



Kunsttechnologische Untersuchungen

CICS

Institut für
Restaurierungs- und
Konservierungswissenschaft

Technology
Arts Sciences
TH Köln

Umschlagabbildungen:
 Jacopo de'Barbari,
Christusbildnis (Detail), um 1503,
 Klassik Stiftung Weimar
 Digitales Infrarot-Reflektogramm.
 Unter der Malschicht liegt die
 Zeichnung eines Johanneskopfes.



Kunsttechnologische Untersuchungen am CICS – Cologne Institute of Conservation Sciences Institut für Restaurierungs- und Konservierungswissenschaft

Am Cologne Institute of Conservation Sciences (CICS) werden Kunst- und Kulturgut untersucht und künstlerische Techniken, Werkstoffe und Farbmittel systematisch erforscht. Gegenstand der Untersuchungen sind die materielle Zusammensetzung und der Entstehungsprozess von Kunst- und Kulturgut.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen und Analysen können ein tieferes Verständnis dieser Werke ermöglichen und Forscherinnen und Forscher dabei unterstützen, u.a. Fragen zu Datierung, Zuschreibung, ursprünglichen Zusammenhängen und Zustandsveränderungen zu beantworten.

Kunstwerke werden am CICS vorrangig zerstörungsfrei, d.h. ohne jede Probenentnahme analysiert. Dabei kommen verschiedene moderne strahlendiagnostische Untersuchungstechniken zum Einsatz, die im Einzelfall durch Materialanalysen auf der Grundlage von Materialproben ergänzt werden.

Die Auswahl der Untersuchungsmethoden erfolgt in Abhängigkeit von der Objektbeschaffenheit und den Fragestellungen. Für jede Aufgabenstellung wird ein individuelles Untersuchungskonzept erstellt.

Das CICS setzt seine Laborkapazitäten primär studienbegleitend in Lehre und Forschung ein. In begrenztem Umfang können auch Aufträge von Museen, Denkmalpflege und Privatkunden angenommen werden. Die Beratungsleistungen und Untersuchungen werden von spezialisierten Mitgliedern des Kollegiums angeboten.

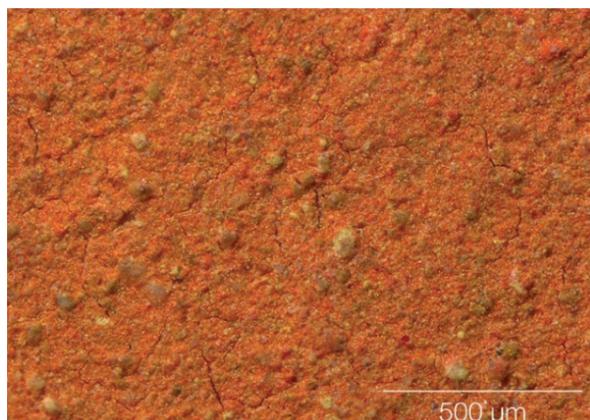
Fotos:
 © CICS – Cologne Institute of
 Conservation Sciences

| | |
|---|--------|
| Inhalt: | |
| Optische und strahlendiagnostische Untersuchungen (zerstörungsfrei)..... | 4 |
| Lichtmikroskopie..... | 4 |
| Bandpassfilter-Reflektografie im sichtbaren Licht und unter UV- und IR-Anregung..... | 4 |
| IR-Reflektografie..... | 5 |
| UV-Fluoreszenzuntersuchung..... | 6 |
| Röntgengrobstrukturuntersuchung (Digitale Radiografie)..... | 6 |
| Spektroskopische und materialanalytische Verfahren (überwiegend zerstörungsfrei)..... | 7 |
| Röntgendiffraktometrie (XRD)..... | 7 |
| Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)..... | 8 |
| VIS-Farbspektroskopie..... | 8 |
| Analyse von Materialproben (minimalinvasiv)..... | 9 |
| Mikroskopie: Anschliffe, Dünnschliffe..... | 9 |
| Faseranalyse..... | 10 |
| Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX)..... | 10 |
| FTIR-Spektroskopie..... | 11 |
| Raman-Spektroskopie..... | 11 |
| Ansprechpartner*innen..... | 12 |

Optische und strahlendiagnostische Untersuchungen (zerstörungsfrei)

Strahlendiagnostische Untersuchungen dienen der Generierung von Erkenntnissen über Kunstwerke, die dem bloßen Auge verborgen bleiben. Neben der vergrößerten Betrachtung der Oberfläche (Mikroskopie) können auch tiefere Bildschichten visualisiert werden (Infrarot-Reflektografie, Röntgenanalyse). Ergänzend werden strahlendiagnostische Verfahren auch zur Materialanalyse eingesetzt (Bandpassfilter-IR-Reflektografie, Röntgenfluoreszenzanalyse, Vis-Spektrometrie u.a.).

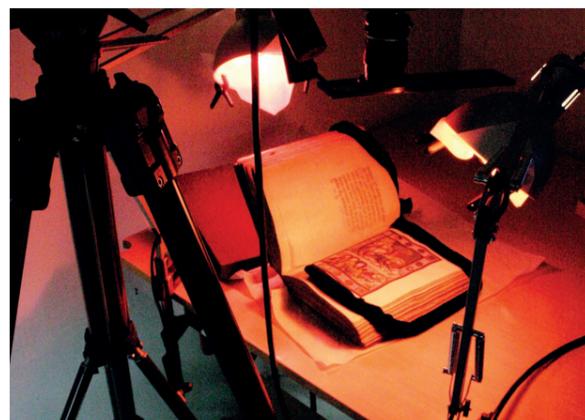
Lichtmikroskopie



Digitale Mikroskopaufnahme (200fache Vergrößerung) von Keimscher Mineralfarbe. Der orange Farbton entsteht aus der Mischung von Neapelgelb und Mennige.

Die mikroskopische Untersuchung gehört zu den Standardverfahren in der kunsttechnologischen Analyse. Sie kann vertiefende Erkenntnisse zum Aufbau und späteren Veränderungen eines Kunstwerkes liefern. Mikroskopische stratigrafische Untersuchungen dienen der Beurteilung von Farbschichtenfolgen und stehen häufig am Anfang weiterer Analysen. Am CICS werden hierfür traditionelle Stereo- und moderne Videomikroskope eingesetzt, die eine Betrachtung des Objektes mit einer bis zu 1000fachen Vergrößerung ermöglichen. Mit dem Videomikroskop können auch 3D-Aufnahmen der Oberfläche erzeugt werden.

Bandpassfilter-Reflektografie (UV, Vis, IR)



Bandpassfilter-Reflektografie

Die Bandpassfilter-Reflektografie wird insbesondere zur Untersuchung von Gemälden, Buchmalerei und Schriftdokumenten eingesetzt. Neben der Sichtbarmachung tieferliegender Bildschichten kann die Bandpassfilter-IR-Reflektografie zur Eingrenzung verwendeter Materialgruppen sowie zur Sichtbarmachung von verblassten und verkohlten Schriften dienen.

Die Verwendung von Bandpassfiltern erlaubt die differenzierte Untersuchung von Kunstwerken im Wellenlängenbereich von 200 – 1900 nm. Dabei wird das Objekt mit verschiedenen Filtern und drei verschiedenen Kameras aufgenommen. Die Bilder werden akkumulierend gespeichert und gemittelt. So kann das Rauschen bei höheren Wellenlängen weitestgehend unterdrückt werden.

Digitale Infrarot-Reflektografie



Lucas Cranach der Ältere: Ruhe auf der Flucht nach Ägypten (Detail), 1504, Staatliche Museen zu Berlin, Gemäldegalerie

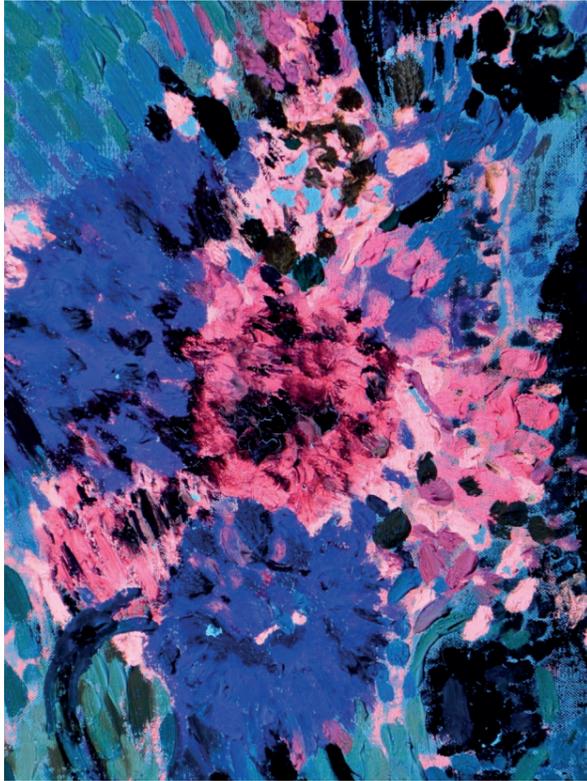
Die Infrarot-Reflektografie ermöglicht die Untersuchung tieferliegender Schichten insbesondere in Gemälden und Buchmalerei. Oftmals erlaubt diese Methode eine Visualisierung der Unterzeichnung, wenn diese z.B. mit einem kohlenstoffhaltigen Material (schwarze Tusche, Kohle, Grafit o.ä.) ausgeführt ist. Zudem können weitere Erkenntnisse über den Bildaufbau und über Zustandsveränderungen gewonnen werden. Die Infrarot-Reflektografie basiert auf der Tatsache, dass Infrarot-Strahlung tiefer als sichtbares Licht in (Mal-)Schichten eindringen kann und von verschiedenen Farbmitteln unterschiedlich absorbiert wird.



Das Infrarotreflectogramm zeigt die ausführliche Unterzeichnung mit Feder und Pinsel. Im Malprozess wurde die Bildkomposition leicht verändert.

Mit speziellen Detektoren kann dieses unterschiedliche Absorptionsverhalten für das menschliche Auge sichtbar gemacht werden. Die am CICS eingesetzte IR-Kamera detektiert Signale im Wellenlängenbereich von 900–1700 nm.

UV-Fluoreszenzuntersuchung



Stark ausgeprägte Fluoreszenzen unterschiedlicher Materialien

Unter UV-Strahlung können Oberflächenphänomene auf Kunstwerken sichtbar gemacht werden. Die UV-Fluoreszenz-Untersuchung dient insbesondere der Sichtbarmachung von Firnissschichten, Retuschen und Übermalungen. Gelegentlich kann sie auch zur Eingrenzung verwendeter Materialgruppen dienen.

Die kurzwellige UV-Strahlung kann an der Oberfläche eines Kunstwerkes Materialien (Firnisse, Bindemittel, Pigmente) zu Fluoreszenzen anregen. Unterschiedliche Fluoreszenzeigenschaften der verwendeten Werkstoffe ermöglichen eine differenzierte Wahrnehmung. Die Fluoreszenzunterschiede können unter Einsatz von UV-Filtern fotografisch dokumentiert werden.

Digitale Radiografie



Alberto Giacometti: *Femme au chariot*, 1945, Lehmbruck Museum, Duisburg: Röntgenaufnahme von Kopf und Brustkorb
Erstaunlicherweise fanden sich im Bereich des Kopfes als Teil der Armierung ein Handbohrer und im Bereich der Unterschenkel eine Feile eingearbeitet. Dieser, nur durch die radiologische Untersuchung mögliche Fund erlaubt uns einen Einblick in die sonst verborgene Innenstruktur des Werkes und verrät viel über die Werktechnik des Künstlers und seinen spontanen Umgang mit seinem Werkzeug.

Als Durchstrahlverfahren erlaubt die Röntgenstrukturanalyse Erkenntnisse über den strukturellen Aufbau von Kunst- und Kulturgut zu gewinnen. Mittels Röntgenaufnahmen können insbesondere Informationen zum Werkprozess (z.B. Pentimenti) und zu Zustandsveränderungen (z.B. Fehlstellen, Überarbeitungen) generiert werden. In begrenztem Umfang kann die Röntgenuntersuchung auch zur Erfassung von Materialgruppen dienen.

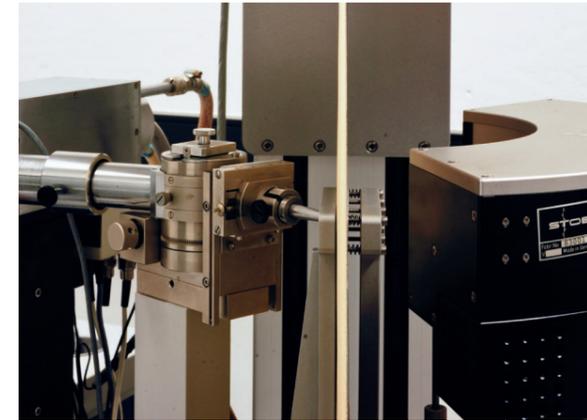
Am CICS wird seit mehreren Jahren die digitale Radiografie angewandt. In der Regel finden die Röntgenuntersuchungen in den strahlengeschützten Röntgenräumen des Institutes statt. Ein schienengeführtes, motorisiertes Aufnahmestativ ermöglicht das sequenzierte Belichten und anschließende digitale Montieren der Teilaufnahmen von großen Gemälden. Vermehrt wird die Röntgeneinrichtung auch im ortsveränderlichen Betrieb in Museen und Sammlungen als Dienstleistung oder im Rahmen von Forschungsvorhaben und Studienarbeiten durchgeführt.

Spektroskopische und materialanalytische Verfahren (überwiegend zerstörungsfrei)

Zahlreiche Materialien lassen sich auf der Grundlage ihrer Wechselwirkungen mit elektromagnetischer Strahlung identifizieren. Angewendet werden sichtbares (Vis = visible) Licht, Strahlung im infraroten (IR) und ultravioletten (UV) Bereich sowie Röntgenstrahlen.

Diese Wechselwirkungen können detektiert und bestimmten Materialien zugeordnet werden. Die Verfahren sind überwiegend zerstörungsfrei, das heißt es ist keine Probenentnahme notwendig.

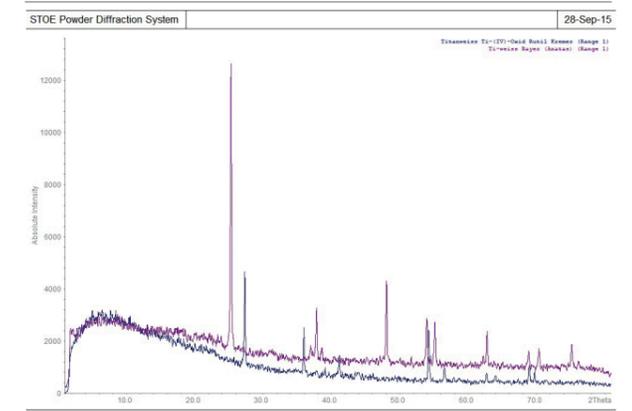
Röntgendiffraktometrie (XRD)



XRD: Bei Werken auf Papier ist die zerstörungsfreie Messung möglich.

Die Röntgenbeugung kann eine zerstörungsfreie Analyse von kristallinen Substanzen (z.B. Pigmente) auch in Mischungen ermöglichen. Das am CICS eingesetzte Gerät wurde derart modifiziert, dass eine zerstörungsfreie Messung direkt an einem Objekt möglich ist. Da der Röntgenstrahl das Objekt durchdringen muss, kommen nur dünne Materialien wie Malereien auf Papier, Pergament oder Textil in Betracht. Nachteil dieser Methode ist, dass die Farbstoffe kristallin sein müssen. Dies ist z.B. bei Pflanzenfarbstoffen und amorphen Pigmenten (u.a. einigen Kupfergrünpigmenten) nicht der Fall.

Bei dickeren Materialgefügen (Leinwandgemälde, Holztafeln etc.) ist für diese Methode eine geringe Probenentnahme notwendig.



Die Röntgendiffraktometrie erlaubt die Differenzierung von Titandioxid Antatas und Rutil.

Bei der Röntgenbeugung (XRD = X-Ray-Diffraction) trifft monochromatische Röntgenstrahlung auf eine kristalline Substanz. Dort wird der Röntgenstrahl an den Netzebenen des Kristalls in bestimmten Winkeln gebeugt. Jede kristalline Verbindung erzeugt somit ein ihr typisches „Beugungsmuster“.

Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

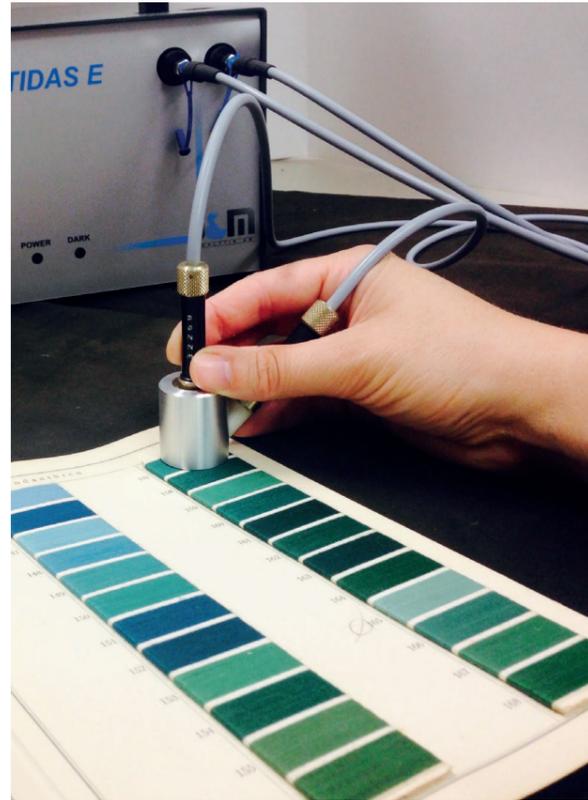


Röntgenfluoreszenzanalyse eines Gemäldes

Die Röntgenfluoreszenzanalyse ermöglicht die zerstörungsfreie Bestimmung von Elementen in verschiedenen Materialien. Sehr gut geeignet ist diese Methode z.B. für die Identifizierung von Metallen und Legierungen. Anhand der Elementzusammensetzung und der visuellen Merkmale können auch Pigmente in Malschichten identifiziert werden. Die RF-Analyse dient vor allem der Bestimmung von anorganischen Farbmaterien; organische Pigmente lassen sich mit dieser Methode nicht eindeutig identifizieren. Zudem wird die Interpretation der Analyseergebnisse durch Farbmischungen und mehrschichtige Farbaufträge erschwert. Die RF-Analyse wird deshalb häufig in Kombination mit anderen Analysetechniken angewandt.

Bei der Röntgenfluoreszenzanalyse werden Atome durch energiereiche Röntgenstrahlung zur Emission einer charakteristischen Energie, der Röntgenfluoreszenz, angeregt, aus der auf die Elementzusammensetzung geschlossen werden kann. Das Gerät ist durch seine geringe Größe mobil und vor Ort einsetzbar.

Vis-Farbspektroskopie



Vis-Spektrometer während der Messung einer Farbstoffreferenz

Mit transportablen Reflektionsspektrometern können die Spektralkurven aller Farbmaterien bestimmt werden. Viele Farbmittel kann man so ohne Probenentnahme analysieren. Auch Farbmischungen sind erfassbar; Weiß und Schwarz sind jedoch im farbmetrischen Sinne keine Farben, weswegen zu starke Ausmischungen damit das Ergebnis verunklären.

Die Vis-Farbspektrometrie misst die Reflexion des sichtbaren (visible) Lichtes (380–730 nm). Die Oberfläche des Untersuchungsobjektes wird mit sichtbarem Licht (2 Watt) beleuchtet und die remittierte Strahlung gemessen. Mithilfe einer Software werden die Messdaten in einen Graphen umgewandelt und können anschliessend interpretiert werden.

Analyse von Materialproben (*minimalinvasiv*)

Bei der Untersuchung von Kunstwerken können Fragestellungen aufkommen, welche sich mithilfe zerstörungsfreier Methoden allein nicht klären lassen. Eine Probenentnahme kann notwendig werden, wenn die Analysemethoden nicht am Objekt angewendet werden kann oder nur eine bestimmte Schicht untersucht werden soll. Man kann bei der Probenentnahme zwischen einer mehrere Schichten erfassenden Strukturuntersuchung (Stratigrafie) und einer Punktuntersuchung in einem bestimmten Bereich unterscheiden. Die Probenmenge ist abhängig von der jeweiligen Analysemethoden. Um den Eingriff am Objekt so gering wie möglich zu halten, kann eine Probe für verschiedene Analysen verwendet werden.

Mikroskopie: Anschliffe, Dünnschliffe, Streuproben, Holzanalyse



Pietà, um 1350, Köln Frechen-Buschbell

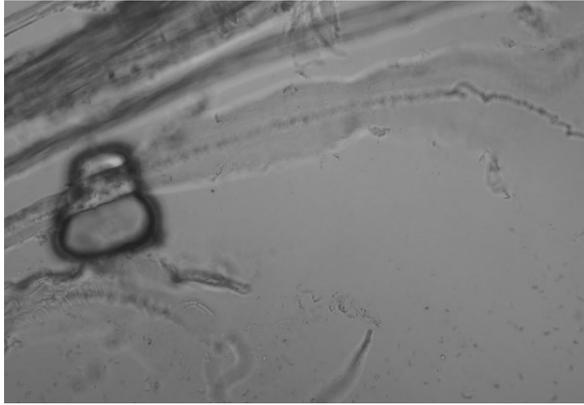
Die Querschliffe von Materialproben aus dem Inkarnat Jesu und der Innenseite des Marienmantels belegen zahlreiche Überarbeitungen der originalen Fassung.

Mittels der Mikroskopie können Materialproben bei hoher Vergrößerung genauer charakterisiert werden. Auch lassen sich mit dieser Methode Informationen zu Schichtenfolgen gewinnen. Nach geeigneter Aufbereitung, u.a. in Anschliffen oder Dünnschliffen werden die Materialproben unter Verwendung unterschiedlicher Beleuchtungstechniken (farbiges, UV- oder polarisiertes Licht) untersucht und gegebenenfalls in Kombination mit weiteren Verfahren (z.B. materialspezifischen Anfärbetechniken) genauer charakterisiert. Proben von Pigmenten, Fasern und Holz lassen eine genaue Bestimmung des Materials zu. Der Aufbau einer komplexen Malschicht ist in Anschliffen darstellbar. Unter dem Mikroskop sind dann die Schichtenfolge sowie die Verteilung und die Größe der Pigmente zu erkennen.



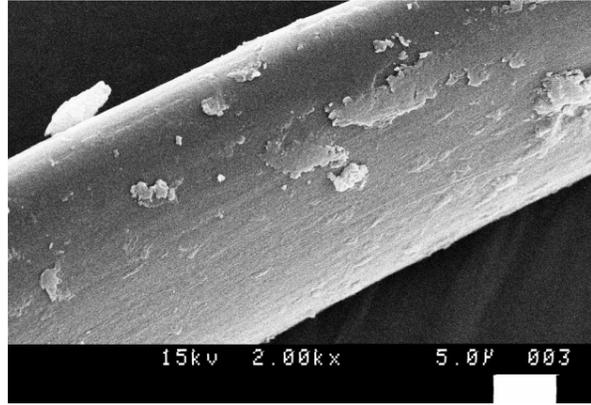
Anschliffe eines Geigenlacks im sichtbaren Licht sowie unter Blau- (mitte) und UV-Anregung (rechts)

Faseranalyse



Bei der Faseranalyse des Kettensystems eines textilen Bildträgers eines Gemäldes zeigt die Reaktion mit Kupferoxidammoniak deutlich sichtbare Plasmafasern. Somit handelt es sich um eine Flachfaser.

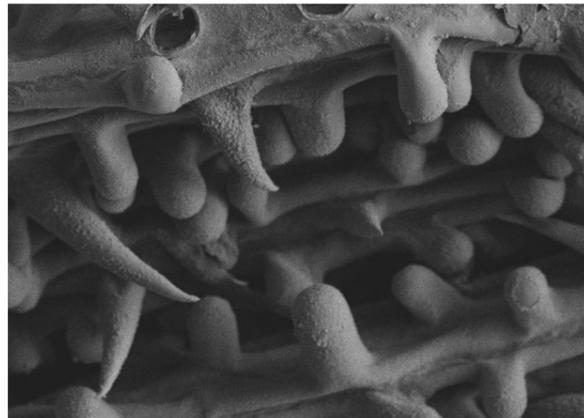
Zur Faserbestimmung und Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit von Fasern, Garnen und Flächengebilden werden verschiedene mikroskopische Techniken eingesetzt, die sich Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung und dem strukturellen Aufbau der Fasern zu Nutze machen.



Bei der Untersuchung von Muschelseide-Fasern mit dem REM wird die charakteristische glatte, strukturlose Oberfläche mit feinen Längsrillen und krümeligen Auflagerungen sichtbar.

Darüber hinaus lassen sich so auch Faserauflagerungen und Strukturverletzungen untersuchen und chemische und mikrobielle Schäden nachweisen.

Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX)

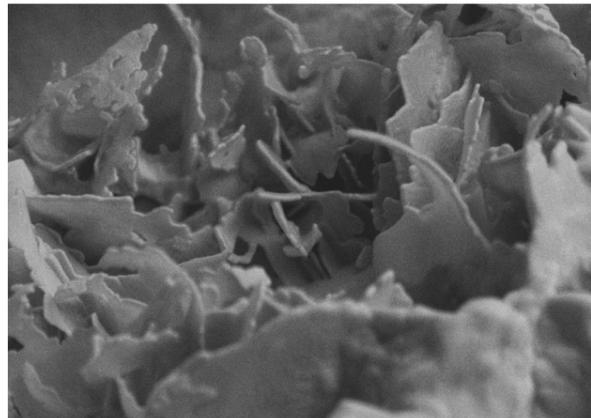


Innere Struktur von Espartogras (Lygeum) und kristalline Ablagerungen in Halfagras (Stipatenacissima) im REM

Mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) sind Vergrößerungen bis 10.000fach möglich. Selbst kleinste Strukturen von Materialproben können so erfasst werden. Mittels der Energiedispersiven Röntgenspektroskopie (EDX) können Elementanalysen erfolgen. In Querschliffen von Malschichten können mittels EDX einzelne anorganische Pigmente und Metalle bestimmt werden.

Das Rasterelektronenmikroskop am CICS hat im Laufe der Jahre schon viel gesehen: Von winzigen Pigmentproben aus den Gemälden bekannter Künstler, über mikrobiell befallene Gesteinsproben aus alten römischen Denkmälern bis hin zu Fasern aus ägyptischen Grabbeigaben.

Im Rasterelektronenmikroskop wird die Oberfläche mittels eines sehr fein gebündelten Elektronenstrahls abgetastet. Da nur leitende Oberflächen dargestellt werden können, müssen die Proben aus organischen Materialien durch Aufdampfen eines Metallfilmes (z.B. Gold) leitend gemacht werden.



Für die Bestimmung der Elemente werden Atome durch Elektronenbeschuss zur Emission einer charakteristischen Röntgenstrahlung angeregt, nach der auf die Elementzusammensetzung geschlossen werden kann.

Im Frühjahr 2014 hat das CICS zwei neue Rasterelektronenmikroskope (ZEISS SIGMA VP und ZEISS EVO LS10) bekommen. Die Feldemissionskathode beim SIGMA VP liefert dabei besonders hochwertige Aufnahmen. Die spezielle Ausrüstung des EVO LS10 mit einem Peltier-Element erlaubt Untersuchungen von Materialien unter variablen klimatischen Bedingungen: So können z.B. Salzkristalle bei ihrer Bildung beobachtet oder die Dimensionsänderungen von Holz unter extremen Klimaschwankungen bei starker Vergrößerung studiert werden, was die Forschungsinhalte am CICS um wichtige Gebiete erweitert.

Fourier-Transformations-Infrarotspektrometrie (FTIR)



FTIR-Spektrometer mit Mikroskop

Die Methode ermöglicht die Analyse von organischen und anorganischen Verbindungen. Für die zerstörungsfreie Analyse ist die Messung auch in Reflexion direkt auf einer Malerei möglich. Schwierig ist die Analyse von Mischungen. Es kann sein, dass eine Verbindung so dominant ist, dass die andere nicht zu erkennen ist. Hier hilft dann nur die Trennung der beiden Komponenten.

Mit einem IR-Spektrometer werden die funktionellen Gruppen in einer Verbindung zu Schwingungen angeregt. Die Energie, die dafür benötigt wird, wird dem eingestrahlten Spektrum entzogen. Dadurch entsteht ein für die Verbindung charakteristisches Absorptionsspektrum.

Raman-Spektroskopie



Raman-Spektroskopie mit gekoppeltem Mikroskop

Die Raman-Spektroskopie erlaubt die Charakterisierung von organischen und anorganischen Verbindungen. Die Materialien können aus einer oder auch aus mehreren Komponenten bestehen. Besonders bewährt hat sich die Methode bei der Identifizierung von synthetisch organischen Pigmenten. Die Raman-Spektroskopie ermöglicht die Untersuchung von hochatomaren Molekülen, so ist z.B. Graphit von Ruß zu unterscheiden.

Die Raman-Spektroskopie kann mit entsprechenden Geräten zerstörungsfrei erfolgen. Das am CICS eingesetzte Gerät ermöglicht die zerstörungsfreie Untersuchung von kleinen Objekten, bei Gemälden ist derzeit noch eine Probenentnahme notwendig. Mittels des eingebauten Mikroskops können einzelne Pigmentkörner analysiert werden.

Die Raman- und die FTIR-Spektroskopie ergänzen einander sehr gut, da es IR-aktive und ramanaktive Schwingungen in Molekülen gibt.

Der Raman-Effekt wird durch starkes Licht (Laserstrahlung) erzeugt. Durch die Polaritätsänderungen werden die funktionellen Gruppen zur Schwingung angeregt und es entstehen Absorptionsspektren. Hinderlich bei der Messung ist die Fluoreszenz, die bei manchen organischen Materialien (z.B. Bindemitteln) die Ergebnisse überdeckt.

Ansprechpartner*innen:

Gemälde, Skulpturen und moderner Kunst

Prof. Dr. Gunnar Heydenreich

E: gunnar.heydenreich@th-koeln.de

Prof. Hans Portsteffen Dipl.-Rest.

E: hans.portsteffen@th-koeln.de

Prof. Dr. Regina Urbanek

E: regina.urbanek@th-koeln.de

Objekte aus Holz und Werkstoffe der Moderne

Prof. Dr. Friederike Waentig

E: friederike.waentig@th-koeln.de

Schriftgut, Grafiken, Fotografien und Buchmalerei

Prof. Dr. Robert Fuchs

E: robert.fuchs@th-koeln.de

Textilien und Archäologische Fasern

Prof. Dr. Annemarie Stauffer

E: annemarie.stauffer@th-koeln.de

Wandmalerei und Objekte aus Stein

Prof. Adrian Heritage Dipl. Cons. M.A. ACR

E: adrian.heritage@th-koeln.de

Prof. Dr. Peter Kozub

E: peter.kozub@th-koeln.de

Naturwissenschaftliches Labor

N.N.

Petra Christian

Sekretariat

T: +49 221 8275-3454

F: +49 221 8275-3485

E: petra.christian@th-koeln.de

Raum 116

Hausanschrift:

Technische Hochschule Köln

CICS – Institut für

Restaurierungs- und

Konservierungswissenschaft

Campus Südstadt

Ubierring 40

50678 Köln



www.th-koeln.de/cics

CICS

Institut für

Restaurierungs- und

Konservierungswissenschaft

**Technology
Arts Sciences**

TH Köln