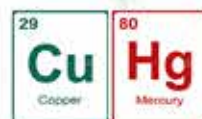


Chemische Feitelikheden

363
Editie 91
april
2020

Benjamin Rous



Schilderijonderzoek

De constante strijd tegen verval

Museumobjecten lijken gemaakt voor de eeuwigheid, maar in werkelijkheid veranderen ze constant. Vooral olieverfschilderijen zijn complexe systemen die onderhevig zijn aan allerlei chemische en fysische processen. Die voltrekken zich onzichtbaar voor het menselijke oog binnen in de verflagen, maar zorgen ervoor dat het uiterlijk van schilderijen langzaam maar onherroepelijk verandert. Restauratoren moeten die verouderingsprocessen proberen te begrijpen om de gevolgen ervan te kunnen behandelen en om te proberen nog actief verval te vertragen of

te stoppen. Hoe heeft het schilderij er oorspronkelijk uitgezien en welke materialen heeft de kunstenaar gebruikt? Hoe is het schilderij in de loop der tijd veranderd en hoe zal het in de toekomst nog verder veranderen? Door geavanceerde onderzoeksmethodes, computermodellering en laboratoriumexperimenten kunnen onderzoekers steeds beter antwoord geven op die vragen. Zo zijn restauratoren steeds beter in staat onderbouwde beslissingen te nemen over hoe zij uniek cultureel erfgoed het best kunnen behouden voor toekomstige generaties.

De constante strijd tegen verval

Miljoenen mensen vergapen zich dagelijks aan alle kunstschaten in musea. Maar wat zij zien, verschilt soms behoorlijk van wat ooit het atelier van de kunstenaar verliet. Vooral olieverfschilderijen kunnen in de loop der tijd behoorlijk van uiterlijk veranderen. Wat is er met die schilderijen gebeurd?

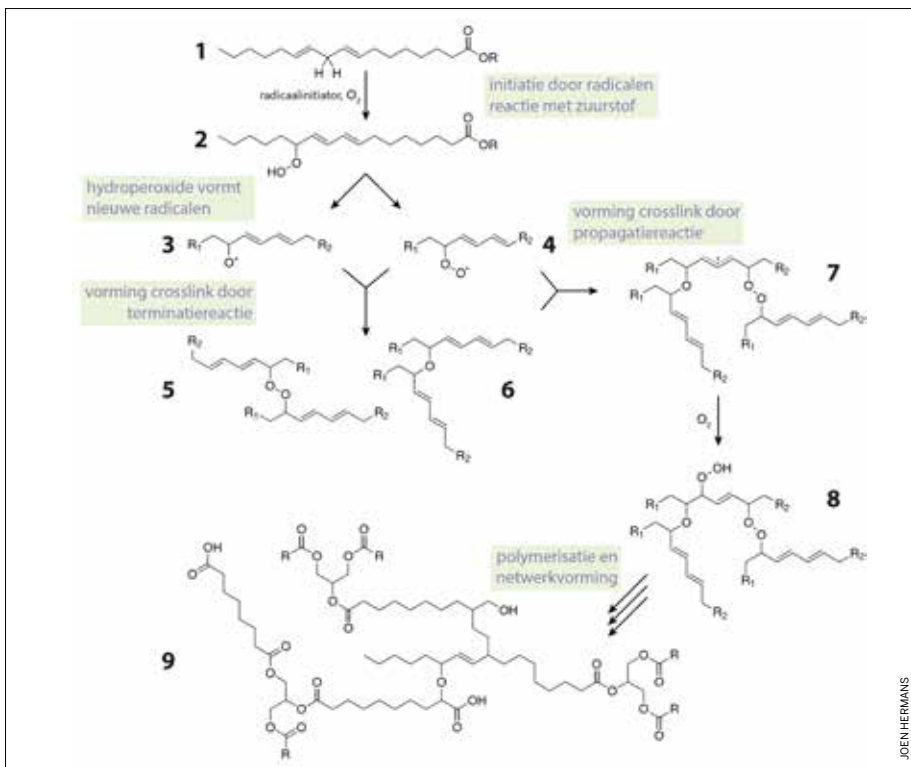
Je ziet het steeds vaker in de zalen van een museum: schilderijen die van zaal zijn gehaald voor onderzoek, of hightechapparatuur die het oppervlak van een schilderij scant. Terwijl het juist het idee was om dat ene beroemde werk einde-

lijk met eigen ogen te kunnen aanschouwen, is dat nu minder goed of zelfs helemaal niet zichtbaar. Dat onderzoek naar de chemische samenstelling van schilderijen is echter broodnodig om ze in de toekomst nog steeds te kunnen zien.

Olieverf is in essentie een mengsel van een pigment en een bindmiddel, een plantaardige olie waaraan je vaak een siccatief – een droogstof – toevoegt om de droogtijd te verkorten. Maar er is meer gaande dan dat. Een olieverfschilderij is een zeer complex chemisch systeem, dat constant verandert en reageert met haar omgeving. Dat begint al bij het droogproces. Dat heeft niets met het verdampen van een vloeistof te maken: olieverf droogt door een polymerisatieproces, waarbij meervoudig onverzadigde vetzuren in de olie aan elkaar linken en zo een netwerk vormen onder invloed van zuurstof uit de lucht. Door oxidatie ontstaat een dichte netwerkstructuur, waardoor de verf uithardt. Maar zelfs in een uitgehard schilderij stoppen de chemische reacties niet. Door veranderende omgevingsomstandigheden kunnen reacties versnellen of nieuwe reacties optreden. Daarnaast reageren in sommige gevallen instabiele pigmenten met moleculaire groepen van het bindmiddel. Een schilderij is op deze manier een chemische black box: de mogelijke reacties zijn afhankelijk van onnoemelijk veel factoren, in het verleden en in de toekomst. En die reacties kunnen het uiterlijk van het schilderij ingrijpend veranderen.

Smalt

Oude meesters waarvan de ooit stralend blauwe luchten nu neerslachtig grijs of



Schematisch overzicht van enkele belangrijke reactiestappen die plaatsvinden in een drogende olie, in dit voorbeeld met tweevoudig onverzadigd linolzuur (1). De olie reageert met zuurstofmoleculen uit de lucht, waarbij zich hydroperoxides vormen (2). In een ontledingsreactie breken die hydroperoxides af tot alkoxyradicalen (3) en peroxyradicalen (4). Die kunnen vervolgens reageren tot stabiele groepen met een dubbele zuurstofbinding (5) of een enkele zuurstofbinding (6). Als er sprake is van een propagatiereactie vormen zich steeds nieuwe radicalen (7), die ervoor zorgen dat de keten steeds langer wordt en er steeds meer crosslinks ontstaan (8 en 9).



Detail van *Vrouw aan de maaltijd* (circa 1661-64) van Gabriël Metsu. Bij de vaas met bloemen is te zien dat de oorspronkelijk groene bladeren nu blauw zijn geworden door de ontkleuring van het gele pigment.

smoezelig bruin zijn. Grote kans dat dat komt door de degradatie van smalt, het pigment dat schilders hiervoor gebruikten. Smalt is eigenlijk niets meer dan vermalen, blauw gekleurd glas, dat ontstaat door het smelten van kwartszand, kaliumhoudende zouten en geroosterde kobaltertsen. De intensiteit van de kleur hangt af van het gehalte kobalt en de grootte van de pigmentdeeltjes. Schilders maakten veel gebruik van smalt, maar het is een zeer instabiel pig-

ment; vrijwel overal waar het is ingezet, is het verkleurd.

De ver- en ontkleuring is het gevolg van kaliumionen die vanuit het pigment het bindmiddel intrekken. Door het verlies van kalium verandert de interne structuur van de deeltjes. Als gevolg verandert de coördinatie rond de kobaltionen van tetraëders naar octaëders, waardoor de karakteristieke blauwe kleur van smalt verdwijnt. Kunstenaars wisten dat de kleur van smalt

op den duur zou veranderen, maar dachten dat dit door veranderingen in het bindmiddel kwam, niet door veranderingen in de smaltdeeltjes zelf.

Schilders gebruikten smalt vooral omdat het goedkoper was dan de blauwe pigmenten ultramarijn en azuriet. De prijs, of de beperkte beschikbaarheid van een pigment, was vaak een reden om te zoeken naar alternatieven. Zo was het in de Gouden Eeuw moeilijk om aan groene pigmenten te komen. In plaats daarvan mengden schilders blauwe en gele pigmenten of brachten die in lagen over elkaar aan. Groene planten schilderden zij bijvoorbeeld door eerst het blauwe pigment azuriet ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) te gebruiken en dit vervolgens te bedekken met een transparante gele lak, waardoor de suggestie van groen ontstond.

Cadmiumgeel

Gele lak is een voorbeeld van een pigment gemaakt met een organische kleurstof, in dit geval gewonnen uit planten. Die organische kleurstof slaat neer op een onoplosbare drager, vaak een metaalzout, en vervolgens vermengd met olie tot verf. Maar die organische kleurstoffen zijn niet heel stabiel, en vervagen onder invloed van licht. Zo zien delen van oude meesters die eigenlijk groen hadden moeten zijn er tegenwoordig vooral blauw uit. Wat je ziet, is maar een deel van het beeldverhaal dat de schilders ons had willen vertellen; de finishing touch die het optische effect van een groene plant had moeten voltooien, ontbreekt nu. Niet voor niets wordt de kleurstof ook wel 'schietsgeel' genoemd.

Juist in stillevens vallen gedegradeerde pigmenten extra op, omdat schilders hun uiterste best deden om alles zo natuurgetroou weer te geven. Er bestaan uitgebreide traktaten waarin precies staat hoe je bijvoorbeeld de perfecte, levensechte druif kunt schilderen. Je hoeft geen kunsthistoricus te zijn om te zien dat de gele bloem in het midden van het schilderij *Stilleven met bloemen en een horloge* van Abraham Mignon niet helemaal is zoals hij hoort te zijn: de bloem is vlak van kleur en er zijn nauwelijks details te zien. Mignon gebruikte hiervoor oorspronkelijk het geelkleurige orpiment, een arseensulfide (As_2S_3), maar dat pigment is instabiel. Onder invloed van licht reageert het tot arseentrioxide en zwaveldioxide en verliest het zijn gele kleur.

In de loop van de negentiende en het begin van de twintigste eeuw ontstonden steeds

meer alternatieven voor de traditionele pigmenten die schilders gebruikten. De opkomende chemische industrie ging synthetische organische en anorganische moleculen produceren die qua kleurintensiteit, puurheid en gebruiksgemak veruit superieur waren aan de traditionele pigmenten én minder kostbaar waren. Maar ook veel van die nieuwe, experimentele pigmenten bleken de nodige stabiliteitsproblemen te hebben. Zo verliezen veel schilderijen uit die periode hun kleur in de gebieden geschilderd met het felgele pigment cadmiumgeel. De ironie is dat cadmiumgeel populair werd als alternatief voor chroomgeel; ze waren er in de negentiende eeuw al achter gekomen dat dit gele pigment gevoelig was voor verkleuring onder invloed van licht, en het duurdere cadmiumgeel leek uitkomst te bieden. Kunstenaars als Claude Monet, Vincent

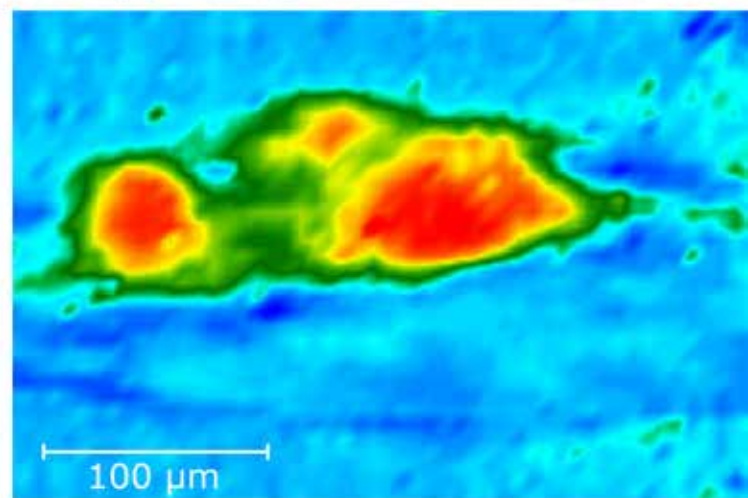
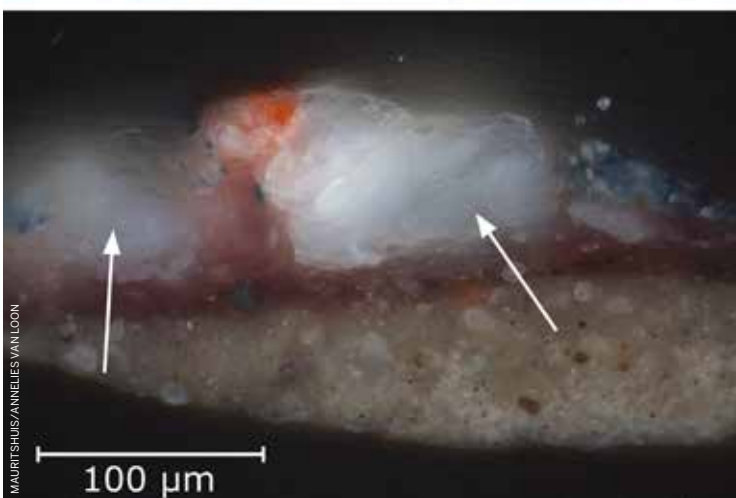
van Gogh, James Ensor en Pablo Picasso gebruikten het in hun schilderijen. Maar ook cadmiumgeel blijkt instabiel. Het pigment bestaat uit een cadmiumsulfide (CdS), dat kan oxideren tot cadmiumsulfaat ($\text{CdSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Door die omzetting verliest het cadmiumgeel zijn typerende kleur: levendige korenvelden of bloemen worden flets en lusteloos. Bovendien hebben onderzoekers in enkele gevallen ook minuscule witte bolletjes op het verfoppervlak geobserveerd. Waarschijnlijk is het cadmiumsulfaat op deze schilderijen in oplossing naar het verfoppervlak gemigreerd en vervolgens neergeslagen.

Fotokatalytisch

Ook voor de pigmenten loodwit en zinkwit ontstond in de loop van de twintigste eeuw een alternatief: titaanwit. Als kleur-

stof dient in dit geval titaniumdioxide, tevens verantwoordelijk voor het stralend wit van bijvoorbeeld tandpasta en zonnebrandcrème. Vooral in de beginfase van de productie kwam er een grote variatie aan pigmenten op de markt, die met name verschilden in de verschillende kristalstructuren van het titaandioxide: rutiel of anataas. Die laatste vorm is zeer fotokatalytisch. Dat is handig als je het gebruikt voor zelfreinigende betonoppervlakken, maar in een olieverfschilderij is het minder gewenst.

Titaanwitpigmenten op basis van anataas kunnen uv-straling absorberen, waardoor radicalen ontstaan die het bindmiddel afbreken. Dat zorgt voor verkrijting van het verfoppervlak, die het uiterlijk en de stabiliteit van het schilderij aantast. Titaanwit op basis van rutiel, dat een meer stabiele kris-



Detail van *Gezicht op Delft* (circa 1660-61) van Johannes Vermeer. Linksonder een dwarsdoorsnede van een verfmonster uit de linkerrand van het schilderij, waar Vermeer een boom voor het rode dak heeft geschilderd. Zichtbaar zijn de beige onderschildering en het rode lakpigment van de dakpartij waarin zich de met pijlen aangegeven loodzeepaggregaten hebben gevormd die door het blauwe pigment van de boom zijn gebroken. Rechtsonder een analyse met infraroodspectroscopie (FTIR): de rood oplichtende gebieden duiden op een hoge intensiteit van loodcarboxylaten en bevestigen zo de identificatie van de deeltjes als loodzeep.

talstructuur heeft dan anatasa, is een fotostabiel pigment dat degradatie door uv-straling zelfs kan voorkomen of vertragen. De stabiliteit neemt verder toe door het oppervlak van het pigment te coaten met een dun laagje aluminium- of siliciumoxide.

Vaak is niet bekend welk type titaanwitpigment in een schilderij is gebruikt. Als je wilt weten of je een potentiële tikkende tijdbom in je museum hebt hangen – verouderingsexperimenten laten zien dat de zichtbare veranderingen ten gevolge van degradatie zeer plotseling kunnen plaatsvinden en snel kunnen verergeren – kun je met enkele simpele tests achterhalen wat de kristalstructuur van het bewuste titaanwitpigment is. Musea kunnen deze schilderijen dan extra beschermen tegen uv-straling. Voorkomen is immers beter dan genezen.

Veel degradatiefenomenen zijn gebonden aan schilderijen uit specifieke periodes, omdat schilders bepaalde pigmenten alleen toen gebruikten. Maar er zijn ook problemen waarbij het niet zo gek veel uitmaakt of een schilderij in de Gouden Eeuw is gemaakt of pakweg tien jaar geleden. Sterker nog: moderne olieverfschilderijen lijken in sommige gevallen meer risico te lopen dan oude meesters.

Metaalzepen

Een van de meest voorkomende problemen voor de conservering van olieverfschilderijen zijn zogenaemde metaalzepen, die kunnen voorkomen in alle schilderijen waarin een schilder lood- of zinkhoudende pigmenten is gebruikt. En dat zijn er heel wat. Metaalzepen zijn verbindingen van metaal-ionen, afkomstig uit de pigmenten of droger, met vetzuren uit het bindmiddel. Die verbindingen kunnen zich verplaatsen door de verflaag, kristalliseren en uiteindelijk zelfs door het verfoppervlak heen barsten als minuscule uitstulpinkjes. Andere degradatiefenomenen die met de vorming van metaalzepen in verband worden gebracht, zijn op het verfoppervlak uitbloeiende korsten, transparantie van verflagen, barsten en hechtingsverlies. Pas in de jaren negentig van de twintigste eeuw begon de volle omvang van het probleem te dagen. Tegenwoordig is de inschatting dat metaalzeepvorming optreedt in rond de 70 % van alle olieverfschilderijen wereldwijd.

Uit laboratoriumexperimenten met modelsystemen is gebleken dat metaalzeepkristallen zich al binnen een jaar kunnen vormen. Vocht lijkt een belangrijke katalysator



► Huilend glas

Schilderijen zijn niet de enige museumobjecten met problemen van chemische aard. Zo kunnen ook glazen voorwerpen, zoals historische drinkglazen, chemisch instabiel zijn. Glas bestaat uit een amorf netwerk van siliciumdioxide. Om de zeer hoge verwerkingstemperatuur te verlagen, voegden glasmakers vaak natrium- of kaliumcarbonaat toe. Dit resulteert echter in een chemisch instabiel glas dat oplosbaar is in water. Om dit tegen te gaan, voegden glasmakers een stabilisator toe, zoals calciumcarbonaat. Het netwerk dat dan ontstaat bevat twee types zuurstofatomen: zuurstof dat als brug twee siliciumatomen verbindt, maar ook negatief geladen zuurstof dat slechts met één siliciumatoom is verbonden en zo positief geladen metaal-ionen, afkomstig uit de toegevoegde zouten, kan binden. Een ongunstige verhouding van de grondstoffen kan ervoor zorgen dat het glas chemisch instabiel is, zelfs met een toegevoegde stabilisator. Als dergelijk glas met vocht in aanraking komt, kan er in de toplaag van het glas een ionenuitwisseling plaatsvinden. Protonen nemen de plaats in van de me-

taal-ionen, water dringt de buitenlaag van het glas – van enkele nanometers tot honderden micrometers – binnen en metaal-ionen migreren naar het oppervlak. Het ingesloten water verdampt als de omgeving droger wordt, waardoor het glas uitdroogt en er minuscule haarscheurtjes ontstaan (*crizzling*, aangeduid met een pijl op de foto). Het zorgt ervoor dat het glas er dof uit gaat zien. Naar het oppervlak gemigreerde Natrium- en kalium-ionen versterken het degradatieproces. Die reageren daar met in de omringende lucht aanwezige moleculen en de zouten die zich zo vormen kunnen hygroscopisch zijn en vocht aantrekken. Het resultaat is zogenaamd *weeping glass* of traanglas, dat een vochtige oppervlakte laag heeft die enigszins zepig aanvoelt. Het proces is onomkeerbaar. Preventieve maatregelen om de mogelijke schade te beperken zijn voornamelijk gericht op klimaatbeheersing, maar luisteren nauw: de relatieve luchtvochtigheid moet hoog genoeg zijn om uitdroging te voorkomen, maar ook weer laag genoeg om geen vochtophoping op het oppervlak te veroorzaken.

voor de reactie te zijn. Niet alleen activeert vocht de kristalvorming van metaalzepen, maar door hydrolyse komen ook vetzuren vrij in het bindmiddel. Hitte en het gebruik van oplosmiddelen kunnen eveneens bijdragen aan de vorming van metaalzepen, omdat hierdoor verflagen opzwellen, zodat metaal-ionen en vetzuren makkelijker

door de verflaag kunnen bewegen. Vocht, hitte en het gebruik van oplosmiddelen: dat zijn nu juist dingen die restauratoren, vooral in het verleden, vaak gebruikten bij de behandeling van olieverfschilderijen. Zo voegden restauratoren om verzwakt schilderdoek te verstevigen regelmatig een nieuw doek toe aan de achterzijde van het

schilderij met een mengsel van bijenwas en natuurlijke hars. Het is het mogelijk dat de bijenwas die ze hierbij gebruikten een nieuwe bron van vetzuren vormde om het proces van metaalzeepvorming te voeden. Bovendien gebruikten restauratoren hete handstrijkijzers om de doeken goed te impregneren met het mengsel van was en hars.

Enorme vlucht

Het is makkelijk om bij genoemde acties je wenkbrauwen op te trekken. Dat doen we dan met de kennis van nu, en daarin schuilt de crux: de meeste informatie over deze chemische processen is pas enkele decennia bekend. De kennis over pigmenten en degradatiefenomenen komt voor een belangrijk deel voort uit chemische ana-

lysemethodes die vooral de afgelopen jaren een enorme vlucht hebben genomen. Het zijn vaak technieken die binnen de analytische chemie weliswaar al lange tijd gangbaar waren, maar die wat aanpassingen vergden om geschikt te zijn voor kunstonderzoek.

Al vroeg in de twintigste eeuw begon de materiaaltechnische bestudering van schilderijen. Röntgenfotografie werd een belangrijke en veelgebruikte onderzoekstechniek. De afgelopen jaren ontwikkelden onderzoekers aanvullende onderzoekstechnieken met röntgenstraling als basis, die schilderijen in nog meer detail in kaart kunnen brengen. Zo kun je elementaire verspreidingskaarten van schilderijen maken door röntgenfluorescentie te meten. Bij bestraling kun je ato-

men ioniseren door een elektron uit een van de binnenste schillen te verliezen. Elektronen uit de buitenste schillen vullen het elektronengat op dat hierdoor ontstaat. Bij deze overgang zendt het atoom fluorescentiestraling uit die voor elk element karakteristiek is. Als je ook nog de verschillen in de moleculaire samenstelling wilt weten – röntgenfluorescentie kan geen onderscheid maken tussen verschillende moleculen met dezelfde elementen – kun je gebruikmaken van röntgenpoederdiffractie, een techniek waarmee je verschillen in kristalstructuur kunt herkennen.

Maar elke techniek heeft haar beperkingen. Zo kun je met röntgenfluorescentie misschien geen kristalstructuren identificeren, maar is de analyse wel relatief snel. Een stukje schilderij van 20 bij 20 cm scannen met röntgenpoederdiffractie kost al snel een tot twee dagen. Om een groot schilderij als *De Nachtwacht* van Rembrandt in kaart te brengen, zou je bijna anderhalf jaar lang dag en nacht moeten scannen. Bovendien zijn röntgentechnieken minder geschikt om verf met organische kleurstoffen te detecteren, omdat die niet de regelmatige kristalstructuur heeft die essentieel is voor röntgenpoederdiffractie.

Daarvoor zijn dan weer andere spectroscopische methodes beschikbaar, waarbij onderzoekers meten hoe de verflaag bijvoorbeeld zichtbaar licht of infrarood licht van verschillende golflengtes reflecteert en verstrooit. Met dit soort methodes kunnen ze ook organische pigmenten, zoals rode en gele lakken, en het gebruikte bindmiddel goed identificeren. Met verschillende complementaire onderzoekstechnieken zijn ze in staat om een schilderij zo tot op het kleinste detail in kaart te brengen.

Verfmonsters

De meeste van de gebruikte analysetechnieken zijn non-invasief; je hoeft er geen materiaal voor uit het schilderij te nemen. Je wilt immers zo min mogelijk origineel materiaal aan uniek cultureel erfgoed onttrekken. Maar om goed te zien wat de chemische samenstelling is van de verschillende verflagen en hoe verfcomponenten door het schilderij migreren, blijft het soms noodzakelijk om verfmonsters te nemen. Wel kunnen onderzoekers door alle gebruikte analysemethodes veel gericht minuscule monsters nemen, omdat die methodes laten zien welke gebieden potentieel interessant zijn.



► Vloeibare verf

Modernere olieverfschilderijen hebben meestal geen beschermende vernislaag, waardoor het verfoppervlak direct blootstaat aan invloeden uit de omgeving als licht, vocht en temperatuur. Daarnaast experimenteerden schilders volop met de samenstelling van verf. Zo bevatten sommige olieverven nauwelijks metalen. Hoewel metalen in verf problemen kunnen veroorzaken, zoals metaalzeepen, zijn ze ook een essentieel onderdeel van het drogingsproces. Ze hebben een katalyserende werking in de polymerisatie van olie en zorgen voor een actieve vernetting. Als zo'n verf dan ook nog een langzaam drogende olie, zoals zonnebloemolie, als bindmiddel heeft, kan het zijn dat een schilderij na jaren nog niet is uitgehard. Bovendien kan de verf gaan druipen. Op de foto is dat te zien op een detail van

het schilderij *Composition* (1952) door Jean-Paul Riopelle. Analyses tonen aan dat die exsudaten een hoog gehalte aan polaire fracties met een kleine molecuulmassa bevatten, ontstaan door hydrolyse en oxidatie, terwijl de verflaag zelf hoofdzakelijk apolair is. De hypothese is nu dat de verf gaat druipen door een fysieke scheiding van die kleine fracties van de rest van de verflaag. Vermoedelijk hebben de polaire fracties geen ankerpunten binnen het polymeernetwerk zelf en kunnen ze hierdoor ophopen en uit de verf ontsnappen. Een oplossing voor dit proces is er niet. Analyses tonen tevens aan dat er geen meervoudig onverzadigde vetzuren meer aanwezig zijn in de verf, zodat verdere polymerisatie niet kan optreden en de verf naar alle waarschijnlijkheid dus 'nat' zal blijven.



Een macro-röntgenfluorescentiescanner (MA-XRF) voor het schilderij *De samenzwering van de Bataven onder Claudius Civilis* (circa 1661-62) van Rembrandt van Rijn. Met behulp van deze scanner kunnen onderzoekers een verspreidingskaart maken voor alle afzonderlijke elementen die in het schilderij aanwezig zijn.

Het blijven momentopnames; onderzoekers kunnen precies vaststellen uit welke materialen een schilderij op een bepaald moment bestaat. Maar dan begint het puzzelen pas echt, want wat je echt wilt weten is waaróm ze bepaalde materialen op schilderijen aantreffen. Ter aanvulling op de analytische gegevens is het nodig om modelsystemen te ontwerpen met de computer en om laboratoriumexperimenten te doen. Door monsters versneld te verouderen, kunnen onderzoekers proberen de degradatiefenomenen die ze op schilderijen waarnemen na te bootsen. Bovendien kunnen zij hierbij met de variabelen spelen, zodat ze kunnen achterhalen welke rol specifieke factoren spelen. Alleen op die manier kom je van een statisch beeld, van wat er op dit moment is, tot een begrip van de dynamische processen in zo'n schilderij.

Het geeft onderzoekers de mogelijkheid de klok virtueel terug te draaien naar het moment dat het schilderij net af was; op basis

van waargenomen degradatieproducten kunnen zij de oorspronkelijke pigmenten proberen te reconstrueren. Al die onderzoeksmethodes zijn dus niet alleen belangrijk om inzicht te krijgen in de werkwijze van de kunstenaar en de mogelijke veranderingen die hij aanbracht terwijl hij schilderde, maar ook om inzicht te krijgen in de verschillende degradatiefenomenen. Sommige van die fenomenen hebben in het verleden plaatsgevonden. Daarnaast kunnen zij nog actieve processen identificeren en die proberen te vertragen of zelfs te stoppen.

Meer begrip

Op basis van onderzoek naar verfdegradatie kunnen restauratoren onderbouwde beslissingen nemen over welke behandeling zij kunnen, of zelfs moeten, uitvoeren. Als je bijvoorbeeld een overschilderde veer vindt tijdens de analyse van een schilderij lijkt dat misschien een leuk kunsthistorisch detail, maar de verf die gebruikt is voor die veer

zou kunnen reageren met de andere verflagen. Dan gaat het niet meer over een leuk detail, maar over iets dat de stabiliteit en het uiterlijk van het schilderij in gevaar kan brengen. Om te kunnen behouden, moet je begrijpen: hoe een schilderij gemaakt is en met welke materialen, hoe het in de loop der tijd is veranderd en hoe het nog kan en zal veranderen.

Door de toepassing van moderne onderzoekstechnieken ontstaat steeds meer begrip van wat er nu precies met en in die schilderijen gebeurt. Op basis van de resultaten van onderzoek kunnen restauratoren de methodes om schilderijen te behouden en te behandelen steeds verder verfijnen. Het is een troostende gedachte voor de museumbezoeker: die hightechapparatuur ontleent nu misschien even het zicht op de prachtige geschilderde voorstelling, maar uiteindelijk maakt die het wel mogelijk dat ook volgende generaties er nog van kunnen genieten. ●

Schilderijonderzoek



Detail van *De Nachtwacht* (1642) van Rembrandt van Rijn. Op de linker afbeelding zie je een van de figuren in de achtergrond van het midden-gedeelte van het schilderij. Rechts is een MA-XRF scan te zien voor het element ijzer. Hiermee kunnen onderzoekers pigmenten op basis van ijzeroxide, zoals rode oker, okergeel en umber, identificeren. De scan toont duidelijk dat de helm oorspronkelijk veren bevatte, die Rembrandt later heeft verwijderd. Van die veren is op het schilderij nu niets meer zichtbaar, maar ook op de 'normale' röntgenopnames die in de jaren zeventig van de twintigste eeuw van het schilderij zijn gemaakt, zijn de veren niet te zien. Uit deze vergelijking blijkt duidelijk de meerwaarde van geavanceerde technieken als röntgenfluorescentie bij de bestudering van olieverfschilderijen.

Voor op school

- 1 Noem twee technieken waarmee de moderne wetenschap inzicht verkrijgt in de degradatie van schilderijen en leg kort uit hoe ze werken.
- 2 Groen was eeuwen geleden een lastig te verkrijgen kleur. Beschrijf hoe schilders in de Gouden Eeuw dit probleem omzeilden.
- 3 Orpiment is een geelkleurig pigment (molecuulformule As_2S_3) dat onder invloed van licht makkelijk degradeert tot arseen(III)oxide en zwaveldioxide. Geef de reactievergelijking.
- 4 Glas kan dof worden door haarscheurtjes in het oppervlak, een proces dat *crizzling* wordt genoemd. Leg uit hoe dit proces chemisch verloopt.
- 5 Leg uit wat metaalzepen zijn en waarom het gebruik ervan in schilderijen een probleem vormt.
- 6 Wat bedoelen wetenschappers als ze zeggen dat een in verf gebruikte verbinding 'fotokatalytisch' is? Geef een voorbeeld van zo'n verbinding.
- 7 Noem twee chemische processen die tot verval van een schilderij leiden. Leg uit wat deze processen inhouden.

Meer weten?

- www.rijksmuseum.nl/nl/scheikunde-lesmateriaal
- colourlex.com
- theanalyticalscientist.com/fields-applications/analyte-at-the-museum
- Hermans, J.J. (2017) *Metal soaps in oil paint: structure, mechanisms and dynamics*, Amsterdam, ISBN 9789462955783, <https://tinyurl.com/yx22jco2>
- Loon, A. van (2008) *Color changes and chemical reactivity in seventeenth-century oil paintings*, Amsterdam, ISBN 9789077209172, <https://tinyurl.com/uwhrkez>

Editie

Schilderijonderzoek

editie 91 | nummer 363 | april 2020
www.chemischefeitelijkheden.nl

Coverbeeld: *Festoen van vruchten en bloemen* (circa 1660-70) door Jan Davidsz. de Heem. In de rechterhelft de verspreidingskaarten voor de elementen koper en kwik, op basis van röntgenfluorescentiescans. (credit: Nouchka De Keyser)

Dank aan: prof. dr. Klaas Jan van den Berg, dr. Joen Hermans, dr. Katrien Keune, dr. Guus Verhaar

Colofon

Over Chemische Feitelijkheden

KNCV

Chemische Feitelijkheden is een actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Het is een losbladige uitgave van de KNCV en verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

Redactie

dr. Erwin Boutsma (hoofdredacteur),
drs. Franny Scholte (eindredacteur),
Benjamin Rous (tekst)

Vormgeving & Opmaak

Content Innovators

Uitgever

Rik Stuivenberg, Vakbladen.com
Postbus 19949, 2500 CX Den Haag

Abonnementen

088-2266 680

abonnementen@vakbladen.com

Wij hanteren de opzegregels uit het verbintenisrecht. Wij gaan ervan uit dat Chemische Feitelijkheden altijd wordt ontvangen uit hoofde van het beroep. Hierdoor wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd, tenzij twee maanden vóór de einddatum een opzegging is ontvangen. Een abonnement op Chemische Feitelijkheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale onlinearchief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

Tarieven (2020)

Voor particulieren: onlinetoegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap) kost € 100*; leden van de KNCV, KVCV en NVON krijgen € 10 korting.
Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen: onbeperkt toegang tot de digitale edities op basis van IP-adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmappen) kost € 280*.
Losse nummers kosten € 9,95* per stuk en zijn te bestellen bij Mijntijdschrift.com.
*Bij betaling per factuur wordt € 2,95 administratiekosten in rekening gebracht.