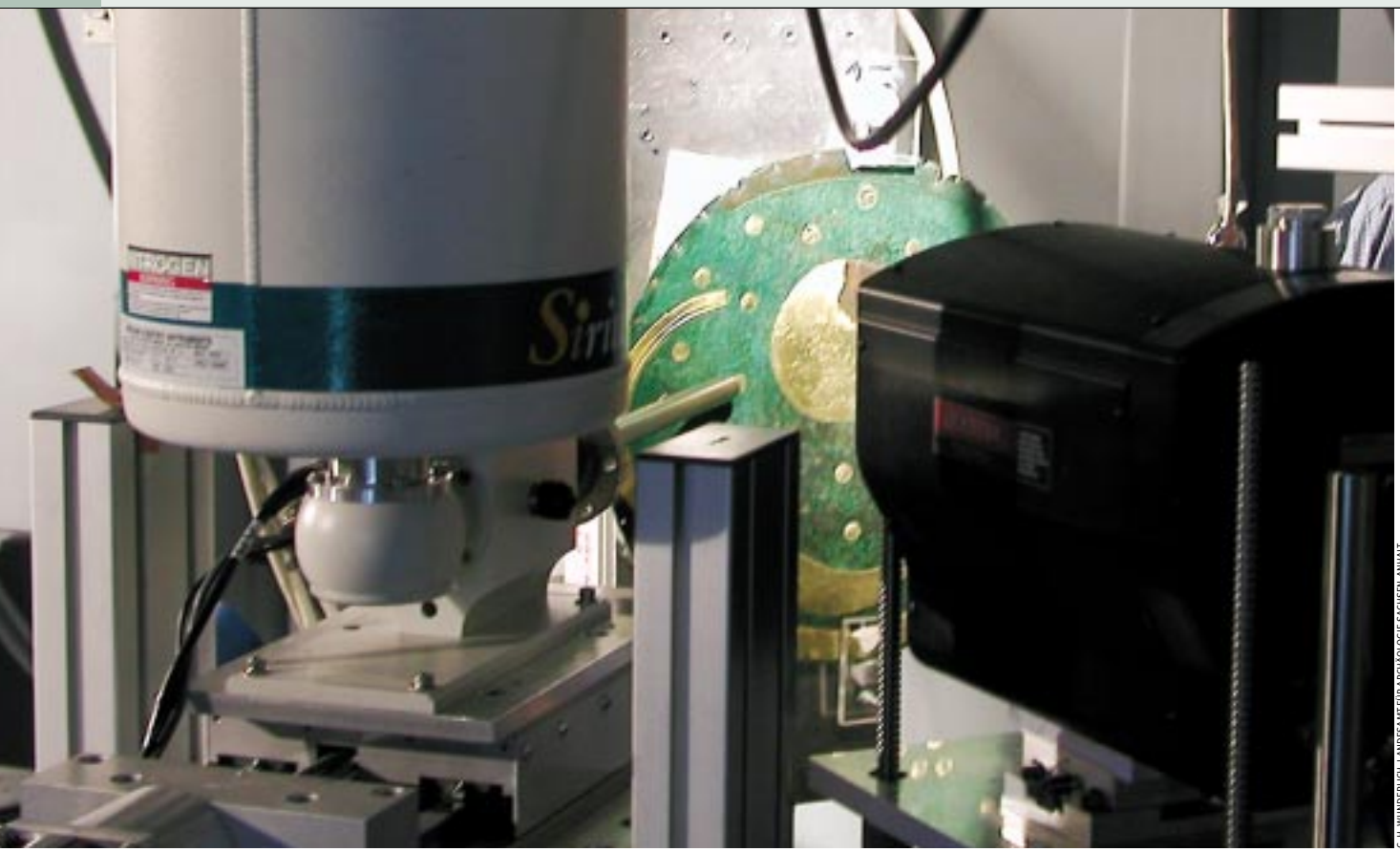


C.H. WUNDERLICH, LANDESAMT FÜR ARCHÄOLOGIE SACHSEN-ANHALT

Die Röntgenstrahlen im Berliner Elektronenspeicherring Bessy II offenbarten den »chemischen Fingerabdruck« der Himmelsscheibe von Nebra.

# Messen ohne zu zerstören

Die Röntgenfluoreszenzanalyse gibt Aufschluss über die chemische Zusammensetzung wertvoller Fundstücke – ohne sie in Mitleidenschaft zu ziehen.

Von Joachim Schüring

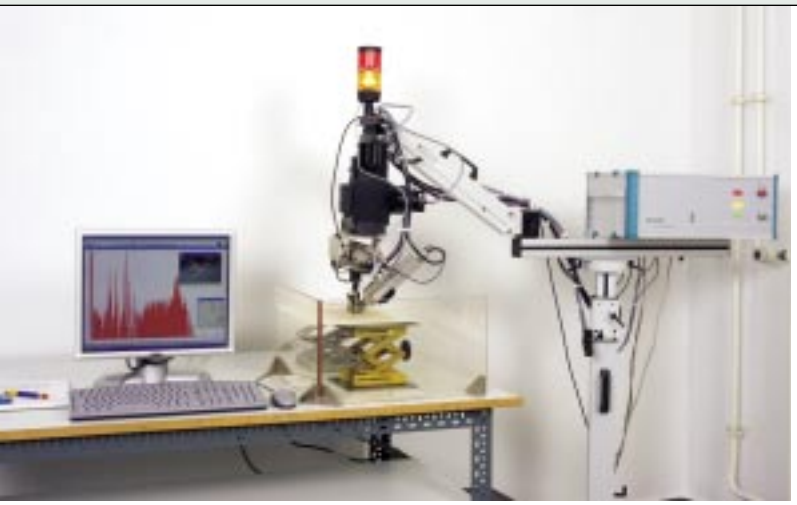
**»Wasch mir den Pelz, aber mach mich nicht nass«,** so lautet das Motto der Forscher, die sich derzeit mit einem der bedeutsamsten archäologischen Funde der jüngeren Zeit beschäftigen: der weltberühmten Himmelsscheibe von Nebra, der 3600 Jahre alten und somit frühesten astronomischen Darstellung Europas. Das Dilemma liegt darin, dass in der chemischen Zusammensetzung wichtige Hinweise auf die Entstehungsgeschichte der Scheibe verborgen liegen, das Fundstück aber viel zu kostbar ist, um für die Analyse ein Stück herauszusägen und in Säure aufzulösen. Für die »zerstörungsfreie« Untersuchung kam somit vor allem ein Verfahren in Frage: die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA).

Bei dieser Methode wird das zu analysierende Objekt mit Röntgenstrahlung beschossen, die auf die Elektronen des Materials trifft. Diese negativ geladenen Teilchen kreisen in unterschiedlichen Abständen – den Energieniveaus – um den positiv geladenen Atomkern. Indem sie einen Teil der Strahlungsenergie absorbieren, springen sie auf ein höheres Energieniveau und kreisen anschließend in größerem Abstand um den Kern. Die entstandene Lücke wird sodann von Elektronen gefüllt, die von einer höheren Bahn »herunterfallen« und dabei ihrerseits Röntgenlicht abstrahlen: Sie fluoreszieren. Der Begriff der »Fluoreszenz« stammt übrigens von dem englischen Physiker George Gabriel Stokes (1819–1903). Im Jahr 1852 entdeckte er, dass das Mineral Fluorit bei der Bestrahlung mit UV-Licht zu leuchten beginnt.

Da jedes Element unterschiedlich viele Elektronen besitzt, die sich auf jeweils charakteristischen Energieniveaus befinden, unterscheidet sich auch das Spektrum des ausgestrahlten Fluoreszenzlichts für jedes Element. Kupfer fluoresziert also anders als etwa Zinn. Kurzum: Aus dem Fluoreszenzspektrum lässt sich die chemische Zusammensetzung eines Materials ableiten. Und da die Intensität der ausgesendeten Strahlung mit der Konzentration des Elements ansteigt, sind auch quantitative Analysen möglich.

Die RFA gehört mittlerweile zu den wichtigsten chemischen Analyseverfahren in Industrie und Forschung. Denn sie eignet sich sowohl für flüssige als auch für feste oder pulverförmige Substanzen. Und sie ist schnell. In der Regel dauert es nicht einmal eine Minute, bis das Ergebnis vorliegt.

Mittlerweile gibt es auch kleine und handliche RFA-Geräte. Sie ersparen den mitunter empfindlichen Exponaten die gefährliche Reise vom Museum ins Labor. So



BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG BERLIN

Mit der mobilen RFA lassen sich empfindliche Objekte vor Ort untersuchen – wie hier eine alte Handschrift.

hat Jörn Müller von der TU Berlin auf diese Weise im Berliner Kunstgewerbemuseum die Farbzusätze filigraner Emailkunstwerke bestimmt – ohne dass diese in ihrer Vitrine berührt oder bewegt werden mussten. Durch den Nachweis bestimmter Elemente konnte der Wissenschaftler genau sagen, ob die Exponate aus dem 16. Jahrhundert stammen oder erst dreihundert Jahre später gefertigt wurden. Ein vermeintlicher Teller aus der Renaissance entpuppte sich dabei sogar als neuzeitliche Kopie.

## Goethe auf der Spur

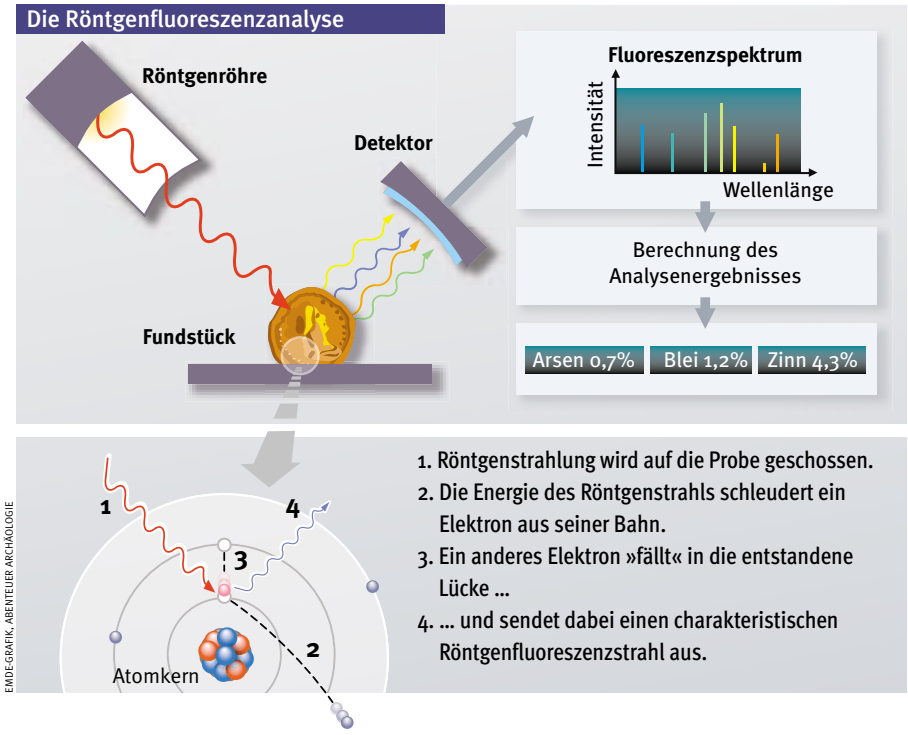
Oliver Hahn von der Berliner Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung kam mit der Röntgenfluoreszenzanalyse Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832) auf die Spur. Seit langem stritten die Gelehrten nämlich, ob der Dichter die Ergänzungen zu seinem »Faust I« unmittelbar nach dessen Fertigstellung geschrieben hat oder erst später, als er bereits an »Faust II« arbeitete. Des Rätsels Lösung lieferte die eisenhaltige Tinte, mit der Goethe seine Texte abgefasst hatte. Denn die Eisengallus-Tinten jener Zeit wurden von Hand hergestellt und lassen sich deshalb heute chemisch leicht unterscheiden. Da Goethe für die Ergänzungen zu dem ersten Teil der Tragödie die gleiche Tinte verwendete wie für Teil II, liegt der Schluss nahe, dass diese Schriften zeitgleich entstanden – nach der Fertigstellung des Haupttextes von Teil I.

Bei der Erforschung der Himmelsscheibe von Nebra half Forschern um den Archäometallurgen Ernst Pernicka von der TU Bergakademie Freiberg eine RFA mit besonders intensiver Röntgenstrahlung. Mit ihr konnten sie der gut dreißig Zentimeter großen Scheibe das Geheimnis um die Herkunft des Golds entlocken. Denn das Metall ist nicht hochrein, sondern enthält Spuren anderer Metalle, die wie ein chemischer Fingerabdruck die geografische Herkunft des Golderzes verraten.

Wie Pernicka herausfand, ähneln die goldenen Verzierungen in ihrer chemischen Zusammensetzung einer Reihe von bronzezeitlichen Objekten aus Siebenbürgen. Deshalb vermutet er, dass auch das Gold der Scheibe einst dort geschürft wurde. Ein goldener Bogen hingegen, der vermutlich eine Sonnenbarke symbolisiert, ist von anderer Zusammensetzung. Dieses Gold stammt also aus einer anderen Lagerstätte und wurde nach Ansicht Pernickas erst später aufgebracht.

Doch einen entscheidenden Nachteil hat die RFA: Die Röntgenstrahlen dringen nämlich kaum in die Tiefe ein – im Fall der Himmelsscheibe nur ungefähr dreißig tausendstel Millimeter. Insbesondere bei korrodierten Objekten – wie dem bronzenen Grundkörper der Himmelsscheibe von Nebra – ist eine tiefer gehende Analyse somit unmöglich. Aus diesem Grund haben die Wissenschaftler der Scheibe schließlich doch ein 2,5 mal 2,5 Millimeter großes Bronzestück entnommen und sodann zerstörungsfrei untersucht. Anschließend haben sie es wieder so eingesetzt, dass von dem Eingriff nichts mehr zu sehen ist.

### Die Röntgenfluoreszenzanalyse




EMDE-GRAFIK, ABENTEUER ARCHÄOLOGIE