

Wissenschaft im Dienste der Kunst

Die Untersuchung von Zeichnungen Albrecht Dürers mittels Protonen-induzierter Röntgenemission

Petra Milota und Birgit Schörkhuber

Untersuchungen von Kunstgegenständen mit modernen naturwissenschaftlichen Methoden sind in den letzten Jahrzehnten zu internationalem Standard geworden und liefern der Kunstgeschichte unverzichtbares Datenmaterial. So befindet sich zum Beispiel unterhalb des Musée du Louvre in Paris ein mehrstöckiges Labor, das „Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF)“, in dem Expertinnen und Experten aus Naturwissenschaft und Kunst gemeinsam forschen.

In Österreich sind die Möglichkeiten, die sich aus der Zusammenarbeit von Physik und Kunst ergeben, in der Öffentlichkeit wenig bekannt. Ein wichtiger Schritt wurde in den letzten Jahren gemeinsam von der Wiener Albertina und einer Forschungsgruppe unter der Leitung von Robin Golser und Walter Kutschera am Vienna Environmental Research Accelerator (VERA) unternommen.

Der Transport von Kunstschatzen ins Ausland ist bekanntlich ein kostspieliges und risikoreiches Unterfangen. Als vom Pariser C2RMF im Zuge der Komplettierung einer Untersuchung an Werken des Renaissancekünstlers Albrecht Dürer (1471 – 1528) der Wunsch geäußert wurde, ein Blatt aus dem berühmten Skizzenbuch des Meisters aus der Albertina zu entleihen, entstand die Idee, die Untersuchungen vor Ort in Wien durchzuführen.

Am Teilchenbeschleuniger VERA der Fakultät für Physik an der Universität Wien bauten die Forscherinnen und Forscher, unterstützt durch das Know-how französischer und deutscher Kollegen/innen, innerhalb von zwei Jahren ein Experiment namens PIXE (kurz für „Proton Induced X-ray Emission“) auf. Seit den 70er Jahren hat das spektroskopische Verfahren zur Multi-Elementanalyse von Oberflächen zahlreiche Anwendungen in verschiedensten Wissenschaftsbereichen gefunden – von Metallurgie über Umweltp Physik bis hin zu Archäologie und Kunstgeschichte.

Im Sommer 2006 wurden insgesamt vier Werke Albrecht Dürers in Wien untersucht. Darunter auch das berühmte „Selbstbildnis Albrecht Dürers als 13-jähriger“ (1484; Albertina, Inv. Nr. 4839) und das nur zwei Jahre später

entstandene „Porträt von Albrecht Dürer dem Älteren“ (1486; Albertina, Inv. Nr. 4846), von dem aufgrund seiner hohen künstlerischen Reife immer noch unklar ist, ob es von der Hand des Vaters oder des jungen Künstlers selbst stammt.

Dürers Skizzenbuch – Reise durch die Niederlande

1520 macht sich der Nürnberger Meister Albrecht Dürer gemeinsam mit seiner Frau Agnes auf den Weg in die Niederlande. Der eben erst gekrönte Kaiser Karl V. soll dem angeblich etwas knauserigen Künstler die Staatsrente bestätigen. Im Gepäck findet sich neben einem Tagebuch, in dem er die Reise akribisch protokolliert, auch sein Skizzenbuch samt Silberstift, einem Zeichenwerkzeug, das in der Renaissance weit verbreitet war.

Im Laufe der einjährigen Reise fertigt der allorts gefeierte Künstler eine Reihe von Skizzen an, zu denen sich detaillierte Beschreibungen in seinem Tagebuch finden.

Den Hauptteil dieses Buches findet man heute in Museen in Frankfurt, Berlin, Chantilly, Nürnberg und London. Das Blatt, das in der Wiener Albertina zu sehen ist, zeigt die Zeichnungen „Mädchen in kölnischer Tracht; Frau Agnes Dürer“ (1520/21; Albertina, Inv. Nr. 22385 D 143) auf der Vorderseite und „Liegender Löwe“ (1520/21; Albertina, Inv. Nr. 22385 D145v) auf der Rückseite.

Silberstiftzeichnungen, wie man sie in Dürers Skizzenbuch findet, sind aufgrund ihrer Seltenheit in der Kunstgeschichte besonders wertvoll. Metallstifte aus Gold, Silber, Bronze, Messing oder Blei, die Künstler der Renaissance häufig verwendeten, wurden später durch andere Zeichenwerkzeuge ersetzt.

Damit der Stift einen Strich auf dem Papier hinterließ, mussten die Papiere aufwendig behandelt werden. Den Hauptbestandteil der Grundierung bildete in der damaligen Zeit meist ein Gemisch aus Knochenasche (zerriebenen, gebrannten Hühnerknochen) und Leim. Ein Silberstrich ließ sich, im Gegensatz zum radierbaren Bleigriffel, nur durch Abkratzen der Grundierung wieder entfernen, was die Werke schon damals besonders wertvoll machte.

Dr. Petra Milota ist Mitarbeiterin in der VERA-Arbeitsgruppe der Fakultät für Physik der Universität Wien und hatte die beschriebene Untersuchung zum Thema ihrer Dissertation.
Birgit Schörkhuber bac., ist Mitarbeiterin am AECC Physik, Univ. Wien.

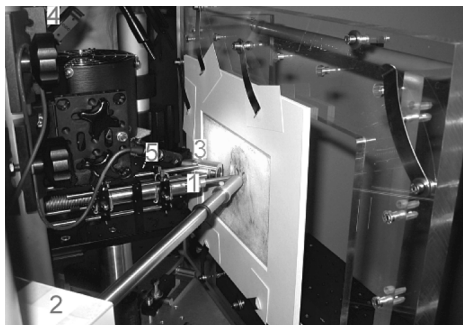


Die Silberstiftzeichnungen setzen sich aus vielen feinen Strichen zusammen.

Dieser Silberstrich, dessen Abrieb nur einige 10 nm dünn ist, liefert den Forschenden die Grundlage für ihre Untersuchungen. Mit der PIXE Methode wird ein „chemischer Fingerabdruck“ des Stiftes erstellt, wodurch die Zeichnungen miteinander verglichen werden können – jeder Silberstift weist ein eigenes charakteristisches Profil auf.

Wie funktioniert PIXE?

Die PIXE Methode basiert auf der Emission charakteristischer Röntgenstrahlung bei Streuung von Protonen an den Atomen der zu untersuchenden Oberfläche (Target).



PIXE-Untersuchung: Strahlrohr (1) und Röntgendetektoren (2,3); Laserzeiger (4) und Videokamera (5) unterstützen die richtige Positionierung des Strahls.

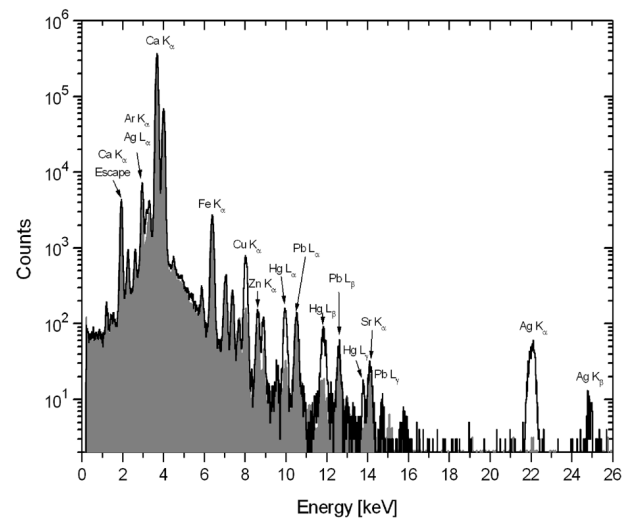
Am Wiener Beschleuniger verwendet man dafür einen Protonenstrahl, der auf 3 MeV beschleunigt und auf einen Durchmesser von 100 μm gebündelt wird. Durch ein dünnes Siliziumnitrid-Fenster tritt der Strahl aus dem evakuierten Strahlrohr in die freie Atmosphäre. In Luft hat er eine Reichweite von ca. 14 cm. Er trifft jedoch nach etwa 1 cm auf das Zeichenblatt und wird dort in einer Schicht von 200 μm absorbiert, so dass hinter dem Objekt keine Strahlenbelastung auftritt. Dass die Messungen an Luft und nicht im Vakuum durchgeführt werden und keine Proben dem Kunstobjekt entnommen werden müssen, ist für die Untersuchung dieser wertvollen Objekte Bedingung und erlaubt die Anwendung dieser kernphysikalischen Methode.

Kurz zur Erinnerung zusammengefasst entsteht die charakteristische Röntgenstrahlung folgendermaßen: Die einfallenden Protonen wechselwirken mit den Targetatomen, wobei in einem Teil der Stöße Elektronen der innersten Schalen herausgeschlagen werden. Bei der anschließenden Umordnung der Elektronenhülle werden die unbesetzten inneren Schalen wieder besetzt und dabei wird

Röntgenstrahlung emittiert. Eine Möglichkeit ist, dass das einfallende Proton ein Elektron aus der innersten Schale, der K-Schale „herausschlägt“. Wird die entstandene Lücke durch ein Elektron der energetisch nächst höheren L-Schale aufgefüllt, das nun in einen niedrigeren Energiezustand übergeht, wobei ein Röntgenquant mit entsprechender Energie emittiert wird, wird dies als K_{α} -Übergang bezeichnet. Außer dem K_{α} -Übergang sind weitere Übergänge möglich, wobei der Lateinische Buchstabe immer die Schale bezeichnet, die aufgefüllt wird und der griechische Index anzeigt, ob dies durch ein Elektron der nächsten, übernächsten oder einer weiter außen liegenden Schale geschieht. Allgemein wird die Energie der dabei emittierten Strahlung durch folgende Verallgemeinerung der Balmer-Formel beschrieben:

$$E_{\text{Strahlung}} = hcR(Z - K)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

R bezeichnet die Rydbergkonstante, Z die Ordnungszahl. K beschreibt die Abschirmung der Kernladung durch die Elektronen, die sich zwischen dem betrachteten Elektron und dem Kern befinden, n_1 bezeichnet die innere, n_2 die äußere Schale. Hier wird ersichtlich, dass die Energie der emittierten Röntgenstrahlung von der Ordnungszahl des Targetatoms abhängig ist.



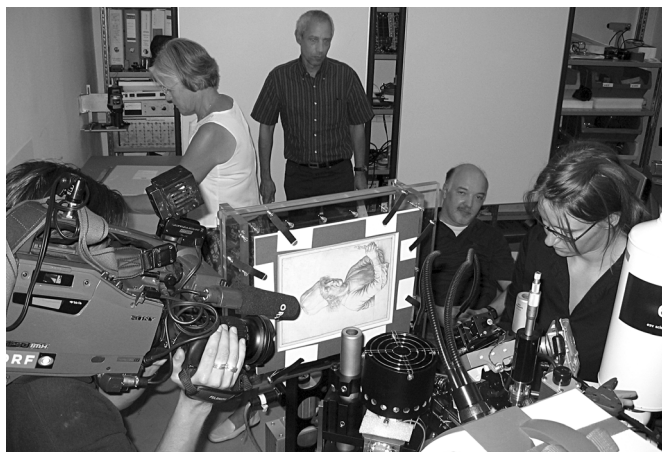
PIXE Spektrum von „Mädchen in kölnischer Tracht; Agnes Dürer“. Die dicke Linie zeigt die Charakteristik eines Silberstriches, die graue Fläche zeigt die Grundierung.

Durch die Messung der Energie der charakteristischen Röntgenstrahlung mit Halbleiterdetektoren wurden in dieser Untersuchung Elemente ab der Ordnungszahl $Z = 16$ (Schwefel) nachgewiesen. Die Intensität der Strahlung gibt Rückschlüsse auf die Menge, in der das Element vorhanden ist. Nach Berücksichtigung des durch Papier und Grundierung verursachten Hintergrundes lässt sich die chemische Zusammensetzung der Spuren des Zeichenstifts angeben.

Dürers Bilder bei VERA

Auf diese Weise sollte auch die Untersuchung der Dürerbilder Rückschlüsse auf die Entstehung der Werke erlauben.

Frühere Untersuchungen legten nahe, dass Dürer auf seiner Reise durch die Niederlande nur einen einzigen Stift benutzte – mit PIXE sollte nun untersucht werden, ob die beiden Reisezeichnungen des Skizzenblattes der Albertina auch mit diesem Stift gezeichnet wurden. Nach zweijähriger Vorbereitung und Entwicklung der Methode kamen endlich im Juli 2006 die Bilder ins Labor. 2 Tage hatte das Forschungsteam für die Messungen Zeit, wobei aus Sicherheitsgründen die Werke abends wieder zurück ins Museum mussten. Im Labor drängten sich das VERA-Team, Wissenschaftler aus Paris und Berlin, Kunstexperten der Albertina, sowie ein Fernsichteam des ORF um die Kostbarkeiten.



Dokumentation für den ORF

Als kleine Herausforderung erwies sich der Umgang mit den Kunstexperten/innen, die um ihre Kostbarkeiten besorgt waren. Man musste sehr vorsichtig mit gewissen Begriffen aus dem Fachjargon umgehen. Aussagen wie „man beschießt das Bild“ oder „Teilchen werden herausgeschlagen“ ließen anfangs manche um die kostbaren Werke bangen.

Tatsächlich hält man die PIXE-Methode jedoch für zerstörungsfrei und auch der Alterungsprozess des Papiers wird nachweislich nicht beeinflusst. Um die Sicherheit der Bilder zu gewährleisten und auch Spätfolgen der Bestrahlung auszuschließen, wurden Testmessungen an mehr als 500 Messpunkten mit verschiedenen Papieren durchgeführt, die zusätzlich einem künstlichen Alterungsprozess unterworfen wurden. Dabei konnten keine Langzeitschäden festgestellt werden.

Nach Analyse der gewonnenen Daten kam man schließlich zum Ergebnis, dass der Stift, mit dem die beiden Werke „Mädchen in kölnischer Tracht; Frau Agnes Dürer“ und „Liegender Löwe“ gefertigt wurden, dieselbe chemische Zusammensetzung aufwies, die man schon bei der Analyse anderer Bilder des Skizzenbuches in Paris und Berlin fand.

Außerdem konnte man nachweisen, dass das „Selbstbildnis Albrecht Dürers als 13-jähriger“ und das „Porträt von Albrecht Dürer dem Älteren“ höchstwahrscheinlich mit dem selben Stift gezeichnet wurden. Ob dies nun für den jungen Dürer selbst als Urheber des letzteren Bildes spricht, obliegt der Interpretation der Kunsthistoriker.

Durch die Untersuchungen konnte auch eine in deutsch-französischer Kooperation erstellte internationale Datenbank erweitert werden. Durch Vergleich mit den Analysedaten von etwa 100 Zeichnungen deutscher, niederländischer und italienischer Künstler können Werke, deren Ursprung oder Datierung bisher unbekannt sind, eventuell einem Künstler, seiner Werkstatt oder einer Schule zugeordnet werden.

Wie Galilei dachte und Gutenberg druckte

Das PIXE-Verfahren wird seit Jahrzehnten vielerorts zur Analyse graphischer Kunst verwendet. Seit einigen Jahren untersuchen Wissenschaftler in Florenz Blätter der *Manoscritti galileiani* (Vol. 72) von Galileo Galilei, einer Sammlung aus losen, undatierten Handschriften, welche sowohl Messdaten als auch Beschreibungen von Experimenten und Überlegungen zur Bewegung von Körpern enthalten. Für Wissenschaftshistoriker ist die ideengeschichtliche Entwicklung Galileis hin zu den berühmten Bewegungsgleichungen von besonderem Interesse. Dazu ist allerdings eine genaue Datierung seiner Notizen notwendig. Mit Hilfe von PIXE wird die Zusammensetzung der Tinte auf den Handschriften untersucht – ihren chemischen Fingerabdruck vergleicht man mit datierten Schriften, meist persönliche Aufzeichnungen Galileis wie Briefe oder Geschäftsunterlagen.

Die Gutenbergbibel wurde vor nunmehr 20 Jahren von amerikanischen Forschern an der University of California in Davis untersucht. Obwohl über die Methoden des Erfinders des Buchdrucks nur wenig dokumentiert ist – niemand weiß, wie die erste Druckerpresse tatsächlich aussah – konnte durch Analyse des Spektrums der Tinte dem Erfinder noch ein Quäntchen mehr Genie zugeschrieben werden: Während andere Drucker des 15. Jhdts Tinte verwendeten, die vor allem auf Ölen und Ruß basierte, fand man in Gutenbergs Tinte ungewöhnlich hohe Konzentrationen von Blei und Kupfer. Diese Bestandteile verleihen der Tinte auch nach Jahrhunderten noch einen frischen Glanz. Die zwischen 1454 und 1456 entstandene Bibel gilt heute noch als einer der hochwertigsten Buchdrucke überhaupt.

Im Zusammenhang mit der Untersuchung der Albertina-Bilder haben sich auch für PIXE in Wien weitere interessante Forschungsmöglichkeiten für die Zukunft aufgetan.

Herzlichen Dank an die VERA-Arbeitsgruppe unter der Leitung von Prof. Walter Kutschera und Prof. Robin Golser für freundliche Unterstützung und die Bereitstellung des Bildmaterials

Weitere Quellen

- A. Duval et al: Particle induced X-ray emission: a valuable tool for the analysis of metalpoint drawings (NIMB 226 (2004) 60-74)
- P.A. Mandò et al: Galileo's writing: chronology by PIXE (NIMB 95 (1995) 389 – 392)
- Archiv der New York Times, 12. Mai 1987: A beam of protons illuminates Gutenberg's genius