



Digitalisering en wiskundige analyse van parels en materiaalweergave in het Lam Gods



Aleksandra Pizurica

Universiteit Gent

Vakgroep Telecommunicatie en Informatieverwerking



Image Processing and Interpretation (IPI) group
Future Media and Imaging FMI



Het Lam Gods Team

“Het Lam Gods”,
Hubert en Jan
Van Eyck, 1432



KVAB

Universiteit Gent
Letteren en Wijsbegeerte

Prof. Ingrid Daubechies
Duke University

Universiteit Gent



VUB
ETRO



FMI
ibbt

Het Lam Gods Team

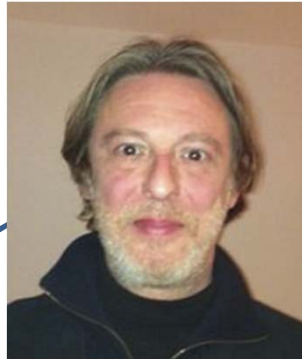
- Prof Ingrid Daubechies
- Duke University
- Voorzitter internationale wiskundige unie (2011-2014)



Het Lam Gods Team



Emile Gezels



Maximiliaan Martens



Ingrid Daubechies



Marc De Mey



Aleksandra Pizurica



Tijana Ruzic

Ljiljana Platisa



Bruno Cornelis



Ann Doms







Overzicht

- Digitalisering
- Virtuele restauratie
- Analyse van materialen

Overzicht

➤ Digitalisering

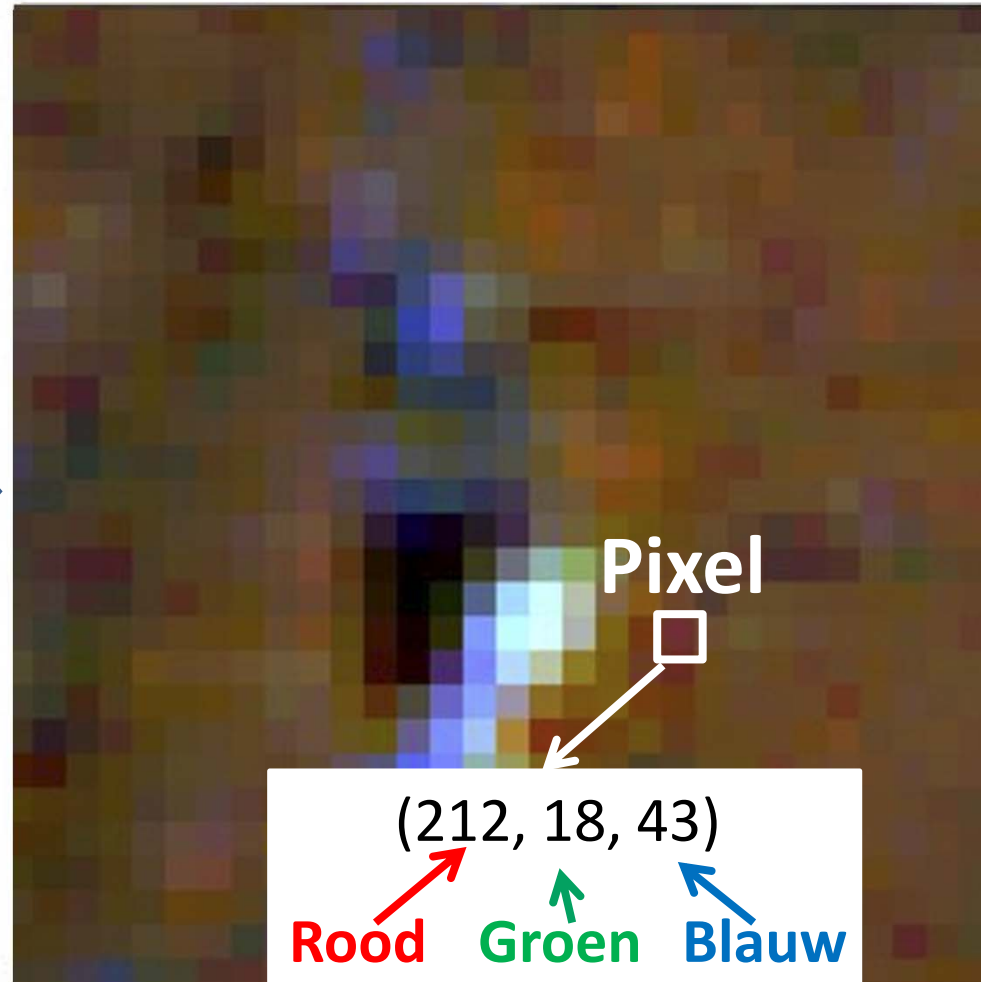
- Virtuele restauratie
- Analyse van materialen

Digitalisering van kunstwerken

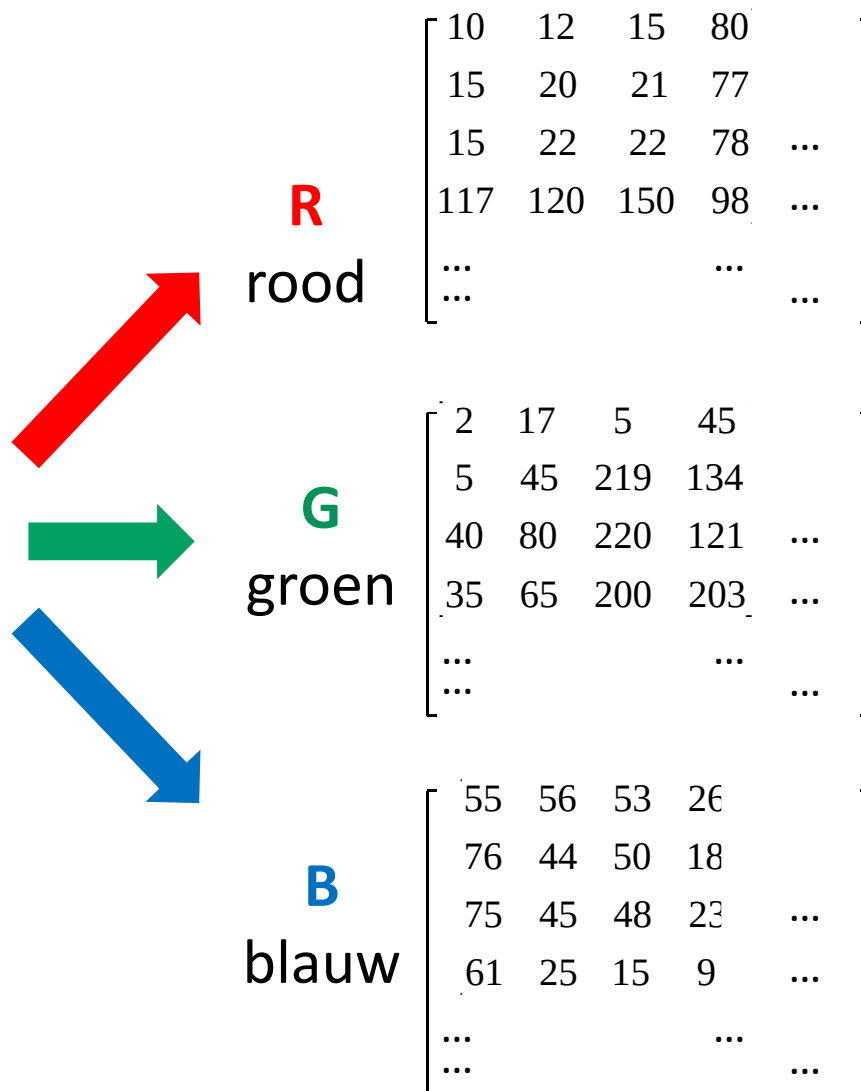
- Digitale beelden
- Kleurreproductie
- Resolutie

$$\begin{bmatrix} 10 & 12 & & & \\ 15 & 20 & & & \\ 15 & 22 & 22 & 10 & \dots \\ 117 & 120 & 150 & 98 & \dots \\ \dots & & & \dots & \dots \\ \dots & & & & \dots \end{bmatrix}$$

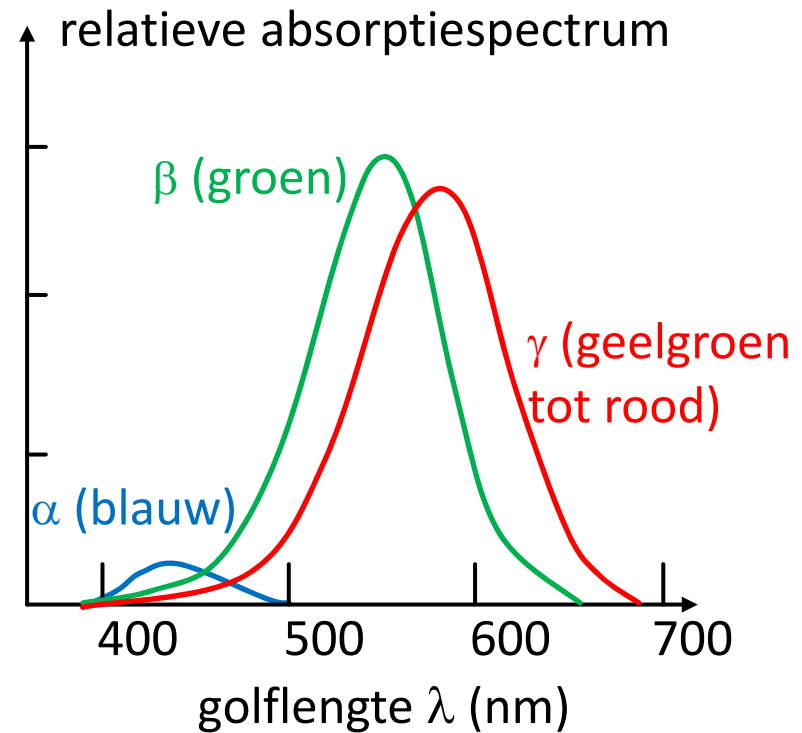
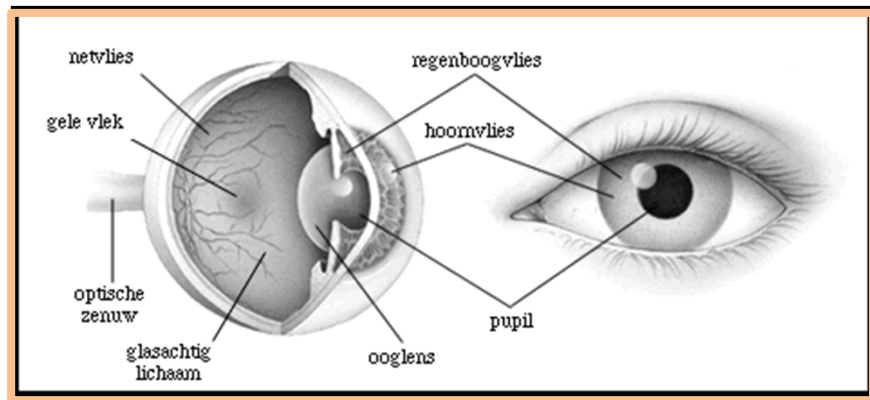

Digitale beelden



Digitale beelden



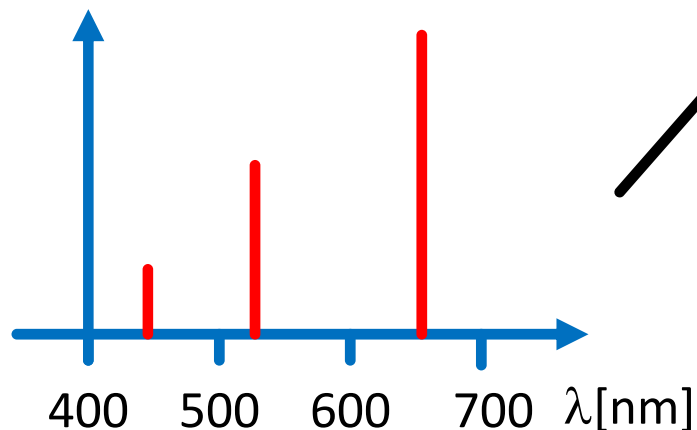
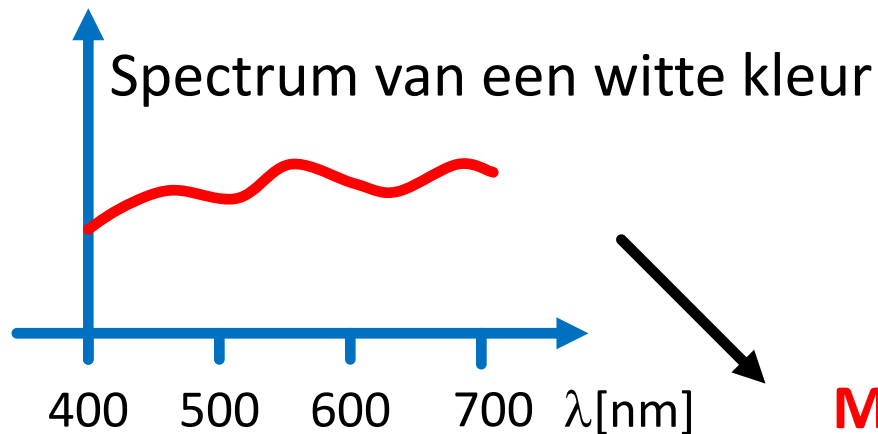
Waarom R, G en B componenten?



Lichtreceptoren

- Staafjes (~100.000.000)
 - Nachtvisie, kleurenblind
 - Kegeltjes (~6.000.000)
 - Geelgroen tot rood (60%), Groen (30%), Blauw (10%)
- R G B

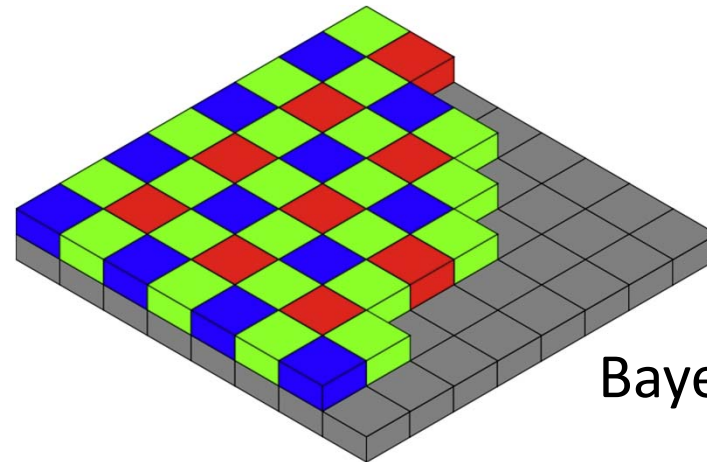
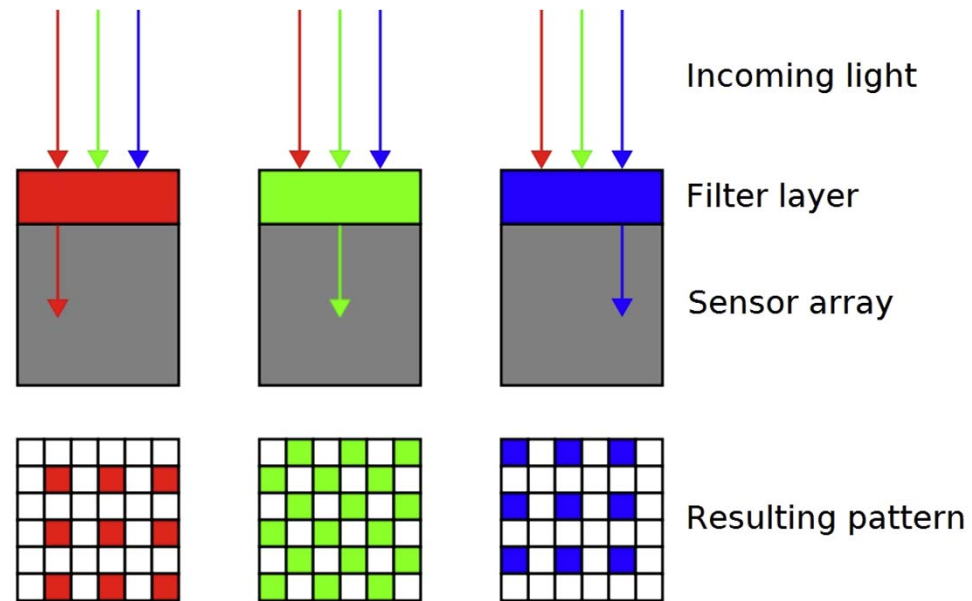
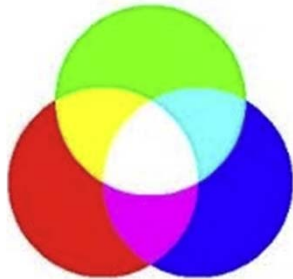
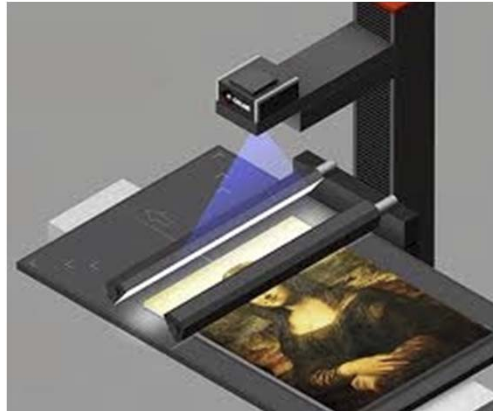
Kleurreproductie: metamerisme



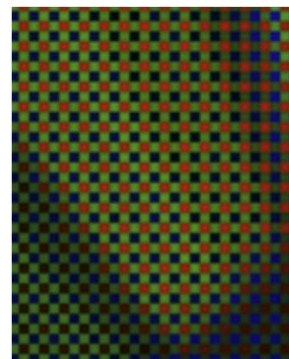
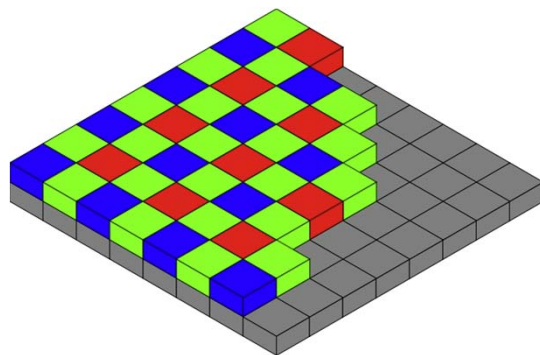
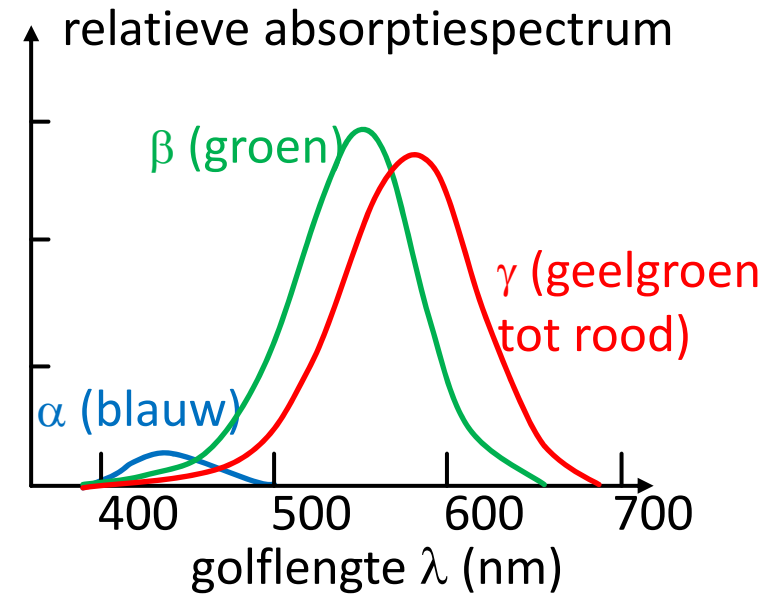
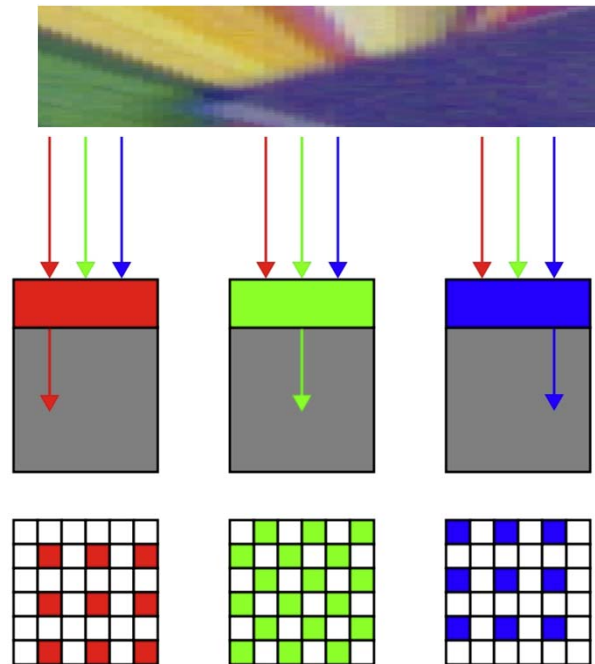
Metamerisme: lichtbronnen van verschillende spectrale karakteristieken kunnen ervaren worden als dezelfde kleur

Een goedgekozen combinatie van drie monochromatische bronnen wordt als dezelfde witte kleur ervaren!

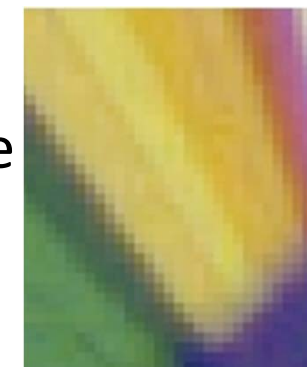
Kleursensoren in digitale camera's en scanners



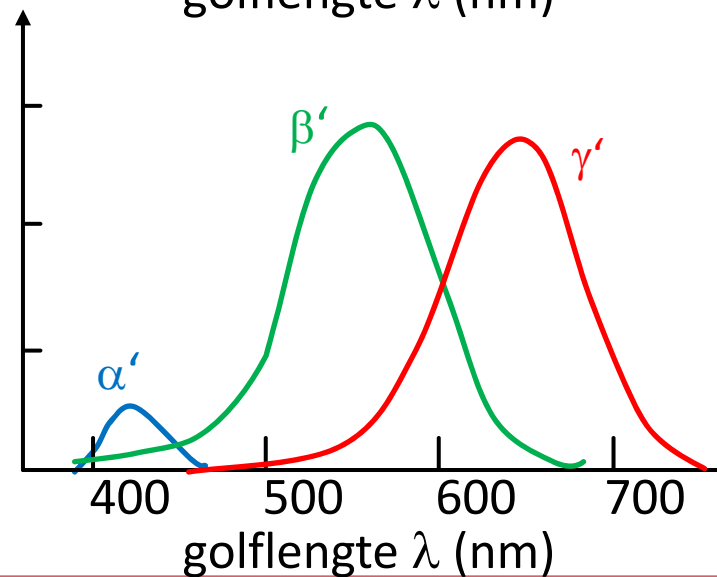
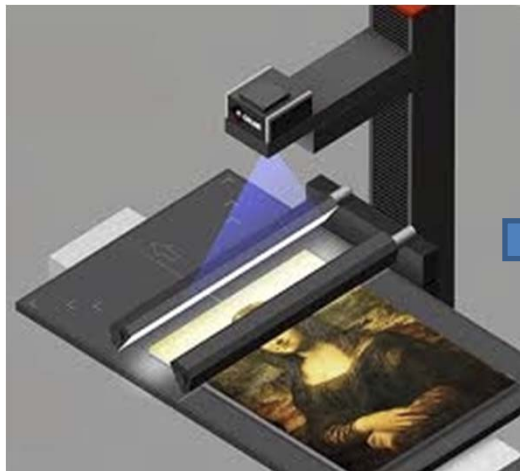
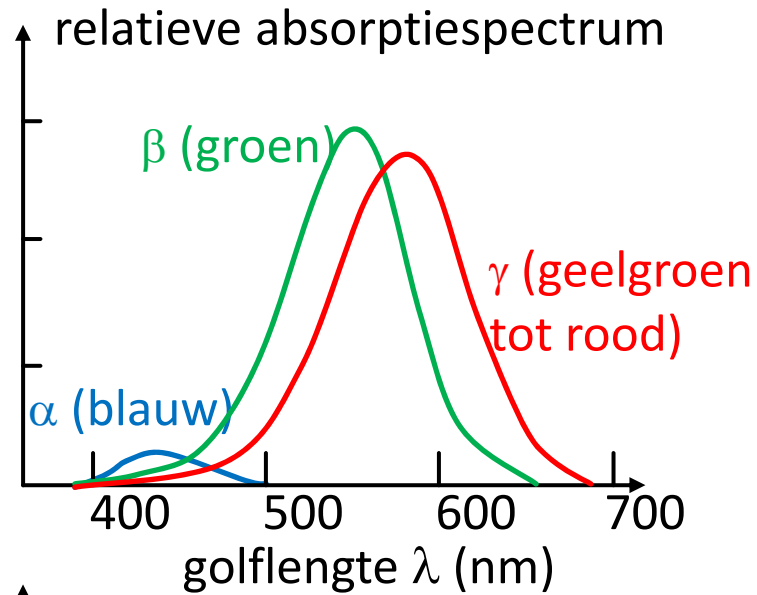
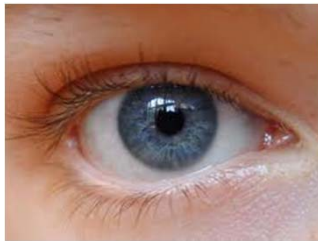
Kleursensoren in digitale camera's en scanners



interpolatie



Kleursensoren in digitale camera's en scanners



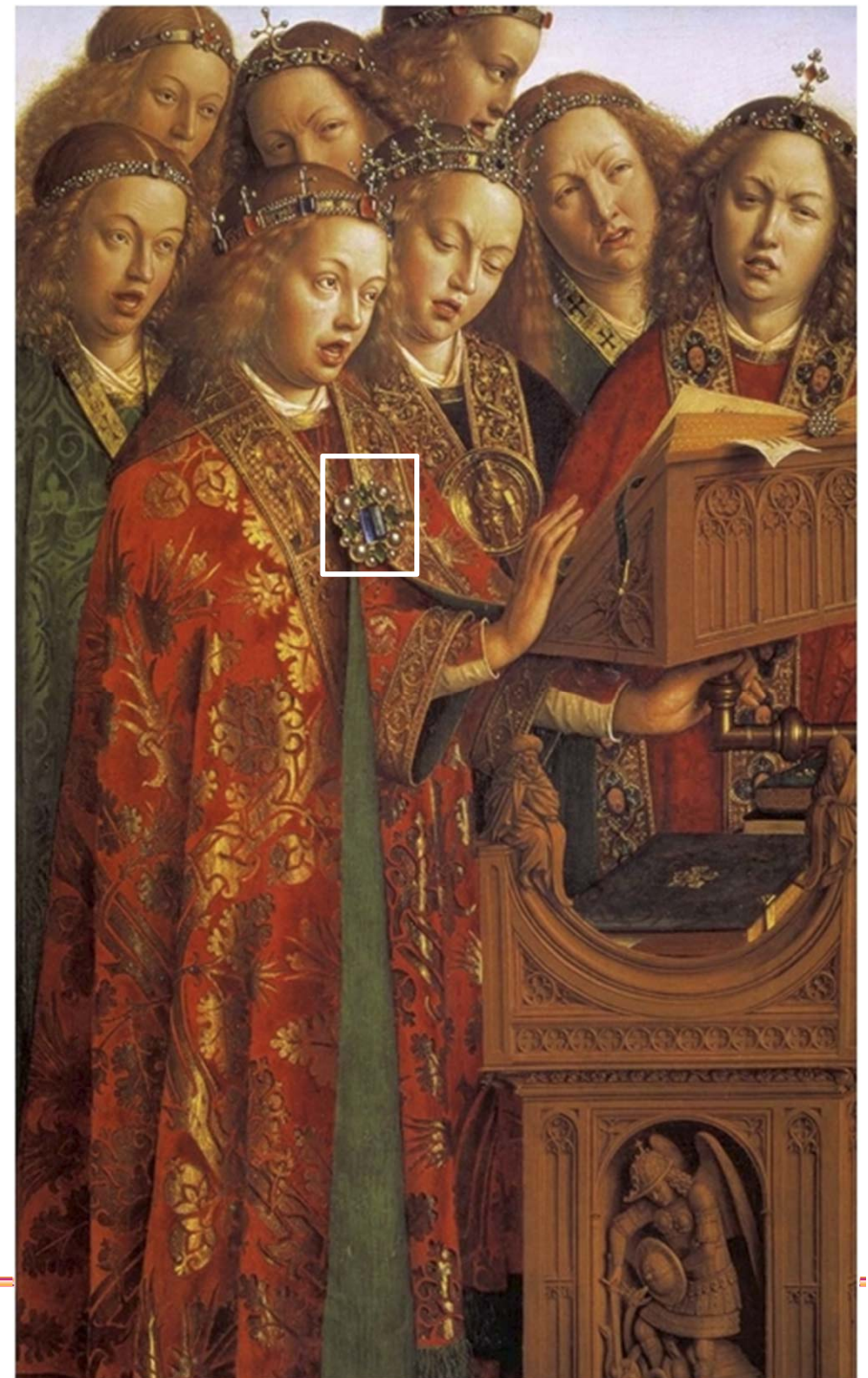
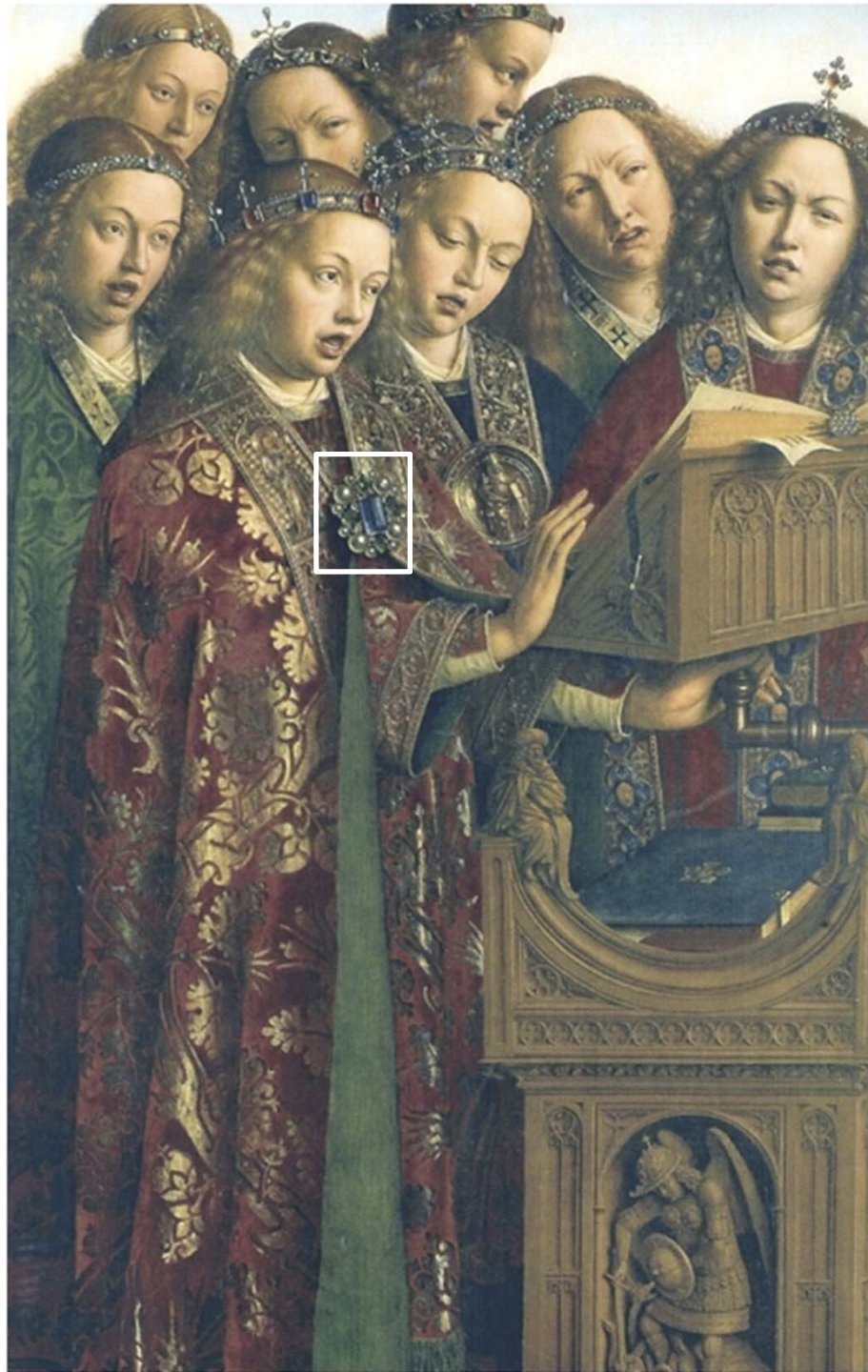
Resolutie



beeld van het Internet (detail)



Dierick collectie (detail)



Resolutie

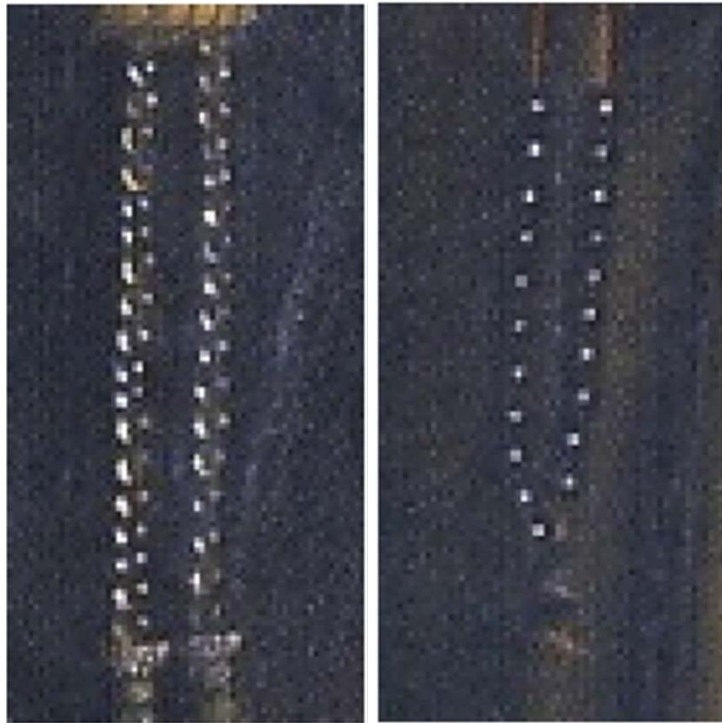


beeld van het Internet (detail)

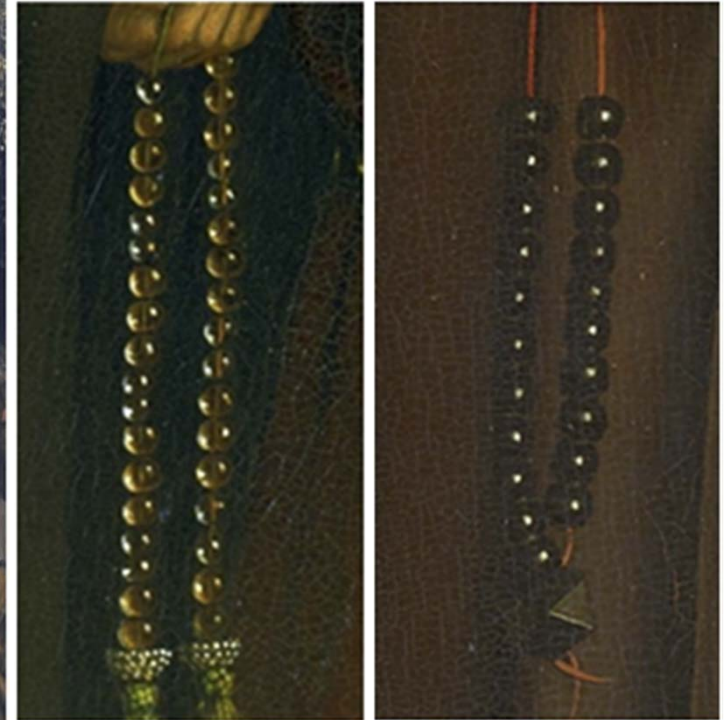


Dierick collectie (detail)

Resolutie



beeld van het Internet (detail)

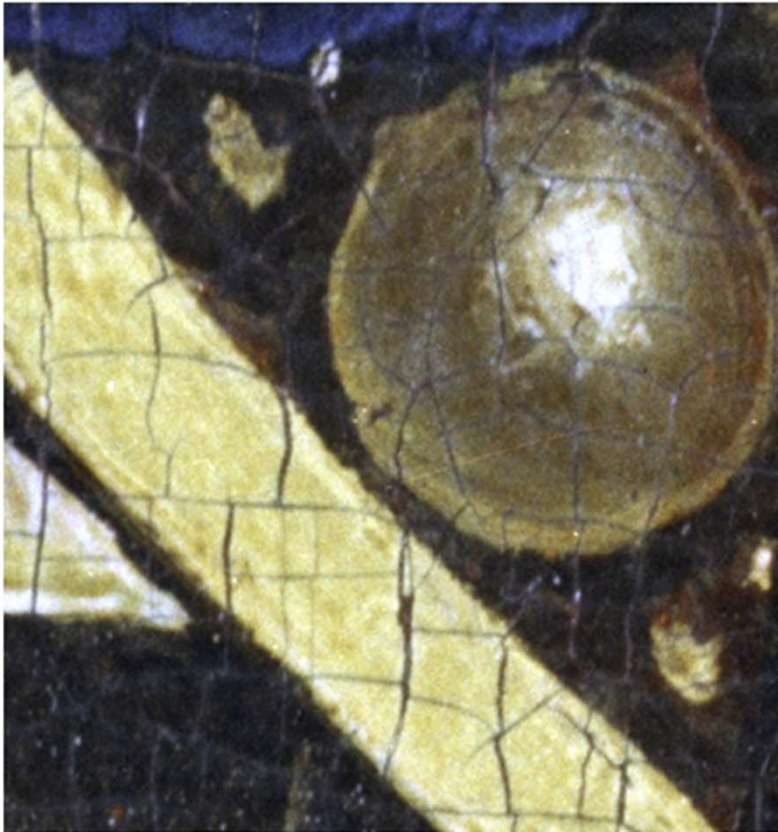


Dierick collectie (detail)

Overzicht

- Digitalisering
- **Virtuele restauratie**
- Analyse van materialen

Craquelure - barsten



Craquelure



- Grotere of kleinere scheur of barst die op de meeste oude schilderijen aanwezig is
- Oorzaken: veroudering, het krimpen en uitzetten van de drager
- Ongewenst patroon, toch samengaan met onze perceptie van oude meesterwerken

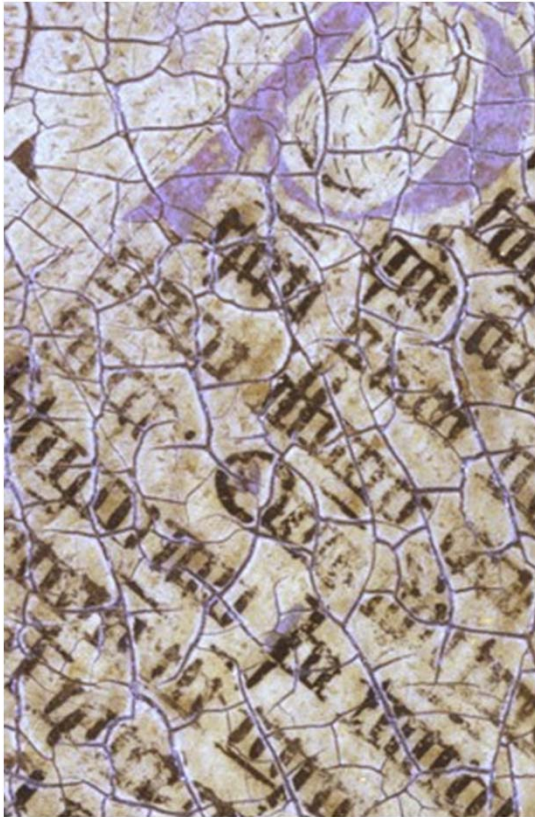
Waarom barsten opvullen?

- Het gedigitaliseerde beeld “mooier” maken - uitdaging voor beeldverwerking specialisten
- Het schilderij kunnen zien zoals het eens was – voor de beschadiging door de barsten
 - Psychovisuele aspecten – verandert de perceptie?
 - Het paleografische “ontcijferen” van oude teksten – kunnen we de tekst lezen?



Het verwijderen van de barsten

Stap 1
Detectie



Stap 2
Barsten opvullen



Detectie van de barsten: problemen

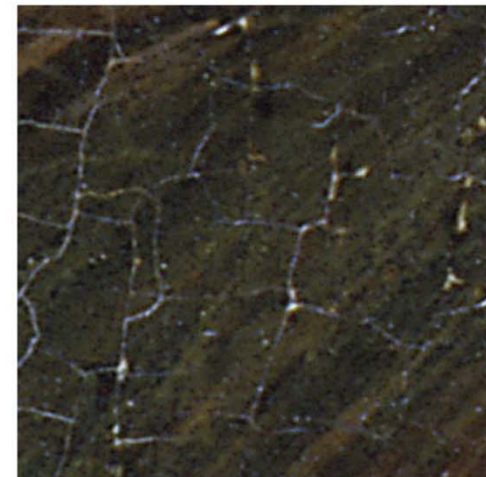


1. Sterk variërende lengte en breedte van de barsten
2. Sterk variërende kleur naargelang de achtergrond
3. Het overlappen met beelddetails
4. Witachtige wolken rond de barsten

Detectie van de barsten: problemen



Donkere
barsten



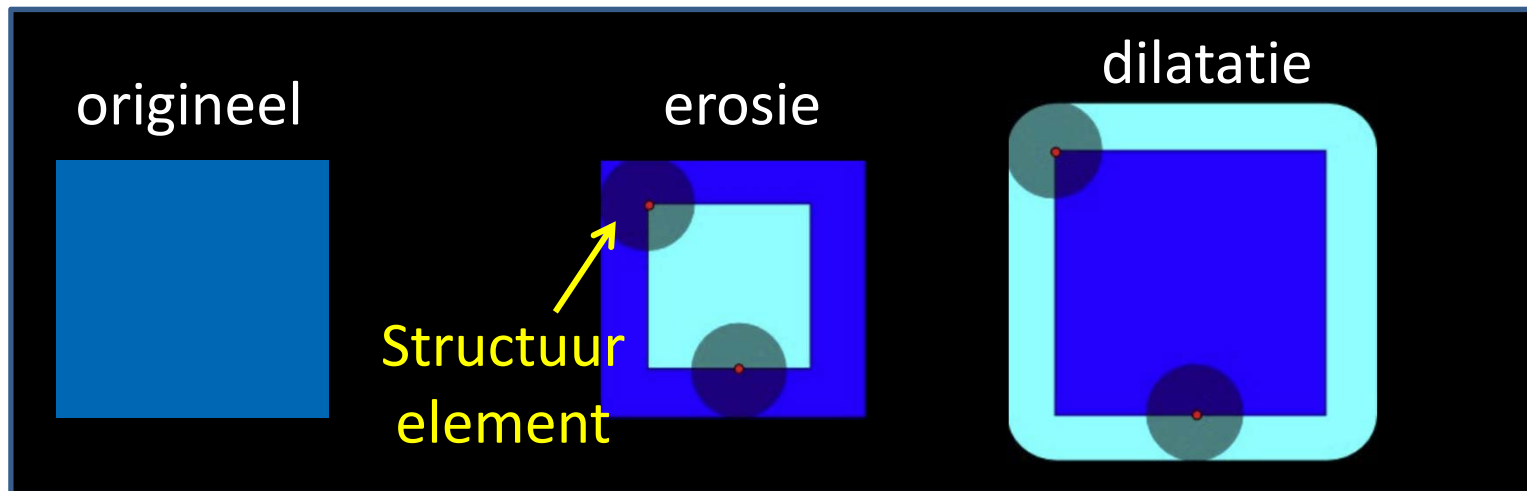
Lichte
barsten

Detectie van de barsten: methodes

- Verschillende methodes – verschillende voor- en nadelen
- Onze redenering:
 - Combinatie van de verschillende aanpakken
 - Gebruikmaken van de kennis rond de detectie van lijnachtige structuren in het algemeen (bloedvaten in medische beelden, wegen in satellietbeelden, enz)
- Nuttige concepten
 - Morfologische filters
 - Verlengde filters voor lijnachtige structuren
 - Het leren van “barstatomen”

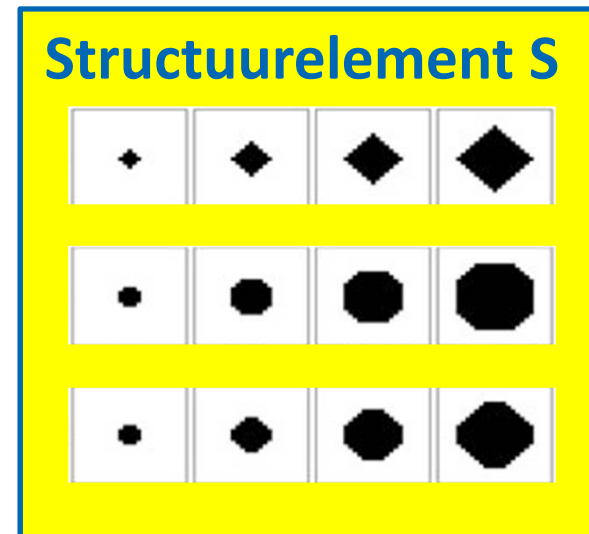
Detectie van de barsten: morfologie

- Wiskundige morfologie definieert zeer gepaste 'tools' voor de detectie van bepaalde vormen
- Met een bepaald structuurelement voeren we de twee basisoperaties uit:
 - **Erosie** (het object "dunner" maken)
 - **Dilatatie** (het object "dikker" maken)



Detectie van de barsten: morfologie

- Alle morfologische operatoren zijn combinaties van de erosie en dilatatie met een structuurelement S
 - $\text{Sluiting}(I;S) = \text{Erosie}(\text{Dilatatie}(I;S))$
 - $\text{Opening}(I;S) = \text{Dilatatie}(\text{Erosie}(I;S))$
- Detectie van de barsten
 - Donkere barsten: BlackTopHat (BTH)
 $\text{BTH}(I;S) = \text{Sluiting}(I;S) - I$
 - Lichte barsten: WhiteTopHat (WTH)
 $\text{WTH}(I;S) = I - \text{Opening}(I;S)$
- Hoe kiezen we de grootte van de structuurelement S ?
Multischaal aanpak!



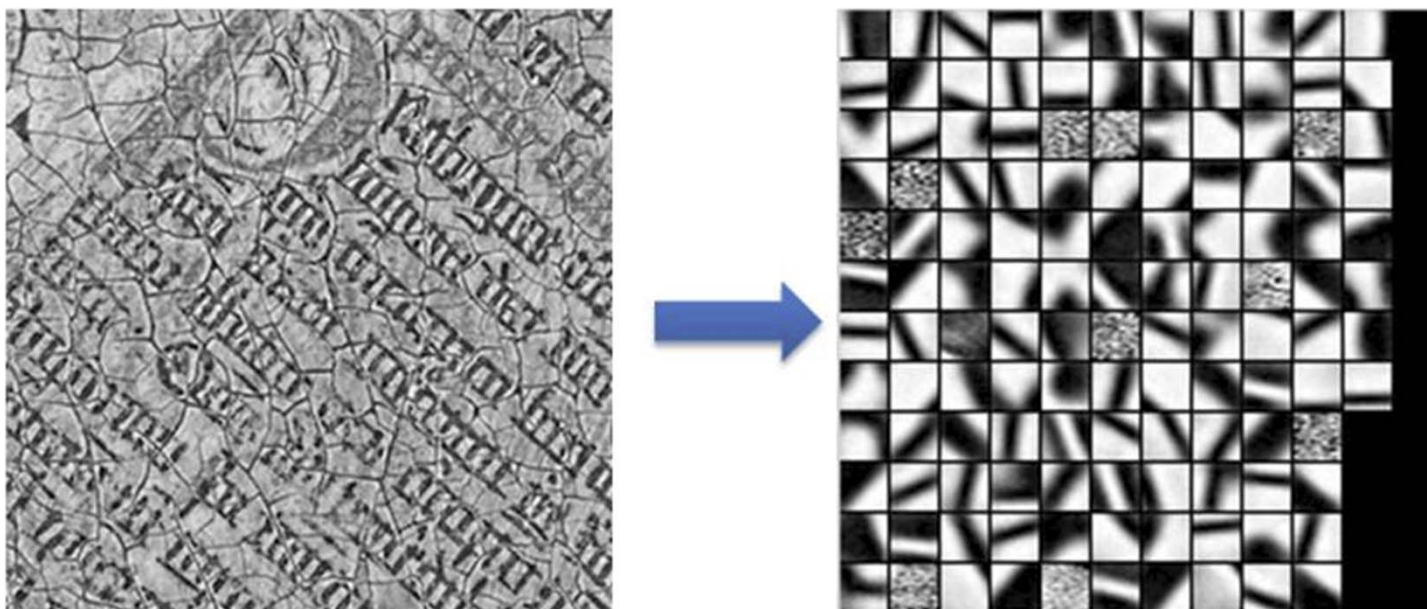
Filters voor lijnachtige structuren



- Oorspronkelijk werden deze filters gebruikt voor de detectie van de bloedvaten in medische beelden
- Een lijnsegment (barst) in de bepaalde richting correleert goed met een van deze (of met enkele) georiënteerde filters
- Wij combineren de resultaten in de verschillende richtingen

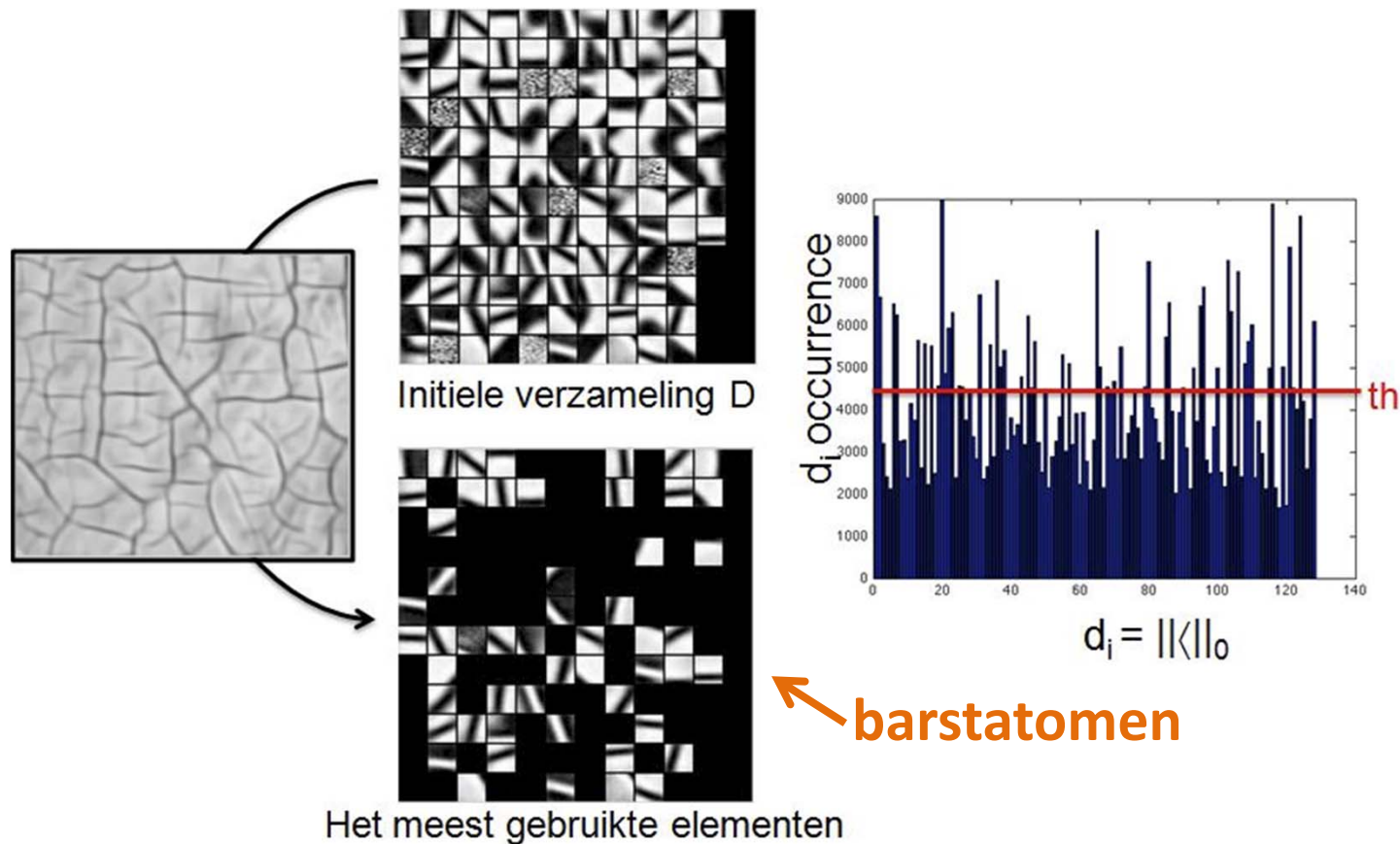
Het leren van “barstatomen”

Stap 1: Zoek een verzameling elementaire beeldsegmenten (beeldatomen) die het beeld goed beschouwen



Het leren van “barstatomen”

Stap 2: Zoek de meest voorkomende elementen voor vlakke (uniforme) beeldsegmenten (met duidelijke barsten)

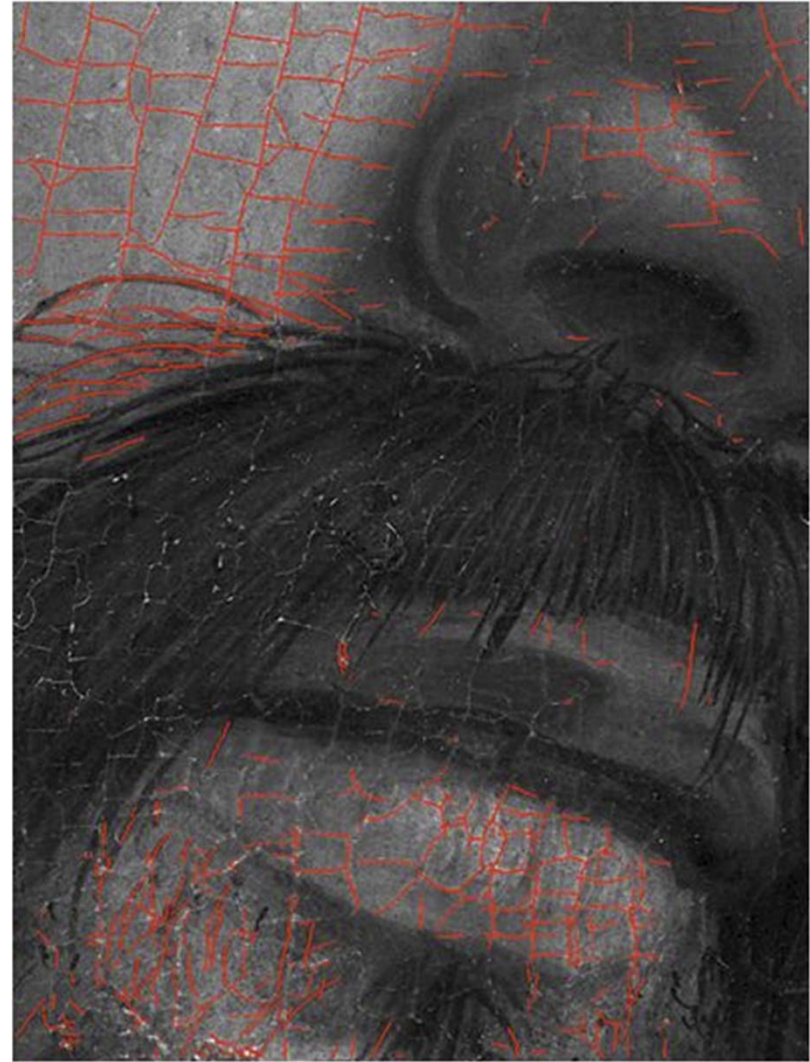
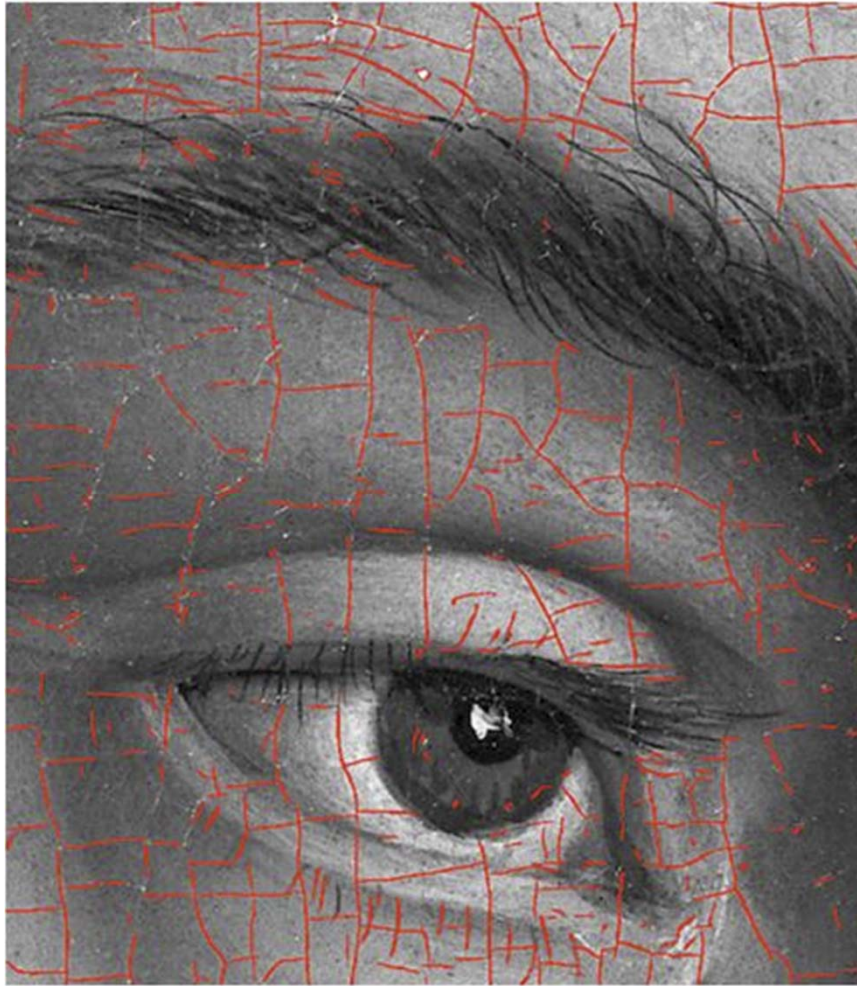


Het leren van “barstatomen”

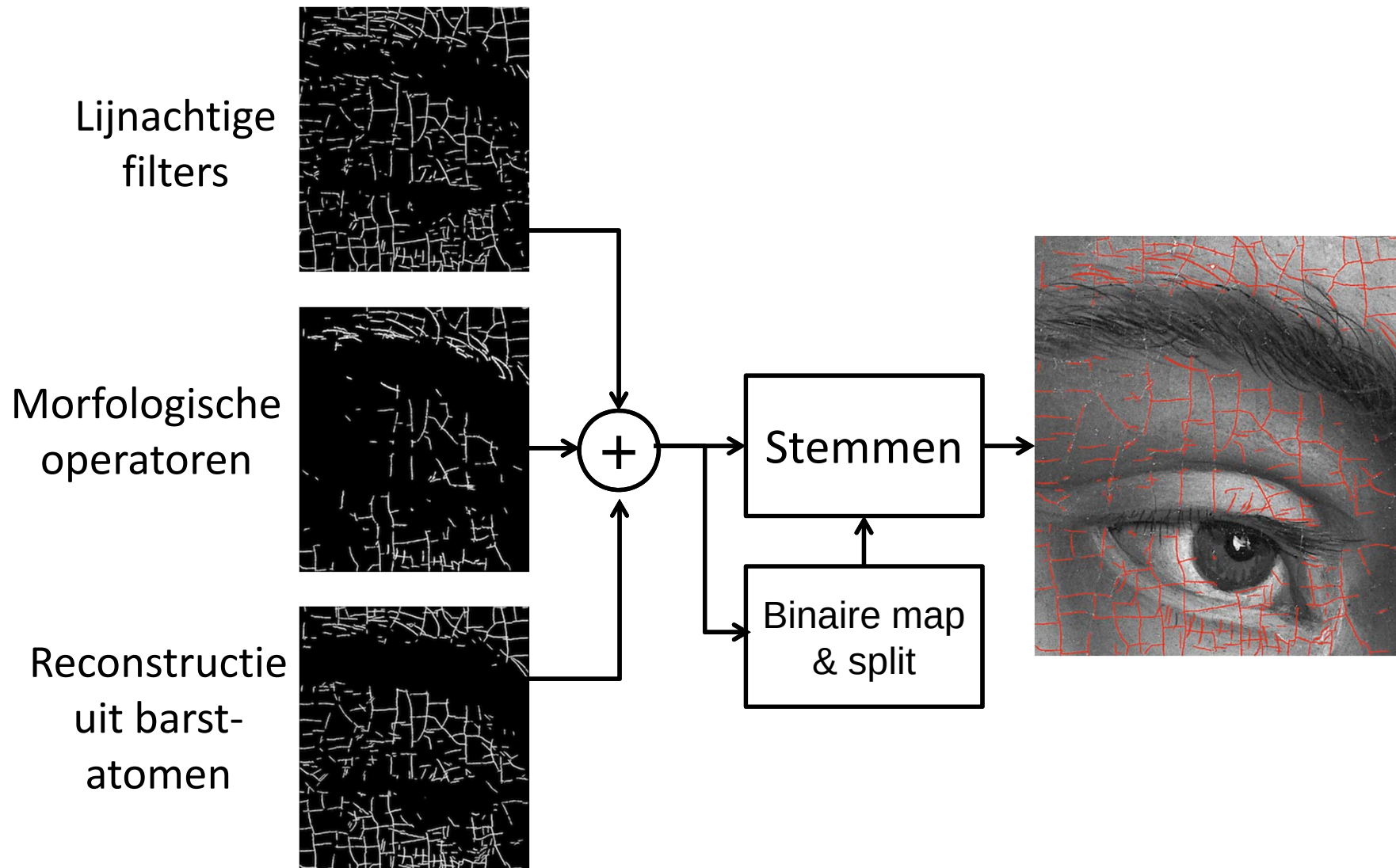
Stap 3: Reconstrueer het beeld met geleerde “barstatomen”



Nabewerking - verfijning

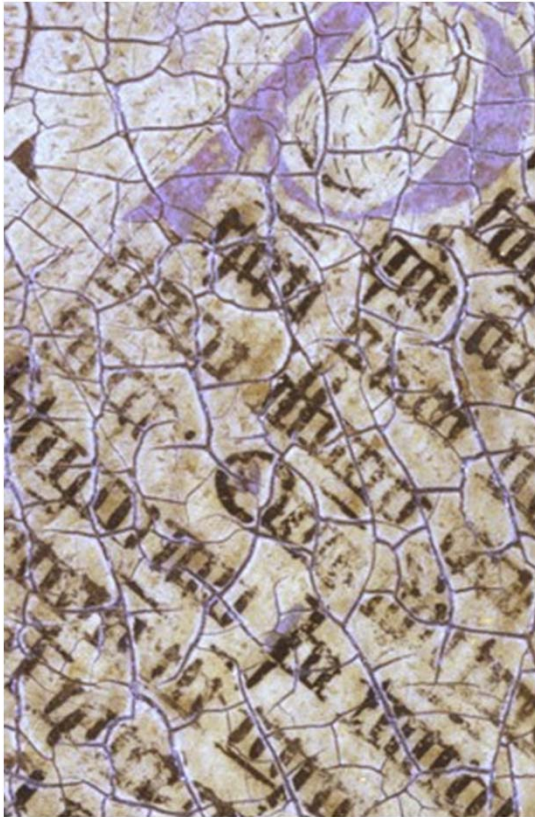


Hybride aanpak



Het verwijderen van de barsten

Stap 1
Detectie

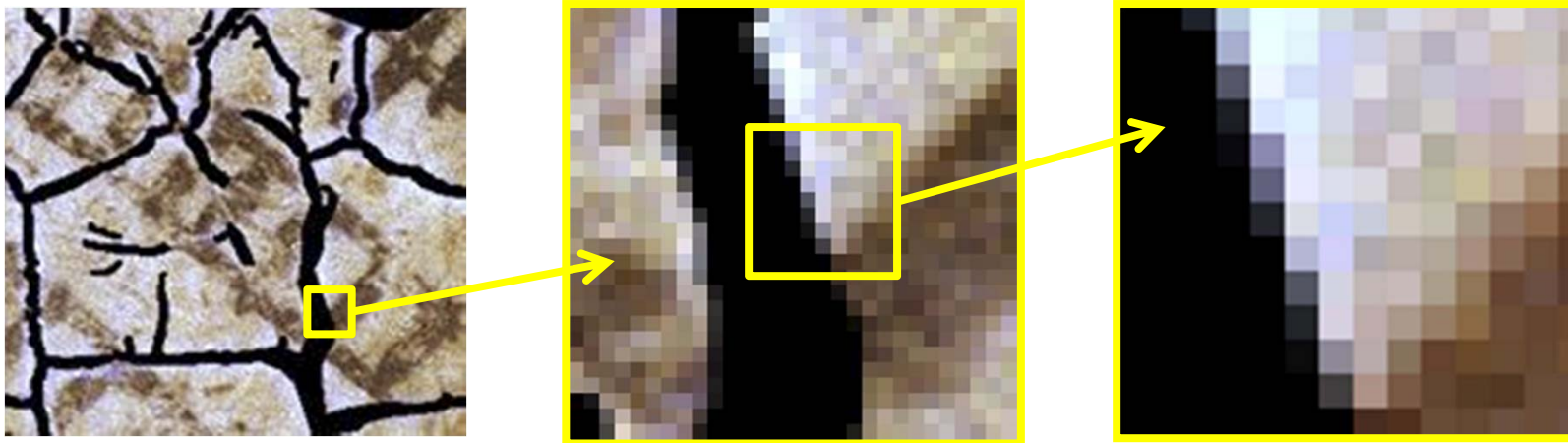


Stap 2
Barsten opvullen



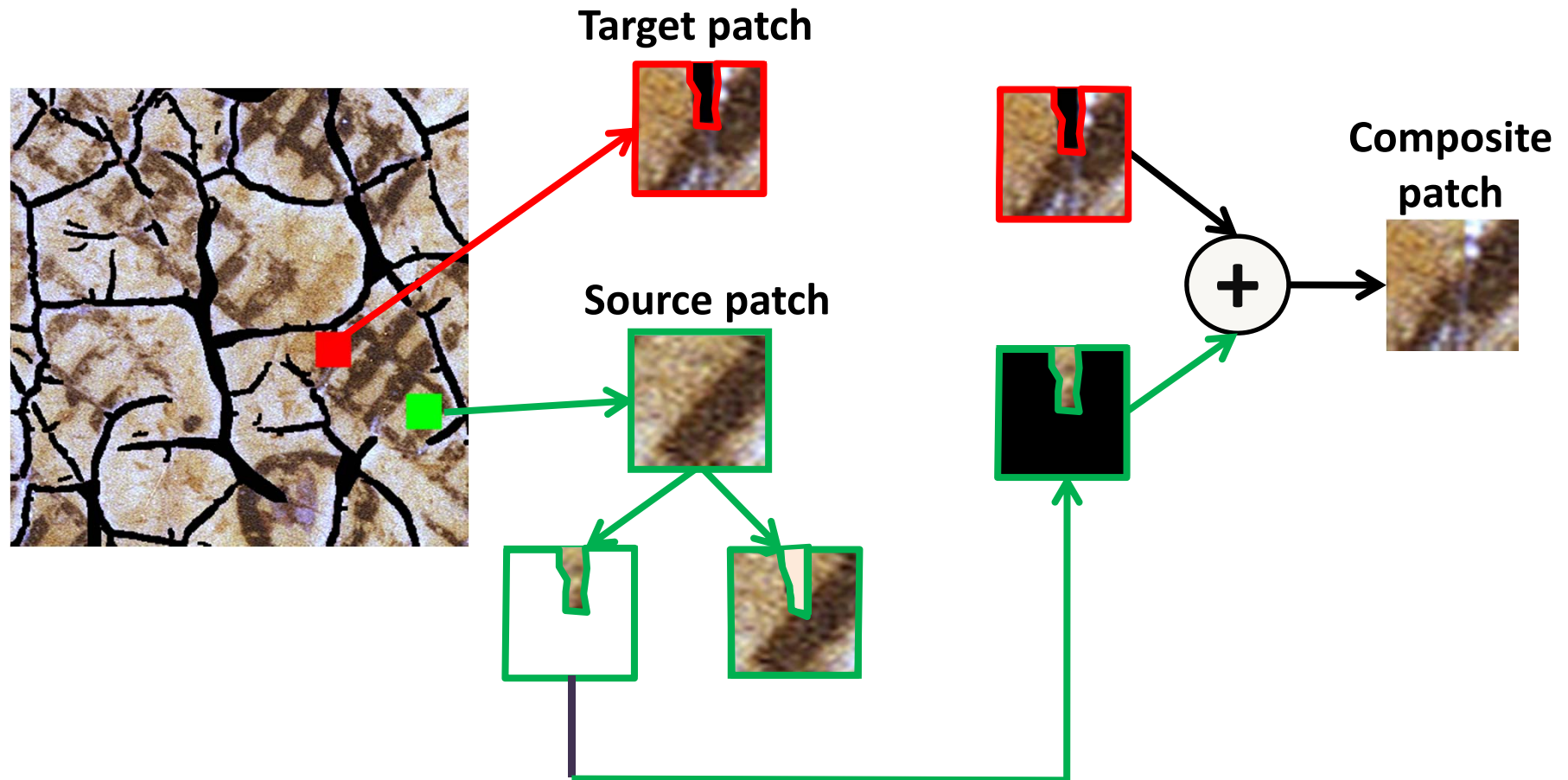
Het opvullen van de barsten

- Oudere methodes vullen elke barstpixel afzonderlijk
- Recentere aanpakken vullen een beeldsegment (lapje) tegelijkertijd (**patch-gebaseerde** methodes)



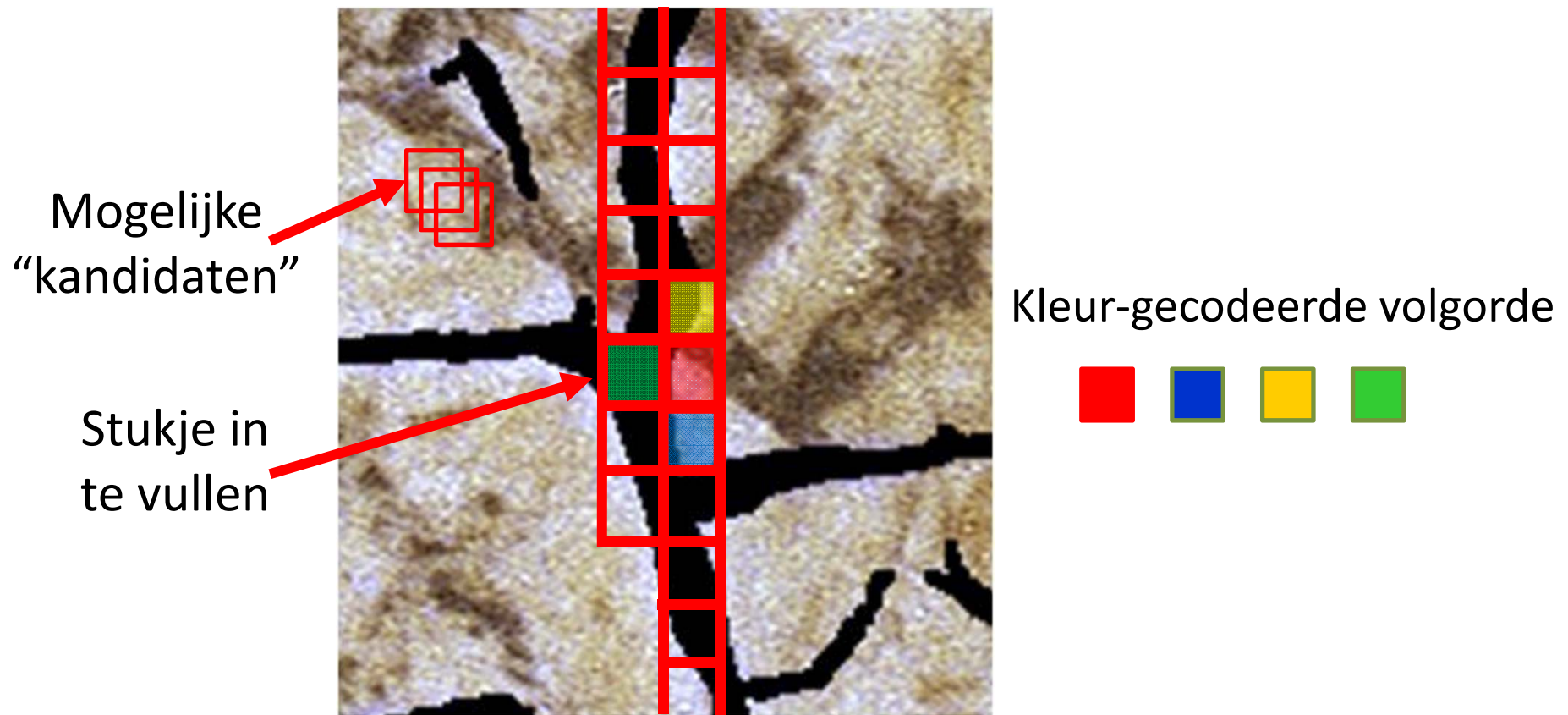
- Optimalisatieaanpak
 - **Locale methodes** (kiezen de best passende “kandidaat” voor elk afzonderlijk positie)
 - **Globale methodes** – meerdere “kandidaten” afwegen of combineren rekening houdend met de ruimtelijke context

Patch-gebaseerde restauratie

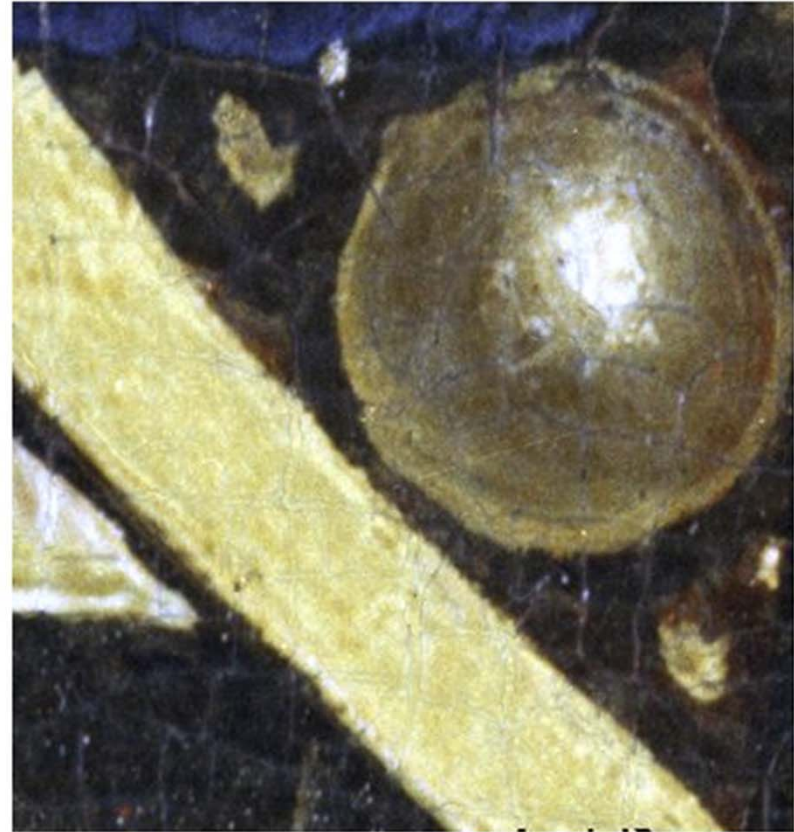
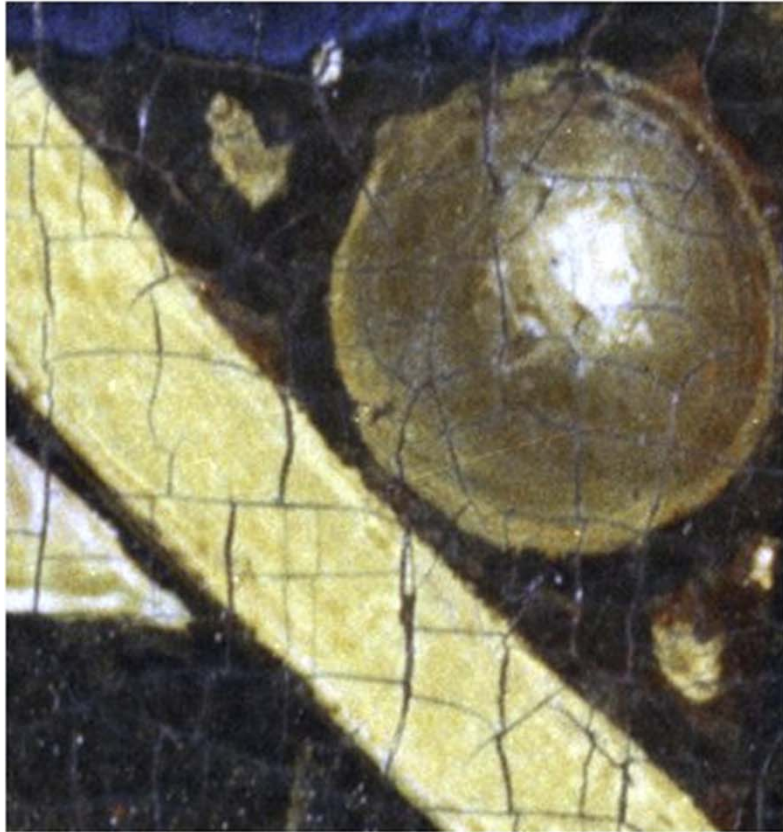


Patch-gebaseerde restauratie

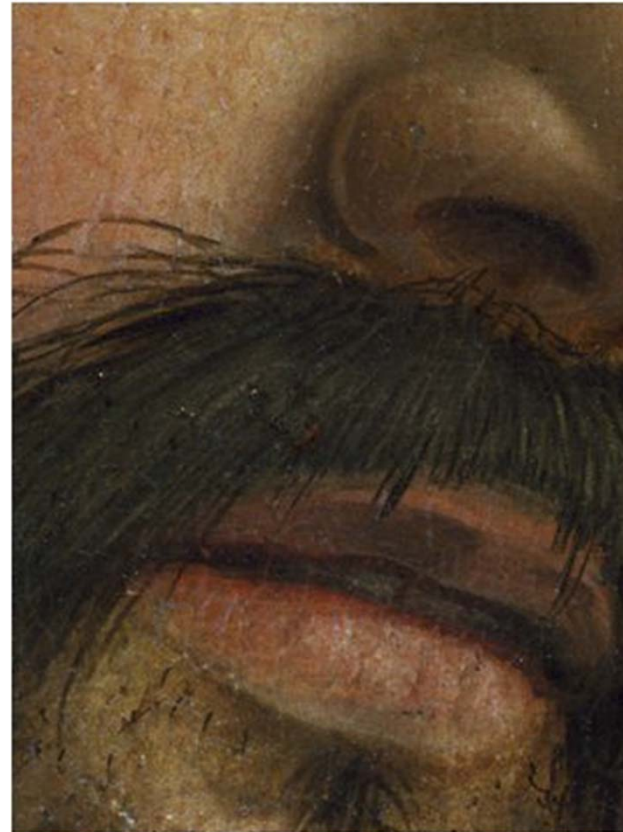
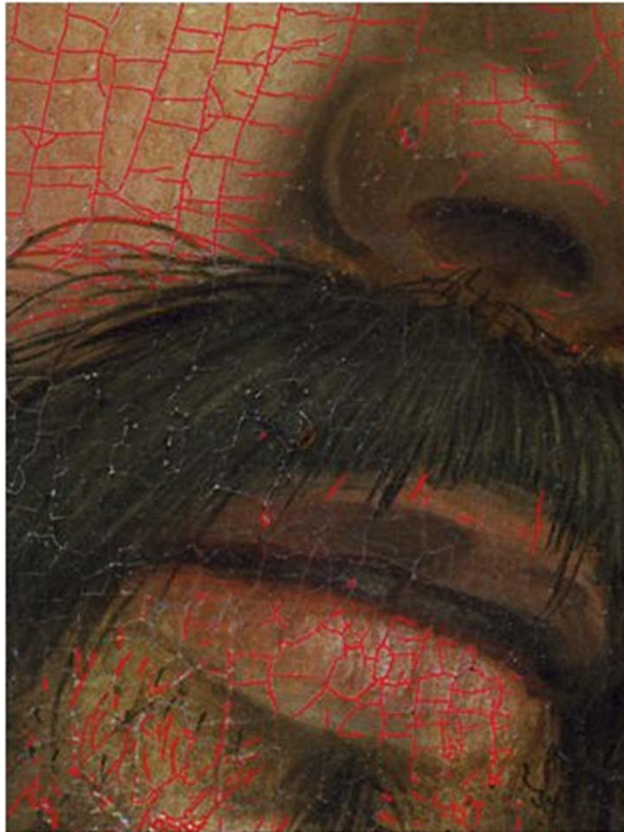
- Prioriteit: welke segmenten vullen we eerst op?
- Ruimtelijke context: globale optimalisatie



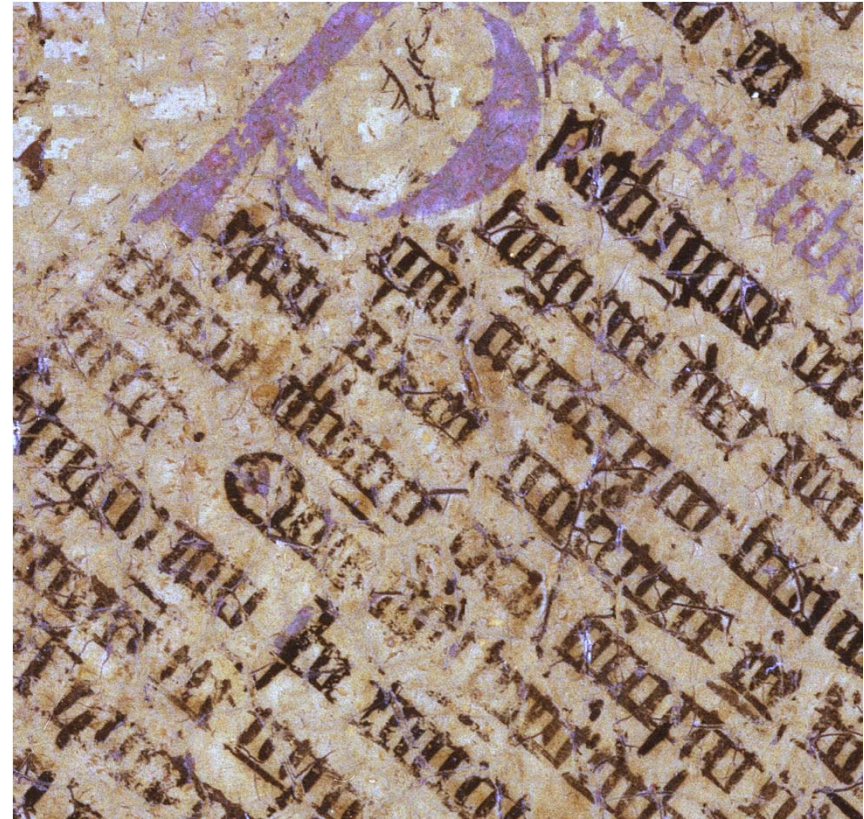
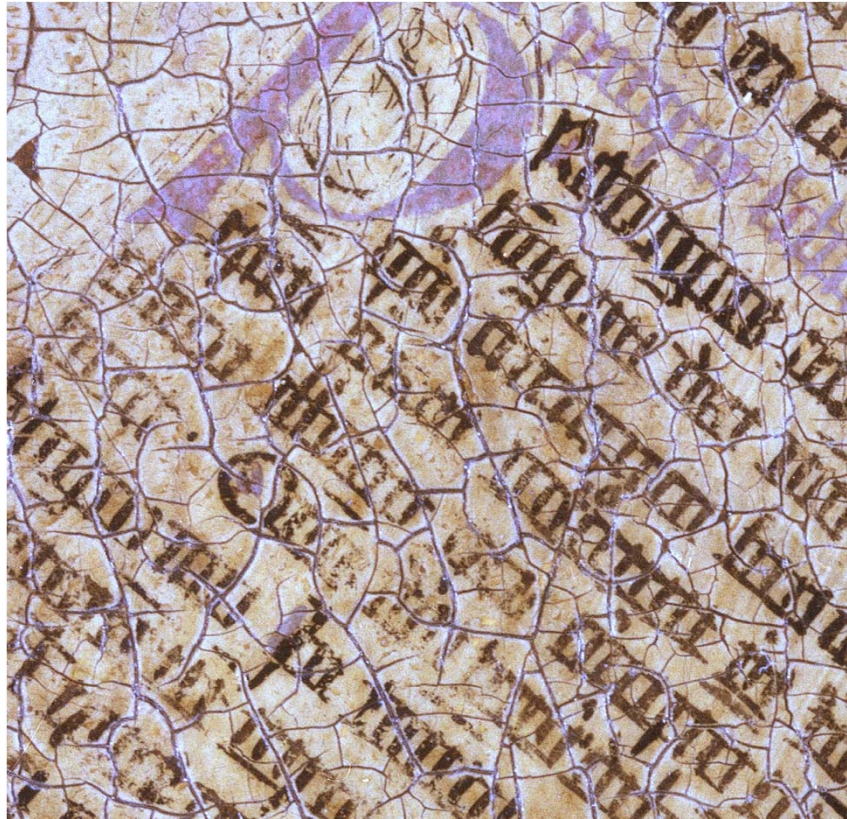
Virtuele restauratie



Virtuele restauratie



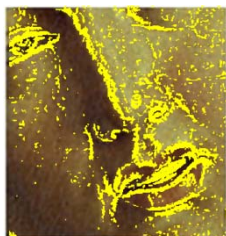
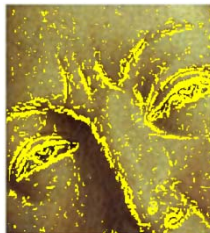
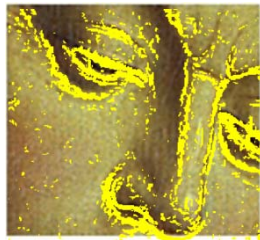
Virtuele restauratie



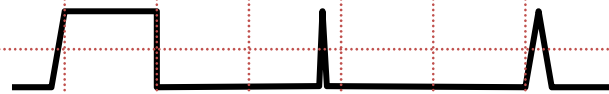
Overzicht

- Digitalisering
- Virtuele restauratie
- Analyse van materialen

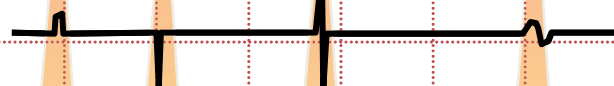
Materiaalweergave



Input signal



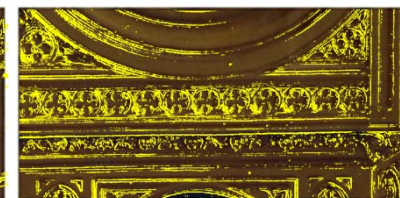
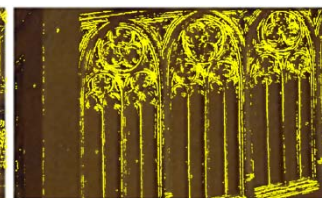
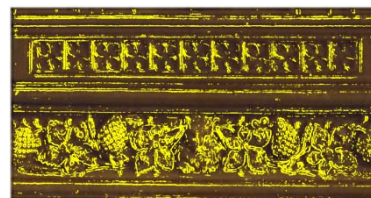
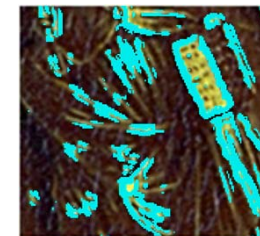
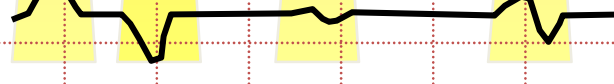
W_1 wavelet coefficients



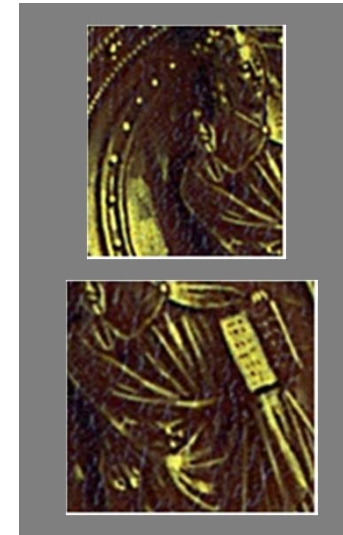
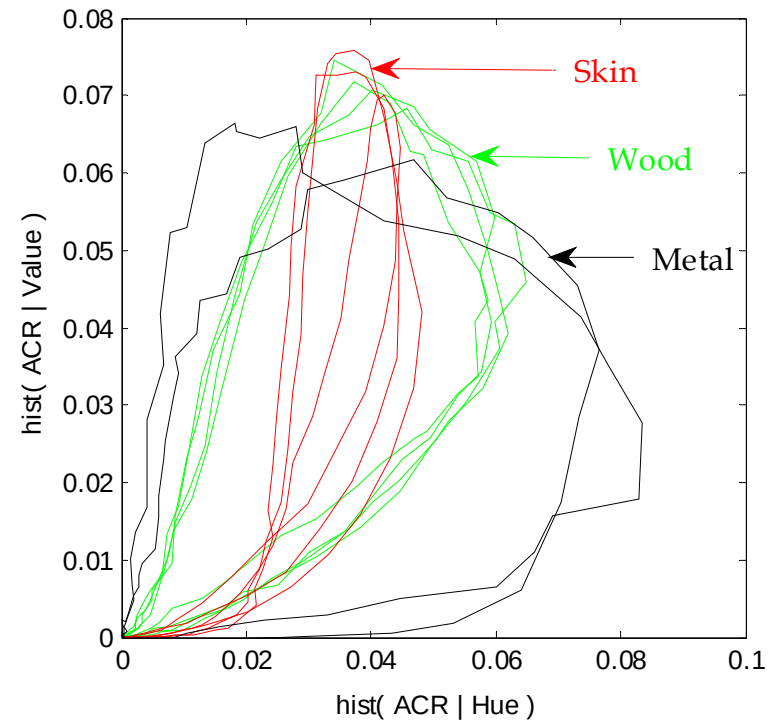
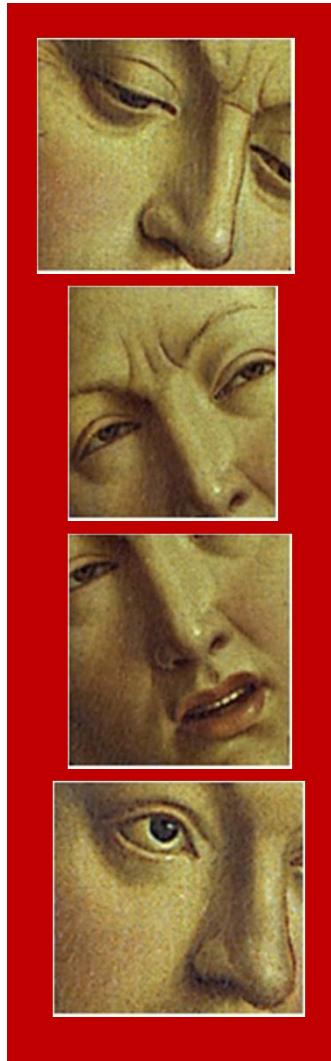
W_2



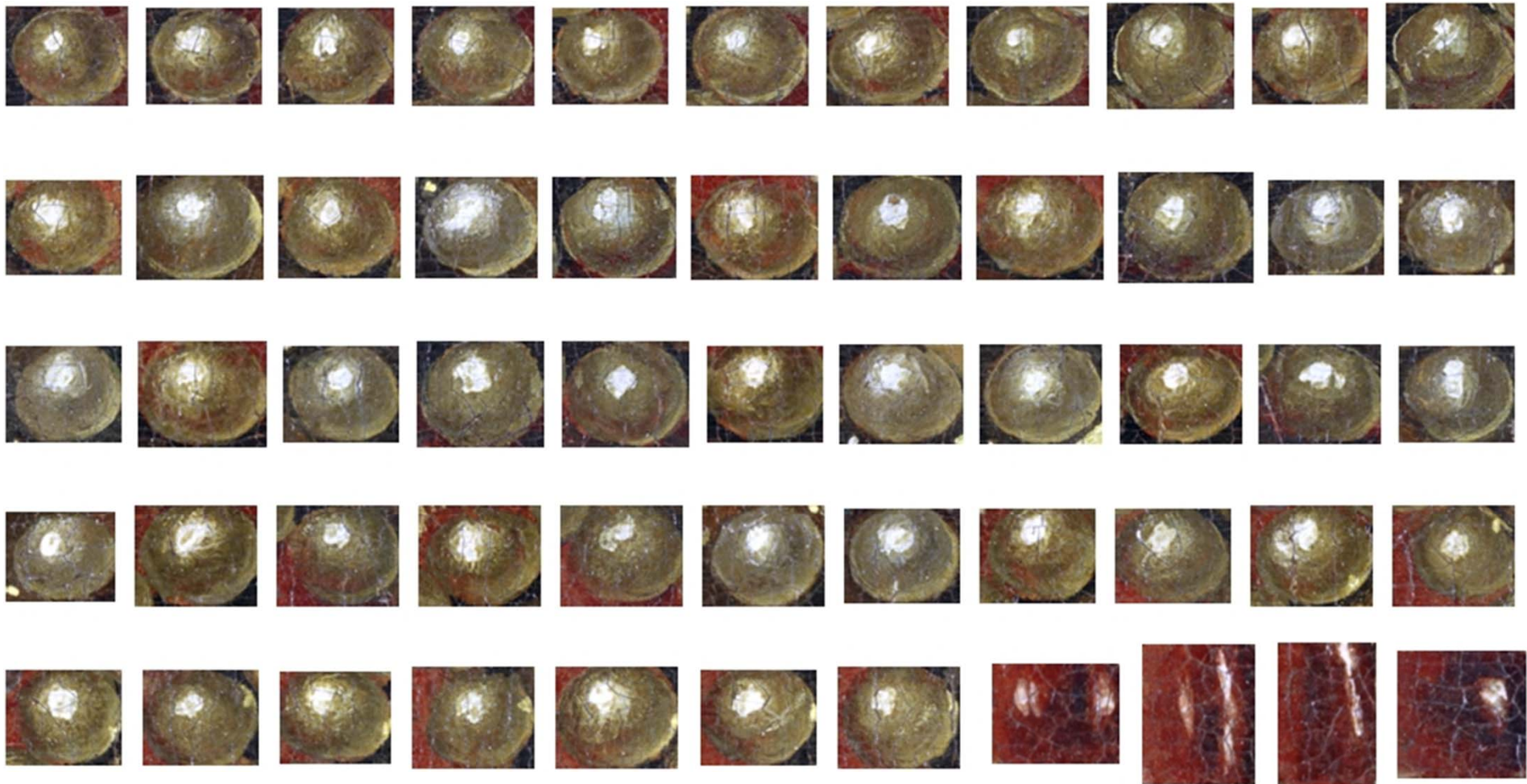
W_3



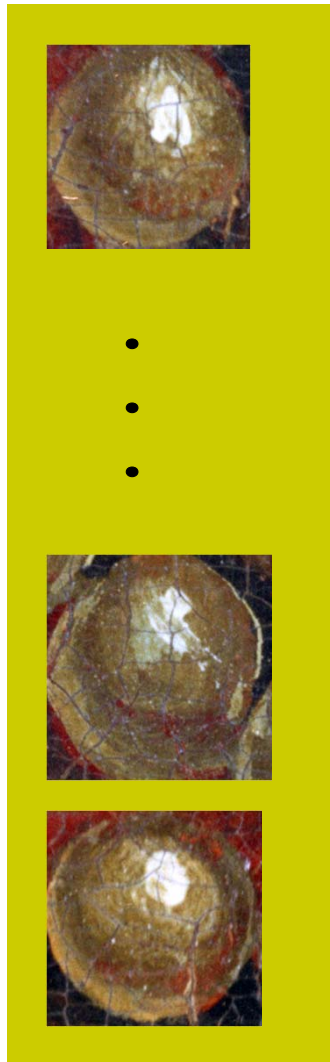
Materiaalweergave



Classificatie van juwelen

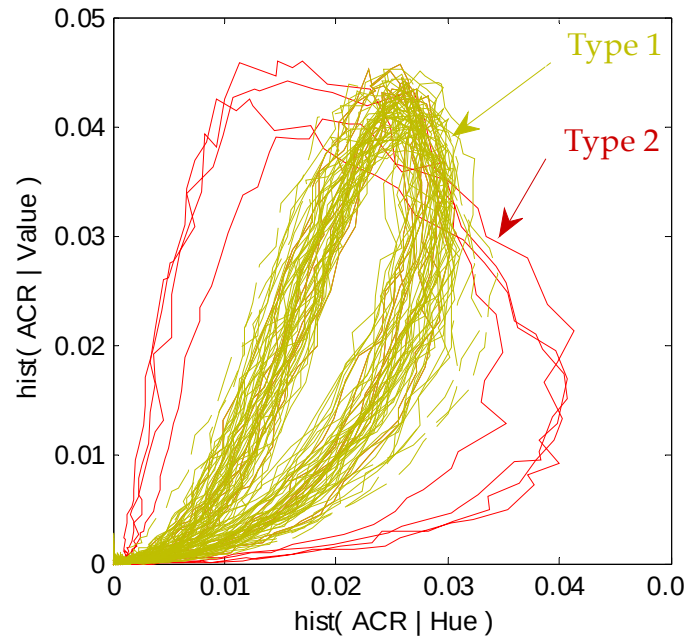


Classificatie van juwelen



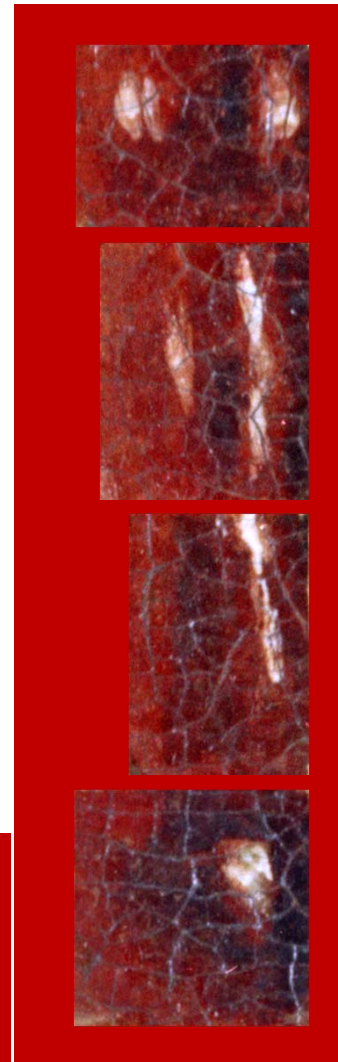
Gems Type 1

*detected with
Hough transform
(Bruno)*

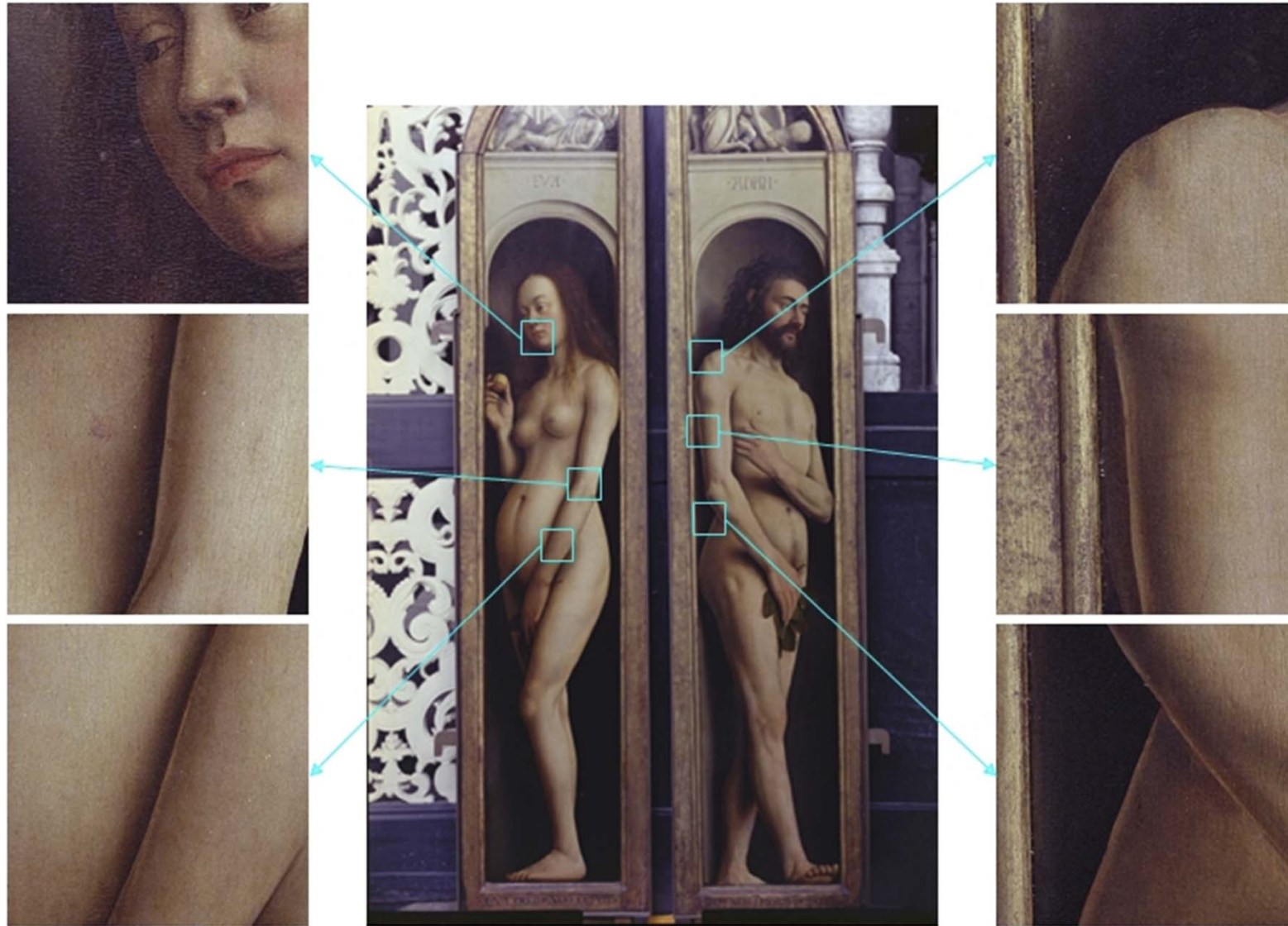


Gems Type 2

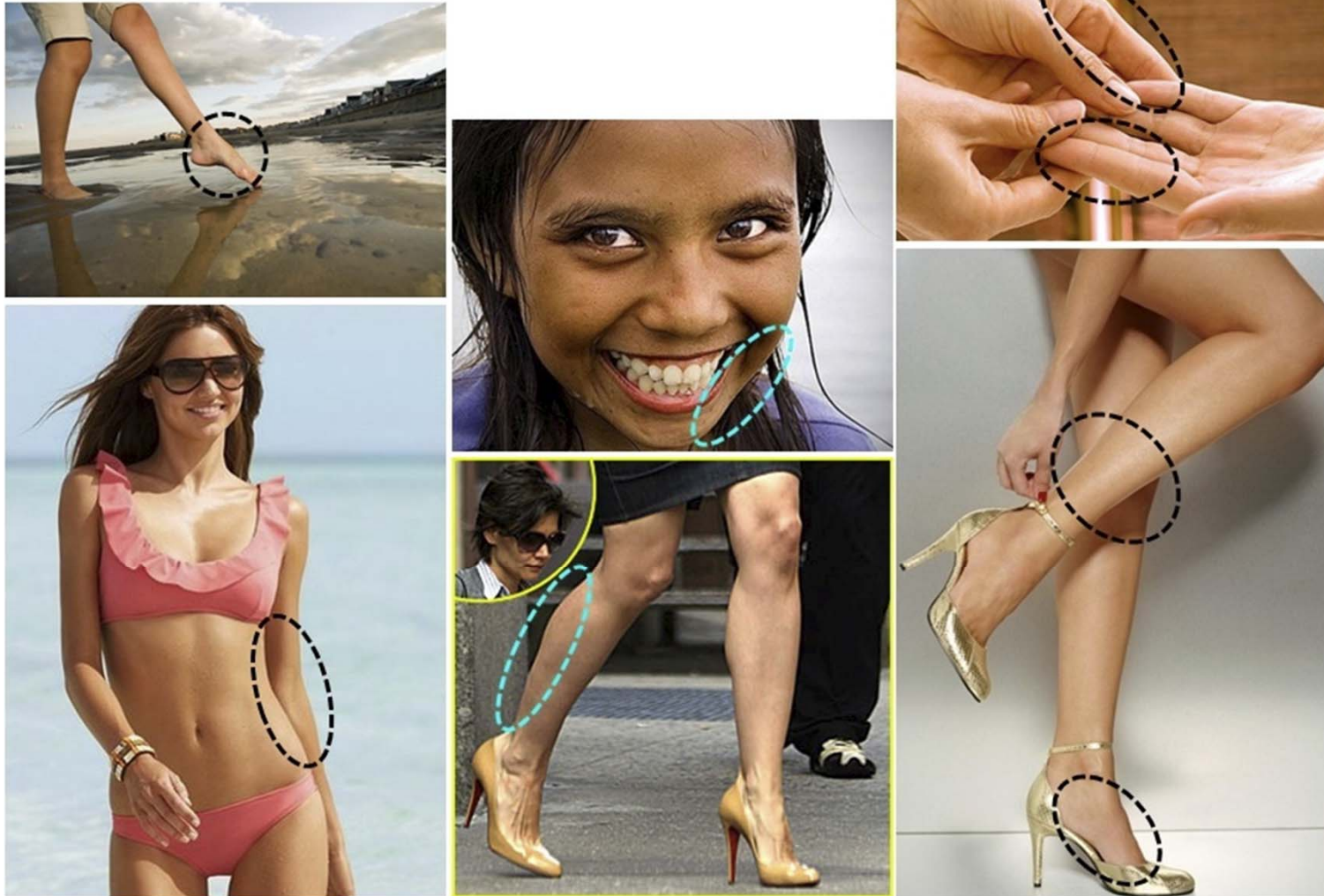
detected manually



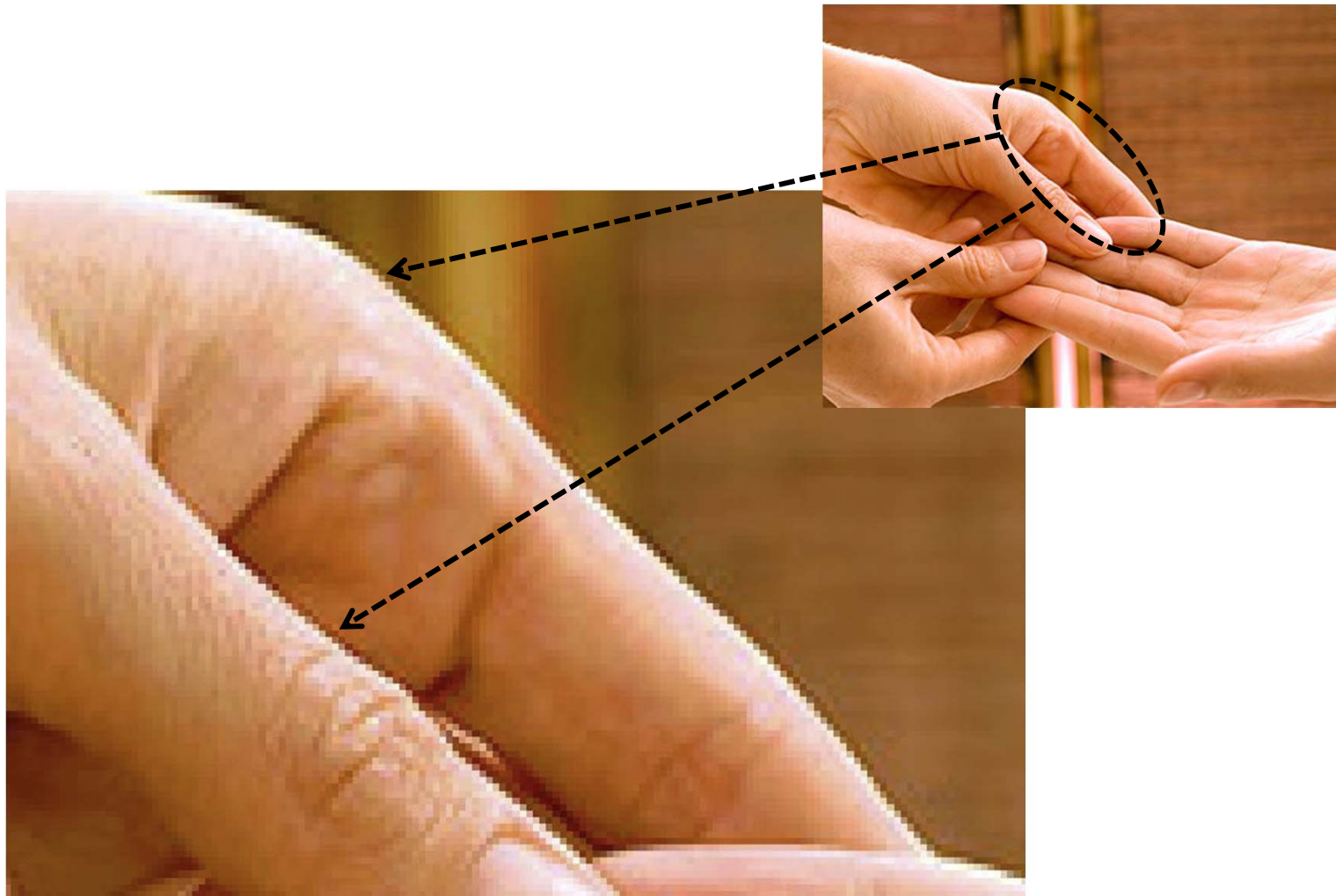
Het realisme van huidweergave



Het realisme van huidweergave



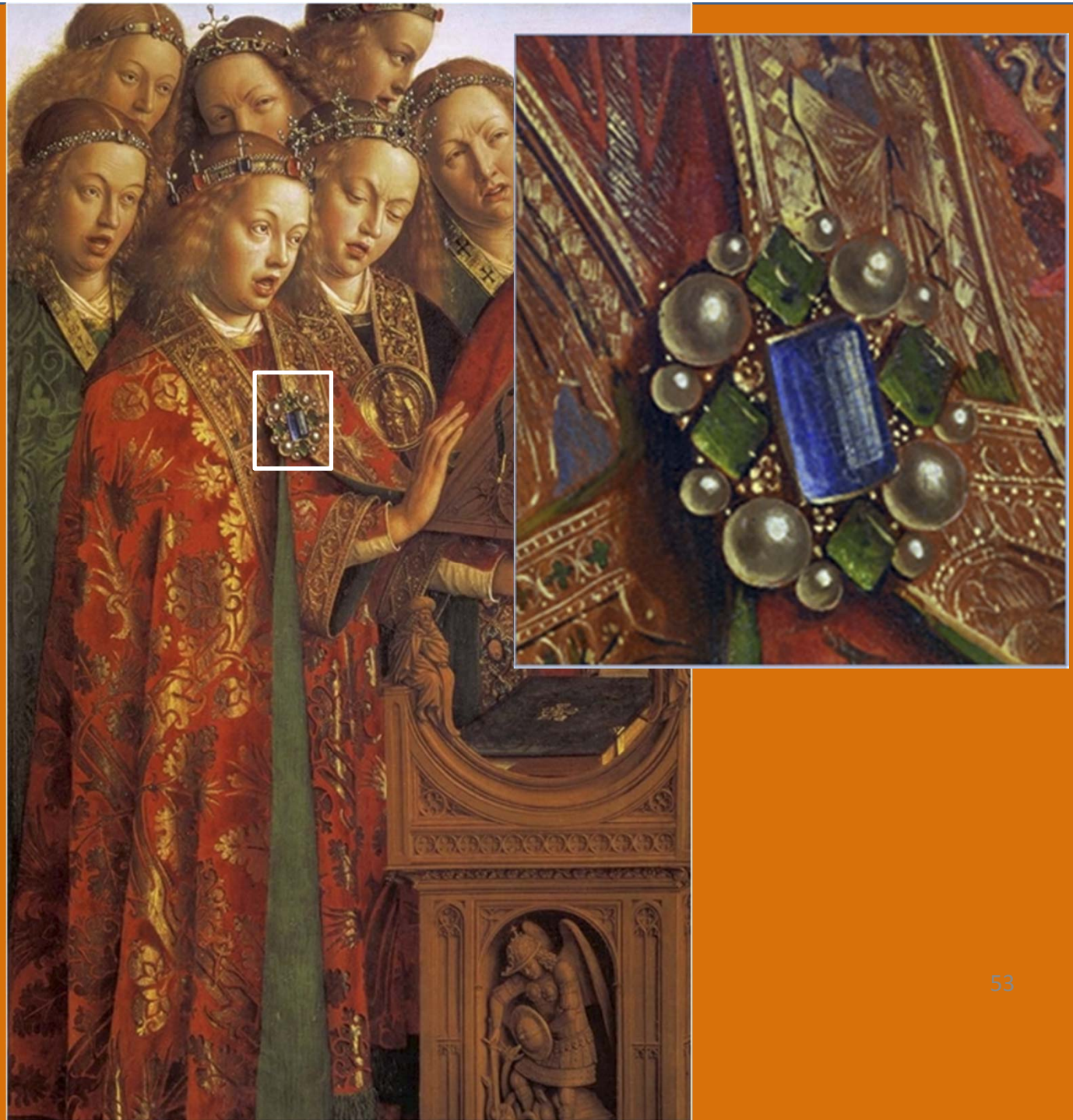
Het realisme van huidweergave

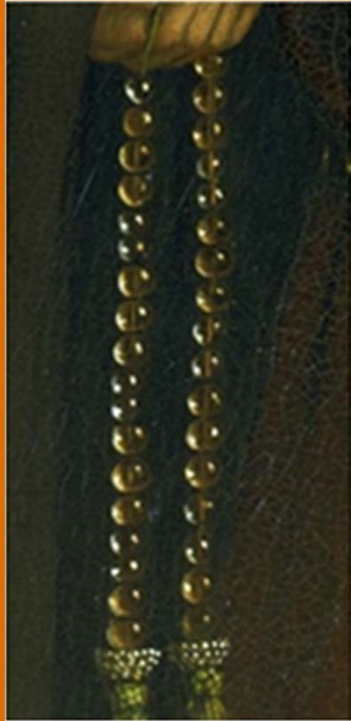


God
de Vader



Zingende Engelen





De heilige kluizenaars

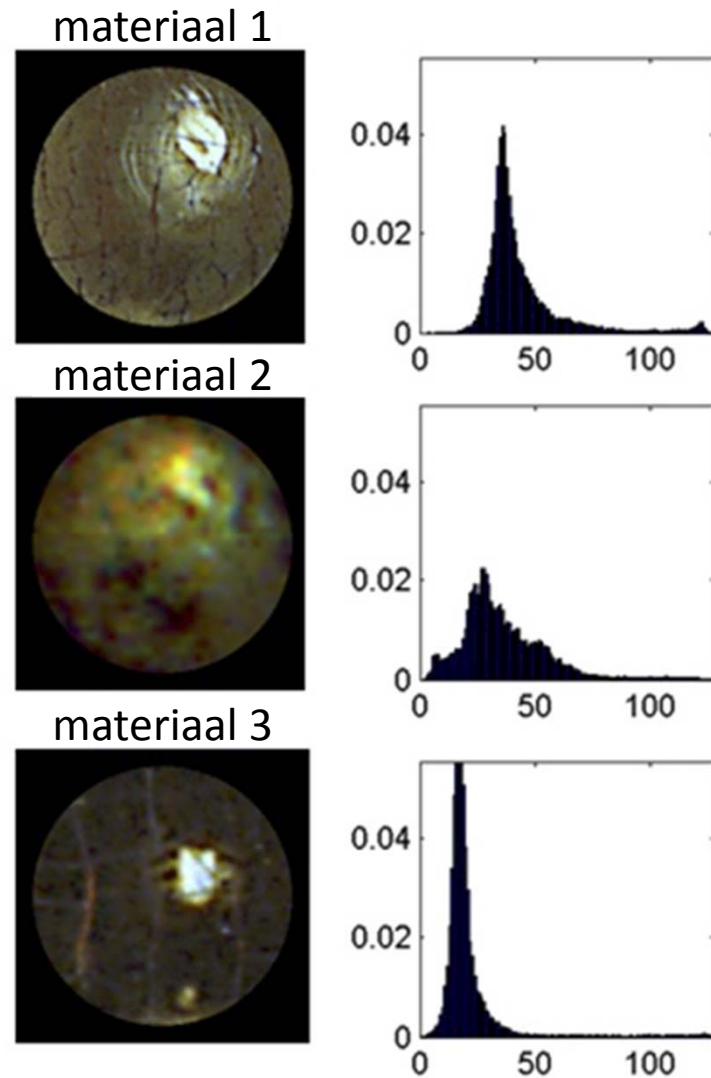


De rechtvaardige rechters

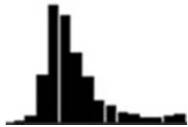


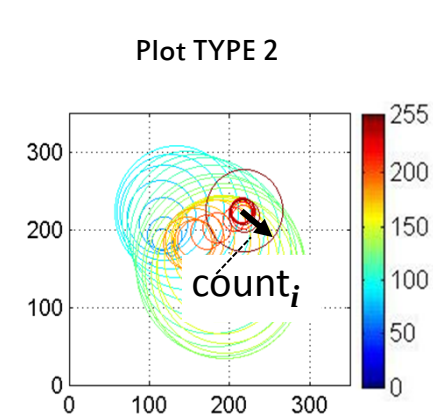
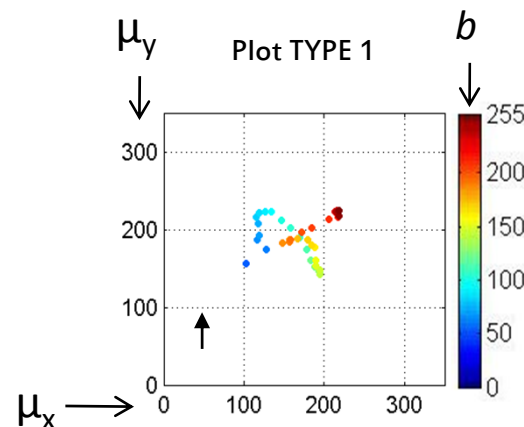
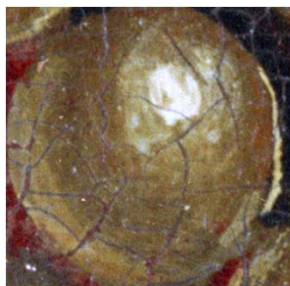
Statistische analyse: histogram

- Grafische weergave van de frequentieverdeling van in klassen gegroepeerde data
 - Hoe vaak komt een bepaalde grijswaarde voor?
- Globale maat:
 - Alleen het aantal waarden telt
 - Maakt niet uit op welke plaatsen deze waarden voorkomen
- Veelgebruikt voor de classificatie van materialen

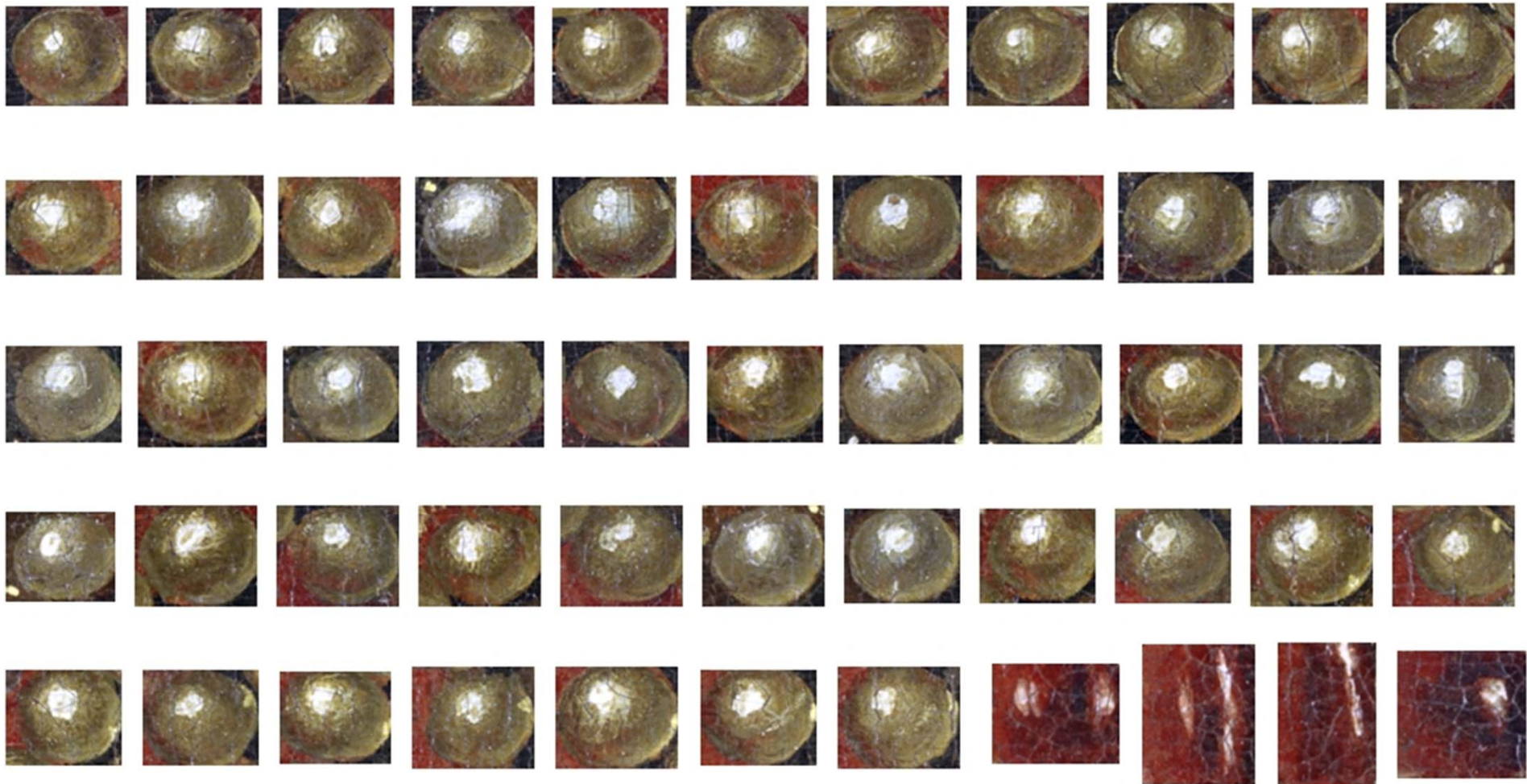


Spatigram: een veralgemeende histogram

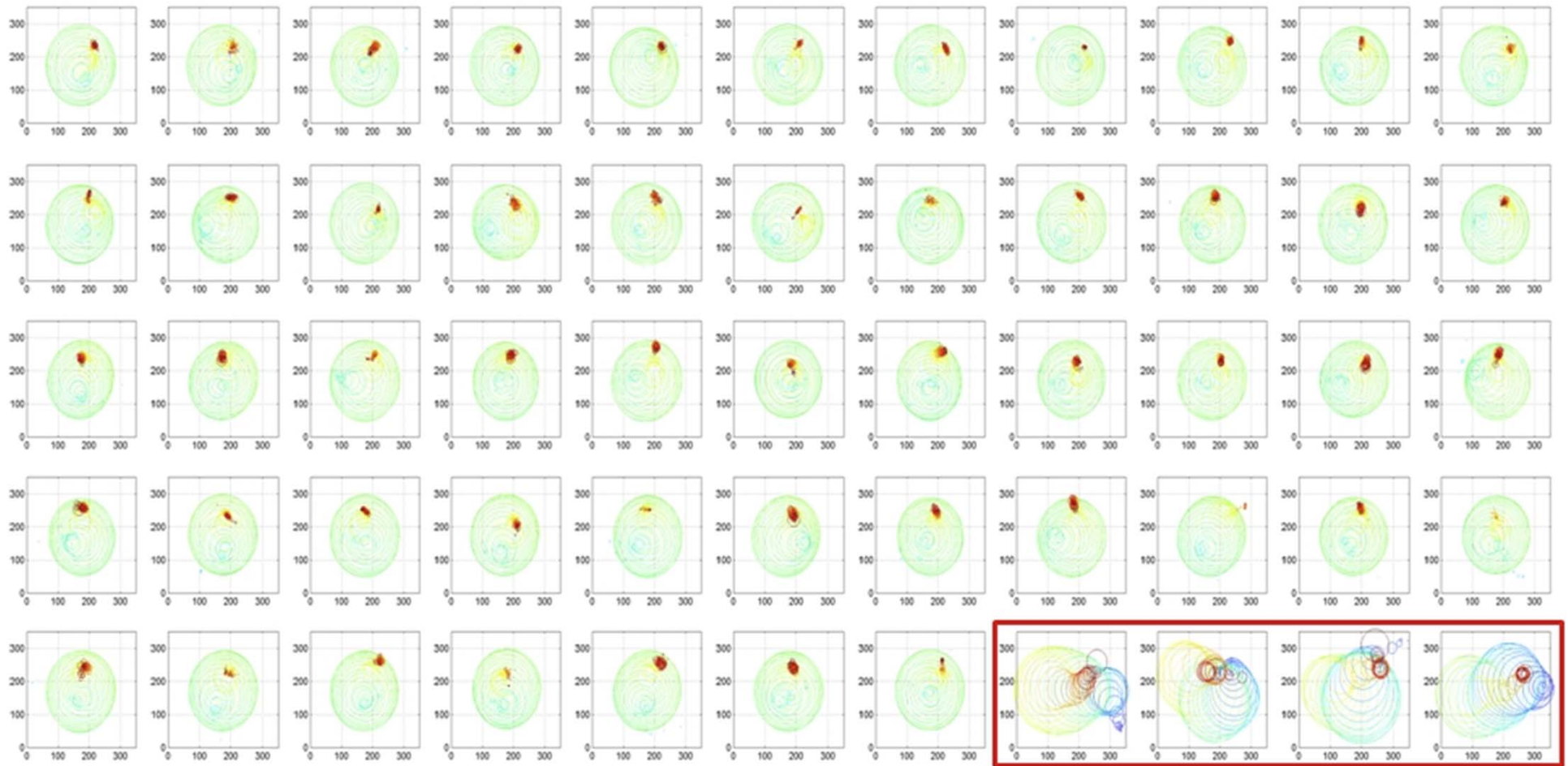
- **Histogram** $\text{hist}(b) = \text{count}_b$ 
 - Relatieve aantal pixels met waarde binnen het interval b
- **Spatigram** $s(b) = (\text{count}_b, \mu_b, \Sigma_b)$, $\mu_b = (\mu_{xb}, \mu_{yb})$
 - Veralgemening van het histogram: **extra parameters**
 - Niet alleen het aantal pixels met een bepaalde waarde telt, maar ook hun plaatsen!



Classificatie van juwelen

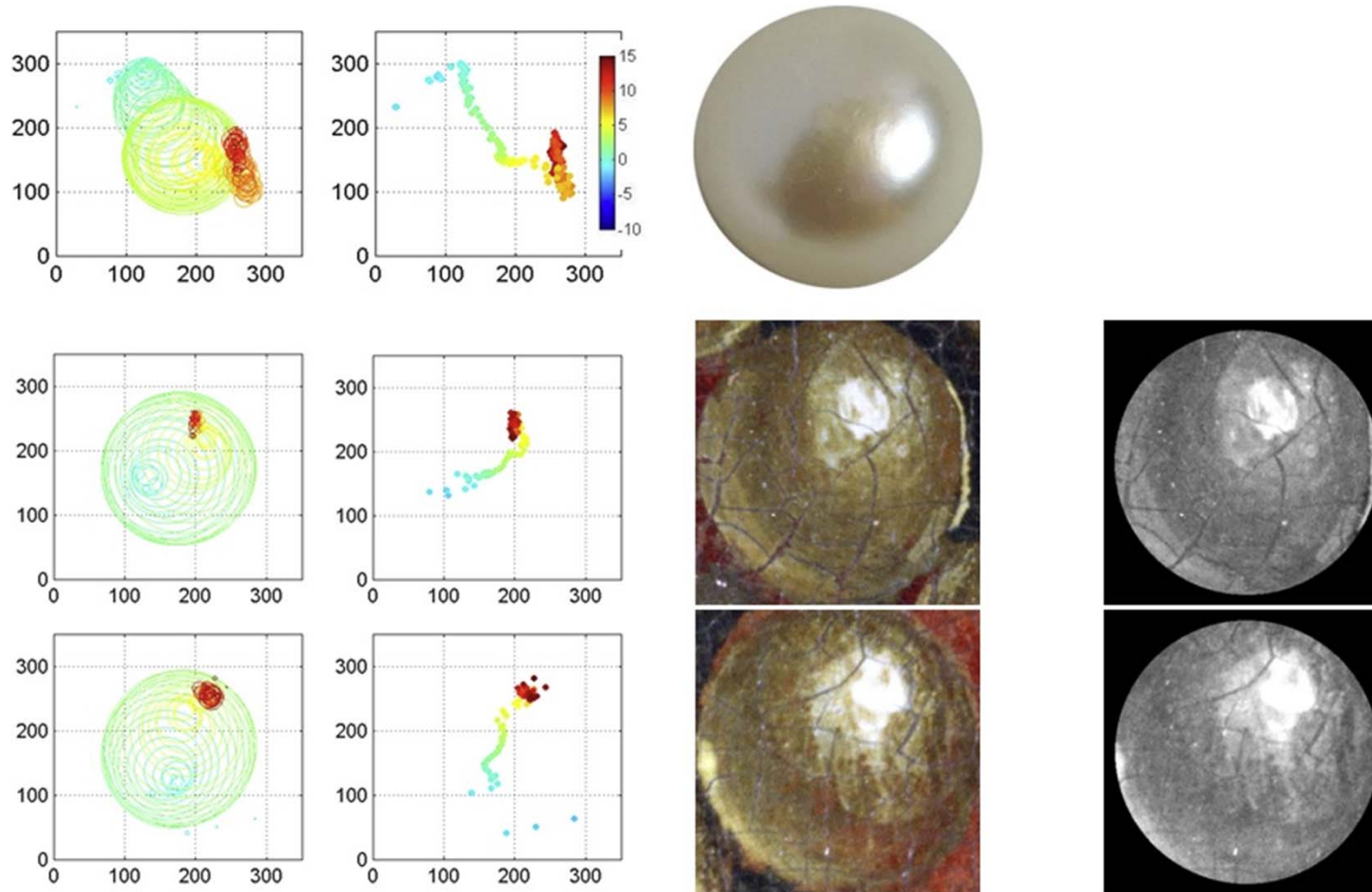


Classificatie van juwelen

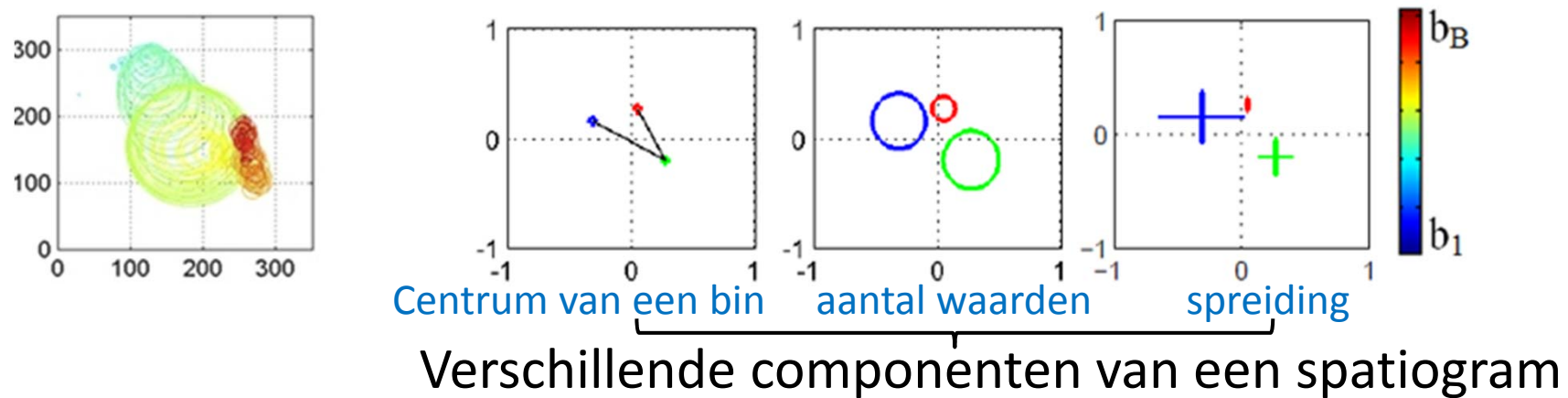


Classificatie van juwelen

- Welke kenmerken beschrijven de stijl van een schilder?



Nieuwe maten uit spatiogrammen



- Wij definiëren vier nieuwe maten die berekend worden uit de spatiogrammen
 - M1 – drukt symmetrie uit
 - M2 – correleert goed met de gladheid van de oppervlakte
 - M3 – spreiding in de horizontale richting
 - M4 – spreiding in de verticale richting

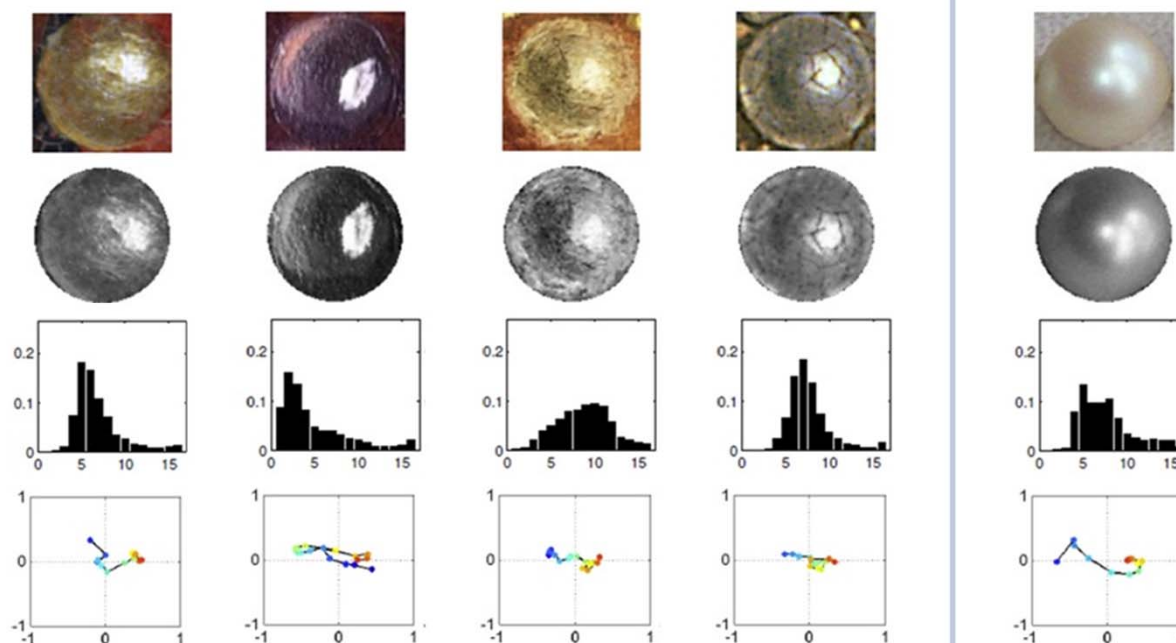
Schilders vergelijken



	Van Eyck	Van der Veken
M1	0.210 $\pm$ 0.029	0.136 $\pm$ 0.013
M2	0.055 $\pm$ 0.019	0.009 $\pm$ 0.002
M3	0.767 $\pm$ 0.229	0.733 $\pm$ 0.028
M4	0.899 $\pm$ 0.210	0.457 $\pm$ 0.139

Verschillende schilders

	Schilder 1	Schilder 2	Schilder 3	Schilder 4	Foto
M1	0.231	0.185	0.122	0.146	0.210
M2	0.063	0.016	0.010	0.015	0.047
M3	1.358	0.998	0.692	0.777	1.347
M4	0.523	0.364	0.332	0.395	0.544
ρ_{photo}	0.899	0.640	0.867	0.901	1



Dankwoord

- Tijana Ruzic en Ljiljana Platisa, Universiteit Gent
- Bruno Cornelis en Ann Doods, VUB
- Maximiliaan Martens en Emile Gezels, Universiteit Gent
- Marc De Mey, VLAC, KVAB
- Ingrid Daubechies, Duke University

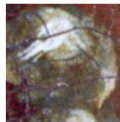
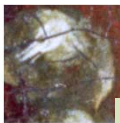
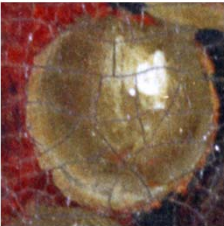
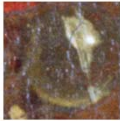
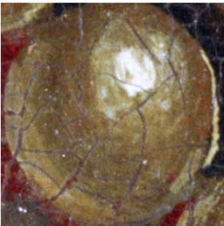
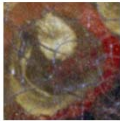
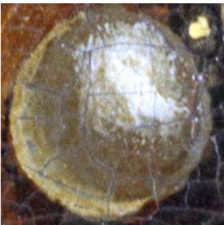
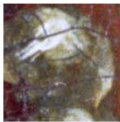
Meer informatie

<http://www.digitalpaintinganalysis.org/>

<http://telin.ugent.be/~sanja>

<http://telin.ugent.be/~truzic/Artwork/>

Vergelijking Van Eyck parels

										
		1.000	0.863	0.899	0.772	0.710	0.595	0.854	0.881	0.864
		0.863	1.000	0.914	0.848	0.801	0.674	0.748	0.756	0.744
		0.899	0.914	1.000	0.868	0.819	0.730	0.769	0.777	0.747
		0.872								
		0.772	0.848	0.868	1.000	0.963	0.867	0.716	0.705	0.658
		0.935								
		0.710	0.801	0.819	0.963	1.000	0.898	0.687	0.674	0.604
		0.595	0.674	0.730	0.867	0.898	1.000	0.635	0.645	0.511
		0.854	0.748	0.769	0.716	0.687	0.635	1.000	0.946	0.844
		0.881	0.756	0.777	0.705	0.674	0.645	0.946	1.000	0.858
		0.856								
		0.864	0.744	0.747	0.658	0.604	0.511	0.844	0.858	1.000