



monumentenwacht
Vlaanderen vzw



1. INLEIDING	5
2. METAAL	6
Ferrometalen	6
Non-ferrometalen	7
Samenstelling en eigenschappen van ferrometalen	7
3. SCHADE	12
Oorzaken	12
Gevolgen van ‘roesten’	15
4. PREVENTIE TEGEN CORROSIE	17
Constructie	17
Een beschermende laag	17
5. RENOVATIE / RESTAURATIE	22
Vooronderzoek	22
Demonteren	23
Reinigen en ontroesten	23
Schilderen	25
Verbinden	25
Vervangen	26
Terugplaatsen	27
BESLUIT	28
BIBLIOGRAFIE	29
COLOFON	30
ADRESSEN	31



Metalen worden sinds duizenden jaren ontgonnen en bewerkt. Ze duiken dan ook al eeuwenlang op in gebouwen en monumenten. IJzerwerk komt frequent voor in de vorm van kruisen of hanen op de toren, diefijzers, stalen schrijnwerk, hang- en sluitwerk, veiligheidsvoorzieningen, hekken, windroedes en raambruggen bij glas-in-loodramen, grafzerken, voetschrapers, kolommen, draagprofielen, grendels, verstevigingen van de structuur...

IJzer heeft een 'ijzersterke' reputatie... op voorwaarde dat het voldoende zorg en onderhoud krijgt. Vooral ijzerwerk dat blootgesteld is aan het buitenklimaat of dat in een vochtige omgeving staat, vraagt heel wat aandacht.

Deze brochure behandelt het 'ijzerwerk' dat op, in of aan ons bouwkundig erfgoed voorkomt. Ze gaat in op de belagers en formuleert oplossingen voor het onderhoud en behoud ervan in historisch waardevolle gebouwen.

In de grote groep metalen wordt een onderscheid gemaakt tussen ferrometalen (ijzerhoudende) en non-ferrometalen (niet ijzerhoudende).

1. FERROMETALEN

Hoewel alle ferrometalen afkomstig zijn van ijzererts, zijn er honderden verschillende ijzer- en staalsoorten, afhankelijk van het koolstofgehalte en andere bijproducten in hun samenstelling. De ijzerlegeringen die in historische gebouwen voorkomen, laten zich in vier grote groepen indelen: smeedijzer, gietijzer, staal en roestvast staal.

Smeedijzer is de oudste vorm van ijzerhoudend metaal in gebouwen. Het is rekbaar en kneedbaar, kan warm gesmeed of koud gewalst worden, heeft een vrij goede trek- en buigsterkte, maar is minder bestand tegen

druk. Smeedijzer is redelijk bestand tegen corrosie.

Een smeedijzeren voorwerp begint doorgaans als een vierkante of ronde staaf. De staaf wordt in het vuur verhit tot de juiste temperatuur en wordt dan in vorm gebracht met een smids-hamer en een aambeeld.

Gietijzer is niet rekbaar of smeedbaar maar kan wel gesmolten en gegoten worden en kan een grote(re) druk aan. Het is een vrij broos en bros materiaal en biedt weinig weerstand tegen trek en buiging. Gietijzer komt voor vanaf de 13^{de} eeuw, maar kent een belangrijke opmars tijdens de industriële revolutie (19^{de} eeuw). Het leent zich goed voor serieproductie.

Om gietijzeren stukken te vervaardigen moeten eerst modellen gefabriceerd worden. De mallen worden gesneden uit hout en daarna worden de gietvormen in zand gemodelleerd. In deze vormen wordt het gesmolten metaal gegoten. De stukken worden uit de vorm genomen, afgewerkt door de baarden en gietnaden af te bramen, en vervolgens geassembleerd volgens plan.

Staal is harder dan smeedijzer en dus meer geschikt voor bouwstructuren. Aan het eind van de 19^{de} en in de 20^{ste} eeuw wordt staal hét materiaal voor grote metaalconstructies zoals stationshallen, tentoonstellingspaviljoenen, hangars, serrestructuren... Staal komt relatief weinig voor in de



woningbouw, tenzij in traditionele vormen ter vervanging van dragende houten balken, lateien of kolommen. Staal heeft het grote nadeel dat het een geringe weerstand heeft tegen corrosie.

Roestvast staal (de vaak gebruikte term 'roestvrij' staal is niet helemaal correct) heeft een veel betere weerstand tegen corrosie dan zijn voorloper 'staal'. Maar helemaal uit te sluiten is roestvorming niet, zij het in bepaalde extreme omstandigheden. In een normaal buitenklimaat en zonder agressieve stoffen, zal roestvast staal 'roestvrij' blijven. Dit vrij recente materiaal komt weinig voor in historisch waardevolle gebouwen. Bij restauratie wordt het wel gebruikt als plaatsvervangend (en goed resistent) materiaal voor ander metalen: raamburgen bij glas-inloodramen, veiligheidsvoorziening, daken in natuursteen en als bevestiging van natuurleien...

Verder in deze brochure wordt vooral dieper ingegaan op gietijzer, smeedijzer en staal, de courante ijzerhoudende metalen tot het begin van de 20^{ste} eeuw.

2. NON-FERROMETALEN

Naast de ijzerhoudende metalen zijn op en in gebouwen nog verschillende metalen terug te vinden die geen ijzer bevatten, zoals zink, lood, koper en hun legeringen. Die worden nog steeds gebruikt om regenwater buiten te houden: zinken en koperen daken en goten en lood voor waterdichte aansluiting van daken, muren en goten. Daarnaast worden koperle-

geringen verwerkt tot hang- en sluitwerk voor ramen en deuren. Koper is een goed elektrisch geleidend materiaal en wordt eveneens gebruikt als bliksembeveiliging en in elektriciteitsleidingen. Binnen wordt het toegepast voor de toevoer van water en gas. De laatste decennia doet ook aluminium zijn intrede in het gebouw, meestal in de vorm van aluminium schrijnwerk. In het interieur komen nog heel wat decoratieve en gebruikvoorwerpen voor van zilver, goud, koper, zink, tin en hun legeringen.

De non-ferrometalen vergen minder – en andere – beschermingsmaatregelen en onderhoud voor een lange levensduur dan de ferrometalen. De problemen op bouwtechnisch vlak zijn dan ook eerder te wijten aan een onzorgvuldige detaillering of aan uitvoeringsgebreken.

De non-ferrometalen, hun aandachtspunten en onderhoudstips komen beperkt aan bod in de brochure 'Hemelwaterafvoer'. Voor het specifieke onderhoud van (niet-ijzerhoudende) metalen voorwerpen in het interieur, verwijzen we naar de onderhoudstip 'Onderhoud van metaal in het interieur'.

3. SAMENSTELLING EN EIGENSCHAPPEN VAN FERROMETALEN

Smeedbaar ijzer en staal

Tot enkele tientallen jaren geleden (en nu nog in veel winkels) werd er gesproken over ijzer en staal. Was er op het ijzer geklopt, dan werd het smeedijzer genoemd en verdubbelde de verkoopprijs van het artikel. Men

had het over staal wanneer het materiaal hardbaar was, bijvoorbeeld voor de productie van beitels en messen.

Bij het 'harden' wordt het staal verhit tot een bepaalde temperatuur en dan zeer snel afgekoeld. De hardheid en de weerstand tegen slijtage worden hierdoor sterk verhoogd, maar het staal wordt ook bros. Om het staal wordt ook bros. Om het brosse karakter tegen te gaan en de gevormde interne spanningen te verminderen, wordt het staal opnieuw verhit tot een lagere temperatuur.

Tegenwoordig vallen (alle) smeedbare ferrometalen onder 'staal', onafhankelijk van hun toepassing. Om onderscheid te maken tussen materialen voor meubels, kandelaars, messen, assen voor auto's, komt er een toevoeging achter de naam of een aparte aanduiding.

Vóór 1900 was de kwaliteit van het staal afhankelijk van de fabriek of de streek waar het vandaan kwam. Zo waren Sweeds staal, Solingen staal en Sheffield staal groepsaanduidingen die een zekere kwaliteit inhielden. De echte kwaliteit was echter niet te achterhalen want die hing af van de leverancier. Ook hadden vele leveranciers staalsoorten van verschillende kwaliteit. Vandaag wordt getracht de verschillende staalsoorten en de eigenschappen die ze (zouden moeten) bezitten in standaardnormen te gieten.

Zuiver ijzer komt niet voor in de toepassingen waar wij mee te maken krij-

gen. Bijna altijd betreft het een legering van ijzer, koolstof en enkele andere elementen die als verontreiniging beschouwd worden of die toegevoegd worden om de eigenschappen te beïnvloeden. De eigenschappen van de ijzer- en staalsoorten worden in hoofdzaak bepaald door het koolstofgehalte in de ijzerlegering. Zij kunnen met de huidige productiemethoden bijgestuurd worden met toeslagstoffen. De smeedbare ijzerlegeringen kunnen opgesplitst worden in koolstofstaal en gelegerde staalsoorten.

Koolstofstalen zijn staalsoorten die alleen met koolstof gelegerd zijn. De samenstelling bestaat uit een ijzerlegering met maximum 2% koolstof en verontreinigingen van silicium, zwavel en fosfor van minder dan 0,1%. Voorbeelden zijn staal voor staalconstructies (0,2% koolstof), smeedijzer in onze monumenten (0,01–0,02% koolstof) en staal voor beitels, machines... (tot ongeveer 1,5% koolstof).



In de tweede helft van de 20^{ste} eeuw wordt het mogelijk de eigenschappen van staal sterk te beïnvloeden door het ijzer te legeren met andere metalen zoals chroom, nikkel, kobalt, mangaan, vanadium, wolfram en koper. Zo ontstaan **gelegeerde staalsoorten** als roestvast staal (legeringen met vanaf 18% chroom en 8% nikkel), verenstaal (legering met ongeveer 0,5% koolstof en ongeveer 1,6% silicium) en kettingenstaal (legering met ongeveer 0,4% koolstof, 1,8% mangaan en 0,1% vanadium).

Wat is het effect van koolstof op het staal? Zuiver ijzer is een redelijk zacht materiaal en kan koud worden bewerkt en vervormd met een hamer, zonder te scheuren. Het is dus zeer elastisch en niet sterk. Door koolstof toe te voegen, wordt het staal harder en moet het verwarmd worden om het te vervormen. Het wordt echter niet alleen sterker maar ook harder en bros. Een zwaard van ijzer zal buigen bij een slag en de scherpte zal er na een slag af zijn. Een zwaard van staal zal zijn scherpte bewaren maar breken bij aanraking met een ander hard materiaal zoals een rots.

Gietijzer of gietstaal

Wordt het koolstofpercentage verhoogd tot boven de 2%, dan wordt het staal zo hard dat het niet meer gesmeed kan worden. Om het te vormen, moet het verhit worden tot het smeltpunt zodat het in een vorm gegoten kan worden. Gietijzer is zeer sterk en hard maar kan niet tegen een stootje. Het werd en wordt toegepast voor funderingen en steunen.

Vloeibaar ijzer neemt tot ongeveer 6% koolstof op. Gewoonlijk bevat het gietijzer waarmee wordt gewerkt ongeveer 4,5% koolstof.

Eigenschappen

Met alle metalen hebben de ijzerlegeringen enkele eigenschappen gemeen. Ze vertonen meestal een glimmend uiterlijk, ze zijn taai (ductiel) en pletbaar. De meeste metalen hebben een hoog smeltpunt. Met uitzondering van kwik (Hg) zijn alle metalen vaste stoffen. Het zijn ook goede geleiders van warmte en elektriciteit. Gietijzer en smeedijzer verschillen van elkaar in ductiliteit (taaiheid). Gietijzer is bros, wat wil zeggen dat het gemakkelijk zal breken onder een schokbelasting. Smeedijzer zal eerst vervormen onder een belasting.

De productiewijze heeft een grote invloed op de samenstelling en de structuur en dus ook op het corrosiegedrag.

Ondanks hun hoge smeltemperatuur en hun onbrandbare karakter zijn ijzerlegeringen in een gebouw slecht bestand tegen brand. Bij temperaturen boven de 500°C verzwakt de structuur. Door temperatuurschokken – zoals van bluswater – kunnen in gietijzer bovendien plotse breuken ontstaan.

ONDERSCHIED TUSSEN GIETIJZER, SMEEDIJZER EN STAAL



	Gietijzer
Koolstofgehalte	2 tot 4,5%
Eigenschappen	broos (slecht bestand tegen schokken)
Treksterkte	geringe trek- en buigsterkte
Druksterkte	goed (beter dan smeedijzer en staal)
Corrosieweerstand	matig
Zwakke plekken	scheuren, luchtinluitsels, blaasgaten (vooral in flenzen van profielen of in aangrenzende zone van de lijfplaat), zandinsluitingen, slecht gevormde stukken, gietnaden
Verwerkbaarheid	gietbaar in elke vorm
Identificatie van het metaal	
Datering	vanaf 13 ^{de} eeuw, hoogtepunt 19 ^{de} eeuw
Opp.textuur (niet gecorrodeerd)	ruw oppervlak, soms putjes of belletjes (luchtgaten) vaak gietnaad bij poging stukje af te schaven, breekt volledig brokje af
Opp.textuur (gecorrodeerd)	roest in poedervorm
Breukoppervlak	broos breukoppervlak, dof, korrelig uiterlijk, soms holten aanwezig
Toepassing als structureel element	
Plaats in constructie	op druk belast
Profiel eigenschappen	veranderlijke profielsecties mogelijk (aangepast aan materiaaleigenschappen en krachtenverloop)
Profiel van de dwarsdoorsnede	grotere materiaaldikte
Verbindingsmethodes	smeedijzeren hulpmiddelen (klinknagels, bouten... werden nooit in gietijzer uitgevoerd)
Afmetingen	liggers meer dan 10 m: in verschillende stukken
Identificatie op de elementen zelf	soms meegegoten naam, jaartal, plaats van gietterij occasioneel werd draagkracht vermeld



Smeedijzer	Staal
0 tot 0,2% (19 ^{de} eeuw: tussen 0,01% en 0,07%)	0,1 tot 1,7% vanaf 0,3% koolstof kan staal gehard worden
ductiel	ductiel
betere treksterkte dan gietijzer	goed
goed	goed
matig	slecht
naden, schilfers, groeven, insnijdingen, beitelslagen	schilfers, groeven, barsten en scheuren; lasnaden: diktefouten, inkartelingen, kratertjes, bolheid, scheuren
warm smeden en walsen	warm smeden en walsen
vanaf 1000 v. Chr. (constructie ijzer maakt rond 1900 plaats voor staal)	20 ^{ste} eeuw
glad en vlak oppervlak	glad en vlak oppervlak
met scherpe koude beitel kun je een schilfer afsnijden bij aantikken: helderder dan gietijzer	met scherpe koude beitel kun je een schilfer afsnijden
roest in schilfervorm (onregelmatig, gelaagd patroon door gelaagdheid van het smeedijzer of staal)	regelmatig (roest in vochtige atmosfeer sneller dan smeedijzer)
bij een taaie breuk: vezelige structuur	homogene structuur
op trek belast	vele belastingsvormen mogelijk
profielsectie constant (aanvankelijk vaak samengestelde profielen op basis van plaatmateriaal en hoekprofielen)	
slank gedimensioneerd	
smeedijzeren klinknagels en bouten, oudere structuren zijn geweld	vanaf 1920: lastechniek
grote elementen samengesteld of geklonken	grote overspanningen mogelijk
zelden geïdentificeerd grotere structuren soms voorzien van gietijzeren plaat	niet geïdentificeerd

1. OORZAKEN

Mechanische beschadiging

Een ijzeren onderdeel kan mechanisch beschadigd worden. Vervormingen of breuken zijn doorgaans het gevolg van een spanning in het metaal of een belasting van buitenaf. Door onjuist gebruik en verkeerde hersteltechnieken kan historisch ijzerwerk onherroepelijk verloren gaan.

Chemische beschadiging: corrosie

Bij corrosie ondergaat een materiaal een ongewenste aantasting door chemische of elektrochemische reacties met stoffen uit zijn omgeving. Een frequent voorkomende vorm is atmosferische corrosie.

Atmosferische corrosie

Onder invloed van water of vocht en zuurstof uit de atmosfeer oxideert een metaal. Er wordt een uniform laagje metaaloxide gevormd, zoals een groene verkleuring bij koperen daken, een zwart laagje bij zilver of roest (ijzeroxide) bij ijzerhoudende metalen. Dit oxidelaagje vormt bij non-ferrometalen vaak een dichte beschermlaag. Bij ferrometalen is deze roestlaag echter zeer poreus. Ze biedt dan ook geen bescherming en het roestproces schrijdt verder. Het ijzerwerk ondergaat daarbij een omvangrijke volumevermeerdering (tot 7 keer zijn volume). Hierdoor ontstaan er niet alleen grote spanningen in het ijzerwerk zelf, maar ook op de



Atmosferische corrosie

omliggende materialen, met breuken, scheuren, barsten... tot gevolg. Omdat de hele oppervlakte op een soortgelijke manier wordt aangetast, is deze uniforme corrosie doorgaans niet zo problematisch. Ze is in elk geval opvallend aanwezig, zodat bij een tijdige reactie (ontroesten en schilderen) erger voorkomen kan worden.

Lokale corrosie

Lokale corrosie is minder opvallend aanwezig, wordt in de meeste gevallen slechts laat opgemerkt en is alleen daardoor al veel gevaarlijker. Bovendien dringt de schade tot diep in het metaal door. Er zijn verschillende vormen en oorzaken van lokale corrosie.

Putvormige corrosie: het metaal wordt

plaatselijk (sterker) aangetast, waarbij de diameter van de schadeplek kleiner is dan de diepte van de schade. Bij putcorrosie dringen deeltjes – vaak chloride-ionen – door ter hoogte van doorbrekingen in de beschermlaag of de beschermende corrosielaag.

Galvanische corrosie (of contactcorrosie): wanneer twee verschillende metalen in vochtige lucht of bij regen rechtstreeks met elkaar in contact staan, wordt een galvanisch koppel gevormd. Door een chemische reactie zal het minst edele metaal aangetast worden. Hoe verder de metalen in de spanningsreeks uit elkaar liggen, des te groter is de kans op corrosie.



IJzer corrodeert door koperen afvoer

Spanningsreeks voor verschillende metalen in de atmosfeer (*). De volgorde van de elementen kan licht afwijken, afhankelijk van het vochtgehalte en het milieu waarin de materialen zich bevinden.

Metalen of legeringen uit dezelfde groep kunnen in normale omstandigheden samen worden gebruikt, zonder dat er galvanische corrosie optreedt.

I	Magnesium	<p>Minst edele metalen</p> <p>Edelmetalen</p>
II	Aluminium Zink Cadmium	
III	IJzer Staal Gietijzer Lood (+ lood in soldeersel) Tin	
IV	Roestvast staal	
V	Koper-nikkel- en koper-zinklegeringen Koper Zilver Goud Platina	

(*). Gebaseerd op atmosferische testen in maritieme, industriële en corrosieve tropische milieus.

Spleetcorrosie of versnelde corrosie: een ernstige lokale aantasting treedt op in spleten tussen het metaaloppervlak en een ander materiaal, doordat water er stagneert. Zo beginnen stalen ramen vaak te roesten op de aansluiting met de raamdorpel.

Spanningscorrosie: de aantasting komt voor in de randzone van metalen voorwerpen zoals profielen waar trekspanningen optreden in combinatie met zuren, zouten of logen. Spanningscorrosie treedt vaak op in roestvast staal onder invloed van chlorides in water of vocht waarmee het staal in aanraking komt.

Corrosie door chemische aantasting: corrosie treedt sneller op in een agressieve omgeving, bijvoorbeeld bij ommantelde structuren, zoals liggers, kolommen of wapeningsijzers die in beton gegoten werden. Als het beton nat wordt, vormen de zwavel en chloriden die erin aanwezig zijn, een zure oplossing die erg corrosief is ten opzichte van metaal.



Roestend profiel drukt (te dunne) betondekking weg

Corrosiegevoeligheid

De meest gevoelige punten bij metalen constructies van gietijzer, smeedijzer of staal zijn doorgaans die waar water en vuil kunnen blijven staan of binnendringen: bevestigingspunten, assemblages, onregelmatigheden in het ijzerwerk, op of onder horizontale delen... Vaak zijn die plaatsen nauwelijks zichtbaar, zodat het roestproces al vergevorderd is voordat het ontdekt



wordt. Bovendien zijn ze soms moeilijk bereikbaar voor herstellingen en goed sluitend schilderwerk. Ook hoeken, scherpe kanten, krassen en andere beschadigingen in de afwerklaag zijn gevoelig voor lokale corrosie. Bij contact tussen twee metalen kan galvanische corrosie optreden.

Het koolstofgehalte, de aanwezige verontreinigingen en toeslagstoffen zijn bepalend voor de corrosiegevoeligheid van het metaal. IJzerwerk met een laag koolstofgehalte is redelijk resistent tegen roest. Onder invloed van zuurstof en water roest gietijzer in alle richtingen vrij gelijkmatig en ont-

staat er een dichte corrosiestructuur. Roestend smeedijzer wordt vanaf een bepaald stadium laagje per laagje uit elkaar gedrukt. Het ijzer zwelt. Aan roestvaste staalsoorten worden elementen zoals chroom (in combinatie met nikkel) toegevoegd om de corrosieweerstand te verbeteren.

2. GEVOLGEN VAN 'ROESTEN'

Uitzetting

Tijdens het roesten neemt het volume van het materiaal aanzienlijk toe. Dit veroorzaakt spanningen in het metaal, zeker als het ingeklemd zit. Voor gietijzer, een bros materiaal, kunnen die spanningen nefast zijn. Is het ijzeren voorwerp ingewerkt in baksteen- of natuursteenmetselwerk, dan drukt het uitzettende metaal daarop. Door de enorme krachten kan de muur barsten of scheuren.

Roestende raambuggen in glas-in-loodramen veroorzaken vaak spanningen in de natuurstenen monelen en drukken stukken natuursteen weg. IJzeren doken of verankeringen die worden ingemetseld om dekstenen of pinakels op hun plaats te houden, kunnen bij roestvorming het steenwerk beschadigen en de stabiliteit van de bekroning in het gedrang brengen. Ook door de uitzetting van roestige wapeningsijzers in beton zullen stukken beton wegspringen. Analoog kunnen roestende muurankers scheuren in de muur veroorzaken, en kunnen diefijzers raamdorpels en -lateien doen barsten. Vaak beletten roestende grendels of scharnieren dat ramen of luiken nog opengaan.



Metselwerk beschadigd door roestig muuranker

Verzwakking

Roestend ijzer verliest ook zijn sterkte doordat het corrosieproces steeds nieuw materiaal gaat aantasten. Na een tijd worden voorwerpen dun, gaan ze barsten of breken. Zo kunnen raambuggen en windroeden bij glas-in-loodramen doorbuigen, losscheuren of helemaal doorroesten, net zoals



IJzeren ring bijna doorgeroest

muurankers of gootbeugels. Roestende ladderhaken of balustrades verliezen hun stevigheid en worden onbetrouwbaar.

Aantasting van het esthetische aspect

Topbekroningen en sierankers hebben vaak een decoratieve waarde, die (gedeeltelijk) verloren gaat bij roestvorming. De fijne detaillering verdwijnt bij het uitzetten van ijzer, bovendien vervagen de scherpe lijnen door de ruwe

corrosielaag. Corroderend ijzer kan een bruine roestlaag leggen op onderliggende materialen. Zo kan een leibedekking bruine strepen vertonen onder roestende ladderhaken, topbekroningen of ijzeren bevestigingspunten. Of metselwerk in natuursteen of baksteen kan bruin uitslaan onder een roestende hor (bv. rooster vóór een glas-in-loodraam om het glas te beschermen tegen vandalisme).

Ornamenten gaan verloren door roest



Hoewel de verschillende historische ijzerlegeringen – gietijzer, smeedijzer en staal – in samenstelling, eigenschappen en aantastingsvorm van elkaar verschillen, verloopt de bescherming tegen corrosie analoog. Als water en zuurstof geen toegang hebben tot het metaal, zal er geen corrosie optreden.

1. CONSTRUCTIE

Corrosie is te vermijden door te maken dat water niet op de constructie kan blijven staan. Met een weldoordachte constructieve detaillering kunnen veel problemen vermeden worden. Helaas valt daar bij historisch ijzerwerk niet veel aan te veranderen. Ook de keuze voor corrosiebestendige materialen is hier niet van toepassing.

2. EEN BESCHERMENDE LAAG

Ijzerwerk moet volledig afgeschermd worden van de corrosie-opwekkers om roestvorming tegen te gaan. Dat kan op drie manieren:

- met een beschermende metaallaag zoals goud, tin en zink;
- met een anorganische laag; bouwkundige elementen worden zelden geëmailleerd, wel worden ze bedekt met koolteer, vernis of verf;
- met een organische laag.

Metaal

Vertinnen komt zelden voor op grote elementen, wel op hang- en sluitwerk. Thermisch verzinken of galvaniseren wordt vandaag vaak toegepast op

nieuw ijzer dat in de openlucht terecht komt. De techniek wordt in het atelier uitgevoerd en is niet (altijd) geschikt voor historisch smeedwerk. Bij **galvanisatie** worden metalen onderdelen ondergedompeld in een bad met opgeloste metaalzouten; met elektrische stroom wordt een dun laagje metaal op het basismateriaal aangebracht. Oud ijzer mag niet thermisch verzinkt worden wegens het open karakter van het ijzerwerk en het hoge koolstofgehalte. Verzinken tast bovendien het karakter van het object aan.

Schoperen of metalliseren is een oppervlaktebehandeling die oorspronkelijk op metalen, maar later ook op andere voorwerpen werd uitgevoerd. Op een basismateriaal wordt een dun beschermend laagje van een (ander) metaal aangebracht door dat er in gesmolten toestand op te verstuiven met een spuitpistool. Hiervoor wordt meestal zink gebruikt. Het dunne laagje heeft geen nadelig effect op het uitzicht van het werk. Het is echter minder duurzaam dan bijvoorbeeld thermisch verzinken in een zinkbad. Er bestaan ook middelen die in opgeloste toestand zink bevatten (Zinkga). Zo kan een zinklaag met een kwast aangebracht worden.

Zink en verzinkt staal laten zich niet door elke verfsoort overschilderen. Ze hebben een speciale primer nodig voordat ze in de gewenste kleur afgelakt kunnen worden. Zink heeft ook

het nadeel dat het niet in haardunne ruimtes dringt. Kleine barsten en spleten moeten na het verzinken met een dunne lopende verf worden gevuld.

Torenhanen en -kruisen, topgevelbekroningen en hekwerken worden vaak (gedeeltelijk) **verguld** met bladgoud. Een mengsel van gebrande oliën (eventueel licht gekleurd in goudgele tinten) als ondergrond fungeert als hechtingslaag voor het bladgoud. Dit type vergulding wordt mixtionvergulding genoemd. Vandaag krijgt het

ijzer vaak een corrosiewerende laag voordat het verguld wordt.

Organische bescherm laag

In de smidse wordt het smeedwerk soms ingesmeerd met lijnolie, die daarna op het oppervlak ingebrand wordt. Daardoor krijgt het ijzer een donkere kleur. De olie biedt echter onvoldoende bescherming tegen weersinvloeden. Toepassingen binnenshuis zijn wel voldoende beschermd tegen corrosie. De olie is bedoeld om het smeedwerk er mooier te laten uitzien.



Verven en vernissen

Schilderwerk of vernissen blijven de meest traditionele manieren om ijzerwerk te beschermen dat blootstaat aan het buitenklimaat. Het schilderwerk moet regelmatig herhaald worden om het ijzerwerk duurzaam te (onder)houden. Roest krijgt dan geen kans omdat het ijzerwerk van de buitenatmosfeer wordt afgesloten. Eventuele oppervlakkige roestsporen zijn nog te verwijderen of te behandelen. Tijdig ingrijpen is cruciaal, want kleine werken, die zelf nog uit te voeren zijn, kunnen dure herstellingen vermijden.

Verf kan op verschillende manieren beschermen. Elke verflaag schermt het metaal af van de buitenlucht, wat roestvorming aan het oppervlak tegengaat. Dat is een vorm van passieve bescherming. Bevat de verf roestwerende pigmenten, dan biedt ze een actieve bescherming. Die kan na verloop van tijd ontoereikend zijn omdat de verf- of vernislagen niet tot in de kleinste hoekjes en tot aan de verbindingselementen reiken. Deze plaatsen blijven blootgesteld aan de inwerking van water en zuurstof.

Vernis en verf zijn over het algemeen samengesteld uit een bindmiddel – dat zorgt voor hechting en cohesie –, een oplosmiddel en een vast gedeelte, meestal pigmenten. Dit vloeibare mengsel verandert op de ondergrond in een homogene film die zich aan het materiaal hecht en aan de lucht uithardt.

Traditionele verven hebben sneldrogende olie als *bindmiddel*. Vandaag is

deze olie meestal vervangen door harsen, ofwel alkydharsen verkregen door chemische synthese, ofwel epoxy- of polyurethaanharsen met een of twee componenten. Voor een goed resultaat moeten ze met de nodige deskundigheid worden aangebracht.

Het tweede vloeibare bestanddeel in verf is een *oplosmiddel*, van organische oorsprong zoals terpentijn of water, dat verdampt. Het oplosmiddel moet zorgen dat de verf gemakkelijker te verwerken is en in een dun laagje aangebracht kan worden. Om gezondheidsredenen en conform de Europese richtlijnen wordt het gebruik van vluchtige, organische oplosmiddelen als terpentijn in het interieur beperkt en wordt zoveel mogelijk overgeschakeld op verven op basis van water. Vanaf 2010 zouden de grenswaarden voor decoratieve verflagen in het interieur gevoelig worden opgetrokken. Beschermingsmaatregelen zoals het dragen van stofmaskers en handschoenen zijn geen overbodige luxe. Bij voorkeur wordt in de openlucht of in goed verluchte ruimtes geschilderd.

De *vaste delen* geven kleur en bescherming en maken dat de verf dekt of ondoorschijnend is. Al in de Middeleeuwen werden verven gebruikt op basis van lood(pigmenten). Zij boden een uitstekende en langdurige bescherming tegen corrosie. Vanwege de risico's op loodvergiftiging zijn loodhoudende verven verboden. Het schilderen met loodverf houdt op zich – mits een juiste behandeling – weinig risico's in voor de gezondheid. Maar bij het opschuren van de loodhoudende verlagen komt loodstof vrij

dat giftig en kankerverwekkend is. Wanneer oude verflagen die lood (kunnen) bevatten, opgeschuurd of verwijderd worden, dan zijn gepaste beschermingsmaatregelen nodig zoals een stofmasker, handschoenen en een stofbril. Lood en andere giftige stoffen in verven zijn tegenwoordig vervangen door titaanoxide, zinkoxide of synthetische pigmenten. De huidige verven en primers zonder lood gaan minder lang mee dan de oude loodhoudende verven.



Vorbereidingen en weersomstandigheden

Vorbereidingen zijn het halve werk. Zowel voor kleine herstellingen van de afwerking als voor het aanbrengen van een nieuw verfsysteem op blank ijzer zijn werkzaamheden vooraf nodig. Het ijzer moet droog, ontvet, stofvrij en vrij van roest of andere oxidatiesporen zijn. Anders kunnen problemen optreden met de hechting van de verf of worden allerlei onzuiverheden in de verf opgenomen, wat leidt tot een korrelig resultaat.

Voor een goed resultaat moet het ijzerwerk in geschikte weersomstandigheden geschilderd worden, dus nooit bij mist, regen, sneeuw of vorst. Het oppervlak moet volledig droog zijn, liefst niet blootgesteld aan de zon. Enkel wanneer de verf in dezelfde gunstige weersomstandigheden volledig kan uitdrogen, kan ze zich optimaal hechten. Tussen de verschillende verflagen moet de nodige droogtijd (afhankelijk van de verfsoort) in acht genomen worden.

Hoe aanbrengen?

Manueel borstelen is veruit de eenvoudigste methode en geeft doorgaans een goede hechting van de verf aan het materiaal. Maar het is arbeidsintensief. Grotere oppervlakken kunnen veel sneller met de verfrol worden geschilderd. Beide methodes hebben het nadeel dat ze stofresten en kleine vervuilingen van het metaal mee in de verflaag uitsmeren. Spuiten is erg efficiënt en geeft homogene verflagen. Het vergt echter specifieke apparatuur en wat ervaring. De tech-

niek is erg geschikt om gedemonteerde voorwerpen in een aangepaste ruimte te schilderen.

Wanneer onderdelen tegen elkaar gemonteerd worden, moet op het raakvlak van elk onderdeel een extra lijvige (dikke) verf worden aangebracht. Deze laag mag op dat moment niet droog zijn. Klinkverbindingen voorzien van een loodstrook tussen de verbindingen, krijgen vóór het klinken ook best een lijvige verflaag.

Verfysteem

Een verfsysteem moet een film vormen die het ijzer volledig afsluit van water. Het meest doeltreffend is een verfsysteem dat uit verschillende verflagen bestaat.

Een **grondlaag** verzekert een goede hechting en zorgt voor een actieve bescherming als ze roestwerende pigmenten bevat. Loodmenie, zinkchromaat of zinkstof zijn corrosiewerende elementen die deel uitmaken van een antiroestverf. Vaak garandeert een extra grondlaag een langere levensduur dan een tweede eindlaag.

Een **tussenlaag** geeft de verf de vereiste dikte en verhoogt de ondoordringbaarheid en een optimale atmosferische bescherming. Eventueel kan de corrosiewerende grondlaag herhaald worden.

De **eindlaag** vormt de eerste beschermlaag tegen invloeden van buitenaf en bepaalt het esthetische aspect. Ze wordt aangebracht nadat de vorige laag licht opgeschuurd en afgeborsteld is.

Algemeen wordt aangenomen dat ijzerwerk optimaal beschermd wordt

door vier verflagen. Voor buitenwerk zijn doorgaans twee grondlagen aangewezen.

Vandaag zijn er talrijke verfsorten en verfsystemen op de markt. Een vakman of verfspecialist kan voor elk geval het meest geschikte verfsysteem aanraden. De duurzaamheid van de bescherming hangt niet alleen af van de kwaliteit van de verflagen, maar ook van een verzorgde en correcte uitvoering.

Preventief schilderen

Door veroudering en onder invloed van weer, wind en zon worden vernissen en verven poreus en beginnen ze te barsten, te verpoederen of af te bladderen. Bovendien beweegt het metaal onder invloed van temperatuurschommelingen, waardoor ook de beschermlaag uitzet en weer inkrimpt, tot ze het na verloop van tijd begeeft. Wanneer ijzerwerk goed geschilderd is en er geen roestplekken of onregelmatigheden zichtbaar zijn, wordt toch regelmatig – om de 3 tot 5 jaar, afhankelijk van de oriëntatie – een nieuwe verflaag aangebracht. Ook bij preventief schilderwerk is het belangrijk de ondergrond voldoende voor te bereiden. Alle roest, loszittende verf, stof, vuil en vet moeten verwijderd worden voordat een nieuwe laag aangezet wordt. De ondergrond licht opschuren, bevordert de hechting met de nieuwe lak.

Is de schade te ver gevorderd en is het voorwerp ernstig beschadigd, dan moet het materiaal hersteld, gerestaureerd of vervangen worden. Afhankelijk van de plaats en de ernst van de aantasting, de omvang van het voorwerp en de behandelingswijze, kan dat ter plaatse gebeuren of moet het voorwerp gedemonteerd en overgebracht worden naar een gespecialiseerde werkplaats. Raadpleeg hiervoor een specialist. Vandaag worden zowel moderne als eeuwenoude technieken ingezet om tot een verantwoorde restauratie te komen.

1. VOORONDERZOEK

Een goede restauratie vereist een grondige voorbereiding. De huidige toestand wordt voldoende gedocumenteerd met foto's en tekeningen. Verschillende aspecten worden bekeken: de constructie met haar verankeringen en verbindingen, de gebruikte materialen, de oppervlaktebehandeling, oppervlakkige schade en eventueel aanwezige merken, specifieke afwerkingen (mét kleuronderzoek) en ontbrekende delen.

Er moet nagegaan worden of het ijzerwerk al dan niet in situ hersteld en gerestaureerd kan worden. Omvangrijke werkzaamheden worden meestal in het atelier uitgevoerd. Voor kleine herstellingen kan dat soms ter plaatse, hoewel een restaurateur vaak liever in zijn eigen atelier werkt. Sommige gespecialiseerde technieken

kunnen enkel in een werkplaats uitgevoerd worden.

Een nauwkeurige **visuele inspectie** van het materiaal is een eerste, niet destructieve onderzoeksmethode, zowel voor sierelementen als voor structurele onderdelen.

Bij een visuele inspectie kunnen volgende gebreken vastgesteld worden:

- allerlei vervormingen zoals doorbuiging, zijdelings 'uitbuiken' van liggers, lokale schade door explosies of brand, loszittende klinknagels...;
- breuken en scheuren in verbindingselementen, met speciale aandacht voor gietijzer en lasnaden;
- corrosie;
- ontbrekende verbindingen, zoals bouten en klinknagels;
- fouten bij het gieten of lassen, zoals luchtgaten en porositeit.

Wanneer het ijzerwerk omgeven is door een dikke verflaag, of ingekapseld zit in een ander materiaal, is een visuele inspectie moeilijk uit te voeren. Ze blijft trouwens steeds beperkt tot fouten die zich aan de oppervlakte voordoen. Inwendige holtes, breuken, gebreken... zijn niet met het blote oog zichtbaar.

Meestal kan uit een gedetailleerde visuele controle in combinatie met een datering afgeleid worden om welk metaal het gaat (zie overzichtstabel gietijzer – smeedijzer – staal). Als dat niet volstaat, dan kan een monster genomen worden dat in een labo onderzocht wordt, onder andere op chemische samenstelling. Behalve de visuele controle bestaan er nog enkele niet-destructieve onderzoeksmethodes, zoals onderzoek met een endoscoop, penetrantonderzoek, magnetisch onderzoek, ultrasoononderzoek, radiografisch onderzoek, hardheidsmetingen... Zij worden enkel door specialisten uitgevoerd.

Voor constructies die behouden moeten blijven, zijn een structureel onderzoek en een herberekening nodig. Hiervoor is het belangrijk het juiste materiaal en zijn toestand te kennen (door visuele inspectie of onderzoek van een monster) en de structuur nauwkeurig op te meten. Omdat de samenstelling van oude ijzer- en staalsoorten niet homogeen is, moeten vaak meerdere monsters genomen worden. Dat moet heel omzichtig gebeuren en liefst op de minst belaste plaatsen.

■ ■ 2. DEMONTEREN

Soms moet het voorwerp gedemonteerd worden, zeker wanneer het metselwerk of de natuursteen beschadigd zijn door roestige verankeringen of wanneer herstel in situ niet mogelijk is. Smeedwerk demonteren is niet eenvoudig, omdat het vaak stevig verankerd zit. Het type van muurankers of trekankers bepaalt hoe het voor-

werp losgemaakt en weggenomen moet worden. Ga vooraf na of er geen stabiliteitsproblemen kunnen optreden wanneer de ankerverbindingen ontspannen of weggehaald worden. Doken en andere ingemetselde verankeringen in natuursteen of baksteenmetselwerk werden vaak met lood aangegoten. Het dookgat wordt smaller naar de oppervlakte toe, zodat een soort van weerhaak gevormd wordt en de dook opgesloten zit na het aangieten. Dat lood moet verwijderd worden vooraleer de verankering vrij te maken of uit te hakken. Dat laatste kan een moeizaam werk zijn en moet desnoods met een klein beiteltje worden uitgevoerd.

Losmaken en demonteren mogen in principe alleen gebeuren door uitboren of uithakken. Bepfestigingspunten afbranden met een snijbrander is slechts in uitzonderlijke gevallen te verantwoorden. Dat brengt immers vervolgschade aan het omliggende materiaal (bijvoorbeeld natuursteen) teweeg. Bij het doorslijpen of doorzagen van bevestigingspunten kunnen bruinverkleuringen ontstaan wanneer ijzerdeeltjes zich aan het omringende materiaal hechten. Bovendien worden goede onderdelen op deze manier onbruikbaar gemaakt.

3. REINIGEN EN ONTROESTEN ■ ■ ■ ■ ■

IJzerwerk dat op verschillende plaatsen roest, wordt meestal in zijn geheel behandeld. Eerst moet het een grondige schoonmaakbeurt krijgen. Verwijder alle loszittende oude verfresten om te verhinderen dat roestvorming zich onder een beschadigde

verflaag kan voortzetten en om een goede hechting aan de nieuwe verflagen te verzekeren. Daarna wordt het geroeste materiaal weggeschrapt en wordt het vrijgekomen materiaaloppervlak gereinigd en ontvet met aangepaste ontvetters of detergenten.



Kleuronderzoek

Laat de bestaande verflagen op historisch ijzerwerk analyseren voordat ze gereinigd of volledig verwijderd worden. Dat levert interessante gegevens op over hun samenstelling en de originele kleurzetting, die nuttig kunnen zijn voor de keuze van een nieuw verf-systeem.

Metaal **manueel** schoon schuren met schrapers, schuurborstels, staalborstel, staalwol en schuurpapier is de eenvoudigste techniek. Dat is echter niet alleen zeer arbeidsintensief, ook wordt maar een deel van de roestsporen weggehaald.

Mechanische middelen zoals elektrische schuurborstels, bikhamers of slijpschijven nemen iets meer van het materiaal weg, maar roestsporen of verontreinigingen in poriën of barsten blijven nog altijd buiten hun bereik.

Bij het reinigen **met vlam of met hete lucht** wordt de laag aan het oppervlak van het metaal weggehaald. Deze methode is efficiënt om verf en roest te verwijderen, maar is vrij arbeidsintensief. De voorwerpen moeten doorgaans niet worden gedemonteerd, maar hun omgeving moet goed worden afgeschermd. Bij gietijzeren structuren is voorzichtigheid geboden. Plotse temperatuurverschillen kunnen spanningen in het metaal veroorzaken, wat tot breuken kan leiden.

Metalen voorwerpen kunnen ook **chemisch** gereinigd worden. De behandeling kan ter plaatse uitgevoerd worden met een afbijtend product. Door een chemische reactie met het product worden bestaande verflagen week en kunnen ze gemakkelijk(er) verwijderd worden. Een afbijtmiddel is een gevaarlijk goedje, werk dus in de openlucht of in een goed verluchte ruimte. Handschoenen, een veiligheidsbril en een masker zijn onontbeerlijk. Eenvoudiger is het om een chemische reiniging in een atelier te

laten uitvoeren. Daarbij wordt het gedemonteerde metaal – meestal klein hang- en sluitwerk en scharnieren – ondergedompeld in een bad met bepaalde zuren.

Grote ijeren voorwerpen worden tegenwoordig veelal met **straaltechnieken** gereinigd. Zandstralen is de meest bekende variant. Om materiaalverlies en vervormingen te voorkomen, mag het straalmiddel niet te grof zijn en de druk niet te hoog. Maar zelfs dan nog kunnen fijn uitgewerkte smeedijzeren onderdelen, zoals blaadjes, bloemen of rozetten, beschadigd raken. Dergelijke fijne stukken kunnen gestraald worden met glasparels. Straaltechnieken zijn vaak enkel bruikbaar voor gedemonteerde voorwerpen, om de omgeving niet te bescha-

digen. Bovendien moeten er vakspecialisten aan te pas komen.

4. SCHILDEREN

Ook bij een volledige renovatie zijn beschermende afwerklagen van groot belang. Om roestputten op te vullen of verloren gegane delen aan te vullen kunnen epoxyharsen en plamuren gebruikt worden. Deze toepassingen kunnen later – indien gewenst – door verhitting opnieuw verwijderd worden.

5. VERBINDEN

Roest ontstaat vaak op plaatsen waar onderdelen aan elkaar geklonken, vastgebout of verbonden zijn, zeker als er water kan blijven staan. Voor een effectieve behandeling moeten de onderdelen losgemaakt en in een lijvige verf (of vloeibare zink) gezet wor-



den. Pas daarna, terwijl de verf nog nat is, worden ze weer met elkaar verbonden op dezelfde manier als in het oorspronkelijke werk.

Historische ijzerconstructies worden beter niet gelast omdat gietijzer te veel koolstof en smeedijzer veel verontreinigingen bevatten. Bovendien is lassen niet omkeerbaar, wat in strijd is met de hedendaagse restauratiefilosofie.

6. VERVANGEN

Van historisch ijzerwerk wordt zo weinig mogelijk authentiek materiaal vervangen. Soms worden lacunes, bijvoorbeeld enkele spijlen in een hekwerk, aangevuld door reconstructie volgens het model van het bestaande. Het is echter niet evident om oud en nieuw ijzerwerk te verbinden. Het vervangende materiaal moet in principe het oorspronkelijke zo dicht mogelijk benaderen. Zo produceert ARMCO-staal (American Rolling Mill Company) ovenstaal met een heel laag koolstofgehalte dat geschikt is voor smeedijzer.

Soms wordt ijzer gerecupereerd uit oud ijzer. Het recyclageproces verloopt niet altijd vlekkeloos door de elektrolytische werking tussen de verschillende metaalelementen. Verontreinigd schroot zal problemen geven bij het smelten, vooral wanneer het resten van koper bevat.

Gietijzeren, smeedijzeren of stalen lacunes kunnen ten slotte ook aangevuld worden met roestbestendig materiaal.

Roestvast staal (RVS) biedt een goede weerstand tegen roest. Wanneer het

wordt aangetast, vormt zich een beschermende chroomoxidelaag op het oppervlak.

Weervast staal is een ijzerlegering met een kleine hoeveelheid nikkel, koper of fosfor, wat in vochtige lucht een oppervlakkige roestlaag vormt die het metaal tegen verdere aantasting beschermt. Deze bescherming is echter minder duurzaam dan bij roestvast staal.

Brons is de verzamelnaam voor een aantal koperlegeringen waarin tin in de meeste gevallen het belangrijkste nevenelement is. Het behoort tot de non-ferrometalen en is een zeer gietbaar, roestvrij en hard materiaal. Het wordt zowel in gebouwen gebruikt als voor luiklokken en kunstvoorwerpen.

Glasvezelstaven worden gebruikt ter vervanging van een ijzeren wapening, bijvoorbeeld in epoxyherstellingen van houten balken.

Raambruggen bij glas-in-loodpanelen worden vaak in brons of een ander edel metaal uitgevoerd. Ook een combinatie van materialen is mogelijk, waarbij bijvoorbeeld smeedijzeren diefijzers worden gerestaureerd en teruggeplaatst met verankeringspenen uit roestvast staal. Maar dan moet uiteraard de kans op contactcorrosie vermeden worden.

Ook op niet zichtbare plaatsen en plaatsen waar regelmatig verven geen duurzame oplossing biedt of niet mogelijk is, kan ijzer vervangen worden door roestvast staal of brons, zoals doken voor natuursteenverbin-

dingen. Beschadigde nokbeugels, ladderhaken, doken en andere bevestigings- of beveiligingselementen worden bijna altijd vervangen door roestvast staal.

Wanneer roestvast staal wordt verhit, vormt zich een zwarte oxidelaag op het oppervlak. Deze laag is goed overschilderbaar en geeft het roestvast staal het uitzicht van koolstofstaal.

7. TERUGPLAATSEN

IJzerwerk moet ter hoogte van de bevestigingen extra gecontroleerd worden. Dat zijn immers gevoelige plaatsen voor roestvorming, vooral omdat problemen er pas laat opgemerkt worden. Doordat het materiaal ingewerkt is, is de schade aan het omliggende materiaal meestal al vergevorderd.

Ingegoten lood



De bevestigingspunten in en aan natuursteen of metselwerk moeten aangegoten worden met lood. Het lood moet voldoende aangedreven worden om een waterdichte aansluiting te garanderen. Tegenwoordig worden vaak epoxyharsen, moderne lijmen of chemische ankers gebruikt om ingemetselde verankeringen aan te werken. Ze zijn zeer vormvast en bieden goed weerstand tegen vocht.

Bevestigingsbouten, spijkers en schroeven krijgen vooraf ook best een behandeling tegen roest en vuil. Doorgaans worden nieuwe bouten en schroeven van roestvast staal gebruikt. Ook bij deze kleine hulpmiddelen in een andere metaalsoort moet er rekening gehouden worden met mogelijke contactcorrosie.

BESLUIT

Ijzerwerk in, op en om gebouwen kan jarenlang goed blijven met goed en gericht onderhoud. Dat onderhoud begint bij een regelmatige controle, zodat er tijdig ingegrepen kan worden. Monumentenwacht is hiervoor uw ideale partner. In het inspectierapport en de bijbehorende aanbevelingen leest u wat er schort aan het ijzerwerk en op welke termijn stappen nodig zijn. Voor de keuze

van een goed verfsysteem kunt u zich laten bijstaan door een vakman. Is de schade te ver gevorderd en voldoet herschilderen niet meer, dan kunt u een beroep doen op een restaurateur, smid of specialist met feeling voor historisch ijzerwerk. Maar met aangepast onderhoud is deze ingrijpende stap pas veel later aan de orde!

- ALLAEYS, D., *Het ijzer: zijne bewerking, zijne rol*, in *Verhandelingen van de Katholieke Vlaamse Hoogeschooluitbreiding*, vol. 94, Antwerpen, 1907.
- ASHURST J&N. *Practical Building Conservation*, English Heritage Technical Handbook, Volume: Metals, Gower Technical Press, 1988.
- DIVERSE AUTEURS, *Onderhoudsboekje METAAL*, De verzameling Kunst in de Straat, uitg. Koning Boudewijnstichting en Het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, 1997.
- DIVERSE AUTEURS, *Grondstof, stof tot nadenken, METAAL*, Open Monumentendag Vlaanderen, Stichting Kunstboek & Stichting Vlaams Erfgoed, 2001.
- BOGAERTS, W., *Corrosie. Corrosietypes, overzicht, beschrijving en herkenning*, in HERR, Kluwer, 2002.
- DELACROIX, F., *Bouwmaterialen. IJzer en staal*, in HERR, Kluwer, 2003.
- DELACROIX, F., *IJzer en staal – beoordelingsstrategie en onderzoeksmethoden*, in HERR, Kluwer, 2003.
- PLOOS VAN AMSTEL, L., TEMMING W., *Bouwstoffen, afdeling IV: IJzer en staal*, uitg. Spruyt, Van Mantegem & de Does, Leiden, 1982.
- RDMZ, *Smeedwerkbestek. Handreiking voor een bestekomschrijving metaal- en smeedwerk*.
www.racm.nl/content/xml_racm/a_smeedwerkbestek_handreiking.xml.asp?toc=-
- RDMZ, *Instandhouding van smeedijzer in het exterieur*, Info Restauratie en Beheer 32, RDMZ 2003.
- SCHUEREMANS, L., IGNOUL S., VAN GEMERT D. VAN BALEN K., *The use of metal anchors in lead and possible alternatives*, in WTA-journal 3/2004.

- Herwerkte 2^{de} druk
- Redactie
 - 1^{ste} druk: Monumentenwacht Provincie Antwerpen vzw,
 - Herwerking 2^{de} druk: Birgit van Laar, Monumentenwacht Vlaanderen vzw
 - Deze tekst werd samengesteld aan de hand van bestaande literatuur.*
- Eindredactie
 - Marijke Hoflack
- Coördinatie
 - Anouk Stulens en
 - Birgit van Laar
- Lay-out
 - Leën Offsetdruk nv
- Foto's ©
 - Monumentenwacht Limburg vzw,
 - Monumentenwacht Vlaanderen vzw
- Met dank aan
 - Sjeerp Visser
- Verantwoordelijke uitgever
 - Luc Verpoest
- Wettelijk depot
 - D/2006/10.191/2
- Met de steun van de 5 Vlaamse provincies



- Met de steun van de Vlaamse Overheid



© Monumentenwacht Vlaanderen vzw, december 2006

■ Monumentenwacht Provincie Antwerpen vzw

Turnhoutsebaan 232 | 2100 DEURNE

T + 32 3 360 52 34

F + 32 3 360 52 36

E administratie@monumentenwachtantwerpen.be

■ Monumentenwacht Limburg vzw

Willekensmolenstraat 140 | 3500 HASSELT

T + 32 11 23 75 90

F + 32 11 23 75 95

E mowa@limburg.be

■ Monumentenwacht Oost-Vlaanderen vzw

W. Wilsonplein 2 | 9000 GENT

T + 32 9 267 72 42 (Secretariaat)

T + 32 9 234 18 55 (Inspectiedienst)

F + 32 9 267 72 98

E monumentenwacht@oost-vlaanderen.be

■ Monumentenwacht Vlaams-Brabant vzw

Gemeenteplein 5 | 3010 LEUVEN

T + 32 16 31 97 50

F + 32 16 31 97 58

E monumentenwacht@vl-brabant.be

■ Monumentenwacht West-Vlaanderen vzw

Koning Leopold III-laan 31 | 8200 BRUGGE

T + 32 50 40 31 36

F + 32 50 40 34 58

E monumentenwacht@west-vlaanderen.be

■ Monumentenwacht Vlaanderen vzw

Erfgoedhuis Den Wolsack

Oude Beurs 27 | 2000 Antwerpen

T + 32 3 212 29 50

F + 32 3 212 29 51

E secretariaat.vlaanderen@monumentenwacht.be

W www.monumentenwacht.be

