

Die explosive Eruption des Laacher-See-Vulkans

Michael KOTULLA

Dieses PDF-Dokument enthält zu o. g. Artikel die Anmerkungen 1 bis 22 sowie die Tab. Z1 bis Z5 (Stand 20.10.2016).

1) Anmerkungen

Nr. Anmerkung

- ¹ <http://zukunftsinitiative-eifel.de/2016/03/11/touristische-kraefte-buendeln/>; Zugriff März 2016.
- ² Siehe u. a.:
<http://www.vulkanpark.com/>
<http://www.nationaler-geopark.de/geopark/nationale-geoparks/deutschlandkarte/geopark-vulkanland-eifel.html>
<http://www.lava-dome.de/magazin/magazin.php?menuid=3&topmenu=3>
<http://www.lgb-rlp.de/geotourismus.html>
- ³ Späteiszeitlich (Späteiszeit), auch nacheiszeitlich (Nacheiszeit): stratigraphisch bzw. relativ verwendet, unabhängig der konventionellen Zeitskala.
- ⁴ Im Detail in: FREUNDT & SCHMINCKE (1985a,b; 1986), HARMS & SCHMINCKE (1999), PARK & SCHMINCKE (1997), SCHMINCKE (1981), SCHMINCKE et al. (1973, 1990, 1999), VAN DEN BOGAARD & SCHMINCKE (1984, 1985), WÖRNER & SCHMINCKE (1984a,b).
U. a. zusammengefasst in: MESCHÉDE (2015), MEYER (2013), PARK & SCHMINCKE (2009), SCHMINCKE (2013, 2014).
MEYER (2013, 474-493) zufolge ist strittig, ob es sich um ein Ausbruchszentrum oder möglicherweise mehrere Ausbruchszentren gehandelt hat. MEYER geht davon aus, dass die Obermendiger Tephra, die Meerboden-Tephra und die Niedermendiger Tephra (alle südöstlich Laacher See, Raum Mendig) aus Spalten oder Schloten vor Ort (also außerhalb des Laacher See Kessels) gefördert wurden, aber aus einem gemeinsamen Magmareservoir stammen.
- ⁵ Hochexplosive Eruption; Asche und Gas werden in die Stratosphäre katapultiert. Benannt nach Plinius dem Jüngeren, der den Ausbruch des Vesuv im Jahr 79 n. Chr.

Nr. Anmerkung

beschrieben hat; ob es seine eigenen Beobachtungen waren, ist umstritten.

⁶ Es werden vier Ausbruchphasen unterschieden (z. B. in PARK & SCHMINCKE 2009):

Ausbruchphase 1: Untere (lower) Laacher-See-Tephra (LLST).

Ausbruchphase 2: Mittlere (middle) Laacher-See-Tephra (MLST, Abschnitt A).

Ausbruchphase 3: Mittlere (middle) Laacher-See-Tephra (MLST, Abschnitt B/C).

Ausbruchphase 4: Obere (upper) Laacher-See-Tephra (ULST).

Die Ausbruchphasen 1-3 sollen insgesamt nur wenige Tage andauert haben; es herrschten „(...) während des größten Teils dieser Zeitspanne Ruhepausen“ – „insbesondere vor und während Phase 2 (...)“ (S. 82). „(...) die mächtigen Falloutablagerungen von Phase 1 und 3 [entstanden] sehr wahrscheinlich jeweils in nur wenigen Stunden“ (S. 83). Der Höhepunkt der Eruption ist Phase 3; „dabei trat die Hauptmasse des Laacher-See-Magmas aus (...)“ (S. 82). Phase 4 allerdings soll sich über mehrere Monate erstreckt haben, „(...) möglicherweise bis in das Folgejahr“ (S. 83). – Der Ausbruch begann im Frühling; das belegt der Vegetationsstand der örtlich konservierten Pflanzen.

⁷ Der See (etwa 2,5 km³) soll sich in etwa zwei Wochen gebildet haben, die heutige (mittlere) Wasserführung des Rheins vorausgesetzt (PARK & SCHMINCKE 2009, 86).

⁸ Z. B. FIRBAS (1953).

⁹ Z. B. SCHMINCKE et al. (1999, 65):

„An age of ca. 12,900 a BP is now accepted by most workers.“

Oder: LithoLex, Lithostratigraphisches Lexikon Deutschland (BGR), Stichwort „Laacher See Tephra-Formation“ (http://litholex.bgr.de/gesamt_ausgabe_neu.php?id=1000005; Zugriff März 2016).

„Alterseinstufung:

Die meisten Alterseinstufungen basieren auf biostratigraphischen und radiometrischen Altern (Dendrochronologie, Palynologie, 14C-Datierungen). Moderne Datierungsverfahren mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen führen zu einer sehr präzisen Alterseinstufung der LST und Rekonstruktion des Eruptionsverlaufes des Laacher See Vulkans.

Klimatostratigraphie: Warvenchronologische Untersuchungen in Seesedimenten (LITT & STEBICH 1999, MERKT & MÜLLER 1999). Radiometrische Altersbestimmung (14C) an Pflanzenresten (BAALES et al. 2002, FRIEDRICH et al. 1999, HAJDAS et al. 1995) und eine 40Ar/39Ar-Datierung an Sanidinen (BOGAARD 1995) führten zu einem allgemein anerkannten absoluten Alter von 12 900 a BP ± 20 a.

Biostratigraphie: Pollenanalyse und Untersuchung pflanzlicher Makroreste (BITTMANN 2007).“

a = annum; Jahr.

¹⁰ Es ist nicht Gegenstand dieses Artikels, die Technik und Theorie der hier diskutierten

Nr. Anmerkung

Altersbestimmungsmethoden darzulegen.

¹¹ BAALES et al. (1999, 493): Nach HUGHEN et al. (1998), „Cariaco Basin“-Kalibrierungskurve.

¹² Kalkulation (bzw. Kalibrierung) wie folgt (BAALES et al. 2002):

11.570 cal. BP (Beginn Holozän, Übernahme aus FRIEDRICH et al. 1999),
+ 1.143 (ø Dauer der Jüngeren Dryas, 3 ausgewählte Quellen*),
+ 203 (ø zeitl. Abstand LST zu Beginn der Jüngeren Dryas, Quellen s. o.),
= 12.916 cal. BP

*HAJDAS et al. (1993, 1995), Soppensee (Schweiz); GOSLAR et al. (1995), Gosciadz-See (Polen); JOHNSON et al. (1992), GRIP (Eiskern, Grönland) – Dauer (1.143) bzw. Abstand (203) durch Zählung von „Jahresschichten“; siehe Anmerkung 13.

¹³ Mit Bezug auf die Kalkulation in Anmerkung 12.

Zur „Jahresschichtenzählung“ an Eiskernen siehe KOTULLA (2013), an laminierten Sedimenten KOTULLA (2014).

¹⁴ Die vermeintlich fehlenden Warvenjahre (Jahresschichten) wurden, bezogen auf Teilabschnitte der Kernprofile, begründet mit „sedimentationsbedingte Unterschiede und daraus resultierende Interpretations-Diskrepanzen“, „undeutliche Warven“, „Bioturbation“, „Ausfall der hellen Diatomeenlagen“, „Jahreslagen so dünn, dass sie nicht mehr richtig differenzierbar sind“ (ZOLITSCHKA 1998) oder einem Hiatus (BRAUER et al. 2001, 87).

¹⁵ So auch FRIEDRICH et al. (1999, 32):

„As mentioned above, however, most varve series have been calibrated using ¹⁴C in the Holocene (Goslar et al., 1995; Hajdas et al., 1995b; Hughen et al., 1998). As all ¹⁴C data sets used for calibration prior to 7500 cal BP are based on tree-ring chronologies discussed in this contribution, there is a danger of circular reasoning when synchronicity of events is postulated.“

¹⁶ Als Nachweismöglichkeiten nennt ZOLITSCHKA (1990, 40):

Direkter, aktuogeologischer Nachweis durch (1) Sedimentfallen und (2) jährliche Entnahme von Sedimentkernen sowie indirekter Nachweis (3) paläontologisch (pollenanalytisch, diatomologisch) und über (4) statistische Vergleiche (Mächtigkeit der Lamina mit Klima-Datenreihen).

¹⁷ Sanidin: Alkalifeldspat, Mischkristall mit der chemischen Formel (K,Na)[AlSi₃O₈].

¹⁸ Als individuelle Alter, gewichtete scheinbare Alter oder Isochronen-Alter.

¹⁹ Zur Situation der ¹⁴C-Kalibrierung bezieht sich VAN DEN BOGAARD (1995, 165) auf die Arbeit von HAJDAS et al. (1993; = [16]); kalibriert setzt er in Anführungszeichen: „(...),

Nr. Anmerkung

and recent attempts to stretch the radiocarbon calibration curve beyond 10 kyr through combined AMS ^{14}C and varve chronology studies have suggested a ‚calibrated‘ ^{14}C age of $12,350 \pm 150$ yr BP for the Laacher See eruption [16].“

VAN DEN BOGAARDS (1995) 12.900 „Jahre“ korrespondieren allerdings – ZOLITSCHKA (1998, 31) zufolge – mit der von BARD et al. (1993) vorgenommenen U/Th-Kalibrierung der Radiokarbonaten: 12.950 cal. BP (auf Basis von 11.120 BP).

Das Ergebnis von VAN DEN BOGAARD (1995), ein $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Eruptionsalter von 12.900 ± 560 Jahren BP, erachten SCHMINCKE et al. (1999, 31), verglichen mit den Warvenaltern der Maarsee-Sedimente („praktisch identisch“), als damit quasi bestätigt: „Single crystal laser fusion dating ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) on sanidine phenocrysts indicate an age of 12.900 ± 560 a BP (Bogaard, 1995) – practically identical to the results of recent varve studies of maar lake deposits west of the Laacher See (Negendank and Zolitschka, 1993; Brauer et al., 1997; Hajdas et al., 1995; Litt and Stebich, 1999) and other lakes (Merk, 1991).“

20 ZOLITSCHKA (1998, 31): „Ebenfalls an Einsprenglingen wurde das $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter der LST auf 12.9 ± 0.56 ka bestimmt (Bogaard, 1995). Dieses Alter musste auf 13.29 ± 0.41 ka korrigiert werden (Bogaard, 1995, mündl. Mitt.). Dabei wird angenommen, dass diese Alter Kalenderjahre darstellen und dass der Vulkanausbruch unmittelbar nach der Bildung der Einsprenglinge erfolgte.“

21 Die Bims-Probe stammte von der verschütteten Villa von Oplontis.

22 NGRIP: Grönländische Eiskernbohrung (1996-2003), North Greenland Ice Core Project (North Greenland Ice Core Project Members 2004); GRIP: Grönländische Eiskernbohrung (1990-1992), Greenland Ice Core Project (GRIP Members 1993); KRK: Kråkenes, Norwegen (BIRKS et al. 1996); SOP: Soppensee, Schweiz (LANE et al. 2011b); BLD: Bled-See, Slovenien (LANE et al. 2011a).

2) Tabellen

Serie Epoche	Terrestrisch	Terrestrisch	Eiskern (Grönland)	Marin
	Glazial- Gliederung NW-Europa	Kalt-/Warmschwankungen "Klimatostratigraphie" NW-Europa	Ereignis- Stratigraphie	Isotopen- stufen (MIS)
Holozän	Postglazial (Warmzeit)	Subatlantikum Subboreal Atlantikum Boreal Präboreal		MIS 1 [w]
Pleistozän	Weichsel- Kaltzeit	Jüngere Dryas [k] Alleröd [w] LST Ältere Dryas [k] Bölling [w] (weitere)	G. Stadial 1 (GS-1) G. Interstadial 1 (GI-1) (weitere bis GS/GI-25)	MIS 2 - MIS 5d
	Eem- Warmzeit	Gliederung nicht ausgewiesen		MIS 5e [w]
	Saale- Kaltzeit			MIS 6 - MIS 7d
	Hollstein- Warmzeit			MIS 7e [w]
	(...) (weitere)			(weitere)

Tab. Z1 Gliederung der jüngeren Abschnitte des Quartärs und Eis/Land/Meer-Korrelation. Die Laacher-See-Tephra (LST) wird stratigraphisch in das Alleröd gestellt. Legende: [w] = relativ wärmer; [k] = relativ kälter; G. = Grönland; MIS = marine Isotopenstufen. Modifiziert nach KOTULLA (2013).

Vulkanische Aschelagen	Herkunft	NGRIP Tiefe [m]	Krakenes Tiefe [m]	Holzmaar Tiefe [m]	Meerfeld Tiefe [m]	Soppensee Tiefe [m]	Bled-See Tiefe [m]
Saksunnarvatn-Asche	?	1409,89	6,74	-	-	-	-
Vedde-Asche	Katla (Island)	1506,18	8,31	?	8,01	5,62	1,22
Laacher-See-Tephra	Laacher See	-	-	9,65	8,76	5,95	-
Neapolitanischer Gelber Tuff	Phlegräische Felder, Neapel	-	-	?	10,72	-	2,40

Tab. Z2 Überregional verbreitete spät- und nacheiszeitliche vulkanische Aschen.

In den Seesedimenten des Meerfelder Maars (Eifel) ist nicht nur die Laacher-See-Tephra (Tiefe 8,76 m) überliefert, sondern auch die jüngere Vedde-Asche (Tiefe 8,01) und der ältere Neapolitanische Gelbe Tuff (Tiefe 10,72) (LANE et al. 2015). Die jeweiligen Entfernungen zu den Eruptionszentren betragen etwa 2200 (Island) und 1200 km (Neapel). Die Tabelle zeigt weitere Lokalitäten mit den jeweiligen Positionen der Aschenlagen im Eiskern- (NGRIP) oder Sediment-Profil (siehe auch Abb. 4). – Die Pleistozän/Holozän-Grenze ist erst vor wenigen Jahren formal am NGRIP-Eiskern definiert worden, in Tiefe 1492,45 m (WALKER et al. 2009), (tephro)stratigraphisch zwischen der Saksunnarvatn- und der Vedde-Asche (zur Eiskerndatierung siehe KOTULLA 2013).

Jahr (Arbeit)	Autoren	Zeitpunkt des Ausbruchs [„Jahre“ vor heute bzw. 1950]	Pflanzenreste in, unter/über LST ¹⁴ C-Alter [¹⁴ C-Jahre]	LST: Sanidin-Einsprenglinge K-Ar-Alter, Ar-Ar-Alter [radiom. Jahre]	LST: Aschen-Horizont Warven-Alter [Warvenjahre]	Anmerkungen
1951	Arnold & Libby	k. A.				Nr. 337 (S. 112), Torf mit Brikenresten von Wallensen, Alleröd: 11.044 ± 500 ¹⁴ C-Jahre (siehe Firbas, Probe 1)
1953	Iversen et al. (siehe Anderson et al.)	k. A.				K-107 (S. 8): torfhaltiger Ton von Wallensen, Alleröd: 11.160 ± 320 ¹⁴ C-Jahre (siehe Firbas, Probe 2).
1953	Firbas	rund 11.000	11.044 ± 500 10.940 ± 330			Lokalität Wallensen (Torfmudde 0-4 bzw. 0-2 cm über Torfschicht): Probe 1: 11.044 ± 500 ¹⁴ C-Jahre; Libby, 1950. Probe 2: 10.910 ± 330 ¹⁴ C-Jahre (Mittelwert von 2 Einzelbestimmungen); Iversen, Levy & Tauber, 1952.
1956	De Vries & Waterbolk	k. A.				Laacher See Tephra, Holzproben eingereicht von Frechen: Gro-1184 (Brohltal-Trass): 11.025 ± 90 ¹⁴ C-Jahre. Gro-1199 (Gleesertal-Trass): 10.680 ± 85 ¹⁴ C-Jahre.
1965	Frechen & Lippolt			230 ± 30 k 1510 ± 100 k („zu hohe Alter“)		Tabelle 4, S. 13; K/Ar-Alter (Sanidine aus Bimssteinen des Laacher Kessel): Probe Laach I: 0,23 ± 0,03 Millionen [radiometrische] Jahre. Probe Laach II: 1,51 ± 0,10 Millionen [radiometrische] Jahre. Autorengemäß zu hohe Alter wegen überschüssigen (ererbten) radiogenem Argons.
1970	Schmincke	ca. 11.000				Zur Datierung des Ausbruchszeitpunkts keine weiteren Angaben.
1983	Meyer	etwa 11.000				S. 38.
1984	Van den Bogaard & Schmincke	ca. 11.000				Zur Datierung des Ausbruchszeitpunkts keine weiteren Angaben.
1985	Van den Bogaard & Schmincke	11.000 BP	11.000 ± 50			Tabelle (Table A) mit 16 ¹⁴ C-Altersbestimmungen, Spanne von 10.550-11.300 ¹⁴ C-Jahren und individueller Fehler von ± 85 bis ± 500 ¹⁴ C-Jahren; Ermittlung und Bewertung unterschiedlicher Mittelwerte (S. 1557); Wahrscheinliches Eruptionsdatum: zwischen 10.950 und 11.050 ¹⁴ C-Jahren.
1988	Van den Bogaard & Schmincke	11.000				Z. B. S. 82 (Abb. 10): Pleistozänprofil Kärlich und Probe KAE-DT3 mit einem Radiokarbonalter von 11.000 Jahren; Referenz unklar.
1988	Meyer	etwa 11.000 (9000 v. Chr.)				S. 13.

Jahr (Arbeit)	Autoren	Zeitpunkt des Ausbruchs [„Jahre“ vor heute bzw. 1950]	Pflanzenreste in, unter/über LST ¹⁴ C-Alter [¹⁴ C-Jahre]	LST: Sanidin-Einsprenglinge K-Ar-Alter, Ar-Ar-Alter [radiom. Jahre]	LST: Aschen-Horizont Warven-Alter [Warvenjahre]	Anmerkungen
1989	Van den Bogaard (C.) et al.	ca. 11.000 v. h.				S. 64: ohne Bezug.
1990	Zolitschka				11.200 (Holzmaar); 11.120 (Meerfelder Maar)	Seesedimente ausgewählter Eifelmaare: <u>Methodik:</u> Hell/Dunkel-Lagenpaare werden als Warven interpretiert. Auszählung der organischen Warven; über eine Extrapolation der Sedimentationsraten absolute Datierung jedes beliebigen Sedimentabschnitts. <u>Holzmaar:</u> Warvenchronologie mit ausgewiesenen 12.794 Warvenjahren; 1064 Einzelauszählungen. <u>Meerfelder Maar:</u> Warvenchronologie mit ausgewiesenen 12.475 Warvenjahren; 136 Einzelauszählungen.
1991	Zolitschka	11.000 BP			9.200 BC; ca. 11.200 BP	Holzmaar und Meerfelder Maar. Als Feststellung: warvenchronologische Methode erzielt ein um etwa 200 [Warven-] Jahre höheres Alter (S. 59).
1991	Schmincke & van den Bogaard	11.000 BP				S. 398-401: mit Bezug auf van den Bogaard & Schmincke (1984, 1985).
1993	Kaiser	etwa 11.000 BP				S. 157 ff. Will einen Zusammenhang zwischen Laacher-See-Eruption und einer Jahrringstörung herstellen (schwebende Dättnau-Chronologie 3, 318 Dendrojahre). Interpretiert die ¹⁴ C-Analysen der Dättnau-Chronologie mit Bezug auf die Position der Jahrringstörung zu 11.070 ¹⁴ C-Jahre BP (Fig. 12d, S. 38, sowie S. 158). Demzufolge würde die Dättnau-Chronologie 3 etwa den Zeitraum 11.200 bis 10.850 „Jahre“ vor heute abdecken (Fig. 11, S. 33).
1993	Hajdas	12.400	11.200 BP			Dissertation, Basis für Hajdas et. al (1993); s. u. Versuch einer Erweiterung der ¹⁴ C-Kalibrationskurve bis 14.000 „Jahre“. Lokalität Soppensee: Korrektur der ausgezählten Warvenjahre (5.567) um (vermeintlich fehlende) zusätzliche 550 ± 108 Warvenjahre. Lokalität Holzmaar: Korrektur der ausgezählten Warvenjahre um (vermeintlich fehlende) zusätzliche 1066 Warvenjahre.
1993	Hajdas et al.	(12.350)	10.800 bis 11.200 BP		12.350 ± 135	Lokalität Soppensee (Schweiz): Kern SO89-17 (27 m) mit laminiertem Abschnitt von 362 bis 633 cm Tiefe, LST in Tiefe

Jahr (Arbeit)	Autoren	Zeitpunkt des Ausbruchs [„Jahre“ vor heute bzw. 1950]	Pflanzenreste in, unter/über LST ¹⁴ C-Alter [¹⁴ C-Jahre]	LST: Sanidin-Einsprenglinge K-Ar-Alter, Ar-Ar-Alter [radiom. Jahre]	LST: Aschen-Horizont Warven-Alter [Warvenjahre]	Anmerkungen
						595 cm; insgesamt 69 ¹⁴ C-Analysen (von 390/1 cm, 6.190 ± 40 ¹⁴ C-Jahre BP bis 633/4, 12.150 ± 90 ¹⁴ C-Jahre BP; sowie drei tiefere Proben). Zunächst Erstellung einer schwebenden ¹⁴ C-kalibrierten Warvenchronologie; Fixierung (Beginn) der Chronologie (Tiefe 384 cm) mit 6.000 ¹⁴ C-Jahre B.P., kalibriert (Stuiver et al. 1986) 6.869 ± 38 ¹⁴ C-Jahre B.P. (= 6.869 ± 38 Warvenjahre); Korrektur der ausgezählten Warvenjahre um zusätzliche 550 ± 108 Warvenjahre (Übertragung der Warvierung/Sedimentationsrate [des Warvenmodells] auf nichtlaminierte Teilbereiche); der Endpunkt (634 cm Tiefe) entspricht 12.977 ± 151 Warvenjahre. Lacher-See-Tephra (¹⁴ C-Datierung, in Klammer Probenposition): 11.190 ± 90 ¹⁴ C-Jahre BP (2 cm unter) sowie 10.760 ± 105 ¹⁴ C-Jahre B.P. (ein cm darüber); Kalibrierung zu 12.350 ± 135 absoluten „Jahren“ (Modell für Soppensee).
1995	Hajdas et al.	(12.200)	12.201 ± 224 cal BP		12.201 ± 224	Lokalität Holzmaar: ¹⁴ C-kalibrierte Warvenchronologie; Korrektur um zusätzliche 878 Warvenjahre im Vergleich zur Dendrokalibrierungskurve (bezüglich der Masterchronologie von Zolitschka (1990, 1991).
1995	Hajdas, Zolitschka et al.	k. A.	11.230 ± 40 BP			Lokalitäten Soppensee (Schweiz) sowie Holzmaar und Schalkenmehrer Maar: Gewichtetes Mittel aller ¹⁴ C-Proben mit einem „zeitlichen Abstand“ von max. ± 100 Warvenjahre zur Aschenlage (LST). Diskussion der Interpretation der ¹⁴ C-Jahre (S. 152): Van den Boogard & Schmincke (1985) hätten eine 1:1-Beziehung zwischen Kalenderjahren und ¹⁴ C-Jahren vorgeschlagen. – Note (MK): „Vorschlag“ ist eine interessante Formulierung; bis zu diesem Zeitpunkt war eine 1:1-Beziehung ein Faktum.
1995	Van den Bogaard			12.900 ± 560		⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar-Analysen an Sanidin-Phänokrysten (Lokalität Wingertsberg, nur aus Oberer LST): Scheinbare Alter der Sanidine reichen von 6,4 ± 3,8 bis 127 ± 2 (1σ) Tausend ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar-Jahren. Bildung von vier Subpopulationen von Kristallen mit individuellem, gewichteten scheinbaren oder Isochronen-Alter von 127, 55, 25 und 12,9 Tausend ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar-Jahren. Das ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar-Eruptionsalter wird auf 12.900 ± 560 Jahre BP geschätzt. Detail: 32 von 40 Einkristall-Analysen (80 %) werden einer Isochrone zugewiesen mit einem Schnittpunktalter von 12.900 ± 560 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar-Jahre auf Basis eines initialen ⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar-Verhältnisses von 296,1 ± 0,9; die Spanne scheinbaren ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar-Alters reicht von 6.400 bis 18.400 Jahren. Der gewichtete Durchschnitt der scheinbaren ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar-Alter allerdings beträgt 13.290 ± 410 Jahre BP. Die Differenz zu Hajdas et al. (1993) – „ein vorgeschlagenes, ‚kalibriertes‘ ¹⁴ C-Alter von 12.300 ± 150 Jahre BP für die Laacher-See-Eruption“ (S. 165) – wird nicht diskutiert.

Jahr (Arbeit)	Autoren	Zeitpunkt des Ausbruchs [„Jahre“ vor heute bzw. 1950]	Pflanzenreste in, unter/über LST ¹⁴ C-Alter [¹⁴ C-Jahre]	LST: Sanidin-Einsprenglinge K-Ar-Alter, Ar-Ar-Alter [radiom. Jahre]	LST: Aschen-Horizont Warven-Alter [Warvenjahre]	Anmerkungen
1996	Meyer & Stets	ca. 13.000				S. 200.
1999	Baales et al.	(ca. 13.100)	13.050 bis 13.190 cal BP			Lokalität Krufft; Proben von im Bims aufrechtstehenden, verkohlten Bäumen: Spanne (3 Bäume, 6 Bestimmungen): 11.037 ± 27 bis 11.075 ± 28 ¹⁴ C-Jahre. Detail-Analyse (Baum Krufft 9) in Abhängigkeit der Baumring-Position: Position 1-20, 11.063 ± 30; Position 21-30, 11.066 ± 29; Position 31-40, 11.073 ± 33; Position 41-50, 11.075 ± 28 ¹⁴ C-Jahre. Die überlieferten 50 (ø 35) Jahre repräsentieren (ohne Fehler) lediglich 12 ¹⁴ C-Jahre; dies wird als eine Plateau-Phase interpretiert. Mittlere ¹⁴ C-Alter 11.065 ± 20 BP; kalibriert 13.050 bis 13.190 cal BP (nach Hughen et al. 1998; „Cariaco Basin“-Kalibrierungskurve, S. 493).
1999	Friedrich et al.		13.010 bis 13.200 cal BP (± 70)			Lokalität Krufft; selben Proben wie Baales et al. (1999) sowie ein weitere (Table 1, S. 37): Mittleres Alter von 11.063 ± 12 ¹⁴ C-Jahren BP; „absolut“ 13.010 bis 13.200 ± 70 cal ¹⁴ C-Jahren BP (Hughen et al. 1998, INTCAL98). Die Verdoppelung der Jahrringbreite im Verlauf der präborealen Kiefernchronologie (PPC) über einen Zeitraum von 3 Dekaden wird als Termination der „kühlen“ Jüngeren Dryas interpretiert; dieses „Klimasignal“ wird dann mit dem signifikanten δ ¹⁸ O-Anstieg in den grönländischen Eiskernen (GRIP, GISP2), die die Termination der Jüngeren Dryas (Pleistozän/Holozän-Grenze) markiert, korreliert (Fig. 5). Eine markante Wachstumsstörung – ein signifikanter Rückgang der Jahrringbreiten über 5+ Jahre – in der schwebenden (¹⁴ C vordatierten) Jahrring-Chronologie von Dättnau (Schweiz) wird als kausal durch die Laacher-See-Eruption verursacht interpretiert (Fig. 10).
1999	Schmincke, Park & Harms	12.900 BP				Kurze Diskussion des Alters der Eruption (Kap. 2.4., S. 65): Die (durchweg einheitlichen) ¹⁴ C-Alter (Firbas 1953 und folgende) würden eine sichere Basis für eine Rekalibrierung und eine Korrelation mit Warvenchronologien bilden (zusammengefasst in Bogaard & Schmincke 1985 und Friedrich et al. 1999). Die ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar-Datierungen würden ein Alter von 12.900 ± 560 Jahren BP anzeigen, praktisch identisch mit den Ergebnissen der aktuellen Warvenstudien von Maarseen (Negendank & Zolischka 1993, Brauer et al. 1997, Hajdas et al. 1995, Litt & Stebich 1999) und anderer Seen (Merkt 1991). Ein Alter von 12.900 Jahren BP sei nun von den meisten Bearbeitern akzeptiert.
2002	Baales et al.	(12.900)	12.916 cal BP			Tabelle (Table 3) mit 44 ¹⁴ C-Altersbestimmungen an Pflanzenresten unmittelbar unterhalb LST, in MLST oder ULST (nur 1 Probe): Clustering und Bewertung sowie Vergleich mit anderen Chronologien (Jahrring, Warven, Eiskern).

Jahr (Arbeit)	Autoren	Zeitpunkt des Ausbruchs [„Jahre“ vor heute bzw. 1950]	Pflanzenreste in, unter/über LST ¹⁴ C-Alter [¹⁴ C-Jahre]	LST: Sanidin-Einsprenglinge K-Ar-Alter, Ar-Ar-Alter [radiom. Jahre]	LST: Aschen-Horizont Warven-Alter [Warvenjahre]	Anmerkungen
						Korrelation des gewichteten Mittels von 11.062 ± 11 ¹⁴ C-Jahre BP (präziseste Wert, Kruff-Bäume, siehe Baales et al. 1998) mit einem Punkt unmittelbar vor einer Sequenz ausgedünnter Jahrringe der schwebenden DAEALCH3-Jahringchronologie (Schweiz). Kalkulation eines (des) Ausbruchsdatums: 11.570 cal. BP (Beginn Holozän, Übernahme aus Friedrich et al. 1999), + 1.143 (Ø Dauer der Jüngerer Dryas, 3 ausgewählte Quellen*), + 203 (Ø zeitl. Abstand LST zu Beginn der Jüngerer Dryas, Quellen s. o.), =12,916 cal. BP *Hajdas et al. (1993, 1995), Soppensee (Schweiz); Goslar et al. (1995), Gosciadz-See (Polen); Johnson et al. (1992), GRIP (Eiskern, Grönland).
2007	Riede	ca. 12.920				S. 26: Mit Bezug auf Baales et al. (2002), „kalibriert und dendrochronologisch korrigiert“.
2008	Baales	ca. 13.000				Mit Bezug auf Baales et al. (2002).
2009	Park & Schmincke	12.900				Zur Datierung des Ausbruchszeitpunkts keine weiteren Angaben. Referenzen u. a. Schmincke et al. (1999); s. o.
2012	Kaiser et al.		? 13.120 cal. BP (Fig. 5)			Zur Laacher-See-Eruption (S. 87): Korrelation der Dättnau-Jahressringstörung (Ausdünnung) mit der Laacher-See-Eruption (Folgejahre), bescheinigt durch („evidenced by“) ¹⁴ C-Altersbestimmungen der Pappeln in Kruff sowie der Dättnau-Bäume (u. a. Pinien). Wie zuvor; u. a. Kaiser (1993), Friedrich et al. (1999), Baales et al. (1999). – Hier Korrelation quasi vollzogen. Demzufolge soll die Dättnau-Chronologie 3 (DAEALCH 3) nunmehr etwa den Zeitraum 13.200 bis 12.900 „Jahre“ vor heute abdecken (Fig. 3, S. 81).
2015	Meschede	12.916 v. h.				S. 197: Mit Bezug auf Baales et al. (2002) und Jöris & Weninger (2000).

Tab. Z3 Ausgewiesene „Alter“ der Laacher-See-Eruption, von ca. 11.000 zu ca. 12.900 „Jahren“ vor heute.

Erläuterung siehe Textteil. Zu den einzelnen Arbeiten siehe Literaturverzeichnis am Ende.

Legende: BP = before present, vor heute, Bezugsjahr 1950; v. h. = vor heute; BC = before Christ, vor Christus (v. Chr.); cal = kalibriert; k = 1000; k. A. = keine Angabe; S. = Seite(n).

Holzmaar	1989 (1) [WJ BP]	1990 (2) [WJ BP]	1992 (3) [WJ BP]	1993 (4) [WJ BP]	1996 (5) [WJ BP]	1998 (6) [WJ BP]	2000 (7) [WJ BP]	2001 (8) [WJ BP]
Positionen:								
Ulmener-Maar-Tephra (UMT)						11.000	11.000	11.000
Grenze Jüngere Dryas/Holozän		10.610	10.630	11.510		11.600		11.600
Grenze Alleröd/Jüngere Dryas		10.980	11.080	11.960		12.300		12.606
Laacher-See-Tephra (LST)	11.200	11.200	11.300	12.398	12.940	12.560	12.880	12.880
Dauer/Abstand (Warvenjahre):								
Jüngere Dryas		370	450	450		700		1.006
LST bis Grenze Alleröd/J. Dryas		220	220	438		260		274
LST bis UMT						1.560	1.880	1.880
Alleröd								883
Korrektur LST (Warvenjahre):								
Im Vergleich zur Basis von 1989		0	100	1.098	1.740	1.360	1.680	1.680

Tab. Z4 Warvenchronologische „Datierung“ der Laacher-See-Tephra, Holzmaar (Eifel).

Das warvenchronologische Alter der Laacher-See-Tephra wurde von den Bearbeitern (s. u.) über mehrere Etappen von 11.200 Warvenjahre BP auf 12.880 Warvenjahre BP erhöht. Die Anpassung erfolgte durch Einpassung in den jeweils gültigen (kalibrierten) ¹⁴C-Altersrahmen. Die An- und Einpassung zeigt, dass die warvenchronologische Methode keine absolute und keine unabhängige Altersbestimmungsmethode ist. Zur weiteren Orientierung enthält die Tabelle ausgewählte stratigraphische Positionen sowie die Bildung von Abständen bzw. Spannen in Warvenjahren. – Die oberen 11,4 m der erbohrten Sedimentfolge im Holzmaar sind hauptsächlich laminiert; die Lamination wird als jahreszeitlich geprägt (Warvierung) interpretiert (ZOLITSCHKA 1989 und weitere). Die Laacher-See-Tephra (Mächtigkeit etwa 80 mm) liegt bei 9,7 m, die Ulmener-Maar-Tephra (1,5 mm) bei etwa 8,6 m Tiefe (Standardprofil HZM-B/C).

Legende: WJ, Warvenjahre; BP, before present (vor heute), bezogen auf 1950; (1) ZOLITSCHKA (1989), NEGENDANK (1989) mit Verweis auf ZOLITSCHKA (1989); (2) ZOLITSCHKA (1990, S. 48 u. 85 (Tab. 17)); (3) ZOLITSCHKA (1992); (4) HAJDAS (1993); (5) REIN (1996); (6) ZOLITSCHKA (1998), zusätzlich möglicherweise eine weitere Korrektur um 460 WJ notwendig (Anpassung der Dauer der Jüngeren Dryas), daraus ergäbe sich ein Ausbruchdatum von 12.940 cal BP (S. 67); (7) ZOLITSCHKA et al. (2000); (8) BRAUER et al. (2001).

Meerfelder Maar	1988 (1)	1990 (2)	1993 (3)	1993 (4)	1999 (5)	2000 (6)	2015 (7)
	[WJ BP]	[WJ BP]	[WJ BP]	[WJ BP]	[WJ BP]	[WJ BP]	[WJ BP]
Positionen:							
Ulmener-Maar-Tephra (UMT)			10.020		11.000	11.000	
Grenze Jüngere Dryas/Holozän	10.000			10.610	11.590		
Grenze Alleröd/Jüngere Dryas	11.000	11.050		11.070	12.680		
Laacher-See-Tephra (LST)	11.190	11.120	11.323	11.323	12.880	12.880	12.880
Dauer/Abstand (Warvenjahre):							
Jüngere Dryas	1.000			460	1.090		
LST bis Grenze Alleröd/J. Dryas	190	70		253	200		
LST bis UMT			1.303		1.880	1.880	
Alleröd		810			670		
Korrektur LST (Warvenjahre):							
Im Vergleich zur Basis von 1988		-70	133	133	1.690	1.690	1.690

Tab. Z5 Warvenchronologische „Datierung“ der Laacher-See-Tephra, Meerfelder Maar (Eifel).

Das warvenchronologische Alter der Laacher-See-Tephra wurde von den Bearbeitern (s. u.) über mehrere Etappen von 11.190 Warvenjahre BP auf 12.880 Warvenjahre BP erhöht. Die Anpassung erfolgte durch Einpassung in den jeweils gültigen (kalibrierten) ¹⁴C-Altersrahmen. Die An- und Einpassung zeigt, dass die warvenchronologische Methode keine absolute und keine unabhängige Altersbestimmungsmethode ist. Zur weiteren Orientierung enthält die Tabelle ausgewählte stratigraphische Positionen sowie die Bildung von Abständen bzw. Spannen in Warvenjahren. Legende: WJ, Warvenjahre; BP, before present (vor heute), bezogen auf 1950; (1) ZOLITSCHKA (1988), nach ZOLITSCHKA (1986); (2) ZOLITSCHKA (1990); (3) NEGENDANK & ZOLITSCHKA (1993); (4) POTH & NEGENDANK (1993); (5) BRAUER et al. (1999a, 1999b); BRAUER et al. (2000), ZOLITSCHKA et al. (2000); (7) LANE et al. (2015), nach BRAUER et al. (1999a).

Literatur

- ANDERSON EC, LEVI H & TAUBER H (1953) Copenhagen Natural Radiocarbon Measurements, I. *Science* *118*, 6-9.
- ARNOLD JR & LIBBY WF (1951) Radiocarbon Dates. *Science* *113*, 111-120.
- BAALES M (2008) Eiszeitliches Pompeji am Mittelrhein. *Archäologie in Deutschland* *5*, 6-11.
- 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 Allerød-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.
- BARD E, ARNOLD M, FAIRBANKS RG & HAMELIN B (1993) ^{230}Th - ^{234}U and ^{14}C ages obtained by mass spectrometry on corals. *Radiocarbon* *35*, 191-199.
- BIRKS HH, GULLIKSEN S, HAFLIDASON H, MANGERUD J & POSSNERT G (1996) New radiocarbon dates for the Vedde Ash and the Saksunarvatn Ash from western Norway. *Quaternary Research* *45*, 119-127.
- BITTMANN F (2007) Reconstruction of the Allerød vegetation of the Neuwied Basin, western Germany, and its surroundings at 12,900 cal B.P. *Vegetation History and Archaeobotany* *16*, 139-156.
- BRAUER A, ENDRES C, GÜNTHER C, LITT T, STEBICH M & NEGENDANK JFW (1999a) High resolution sediment and vegetation responses to Younger Dryas climate change in varved sediments from Meerfelder Maar, Germany. *Quaternary Science Reviews* *18*, 321-329.
- BRAUER A, ENDRES C & NEGENDANK JFW (1997) Lake Meerfeld Maar varve record – climatic and environmental change during the Late Glacial and early Holocene. *Würzburger Geographische Manuskripte* *41*; abstract volume 7th International symposium on palaeolimnology.
- BRAUER A, ENDRES C & NEGENDANK JFW (1999b) Lateglacial calendar year chronology based on annually laminated sediments from Lake Meerfelder Maar, Germany. *Quaternary International* *61*, 17-25.
- BRAUER A, ENDRES C, ZOLITSCHKA B & NEGENDANK JFW (2000) AMS radiocarbon and varve chronology from the annually laminated sediment record of Lake Meerfelder Maar, Germany. *Radiocarbon* *42*, 355-368.
- BRAUER A, LITT T, NEGENDANK JFW & ZOLITSCHKA B (2001) Lateglacial varve chronology and biostratigraphy of lakes Holzmaar and Meerfelder Maar, Germany. *Boreas* *30*, 83-88.
- 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.
- DE VRIES H & WATERBOLK HT (1956) Groningen Radiocarbon Dates III. *Science* *128*, 1550-1556.
- FIRBAS F (1953) Das absolute Alter der jüngsten vulkanischen Eruptionen im Bereich des Laacher Sees. *Naturwissenschaften* *40*, 54-55.
- FRECHEN J & LIPPOLT HJ (1965) Kalium-Argon-Daten zum Alter des Laacher Vulkanismus, der Rheinterrassen und der Eiszeiten. *Eiszeitalter und Gegenwart* *16*, 5-30.
- FREUNDT A & SCHMINCKE H-U (1985a) Lithic enriched segregation bodies in pyroclastic flow deposits of Laacher See Volcano (E-Eifel, Germany). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* *25*, 193-224.

- FREUNDT A & SCHMINCKE H-U (1985b) Hierarchy of facies of pyroclastic flow deposits generated by Laacher See-type eruptions. *Geology* 13, 278-281.
- FREUNDT A & SCHMINCKE H-U (1986) Emplacement of small-volume pyroclastic flows at Laacher See Volcano (E-Eifel, Germany). *Bulletin of Volcanology* 48, 39-60.
- FRIEDRICH M, KROMER B, SPURK M, HOFMANN J & KAISER KF (1999) Paleo-environment and radiocarbon calibration as derived from Lateglacial/Early Holocene tree-ring chronologies. *Quaternary International* 61, 27-39.
- GOSLAR T, ARNOLD M, BARD E, KUC T, PAZDUR MF, RALSKA-JASIEWICZOWA M, ROZANSKI K, TISNERAT N, WALANUS A, WICIK B & WIECKOWSKI K (1995) High concentration of atmospheric ^{14}C during the Younger Dryas cold episode. *Nature* 377, 414-417.
- GRIP Members (1993) Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core. *Nature* 364, 203-207.
- HAJDAS I (1993) Extension of the Radiocarbon Calibration Curve by AMS Dating of Laminated Sediments of Lake Soppensee and Lake Holzmaar. Diss., Zürich.
- HAJDAS I, IVY-OCHS SD, BEER J, BONANI G, IMBODEN D, LOTTER AF, STURM M & SUTER M (1993) AMS radiocarbon dating and varve chronology of Lake Soppensee: 6000 to 12 000 years BP. *Climate Dynamics* 9, 107-116.
- HAJDAS I, IVY-OCHS SD & BONANI G (1995a) Problems in the extension of the radiocarbon calibration curve (10-13 Kyr BP). *Radiocarbon* 37, 75-79.
- HAJDAS I, IVY-OCHS SD, BONANI G, LOTTER AF, ZOLITSCHKA B & SCHLÜCHTER C (1995b) Radiocarbon Age of the Laacher See Tephra: $11,230 \pm 40$ BP. *Radiocarbon* 37, 149-154.
- HARMS E & SCHMINCKE H-U (1999) Volatile composition of the Laacher See phonolite magma (12.900 yr BP): Implications for syn-eruptive S, F, Cl and H_2O degassing. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 138, 84-98.
- HUGHEN KA, OVERPECK JT, LEHMANN SJ, KASHGARIAN M, SOUTON J, PETERSON LC, ALLEY R & SIGMAN DM (1998) Deglacial changes in ocean circulation from extended radiocarbon calibration. *Nature* 391, 65-68.
- JOHNSEN SJ, CLAUSEN HB, DANSGAARD W, FUHRER K, GUNDESTROP N, HAMMER CU, IVERSEN P, JOUZEL J, STAUFFER B & STEFFENSEN JP (1992) Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core. *Nature* 359, 311-313.
- JÖRES O & WENINGER B (2000) ^{14}C -Alterskalibration und die absolute Chronologie des Spätglazials. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 30, 461-471.
- KAISER KF (1993) Klimageschichte vom späten Hochglazial bis ins frühe Holozän, rekonstruiert mit Jahrringen und Molluskenschalen aus verschiedenen Vereisungsgebieten. Zürich.
- KAISER KF, FRIEDRICH M, MIRAMONT C, KROMER B, SGIER M, SCHAUB M, BOEREN I, REMMELE S, TALAMO S, GUIBAL F & SIVAN O (2012) Challenging process to make the Lateglacial tree-ring chronologies from Europe absolute – an inventory. *Quaternary Science Reviews* 36, 78-90.
- KOTULLA M (2013) Grönländische Eiskerndaten und ihre Interpretation: Absolute Datierung durch Zählung von Jahresschichten? W+W Special Paper G-13-1, Baiersbrunn; <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, ANDRIC M, CULLEN VL & BLOCKLEY SPE (2011a) The occurrence of distal Icelandic and Italian tephra in the Lateglacial of Lake Bled, Slovenia. *Quaternary Science Reviews* 30, 1013-1018.

- LANE CS, BLOCKLEY SPE, RAMSEY CB & LOTTER AF (2011b) Tephrochronology and absolute centennial scale synchronization of European and Greenland records of the last glacial to interglacial transition: A case study of Soppensee and NGRIP. *Quaternary International* 246, 145-56.
- 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.
- LITT T & STEBICH M (1999) Bio- and chronostratigraphy of the lateglacial in the Eifel region, Germany. *Quaternary International* 61, 5-16.
- MERKT J (1991) Hochauflösende Zeitreihen aus jahreszeitlich geschichteten Seesedimenten. Archiv des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLFb), Archiv Nr. 108658.
- MERKT J & MÜLLER H (1999) Varve chronology and palynology of the Lateglacial in Northwest Germany from lacustrine sediments of Hämelsee in Lower Saxony. *Quaternary International* 61, 41-59.
- MESCHÉDE M (2015) *Geologie Deutschlands*. Berlin Heidelberg.
- MEYER W (1983) *Geologischer Wanderführer: Eifel*. Stuttgart.
- MEYER W (1988) *Das Vulkangebiet des Laacher Sees. Rheinische Landschaften 9*. 4. Auflage, Köln.
- MEYER W (2013) *Geologie der Eifel*. 4., völlig neu bearbeitete Auflage, Stuttgart.
- MEYER W & STETS J (1996) *Das Rheintal zwischen Bingen und Bonn. Sammlung geologischer Führer 89*. Berlin Stuttgart.
- NEGENDANK JFW (1989) Pleistozäne und holozäne Maarsedimente der Eifel. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft* 140, 13-24.
- NEGENDANK JFW & ZOLITSCHKA B (1993) Maars and maar lakes of the Westeifel Volcanic Field. In: NEGENDANK JFW & ZOLITSCHKA B (Eds.) *Paleolimnology of European Maar Lakes. Lecture Notes in Earth Sciences* 49, 61-80.
- North Greenland Ice Core Project Members (2004) High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature* 431, 147–151.
- 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.
- POTH D & NEGENDANK JFW (1993) Paleoclimate reconstruction at the Pleistocene/Holocene transition - A varve dated microstratigraphic record from Lake Meerfelder Maar (Westeifel, Germany). In: NEGENDANK JFW & ZOLITSCHKA B (Eds.) *Paleolimnology of European Maar Lakes. Lecture Notes in Earth Sciences* 49, 209-222.
- REIN B (1996) *Die Warvenchronologie des Holzmaares – Vergleichende Untersuchungen an drei Sedimentprofilen*. Diss., Universität Potsdam.
- RIEDE F (2007) Der Ausbruch des Laacher See-Vulkans vor 12.920 Jahren und urgeschichtlicher Kulturwandel am Ende des Alleröd. Eine neue Hypothese zum Ursprung der Bromme-Kultur und des Perstunien. *Mitteilungen der Gesellschaft für Urgeschichte* 16, 25-54.
- SCHMINCKE H-U (1970) „Base surge“-Ablagerungen des Laacher-See-Vulkans. *Aufschluss* 21, 359-364.
- SCHMINCKE H-U (1981) Bimsablagerungen des Laacher See Vulkans. In: NEUNAST A & THEINER J (Hrsg.) *Bims*. Köln, 19-131.
- SCHMINCKE H-U (2013) *Vulkanismus*. 4. Auflage, Darmstadt.
- SCHMINCKE H-U (2014) *Vulkane der Eifel. Aufbau, Entstehung und heutige Bedeutung*. 2., erweiterte und überarbeitete Auflage, Berlin Heidelberg.

- SCHMINCKE H-U, FISHER RV & WATERS AC (1973) Antidune and chute and pool structures in the base surge deposits of the Laacher See area, Germany. *Sedimentology* 20, 553-574.
- SCHMINCKE H-U, PARK C & HARMS E (1999) Evolution and environmental impacts of the eruption of Laacher See Volcano (Germany) 12,900 a BP. *Quaternary International* 61, 61-72.
- SCHMINCKE H-U & VAN DEN BOGAARD P (1991) Tephra Layers and Tephra Events. In: EINSELE G, RICKEN W & SEILACHER A (Eds.) *Cycles and Events in Stratigraphy*, 392-429. Berlin Heidelberg.
- SCHMINCKE H-U, VAN DEN BOGAARD P & FREUNDT A (1990) Quaternary Eifel Volcanism. Excursion guide, workshop in explosive volcanism. IAVCEI International Volcanological Congress Mainz (FGR). Witten, 1-188.
- STUIVER M, KROMER B, BECKER B & FERGUSON CW (1986) Radiocarbon age calibration back to 13,300 years BP and the ^{14}C age matching of the German oak and US bristlecone pine chronologies. In: STUIVER M & KRA RS (eds.) *Proceedings of the 12th International ^{14}C Conference*. *Radiocarbon* 28, 969-979.
- VAN DEN BOGAARD C, VAN DEN BOGAARD P & SCHMINCKE H-U (1989) Quartärgeologisch-tephrostratigraphische Neuaufnahme und Interpretation des Pleistozänprofils Kärlich. *Eiszeitalter u. Gegenwart* 39, 62-86.
- VAN DEN BOGAARD P (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.
- VAN DEN BOGAARD P & SCHMINCKE H-U (1984) The Eruptive Center of the Late Quaternary Laacher See Tephra. *Geologische Rundschau* 73, 933-980.
- VAN DEN BOGAARD P & SCHMINCKE H-U (1985) Laacher See tephra: a widespread isochronous Late Quaternary tephra layer in central and northern Europe. *Geological Society of America Bulletin* 96, 1554-1571.
- VAN DEN BOGAARD P & SCHMINCKE H-U (1988) Aschenlagen als quartäre Zeitmarken in Mitteleuropa. *Die Geowissenschaften* 3, 75-84.
- WALKER M, JOHNSEN S, RASMUSSEN SO, STEFFENSEN JP, POPP T, GIBBARD P, HOEK W, LOWE J, ANDREWS J, BJORCK S, Cwynar L, HUGHEN K, KERSHAW P, KROMER B, LITT T, LOWE DJ, NAKAGAWA T, NEWNHAM R & SCHWANDE J (2008) The Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period) in the NGRIP ice core. *Episodes* 31, 264-267.
- WÖRNER G & SCHMINCKE H-U (1984a) Mineralogical and Chemical Zonation of the Laacher See Tephra Sequence (East Eifel, W. Germany). *Journal of Petrology* 25, 805-835.
- WÖRNER G & SCHMINCKE H-U (1984b) Petrogenesis of the Zoned Laacher See Tephra. *Journal of Petrology* 25, 836-851.
- ZOLITSCHKA B (1986) Warvenchronologie des Meerfelder Maares – Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen spätglazialer und holozäner Seesedimente. *Dipl.-Arb., Univ. Trier*.
- ZOLITSCHKA B (1988) Spätquartäre Sedimentationsgeschichte des Meerfelder Maares (Westeifel) – Mikrostratigraphie jahreszeitlich geschichteter Seesedimente. *Eiszeitalter u. Gegenwart* 38, 87-93.
- ZOLITSCHKA B (1989) Jahreszeitlich geschichtete Seesedimente aus dem Holzmaar und dem Meerfelder Maar. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft* 140, 25-33.
- ZOLITSCHKA B (1990) Spätquartäre jahreszeitlich geschichtete Seesedimente ausgewählter Eifelmaare. *Documenta naturae* 60, München.
- ZOLITSCHKA B (1991) Absolute dating of late Quaternary lacustrine sediments by high resolution varve chronology. *Hydrobiologica* 214, 59-61.
- ZOLITSCHKA B (1992) Climate change evidence and lacustrine varves from maar lakes, Germany. *Climate Dynamics* 6, 229-232.

- ZOLITSCHKA B (1998) Paläoklimatische Bedeutung laminiertes Sedimente. Holzmaar (Eifel, Deutschland), Lake C2 (Nordwest-Territorien, Kanada) und Lago Grande di Monticchio (Basilicata, Italien). *Relief Boden Paläoklima 13*, Stuttgart.
- ZOLITSCHKA B, BRAUER A, NEGENDANK JFW, STOCKHAUSEN H & LANG A (2000) Annually dated late Weichselian continental paleoclimate record from the Eifel, Germany. *Geology 28*, 783-786.
- ZOLITSCHKA B, NEGENDANK JFW & LOTTERMOSER BG (1995) Sedimentological proof and dating of the early Holocene volcanic eruption of Ulmener Maar (Vulkaneifel, Germany). *Geologische Rundschau 84*, 213–219.