



Ein kaltes Leuchten **erhell** Geschichte

Die Hügellandschaft des Kraichgaus wird seit Jahrtausenden landwirtschaftlich genutzt. Jetzt rekonstruieren Wissenschaftler ihre Geschichte.

Seitdem Willard Libby die Kohlenstoff-14-Methode zur Altersdatierung organischer Stoffe entwickelt hat, ersinnen Physiker immer neue Verfahren zur Zeitbestimmung in der Archäologie und in den Geowissenschaften. **PROF. GÜNTHER WAGNER** vom **MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR KERNPHYSIK** in Heidelberg hat jetzt zwei neue „Uhren“ lesbar gemacht, die auf sehr unterschiedlichen Zeitskalen ticken.

Günther Wagner und seine Mitarbeiter suchen die Finsternis. Nur in absoluter Dunkelheit können die Forscher am Heidelberger Max-Planck-Institut für Kernphysik ein mit bloßem Auge nicht wahrnehmbares Licht nachweisen, das Minerale aussenden. Diese Lumineszenz ist wie ein Signal aus vergangenen Zeiten: Sie ermöglicht es, archäologische Funde und Sedimente zu datieren. Wagner arbeitet schon seit langem mit der Forschungsstelle Archäometrie der Heidelberger Akademie der Wissenschaften zusammen. Für ihn ist Interdisziplinarität nichts Neues.

Dem Datierungsverfahren liegt ein schon seit mehr als hundert Jahren bekanntes Phänomen zugrunde: die Lumineszenz. Ende des 19. Jahrhun-

derts bestrahlte der deutsche Physiker Gustav Heinrich Wiedemann Kristalle mit Elektronen. Als er die Minerale anschließend erwärmte, leuchteten sie ganz schwach. Diese Thermolumineszenz ist eingehend untersucht worden und hat zu einer Fülle von Anwendungen, insbesondere in der Festkörperphysik, geführt.

Heute unterscheiden die Physiker verschiedene Formen der Lumineszenz. Allen gemeinsam ist, dass Minerale auf irgendeine Weise Energie zugeführt bekommen, die sie zunächst speichern und erst bei geeigneter Anregung in Form von Licht wieder abgeben. Seit Anfang der sechziger Jahre nutzen Forscher die Thermolumineszenz auch zur Datierung archäologischer Funde, vor al-

lem von Keramiken. Die Methode beruht auf folgendem Prinzip: In der Keramik selbst und in deren Umgebung befinden sich natürliche radioaktive Elemente wie Thorium, Uran und Kalium. Bei deren Zerfall wird genügend Energie frei, um von umgebenden Atomen Elektronen abzulösen. Diese negativ geladenen Teilchen hinterlassen an ihrem Herkunftsort ein positives „Loch“ und werden selbst in positiv geladenen Kristallbereichen („Fallen“) eingefangen. Erhitzt man eine alte Keramik, so werden die Elektronen wieder beweglich und fallen in die Löcher zurück. Hierbei senden sie Licht mit ganz charakteristischer Wellenlänge aus.

Je älter die Keramik ist, desto mehr Kerne sind bis heute radioaktiv zer-

fallen und haben freie Elektronen erzeugt. Als Folge davon steigt die Intensität des Lumineszenzsignals mit dem Alter der Probe. Ist zusätzlich der Gehalt an natürlichen radioaktiven Isotopen in der Probenumgebung und der Keramik bekannt, kann der Zeitpunkt bestimmt werden, zu dem die Keramik zum letzten Mal erhitzt oder gebrannt wurde.

Die Thermolumineszenz ermöglicht es, Keramiken, Öfen, Ziegel oder Feuerstätten, aber auch Sedimente wie etwa Dünenände zu datieren. Deren häufig vorkommende Mineralbestandteile Quarz und Feldspat besitzen zugleich günstige Lumineszenzeigenschaften. Der zeitliche Anwendungsbereich erstreckt sich von etwa 100 bis über 100 000 Jahre. Günther Wagner hat lange mit dieser Methode gearbeitet und dazu beigetragen, bestimmte Zeitalter menschlicher Entwicklung physikalisch zu datieren. Seit kurzem beschäftigt er sich mit einer anderen Art der Lumineszenz, die völlig neue Anwendungsbereiche eröffnet: die optisch stimulierte Lumineszenz.

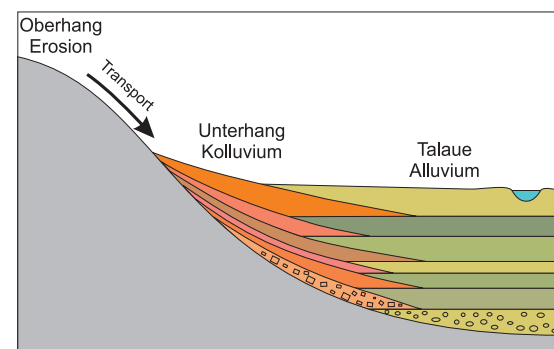
Anders als bei der Thermolumineszenz wird dabei die Lumineszenz durch Licht angeregt, das von außen einfällt. Das heißt: Solange diese Minerale dem Tageslicht ausgesetzt sind, können sich die freien Elektronen in den „Fallen“ nicht ansammeln. Von dem Moment an, in dem sich der Kristall im Dunkeln befindet, setzt dieser Vorgang ein, weil dann die äußere Anregung der Lumineszenz fehlt. Erst wenn man das Mineral aus der Dunkelheit befreit und beleuchtet, gibt es die charakteristische Strahlung ab.

Während die Forscher mit der Keramikdatierung mittels Thermolumineszenz feststellen können, wie viel Zeit zwischen dem Brennen des Tons und der Messung vergangen ist, bestimmen sie mit der optisch stimulierten Lumineszenz die Dauer, während der das Material im Dunkeln lag. Damit lassen sich eine ganze Reihe interessanter Datierungsfragen lösen, zum Beispiel im Zusammenhang mit Gebäuden. Beim Bau einer Burg oder eines Hauses

werden Steine aufeinander gesetzt. Von dem Moment an dringt an die Berührungsflächen der Steine kein Lichtstrahl mehr – und die Lumineszenz zuhru beginnt zu „ticken“. Dasselbe trifft auf die im Sand liegende Seite einer umgestürzten Säule oder Mauer zu.

VON OBERPFÄLZER BURGEN UND TROJANISCHEN SÄULEN

Um über die optisch stimulierte Lumineszenz zu quantitativen Ergebnissen zu kommen, waren lange Voruntersuchungen nötig. So spielt die Zusammensetzung des Kristalls eine entscheidende Rolle. „Es gibt sehr viele unterschiedliche Arten allein des Feldspats, und jede verhält sich bei der Lumineszenz anders“, sagt Günther Wagner. Manche eignen sich überhaupt nicht für diese Methode. Nach jahrelangen Versuchen haben die Heidelberger Physiker und Geowissenschaftler jetzt ein Verfahren weiterentwickelt, das ihnen eine Datierung von Proben mit einer Genauigkeit von fünf bis zehn Prozent ermöglichen soll. Dabei beleuchten sie die Kristalle mit Infrarotstrahlung und regen sie zur Lumi-



Erosion verursacht das Abrutschen der Hänge, sodass sich im Laufe von Jahrtausenden die ehemals hoch gelegenen Erdschichten im Tal ansammeln.

neszenz an. Winzige Körnchen, nicht größer als ein hundertstel Millimeter, senden dann das „kalte Leuchten“ mit einer charakteristischen Wellenlänge aus. Nur dieses blaue Licht wird mit einem hoch empfindlichen Detektor gemessen. Die Aufbereitung der Proben und die Messung müssen in absoluter Dunkelheit geschehen, weil schon der geringste Lichtschein das Mineral zur Lumineszenz anregt und somit die Uhr zurückdreht oder sogar auf null setzt.

Erprobt hat Wagners Mitarbeiter Steffen Greulich die Methode zunächst an Granitsteinen, aus denen viele Burgen des Oberpfälzer Burgenrings errichtet wurden. Die Bauzeiten der Burgen sind in der Regel gut bekannt, sodass sich hier die Eignung der Methode testen und ihre Genauigkeit bestimmen lässt. Für ihre Untersuchungen entnahmen die Forscher den Steinen einen 15 Millimeter langen Bohrkern mit einem Durchmesser von nur acht Millimetern. Anschließend schnitten sie die Probe in zwei Millimeter dünne Scheiben und untersuchten sie im Labor.

Das Heidelberger Team beschäftigte sich auch mit der Datierung antiker Säulen. Sie stammen aus einem Steinbruch südlich von Troja und wurden von den Römern zurückgelassen. Dieser Rückzug ist historisch dokumentiert, und so können die damals durch das Erdreich abgedeckten Säulen ebenfalls dazu dienen, die Methode zu testen. Der Stein, aus dem diese Säulen geschlagen wurden, zeigt allerdings nur eine sehr schwache Lumineszenz, die derzeitigen Messmethoden stoßen also an ihre Grenzen. Ein neu entwickeltes

Lasermessgerät soll hier „mehr Licht“ bringen.

„Erstaunlich an Quarz und Feldspat ist, dass schon wenige Minuten geringes Tageslicht ausreichen, um die innere Uhr der Minerale auf null zu stellen“, erklärt Günther Wagner. Diese Eigenschaft eröffnet der Forschung eine ganz neue Möglichkeit: die Rekonstruktion archäologischer Landschaften.

Vor etwa 7500 Jahren vollzog sich in Mitteleuropa die „neolithische Re-



Umgestürzte Säulen in einem alten römischen Steinbruch südlich von Troja werden datiert.

volution“. Damals begann der Mensch mit der intensiven Landnutzung in Form von Ackerbau und Viehzucht. Die Vegetation wurde zunehmend gerodet. Schon damals kam es zu einem Prozess, den wir auch heute noch beobachten können: Bei starken Niederschlägen werden vegetationsarme Flächen erodiert und das Sediment den Hang hinabgeschwemmt. Innerhalb von Jahrtausenden formte der Mensch die ursprüngliche Naturlandschaft in die heutige Kulturlandschaft um.

Dieser Prozess wirkte sich vermutlich wiederum auf Entstehung und Niedergang früherer Kulturen aus. Wir vermuten heute ein komplexes Wechselspiel zwischen Mensch und Umwelt in prähistorischer Zeit: Zunächst trafen Menschen auf eine reichhaltige Naturlandschaft. Durch intensiven Ackerbau und anschließende Bodenerosion entzogen sich die Bauern selbst ihre Lebensgrund-

lage. Es kam zu Missernten und Hungersnöten; die Menschen waren gezwungen, in eine andere Region zu ziehen. Die Vegetation erholte sich dann von dem Raubbau und bot späteren Generationen wieder fruchtbares Land. So könnte sich ein Zyklus menschlicher Besiedlungsdichte und Aktivitäten innerhalb einer Region eingestellt haben. Aber lässt sich dieses Auf und Ab auch nachweisen?

BLÄTTERN IM SEDIMENT-ARCHIV

Im Kraichgau, einer hügeligen lössbedeckten Landschaft in Südwestdeutschland, bot die optisch stimulierte Lumineszenz eine Möglichkeit, diese Hypothese zu überprüfen. Dieses Gebiet wurde seit der Ansiedlung der Menschen landwirtschaftlich intensiv genutzt. In den vermuteten periodischen Phasen starker Bodenerosion spülten heftige Nieder-

schläge die obere Bodenschicht fort, und das Material rutschte die Hänge hinunter. In den Tälern sammelte es sich innerhalb von Jahrtausenden an. Auf diese Weise wurden die Kuppen abgetragen und die Täler aufgefüllt, wodurch sich die Höhendifferenzen um bis zu zehn Meter verringerten. In einigen Gebieten ließ sich dieser Effekt mit konventionellen Methoden eindeutig feststellen. Allerdings war es bislang nicht möglich, die Sedimentschichten in den Tälern zu datieren. Die optisch stimulierte Lumineszenz bot diese Möglichkeit.

Als der Boden abgetragen wurde, war er dem Tageslicht ausgesetzt, welches das Lumineszenzsignal löschte. In dem Augenblick, da eine weitere Sedimentschicht sich darüber abgelagerte, befand sich die untere im Dunkeln – und in den Quarz- und Feldspatkörnchen begann die Lumineszenz zuhru zu ticken. So ging es mit



Mit der am Max-Planck-Institut für Kernphysik entwickelten Methode wollen Wissenschaftler das Rätsel der Figuren von Nazca (Peru) lösen.

allen Schichten weiter. Damit bot sich für die junge Wissenschaftlerin Annette Kadereit die Möglichkeit, das Alter einzelner Schichten zu messen.

Tatsächlich gelang es, die zeitliche Abfolge der Sedimentschichten im Tal zu datieren und daraus zusammen mit anderen archäologischen Informationen die Kulturgeschichte dieser Region zu rekonstruieren. Demnach geht die älteste Schicht auf die erste Hälfte des zweiten Jahrtausends v. Chr. zurück. Das entspricht der frühen oder mittleren Bronzezeit. Die nächste Schicht datiert aus der Zeit der so genannten Urnenfelder-Kultur im ersten Jahrtausend v. Chr. Deutlich höhere Ablagerungen stammen dann aus der Eisen- und Römerzeit. An deren Ende war offensichtlich der gesamte Oberboden abgetragen. Es folgte eine Phase ohne Bodenerosion, die genau mit der Zeit der Völkerwanderung zusammenfällt. Offenbar erholte sich nun die

Natur von der Landwirtschaft, denn erst im frühen Mittelalter setzte erneut starke Erosion ein. Dies war die Zeit der fränkischen Landnahme und des Landesausbaus. Der gesamte tonreiche Unterboden wurde bis zur Mitte des 14. Jahrhunderts, das auch historische Quellen als ökologisches Katastrophenjahrhundert schildern, aufgebraucht.

WANN LEBTEN DIE NAZCA-KÜNSTLER?

Insgesamt liegen von mehr als hundert ähnlichen Sedimenten in Süddeutschland Untersuchungen dieser Art vor, wobei die einzelnen Schichten meist auch mit anderen Methoden analysiert wurden. Es handelt sich also um ein interdisziplinäres Forschungsvorhaben im besten Sinne. Die Ergebnisse weisen in der Tat auf mehrere Phasen starker Erosion und damit auch intensiver Landwirtschaft hin. Es treten häufig

jeweils zwei Maxima im Mittelalter sowie in der vorrömischen Zeit und undeutlichere Maxima in der Bronzezeit sowie im frühen Neolithikum auf. Damit scheint sich die Vermutung von zyklisch auftretenden Phasen intensiver Landnutzung zu bestätigen – ein wesentlicher neuer Aspekt der Erforschung der mitteleuropäischen Kulturentwicklung.

Nachdem das Heidelberger Team seine Methode in heimatlichen Gefilden erfolgreich angewandt hat, will es sich nun an einem anderen Phänomen versuchen: den Figuren von Nazca im Süden Perus, um die sich eine Vielzahl von Mythen und Legenden ranken. Es handelt sich um ein ausgedehntes System kilometerlanger Linien und bis zu hundert Meter großer Tierbilder. Menschen einer prähistorischen Kultur haben sie geschaffen, indem sie die dunklen Steine vom helleren Boden entfernten. Günther Wagner und seine Mit-

arbeiter wollen mit ihrer Methode die Unterseite der Steine datieren und feststellen, wann sie dort hingelegt wurden. Bis heute ist unklar, wann die Figuren geschaffen wurden und zu welchem Zweck. Denkbar, aber nicht bewiesen, ist ein Zusammenhang mit einigen Ruinen, die sich in der Nähe der Figuren befinden. Vielleicht können Physiker helfen, der Lösung dieses Rätsels ein Stück näher zu kommen.

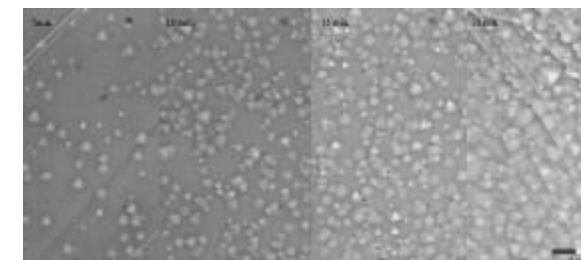
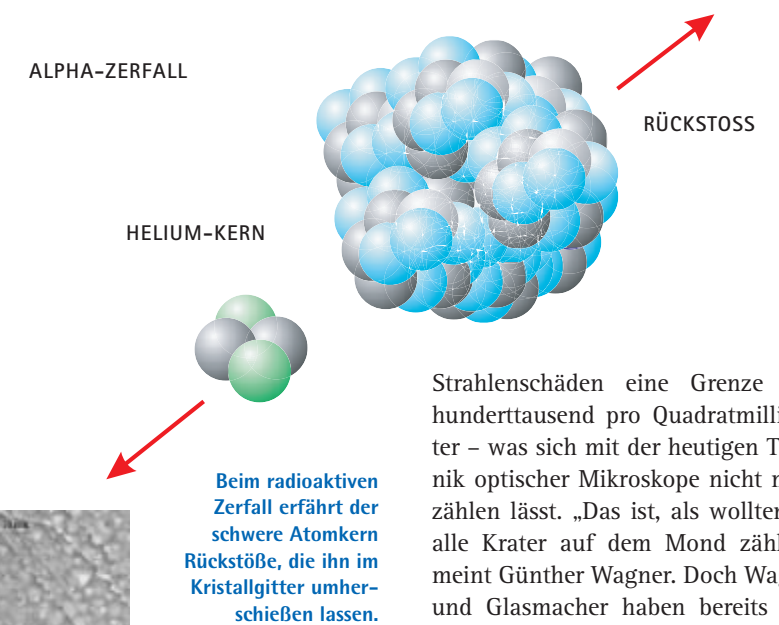
ZEITZEICHEN IM KRISTALLGITTER

Die Methode der optisch stimulierten Lumineszenz erstreckt sich allenfalls auf einen Zeitraum bis 100 000 Jahre. Eine neue Methode, die Wagner und sein Mitarbeiter Ulrich Glasmacher derzeit entwickeln, könnte wesentlich weiter reichen – bis an die Anfänge der Menschheit. Sie beruht ebenfalls auf dem natürlichen radioaktiven Zerfall. Schwere Isotope wie Uran und Thorium zerfallen in sieben beziehungsweise acht Stufen, bis am Schluss ein stabiler Blei-Atomkern übrig bleibt. Bei jedem Zerfall fliegt aus dem Kern ein so genanntes Alpha-Teilchen (Helium-

lenschäden um das Hundertfache zu so genannten Ätzgruben und werden in einem speziellen optischen Mikroskop sichtbar. Damit eignet sich dieser Effekt zur archäologischen und geologischen Datierung von Mineralen. In diesem Fall beginnt die Uhr in dem Augenblick zu laufen, in dem sich ein Material zu einem Kristall verfestigt. Dann setzen die Strahlenschäden ein, und je älter das Mineral ist, desto größer ist die Dichte der Ätzgruben. Die Haltbarkeit der Kristallschäden im Mineral ist temperaturabhängig. So reicht es schon aus, wenn das Mineral fünf Minuten lang

gen ihnen an Vulkangesteinen in der Eifel, in Böhmen und im Indischen Ozean. Hier bestimmt die Alpha-Rückstoß-Methode die Zeitspanne seit dem Erkalten des Magmas. Die Ergebnisse von 12 900 bis 350 000 Jahren für die Eifel und 560 000 Jahren für Böhmen stimmen sehr gut mit denen konventioneller geologischer Altersbestimmung überein, sind aber einfacher zu erzielen.

Im Moment lassen sich auf diese Weise bis zu zehn Millionen Jahre alte Minerale datieren. Bei Proben im Altersbereich von hundert Millionen Jahren übersteigen die winzigen



Ein spezielles Mikroskop macht die Ätzgruben sichtbar.

Atomkern) heraus. Dieses übt dabei auf den Kern einen Rückstoß aus, der so groß ist, dass sich der Kern ein kleines Stück im Kristallgitter bewegt und seine Umgebung zerstört. Am Ende der Zerfallskette ist um den ursprünglichen Uran- oder Thorium-Kern herum ein geschädigter Kristallbereich mit etwa einem Zehntausendstel Millimeter Durchmesser entstanden.

Wenn man die Oberfläche eines solchen Kristalls mit einer Säure anätzt, vergrößern sich diese Strah-

bis auf 500 Grad Celsius erhitzt wird, um die Strahlenschäden zu vernichten. Nach dem Abkühlen entstehen dann wieder neue Strahlenschäden. Denkbar ist somit, dass Keramiken oder Häuserbrände datierbar werden.

Obwohl diese Methode schon Ende der sechziger Jahre vorgeschlagen wurde, ließ sie sich bisher wegen unüberwindlicher experimenteller Schwierigkeiten nicht anwenden. Wagner und Glasmacher haben das Verfahren zur Praxisreife entwickelt. Die ersten erfolgreichen Tests gelan-

Strahlenschäden eine Grenze von hunderttausend pro Quadratmillimeter – was sich mit der heutigen Technik optischer Mikroskope nicht mehr zählen lässt. „Das ist, als wollten sie alle Krater auf dem Mond zählen“, meint Günther Wagner. Doch Wagner und Glasmacher haben bereits eine Möglichkeit gefunden, diese Altersgrenze noch weiter hinaus zu schieben. Gemeinsam mit Kollegen von der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt setzen sie Rasterkraftmikroskope und Elektronenstrahlmikroskope ein: Mit deren erheblich größerer Auflösung lassen sich die Ätzgruben auf kleineren Flächen zählen.

„Auf diese Weise wollen wir die Altersgrenze auf eine Milliarde Jahre hinausschieben“, sagt Günther Wagner. Ein neues Forschungsprojekt ist bereits genehmigt. Im ostafrikanischen Graben sollen Vulkangesteine datiert werden, die sich zu Lebzeiten unserer ältesten Vorfahren, vor zwei bis vier Millionen Jahren, gebildet haben. Lucie lässt grüßen.

THOMAS BÜHRKE