het draagvermogen van de structuur. Bovendien kunnen bepaalde gebreken aan het zicht onttrokken zijn door aanwezige afwerkingslagen. Daarom is het van primordiaal belang om na het doorlopen van het protocol (Figuur 1) de conditie opnieuw te beoordelen en zo nodig een ge-update conditiescore te bepalen, op basis van de uitgevoerde niet-destructieve én destructieve metingen, die de volledige schade, inclusief oorzaak, in rekening brengt.

Het draagvermogen wordt apart beoordeeld, en maakt geen rechtstreeks deel uit van de conditiescore. Het draagvermogen kan echter wel beïnvloedt worden door duurzaamheidsaspecten, bijvoorbeeld wanneer de wapeningsdoorsnede afneemt als gevolg van corrosie.

Risicofactoren

Hoewel een balkon er visueel goed kan uitzien (lage conditiescore), zijn er bepaalde factoren (of combinaties van meerdere factoren) die een verhoogd risico vormen met betrekking tot de duurzaamheid en het draagvermogen van de constructie. Er wordt bij voorkeur rekening gehouden met deze risicofactoren om te vermijden dat de situatie te gunstig wordt ingeschat. Deze risicofactoren zijn:

- **Het ontbreken van of een doorbroken waterdichting**
Het ontbreken van of een doorbroken waterdichting zorgt ervoor dat indringing van vocht en/of schadelijke stoffen nauwelijks verhinderd wordt.
- **Omgeving**
Gebouwen in kustomgeving hebben een hoger risico op schade door de aanwezigheid van chloriden. Kustomgeving wordt gedefinieerd volgens EN 206 en NBN B15-001 als de zone tot 3 km van de kust.
- **Bouwjaar/ouderdom gebouw**
Bij gebouwen in een kustomgeving (aanwezigheid chloriden) wordt een hoger risico verwacht bij een ouderdom vanaf 25 jaar. In het binnenland (bij vermoeden afwezigheid chloriden) wordt bij een ouderdom vanaf 40 jaar een verhoogd risico aangegeven. Bij constructies in het binnenland kan de aanwezigheid van chloriden niet rechtstreeks worden uitgesloten (het gebruik van dooizouten, bepaalde reinigingsproducten en het gebruik van calciumchloride als bindingsversneller). Tot voor de jaren '70/'80 was het gebruik van calciumchloride toegelaten. Heden is dit verboden.
- **Omvang gebouw**
Hoe groter het gebouw, des te groter de kans op het optreden van afwijkingen. Bovendien, wanneer een balkon faalt op een hoger gelegen verdieping, zal dit in geval van bezwijken een grotere gevolgschade met zich meebrengen (balkon neemt onderliggende balkons mee in val).
- **Ontwerp**
Een ongunstig scenario stelt zich wanneer het water niet afloopt zoals voorzien in het ontwerp. Bijvoorbeeld: door een foutieve helling van de chape wordt het water niet afgevoerd. Indien het water hierdoor blijft staan aan de gevel van het gebouw, is dit ongunstig omdat zich hier het kritiek punt bevindt van de dragende wapening. Indien het water zich verzamelt tegen de boord van de balustrade (zie Figuur 3) is dit mogelijks ongunstig voor de verankering van de balustrade.



Figuur 3: Water loopt niet naar de voorziene afvoer

- **Grote uitkraging en zware balustrade**

Een balkon met een grotere uitkraging vormt een groter risico op vlak van draagvermogen. Een zware balustrade (gemetselde of betonnen borstwering) aan het uiteinde kan hierbij een bijkomend negatief effect hebben.

- **Gebruik van dooizouten**

Op galerijen (die de toegang tot de appartementen vormen) is de kans dat dooizouten ter bestrijding van gladheid worden gebruikt groter dan bij individuele (private) balkons.

- **Andere ervarings-gerelateerde factoren**

De oriëntatie kan een belangrijke rol spelen in de aanvoer van (regen)water:
ZW-georiënteerde geveldelen ervaren grotere regeninslag dan ZO-georiënteerde elementen.

Een eerste plaatsbezoek zal ook een indicatie geven omtrent de dringendheid van eventuele preventieve of curatieve acties en omtrent de omstandigheden waarin de werkzaamheden voor het verder onderzoek zullen plaatsvinden (bereikbaarheid balkons, voorziening stroom voor hulpmiddelen tijdens onderzoek).

Er wordt geadviseerd om, in de mate van het mogelijke, 100% van de balkons visueel te inspecteren, om alle zichtbare schade in kaart te kunnen brengen en zo de meetlocaties gericht te kiezen. De grondige visuele inspectie kan ook uitgevoerd worden tijdens de basisinspectie.

Voorbeeld: Conditie-score

In dit voorbeeld wordt de conditiescore van de balkons van een appartementsgebouw te Halle bepaald. Deze conditiescore houdt enkel rekening met duurzaamheidsgerelateerde aspecten, het draagvermogen wordt niet mee in de analyse opgenomen. De zes balkons van het appartementsgebouw bevinden zich aan drie verschillende gevels: gericht naar het zuiden (aangeduid met "Z"), gericht naar het oosten (aangeduid met "O") en naar het noorden (aangeduid met "N", niet zichtbaar op de foto). Aan elke gevel bevindt zich telkens een balkon op de eerste en tweede verdieping, boven elkaar gepositioneerd.



Figuur 4: Appartementsgebouw te Halle

De conditiescore werd bepaald op basis van een grondige visuele inspectie aangevuld met destructieve en niet-destructieve meettechnieken. De intensiteit en omvang wordt per balkon ingegeven in de [Balcon-e: Conditie-score rekentool](#) (Figuur 5). Vervolgens kan de conditiescore van de balkons individueel bepaald worden en per gevel. De score per gevel (analoog aan score per 'verdieping', afhankelijk hoe de gebruiker de zones definieert in de rekentool) is een gewogen gemiddelde waarbij ook rekening wordt gehouden met de grootte van elk balkon, aangezien de balkons verschillende afmetingen hebben.

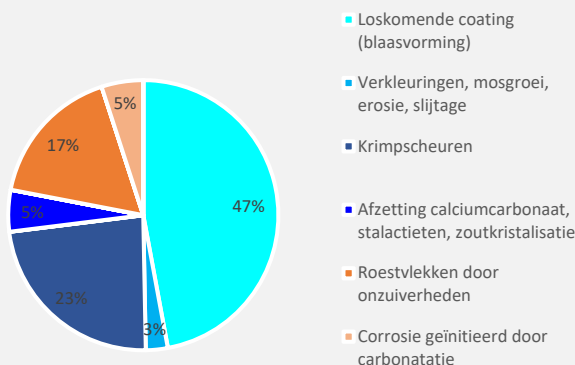
Naam / Zone / Info	Mechanisch					Fysisch					Chemisch		Corrosie			
	Gevoelige omgeving (aanblijven, auto's, etc.)	Overhang [m]	Overhang [m]	Overhang [m]	Overhang [m]	Loskomende coating (blaaivorming)	Verkleuringen, mosgroei, erosie, slijtage	Krimp scheuren	Verkleuringen, mosgroei, erosie, slijtage	Verkleuringen, mosgroei, erosie, slijtage	Schade door A/B	Overhang [m]	Ander chemische versnelling	Overhang [m]	Korrosie geïnitieerd door carbonaat	Overhang [m]
N1						3	30								2	10
N2						1	10								1	10
O1						1	10								1	10
O2						1	10								1	10
Z1						1	10								1	10
Z2						1	10								1	10

Figuur 5: Balcon-e Conditie-score rekentool – invullen intensiteit en omvang schadegebreken per balkon

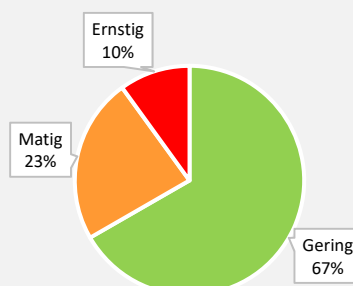
Figuur 7 geeft de resultaten weer: een score van 2 à 3 geeft een goede tot redelijke conditie weer. Hierbij is de veroudering beginnend en plaatselijk zichtbaar, maar de functie van de constructie komt nog niet in gevaar. Aanvullend worden in het rapport uit de [Balcon-e: Conditie-score rekentool](#) een aantal figuren weergegeven die de schade samenvatten: Figuur 6 geeft de oorzaak en het gevolg van de voorkomende schade weer.

Naam / Zone / Info	Gevel	Balkon	Score	Volume
NOORD				3
N1		1	3	0,24
N2		2	2	0,36
OOST				3
O1		1	3	1,37
O2		2	2	1,44
ZUID				2
Z1		1	1	0,78
Z2		2	2	1,37

Figuur 7: Conditie-score per balkon en per gevel



Figuur 6: Oorzaak schade die voorkomt (rechts) - gevolg van de schade die voorkomt (links)



Inspectie

Tijdens de inspectiefase worden destructieve en niet-destructieve meettechnieken ingezet, om de aard, omvang en oorzaak van de aanwezige schade te kunnen achterhalen. In het schema (Figuur 1) wordt het gedeelte 'inspectie' weergegeven na het vooronderzoek, maar in werkelijkheid kan dit ook simultaan verlopen. De eerste inspectie ter plaatste wordt in dit protocol aangeduid als 'basisinspectie'. In dit onderdeel worden de technieken voorgesteld die een eerste beoordeling van de balkons mogelijk maakt. Hierbij is het van belang dat zowel zichtbaar beschadigde als onbeschadigde zones meegenomen worden in het onderzoek om tot een betrouwbare diagnose te komen.

Wanneer na deze eerste evaluatie blijkt dat er bijkomende informatie nodig is om een advies omtrent de opvolging en/of herstel van de constructie te kunnen formuleren, zal een aanvullend onderzoek dienen worden uitgevoerd. De inhoud en omvang van dit aanvullend onderzoek zal afhangen van de aard van de benodigde bijkomende informatie om een gefundeerde beoordeling te kunnen maken.

Praktische opmerking i.v.m. communicatie met de bewoners omtrent onderzoek:
Een betononderzoek kan voor de bewoners hinder veroorzaken en een gevoel van onveiligheid teweeg brengen. Daarom is het van belang duidelijk te communiceren wat het doel van dit onderzoek is en hoe dit zal verlopen.

Ter aanvulling worden in [Bijlage B](#) enkele hulpschema's meegegeven om vanuit een visueel kenmerk in combinatie met (niet-) destructieve metingen tot een identificatie van de oorzaak van een schadefenomeen te komen.

Basisinspectie

Hierbij worden richtlijnen gegeven omtrent (i) het selecteren van het aantal meetlocaties en bijhorende spreiding en (ii) de metingen die dienen te worden uitgevoerd tijdens de basisinspectie. Er dient opgemerkt te worden dat er een groot verschil kan zijn tussen het advies omtrent de meetlocaties en hetgeen effectief in praktijk zal/kan worden uitgevoerd (omwille van bereikbaarheid, toestemming eigenaars, budgettaire restricties, ...).

Aantal en spreiding meetlocaties

De beschikbare informatie, de grootte van het gebouw, het aantal risicofactoren (omgeving, vermoeden van chloriden, enz.) en de conclusies uit de visuele inspectie (conditiescore) spelen een rol in de keuze van het aantal metingen dat dient te worden uitgevoerd.

Voorafgaand aan het effectieve betononderzoek dienen de meetlocaties bepaald te worden. Het is aangewezen om dit aantal te bepalen op basis van de visuele inspectie (visueel bepaalde conditiescore). Belangrijk is om de locaties zo te kiezen dat er een juist beeld van de toestand van de constructie kan gevormd worden. De locaties worden gespreid over de verdiepingen en over de balkons (of zones) per verdieping en per zijde van het gebouw (verschil in oriëntatie). Daarbij dient ook rekening gehouden te worden met het aantal locaties in een onbeschadigde en beschadigde zone. De onbeschadigde zones dienen daarbij als referentie. Als advies wordt hiervoor een verhouding van 30/70 onbeschadigd versus beschadigd gegeven.

De minimaal aan te bevelen meetlocaties welke tijdens de basisinspectie dienen te worden onderzocht, hangt af van tal van factoren: omvang en oriëntatie van het gebouw, conditie en vastgestelde schadebeelden, ouderdom, enz. Het aantal en de positie van de meetlocaties dient zo geselecteerd te worden dat een zo volledig mogelijk beeld bekomen wordt. Indien het aantal meetlocaties beduidend kleiner is dan de advieswaarden (bijvoorbeeld door budgettaire restricties), wordt mogelijks een vertekend beeld van de constructie bekomen wat achteraf tijdens het herstel kan leiden tot onvoorziene gebreken en bijgevolg bijkomende onvoorziene (meer)kosten.

Uit te voeren metingen

De basisinspectie omvat een aantal niet-destructieve (NDT) en destructieve (DT) metingen:

- Beschrijving schadebeelden per geselecteerde meetlocatie (NDT₁)
- Registratie van de balkonafmetingen en identificatie van de lagenopbouw (NDT₂)
- Wapeningsdetectie (NDT₃) en bepaling van de attributieve eigenschappen van de wapening (DT₁)
- Bepaling van het chloridegehalte (DT₂)
- Bepaling van de carbonatatie diepte (DT₃)
- Bepaling van de uniformiteit van het beton met behulp van sclerometerproeven (NDT₄)

Een overzicht van de courant toegepaste meettechnieken en een beschrijving voor de uitvoering ervan wordt gegeven in [| Balcon-e: Meettechnieken](#).

Opmerking: In bepaalde gevallen (sterk vermoeden van corrosie) kan het zinvol zijn om ook potentiaalmetingen uit te voeren tijdens de basisinspectie. Dit wordt echter niet als standaard werkwijze gehanteerd.

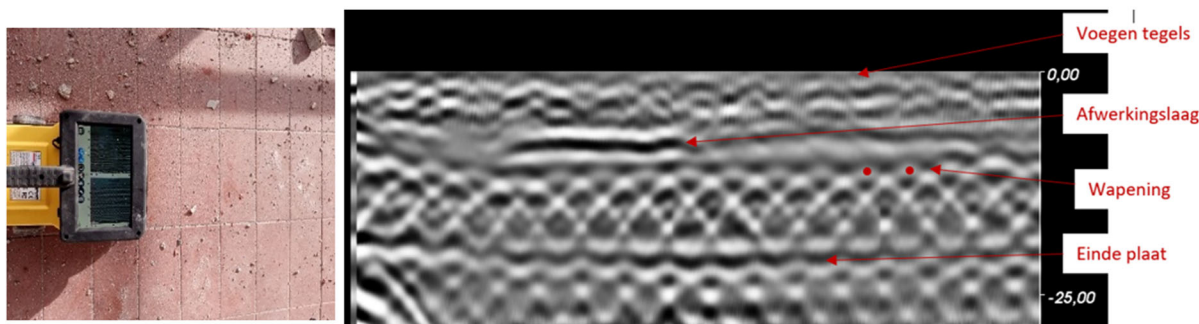
(a) Beschrijving schadebeelden per geselecteerde meetlocatie (NDT₁)

Per meetlocatie wordt een korte omschrijving van de actuele toestand opgemaakt, inclusief de beschrijving van het vastgestelde schadebeeld en positie van de meetlocatie. Dit wordt aangevuld met fotomateriaal.

(b) Registratie van de balkonafmetingen en identificatie van de lagenopbouw (NDT₂)

De afmetingen van het balkon (breedte, lengte, dikte) kunnen op niet-destructieve wijze bepaald worden.

De dikte van de gewapende betonplaat en dikte en materiaal van de afwerkingslagen is een noodzakelijke inputparameter voor het bepalen van de permanente belastingen op het balkon. Hierbij kan ook worden gecontroleerd of er al dan niet een waterkering aanwezig is. Bepaalde meettoestellen kunnen hierbij een hulp bieden en maken het mogelijk om op een snelle manier meerdere metingen uit te voeren. De opbouw van het balkon wordt vervolgens weergegeven in een schets. Met radartechnieken en/of ultrasone tomografie (zie voorbeeld Figuur 8) kunnen laagdiktes en opbouwen op niet destructieve wijze geïdentificeerd worden (mogelijkheden en beperkingen beschreven in [| Balcon-e: Meettechnieken](#)).



Figuur 8: Radar toestel (links) – beeld radar waarop afwerkingslaag, positie wapening en de totale dikte van de balkon kunnen worden waargenomen (rechts)

Indien er onduidelijkheid heerst of indien er één of meerdere afwerkingslagen (zandbed/chape/tegels) aanwezig zijn, kan op destructieve wijze de opbouw nagegaan worden. Hierbij dient er wel rekening gehouden te worden met het feit dat eventuele aanwezige waterdichtingslagen lokaal doorbroken kunnen worden.

Advies aantal metingen		
	DT/NDT	Advies aantal
Lengte uitkraging	NDT	1 keer per type balkon
Dikte balkonplaat	NDT	Elke meetlocatie
Lagenopbouw (per type opbouw)	NDT	3x/gebouw
Dikte balkonplaat	DT	Minstens 1 x/gebouw
Lagenopbouw (per type opbouw)		Bij voorkeur 3x/gebouw

Bijkomende opmerking: de hoogte van de balustrade wordt eveneens opgemeten; bij oudere gebouwen is de balustrade meestal niet meer reglementair met betrekking tot de veiligheid (huidige vereisten in NBN B03-004).

(c) Wapeningsdetectie (NDT3) en bepaling van de attributieve eigenschappen van de wapening (DT1)

Via wapeningsdetectie (NDT) worden de invoerparameters bepaald:

- Betondekking op de aanwezige wapening
- Reconstructie van de positie van de wapening en het aantal staven per lopende meter

De betondekking kan zowel langs de bovenzijde als de onderzijde van het balkon bepaald worden. De betondekking is van belang voor de bepaling van het draagvermogen (positie wapening uitgedrukt als effectieve hoogte) en in het kader van duurzaamheid (carbonatatief front en chloridgehalte ter hoogte van de wapening).

Opmerking: Wanneer de effectieve hoogte bepaald wordt via de betondekking aan de bovenzijde, dient ook de dikte van de plaat gekend te zijn. Het is dus ook van belang de dikte van de plaat nauwkeurig te bepalen (en eventuele afwerkingslagen).

Wapeningsdetectie: onderwapening en wapening balkonneus

De wapening aan de onderzijde en de rand (neus) van de gewapend betonnen plaat (zie Figuur 9) wordt onderzocht in het kader van duurzaamheid: de wapening heeft op deze plaatsen vaak de minste dekking en is bijgevolg gevoeliger voor corrosie. Zowel de wapening loodrecht op de gevel als de verdeelwapening (evenwijdig met de gevel) worden opgemeten en in kaart gebracht. De onderzochte meetlocaties dienen een goede spreiding over het aantal verdiepingen te vertonen en een spreiding volgens de locatie aan de onderzijde (tegen gevel, midden, neus).

Opmerking: voor een beoordeling van het draagvermogen wordt de onderwapening (als 2^e wapeningslaag) niet in rekening gebracht.



Figuur 9: Onderzijde en neus balkon

Wapeningsdetectie: bovenwapening

Onderzoek naar de bovenwapening, de hoofdwapening in het geval van een zuiver uitkragende plaat, is van belang om een uitspraak te kunnen doen over het draagvermogen van een balkon. Dit omvat enerzijds de positie van de bovenwapening, maar anderzijds dient ook de kans op corrosieschade onderzocht te worden. Wanneer corrosie de bovenwapening zou kunnen aantasten, zal dit in de beoordeling van het draagvermogen in rekening moeten worden gebracht. Geadviseerd wordt om de scan zo dicht mogelijk bij de aansluiting met de gevel uit te voeren, aangezien de kritieke zone zich daar bevindt. In het kader van de bepaling van het draagvermogen is de verdeelwapening (wapening die evenwijdig met de gevel loopt) niet van belang (i.e. voor de type balkons die hier worden beschouwd, cf. infra).

Opmerking: mogelijks loopt de bovenwapening ter hoogte van de aansluiting niet (helemaal) door tot aan het uiteinde van het balkon aan de balustrade. Ter controle kan hiervoor een scan meer naar het midden en/of uiteinde van het balkon genomen worden. In dat geval dient er verder onderzocht te worden op welke wapeningsdoorsnede er gerekend kan worden wanneer het draagvermogen wordt geëvalueerd.

Indien de dikte van de afwerkingslagen beperkt is, is het bepalen van de betondekking het eenvoudigst langs de bovenzijde van de plaat. Indien er maar één wapeningslaag aanwezig is, kan de betondekking via de onderzijde opgemeten worden, mits dit in het meetbereik van het toestel valt. Indien er meerdere wapeningslagen zijn of indien het meetbereik van het toestel ontoereikend is om de betondekking langs de bovenzijde te bepalen, kan er gebruik worden gemaakt van radar-metingen om de staven te lokaliseren.

Bij individuele balkons kan enkel een uitspraak over het draagvermogen gedaan worden indien effectief op dat balkon de wapening in kaart werd gebracht. Hierbij wordt geadviseerd om een scan over de volledige lengte van het balkon uit te voeren. Voor een galerij wordt geadviseerd 30% van de lengte van die verdieping te scannen, met een minimum van 5 meter per verdieping.

Opmerking: De CUR248 publicatie adviseert om tijdens de basisinspectie minimaal 10% van de woningen te onderzoeken (woningbreedte 4 à 6 meter verondersteld bij galerijflats) met een minimum van 3 platen. Van de onderzochte zones wordt het draagvermogen gecontroleerd.

Bepaling attributieve eigenschappen wapening

Ter controle van de positie en het bepalen van de attributieve eigenschappen van de wapening dient (op destructieve wijze) een kijkvenster te worden gemaakt: hierbij wordt in een bepaalde zone waar de wapening eerder werd gelokaliseerd, de wapening destructief vrijgemaakt (zie voorbeeld Figuur 10).

Volgende informatie kan hieruit bekomen worden:

- Visuele controle toestand wapening (is de staaf al aan het corroderen?)
- Uitzicht van de wapening: glad – geribd (dit geeft een indicatie van de staalkwaliteit)
- De positie van de wapening ter validatie (controle niet-destructieve wapeningsdetectie)
- De diameter van de langswapening



Figuur 10: kijkvenster wapening

Kennis van de diameter is van belang voor het berekenen van het draagvermogen maar heeft ook invloed op de resultaten van de wapeningsdetectie en de betondekkingsmetingen. De staafdiameter opgemeten met een wapeningsdetector is slechts een indicatie (afwijkingen groter dan één handelsmaat zijn courant) en dient dus destructief gevalideerd te worden.

Advies aantal metingen		
	DT/NDT	Advies aantal
Wapeningsdetectie hoofdwapening (= bovenwapening loodrecht op de gevel) voor berekening draagvermogen	NDT	Elke meetlocatie: Balkon: volledige lengte (linescan) Galerij: 30% per verdieping
Wapeningsdetectie voor duurzaamheidsonderzoek	NDT	Minimaal 1 meter per meetlocatie (zowel hoofd als verdeelwapening)
Kijkvenster ter controle positie en bepaling attributieve eigenschappen wapening	DT	3 x per gebouw

Opmerking: bij sterke variaties op de resultaten (vb. bij het destructief valideren van de wapeningsdiameter wordt telkens een andere diameter geconstateerd) kan aangewezen zijn om bijkomende locaties te onderzoeken.

(d) Bepaling van het chloridegehalte (DT2)

In het kader van duurzaamheid is het van belang om het chloridgehalte ter hoogte van de wapening te kennen. Indien het kritiek chloridgehalte overschreden wordt, wordt de kans op corrosie waarschijnlijk geacht. Voor een chloridemeting dient voorafgaand een wapeningsdetectie te gebeuren in dezelfde zone, waarbij deze resultaten naast de resultaten van de metingen van het totaal chloridgehalte geplaatst worden. Een exacte grenswaarde voor het kritiek chloridgehalte vastleggen is niet evident omdat dit afhankelijk is van verschillende factoren (zie toelichting in [Bijlage C](#)). De kans op corrosie wordt klein geacht indien de waarde kleiner is dan 0,4% en hoog indien er een waarde wordt gevonden boven 1,0% volgens NBN B15-001. Deze waarden gelden voor het chloridgehalte uitgedrukt t.o.v. de cementmassa.

Opmerking: Het resultaat van een chlorideproef wordt meestal uitgedrukt in massapercentage t.o.v. de betonmassa ($m_{\%beton}$). Deze waarde wordt nadien omgerekend naar een percentage t.o.v. de cementmassa ($m_{\%cement}$). Deze waarde kan worden omgerekend via de verhouding volumieke massa van beton (vb. 2400 kg/m^3) op hoeveelheid cement per 1 m^3 beton (vb. 300 kg). De omrekeningsfactor heeft een grootteorde van 7 à 8.

*Voorbeeld: $0,01 m_{\%beton} = 0,01 * 2400/300 = 0,08 m_{\%cement}$*

Chloriden kunnen initieel ingemengd zijn (door het gebruik van een bindingsversneller of vervuilde grondstoffen) of achteraf zijn ingedrongen (gebruik dooizouten, reinigingsproducten², zee-omgeving). De aanwezigheid van chloriden is met andere woorden nooit uit te sluiten en daarom dienen steeds chloriden-metingen tijdens de basisinspectie te worden uitgevoerd. Het aantal testen die worden uitgevoerd kan echter wel afhangen van het vermoeden of er al dan niet chloriden aanwezig zullen zijn of van de vastgestelde schadebeelden tijdens de voorafgaande inspectie.

Naast een chloride-gehalte bepaling ter hoogte van de wapening kunnen ook chlorideprofielen doorheen de betondekking worden opgesteld. Hierbij wordt op dezelfde meetlocatie (hetzelfde boorgat of kern) het chloridgehalte op verschillende dieptes bepaald. Via dit profiel kan achterhaald worden of de chloriden initieel waren ingemengd of achteraf zijn ingedrongen. De praktijk wijst echter ook uit dat een profiel zeer grillig kan verlopen en dat het dus niet altijd mogelijk is om dit eenduidig af te leiden uit een profiel. Het opstellen van een profiel is ook nodig indien een restlevensduurinschatting gevraagd is (zie verder: bijkomend onderzoek).

Indien uit het profiel een restlevensduurinschatting wenst bepaald te worden, wordt geadviseerd om het chloridegehalte op (minimaal) 5 à 6 dieptes te bepalen, bij voorkeur op een ontnomen kern [aanbeveling volgens CUR 121]. Wanneer men enkel wilt achterhalen of de chloriden zijn ingemengd of ingedrongen zijn, kan een profiel op drie dieptes volstaan.

Een strategie die kan gevolgd worden tijdens de basisinspectie, kan bestaan uit het ontnemen van kernen of boorstof op meerdere dieptes op alle geselecteerde meetlocaties. Vervolgens wordt in functie van een eerste reeks chloridemetingen er verder beslist of de andere monsters al dan niet worden getest. Indien uit de eerste reeks metingen ter hoogte van de wapening blijkt dat er geen chloriden aanwezig zijn, is het opstellen van profielen minder/niet van toepassing. Wanneer het chloridegehalte de kritieke waarde overstijgt, wordt aangenomen dat de restlevensduur gelijk is aan nul.

² Niet alle reinigingsproducten bevatten chloriden. Een typisch voorbeeld dat wel chloriden bevat is bleekwater (javel).

In de andere gevallen, wanneer chloriden binnendringen maar nog geen kritiek gehalte ter hoogte van de wapening hebben bereikt, kan een voorzichtige inschatting gemaakt worden van het tijdstip waarop de wapening op die locatie kan depassiveren (initiatiefase).

Voor het bepalen van het chloride-gehalte zijn er verschillende technieken. Deze technieken worden beschreven in | [Balcon-e: Meettechnieken](#).

		Geen vermoeden aanwezigheid Chloriden	Wel vermoeden aanwezigheid Chloriden
	DT/NDT	Advies aantal	Advies aantal
Chloridegehalte t.h.v. wapening	DT	1 x per 2 meetlocaties	1 x per meetlocatie
Profiel op x dieptes	DT	<i>Dit wordt uitgevoerd in het kader van restlevensduuranalyse, maar werd niet binnen Balcon-e verder behandeld</i>	

(e) Bepaling van de carbonatatie diepte (DT3)

De meest gebruikte techniek om het carbonatatiefront te bepalen is door een vers breukvlak te besproeien met een zuur-base indicator (meest courant in gebruik: fenolftaleïneoplossing (1% concentratie)). Deze methode staat beschreven in NBN EN 14630. Dit kan zowel op boorstof (rechtstreeks ontnomen of door een kern te vermalen) of in het boorgat zelf getest worden. Het carbonatatiefront wordt vergeleken met de betondekking op dezelfde locatie.

Opmerking: corrosieschade geïnitieerd door carbonatatie zal zich voornamelijk voordoen aan balkonranden of aan de onderzijde, wat tot gevaarlijke situaties van vallende betonstukken rondom de balkons kan leiden. De betondekking is op deze plaatsen vaak beperkt. Het draagvermogen zal echter minder vaak worden aangetast als gevolg van de uniforme corrosie geïnitieerd door carbonatatie, dit in tegenstelling tot corrosie door chloriden waarbij putcorrosie optreedt. De bovenwapening (bepalend voor het draagvermogen) bevindt zich immers meestal buiten het vochtwisselingsgebied waardoor deze zelden zal corroderen als gevolg van het carbonatatieproces.

	DT/NDT	Advies aantal
Carbonatatie diepte	DT	1 x per meetlocatie

Opmerking: ontnemen monsters bij DT2 en DT3

Stalen voor het chloridegehalte en de carbonatatie diepte te analyseren kunnen via het ontnemen van boorstof of op kernen. Beide methodes hebben voor- en nadelen. Er kan geopteerd worden om een combinatie van stalen (vb. 50/50%) te nemen om de analyses uit te voeren.

	Voordelen	Nadelen
Boorstof	*Snelle methode *Weinig destructief (diameter 20 mm)	*Mogelijks beïnvloeding van het resultaat door het boren op een granulaat
Kern	*Nauwkeuriger opmeten dieptes *Kernbeschrijving en visualisatie betonsamenstelling mogelijk	*Arbeidsintensief om stalen te nemen en bewerking achteraf (nadien kernen nog vermalen tot boorstof voor chloride-metingen) *Destructief (diameter > 50 mm)

(f) Bepaling van de uniformiteit van het beton met behulp van sclerometerproeven (NDT4)

Door het afkloppen van het oppervlak met een hamer kunnen holklinkende zones, verzwakte zones en eventuele delaminaties gedetecteerd worden.

De hardheid van het beton kan met behulp van een sclerometer (Schmidt hamer) bepaald worden (NBN EN 12504-2). Deze methode kan gebruikt worden om zones met gelijke betonkwaliteit (uniformiteit) af te bakenen. Echter, deze resultaten mogen niet gebruikt worden ter bepaling van de sterkteklasse van het beton. Voor een rekenkundige bepaling van het draagvermogen (waarbij de druksterkte van het beton een invoerparameter is) zijn drukproeven op kernen nodig (eventueel in combinatie met terugslagwaarden van de sclerometer om het aantal destructief te ontnemen kernen te reduceren), zoals ook aangegeven in NBN EN 13791.

	DT/NDT	Advies aantal
Sclerometerproeven	NDT	Vrij te kiezen

Voorbeeld: positie wapening

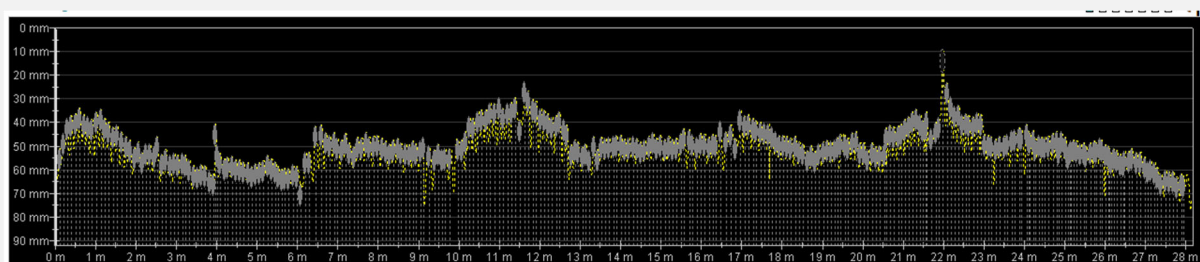
Een variatie van de positie van de (hoofd)wapening werd opgemerkt over galerijplaten van de verschillende verdiepingen van een appartementsgebouw te Brussel. Volgens de ontwerpplannen die teruggevonden werden zouden de opbouw bestaan uit een prefab betonplaat van 100 mm waarbij de betondekking langs de bovenzijde 20 mm bedraagt. Er zouden zich 11 staven van diameter 10 mm per lopende meter bevinden. De afwerkingslaag bestaat uit een cementering van ca. 30 mm dik.



Figuur 11: Appartementsgebouw met galerijen te Brussel

Voorbeeld: positie wapening (vervolg)

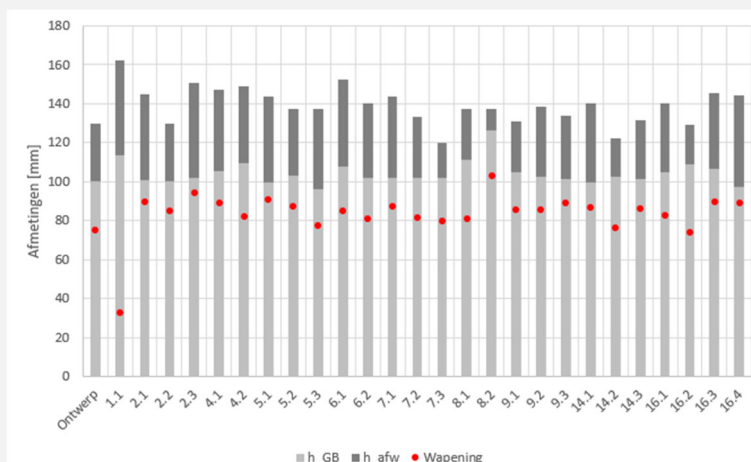
Met een wapeningdetector werd de positie van de wapening langs de bovenzijde bepaald: een totale dekking van 50 mm wordt verwacht, wat zich gewoonlijk binnen het meetbereik van zo'n toestel bevindt. Een voorbeeld is te zien op onderstaande Figuur 12. Er wordt opgemerkt dat op eenzelfde verdieping de positie wapening sterk kan variëren: hier werden waarden tussen 23 en 66 mm bepaald. Door het ontnemen van kernen doorheen de volledige galerijplaat kan op destructieve wijze de dikte van de GB-plaat en cementeringslaag worden achterhaald (zie vb. Figuur 13 van zelfde verdieping, kernboring telkens genomen op ca. 10 cm van de gevel). Hieruit blijkt dat ook de dikte van de cementeringslaag kan variëren, hier zowel 18 en 42 mm opgemeten. Er wordt dus opgemerkt dat de variatie in resultaten bepaald via een wapeningsdetector te wijten kan zijn aan een variatie op de positie van de staven maar anderzijds ook door een variatie van de afwerkingslaag in dit geval.



Figuur 12: Voorbeeld wapeningsdetectiescan

Op verschillende verdiepingen werden zowel wapeningsdetectiemetingen uitgevoerd als kernen ontnomen. Wanneer de resultaten van de betondekkingsmetingen en de lagenopbouw worden gecombineerd kan een "doorsnede" bekomen worden zoals weergegeven in Figuur 14. Hiervoor werd de DT bepaalde waarde van de laagdikte genomen bepaald op een kern en een gemiddelde NDT waarde van de wapeningsdetectie in de zone van 1 meter rond de opening van de kern. Met uitzondering van verdieping 1, blijkt de wapening zich vanuit structureel standpunt op een gunstige positie te bevinden. Op de eerste verdieping echter, gaf het wapeningstoestel aan dat de wapening buiten het bereik ligt (over de volledige lengte van de plaat). Uit destructieve validatie van de positie blijkt dat de wapening zich ongeveer in het midden tot lager dan het midden van de GB-plaat bevindt. Er bevindt zich dus geen wapening in de trekzone van het balkon, wat vanuit structureel standpunt een ernstige situatie kan vormen.

De positie van de wapening kan dus zeer sterk per zone/verdieping verschillen binnen eenzelfde project. Er kan dus geen uitspraak over het draagvermogen van een balkon gedaan worden op basis van wapeningsdetectie van andere balkons/verdiepingen. Bovendien kan het nodig zijn om bij lange doorlopende galerijplaten ook verschillende zones te definiëren



Figuur 14: Opbouw ontnomen kernen (DT) en positie wapening (NDT bepaald)



Figuur 13: Twee kernen van V7, verschillende diktes afwerkingslaag

Aanvullend onderzoek

Indien onvoldoende (nauwkeurige) informatie werd bekomen via de basisinspectie kan een aanvullend onderzoek nodig zijn. Welke meettechnieken er dienen ingezet te worden en hoeveel (bijkomende) locaties er bekeken worden tijdens dit aanvullend onderzoek, zal sterk afhankelijk zijn van de voorgaande evaluaties.

Aanvullend onderzoek m.b.t. corrosie

Met betrekking tot een beoordeling over mogelijke corrosieproblemen in de toekomst, kan het gewenst zijn om meer inzicht te krijgen in hoe snel chloriden indringen en/of de snelheid waarmee het carbonatatiefront opschuift in het beton, waaruit een restlevensduurinschatting kan volgen. Om een inschatting te kunnen maken zullen er voldoende metingen (zowel in aantal, spreiding en eventueel ook opvolging in de tijd) dienen worden uitgevoerd. In het geval van chloride-indringing wordt geadviseerd om profielen op 5 à 6 dieptes op te stellen. Dit bijkomend onderzoek kan een ondersteuning zijn in de preventieve aanpak van het onderhouden van betonconstructies, maar dient in praktijk te worden afgewogen tegen de bijkomend kost van deze metingen.

Bij vermoeden van corrosie kunnen potentiaalmetingen worden uitgevoerd, vaak in combinatie met vochtigheids- en resistiviteitsmetingen, om de corrosiehaarden te lokaliseren. Hierbij dient enerzijds contact gemaakt te worden met de wapening (op destructieve wijze) en anderzijds een destructieve validatie te gebeuren. Deze destructieve validatie is nodig om de wapening te visualiseren om de toestand m.b.t. corrosie te beoordelen en de daarbij horende potentiaalwaarde te noteren: op deze wijze kunnen de kritieke grenswaarden met betrekking tot waarschijnlijkheid van corrosie gedefinieerd worden.

Verdere toelichting uitvoeren potentiaalmetingen zie | [Balcon-e: Meettechnieken](#).

Uit de destructieve validatie en het opmeten van de (gereduceerde) wapeningsdiameter kan de reductie van de wapeningsdoorsnede ingeschat worden.

Opmerking (!): wanneer het carbonatatiefront en chloridegehalte aan de onderzijde van het balkon bepaald wordt, kan dit samen met potentiaalmetingen en eventuele polarisatieweerstandmetingen de omvang van het corrosieprobleem in kaart brengen. Echter, de hoeveelheid en omvang van de corrosie aan de onderwapening kan niet geprojecteerd worden op de bovenwapening om de reductie op het draagvermogen door corrosie te bepalen. Door de aanwezigheid van afwerkingslagen aan de bovenzijde is het echter niet altijd mogelijk om potentiaalmapping van de bovenwapening te maken.

Aanvullend onderzoek m.b.t. draagvermogen

Indien het draagvermogen niet voldoet en er is twijfel over de waarde van de staalkwaliteit (er is bv. in eerste instantie met een conservatieve waarde gerekend op basis van visuele eigenschappen), kan deze via trekproeven bepaald worden. Hierbij dient op destructieve wijze een deel van de langswapening ontnomen te worden, waarbij een axiale trektest wordt uitgevoerd ter bepaling van de vloedrempel (volgens NBN EN 15630-1). Indien gewenst kunnen ook kernen worden geboord waarop drukproeven worden uitgevoerd zodat de betondruksterkte in situ bepaald kan worden (conform NBN EN 13791 / NBN EN 12390-3). De druksterkte heeft echter weinig invloed op het weerstandbiedend moment bij elementen belast op buiging.

Wanneer er twijfel is over voldoende constructieve veiligheid doordat er een grote variatie is op parameters zoals bijvoorbeeld de positie van de (hoofd)wapening, kan het aangewezen zijn dit bijkomend te onderzoeken. De positie van de wapening heeft immers een grote invloed op het draagvermogen van het balkon. Bovendien wijst de praktijk uit dat de ligging van de wapening zeer sterk per verdieping (en balkon) kan variëren. Indien uit de basisinspectie blijkt dat op een deel van de meetlocaties de wapening zeer ongunstig gelegen is (er bevindt zich bv. geen wapening in de trekzone bovenaan het balkon), kan het aangewezen zijn om op alle balkons wapeningsdetectie uit te voeren. Dit zal de onderzoekskosten verhogen, maar kan nadien de benodigde draagvermogenverhogende maatregelen verminderen omdat niet van de meest nadelig situatie hoeft te worden uitgegaan voor de balkons die niet werden opgemeten.

Evaluatie

Met de informatie bekomen uit het vooronderzoek en de inspectie(s) ter plaatse, kan vervolgens een beoordeling gemaakt worden op vlak van duurzaamheid en draagvermogen. Hierbij wordt de focus gelegd op aantasting door corrosieschade, geïnitieerd door carbonatatie en/of chloriden.

Voor deze evaluaties wordt de focus gelegd op corrosie. Andere schade, zoals bijvoorbeeld chemische aantasting, uitloging, delaminatie door vorstschade, enz. wordt niet in de evaluatie opgenomen. Wanneer dit om ernstige schade gaat, zal dit desalniettemin in rekening moeten worden gebracht bij het voorschrijven van het herstel.

Evaluatie ontwerp: draagvermogen

Indien plannen (van het ontwerp) beschikbaar zijn (cfr. dossieronderzoek) kan een eerste evaluatie gemaakt worden: een rekenkundige toets van het draagvermogen. Hierbij kan via een gevoeligheidsanalyse nagegaan worden hoeveel er van het ontwerp kan worden afgeweken om toch nog te voldoen aan de huidige eisen voor het draagvermogen. Hiervoor wordt verwezen naar de rekentool ter beoordeling van het draagvermogen | [Balcon-e: Rekentool Draagvermogen](#). Als er plannen beschikbaar zijn kan dit ontwerp achteraf ook afgetoetst worden met de huidige situatie (beton- en staalkwaliteit, positie en hoeveelheid wapening, afmetingen balkon, aanwezigheid afwerkingslagen, enz.).

Wanneer er geen plannen beschikbaar zijn, kan deze eerste evaluatie niet worden uitgevoerd.

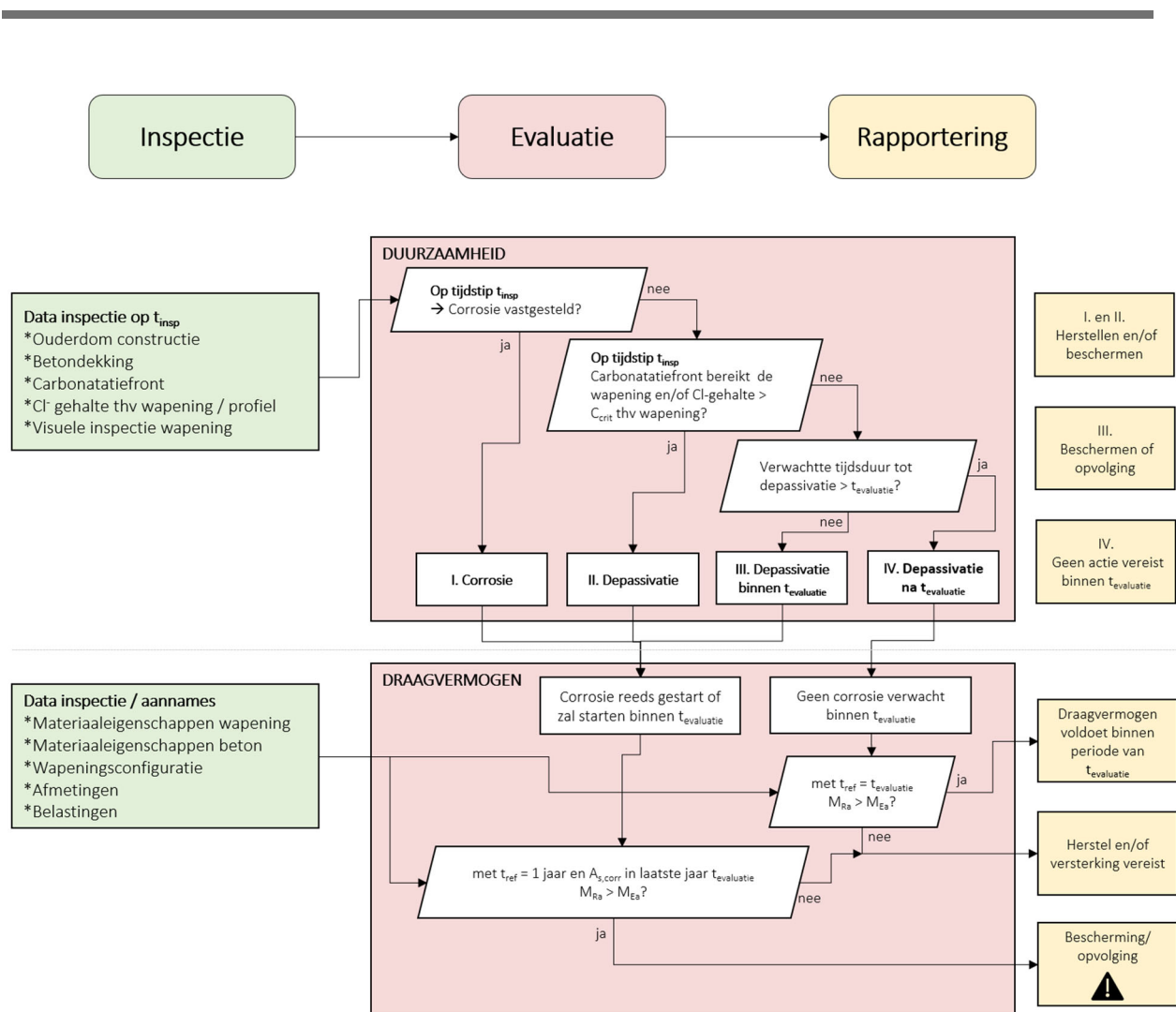
[Balcon-e: Rekentool Draagvermogen](#)

In de bijhorende rekentool kan in het tabblad 'Eerste Evaluatie' het draagvermogen van het oorspronkelijke ontwerp worden gecontroleerd.

Evaluatie bestaande toestand: duurzaamheid en draagvermogen

Met de meetresultaten uit de inspectie van de huidige situatie wordt zowel de duurzaamheid (met betrekking tot corrosie) als het draagvermogen van de balkons geëvalueerd. Indien onvoldoende informatie beschikbaar is vanuit de basisinspectie, kan het nodig zijn om een aanvullend onderzoek uit te voeren.

De aanpak van de evaluatie wordt schematisch weergegeven in Figuur 15. De groene kaders geven weer welke input vanuit de inspectie nodig is om een beoordeling te kunnen maken. De rode kaders geven de werkwijze van de evaluatie weer en werden opgesplitst in een gedeelte 'duurzaamheid' en 'draagvermogen'. Eerst wordt de duurzaamheid geëvalueerd, waarbij er wordt beoordeeld of corrosie waarschijnlijk geacht wordt plaats te vinden in de periode die wordt geëvalueerd. Corrosie kan immers ook het draagvermogen van het balkon beïnvloeden. Wanneer corrosie reeds gestart is, of mogelijks zal starten in de periode die wordt beoordeeld, dient hiermee rekening gehouden te worden bij de beoordeling van het draagvermogen. Tot slot wordt in de gele kaders weergegeven welke acties er best worden uitgevoerd met betrekking tot bescherming en/of herstel nadat een beoordeling werd gemaakt.



Figuur 15: Schematische voorstelling beoordeling

$t_{inspectie}$	Tijdstip van de inspectie
$t_{evaluatie}$	Periode waarvoor een evaluatie wordt gemaakt
t_{ref}	Referentieperiode
A_s	Wapeningsdoorsnede
$A_{s,corr}$	Gecorrodeerde wapeningsdoorsnede
M_{Ra}	Beoordelingswaarde weerstandbiedend moment
M_{Ea}	Beoordelingswaarde sollicerend moment

Evaluatie duurzaamheid

In de beoordeling van de duurzaamheid van de bestaande balkons wordt er onderzocht of de wapening al dan niet is aangetast door corrosie. Indien corrosie nog niet gestart is, kan er nagegaan worden of dit proces kan starten binnen de evaluatieperiode ($t_{\text{evaluatie}}$). Corrosie van de wapening kan leiden tot scheuren, loszittende schollen beton tot zelfs het afdrukken van de betondekking wat de duurzaamheid van de constructie aantast. Anderzijds kan corrosie de wapeningsdoorsnede doen afnemen, wat het draagvermogen van het balkon aanzienlijk kan doen verlagen en in het gedrang brengen. Wanneer het draagvermogen wordt geëvalueerd, dient dus ook de duurzaamheid in rekening gebracht te worden.

Daarnaast is het ook van belang om te achterhalen of corrosie geïnitieerd werd door carbonatatie of chloriden, of door beide. De herstelstrategie dient immers afgestemd te worden op de oorzaak van de schade om een duurzame techniek te kunnen selecteren.

De aanpak volgens het schema in Figuur 15 verloopt als volgt:

Is er wapeningscorrosie vastgesteld op het moment van de inspectie?

Corrosieschade aan de wapening werd vastgesteld via kijkvensters of via visuele kenmerken zoals roestvlekken en/of een afgedrukte betondekking.

- **Indien ja:** het besluit van de beoordeling m.b.t. de duurzaamheid wordt hier in de categorie 'I. Corrosie' geplaatst. Het is aangewezen om de balkons in dit geval te herstellen en/of te beschermen.
Wanneer vervolgens het draagvermogen wordt geëvalueerd, vertrekt de volgende stap vanuit 'Corrosie reeds gestart of zal starten binnen $t_{\text{evaluatie}}$ '.
- **Indien nee:** er wordt in het schema verder gegaan naar de volgende stap.

Heeft het carbonatatiefront de wapening bereikt en/of overstijgt het chloridegehalte ter hoogte van de wapening een kritieke waarde?

Er wordt nagegaan of het carbonatatiefront zich al ter hoogte van de wapening bevindt op het moment van de inspectie. Hiervoor zijn betondekkingsmetingen nodig in combinatie met opmetingen van het carbonatatiefront op dezelfde locatie. Ook het chloridegehalte ter hoogte van de wapening wordt bepaald en geëvalueerd met betrekking tot het kritiek chloridgehalte. Toelichting omtrent het begrip 'kritiek chloridegehalte' is te vinden in [Bijlage C](#).

- **Indien ja:** wanneer het carbonatatiefront de wapening heeft bereikt of het chloridegehalte een kritische waarde overstijgt (of combinatie van beide) wordt depassivatie van het staal verondersteld. In dit geval, nl. de categorie 'II. Depassivatie', is het aangewezen om de balkons te herstellen en/of te beschermen.
Wanneer vervolgens het draagvermogen wordt geëvalueerd, vertrekt de volgende stap vanuit 'Corrosie reeds gestart of zal starten binnen $t_{\text{evaluatie}}$ '.
- **Indien nee:** er wordt in het schema verder gegaan naar de volgende stap.

Zal binnen de periode die beschouwd wordt tijdens de beoordeling ($t_{\text{evaluatie}}$) depassivatie van het staal verwacht kunnen worden?

Om een antwoord op deze vraag te kunnen formuleren is er inzicht nodig in hoe snel het carbonatatiefront opschuift en/of chloriden binnendringen in het beton: dit kan zowel op kwalitatieve als kwantitatieve wijze (via carbonatatiecoëfficiënt of de schijnbare chloridemigratie-coëfficiënt) worden ingeschat. Hiervoor kan bijkomende data nodig zijn die bekomen wordt via een aanvullend onderzoek. Een rekenprocedure om de verwachte tijdsduur te bepalen tot depassivatie werd niet uitgewerkt binnen Balcon-e. In [Bijlage C](#) wordt er verwezen naar referenties die een mogelijke werkwijze toelichten.

- **Indien ja:** er wordt verwacht dat het einde van de initiatiefase zal bereikt worden binnen de periode die geëvalueerd wordt en bijgevolg het corrosieproces zou kunnen starten. In de categorie 'III. Depassivatie binnen $t_{\text{evaluatie}}$ ' kan er geopteerd worden om de balkons te beschermen waardoor corrosie kan vermeden worden of om opnieuw een inspectie te plannen op het moment wanneer het einde van de initiatiefase verwacht wordt om vervolgens opnieuw de situatie te evalueren.
Wanneer vervolgens het draagvermogen wordt geëvalueerd, vertrekt de volgende stap vanuit 'Corrosie reeds gestart of zal starten binnen $t_{\text{evaluatie}}$ '.
- **Indien nee:** er kan verondersteld worden dat in de categorie 'IV. Depassivatie na $t_{\text{evaluatie}}$ ' het einde van de initiatiefase nog niet zal bereikt worden in de periode die werd geëvalueerd. Er is bijgevolg geen actie vereist met betrekking tot de duurzaamheid in deze periode.
Wanneer vervolgens het draagvermogen wordt geëvalueerd, vertrekt de volgende stap vanuit 'Geen corrosie verwacht binnen $t_{\text{evaluatie}}$ '.

Opmerkingen:

- Wanneer de balkonplaat enkel gewapend is, zal deze wapening zich vanuit constructief standpunt bovenaan in de plaat moeten bevinden. Deze (boven)wapening is minder gevoelig voor carbonatatie-geïnitieerde corrosie, aangezien dit zich meestal buiten het vochtwisselingsgebied zal bevinden en beschermd wordt door de afwerkingslagen aan de bovenzijde van het balkon. Echter, de bovenwapening kan wel gevoelig zijn voor chloride geïnitieerde corrosie.
- Wanneer de balkonplaat dubbelgewapend is wordt de duurzaamheid van zowel de boven- als onderwapening in kaart gebracht. Er dient te worden opgemerkt dat deze wapening een verschillende betondekking kan hebben en ook het carbonatatiefront en/of chloridegehalte steeds dient vergeleken te worden met de positie van de wapening. In tegenstelling tot de bovenwapening (zoals in de vorige opmerking aangehaald) zal de onderwapening en de wapening aan de balkonneus wel vaak gevoelig zijn voor corrosie door carbonatatie gezien de betondekking hier vaak beperkt is.

Evaluatie draagvermogen

Vanuit de beoordeling van de duurzaamheid wordt vervolgens het draagvermogen geëvalueerd. De rekentool ter bepaling van het draagvermogen is een hulpmiddel om een eerste indicatie te krijgen van het draagvermogen in de huidige situatie. Het draagvermogen wordt gecontroleerd in uiterste grenstoestand (UGT) voor de onderzochte meetlocaties. Hierbij worden het weerstandbiedend moment M_{Ra} en solliciterend moment M_{Ea} met elkaar vergeleken. Er wordt bepaald welke verdeelde vloerbelasting (uitgedrukt als $q_{k,rest}$) het balkon nog kan dragen naast de permanente belasting door het eigengewicht, de afwerkingslagen en balustrade. Daarnaast wordt ook het betrouwbaarheidsniveau β'' bepaald dat kan gehaald worden voor een zekere opgelegde belasting. Wanneer de vooropgestelde belasting (met een bepaald betrouwbaarheidsniveau) gehaald kan worden, wordt het draagvermogen geacht te voldoen. Daarnaast worden ook enkele controleberekeningen (spanningen, doorbuiging en scheurvorming) in bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) uitgevoerd.

Ter bepaling van het draagvermogen zijn volgende inputparameters nodig (via metingen of aannames):

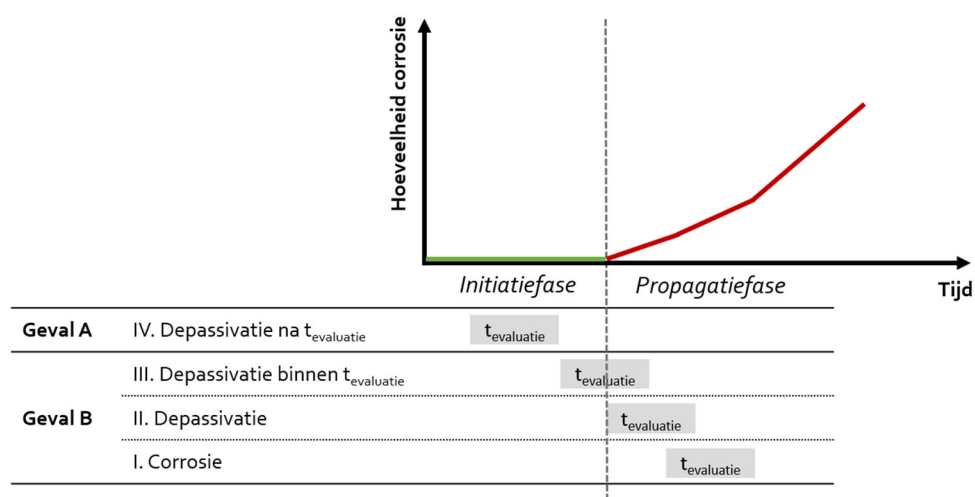
- Betondruksterkte en staalkwaliteit: laagste of 'a priori aangenomen waarden' waarde (op basis van plannen, visuele kenmerken of attributieve eigenschappen). Indien druksterkte niet gekend is, kan bijvoorbeeld een lage klasse C16/20 worden aangenomen.
- Betondekking, staafdiameter, aantal staven per meter, dikte en lengte uitkraging plaat, belastingen (balustrade, afwerkingslagen)

Omtrent de beoordeling van het draagvermogen met behulp van | [Balcon-e: Rekentool Draagvermogen](#) worden nog volgende opmerkingen gemaakt:

- De berekeningen in de Excel rekentool ter bepaling van het draagvermogen gebeuren op semi-probabilistische wijze, waarbij gerekend wordt met partiële factoren.
- Er dient rekening gehouden te worden met het feit dat de (i) informatie uit de basisinspectie slechts een steekproef is en dus niet noodzakelijk representatief is voor de volledige constructie en (ii) meettechnieken niet 1-op-1 de werkelijkheid representeren (afwijkingen zijn mogelijk).
- Er wordt enkel een evaluatie gemaakt van de zones waarin metingen werden uitgevoerd.
- Indien het beton dermate is aangetast door chemische schade (ASR, ettringiet, zoutkristallisatie,...) of volledig gedelamineerd is en er dus geen sprake meer is van hechting tussen het beton en de wapening en/of een significante afname van de druksterkte, is de rekenmethode niet van toepassing.
- Verdere toelichting van de rekenmethodiek is te vinden in de handleiding van de rekentool | [Balcon-e: handleiding rekentool draagvermogen](#)

Vanuit de beoordeling van de duurzaamheid kan een opdeling gemaakt worden als volgt (zie Figuur 16):

- (A) Het corrosieproces is nog niet gestart en er wordt verwacht dat het einde van de initiatiefase niet bereikt zal worden binnen de periode die geëvalueerd wordt. [Categorie IV uit duurzaamheidsonderzoek]
- (B) Het corrosieproces is reeds gestart of er wordt verwacht dat het corrosieproces kan starten tijdens de periode die geëvalueerd wordt. [Categorie I, II en III uit duurzaamheidsonderzoek]



Figuur 16: Schematische voorstelling opdeling categorie I, II, III en IV uit duurzaamheidsonderzoek

In geval (A) wordt de werkwijze volgens het schema:

Voldoet het draagvermogen van de bestaande situatie waarbij de referentieperiode t_{ref} gelijk wordt genomen aan de periode van $t_{\text{evaluatie}}$?

Het draagvermogen van de onderzochte meetlocaties tijdens de inspectie wordt bepaald. Er wordt hier verondersteld dat het draagvermogen niet zal afnemen, gezien er geen corrosie zal plaatsvinden tijdens de periode waarover de evaluatie wordt gemaakt.

Balcon-e: Rekentool Draagvermogen

Tabblad 'Tweede Evaluatie': het draagvermogen wordt hier voor de onderzochte locaties bepaald, in onbeschadigde toestand

In de rekentool wordt t_{ref} in deze stap gelijk genomen aan 50 jaar

- **Indien ja:** het draagvermogen van de onderzochte locaties voldoet gedurende de periode $t_{\text{evaluatie}}$. In dit geval zijn maatregelen om het draagvermogen te verhogen niet nodig als mag verondersteld worden dat de situatie niet wijzigt en er geen noemenswaardige kans bestaat op corrosie binnen de geëvalueerde periode.
- **Indien nee:** het draagvermogen van één of meerdere van de onderzochte locaties voldoet niet. Indien er gerekend werd met conservatieve waarden voor de staalkwaliteit en betondruksterkte kan het zinvol zijn om trekproeven op het wapeningsstaal (en eventueel drukproeven op ontnomen betonkernen) uit te voeren in een aanvullend onderzoek.
De beoordeling van het draagvermogen kan dan opnieuw worden gemaakt bij resultaten van de betondruksterkte, staalkwaliteit en/of wapeningsdoorsnede van de meetlocaties uit de

basisinspectie of van de extra onderzochte locaties. De betondruksterkte wordt bepaald via kernen volgens de werkwijze beschreven in NBN EN 13791 (2019). Deze mogelijkheid is ook opgenomen in de rekentool.

Wanneer het draagvermogen niet voldoet (vb. omwille van de te lage positie van de wapening) zullen versterkingsmaatregelen voorgeschreven moeten worden, waarbij ook tijdelijke maatregelen (onderstutten balkons, beperken lasten) opgelegd dienen te worden.

In geval (B) wordt de werkwijze volgens het schema:

Voldoet het draagvermogen van de bestaande situatie waarbij de referentieperiode t_{ref} van 1 jaar wordt aangenomen en een gecorrodeerde doorsnede op het moment aan het einde van de periode van $t_{evaluatie}$?

Er wordt gecontroleerd of het draagvermogen voldoet wanneer corrosie is gestart of zal starten binnen de periode van $t_{evaluatie}$. Hiervoor wordt er gerekend met een referentieperiode van 1 jaar en met een gereduceerde wapeningsdoorsnede als gevolg van het corrosieproces op het moment van het einde van $t_{evaluatie}$. Een aanvullend onderzoek (potentiaalmetingen, destructieve validatie) kan nodig om de omvang en ernst van de corrosie in te schatten, om daaruit een veronderstelling te maken van de snelheid van het corrosieproces en bijgevolg de minimale doorsnede die de wapening nog zal hebben op einde van $t_{evaluatie}$. Een rekenprocedure om een inschatting te maken van de gecorrodeerde wapeningsdoorsnede op het einde van de periode van $t_{evaluatie}$ werd niet verder uitgewerkt in Balcon-e.

Balcon-e: Rekentool Draagvermogen

Tabblad 'Derde Evaluatie': het draagvermogen wordt hier voor de onderzochte locaties bepaald, met een gecorrodeerde wapeningsdoorsnede

In de rekentool wordt t_{ref} in deze stap gelijk genomen aan 1 jaar

- **Indien ja:** het draagvermogen voldoet met de gemaakte veronderstelling van de gereduceerde wapeningsdoorsnede. Echter, het verloop van het corrosieproces is zeer onvoorspelbaar, en kan lokaal de wapening volledig doen doorroesten in het geval chloriden geïnitieerde corrosie met het falen van het balkon tot gevolg. Beschermende maatregelen en opvolging is daarom aangewezen in deze situatie. Er kan ook worden geopteerd om herstelmaatregelen voor te schrijven.
- **Indien nee:** het draagvermogen van één of meerdere van de onderzochte locaties zal niet meer voldoen gedurende de periode van $t_{evaluatie}$. Er dienen herstel- en versterkingsmaatregelen te worden aanbevolen.

Opmerking: een tussenstap die gemaakt kan worden is het narekenen van het draagvermogen met de huidige wapeningsdoorsnede (nog niet gereduceerd door corrosie in het geval van II en III) met $t_{ref} = 1$ jaar. Wanneer het draagvermogen al niet voldoet met de huidige wapeningsdoorsnede (aan het begin van $t_{evaluatie}$), dan kan er besloten worden dat er herstel/versterking van de balkons nodig is. Wanneer dit wel zou voldoen, dient nog altijd de controle gemaakt te worden op het einde van de periode van $t_{evaluatie}$, met de wapeningsdoorsnede die op dat moment zou aanwezig zijn.

Conditie-score bestaande situatie

Met de informatie uit de metingen kan ook de eerder bepaalde conditiescore geactualiseerd worden.

| Balcon-e: Rekentool Conditie-score

Rapportering

Nadat de laatste evaluatie is afgerond, worden de conclusies van het onderzoek samengevat in een inspectierapport. Dit rapport omvat:

- De uiteindelijke conditiescore van de balkons, met weergave van de voorkomende schadebeelden (omvang, ernst en intensiteit)
- Evaluatie van de huidige situatie met betrekking tot de duurzaamheid en het draagvermogen
- Advies naar preventief onderhoud en/of curatief herstel (mogelijke technieken, materialen, dringendheid interventie,...)

Een overzicht van de mogelijke hersteltechnieken en de principes waarop een duurzaam herstel gebaseerd dient te zijn, wordt gegeven in | [Balcon-e: Richtlijn herstel](#). Voor het ontwerpen van bepaalde hersteltechnieken kan bijkomend onderzoek nodig zijn. Dit werd niet mee opgenomen in het beschreven protocol.

Aanbevolen en geraadpleegde literatuur

FIB, *Bulletin 59: Condition control and assessment of reinforced concrete structures*, pp. 80, 2011.

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

CUR, *Constructieve veiligheid van uitkragende galerijplaten*, publicatie 248 (tweede herziene uitgave), pp. 45, 2014.

CUR, *Bepaling ondergrens verwachte restlevensduur van bestaande gewapende betonconstructies - Methode voor het bepalen van het einde van de initiatiefase bij bestaande civiele betonconstructies*, aanbeveling 121, pp. 42, 2018.

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

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

Bungey, J.H., Millard, S.G., Grantham, M.G., *Testing of Concrete in Structures - 4th edition*, Taylor & Francis group, pp. 353, 2006.

U. Dilek, "Condition assessment of concrete structures," in *Failure, Distress and Repair of Concrete Structures*, Woodhead Publishing Limited, 2009, pp. 84–137.

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

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

CUR, *Bepaling ondergrens verwachte restlevensduur van bestaande gewapende betonconstructies - Methode voor het bepalen van het einde van de initiatiefase bij bestaande civiele betonconstructies*, Publicatie 121, pp. 42, 2018.

SBR, *B15-2: Schadegevallen bij uitkragende balkons en galerijen*, pp. 37, 1983.

TNO, *Toepassing van NEN 8700 bij betonreparatie en -onderhoud*, pp. 12, 2015. Beschikbaar via https://www.tno.nl/media/5800/toepassing_van_nen_8700_bij_betonreparatie_en_onderhoud.pdf

Overzicht van de vermelde en relevante normen

NBN EN 1990 ANB (2013): *Eurocode 0 - Grondslag voor het constructief ontwerp - Nationale bijlage*

NBN EN 1991-1-1 (2015): *Eurocode 1 - Belastingen op constructies - Deel 1-1 : Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen*

NBN EN 1992-1-1 ANB: *Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1 : Algemene regels en regels voor gebouwen*

NBN EN 13791 (2019): *Beoordeling van de druksterkte van beton in constructies en vooraf vervaardigde betonelementen*

NBN EN 12504-1 (2009): *Beproeving van beton in constructies - Deel 1 : Boorkernen - Monsterneming, onderzoek en bepaling van de druksterkte*

NBN EN 12504-2 (2012): *Beproeving van beton in constructies - Deel 2 : Niet-destructief onderzoek - Bepaling van de terugslagwaarde*

NBN EN 12504-3 (2005): *Beproeving van beton in constructies - Deel 3: Bepaling van de uittrekkraft*

NBN EN 12504-4 (2004): *Beproeving van beton in constructies - Deel 4: Bepaling van de ultrasone pulssnelheid*

NBN EN 14629 (2007): *Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies - Beproevingsmethoden - Bepaling van het chloridegehalte in verhard beton*

NBN EN 14630 (2007): *Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies - Beproevingsmethoden - Bepaling van de carbonatatie diepte van verhard beton d.m.v. de fenolftaleïne-methode*

NBN EN 1504-9: *Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies - Definities, eisen, kwaliteitsborging en conformiteitsbeoordeling - Deel 9: Algemene principes voor het gebruik van de producten en systemen*

NBN EN 15630-1 (2010): *Staal voor de wapening en voorspanning van beton - Beproevingsmethoden - Deel 1: Wapeningsstaven en -draden (ISO 15630-1:2010)*

NBN B 03-004 (2017): *Borstweringen van gebouwen*

NBN EN 206 (2013) + A1 (2016): *Concrete – Specification, performance, production and conformity*

NBN B15-001 (2018): *Beton – Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit – Nationale aanvulling bij NBN 206:2013 + A1:2016*

NEN 2767-1 (2019): *Conditie meting gebouwde omgeving - Deel 1: Methodiek*

NEN 2767-2 (2008): *Conditie meting van bouw- en installatiedelen - Deel 2: Gebrekenlijsten*

ASTM C876-09 (2009): *Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*

German Society For Non-Destructive Testing - Specification B 03 (2014): *Electrochemical Half-Cell Potential Measurements for the Detection of Reinforcement Corrosion*

Merkblatt B 02: *Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsartung an Stahl- und Spannbetonbauteilen, April 2014*

Bijlage A: toelichting berekening conditiescore

Een conditiemeting is een methode om de technische toestand van gebouwen, infrastructuur en andere beheerobjecten op objectieve wijze te bepalen en eenduidig vast te leggen. De beschreven methode die toegepast is op betonnen balkons is gebaseerd op de Nederlandse norm NEN 2767-1.

De conditiescore wordt weergegeven op een zes-puntenschaal, waarbij 1 staat voor een uitstekende conditie en 6 voor een zeer slechte conditie, zie Tabel 2. Deze score wordt bepaald volgens de omvang, intensiteit en ernst van het gebrek. De verschillende gebreken en hun gevolg (gering-matig-ernstig) worden besproken in [| Balcon-e: Vademecum der gebreken](#).

Tabel 2: Toelichting conditiescore

Conditie score	Omschrijving	Toelichting
1	Uitstekende conditie	Incidenteel geringe gebreken
2	Goede conditie	Incidenteel beginnende veroudering
3	Redelijke conditie	Plaatselijk zichtbare veroudering Functieervulling van bouw- en installatiedelen niet in gevaar
4	Matige conditie	Functieervulling van bouw- en installatiedelen incidenteel in gevaar
5	Slechte conditie	De veroudering is onomkeerbaar
6	Zeer slechte conditie	Technisch rijp voor de sloop

De omvang van het gebrek wordt opgedeeld in vijf categorieën, zie Tabel 3. Dit is de hoeveelheid waarin het desbetreffende gebrek zich manifesteert ten opzichte van de totale beschouwde hoeveelheid, uitgedrukt in een percentage. De 'totale beschouwde hoeveelheid' is niet voor elk schadegebrek hetzelfde: zo zal bij het loskomende van de coating er gerefereerd worden naar de totale gecoate oppervlakte, maar vb. bij een buigingsscheur evenwijdig aan de gevel is dit de totale breedte van het balkon. Er dient ingeschat te worden of dit schadekenmerk dus 'incidenteel', 'plaatselijk', 'regelmatig', 'aanzienlijk' of 'algemeen' voorkomt. De intensiteit is een indicator die aangeeft in welk stadium het gebrek zich bevindt, opgedeeld in drie stadia: laag – midden – hoog (zie Tabel 4).

Tabel 3: Opdeling omvang gebrek

Omvangscore	Percentage	Beschrijving
Omvang 1	< 2%	Het gebrek komt <u>incidenteel</u> voor
Omvang 2	2 tot 10%	Het gebrek komt <u>plaatselijk</u> voor
Omvang 3	10 tot 30 %	Het gebrek komt <u>regelmatig</u> voor
Omvang 4	30 tot 70%	Het gebrek komt <u>aanzienlijk</u> voor
Omvang 5	≥ 70%	Het gebrek komt <u>algemeen</u> voor

Tabel 4: Opdeling intensiteit gebrek

Intensiteitsscore	Benaming	Beschrijving
Intensiteit 1	Laag (beginstadium)	Het gebrek is nauwelijks waarneembaar
Intensiteit 2	Midden (gevorderd stadium)	Het gebrek is duidelijk waarneembaar
Intensiteit 3	Hoog (eindstadium)	Het gebrek is zeer duidelijk waarneembaar; het gebrek kan niet of nauwelijks toenemen

Afhankelijk van het gevolg, de omvang en intensiteit van voorkomen van een gebrek, wordt de conditiescore bepaald volgens tabellen 5 t.e.m. 7. Een ernstig gebrek, zoals bijvoorbeeld corrosieschade geïnitieerd door carbonatatatie, dat aanzienlijk voorkomt (omvang 50%) en zich in een hoog stadium bevindt (betondekking reeds afgedrukt – uniforme corrosie) krijgt een score 5. Het plaatselijk loskomen van de coating krijgt een score 1.

Conditie score per balkon

- Indien geen gebreken → conditiescore 1
- Indien één gebrek → balkon krijgt score van dit gebrek
- Meerdere gebreken → slechtste score bepaalt conditiescore van het balkon

Conditie score per verdieping

- Afhankelijk van de score per balkon wordt er een correctiefactor toegekend (zie Tabel 8). Zo zal een slechtere score zwaarder doorwegen.
- Deze factor wordt vermenigvuldigd met het volume³ van dit balkon. (in NEN 2767 wordt een vervangingswaarde per deel toegekend)
- De sommatie van het product (correctiefactor * volume) wordt gedeeld door het totaal volume van alle balkons op die verdieping. Via die uitkomst kan de conditie per verdieping herleid worden via Tabel 9.

Conditie score globaal

- De globale conditiescore van het gehele gebouw wordt bepaald als gewogen gemiddelde van de score per verdieping met het volume

Tabel 5: Conditie score bepaling voor ernstige gebreken

Ernstige gebreken					
Omvang \ Intensiteit	Incidenteel < 2%	Plaatselijk 2 – 10%	Regelmatig 10 – 30%	Aanzienlijk 30 – 70%	Algemeen > 70%
Laag (begin stadium)	1	1	2	3	4
Midden (gevoerd stadium)	1	2	3	4	5
Hoog (eind stadium)	2	3	4	5	6

Tabel 6: Conditie score bepaling voor matige gebreken

Matige gebreken					
Omvang \ Intensiteit	Incidenteel < 2%	Plaatselijk 2 – 10%	Regelmatig 10 – 30%	Aanzienlijk 30 – 70%	Algemeen > 70%
Laag (begin stadium)	1	1	1	2	3
Midden (gevoerd stadium)	1	1	2	3	4
Hoog (eind stadium)	1	2	3	4	5

³ Volume balkon: hier kan het resultaat worden ingegeven van het volume = lengte x breedte x hoogte van het balkon of gewerkt worden met een verhouding wanneer de verschillende balkons andere afmetingen hebben. Als alle balkons even groot zijn, kan overal “1” worden ingegeven omdat het ‘volume’ verrekend zal worden in een gewogen gemiddelde. Enkel de verhouding is dus van belang, niet de absolute waarde.

Tabel 7: Conditie score bepaling voor geringe gebreken

Geringe gebreken					
Omvang Intensiteit	Incidenteel < 2%	Plaatselijk 2 – 10%	Regelmatig 10 – 30%	Aanzienlijk 30 – 70%	Algemeen > 70%
Laag (begin stadium)	1	1	1	1	2
Midden (gevorderd stadium)	1	1	1	2	3
Hoog (eind stadium)	1	1	2	3	4

Tabel 8: Correctiefactoren conditiescore

Conditie	Correctiefactor
1	1,00
2	1,02
3	1,10
4	1,30
5	1,70
6	2,00

Tabel 9: Conditie score herleiding

Uitkomst	Conditie
uitkomst $\leq 1,01$	1
$1,01 < \text{uitkomst} \leq 1,04$	2
$1,04 < \text{uitkomst} \leq 1,15$	3
$1,15 < \text{uitkomst} \leq 1,40$	4
$1,40 < \text{uitkomst} \leq 1,78$	5
uitkomst $> 1,78$	6

Bijlage B: van visueel kenmerk tot bepalen oorzaak

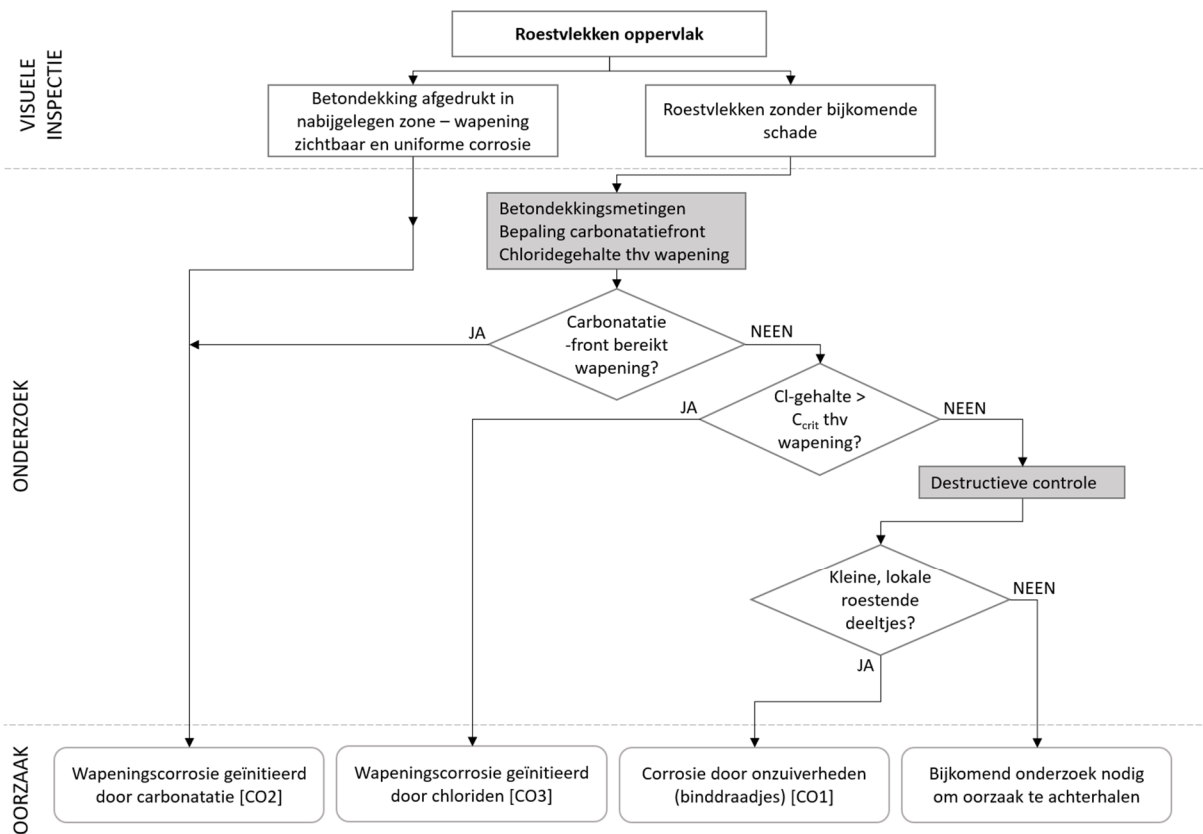
De stroomschema's uit deze bijlage (Figuur 17 en Figuur 18) geven weer hoe informatie uit een visuele inspectie kan worden geïnterpreteerd met betrekking tot de duurzaamheid van de betonconstructie. Hierbij wordt aangegeven welk (aanvullend) onderzoek nodig is om het mogelijke schademechanisme te bevestigen aangezien bepaalde visuele kenmerken kunnen veroorzaakt worden door verschillende oorzaken. De schademechanismen (vermeld onder oorzaak, met bijhorende verwijzing: zie ook Tabel 10) worden besproken in | [Balcon-e: Vademecum der gebreken](#) voor uitkragende betonnen balkons.

Deze schema's zijn bedoeld als een hulpmiddel maar bieden geen garantie dat de situatie correct wordt beoordeeld. De inspecteur dient alle beschikbare informatie in rekening te brengen om de schade-oorzaak te identificeren, de omvang te bepalen en zo een analyse te kunnen maken van de actuele situatie van de structuur.

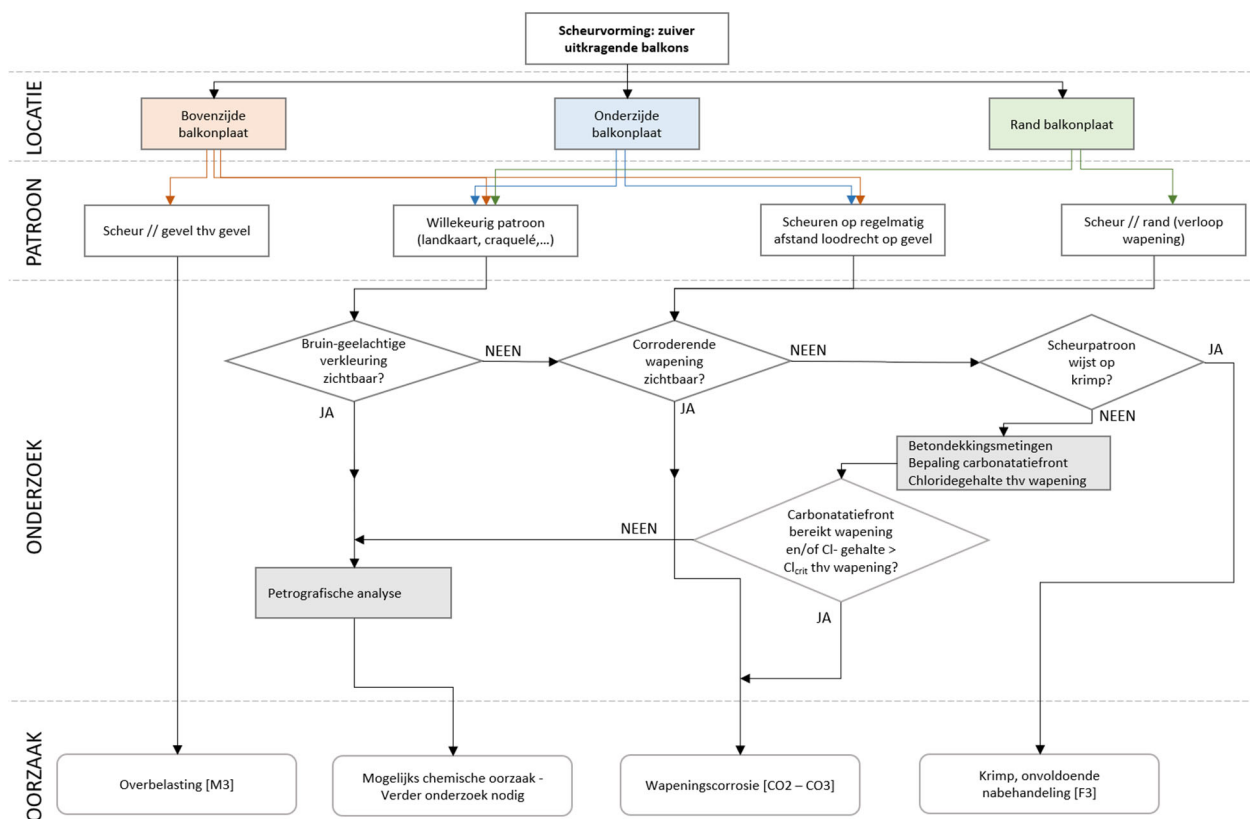
OPGELET! Uit deze stroomschema's volgt één oorzaak maar in werkelijkheid kan een schadebeeld meerdere oorzaken hebben of een secundair gevolg zijn van een ander schadefenomeen.

Tabel 10: Typische voorkomende schade aan uitkragende betonnen balkons

Mechanische schade	
M1	Grindnesten, insluitels, ...
M2	Doorbuiging plaat
M3	Scheur evenwijdig aan gebouw
Fysische schade	
F1	Loskomen / blaasvorming coating
F2	Verkleuringen, mosgroei, erosie, slijtage
F3	Krimpscheuren (plastisch, uitdroging, ...)
F4	Uitbrokkelen voegen
F5	Afzetting calciumcarbonaat, stalactieten, zoutkristallisatie
F6	Vorstschade (afbrokkeling, afschilfering)
Chemische schade	
CH1	Scheuren door ASR
CH2	Overige chemische schade (ettringiet, zuren, thaumasiet, ...)
Corrosie schade	
CO1	Roestvlekken door onzuiverheden (binddraadjes, afstandshouders, ijzerhoudende toeslag)
CO2	Scheuren t.h.v. de wapening, loszittende schollen beton, afgedrukte betondekking, uniforme corrosie staaf
CO3	Roestvlekken, lokale afname staafdiameter (indien staaf zichtbaar)



Figuur 17: Van visueel kenmerk tot bepaling schade-oorzaak: roestvlekken



Figuur 18: Van visueel kenmerk tot bepalen schade-oorzaak: scheuren

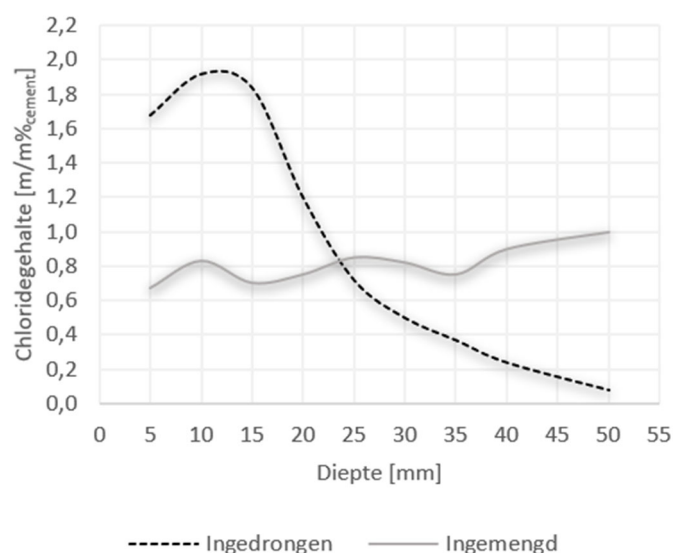
Bijlage C: Chloriden en carbonatatie

Ter beoordeling van de duurzaamheid van de bestaande constructies werd er in dit protocol voor betonnen balkons gefocust op corrosie geïnitieerd door carbonatatie en/of chloriden. Enkele begrippen op vlak van beoordeling van de duurzaamheid en inschatting van de restlevensduur van bestaande betonconstructies worden in deze tekst toegelicht.

Chloriden

Levensduurinschatting bij ontwerp

Indien chloriden in voldoende hoge concentratie aanwezig zijn in het beton, kan dit aanleiding geven tot ernstige en lokale corrosieschade. Het einde van de levensduur bij chloride geïnitieerde corrosie wordt beschouwd wanneer het chloridegehalte een kritieke waarde bereikt ter hoogte van de wapening, wat overeenkomt met de initiatiefase van het corrosieproces. Hierbij wordt de propagatiefase buiten beschouwing gelaten. Het begrip 'kritiek chloridegehalte' wordt in het volgende deel verder toegelicht. Er wordt meestal een onderscheid gemaakt tussen ingedrongen en ingemengde chloriden, die typisch een verloop hebben zoals weergegeven in Figuur 19. Indien er initieel chloriden in het beton werden ingemengd (door gebruik van verontreinigde grondstoffen en/of gebruik van de bindingsversneller CaCl_2) en deze waarde het kritisch gehalte reeds bij aanvang overstijgt, wordt de restlevensduur als nul aangenomen. Wanneer chloriden geleidelijk aan binnendringen in een maritieme omgeving of door gebruik van dooizouten tijdens de winter, is het mogelijk om een inschatting te maken van het tijdstip waarop het kritische gehalte ter hoogte van de wapening zal bereikt worden.



Figuur 19: Typische chlorideprofiel ingedrongen vs. ingemengd

Om een levensduurinschatting te maken bij chloride-indringing zijn verschillende modellen beschikbaar. Een voorbeeld hiervan is het chloride-indringingsmodel (zie vergelijking 1) volgens *fib Bulletin 34*.

$$C(x, t) = C_0 + (C_{s, \Delta x} - C_0) \left(1 - \operatorname{erf} \frac{a - \Delta x}{2\sqrt{D_a(t)t}} \right) \quad (1)$$

$C(x, t)$: chloridegehalte op diepte x en tijdstip t [m/m%_{cement}]

C_0 = initieel chloride gehalte [m/m%_{cement}]

$C_{s, \Delta x}$ = oppervlakte chloridegehalte [m/m%_{cement}]

a = betondekking [mm]

Δ_x = convectiezone [mm]

$D_a(t)$ = schijnbare diffusiecoëfficiënt [mm²/jaar]

t = tijd [jaar]

$\operatorname{erf}()$ = errorfunctie [-]

Echter, dit is een inschattingsberekening waarbij tal van input-parameters nodig zijn via bijkomende metingen of aannames moeten gemaakt worden. Putcorrosie is immers een zeer lokaal fenomeen: de beschikbare modellen beschrijven eerder globale processen. Bijkomende proeven waarbij de migratiecoëfficiënt, type cement, ed. wordt bepaald en de indringing van de chloriden op verschillende dieptes en eventueel ook periodieke opvolging van de indringing zijn arbeidsintensief en brengen een hogere kost met zich mee.

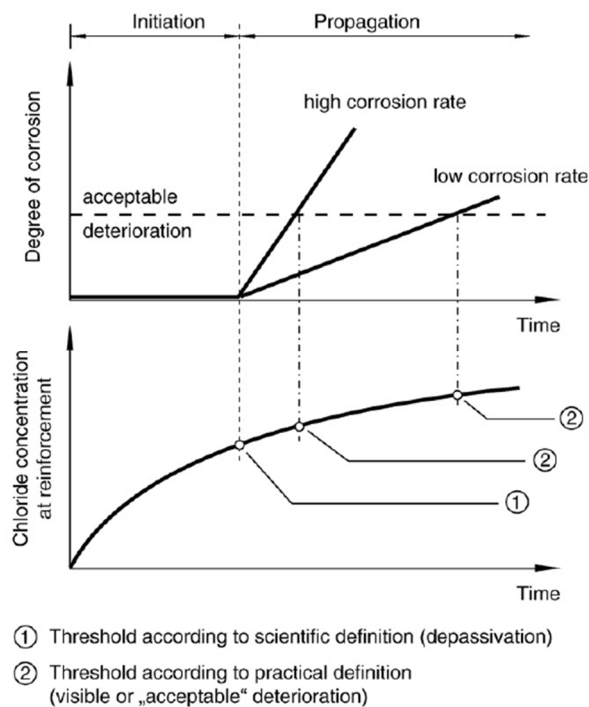
De modellen om een levensduurinschatting bij ontwerp te maken kunnen ook worden toegepast voor de beoordeling van bestaande constructies. Desgevallend is het wel aangewezen om ook de propagatiefase in beschouwing te nemen om een meer realistische inschatting van de restlevensduur te bepalen. Een mogelijke werkwijze om een restlevensduurinschatting te maken van een bestaande betonconstructie wordt o.a. beschreven in de CUR aanbeveling 121 en het Tetra-project DurOBet "Duurzaam Ontwerpen van Beton".

Tijdens het Tetra-project DurOBet "Duurzaam Ontwerpen van Beton: Chloride-indringing en carbonatatie" werd een praktische leidraad ontwikkeld voor het ontwerpen op levensduur voor gewapende en voorgespannen beton met focus op vermijden van corrosie geïnitieerd door chloriden of carbonatatie. In het laatste gedeelte "Beoordeling van bestaande constructies" wordt een voorstel gedaan om de restlevensduur van een bestaande constructie te bepalen blootgesteld aan chloride-indringing of carbonatatie.

Kritiek chloridgehalte

Wat betreft het kritiek chloridegehalte C_{crit} worden in de literatuur verschillende richtwaarden gegeven. De eigenschappen van het beton en staal, de omgevingscondities en het stochastische karakter van de initiatiefase van corrosie beïnvloeden namelijk deze waarde.

Vanuit wetenschappelijk standpunt wordt het kritisch chloridgehalte gedefinieerd als het chloridgehalte dat nodig is om het staal te depassiveren (bereiken einde initiatiefase). Echter, vanuit praktisch standpunt wordt deze waarde eerder gerelateerd aan het bereiken van 'aanvaardbare' aantasting door corrosie. In deze laatste definitie zit dus ook de propagatiefase vervat. Figuur 20 toont duidelijk aan dat het gebruik van de praktische definitie leidt tot hogere C_{crit} waarden.



Figuur 20: Wetenschappelijke (1) en praktische (2) definitie kritische chloridegehalte
 [overgenomen uit: Angst et al., 2009]

Er zijn verschillende manieren om het kritiek chloridengehalte uit te drukken. Meestal wordt dit relatief ten opzichte van de cementmassa uitgedrukt. Van bestaande constructies is het cementgehalte niet altijd gekend en wordt het chloridengehalte relatief ten opzichte van de betonmassa uitgedrukt. Een omrekening tussen deze waarden vereist kennis of een afschatting van de verhouding betonmassa en gehalte cement (omrekeningsfactor 7 à 8). Indien verondersteld wordt dat gebonden chloriden geen risico vormen, kan voor C_{crit} gerefereerd worden naar het vrije chloridengehalte. Een andere methode is gerelateerd aan de pH van het poriënwater, uitgedrukt als de verhouding chloorionen en hydroxide ionen $[Cl^-]/[OH^-]$. Deze relatie geeft het remmende effect weer van de hydroxide-ionen dat sterker wordt naarmate de pH-waarde stijgt. Hoewel de $[Cl^-]/[OH^-]$ drempelverhoudingen niet constant blijken te zijn, wordt deze vorm vaak beschouwd als de meest nauwkeurige manier om de kritische chloridegehaltes uitdrukken. Anderzijds dient er worden opgemerkt dat er naast de OH^- concentratie ook andere factoren de waarde van C_{crit} bepalen. Bovendien zouden ook de gebonden chloriden door verschillende processen kunnen vrijkomen die in de andere gevallen buiten beschouwing werden gelaten.

In praktijk wordt voor het kritische gehalte meestal de grens van 0,4 massa% ten opzichte van het cementgehalte gekozen, zoals vermeld in de norm NBN EN 206. Voor het doorbreken van de passiveringslaag wordt in deze norm de richtwaarde $[Cl^-]/[OH^-] > 0,6$ gegeven.

Invloedsfactoren C_{crit}

De belangrijkste invloedsfactoren zijn de staal-beton interface, de pH van de poriënoplossing en de wapeningspotentiala. Deze verschillende factoren zijn vaak ook onderling gerelateerd. Een overzicht wordt gegeven in Tabel 11.

Tabel 11: Overzicht invloedsfactoren op het kritisch chloridegehalte

	Effect op C_{crit}		
	Totaal	$[Cl^-]/[OH^-]$ verhouding	Vrije Cl
Wapeningsconditie			
Staalpotentiaal	↓	↓	↓
Defecten staal-beton interface	↓	↓	↓
Eigenschappen beton			
w/b	↓	↓	↓
pH poriënoplossing	↑	↑	↑
Chloride-binding	↑	-	-
Silica fume	↓	↓	↓
Vliegassen	↑↓	↑↓	↑↓
Hoogovenslakken	↑↓	-	-
Externe factoren			
Vocht in eerder droog beton	↓	↑	(↓)
Vocht in bijna verzadigd beton	↑	↑	↑
Variaties vochtigheid	↓	(↓)	(↓)
Variaties zuurstof	↓	↓	↓
Belastingen	↓	↓	↓

↑(↓) = kritisch chloridgehalte C_{crit} stijgt (daalt) bij toename parameter

pH poriënoplossing

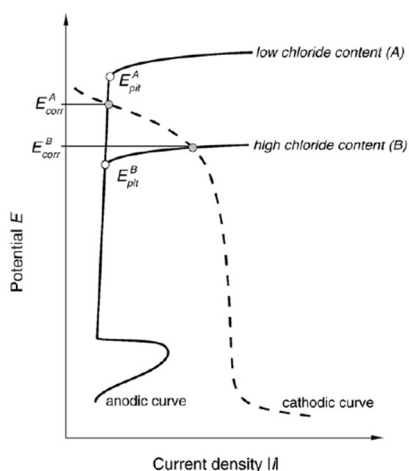
Een hogere pH van de poriënoplossing doet het gehalte chloriden stijgen dat nodig is om de passiveringslaag te doorbreken. De pH van de poriënoplossing is voornamelijk afhankelijk van het type bindmiddel, maar wordt in een later stadium ook beïnvloed door de gevolgen van carbonatatie, uitloging en verdere hydratatie. Hydroxide-ionen hebben een remmende werking op chloride-geïnduceerde corrosie. De suggestie om C_{crit} te presenteren in termen van $[Cl^-]/[OH^-]$ verhoudingen weerspiegelt dit, omdat in dit geval het enige remmende effect wordt toegeschreven aan de aanwezigheid van hydroxide-ionen

Staalpotentiaal

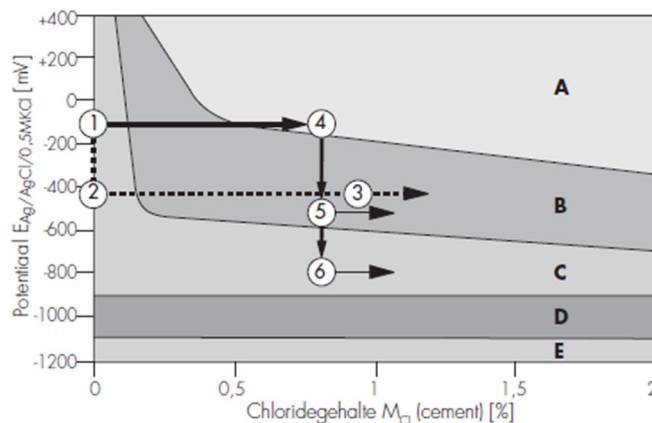
Door de aanwezigheid van chloriden aan het staaloppervlak zal de anodische polarisatiecurve wijzigen, hierbij zal de putcorrosiepotentiaal E_{pit} verschuiven naar een meer negatieve waarden (zie Figuur 21).

De potentiaal van het staal is van belang omdat putcorrosie kan plaatsvinden wanneer de corrosiepotentiaal E_{corr} meer positief is dan E_{pit} . Hoe negatiever de corrosiepotentiaal E_{corr} is, des te hoger het kritiek chloridegehalte zal zijn.

Het verband tussen het chloridegehalte en de staalpotentiaal wordt weergegeven op Figuur 22, waarbij het gebied waar putcorrosie kan initiëren en propageren (zone A) en het gebied waar putcorrosie niet kan initiëren (zone B) wordt gescheiden door de grens van E_{pit} . Wanneer chloriden in een betonconstructie binnendringen stijgt het chloridegehalte en verandert de situatie van 1 naar 4: in zone A kan putcorrosie plaatsvinden. Door de potentiaal te verlagen naar zone C (van 4 naar 6) zal het corrosieproces zich niet meer kunnen verder zetten. Dit is het principe waarop kathodische bescherming gebaseerd is.



Figuur 21: Invloed chloriden op anodische polarisatiecurve [bron: Angst et al., 2009]



Figuur 22: Schematische zone waar putcorrosie al dan niet kan plaatsvinden ifv de staalpotentiaal en chloridegehalte [bron: WTCB]

Staal-beton interface

Het beton dat de wapening omhult beschermt het staal tegen corrosie door beschermende karakter van calciumhydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Zowel op microscopische als op macroscopisch niveau, blijkt de toestand van de interfaciale zone een belangrijke invloed op het kritische chloridegehalte te hebben.

Aangezien het moeilijk is om de hoeveelheid ingesloten luchtholtes en microscopische defecten te karakteriseren, is de toestand van de staal-beton interface een eigenschap die niet kan worden gekwantificeerd.

Conditie staaloppervlak

De toestand van het staal zal ook de drempelwaarde van het kritisch chloridegehalte beïnvloeden. In de literatuur wordt vermeld dat gezandstraalde staven hogere waarden voor C_{crit} worden waargenomen.

Type bindmiddel

Het type bindmiddel beïnvloedt de chloridebinding en de pH van de poriënoplossing en daarmee de drempelwaarde van het kritische chlorideniveau. Daarnaast zijn er ook bepaalde bindmiddelen (slakken, vliegassen, microsilica) die resistiviteit van het beton verhogen of de eigenschappen van de staal-beton interface verbeteren. Het vermogen van het bindmiddel om chloriden te binden zal de waarde van C_{crit} beïnvloeden als C_{crit} wordt uitgedrukt in totaal chloridengehalte. Opgemerkt wordt wel dat gebonden chloriden kunnen vrijkomen door gewijzigde omstandigheden.

In vergelijking met portlandcement zal beton met silica fume C_{crit} doen verlagen wegens een beperkter chloridebindend vermogen. Wanneer een deel portlandcement vervangen wordt door gebruik van vliegassen of hoogovenslakken, worden tegenstrijdige bevindingen gerapporteerd in de literatuur. Enerzijds verbeteren de vliegassen het chloridebindend vermogen maar anderzijds verlaagt dit de pH in de poriënoplossingen.

Overige factoren

Zowel de aanwezigheid van zuurstof als vocht zijn twee noodzakelijke voorwaarden om het corrosieproces te laten plaatsvinden. Beton dat wordt blootgesteld aan bevochtigings- en droogcycli of een relatieve vochtigheid van 90-95% zal het snelst corroderen onder de aanwezigheid van

chloorionen. Het vochtgehalte beïnvloedt ook de mobiliteit van chloride-ionen en de chlorideconcentratie in de porieoplossing, en dus zo ook de waarde van C_{crit} .

De waterbindmiddelfactor (w/b) en de hydratatiegraad beïnvloeden de kwaliteit van de betondekking. Hoe hoger w/b verhouding, des te poreuzer het beton waardoor vocht en zuurstof de wapening sneller kunnen bereiken.

De dikte van de betondekking heeft op een indirecte manier effect op C_{crit} door het vochtgehalte, zuurstofgehalte en microstructuur te beïnvloeden. Ook de belasting heeft een invloed op de drempelwaarden van het kritische chloridgehalte door wijzigingen van de microstructuur en voortplanting van microscheuren in het beton of staal.

Geraadpleegde en aanbevolen literatuur

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

Tetra, *DurOBet: Duurzaam ontwerpen van Beton: Chloride-indringing en carbonatatie*, 2017.

Paupach, M., Elsener, B., Polder, R., Mietz, J., *Corrosion of reinforcement in concrete*, CRC WoodWoodhead Publishing in Materials, 1st edition, 2006.

Angst, U., Elsener, B., Larsen, C., Vennesland, Ø., *Critical chloride content in reinforced concrete — A review*, Cement and Concrete Research, 2009.

Cao, Y., Gehlen, C., Angst, U., Wang, L., Wang, Z., Yao, Y., *Critical chloride content in reinforced concrete — An updated review considering Chinese experience*, Cement and Concrete Research, 2019.

Tuutti, K., *Corrosion of Steel in Concrete*, Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.

Ann, K.Y., Song, H.W., *Chloride threshold level for corrosion of steel in concrete*, Corrosion Science 49 (11), pp. 4113–4133, 2007.

Glass, G.K., Reddy, B., Buenfeld, N.R., *The participation of bound chloride in passive film breakdown on steel in concrete*, Corrosion Science 42, pp. 2013–2021, 2000.

Alonso, M.C., Sanchez, M., *Analysis of the variability of chloride threshold values in the literature*, Materials and Corrosion vol 60, No. 8, 2009.

Glass, G.K., Buenfeld, N.R., *The presentation of the chloride threshold level for corrosion of steel in concrete*, Corrosion Science, Vol. 39, No. 5, PP. 1001–1013, 1997.

Angst, U.M., Elsener, B., Larsen, C.K., and Vennesland Ø., *Chloride induced reinforcement corrosion: electrochemical monitoring of initiation stage and chloride threshold values*, Corrosion Science, 53 (4), pp. 1451–1464, 2011.

Bouteiller, V., Cremona, C., Baroghel-Bouny, V., Maloula, A., *Corrosion initiation of reinforced concretes based on Portland or GGBS cements: chloride contents and electrochemical characterizations versus time*, Cement Concrete Res 42, pp. 1456–1467, 2012.

Lollini, F., Redaelli, E. & Bertolini, L., *Investigation on the effect of supplementary cementitious materials on the critical chloride threshold of steel in concrete*, Mater Struct 49, pp. 4147–4165, 2016.

Pacheco, J., Polder, R., *Critical chloride concentrations in reinforced concrete specimens with ordinary Portland and blast furnace slag cement*, HERON Vol. 61, pp. 99–119, 2016.

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

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

FIB, *Bulletin 34: Model Code for Service Life Design*, pp. 116, 2006.

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

CUR, *Bepaling ondergrens verwachte restlevensduur van bestaande gewapende betonconstructies - Methode voor het bepalen van het einde van de initiatiefase bij bestaande civiele betonconstructies*, aanbeveling 121, pp. 42, 2018.

Carbonatatatie

Carbonatatatie is een proces waarbij CO_2 uit de lucht reageert met de alkalische bestanddelen van het beton. Hierdoor zal de pH van het beton dalen van ongeveer 12 à 13 tot onder 9 door de vorming van calciumcarbonaat (CaCO_3). Dit calciumcarbonaat zal een toename in hardheid en afname in permeabiliteit veroorzaken. De grens tussen het gecarbonateerde en niet-gecarbonateerde beton, het carbonatatiefrent, verplaatst zich in de tijd doorheen de betondekking naar de wapening toe. Als de wapening wordt bereikt, verbreekt dit de passiveringslaag die de wapening beschermt tegen corrosie en kan het corrosieproces starten.

De carbonatatiesnelheid neemt af met de tijd vermits de CO_2 steeds dieper in het beton moet dringen en de poriën vernauwd zijn door de afzetting van calciumcarbonaat⁴. De carbonatatiediepte op een bepaalde leeftijd kan benaderd worden via vergelijking 2, gebaseerd op de wetten van Fick:

$$D(t) = K * \sqrt{t} \quad (2)$$

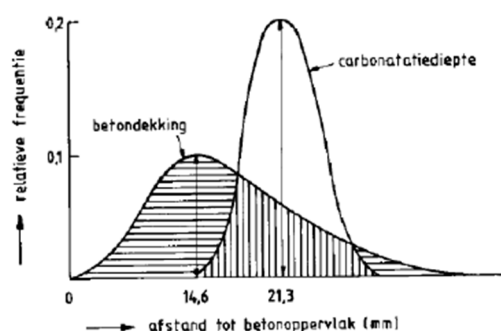
D(t): carbonatatiediepte in functie van de tijd [mm]

K: carbonatatiecoëfficiënt [$\text{mm}/\sqrt{\text{jaar}}$], afhankelijk van betonkwaliteit en blootstelling

t: leeftijd van het beton [jaar]

De carbonatatiecoëfficiënt is een maat voor de carbonatieweerstand van het beton en hangt o.a. af van de betonsamenstelling, de uitgevoerde nabehandeling en de blootstelling. Naarmate deze coëfficiënt groter is voor een specifieke situatie, zal het beton sneller carbonateren en dus een lagere carbonatieweerstand vertonen.

Indien het carbonatatiefrent zich dieper dan de wapening bevindt, wordt de restlevensduur theoretisch als nul beschouwd. Wanneer dit nog niet het geval is, kan een benadering van de restlevensduur (tot einde initiatiefase) gemaakt worden. De waarden van de betondekking en de carbonatatiediepte hebben in situ echter een bepaalde spreiding, zoals weergegeven in Figuur 23. In dit voorbeeld is de gemiddelde waarde van de opgemeten betondekking 14,6 mm met een standaardafwijking van 4,4 mm. De gemiddelde carbonatatiediepte van is 21,3 mm met een standaardafwijking van 2,0 mm. In dit geval heeft het carbonatatiefrent de wapening dus reeds bereikt.



Figuur 23: Betondekking vs. carbonatatiediepte [bron: CUR 172]

⁴ Opmerking: er zijn verschillen op te merken tussen de verschillende types bindmiddelen. Er wordt hier echter niet verder op ingegaan.

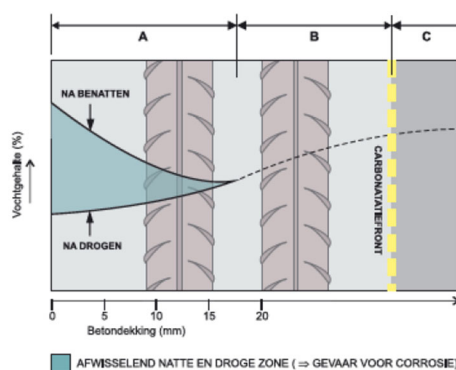
Als van een bepaalde case voldoende data beschikbaar is (betondekkingsmetingen en carbonatatiedieptes, eventueel ook geëvalueerd in de loop van de tijd) kan de carbonatatiecoëfficiënt bepaald worden voor die situatie. Daaruit kan dan weer een inschatting gemaakt worden van de (resterende) tijd die nodig is om de wapening te bereiken. Indien rekening gehouden wordt met de propagatiefase kan desgewenst ook een inschatting van de constructieve restlevensduur worden gemaakt. Een werkwijze om een restlevensduurinschatting te maken van een bestaande betonconstructie wordt beschreven o.a. in de CUR aanbeveling 121 en het Tetra-project DurOBet "Duurzaam Ontwerpen van Beton".

Tijdens het Tetra-project DurOBet "Duurzaam Ontwerpen van Beton: Chloride-indringing en carbonatatie" werd een praktische leidraad ontwikkeld voor het ontwerpen op levensduur voor gewapende en voorgespannen beton met focus op vermijden van corrosie geïnitieerd door chloriden of carbonatatie. In het laatste gedeelte "Beoordeling van bestaande constructies" wordt een voorstel gedaan om de restlevensduur van een bestaande constructie te bepalen blootgesteld aan chloride-indringing of carbonatatie.

Invloedsfactoren carbonatatiecoëfficiënt

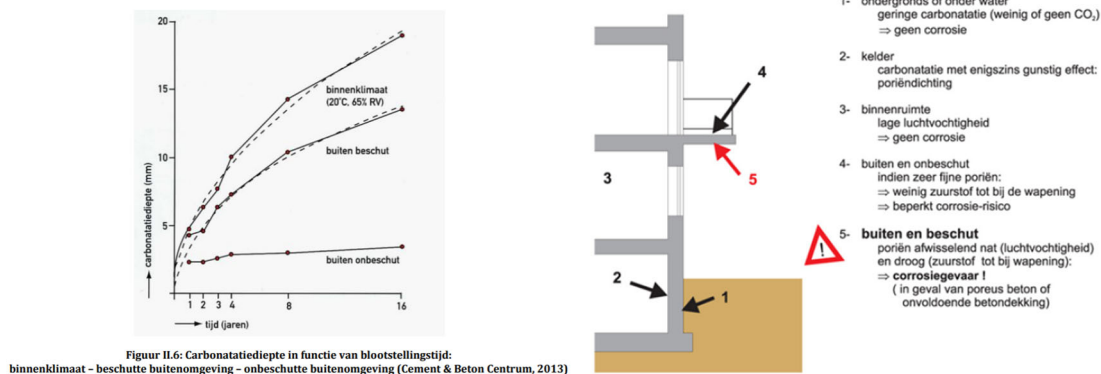
De relatieve vochtigheid en de omgevingscondities beïnvloeden de waarde van de carbonatatiecoëfficiënt. De aanwezigheid van water en zuurstof zijn een voorwaarde dat het corrosieproces kan doorgaan. Anderzijds zal CO_2 minder snel kunnen diffunderen doorheen het beton naarmate de verzadigingsgraad toeneemt. Bij een relatieve vochtigheid van 60-70% zal het carbonatatieproces het snelst kunnen plaatsvinden.

De hoofdwapening bij balkons ligt diep in het balkon en wordt langs de bovenzijde beschermd door afwerkingslagen en ligt daardoor meestal buiten het vochtwisselingsgebied (zie Figuur 24). De onderwapening of de beugels in de neus van het balkon hebben vaak wel een beperkte betondekking en zijn daardoor gevoeliger aan schade door carbonatatie.



Figuur 24: Vochtwisselingsgebied (zone A)

De permeabiliteit van het beton heeft een belangrijke invloed op de snelheid van het carbonatatieproces. Hoe poreuzer het beton, als gevolg van een hoge w/c-factor en/of slechte nabehandeling, des te sneller koolstofdioxide zal kunnen diffunderen. Onvoldoende nabehandeling zal voornamelijk de kwaliteit van de betondekking negatief beïnvloeden, het deel van de structuur dat de wapening dient te beschermen. Daarnaast heeft ook het type cement een invloed op de capaciteit om CO_2 te binden in het beton. Portland cement heeft een hogere capaciteit om CO_2 te binden dan cement met vliegassen of hoogovenslakken. De w/c-factor en de nabehandeling zijn de factoren met de meeste invloed op de carbonatati weerstand. Indien bepaalde delen van de structuur meer/minder inslag van regen ondervinden (o.w.v. oriëntatie), heeft dit eveneens een invloed op het carbonatatieproces. De carbonatatiecoëfficiënt kan dus verschillen per locatie bij eenzelfde structuur.



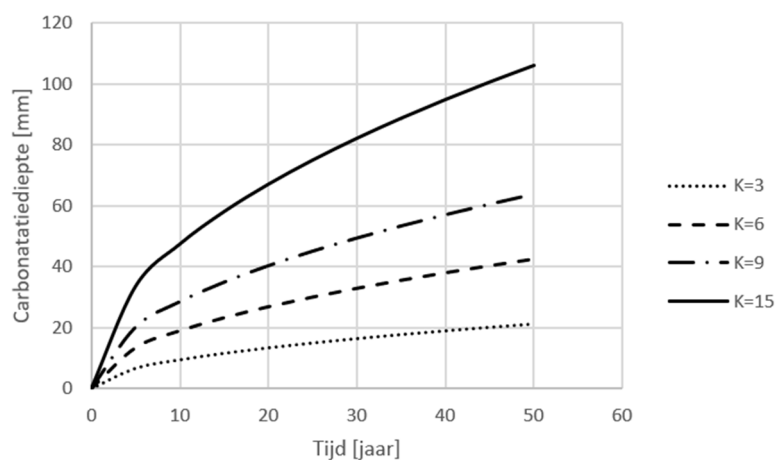
Figuur 25: Invloed binnen/buiten klimaat op snelheid carbonatatieproces [bron afbeeldingen: CUR172 en febelcem]

Algemeen kan gesteld worden dat de waarde van K zich tussen de 2 en 15 [$\text{mm}/\sqrt{\text{jaar}}$] bevindt. De invloed van de K op de carbonatatie diepte in functie van de tijd wordt weergegeven in Figuur 26. Indicatieve waarden voor K zijn:

$2 < K < 6$: voor een beton met een lage porositeit (lage w/c-factor, goede nabehandeling)

$6 < K < 9$: gemiddelde porositeit

$K > 9$: zeer poreus beton (hoge w/c-factor, slechte nabehandeling)



Figuur 26: Carbonatatie diepte ivm de tijd met verschillende carbonatiecoëfficiënten

Geraadpleegde en aanbevolen literatuur

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

Paupach, M., Elsener, B., Polder, R., Mietz, J., *Corrosion of reinforcement in concrete*, CRC WoodWoodhead Publishing in Materials, 1st edition, 2006.

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

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

Belgacem, M.E., Neves, R., Talah, A., *Service life design for carbonation-induced corrosion based on air-permeability requirements*, Construction and building materials, 2020.

Otieno, M., Ikotun, J., Ballim, Y., *Experimental investigations on the influence of cover depth and concrete quality on time to cover cracking due to carbonation-induced corrosion of steel in RC structures in an urban, inland environment*, Construction and building materials, 2019.

Thiéry, M., Faure, P., Bouteloup, J., *Effect of carbonation on the microstructure and moisture properties of cement - based materials*, International conference on Durability of Building Materials and Components, Porto-Portugal, pp. 1-8, 2011.

Tetra, *DurOBet: Duurzaam ontwerpen van Beton: Chloride-indringing en carbonatatie*, 2017.

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

NBN EN 14630 (2007): *Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies - Beproevingmethoden - Bepaling van de carbonatatie diepte van verhard beton d.m.v. de fenolftaleïne-methode*

CUR, *Bepaling ondergrens verwachte restlevensduur van bestaande gewapende betonconstructies - Methode voor het bepalen van het einde van de initiatiefase bij bestaande civiele betonconstructies, aanbeveling 121*, pp. 42, 2018.



Balcon-e

Diagnose, beoordeling en duurzaam herstel van uitkragende betonnen balkons