

ZEUGEN

DER APOKALYPSE

ZEUGEN DER APOKALYPSE

GESPEICHERTE GEHEIMNISSE

SOPHIE WARKEN

Vor rund 13.000 Jahren explodierte in der Eifel der Laacher Vulkan – ein Inferno, das die gesamte Landschaft der Region grundlegend veränderte. Tropfsteine waren Zeugen der Apokalypse. Sie verraten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, was sich damals ereignet hat – und wie es sich bis heute auswirkt.

„Tropfsteine sind nicht nur faszinierende Formationen in Höhlen – sie dienen auch als wichtige Umweltarchive.“

D

Die Eruption des Laacher Vulkans vor 13.000 Jahren in der Eifel war eines der verheerendsten Ereignisse in Mitteleuropa in den vergangenen zwei Millionen Jahren. Überall in Europa könnte die Explosion zu hören gewesen sein, die Aschesäule war weithin sichtbar und bis zu 40 Kilometer hoch. Die Eruption dauerte mehrere Tage an, die direkte Umgebung des Vulkans wurde unter einer bis zu 50 Meter mächtigen Schicht aus Vulkanasche und Bims begraben. Feine Aschepartikel verteilten sich bis nach Norditalien, Skandinavien und Russland. Sogenannte pyroklastische Ströme, also Glutlawinen, erreichten den Rhein und hatten katastrophale Auswirkungen. Sie stauten den Fluss beispielsweise an der Andernacher Pforte, worauf sich zeitweilig ein See im Neuwieder Becken bildete. Sintflutartige Starkniederschläge nach dem Ausbruch hinterließen in den mächtigen Aschendecken tiefe, steile Rinnen.

Gab es menschliche Zeugen der Apokalypse? Archäologische Funde belegen, dass unsere Vorfahren – kleine Gruppen von Jägern und Sammlern – während der ausklingenden Eiszeit durch Europa zogen. Auch unterhalb der Bimsablagerungen des Laacher-See-Vulkans im Neu-

wieder Becken wurden paläolithische Lagerplätze gefunden. Nach dem Ausbruch des Laacher Vulkans bedeckte plötzlich vulkanische Asche fast kniehoch das Land. Heute würde bei solchen Bedingungen die Region evakuiert werden – und auch vor 13.000 Jahren war die Folge, dass die umherziehenden Menschen in den folgenden Jahrhunderten weite Teile Mitteldeutschlands mieden.

Kontroverse Neudatierung

Im Jahr 2021 erschien in der renommierten Wissenschaftszeitschrift „Nature“ eine Arbeit, in der Mainzer Forscherinnen und Forscher eine Neudatierung des Laacher Vulkanausbruchs vornahmen – und damit eine Kontroverse auslösten. Die Mainzer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler hatten Radiokarbondatierungen bei verkohlten Baumstümpfen vorgenommen, die bei der Eruption verschüttet worden waren. Aufgrund ihrer Daten kamen sie zu dem Schluss, dass der Ausbruch rund 130 Jahre früher stattgefunden haben musste als bislang angenommen. Diese zeitliche Verschiebung hat potenziell weitreichende Auswirkungen. Denn die Asche des Ausbruchs dient als wichtiger Marker für die Datierung von Sedimentschichten, etwa in Seen. Die Schlussfolgerung der Mainzer Forscherinnen und Forscher ist daher nicht nur für Vulkanologen oder Geologinnen, sondern auch für Klimatologinnen und Archäologen von enormem Interesse, da sie für die Datierung von Funden und die Rekonstruktion vergangener Klimabedingungen entscheidend sein kann.

Wenig später aber zweifelte ein englisches Forschungsteam die Neudatierung an: Die Radiokarbondatierung sei verfälscht durch vulkanische Gase, die sich in den Baumringen abgelagert hätten. Darüber hinaus verwies

das englische Team auf einen Anstieg der Schwefelwerte in grönländischen Eisschichten und in Seesedimenten, der kurz nach dem bislang gültigen Datum für den Laacher-See-Ausbruch nachweisbar sei – ein schwacher Einwand, ist doch unklar, ob diese Schwefelschicht überhaupt vom Laacher Vulkan stammt. Die wissenschaftliche Gemeinschaft aber war nun hinsichtlich der genauen Datierung der Laacher-See-Eruption gespalten. Und bis heute herrscht in Teilen der Fachwelt immer noch Uneinigkeit über die direkten und indirekten klimatischen Folgen des apokalyptischen Ereignisses.

Interdisziplinäres Forschungsprojekt

Um Klarheit zu schaffen, haben wir ein Team aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Universitäten Heidelberg und Mainz zusammengestellt. Unser Vorhaben entstand im Rahmen von „Terrestrial Magmatic System“ (TeMaS), einem Gemeinschaftsprojekt der Universitäten Mainz, Frankfurt am Main und Heidelberg. Es koordiniert die interdisziplinäre Forschung zu magmatischen Prozessen, vom Entstehen von Magma im Erdmantel bis zum Ausbruch in Vulkanen und den Auswirkungen auf Atmosphäre und Klima. TeMaS wird mit Zuschüssen des Landes

Institut für Umweltphysik

Das Institut für Umweltphysik (IUP) der Universität Heidelberg wurde 1975 gegründet. Als eigener Forschungszweig ist die Umweltphysik beginnend in den 1950er-Jahren aus der Entwicklung und Anwendung kernphysikalischer Messmethoden entstanden, um das Klimasystem der Erde zu untersuchen. Damals wie heute beschäftigt sich die Umweltphysik mit Fragestellungen rund um den Fluss von Energie und Materie in unserer Umwelt. Das Wort Physik weist dabei auf den Blickwinkel hin, unter dem Umweltprozesse betrachtet werden.

Die Forschungsaktivitäten am IUP erstrecken sich auf ein weites Themenfeld – sowohl hinsichtlich der untersuchten Umweltbereiche als auch der verwendeten Untersuchungsmethoden. Erforscht werden die Physik von Transport- und Mischungsvorgängen sowie die Stoffumwandlung und der Energieaustausch innerhalb und zwischen einzelnen Umweltsystemen wie der Atmosphäre, dem Boden und dem Wasserkreislauf. Zu den verwendeten Messmethoden gehören unter anderem die Massen- und die Absorptionsspektrometrie, die Gaschromatographie, die Spektroskopie und die Fernerkundung von Satelliten aus oder mittels Bodenradar sowie die Bildverarbeitung und die Modellierung.

www.iup.uni-heidelberg.de

Rheinland-Pfalz, der Universität Frankfurt am Main und der Universität Heidelberg finanziert.

Für unsere Studie untersuchten wir die chemische Zusammensetzung eines Tropfsteins, der aus dem Herbstlabyrinth-Adventhöhlensystem im hessischen Breitscheid stammt – also mitten aus dem Einflussgebiet der Aschefahnen des Laacher-See-Vulkans. Tropfsteine sind nicht nur faszinierende Formationen in Höhlen – sie dienen auch als wichtige Umweltarchive (siehe den Beitrag von Ingmar Unkel ab Seite 84). Schon lange werden sie als wichtige Klimaarchive genutzt, denn sie können wertvolle Informationen über vergangene Umweltbedingungen liefern.

Unser Ziel war es, ein neues, unabhängiges und möglichst präzises Alter für den Ausbruch des Laacher Vulkans zu bestimmen. Zudem erhofften wir uns, herauszufinden, welche klimatischen Folgen die Eruption hatte – nicht nur auf die Region, sondern ebenso auf das europäische und globale Klima der anschließenden Jahrzehnte und Jahrhunderte. Diese Fragen sind auch heute noch – tausende Jahre nach der Eruption – von großer Bedeutung.

Faszinierende Formationen

Tropfsteine entstehen durch die Ablagerung von Kalk, der aus gelöstem Karbonat im Wasser stammt. Die Schichten eines Tropfsteins weisen auf Umweltveränderungen während ihrer Bildungszeit hin, ähnlich wie die Jahresringe eines Baums. Die Analyse von Tropfsteinen bietet gleich mehrere Vorzüge – ein entscheidender ist, dass es mit radiometrischen Datierungsmethoden möglich ist, das Alter der Tropfsteinschichten sehr präzise und direkt zu bestimmen.

Die Geschwindigkeit, mit der Tropfsteine wachsen, kann variieren und ist oft mit Klima- und Umweltbedingungen verbunden. Dies erlaubt teilweise sehr hohe Auflösungen, was es ermöglicht, auch kurzfristige Klimaveränderungen zu identifizieren. Ein weiterer Vorteil ist, dass Tropfsteine vielfältige Informationen liefern: sie weisen beispielsweise verschiedene chemische und physikalische Eigenschaften auf, die ebenfalls auf vergangene Umweltbedingungen rückschließen lassen. Dazu gehören Stellvertreterdaten wie Isotopenverhältnisse, Spurenelemente und andere chemische Signaturen, die auf Temperatur, Niederschlag, Vegetationsdynamik und Vulkanaktivität hinweisen. Weil Tropfsteine überall dort auf der Welt zu finden sind, wo es Höhlen in Kalkgesteinen gibt, können Forscherinnen und Forscher weltweit regionale und globale Klimamuster vergleichen und ein umfassendes Verständnis vergangener Klimavariabilität entwickeln. Da die erlangten Zeitreihen Jahrhunderte oder sogar Jahrtausende zurückreichen, lassen sich langfristige Trends im Klima identifizieren und die heutigen Klimaveränderungen in einen größeren Kontext stellen.



DR. SOPHIE WARKEN arbeitet seit 2018 als Wissenschaftlerin im Bereich „Physik der Umweltarchive“ der Institute für Umweltphysik und Geowissenschaften der Universität Heidelberg und leitet seit Mitte 2023 die Nachwuchsgruppe „Tropische Klimavariabilität und Speleothemforschung“. Nach dem Studium der Physik und Geowissenschaften an den Universitäten Heidelberg und Santiago de Compostela (Spanien) war sie als Doktorandin an der Universität Mainz tätig. Anliegen ihres Habilitationsprojekts, das im Rahmen des Olympia-Morata-Programms der Universität Heidelberg gefördert wird, ist es, Schwankungen des Klimas und Extremereignisse wie tropische Stürme, Dürren oder Vulkanausbrüche zu quantifizieren.

Kontakt: swarken@iup.uni-heidelberg.de

„Wenn es uns gelingt, eine der unbekanntesten Signaturen eindeutig dem Laacher Vulkan zuzuschreiben, wäre dies ein weiterer wichtiger Durchbruch für die Datierung von Klima- und Umweltarchiven.“

Olympia-Morata-Programm

Zur Förderung des Hochschullehrerinnennachwuchses stellt die Universität Heidelberg im Rahmen ihres Gleichstellungskonzepts Stellen für hervorragende Nachwuchswissenschaftlerinnen zur Verfügung: Das Olympia-Morata-Programm soll Wissenschaftlerinnen, die nach der Promotion selbstständige Forschungsleistungen erbracht haben, bei der Habilitation oder einer vergleichbaren Qualifikation unterstützen. Für Medizinerinnen bietet die Medizinische Fakultät Heidelberg ebenfalls Stellen in ihrem gleichnamigen Programm. Das Förderprogramm ist nach Olympia Morata benannt, einer italienischen Dichterin und humanistischen Gelehrten, die als erste Frau im Kreis der Lehrenden an der Universität Heidelberg aufgenommen wurde und 1555 in Heidelberg starb.

Der Stalagmit aus dem Herbstlabyrinth

Für unsere Studie suchten wir nach einem Tropfstein, der während der fraglichen Zeit vor rund 13.000 Jahren gewachsen war und aus einer Höhle stammt, die möglichst nahe am Laacher Vulkan liegt. Schnell fanden wir einen vielversprechenden Kandidaten: den Stalagmiten HLK2. Dieser war bereits vor einigen Jahren von der Mainzer Forschungsgruppe um Denis Scholz aus der Herbstlabyrinth-Höhle entnommen worden. In dieser Höhle fanden sich auch Bimsablagerungen des Vulkanausbruchs. Bereits frühere Messungen der Mainzer Kolleginnen und Kollegen ließen vermuten, dass der Stalagmit sehr wahrscheinlich während des Ausbruchs wuchs: Er ist quasi ein Zeitzeuge. Jetzt mussten wir ihn nur noch zum Sprechen bringen...

Es stellte sich bald heraus, dass der Tropfstein zu langsam gewachsen war, um ihn mit herkömmlichen Messmethoden auf eine jahrgenaue Auflösung hin zu untersuchen. Mit Axel Schmitt, Honorarprofessor am Institut für Geowissenschaften der Universität Heidelberg, hatten wir jedoch nicht nur einen Vulkanologen, sondern auch einen international angesehenen Experten für hochauflösende Mikroanalytik im Team. Axel Schmitt leitete früher das Heidelberger Ionensonden-Labor; mit der dortigen hochauflösenden Ionensonde ist es möglich, verschiedene Isotopenverhältnisse und Spurenelemente auf Mikrometerskala zu messen (siehe auch den Beitrag von Mario Trieloff ab Seite 92). Weltweit sind nur etwa zehn Instrumente dieser Art für die Forschung im Einsatz. Deshalb wurde die Methode bislang auch nur sehr selten für die Analyse von Tropfsteinen benutzt.

Wir bestimmten den Schwefelgehalt im Stalagmiten – und zwar in fast jährlicher Auflösung. Schwefel in Tropfsteinen kann eigentlich nur einen Ursprung haben: vulkanische Aerosole. Ein Anstieg im Schwefelgehalt ist also ein untrügliches Zeichen für vulkanische Aktivität. Der Tropfstein HLK2 zeigte eine deutliche Schwefelanomalie im fraglichen Zeitraum, und der steile Anstieg der Schwefelkonzentrationen ließ nur einen Schluss zu: Wir hatten den chemischen Fingerabdruck der Laacher-See-Eruption gefunden.

Genauigkeiten im Promillebereich

Jetzt fehlte noch die genaue Altersbestimmung. Hierzu nutzten wir die Zerfallsprodukte des natürlichen radioaktiven Elements Uran, das zum Zeitpunkt der Bildung des Tropfsteins in die Kalkschichten eingebaut worden war und dann nach und nach zerfiel. Das radioaktive System funktioniert also wie eine Uhr, welche die abgelaufene Zeit in der Menge der gebildeten Zerfallsprodukte speichert. Für deren Nachweis benötigt man spezielle chemische Methoden, mit denen man das nur in Spuren vorkommende Uran und seine Zerfallsprodukte von den anderen Bestandteilen der Probe trennen kann. Die bereinigten

WITNESSES OF AN APOCALYPSE

STORED SECRETS

SOPHIE WARKEN

The eruption of the Laach Volcano in Germany's Eifel mountain range 13,000 years ago was one of the most cataclysmic events in Central Europe in the past two million years. Researchers of Heidelberg University analysed a dripstone from a cave near the volcano to identify the date of the eruption and understand its consequences for the climate. Their project shines a light on an important part of European climate history and underlines the role of dripstones as climate archives. The investigation could help date unidentified volcanic events and answer important questions about the effects of volcanic activity on the climate.

For this interdisciplinary project, a team of scientists from the universities of Heidelberg and Mainz analysed a dripstone from the Herbstlabyrinth-Adventhöhle cave system near the Hessian town of Breitscheid using the Heidelberg Ion Probe (HIP) lab. Across the world, there are only about ten such instruments available to researchers. The scientists measured the sulphur content in the dripstone with a near-annual resolution. The analysis showed a distinct anomaly that the researchers were able to link to the eruption of the Laach Volcano. Using the decay products of the radioactive element uranium, the team was moreover able to determine the exact age of the dripstone.

The project allowed the researchers to reevaluate the date of the volcano eruption and helped them reconstruct its effect on the local and regional climate: Using the Heidelberg Ion Probe, the team was able to create an annual-resolution oxygen profile of the dripstone that provides new insights into European climate history. The study underlines the importance of state-of-the-art technology and interdisciplinary cooperation in climate research. Heidelberg University's contribution provided an important key for a new understanding of the events surrounding the Laach Volcano eruption, and the climatic conditions of the past. ●

DR SOPHIE WARKEN joined the staff of the “Physics of Environmental Archives” research unit at Heidelberg University’s institutes of Environmental Physics and Earth Sciences in 2018 and has headed the junior research group “Speleothem Climate Science and Tropical Climate Variability” since 2023. She studied physics and earth sciences at the universities of Heidelberg and Santiago de Compostela (Spain) and was a doctoral candidate at the University of Mainz. Sophie Warken’s habilitation is being funded through Heidelberg University’s Olympia Morata programme. For her habilitation project, she attempts to quantify climate fluctuations and extreme climate events such as tropical storms, droughts and volcanic eruptions.

Contact: swarken@
iup.uni-heidelberg.de

“Analysing a dripstone allows us to reconstruct not just the eruption itself, but its effect on the local and regional climate.”

Atome werden anschließend in einem extrem leistungsfähigen und empfindlichen Massenspektrometer „gezählt“. Obwohl die fraglichen Isotope nur in Größenordnungen von wenigen Milliarden in den Kalkschichten vorkommen, erreichten wir mit dieser Methode Genauigkeiten im Promillebereich.

Damit war es uns möglich, den Zeitpunkt der Schwefel-anomalie im Stalagmiten HLK2 zu bestimmen: auf etwa 13.050 Jahre vor 1950, mit einer Unsicherheit von wenigen Jahrzehnten. Unsere Datierung bestätigt also eindeutig die Radiokarbondatierung der Mainzer Kolleginnen und Kollegen. Und sie entkräftet das Argument der englischen Forschungsgruppe, dass das Baumringalter kontaminiert und damit viel zu alt sei. Doch auch darüber hinaus ist die neue Altersbestimmung von Bedeutung.

Eine jahrzehntelang offene Frage

Vor etwa 13.000 Jahren kühlte sich die gesamte Nordhalbkugel sehr abrupt um einige Grad Celsius ab. Diese sogenannte Jüngere-Dryas-Kaltphase dauerte circa 1.000 Jahre und warf ganz Europa nahezu in die Eiszeit zurück. Aufgrund des etablierten Datums des Laacher-See-Ausbruchs – datiert über abgezählte Sedimentlagen aus dem Meerfelder Maar in der Eifel auf 12.880 Jahre vor heute – vermutete man lange, dass der Laacher Vulkan für einen starken vulkanischen Schwefelanstieg in den grönländischen Eisbohrkernen kurz vor der Jüngeren Dryas verantwortlich sein könnte. Die zeitliche Nähe legte zudem nahe, dass der Ausbruch ursächlich für die enorme Abkühlung war. Allerdings wusste man aus der Untersuchung von Seesedimenten, dass es nach dem Ausbruch des Laacher Vulkans noch etwa 150 Jahre dauerte, bis es in Mitteleuropa zur Abkühlung kam. Diesen jahrhundertelangen klimatischen Versatz zwischen Mitteleuropa und Grönland konnte man bislang nicht schlüssig erklären.

Können unsere neuen Daten auch dazu dienen, dieser jahrzehntelang offenen Frage auf den Grund zu gehen? Die Untersuchung eines Tropfsteins erlaubt es, nicht nur den Ausbruch selbst, sondern auch die lokalen und regionalen klimatischen Folgen zu rekonstruieren. Mit der Ionen-sonde konnten wir zusätzlich zur Schwefelanalyse ein jahrgenau aufgelöstes Sauerstoffprofil am Tropfstein HLK2 erstellen und den Laacher Vulkanausbruch genau in die europäische Klimageschichte einordnen. Denn die Sauerstoff-Isotopie in Tropfsteinen – also das Verhältnis von schweren zu leichteren Sauerstoffatomen – hängt vom Niederschlag und der Temperatur über der Höhle ab. Das kann Auskunft geben über die großräumigen klimatischen Verhältnisse in Europa.

Unsere Rekonstruktion zeigt, dass es mehrere Jahrzehnte dauerte, bis sich die Umwelt und die Vegetation in Mitteleuropa von den Folgen der Eruption erholt hatten.

Unsere Daten bestätigen auch, dass der Laacher Vulkan über ein Jahrhundert vor dem Kälteeinbruch der Jüngeren Dryas ausbrach: Er kann die enorme Abkühlung nicht verursacht haben.

Die europäische Klimageschichte neu ordnen

Derzeit beschäftigt uns die Frage, ob unsere Ergebnisse auch dazu beitragen können, den Laacher Vulkan in den grönländischen Eisbohrkernchronologien zu identifizieren. Im fraglichen Zeitfenster gab es nämlich einige Eruptionen, die bislang keinem Vulkan zuzuordnen waren. Wenn es uns gelingt, eine dieser unbekanntesten Signaturen eindeutig dem Laacher Vulkan zuzuschreiben, wäre dies ein weiterer wichtiger Durchbruch für die Datierung von Klima- und Umweltarchiven. Bislang ist kein absolut datierter Zeitmarker vor dem Einbruch in die Jüngere Dryas bekannt.

Auch jetzt schon trägt unsere Studie dazu bei, verbliebene Unsicherheiten über die europäische Klimageschichte der ausgehenden Eiszeit zu lösen und die Diskussion über die klimatischen Folgen der Laacher Eruption zu beenden. Wir konnten darüber hinaus zeigen, wie wertvoll Tropfsteine als Indikatoren für Vulkanausbrüche sind. Auch in Zukunft können diese Gesteinsinformationen enorm wichtige Archive sein, um weitere unbekannteste oder unsichere Eruptionen zu datieren und zu identifizieren. ●

„Die Schichten eines Tropfsteins weisen auf Umweltveränderungen während ihrer Bildungszeit hin, ähnlich wie die Jahresringe eines Baums.“