

GLOBE



MEDIZIN NACH MASS

Mit personalisierter Medizin zur
Gesundheit von morgen

SEITE 12

Im Brettspiel den
Kahlschlag erleben
SEITE 8

Auf den Spuren der
Zürcher Mona Lisa
SEITE 38

Die Architektin des
öffentlichen Verkehrs
SEITE 46

Mit ^{14}C -Datierung auf den Spuren der Zürcher Mona Lisa



Das Labor für Ionenstrahlphysik gehört zu den weltweit führenden Gruppen zur Datierung von organischem Material. Dort werden nicht nur Gewebefetzen von Ötzi analysiert, sondern auch Farbpigmente von Mona-Lisa-Gemälden.

TEXT Samuel Schläfli BILD Daniel Winkler

Zuerst sehen wir nur den schweren, mit Blattgold eingefassten Holzrahmen. Dann wird das Motiv sichtbar: die sanfte, blasse Gesichtshaut einer jungen Frau vor einer weiten Flusslandschaft; die Hände auf einer Armlehne überkreuzt. Ist das wirklich Mona Lisa? Leonardo Da Vincis Meisterwerk, dessen Versicherungssumme auf 800 Millionen Dollar geschätzt wird!

Wir haben an diesem kalten Donnerstagmorgen die Doktorandin Laura Hendriks ins Zollfreilager im Zürcher Kreis 5 begleitet, wo wohl temperiert und unter hohen Sicherheitsauflagen Kunstwerke aus aller Welt lagern. Die «Zürcher Mona Lisa» auf dem Tisch vor uns gehört einem schwedischen Privatsammler, der diese einst einem japanischen Geschäftsmann abgekauft hatte. Über den Ursprung ist sonst wenig bekannt. Es wäre möglich, dass wir uns an einer bislang unbekanntem, zweiten Mona Lisa Da Vincis ergötzen. Denn bis heute ist nicht geklärt, ob Da Vinci im 15. Jahrhundert mehrere Versionen des berühmten Porträts gemalt hatte. Genau das will Hendriks herausfinden.

Zwei Männer mit weissen Stoffhandschuhen befreien das bemalte Pappelholzpaneel mit geübten Handgriffen vom opulenten Rahmen. Hendriks beugt sich über das Porträt und sucht es mit einer UV-Lampe ab. Wie von Geisterhand erscheinen dunkle Flecken, die auf nachträgliche Retouchierungen hindeuten. Mit farbigen Klebern markiert sie zwei Stellen an Hand und Ärmel. Dann setzt sie sich eine Brille mit einem Monokular fürs rechte Auge auf und sucht bei den Markierungen nach feinen Rissen in der Originalfarbe. Mit einer hauchdünnen, spitzen Nadel bricht sie zwei winzige Farbpigmente aus einem bestehenden Riss – dort, wo sie das Gemälde am wenigsten verletzt. Sie legt die Farbproben zwischen zwei kleine Glasplatten. Nun lässt ihre Anspannung nach. «Habe ich mir nicht eine schöne Doktorarbeit ausgesucht?», fragt sie zufrieden.

Über Halbwertszeit zur Datierung

Hendriks hat eine Methode entwickelt, um Kunstwerke so exakt wie möglich zu datieren. Dazu nutzt sie den Kohlenstoff im Bindemittel von



«Habe ich mir nicht eine schöne Doktorarbeit ausgesucht?»

Laura Hendriks

Ölfarben. Eigentlich ist sie Chemikerin, doch ihre Doktorarbeit macht sie im Labor von Hans-Arno Synal, ETH-Professor und Leiter des Labors für Ionenstrahlphysik. Seine Gruppe gehört zu den weltweit führenden Labors für ^{14}C -Datierungen mit der Radiokarbonmethode. Diese setzt auch Hendriks ein, um die Zürcher Mona Lisa zu datieren. Die Grundlagen der Radiokarbonmethode stammen aus den 1940er Jahren: Der US-amerikanische Chemiker und Physiker Willard Frank Libby hatte damals die geniale Idee, das instabile, zerfallende Kohlenstoffisotop ^{14}C zur Datierung von organischem Material zu nutzen. Sämtliche Lebewesen auf der Erde nehmen dieses über die Nahrung kontinuierlich auf. Dadurch stellt sich in der Biomasse und der Atmosphäre annähernd dieselbe ^{14}C -Konzentration ein. Sobald ein Lebewesen jedoch stirbt, zerfällt das ^{14}C mit einer Halbwertszeit von 5700 Jahren. Dies im Gegensatz zu den stabilen Kohlenstoffisotopen ^{13}C und ^{12}C . Indem Forschende die Konzentration der unterschiedlichen Isotope vergleichen, >

Kleber kennzeichnen die Stellen, die für die ^{14}C -Analyse beprobt werden sollen.



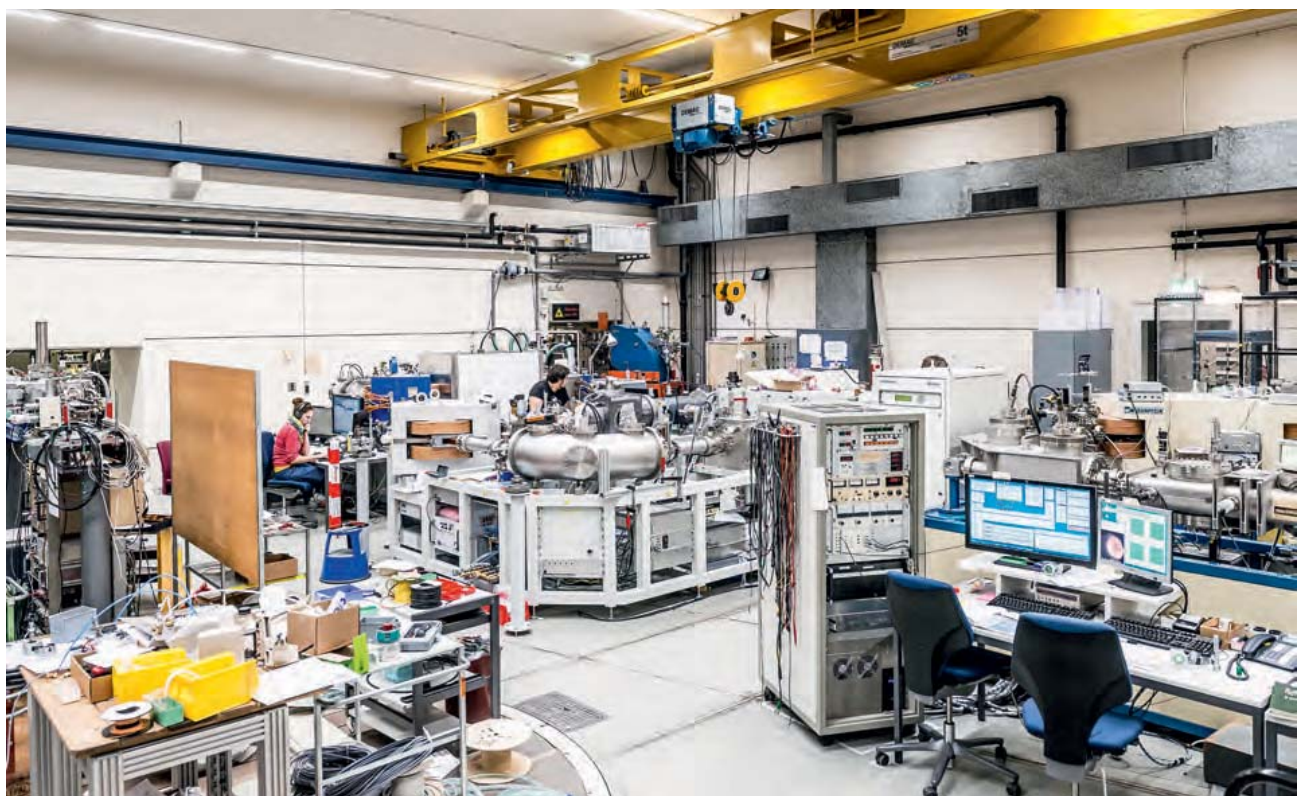
lässt sich feststellen, wann der Abbau an ^{14}C begonnen hat. Mit der Radiokarbonmethode können Knochen-, Holz- oder Papierproben bis zu einem Alter von 13 000 Jahren datiert werden. Da die ^{14}C -Konzentration in der Atmosphäre über die Jahrhunderte variierte, werden die Messungen seit den 1980er Jahren durch Auszählung der Jahresringe bei alten Bäumen korrigiert. Dafür arbeitet Synal eng mit der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) zusammen. Mit auf Meeressedimenten beruhenden Kalibrierungen können Datierungen bis auf 50 000 Jahre ausgedehnt werden.

Um die winzigen und extrem raren ^{14}C -Isotope überhaupt messen zu können, sind ausgeklügelte physikalische

Messgeräte notwendig, sogenannte Beschleuniger-Massenspektrometer. Einige der exaktesten befinden sich im Keller des ältesten Forschungsgebäudes auf dem ETH-Campus Höggerberg. Sie sind bis zu zehn Meter lang, meist in einem U angeordnet und jeweils zusammengesetzt aus glänzenden Chromstahlrohren, Vakuumpumpen, Ionenquellen, Teilchenbeschleunigern, Faraday-Käfigen, Magnetspulen und Detektoren. Die Spektrometer im HPK wurden allesamt von Synals 35-köpfigem Team entwickelt. 2013 gründete er gemeinsam mit Mitarbeitenden den Spin-off «Ionplus» zur Vermarktung der Eigenentwicklungen. Heute sind weltweit über 20 der bis zu drei Millionen Franken teuren Anlagen im Einsatz.

Hauchdünne Kohlenstoffschicht

Im unterirdischen Labor, so gross wie eine Turnhalle und mit meterdicken Betonwänden, erklärt Synal das Vorgehen zur ^{14}C -Datierung: Als Erstes wird die Probe, zum Beispiel das Farbpigment der Zürcher Mona Lisa, mit chemischen Verfahren von Verunreinigungen befreit, welche die Datierung verfälschen könnten. Was zurückbleibt, wird bei rund 2000 °C explosionsartig zu Kohlendioxid verbrannt und anschliessend mit Wasserstoff reduziert. Resultat ist eine hauchdünne Kohlenstoffschicht in einem kleinen Reagenzglas. Ein knappes Milligramm Kohlenstoff reicht für die Analyse mittels Beschleuniger-Massenspektrometer aus. Dies, obschon das ^{14}C -Isotop extrem rar ist und des-



Beschleuniger-Massenspektrometer auf dem Campus Höggerberg



«Manchmal gleicht
unsere Forschung einer
Detektivarbeit.»

Hans-Arno Synal

sen Häufigkeit in einer Probe etwa einem Sandkorn in einem zwei Kubikmeter grossen Sandwürfel entspricht. Nur dank der hohen Sensitivität moderner Spektrometer wurde die aus den 1970er Jahren stammende Idee überhaupt praktikabel, Ölfarben beziehungsweise das darin enthaltene organische Bindemittel zur Datierung von Gemälden zu verwenden. Nach der Aufarbeitung wird der zurückbleibende Kohlenstoff mit Hilfe eines Teilchenbeschleunigers in einem komplizierten Prozess in seine kleinsten Teilchen zerlegt. Am Ende erreichen nur die gewünschten ^{14}C -Isotope den Detektor des Spektrometers. Dort werden sie einzeln ausgezählt und mit dem Anteil ^{12}C und ^{13}C verglichen, der in weiteren Messschritten bestimmt wird. Aus dem so gewonnenen Verhältnis wird das Radiokarbonalter berechnet, das mit der dendrochronologischen Kalibrierkurve in ein absolutes Kalenderalter umgerechnet werden kann.

Grabtuch, Bundesbrief und Ötzi

Synals Gruppe führte bereits mehrere bahnbrechende Studien durch: 1988 datierte sie das Grabtuch von Turin. In diesem wurde nach Ansicht vieler Gläubiger Jesus nach der Kreuzigung begraben. Die Analyse ergab jedoch ein Alter von 676 Jahren, mit einer Abweichung von ± 24 Jahren. In Übereinstimmung mit den Datierungen der Universitäten Oxford und Arizona wurde die Authentizität des Grabtuchs verworfen. 1991 datierte das Labor den Bundesbrief, das Gründungsdokument der Schweizer Eidgenossenschaft. Manche Historiker bezweifelten damals, dass der Brief wie überliefert aus dem Jahr 1291 stammt. Mit der ^{14}C -Methode konnte Synal nachweisen, dass Papier und Tinte tatsächlich 700 Jahre alt waren, mit einer Abweichung von ± 35 Jahren. Auch ein Stück Gewebe des vom Gletscher mumifizierten Ötzis hat seine Gruppe schon analysiert. Es lagert bis heute bei -16°C in einer kleinen Schott-Flasche im Kühlschrank des Labors.

«Manchmal gleicht unsere Forschung einer Detektivarbeit», erzählt der Professor. Vor wenigen Wochen erhielt er ein Stück Leinwand vom Museum Düsseldorf zur Analyse zugeschiedt – ohne Angaben zur Herkunft. Kurz nachdem er seinen Auftraggebern die Ergebnisse der ^{14}C -Datierung mitgeteilt hatte, erfuhr er aus den Nachrichten, dass am Museum ein falsches Malewitsch-Gemälde aufgefliegen war. Andererseits versuchten Kunsthändler auch schon, Synals Analysen zu missbrauchen, um ihre Werke zu authentifizieren und dadurch die Preise in die Höhe zu drücken. Dagegen wehrt er sich entschieden: « ^{14}C ist eine Datierungs- und keine Authentifizierungsmethode. Wir können mit hoher Präzision Aussagen darüber treffen, wann etwas entstanden ist, aber nicht, ob etwas echt oder falsch ist.»

Und was ist mit der Zürcher Mona Lisa aus dem Kunstfreilager? Könnte sie tatsächlich dem Pinsel Leonardo Da Vincis entsprungen sein? Abschliessend können Kunsthistorikerinnen die Frage bis heute nicht beantworten. Eine frühere ^{14}C -Datierung hat ergeben, dass das Pappelholz, auf welches das Gemälde mit Ölfarbe aufgetragen wurde, aus dem 15. Jahrhundert stammt – also der Schaffensphase Da Vincis. Eine Röntgenuntersuchung brachte dagegen zum Vorschein, dass die Mona Lisa auf ein bestehendes Männerporträt aufgemalt wurde. Laura Hendriks' Analysen wiederum zeigten, dass die verwendeten blauen Farbpigmente erst nach 1830 produziert worden waren. Noch ist jedoch unklar, ob die Pigmente der Originalfarbe entstammen oder einer Farbe, die bei einer Restauration erst später aufgetragen wurde.

Für Hendriks war die Probennahme im Kunstlager in jedem Fall ein Erfolg. Ihre Ergebnisse zeigen, dass sich die Analyse der in Farben enthaltenen Bindemittel gut dazu eignet, um sich nicht durch alte, wiederverwendete Holzpaneele oder Leinwände in die Irre führen zu lassen. «Ich finde es faszinierend, Methoden aus der Chemie und Physik zu kombinieren, um die Herkunft von Kunstwerken Stück für Stück zu entschlüsseln», sagt sie. Hendriks könnte sich gut vorstellen, ihre ^{14}C -Detektivarbeit nach dem Doktorat in einem Museum fortzuführen. Vielleicht sogar im Louvre, ganz nahe an der «echten» Mona Lisa. Dort analysieren und datieren nämlich dutzende Forschende die weltberühmte Sammlung – unter anderem mit einem hauseigenen Ionenbeschleuniger. ○

Labor für Ionenstrahlphysik:

→ www.ams.ethz.ch