

Duurzame verbindingen

CORROSIEBESTENDIG EN ONDERHOUDSARM DETAILLEREN
VAN STAALCONSTRUCTIES





Colofon

Uitgave Bouwen met Staal,
Zoetermeer, 2007.

Auteur ir. W.H. Verburg,
Rotterdam

Redactie

ir. F.P. Bos

ing. M.C. Pauw

(Bouwen met Staal)

ir. J.P. den Hollander

(Bouwen met Staal)

Vormgeving

Bruikman & Kok

Foto omslag H.H. van Doorn

Vrijwaring Uitgever en samen-
stellers verklaren dat de inhoud
van deze brochure zorgvuldig en
naar beste weten is samenge-
steld. Zij aanvaarden geen aan-
sprakelijkheid voor eventuele (zet)
fouten en voor schade, van
welke aard dan ook, die het
gevolg is van handelingen en/of
beslissingen die zijn gebaseerd
op de geboden informatie.

© **Bouwen met Staal 2007**

Alle rechten voorbehouden. Niets
uit deze uitgave mag worden ver-
veelvoudigd, in welke vorm dan
ook, zonder voorafgaande schrif-
telijke toestemming van de uitge-
ver.

Inhoud

Voorwoord <i>Andreas Heutink, Opdrachtgeversoverleg Staalconserveren (OGOS)</i>	3
1. Inleiding	4
2. Klimaat en conservering	4
3. Conditiegrenzen en onderhoudscyclus	6
4. Ontwerp- en uitvoeringsaanbevelingen	7
4.1 Tijdelijke staalconstructies	7
4.2 Niet-inspecteerbare staalconstructies	8
4.3 Staalconstructies in een binnenklimaat	8
4.4 Staalconstructies blootgesteld aan het buitenklimaat	11
5. Literatuur en normen	15



Afb. 1. Opstelling van de onderzoeksobjecten in Den Helder.

Onbehandeld staal toegepast in constructies die zijn blootgesteld aan het buitenklimaat corroderen. Voorbeelden zijn draagconstructies van gebouwen, bruggen, installaties in de procesindustrie, offshore constructies en rail infrastructuur. Om de corrosie van deze constructies te beheersen worden ze van een conservering voorzien. Een goede afstemming tussen het ontwerp, de conservering en het gebruik leidt tot fraaie constructies, die vele jaren esthetisch en effectief beschermd kunnen worden tegen de invloed van de omgeving.

De beheerders van staalconstructies, zoals verenigd in het Opdrachtgeversoverleg Staalconserveren (OGOS), vinden het belangrijk dat staalconstructies ontworpen moeten worden op een optimale exploitatie. Dit betekent voor de opdrachtgevers dat er een verantwoorde keuze gemaakt moet worden in het continue spanningsveld tussen verschillende aspecten zoals beschikbaarheid, veiligheid, duurzaamheid en bouw- en onderhoudskosten. Hiermee kan de toegevoegde waarde voor de eindgebruiker aanzienlijk worden verhoogd. Dit vraagt om meer samenwerking en deskundige inbreng van alle partners in de keten. Het begeleiden van dit complexe keuzeproces wordt daarmee steeds belangrijker. De deelnemers van OGOS (Rijkswaterstaat, Defensie Materiaal Organisatie, Nederlandse Aardolie Maatschappij, ProRail, Provincie Zuid-Holland, Gemeentewerken Rotterdam en de Nederlands Gasunie) waarderen het dat Bouwen met Staal middels deze brochure de aandacht vraagt voor dit onderwerp.

Dit maakt duidelijk dat de staalbouwbranche een optimale exploitatie van staalconstructies belangrijk vindt. De OGOS organisaties delen de visie van de staalbouwbranche dat de materiaalkeuze, het ontwerp en de bescherming een belangrijke rol spelen bij het minimaliseren van de levensduurkosten. Door deze brochure kan dit begrip ook een meer uniforme invulling krijgen.

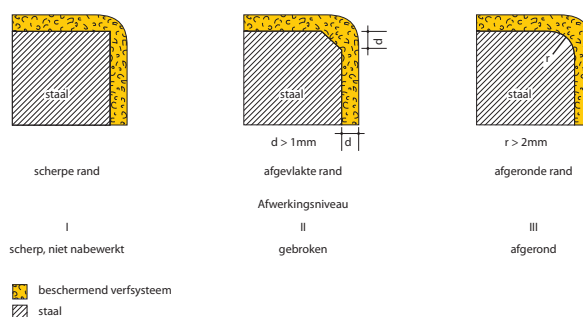
Namens OGOS wil ik alle partijen die betrokken zijn bij het ontwerp, de fabricage, de montage en het conserveren van staalconstructies uitnodigen een bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van de levensduurkosten benadering. Dit geeft het vertrouwen dat staalconstructies ook op lange termijn economisch aantrekkelijk zijn en dat de veelzijdige mogelijkheden van dit materiaal gebruikt kunnen worden in een vitale infrastructuur.

Andreas Heutink
Voorzitter OGOS

1. Inleiding

Het berekenen van staalconstructies staat uitgebreid beschreven in talloze handboeken, tabellen en normen. Voor roestvorming door corrosie is weinig aandacht, terwijl dit bepalend is voor de onderhoudskosten van een staalconstructie. Deze publicatie licht toe hoe corrosie beheersbaar kan blijven. Uitgelegd wordt wat de invloed van het klimaat, waarin de constructie zich bevindt, is op de constructieconservering. Vervolgens wordt het principe en het belang van de onderhoudscyclus onder de aandacht gebracht. Ten slotte worden ontwerp- en uitvoeringsaanbevelingen geven waarmee de corrosieproblematiek beheerst kan worden.

Corrosie bij staalconstructies concentreert zich meestal bij de verbindingen, omdat de constructie daar langer vochtig blijft en de kans op defecten in de conservering het grootst is. Defecten kunnen ontstaan bij het aanbrengen van de conservering, maar ook in een later stadium door micro- of macroscheuren. Een afwijkende laagdikte bij randen (afb. 2) en gaten, het gevolg van scherpe randen of onbereikbare plekken, is een belangrijke oorzaak van het ontstaan van scheuren. Met een degelijk ontwerp kan dit worden vermeden. Ook de mate waarin een staalconstructie langer vochtig blijft door regen of condensatie (de zogenaamde dauwvlakken), wordt in belangrijke mate door de detaillering bepaald.



Afb. 2. Doorsnede over de hoek van een stuk staal dat op verschillende manieren is afgewerkt. Van links naar rechts: een onbewerkte/scherpe rand, een gebroken rand en een afgeronde rand.

2. Klimaat en conservering

Het optreden van corrosie van een staalconstructie wordt in de eerste plaats bepaald door de omgeving waarin de constructie zich bevindt. Er worden drie omgevingen onderscheiden:

- lucht: atmosferische corrosie,
- grond: ondergrondse corrosie,
- water: corrosie in het water.

Deze publicatie heeft alleen betrekking op atmosferische corrosie. Informatie over de uitvoering van staalconstructies die blootgesteld worden aan grond en water is te vinden in NVN-ENV 1993-5 (Eurocode 3) en de hand-

boeken (Arcelor Piling Handbook, zie ook www.sheet-piling.arcelor.com) van leveranciers van damwanden.

Alle staalconstructies die in contact staan met lucht en vocht zijn in meer of mindere mate gevoelig voor atmosferische corrosie. Deze gevoeligheid is onder andere afhankelijk van de tijdsduur dat een staalconstructie vochtig is en de hoeveelheid chloriden in de lucht. Op basis hiervan worden in NEN-EN-ISO 12944 zes klimaatklassen onderscheiden (tabel 1). NEN-ISO 9224 geeft de te verwachten materiaalafname door corrosie aan, wanneer geen conservering zou worden toegepast (tabel 2).



Voorbeelden van staalconstructies in verschillende klimaatklassen: de vertrekhal van Schiphol (binnenklimaat, klimaatklasse C2), kantoorgebouw Toon van Aken (klimaatklasse C3), Maeslantkering (klimaatklasse C4), Parkeergarage Tivoli (klimaatklasse C3).

Klimaatklasse	Agressiviteit	Omstandigheden binnen	Omstandigheden buiten
C1	zeer laag	verwarmde gebouwen met schone atmosfeer.	-
C2	laag	onverwarmde gebouwen waar condensatie op kan treden.	Atmosfeer met een laag vervuilingsniveau.
C3	matig	productiehallen met een hoge luchtvochtigheid en enige luchtvervuiling.	Stedelijke en industriële omgeving met matige vervuiling door zwaveldioxide; kustgebieden met een laag zoutgehalte in de lucht.
C4	hoog	chemische fabrieken, zwembaden.	Industriële omgeving en kustgebieden met een matig zoutgehalte in de lucht.
C5-M (Maritiem/zee)	zeer hoog	gebouwen met een bijna permanente condensatie en hoge vervuiling	Kustgebieden en gebieden buitengaats met een hoog zoutgehalte in de lucht.
C5-I (Industrie)	zeer hoog	gebouwen met een bijna permanente condensatie en hoge vervuiling	Industriële omgeving met een hoge luchtvochtigheid en een agressieve atmosfeer.

Tabel 1. Klimaatklassen volgens NEN-EN-ISO 12944

1 $\mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$	Metaal		zink	
	koolstofstaal		corrosiesnelheid	
	corrosiesnelheid		corrosiesnelheid	
klimaatklasse	r_{av} [$\mu\text{m}/\text{jaar}$]	r_{lin} [$\mu\text{m}/\text{jaar}$]	r_{av} [$\mu\text{m}/\text{jaar}$]	r_{lin} [$\mu\text{m}/\text{jaar}$]
C1	$\leq 0,5$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	$\leq 0,05$
C2	0,5 – 5	0,1 – 1,5	0,1 – 0,5	0,05 – 0,5
C3	5 – 12	1,5 – 6	0,5 – 2	0,5 – 2
C4	12 – 30	6 – 20	2 – 4	2 – 4
C5	30 – 100	20 – 90	4 – 10	4 – 10

Tabel 2. Corrosiesnelheid volgens NEN-ISO 9224. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de corrosiesnelheid r_{av} in de eerste tien levensjaren van de constructie en de corrosiesnelheid r_{lin} tijdens de verdere levensduur. De eerste is aanzienlijk hoger dan de laatste.

Staal kan in principe op drie manieren worden geconserveerd. Dat kan door een metallische deklaag, meestal zink, aan te brengen. Tevens kan een verfsysteem, ook wel anorganische coating genoemd, worden toegepast. Daarnaast kunnen deze behandelingen worden gecombineerd tot een zogenaamd duplex-systeem. Als er geen esthetische eisen worden gesteld, zoals bij constructies die niet in het zicht komen, is het echter ook mogelijk te volstaan met een materiaaloeslag waarin de te verwachten materiaalafname

over de levensduur van de constructie wordt gecompenseerd door overdimensionering van de constructie.

Bij de keuze van een conserveringssysteem is het belangrijk zich te realiseren dat de eigenschappen van een conservering onder invloed van het klimaat veranderen. Daarom moet bij de keuze van een conserveringssysteem in ieder geval worden onderzocht in welke mate deze aan de prestaties kan blijven voldoen.

3. Conditiegrenzen en onderhoudscyclus

Na het gereedkomen van een staalconstructie zal deze in de loop van de tijd gaan corroderen. Om de conditie van de constructie gedurende de levensduur van de constructie op peil te houden, is het nodig een onderhoudscyclus vast te stellen. Deze wordt bepaald aan de hand van:

- De klimaatklasse waarin de constructie zich bevindt (paragraaf 2),
- De bereikbaarheid van de constructie,
- De degradatie van het conserveringssysteem en
- De mate waarin het staal mag corroderen.

De klimaatklasse waarin de constructie dient te functioneren is bij het ontwerp bekend. Het al dan niet bereikbaar zijn van de constructie wordt bij het ontwerp van de constructie bepaald. Volgens Eurocode 3 dienen permanente constructies die blootgesteld zijn aan het buitenklimaat, eenvoudig bereikbaar te zijn voor de uitvoering van inspecties en onderhoud.

Prestaties van de conservering

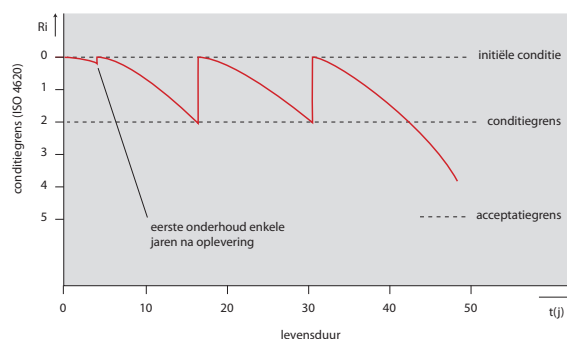
De mate waarin het staal mag corroderen moet worden vastgelegd in de vorm van afspraken met de opdrachtgever over de te verwachten prestaties van de conservering. Hiermee kan dan rekening worden gehouden tijdens het ontwerp en bij de keuze van het conserveringssysteem. De mate waarin corrosie mag optreden, bijvoorbeeld uitgedrukt in de roestschaal Ri volgens NEN-EN ISO 4628 (tabel 3), is een goed hanteerbare prestatie-eis. Ook de weerstand (tolerantie) tegen scheurvorming of de verkleuring kunnen beoordelingscriteria zijn. Overigens geeft de roestschaal van een constructie geen informatie over de materiaalkundige conditie van het conserveringssysteem of de sterkte van de constructie. Ook bij roestschaal Ri 3, die vaak wordt gehanteerd als onderhoudsgrens, is de sterkte van de constructie nog niet afgenomen.

Onderhoud kan worden gepleegd wanneer de constructie een bepaalde roestschaal heeft bereikt (afb. 4).

roestschaal	percentage geroest oppervlak
Ri 0	0,00 %
Ri 1	0,05 %
Ri 2	0,50 %
Ri 3	1,00 %
Ri 4	8,00 %
Ri 5	45,00 %

Tabel 3. Roestschaal Ri volgens ISO 4628, gebaseerd op het percentage geroest oppervlak.

Het type constructie en de resterende gewenste levensduur van zowel de staalconstructie als het conserveringssysteem bepaalt welke roestschaal als conditiegrens wordt gehanteerd. Bij constructies waar hoge eisen gesteld worden aan de esthetica is onderhoud wenselijk bij Ri 1 à 2. Indien dit niet het geval is, worden constructies onderhouden bij Ri 3. Bij deze roestpercentages is het nog niet nodig de constructie opnieuw te stralen. Stralen is een reinigingsmethode die wordt toegepast voor het aanbrengen van een nieuw conserveringssysteem. Het is gecompliceerd om dit op een bestaande constructie uit te voeren en dient vermeden te worden.



Afb. 4. Onderhoudsstrategie op basis van conditiegrenzen.

De degradatiesnelheid van de conservering kan niet zonder meer gekoppeld worden aan de tijdsduur die verstrijkt tot de toegestane roestschaal bereikt is. Indien roest wordt waargenomen dan betekent dat, dat lokaal het conserveringssysteem faalt. De oorzaak kan zowel het onzorgvuldig aanbrengen als een overmatige degradatie zijn. Het spreekt voor zich dat de te treffen maatregelen in beide gevallen totaal anders dienen te zijn.

duurzaamheid van het conserveringssysteem	voorbeeld conserveringssysteem	onderhoudsinterval
laag	zinkfosfaat epoxyprimer HB (90 µm)	2 – 5 jaar
gemiddeld	zinkfosfaat epoxyprimer HB (90 µm) + epoxytopcoating HB (120 µm)	5 – 15 jaar
hoog	zinkfosfaat epoxyprimer HB (80 µm) + epoxycoating HB (80 µm) + epoxytopcoating HB (80 µm)	> 15 jaar

Tabel 4. Indicatie van onderhoudsintervallen, afhankelijk van de duurzaamheid van het conserveringssysteem, volgens NEN-EN-ISO 12944-1.

In deel 1 van NEN-EN-ISO 12944 zijn indicaties gegeven voor de onderhoudsintervallen, afhankelijk van de duurzaamheid van het conserveringssysteem (tabel 4). Ze zijn gebaseerd op het bereiken van Ri 3 en alleen van toepassing op constructies die zich in een corrosief klimaat bevinden (klimaatklasse C2 en hoger).

Een onderhoudsinterval is dus afhankelijk van de gekozen kwaliteit van de conservering met betrekking tot de beschermende eigenschappen in de tijd en de toleranties voor de applicatie op de detailleringen van de te conserveren constructie. De staalconstructie dient zodanig gedetailleerd te worden dat er een optimum wordt gevonden tussen constructie en conservering.

Degradatiemechanismen

Dankzij de toegenomen kennis over de degradatiemechanismen van conserveringssystemen is het tegenwoordig mogelijk een conservering te kiezen met een onderhoudsvrije periode in de orde van 15 jaar. Bij moeilijk te onderhouden constructies is de toepassing hiervan te overwegen.

Indien een zeer lange onderhoudsvrije periode gewenst is, kan de constructie worden voorzien van een metallische deklaag, bijvoorbeeld met thermisch verzinken of thermisch spuiten met aluminium legeringen. Bij constructies blootgesteld aan klimaatklasse C3 kan zo een onderhoudsvrije periode van 50 jaar worden bereikt. Als op basis van esthetische overwegingen gekozen wordt voor een duplex-systeem, bepaalt de snelheid van degradatie van de verf de lengte van de onderhoudsintervallen en niet de aanwezigheid van de metallische deklaag. Op basis hiervan kunnen voorzieningen voor de uitvoering van inspecties en onderhoud getroffen worden.

Indien een zeer lange onderhoudsvrije periode gewenst is, kan de constructie worden voorzien van een metallische deklaag, bijvoorbeeld met thermisch verzinken of thermisch spuiten met aluminium legeringen. Bij constructies blootgesteld aan klimaatklasse C3 kan zo een onderhoudsvrije periode van 50 jaar worden bereikt. Als op basis van esthetische overwegingen gekozen wordt voor een duplex-systeem, bepaalt de snelheid van degradatie van de verf de lengte van de onderhoudsintervallen en niet de aanwezigheid van de metallische deklaag. Op basis hiervan kunnen voorzieningen voor de uitvoering van inspecties en onderhoud getroffen worden.

4. Ontwerp- en uitvoeringsaanbevelingen

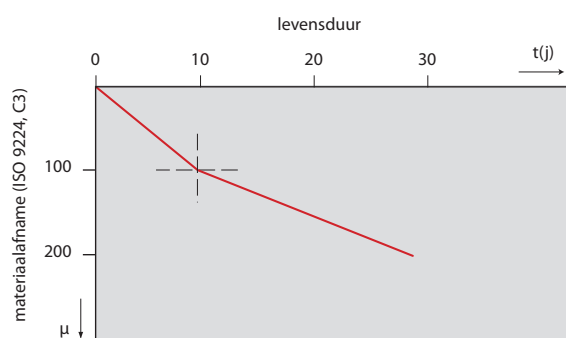
De ontwerp- en uitvoeringsaanbevelingen zijn afhankelijk van het type constructie en het klimaat waarin deze zich bevindt. In de volgende paragrafen zijn aanbevelingen gegeven voor vier soorten constructies, namelijk:

- tijdelijke constructies;
- niet-inspecteerbare constructies;
- staalconstructies in een binnenklimaat;
- staalconstructies blootgesteld aan het buitenklimaat.

4.1. Tijdelijke constructies

Tijdelijke constructies kunnen worden gedimensioneerd op basis van de te verwachten materiaalafname volgens NEN-ISO 9224 (afb. 5; zie ook paragraaf 2).

De materiaaltoeslag in de vorm van overdimensionering dient de materiaalafname door roestvorming te compenseren.

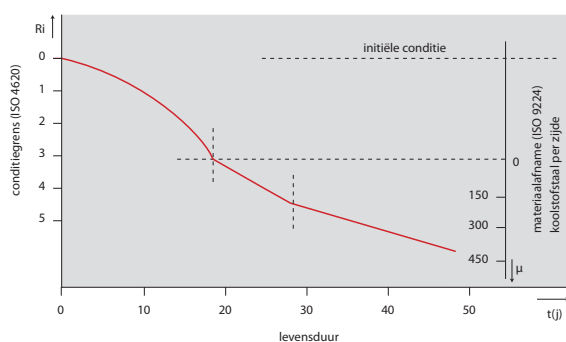


Afb. 5. Ontwerpstrategie op basis van materiaalafname.

4.2. Niet-inspecteerbare constructies

Niet-inspecteerbare stalen onderdelen komen voor in spouwen, schachten en bouwdelen zoals wanden en vloeren. Vaak zijn deze onderdelen blootgesteld aan klimaatklasse C1 of C2. Uit de corrosiesnelheden volgens NEN-ISO 9224 blijkt dat staal toegepast in klimaatklasse C1 zeer langzaam corrodeert. Hierdoor is conservering in die klasse niet nodig. In agressievere klimaten kan de dimensionering, net als bij tijdelijke constructies, vaak op basis van de verwachte materiaalafname worden bepaald.

In die gevallen waar een materiaaltoeslag niet volstaat, kan gekozen worden voor een combinatie van conservering en materiaaltoeslag (afb. 6). Het effect van de conservering kan in de beschouwing betrokken worden met de tijdsduur die er verstrijkt voordat $R_i = 3$ bereikt wordt. De materiaalafname wordt vervolgens berekend over de resterende levensperiode van de constructie.



Afb. 6. Ontwerpstrategie voor niet-inspecteerbare constructies op basis van een conservering in combinatie met materiaalafname.

Ontwerp- en uitvoeringsaanbevelingen

Staal toegepast in metselwerk vraagt extra aandacht. Contact tussen een staalconstructie en nat metselwerk dient bij voorkeur vermeden te worden. Het klimaat in een geventileerde spouw, een droge spouw, een luifel of een kruipruimte komt overeen met klimaatklasse C2. Extra aandacht moet worden besteed aan het vermijden van vochtbruggen door vallende specie, ook bij voetplaten. Het staal moet bij voorkeur minimaal 40 mm vrij zijn van nat metselwerk. Staal dat langdurig in contact staat met nat metselwerk moet gedurende de ontwerp-levensduur bestand zijn tegen klimaatklasse C5.

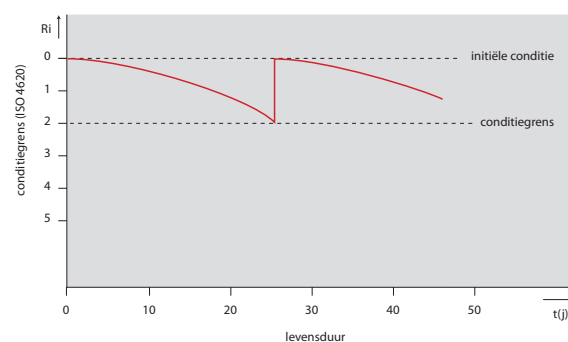
4.3. Staalconstructies in een binnenklimaat

De aanbevelingen voor staalconstructies in een binnenklimaat zijn gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- de exploitatieperiode is langer dan 50 jaar,
- de constructie is bereikbaar voor inspectie en zeer incidenteel onderhoud,
- de constructie wordt minimaal voorzien van een shopprimer,
- een degradatie tot roestschaal $R_i 2$ à 3 is toegestaan.

Onderhoudscyclus

Voor een constructie in een binnenklimaat geldt klimaatklasse C1 of C2. Deze constructies zijn slechts in geringe mate vatbaar voor corrosie. Hierdoor zijn lange onder-



Afb. 7. Ontwerpstrategie voor constructies toegepast in klimaatklasse C2. Eventueel zijn nog langere onderhoudsintervallen mogelijk.



Afb. 8a en b. Nieuw constructiestaal is bedekt met een walshuid. Wanneer dit staal buiten of in een vochtige omgeving wordt opgeslagen, zal er roest ontstaan. NEN-EN-ISO 8501-1 onderscheidt vier staalklassen (A, B, C, D) op basis van roestgradaties. Bij staalklasse A en B kunnen de verontreinigingen nog goed door stralen worden verwijderd.

houdsintervallen mogelijk (afb. 7). Een eenvoudig verf-systeem volstaat. De constructie kan zo worden geconserveerd dat onderhoud helemaal niet nodig is. Het is wenselijk dat de constructie kan worden geïnspecteerd.

Ontwerpaanbevelingen

Om de gewenste onderhoudscyclus te bereiken wordt het volgende aanbevolen:

- Kies, voor toepassingen in het zicht, staalklasse A of B (afb. 8a en b).
- Zorg voor goede afwatering van de constructie; voorkom dat er water blijft staan in zogeheten waterbakjes.
- Vermijd 'nekken' (ontmoetingen van kokerprofielen in een verticaalvlak) bij de toepassing van een conserveringsysteem (afb. 9).
- Pas onderleggingen toe onder moeren.



Afb. 9. Ontmoetingen van kokerprofielen in een verticaal vlak moeten vermeden worden.



Afb. 10. Staalconstructie gebouw West-Raven in Utrecht.

Uitvoeringsaanbevelingen

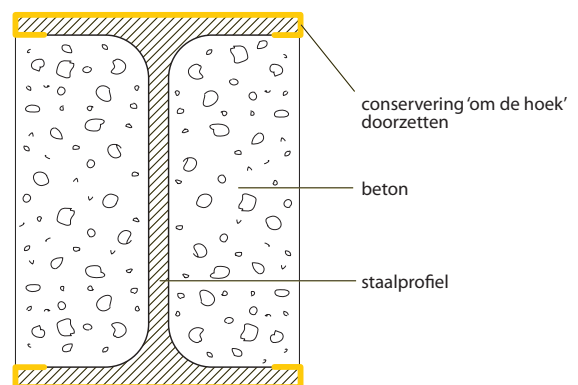
In de uitvoeringsfase verdienen de volgende punten aandacht:

- Voor aanbrengen van het verfsysteem moet de constructie worden gereinigd door stralen met een minimale kwaliteit van 2,5. Dit wordt aangeduid als Sa 2,5.
- Boutverbindingen moeten voor montage worden geconserveerd. Lasverbindingen daarentegen, moeten ná montage worden geconserveerd.
- Verwijder lasspetters.
- Voorkom beschadigingen tijdens het conserveren. Laat voor transport controle uitvoeren.
- Voorkom beschadigingen tijdens het transport en de montage.
- Voer in het kader van de oplevering een nul-inspectie uit.

Staal-beton constructies

Staalprofielen die geheel omsloten worden door beton hoeven niet geconserveerd te worden. Het verwijderen

van de walshuid volstaat. Als de flensen in het zicht blijven, dan moeten deze wel worden geconserveerd. Hierbij is het van belang de conservering ook een stukje 'om de hoek' door te zetten (afb. 11), zodat een defect in de betondekking niet direct tot roestvorming leidt.



Afb. 11. Bij staalbeton-constructies waarbij de flensen in het zicht blijven moet de conservering niet alleen aan de buitenzijde van de flens worden aangebracht, maar ook een stukje 'om de hoek' worden doorgezeten.

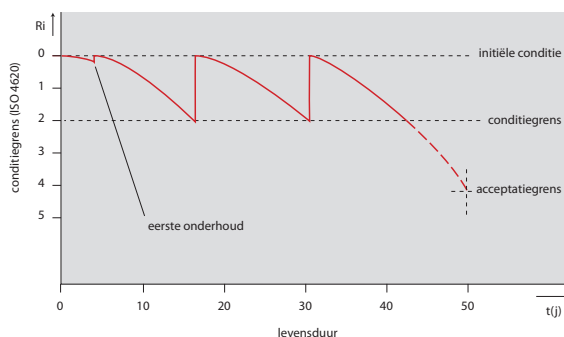
4.4. Staalconstructies blootgesteld aan het buitenklimaat

De aanbevelingen voor staalconstructies blootgesteld aan het buitenklimaat zijn gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- de exploitatieperiode is langer dan 50 jaar;
- de constructie is bereikbaar voor inspectie en onderhoud;
- er worden voorzieningen getroffen voor het uitvoeren van inspecties en onderhoud;
- de constructie wordt minimaal voorzien van een verfsysteem;
- een degradatie tot roestschaal Ri 2 à 3 is toegestaan.

Onderhoudscyclus

Bij constructies blootgesteld aan het buitenklimaat (C3, C4) en genoemde uitgangspunten is het op basis van levensduurkosten gewenst uit te gaan van een onderhoudscyclus met intervallen in de orde van 15 jaar (afb. 12). De constructie zal gedurende de exploitatieperiode een aantal malen geïnspecteerd en onderhouden dienen te worden. Bij de uitvoering van onderhoud kan gekozen worden voor bijwerken of geheel overschilderen. Door Ri 3 als ondergrens voor de toelaatbare roestvorming te hanteren, kan worden voorkomen dat de gehele constructie bij onderhoud opnieuw gestraald moet worden. Overigens zal het waarschijnlijk ook nodig zijn de constructie na de enkele jaren bij te werken om corrosie te beperken rond beschadigingen die bij de bouw zijn ontstaan.



Afb. 12. Ontwerpstrategie voor constructies toegepast in klimaatklasse C3 of C4.



Afb. 13a. Rondom aflassen vermijdt corrosie.



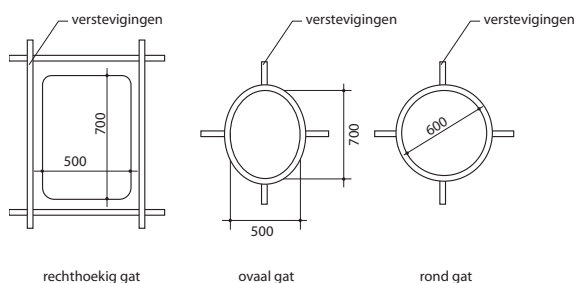
Afb. 13b. Horizontale verstijvingsschotten in (bijvoorbeeld) kolommen vermijden.

Ontwerpaanbevelingen

De ontwerpaanbevelingen zijn afhankelijk van de wijze van conserveren. Bij toepassing van een verfsysteem dienen de aanbevelingen zoals genoemd voor constructies in het binnenklimaat, te worden gevolgd. Bovendien geldt dat:

- bewerkte randen moeten worden afgerond met een afrondingsstraal $r \geq 2$ mm;
- alleen volledige lassen moeten worden toegepast. Ketting- en hechtlassen moeten worden vermeden;
- spleten moeten worden dichtgelast;
- horizontale (verstijvings)schotten zoveel mogelijk dienen te worden vermeden. Laat ze rondom aflassen als ze echt onvermijdelijk zijn (afb. 13a en afb. 13b);
- zogenaamde 'mouseholes' (de gaten in de hoeken bij aangelaste schotten) moeten worden vermeden. Deze plekken zijn bijzonder gevoelig voor corrosie. Tegenwoordig zijn mouseholes lastechnisch niet meer noodzakelijk;

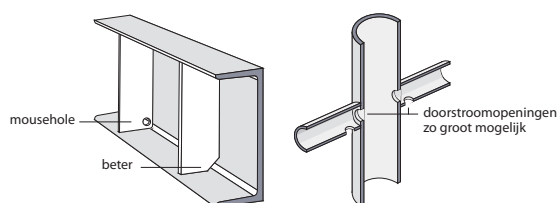
- thermisch verzinkte bevestigingsmiddelen met onderleggingen moeten worden toegepast;
- openingen tussen constructiedelen met een breedte kleiner dan die volgens *afbeelding 14* moeten worden vermeden in verband met het aanbrengen van de conservering en de uitvoering van onderhoud.



Afb. 14. Minimale afmetingen van openingen in verband met het aanbrengen van de conservering en onderhoud.

Wanneer de conservering bestaat uit het thermisch verzinken van de constructie, zijn de aanbevelingen:

- Kies staalklasse A of B;
- Zorg voor goede afwatering van de constructie; voorkom dat er water blijft staan in zogeheten waterbakjes;
- Pas thermisch verzinkte bevestigingsmiddelen toe met onderleggingen;
- Pas doorstroomopeningen en ontluchtingsgaatjes toe ten behoeve van het verzinkproces (*afb. 15*).



Afb. 15. Doorstroomopeningen en ontluchtingsgaatjes in de staalconstructie ten behoeve van het verzinkproces.

Bij toepassing van thermisch gespoten aluminiumlagen wordt aanbevolen om:

- te kiezen voor staalklasse A of B;
- te zorgen voor goede afwatering van de constructie; voorkom dat er water blijft in zogeheten waterbakjes;
- te vermijden dat er moeilijk bereikbare plaatsen in de constructie zitten.

- scherpe randen te vermijden; pas een afrondingsstraal toe van $r \geq 3$ mm.

Uitvoeringsaanbevelingen

Ook de uitvoeringsaanbevelingen zijn afhankelijk van het gekozen conserveringssysteem. Bij toepassing van een verfsysteem verdienen de aandachtspunten zoals genoemd bij constructies in een binnenklimaat, ook in een buitenklimaat de aandacht. Bovendien:

- moeten gezaagde kanten worden geslepen omdat het oppervlak door het zagen harder is dan van het omringende staal;
- dienen randen van profielen te worden 'voorgezet', dat wil zeggen dat de rand al wordt voorzien van een verflaag voordat het hele stalen onderdeel wordt geleverd. Er ontstaat zo een plaatselijk een dubbele verflaag. Dit is een praktisch alternatief voor het voorschrift uit de NEN-EN-ISO 12944 dat stelt dat alle randen moeten worden afgerond. Voor de lange randen van bijvoorbeeld H-profielen is dat een kostbare en overbodige behandeling. Overigens moet het conserveringssysteem wel geschikt zijn voor voorzetten en dus voldoende tolerant voor het aanbrengen van dikke lagen.

Bij thermisch verzinken:

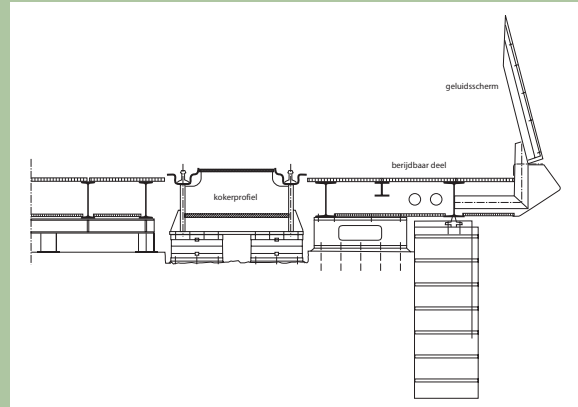
- moet de chemische samenstelling van het staal in de gaten te worden gehouden. Het siliciumgehalte beïnvloedt de snelheid van de zinkangroei. Aan staal met een hoog siliciumgehalte hecht zink sneller (het zogeheten Sandalin effect). Bij esthetische toepassing is het daarom aan te raden staal te specificeren met een laag Si gehalte zodat de dikte van de zinklaag beperkt blijft;
- moeten de toelaatbare onvolkomenheden (zinktranen, doorgroeilagen en overige verzinkfouten) worden gespecificeerd.

Voorts wordt opgemerkt dat de kleur van verzinkt staal afhankelijk is van de zinklaagdikte. Regels omtrent

Enkele voorbeelden van staalconstructies in het buitenklimaat

Spoorviaduct Rotterdam

Het berijdbare deel van dit viaduct (afb. 16) is als geluidsarme brug uitgevoerd. Daarom is een kokerprofiel toegepast. De materiaaldikte is mede afhankelijk van akoestische eisen. Een bijkomend voordeel van de keuze voor een kokerprofiel, is dat het staaloppervlak dat aan klimaatklasse C3 blootgesteld wordt, minimaal is. Het berijdbare deel van dit viaduct is van een thermisch gespoten aluminiumlaag voorzien in combinatie met een sealing en een verflaag. De globale beschermingsduur is geschat op 40 tot 60 jaar. De in deze brochure opgenomen aanbevelingen zijn toegepast. De niet



Afb. 16. Doorsnede spoorviaduct Rotterdam.

berijdbare delen zijn thermisch verzinkt en voorzien van een verflaag.



Afb. 17. Julius Caesar brug voor langzaam verkeer over het Rijn-Schiekanaal in Leiden (ontwerp: Royal Haskoning Architecten).

Bascule brug Rijn-Schiekanaal

De brug is uitgevoerd als een gesloten doos constructie omdat daarmee een minimaal te conserveren oppervlak bereikt wordt. Bovendien leidt dit tot een slankere brug. De doos constructie is afgeperst. Bovendien is er rekening gehouden met de bereikbaarheid van de constructie voor inspectie en onderhoud. Dit geldt ook voor de opleggingen, die vervangen kunnen worden zonder de brug te



lichten. De kleinere onderdelen van de brug en de bewegingswerken zijn verzinkt. De overige delen zijn voorzien van een coating. De constructie is samengesteld uit platen. De randen van de staalconstructie die blootgesteld worden aan het buitenklimaat zijn afgerond. Verder zijn de lasspetters verwijderd. Het resultaat is een goed te conserveren en onderhouden brugconstructie (Afb. 17).

thermisch verzinken worden gegeven in NEN-EN-ISO 1461. Verdere informatie kan worden verkregen bij de Stichting Doelmatig Verzinken (www.sdvonline.nl).

Bij thermisch gespoten aluminiumlagen:

- dient een minimale laagdikte van 195 μm te worden gespecificeerd

Overigens kunnen diktevariaties van meer dan 100% optreden wanneer thermisch gespoten aluminium handmatig wordt aangebracht.



Afb. 17a. Onderhoudsvrije' Omkasting warmtekrachtmachines op de Uithof te Utrecht uitgevoerd in weervast staal.

Staal-beton constructies

Voor staalbeton-constructies blootgesteld aan het buitenklimaat gelden in principe dezelfde aanbevelingen als voor die toegepast in het binnenklimaat, met dien verstande dat verzinken hier ook tot de mogelijkheden behoort. Ook voor verzinken geldt dat de conservering een stukje om de hoek moet worden doorgezet indien de flensen in het zicht blijven.



Afb. 17b. Detail van de spoorbrug over het Twentekanaal. Constructie is gealuminiseerd.

5. Literatuur en normen

Literatuur

- W.H. Verburg (samensteller), *Verdiepingbouw met staal, ontwerpboek voor architecten*, Bouwen met Staal, Zoetermeer 2005.
- W.H. Verburg (samensteller), *(Over)spannend staal, basisboek*, Bouwen met Staal, Rotterdam 2004.
- FME-CWM, *Thermisch gespoten aluminiumlagen*, Tech-Info-blad no. TI.05.25 september 2005.
- *Spraakverwarring bij verzinken*, Stichting Doelmatig Verzinken, april 2005.
- H.J. Tiemens, *Duurzaamheid van verbindingen, resultaten na 3 jaar buitenexpositie, TNO-rapport nr 42/03.007310*, TNO Industrie, mei 2003.

Normen

- NEN-ENV 1090 delen 1 en 5, *Het vervaardigen van staalconstructies*, 1997-1999.
- NVN-ENV 1090 delen 2, 3, 4 en 6, *Het vervaardigen van staalconstructies*, 1997-2000.
- NEN-EN 1090 delen 2 en 3 Ontw. en, *Het vervaardigen van staal- en aluminiumconstructies*, 2005.
- NEN-EN-ISO 4628 delen 1-10, *Verven en vernissen – Beoordeling van de kwaliteitsafb. raak van verf-*

lagen – Aanduiding van de intensiteit, hoeveelheid en omvang van algemeen voorkomende gebreken, 2001-2005.

- NEN-EN-ISO 12944 delen 1-8, *Verven en vernissen – Bescherming van staalconstructies tegen corrosie door middel van verfsystemen*, 1998-2006.
- NEN-EN-ISO 1461:1999 nl, *Door thermisch verzinken aangebrachte deklagen op ijzeren en stalen voorwerpen – Specificaties en beproevingen*, 1999.
- NEN-EN-ISO 8501-1:2001 en, *Voorbehandeling van staal voor het aanbrengen van verven en aanverwante producten – Visuele beoordeling van de oppervlakte-eenheid – Deel 1: voorbehandeling voor roest van niet-bekleed staal en van staal na verwijdering van voorgaande deklagen*, 2001.
- NEN-ISO 9223:1997 en, *Corrosie van metalen en legeringen – Corrosiviteit van de atmosfeer – Classificatie*, 1997.
- NEN-ISO 9224:1997 en, *Corrosie van metalen en legeringen – Corrosiviteit van de atmosfeer – Richtwaarden voor de corrosiviteitscategorieën*, 1997.

Duurzame verbindingen

Het berekenen van staalconstructies staat uitgebreid beschreven in talloze handboeken, tabellen en dikke normen. Voor roestvorming door corrosie is weinig aandacht, terwijl dit een van de belangrijkste factoren is in de onderhoudskosten van een staalconstructie. Deze uitgave licht toe hoe corrosie beheersbaar kan blijven. De invloed van het klimaat waarin de constructie zich bevindt op de constructieconservering wordt uitgelegd. Vervolgens wordt het principe en het belang van de onderhoudscyclus onder de aandacht gebracht. Ten slotte worden ontwerp- en uitvoeringsaanbevelingen geven waarmee de corrosieproblematiek beheerst kan worden.



Bouwen met Staal

Boerhaavelaan 40
2713 HX Zoetermeer
Postbus 190
2700 AD Zoetermeer
tel: 079-3531277
fax: 079-3531278
info@bouwenmetstaal.nl
www.bouwenmetstaal.nl



BOUWEN MET STAAL

Bouwen met Staal stimuleert het gebruik van staal in de bouw en is dé onafhankelijke kennisorganisatie, die alle partijen in de bouw ondersteunt bij het toepassen van staal. Bouwen met Staal initieert onderzoek voor de kwaliteitsverbetering van stalen bouwproducten en ontwerp- en bouwprocessen met staal en werkt mee aan de totstandkoming van regelgeving voor staaltoepassingen.

Daarnaast verzorgt Bouwen met Staal de promotie, voorlichting en educatie voor een breder én beter gebruik van staal. Tot de producten en diensten behoren opleidingen en cursussen, studieboeken, het vakblad *Bouwen met Staal*, projectadvies, de Helpdesk, de Nationale Staalprijs en de Nationale Staalbouwdag.

Bouwen met Staal: platform en partner voor het bouwen met staal.