



Die explosive Eruption des Laacher-See-Vulkans

Der späteiszeitliche Ausbruch des Laacher-See-Vulkans ist in mehrfacher Weise bedeutsam. Hinsichtlich seines rekonstruierbaren Ablaufes: Es war die gewaltigste explosive Vulkaneruption in Mitteleuropa in der jüngsten geologischen Vergangenheit. Bezüglich seines stratigraphischen Nutzens: Die über weite Teile Mitteleuropas verbreitete Laacher-See-Asche bildet einen wichtigen Leithorizont. Und hinsichtlich seiner Datierung: Das ausgewiesene Ausbruchdatum – 12 900 Jahre vor heute –, obgleich durch drei vermeintlich unabhängige Methoden ermittelt, ist keineswegs sicher.

Michael Kotulla

Als ein herausragender Ort der rheinischen Landschaften ist der Laacher See nicht unmittelbar einsehbar. Es ist ein Wall zu überqueren, um zu dem kleinen, aber zugleich größten See (3,3 km²) von Rheinland-Pfalz zu gelangen, der etwa 40 Kilometer südlich von Bonn liegt (Abb. 1). Mit einer heutigen Höhe von 275 m über dem Meeresspiegel liegt der Laacher See mit seinem leicht achtförmigen Umriss rund 215 m höher als der östlich in acht Kilometer Entfernung fließende Rhein. Am Aufbau des Beckenrandes sind mehrere ältere Schlackenkegel* beteiligt (u. a. Thelenberg, 400 m; Laacher Kopf, 442 m; Veitskopf, 427 m; Krufter Ofen, 463 m). Sie verstärken die kesselartige Struktur des Seebeckens; dieses ist letztlich ein Loch, das als Folge einer explosiven Eruption entstanden ist und vermutlich noch durch eingebrochene Schollen modifiziert wurde. In diesem Sinne kann die Hohlform auch als vulkanischer Einbruchskrater, eine Caldera, bezeichnet werden; und so betrachtet ist sie sogar die größte und einzig wassergefüllte in Mitteleuropa. Der vulkanische Krater trägt heute den Namen des Sees: Laacher-See-Vulkan.

Rund 1,5 Millionen Besucher sind im vergangenen Jahr am Laacher See gezählt worden.¹ Nicht wenige von ihnen begeistern sich für den Laacher-See-Vulkan und das gesamte Vulkanfeld der Osteifel. Nicht zuletzt ist das Interesse auch

durch zahlreiche geo-touristische Maßnahmen geweckt oder verstärkt worden: unter anderem mit der Einrichtung des „Vulkanparks“ als Teil des Nationalen Geoparks „Vulkanland Eifel“, dem Vulkanmuseum Lava-Dome (Mendig) oder dem Geotop „Laacher-See-Tephra am Wingersberg“.² Das ältere, mehrdeutige Motto des Vulkanparks „Die Vulkane sind unter uns“ wird allerdings nicht mehr verwendet.

Rekonstruktion eines katastrophalen Ereignisses

Die späteiszeitliche³ Eruption des Laacher-See-Vulkans war die gewaltigste Vulkaneruption in West- und Mitteleuropa in der jüngsten geo-

Die Hauptphase der Eruption dauerte vermutlich nur wenige Tage.

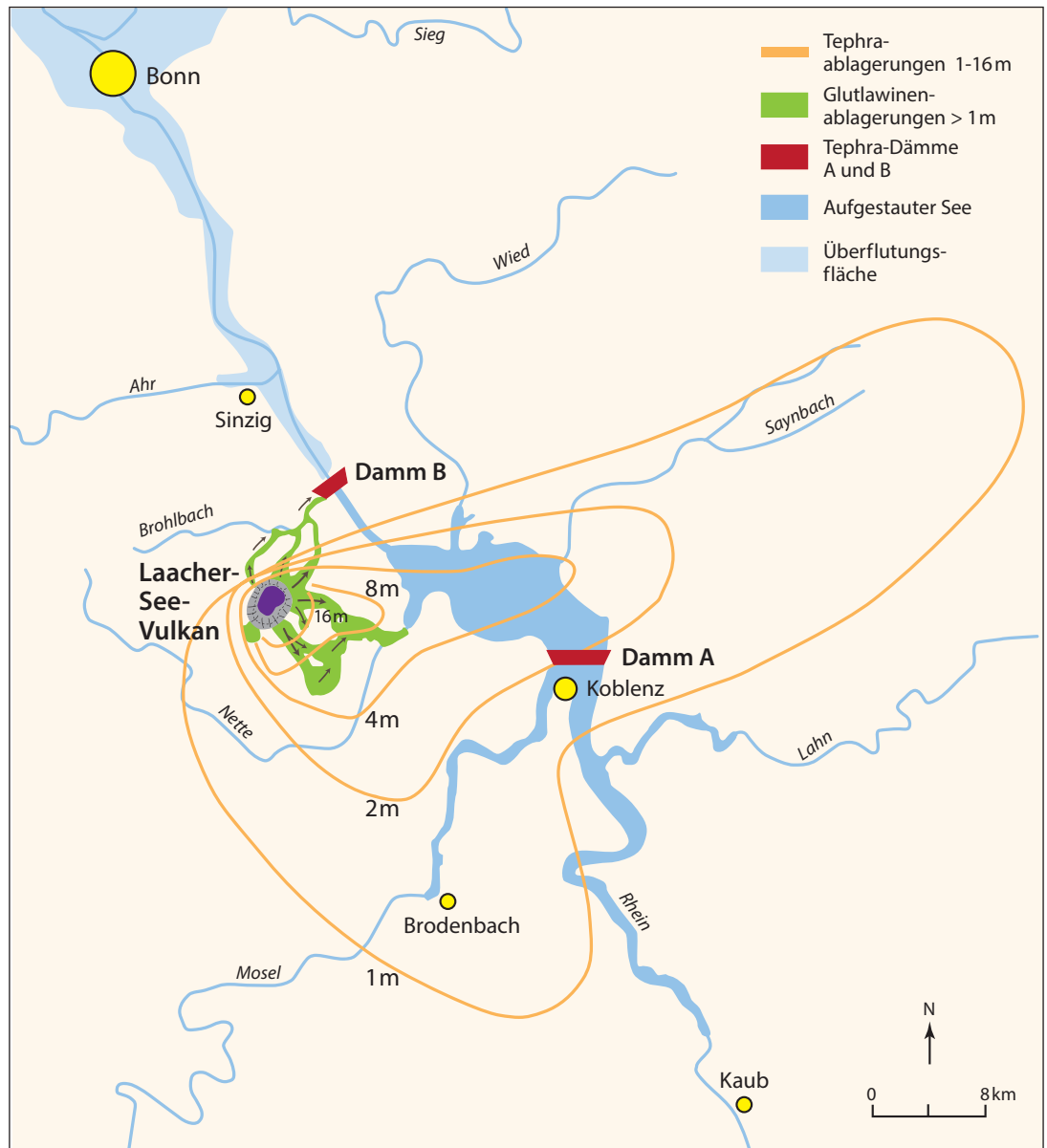
logischen Vergangenheit. Das Ereignis ist nicht direkt dokumentiert. Es ist insbesondere von SCHMINCKE und VAN DEN BOGAARD rekonstruiert worden⁴, durch Interpretation der vulkanischen Auswurfprodukte (Tephra) und ihrer Lagerungsverhältnisse und unter Einbeziehung vergleichender Studien (wissenschaftlich) beobachteter Ausbrüche wie die des Mt. St. Helens (1980, USA) und El Chichón (1982, Mexiko).

Abb. 1 Das Becken des Laacher Sees. Das Loch entstand durch ein explosives vulkanisches Eruptionsereignis; die Hauptphase dauerte vermutlich nur wenige Tage. Der See ist etwa 2 km lang und 51 m tief. Mehrere ältere Schlackenkegel sind am Aufbau des bewaldeten Beckenrandes beteiligt; sie verstärken die kesselartige Struktur des Beckens. Foto: © Thilo PÖRLING, www.porling-immobilien.de (freundl. Zurverfügungstellung).

Hinweis zu den Anmerkungen:

Die Anmerkungen enthalten Belegzitate und weitere Informationen, Abbildungen und Tabellen(Z); sie können als Zusatzmaterial zum Artikel unter www.si-journal.de/jg23/heft2/laacher-see.pdf heruntergeladen werden.

Abb. 2 Regionale Verbreitung der Laacher-See-Tephra. Lila: Ausbruchszentrum. Orange: Fallablagerungen links und rechts des Rheins (Mächtigkeiten >16 bis 1 m, Isopachenfächer). Grün: Aschestromablagerungen (Ignimbrite); sie füllten die unmittelbar angrenzenden Paläotäler (hauptsächlich Brohl- und Nettetäl) bis zum Rhein. Rot: Tephra-Dämme; die plötzliche Materialverfüllung führte zu einer vermutlich mehrphasigen Aufstauung des Rheins sowie zu Dammbildungen (A, Koblenzdamm, zusammengeschwemmte Fallablagerungen, und B, Brohldamm, Aschestromablagerungen). Mittelblau: auf- bzw. rückgestauter Rhein. Hellblau: Überflutungsflächen; der Bruch der instabilen Dämme schließlich führte zu Stauseeausbrüchen (hier nach Brohldamm-Bruch). Abbildung nach PARK & SCHMINCKE (2009) sowie SCHMINCKE (2013). Grafik: Frank MEYER.



Demzufolge bildet die stratigraphische Dreigliederung der Ablagerungen – Untere, Mittlere und Obere Laacher-See-Tephra (LST) – den Eruptionsmechanismus ab: eine komplexe, im Verlauf wechselhafte (plinianische⁵) Eruption mit phreatomagmatischen (s. u.) Phasen zu Beginn, in der Mitte und insbesondere in der Endphase.⁶ Daneben gilt es aufgrund des Transportmechanismus drei Ablagerungstypen zu unterscheiden: Fall- (fallout, Niederschlag), Strom- (infolge einer kollabierenden Eruptionsssäule) und Base-Surge-Ablagerungen (infolge Bodendruckwellen).

Der Hauptteil von etwa 20 km³ Tephra ist wahrscheinlich innerhalb weniger Tage aus dem Krater geschleudert worden: Asche, Lapilli, Bims (erstarrte Fetzen aufgeschäumten Magmas) sowie (Nebengesteins-) Bruchstücke von Schiefern und Sandsteinen aus dem Untergrund. Während der Hauptphase wurden Asche und Bims bis über 30 km hoch in die Stratosphäre katapultiert und über unterschiedliche Strömungssysteme sowohl

weit nach Nordosten (bis Südschweden und Polen) als auch nach Süden (bis Norditalien) verfrachtet, wo ihre Niederschläge in Form dünner Lagen in See- und Moorablagerungen noch heute aufzufinden sind (Abb. 4). In Kraternähe wurde Tephra über 35 m hoch aufgeschichtet (s. Wingertsberg, Abb. 3). Der gewaltige Bims- und Ascheniederschlag erfolgte hauptsächlich östlich des Kraters; noch in einer Entfernung von 30–50 km beträgt die Mächtigkeit örtlich bis zu einem Meter. Mächtige pyroklastische Ströme (Glutlawinen), die sich radial vom Krater weg zu den jeweils topographisch tiefsten Punkten hinunterbewegten, rasten über Seitentäler (heutiges Nettetäl und Brohltäl) bis an und in den Rhein. In den Tälern bildeten sich so bis zu 60 m mächtige, helle und massige Ablagerungen (Ignimbrite). Am Wingertsberg (Abb. 3) zeugen die dünenartigen Strukturen der Oberen LST von hohen Transportgeschwindigkeiten; diese Base-Surge-Ablagerungen entstanden durch „sedimentgeladene Bodendruckwellen“ als unmittel-



Abb. 3 Obere Laacher-See-Tephra mit dünenförmigen Bildungen (obere zwei Drittel des Ausschnittes der Tephra-Folge). Die „Dünen“ zeugen von hoher Transportgeschwindigkeit durch sogenannte Base Surges, am Boden dahin schießende Druckwellen (SCHMINCKE 1970); sie bestanden aus einem Gemenge aus Lapilli, Bruchstücken des Untergrundgesteins und Dampf. Ihre hohe Energie entstand durch Magma-Wasser(dampf)-Explosionen. Wingertsberg, ca. 1 km S Laacher See, Transportrichtung von links nach rechts. Foto: M. KOTULLA, 2008.

telbare Folge des hochexplosiven Kontaktes von Grundwasser und Magma (phreatomagmatisch).

Das eruptierte, phonolithische* Magma besitzt ein Volumen von insgesamt über 6 km³ (entspricht 1/3 des Tephra-Volumens); das ist wesentlich mehr Magma „als aus allen 300 Schlackenkegeln und ihren Lavaströmen der Eifel-Vulkanfelder zusammen“ (SCHMINCKE 2013). Das Magmareservoir soll sich nach einem Magmadifferentiations- bzw. Magmareservoirmodell oberflächennah in einer Tiefe von 3–6 km befunden haben (WÖRNER & SCHMINCKE 1984); der achtförmige Umriss des Sees soll von einer Verlagerung des Eruptionszentrums von Süden nach Norden herrühren.

Der massige Materialeintrag in den nahegelegenen Rhein führte wiederholt zu Aufstauungen, Dammbrüchen und Zehnermeter hohen Flutwellen (PARK & SCHMINCKE 1997, 2009). Zunächst stauten Fallablagerungen der frühen Ausbruchphase (Untere LST) mehrmals den Rhein bei Koblenz auf; dies aber nur temporär, für wenige Stunden. Denn bei nachlassender oder aussetzender Tephrazufuhr wurden die instabilen Barrieren („Koblenzer Dämme“) schnell wieder ausgeräumt. Während der zweiten Ausbruchphase (Mittlere LST, Abschnitt A) allerdings erreichten Stromablagerungen das enge Rheintal bei Brohl und bildeten dort einen temporär stabilen Damm. Im Neuwieder Becken bildete sich schnell ein See⁷ (knapp 30 m Höhe); ein Rückstau erfolgte in die Seitentäler und (rechnerisch) etwa 140 km stromaufwärts, etwa bis zum heutigen Mannheim. Noch vor

dem Ende der vierten und letzten Ausbruchphase (Beginn Obere LST, Abschnitt B) muss der „Brohldamm“ gebrochen sein; der Stauseeausbruch löste eine verheerende Flutwelle rheinabwärts aus.

Laacher-See-Tephra: mehr als ein Leithorizont

In ihrer räumlichen Verbreitung liefern vulkanische Aschenlagen nicht nur einen wichtigen Leithorizont, sondern echte Isochronen, d. h. exakte Zeit-Bezugsflächen – denn ein Aschen-Niederschlag erfolgt quasi gleichzeitig während einer Spanne von Stunden oder wenigen Tagen. In der stratigraphischen Korrelation sind überlieferte Aschenlagen deshalb anderen strati-

Glossar

Allerød: Eine Phase der klimatostratigraphisch gegliederten, jüngeren Abschnitte des Quartärs in NW-Europa. Die nachfolgenden relativen Kalt-/Warmphasen sind: Jüngere Dryas (oberstes Pleistozän), Präboreal bis Subatlantikum (Holozän), siehe Abb. Z1.

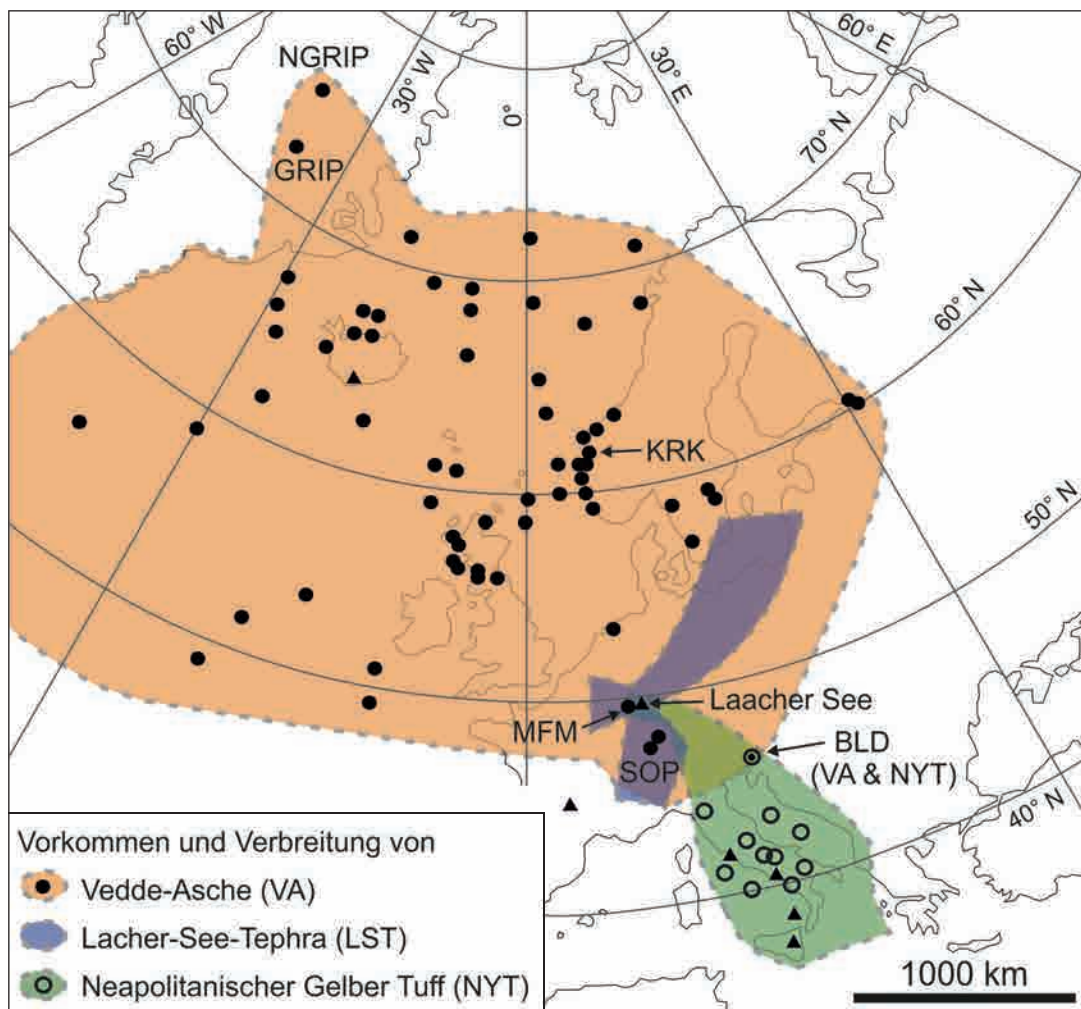
phonolithisch: Eine Bezeichnung, die die Zusammensetzung der Magmen beschreibt: Mg- und Fe-arm, aber Al₂O₃-, K₂O- und Na₂O-reich.

Schlackenkegel: Hügeliger Vulkanbau aus Schlacke und Asche; Anhäufung

(Aufbau) bis zu mehreren 100 m Höhe durch wiederholte Lava- und Aschenfontänen. Z. B. ist der 1943 neu entstandene Paricutin-Vulkan (Mexiko) während der 9-jährigen aktiven Phase (bis 1952) auf 424 Meter angewachsen.

Tephrostratigraphie: Zeitliche (relative) Gliederung und Korrelation von Gesteinskörpern anhand von Tephraablagerungen, insbesondere eingeschalteter Aschelagen in Sedimentfolgen (im Falle größerer Distanzen zum Ausbruchszentrum).

Abb. 4 Vorkommen und Verbreitung der Laacher-See-Tephra (LST, lila) in Mitteleuropa. In der Sedimentfolge des Meerfelder Maars (MFM) sind neben der Laacher-See-Tephra (8,76 m Tiefe) auch die Vedde-Asche (Tiefe 8,01 m; VA, orange) und der Neapolitanische Gelbe Tuff (Tiefe 10,72 m; NYT, grün) nachgewiesen worden. Die Verbreitung dieser drei Aschenlagen über große Teile von Europa liefert für den Grenzbereich Pleistozän/Holozän ein stratigraphisches Netzwerk, das Korrelationen von Grönland bis zum Mittelmeer erlaubt (siehe Textteil, vgl. KOTULLA 2013). Abbildung nach DAVIES et al. (2012) sowie LANE et al. (2015). Legende²²: schwarze Dreiecke sind vulkanische Ausbruchszentren, Kreise Fundpunkte. Grafik: Rafael SCHÄFFER.



graphischen Methoden überlegen, insbesondere der biostratigraphischen. Voraussetzung allerdings ist eine Unterscheidung und eindeutige Identifizierung der einzelnen Aschenlage; bei quartären Aschenlagen wird dies vorwiegend auf geochemischer Basis versucht.

Im Laacher-See-Gebiet überdecken die mächtigen Laacher-See-Bimse eine wenige Dezimeter dicke Lössschicht, die dem Allerød* zugerechnet wird, einer relativ wärmeren Phase in der Späteiszeit (Tab. Z1). Mancherorts werden die Bimse wiederum von Flugsanden überlagert. Die weitverbreitete Laacher-See-Tephra ist vielerorts in See- und Moorablagerungen nachgewiesen (Abb. 4); die Tephra-Lage wird dort noch von einigen Metern bzw. Dezimetern Sediment überdeckt. Die klimatostratigraphische Interpretation dieser Sedimentfolgen, entsprechend den definierten Kalt- und Warmphasen bis in die Gegenwart, stellt die Laacher-See-Tephra ebenfalls noch in das Allerød.⁸

Weitere (aktive) vulkanische Provinzen im heutigen Europa mit vergleichbarem, explosivem Vulkanismus sind Island und Regionen im Mittelmeer-Raum. Erst kürzlich ist in den Seesedimenten des Meerfelder Maars (Eifel, 50 km SW Laach) zusätzlich Tephra der jüngeren Vedde-Asche (Herkunft: Katla, Island; ca. 2200 km)

und des älteren Neapolitanischen Gelben Tuffs (Herkunft: Phlegräische Felder bei Neapel; ca. 1200 km) nachgewiesen worden (LANE et al. 2015; Tab. Z2). Wird die jeweilige räumliche Verbreitung dieser Aschenlagen mit der der Laacher-See-Tephra stratigraphisch verknüpft, entsteht für das oberste Pleistozän und dem definierten Grenzbereich Pleistozän/Holozän ein pan-europäisches tephrostratigraphisches* Netz exakter Zeit-Bezugsflächen, das von Grönland bis zum Mittelmeer reicht und eine Korrelation in unterschiedlichsten Ablagerungsmilieus (Eis, Land und Meer) erlaubt (Abb. 4).

Altersbestimmungen

Der Ausbruch des Laacher-See-Vulkans soll vor 12900 Jahren geschehen sein. Dieses Datum ist in der Fachwelt allgemein anerkannt.⁹ Es gilt als gesichert, da es auf drei (vermeintlich) unabhängige Altersbestimmungsmethoden gründet, die übereinstimmende Ergebnisse geliefert haben. – Wie aber ist das Datum des Ausbruchereignisses konkret ermittelt worden und was bedeuten diese Ergebnisse?¹⁰

Unter Anwendung der Radiokarbonmethode (¹⁴C). Stellvertretend für die seit den 1950er-Jah-

Altersbestimmung – Methode	Einheit „Jahre“	„Jahre“ vor heute	Gültigkeit und Grenzen (z. T. nach KOTULLA 2014)
Radiokarbon-Methode (radiometrisch)	¹⁴ C-Jahre (kalibriert)	12 916	relativ, nicht verifiziert (Langchronologien)
Argon/Argon-Methode (radiometrisch)	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar-Jahre	12 900	relativ, nicht unabhängig
Warvenzählung (warvenchronologisch)	Warvenjahre	12 880	I. d. R. in ¹⁴ C-Altersrahmen eingepasst: nicht unabhängig, nicht absolut (Langchronologien)

Tab. 1 Angewandte Altersbestimmungsmethoden zur „Datierung“ der Laacher-See-Eruption. Die übereinstimmenden Ergebnisse – etwa 12 900 Jahre vor heute – (hier ohne Fehlergrenzen) vermitteln eine gesicherte Bestimmung. Dies ist aber – mit Blick auf die Gültigkeit der jeweiligen Methode und der Abhängigkeit der Ergebnisse – nicht der Fall (siehe Textteil).

ren zahlreich durchgeführten ¹⁴C-Analysen werden die häufig zitierten Ergebnisse von BAALES et al. vorgestellt. Die Proben stammten von im Bims aufrechtstehenden, verkohlten Bäumen (in situ) bei Kruft, wenige Kilometer östlich des Laacher Sees. Ihr mittleres Alter von 11 065 ± 20 ¹⁴C-Jahren BP (before present; vor heute, bezogen auf 1950) wurde unter Anwendung einer Eich- bzw. Kalibrierungskurve zunächst zu 13 050–13 190 cal. (kalibrierten) ¹⁴C-Jahren BP umgerechnet (BAALES et al. 1999¹¹). In der Folge kalibrierten die Autoren mit einem eigenen Ansatz das nunmehr gewichtete Mittel von 11 062 ± 11 ¹⁴C-Jahren BP zu 12 916 cal. ¹⁴C-Jahren BP (BAALES et al. 2002¹²) – gerundet und mit Kalenderjahren gleichgesetzt 12 900 Jahre vor heute.

Bevor die ¹⁴C-Alter (in einer Größenordnung von +10–20 %) kalibriert wurden, wurde das (konventionelle) ¹⁴C-Alter mit Kalenderjahren gleichgesetzt. So galt bis etwa Mitte der 1990er-Jahre als Ausbruchzeitpunkt ca. 11 000 [¹⁴C-] Jahre vor heute. Je nach Kalibrierungsansatz und -methode erfolgte bis 1999 eine phasenweise Erhöhung bis zu ca. 13 000 [cal. ¹⁴C-] Jahren vor heute (Tab. Z3).

Die Kalibrierungsversuche alleine zeigen bereits auf, dass die Radiokarbonmethode eine relative Altersbestimmungsmethode ist. Sie bedarf einer unabhängigen Verifizierung durch Objekte oder Ereignisse bekannten Alters; die jahrring- bzw. dendrochronologische Kalibrierung erfüllt diese Voraussetzungen nicht, da sie selbst einer unabhängigen Verifizierung bedarf. Zudem sind die für die Erstellung der Jahrring-Langchronologien verwendeten Hölzer ¹⁴C-vordatiert. Demzufolge sind ¹⁴C-Alter dieser Größenordnung (ob dendro- oder teilweise „Jahreslagen“-kalibriert¹³, s.u.) nicht wirklich verifiziert; das Verhältnis von ¹⁴C-„Jahren“ der hier diskutierten Größenordnung zu Real-Jahren ist nicht bekannt (s. KOTULLA 2014).

Mit keiner der angewendeten Altersbestimmungsmethoden kann ein absolutes und verifiziertes Alter geliefert werden.

Unter Anwendung der warvenchronologischen Methode. Ende der 1980er-Jahre sind für die laminierten Sedimente des Holzmaars und des Meerfelder Maars Warvenchronologien erstellt worden (ZOLITSCHKA 1988, 1990). Dass es sich bei der Laminierung der Seesedimente um eine jährliche Prägung (Warvierung) handele, habe mit Bezug auf die Laacher-See-Tephra durch die gute Übereinstimmung der ermittelten Warvenjahre (11 200) mit ihrem bekannten Alter (11 000 Jahre vor heute, s. o.) Bestätigung gefunden: Die „Jahresschichten-Natur wird durch die korrekte Datierung der gut bekannten Isochrone der Laacher-See-Tephra bestätigt (...)“ (ZOLITSCHKA 1991, 59). In den Folgejahren allerdings wurde das warvenchronologische („absolute“) Alter der Laacher-See-Tephra in der Holzmaar-Langchronologie von den Bearbeitern nach und nach erhöht, von 11 200, auf 12 398, 12 560 und zuletzt 12 880 Warvenjahre BP (Tab. Z4). Das gleiche geschah mit der Meerfelder-Maar-Chronologie (Tab. Z5). Die Anpassungen¹⁴ erfolgten durch Einpassung in den jeweils gültigen (kalibrierten) ¹⁴C-Altersrahmen.¹⁵

Schon diese An- und Einpassungen zeigen, dass die warvenchronologische Methode keine absolute und keine unabhängige Altersbestimmungsmethode ist. ZOLITSCHKA hat weder gesamthaft noch im Einzelfall den Nachweis einer Jahresschichtung (Warvierung) der Seesedimente erbracht¹⁶; als (vermeintlichen) Nachweis einer Jahresschichtung stellt er einen aufgestellten Idealzyklus vor (u. a. ZOLITSCHKA 1990, 40–42; 1998, 7–8). Das aber ist kein wirklicher Nachweis (s. KOTULLA 2014, 3–01 ff, u. a. Suigetsu-See).

Unter Anwendung der Kalium/Argon- (K/Ar) bzw. Argon/Argon-Methode (Ar/Ar): VAN DEN BOGAARD (1995) führte 40 ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Analysen an Sanidin-Kristallen¹⁷ der oberen Laacher-See-Tephra durch. Seine ermittelten, sogenannten scheinbaren Alter der Einzelproben umfassen eine Spanne, die von 6,4 ± 3,8 bis 127 ± 2 Tausend ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Jahren reicht. Durch Bildung von vier Subpopulationen von Kristallen weist er Alter(sgruppen) von 127, 55, 25 und 12,9 (80 % der Analysen) Tausend ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Jahren¹⁸ aus. Das ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Eruptionsalter schätzt er abschließend auf 12 900 ± 560 Jahre BP¹⁹ („korrigiert“ zu 13 290 ± 410 Jahre BP²⁰); die Werte aber streuen von 6 400 bis 18 400 ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Jahre.

30 Jahre zuvor waren von FRECHEN & LIPPOLT (1965) Datierungsversuche mit der K/Ar-Methode unternommen worden; sie ermittelten für zwei Sanidin-Proben ein K/Ar-Alter von $0,23 \pm 0,03$ bzw. $1,51 \pm 0,1$ Millionen Jahre. Das zu hohe Alter begründeten sie mit überschüssigem (ererbtem) radiogenem Argon: „Wahrscheinlich wurde hierbei [rasche Ausbrüche, MK] nicht alles radiogene Argon ausgetrieben“ (S. 26). Seit VAN DEN BOGAARD (1995) sind keine $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Analysen publiziert worden; es bleiben auch die ungeklärten, widersprüchlichen Ergebnisse zu FRECHEN & LIPPOLT (1965).

Die $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Methode allerdings ist ebenfalls eine relative Datierungsmethode (JOURDAN et al. 2014). Die Alter werden auf einen Mineral-Standard „bekannten“ Alters zurück referenziert (z. B. Fish Canyon Tuff, ca. 28 Mio. [radiometrische] Jahre). Des Weiteren erfolgen bei der Interpretation der Daten gegebenenfalls Korrekturen. So lieferte – RENNE et al. (1997) zufolge – die Datierung von Sanidin-Kristallen²¹ des historisch dokumentierten Ausbruchs des Vesuv im Jahre 79 n. Chr. ein übereinstimmendes Ergebnis: Ein $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter von 1925 ± 94 Jahren vor heute im Vergleich zu kalendarisch 1918 Jahren vor heute (jeweils bezogen auf 1997). Dieses prominent ausgewiesene $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter aber war zuvor korrigiert worden, nämlich um einen überschüssigen Argon-Anteil, der sich aus dem bekannten (wirklichen) Alter der Probe ermitteln ließ. Ohne diese Korrektur hätte das $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Verhältnis einem Alter von 3300 $\pm$ 500 Jahren entsprochen.

Schlussfolgerung

Das Ereignis der Laacher-See-Eruption ist fest in der mitteleuropäischen Quartärstratigraphie (Grenzbereich Pleistozän/Holozän) verankert. Die unternommenen Versuche, den Zeitpunkt des Ausbruchs mit verschiedenen Methoden zu bestimmen, zeigen, dass die Ergebnisse mehrfach aufeinander abgestimmt (synchronisiert) worden sind; führend dabei ist letztlich die Radiokarbonmethode. Es handelt sich demnach nicht um drei unabhängige Schätzungen (Tab. 1). Alle drei angewandten Methoden sind relativer Natur; keine Methode ist in der Lage, ein absolutes und verifiziertes Alter zu liefern. Die Bestimmung des Ausbruchzeitpunktes – ausgewiesen mit 12 900 Jahren – ist nicht nur unsicher, selbst die Größenordnung ist gegenwärtig nicht einmal bekannt.

Literatur

- BAALES M, BITTMANN F & KROMER B (1999) Verkohlte Bäume im Trass der Laacher See-Tephra bei Kruft (Neuwieder Becken). Ein Beitrag zur Datierung des Laacher See-Ereignisses und zur Vegetation der Allerod-Zeit am Mittelrhein. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 28, 191–204.
- BAALES M, JÖRIS O, STREET M, BITTMANN F, WENINGER B & WIETHOLD J (2002) Impact of the Late Glacial eruption of the Laacher See volcano, Central Rhineland, Germany. *Quaternary Research* 58, 273–288.
- DAVIES SM, BRANCH NP, LOWE JJ & TURNEY CSM (2002) Towards a European tephrochronological framework for Termination 1 and the Early Holocene. *Philosophical Transactions Royal Society, London A* 360, 767–802.
- FRECHEN J & LIPPOLT HJ (1965) Kalium-Argon-Daten zum Alter des Laacher Vulkanismus, der Rheinterrassen und der Eiszeiten. *Eiszeitalter und Gegenwart* 16, 5–30.
- JOURDAN F, MARK DF & VERATI C (2014) Advances in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating: from archaeology to planetary sciences – introduction. In: JOURDAN F, MARK DF & VERATI C (Eds.) *Advances in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating: from archaeology to planetary sciences*, 1–8, doi:10.1144/SP378.24.
- KOTULLA M (2013) Grönländische Eiskerndaten und ihre Interpretation: Absolute Datierung durch Zählung von Jahresschichten? W+W Special Paper G-13-1, Baisersbrunn; <http://www.wort-und-wissen.de/download.html>.
- KOTULLA M (2014) Gültigkeit und Grenzen geologischer Zeitbestimmung. Online-Loseblattsammlung, Stand: 1. Ergänzungslieferung 03/2014; <http://www.wort-und-wissen.de/loseblattsammlung.html>.
- LANE CS, BRAUER A, MARTIN-PUERTAS C, BLOCKLEY SPE, SMITH VC & TOMLINSON EL (2015) The Late Quaternary tephrostratigraphy of annual laminated sediments from Meerfelder Maar, Germany. *Quaternary Science Reviews* 122, 192–206.
- PARK C & SCHMINCKE H-U (1997) Lake formation and catastrophic dam burst during the Late Pleistocene Laacher See eruption (Germany). *Naturwissenschaften* 84, 521–525.
- PARK C & SCHMINCKE H-U (2009) Apokalypse im Rheintal. *Spektrum der Wissenschaft* 02, 78–87.
- RENNE PR, SHARP WD, DEINO AL, ORSI G & CIVETTA L (1997) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating into the historical realm: calibration against Pliny the Younger. *Science* 277, 1279–1280.
- SCHMINCKE H-U (1970) „Base surge“-Ablagerungen des Laacher-See-Vulkans. *Aufschluss* 21, 359–364.
- SCHMINCKE H-U (2013) *Vulkanismus*. 4. Auflage, Darmstadt.
- VAN DEN BOGAARD (1995) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of sanidine phenocrysts from Laacher See Tephra (12,900 yr BP): Chronostratigraphic and petrological significance. *Earth and Planetary Science Letters* 133, 163–174.
- WÖRNER G & SCHMINCKE H-U (1984) Petrogenesis of the zoned Laacher See Tephra. *Journal of Petrology* 25, 836–851.
- ZOLITSCHKA B (1988) Spätquartäre Sedimentationsgeschichte des Meerfelder Maars (Westefel) – Mikrostratigraphie jahreszeitlich geschichteter Seesedimente. *Eiszeitalter u. Gegenwart* 38, 87–93.
- ZOLITSCHKA B (1990) Spätquartäre jahreszeitlich geschichtete Sedimente ausgewählter Eifelmaare. *Documenta naturae* 60, 1–226.
- ZOLITSCHKA B (1991) Absolute dating of late Quaternary lacustrine sediments by high resolution varve chronology. *Hydrobiologica* 214, 59–61.
- ZOLITSCHKA B (1998) Paläoklimatische Bedeutung laminierter Sedimente. Holzmaar (Eifel, Deutschland), Lake C2 (Nordwest-Territorien, Kanada) und Lago Grande di Monticchio (Basilicata, Italien). *Relief Boden Paläoklima* 13, 1–176.