

# **DIGITALE TRANSFORMATION IN DER HANDSCHRIFTENFORSCHUNG:**

Einführung in die Methoden der Computer Vision  
und der Materialanalyse

## Grundlagen der zerstörungsfreien Materialbestimmung

Manfred Schreiner, Wilfried Vetter, Federica Cappa,

Institut für Naturwissenschaften und Technologie in der Kunst  
Akademie der bildenden Künste

# Bedeutung des Materials in der Menschheitsgeschichte

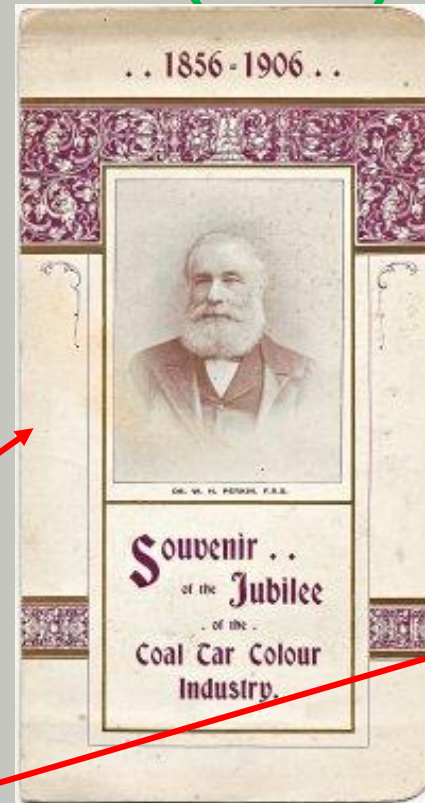
- Steinzeit
- Bronzezeit – Kupfer, Zinn, Zink, Blei etc.
- Eisenzeit – Reduktion von Eisen
- Moderne – ?

Kunststoffe – synthetisch hergestellte Materialien aus Erdöl, Erdgas

1828: **F. Wöhler** – Herstellung von **Harnstoff** →  
Beginn der organischen synthetischen Chemie

# Synthetische organische Pigmente (SOPs) (Entwicklung)

- 1828: F. Wöhler – Herstellung von **Harnstoff** → Beginn der organischen synthetischen Chemie
- 1834: F.F. Runge isoliert **Anilin** aus Steinkohlenteer
- 1856: W.H. Perkin synthetisiert **Mauvein**, einen violetten Farbstoff
- 1868: Erste Synthese eines Naturfarbstoffes – **Alizarin** (C. Gräbe and C. Liebermann)
- 1897 **Indigo**-Synthese (BASF)
- erste **Azopigmente** im späten 19. Jahrhundert



# ]a[ akademie der bildenden künste wien

Institut für Naturwissenschaften und Technologie in der Kunst



## Akademie der bildenden Künste Wien

- **1692** – Gründung der Akademie durch Peter Strudel unter Leopold I. (1640 – 1705)
- **1871 - 1877** – Bau des Hauses am Schillerplatz
- **15. August 1872** – Statut Kaiser Franz Joseph I. „Farbenlehre, Farbenchemie und Materialkunde“ werden als Theorie-Fächer eingeführt
- **1950** – Institut für Farbenlehre, Farbenchemie und Malmaterialienkunde
- **2002** - Institut für Naturwissenschaften und Technologie in der Kunst (UG 2002):  
*Farbenlehre, Farbenchemie, Conservation Science, Heritage Science*

# Lehre

## Akademie-Vorlesungen

- **Farben- und Wahrnehmungslehre:**

Was ist Farbe? Was ist Licht?

Farbmodelle – z.B. CIE, CIELab, RGB, CMYK etc.

Kulturgeschichte der Farbe. Wie nehmen wir Farbe wahr?

Auswirkung von Farbe auf den Betrachter → Farbpsychologie

- **Materialkunde und Farbenchemie:**

Farbmittel: Pigment ↔ Farbstoff

Bindemittel → künstlerische Techniken

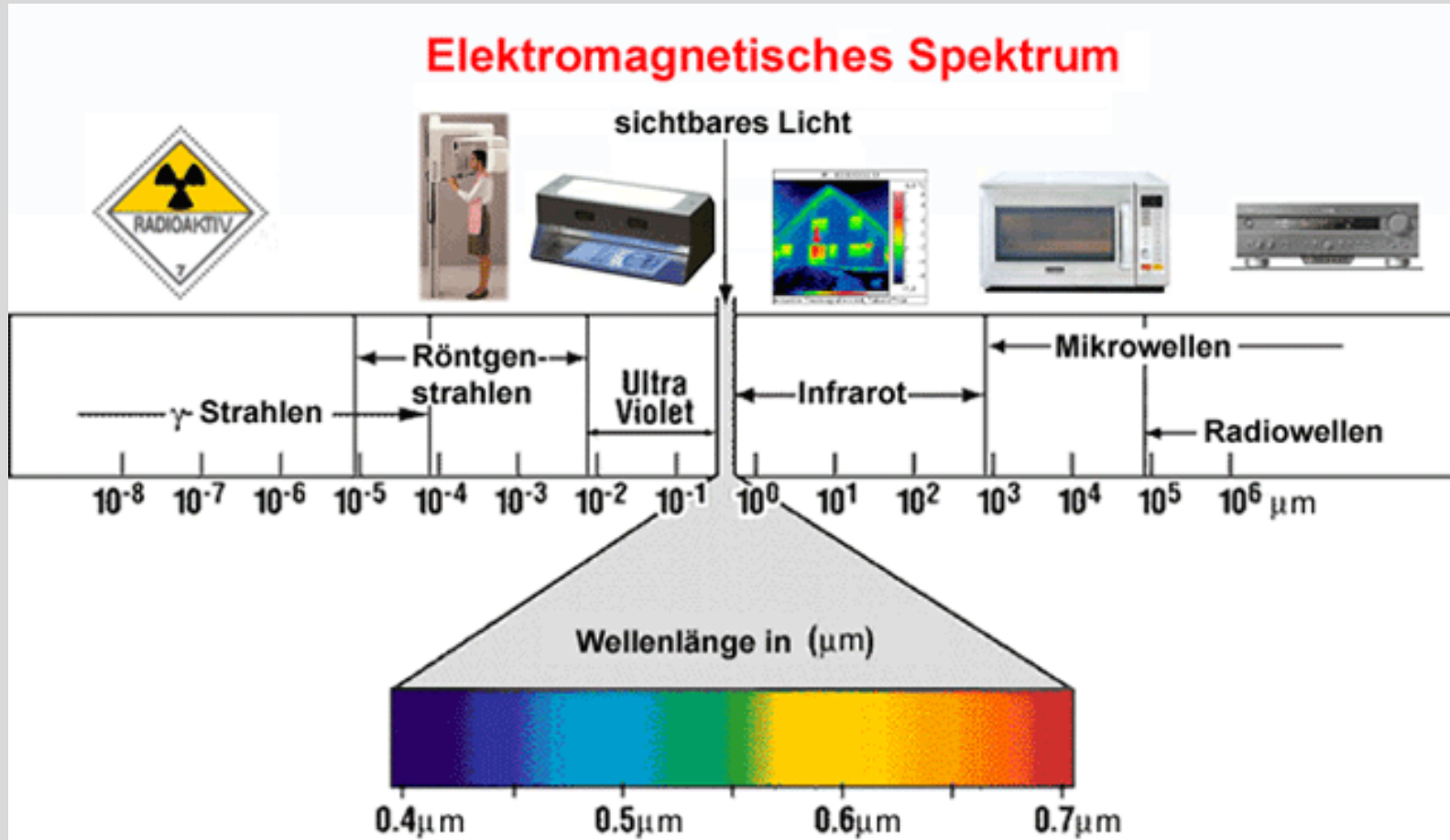
Beständigkeit der Materialien (Licht, Umwelt, Luftfeuchte etc.)

Materialien – allgemein: Leinwand, Holz, Metalle und Metalllegierungen, Stein, Keramik, Glas

## **Forschung** – Projekte (FWF, EU, HRSM etc.)

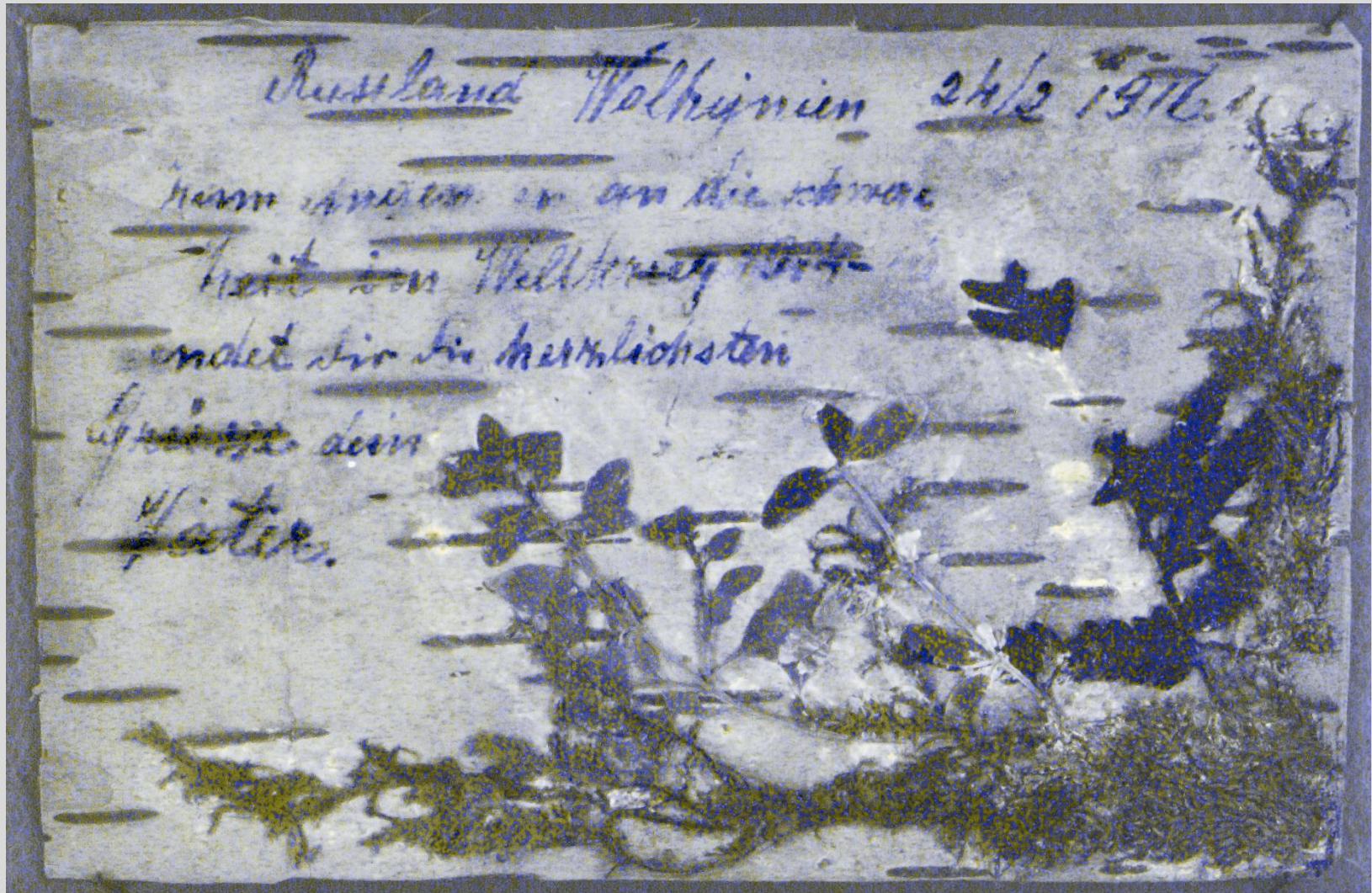
- **Dokumentation** mit sichtbarer und unsichtbarer (IR-, UV- und Röntgen-)Strahlung
- **Materialanalyse:**
  - Identifizierung von Pigmenten und Bindemittel
  - Metalle – Münzen, Bronzeskulpturen
  - Glasobjekte – Glasmalerei, Jugendstilglas, antike Glasfunde (Ephesos)
- **Materialveränderung** (Alterung, Korrosion) :
  - Verwitterung von mittelalterlichen Glasgemälden
  - Korrosion von Ag- und Cu-Legierungen
  - Moderne Materialien in der zeitgenössischen Kunst
- Neu: **Biowissenschaften** in der Denkmalpflege

# Dokumentation mit sichtbarer und unsichtbarer (IR-, UV- und Röntgen-)Strahlung





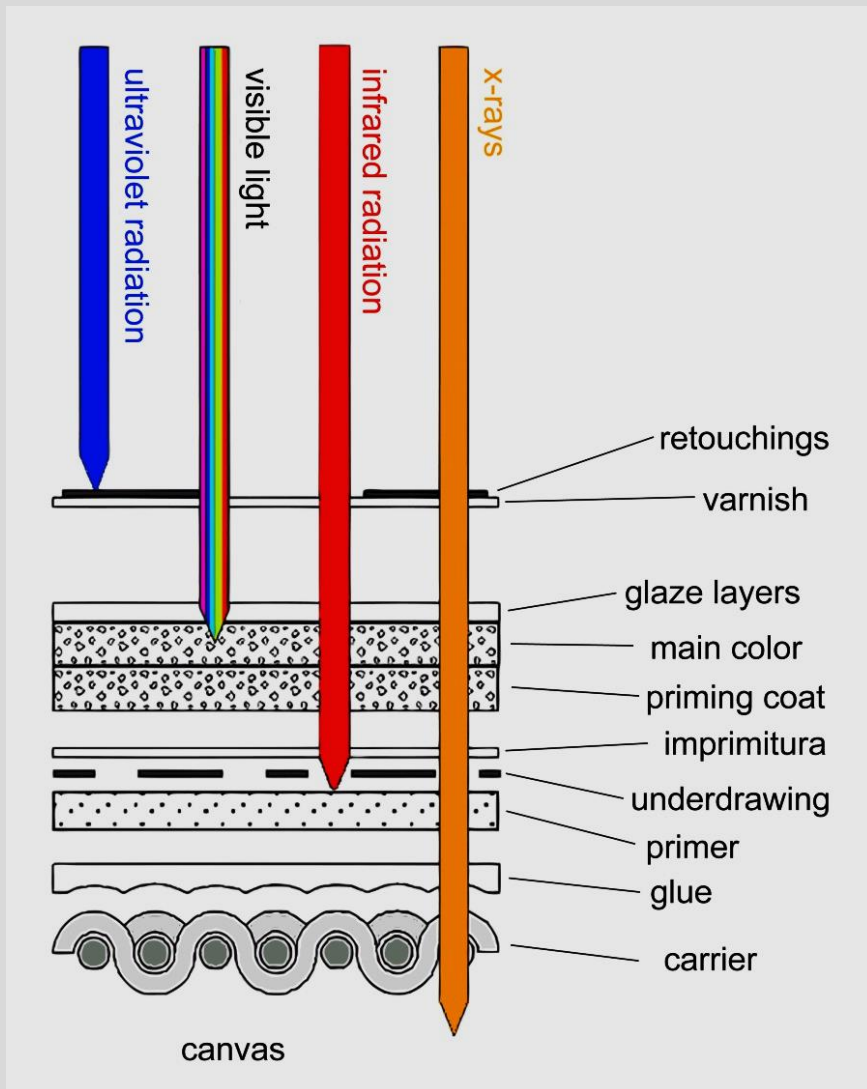
Postkarte im sichtbaren Licht



Postkarte im UV-Licht

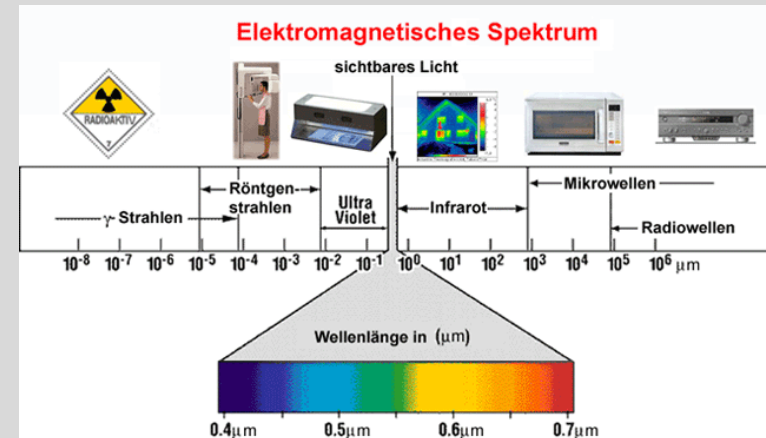


Gothic Madonna with Child: Visual light and UV-Fluorescence  
(Gallery of the Academy of Fine Arts in Vienna, Inv. No. A02)

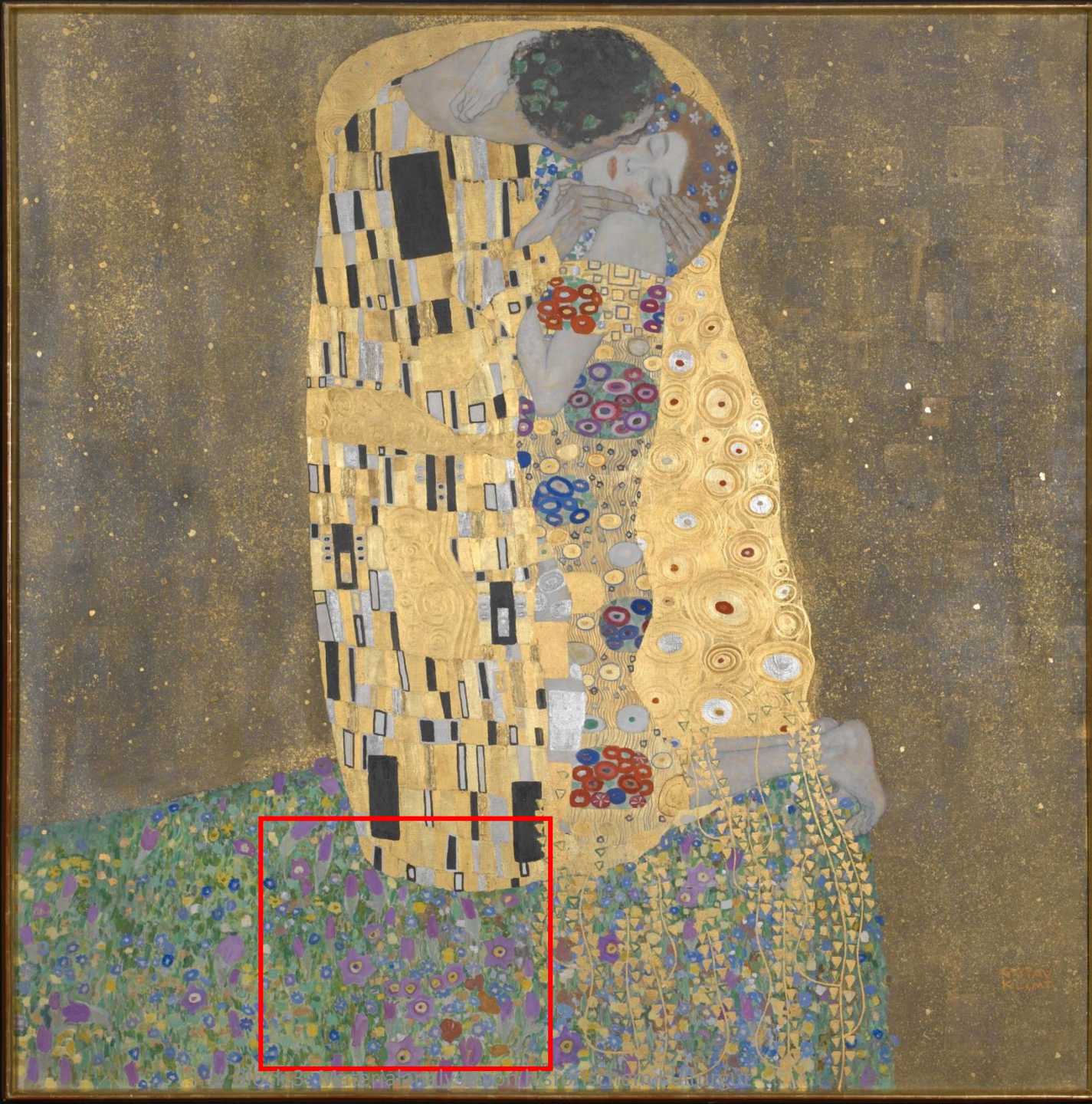


Documentation using electromagnetic radiations:

- UV (ultraviolet)
- visible
- IR (infrared)
- X-ray



Structure of painting and penetration depths of the radiations:  
IR, Vis, UV, X-ray

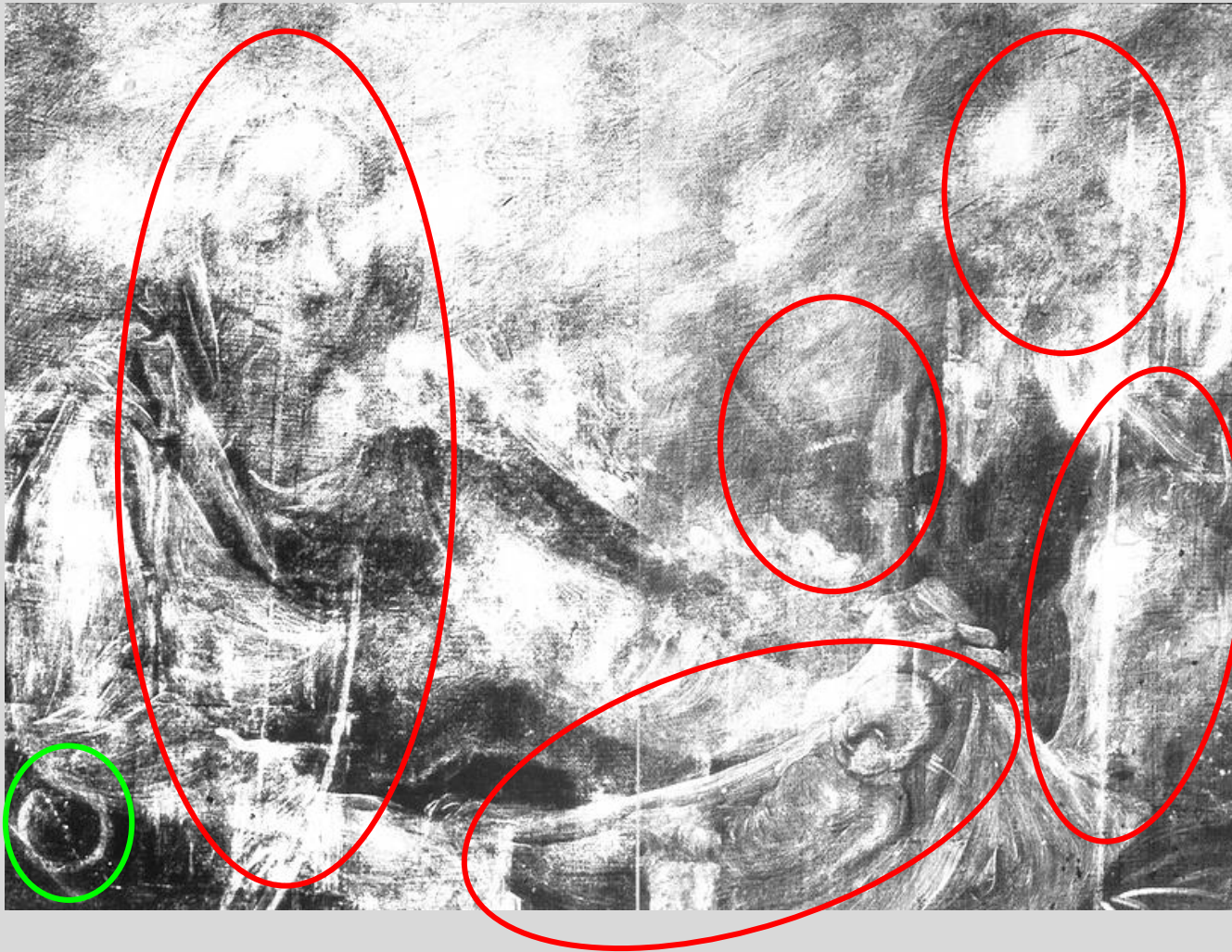


G. Klimt:  
The Kiss  
(1908)  
Belvedere Vienna





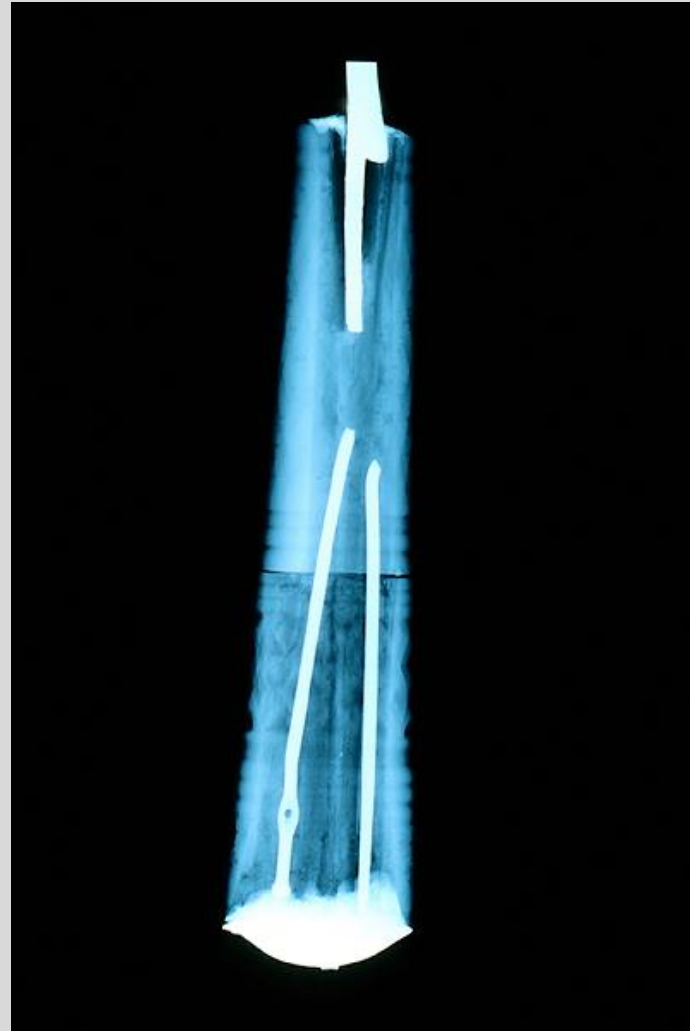
F. Guardi (1712 - 1793): Orologio on the Marcus Place in Venice/Italy  
(Gallery of the Academy of Fine Arts, Inv.no.502 )



X-ray radiograph of F. Guardi's Orologio (Academy of Fine Arts)



Etruscan mirror, end of 4<sup>th</sup> cent. BC, Kunsthistorisches Museum



X-ray radiograph of the Etruscan mirror, Kunsthistorisches Museum



## Die Heilige Lanze:

Eisen, Messing, Silber,  
Gold, Leder

50,7 cm lang  
Kunsthistorisches  
Museum Wien  
Inv. Nr. XIII 19

mit und ohne Gold- und  
Silbermanschette

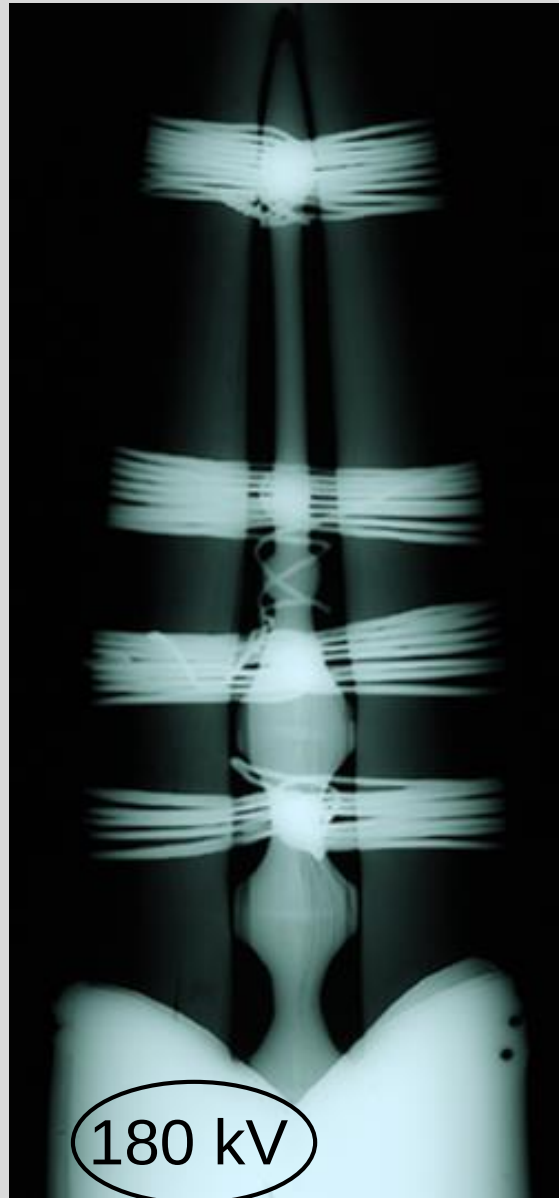
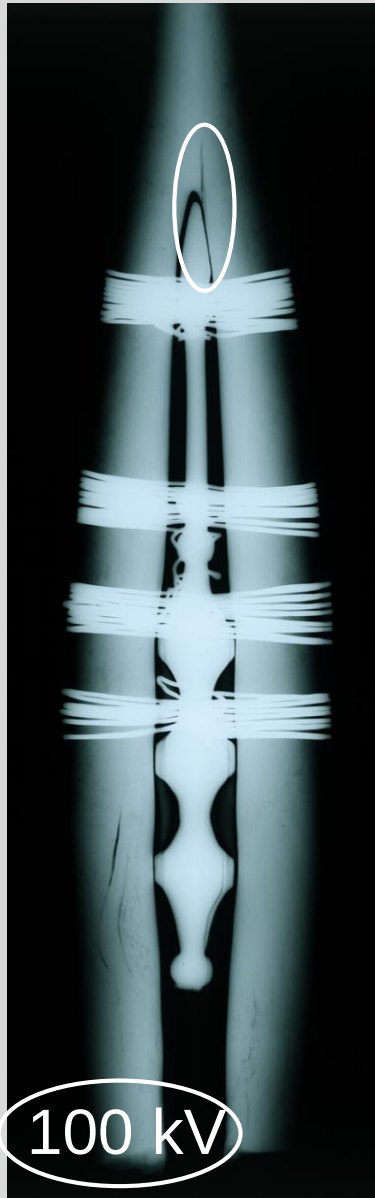
# Insignien des Hl. Röm. Reiches Deutscher Nation



Kunsthistorisches Museum Wien, Schatzkammer



Kunsthistorisches Museum Wien, Schatzkammer



# Röntgen von Wasserzeichen

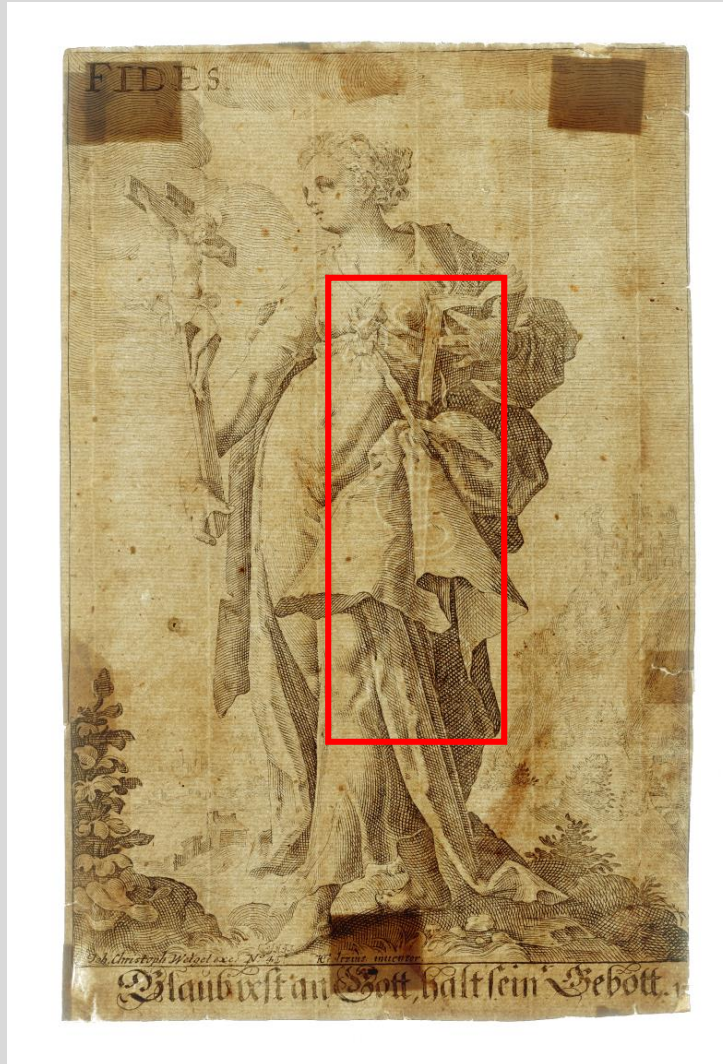


Kupferstich "Fides" von  
J. Ch. Weigel (†1746)  
nach H. Goltzius

21.8 x 14.2 cm<sup>2</sup>

Normalaufnahme

# Röntgen von Wasserzeichen



Kupferstich "Fides" von  
J. Ch. Weigel (†1746)  
nach H. Goltzius

Wasserzeichen: kaum sichtbar, da es  
zu Überlagerung mit der Druckfarbe  
kommt

Durchlichtaufnahme

## Röntgen von Wasserzeichen

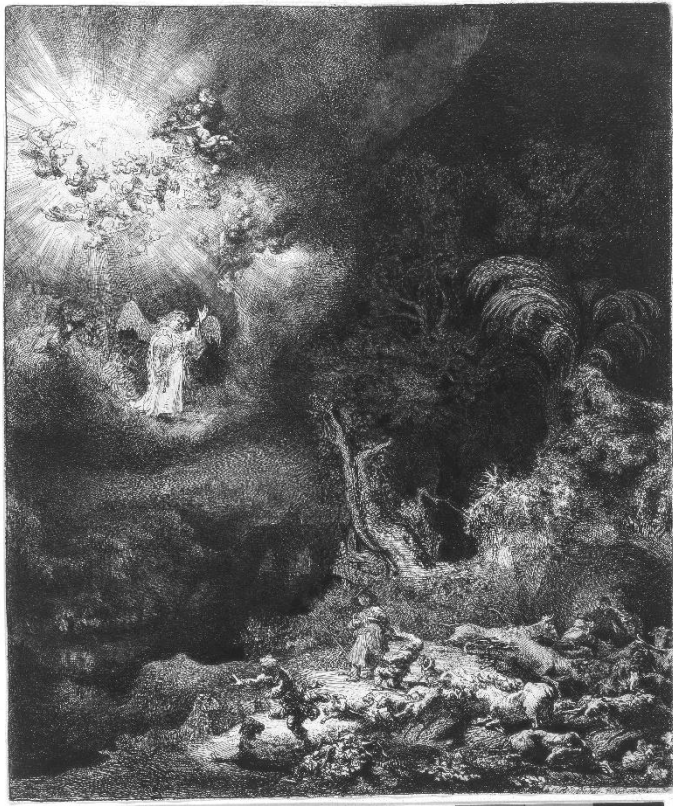


Kupferstich “Fides” von  
J. Ch. Weigel (†1746) nach  
H. Goltzius

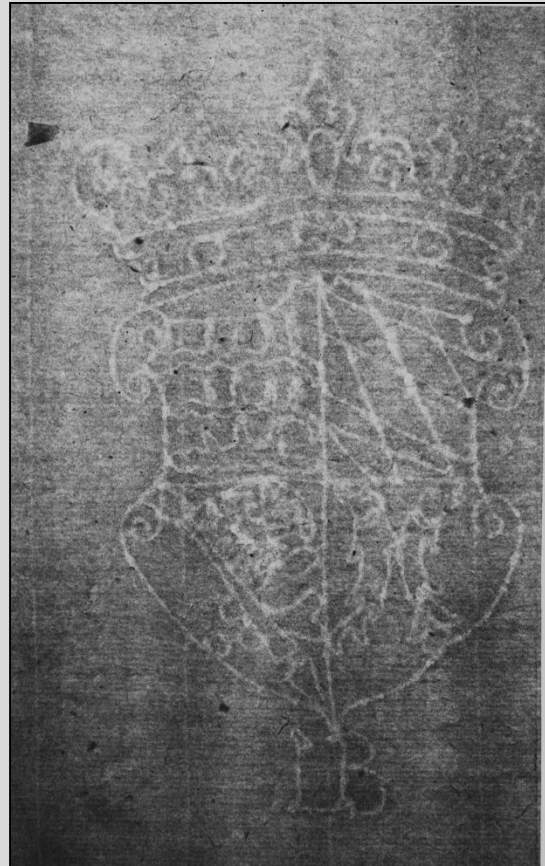
Wasserzeichen - klar erkennbar:  
Schlange um eine Säule gewunden mit  
Blumen an der Spitze und einem Wappen  
mit Monogramm als Basis NMH  
Druckfarbe – kohlenstoffhaltig – stört nicht,  
ähnlich Absorption von Röntgenstrahlung  
wie Papier

Röntgenaufnahme (8 - 12 kV)

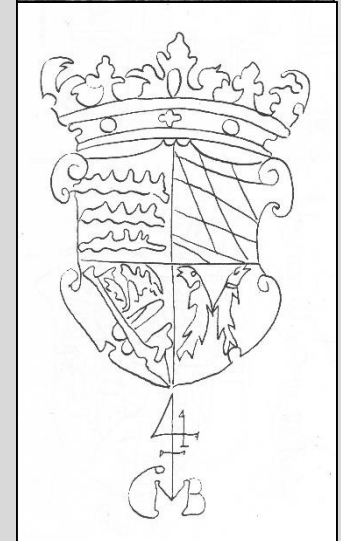
# Rembrandt van Rijn



**„Die Verkündigung der Hirten“**  
1634, Radierung, Kaltnadel,  
Grabstichel, 2. Zustand,  
Plattenrand: 26,1x21,9 cm  
Alte Galerie Graz, Inv.-Nr. 189



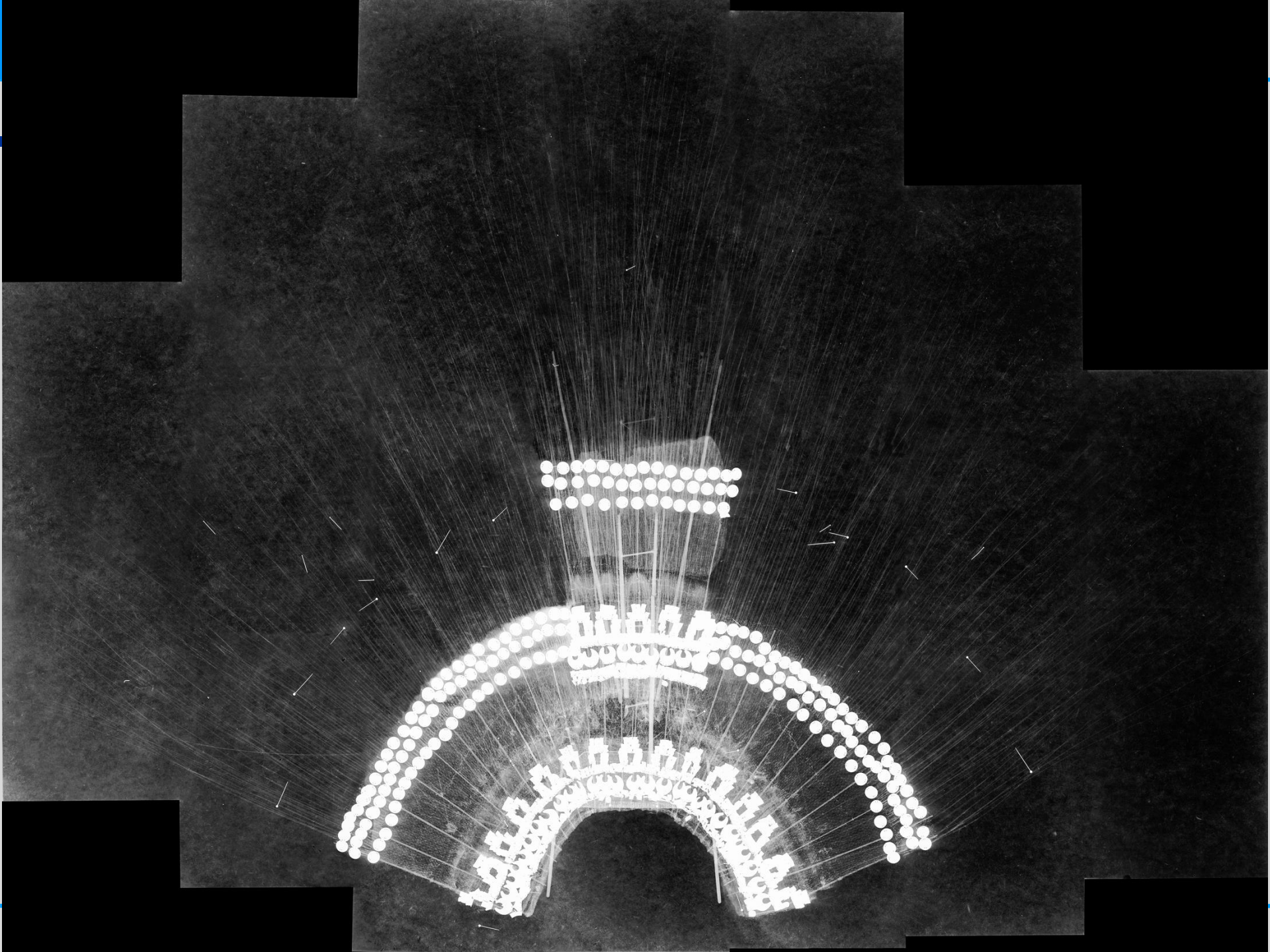
**Wasserzeichen**  
**„Wappen von Württemberg“**  
Weichstrahl-Röntgenradiographie

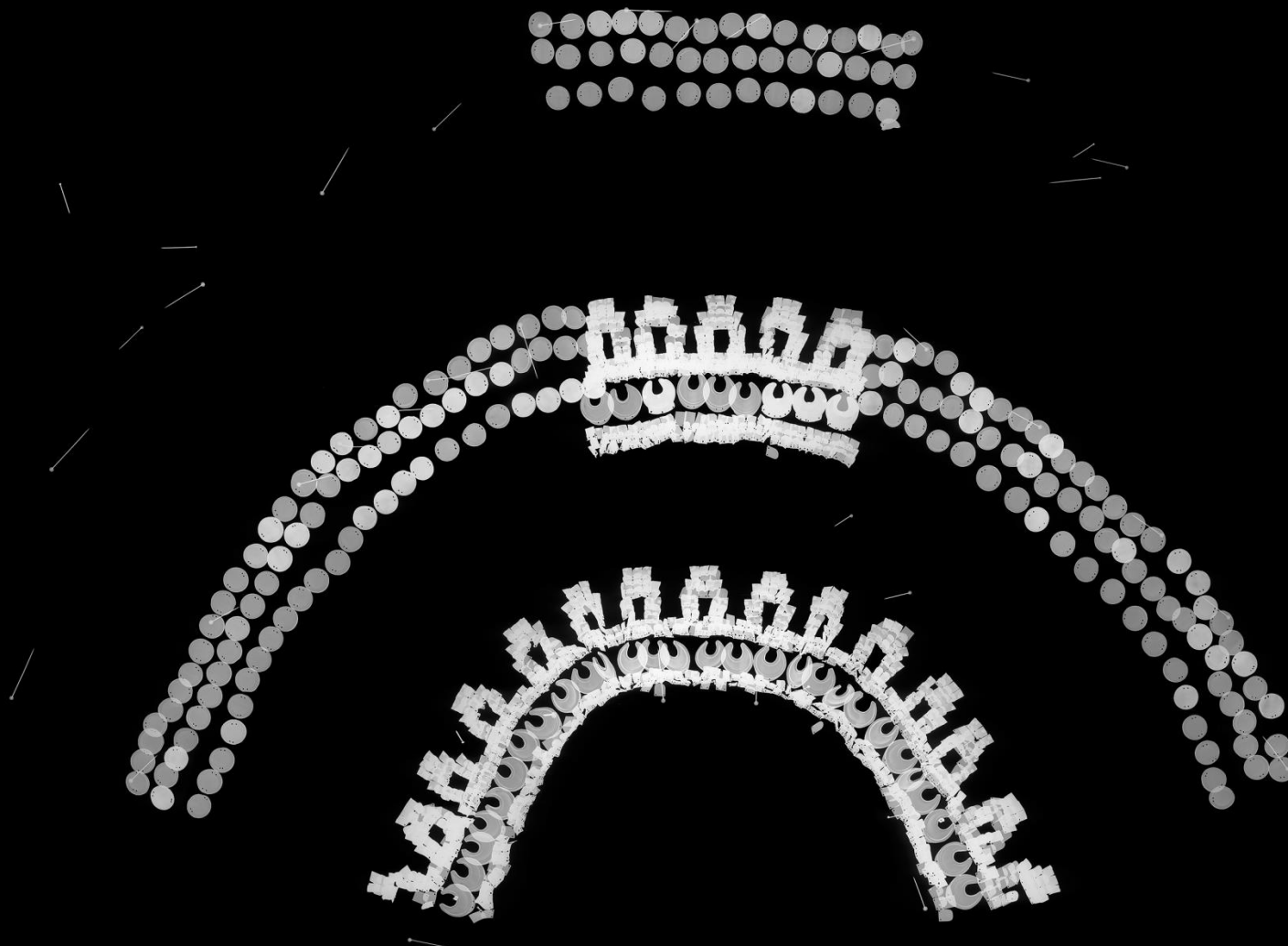


**Heawood Nr. 485**



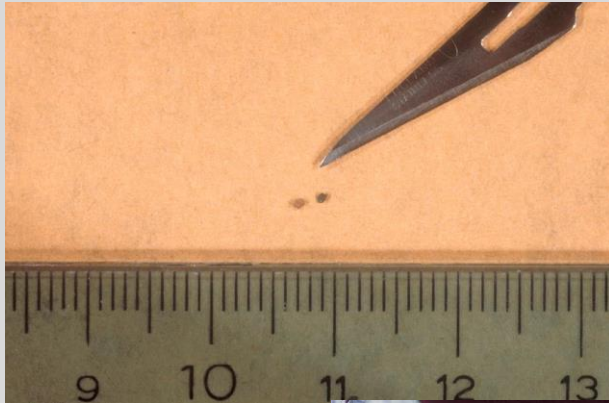
Röntgen-Radiographie eines Federschmucks





# Materialanalyse von kunst- und kulturgeschichtlichen Objekten

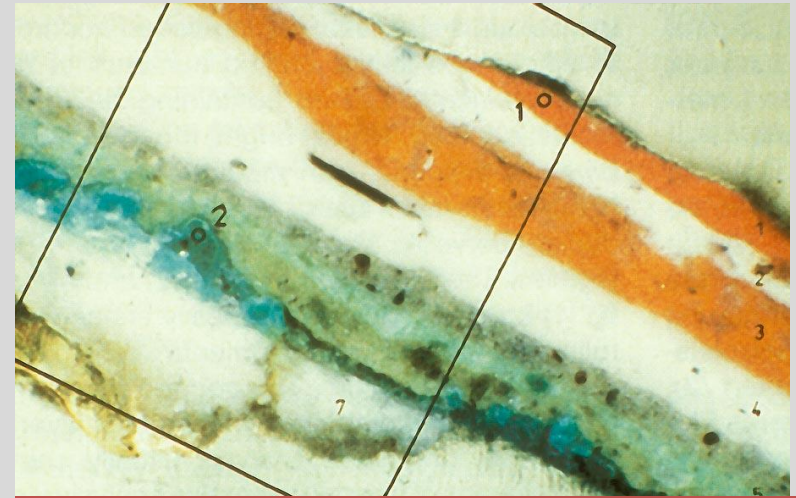
## Probennahme



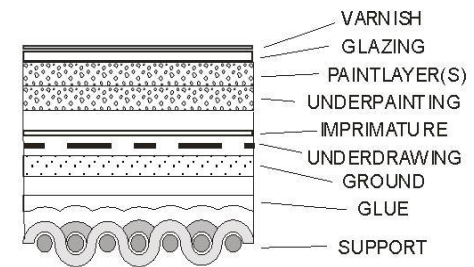
Malschicht-  
splitter



Eibetten in  
Kunstharz



Mikroskopie



Structure of an Easel Painting

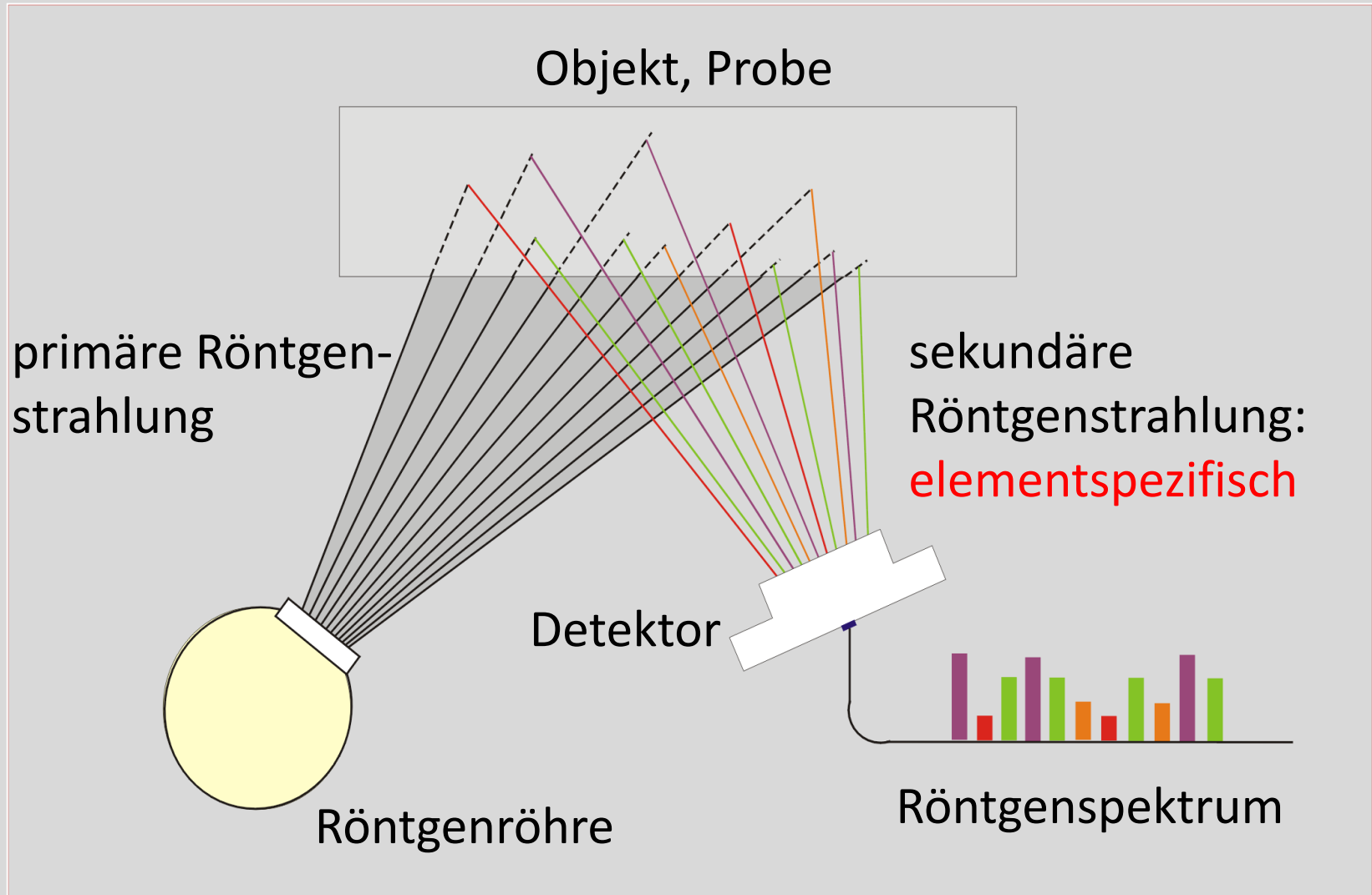
## Anforderung an die Materialanalyse

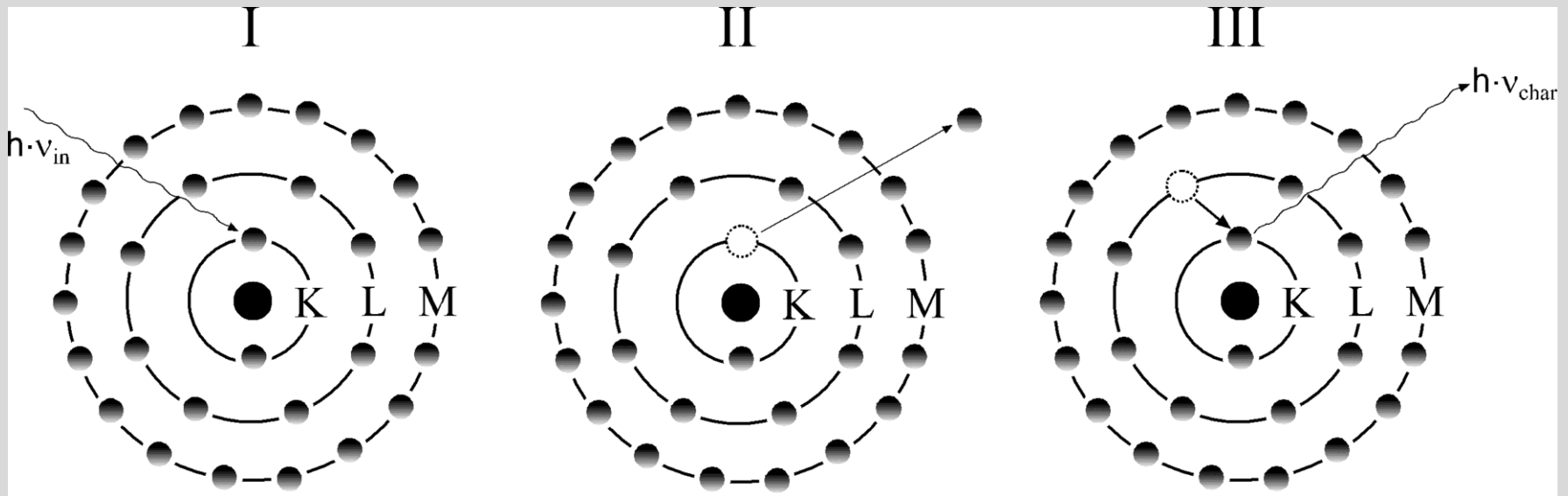
- **zerstörungsfrei** – kein originales Probematerial entnehmen
- an Luft (kein Vakuum !!)
- Transport: Kunstwerk – Analysengerät  
(Versicherung, Klima etc.)
- Oberfläche (Patina) oder Bestimmung des Grundmaterials
- schnell (Dauer der Analyse)

## nicht-invasive Materialanalyse

- Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)  
X-ray fluorescence analysis (XRF)  
(Manfred Schreiner) } element-  
spezifisch
- Fourier-Infrarot-Spektrometrie (FTIR)  
(Wilfried Vetter) } verbindungs-  
spezifisch
- Raman-Spektrometrie  
(Federia Cappa)

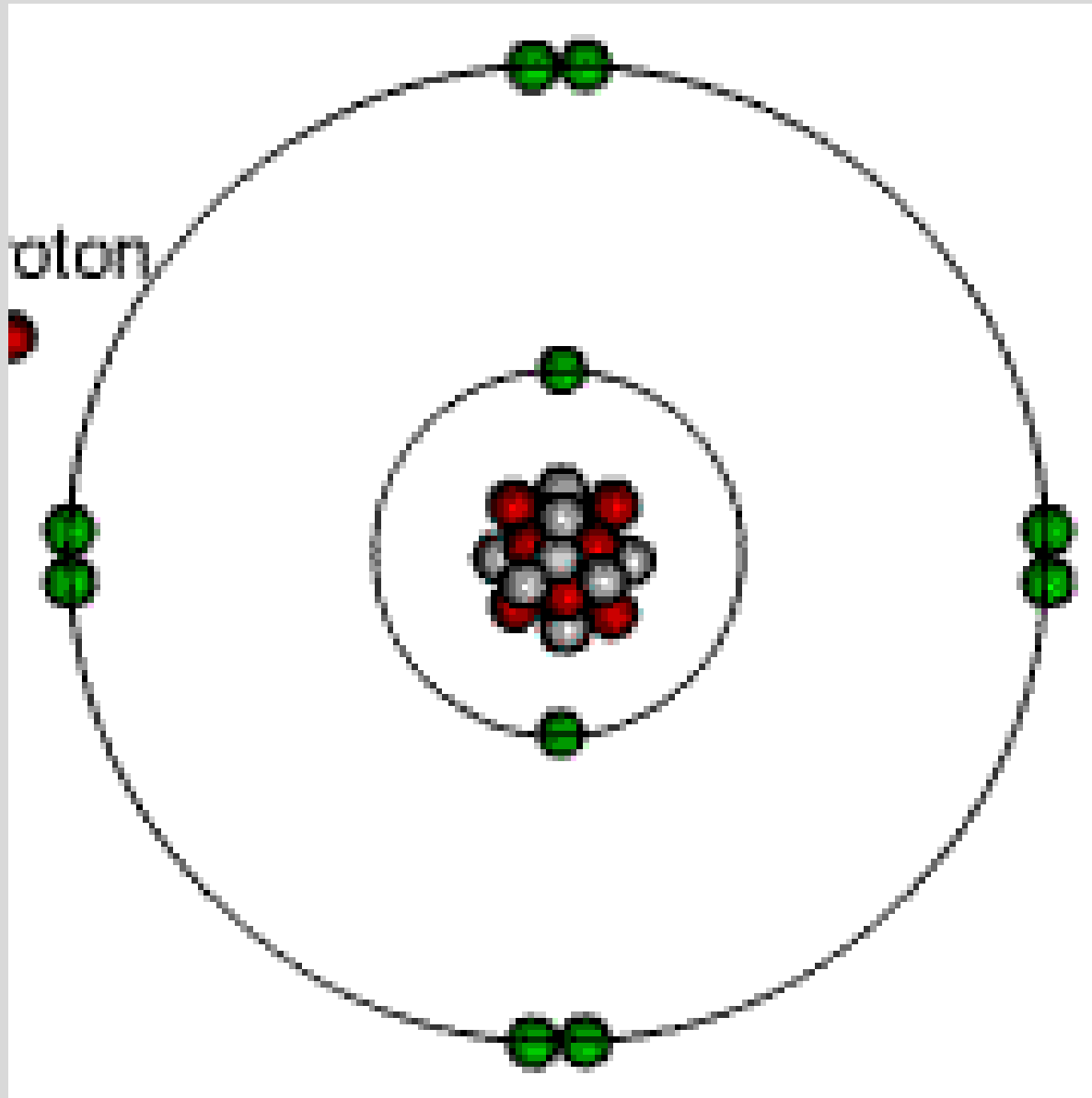
→ **adaptierte/modifizierte Instrumente**





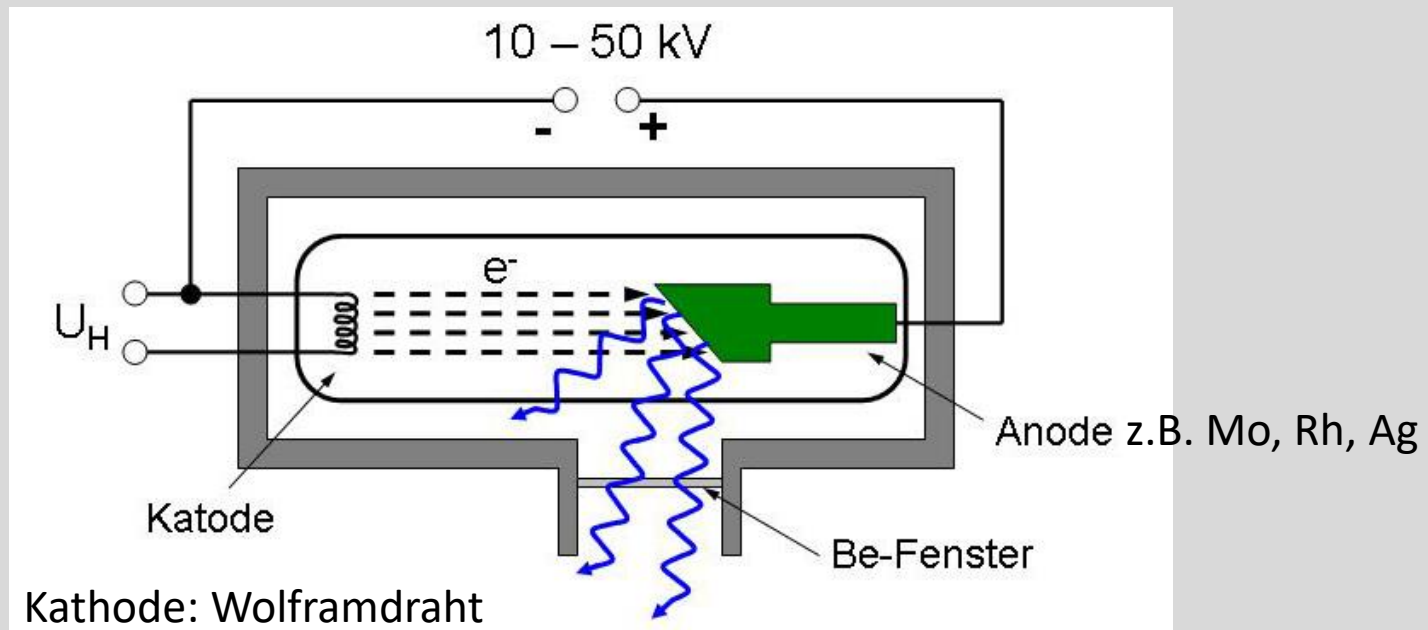
Prinzip der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA):

- Ionisation eines inneren Orbitals (Elektronenschale)
- Verfall des angeregten Zustandes durch Emission von **elementspezifischer Röntgenstrahlung**



## Erzeugung der Röntgenstrahlung – Röntgenröhre:

- **Elektronen** werden in der *Kathode* frei, durch die angelegte Hochspannung zur *Anode* hin beschleunigt.
- Beim Auftreffen der Elektronen auf die Anode entsteht *Bremsstrahlung* sowie *charakteristische Strahlung*.





Kommerzielle RFA:  
Tracor, Spectrace 5000



## Analyse von Münzen



Friesacher Pfening



Cologne

CZECH REPUBLIC

GERMANY

SLOVAKIA

Laufen

Salzburg

AUSTRIA

SWITZERLAND

HUNGARY

Friesach

St. Veit

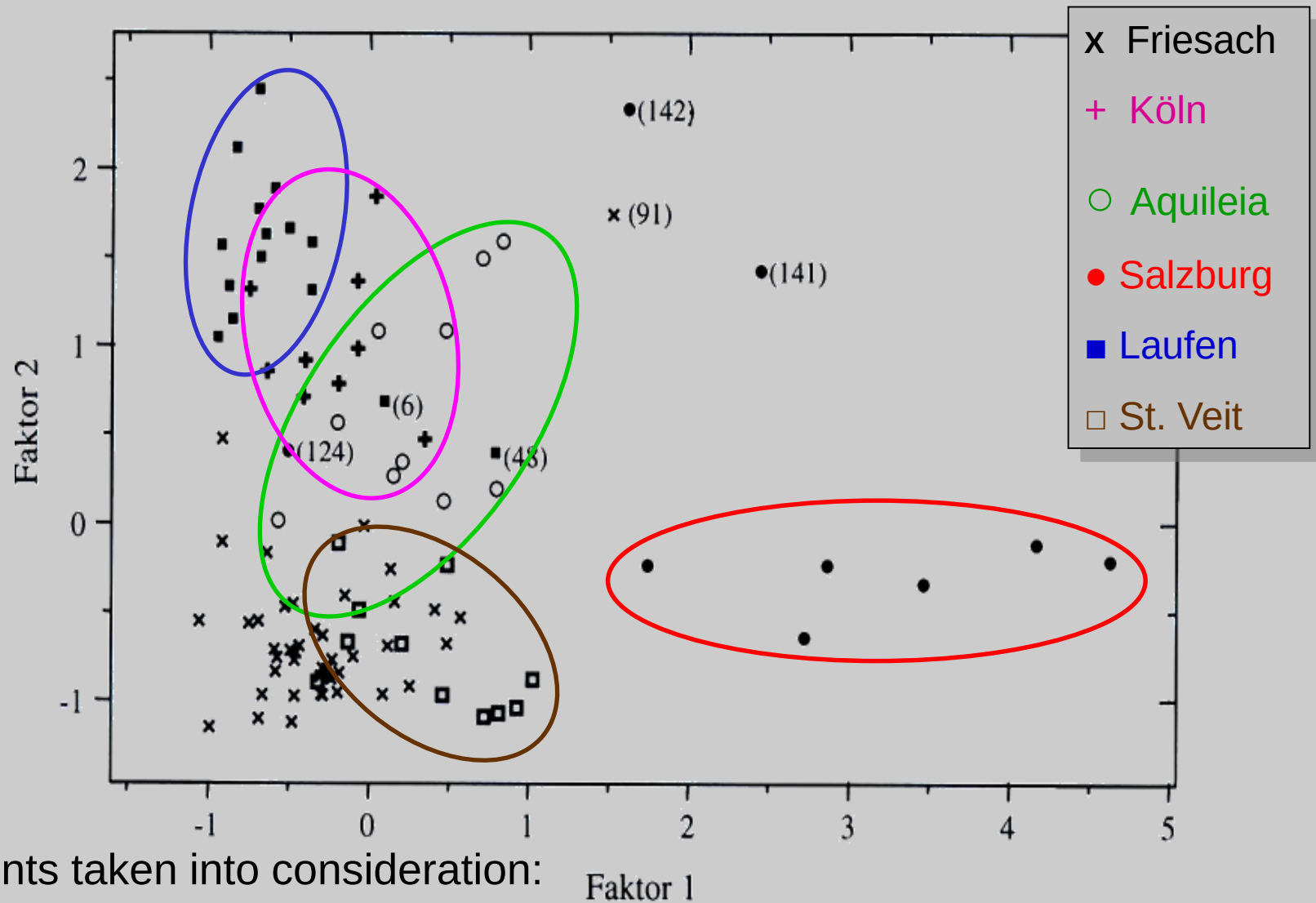
SLOVENIA

ITALY

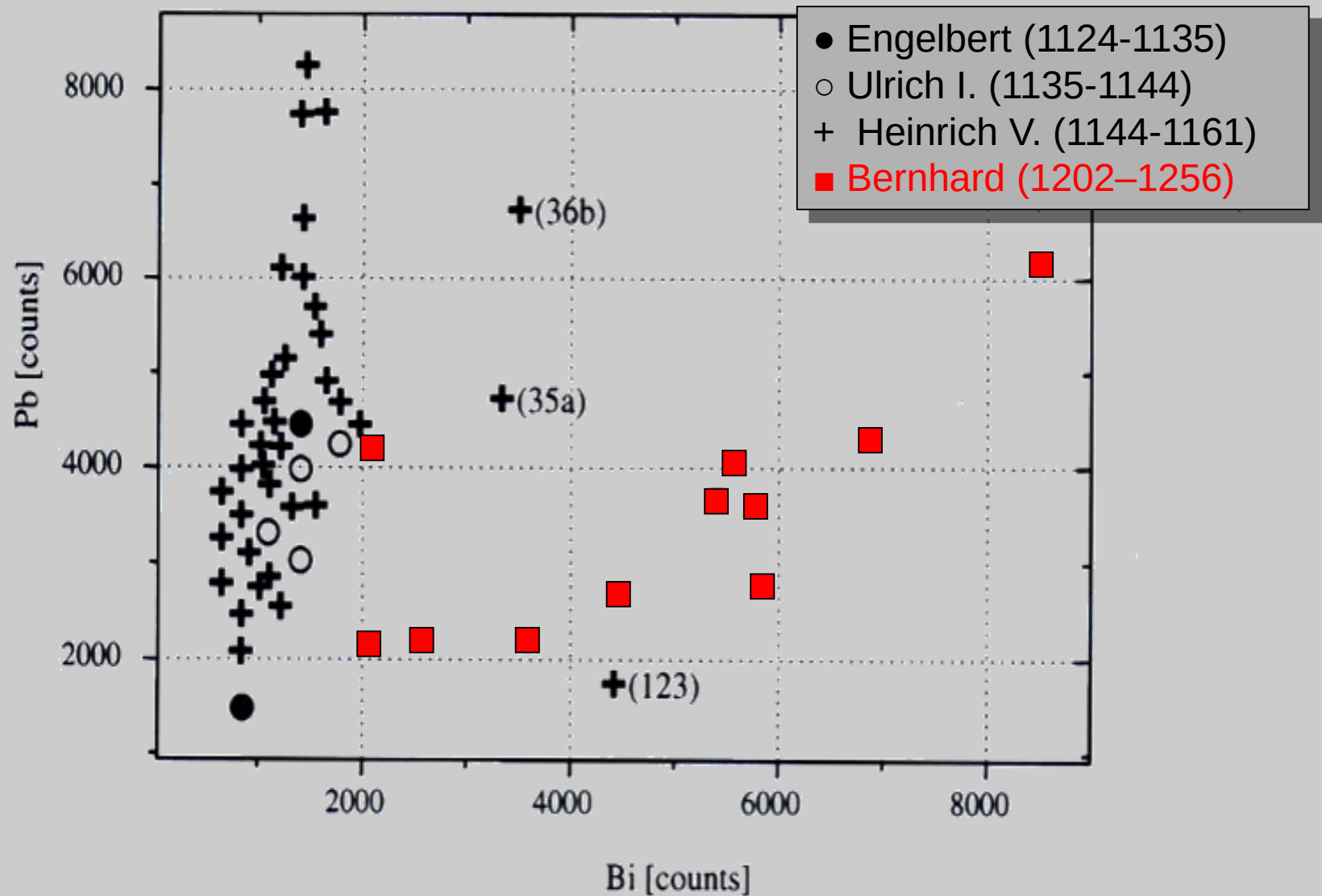
Aquileia

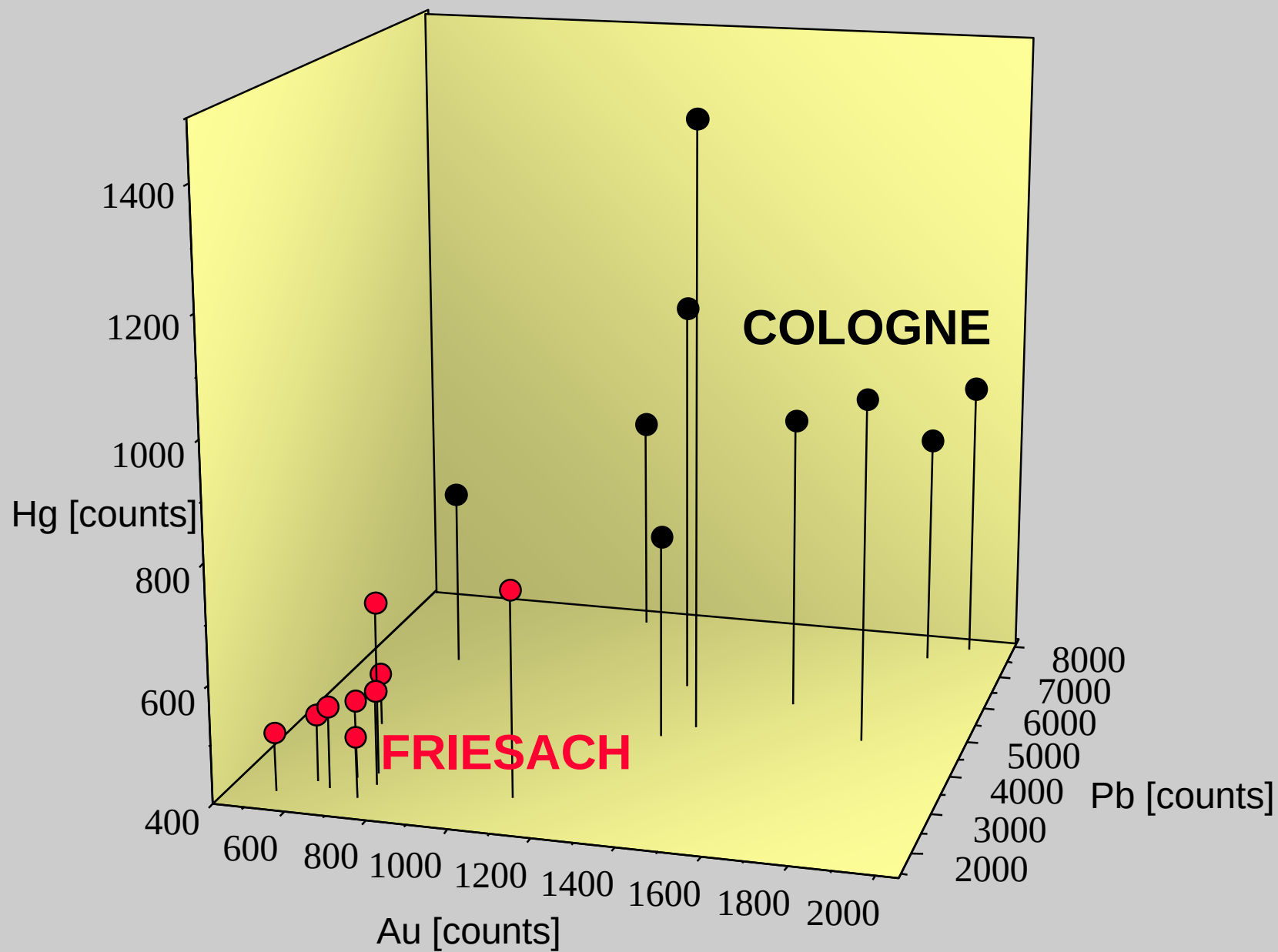
CROATIA

# Comparison of Coins with Known Origin



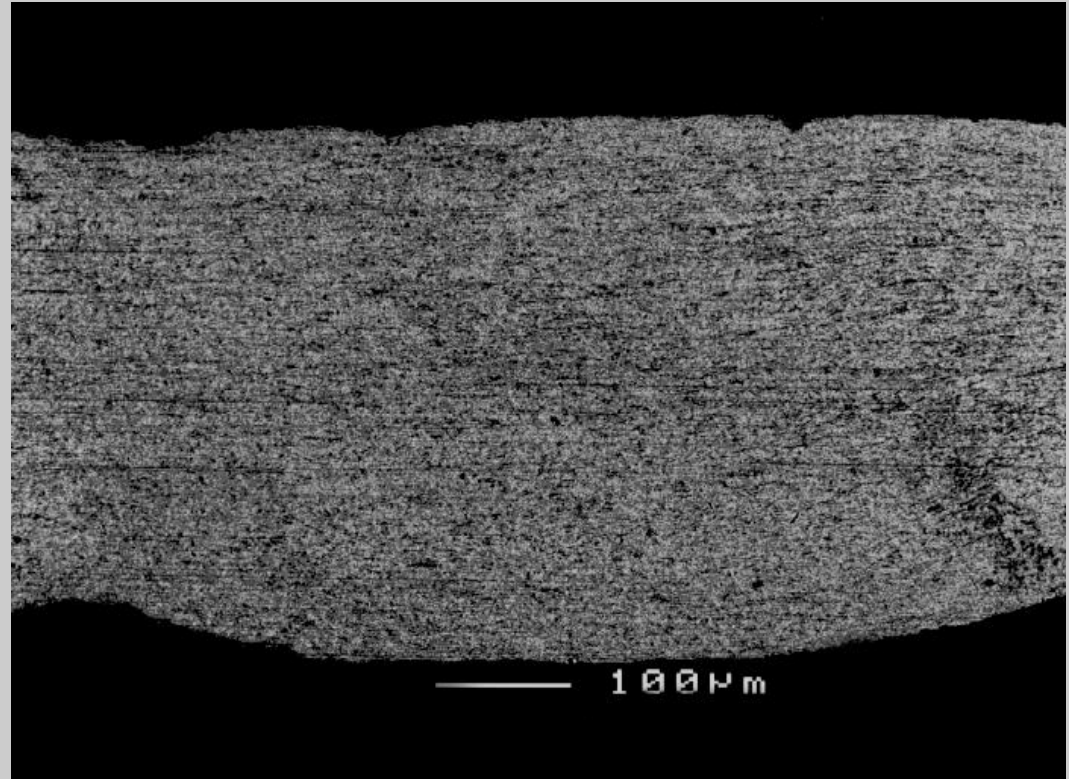
# Comparison of Early Ducal Coinage







Friesacher Pfennig:  
Eberhard I. (1147 –  
1164)

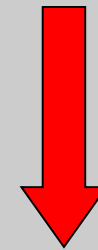


*Backscattered Electron (BE) image*

## Scanning Electron Microscopic (SEM) Investigations

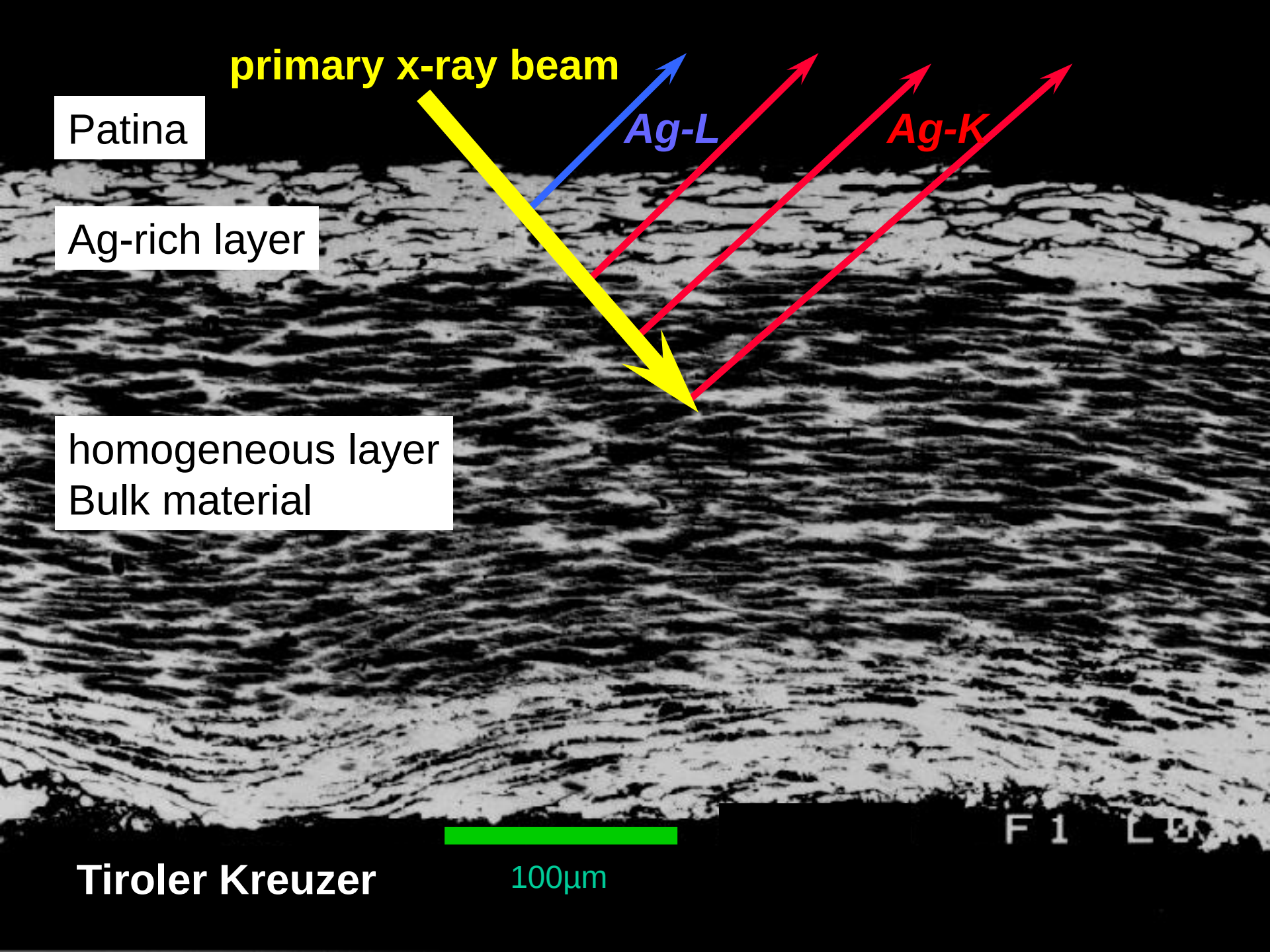


State of preservation after excavation



ultrasound,  
EtOH/  
Komplexone III





**primary x-ray beam**

Patina

Ag-rich layer

homogeneous layer  
Bulk material

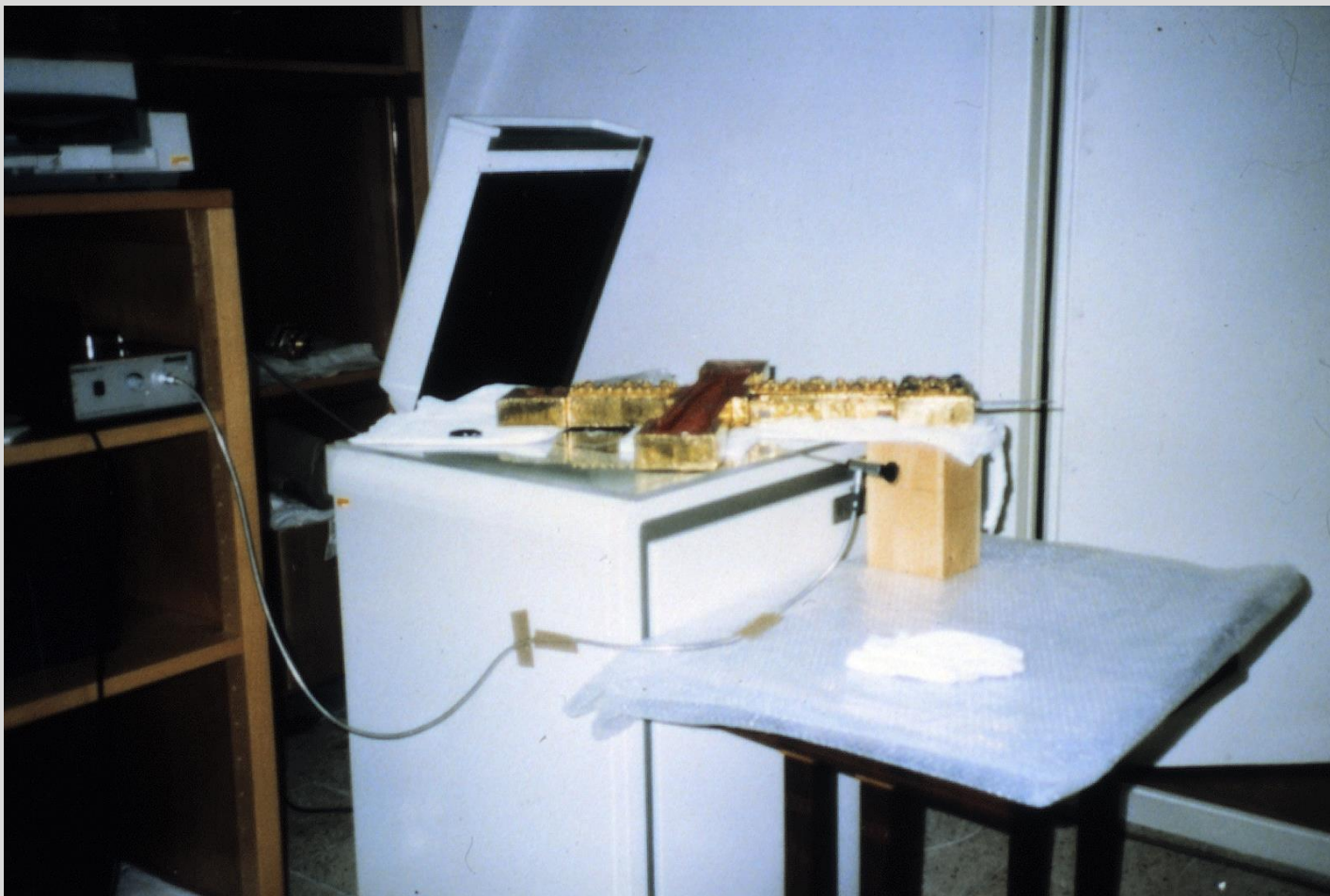
*Ag-L*

*Ag-K*

100µm

Tiroler Kreuzer

F1 L0,0

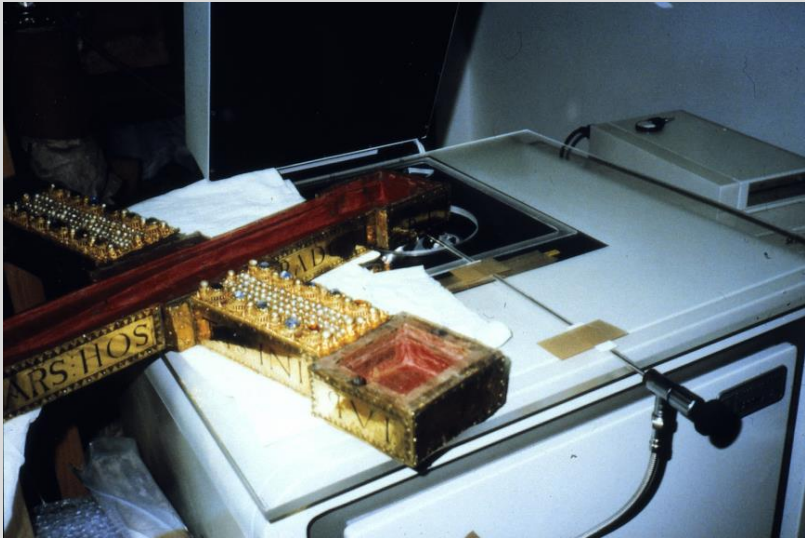


Analyse von Gold-Objekten in der Schatzkammer des Kunsthistorischen Museums

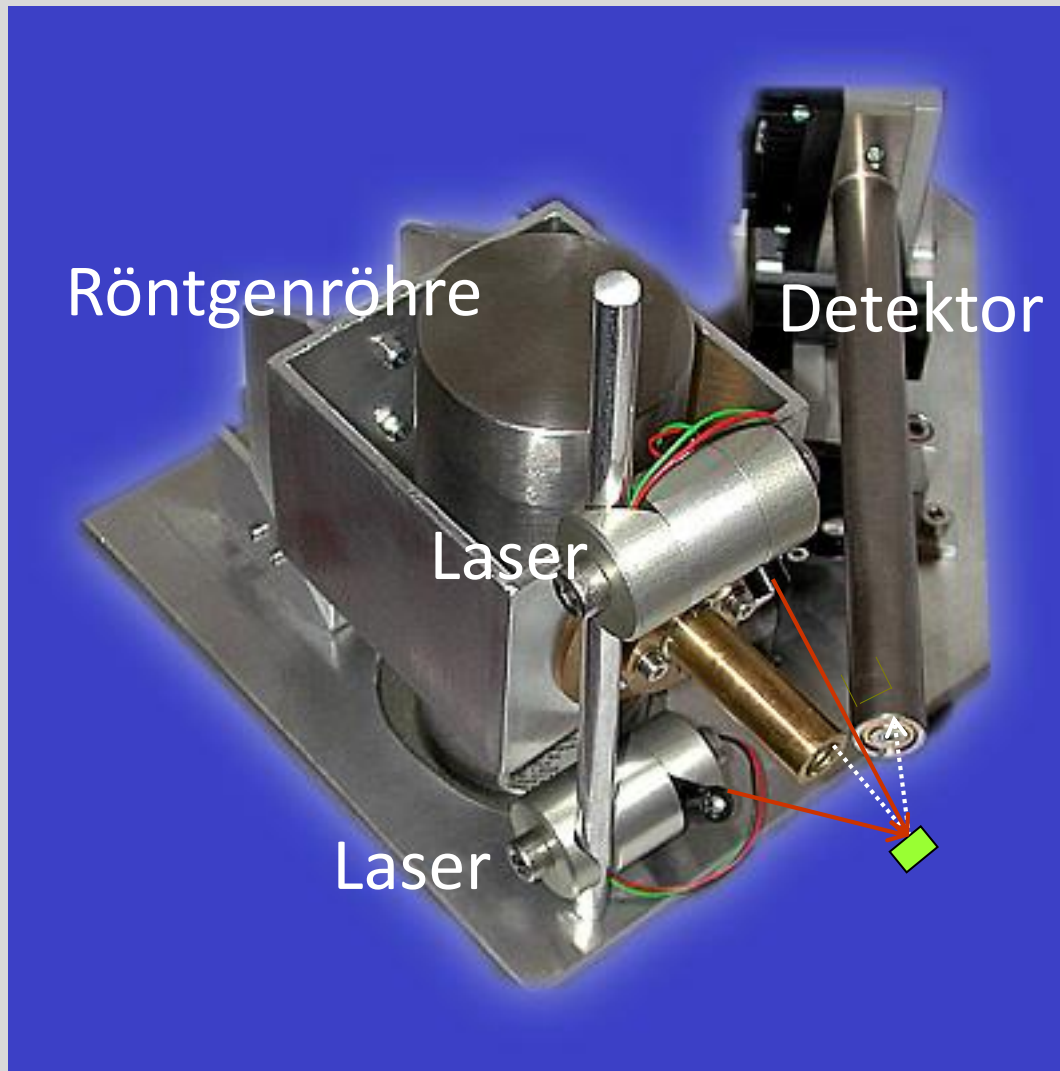
# Insignien des Hl. Röm. Reiches Deutscher Nation



Kunsthistorisches Museum Wien, Schatzkammer



RFA in der Schatzkammer  
des KHM



Selbstgebaute  
RFA-Apparatur  
zur Analyse von  
Kunstwerken



## Selbstgebaute RFA:

- 1mm Strahldurchmesser
- energiedispersiver Röntgen-detektor
- Rh Röhre (Oxford Instruments)
- 2 Laser zur Bestimmung des Analysenbereiches
- Software Lab View

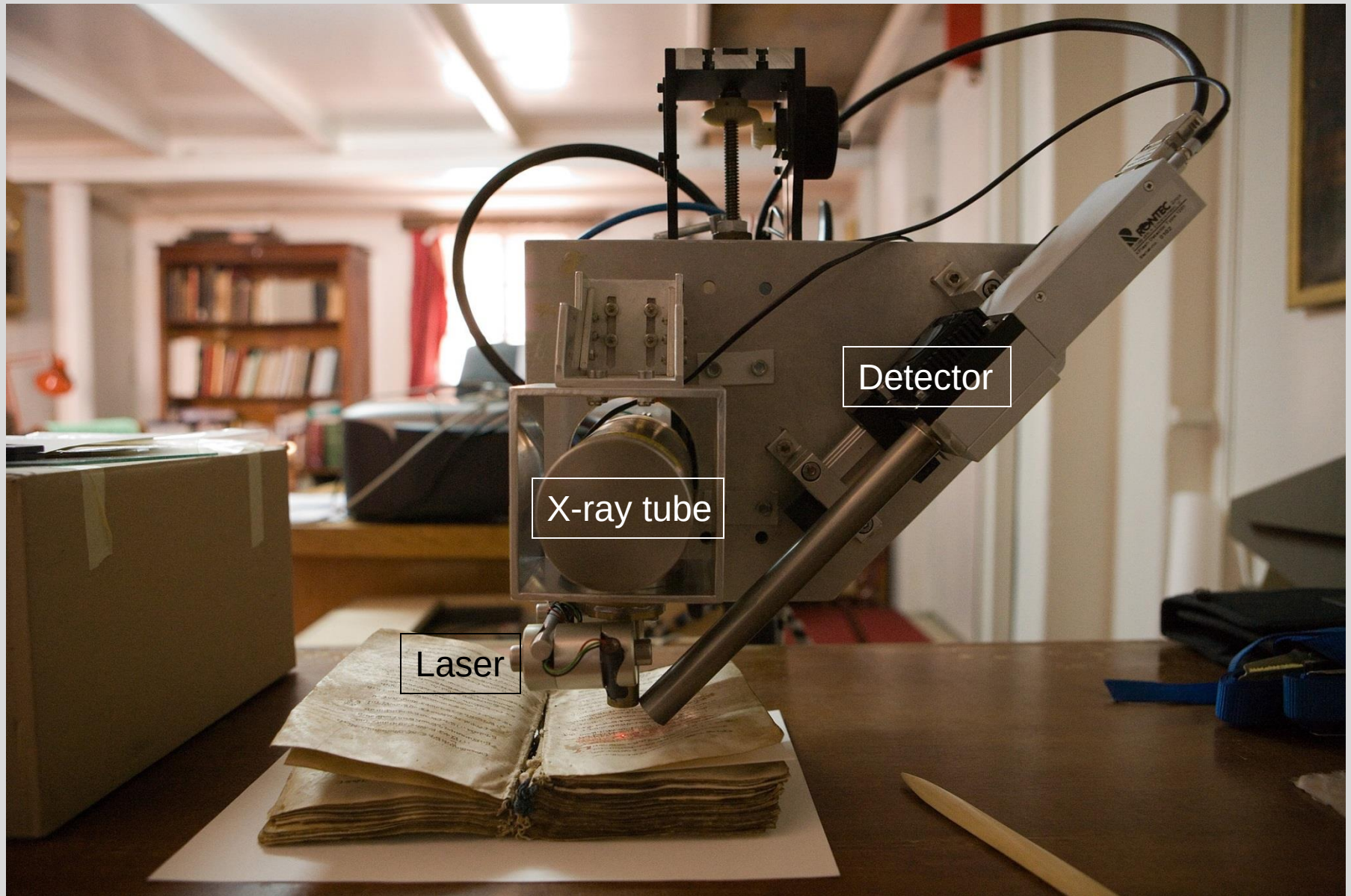




Katharinenkloster, Sinai / Ägypten

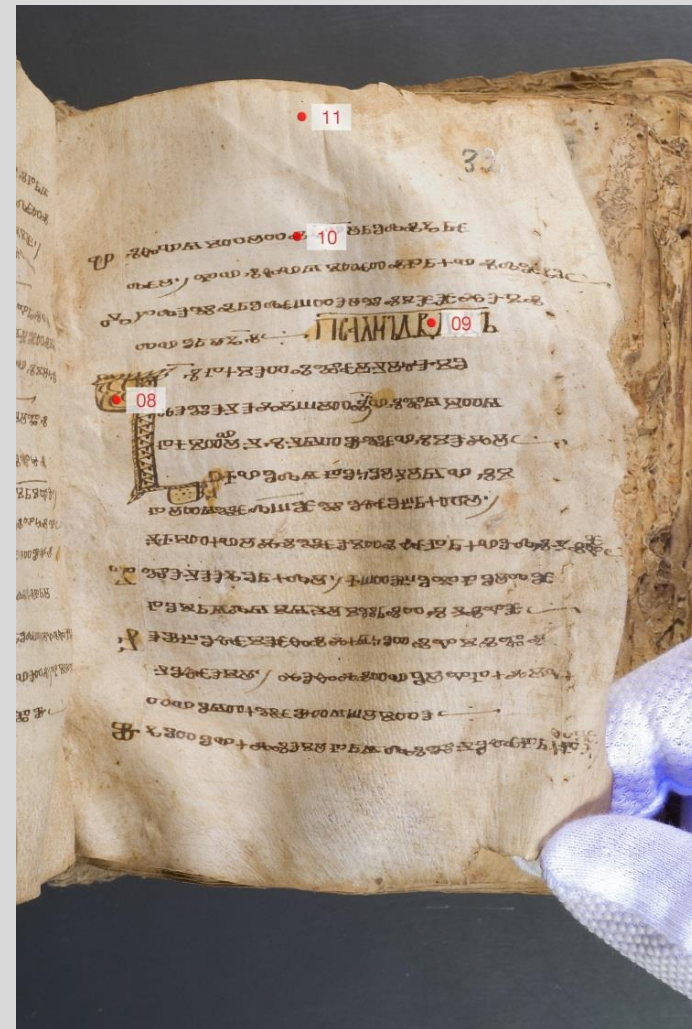


# RFA in der Bibliothek des Katharainenklosters

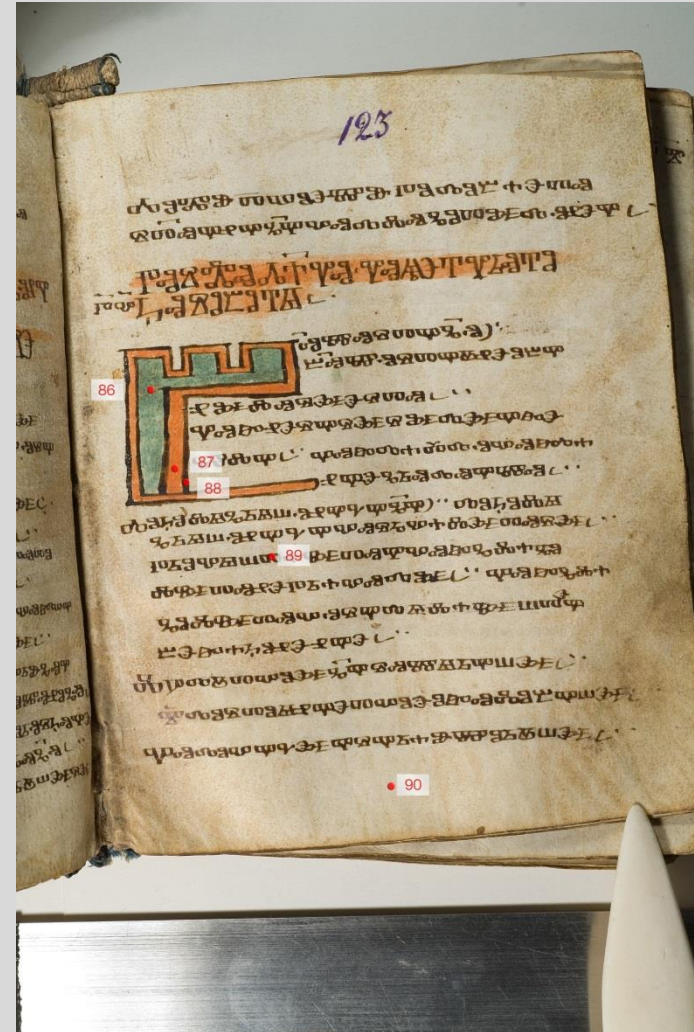
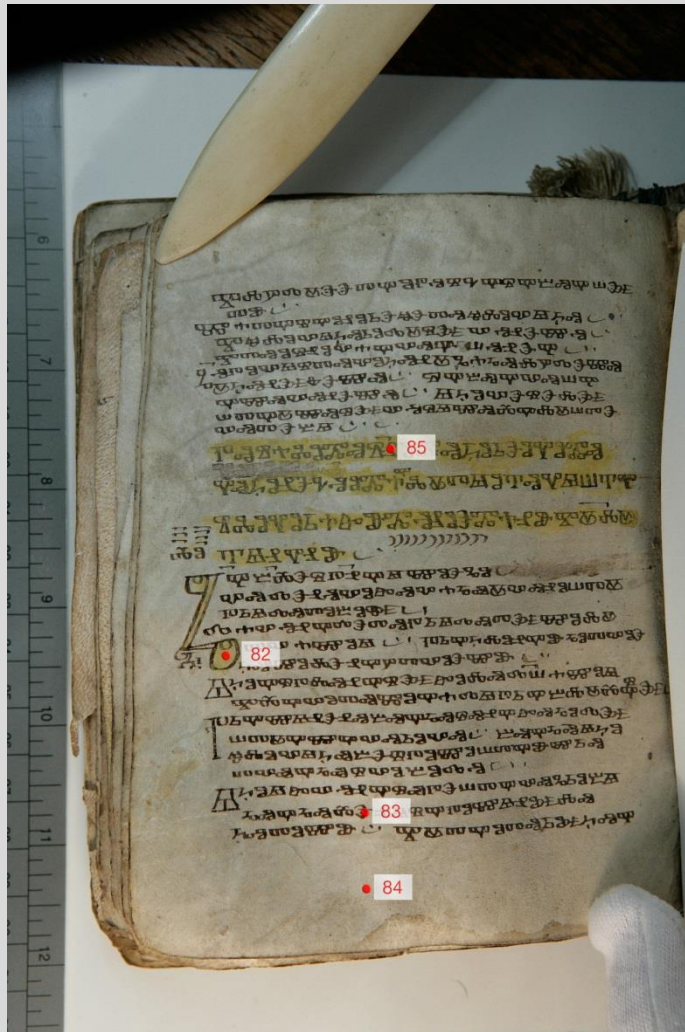


# RFA in der Bibliothek des Katharainenklosters



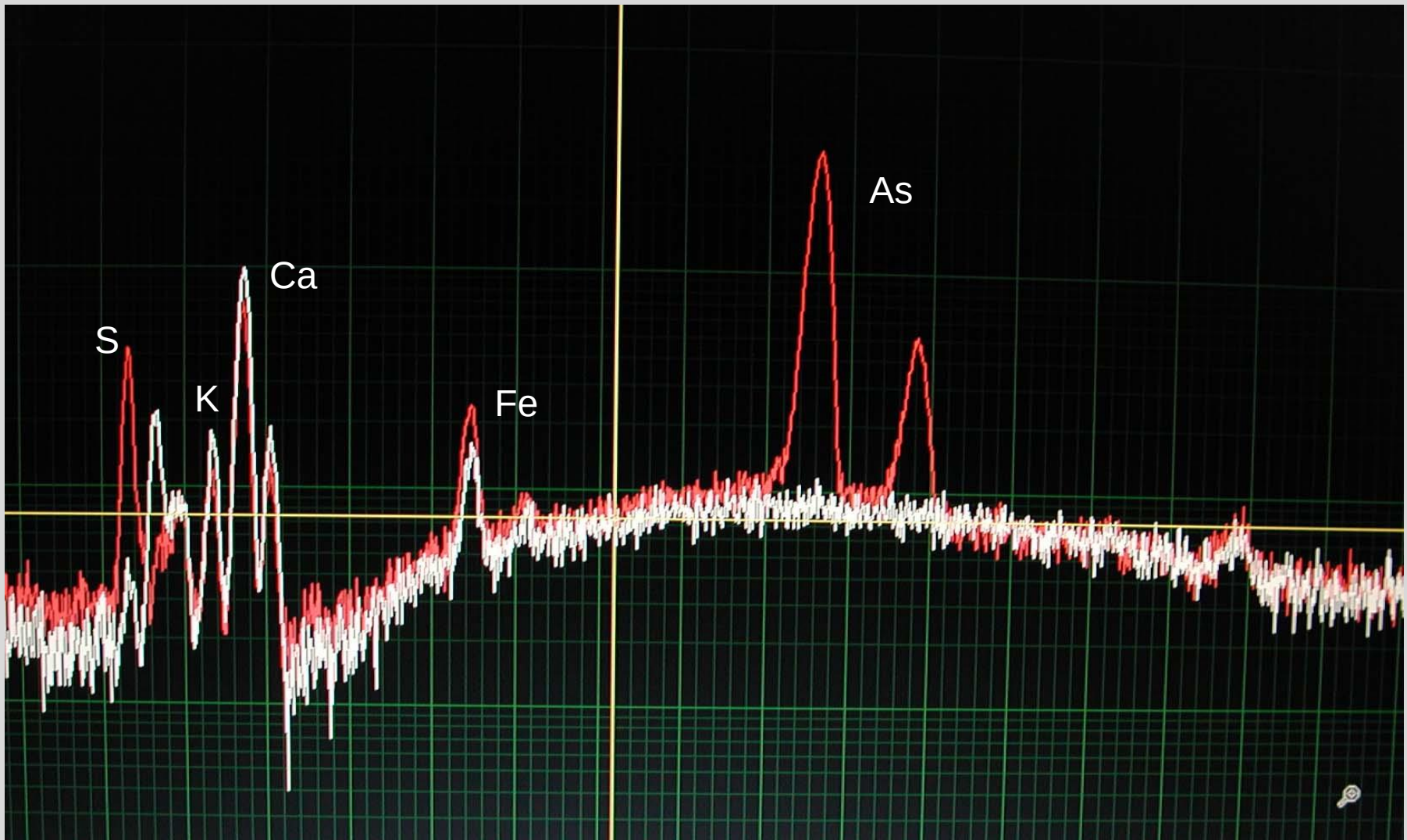


Glagolytische Handschrift, 11. Jh n.Chr.



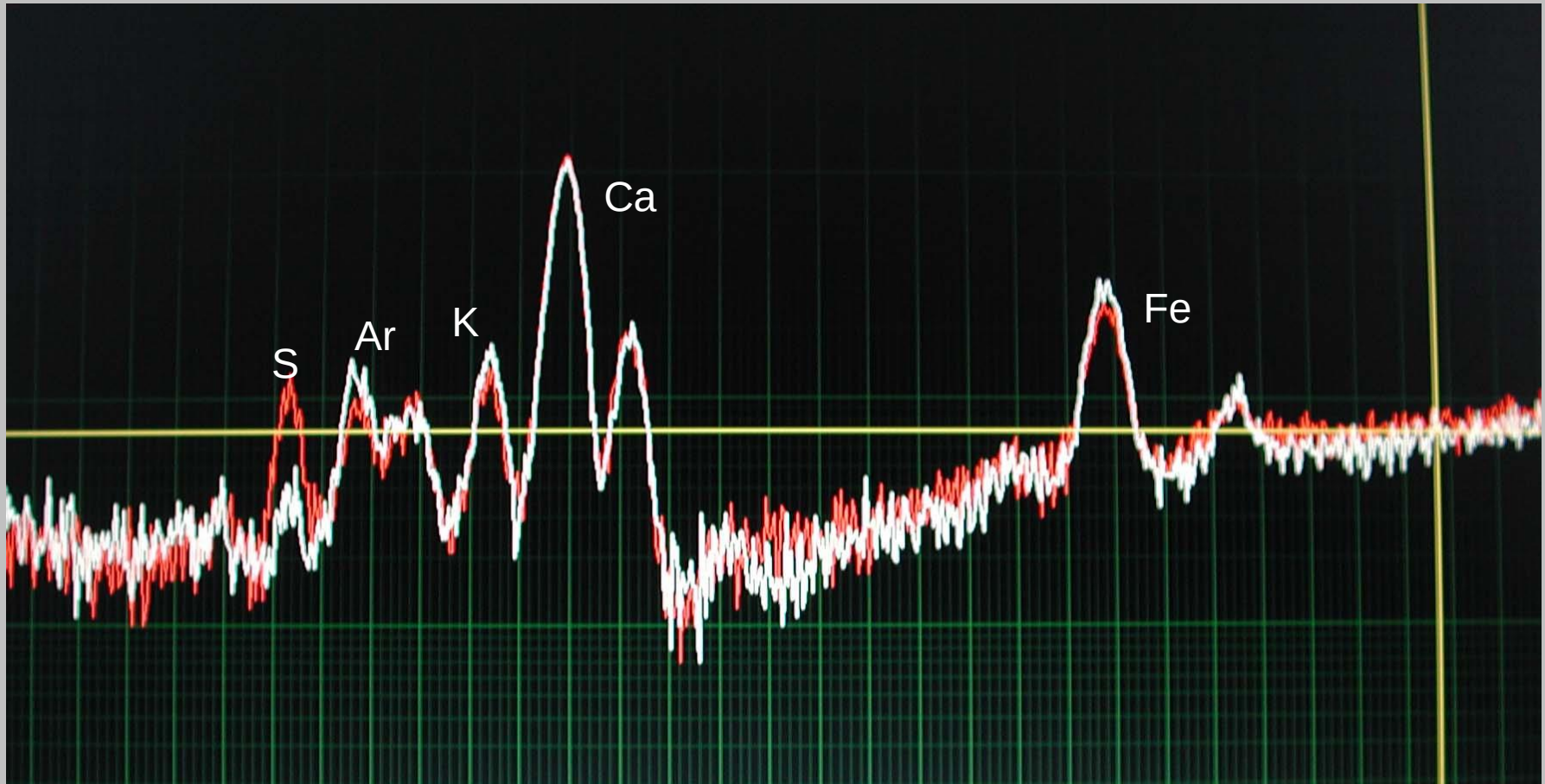
Glagolytische Handschrift, Cod.Sin.Slav.38/O, 11. Jh n.Chr.

# RFA-Ergebnis der gelben Markierung



Spektrum Pergament (weiß) und der gelben Markierung (rot) → As-Sulfid

# RFA-Ergebnis der gelben Markierung



Spektrum Pergament (weiß) und der gelben Markierung (rot) → organ. Farbstoff

## Pigments identified by XRF in the Glagolitic Manuscripts, 11<sup>th</sup> cent. AD:

- Green    Cu    →    Malachite or Verdigris
- Red      Pb    →    Minium
- Blue      Si, S, K, Ca, Fe → Lapislazuli
- Yellow    ---      organic material (dye)  
              As, S →    Realgar, Orpiment

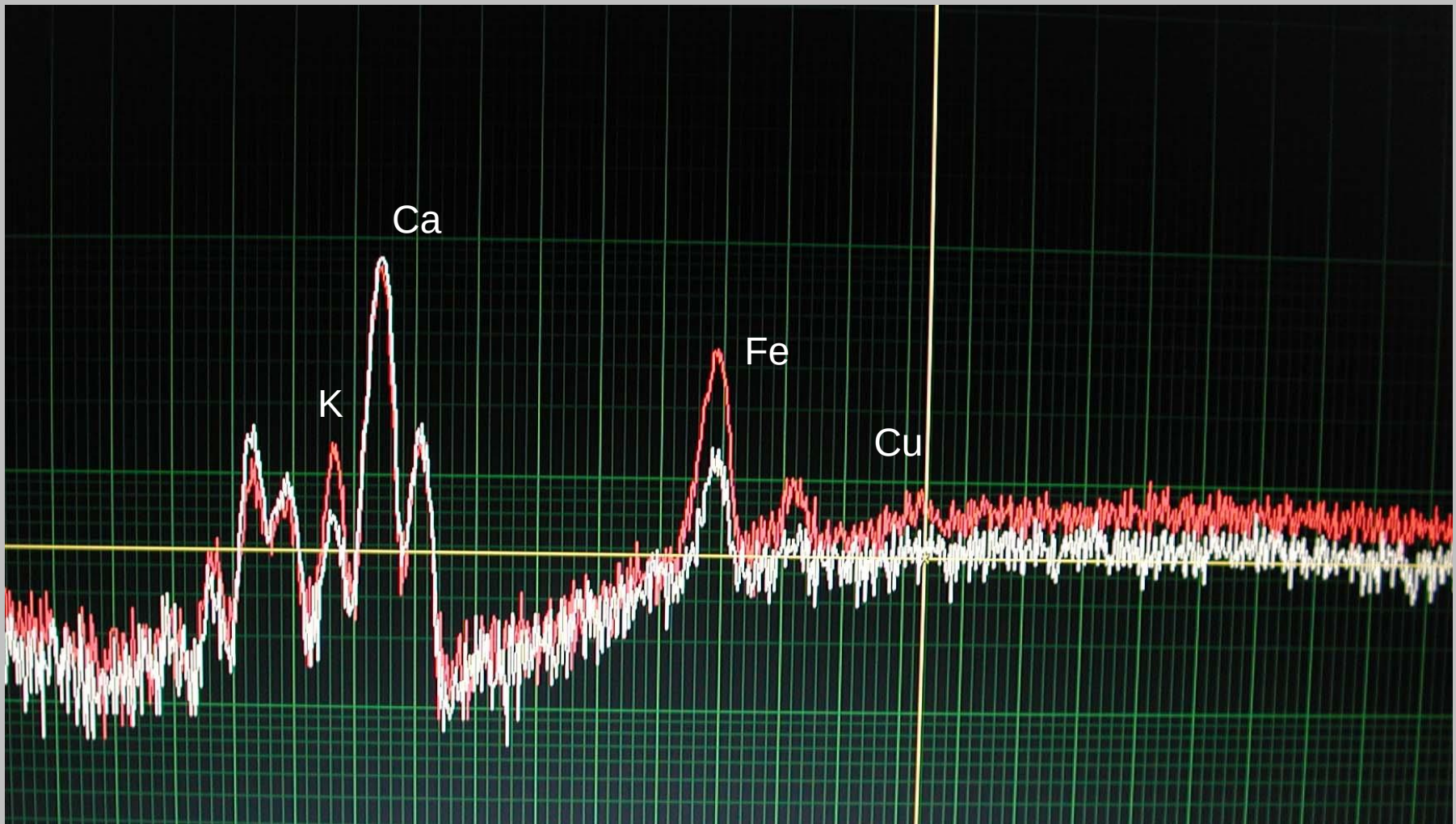
## Elements determined in the inks

- components:

ink: Fe, (Cu, Zn, Pb ....)

parchment: (Si, S, P) Cl, K, Ca, **Fe**

# RFA-Ergebnis der Tinte



RFA-Spektrum Pergament (weiß) und der Tinte (rot) → Eisengallustinte

## Elements determined in the inks

- components:

ink: Fe, (Cu, Zn, Pb ....)

parchment: (Si, S, P) Cl, K, Ca, Fe

differences of Zn, Cu, Pb can be used

→ statistical analysis

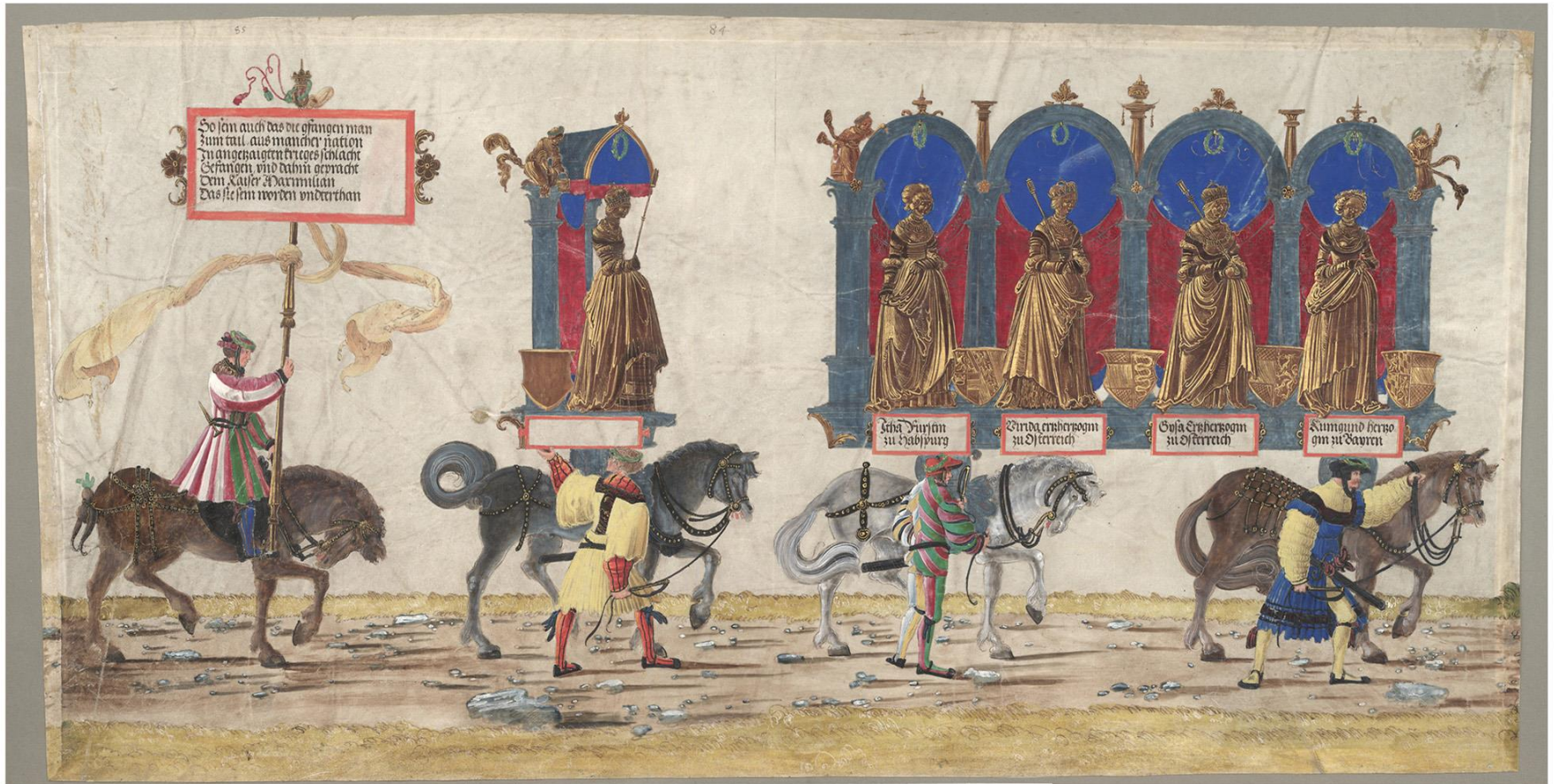
(Principal Component Analysis: PCA)

→ clusters



Siegeszug für Kaiser Maximilian I. von Albrecht Altdorf, um 1510  
Miniaturmalerei auf Pergament

Foto: ©Albertina



Siegeszug Kaiser Maximilian I. von Albrecht Altdorf, um 1510  
Miniaturmalerei auf Pergament

Foto: ©Albertina



RFA des Siegeszugs Kaiser Maximilian I von Albrecht Altdorf  
Miniaturmalerei auf Pergament

## Ergebnisse der RFA:

|      |                   |                                                         |
|------|-------------------|---------------------------------------------------------|
| Gold | Au                | reines Gold                                             |
| Weiß | Pb                | Bleiweiß                                                |
| Gelb | Pb, Sn<br>(S), As | Blei-Zinngelb<br>Arsensulfid<br>(Auripigment / Realgar) |
|      | - - -             | <i>org. Farbstoff</i>                                   |
| Rot  | (S), Hg           | Zinnober                                                |

Foto: ©Albertina

## Ergebnisse der RFA

|              |           |                                      |
|--------------|-----------|--------------------------------------|
| Blau         | Cu        | Azurit                               |
| Grün         | Cu, (Pb)  | Malachit oder Grünspan<br><i>???</i> |
| Rot (violet) | - - -     | <i>Krapplack ???</i>                 |
| Dunkelblau   | Pb, - - - | <i>Indigo ???</i>                    |
| Braun        | - - -     | <i>organic material ???</i>          |

**???**

### Eigenschaften der Röntgenstrahlung:

- Große Eindringtiefe (verglichen mit anderen Methoden), abhängig vom Material.
- Information des *gesamten analysierten Bereiches* wird detektiert – Vorsicht Rückseite!
- Im Spektrum kann (meist eindeutig) ein Element zugeordnet werden
- STRAHLENSCHUTZ beachten!!!

### Wichtigste Parameter der Geräte:

- Verwendetes Target(Röhren)material (z. B. Rh, Mo, Ag).
- Angelegte Spannung / Stromstärke
- Durchmesser des Röntgenstrahls, der auf das Objekt auftrifft
- Auflösung des Detektors