UNIVERSITY OF AMSTERDAM

UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Tracing the artist's intent

Combining micro- and macroscopic analysis with art technological sources to study 17th-century paintings

De Keyser, N.

Publication date
2025

Link to publication

Citation for published version (APA):
De Keyser, N. (2025). *Tracing the artist's intent: Combining micro- and macroscopic analysis with art technological sources to study 17th-century paintings*. [Thesis, fully internal, Universiteit van Amsterdam].

General rights
It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations
If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: https://uba.uva.nl/en/contact, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

UvA-DARE is a service provided by the library of the University of Amsterdam (https://dare.uva.nl)

Download date:16 Dec 2025

Scientific output

Scientific output

Publications part of this thesis

- [Chapter 2] **Jan Davidsz. de Heem (1606–1684): a technical examination of fruit and flower still lifes combining MA-XRF scanning, cross-section analysis and technical historical sources**.
Nouchka De Keyser[1-4], Geert Van der Snickt[3-5], Annelies van Loon[2-4], Stijn Legrand[2,4], Arie Wallert[2], Koen Janssens[4-5]
Heritage Science 5, 38, 2017.

- [Chapter 3] **Reviving degraded colors of yellow flowers in 17th century still life paintings with macro- and microscale chemical imaging.**
Nouchka De Keyser[1-4], Fréderique T. H. Broers[3-4,] Frederik Vanmeert[2-4], Steven De Meyer[2-4], Francesca Gabrieli[2-4], Erma Hermens[4], Geert Van der Snickt[4], Koen Janssens[2,4-5], Katrien Keune[3-5]
Science Advances 8, eabn6344, 2022.

- [Chapter 4] **Discovery of pararealgar and semi-amorphous pararealgar in Rembrandt's *The Night Watch*: analytical study and historical contextualization.**
Nouchka De Keyser*[1-4], Fréderique T. H. Broers*[1-4], Frederik Vanmeert[2-4], Annelies van Loon[2,4], Francesca Gabrieli[2-4], Steven De Meyer[2-4], Arthur Gestels[2-4], Victor Gonzalez[2,4], Erma Hermens[4], Petria Noble[4], Florian Meirer[4], Koen Janssens[4-5], Katrien Keune[1,4-5]
Heritage Science 12, 237, 2024.

- [Chapter 5] **Illuminating Rembrandt's *Chiaroscuro*: Revealing the Painting Process in Van Ruytenburch's costume of *The Night Watch***
Nouchka De Keyser[1-4], Annelies van Loon[2-4], Francesca Gabrieli[2-4], Frederik Vanmeert[2-4], Fréderique T.H. Broers[2-4], Petria Noble[2-4], Steven De Meyer[2-4], Arthur Gestels[2-4], Victor Gonzalez[2-4], Mitra Almasian[2-4], Inez van der Werf[2-4], Erma Hermens[2,4], Koen Janssens[2,4], Katrien Keune[4-5]
Heritage Science, [Submitted].

* These authors contributed equally

[1] Conceptual ideas

[2] Experimental work

[3] Data processing and/or interpretation

[4] Writing and reviewing of the manuscript

[5] Project supervision

Other publications

- **Advanced X-Ray Techniques to Study the Alteration of Pigments in Paintings**
Letizia Monico, Koen Janssens, Marine Cotte, Samuel M. Webb, Frederik Vanmeert, Victor Gonzalez, Geert Van der Snickt, Katrien Keune, Brunetto G. Brunetti, Gerald Falkenberg, Jan Garrevoet, Annelies van Loon, Marc Vermeulen, Maite Maguregui, Steven De Meyer, Ermanno Avranovich Clerici, Fréderique T.H. Broers, Laura Cartechini, Nouchka De Keyser, Francesco d'Acapito, Florian Meirer, Aldo Romani, Francesca Rosi, Sara Carboni Marri, Daniela Comelli, Nina Deleu, Ida Fazlic, Marta Ghirardello, Clément Holé, Silvia Pérez-Diez, Mathieu Thoury, Costanza Miliani
La Rivista del Nuovo Cimento. Springer. 2025
Submitted

- **Reconstruction of the 1640 Ioannes Ruckers Virginal in the Rijksmuseum, Amsterdam.**
Manu Frederickx, Tamar Hestrin-Grader, Frank Hollinga, Mané van Veldhuizen, Giovanni Paolo Di Stefano, Paul van Duin, Nouchka De Keyser
Prospects and challenges of museum accessibility, diversity and equity Proceedings of the Annual CIMCIM Conference, 30 August- 1 September 2023, Amsterdam, Utrecht, Amersfoort, Heerde. Series: CIMCIM Proceedings.: CIMCIM, 2024.
In preparation

- **Forever in Bloom**
Josephina de Fouw, Nouchka De Keyser, Jorinde Koenen,
in *Rachel Ruysch: Nature into Art*, R. Schindler, B. Ebert, A. C. Knaap, Eds. (MFA publications, Boston, 2024), pp. 181–224.

- **Frans Hals & Co: the Civic Guard Portraits and the Attribution of the Meagre Company**
Anna Tummers, Arie Wallert, Robert G. Erdmann, Joris Dik, Nouchka De Keyser, Annelies van Loon, Erma Hermens
in *Frans Hals or Not Frans Hals: Connoisseurship, Technical Analysis and Digital Tools*, A. Tummers, R. Erdmann, Eds. (Springer Nature, 2024), pp. 151-257.

- **De Magere Compagnie, Hals of Codde? Nieuw onderzoek geeft inzicht**
Annelies van Loon, Nouchka De Keyser, Erma Hermens, Anna Tummers,
in kM (2024) pp. 24–27.

- **Correlated X-ray fluorescence and ptychographic nano-tomography on Rembrandt's *The Night Watch* reveals unknown lead "layer."**
F. T. H. Broers, I. Verslype, K. W. Bossers, F. Vanmeert, V. Gonzalez, J. Garrevoet, A. van Loon, E. van Duijn, A. Krekeler, N. De Keyser, I. Steeman, P. Noble, K. Janssens, F. Meirer, K. Keune
Science Advances 9, eadj9394, 2023.

- **Transmission and Reflection Mode Macroscopic X-ray Powder Diffraction Imaging for the Noninvasive Visualization of Paint Degradation in Still Life Paintings by Jan Davidsz. de Heem.**
Frederik Vanmeert, Nouchka de Keyser, Annelies van Loon, Lizet Klaassen, Petria Noble, Koen Janssens
Analytical Chemistry 91, 2019, 7153–7161.

- **Combined Micro- and Macro scale X-ray powder diffraction mapping of degraded Orpiment paint in a 17th century still life painting by Martinus Nellius.**
Jonas Simoen, Steven De Meyer, Frederik Vanmeert, Nouchka de Keyser, Ermanno Avranovich, Geert Van der Snickt, Annelies van Loon, Katrien Keune, Koen Janssens
Heritage Science 7, 83, 2019.

- **Supplementing the eye: the technical analysis of Frans Hals's paintings - II**.
Anna Tummers, Arie Wallert, Nouchka De Keyser
The Burlington Magazine 161, 2019, 996–1003.

- **Development of a new portable X-ray powder diffractometer and its demonstration to on-site analysis of two selected old master paintings from the Rijksmuseum**.
Airi Hirayama, Yoshinari Abe, Annelies van Loon, Nouchka De Keyser, Petria Noble, Frederik Vanmeert, Koen Janssens, Kriengkamol Tantrakarn, Kazuo Taniguchi, Izumi Nakai
Microchemical journal 138, 2018, 266–272.

- **The patron of Hieronymus Bosch's 'Last Judgment' triptych in Vienna.**
Jos Koldeweij, Luuk Hoogstede, Mattijs Ilsink, Koen Janssens, Nouchka De Keyser, Rik Klein Gotink, Stijn Legrand, Julia M. Nauhaus, Geert Van der Snickt, Ron Spronk
The Burlington magazine 160, 2018, 106–111.

Media exposure and research dissemination (interviews)

2024

- Rous, Benjamin. ‘’Het is niet alles goud wat er blinkt”, C2W Mens & Molecule, 24 september 2024, http://ct.moreover.com/?a=54861195258&p=1pl&v=1&x=TSZiGIAywOX4XosBhkH_QQ
- Rous Benjamin. ‘’Not all that glitters is gold”, C2W International, 1 October 2024, https://www.sciencelink.net/news/not-all-that-glitters-is-gold/22238.article
- Wismans, Laura. ‘’De echte kunstexpert is steeds vaker een apparaat”, NRC, 28 september 2024, https://acrobat.adobe.com/link/review?uri=urn:aaid:scds:US:487637dd-d040-32c4-8b96-0c1a36dd4848

- De Keyser, Nouchka. ‘’Rembrandt gebruikte uniek kleurmengsel voor goud in Nachtwacht”. NOS Met het Oog op Morgen, hosted by Rob Trip, NPO Radio1, NOS, 24 July 2024, https://www.nporadio1.nl/fragmenten/nos-met-het-oog-op-morgen/9c9a146c-b4a6-4c85-a22b-443a595b341b/2024-07-24-rembrandt-gebruikte-uniek-kleurmengsel-voor-goud-in-nachtwacht

- Nayyar, Rhea. "Scientists Crack the Code of Rembrandt’s Golden Luster." Hyperallergic, 31 July 2024, https://hyperallergic.com/939227/scientists-crack-the-code-of-rembrandts-golden-luster/

- Gerbis, Nicholas. ‘’Getting That Glow: Dutch Golden Age pigments might have been more varied than historians realized”, American Scientist, Volume 112, Number 6, November-December 2024, https://doi.org/10.1511/2024.112.6.333

- Lev, Gidón. ‘’ אשליית האור הבוהק בציור "משמר הלילה" היא תוצאה של תעלול בכימיה.” Haaretz, 8 August 2024, https://www.haaretz.co.il/science/social-science/2024-08-08/ty-article/.premium/00000191-2e17-d1b4-a399-7eb71f9b0000?gift=667362350f6846e98f4ad5b12af942cd

2022

- Wilson, Mark R. ‘’How a 17th-century painted rose lost its color.” Physics Today, 5 July 2022, https://doi.org/10.1063/PT.6.1.20220705a

- Gramling, Carolyn. ‘’A pigment’s shift in chemistry robbed a painted yellow rose of its brilliance.” ScienceNews, 8 June 2022, https://www.sciencenews.org/article/chemistry-pigments-paint-arsenic-yellow-rose-mignon-still-life

- Starckx, Senne. ‘’Een bloem met gif geschilderd, die kon niet anders dan verwelken.” De Standaard, 10 June 2022, https://www.standaard.be/cnt/dmf20220609_97561777

Summary

Seventeenth-century Dutch artists were masters at realistically depicting various objects, capturing specific surface textures and optical effects with great attention to detail. This required a precise touch, a systematic approach and an elaborate working process, from the ground up to the uppermost paint layers and glazes. Paintings, however, are dynamic systems, and over time, the carefully constructed paint layers and effects are affected by the degradation of the artist's materials.

The deterioration of artists pigments and binders in oil paintings are inevitable and these complex processes take place at the paint surface or within the paint on the microscopic to the molecular level and can affect the physicochemical properties of the paint in an undesirable way. Inherent to the artist's choice of material and technique, degradation entails discoloration and color changes and/or affects the structural integrity of the paint, causing (loss of) transparency, brittleness, delamination, or pronounced microcracking. At an advanced stage, these phenomena can decrease the readability of the artwork and hence conspicuously alter the artists' intention.

To effectively preserve and safeguard cultural heritage, it is crucial to comprehend the material dynamics of the object, mapping the original pigments, materials, and methods employed, and understand the degradation pathways and mechanisms involved. This knowledge is of paramount importance for conservators, art historians, and scientists to continue preserving cultural heritage for future generations while upholding the integrity of the object and the artist's original intention.

The scientific study of paintings, particularly to examine the artist's working methods and pigment degradation, has long relied on the analysis of paint cross-sections and traditional imaging techniques such as infrared photography and X-radiography. This thesis explored the extent to which we can understand and reconstruct the painting technique and original intended appearance of works by seventeenth-century masters, through four in-depth case studies, highlighting the capabilities of non-invasive macroscopic imaging techniques. To achieve a comprehensive understanding of the original pigment materials, painting techniques, and intended appearances, an integrated approach is employed using both macroscopic and microscopic imaging with the study of art technological sources.

In **Chapter 2**, the potential of Macro X-ray fluorescence (MA-XRF) scanning is explored to study the elaborate painting process of still life painter, Jan Davidsz. de Heem (1606–1684). MA-XRF scanning experiments of five flower and fruit still life paintings were supplemented with a study of paint cross-sections and contemporary art technical sources, including recipes by the painter himself, with the aim of reconstructing the complex build-up and the painting process of specific fruits and flowers in the composition. MA-XRF provided information on the distribution of chemical elements of pigments present in paint which made it possible to recapture evidence of the different phases in the artist's working methods: from the application of the ground layers, to De Heem's characteristic oval-shaped underpaintings, and finally, the superposition of multiple paint layers in the working up of the paintings.

Chapter 3 discusses the case study of the yellow rose in a still life painting by Abraham Mignon (1640-1679). The yellow rose is significantly more degraded than the surrounding flowers in the composition. Here the question was, whether it was possible to reconstruct the original intended appearance of the yellow rose. A multimodal combination of chemical and optical imaging techniques, including non-invasive macroscopic X-ray powder diffraction (MA-XRPD) and macroscopic X-ray fluorescence imaging, allowed us to understand the painting technique and the transformation of the original intended appearance of the rose into its current degraded state. MA-XRPD enabled us to gain insight into the current appearance by identifying in situ formed products, which could be precisely correlated with surface phenomena. The precipitated lead arsenates and arsenolite from the yellow pigment orpiment and the light-induced fading of an organic yellow lake irreversibly changed the artist's intentional light-shadow modeling. The interdisciplinary research approach combining macro and microscopic imaging modalities, art technical sources and reconstruction-based research proved key in understanding the artist's original intention.

Chapter 4 deals with the discovery of pararealgar and a semi-amorphous pararealgar identified in the costume of Willem Van Ruytenburch, one of the central and most illuminated figures in Rembrandt's *The Night Watch*. This chapter highlights not only the importance of art historical source research to contextualize the scientific results but also the importance of evaluating the degradation state of pigments when discussing artist's intention. Although pararealgar has so far mainly been thought of as

a degradation product of realgar as well as of the minerals in the alacranite (As_8S_9) series, both the natural and synthetic phases, we proposed that pararealgar was available in seventeenth-century Amsterdam as a pigment and that Rembrandt used it to paint with. The use of yellow pararealgar and an orange to red semi-amorphous pararealgar by Rembrandt in Amsterdam in the seventeenth century is supported by the identification of a very similar paint mixture in a painting by Willem Kalf that was painted in the same city some fifteen years later. Extensive literature research of historical sources also shows the contemporary knowledge of manipulating both natural or artificial arsenic sulfides to obtain different shades of yellow to red. It highlights that the collection of arsenic sulfide pigments used by artists in the seventeenth century was much larger than commonly perceived.

Chapter 5 focuses on Rembrandt's use of *chiaroscuro* and convincing rendition of materials in lieutenant Willem Van Ruytenburch's costume in *The Night Watch*. It explores how much information macroscopic imaging techniques can provide to reconstruct the steps in the painting process of Van Ruytenburch's embroidered costume and connections are made to notes on Rembrandt's painting technique by his pupil Samuel Van Hoogstraten. The RIS and MA-XRF results, show that Rembrandt employed a sophisticated pigment palette from lead white, lead-tin yellow, yellow and red ochres, vermilion, arsenic sulfide pigments, red lakes, smalt and azurite and used them in a consistent, systematic way to achieve pictorial unity. Rather than blending lights and shadows, Rembrandt skillfully combines them in groups to transition tonal contrasts between the illuminated and shadow areas. The macroscopic mapping of pigments also reveals Rembrandt's attention to detail, capturing nuances like the warm orange-golden glow reflection of gold threads, achieved with arsenic-based pigments exclusive to Van Ruytenburch's costume. Furthermore, MA-XRPD imaging provided insights into the presence and distribution of degradation products such as lead arsenates (mimetite $Pb_5(AsO_4)_3Cl$ and schultenite $Pb(HAsO_4)$), calcium oxalates (weddellite, $CaC_2O_4{\cdot}2H_2O$) and a K-based lead sulfate (palmierite $K_2Pb(SO_4)_2$) linked to original pigments. This allows for a deeper understanding of the artwork's conservation state and the implications of secondary products on the present appreciation of Ruytenburch's costume.

Nederlandse samenvatting

Zeventiende-eeuwse Nederlandse kunstenaars waren meesters in het realistisch weergeven van verschillende objecten. Met veel aandacht voor detail werden de specifieke oppervlakte-texturen en optische effecten geïmiteerd, zoals de warme gloed van goud, zachte delicate roosblaadjes en de velvet textuur van perziken. Dit vereiste een precieze techniek, een systematische benadering en een uitgebreid schilderproces, van de grondlagen tot de hoogste verf- en glaceerlagen. Schilderijen zijn echter dynamische systemen, en na verloop van tijd worden de zorgvuldig aangebrachte verflagen en optische effecten beïnvloed door de veroudering van het materiaal dat de kunstenaar gebruikte.
De degradatie van de pigmenten en bindmiddelen in olieverfschilderijen is onvermijdelijk en deze complexe processen vinden plaats op het verfoppervlak of binnenin de verf op het microscopische tot moleculaire niveau en kunnen de fysisch-chemische eigenschappen van de verf op een ongewenste manier beïnvloeden. Inherent aan de keuze van materiaal en techniek van de kunstenaar, leidt degradatie tot verkleuring en kleurveranderingen en/of beïnvloedt het de structurele integriteit van de verf, wat (verlies van) transparantie, broosheid, delaminatie of uitgesproken microbarsten kan veroorzaken. In een gevorderd stadium kunnen deze fenomenen de leesbaarheid van het kunstwerk verminderen en de bedoelingen van de kunstenaar zichtbaar veranderen.

Om het culturele erfgoed effectief te behouden en te beschermen, is het cruciaal om inzicht te krijgen in de chemische samenstelling van het object, de oorspronkelijke pigmenten, materialen en methoden die zijn gebruikt in kaart te brengen, en de degradatiemechanismen te begrijpen. Deze kennis is van groot belang voor conservatoren, kunsthistorici en wetenschappers om het culturele erfgoed voor toekomstige generaties te blijven bewaren en tegelijkertijd de integriteit van het object en de oorspronkelijke bedoeling van de kunstenaar te waarborgen.

De wetenschappelijke studie van schilderijen, met name om de schildertechniek van de kunstenaar en de degradatie van pigmenten te onderzoeken, heeft lange tijd vertrouwd op de analyse van verfdwarsdoorsneden- een minuscuul verfmonster ingebed in een polymeerblokje en zodanig geslepen dat de laagopbouw van het

schilderij zichtbaar is- en traditionele beeldvormingstechnieken zoals infraroodfotografie en radiografie. Dit proefschrift verkende in hoeverre we de schildertechniek en de oorspronkelijk beoogde weergave van werken van zeventiende-eeuwse meesters kunnen begrijpen en reconstrueren, door middel van vier diepgaande casestudy's, waarin de mogelijkheden van niet-invasieve macroscopische beeldvormingstechnieken worden belicht. Om een diepgaand inzicht te verkrijgen in de gebruikte pigmentmaterialen, schildertechnieken en de oorspronkelijke weergave, wordt een geïntegreerde methode toegepast waarin macroscopische en microscopische beeldvorming worden gecombineerd met onderzoek naar kunst technologische bronnen.

In **Hoofdstuk 2** wordt het potentieel van macro-röntgenfluorescentie scannen (MA-XRF) onderzocht om het verfijnde schilderproces van stilleven schilder Jan Davidsz. de Heem (1606–1684) te bestuderen. MA-XRF van vijf bloemen- en fruitschilderijen werden aangevuld met een studie van verfdwarsdoorsneden en kunst-technologisch bronnenonderzoek, waaronder recepten van de schilder zelf, met als doel het complexe schilderproces van specifieke vruchten en bloemen in de compositie te reconstrueren. MA-XRF leverde informatie over de verdeling van chemische elementen van de pigmenten die in de verf aanwezig zijn en maakte het mogelijk om verschillende fasen in het schilderproces vast te leggen: van de grondlagen, tot De Heems ovale monochrome onderlagen, en de uiteindelijk opeenvolgende verflagen in het verder uitwerken van de schilderijen.

Hoofdstuk 3 behandelt de casestudy van een gele roos in het schilderij *Stilleven met bloemen en een horloge* van Abraham Mignon (1640–1679). De gele roos is een terugkerend motief in schilderijen van Abraham Mignon, Jan Davidsz. De Heem en hun kring en vertoont steevast tekenen van degradatie. De gele roos in dit stilleven is aanzienlijk sterker gedegradeerd dan de omliggende bloemen in de compositie. De centrale vraag was of het mogelijk was de oorspronkelijk beoogde stofuitdrukking van de roos te reconstrueren. Door een multimodale combinatie van chemische en optische beeldvormingstechnieken, waaronder niet-invasieve macroscopische röntgenpoeder-diffractie (MA-XRPD) en macroscopische röntgenfluorescentie (MA-XRF), konden zowel de schildertechniek als de transformatie van de oorspronkelijke weergave naar de huidige gedegradeerde staat in kaart worden gebracht. MA-XRPD bood inzicht in de huidige staat van de roos door in situ gevormde producten te identificeren, die

nauwkeurig gekoppeld konden worden aan waarneembare oppervlaktefenomenen. De vorming van loodarsenaten schulteniet ($PbHAsO_4$) en mimetiet ($Pb_5(AsO_4)_3Cl$), en arsenolite (As_2O_3) afkomstig van het gele pigment orpiment (As_2S_3), evenals de lichtgevoelige vervaging van een organisch geel lakpigment, hebben de door de kunstenaar beoogde licht-schaduwwerking onomkeerbaar aangetast. Beide pigmentmengsels die werden gebruikt voor het creëren van zowel de schaduwen op de bloem als de heldergele lichtaccenten zijn gedegradeerd of vervaagd. Hoewel deze verflagen oorspronkelijk al dun werden aangebracht — in overeenstemming met de schildertechniek van stillevenschilders — heeft dit ertoe geleid dat de onderliggende, monochrome laag van gele oker sterker zichtbaar is geworden. Deze onderlaag bepaalt nu grotendeels het kleurbeeld van de roos. Hierdoor oogt de bloem vlakker (minder driedimensionaal), omdat de subtiele overgangen die oorspronkelijk het volume van de bloem weergaven, niet langer waarneembaar zijn. Om na te gaan hoe de gele roos er oorspronkelijk heeft uitgezien en ook om meer inzicht te krijgen in de terugkerende pigment mengsels zoals gips en kwarts met natuurlijk orpiment, zijn er ook op basis van het wetenschappelijk onderzoek reconstructies gemaakt met de geïdentificeerde pigmenten. De interdisciplinaire aanpak, waarbij macro- en microscopische beeldvorming, kunst-technologische bronnen en reconstructiegericht onderzoek werden gecombineerd, bleek essentieel voor het begrijpen van de oorspronkelijke intentie van de kunstenaar.

Hoofdstuk 4 behandelt de ontdekking van pararealgar en een semi-amorfe pararealgar in het kostuum van Willem Van Ruytenburch, een van de centrale en meest belichte figuren in Rembrandts *De Nachtwacht*. Dit hoofdstuk onderstreept niet alleen het belang van kunsthistorisch bronnenonderzoek om de wetenschappelijke bevindingen te kunnen duiden, maar ook de noodzaak om de degradatiestatus van pigmenten te evalueren bij het interpreteren van de bedoeling van de kunstenaar. Hoewel pararealgar tot nu toe vooral werd beschouwd als een degradatieproduct van realgar en van mineralen uit de alacranietserie (As_8S_9), zowel in natuurlijke als synthetische vorm, stellen wij dat pararealgar in het zeventiende-eeuwse Amsterdam als pigment beschikbaar was en daadwerkelijk door Rembrandt werd gebruikt. Het gebruik van geel pararealgar en een oranje tot rode semi-amorfe pararealgar door Rembrandt wordt ondersteund door de identificatie van een vergelijkbaar verfmengsel in een schilderij van Willem Kalf, dat circa vijftien jaar later in dezelfde stad werd

vervaardigd. Uitgebreid literatuuronderzoek naar historische bronnen toont ook de kennis van het manipuleren van zowel natuurlijke als kunstmatige arseensulfiden om verschillende tinten geel tot rood te verkrijgen. Dit benadrukt dat de collectie van arseensulfide-pigmenten die door kunstenaars in de zeventiende eeuw werd gebruikt veel groter was dan doorgaans wordt aangenomen.

In **Hoofdstuk 5** wordt Rembrandts gebruik van *chiaroscuro* of *clair-obscur* en het overtuigend weergeven van materialen in het kostuum van luitenant Willem Van Ruytenburch in *De Nachtwacht* onderzocht. Meer bepaald, hoe macroscopische beeldvormingstechnieken kunnen bieden om de stappen in het schilderproces van Van Ruytenburch's geborduurde kostuum te reconstrueren. De RIS- en MA-XRF-resultaten tonen aan dat Rembrandt een verfijnd palet van pigmenten gebruikte, waaronder loodwit, lood-tin-geel, gele en rode okers, vermiljoen, arseensulfide-pigmenten, rode lakken, smalt en azuriet, en dat hij deze op een consistente, systematische manier gebruikte om picturale eenheid te bereiken. In plaats van licht en schaduw te mengen, combineert Rembrandt ze vakkundig in groepen om tonale contrasten tussen de verlichte en schaduwrijke gebieden te laten overgaan. Deze techniek kon gerelateerd worden aan een aantekening over Rembrandt's schildertechniek door zijn leerling Samuel Van Hoogstraten in het traktaat *Inleyding tot de hooge schoole der schilderkonst: anders de zichtbaere werelt*. De macroscopische mapping van pigmenten onthult ook Rembrandts aandacht voor detail, zoals de warme oranje-gouden gloedreflectie van gouddraden, die werd bereikt met de arseensulfide pigmenten, besproken in hoofdstuk 4, die exclusief in het kostuum van Van Ruytenburch werden gebruikt. Bovendien bood MA-XRPD inzicht in de aanwezigheid en distributie van degradatieproducten zoals loodarsenaten (mimetiet $Pb_5(AsO_4)_3Cl$ en schulteniet $Pb(HAsO_4)$), calciumoxalaten (weddellite, $CaC_2O_4{\cdot}2H_2O$) en een kalium-houdend lood sulfaat (palmieriet $K_2Pb(SO_4)_2$) gevormd door de degradatie van de oorspronkelijk gebruikte pigmenten. De combinatie van de complementaire non-invasieve beeldtechieken maakte het mogelijk om meer inzicht te krijgen in de huidige staat van het schilderij en ook de implicaties van de degradatieproducten op de huidige weergave van Van Ruytenburch's kostuum en Rembrandt's geschilderde licht-shaduw contrasten.

Acknowledgements

Onderzoek doen en een proefschrift schrijven doe je niet alleen. In dit stuk wil ik dan ook heel graag de vele collega's, vrienden en familie bedanken die mij tijdens dit hele traject hebben gesteund en hebben bijgedragen aan het onderzoek.

Allereerst bedank ik mijn promotoren **Katrien** en **Koen**, en mijn copromotoren **Geert** en **Erma**. Zonder jullie was dit allemaal niet mogelijk geweest.

Katrien, ik ben ontzettend trots en blij om jou als promotor, mentor en huidige supervisor te mogen hebben bij het Rijksmuseum. Jouw enthousiasme voor wetenschap is aanstekelijk en je positieve levensinstelling en passie voor het vakgebied zijn eindeloos. Naast je enorme kennis van chemie en degradatieprocessen van historische pigmenten, ben ik je vooral dankbaar voor het bewaken van grenzen en deadlines, steeds met oog voor mentale gezondheid.
"Plezier in onderzoek is het belangrijkste" — dat is een zin die ik de rest van mijn leven zal meedragen. Ik kijk ernaar uit om nog lang met je samen te mogen werken.

Geert, zonder jou was dit promotietraject überhaupt niet begonnen. Dank je wel voor je vertrouwen en aanmoediging om een promotie te overwegen. Ik leerde je kennen in het derde jaar van mijn bachelor conservatie-restauratie, waar je ons onderwees in onderzoekstechnieken zoals X-stralenfluorescentie — een techniek die centraal staat in mijn onderzoek. Je gaf me de opdracht om een paper te schrijven over de schildertechniek van Jan Davidsz. de Heem. Dat leidde uiteindelijk tot mijn fascinatie voor deze schilder, het onderwerp van mijn masterscriptie en een uitgebreid artikel, opgenomen in hoofdstuk 2. Dankzij jouw vertrouwen mocht ik zelfstandig werken, zowel in het Mauritshuis als in Wenen tijdens verschillende scancampagnes. Ik ben je enorm dankbaar voor alles wat je me hebt geleerd en voor de prachtige projecten waarin je me betrok.

Koen, onder jouw begeleiding werd ik warm onthaald bij de AXIS-onderzoeksgroep in Antwerpen. Net als Geert ben ik jou, Koen, ontzettend dankbaar voor je begeleiding en de vrijheid die je me gaf om mijn eigen weg te gaan. Je betrok me bij verschillende projecten en stuurde me naar mijn eerste beamtime in Hamburg.
Hoewel ik mezelf niet als een hardcore chemicus zag en soms last had van 'imposter

syndrome', heb jij me nooit het gevoel gegeven dat ik iets niet kon, waarvoor ik je enorm apprecieer. Jouw scherpe blik, kritische geest en waardevolle inzichten hebben me veel geleerd en waren van onschatbare waarde voor dit proefschrift. Ik hoop dat we nog vele jaren mogen samenwerken.

Een bijzonder woord van dank gaat uit naar **Erma**, mijn copromotor. Een belangrijk onderdeel van dit proefschrift is de studie van historische bronnen, en jouw kennis, inzichten en kritische vragen waren hierin van onschatbare waarde. Ik ben je ook bijzonder dankbaar voor de tijd en energie die je stak in onze technische kunstgeschiedenis teammeetings tijdens de pandemie. Juist in die periode, waarin de academische wereld grotendeels op afstand draaide, bleef jij met aandacht en enthousiasme betrokken. Je wist een gevoel van verbinding te behouden, wat voor mij ontzettend belangrijk was.

Tijdens mijn promotietraject kreeg ik de kans om onderzoek te doen op prachtige plekken, in musea en collecties, en ontmoette ik inspirerende collega's.

Ik ben het Koninklijk Museum voor Schone Kunsten Antwerpen (KMSKA) dankbaar, en in het bijzonder **Gwen**, voor de kans om onderzoek te doen naar de collectie, waaronder haar *Judith*. Verder bedank ik graag **Lizet**, **Christine**, **Johan**, **Claire**, **Lies**, **Jill** & **Ellen**, **Celine**, **Titania**, **Cleo**, **Masayuki**, **Jantine** en **Eva** voor de mooie samenwerkingen en open fijne collegiale sfeer en gezellige koffie en lunchpauzes in het depot van Kallo. Eva, ik zal je voor altijd herinneren als een super enthousiaste Rubens-kenner. Ik vond het ontzettend fijn om met jou en Jill & Ellen samen te werken aan het epitaaf, rust zacht. Vanuit het Mauritshuis bedank ik **Carol**, **Abbie**, **Sabrina** en **Marya**; en vanuit het Kunsthistorisches Museum in Wenen **Gerlinde**, **Ina**, **Katharina** en **Elke**.

I would like to thank my colleagues at the Rijksmuseum, who have made me feel at home since my internship in 2015: the *paintings conservation team*—**Gwen**, **Anna**, **Susan**, **Ige**, **Esther**, **Laura**, **Lisette**, **Nienke**, **Tess**, **Giulia**, **Willem**, **Sepha**, and **Cindy**—and the *science team*—**Alba, Alessandra, Annelies, Aurora, Benjamin, Carola, Daniëlle, Francesca, Fréderique, Frederik, Gwen, Hannah, Han, Henk, Ilse, Inge, Ida, Joen, Jorien, Jolanda, Julia, Katrien, Leila, Luis, Lucy, Maxime, Mathijs, Momoko, Petria, Sander, Tamar, Theo and Victor**. **Thank you to the entire Operation Night Watch team**, and especially

Christian, **Roos**, **Karin**, **Apas** and **Adrian** for all the invaluable support.

Een van de mooiste aspecten van mijn promotietraject was ook het delen van kennis en het begeleiden van studenten. Het begeleiden van scripties en projecten bood niet alleen de kans om mijn eigen inzichten over te dragen, maar ook om zelf nieuwe perspectieven te ontdekken. Dank je wel **Henk**, **Laura** en **Katelyn**! **Katelyn**, I will always remember our summer of reconstructions with orpiment, and our many lunches talking about lucid dreams and pottery.

Aan mijn lieve kantoorgenoten Annelies, Frederik en Ilse! Ik voel me enorm bevoorrecht om met jullie een kantoor te mogen delen.

Annelies, je bent al sinds ik me kan herinneren als student een grote bron van inspiratie. Ik las je proefschrift en artikelen, en toen ik startte als stagiair en later als PhD-student, kon ik niet geloven dat ik met je mocht samenwerken. Wat jij doet, wilde ik ook doen. En sinds die dag help je me elke dag om daar te geraken. De manier waarop je onderzoek doet, historische bronnen combineert met technisch onderzoek, is enorm inspirerend. Ik hou van al onze discussies, zowel over het werk als over de nieuwe film die we hebben gezien, die meestal starten rond sluitingstijd van het ateliergebouw. Vaak zetten we ons praatje dan voort voor het ateliergebouw, nadat we door de beveiliging zijn buitengezet. Mogen we nog vele jaren naast elkaar mogen werken.

Ilse, ik vind je een fantastische onderzoeker en een super fijn persoon om mee samen te werken. Je bent altijd super enthousiast, en ik heb het gevoel dat we geen gespreksonderwerpen tekortkomen, met onze gedeelde passie voor fermentatie (kefir, zuurdesem), dezelfde humor of het uitzoeken van de oorsprong van een Vlaams woord. Jij maakt mijn dag altijd beter.

Frederik, ik leerde je voor het eerst kennen toen ik als stagiair in het Rijksmuseum werkte. Je was toen bezig met de eerste MA-XRPD scancampagne in het Rijks, waaronder een schilderij van Jan Davidsz. de Heem, waar ik ook onderzoek naar deed. Ik had een heleboel vragen over hoe de techniek werkte, en je legde ze me stuk voor stuk heel geduldig en in detail uit. Ik was daarom zo blij dat ik ook met jou het kantoor kon delen in mijn eerste jaar in Antwerpen, en nu weer terug in Amsterdam. Ik bewonder je enorm als persoon en als onderzoeker! Zonder jou, jouw kennis, maar ook jouw geduld om mijn eindeloze vragen te beantwoorden, had ik dit proefschrift niet kunnen schrijven.

To my dear **Francesca**! I was so happy when you joined us at the Rijksmuseum. You

arrived like an Italian whirlwind into my life and I'm so grateful to call you not only a colleague but also a friend. I'll always stand by your side, through thick and thin. Thank you for being there for me, for sharing your wisdom, and for teaching me valuable life lessons along the way.

Samen uit, samen thuis! Zo blij dat we beiden klaar zijn met ons proefschrift dit jaar **Fréderique!** Onze gedeelde passie voor arseensulfiden heeft ons een mooi artikel opgeleverd. Naast een fijne collega ben je ook een grote rots in de branding. Dank je wel voor je vriendschap, hulp en je vrolijkheid tijdens dit hele traject! Ik kon me geen beter partner bedenken om samen het hoofd te breken over de artificiële arseensulfiden.

Lieve **Jorien!** Ook jij ontzettend bedankt voor je vriendschap in deze periode. Ik zou zo terug naar de schoolbanken willen om les van jou te krijgen aan de UvA.

Alba. You are a true role model and a person I look up to. I'm so happy to be able to work with you hopefully for many years to come.

To the ARCHES and AXIS research groups: **Stijn**, **Steven**, **Frederik**, **Arthur**, **Gert**, **Ermanno**, **Ehab**, **Kirsten**, **Nina** and **Iryn**. **Stijn**, ik heb je ooit eens vergeleken met een tardigrada, een diertje dat bekend staat om hun vermogen om te overleven in de meest extreme omstandigheden: extreme hitte, kou, op de bodem van de oceaan, in de buurt van vulkanen, in sterk radioactieve omgevingen en in vacuüm in de ruimte. Als er ooit een oorlog uitbreekt wil ik je graag naast mijn zijde. Dank je wel voor alle technische en emotionele ondersteuning en alle handige tips tijdens het in elkaar steken van de MA-XRF scanner. En ja!, ik rol nog steeds mijn verlengkabels volledig uit.

To my TAH-group: Moorea, Francien, Matt, Marta and Mathilde, thank you for being there through Zoom meetings during the pandemic.

To my dear *paranimpfs* aka *space girls* **Alessandra** and **Ida**: I'm so happy to have you by my side for this special day. It only happens a few times in life when you instantly connect with someone on a deeper level. Thank you both for making me feel seen, loved, safe and celebrated. Here's to many years together.

To my friends: Thank you for listening to endless talks about toxic pigments.

Alessandro, **Tiago**, **Danny**, **Eugenio**, **Irene**, **Nam**, **Jeremy**, **Daniel**, **Thomas**, **Elsemieke** and my **L'Aquila family**. De **WW's**: Emilie, Deborah, Véronique, Julie en Mariline.

Lieve familie, lieve mama en papa,
Ook jullie wil ik uit de grond van mijn hart bedanken. De keuze tussen fotografie en conservatie-restauratie was niet gemakkelijk. Hoewel geen van beide richtingen baanzekerheid bood, gaven jullie mij toch de vrijheid om te kiezen wat ik echt wilde doen. Merci voor alle steun, alle liefde, en vooral voor het vertrouwen en de vrijheid die jullie mij hebben gegeven om mijn dromen na te jagen.

And finally, to my love, **Fabio**. I couldn't have done this without you. Thank you for taking care of me and loving me throughout this journey — for dragging me away from the computer, making sure I got enough sleep, and preparing the much-needed cappuccinos every morning. *Reggimi che ti reggo*.

Curriculum Vitae

Nouchka De Keyser, born in 1993 in Deinze, Belgium, is the youngest of four siblings. She attended art school every Saturday morning during her youth, engaging in painting, lithography, sketching, analog photography, and graffiti. She studied science and languages in high school, graduating from Gent Sint-Pietersinstituut in 2011. Her growing fascination with object-making, along with her interest in science and art, led her to pursue conservation and restoration studies at the University of Antwerp. From 2011 to 2014, she completed a bachelor's degree, specializing in the conservation of easel paintings. In 2016, she earned her master's in conservation and restoration, majoring in conservation science (magna cum laude). Under Geert Van der Snickt's supervision, her master's thesis focused on the potential of MA-XRF scanning for characterizing multi-layered painting techniques, examining six still life paintings by Jan Davidsz. de Heem from collections of the Mauritshuis, the Royal Museum of Fine Arts Antwerp (KMSKA) and the Rijksmuseum. During her master's, she interned for three months at the Rijksmuseum, working on a paint sample database project to develop a color-accurate protocol for photographing paint cross-sections, continuing part-time until 2017. She also contributed to the scanning of Hieronymus Bosch's *Last Judgment* triptych in Vienna. In 2017, she became an independent researcher and paintings conservator, scanning five civic guard paintings at the Frans Hals Museum as part of the NWO-sponsored project "Frans Hals/Not Frans," led by Anna Tummers. In December 2017, she began her PhD at the University of Antwerp, which later became a joint program with the University of Amsterdam at Van 't Hoff Institute for Molecular Sciences (HIMS), focusing on seventeenth-century painting techniques and pigment degradation through non-invasive imaging. During her PhD, she collaborated with several institutions, including the KMSKA, where she contributed to restoration projects through scientific research on works like Jan Massijs' *Judith* and Rubens' *Epitaph of Jan Michielsen and His Wife Maria Maes*, as well as MA-XRF scanning of various still life paintings. At the Kunsthistorisches Museum in Vienna, she participated in a scanning campaign comparing two Medusa versions by Rubens and the scan campaign of *Helena Fourment in a Fur Robe* by Rubens. In 2019, she became part of *Operation Night Watch* at the Rijksmuseum, studying Rembrandt's *The Night Watch*.

Colophon

Cover design & Lay-out: Nouchka De Keyser
The cover image was designed using two images:
Philippe de Champaigne, *Still-Life with a Skull, vanitas painting*. Circa 1671, Oil on Panel 28 x 37 cm, Musée de Tessé, LM 10.572. Public domain image via Wikimedia Commons: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:StillLifeWithASkull.jpg
and Rosa foetida, (syn. Rosa eglanteria) by P.J. Redouté. From "Les Roses", Volume III, 1835. Public domain image via Wikimedia Commons:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rosa_eglanteria_drawing1.jpg#filelinks

Details
[p. 3] Cornelis Norbertus Gysbrechts, *Trompe l'oeil with Studio Wall and Vanitas Still Life*, 1668, oil on canvas, 152 x 118 cm, Statens Museum for Kunst, National Gallery of Denmark.
[p. 46-47] Jan Davidsz. De Heem, *Flowers and insects,* oil on canvas, 49,4 x 66,7 cm, Royal Museum of Fine Arts Antwerp KMSKA.
[p. 80-81, 250-251] Abraham Mignon, *Still Life with Flowers and a Watch*, c. 1660-1679, Oil on Canvas, 75 x 60 cm, Rijksmuseum.
[p. 136-137] Light microscope image of sample SK-C-5_017 in darkfield mode, taken from the arsenic containing paint of the embroidered border of Van Ruytenburch in *The Night Watch*.
[p. 192-193, 258-259] Rembrandt van Rijn, *Militia Company of District II under the Command of Captain Frans Banninck Cocq*, known as *The Night Watch*, 1642, oil on canvas (wax-resin lined), 378.4 cm by 453.0 cm, Rijksmuseum, Amsterdam

Printed by: Gildeprint – The Netherlands