

251.705 Untersuchungsmethoden der Denkmalpflege

Teil 6, Naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden in Bau- und Kunstdenkmalpflege

1. Raumklima
2. Schadstoffmessungen
3. Lichtmikroskopie
4. Rasterelektronenmikroskopie (REM)
5. Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)
6. Röntgendiffraktion (XRD)
7. Fouriertransformierte Infrarotspektroskopie (FTIR)
8. Radiocarbonatierung (^{14}C -Datierung)
9. Dendrochronologie
10. Thermolumineszenz (TL-Datierung)
11. Isotopenanalytik

1. Raumklima

Das Raumklima hat einen wesentlichen Einfluss auf die Erhaltung von Kunst- und Kulturgut.

Unter einem „optimalen Raumklima“ versteht man möglichst stabile Parameter, die den jeweiligen Bedürfnissen der Umgebung bzw. der Objekte angepasst sind.

„Optimales Raumklima“ stets als Kompromisslösung (z.B. Metalle vs. organische Materialien)

aktive vs. passive Klimakontrolle (Ampelsystem)

Mögliche Folgen bei Vernachlässigung:

- Degradation (Korrosion, Vergilbung, Rissbildung,..)
- Schimmelbildung
- Schädlingsbefall
- ...

Daniel Libeskind:
Militärhistorisches Museum der Bundeswehr, Dresden

Parameter:

- Luftfeuchtigkeit
- Temperatur
- Luftschadstoffe
- Beleuchtung
- Luftwechselrate
- ...



Die Luftfeuchtigkeit

Luft kann in Abhängigkeit von der Temperatur und dem Luftdruck, Wasserdampf aufnehmen. Diesen Anteil bezeichnet man als Luftfeuchtigkeit. (Nebel oder Schnee wird nicht der Luftfeuchtigkeit zugerechnet, da nicht gasförmig.)

Die **absolute Luftfeuchtigkeit** f gibt die Masse des Wasserdampfs an, die sich in der Volumeneinheit befindet (g/cm^3 oder g/m^3)
Die bei der bestimmten Temperatur T maximal mögliche absolute Luftfeuchtigkeit f_s entspricht dem Sättigungsdampfdruck des Wassers an Luft.

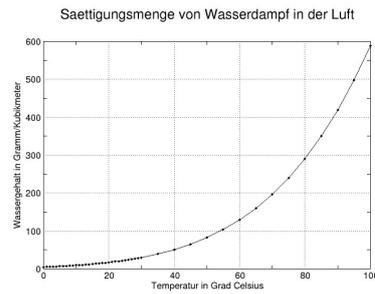
Die **relative Luftfeuchtigkeit** f_r entspricht dem Verhältnis der Masse des tatsächlich vorhandenen Wasserdampfs zu der Masse, die bei gegebener Temperatur im Sättigungszustand vorhanden wäre ($f_r \cdot 100$: Angabe in %)

$$f_r = f/f_s$$

relative Luftfeuchtigkeit = vorhandene abs. Feuchte / maximale abs. Feuchte

Bsp: Sättigungsgehalt von Wasser in Luft ist bei 17°C: 14,4 g/m^3

Enthält Luft von 17 °C 12 g Wasserdampf/ m^3 , so beträgt die relative Luftfeuchtigkeit: $(12/14,4) \cdot 100 = 83 \%$

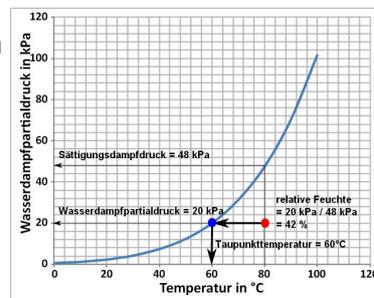
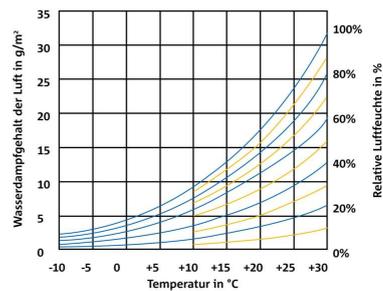


Da von der Temperatur die maximal aufnehmbare Wasserdampfmenge abhängt, ändert sich mit der Temperatur auch die relative Luftfeuchtigkeit. Senkt man beispielsweise die Raumluft von 20°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50% auf 18°C ab, steigt die relative Luftfeuchtigkeit um 7%. Grund dafür ist, dass bei sinkender Temperatur die maximal aufnehmbare Wasserdampfmenge abnimmt.

Taupunkt:

Der Taupunkt, auch die Taupunkttemperatur, ist bei Luft mit einer bestimmten Luftfeuchtigkeit diejenige Temperatur, die bei konstantem Druck unterschritten werden muss, damit sich Wasserdampf als Tau oder Nebel abscheiden kann. Am Taupunkt beträgt die relative Luftfeuchtigkeit 100% und die Luft ist mit Wasserdampf (gerade) gesättigt. Je mehr Wasserdampf die Luft enthält, desto höher liegt deren Taupunkttemperatur.

Taupunktcurve in blau. Zu einem beliebigen Zustand (roter Punkt) gehört ein Taupunkt bei gleichem Wasserdampf-Partialdruck (blauer Punkt). An den waagerechten und senkrechten Hilfslinien kann man die Taupunktdifferenz (hier: 20 °C) und die relative Feuchte ablesen.



Zur Messung der relativen Luftfeuchtigkeit dienen Hygrometer.

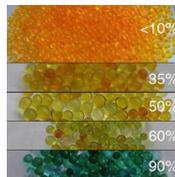
Hygrometer:
klassisch: misst Längenänderung eines Stoffes (Haar, kunststoffbeschichtetes Metall) in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit.



Widerstandshygrometer: misst Leitfähigkeits- oder Kapazitätsänderung von Salzen (z. B. LiCl) in Abhängigkeit von der rel. LF.



Zur qualitativen Messung dienen hygroskopische (=wasseranziehende) Substanzen, die einen Farbunterschied zwischen feuchter und trockener Form aufweisen. (Bsp. Eingefärbtes Silicagel)



2. Schadstoffmessungen

Neben Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Licht haben auch Schadgase einen wesentlichen Einfluss auf den Erhalt von Kunstwerken.

Emissionsquellen:

- Lufteintrag (zB NOx aus Straßenverkehr im urbanen Bereich)
- Ausstellungsarchitektur (Farben, Reinigungsmittel, Textilien, Klebstoffe,...)
- Inventar, Objekte (Bsp. Münzschränke)

Typische Schadgase:

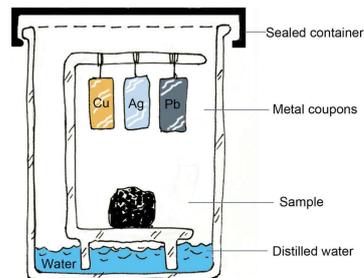
- organische Säuren und Aldehyde (führen z.B. zu Korrosion)
- Sulfide (lassen Metalle anlaufen)
- Aerosol (Chloride, Nitrate, Sulfate (bilden Salze))
- Stickoxide
- Ozon
- ...

Untersuchungsmethoden:

- Oddy-Test
- active sampling/passive sampling
- Gaschromatographie-Massenspektrometrie

Einsatz geprüfter Materialien

- Museumskarton (alterungsbeständig, säurefrei)



3. Lichtmikroskopie

Lichtmikroskopie bietet ein weites Spektrum an Untersuchungsmöglichkeiten im Bereich der Denkmalpflege und zählt zu den am häufigsten zum Einsatz kommenden Methoden.

Die Untersuchungen erfolgen an der Oberfläche oder an einem Querschliff

Einsatzmöglichkeiten:

- Auflichtmikroskopie (Technoskop)
- Durchlichtmikroskopie
- Fluoreszenzmikroskopie
- Polarisationsmikroskopie
- 3D-Digitalmikroskopie
- ...

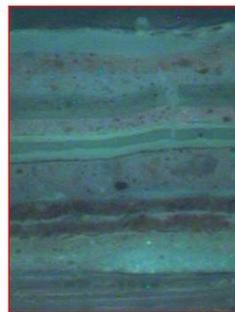


Fluoreszenzmikroskopie

Bsp: Holzimitationsmalerei („Maserierung“)

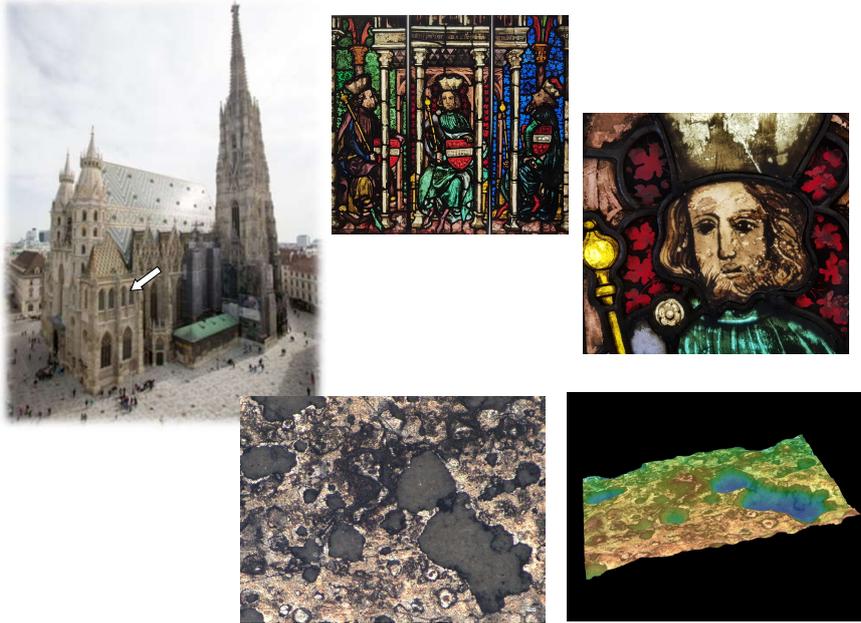


VIS

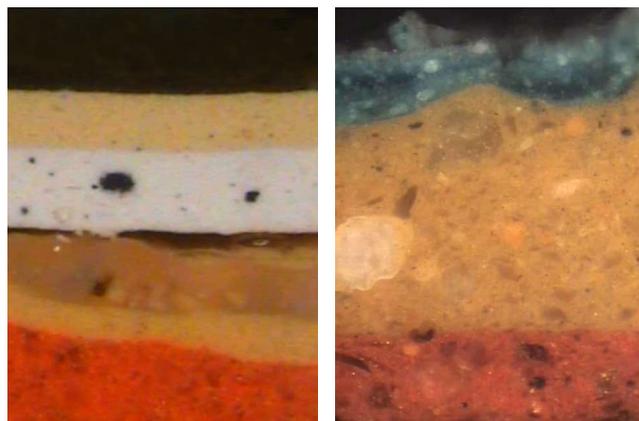


UV

Auflicht- und 3D-Digitalmikroskopie



Mikroskopische Untersuchungen am Querschliff



Übermalung 20. Jh

17. Jh

0,05 mm

Pigmentierung und Originalfassung

Farbschichtbefund

Erstfassung – „Originalfassung“

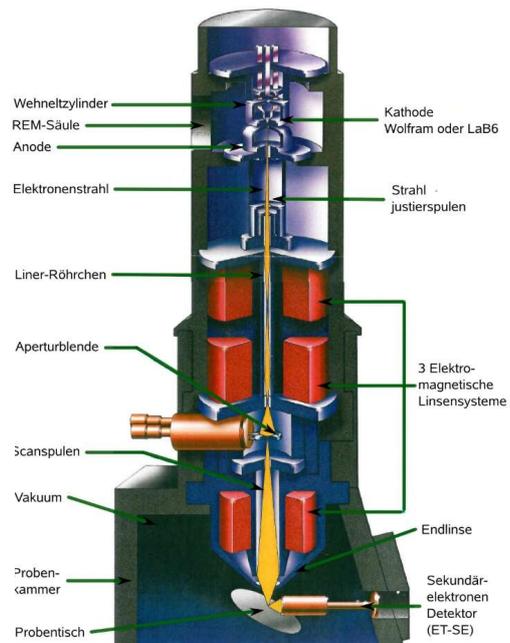
→ Naturwissenschaftliche Untersuchung

- Pigment- und Bindemittelveränderungen
- Zeitliche Zuordnungen über Pigmentnachweise oder künstlerische Techniken
- Anstrichsysteme, Baustoffe
- Farbreste finden, wo offensichtlich nichts mehr vorhanden ist
- ...

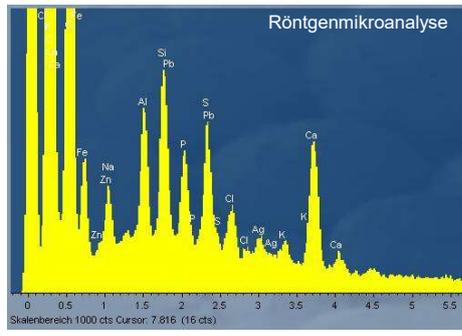
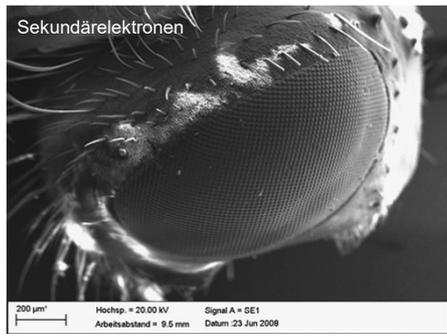
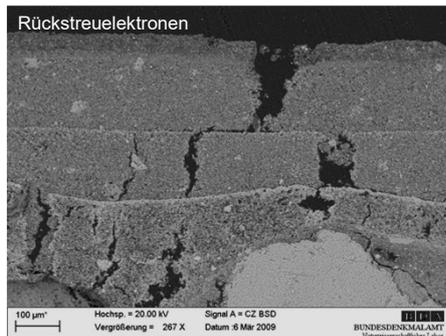
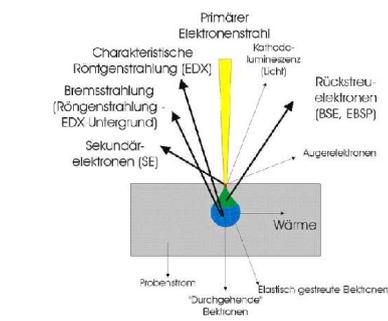
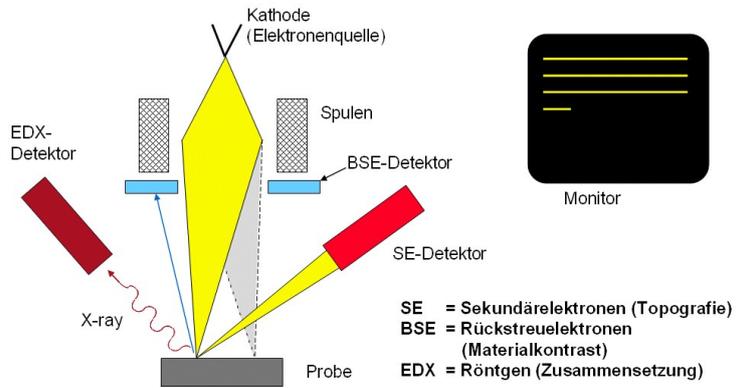


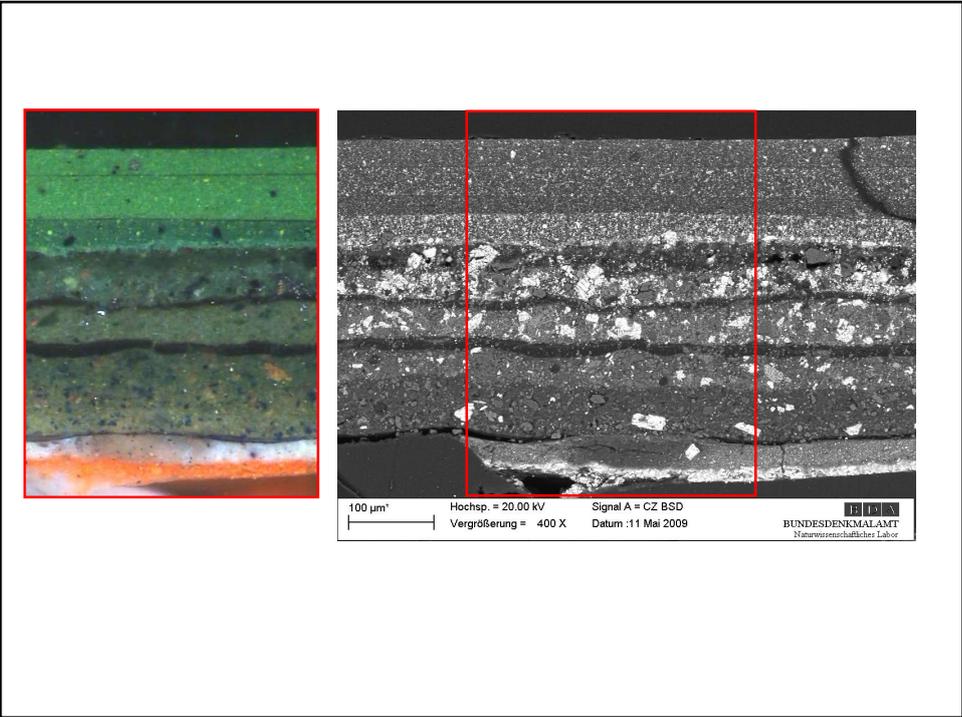
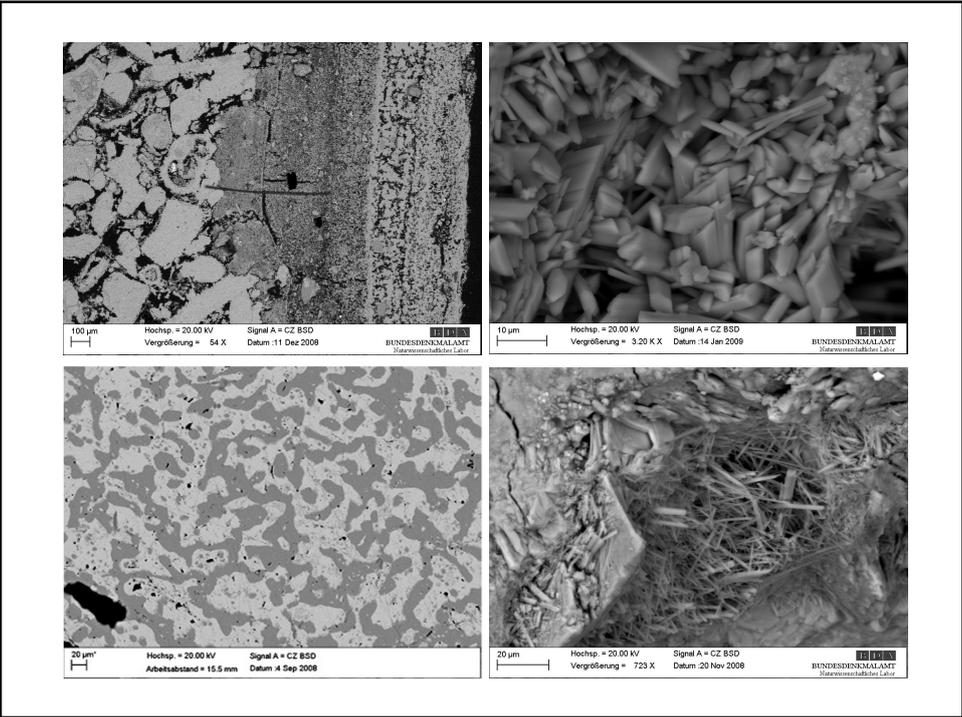
4. Rasterelektronenmikroskopie (REM)

Einblicke in die REM - Säule



Signalerzeugung im Rasterelektronenmikroskop





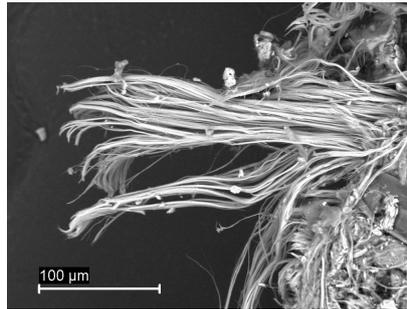
Asbestanalytik mittels Rasterelektronenmikroskopie



- in Österreich ab ca. 1900 in Verwendung
- Verbote:
 - Österreich ab 1990
 - Schweiz ab 1990
 - Deutschland ab 1993
 - EU ab 2005
- Asbestose als Berufskrankheit
- Vorsicht bei Manipulation mit asbesthaltigem Material
- WHO definiert kritische Parameter
- Nachweise über REM-EDX oder Polarisationsmikroskopie
- Arbeitsschutz, respiratorische Aufnahme

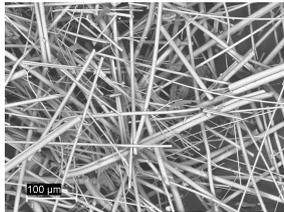
Verwendung

- Faserasbest: Fassadenverkleidungen, Dachdeckungen, Blumenkästen, Abwasserrohre, Kunststein etc.
- allgemein: Kunststoffbeläge, Dichtungen (Heizung!), Thermoisolierungen (Heizung!)
- Heute weitgehend ersetzt durch KMF (künstliche Mineralfasern)

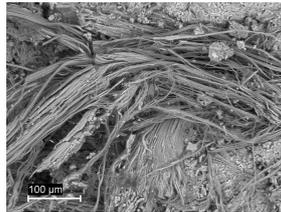


Asbestanalytik mittels Rasterelektronenmikroskopie

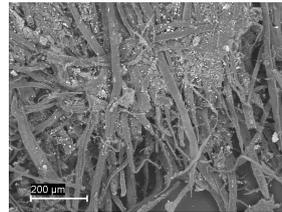
unterschiedliche Fasermaterialien zur Armierung von Baustoffen:



Künstliche Mineralfasern (Mineralwolle)



Weißasbestfasern



Organisches Fasermaterial

- Identifikation und Unterscheidung meist nur durch REM-EDS möglich
- auch Materialmischungen möglich!
- Analyseverfahren:
 - Materialidentifikation
 - Staubproben
 - Raumluftanalytik

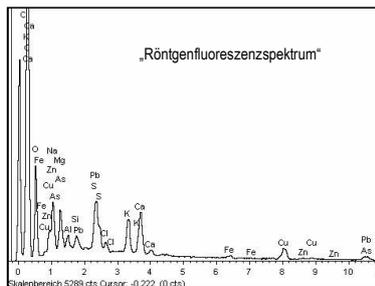
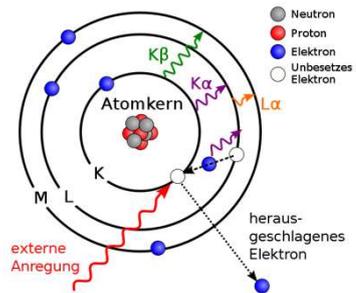
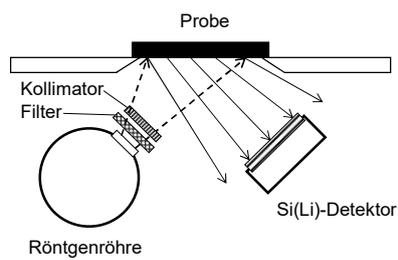
Anwendungen von REM-EDS in der (Bau)denkmalpflege

- Bestimmung des Baustoffes (Kalk, Gips, Zement,...)
- Bestimmung des Bindemittel/Zuschlagverhältnisses
- Salzanalysen
- Vergipsungszonen/Fassungen
- Metalllegierungsanalysen
- Korrosionsprodukte
- Unterscheidung Kalk-Silikatfarbe
- Nachweis von Hydrophobierungen

- Maltechnik zB secco-fresco
- Unterscheidung: Baugips – Naturgips (SrSO_4) - Umweltvergipsung
- Unterscheidung: Gips – Anhydrit - Hartgips
- Bestimmung des hydraulischen Anteils im Kalk (Unterscheidung zw. NHL und Zement)
- Fassungsuntersuchungen
- Farbanstrichsysteme
- Pigmentbestimmung/Datierung
- Proteinischer Bindemittelzusatz im Stuck
- Dolomitanteil im Putz
- ...

5. Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

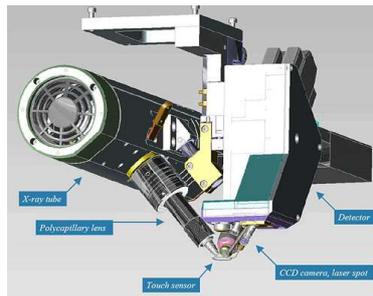
engl. X-Ray Fluorescence Analysis (XRF)



Information:

- qualitative Analyse
- quantitative Analyse

Röntgenfluoreszenzanalyse

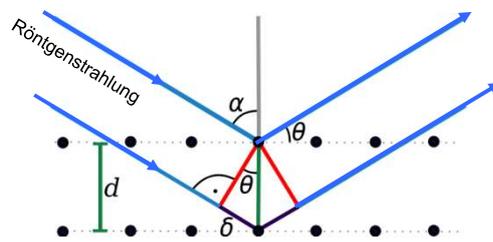


ARTAX-Gerät von Bruker

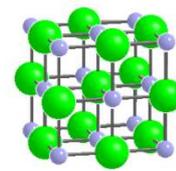


6. Röntgendiffraktion (=Röntgenbeugung)

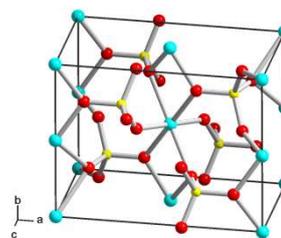
engl. X-Ray Diffraction (XRD)



$$\text{Bragg'sche Gleichung: } n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin\theta$$

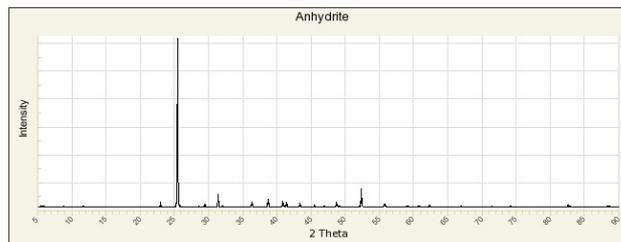
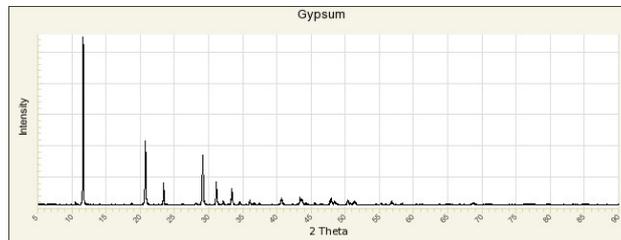


Kochsalz



Kupfersulfat

Bsp. Unterscheidung Dihydrat – Anhydrit von Gips



Anwendungsbeispiele von XRD im Bereich der Kunstanalytik

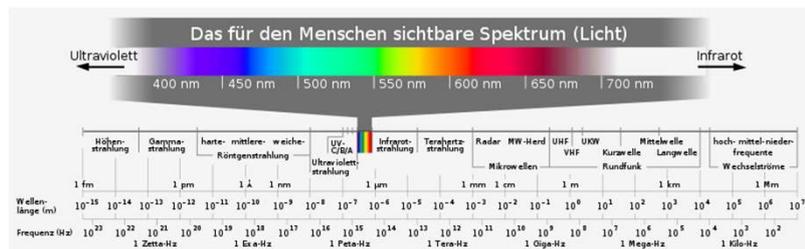
Grundsätzlich nur kristalline Systeme, dh, nicht Glas, Kunststoff, Harz,...

- Salze
- Stein, Putze
- Pigmente
- Gemmologie
- Korrosionsprodukte (Metalle, Stein etc.)
- ...



7. Fouriertransformierte Infrarot-Spektroskopie

Prinzip: Anregung von Schwingungen in den Probemolekülen und dadurch Absorption von infrarotem Licht-



Anwendungsbereiche der FTIR-Spektroskopie:

- Kunststoffe (Klebstoffe)
- Naturstoffe (Harze, Wachse, Öle)
- Pigmente, Farbstoffe
- Salze

Vorteile:

- geringe Probenmenge
- keine Probenahme bei ATR-Technik
- wenig aufwendige Probenvorbereitung
- schnelle Analyse

Nachteile:

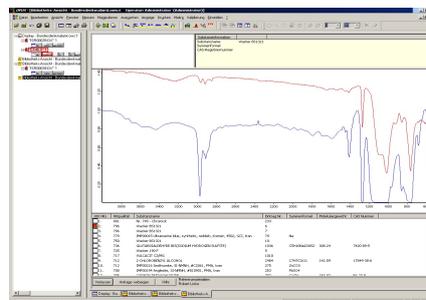
- fallweise nicht eindeutige Identifikation

Voraussetzung:

- IR-Aktivität der zu untersuchenden Substanz
- Referenzspektr

Beispiel:

- Kunstharzzusätze in Kalkfarbe

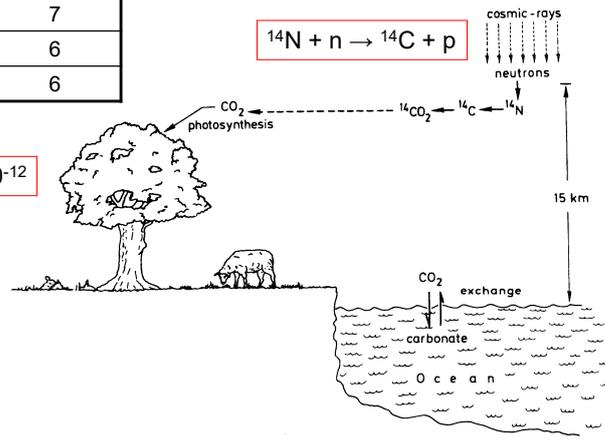


8. Radiocarbonatierung (^{14}C -Datierung)

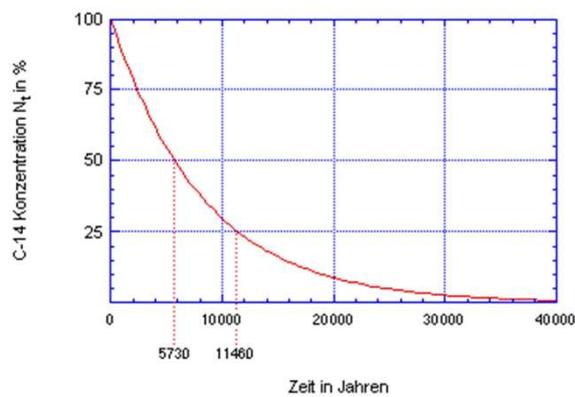
für kohlenstoffhaltiges (organisches) Material bis 50.000 Jahre

	Protonen (p)	Neutronen (n)	Elektronen (e)
^{14}N	7	7	7
^{12}C	6	6	6
^{14}C	6	8	6

Verhältnis $^{12}\text{C} : ^{14}\text{C} = 1,2 \cdot 10^{-12}$



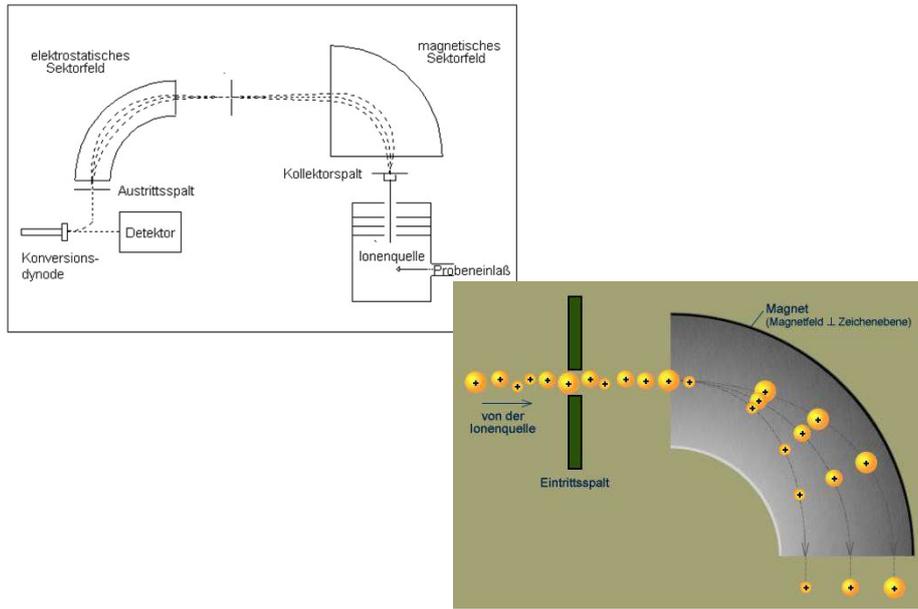
Radioaktiver Zerfall von ^{14}C :



Halbwertszeit: 5730 Jahre

- idealer Bereich 500 – 50.000 Jahre (nach ca. 10 Halbwertszeiten NWG erreicht)
- Kalibrierung erfolgt über Dendrokurve (s. Kap. Dendrochronologie)

Bestimmung des $^{12}\text{C}:^{14}\text{C}$ -Verhältnisses mittels Massenspektrometer



Prominente Proben der Radiocarbonmethode

Grabtuch von Turin

datiert 1260 – 1390
(erste gesicherte urkundliche Erwähnung 1357)



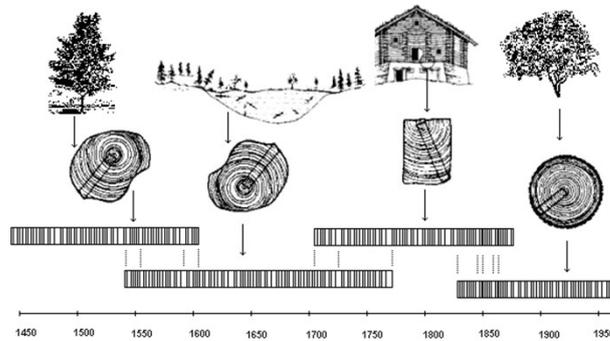
„Ötzi“ (gefunden 1991)

datiert 3.400 v Chr



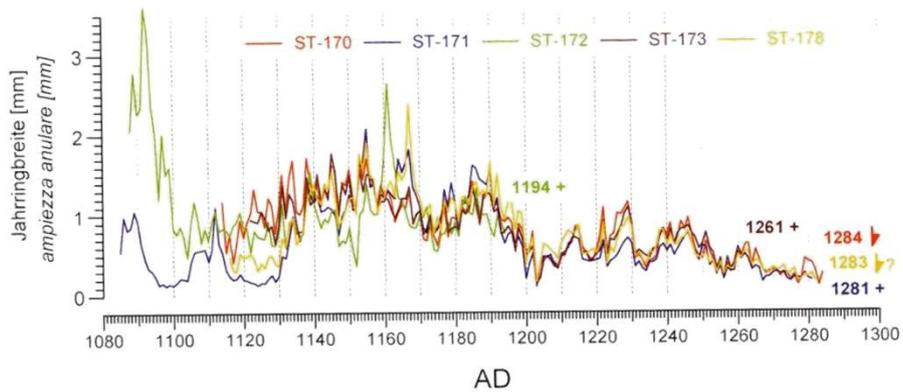
9. Dendrochronologie

Wichtige **absolute Datierungsmethode** in Bauforschung, Denkmalpflege und Kunstanalytik



Einflüsse: Nährstoffzufuhr
 Konkurrenz durch Nachbarbäume
 Beschädigungen
 Krankheiten
 Schädlingsbefall
 Regionale Unterschiede

Voraussetzungen: Waldkante sichtbar
 Erstverwendung des Holzes
 Späteren Austausch erwägen (Dachbalken !)

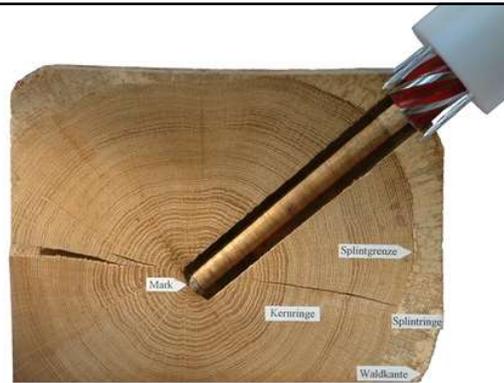


aus: Kurt Nicolussi: Schloss Tirol – Hölzer als Zeugen von 900 Jahren Bauentwicklung, in: Bauforschung auf Schloss Tirol (2006)

Bspe in der Kunstanalytik:

- Tafelmalerei (14. -17. Jh)
- Musikinstrumente
- Holzskulpturen der Gotik
- ...

Zusätzlich können im Holz Schwermetallgehalte und stabile Isotope bestimmt werden.



Dendrochronologielabors in Österreich:

- Institut für Geographie, Universität Innsbruck
- Institut für Holzforschung, Universität für Bodenkultur Wien
- Vienna Institute für Archaeological Science (VIAS), Uni Wien
- Streichinstrumente: violin-dendro.de



10. Thermolumineszenz (TL-Datierung)

Auf Radioaktivität beruhende Strahlungseigenschaft von Mineralien, die in der Archäologie zur Datierung von Keramikobjekten genutzt wird.

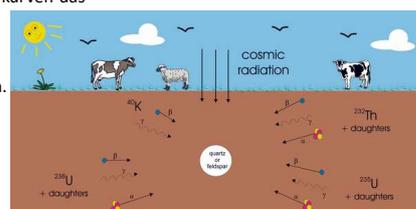
Es wird der Herstellungszeitpunkt der Keramik bestimmt. (Tonbrennen)

Alle Tonerden enthalten mineralische Einschlüsse mit geringen Spuren radioaktiver Stoffe, die eine konstante Strahlung abgeben. Die ionisierenden Alpha-, Beta- und Gammastrahlen lösen von den benachbarten Atomen Elektronen ab und verändern so die Struktur. Beim Brennvorgang (zB eines Ziegels) kehren durch die Energiezufuhr wieder alle Elektronen an ihre ursprünglichen Plätze zurück und die „TL-Uhr“ wird sozusagen auf Null gestellt und die Zeitmessung beginnt zu laufen.

Bei einer Analyse wird die Probe auf etwa 500 °C erhitzt, d.h. es werden die Elektronen wieder freigesetzt und erzeugen dabei ein kurzes mehrfaches Aufleuchten, das so genannte Wärmeleuchten oder die Thermolumineszenz. Der Lichteffect fällt umso stärker aus, je mehr Elektronen sich ansammeln konnten bzw. je älter die Probe ist. Die Intensität des Aufleuchtens wird gemessen und über Kalibrierkurven das Alter der Probe bestimmt.



Die TL-Datierung zählt zu den absoluten Datierungsmethoden. Neben der Bauforschung (Datierung von Ziegeln) ist auch die Fälschungserkennung von Keramikskulpturen ein klassisches Anwendungsgebiet.



Geologische Datierungen mittels Optisch Stimulierter Lumineszenz (OSL)

Den beiden meistgenutzten naturwissenschaftlichen Datierungsmethoden in der Baugeschichtsforschung Dendrochronologie und Thermolumineszenz haftet der methodische Mangel an, zwischen der Erstnutzung und der Wiederverwendung des Materials (Holz/Backstein) nicht unterscheiden zu können. Wegen seiner einmaligen Verwendbarkeit wäre Mauermörtel dagegen als ein universelles Datierungsmaterial zu bevorzugen. Obwohl aufgrund seines hohen Kohlendioxidgehaltes für eine Radiocarbonatierung prädestiniert, hat sich die Datierung von Mörtel mit Hilfe der Radiocarbonmethode wegen methodischer Schwierigkeiten bislang nicht durchsetzen können.

Die optisch stimulierte Lumineszenz (OSL) ist ebenso wie die Thermolumineszenz eine dosimetrische Datierungsmethode, eröffnet jedoch aufgrund ihres Nullstellungsmechanismus gänzlich neue Anwendungsbereiche. Datierungsfähig sind die Minerale Quarz und Feldspat, die während des Transports oder der Verarbeitung dem Licht ausgesetzt waren. Für Datierungen in der Baugeschichte wird der Quarz des Mörtels verwendet. Dessen in geologischen Zeiten angesammelte Lumineszenz wird während der Mörtelzubereitung im Tages-/Sonnenlicht gelöscht. Nach lichtdichter Überdeckung, z.B. nach Einbau im Mauerwerksverbund, wird das Lumineszenzsignal durch die Einwirkung der natürlichen radioaktiven Strahlung aus der Umgebung wieder aufgebaut.

Mit der Mörteldatierung entfällt eine Beschränkung, die eine ganze Gattung von Bauwerken bislang von der Baugeschichtsforschung ausgeschlossen hat, nämlich Bauwerke aus Natursteinmauerwerk und Lehmziegeln. Erstmals datierbar wird Stuckplastik.

Während der Mörtelherstellung wird das Lumineszenzsignal nicht aller Quarzkörner des Sandes vollständig gelöscht, es ergibt sich vielmehr ein Gemisch aus vollständig, teilweise und ungelöschten Körnern. Die Aufgabe der Methodenentwicklung besteht darin, aus dem Mauermörtel diejenigen Quarzkörner herauszufiltern, deren Lumineszenz während des Herstellungsprozesses vollständig gelöscht wurde, die mithin also die kleinste Dosis tragen. Ziel des Vorhabens ist, eine Routinemethode für die Baugeschichtsforschung zu entwickeln, die die Zuverlässigkeit der Thermolumineszenzdatierung übertrifft. Die Methode wird an dendrochronologisch datiertem Mörtel entwickelt, danach wird sich ein Feldversuch anschließen.

<http://baugeschichte.a.tu-berlin.de/bg/forschung/projekte/methoden/datierung.htm>

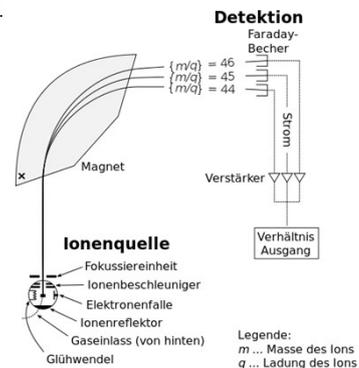
11. Isotopenanalytik

Als Isotope bezeichnet man Atomarten, deren Atomkerne gleich viele Protonen, aber unterschiedlich viele Neutronen enthalten. Sie haben die gleiche Ordnungszahl, stellen daher das gleiche Element dar, weisen aber verschiedene Massenzahlen auf.

Die meisten chemischen Elemente besitzen mehrere Isotope. In der Natur sind die Konzentrationen bzw. die relativen Anteile dieser Isotope meist regional charakteristisch weshalb sich die Isotopenzusammensetzung eines bestimmten Standortes signifikant von jener eines anderen Standortes unterscheiden kann. Man spricht vom sog. "isotopen Fingerabdruck".

Dieser Fingerabdruck ermöglicht z.B. die Rückverfolgbarkeit von organischem wie anorganischem Material zum ursprünglichen Herkunftsort. Damit kann heute nicht nur das Herkunftsland oder die Region, sondern auch z.B. ein Erzeugerbetrieb identifiziert werden.

Die Bestimmung der Isotopenkonzentrationen bzw. die Bildung von Verhältnissen erfolgt mittels eines Massenspektrometers. Die Isotopenanalytik zählt heute zu den Standardverfahren der chemischen Analyse und findet in der Lebensmittelanalytik (Käse, Fruchtsäfte etc.), der Kriminalistik (Drogenanalytik, Leichenprovenienz etc.), der Geologie, aber auch in der Archäologie Anwendung.



Beispiele im Bereich der Archäologie und Bauforschung:

1. Provenienz oder Migrationsverhalten von Völkern

Strontium hat vier stabile, natürlich vorkommende Isotope: ^{84}Sr (0,56 %), ^{86}Sr (9,86 %), ^{87}Sr (7,0 %) und ^{88}Sr (82,58 %). ^{87}Sr entsteht beim β -Zerfall des Rubidium-Isotops ^{87}Rb mit einer Halbwertszeit von $4,81 \cdot 10^{10}$ Jahre. Da die Lebensdauer von ^{86}Rb hingegen nur kurz ist, entsteht daraus schon während der Entstehung des Gesteins ^{86}Sr . Damit gibt das Isotopenverhältnis von ^{87}Sr zu ^{86}Sr Hinweise auf Alter des Gesteins. Je nach Region variiert das mittlere $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von 0,71 um bis zu 2 %. Strontium wird abhängig vom geographischen Ort in unterschiedlichen Isotopenverhältnissen mit der Nahrung aufgenommen und in Knochen und Zähnen eingelagert. Strontium ist wie Calcium ein Erdalkalimetall. Es wird daher im Körper ebenso wie Calcium zum Aufbau von Knochen und Zähnen gebraucht. Da die Entwicklung der Zähne im Jugendalter abgeschlossen wird, kann man hieraus auf die Region schließen, in der eine Person aufgewachsen ist, während die Knochen mitteilen wo sie sich in den letzten Lebensjahren befand. Dadurch wird zum Beispiel eine Analyse von Migrationsbewegungen sesshafter Bevölkerungen ermöglicht, wenn dazu die Strontiumisotope von Fossilienfunden herangezogen werden.

2. Provenienz von Marmor

Isotope von Strontium, Kohlenstoff und Sauerstoff spielen beispielsweise auch bei der Herkunftbestimmung von antiken Marmorskulpturen oder Marmor als Baustein eine wichtige Rolle. In Kombination mit multivariaten statistischen Methoden können die Lagerstätte (der Steinbruch oder zumindest die Region) bestimmt und damit Informationen betreffend die Herkunft (lokales Vorkommen oder Importware), das Alter (griechisch-römisch) oder auch die Authentizität (Fälschung?) gewonnen werden.

Naturwissenschaftliche Untersuchungen am BDA-Labor

Baustoffe (Stein, Putze, Fassungen)

- Bindemittelbestimmung
- Zuschlagstoffe
- Korngrößenverteilung
- Mauerwerksfeuchte
- Sieblinie
- Vergipsungsgradient
- Salzanalyse von bauschädlichen Salzen (qualitativ und quantitativ)
- Pigmentbestimmung
- Anstrichtechnik (secco/fresco, Kalk/Silikat/Dispersion)
- Farbbestimmung der Erstfassung nach NCS
- Identifizierung von Kunstharzimpregnierungen

Gemälde, Skulptur, Wandmalerei

- Pigmentbestimmung
- Bindemittelbestimmung
- Schichtenfolge

Untersuchungsmethoden

- Auflichtmikroskopie
- UV-Mikroskopie
- Rasterelektronenmikroskopie mit energiedispersiver Röntgenmikroanalyse (REM/EDS)
- Fouriertransformierte Infrarotmikroskopie (FTIR)

Literaturempfehlungen zur Vertiefung

Josef Maier: Putz und Stuck, Materialien – Anwendungstechniken – Restaurierung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2007

Kurt Schönburg: Schäden an Sichtflächen, Bewerten. Beseitigen. Vermeiden, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2009

ABC Standards der Baudenkmalpflege, Bundesdenkmalamt 2014

Evangelia A. Varela: Conservation Science for the Cultural Heritage, Applications of Instrumental Analysis. Springer Verlag, Thessaloniki 2013

M. A. Rogerio-Candelera, M. Lazzari, E. Cano: Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage, CRC Press, London 2013

Bernard M. Feilden: Conservation of Historic Buildings, Elsevier 2009

Mane Hering-Mitgau: Farbige Fassaden, Die historische Putzfassung, Steinfarbigkeit und Architekturbemalung in der Schweiz, Verlag Huber, Zürich 2010

Friedmund Hueber: Studie Farbgestaltung historischer Fassaden in Wien,
<http://www.friedmund-hueber.at/FGMA19a.pdf>