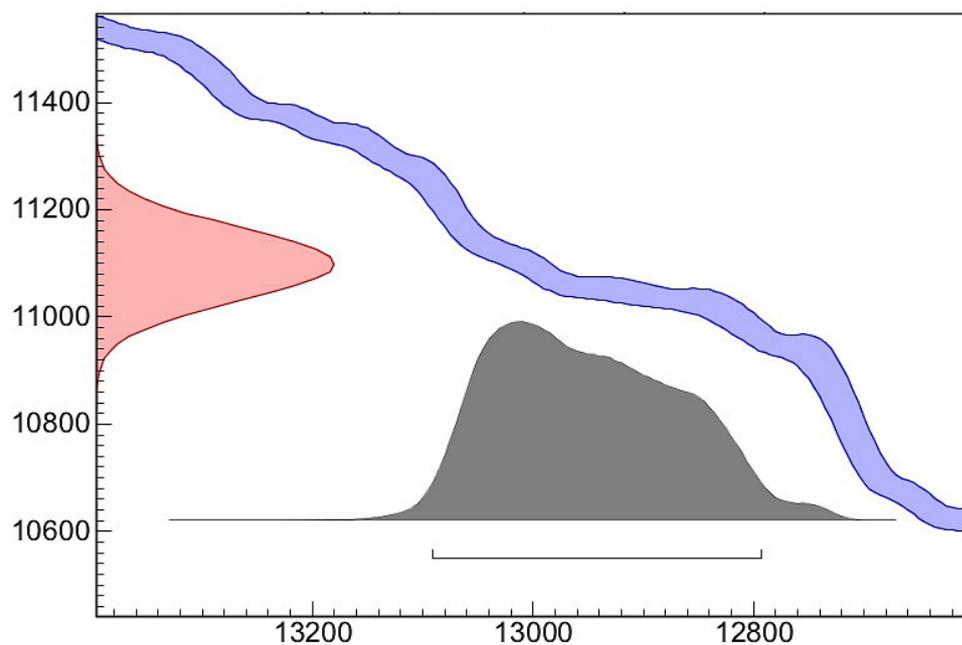
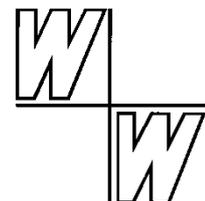


VERKOHLTE BAUMSTÄMME IN TEPHRA-ABLAGERUNGEN DES LAACHER-SEE-VULKANS: NEUE RADIOKARBON- BESTIMMUNGEN UND IHRE ALTERSINTERPRETATION

Michael Kotulla



April 2019



Titelbild:

Graphische Präsentation der Kalibration des konventionellen ^{14}C -Alters: hier ohne Beschriftung. Vollständige Graphik siehe Abb. 7. Programm und Version: „OxCal v4.3.2 Bronk Ramsey (2017); r:5; IntCal13 atmospheric curve (Reimer et al 2013)“.

Bild Seite 1:

Der Laacher See, etwa 40 km südlich Bonn. Blickrichtung etwa nach Süden, im Vordergrund der Lydia-Turm. Das wassergefüllte Loch entstand durch ein explosives vulkanisches Eruptionseignis; die Hauptphase dauerte vermutlich nur wenige Tage. Der See ist etwa 2 km lang und bis zu 51 m tief. Foto: © Thilo PÖRLING, www.poerling-immobilien.de (freundl. Zurverfügungstellung).

Inhalt

1	Fragestellung.....	1
2	Geologischer Überblick	1
2.1	Laacher-See-Vulkan: späteiszeitliches Eruptionseignis	1
2.2	Laacher-See-Tephra und Quartärstratigraphie.....	3
3	Verkohlte Baumstämme: Entdeckung, Aufnahme und Beprobung	5
4	Ergebnisse: Radiokarbon-Bestimmungen und Radiokarbon-Alter	9
4.1	Ergebnisse der Radiokarbon-Laboratorien	9
4.1.1	Theorie und Praxis der Radiokarbon-Altersbestimmung	10
4.2	Kalibrierte Radiokarbon-Alter	12
4.3	Vergleich der Ergebnisse mit früheren Arbeiten	16
4.4	Zum Ausbruchdatum des Laacher-See-Vulkans	18
5	Diskussion der Ergebnisse	21
5.1	Vorgehensweise und Gliederung.....	21
5.2	Entstehung und Konstruktion der internationalen Radiokarbon-Kalibrationskurve	22
5.2.1	Begründung und Ziel	22
5.2.2	Atmosphärische Radiokarbon-Kalibrationskurve	24
5.2.3	Dendrokalibrierte Datensätze der atmosphärischen Kalibrationskurve IntCal13 (Skalenabschnitt 13.900 – 0 cal BP)	25
5.2.4	Anforderungen an Rohdatensätze der atmosphärischen Kalibrationskurve (Skalenabschnitt 13.900 – 0 cal BP)	27
5.3	Relevante Baumringchronologien	30
5.3.1	Kalifornische Borstenkiefernchronologie	30
5.3.2	Belfast-Chronologie.....	32
5.3.3	Hohenheim-Chronologien.....	33
5.3.4	Schwimmende spätglaziale Kiefernchronologie	36
5.4	Methodik der Konstruktion langer Baumringchronologien.....	37
5.4.1	Material, Alter und Stratigraphie.....	37
5.4.2	Kreuzdatierung, Synchronisation und Replikation	38
5.4.3	Statistische Methoden	40
5.4.4	Jahrringchronologie und Datierungsmethodik	43
5.4.5	¹⁴ C-Vordatierung	44

5.4.6	„Wiggle-Matching“	46
5.5	Duplikation	48
5.5.1	Kalifornische Borstenkiefernchronologie – Ca535-Datenbasis	48
5.5.2	Belfast-Chronologie – „948-BC-Dendrolücke“	53
5.6	Synchronisation deutscher Regionalchronologien	57
5.7	¹⁴ C-Daten- und Wiggle-Matching	59
5.7.1	Verankerung der schwimmenden Jahrringchronologie „Thayngen-Burgäschisee“ – FERGUSON et al. (1966)	59
5.7.2	Verankerung schwimmender Hohenheim-Eichenserien – LINICK et al. (1985)	62
5.7.3	Verankerung der spätglazialen Kiefernchronologie – HUA et al. (2009)	64
5.8	Externe Replikation: Referenzbeispiele	66
5.8.1	Borstenkiefernchronologien – LAMARCHE & HARLAN (1973)	66
5.8.2	Baumringchronologie für Westeuropa – PILCHER et al. (1984)	68
5.8.3	Belfast-Göttingen-Vergleich – BROWN et al. (1986)	72
5.8.4	Hohenheim-Göttingen-Vergleich – SPURK et al. (1998)	74
5.9	Zusammenfassende Feststellungen	77
5.9.1	Zu den Anforderungen an dendrokalibrierte Rohdatensätze	77
5.9.2	Zum Konzept der Radiokarbon-Dendrokalibration	81
5.10	Das Alter des verkohlten Baumstamms	83
6	Zusammenfassung	84
7	Schlussfolgerung	87
	Anhang 1: Datennachweis	88
	Anhang 2: Fortentwicklung der internationalen Radiokarbon-Kalibrationskurve	90
	Anhang 3: Dendrochronologische Analysen	91
	Anhang 3-1: Ca535-Datenbasis	92
	Anhang 3-2: Duplikation der „948-BC-Dendrolücke“	99
	Glossar mit Verzeichnis der Abkürzungen	108
	Abbildungsverzeichnis	112
	Tabellenverzeichnis	113
	Dank	114
	Literatur	115



1 Fragestellung

Der Ausbruch des Laacher-See-Vulkans soll sich vor etwa 12.900 Jahren ereignet haben. Für zwei neue Proben eines verkohlten Baumstamms in den Tephra-Ablagerungen des Laacher-See-Vulkans sind Radiokarbon-Bestimmungen durchgeführt worden. Die Ergebnisse der herkömmlichen Altersinterpretation betragen 10.999 ± 60 und 11.099 ± 68 konventionelle ^{14}C -Jahre BP¹ bzw. mit einer angegebenen Wahrscheinlichkeit von 95 % 13.017 bis 12.727 und 13.091 bis 12.794 kalibrierte ^{14}C -Jahre BP. Die kalibrierten Radiokarbon-Alter sollen Kalenderjahren entsprechen. Insofern stimmen die kalibrierten Alter mit dem ausgewiesenen Ausbruchdatum von etwa 12.900 Jahren überein. Es stellt sich die Frage, wie diese Alter konkret ermittelt werden und inwieweit diese Alter gültig (valide) sind.

2 Geologischer Überblick

2.1 Laacher-See-Vulkan: späteiszeitliches Eruptionseignis

Die späteiszeitliche Eruption des Laacher-See-Vulkans war in der jüngsten geologischen Vergangenheit die gewaltigste Vulkaneruption in West- und Mitteleuropa. Das Ereignis ist nicht direkt dokumentiert. Es ist insbesondere von Hans-Ulrich SCHMINCKE und Paul VAN DEN BOGAARD rekonstruiert worden^{2,3}, durch Interpretation der vulkanischen Auswurfprodukte

¹ BP, before present, hier vor 1950 (als Bezugsjahr).

² Siehe z. B.: 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).

(Tephra) und ihrer Lagerungsverhältnisse und unter Einbeziehung vergleichender Studien wissenschaftlich beobachteter Ausbrüche.

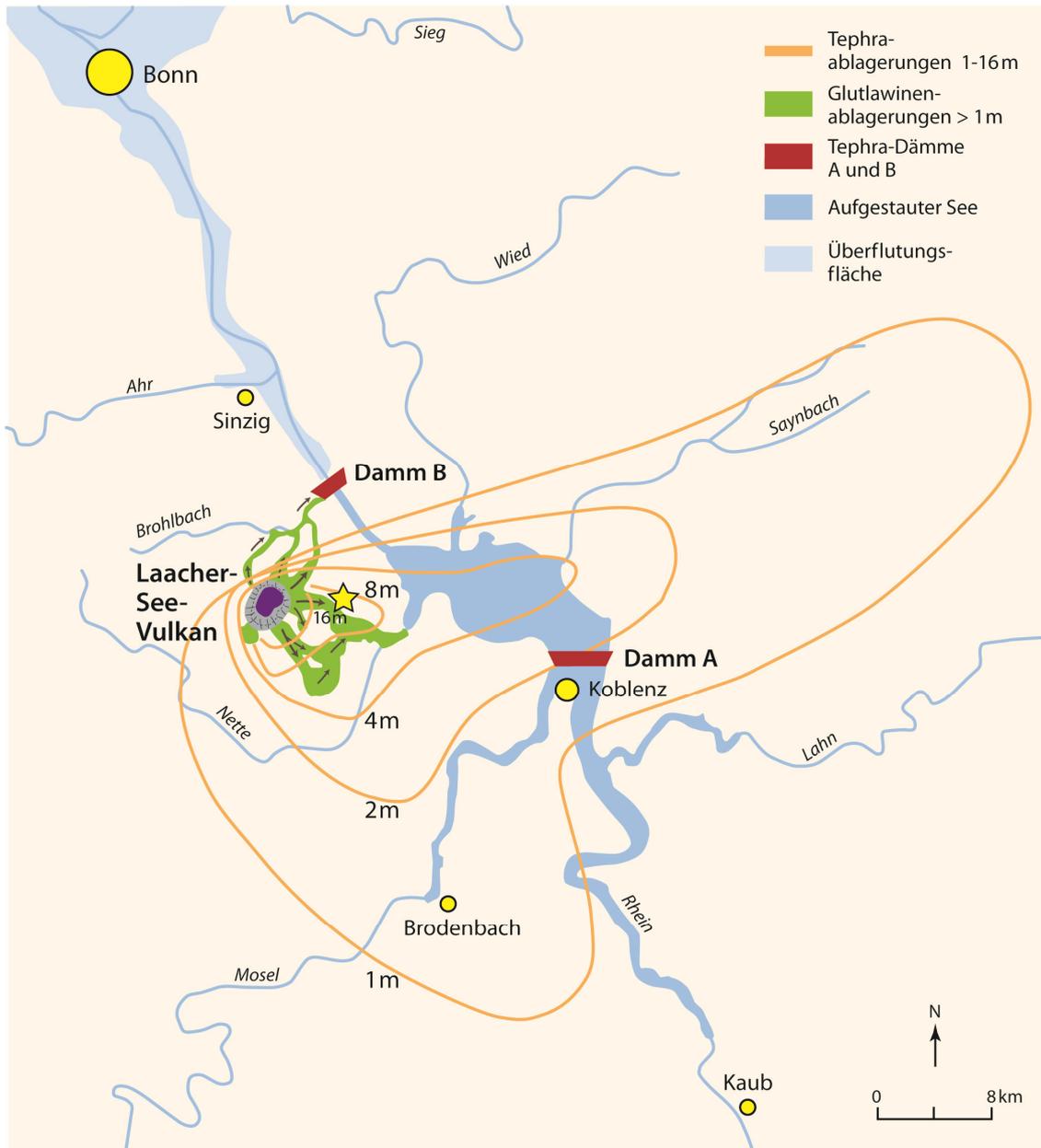


Abb. 1 Eruption des Laacher-See-Vulkans: regionale Übersichtskarte.

Verbreitung der Tephra-Ablagerungen sowie geschätzte Ausmaße der temporären Aufstauungen des Rheins. 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 das 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). Graphik: Frank MEYER. – Der gelbe Stern markiert den Fundpunkt der verkohlten Baumstämme.

³ Zum Laacher-See-Vulkan mehr allgemeinverständlich: siehe SCHMINCKE (2014), Kapitel 5.

Diesen Studien zufolge bildet die stratigraphische Dreigliederung der Ablagerungen – untere, mittlere und obere Laacher-See-Tephra (LST) – im Wesentlichen den Eruptionsmechanismus ab: eine komplexe, im Verlauf wechselhafte plinianische Eruption mit phreatomagmatischen Phasen zu Beginn, in der Mitte und insbesondere in der Endphase.

Der Hauptteil von etwa 20 km³ Tephra ist wahrscheinlich innerhalb weniger Tage aus dem Krater geschleudert worden: Asche, Lapilli, Bims sowie (Nebengesteins-) Bruchstücke von Schiefen 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. In Kraternähe wurde Tephra über 35 m hoch aufgeschichtet. Der gewaltige Bims- und Ascheniederschlag erfolgte hauptsächlich östlich des Kraters; noch in einer Entfernung von 30 bis 50 km beträgt die Mächtigkeit örtlich bis zu einem Meter (Abb. 1). Mächtige pyroklastische Ströme (Glutlawinen), die sich ausgehend vom Krater radial zu den jeweils topographisch tiefsten Punkten hinunterbewegten, rasten über Seitentäler (heutige Nettetäl und Brohltal) bis an und in den Rhein. In den Tälern bildeten sich so bis zu 60 m mächtige, helle und massige Ablagerungen (Ignimbrite). Der massive Materialeintrag in den nahegelegenen Rhein führte wiederholt zu Aufstauungen und Dambrüchen und, daraus resultierend, Zehnermeter hohen Flutwellen (PARK & SCHMINCKE 1997, 2009; Abb. 1).

Das eruptierte, phonolithische Magma⁴ besitzt ein Volumen von insgesamt über 6 km³; 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).

2.2 Laacher-See-Tephra und Quartärstratigraphie

Im Laacher-See-Gebiet überdecken die dominanten und mächtigen Laacher-See-Bimse eine wenige Dezimeter dicke Lössschicht, die dem Alleröd zugerechnet wird, einer relativ wärmeren Phase in der Späteiszeit (Tab. 1). Mancherorts werden die Bimse wiederum von Flugsanden überlagert. Die Aschen der Laacher-See-Tephra (LST) sind weitverbreitet und vielerorts in See- und Moorablagerungen nachgewiesen (Abb. 2); die Millimeter- bis Zentimeter-dicke Tephra-Lage wird dort noch von wenigen Metern 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 Alleröd.

In ihrer räumlichen (distalen) Verbreitung liefert die Laacher-See-Tephra nicht nur einen wichtigen Leithorizont, sondern eine echte Isochrone, d. h. eine exakte Zeit-Bezugsfläche –

⁴ Das Magmavolumen wird vom Tephra-Volumen und der Tephra-Zusammensetzung abgeleitet.

denn ein Aschen-Niederschlag erfolgt quasi gleichzeitig während einer Spanne von Stunden oder wenigen Tagen. Weitere aktive vulkanische Provinzen im heutigen Europa mit vergleichbarem, explosivem Vulkanismus sind Island und Regionen im Mittelmeer-Raum. Erst kürzlich sind in den Seesedimenten des Meerfelder Maars (Eifel, 50 km SW Laach) auch Aschen-Partikel der jüngeren Vedde-Asche (Herkunft: Katla, Island; Distanz ca. 2200 km) und des älteren Neapolitanischen Gelben Tuffs (Herkunft: Phlegräische Felder bei Neapel; Distanz ca. 1200 km) nachgewiesen worden (LANE et al. 2015).

Chronostratigraphie		Klimato-, Chemo- und Ereignisstratigraphie				
Serie/ Epoche	Stufe/ Alter	Terrestrisch	Terrestrisch	Eiskern (Grönland)	Marin	
		Glazial- Gliederung NW-Europa	Kalt-/Warm- schwankungen „Klimato- stratigraphie“ NW-Europa	Ereignis- Stratigraphie	Isotopen- stufen (MIS)	
Holozän	Meghalayum	Postglazial (Warmzeit)	Subatlantikum Subboreal Atlantikum Boreal Präboreal		MIS 1 [w]	
	Northgrippium					
	Grönlandium					
Pleistozän	Ober-	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			MIS 5e [w]
	Mittel-	Saale- Kaltzeit	Gliederung nicht ausgewiesen			MIS 6 - MIS 7d
		Holstein- Warmzeit				MIS 7e [w]
		(weitere)				(weitere)
(...)						

Tab. 1 Gliederung der jüngeren Abschnitte des Quartär und Eis/Land/Meer-Korrelation.

Die Laacher-See-Tephra (LST) wird stratigraphisch in das Alleröd gestellt. Stufen-Gliederung des Holozän nach WALKER et al. (2018), 2018 von der IUGS formal ratifiziert. Legende: [w] = relativ wärmer; [k] = relativ kälter; G. = Grönland; MIS = marine Isotopenstufen.

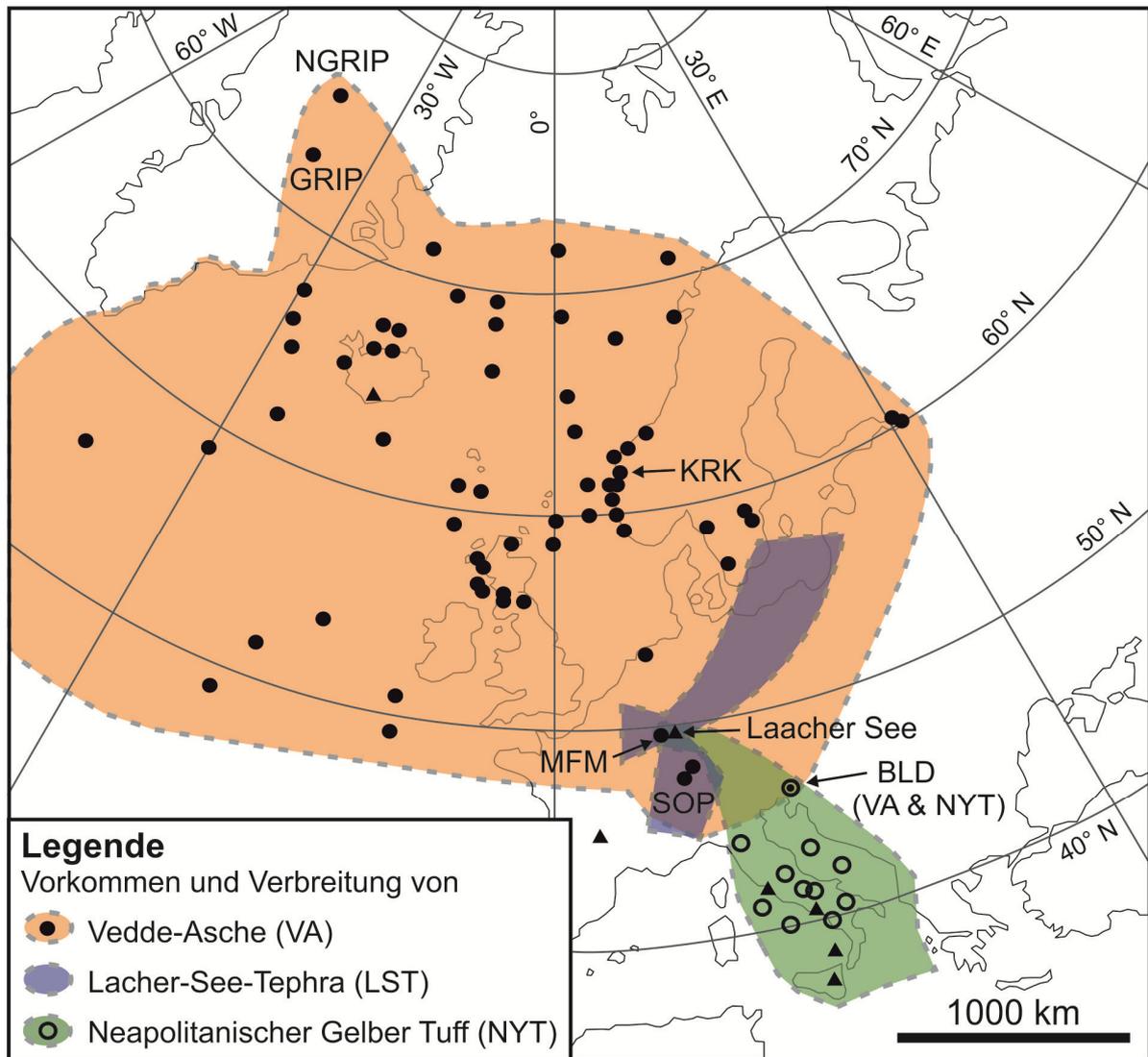


Abb. 2 Vorkommen und Verbreitung der Laacher-See-Tephra in Mitteleuropa.

In der Sedimentfolge des Meerfelder Maars (MFM) sind neben der Laacher-See-Tephra (8,76 m Tiefe; LST, lila) 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. Abbildung nach DAVIES et al. (2012) sowie LANE et al. (2015). Legende: Schwarze Dreiecke: vulkanische Ausbruchszentren; Kreise: Fundpunkte; 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). Graphik: Rafael SCHÄFFER.

3 Verkohlte Baumstämme: Entdeckung, Aufnahme und Beprobung

Im Rahmen einer Vorbereitung auf eine Exkursion sind vom Verfasser am 24. September 2016 zwei verkohlte Baumstämme in einer Bimsabbaugrube östlich Nickenich (Kreis Mayen-Koblenz) entdeckt worden (Abb. 3). Der Bimsabbau war gerade so weit fortgeschritten, dass

in der etwa 6 m hohen Abbauwand (Richtung SSO) im unteren Teil im Abstand von wenigen Metern noch Reste von zwei aufrechtstehenden Baumstämmen zu beobachten waren.

Die etwa 60 cm (Baumstamm 1) bzw. 90 cm (Baumstamm 2) langen und bis zu 20 cm breiten verkohlten Stammelemente sind von Aschenlagen der mittleren Laacher-See-Tephra (LST) umschlossen und von weiteren Lapilli- und Aschenlagen der mittleren LST überlagert (Abb. 4 und Abb. 5). Die aufrechte Position der Baumstämmen lässt auf eine In-situ-Einbettung schließen. Allerdings sind die liegenden Abschnitte – untere LST⁵ und ehemalige Oberfläche mit Verwurzelungszone – nicht aufgeschlossen. Die Reste der verkohlten Baumstämmen lagen nicht als vollständige Zylinder vor.

Die Fundaufnahme umfasste die fotografische Dokumentation und die Beschreibung der Tephra-Abfolge (Tab. 2). Die Baumstämmen wurden nicht weiter freigelegt oder gar geborgen. Es wurde lediglich von jedem Baumstamm – jeweils mit einem Plastikbeutel greifend und aufnehmend – eine kleinere Probenmenge für mögliche spätere Untersuchungen entnommen (Proben NCK-1 und NCK-2). Dabei stellte sich heraus, dass das Material sehr bröselig war. Eine Bestimmung der Baumart wurde in der Folge nicht versucht.

Ein Teil des Probenmaterials von Baumstamm 1 wurde 2018 mit Einmal-Pinzetten in zwei haushaltsübliche Plastik-Gleitverschlussbeutel umgepackt (NCK-1a, NCK-1b) und für Radiokarbon-Bestimmungen an zwei Laboratorien versendet. Die Beauftragung erfolgte im Namen und im Auftrag der Studiengemeinschaft Wort und Wissen e. V., Baiersbronn.



Abb. 3 Bimsgrube östlich der Ortschaft Nickenich.

Zur Orientierung: Weg am Ortsrand (links unten) Verlängerung des Plaidterwegsrest, rechts unten (SO Nickenich): Landesstraße L118. Stern = Fundpunkt; 4,9 km östlich Laacher See (Mitte). Bildausrichtung, oben = Norden; Bildbreite etwa 420 m. Koordinaten: 50°24'41.54"N, 7°20'25.00"E; TK25 5609 Mayen, ca. r 2595300, h 5587050. Regionale Übersicht s. Abb. 1. Foto: Google Earth Pro, Aufnahme vom 24. August 2016.

⁵ An dieser Lokalität beträgt die Mächtigkeit der unteren LST wahrscheinlich 1–2 m.

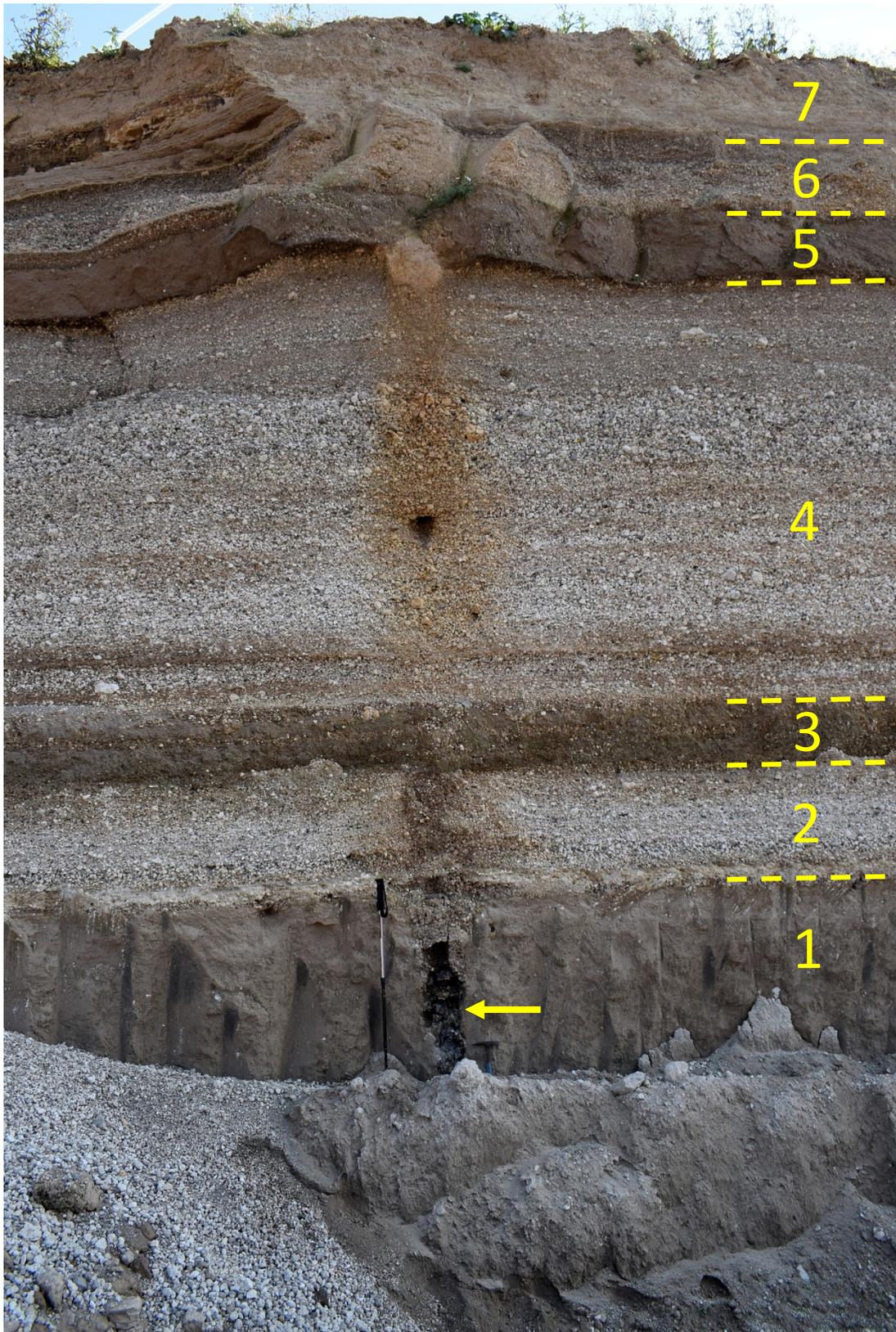


Abb. 4 Verkohlter Baumstamm 1, Bimsabbaugrube Nickenich.

Die Abbauwand hat eine Höhe von über 6 m. Der untere Teil der Laacher-See-Tephra ist nicht aufgeschlossen, der obere Teil ist erodiert oder zuvor abgetragen worden. Der verkohlte, aufrecht stehende Baumstamm (gelber Pfeil) ist von feinkörnigen Aschenlagen (Hauptbritzbank) umschlossen; die Verfärbungen darüber sind möglicherweise Hinweise auf einen Entgasungskanal. Profilbeschreibung s. Tab. 2. Länge des Trekkingstocks: 95 cm. Foto: M. KOTULLA, 24. September 2016.



Abb. 5 Verkohlter Baumstamm 2, Bimsabbaugrube Nickenich.
Der ebenfalls aufrecht stehende Baumstamm 2 (gelber Pfeil) befindet sich wenige Meter W Baumstamm 1 (s. Abb. 4); Profilbeschreibung s. Tab. 2. Länge des Trekkingstocks: 106 cm. Foto: M. KOTULLA, 24. September 2016.

Einheit	Mächtigkeit [cm]	Kurzbeschreibung	Stratigraphie	Gliederung Bimsindustrie
7	80-100	Aufschüttung (Wall), anthropogen		
6	86	Bimslapilli, z. T. mit Blöcken	Übergang Mittlere LST, Abschnitt D, zu obere LST?	
5	62	Aschenlagen, bräunlich, z. T. mit Lapilli und Blöcken; varrierende Mächtigkeit		
4	285	Bimslapilli, z. T. mit Bimsblöcken bis 20 cm		Oberbims (mit oberer Britzbank, OBB; Einheit 3)
3	28	Aschenlagen, bräunlich, z. T. mit Lapilli	mittlere LST, Abschnitte B/C	
2	57	Bimslapilli		
1	> 110	Aschenlagen, bräunlich, z. T. mit Lapilli; Liegendgrenze nicht aufgeschlossen	mittlere LST, Abschnitt A	Hauptbritzbank (HBB)

Tab. 2 Profilbeschreibung, Abbauwand Bimsgrube Nickenich.

Die Profilaufnahme erfolgte neben Baumstamm 1; zu den Einheiten 1-7 siehe Abb. 4. Interpretation der Stratigraphie nach Gliederung in SCHMINCKE (2014). LST, Laacher-See-Tephra.

Häufigkeit von Vorkommen aufrecht verschütteter Baumstämme

Von Nickenich und Umgebung (O und NO des Laacher Sees, bis zu einer Entfernung von 8 km) ist nach Kenntnis des Verfassers bisher ein Fund eines aufrecht stehenden Baumstammes vermeldet worden (SCHMINCKE 2014, seine Abb. 139 und 140⁶).

In BAALES et. al (1998), in ihrer Abb. 1 mit der Beschreibung „weitere wichtige Fundstellen allerödzeitlicher Vegetationsfunde unter bzw. in der LST im Neuwieder Becken“, ist für diese Region kein Eintrag. Ihre Fundstelle „9 Kruft“ liegt etwa 4,1 km S der hier beschriebenen Fundstelle Nickenich.

SCHMINCKE (2014, 112) erwähnt „zahlreiche“ verkohlte Baumstämme bei Plaidt und im Brohltal, die „von den Glutlawinen mitgerissen und viele Kilometer weit mittransportiert wurden“, die demnach also allochthoner Natur sind. Daneben hätten aber in einigen Gebieten die Baumstämme den Aschenströmen standgehalten (autochthon).

4 Ergebnisse: Radiokarbon-Bestimmungen und Radiokarbon-Alter

4.1 Ergebnisse der Radiokarbon-Laboratorien

Die Laboratorien weisen die Ergebnisse der Radiokarbon-Bestimmungen primär nicht in Form von ¹⁴C-Konzentrationen aus, sondern unmittelbar als konventionelle Radiokarbon-Alter BP. Demnach beträgt das konventionelle Radiokarbon-Alter der Probe NCK-1a 10.999 ± 60 ¹⁴C-Jahre BP und das der Probe NCK-1b 11.099 ± 68 ¹⁴C-Jahre BP (Tab. 3, Pos. 1 und 2). Im

⁶ Abb. 139 scheint den Zustand vor Freilegung des unteren Teils des Stammes (vgl. Abb. 140) zu dokumentieren; siehe auch Abb. 106 (SCHMINCKE 2014).

Rahmen ihrer 1σ -Unsicherheiten sind die konventionellen ^{14}C -Alter der Proben des verkohlten Baumstamms 1 nicht unterscheidbar.

Organisatorische und technische Details zu den Radiokarbon-Bestimmungen listet Tab. 4.⁷

Pos.	Probe	Laborcode und -nummer	$\delta^{13}\text{C}$ [0/00]	konventionelle ^{14}C -Jahre BP ($\pm 1\sigma$)	1σ [0/0]
1	NCK-1a	Poz-101138	-27	10999 \pm 60	\pm 0,59
2	NCK-1b	RoAMS 696.93	-4,1	11099 \pm 68	\pm 0,61

Tab. 3 Radiokarbon-Alter der Proben NCK-1a und NCK-1b I.

Legende: $\delta^{13}\text{C}$, Kohlenstoffisotopenverhältnis; Laborcode, siehe Tab. 4.

Pos.	Beschreibung	Probe NCK-1a	Probe NCK-1b
Beprobung			
1	Entnahme	24.09.2016	24.09.2016
2	Substanz	Verkohelter Baum (charcoal)	Verkohelter Baum (charcoal)
3	Versand	21.02.2018	21.02.2018
Analyse			
4	Laboratorium	Polen: Poznan Radiocarbon Laboratory, A. Mickiewicz University	Rumänien: Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering - IFIN HH, RoAMS Laboratory
5	Probeneingang	27.02.2018	05.03.2018
6	Laborcode und -nummer	Poz-101138	RoAMS 696.83
7	Probenvorbehandlung	Säure-Lauge-Säure-Behandlung; nach Brock et al. (2010)	Säure-Lauge-Säure-Extraktion ("AAA"-Methode)
8	Graphitisierung	Ja, kein Angaben zur Laborausstattung	VarioMicroCube (Elementar Analysensysteme)/ AGE III (ETHZ, Schweiz)
9	Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS)	NEC (National Electrostatics Corporation) 1.5 SDH Pelletron; ser. no. 012	1 MV Cockcroft-Walton Tandatron Accelerator (HVEE, Niederlanden)
10	Sekundär-Standard, ^{14}C (pMC)	Oxalic Acid II	Oxalic Acid II (NIST-SRM-4990c); 134,08 ($\delta^{13}\text{C} = -17,8\text{‰}$)
11	^{13}C -Konzentration, $\delta^{13}\text{C}$ -Bezug	?PDB	VPDB
12	Untergrund (background), ^{14}C (pMC)	^{14}C -freier kommerzieller Alfa-Graphit: 0,029 (entspricht 65400 ^{14}C -Jahre); Kohle: 0,175 und 0,228 (entspricht 51000 und 48900 ^{14}C -Jahre)	k. A.

Tab. 4 Radiokarbon-Bestimmungen: organisatorische und technische Details. PDB/VDPD, siehe Fußnote 10; pMC, siehe Abschnitt 4.1.1.

4.1.1 Theorie und Praxis der Radiokarbon-Altersbestimmung

Das (konventionelle) Radiokarbon-Alter errechnet sich aus folgender Gleichung 1:

$$t = -8033 \ln (A_{\text{SN}}^*/A_{\text{ON}}^*); \quad (\text{Gleichung 1})$$

⁷ Die Informationen entstammen teilweise den Websites der Laboratorien: <http://www.radiocarbon.pl/>; <https://tandem.nipne.ro/RadioCarbon/>.

mit: t , [Radiokarbon-] Alter; A_{SN} , Aktivität der Probe (S = sample); A_{ON} , Aktivität des Standards (O = für Oxalic Acid); tiefgestelltes N , normalisiert (bezogen auf $\delta^{13}C$); *, in 1950.

Nach STUIVER & POLLACH (1977, 356) setzt Gleichung 1 voraus:

- „Die Verwendung der Halbwertszeit [von ^{14}C , MK] von 5568 a (mittlere Lebensdauer von 8033 a)⁸; Libby-Zerfallskonstante⁹: $\lambda_L = 1/8033 \text{ a}^{-1}$.
- „Die Annahme der Konstanz des atmosphärischen ^{14}C -Gehalts während der Vergangenheit“.
- „Die Verwendung von Oxalic Acid (direkt oder indirekt) als Standard“.
- Eine „Normalisierung der Isotopenfraktionierung aller Probenaktivitäten zur Basis von $\delta^{13}C = -25 \text{ ‰}$ (relativ zum $^{13}C/^{12}C$ -Verhältnis von PDB¹⁰ [Pee-Dee-Belemnite, MK]“.
- „Das Jahr 1950 ist automatisch das Basisjahr, mit Altersangaben in Jahre *BP* (d. h. heute [oder Gegenwart, MK] ist AD 1950).“

Die zwei beauftragten Laboratorien haben die gemessenen bzw. relativen ^{14}C -Konzentrationen in ihren Ergebnisberichten nicht mitgeteilt. Über eine Rückrechnung kann die relative Aktivität ermittelt werden: Für Probe NCK-1b mit $t = 11.099$ ergibt der Quotient A_{SN}/A_{ON} (Gleichung 1 oben), definiert als pMC (percent modern carbon, s. Gleichung 2), 25,12 %. Mit Gleichung 3 kann schließlich die nicht-normalisierte Aktivität bestimmt werden. Auf Anfrage ist die ^{14}C -Konzentration ohne Weiteres mitgeteilt worden, hier für Probe NCK-1a: $25,43 \pm 0,19$ pMC.

$$\text{pMC} = (A_{SN}/A_{ON}) 100 \%; \quad (\text{Gleichung 2})$$

mit: pMC, percent modern carbon (Prozent moderner Kohlenstoff); 100 pMC ist definiert als ^{14}C -Konzentration der Atmosphäre im Jahr 1950.

$$A_{SN} = A_S (1 - (2 ((25 + \delta^{13}C)/1000))); \quad (\text{Gleichung 3})$$

mit: A_S , Aktivität Probe; -25/1000, postulierter Mittelwert terrestrischen Holzes; $\delta^{13}C$ (PDB), gemessener Wert der Probe.

⁸ Nach Bestimmungen von LIBBY (1955). Die neuere Cambridge-Halbwertszeit von 5730 ± 40 Jahren (GODWIN 1962) wird aus Gründen der Vergleichbarkeit mit älteren Messungen nicht verwendet. HOLDEN (1990, 925) empfiehlt die Verwendung einer Halbwertszeit von 5715 ± 30 Jahren (ungewichteter Durchschnitt zuvor publizierter Werte). – Es wird davon ausgegangen, dass mit der Kalibration der Radiokarbon-Alter die unterschiedlichen Halbwertszeiten keinen Einfluss auf das kalibrierte Ergebnis haben.

⁹ Deshalb auch als Libby-Alter bezeichnet.

¹⁰ Der Standard wurde zwischenzeitlich geändert, siehe z. B. STENSTRÖM et al. (2011, 5): „The original standard material was carbonate from a marine fossil collected from the Pee Dee Formation in South Carolina, USA. The fossil originated from an extinct squid-resembling organism called a Belemnite. This material, called PDB (Pee Dee Belemnite), had the $^{13}C/^{12}C$ ratio of 1.12372%. The high value reflects the marine origin of the material. The use of this standard therefore gives most natural materials negative $\delta^{13}C$ values. The PDB material has been exhausted and replaced by the limestone standard VPDB (NBS19), which was manufactured from marble of unknown origin (Friedman et al, 1982).“

Die ^{14}C -Konzentration der Proben – 25,43 und 25,12 pMC – unterscheiden sich im Rahmen ihrer 1σ -Unsicherheiten nicht, wenn für Probe NCK-1b ebenfalls ein Wert von $\pm 0,19$ pMC angenommen wird.

4.2 Kalibrierte Radiokarbon-Alter

Ein Laboratorium hat unter Verwendung des Programms OxCal (BRONK RAMSEY 2017) zusätzlich ein kalibriertes ^{14}C -Alter BP ausgewiesen. Nach diesem Programm, mit dem Kalibrationsdatensatz von IntCal13 (REIMER et al. 2013a; IntCal, international calibration), liegt das Alter bei Probe NCK-1a zwischen 13.017 und 12.727 und bei Probe NCK-1b zwischen 13.091 und 12.794 kalibrierten ^{14}C -Jahren BP (Tab. 5). Das kalibrierte Alter wird bezogen auf den Ausgangswert (inklusive der 1σ -Unsicherheit) für eine Wahrscheinlichkeit von 95,4 % in Form einer Altersspanne ausgewiesen.

Pos.	Probe	Laborcode und -nummer	konventionelle ^{14}C -Jahre BP ($\pm 1\sigma$)	kalibrierte ^{14}C -Jahre		
				OxCal-Programm (IntCal13-Kurve, "95%-Spanne")		IntCal13-Wertereihe
				BC	BP	BP
1	NCK-1a	Poz-101138	10999 \pm 60	11068-10778	13017-12727	12817,5
2	NCK-1b	RoAMS 696.93	11099 \pm 68	11142-10845	13091-12794	13005
3	Mittelwert		11049			12920

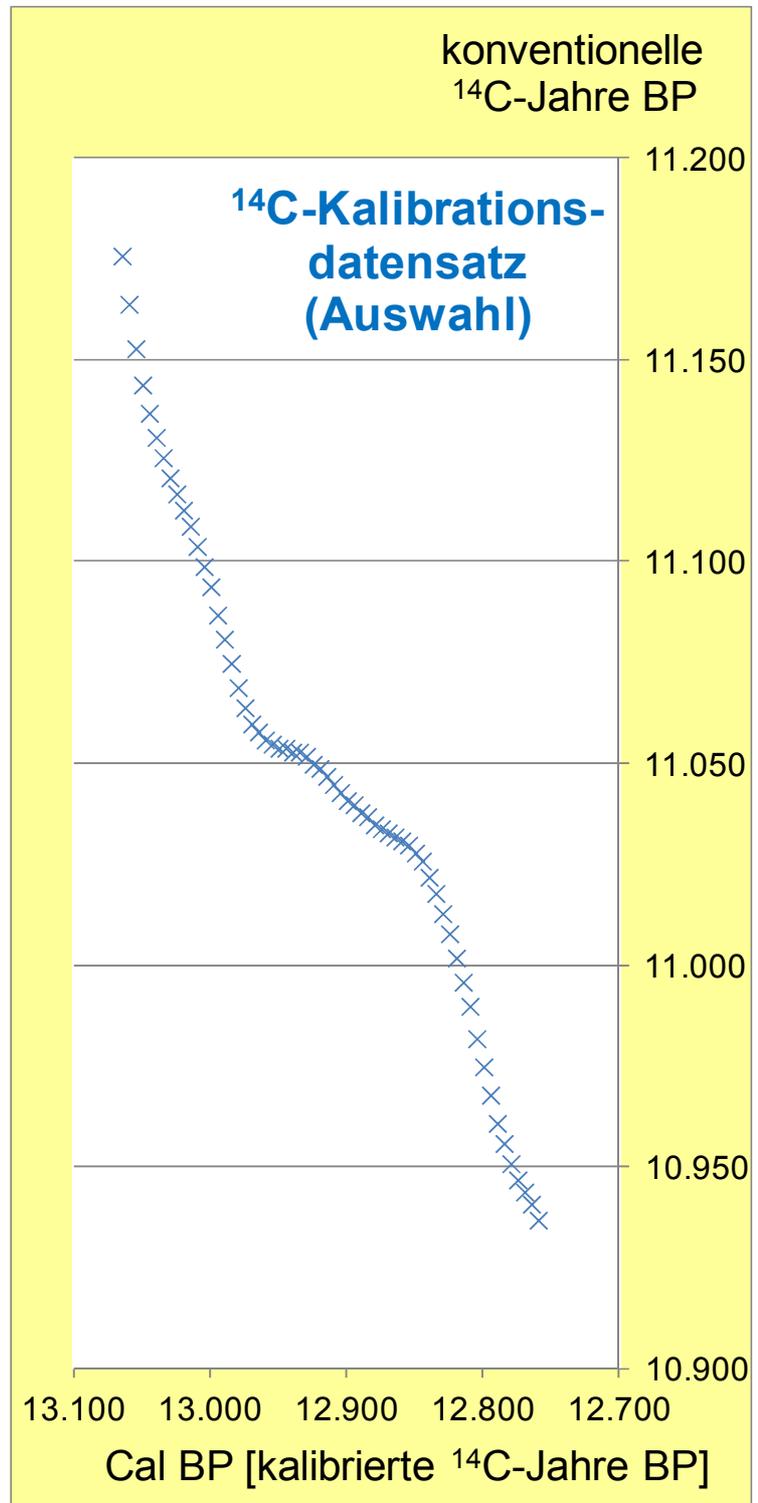
Tab. 5 Radiokarbon-Alter der Proben NCK-1a und NCK-1b II.

OxCal-Programm, s. BRONK RAMSEY (2009, 2017); Kalibrationsdatensatz (Wertereihe, vgl. Tab. 6) und -kurve IntCal13, s. REIMER et al. (2013a); Mittelwert, arithmetisches Mittel ohne Berücksichtigung der 1σ -Unsicherheit.

Die kalibrierten ^{14}C -Alter sind im Verhältnis zu den konventionellen ^{14}C -Alter ausgehend von den einzelnen Wertepaaren der IntCal13-Wertereihe (Tab. 6) nominal 1819 und 1906 Einheiten bzw. 16,5 und 17,2 % höher. Der Mittelwert von 11.049 konventionellen ^{14}C -Jahren BP (Tab. 5, Pos. 3) kann gemäß der IntCal13-Wertereihe (Tab. 6, Abb. 6) zu 12.920 kalibrierten ^{14}C -Jahren BP transformiert werden (ohne Berücksichtigung der 1σ -Unsicherheit).

Das Programm OxCal bietet auch eine Visualisierung der Kalibration. Abb. 7 zeigt für Probe NCK-1b die Kalibration mit der atmosphärischen Kalibrationskurve IntCal13, während Abb. 8 die gleiche Prozedur für ältere Kalibrationskurven präsentiert. In Tab. 7 wird beispielhaft für Probe NCK-1b die Entwicklung der Kalibrationsergebnisse unter Zugrundelegung der Kalibrationskurven IntCal98 bis IntCal13 dargestellt. Dabei ist festzustellen, dass das Ergebnis, ausgedrückt als „Mittelwert“ (letzte Spalte), sukzessive um nominal etwa 100 Einheiten von 13.044 auf 12.942 abnimmt (Tab. 7, Pos. 1b zu Pos. 4).

¹⁴ C-Alter		
cal BP (kalibriert)	BP (konventionell)	± BP
12760	10937	29
12765	10941	25
12770	10944	23
12775	10947	22
12780	10951	23
12785	10956	26
12790	10961	28
12795	10968	31
12800	10975	32
12805	10982	33
12810	10990	34
12815	10996	34
12820	11002	33
12825	11008	32
12830	11013	31
12835	11018	30
12840	11022	29
12845	11026	27
12850	11028	25
12855	11030	24
12860	11031	22
12865	11032	21
12870	11033	20
12875	11034	19
12880	11035	19
12885	11037	20
12890	11038	21
12895	11040	21
12900	11041	22
12905	11043	22
12910	11045	23
12915	11047	23
12920	11049	23
12925	11050	23
12930	11052	22
12935	11053	22
12940	11053	22
12945	11054	21
12950	11054	21
12955	11055	20
12960	11056	20
12965	11058	21
12970	11060	22
12975	11064	23
12980	11069	25
12985	11075	26
12990	11081	28
12995	11087	28
13000	11094	28
13005	11099	27
13010	11104	25
13015	11109	24
13020	11113	23
13025	11117	23
13030	11121	23
13035	11126	24
13040	11131	25
13045	11137	27
13050	11144	30
13055	11153	34
13060	11164	39
13065	11176	44



Tab. 6 Wertereihe der atmosphärischen ¹⁴C-Kalibrationskurve IntCal13 (Auswahl).

Abb. 6 Wertereihe der atmosphärischen ¹⁴C-Kalibrationskurve IntCal13 (Auswahl).

Der jeweils ausgewählte Skalenbereich bezieht sich auf die Radiokarbon-Alter der Proben NCK-1a und NCK-1b. Die Wertepaare sind in Intervallen von 5 kalibrierten ¹⁴C-Jahren (Dendrojahren) ausgewiesen (Datei IntCal13.14c, REIMER et al. 2013a). Beachte zu Abb. 6: Maßstab der Achsen nicht identisch.

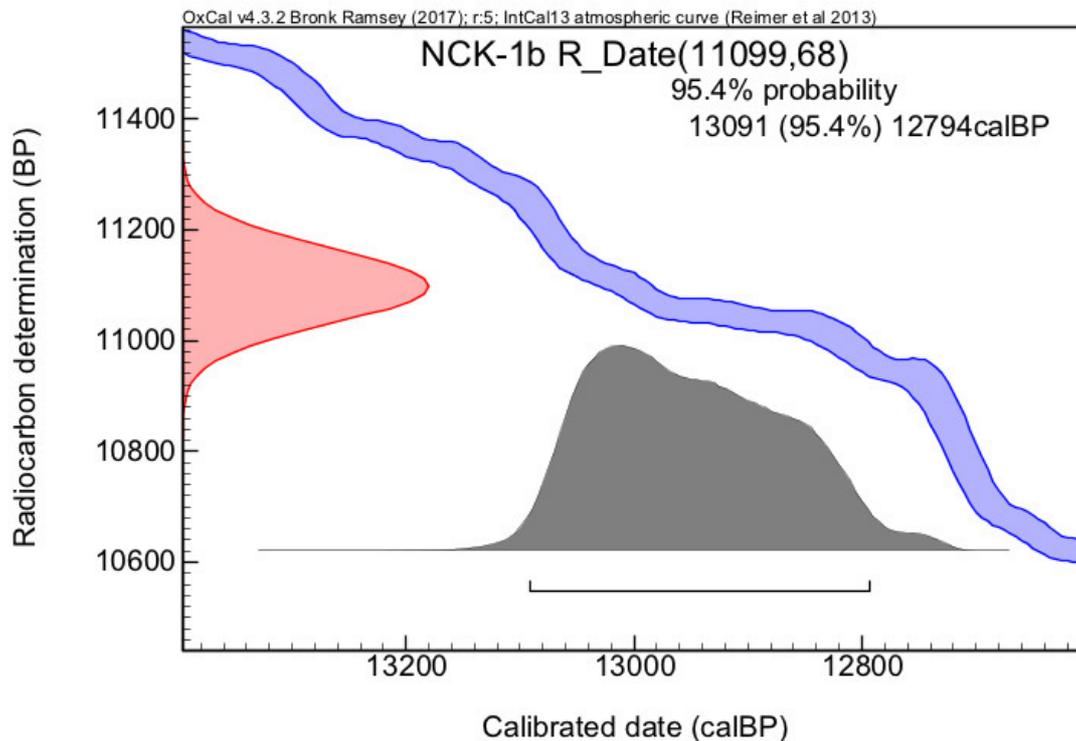


Abb. 7 Präsentation des kalibrierten Radiokarbon-Alters mit OxCal-Programm I.

Probe NCK-1b. R_Date, Radiokarbon-Alter bezogen auf konventionelles Radiokarbon-Alter (Wert in Klammer links, hier 11099) mit 1σ -Unsicherheit („Nachkommawert“, hier 68): Das kalibrierte Radiokarbon-Alter der Probe liegt – bezogen auf den Ausgangswert – mit einer Wahrscheinlichkeit von 95,4 % zwischen 13091 und 12794 kalibrierten ^{14}C -Jahren vor heute (= 1950). Horizontale Achse („Calibrated date“), kalibrierte ^{14}C -Alter; vertikale Achse („Radiocarbon determination“), konventionelle ^{14}C -Alter. Lila mit blauen Rändern, Kalibrationskurve; rosa mit rotem Rand, Normalverteilung (1σ); grau mit dunkelgrauem Rand, Verteilung auf Grundlage der Kalibrationskurve. OxCal-Programm: BRONK RAMSEY (2009, 2017); Kalibrationskurve IntCal13: REIMER et al. (2013a).

Pos.	Kalibrationskurve	Referenz	Alter [kalibrierte ^{14}C -Jahre BP] Spanne	Wahrscheinlichkeit [%]	Alter [kalibrierte ^{14}C -Jahre BP] "Mittelwert" \pm "Spanne"
1a			13378 - 13266	5,9	
1b	IntCal98	Stuiver et al. (1998)	13214 - 12875	87,9	13044 \pm 170
1c			12714 - 12671	1,6	
2	IntCal04	Reimer et al. (2004)	13137 - 12891	95,4	13014 \pm 123
3	IntCal09	Reimer et al. (2009)	13150 - 12738	95,4	12944 \pm 206
4	IntCal13	Reimer et al. (2013a)	13091 - 12794	95,4	12942 \pm 149

Tab. 7 Kalibrierte Radiokarbon-Alter der Probe NCK-1b mit OxCal-Programm.

Vergleich der kalibrierten Radiokarbon-Alter der Probe NCK-1b unter Verwendung unterschiedlicher Kalibrationskurven. Die Wahrscheinlichkeit bezieht sich auf den Ausgangswert von 11.099 ± 68 konventionellen ^{14}C -Jahren. OxCal-Programm: BRONK RAMSEY (2009, 2017), vgl. Abb. 7 und Abb. 8.

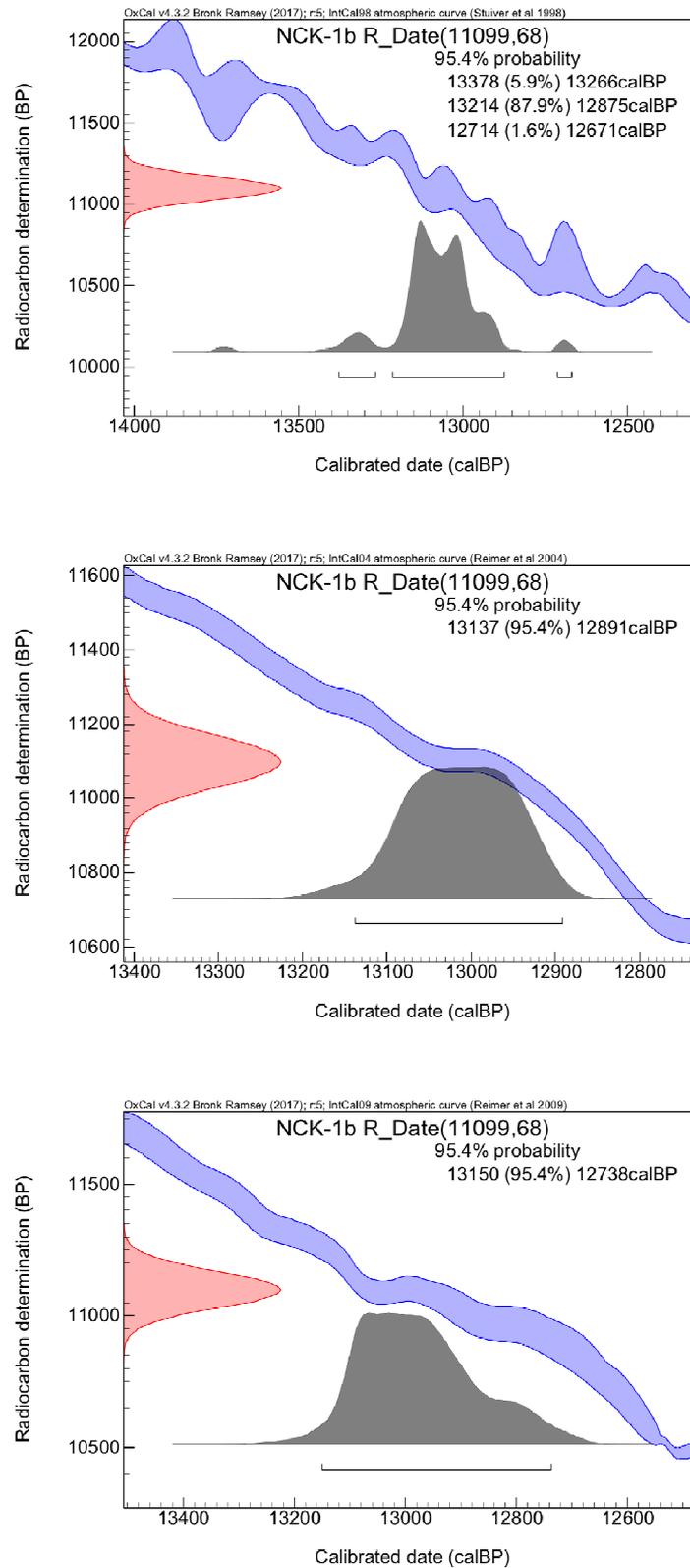


Abb. 8 Präsentation des kalibrierten Radiokarbon-Alters mit OxCal-Programm II. Vergleich der kalibrierten Radiokarbon-Alter der Probe NCK-1b unter Verwendung unterschiedlicher Kalibrationskurven: oben, IntCal98; Mitte, IntCal04; unten IntCal09. Die Kalibrationskurve ist von IntCal98 zu IntCal04 stark geglättet worden. Legende siehe Abb. 7. OxCal-Programm: BRONK RAMSEY (2009, 2017); Kalibrationskurven: STUIVER et al. (1998a), REIMER et al. (2004, 2009).

4.3 Vergleich der Ergebnisse mit früheren Arbeiten

Hinsichtlich der Fundsituation – von den Auswurfprodukten der Laacher-See-Eruption verschüttete, aufrecht stehende Baumstämme – bietet sich ein Vergleich mit den Arbeiten von BAALES et al. (1998, 2002) an. BAALES et al. (1998) hatten 1996 bei Krufft, etwa 5 km S des Fundpunktes Nickenich, in einer Bimsabbaugrube aus der mittleren Laacher-See-Tephra verkohlte Bäume freigelegt und u. a. ^{14}C - und dendrochronologische Analysen veranlasst.

Werden die relativen ^{14}C -Konzentrationen der verkohlten Baumstämme der Lokalitäten Krufft und Nickenich verglichen – hier ausgedrückt als konventionelle ^{14}C -Alter BP –, ist festzustellen, dass die Alter im Rahmen ihrer 1σ -Unsicherheiten nicht unterscheidbar sind (Tab. 8, Pos. 1-6, 8 und 13-14). Die gebildeten Mittelwerte (Tab. 8, Pos. 7, 11, 12 und 15) liegen in einem engen Bereich von weniger als 20 konventionellen ^{14}C -Jahren. Allerdings streuen die Konzentrationen bzw. Alterswerte der Proben NCK-1a und NCK-1b stärker.

Pos.	Probe	Laborcode und -nummer	Jahrringe	Alter [konventionelle ^{14}C -Jahre BP $\pm 1\sigma$]	Alter [kalibrierte ^{14}C -Jahre BP]	Kalibration
<u>Baaales et al. (1998)</u>						
1	Krufft 1	Hd-18648	31-40	11037 \pm 27		
2	Krufft 9	Hd-19098	1-20	11063 \pm 30		
3	Krufft 9	Hd-19092	21-30	11066 \pm 28		
4	Krufft 9	Hd-18622	31-40	11073 \pm 33		
5	Krufft 9	Hd-19037	41-50	11075 \pm 28		
6	Krufft 8	Hd-18438	äußerste	11065 \pm 22		
7	alle Proben (n=6), Mittelwert			11065 \pm 20	13190 - 13050	nach Hughen et al. (1998a)
<u>Friedrich et al. (1999)</u>						
8	Krufft 1	Hd-19607	21-30	11062 \pm 27		
9	Krufft 1	Hd-18648	31-40	11037 \pm 27		
10	usf. wie Pos. 2-7					
11	alle Proben (n=7), Mittelwert; Pos. 1-6, 8			11063 \pm 12	13200 - 13010 \pm 70	teilweise eigene Methode
<u>Baaales et al. (2002)</u>						
12	Probenauswahl (n=5, ohne Krufft 1), gewichteter Mittelwert; Pos. 2-6			11062 \pm 11	12916	teilweise eigene Methode
<u>Diese Arbeit</u>						
13	NCK-1a	Poz-101138	nicht bestimmt	10999 \pm 60	13017 - 12727	IntCal13; OxCal 4.3
14	NCK-1b	RoAMS 696.93	bestimmt	11099 \pm 68	13091 - 12794	IntCal13; OxCal 4.3
15	Mittelwert			11049 \pm 64	13062 - 12758	IntCal13; OxCal 4.3

Tab. 8 Radiokarbon-Alter von verkohlten Baumstämmen in Laacher-See-Tephra.

Vergleich der Radiokarbon-Alter unter Verwendung unterschiedlicher Kalibrationskurven bzw. -methoden. Bei den Bäumen Krufft 1, Krufft 8 und Krufft 9 handelt es sich um Pappeln (BAALES et al. 1998). Hd, Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg. Ring 1 ist der innerste Ring.

Bei der Lokalität Krufft sind die konventionellen ^{14}C -Alter (ohne 1σ -Unsicherheiten) im Verhältnis zu den Jahrringpositionen bemerkenswert. Bei Baum Krufft 9 korreliert der Alterstrend nicht; mit zunehmenden Jahrringen nehmen die ^{14}C -Alter zu und nicht ab: Für die Jahrringe 1–50 (Tab. 8, Pos. 2 bis 5; 10- bzw. 20-Jahrringintervalle) werden Alter von 11.063 bis 11.075 konventionellen ^{14}C -Jahren BP ausgewiesen (Mittelwerte), d. h. 35 Jahrringe (mittig von Jahrring 10 bis Jahrring 45) stehen im Verhältnis zu -12 konventionellen ^{14}C -Jahren. Die-

se Situation wird als „Plateau“ interpretiert.¹¹ Bei Baum Kruft 1 korreliert der Alterstrend (Tab. 8, Pos. 8 und 9); allerdings stehen 10 Jahrringe (mittig von Jahrring 25 bis Jahrring 35) im Verhältnis zu 25 konventionellen ¹⁴C-Jahren (nur Mittelwerte).¹²

Aktueller Fund von Laacher-See-Tephra (Rachensee, Böhmerwald)

GUNTHER et al. (2019) berichten von einer 0,2 cm dünnen Lage aus Tephra-Partikel der Laacher-See-Eruption in einer Tiefe von 370,8 cm in Sedimenten des Rachensees (Böhmerwald). Sie weisen für Sedimentproben unter (371,0 cm)¹³ und über (366,0 cm) der Tephra-Lage Radiokarbon-Alter von 11.233 ± 85 und 10.956 ± 112 konventionellen ¹⁴C-Jahren BP bzw. Spannen von 13.255–13.085 (Mittelwert 13.170) und 13.016–12.793 (Mittelwert 12.905) kalibrierten ¹⁴C-Jahren BP aus.

Zur weiteren Ermittlung des Ausbruchsdatsums berechnen die Autoren zunächst auf Grundlage der Altersdifferenz eine durchschnittliche Sedimentationsrate von $0,19 \pm 0,09$ mm/[kalibriertes ¹⁴C-] Jahr. Diese bezieht die Tephra-Partikel mit ein; deshalb wird eine geringere Rate von etwa 0,1 mm/[kalibriertes ¹⁴C-] Jahr angenommen und der 3-mm-Differenz zwischen Sedimentprobe (371,0 cm) und Tephra-Lage (Mittel 370,7 cm) eine Sedimentationsdauer von etwa 30 [kalibrierten ¹⁴C-] Jahren zugeschrieben. Mit dieser Rechnung bestimmen GUNTHER et al. (2019) schließlich das Ausbruchdatum zu 13.140 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP (nominal 13.170 minus 30).¹⁴

Dieses höhere ¹⁴C-Alter – im Vergleich zu den üblicherweise genannten etwa 12.900 kalibrierten ¹⁴C-Jahren BP – wird der Sedimentprobe¹⁵ selbst zugeschrieben, die möglicherweise älteren Kohlenstoff enthalten haben könnte, und/oder einem Radiokarbon-Plateau. Eine andere Erklärung könnte sein, dass einfach keine „Konstanz des atmosphärischen ¹⁴C-Gehalts“ (STUIVER & POLLACH 1977; vgl. Abschnitt 4.1.1) vorgelegen hat.

¹¹ „Alle Daten liegen in einem engen Intervall von weniger als zwei Dekaden um 11.065 ¹⁴C BP; insbesondere zeigen die von Baum Nr. 9 überlieferten 50 Jahre eine Phase konstanter ¹⁴C-Alter (Plateau), die durch einen Rückgang der ¹⁴C-Aktivität in der Atmosphäre verursacht wird“ (BAALES et al. 1998, 202).

¹² FRIEDRICH et al. (1999) hatte zusätzlich das Ergebnis der Labornummer Hd-19607 (Tab. 8, Pos. 8) publiziert. – Die Situation der ¹⁴C-Konzentration könnte eher mit chaotisch, anstelle „rückläufig“ beschrieben werden (vgl. Fußnote 11).

¹³ Einmal heißt es auch 371,2 cm (in Abschnitt 2 „Material and methods“).

¹⁴ „The radiocarbon date is then ~3 mm (~30 years) below the LST deposit (370.7 cm), which would point to 13140 cal. BP for the onset, still somewhat older than LSD near 12900 cal. BP“ (GUNTHER et al. 2019).

¹⁵ Es wird nicht mitgeteilt, auf welche Sedimentfraktion sich die Radiokarbon-Bestimmung bezieht. Das beauftragte Labor *Beta Analytic Inc.* (USA) unterscheidet nach „gesamter organischer Fraktion“ und „alkalilöslicher oder alkaliunlöslicher Huminfraction“.

4.4 Zum Ausbruchdatum des Laacher-See-Vulkans

Erste Altersbestimmungen

FIRBAS (1953) nennt erstmals ein „absolutes Alter“¹⁶ der Laacher-See-Tuffe; sie seien „rund 11 000 Jahre alt oder etwas älter“. Er bezieht sich dabei auf zwei Radiokarbon-datierte Proben von Torfmudde unmittelbar über dem Horizont des Laacher-See-Tuffs in einem verlandeten See bei Wallensen (Weserbergland).¹⁷ In der Folge sind zahlreiche weitere Radiokarbon-Bestimmungen – auch proximal an Holzproben in der Laacher-See-Tephra – vorgenommen worden, häufig mit ähnlichen Ergebnissen.

FRECHEN & LIPPOLT (1965) berichten von Datierungsversuchen mit der K/Ar-Methode an zwei Sanidin-Proben der Laacher-See-Tephra; sie ermitteln K/Ar-Alter von $0,23 \pm 0,03$ bzw. $1,51 \pm 0,1$ Millionen [radiometrischen] Jahren und begründen die zu hohen Alter mit überschüssigem (ererbtem) radiogenem Argon.

ZOLITSCHKA (1990) datiert die Laacher-See-Tephra in Sedimenten des Holzmaars und Meerfelder Maars (beide Eifel) mit der warvenchronologischen Methode zu 11.200 bzw. 11.190 [Warven-] Jahre BP.

Bis 1993 – also etwa 40 Jahre lang – wird das Ausbruchdatum des Laacher-See-Vulkans einvernehmlich mit (etwa) 11.000 Jahren vor heute angegeben (z. B. SCHMINCKE 1970; MEYER 1983, 1988; VAN DEN BOGAARD & SCHMINCKE 1984, 1985, 1988; SCHMINCKE & VAN DEN BOGAARD 1991; KAISER 1993). In dieser Zeit sind (konventionelle) ¹⁴C-Jahre und Kalenderjahre gleichgesetzt worden.

Kalibrierte Radiokarbon-Alter

BAALES et al. (1998, 2003) geben als „Ausbruchsalter des Laacher-See-Vulkans ein Intervall von 13.050 bis 13.190 cal BP“ an (Tab. 8, Pos. 7). Dabei verwenden sie die Kalibrationskurve, die von HUGHEN et al. (1998a) hauptsächlich auf Basis mariner Warven des Cariaco-Beckens (Venezuela) entwickelt wurde (vgl. Tab. 9, relevante Datenpunkte).

FRIEDRICH et al. (1999) errechnen ein mittleres Alter aller Kluft-Proben (Tab. 8, Pos. 11) von 11.063 ± 12 konventionellen ¹⁴C-Jahren BP. Auf Basis der relevanten Warvenkalibrations-Datenpunkte (entnommen STUIVER et al. 1998, vgl. Tab. 9) bestimmen sie graphisch (ihre Fig. 13) das Alter der Laacher-See-Tephra zu 13.200 bis 13.010 [kalibrierten ¹⁴C-] Jahren BP mit einer zusätzlichen systematischen Unsicherheit von ± 70 [kalibrierten] Jahren. Das so kalibrierte ¹⁴C-Alter bezeichnen sie als „absolutes Alter“.¹⁸

¹⁶ Siehe Titel der Publikation: „Das absolute Alter der jüngsten vulkanischen Eruptionen im Bereich des Laacher Sees.“

¹⁷ Probe 1: 11.044 ± 500 ¹⁴C-Jahre (s. auch ARNOLD & LIBBY 1951); Probe 2: 10.910 ± 330 ¹⁴C-Jahre (Mittelwert von 2 Einzelbestimmungen) (s. auch ANDERSON et al. 1953).

¹⁸ „We therefore determine the absolute age of the LST to 13,200 - 13,010 with an additional systematic uncertainty of ± 70 yr“ (FRIEDRICH et al. 1999, 35).

BAALES et al. (2002)¹⁹ schließlich bestimmen das Datum der Eruption auf folgende Weise (vgl. Tab. 1): Sie übernehmen als Fixpunkt den Beginn des Holozäns nach FRIEDRICH et al. (1999, 2001), 11.570 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP. Des Weiteren bestimmen sie die Dauer der Jüngeren Dryas zu durchschnittlich 1143 Warven- bzw. Eiskernjahre²⁰ und den zeitlichen Abstand der Laacher-See-Tephra zum Beginn der Jüngeren Dryas zu durchschnittlich 203 Warven- bzw. Eiskernjahre.²¹ Die Kombination aus dendro-, Warven- und Eiskernkalibrierten Einheiten ergibt in Summe 12.916 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP. Demnach entspräche das gewichtete Mittel von 11.062 ± 11 konventionellen ¹⁴C-Jahren BP der Bäume Krufft 8 und 9 (Tab. 8, Pos. 12) 12.916 kalibrierten ¹⁴C-Jahren BP. Die kalibrierten ¹⁴C-Jahre werden als Realjahre aufgefasst; so formuliert z. B. BAALES (2008): „Vor etwa 13 000 Jahren ist der Laacher See-Vulkan im nördlichen Rheinland-Pfalz ausgebrochen.“

Pos.	Probe	Tiefe [cm]	Laborcode und -nummer	Alter [konventionelle ¹⁴ C-Jahre BP $\pm 1\sigma$]	Alter [Warvenjahre BP] "Mittelwert" $\pm 1\sigma$	Anzahl Warven
1	PC56-596	596-597,5	CAMS-20515	10970 \pm 70	13014 +46/-41	Pos. 2 zu Pos. 1: 57
2	PC56-607	606-608	CAMS-27088	11190 \pm 70	13071 +46/-41	Pos. 3 zu Pos. 2: 75
3	PC56-616	615-617	CAMS-27087	11100 \pm 70	13146 +51/-45	

Tab. 9 Warvenkalibrierte Radiokarbon-Alter, Cariaco-Becken (Venezuela).

Ausschnitt aus HUGHEN et al. (1998b, 486), ihre Table 1: die drei Datenpunkte um ca. 11.060 konventionelle ¹⁴C-Jahre BP (siehe Textteil). Kernbohrung PL07-56PC, Probennahme in Intervallen von 10 cm; die ¹⁴C-Analysen erfolgten an handverlesenen Gehäusen der Foraminifere *Globigerina bulloides* aus 1,5 bis 2 cm dicken Proben, die jeweils 10–15 Warvenjahre entsprechen sollen. CAMS, Center for Accelerator Mass Spectrometry (Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore; Kalifornien). Die konventionellen ¹⁴C-Alter beinhalten eine Reservoir-Korrektur von „420 Jahren“.

Unter Anwendung der aktuellen Kalibrationskurve IntCal13 (atmosphärisch; OxCal-Programm) wird für den Mittelwert der Proben NCK-1a und NCK-1b (Tab. 8, Pos. 15) – 11.049 ± 64 konventionelle ¹⁴C-Jahre BP – ein Alter zwischen 13.062 und 12.758 kalibrierten ¹⁴C-Jahren BP ausgewiesen. Das arithmetische Mittel, 12.910 kalibrierten ¹⁴C-Jahre BP, ist dem von BAALES et al. (2002) bestimmten 12.916 kalibrierten ¹⁴C-Jahren BP quasi gleich.²²

¹⁹ In ihrer Table 3 listen BAALES et al. (2002) Radiokarbon-Alter von Pflanzenproben unmittelbar unter und in der Laacher-See-Tephra (proximaler Bereich); die Liste ist umfassend, allerdings fehlt Probe Hd-19607 (FRIEDRICH et al. 1999, 37).

²⁰ Zu Eiskernjahren und zur eiskernchronologischen Methode siehe KOTULLA (2013).

²¹ Die drei Lokalitäten und Arbeiten: Soppensee, Schweiz (HAJDAS et al. 1993, 1995); Gosciarz-See, Polen (GOSLAR et al. 1995); GRIP-Eiskern, Grönland (JOHNSON et al. 1992).

²² Hinsichtlich der Probe haben folgende Punkte u. a. Einfluss auf eine zeitliche Feinjustierung; diese sind aber marginaler Natur und werden nicht weiter verfolgt:

- In-situ-Einbettung eines zum Zeitpunkt des Ausbruchs aktiven Baumes (kein Totholz). Bei einem Totholz wäre der zeitliche Abstand zwischen Absterbezeitpunkt und Ausbruchzeitpunkt zu berücksichtigen.
- Der Baum ist unmittelbar nach der vollständigen Einbettung durch Tephra abgestorben (Beendigung des CO₂-Stoffkreislaufs).
- Berücksichtigung des Alters des Baumes (Probenposition in Bezug zu den Jahrringen); im Vergleich zur Lokalität Krufft bis zu 50 Jahre.

Dreifach-Absicherung des Ausbruchsdatum

VAN DEN BOGAARD (1995) vermeldet die Durchführung von 40 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Analysen an Sanidin-Kristallen der oberen Laacher-See-Tephra und weist ein $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Eruptionsalter von 12.900 ± 560 Jahre BP aus. ZOLITSCHKA et al. (2000) weisen für die Laacher-See-Tephra im Holzmaar und im Meerfelder Maar (Eifel) ein Alter von 12.880 Warvenjahre BP aus, das sie mit Kalenderjahren gleichsetzen.²³

Damit gilt das Ausbruchsdatum – etwa 12.900 Jahre vor heute (ohne Unsicherheiten) – als gesichert, da es auf drei (vermeintlich) unabhängige Altersbestimmungsmethoden gründet, die übereinstimmende Ergebnisse liefern (Tab. 10).

Altersbestimmung – Methode	Einheit „Jahre“	„Jahre“ vor heute
Radiokarbon-Methode (radiometrisch)	^{14}C -Jahre; (kalibriert)	12.916
Argon/Argon-Methode (radiometrisch)	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Jahre	12.900
Warvenzählung (warvenchronologisch)	Warvenjahre	12.880

Tab. 10 Altersbestimmung der Laacher-See-Eruption.

Daten aus VAN DEN BOGAARD (1995), ZOLITSCHKA et al. (2000) und BAALES et al. (2002).

Bezüglich einer Unabhängigkeit der Ergebnisse ist allerdings festzustellen:

Zur Anwendung der warvenchronologischen Methode: Das warvenchronologische („absolute“) Alter der Laacher-See-Tephra in der Holzmaar-Chronologie ist von den Bearbeitern nach und nach erhöht worden, von 11.200, auf 12.398, 12.560 und zuletzt 12.880 Warvenjahre BP; ebenso ist mit der Meerfelder-Maar-Chronologie verfahren worden.²⁴ Die Anpassungen²⁵ erfolgten durch Einpassung in den jeweils gültigen (kalibrierten) ^{14}C -Altersrahmen.²⁶ Diese An- und Einpassungen zeigen, dass die warvenchronologische Methode – diesen Skalenbereich betreffend – keine absolute und keine unabhängige Altersbestimmungsmethode ist.

Zur Anwendung der Argon/Argon-Methode: Die von VAN DEN BOGAARD (1995) ermittelten, sogenannten scheinbaren Alter der Einzelproben umfassen eine Spanne, die von $6,4 \pm 3,8$ bis 127 ± 2 Tausend $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Jahren reicht. Durch Bildung von vier Subpopulationen von Kristal-

²³ „Furthermore, this chronology dates the isochrones of Laacher See Tephra (12 880 calendar yr B.P.) (...)“ (ZOLITSCHKA et al. 2000, 783).

²⁴ Siehe HAJDAS (1993), ZOLITSCHKA (1998), BRAUER et al. (1999a, 1999b), ZOLITSCHKA et al. (2000).

²⁵ 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).

²⁶ So auch FRIEDRICH et al. (1999, 32): „As mentioned above, however, most varve series have been calibrated using ^{14}C in the Holocene (Goslar et al., 1995; Hajdas et al., 1995b; Hughen et al., 1998). As all ^{14}C 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.“

len weist er Alter(sgruppen) von 127, 55, 25 und 12,9 (80 % der Analysen) Tausend $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Jahren²⁷ aus. Das $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Eruptionsalter schätzt er abschließend auf 12.900 ± 560 Jahre BP („korrigiert“ zu 13.290 ± 410 Jahre BP²⁸); die Werte aber streuen von 6.400 bis 18.400 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Jahre.²⁹ Die Wahl des Wertes „12.900“ ist auf eine Abstimmung mit den kalibrierten ^{14}C -Alter zurückzuführen. Die Argon/Argon-Methode ist eine relative Datierungsmethode (JOURDAN et al. 2014); bei der Interpretation der Daten erfolgen gegebenenfalls Korrekturen.³⁰

Fazit: Die unternommenen Versuche, den Zeitpunkt des Ausbruchs des Laacher-See-Vulkans mit verschiedenen Methoden zu bestimmen, zeigen, dass die Ergebnisse mehrfach aufeinander abgestimmt (synchronisiert) worden sind. Führend ist letztlich die Radiokarbon-Methode.³¹

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Vorgehensweise und Gliederung

Die Diskussion der Ergebnisse – das hat der Fortschritt der Bearbeitung gezeigt – erfordert eine tiefere Analyse der dendrochronologischen Methode. Diese gilt insbesondere der Konstruktion der langen Baumringchronologien.

Kapitel 5 ist demnach wie folgt gegliedert: Ausgangspunkt sind die dendrokalibrierten Rohdatensätze der atmosphärische Kalibrationskurve für den Skalenbereich 13.900 bis 0 kalibrierte ^{14}C -Jahre BP und die an sie gestellten Anforderungen (Abschnitt 5.2). Sie leiten über zu den Kalibrationsdaten-liefernden, langen Baumringchronologien (Abschnitt 5.3). Kern ist die Methodik der Konstruktion dieser Lang-Chronologien (Abschnitt 5.4); in den Abschnitten 5.5 bis 5.8 werden an Beispielen Konstruktion und Validierung einerseits und Da-

²⁷ Als individuelle Alter, gewichtete scheinbare Alter oder Isochronen-Alter.

²⁸ 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.“

²⁹ Seit VAN DEN BOGAARD (1995) sind keine $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Analysen publiziert worden; es bleiben die ungeklärten, widersprüchlichen Ergebnisse zu FRECHEN & LIPPOLT (1965).

³⁰ So lieferte – RENNE et al. (1997) zufolge – die Datierung von Sanidin-Kristallen 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 ± 500 Jahren entsprochen.

³¹ BRONK RAMSEY et al. (2015) weisen neuerdings auf Grundlage bestehender Altersmodelle für die LST-führenden Sedimentabschnitte des Holzmaars, des Soppensees und des Rotsees (ZOLITSCHKA et al. 1995; HAJDAS et al. 1993; LANE et al. 2011a,b), die auf ^{14}C -Bestimmungen basieren, ein mit der Bayes-Methode (ihr Modell 2) ermitteltes Ausbruchdatum in der Spanne von 13.020–12,860 (95 %, IntCal13) bzw. von 12.944 ± 40 kalibrierte ^{14}C -Jahre BP (IntCal13) aus (S. 17, ihre Table 7). Dieses Datum sei in „guter Übereinstimmung mit den anderen Schätzungen“; dabei beziehen sie sich auf BRAUER et al. (1999b), 12.880 ± 40 Warvenjahre BP, und VAN DEN BOGAARD (1995).

tenlage und Dateninterpretation andererseits dargelegt. Die Feststellungen werden zusammengefasst (Abschnitt 5.9) und münden schließlich in einer abschließenden Aussage über das Alter des verkohlten Baumstamms (Abschnitt 5.10).

Durch die vorgegebene Struktur werden verwendete Begriffe teilweise erst zu einem späteren Zeitpunkt aufgegriffen und erklärt; sie sind aber auch im Glossar enthalten und damit unmittelbar verfügbar.

5.2 Entstehung und Konstruktion der internationalen Radiokarbon-Kalibrationskurve

5.2.1 Begründung und Ziel

Bei der systematischen ^{14}C -Bestimmung von Jahrringfolgen ist festgestellt worden, dass ^{14}C -Jahre und Baumringjahre – mit Bezug auf Proben bekannten Alters – nicht übereinstimmen (DE VRIES 1958³²; STUIVER & SUESS 1966, Abb. 10). Die ^{14}C -Werte streuen mitunter stark; mit zunehmendem Baumalter verhalten sich die ^{14}C -Konzentrationen – ausgedrückt als konventionelle ^{14}C -Jahre – nicht einfach konform, sie verlaufen teilweise sogar gegensätzlich (vgl. Abb. 9 und Abschnitt 4.3).

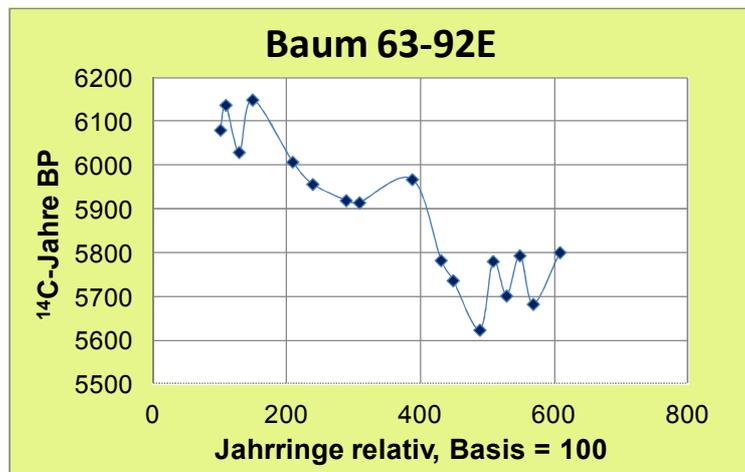


Abb. 9 Radiokarbon-Variation, Baum 63-92E.

^{14}C -Konzentration, ausgedrückt als konventionelle ^{14}C -Jahre, bezogen auf eine Jahrringfolge des Baumes 63-92E. Dieser Baum bildet das älteste Element der kalifornischen Kiefernborstenchronologie nach FERGUSON (1970, seine Fig. 1 und Table 2): Intervall 5142-4561 Dendrojahre BC (7091-6510 Dendrojahre BP). Für das Intervall 5083-4575 Dendrojahre BC publizierte SUESS (1978) ^{14}C -Bestimmungen für hauptsächlich 10-Jahrringproben und 20-Jahrringabständen (allerdings mit zahlreichen Lücken); diese Datensätze sind vom Verfasser in eine Beziehung „ ^{14}C -Jahre BP zu relativem Jahrring“ mit einer willkürlich gewählten Jahrringbasis von 100 umgesetzt worden (100 entspricht nach SUESS 1978 Dendrojahr 5083 BC). ^{14}C -Jahre ohne 1σ -Unsicherheit; die Kurve soll lediglich die Variation verdeutlichen. – Werden nur die Endpunkte betrachtet, verhalten sich 283 konventionelle ^{14}C -Jahre zu 509 Dendrojahre.

³² Die Baumproben stammten von Colorado (Douglastanne, 290 Jahre alt, Proben für ca. AD 1700 bis AD 1950), vom Bayerischen Wald (Tanne, etwa 300 Jahre alt, Proben für ca. AD 1700 bis AD 1800) sowie vom Spessart (Eiche, 450 Jahre alt, Proben für ca. AD 1500 bis AD 1700).

Diese Diskrepanzen werden auf zeitliche Variationen der atmosphärischen ^{14}C -Konzentration zurückgeführt; diese wiederum sollen von Schwankungen in der ^{14}C -Produktionsrate herrühren. Als Ursache werden geomagnetische und solare Modulationen („Regulierungen“) der kosmischen Strahlung sowie der Kohlenstoffkreislauf angenommen (REIMER et al. 2013a, 1870).

Folglich sei eine Kalibration der Radiokarbon-Zeitskala notwendig, die idealerweise auf eine absolut-datierte Aufzeichnung basiere, welche Kohlenstoff zum Zeitpunkt der Bildung direkt von der Atmosphäre eingearbeitet habe (REIMER et al. 2013a, 1870).

Abb. 9 zeigt die ^{14}C -Variation einer Jahrringfolge eines Baumes (63-92E), der für die Konstruktion der kalifornischen Borstenkiefernchronologie (s. Abschnitt 5.3.1) verwendet wurde (Suess 1978). Abb. 10 dagegen zeigt die ^{14}C -Variation des letzten Jahrtausends nach STUIVER & SUESS (1966; vgl. ihre Fig. 1); sie besteht aus einer Kompilation von Jahrringfolgen unterschiedlicher Bäume.

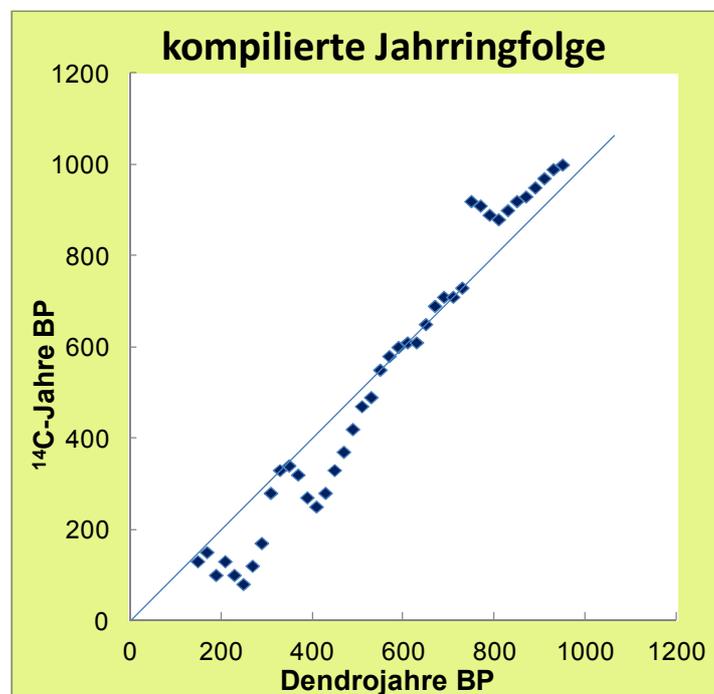


Abb. 10 Radiokarbon-Variation des letzten Jahrtausends.

^{14}C -Konzentration, ausgedrückt als konventionelle ^{14}C -Jahre, bezogen auf eine zusammengesetzte Jahrringfolge: Die ^{14}C -Werte variieren; als Orientierung blaue Gerade mit einer 1-zu-1-Beziehung. Nach STUIVER & SUESS (1966) zeigt die Graphik die Beziehung „zwischen Radiokarbonalter und wahren Alter“ an (ihre Table 1 und Fig. 1). Die „wahren Alter“ beziehen sich auf Jahrringproben unterschiedlicher Bäume bekannten Alters (Anzahl und Proben werden nicht genannt); die Kalenderjahre AD 1000 bis AD 1800 entsprechen den Dendrojahren 950 bis 150 BP. Daten aus STUIVER & SUESS (1966); Achsenorientierung wie Original (ihre Fig. 1), Datenpunkte hier ohne Verbindung.

5.2.2 Atmosphärische Radiokarbon-Kalibrationskurve

Die von der Kalibrations-Arbeitsgruppe (IntCal Working Group) herausgegebene sog. atmosphärische Radiokarbon-Kalibrationskurve der nördlichen Hemisphäre³³ – aktuell IntCal13³⁴ (Abb. 11) – ist eine Zusammenstellung aus Datensätzen unterschiedlicher Herkunft (REIMER et al. 2013a). Die Datenbasis bilden für den Skalenbereich 13.900 bis 0 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP Baumringe und für den Skalenbereich 50.000 bis 13.900 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP Makrofossilien des Suigetsu-Sees (Japan) sowie Speläotheme (Höhlenminerale). Das pflanzliche Material – Baumstämme (Baumringe) und Blätter (im Seesediment) – gilt *bona fide* als Überlieferung des atmosphärischen CO₂ (vgl. Abschnitt 5.2.1).

Nach IntCal13 betragen die Abweichungen zwischen konventionellen ¹⁴C-Alter und kalibrierten ¹⁴C-Alter für den Skalenbereich > 1000 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP maximal +10 bis maximal -22 %; für den Skalenbereich 1000-100 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP sind die Abweichungen „dynamischer“ mit Maximalwerten von +27/-153 %.³⁵

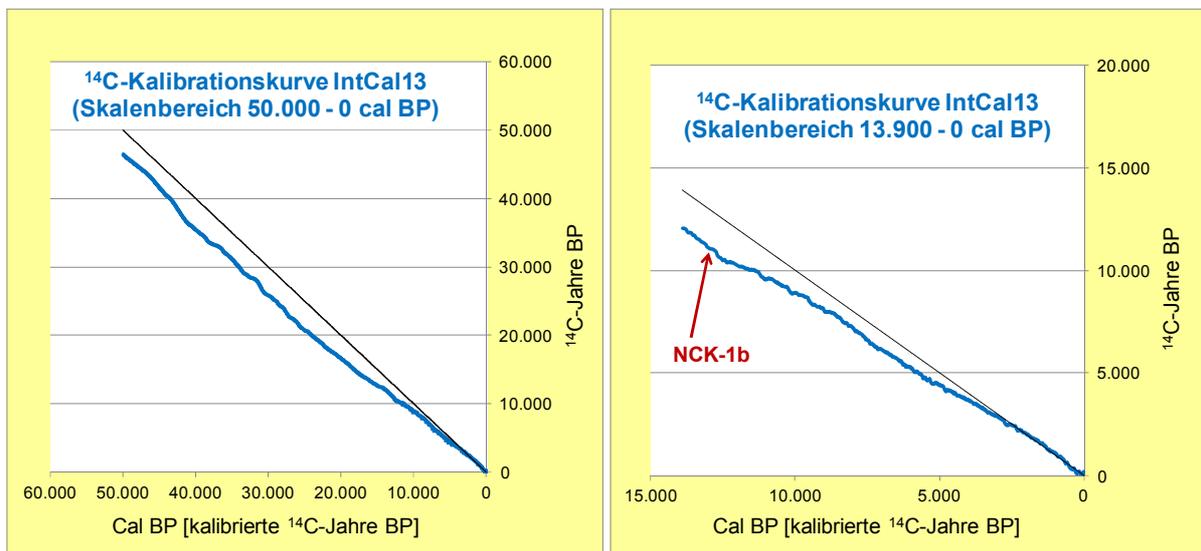


Abb. 11 Atmosphärische Kalibrationskurve IntCal13.

Links: Skalenbereich 50.000 bis 0 kalibrierte Jahre BP; rechts: Skalenbereich 13.900 bis 0 kalibrierte Jahre BP mit Kalibrations-Position der Probe NCK-1b. Winkelhalbierende zur Orientierung. Daten aus REIMER et al. (2013a).

Die kalibrierten ¹⁴C-Alter der Proben NCK-1a und NCK-1b (Kap. 4) fallen in den Skalenbereich, der durch Baumringdatensätze bestimmt wird. Auf diesen Skalenbereich fokussiert die Diskussion.

³³ Neben IntCal13 werden zwei weitere Kalibrationskurven herausgegeben: Marine13, marine Radiokarbon-Kalibrationskurve; SHCal13, atmosphärische Radiokarbon-Kalibrationskurve der südlichen Hemisphäre. Diese werden hier nicht weiter betrachtet.

³⁴ Eine aktualisierte Kalibrationskurve soll 2019 herausgegeben werden (REIMER et al. 2018): IntCal19.

³⁵ Basis ist das konventionelle ¹⁴C-Alter.

5.2.3 Dendrokalibrierte Datensätze der atmosphärischen Kalibrationskurve IntCal13 (Skalenabschnitt 13.900 – 0 cal BP)

Das Proben- und Datenmaterial für den dendrokalibrierten Skalenbereich > 1900 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP ist wie folgt zusammengestellt (zu den Baumringchronologien s. Abschnitt 5.3):

- Für den Skalenbereich 7150 bis 1900 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP: hauptsächlich Belfast-Eichenchronologie und Hohenheim-Eichenchronologie.
- Für den Skalenbereich 12.580 bis 7150 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP: Hohenheim-Eichenchronologie und Hohenheim-Kiefernchronologie.
- Für den Skalenbereich 13.900 bis 12.580 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP: „Radiokarbonkalibrierte“ schwimmende, spätglaziale Kiefernchronologie (Deutschland und Schweiz).

¹⁴ C-Alter			weitere Informationen				
Cal BP ("Startjahr")	BP	± 1σ	Spanne (Jahrringe) ab "Startjahr"	Laborcode und -nummer	Datensatznummer	Anzahl Beobachtungen (Belegdichte?)	Lokalität oder andere Information
12302	10331	35.7	21	HD20485	5	34	2003 Replacement
12316	10415	22.6	11	HD27259	5	26	2008 Extension
12322	10393	32.1	21	HD20087	5	35	2003 Replacement
12326	10399	25	10	HD27301	5	25	2008 Extension
12336	10396	29.8	10	HD27195	5	24	2008 Extension
12342	10411	33.3	11	HD19675	5	36	2003 Replacement
12346	10395	28.6	10	HD27055	5	23	2008 Extension
12352	10386	25	11	HD20112	5	37	2003 Replacement
12356	10325	25	10	HD27074	5	22	2008 Extension
12362	10472	33.3	40	HD20109	5	28	2003 Replacement
12366	10343	28.6	10	HD27068	5	21	2008 Extension
12376	10387	28.6	10	HD27188	5	20	2008 Extension
12385	10391	29.8	10	HD25067	5	16	2008 Extension
12386	10438	22.6	7	HD27069	5	19	2008 Extension
12393	10425	38.1	10	HD26257	5	18	2008 Extension
12403	10453	35.7	10	HD25043	5	17	2008 Extension
12409	10451	26.2	11	HD27260	5	12	2008 Extension
12419	10483	29.8	11	HD27302	5	11	2008 Extension
12429	10536	35.7	11	HD27338	5	10	2008 Extension
12439	10535	25	11	HD27270	5	9	2008 Extension
12449	10538	29.8	11	HD27308	5	8	2008 Extension
12471	10483	30.9	10	HD25006	5	7	2008 Extension
12499	10477	29.8	11	HD27246	5	6	2008 Extension
12509	10434	28.6	11	HD27336	5	5	2008 Extension
12519	10508	27.4	11	HD27275	5	4	2008 Extension
12525	10547	28.6	10	HD25008	5	15	2008 Extension
12529	10530	26.2	10	HD26866	5	3	2008 Extension
12536	10597	44	10	HD22166	5	13	2008 Extension
12536	10488	30.9	7	HD27037	5	14	2008 Extension
12539	10525	27.4	10	HD26865	5	2	2008 Extension
12549	10564	27.4	8	HD26867	5	1	2008 Extension

Tab. 11 Rohdaten für Radiokarbon-Kalibration (Ausschnitt).

Der Ausschnitt umfasst den Skalenbereich 12.549 bis 12.302 Dendrojahre BP; die Dendrojahre werden als Kalenderjahre aufgefasst. Allerdings bezieht sich der Wert in Spalte „Cal BP“ auf das jeweilige jüngste Jahr („Startjahr“) der beprobten Jahrringsequenz (Anzahl der Jahrring in Spalte „Spanne“); Beispiel: Die Jahrringprobe mit Labornummer HD26867 (letzte Zeile) umfasst 8 Jahrringe. Das ermittelte konventionelle Radiokarbon-Alter von $10.564 \pm 27,4$ ¹⁴C-Jahren wird aber auf die Mitte der Jahrringsequenz bezogen. Demzufolge entspricht das konventionelle ¹⁴C-Alter 12.552,5 kalibrierten ¹⁴C-Jahren (= Dendrojahr 12.552,5 BP). HD, Labor Heidelberg. Datei: IntCal09_atm_rawdata.csv.

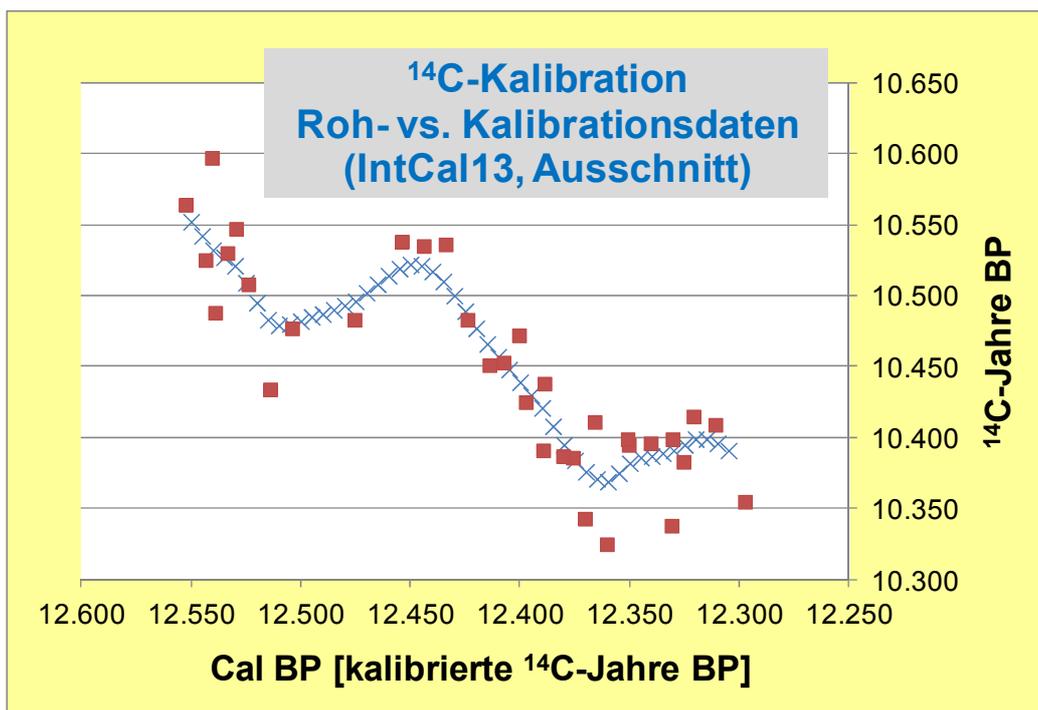
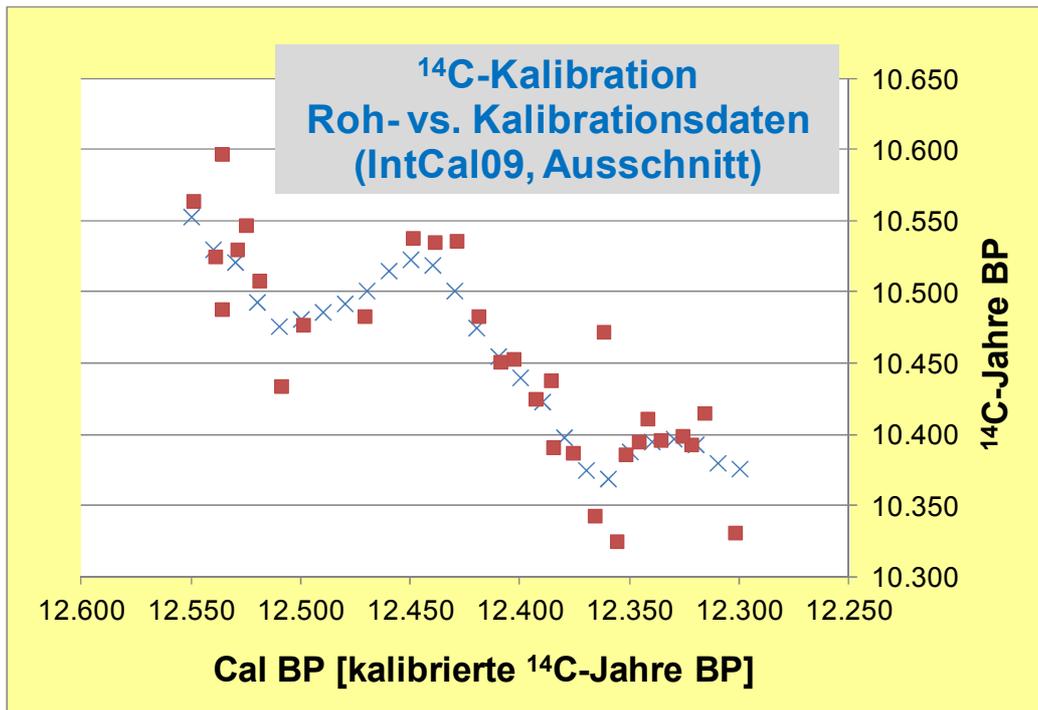


Abb. 12 Radiokarbon-Kalibration (Ausschnitt).

Ausschnitt für den Skalenbereich 12.550 bis 12.300 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP. Oben: Daten zu REIMER et al. (2009), Dateien „IntCal09_atm_rawdata.csv“ und „IntCal09.14c“. Unten: Daten zu REIMER et al. (2013a), Dateien „HD atmospheric“ und „intcal13.14c“. Rohdatensatz: rote Quadrate; Kalibrationsdatensatz: blaue Kreuze. Von 2009 zu 2013 ist die Rohdatenbasis teilweise verändert und der Kalibrationsdatensatz (für diesen Abschnitt) verdoppelt worden (nunmehr in 5er-Schritten).

¹⁴ C-Alter			¹⁴ C-Alter			¹⁴ C-Alter		
cal BP (kalibriert)	BP (konventionell)	± BP	cal BP (kalibriert)	BP (konventionell)	± BP	cal BP (kalibriert)	BP (konventionell)	± BP
12305	10391	19	12390	10421	15	12475	10496	22
12310	10396	19	12395	10430	17	12480	10493	23
12315	10399	18	12400	10439	18	12485	10490	25
12320	10399	16	12405	10448	18	12490	10487	25
12325	10395	16	12410	10457	18	12495	10485	24
12330	10391	16	12415	10466	18	12500	10482	22
12335	10389	17	12420	10477	18	12505	10480	20
12340	10387	17	12425	10489	19	12510	10479	19
12345	10386	17	12430	10500	19	12515	10483	18
12350	10382	17	12435	10510	19	12520	10495	18
12355	10375	17	12440	10517	19	12525	10509	17
12360	10369	16	12445	10521	18	12530	10521	16
12365	10371	16	12450	10522	19	12535	10527	15
12370	10376	16	12455	10519	20	12540	10532	15
12375	10384	15	12460	10514	22	12545	10542	17
12380	10395	16	12465	10508	23	12550	10552	18
12385	10408	15	12470	10502	23			

Tab. 12 Kalibrationsdaten der Radiokarbon-Kalibration (Ausschnitt).

Der Ausschnitt umfasst – zum Vergleich mit Tab. 11 – in etwa den gleichen Skalenbereich, hier: 12.550 bis 12.305 (dendro-) kalibrierte ¹⁴C-Jahre, in 5er-Schritten. Datei: intcal13.14c. Einen visuellen Vergleich zwischen Rohdaten und statistisch geglätteter Kalibrationskurve zeigt Abb. 12.

Die jeweiligen Proben werden i. d. R. aus etwa 10 oder 20 aufeinanderfolgenden Jahrringen einer Sequenz gebildet (vgl. Tab. 11); sie sind einerseits dendrochronologisch absolut- oder „Radiokarbon-kalibriert“-datiert sowie andererseits konventionell ¹⁴C-datiert (s. Abschnitt 5.4). Von diesen gelieferten und ausgewählten Rohdatensätzen (Wertepaare: kalibriertes ¹⁴C-Alter BP, konventionelles ¹⁴C-Alter BP ± 1σ) wird eine statistisch geglättete Kalibrationskurve erzeugt (Abb. 12), von dieser dann ein Kalibrationsdatensatz (Wertepaare wie oben) in Schritten von 5 oder 10 kalibrierten ¹⁴C-Jahren (vgl. Tab. 12) generiert.

5.2.4 Anforderungen an Rohdatensätze der atmosphärischen Kalibrationskurve (Skalenabschnitt 13.900 – 0 cal BP)

Anforderungen I

Erst 1985 war die Radiokarbon-Gemeinschaft übereingekommen – als primäre Anforderung für die Publikation der³⁶ Radiokarbon-Kalibrationskurve –, nur von zwei unabhängigen Laboratorien duplizierte Ergebnisse in Kombination zu verwenden (PEARSON et al. 1993).³⁷ Hierzu wurden in umfangreichem Maße von den beteiligten Dendrochronologen Holzproben (zunächst 20-Jahrringproben) zur Verfügung gestellt. Insofern fungiert(e) die

³⁶ Hier: die allgemeingültige Version der Radiokarbon-Gemeinschaft.

³⁷ „At the Twelfth ¹⁴C Conference (1985) in Trondheim, it was agreed that definitive calibration would be published by combining data for time periods that had been duplicated independently by different laboratories, provided they showed agreement within statistical expectation. Two papers resulted (Stuiver & Pearson 1986; Pearson & Stuiver 1986), which covered a time period of some 4500 yr between 2500 BC and the present. The mean difference between the Belfast and Seattle data sets was 0.6 yr with a standard deviation of 25.6 yr (Stuiver & Pearson 1986)“ (PEARSON et al. 1993, 95).

„Kalibrationsstelle“³⁸ nicht als Verifikationsstelle der jeweiligen von den Dendrochronologen gemeldeten Chronologien oder einzelner Abschnitte daraus (zur Fortentwicklung der Kalibrationskurve s. Anhang 2).

Anforderungen II – REIMER et al. (2002)

Nach der Etablierung einer Kalibrationsarbeitsgruppe (IntCal Working Group, IWG) sind „offizielle“ Kriterien für die Einbeziehung von Datensätzen in die internationale Radiokarbon-Kalibrationskurve publiziert worden (REIMER et al. 2002, 2013b).

Nach REIMER et al. (2002, 657) basiert der holozäne Teil („0-12 ka BP“) der ¹⁴C-Kalibration auf mehreren jahrtausendelangen Baumringchronologien, die einen jährlichen, absoluten Zeitrahmen liefern. Die Baumringchronologien seien durch interne Replikation zahlreicher überlappender Abschnitte gründlich getestet und – wenn immer möglich – durch unabhängig etablierte Chronologien angrenzender Regionen querverprobt („crosschecked“) worden. Hierzu werden folgende Fälle angeführt:

- Deutsche und irische Eichenchronologien, kreuzdatiert („cross-dated“) bis in das dritte vorchristliche Jahrtausend (PILCHER et al. 1984).
- Deutsche Eichenchronologien des Mains, unabhängig aufgebaut in den Baumring-Laboratorien von Göttingen und Hohenheim, kreuzdatiert „bis 9147 cal BP“ zurück (SPURK et al. 1998).
- Nordamerikanische Bäume, die Teile der Kalibrationskurve vor AD 1320 bilden, kreuzdatiert mit der *Sequoiadendron*-Masterchronologie oder mit einer Douglastannen-Chronologie des pazifischen Nordwestens (STUIVER 1982)³⁹.

Zu den Anforderungen an die Rohdatensätze heißt es dann in der Publikation der Radiokarbon-Kalibrationskurve IntCal04 (REIMER et al. 2004): „Für eine Einbeziehung in den Kalibrationsdatensatz ist die dendrochronologische Datierung und Querverprobung von Baumringen erforderlich.“⁴⁰

Anforderungen III – REIMER et al. (2013b)

REIMER et al. (2013b, 1933f.) führen erstmals konkrete methodische Anforderungen für Proben- bzw. Datensatz-Reihen der Radiokarbon-Kalibrationskurve auf. Diese beziehen sich auf verschiedene Aspekte der Konstruktion (s. Abschnitt 5.4) und Validierung von Baumringchronologien.

Indirekt wird eingefordert, dass bei der Durchführung von Kreuzkorrelationen „etablierte Standards“ eingehalten werden. Da der Test „der statistischen Signifikanz einer Kreuzkorrelation“ mehr als nur eine mögliche Übereinstimmung liefern könne, basiere die ultimative Entscheidung für einen [positiven, MK] Kreuzvergleich auf einen visuellen Vergleich der Se-

³⁸ Beginnend mit: STUIVER 1986, STUIVER & PEARSON 1986, PEARSON & STUIVER 1986, STUIVER et al. 1986.

³⁹ Bezieht sich auf den Dendro-Skalenbereich AD 1 bis AD 1320.

⁴⁰ „For inclusion in the calibration data set, dendrochronological dating and cross-checking of tree rings is required“ (REIMER et al. 2004, 1031).

rien, die auf der Erfahrung des Dendrochronologen beruhe. Folgende Beispiele und Ähnlichkeitswerte (s. Abschnitt 5.4.3) werden genannt:

- Konstruktion der Belfast-Eichenchronologie: visuell akzeptabel; t-Werte > 3,5.
- Europäische spätglaziale Chronologien (KAISER et al. 2012): t-Werte $\geq 4,0$; GLK $\geq 60\%$; akzeptable visuelle Verknüpfung.

Die Formulierung „visuell akzeptabel“ wird nicht konkretisiert. Des Weiteren wird für die Konstruktion von Chronologien, kritischen Links (Verknüpfungen) und Erweiterungen existierender Chronologien als Muss-Kriterium aufgeführt:

- Überlappung der grundlegenden Serie: ≥ 100 Ringe, zur Vermeidung einer zufälligen Koinzidenz.

Der entscheidende Nachweis („crucial proof“) für eine absolut-datierte Dendrochronologie sei ihre externe Validierung; dieser Nachweis werde „durch signifikante Kreuzdatierung unabhängig aufgebauter Baumringchronologien“ erbracht.⁴¹ Beispielhaft für solch erfolgreich erbrachte Nachweise werden genannt (vgl. Abschnitt „Anforderungen II“ oben):

- Europäische Eichenchronologien (PILCHER et al. 1984; SPURK et al. 1998).
- Spätglaziale Kiefernchronologien von der Schweiz und von Deutschland (KAISER et al. 2012).

Wenn direkte Vergleiche von Jahrringbreiten-Serien unterschiedlicher Regionen nicht möglich seien, da ein gemeinsames Signal nicht zu erwarten sei, könne das ¹⁴C-„Wiggle-Matching“ von ¹⁴C-Datenserien der Chronologien eine adäquate Methode sein, um Zeitskalen zu vergleichen und zu verifizieren.

Schließlich sei für Proben der Kalibrationskurve zwingend erforderlich („imperative“), dass die jeweilige Dendrochronologie gut erstellt („well established“) und vollständig publiziert ist; die Publikation sollte („should“) u. a. enthalten:

- Details zur angewendeten Methodologie für die Baumringanalyse;
- vollständige Details des Kreuzvergleichs und der Kreuzdatierung für jede Baumringserie;
- verbleibende Unsicherheit in absoluten Jahren;
- Angabe der Version der Chronologie, die für Datierungszwecke verwendet wurde;
- Publikation der Roh-Baumringbreiten der Bäume, die für Kalibrationsdaten beprobt wurden (ggf. Ablage in einem digitalen Archiv);
- Klare Zuordenbarkeit der publizierten Kalibrationsdatensätze (welche Ringe von welcher individuellen Baumringserie sind in der ¹⁴C-Probe inkludiert).

⁴¹ „The crucial proof of an absolutely dated dendrochronology is the external validation by significant cross-dating of independently established tree-ring chronologies, as could be shown for the European oak chronologies (Pilcher et al. 1984; Spurk et al. 1998) and for the late-glacial pine chronologies from Switzerland and Germany (Kaiser et al. 2012)“ (REIMER et al. 2013b, 1934).

5.3 Relevante Baumringchronologien

Die Rohdaten zu den atmosphärischen Radiokarbon-Kalibrationskurven (1986 bis IntCal13, s. Tab. 31) sind – mit unterschiedlichen Anteilen – hauptsächlich von drei langen⁴² Baumringchronologien geliefert worden. Die Kalibrationskurve IntCal04 enthält keine ¹⁴C-Datensätze der kalifornischen Borstenkiefernchronologie (REIMER et al. 2004; LEAVITT & BANNISTER 2009, 380); dies gilt auch für die nachfolgenden Kurven IntCal09 und IntCal13⁴³. IntCal13 enthält erstmals Datensätze einer schwimmenden, über „¹⁴C-Wiggle-Matching“ (s. Abschnitt 5.4.6) verankerten Baumringchronologie.

5.3.1 Kalifornische Borstenkiefernchronologie

Die kalifornische Borstenkiefernchronologie (bristlecone pine chronology) wurde hauptsächlich in den 1960er-Jahren am Laboratory of Tree-Ring Research (LTRR) der Universität Arizona konstruiert (FERGUSON 1969)⁴⁴; mit den Erweiterungen bis 1983 soll sie – FERGUSON & GRAYBILL (1983) zufolge – 8681 [Dendro-] Jahre umfassen (Tab. 13). Darüber hinaus ist keine Erweiterung mitgeteilt worden, obgleich nach FERGUSON & GRAYBILL (1985) noch „ältere“ Bäume (¹⁴C-datiert) gefunden wurden.⁴⁵ Die aktuelle Länge soll 8836 [Dendro-] Jahre betragen (LEAVITT & BANNISTER 2009, 375; mit Verweis auf eine pers. Mittlg. von T. HARLAN⁴⁶). Grundlegend allerdings sind die Publikationen zur 7104 [Dendro-] Jahre umfassenden Chronologie (FERGUSON 1969, 1970).

Die Chronologie ist für Borstenkiefern⁴⁷ der kalifornischen White Mountains entwickelt worden; das Material stammt aus etwa 3000 m Höhe von lebenden und toten, noch stehenden Bäumen oder Resten bzw. Fragmenten umgefallener und erodierter Stämme. FERGUSON (1969) hat die Standardchronologie aus den zuvor existierenden Teilchronologien Methusaleh Walk (Skalenabschnitt AD 1600–1962, 9 Bäume) und Schulman-Standard⁴⁸ (Skalenabschnitt AD 800–1954, 14 Bäume) sowie 17 einzelnen Individuen (Skalenabschnitt 5142 BC bis AD 1285) zusammengesetzt (Tab. 40).

⁴² Es werden auch Begriffe wie superlang („super-long“) (BECKER 1993, siehe Fußnote 60) oder ultralang („ultra long“) (LEUSCHNER 1992, 193) verwendet.

⁴³ Mit einer Ausnahme: Für den Dendro-Skalenbereich von ca. 800-350 BC sind 53 Rohdatensätze inkludiert (REIMER et al. 2013a, ihre Table 1). TAYLOR & SOUTHON (2013) lieferten für Proben der kalifornischen Borstenkiefernchronologie 53 neue (konventionelle) ¹⁴C-Alter; die Proben allerdings werden nicht konkret bezeichnet (welcher Baum etc.).

⁴⁴ Das sog. *Bristlecone Pine Project* begann 1956 (FERGUSON & GRAYBILL 1983, 288).

⁴⁵ Charles Wesley FERGUSON verstarb 1986 (MORRIS 1986), Donald A. GRAYBILL 1993 (JARVIS 2001).

⁴⁶ Thomas P. HARLAN ist 2013 verstorben; nach Kenntnis des Verfassers erfolgte hierzu keine Publikation. Zur Archivierung der *Bristlecone Pine Collection* siehe HALLMAN et al. (2006), Co-Autor ist T. HARLAN.

⁴⁷ Einige lebende Exemplare sollen sehr hohe individuelle Alter aufweisen. Siehe z. B. SCHULMAN (1956), SCHULMAN & FERGUSON (1956) und SCHULMAN (1958).

⁴⁸ Edmund SCHULMAN verstarb 1958.

Chronologie/ Referenz	Dendro-Zeitskala		Länge [Dendrojahre]	Anmerkung
	Start	Ende		
<u>Schulman Master</u>				
Schulman (1956)	AD 800	AD 1954	1155	
<u>White Mountains Master</u>				
Ferguson & Wright (1963)	ca. 1900 BC	AD 1954 ?	3850	A
Ferguson et al. (1966)	ca. 4638 BC ?	AD 1962 ?	>6600	B
Ferguson (1968)	5150 BC		7117	
Ferguson (1969)	5142 BC	AD 1962	7104	
Ferguson (1970)	5522 BC	AD 1962	7484	
Ferguson (1972)			nahezu 8000	
Ferguson (1979)	6275 BC	AD 1978	8253	
Ferguson & Graybill (1981)	6700 BC			
Ferguson, Graybill & Burns			8681	C
Ferguson & Graybill (1983)	6700 BC	AD 1981	8681	
Ferguson et al. (1985)	6700 BC			
Linick et al. (1986)	6554 BC			D

Tab. 13 Kalifornische Borstenkieferchronologie.

Ausgewählte Marksteine der Konstruktion. Anmerkungen: A: Zwischenmitteilung zum Konstruktionsfortschritt: „nutzbare“ Standardchronologie; B: Zwischenmitteilung zum Konstruktionsfortschritt (s. auch Abschnitt 5.7.1); C: angekündigt in FERGUSON & GRAYBILL (1981), aber nicht publiziert; D: Die Verlängerung bezieht sich nach LINICK et al. (1986, 944) auf eine Borstenkieferprobe (Dendrojahre 6554-5820 BC), die mit der existierenden Chronologie kreuzdatiert werden konnte⁴⁹.

Die lange Chronologie ist hauptsächlich mit dem Ziel erstellt worden, dendrochronologisch datierte Jahrringproben (Zehnergruppen) für die Kalibration der Radiokarbon-Zeitskala zur Verfügung zu stellen.⁵⁰ Eine diesbezügliche Kooperation mit dem Radiokarbon-Laboratorium der Universität von Arizona war aber zweiseitig angelegt; denn für Proben unbekanntes Alters (nicht-lebender Bäume) lieferte das Radiokarbon-Laboratorium (die notwendigen) ¹⁴C-Alter.⁵¹

⁴⁹ „At this time, the bristlecone pine chronology is the only tree-ring chronology that continues unbroken to 6554 BC“ (LINICK et al. 1986, 945). – Sehr wahrscheinlich handelt es sich um Probe 79-138; für diese Probe nennen (FERGUSON & GRAYBILL 1981, 5) ein Skalenintervall von „5900-6600 B.C.“.

⁵⁰ „The primary focus of the project – to provide dendrochronologically-dated decade samples for an interlaboratory calibration of the ¹⁴C time scale (Klein et al, 1982) – continues as bulk material for selected time periods becomes available“ (FERGUSON & GRAYBILL 1983, 287).

⁵¹ Bereits der Folgeantrag zur Forschungsbewilligung NSF-G 19949 vom 10. Mai 1963 (MCGINNIES & PATRICK 1963, 13) enthielt eine weitreichende Passage zur Kooperation mit dem Radiokarbon-Laboratorium der Universität von Arizona. Demnach sollte das Laboratorium ¹⁴C-Alter für Überreste von Bäumen liefern, die in keiner Beziehung zu lebenden Bäumen standen, also von Holz unbekanntes Alters: „Our part of the cooperative studies with the University of Arizona Radiocarbon Laboratory is to furnish exactly dated tree-ring material that can be used to check radiocarbon determinations over a span of 4500 years. In return, the radiocarbon laboratory will provide dates on ‘floaters’, pieces of wood that are remnants of former trees and have no provenience in relation to any living tree. These pieces were chosen from sites having a sensitive chronology and producing trees in the 4000-year range. The floaters could be the inner portions of trees of the maximum age class that have been dead for a thousand years or more. Three specimens dated so far, at 2692 ± 36, 3000 ± 300, and 3334 ± 58 B.P. (5730 half life), are within the range of the present tree-ring chronology, but time has not yet permitted their study. Carbon-14 dating of wood of unknown age may be useful in either of two ways: (1) if the Carbon-14 date falls within the range of the existing tree-ring chronology it would simplify the process of correctly identifying the exact time span in which the floater falls, or

Die Datensätze der kalifornischen Borstenkiefernchronologie bildeten über viele Jahre das Rückgrat der ^{14}C -Dendrokalibration, sind aber seit Mitte der 1990er-Jahre nicht mehr in der Kalibrationskurve inkludiert (REIMER et al. 2009, 2013b).⁵²

Die komplette Standardchronologie mit 7104 gefilterten Werten ist in tabellarischer Form publiziert (FERGUSON 1969, Appendix A; FERGUSON 1970, Table 3) und liegt auch als normalisierte Zeitreihe vor (Datei ca506.crn); eine Zeit lang konnte eine Graphik der gefilterten Serie beim Laboratory of Tree-Ring Research käuflich erworben werden (FERGUSON 1969, note). Die dendrochronologischen Rohdaten und Konstruktionsdaten sind allerdings nicht veröffentlicht; auch ist eine hochauflösende Bild-Dokumentation der Proben nicht publiziert bzw. zugänglich hinterlegt (u. a. wegen der z. T. komplexen Wuchsformen und dem Problem vermeintlich fehlender Jahrringe).

5.3.2 Belfast-Chronologie

Die Belfast-Chronologie (irische Eichenchronologie) umfasst 7272 [Dendro-] Jahre. Sie wurde zwischen 1968 und 1984 an der Queens-Universität Belfast (Nordirland) konstruiert. Das Ziel war, eine (lokale) Kalibration für die ^{14}C -Zeitskala zur Verfügung zu stellen (BAILLIE 2009, 361).⁵³ PILCHER et al. (1984) allerdings berichten von einer gemeinsamen Initiative zur finalen Konstruktion einer 7272 [Dendro-] Jahre umfassenden, „ununterbrochenen“ Baumringchronologie, zu welcher hauptsächlich Eichen aus Nordirland, Norddeutschland und Süddeutschland beitrugen, und bezeichnen sie als „europäische Eichenchronologie“ bzw. „Chronologie für Westeuropa“. In diesem Zuge wurde wohl die „irische Chronologie“ abgeschlossen, mit einem Startpunkt 5289 Dendrojahre BC^{54,55}. Mit BROWN et al. (1986) ist die Belfast-Chronologie als fertiggestellter und abgeschlossener, „absoluter irischer Standard“ etabliert worden.⁵⁶

(2) should the date be prior to the existing tree-ring chronology, this material would provide a basis for ultimately extending the tree-ring chronology back in time by cross-dating individual specimens and, by filling in the gaps, tying it into the chronology based on living trees.“ – MCGINNIES & PATRICK (1963, 13) beziehen sich auch auf die Publikation von LIBBY (1963, 279), der mitteilte, dass keine Jahrringdaten von früher als 3600 Jahre vor heute vorlägen.

⁵² Als Grund wird ein durchschnittlicher Versatz von etwa 35 ^{14}C -Jahren zwischen dem Bristlecone-Pine-Datensatz (LINICK et al. 1986) und dem Kalibrationsdatensatz IntCal98 angegeben (REIMER et al. 2002, 658), Bristlecone-Pine-Daten älter. Die Diskrepanzen werden u. a. bei KROMER et al. (1996, 607) und REIMER et al. 2004, 1033) diskutiert. – Siehe auch Fußnote 43.

⁵³ Siehe Fußnote 56.

⁵⁴ „The Irish chronology is continuous and internally replicated back to 5289 BC“ (PILCHER et al. 1984, 152).

⁵⁵ Die 7272 [Dendro-] Jahre beziehen sich auf das Jahr 1984; Rechnung: 5289 (BC) + 1949 (AD) = 7238 (Bezugsjahr 1950) + 34 = 7272 (Bezugsjahr 1984).

⁵⁶ Zum Hergang: „Once the Belfast chronology was complete, work started on archiving the primary data and rebuilding the chronology as a single continuous sequence“ (BROWN et al. 1986, 282). – In der Konklusion heißt es dann (S. 282): „We are confident in presenting this chronology [die Belfast-Chronologie, MK] to the radiocarbon world as a primary standard of high integrity on which to base the radiocarbon calibration.“

Referenz	Dendro-Zeitskala		Länge [Dendrojahre]	Anmerkung
	Start	Ende		
<u>Chronologie-Elemente</u>				
Pilcher et al. (1977)	ca. 6100 BC		ca. 8100	A
Baillie (1979)	ca. 5500 BC		ca. 7500	A
Baillie et al. (1983)	ca. 5300 BC		ca. 7300	A
<u>Absolut-Chronologie</u>				
Smith et al. (1972)	AD 1381	AD 1971	591	
Baillie (1977a)	AD 1379	AD 1970	592	
Baillie (1977b)	AD 1001	AD 1970	972	
Baillie et al. (1983)	13 BC	Gegenwart	ca. 2000	
Pilcher et al. (1984)	5289 BC	AD 1984	7272	B
Brown et al. (1986)	5289 BC	AD 1984	7272	C
Brown & Baillie (2012)	5289 BC	AD 1984	7272	D

Tab. 14 Belfast-Chronologie.

Ausgewählte Marksteine der Konstruktion. Anmerkungen: A: Gesamtlänge in Dendrojahren mit Lücken bis zur Gegenwart; B: als „Europäische Eichenchronologie“ bezeichnet; C: finale Etablierung der „Belfast-Chronologie“; D: „Lücken“-Diskussion, siehe Textteil.

Für die vorchristliche Zeit (BC) erfolgte die dendrochronologische Bearbeitung an Stammscheiben von (subfossilen) nordirischen Mooreichen; sie waren hauptsächlich von der Landwirtschaft geborgen und in Haufen zusammengetragen worden (BAILLIE 2009, 364).

Für die [Dendro-] Sequenz 5289–116 BC sind 658 Bäume einbezogen worden; es werden zwei Schwachstellen mit niedriger Replikationsrate (Belegdichte < 10 Bäume) aufgeführt, bei den Skalenpunkten 2500 und 950 BC (BROWN et al. 1986, 282). Viele Jahre später bestätigen BROWN & BAILLIE (2012) erneut die Existenz von „Lücken“ und „Verarmungen“ in der irischen Eichenchronologie (bzw. Belfast-Langchronologie⁵⁷). Eine Weiterführung der Chronologie über den Skalenpunkt von 5289 BC hinaus hat es bis dato nicht gegeben.

Die dendrochronologischen Rohdaten (über 9000 Datensätze) sind 2010 von der Queens-Universität Belfast auf Anordnung des *Beauftragten für Information* „zwangs“ veröffentlicht worden. Der Maßnahme war ein entsprechender Antrag – nach dem *UK Freedom of Information Act 2000* – vorausgegangen (s. Anhang 1).

5.3.3 Hohenheim-Chronologien

Im Jahrringlaboratorium des Instituts für Botanik an der Universität Hohenheim ist es nach eigener Aussage gelungen, „einen ununterbrochenen Jahrringkalender aufzubauen, der von heute rund 12.500 Jahre bis an das Ende der letzten Eiszeit zurück reicht“; an einer Verlängerung bis 14.400 vor heute werde gearbeitet.⁵⁸

⁵⁷ Belfast Long Chronology, Kurzform BLC7000.

⁵⁸ Webpage des Instituts: https://botanik.uni-hohenheim.de/archaeo-palaeo_dendro_hoh-jahrringkalender (Zugriff 24. Juli 2018).

Die Entwicklung und Konstruktion einer „postglazialen Eichenjahrringchronologie“ begann zu Beginn der 1970er-Jahre⁵⁹, zeitlich nach der Präsentation der kalifornischen Bors-tenkiefernchronologie (s. Abschnitt 5.3.1) (BECKER 1993⁶⁰).



Abb. 13 Hohenheimer Jahrringkalender.

Screenshot (Ausschnitt) einer Seite des Webauftritts des Instituts für Botanik der Universität Hohenheim. Link siehe Fußnote 58.

Der sogenannte Hohenheimer Jahrringkalender besteht aus einer abgeschlossenen Eichenchronologie (Holocene Oak Chronology, HOC) in Kombination mit einer der Eichenchronologie angeschlossenen Kiefernchronologie (Preboreal Pine Chronology, PPC). Ausgewählte Marksteine der Konstruktion der Baumringchronologien listet Tab. 15.

Die Hohenheim-Eichenchronologie⁶¹ ist von BECKER (bis 1993)⁶² konstruiert und etabliert und von SPURK et al. (1998) bzw. FRIEDRICH et al. (2004) abgeschlossen worden. Demnach beginnt die Eichenchronologie 8480 BC und umfasst bis AD 2002 10.482 [Dendro-] Jahre (Tab. 15). Der Master ist aus regionalen Eichenchronologien von Süd- und Ostdeutschland sowie ausgewählten Daten historischer Gebäude, archäologischen Holzes und lebender Bäume zusammengesetzt (FRIEDRICH et al. 2004) (Abb. 14). Das Baummaterial stammt hauptsächlich aus nacheiszeitlichen Flussablagerungen, die subfossile Auwaldeichen bergen (BECKER 1982). Das Durchschnittsalter der 6775 beprobten subfossilen Eichen beträgt 176 Jahre.

⁵⁹ Ein Meilenstein war die Genehmigung von BECKERS DFG-Forschungsantrag „Absolute südmitteleuropäische Eichenjahrringchronologie des Postglazials“ vom 10. 7. 1972 (RUMP 2017, 368). – Über den Stand der Dendrochronologie von Mitteleuropa berichtete HUBER (1970, 233) zum 12. Nobel-Symposium (1969) mit dem Symposium-Titel *Radiocarbon Variations and Absolute Chronology*: Für den Zeitraum nach der Geburt Christi sei die Dendrochronologie durch Balken bekannten historischen Alters gut abgesichert, für den Zeitraum vor der Geburt Christi lägen allerdings nur Fragmente vor.

⁶⁰ „I have described elsewhere the history of dendrochronology with respect to radiocarbon age calibration (Becker 1992). Following the completion of the US bristlecone pine series (Ferguson 1969), research was begun in Ireland and Germany to construct super-long chronologies. After two decades of intensive field collection and laboratory analyses, three European Holocene oak series have been established: (...)“ (BECKER 1993, 201-202).

⁶¹ Weitere Bezeichnungen: süddeutsche oder südmitteleuropäische Eichenchronologie; German oak (dendro)chronology, deutsche Eichen(dendro)chronologie.

⁶² Bernd BECKER verstarb 1994 (KROMER 1994).

Referenz	Dendro-Zeitskala		Länge [Dendrojahre]		Anmerkung	
	Start	Ende	HOC/ PPC	HOC + PPC		
<u>Hohenheim-Eichenchronologie, Holocene Oak Chronology (HOC)</u>						
Becker (1981)	2319 BP	370 BC	Gegenwart	2319	A	
Becker (?1981)	2495 BP	546 BC	Gegenwart	2595	B	
Becker & Schmidt (1982)	3411 BP	1462 BC	Gegenwart	3411	C	
Becker (1982)	4634 BP	2685 BC	Gegenwart	4634	neues Material	
Becker (1983)	4753 BP	2804 BC	Gegenwart	4753	neues Material	
Pilcher et al. (1984)	6038 BP	4089 BC	Gegenwart	6038	Becker et al. (1985)	
Becker & Kromer (1986)	6038 BP	4089 BC	AD 1985	6074		
Becker & Schmidt (1990)	9186 BP	7237 BC	Gegenwart	9224	D	
Becker et al. (1991)	9887 BP	7938 BC	Gegenwart	9928		
Becker (1993)	9970 BP	8021 BC	Gegenwart	9970		
Spurk et al. (1998)	10429 BP	8480 BC	Gegenwart	10482	Teilrevision	
Friedrich et al. (2004)	10429 BP	8480 BC	AD 2002	10482	Etablierung HOC	
<u>Hohenheim-Kiefernchronologie, Preboreal Pine Chronology (PPC)</u>						
Becker (1993)	>11370 BP	9494 BC	7727 BC	1768	>11000	E
Spurk et al. (1998)	11871 BP	9922 BC	7951 BC	1972	11871	F
Friedrich et al. (1999)	11919 BP	9970 BC	7951 BC	1972	11919	G
Friedrich et al. (2004)	11941 BP	9992 BC	7951 BC	1972	11941	H
Friedrich et al. (2004)	12410 BP	10461 BC	7942 BC	2516	12460	I
Schaub et al. (2008b)	12593 BP	10644 BC	7942 BC		12593	J
Hogg et al. (2016)	12325 BP	10376 BC	7942 BC	2435	12325	K
Reinig et al. (2018)	12325 BP	10376 BC	7942 BC	2435	12325	L

Tab. 15 Hohenheim-Chronologien.

Ausgewählte Marksteine der Konstruktion. Die (Gesamt-) Länge bis zur Gegenwart bezieht sich auf das Bezugsjahr 0 BP (= 1950) oder ein aktuelles Jahr nach 1950; bei HOC handelt es sich um den von der Gegenwart zurückreichenden, als lückenlos ausgewiesenen Anteil. Anmerkungen: A: Dendro-Link zur 1000-jährigen Jahrringchronologie (HUBER & GIERTZ-SIEBENLIST 1969); B: nach BECKER & SCHMIDT (1982), Referenz/Quelle unklar; C: Dendro-Link mit „norddeutscher Absolutchronologie“ (Köln); D: Dendro-Link mit Schleswig-Holstein-Serie (Köln); E: ¹⁴C-Oszillationen-Link („Wiggle-Matching“) zu HOC, vorläufig; F: neue PPC, Link der 2 PPC-Teile vorläufig; Link zu HOC revidiert, aber vorläufig; G: Dendro-Link PPC/HOC; H: Dendro-Link PPC-Teile; I: neue PPC; Zürich-Link vorläufig; J: Dendro-Link Zürich/YD_B; K: Dendro-Link Zürich/YD_B „unzuverlässig“; L: „zuverlässiger Teil“, ohne Zürich-Link.

Die Hohenheim-Kiefernchronologie geht ebenfalls auf BECKER (bis 1993) zurück.⁶³ Sie ist von SPURK et al. (1998) und FRIEDRICH et al. (2004) fortgeführt und von FRIEDRICH et al. (1999, 2004) mit dem älteren Ende der Hohenheim-Eichenchronologie dendrochronologisch verknüpft worden. Das Baummaterial stammt hauptsächlich aus nacheiszeitlichen Flussablagerungen von Donau und Rhein, aus Ostdeutschland und der Schweiz. Stand 2004 umfasst die Chronologie auf Grundlage von 515 synchronisierten Kiefern 2520 [Dendro-] Jahre und endet bei Skalenpunkt 7942 BC. Die vorläufige Verknüpfung mit der „Zürich“-Serie am älteren

⁶³ „When the first ¹⁴C dates of H. E. Suess (unpublished data) attributed a surprisingly old age to these pine trees, I started collecting both pines and oaks. This project led to the construction of an unbroken 1768-yr floating late Younger Dryas and early Holocene pine chronology, as well as a 405-yr Allerod pine series“ (BECKER 1993, 210).

Ende der PPC ist nach einer erneuten Analyse „nicht zuverlässig“ (HOGG et al. 2016)⁶⁴; demnach beginnt die PPC gegenwärtig bei Skalenpunkt 12.325 BP (Tab. 15).

Die dendrochronologischen Rohdaten und Konstruktionsdaten der Hohenheim-Chronologien sind nicht veröffentlicht.

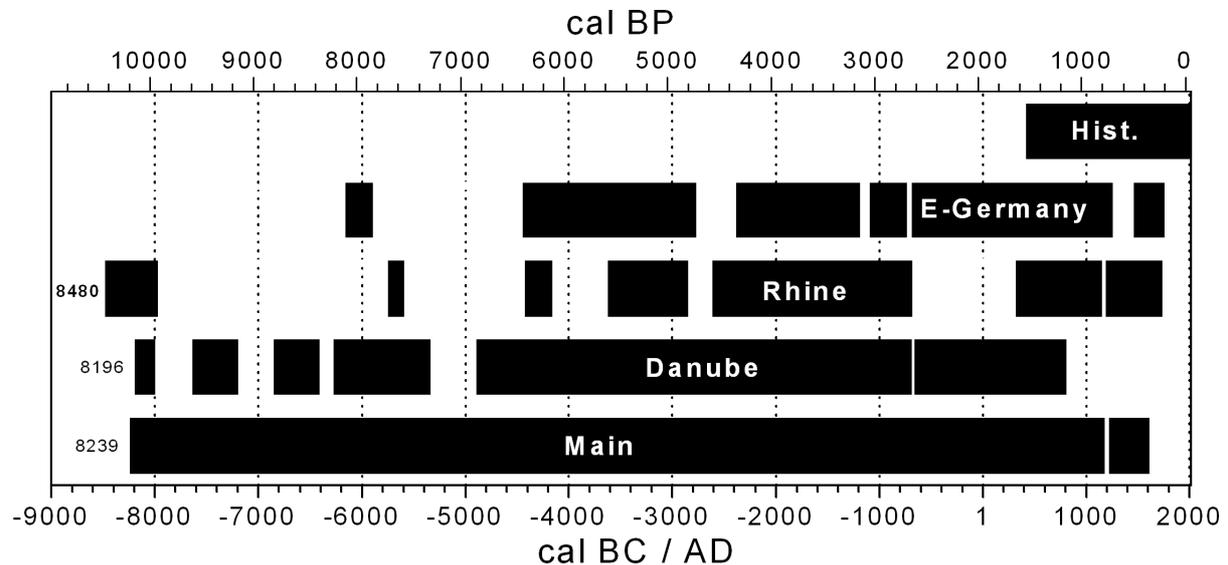


Abb. 14 Holozäne Eichenchronologie des Hohenheim-Laboratoriums.

Nach FRIEDRICH et al. (2004) reicht diese zusammengesetzte, mitteleuropäische Chronologie von Skalenpunkt 10.430 BP (8480 BC) bis zur Gegenwart (Stand Publikation bis AD 2002). Die schwarzen Blöcke repräsentieren „replizierte, regionale Chronologien, die zueinander dendrochronologisch verknüpft wurden“. Die Main-Chronologie besteht aus einer „ununterbrochenen Aufzeichnung von 8239 BC bis AD 1100“. Legende: Danube, Donau; Rhine, Rhein; E-Germany, Ostdeutschland; Hist., historisch; cal., dendrokalierte ¹⁴C-Jahre (hier implizit: Kalenderjahre). Abbildung aus FRIEDRICH et al. (2004), Wiedergabe ihrer Fig. 4, in *Radiocarbon*. Mit freundlicher Genehmigung von *Cambridge University Press* („single figure“ policy, Zugriff 12. Mai 2018).

5.3.4 Schwimmende spätglaziale Kiefernchronologie

Die Konstruktion spätglazialer⁶⁵ Jahrringchronologien wird hauptsächlich von den Jahrringlaboratorien in Hohenheim (Deutschland) und Birmensdorf (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL⁶⁶, Schweiz) – teilweise in Kooperation – betrieben.

KAISER et al. (2012) unterscheiden eine neu konstruierte schwimmende „schweizerische spätglaziale Standardchronologie“ (Swiss Lateglacial Master Chronology, SWILM) sowie eine schwimmende „mitteleuropäische spätglaziale Standardchronologie“ (Central European Lateglacial Master Chronology, CELM). SWILM basiert auf 146 synchronisierten Kiefern und hat eine Länge von 1606 Dendrojahren. CELM umfasst neben SWILM zusätzlich zwei deut-

⁶⁴ „Dendrochronological reanalysis of the ‘Zurich’ to Cottbus connection has since confirmed the unreliability of this linkage (as reported by Friedrich et al. at the 2015 Zurich IntCal-Dendro workshop)“ (HOGG et al. 2016, 3).

⁶⁵ Bezieht sich auf die oberpleistozänen Abschnitte Bölling bis jüngere Dryas, siehe Tab. 1.

⁶⁶ Nach eigenen Aussagen betreibt WSL das zweitgrößte Jahrringlabor der Welt und das größte Europas; siehe: <https://www.wsl.ch/de/wald/jahrringe-und-baumwachstum.html>.

sche Chronologien (LG2/LG3), wobei LG2 mit der deutschen Chronologie Warendorf und diese wiederum mit der deutschen Chronologie Reichwalde synchronisiert ist (REINIG et al. 2018). Die aufgeführten deutschen Chronologien bilden wohl die Basis für die „deutsche spätglaziale Chronologie“. Die ermittelten Alter reichen von 12.537 bis 10.612 konventionelle ^{14}C -Jahre BP; die zeitliche Lücke zur Hohenheim-Kiefernchronologie (PPC) – Stand 2004 – soll etwa 200 ^{14}C -Jahre betragen (FRIEDRICH et al. 2004, 1120). Die beiden schwimmenden Chronologien (schweizerische/deutsche) konstituieren im Wesentlichen die schwimmende, sogenannte spätglaziale Kiefernchronologie (LGP, Late Glacial pine chronology) im Sinne von REIMER et al. (2013a).

Diese schwimmende spätglaziale Kiefernchronologie (LGP) ist über ^{14}C -Wiggle-Matching zur Hohenheim-Kiefernchronologie (PPC) zeitlich „quasi-exakt“ positioniert worden (s. Abschnitt 5.7.3).⁶⁷ Die zugewiesenen Alter reichen von 14.153,5 bis 12.585,5 kalibrierte ^{14}C -Jahre BP (bezogen auf 12537 bis 10612 konventionelle ^{14}C -Jahre BP). Mit dieser Maßnahme ist die Baumring-Rohdatenbasis für die atmosphärische Kalibrationskurve von Skalenwert 12.550 cal BP (REIMER et al. 2009) auf 13.900 cal BP (REIMER et al. 20013a) ausgeweitet worden (Anhang 2). Eine dendrochronologische Verknüpfung der spätglazialen Kiefernchronologie (LGP) mit der Hohenheim-Kiefernchronologie (PPC) ist bislang nicht gelungen (s. REINIG et al. 2018).

Die dendrochronologischen Rohdaten und Konstruktionsdaten der spätglazialen Kiefernchronologie (LGP) sind – mit Ausnahme von wenigen Einzelementen – nicht veröffentlicht.

5.4 Methodik der Konstruktion langer Baumringchronologien

5.4.1 Material, Alter und Stratigraphie

Im Vergleich zu den hier präsentierten verkohlten Baumstämmen (s. Kap. 3), die in einem markanten oberpleistozänen Leithorizont vorkommen (Laacher-See-Tephra), kann das Probenmaterial, welches für die Konstruktion der langen Baumchronologien verwendet wird, stratigraphisch nicht eingeordnet werden. Das Material stammt unmittelbar von der Oberfläche (kalifornische Borstenkiefern⁶⁸), aus Flussablagerungen (süd- und ostdeutsche Eichen⁶⁹) oder von zusammengetragenen Haufen (irische Mooreichen⁷⁰).

Die Baumstämme bzw. Baumstammreste am jeweiligen Fundpunkt geben keinen Hinweis auf ihr Alter oder – bei mehreren Individuen – ihr relatives Alter zueinander. Das gilt für alle Fundsituationen. BAILLIE (2009) schreibt: „Das größte Problem, bei dem Versuch Chronologien mit Mooreichen aufzubauen, ist, dass die Eichen selbst keine Anhaltspunkte zu ihrem

⁶⁷ „Two independent floating chronologies (Swiss and German) from the late glacial, which have been cross-matched to each other (Hua et al. 2009; Kaiser et al. 2012), have been anchored by a ^{14}C wiggle-match to these absolute chronologies (Friedrich et al. 2004; Kromer et al. 2004; Schaub et al. 2008) and are included in the IntCal13 calibration curve (Reimer et al. 2013, this issue)“ (REIMER et al. 2013b, 1934).

⁶⁸ Siehe z. B. Abbildungen in SCHULMAN (1958).

⁶⁹ Siehe z. B. die Fotos Nr. 1–9 in BECKER (1982).

⁷⁰ Siehe z. B. Fig. 2 in BAILLIE (2009).

relativen Alter aufweisen; eine Mooreiche sieht wie jede andere Eiche aus. (...) Es gab Tausende von Mooreichen holozänen Alters, aber sie waren nicht geschichtet und es gab nichts, das entweder ihr absolutes oder zumindest ihr relatives Alter anzeigte.“⁷¹ Ähnlich ist eine Feststellung von LIBBY (in FERGUSON 1970) zu dem Borstenkiefernmaterial der White Mountains: „Es ist ein schwieriges Problem, weil wir, wenn wir ein Stück Holz bloß betrachten, nicht fähig sind zu sagen, ob es sehr alt ist oder nicht.“⁷² Und BECKER (1982, 25) zufolge liefert der Zustand (Erhaltung, Verfärbung etc.) eines aus dem Grundwasser ausgebaggerten subfossilen Baumstammfundes keinen sicheren Anhaltspunkt für die Dauer seiner Lagerung im Sediment.

5.4.2 Kreuzdatierung, Synchronisation und Replikation

SPEER (2010) zufolge ist Dendrochronologie eine Wissenschaft;⁷³ ihr wesentlicher Grundsatz (Theorem) sei das „Prinzip der Kreuzdatierung“.⁷⁴ Für BAILLIE (1995, 28) ist Kreuzdatierung „die Kunst der Dendrochronologie“.

In der Praxis ist Kreuzdatierung („cross-dating“) der interpretative Vollzug einer zeitlichen Synchronisation oder Korrelation von zwei Jahringabfolgen oder Jahringbreiten-Mittelwertreihen bzw. einer Kombination von beiden auf Grundlage ihrer Muster von breiten und schmalen Jahrringen. Die Interpretation erfolgt visuell und/oder mit statistischen Methoden (s. Abschnitt 5.4.3). Die Datierung wird als „absolut“ betrachtet, wenn die zu datierende Jahringabfolge zu einer in der Gegenwart beginnenden Standardchronologie („Absolutchronologie“) kreuzdatiert ist; sie wird als relativ betrachtet, wenn die zu datierende Jahringabfolge zu einer schwimmenden Chronologie kreuzdatiert ist. Kreuzvergleich („cross-matching“) dagegen ist der zugrunde liegende Vorgang. Im deutschsprachigen Raum werden

⁷¹ „The biggest problem in trying to build chronologies using bog oaks is that the oaks themselves offer no clues as to relative age; one bog oak looks very like any other, and appearance is no guide to age. This problem was made even more difficult by the fact that the timbers were normally not found in situ in the bogs; rather, they were almost always found in heaps after they had been dragged out by heavy machinery (see Figure 2). So the problem initially appeared as follows. There were thousands of bog oaks of Holocene age, but they were unstratified and there was nothing to indicate either absolute age or indeed relative age“ (BAILLIE 2009, 364).

⁷² LIBBY in einer Diskussion im Anschluss an FERGUSONS Vortrag über die Etablierung seiner 7484 [Dendro-] Jahre umfassenden Borstenkiefernchronologie in den kalifornischen White Mountains (FERGUSON 1970, 245): „We are making a concerted effort, working with the U. S. Forest Service, the Park Service and the Bureau of Land Management, to protect these ancient forests and particularly the pieces of ancient wood lying on the ground, which, as Professor Ferguson has indicated, are in many respects more valuable than the living trees. It is a difficult problem, because we are unable to tell by just looking at a piece of wood whether it is very ancient or not. Our first thought and plan were to pick up all of this dead wood and put it in a warehouse. (...) Professor Ferguson tells a story about finding the oldest piece ever found right the trail. I guess that that is about the state of the art at the moment – largely a matter of luck – but thousands of tons of ancient wood are lying there and we badly need to go through these areas and somehow segregate and protect them. Such a program may be fairly practical. We are thinking about taking samples from these ancient pieces of dead wood and determining radiocarbon dates for all of them. (...)“.

⁷³ „The science of dendrochronology has a few basic principles and concepts (...)“ (SPEER 2010, 3).

⁷⁴ „The principle of crossdating is the basic tenet of dendrochronology“ (SPEER 2010, 11); zuvor (Seite 2) mit Verweis auf A. E. DOUGLASS als Begründer des „crossdating“ (DOUGLASS 1909, 1917, 1920, 1921, 1929, 1941).

für Kreuzdatierung auch die Begriffe Überlappungsverfahren (SCHWEINGRUBER 1983) oder Überbrückungsverfahren (ECKSTEIN & WROBEL 2005) verwendet.

Replikation beschreibt ein System von Synchronisationen.⁷⁵ BAILLIE (1995, 28) zufolge geschieht Replikation auf drei Ebenen: 1) Eine primäre Replikation liegt vor, wenn individuelle Jahrringmuster einer Lokalität übereinstimmen; diese Jahrringabfolgen bilden gegebenenfalls eine lokale Chronologie. 2) Eine sekundäre Replikation liegt vor, wenn unabhängige Lokalchronologien übereinstimmen; tendenziell sind diese Chronologien länger und – wegen ihrer primären Replikation – robuster als individuelle Jahrringmuster.⁷⁶ 3) Eine tertiäre bzw. externe Replikation liegt vor – der „ultimative Test“ –, wenn Chronologien⁷⁷ unabhängiger Bearbeiter übereinstimmen (mit Verweis auf die europäischen Eichenchronologien⁷⁸). Damit hat BAILLIE (1995)⁷⁹ – wissenschaftstheoretisch – sowohl das System-Design als auch das Test-Design für lange Chronologien festgeschrieben. Die externe Replikation ist die „ultimative Probe des gesamten Chronologie-Systems.“⁸⁰ Für die Anzahl der Proben, die auf der Grundlage der Kreuzdatierung das gleiche (Dendro-) Zeitintervall einer Chronologie (primäre Replikation) belegen, sind im deutschsprachigen Raum die Begriffe Beleg- oder Belegungsdichte verbreitet.

Der statistische Vergleich von Jahrringfolgen soll hierarchisch dem visuellen Vergleich untergeordnet sein. Als statistisches Ergebnis können mehrere mögliche Deckungslagen mit gleichen Ähnlichkeitswerten vorkommen. So stellen ECKSTEIN & WROBEL (2005, 158) heraus: „Die letzte Entscheidung trifft der Dendrochronologe aufgrund seiner Erfahrung im Beurteilen von Ähnlichkeiten von Jahrringmustern. Diese Erfahrung ist schwer oder gar nicht messbar. Hierdurch bekommt die Dendrochronologie ohne Zweifel eine subjektive Komponente, im Ausnahmefall ist auch eine Fehlentscheidung nicht auszuschließen.“⁸¹

Diese Feststellung bzw. Klarstellung, dass die „ultimative Entscheidung“ auf einen visuellen Vergleich des Dendrochronologen beruht⁸², ist von der Radiokarbon-Gemeinschaft erst-

⁷⁵ „The secret is, that the dendrochronologist has relevant experience and a repertoire of multi-match back-up, in the form of replication“ (BAILLIE 1995, 21).

⁷⁶ Primäre und sekundäre Replikation werden auch als interne Replikation zusammengefasst.

⁷⁷ Lokal- oder Regionalchronologien.

⁷⁸ Kapitel 2 in BAILLIE (1995).

⁷⁹ BAILLIE hat bereits in älteren Arbeiten das „Prinzip der Replikation“ beschrieben (z. B. BAILLIE 1983). Nach SPEER (2010, 23) ist das „Prinzip der Replikation“ – nach BAILLIE (1995) aber nur primäre Replikation – z. B. bereits von TWINNING (1833) und BABBAGE (1838) erkannt worden.

⁸⁰ (BAILLIE 1995, 27) schreibt weiter: „Replication is the factor which allows dendrochronologists to have confidence in their procedures. A dendrochronologist can not only claim that a chronology is precisely correct on the basis of in-house primary and secondary replication, but can demonstrate independent verification using tertiary replication.“

⁸¹ So auch z. B. BAILLIE (1982, 85): „Of course just because a match has a value of $t > 3.5$ does not mean that it has to be correct. The final decision must always rest with the dendrochronologist – the computer is only a back-up. To restate this last and important point: because a significant t value is quoted does not mean that the match is definitely correct – that rests in the hands of the dendrochronologist and the ultimate decision on correctness is his decision. However, a dendrochronologist’s suggested match, if not backed up by a significant computer correlation, may well be suspect!“

⁸² ECKSTEIN & WROBEL (2005, 158) schreiben in diesen Zusammenhang von einer „unabdingbaren Ja/Nein-Entscheidung“.

mals in REIMER et al. (2013b) aufgenommen worden⁸³ (siehe Abschnitt 5.2.4, „Anforderungen III“). Dass in diesem Zusammenhang der Begriff „visuell akzeptabel“ nicht weiter erklärt bzw. definiert wird, wird nunmehr verständlich. Es ist „ohne Zweifel eine subjektive Komponente“, die „schwer oder gar nicht messbar ist“ (s. o.); ein visuelles „Gütemaß“ existiert demnach nicht.

Es wird schließlich dargelegt – z. B. beim Hohenheimer Jahrringkalender⁸⁴ –, dass die Konstruktion einer Langchronologie ausschließlich mit der Methode der Kreuzdatierung (bzw. dem dendrochronologischen Überbrückungsverfahren) möglich ist⁸⁵: In der Gegenwart beginnend und sukzessive in die Vergangenheit zurück erweiternd – entweder durch Anknüpfung einer einzelnen Jahrringabfolge oder durch Anknüpfung einer schwimmenden Chronologie. Die Praxis allerdings weicht von einer ausschließlichen Anwendung der „Theorie des Muster-Vergleichs“⁸⁶ gravierend ab (s. Abschnitte 5.4.4 bis 5.4.6).

5.4.3 Statistische Methoden

Zum Vergleich von Jahrringbreiten-Reihen (der „Muster“) werden hauptsächlich nachfolgende Ähnlichkeitsmaße verwendet:

- (Kreuz-) Korrelationskoeffizient r (Werte zwischen -1 und 0 bzw. 0 und 1);
- ein vom (Kreuz-) Korrelationskoeffizienten abgeleiteter Wert t (s. u. Gleichung 4), insbesondere entwickelt für kürzere Reihen (Werte ≥ 0);
- Gleichläufigkeitswert GLK (Werte zwischen 0 und 100 %).

Für die Berechnung von r - und t -Werten werden die Reihen zuvor normalisiert (weitere Begriffe: standardisiert, indiziert), d. h. sie werden trend- und mittelwertbereinigt (bzw. allgemein: gefiltert). Demnach ist zwischen ungefilterten (rohen) und gefilterten (transformierten) Reihen zu unterscheiden. Bei der Filterung wird mitunter – spektralanalytisch gesehen –

⁸³ „As statistics may provide more than one probable match, the ultimate decision of a cross-match is based on the visual comparison of the series, which relies on the experience of the dendrochronologist“ (REIMER et al. 2013b, 1934).

⁸⁴ „So entsteht ein Jahrringkalender. Man beginnt mit der Untersuchung heute gefällter, möglichst alter Bäume. Balken aus Fachwerkhäusern z.B. sind noch älter und liefern mit ihren Jahrringkurven Wachstumsmuster, deren äußerer Bereich mit den inneren Jahrringen der heute gefällten Bäume übereinstimmt. Die inneren (älteren) Jahrringe dieser Fachwerkbalken passen zu Hölzern aus historischen Bauten oder archäologischen Fundstellen. Die auf diese Weise zusammengefügt Standardjahrringkurven (Chronologien) können mit noch älteren Bäumen aus Kiesgruben oder Mooren – immer weiter in die Vergangenheit zurück – verlängert werden. So kann – mit dem dendrochronologischen Überbrückungsverfahren – aus vielen Bäumen schließlich eine mehrtausendjährige Jahrringchronologie aufgebaut werden, deren Verlauf durch den Wechsel von breiten und engen Jahrringen unverwechselbar ist.“

(https://botanik.uni-hohenheim.de/archaeo-palaeo_dendro_hoh-jahrringkalender; Zugriff 2019).

⁸⁵ SCHWEINGRUBER (1983, 40) zufolge ist es „das erklärte Ziel der dendrochronologischen Forschung, Chronologien über Jahrhunderte und Jahrtausende aufzubauen“. Dies sei technisch mit „Crossdating“ möglich.

⁸⁶ Begriff in Anlehnung an STOKES & SMILEY (1968, 49).

eine Erhaltung bzw. Verstärkung der kurzfristigen Jahrringbreiten-Variation der Größenordnung von 1-2 Jahren bewirkt.⁸⁷

Zur Analyse des massenhaften Materials, das für die Konstruktion von langen Chronologien gesammelt wurde, insbesondere zum Auffinden möglicher Synchronlagen, ist die Verwendung von Ähnlichkeitswerten und deren automatisierte Berechnung unentbehrlich. So heißt es in BAILLIE (1995, 21): „Korrelationsprogramme sind also überaus zweckdienlich, und das ist insbesondere der Fall für einige der Referenz-Chronologien mit Längen von Tausenden von Jahren. In solchen Fällen wäre es nicht praktikabel mit dem Auge [also visuell, MK] nach Synchronlagen zu suchen.“⁸⁸

Bemerkenswert ist, dass die maßgeblichen Jahrringlaboratorien über Jahre hinweg hauptsächlich nur ein einziges Ähnlichkeitsmaß verwendeten, und zwar jeweils ein unterschiedliches: LTTR Arizona, *r*-Wert; Belfast, *t*-Wert; Hohenheim, GLK-Wert (z. B. BECKER 1982, 9).

Bei der Anwendung von Ähnlichkeitsmaßen sind der Schwellenwert, die Bewertung der Ähnlichkeit sowie die Länge der korrelierten Reihen von Bedeutung (vgl. Abschnitt 5.2.4, Anforderungen III).

Zur Anwendung und Bewertung und des *t*-Wertes liegen zahlreiche Arbeiten und Aussagen vor. BAILLIE (1982) zufolge liegen die *t*-Werte für den Untergrund („background“) in der Praxis zwischen 0,0 und 3,5, positive Synchronisationen („wahre Matches“) dagegen würden in der Regel *t*-Werte von > 3,5 produzieren.⁸⁹ BAILLIE et al. (1983) wollen nur *t*-Werte mit einer „beträchtlichen Überschreitung“ eines Schwellenwertes von *t*=3,0 akzeptiert haben.⁹⁰ PILCHER et al. (1984) bewerten den „*t*-Test“, den sie in ihrer Publikation angewendet haben, eher als einen ziemlich groben Routine-Test als einen strengen statistischen Test.⁹¹ Irreführend ist die Aussage von SCHWEINGRUBER (1983, 94) zur Berechnung des *t*-Wertes und seiner Aussagekraft („Eindeutigkeit“): „Mit diesem ‚*t*-Test‘ wird nun geprüft, ob zwei Kurven mitei-

⁸⁷ Siehe z. B. FERGUSON & GRAYBILL (1981, 11). U. a. zu „D = the tree ring disturbance signal“: „(...) it is necessary to recognize and remove or control the B, D and E signals (...) Failure to do so would obscure (...) short term variation of 1-2 years that is important for crossdating purposes.“

⁸⁸ Im Original (BAILLIE 1995, 21): „So, correlation programs are extremely useful and this is particularly the case with some of the reference chronologies which are thousands of years in length. In such cases it would not be practical to search for matching positions by eye.“ Und weiter: „High-correlation positions are checked visually and, where appropriate, backed up by replicative matches.“

⁸⁹ „In practice the background *t* values fall between *t* = 0.0 and *t* = 3.5, and correlations of ring patterns which grew over the same time span of years normally produce *t* values greater than *t* = 3.5. (...) A genuine match will normally yield at least *t* = 3.5“ (BAILLIE 1982, 84). So auch in BAILLIE (1991, 16).

⁹⁰ „All cross-dating between ring patterns has been visual and statistical. The Belfast CROS program (Baillie and Pilcher, 1973) was used as standard, and only matches that were visually acceptable and produced 't' values well in excess of 3.0 were accepted. More important from the point of view of overall chronology integrity is insistence on replication“ (BAILLIE et al. 1983, 172).

⁹¹ „The *t*-test applied here is a rather crude routine test widely accepted as a valuable aid in cross-dating rather than a rigorous statistical test [mit Endnote 17 Verweis auf BAILLIE 1982]. In this program, the correlation coefficient is calculated on the logs of high-pass filtered series and *t* calculated from this. The values of *t* cannot be converted to probabilities because allowance is not made for autocorrelation. The significance of the test in the present study is that in all but one of the cases illustrated in Fig. 2 (the exception being Navan-Dorsey and Southwark, the *t*-value quoted is the highest value for all possible positions of overlap of the two series. The *t*-test should be seen as complementing the visual cross-dating“ (PILCHER et al. 1984, 151f).

inander in Beziehung stehen. (...) Der Test ist sehr streng und gibt in der Regel die synchrone Lage zweier Kurven eindeutig an.“ REINIG et al. (2018) z. B. klassifizieren ihre ermittelten t_{BP} -Werte (nach BAILLIE & PILCHER 1973, BP) wie folgt: ≥ 6 , sicherer Dendro-Link; ≥ 4 , guter/deutlicher Dendro-Link; ≥ 2 , schwacher Dendro-Link.⁹²

Bei der Bewertung des t -Wertes wird allerdings eine Beziehung zur Länge der mutmaßlichen Überlappung nicht beachtet; dies ist für Vergleiche längerer Jahrringbreiten-Reihen oder Jahrringbreiten-Mittelwertreihen relevant.

$$t = |r| \left(\frac{(n-2)}{(1-r^2)} \right)^{0,5} \quad (\text{Gleichung 4})$$

So beträgt beispielsweise der t -Wert gemäß Gleichung 4 bei einem Korrelationskoeffizienten von $r=0,2$ und einer mutmaßlichen Überlappung von $n=1000$ bereits $t=6,4$ (Abb. 15). Das wäre REINIG et al. (2018) zufolge eine statistisch sichere Kreuzdatierung, obwohl der r -Wert sehr niedrig ist.

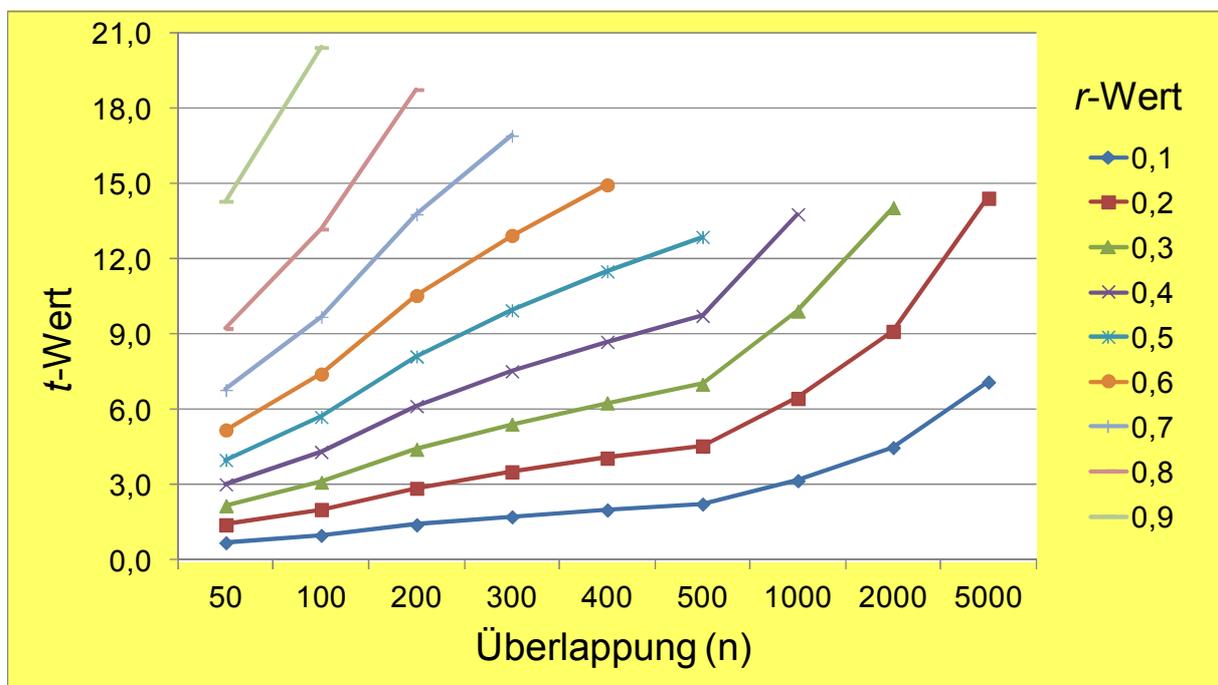


Abb. 15 Ähnlichkeitsmaß t .

Entwicklung der t -Werte in Abhängigkeit von der Länge der Überlappung n und dem Wert des (Kreuz-) Korrelationskoeffizienten r .

Zum GLK-Wert liegt ebenfalls eine Bewertung von PILCHER et al. (1984) vor; er soll ein leistungsfähiges Ähnlichkeitsmaß insbesondere für den Vergleich langer Zeitreihen bieten.⁹³

⁹² Hieraus könnte abgeleitet werden (implizit): < 2 , kein Dendro-Link.

⁹³ „In addition to the t -test, the percentage of parallel variation, GL% (Gleichlaufwert [mit Endnote 22 Verweis auf ECKSTEIN & BAUCH 1969, MK]), provides a powerful test of synchrony when used on long time series. This simple non-parametric test derives the first differences of the two series and then determines what percentage of the total common years of the two series has the same sign. A test of the south German chronology against the Irish chronology over a total of 4,700 yr gave a GL% of 54.0%, significant at the 99.99% level. If the 1,582 signature years in the south German chronology are tested against the same years

Hinsichtlich Ähnlichkeit geben ECKSTEIN & WROBEL (2005, 158) zu bedenken: Einerseits stimmen zwei Jahrringfolgen nie völlig genau überein; diese Tatsache bezeichnen sie als Dilemma. Sie stellen „die Frage, wie eine schwache Ähnlichkeit zwischen zwei tatsächlich zeitgleichen Jahrringmustern von einer hohen Zufallsähnlichkeit getrennt werden kann“. Die Frage sei einfach zu beantworten: „Es ist unmöglich.“⁹⁴ Andererseits ergebe sich mit Hilfe der Statistik immer eine „beste“ Ähnlichkeit. Dies mag wiederum in den teilweise niedrigen Schwellenwerten begründet sein, die die Bearbeiter akzeptieren.

In der Praxis bieten moderne Programme, die dendrochronologische Rohdaten verarbeiten, die Berechnung aller drei Ähnlichkeitsmaße nebeneinander, auch unter Berücksichtigung unterschiedlicher Normalisierungsverfahren (s. Anhang 3). Hierdurch ist eine Gesamtübersicht stets gewahrt.

5.4.4 Jahrringchronologie und Datierungsmethodik

Die von BECKER (1982, 17) im Hohenheim-Laboratorium erstellte „postglaziale Eichen-Jahrringchronologie in Südmitteleuropa“ besteht – Stand 1982 – aus drei Teilen (s. auch seine Abbildung 6):

- 1) kalenderjahrgenau: bis 2685 v. Chr.;
- 2) vier Radiokarbon-kalibrierte Teilchronologien: zwischen 2630 bis 7200 v. Chr.;
- 3) konventionell ¹⁴C-datierte Sequenzen: 8650 bis 8150 ¹⁴C-Jahre v. h.

Diese Aufteilung zeigt die jeweiligen Datierungszustände auf, d. h. mit welcher Methode bzw. mit welchem Methodenmix Datierungen durchgeführt wurden:

- Zu 1) Kombination aus historischer Chronologie, ¹⁴C-Vordatierungen und Synchronisationen deutscher Regionalchronologien (s. Abschnitt 5.6);
- Zu 2) Korrelation mit der Borstenkiefernchronologie⁹⁵ (Radiokarbon-Kalibration, Wiggle-Matching), „korrigierte Absolutalter“ bis 7200 v. Chr. (s. Abschnitt 5.7.2);
- Zu 3) ¹⁴C-Vordatierungen, aufgrund der (konventionellen) ¹⁴C-Skala außerhalb der Borstenkiefernchronologie.

Demnach erfolgt eine Positionierung von Teilchronologien oder einzelnen Reihen jenseits der Standardchronologie (Skalenabschnitt vor 2685 BC) auf der Dendro-Skala – quasi-jahrgenau oder grob – zunächst durch ¹⁴C-Vordatierungen (Abschnitt 5.4.5) in Kombination mit Wiggle-Matching (Abschnitt 5.4.6) oder durch ¹⁴C-Vordatierungen alleine.

in the Irish sequence, the GL% rises to 56.1%, again significant at the 99.99% level. The Irish sequence and the three north German sequences give GL% values of 57.0, 56.8 and 55.6%, all significant at the 99.99% level” (PILCHER et al. 1984, 152).

⁹⁴ ECKSTEIN & WROBEL (2005, 158) fahren unmittelbar fort: „Dennoch ist die Dendrochronologie eine zuverlässige Datierungsmethode. Warum? Das beim Aufbau von Jahrringchronologien und bei deren Anwendung für Datierungen immer wieder zugrundegelegte Prinzip heißt Replikation (...)“.

⁹⁵ BECKER (1982) bezeichnet die Borstenkiefer als Grannenkiefer.

Darüber hinaus wird hier der maßgebliche Einfluss der Borstenkiefernchronologie auf die Hohenheim-Eichenchronologie deutlich (BECKER 1982, 14); es zeigt, dass die Hohenheim-Eichenchronologie nicht unabhängig entwickelt wurde.

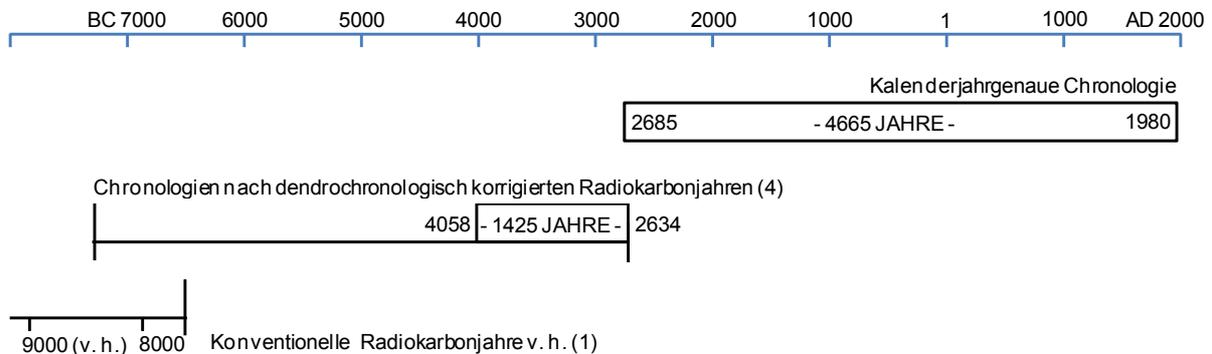


Abb. 16 Datierungsmethoden.

Abschnittsweise Konstruktion der Eichen-Langchronologie des Laboratoriums von Hohenheim, Stand 1982. Nach BECKER (1982), seine Abb. 6, unterer Teil (schematisch umgezeichnet). BECKER beschriftet seine Abb. 6 (S. 17) wie folgt: „Derzeitiger Stand der postglazialen Eichen-Jahrringchronologie in Südmitteleuropa. Die in Hohenheim erstellte Chronologie besteht aus einem kalendergenauen Teil (bis 2685 v. Chr.), vier radiokarbonkalibrierten Teilchronologien (zwischen 2630 bis 7200 v. Chr.), sowie einer noch älteren Sequenz, die nach konventionellen ^{14}C -Altern von 8650 bis 8150 v. h. datiert.“ Anmerkung: Einzelelemente (oberer Teil der Originalabbildung) sind in dieser Abbildung des Verfassers nicht eingetragen.

5.4.5 ^{14}C -Vordatierung

FERGUSON (1970, 244) berichtet für die 7484-[Dendro-]Jahre umfassende Borstenkiefernchronologie – Stand 15. Mai 1969 – von insgesamt 471 ^{14}C -datierten Proben, hauptsächlich in Form von 10-Jahrringseinheiten (zur Kooperation mit dem Radiokarbon-Laboratorium der Universität von Arizona s. Fußnote 51). Zu diesem Zeitpunkt bildeten – über die Reichweite der Sequoia und ägyptischen Materials hinaus – nur Proben der Borstenkiefer die einzige Quelle für die Kalibration der Radiokarbon-Zeitskala.⁹⁶ FERGUSON erwähnt in seinen Arbeiten nicht ausdrücklich, dass er die ^{14}C -Datierungen zur Konstruktion der Chronologie verwendet hat; dies ergibt sich aber aus dem Gesamtzusammenhang⁹⁷ (s. auch Abschnitte 5.3.1 und 5.4.1).

BAILLIE (2009, 364) schreibt von einem „chronologischen Rahmenwerk“, welches durch die ^{14}C -Datierungen der Hölzer zur Verfügung stand. Die „ ^{14}C -Datierungspraxis“ habe gezeigt, dass der Großteil der Hölzer prähistorisch sei; für Irland bedeute dies die Zeit vor Christus (S.

⁹⁶ „Beyond the range of the sequoia and Egyptian material, samples of bristlecone pine constitute the sole source of dated wood for the calibration of the radiocarbon timescale“ FERGUSON (1970, 244).

⁹⁷ Z. B.: „(...) we are cautiously optimistic that the chronology may eventually reach back at least 10,000 years. This thought is buttressed by the presence of a 500-year ‚floating‘ sequence in the range of 9000 years BP (Ferguson, 1968). Current ^{14}C analysis seems to indicate that another remnant, collected in 1981, again with ca 500 rings, may be over 10,000 years old (H N Michael, pers commun, 1982). Continuing tree-ring and ^{14}C studies will further define the temporal relationship of these two specimens“ (FERGUSON & GRAYBILL 1983, 287).

362). Zuvor war BAILLIE (1983, 16) konkreter: „Umfangreiche Radiokarbon-Analysen von Proben dieser 4300 Jahre umfassenden Chronologie [sog. „lange Chronologie“, MK] erlaubten eine zeitliche Platzierung der Chronologie.“⁹⁸ So zuvor auch SMITH et al. (1972): Für Proben unbekanntes Alters waren selektiv Radiokarbon-Bestimmungen durchgeführt worden. Erst mit diesen Ergebnissen sind die vermessenen Jahrringreihen bzw. Jahrringkollektionen entsprechend (¹⁴C-) zeitlich positioniert worden (ihre Fig. 1). Dies betrifft in ihrer Fig. 1 für den ¹⁴C-Skalenbereich 6000 bis ca. 1000 konventionelle ¹⁴C-Jahre BP 41 der 43 dargestellten Jahrringreihen bzw. Jahrringkollektionen⁹⁹. Das heißt im Grunde genommen alle, denn die zwei aufgeführten, nicht datierten Jahrringreihen sind mit einer ¹⁴C-datierten Reihe/Kollektion „gematched“ (dendrochronologisch synchronisiert) worden.¹⁰⁰

Auch basiert die Konstruktion der „Eichenchronologie für das Holozän“ auf ¹⁴C-Vordatierungen. So geben SCHMIDT & SCHWABEDISSEN (1978, 331) an: „Seit einigen Jahren wird in mehreren Laboratorien eine zusammenhängende Eichenchronologie für das Holozän (ca. 8000 v. Chr. bis heute) erarbeitet (Becker u. Frenzel 1977; Becker, Delorme u. Schmidt 1977; Eckstein u. Bauch 1977; Hollstein 1977; Schmidt 1977a). Aufgrund überdurchschnittlicher Häufung von Eichenfunden aus einigen Zeitabschnitten bzw. aufgrund geringen Belegmaterials aus anderen Perioden sind zunächst Teilchronologien entstanden, die mit weiteren noch zu erarbeitenden Chronologien verknüpft werden müssen. Eine Erleichterung dieser Arbeit wird durch C 14-Datierungen erreicht; damit können die Teilchronologien zunächst zeitlich grob eingeordnet werden. Bei Hölzern aus römischen Fundstellen stehen in der Regel zusätzliche archäologische Angaben zur Verfügung.“¹⁰¹ Und SCHMIDT (1981, 361) weiter: „Eine zeitliche Zuordnung dieser schwimmenden Chronologien wird durch C¹⁴-Datierungen vorgenommen. Sie überdecken inzwischen die gesamte Nacheiszeit (Abb. 2).“ Diese Konstruktion der Eichen-Langchronologien mittels ¹⁴C-Vordatierungen wird in Abb. 17 dargestellt.

BECKER (1982) berichtet – Stand 1982 – von 146 ¹⁴C-Analysen, die alleine vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung¹⁰² durchgeführt worden sind (seine Tabelle 1). Er legt dazu dar (S. 11): „Die Datierung jedes einzelnen analysierten Baumstammfundes beruht zunächst auf der erfolgreichen Korrelation des betreffenden Jahrringmusters in eine der gro-

⁹⁸ Siehe Fußnote 107.

⁹⁹ Von den 43 Positionen beziehen sich 35 auf Eichen und 8 auf Kiefern.

¹⁰⁰ „So far, we have been able to collect some 1100 specimens in the field. When these are of unknown age, radiocarbon age determinations are made (G. W. P) on selected timbers“ (SMITH et al. 1972, A92).

¹⁰¹ Hieraus z. B. BECKER & FRENZEL (1977, 43): „Anhand von über 1000 Jahrringmustern subfossiler Eichen aus postglazialen Flußschottern konnten Teilchronologien der letzten 8700 Jahre aufgebaut werden. Die Auwaldeichen-Chronologien zwischen 648 nach Chr. bis 383 vor Chr. sind anhand absolut datierter frühmittelalterlicher und römischer Vergleichskurven jahrgenau eingeordnet. Die Bronzezeit und das jüngste Neolithicum sind über 1307 Jahre lückenlos belegt, weitere Teilstücke folgen nach ¹⁴C-Datierungen bis 8700 v. h.“

¹⁰² Siehe z. B. auch DELORME & LEUSCHNER (1983, 45): „Seit 1972 werden im Jahrringlabor des Instituts für Forstbenutzung der Universität Göttingen subfossile Eichenhölzer aus Aufschlüssen in verschiedenen Flusstälern dendrochronologisch ausgewertet (DELORME 1978). Inzwischen liegen für große Teile der Nacheiszeit Eichenjahrringchronologien vor, die entweder durch ¹⁴C oder durch Synchronisation mit der Absolutchronologie für Eiche datiert sind.“ Und weiter (S. 51): „Wir waren bei unserer Arbeit darauf angewiesen, zunächst regionale Teilkurven für die verschiedenen Flussgebiete aufzubauen, deren ungefähre Zeitstellung durch Radiokarbonaten von GEYH (Hannover) bekannt war.“

ßen postglazialen Eichenstandardchronologien. Nachdem es aber bisher noch nicht gelungen ist, alle Teilchronologien lückenlos zusammenzufügen, beruhen die Ablagerungsdaten der Hölzer aus dem mittleren und älteren Postglazial allein auf Radiokarbonanalysen.“

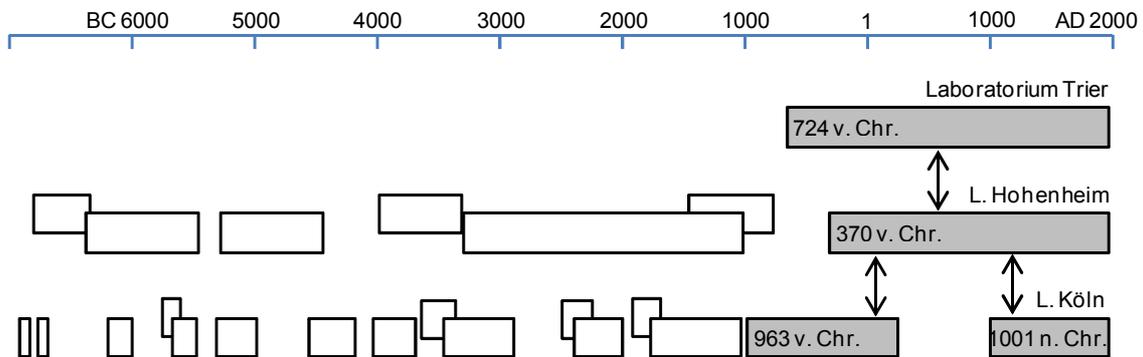


Abb. 17 ¹⁴C-Vordatierung.

Konstruktion der Eichen-Langchronologien der Laboratorien von Hohenheim und Köln mittels ¹⁴C-Vordatierungen, Stand 1981. Nach SCHMIDT (1981), seine Abb. 2 (schematisch umgezeichnet). Legende (nach SCHMIDT 1981): Graue Balken: „Chronologien absolut datiert“; weiße Balken: „schwimmende Chronologien ¹⁴C datiert (konventionell)“; überlappende weiße Balken: „Chronologien zeitlich überlappend“; Pfeil: „Synchronisation“; L: Laboratorium.

KAISER et al. (2012, 87) betonten die Wichtigkeit der ¹⁴C-Datierung spätglazialer Chronologien; die ¹⁴C-„Vordaten“ würden ein enges Fenster für die Suche der Ringbreiten-Synchronisationen definieren.¹⁰³

Fazit. Die Konstruktion der langen Abschnitte der relevanten Baumringchronologien erfolgte ausnahmslos direkt oder indirekt mit ¹⁴C-Vordatierungen von Baumringproben. Mit diesen ¹⁴C-Alter wurden die Proben entlang der ¹⁴C-Zeitskala entsprechend zeitlich positioniert.

5.4.6 „Wiggle-Matching“

Die „auffälligen Windungen der Kalibrationskurve“ (Suess 1970)¹⁰⁴ werden als „wiggles“ oder „wiggles“ bezeichnet; sie werden als reale und weltweit gleichzeitig auftretende Schwankungen der ¹⁴C-Aktivität betrachtet (DE VRIES 1958, SUSS 1986).

¹⁰³ „¹⁴C dating of the Lateglacial chronologies is important for two aspects: (1) in the initial stages of chronology building ¹⁴C pre-dates can define a narrow window to search for ring-width synchronisation; (2) once the chronology is built and verified by dendrochronological techniques tephra-dates and additional ¹⁴C dates become the foundation of a narrowly spaced ¹⁴C data series to be used for ¹⁴C calibration, as soon as the chronology is connected with statistical certainty to the absolutely dated chronology. For pre-dates generally sections of 20-60 outer rings, taken from the pith were submitted. As the positions within the potential chronology are unknown at the time of sampling, the resulting distribution of ¹⁴C dates in the chronology is far from an equal spacing, and the large number of rings renders these dates less suitable for calibration. Therefore in the second step decadal and equally spaced samples were taken from trees securely anchored in the chronology. In total 48 pre-dates and 131 decadal dates of the Swiss chronologies were obtained, as shown in Fig. 6.“ (KAISER et al. 2012, 87).

Nach REIMER et al. (2013b, 1936f) wird – im Rahmen der Radiokarbon-Dendrokalibration – die Methode des Wiggle-Matchings verwendet, um eine schwimmende, relative Chronologie an eine absolute Chronologie zu verankern. Dabei muss für die schwimmende Chronologie eine ^{14}C -Datenreihe vorliegen. Das Matching beschreibt den Vergleich der ^{14}C -Variationen (Wiggles) beider Chronologien und den Vollzug („wiggle-matched“): Die schwimmende, relative Chronologie wird in Teilen in die absolute Chronologie eingepasst. Dies geschieht über einen klassischen „best-fit“-Ansatz (PEARSON 1986) oder eine Bayes-Methode (z. B. BRONK RAMSEY et al. 2001). Diese „Wiggle-Matching“-Verknüpfungen gelten als vorläufig. Dennoch werden – wie das Beispiel der Verankerung der spätglazialen Kiefernchronologie zeigt – die so generierten Rohdatensätze für die Kalibrationskurve verwendet (s. Abschnitt 5.7.3).

Die europäischen Baumringchronologien sind während ihrer Konstruktionsphase durch „Wiggle-Matching“ mit der Borstenkiefernchronologie synchronisiert worden. In einem Rückblick schreiben LEAVITT & BANNISTER (2009; mit Verweis auf LINICK et al. 1985 und DAMON 1987), dass mit der ^{14}C -Datenreihe der Borstenkiefer – also über ^{14}C -Daten- bzw. Wiggle-Matching – zahlreiche schwimmende (undatierte) Segmente der europäischen Chronologien fixiert und datiert worden seien.^{105,106}

So auch BAILLIE (1983, 16): „In der Praxis wurden die Details der Belfast-Kalibrationskurve gegen die bereits existierende amerikanische Borstenkiefer-Kalibrationskurve (Suess 1978) mittels Wiggle-Matching abgeglichen.“¹⁰⁷

Auf diese Weise hat auch BECKER (1979, 92) beispielsweise den Beginn der sog. neolithischen Chronologie, als Teilchronologie der Hohenheim-Chronologie fixiert (Abb. 16, vgl. auch Tab. 15): „Das Absolutalter der Gesamtchronologie ist durch unabhängig voneinander durchgeführte Radiokarbon-Serienmessungen in La Jolla [hier seine Fußnoten 9 und 10, MK] und Groningen [hier seine Fußnote 11, MK] heute sehr genau bekannt. Die ^{14}C -Schwankungen, an jeweils mehr als 60 Einzeljahren ermittelt, zeigen sowohl zwischen La Jolla und Groningen als auch zur Radiokarbonkurve der Pinus-aristata-Chronologie eine signifikante Übereinstimmung. Der Beginn (also der Nullpunkt) der neolithischen Chronologie Hohenheim datiert von 4035 v. Chr. Die statistische Ungenauigkeit beträgt dabei weniger als 50 Jahre.“¹⁰⁸

¹⁰⁴ Bei dem 12. Nobel-Symposium (1969) waren die von SUESS präsentierten Kalibrationskurven (Plate I/II), insbesondere ihre „wiggles“, Gegenstand der Diskussion. Die Kalibrationskurven waren von SUESS (1970, 310) handgezeichnet, mit einem „kosmischen Schwung“, um den Charakter der Kurven besonders herauszustellen: „The line was not drawn by computer – I drew the line by ‚cosmic schwung‘“.

¹⁰⁵ „However, the use of wiggle-matching with the bristlecone ^{14}C record helped link together several floating (undated) segments in the early European chronologies (Linick et al. 1985; Damon 1987)“ (LEAVITT & BANNISTER 2009, 380).

¹⁰⁶ BECKER (1992, 41) schreibt in diesem Zusammenhang von einer internationalen Kooperation: „This may also explain why some of the longstanding gaps of the European Holocene chronology finally have been bridged only after international cooperation.“

¹⁰⁷ Im Kontext: „Extensive radiocarbon analyses on samples from this 4300 year chronology allowed the chronology to be placed in time. In practice the detail in the Belfast calibration curve was wiggle matched with fluctuations in the pre-existing American bristlecone pine calibration curve (Suess, 1978)“ (BAILLIE 1983, 16).

¹⁰⁸ Zu BECKERS Fußnoten: 9, SUESS & BECKER (1977); 10, SUESS (1978); 11, DE JONG & BECKER (1979).

Fazit. Bei der Konstruktion der Kalibrationsdaten-liefernden Eichenchronologien Belfast und Hohenheim sind schwimmende Serien mit ^{14}C -Daten- und Wiggle-Matching auf die kalifornische Borstenkiefernchronologie kalibriert worden.

5.5 Duplikation

Unter Duplikation wird hier der Nachbau einer Baumringchronologie oder einzelner ihrer Teilstücke verstanden, und zwar auf der Grundlage der dendrochronologischen Rohdatenbasis. Neben den Rohdaten bedarf es hierzu aber weiterer Informationen wie z. B. der Konstruktionsdaten (s. Abschnitt 5.9.2).

Es werden zwei Fälle diskutiert. Der erste Fall der Ca535-Datenbasis der Borstenkiefernchronologie zeigt, dass die veröffentlichten Daten bereits verarbeitete Daten sind und keine Rohdatenbasis im eigentlichen Sinne darstellt. Anstelle einer Duplikation tritt lediglich eine vom Verfasser vorgenommene Analyse. Der zweite Fall diskutiert die überbrückte „Lücke“ der Belfast-Chronologie bei Dendro-Skalenpunkt 948 BC. OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2012a,b,c; 2014) haben den Versuch unternommen, diese Situation zu duplizieren; der Verfasser wiederum hat den Versuch unternommen, die Nachstellung von OSSOWSKI LARSSON & LARSSON zu duplizieren.

5.5.1 Kalifornische Borstenkiefernchronologie – Ca535-Datenbasis

Zur kalifornischen Borstenkiefernchronologie (White-Mountains-Standardchronologie bzw. Methuselah-Chronologie) sind von FERGUSON während seiner gesamten Schaffensperiode, die 1986 endete, keine Rohdaten und keine Ähnlichkeitswerte (hier r -Werte) veröffentlicht worden. Struktur und Aufbau der 7104-Dendrojahren umfassenden Chronologie erschließen sich teilweise aus seiner Fig. 1 und seiner Table 2 (FERGUSON 1970).¹⁰⁹ Demnach ist der lange Teil der Chronologie im Wesentlichen aus 5 Jahrringfolgen individueller Bäume zusammengesetzt (Tab. 16, linker Teil; Tab. 40, Pos. 1, 2, 10, 14 und 17), die über zum Teil verhältnismäßig kurze Brückenelemente verknüpft werden (insgesamt weitere 12 Baumindividuen). Die Baumindividuen dieses Grundgerüsts (sozusagen einer Minimal-Chronologie¹¹⁰) stammen aus der Sammlungskampagne von 1963 (Präfix 63-). Die Individuen-Belegungsdichte insge-

¹⁰⁹ FERGUSON reklamiert für die gesamte Chronologie ein Muster breiter und schmaler Jahrringe, das sich nicht wiederholt: „A pattern of wide and narrow rings which is common to all radii and to different specimens forms the basis for cross-dating among specimens. The master chronology for all specimens involved is unique in its year-by-year pattern; nowhere, throughout time, is precisely the same long-term sequence of wide and narrow rings repeated, because year-to-year variations in climate are never exactly the same“ (FERGUSON 1968, 840). Des Weiteren: „In this we found the desired feature for relatively rapid chronology-building in ring series with a large dependable ring width, but only a few very diagnostic ring per century“ (FERGUSON 1970, 240).

¹¹⁰ Als Minimal-Chronologie wird hier eine Chronologie bezeichnet, die aus möglichst wenigen Jahrringabfolgen von unterschiedlichen Baumindividuen zusammengesetzt ist; die Überlappung muss ausreichend sein (≥ 200 Dendrojahren).

samt ist gering; sie variiert zwischen 1 und 7 mit einem Mittel zwischen 3 und 4. Zusätzlich ist eine Radien-Belegungsdichte ausgewiesen, da für ein Baumindividuum häufig mehrere Jahrringprofile (Radien) vermessen und berücksichtigt wurden. Dies erhöht optisch die Belegungsdichte. Die Radien-Belegungsdichte (200-Dendrojahr-Intervalle) variiert für den langen Teil der Chronologie zwischen 1 und 24 mit einem Mittel bei etwa 15. Demzufolge ist jedes Baumindividuum im Mittel etwa 4-fach vertreten. Insgesamt stellen die 17 Baumindividuen im Vergleich zu den rund 1000 studierten Bäumen der White Mountains (FERGUSON 1968¹¹¹) eine geringe Ausbeute dar.

Ferguson (1970), Auswahl diese Arbeit					Ferguson & Graybill (1981)				
Baum- Probe	BC-AD-Skala [Dendrojahr]		Länge [Dendro- jahre]	Überlappung [Dendro- jahre]	Baum- Probe	BC-AD-Skala [Dendrojahr]		Länge [Dendro- jahre]	Überlappung [Dendro- jahre]
	Start	Ende				Start	Ende		
63-68	956 BC	AD 1285	2242		79-86	AD 200	AD 1953	1754	
63-43	2400 BC	AD 850	3251	1807	63-43	2200 BC	AD 975	3176	776
63-89	3860 BC	1351 BC	2510	1050	H-79-26	6100 BC	2000 BC	4101	201
63-34	4795 BC	2899 BC	1897	962	79-138	6600 BC	5900 BC	701	201
63-92-E	5141 BC	4560 BC	582	236					

Tab. 16 Kalifornische Borstenkiefernchronologie, Grundgerüste.

Linker Teil: Minimal-Chronologie aus 5 Elementen. Rechter Teil: Minimal-Chronologie aus 4 Elementen und Probenmaterial für eine Studie von Minze STUIVER. STUIVER wollte zum Studium der C-Isotopenverhältnisse ein Maximum an Kontinuität, also die möglichst längsten Jahrringabfolgen bezogen auf ein Baumindividuum (FERGUSON & GRAYBILL 1981, 5).

Dieser Umstand war auch (und noch) Thema des *Bristlecone Pine Project* in den Jahren 1978 bis 1984. Den Abschlussberichten „Dendrochronology of Bristlecone Pine“ zu den Mittelzuwendungen der *National Science Foundation* ist zu entnehmen (FERGUSON & GRAYBILL 1981, 1985)¹¹², dass es ein Ziel war, die bestehende Chronologie hinsichtlich der Anzahl und

¹¹¹ „In the growth-ring analyses of approximately 1000 trees in the White Mountains, (...)“ (FERGUSON 1968, 840).

¹¹² Die jeweiligen Projektziele waren:

Bericht 1981 (FERGUSON & GRAYBILL 1981, 1): „The primary objectives of the project were:

(1) To extend and strengthen the 8253-year bristlecone pine tree-ring chronology from the White Mountains of California.

(2) To furnish dendrochronologically dated wood to researchers engaged in the study of past variations in carbon isotope ratios and climate.

(3) To develop bristlecone pine chronologies in new areas.

(4) To develop computerized files and appropriate software for storage, retrieval and analysis of most bristlecone pine data.

(5) To evaluate all ring-width series from the Methuselah Walk site for potential inclusion in a master chronology used for dating purposes and for potential inclusion in a chronology used for climatic reconstruction.“

Bericht 1985 (FERGUSON & GRAYBILL 1985, 1): „The primary project goals were:

(1) To extend the bristlecone pine chronology from the White Mountains of California beyond 6700 B.C. and strengthen it by incorporating additional specimens.

(2) To develop bristlecone pine chronologies in new areas for applications in archaeology, isotopic studies, and other earth sciences.

der Qualität der Jahrringbreiten-Serien weiter zu festigen. Dem Bericht von 1981 zufolge umfasst die Datenbasis für die Chronologie – Stand 1980 (?) – 375 Serien (Radien) mit einer durchschnittlichen Belegungsdichte von ungefähr 25 (Maximum: 45). Die Radien-Belegungsdichte im Skalenabschnitt 1290 bis 944 BC ist < 15; dieser Abschnitt soll den Übergang von lebendem zu totem Baummaterial repräsentieren. Durch neues Material der Feldsaison 1981 sollte insbesondere die Belegungsdichte dieses Skalenabschnitts erhöht werden. Für eine neue Masterchronologie – mit dem Probenmaterial von 1981 – sollen etwa 300-325 Serien Verwendung finden. Die finale Mittelwertbildung sollte das „individuelle zufällige Wachstumssignal“ hinreichend minimieren. 1982 ist schließlich, so FERGUSON & GRAYBILL (1985, 4), eine aktualisierte Version der Masterchronologie entwickelt worden.

Ca535-Datenbasis

In der internationalen Jahrringdatenbank (ITRDB) liegt eine Datei mit Methuselaha-„Roh“daten vor (ca535.rwl; Datenbank-ID: noaa-ree-3376), die gemäß der Kennzeichnung der begleitenden Dateien (ca535.crn, Chronologie; ca535.txt¹¹³, Statistik) sehr wahrscheinlich von GRAYBILL 1980 erstellt wurde. Wann die Datenbasis in die Datenbank eingestellt und damit veröffentlicht wurde, ist unklar. Es ist keine von FERGUSON autorisierte Chronologie. Möglicherweise handelt es sich um die von FERGUSON (1979) angesprochene Datenbasis einer „soliden Arbeitschronologie bis 6000 BC“¹¹⁴ oder um die in FERGUSON & GRAYBILL (1985, 12) erwähnte, fertiggestellte Klima-Chronologie bestehend aus 265 Serien.

Zur analysierten Ca535-Datenbasis sind folgende Punkte festzuhalten (weitere Punkte und Details siehe Anhang 3-1):

Die rwl-Datei enthält 285 datierte Jahrringbreiten-Reihen (sog. member), die – entsprechend angeordnet – eine kontinuierliche Methuselaha-Chronologie für den Skalenbereich 6000 BC bis AD 1979 ergeben (Abb. 27). Ein Vergleich der Jahrringbreiten-Mittelwertreihen – aus rwl-Datei erstellt versus crn-Datei – zeigt eine sehr hohe Übereinstimmung: r -Wert von 0,96 (nach Normalisierung bzw. starker Trendbereinigung; Tab. 37). Demzufolge korrespondieren rwl- und crn-Datei. Ein Vergleich der Beziehung der einzelnen Jahrringbreiten-Reihen zu der Jahrringbreiten-Mittelwertreihe – aus rwl-Datei erstellt versus txt-Datei – zeigt eine hohe Übereinstimmung der Ergebnisse: r -Wert (nach Normalisierung bzw. starker Trendbereinigung; $N=285$) von \emptyset 0,77 (txt-Datei) bzw. \emptyset 0,75 (diese Arbeit; Tab. 38). Demzufolge korrespondieren auch rwl- und txt-Datei. Diese hohen r -Werte der Beziehung der einzelnen Jahrringbreiten-Reihen zu der Jahrringbreiten-Mittelwertreihe sind aber kein Maß für die Validität der Chronologie.

(3) To furnish dendrochronologically dated wood to researchers engaged in the study of past variations in carbon isotopes and climate.”

¹¹³ Laut Kennzeichnung von GRISSINO-MAYER geprüft („checked“) 1994 auf Basis der Bearbeiter D. A. GRAYBILL und G. FUNKHOUSER; die Statistik wurde am 28. März 1995 erstellt.

¹¹⁴ „The extensive material data in hand and our currently rapid processing are giving us an increasingly solid working chronology to 6000 B.C. This database will provide the framework not only to date newly collected material but also to date, correct, and extend some of the partially studied wood from earlier collections“ FERGUSON (1979, 213).

Die rwl-Datei liefert nur bedingt Rohdaten. Die verwendeten Baumindividuen (TRL-Nummer des Baumindividuums; nach FERGUSON 1970) und ihre Anzahl wird nicht mitgeteilt; insgesamt fehlt eine Zuordnungstabelle einzelner Jahrringbreiten-Reihen zu Baumindividuen. Einige Fälle sind offensichtlich; so gehören bei den Proben MWK401 bis MWK406, MWK481 bis MWK486 und MWK491 bis MWK496 die jeweiligen 6 Reihen zu einem Baumindividuum (vgl. Tab. 39). Unklar ist auch, inwieweit es sich bei den einzelnen Reihen gegebenenfalls nur um Ausschnitte eines vermessenen Profils handelt, also vorne und/oder hinten abgeschnitten wurde. Darüber hinaus sind die Reihen um vermeintlich fehlende Ringe „korrigiert“; dabei werden sog. 0-Werte als Platzhalter eingefügt. Das betrifft 263 Reihen; die Anzahl der eingefügten 0-Werte reicht von 1 bis 113. In der Kollektion der „lebenden Bäume“ sind die Einfügungen teilweise nachvollziehbar, in der Kollektion der „abgestorbenen Bäume“ nicht mehr (z. B. Vergleich einer Reihe ohne 0-Werte mit einer um 0-Werte eliminierten Reihe). Die Duplikation der Ca535-Chronologie ist also nur in dem vorgegebenen Rahmen bereits aufgearbeiteter Rohdaten und datierter Jahrringbreiten-Reihen möglich.

Die hier erstellte Minimal-Chronologie der Ca535-Datenbasis besteht aus 7 Elementen (Abb. 18). Die Länge der Jahrringabfolgen variiert zwischen 1030 und 2730 Dendrojahren (\emptyset 1958 Dendrojahre); die Länge der Überlappungen (Anzahl: 6) variiert zwischen 377 und 2456 Dendrojahre (\emptyset 914 Dendrojahre). Die Ähnlichkeitswerte der datierten Jahrringabfolgen sind in Tab. 17 aufgeführt. Auffallend sind die geringen r -Werte der Pos. 2-4 von 0,33–0,40 (gefiltert bzw. normalisiert) und 0,08–0,29 (ungefiltert). Diese Synchronisationen decken den „mittleren“ Teil der Dendro-Zeitskala ab, insbesondere auch den ausgewiesenen Übergang von lebenden zu abgestorbenen Hölzern.

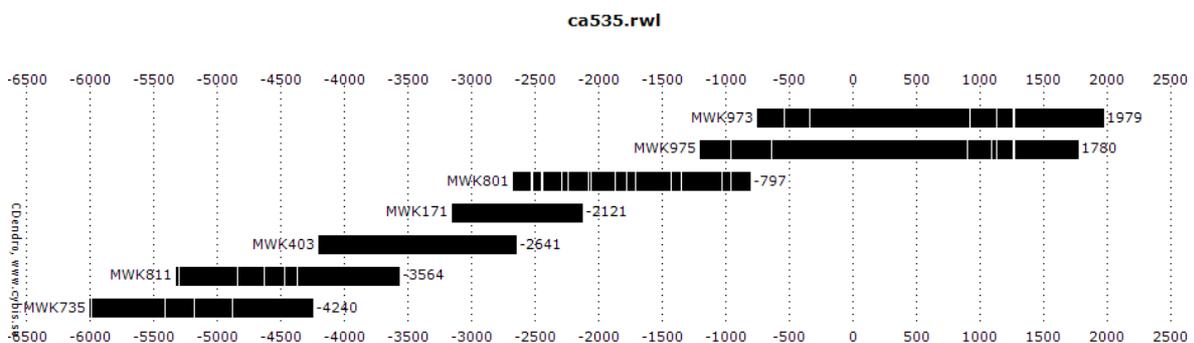


Abb. 18 Minimal-Chronologie der Ca535-Datenbasis, Balkendiagramm.

Skala: Dendrojahr (AD-Format mit Nulljahr), hier Belegung von -6000 bis 1979; links neben Balken: Jahrringabfolge (Probennummer); rechts neben Balken: Dendro-Endjahr; Datei: ca535.rwl. Siehe auch Tab. 17.

Pos.	Probe 2			Probe 1 (Referenz)			Ergebnis					
	Nr. (MWK)	0- Wert (Anz.)	Dendro- Startjahr	Nr. (MWK)	0- Wert (Anz.)	Dendro- Endjahr	r-Wert		t- Wert	GLK- Wert	Über- lap- pung	Ver- satz (offset)
							unge- filtert	ge- filtert				
1	975	61	-1203	973	68	1979	0,35	0,50	29,0	67%	2456	199
2	801	110	-2672	975	61	1780	0,12	0,39	11,1	63%	377	2577
3	171	25	-3150	801	110	-797	0,29	0,40	9,8	65%	506	1324
4	403	11	-4205	171	25	-2121	0,08	0,33	7,7	60%	487	520
5	811	50	-5325	403	11	-2641	0,41	0,57	17,3	68%	618	923
6	735	40	-6000	811	50	-3564	0,49	0,59	23,4	70%	1041	676
7	975	61	-1203	921	0	1978	0,19	0,43	11,1	65%	532	198

Tab. 17 Minimal-Chronologie der Ca535-Datenbasis, Ähnlichkeitswerte.

Ähnlichkeitswerte von zwei Jahrringbreiten-Zeitreihen (Probe 2 versus Probe 1). 0-Wert: eingefügte Platzhalter für vermeintlich fehlende Jahrringe (Anz., Anzahl). Pos. 1-6: bezogen auf die Minimal-Chronologie der Abb. 18. Pos. 7: MWK975 versus einer Reihe ohne 0-Werte (Vergleich zu Pos. 1). Der Versatz (offset) bezieht sich auf die Dendro-Endjahre (jeweils zu Probe 1).

Der ausgewiesene Übergang „lebende zu abgestorbene Hölzer“ wird im Wesentlichen¹¹⁵ durch 8 Jahrringabfolgen belegt (Abb. 19). Er ist um offensichtliche Mehrfachbelegungen (mehrere Radien pro Baum) bereinigt (vgl. Abb. 28); ob es sich schließlich um 8 unterschiedlicher Bäume handelt, ist unklar. Die *r*-Werte (nach Normalisierung) zeigt Tab. 18. Sie variieren zwischen 0,20 und 0,60. Das arithmetische Mittel von 0,44 (N=28) ist etwas höher als der *r*-Wert der Jahrringfolgen MWK801 und MWK975 von 0,39 (s. oben Minimal-Chronologie sowie Abb. 18 und Tab. 17).

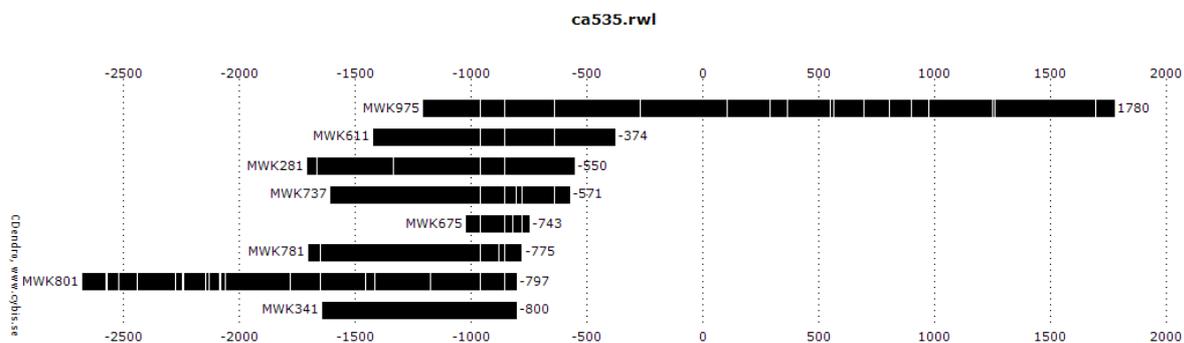


Abb. 19 Ca535-Datenbasis (Auswahl 2), Balkendiagramm.

Die Auswahl bezieht sich auf den Skalenabschnitt von etwa -1200 bis -1000. Skala: Dendrojahr (AD-Format mit Nulljahr), hier Belegung von -2672 bis 1780; links neben Balken: Jahrringabfolge (Probennummer); rechts neben Balken: Dendro-Endjahr; Datei: ca535.rwl. Siehe auch Tab. 18.

¹¹⁵ Mit ausreichender Überlappung.

	<i>r</i> -Werte (nach Normalisierung)							
	MWK281	MWK341	MWK611	MWK675	MWK737	MWK781	MWK801	MWK975
MWK281		0,56	0,60	0,47	0,58	0,46	0,54	0,44
MWK341	0,56		0,49	0,26	0,46	0,38	0,33	0,39
MWK611	0,60	0,49		0,53	0,46	0,46	0,48	0,27
MWK675	0,47	0,26	0,53		0,36	0,38	0,40	0,24
MWK737	0,58	0,46	0,46	0,36		0,54	0,51	0,40
MWK781	0,46	0,38	0,46	0,38	0,54		0,53	0,32
MWK801	0,54	0,33	0,48	0,40	0,51	0,53		0,39
MWK975	0,44	0,39	0,27	0,24	0,40	0,32	0,39	

Tab. 18 Ca535-Datenbasis (Auswahl), *r*-Werte.

Kreuzkorrelationsanalyse und Kreuzkorrelationskoeffizienten (*r*-Werte). Auswahl siehe Abb. 18 und Textteil.

Fazit: Die Ca535-Datenbasis liefert eine fertige Chronologie der Lokalität Methuselah Walk. Die Borstenkiefern-Rohdatenbasis der Lokalität Methuselah Walk ist allerdings nicht veröffentlicht; dazu zählen alle jemals vermessenen Jahrringabfolgen, insbesondere vor jedweden Korrekturen¹¹⁶. Nicht veröffentlicht ist des Weiteren eine Dokumentation der vermessenen Abfolgen, die auch ihre Position im Baum bzw. Baumquerschnitt beinhaltet. Dies ist aufgrund der komplexen Wuchsform notwendig, die ihrerseits einer Interpretation bedarf. FERGUSON (1969, 1970) hat keine Nachweise zur Validität des langen Teils der Borstenkiefernchronologie – Dendro-Skalenbereich vor ca. 1000 BC – geliefert. Eine Duplikation dieses Teils der Chronologie durch Dritte ist aufgrund der Daten-Mangelsituation nicht möglich.

Die fertige Chronologie der Ca535-Datenbasis ist hinsichtlich der Ähnlichkeit der Zeitreihen, der jeweilige Vergleich der Einzelelemente mit dem Mittelwert, stimmig: *r*-Wert: Ø 0,77 (txt-Datei) bzw. 0,75 (diese Arbeit); N=285. Die *r*-Werte ausgewählter synchronisierter Jahrringabfolgen untereinander (Minimal-Chronologie) sind insbesondere für den Dendro-Skalenbereich zwischen 3500 und 1000 BC gering: 0,33–0,40 (gefiltert bzw. normalisiert); 0,08–0,29 (ungefiltert). Diese Chronologie ist allerdings nicht abschließend bewertbar. Es gilt zunächst u. a. – wie oben schon angemerkt – die komplexe Wuchsform zu entschlüsseln als auch die Fragestellung vermeintlich fehlender Ringe zu klären, um eine valide Rohdatenbasis zu schaffen.

5.5.2 Belfast-Chronologie – „948-BC-Dendrolücke“

Die Belfast-Eichenchronologie besteht – wie die Hohenheim-Eichenchronologie auch – aus zusammengesetzten und verknüpften Chronologie-Segmenten. Den Stand der Konstruktion beider Chronologien zum Zeitpunkt 1980 zeigt Abb. 20 (nach BAILLIE 1995; vgl. Abb. 16 und Abb. 17).

¹¹⁶ Z. B. fehlende Jahrringe und Kürzungen.

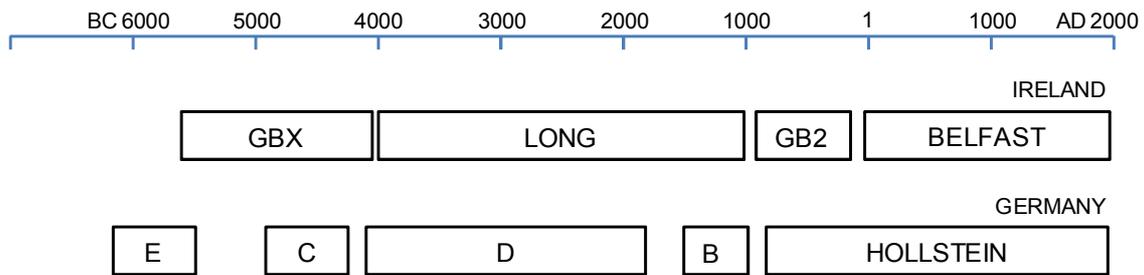


Abb. 20 Belfast-Eichenchronologie, Konstruktionsstand 1980.

Nach BAILLIE (1995), seine Abb. 1.13. Skala: Dendrojahre (BC-AD-Format ohne Nulljahr). Teilchronologien Irland: GBX, Garry Bog X („alt“); LONG, (Belfast) Long Chronology; GB2, Garry Bog 2. Teilchronologien Deutschland: B bis E, ohne Erläuterung; HOLLSTEIN, mitteleuropäische Eichenchronologie von HOLLSTEIN (1980)¹¹⁷ (Laboratorium Trier).

In mehreren Publikationen berichten BAILLIE et al. (1983), BAILLIE (1995), BROWN & BAILLIE (2012), wie sie die „Lücke“ zwischen den irischen Chronologie-Segmenten Belfast Long und Garry Bog 2 mit dem englischen Chronologie-Segment Swan Carr überbrücken (Abb. 21). Demnach endet die Belfast-Long-Chronologie mit Dendrojahr 949 BC während die Garry-Bog-2-Chronologie mit Dendrojahr 947 BC beginnt; die durch die Swan-Carr-Chronologie überbrückte „Lücke“ beträgt ein Dendrojahr, datiert auf 948 BC. Die publizierten Ähnlichkeitswerte (als Ergebnisse des Vergleichs der Zeitreihen) betragen: Swan Carr und Belfast Long (bzw. Teilsegment Garry Bog 1), $t=4,7$; Swan Carr und Garry Bog 2, $t=6,3$ (Tab. 19, Pos. 1 und 2). In BAILLIE et al. (1983) heißt es, dass diese Verknüpfung noch vorläufig sei. Sie sei aber „konsistent mit der ^{14}C -Information“ (vgl. Abschnitte 5.4.4. und 5.4.5)¹¹⁸.

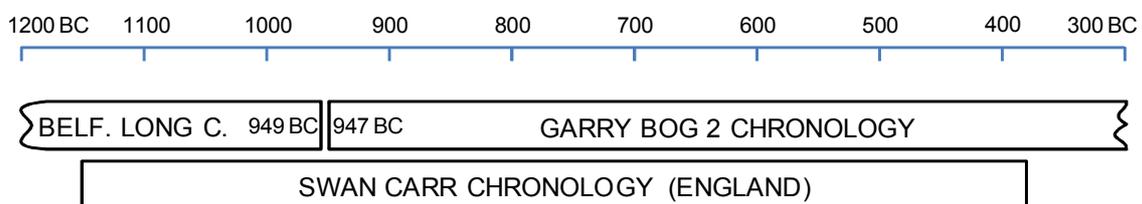


Abb. 21 „948-BC-Dendrolücke“, Überbrückung mit Swan-Carr-Chronologie.

Nach BAILLIE et al. (1983, Fig. 2) und BROWN & BAILLIE (2012, Fig. 4). Chronologie-Längen gemäß BAILLIE (1995): Belfast Long, 2990 Dendrojahre (S. 33); Garry Bog 2, 719 Dendrojahre (S. 33); Swan Carr, 775 Dendrojahre (S. 35).

Die Mooreichen-Fundpunkte Ballymacombs More und Garry Bog liegen 10 bzw. 40 km nördlich des Nordrandes des Lough Neagh (Binnensee, 30 km W Belfast) (PILCHER et al. 1977, ihre Fig. 1). Der Mooreichen-Fundpunkt Swan Carr befindet sich 16 km südlich von Durham (NO-England). Die nordirischen Fundpunkte sind etwa 320 km vom englischen Fundpunkt entfernt.

¹¹⁷ Diese Chronologie von „700 v. Chr. bis 1975 n. Chr.“ ist vollumfänglich veröffentlicht.

¹¹⁸ „Possible matching position between the Belfast Long chronology and the Swan Carr/Garry Bog 2 chronology. This tentative link requires further replication but is consistent with the ^{14}C information“ (BAILLIE et al. 1983, Beschreibung zu ihrer Fig. 2).

QUB-Datenbasis – Duplikation der „948-BC-Dendrolücke“

Die veröffentlichte Datenbasis der Queens-Universität Belfast (QUB) besteht aus über 9000 dendrochronologischen Rohdatensätzen. OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2012a,b,c, 2014) haben u. a. den Versuch unternommen, die Situation der „948-BC-Dendrolücke“ nachzustellen. Dabei haben sie wahlweise den aus 2009 stammenden Datensatz Q10705M (Lokalität Ballymacombs) ausgelassen oder einbezogen. Der Datensatz lasse sich aufgrund seiner Ähnlichkeitswerte der Ballymacombs-Kollektion zurechnen ($r=0,49$, $t=9,2$, Überlappung 261 Jahrringe; OSSOWSKI LARSSON & LARSSON 2014), dem jüngsten Teilsegment der Belfast-Long-Chronologie (vgl. BAILLIE 1995, seine Fig. 2.1). Durch seine Einbeziehung wird „Belfast Long“ um 112 Dendrojahre auf Dendro-Skalenpunkt 837 BC erweitert (Abb. 22).

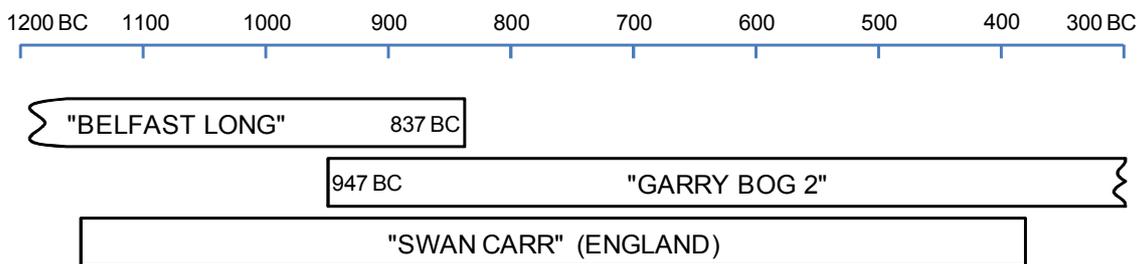


Abb. 22 Erweiterung der „Belfast-Long“-Chronologie.
Nach OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2012a, Fig. 1).

Die Ähnlichkeitswerte zwischen dem nachgebildeten und erweiterten Chronologie-Segment „Belfast Long“ und dem nachgebildeten Chronologie-Segment „Garry Bog 2“ betragen $r=0,13$ und $t=1,4$ (Überlappung 110 Jahrringe). OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2014) schließen aus den niedrigen Werten, dass die originäre Verknüpfung (Link) zwischen der Belfast-Long-Chronologie und Garry-Bog-2-Chronologie falsch ist.^{119,120} Des Weiteren ist der originäre

¹¹⁹ „We found a 380 years long oak curve from Ballymacombs More (Q10705M, measured in 2009, dated 1210 to 837 BC) extending the Belfast Long chronology by 112 years with a convincing corr. 0.49, $t=9.2$. But there is no match towards Garry Bog 2 (GB2; corr. 0.13, $t=1.4$ at 110 years overlap, see table 2) though Garry Bog 2 also contains samples from that same Ballymacombs More, especially in the oldest overlapping part“ OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2014, 11f).

¹²⁰ Gegenüber P. OSSOWSKI LARSSON und L.-A. LARSSON habe D. BROWN (QUB, pers. Mittlg.) geäußert, dass die schlechten Ähnlichkeitswerte von einer problematischen Sequenz der Probe Q10705M herrühren würden: Die Jahrringe der letzten 40 Jahre seien sehr schmal und schwierig zu messen; darüber hinaus lägen Perioden mit problematischen Ringen und ausgefallenen Wachstumsmustern mit inkludiertem Splintholz vor. Im Original: „According to QUB, the bad match of Q10705M towards GB2 is due to the sample's last 40 years being very narrow and difficult to measure, and periods with problematic rings and eccentric growth patterns with included sapwood. Therefore the tree-ring pattern could be truncated at 950 BC, and only the inner section back to 1210 BC could be used. (D. Brown, personal communication)“ (OSSOWSKI LARSSON & LARSSON 2014, 13). Dazu schreiben sie (in Übersetzung): „Unserer Meinung nach ist dies eine sehr drastische und beispiellose Maßnahme, die bedeuten würde, dass der gesamte überlappende Teil abgeschnitten werden müsste, gerade am kritischen Schlüssel-Link zwischen den beiden Chronologien. Wenn wir – anstelle Q10705M bei 877 BC zu kürzen – die 40 jüngsten schmalen Ringe wegnehmen, wird die Korrelation zu Garry Bog 2 nur leicht besser ($r=0,18$, $t=1,5$; bei einer Überlappung von 70 Jahren). Deshalb befürchten wir, dass der originäre Link zwischen der Belfast-Long-Chronologie und Garry Bog 2 falsch ist und die Lücke mit

re t -Wert von 4,7 (Swan Carr vs. Belfast Long) nicht duplizierbar; OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2014) weisen in ihrer Table 2 nur einen Wert von 2,8 aus ($r=0,19$, Überlappung 206 Jahrringe; Tab. 19, Pos. 1).

Der Verfasser wiederum hat den Versuch unternommen, die Ergebnisse von OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2012a, 2014) zu duplizieren; die einzelnen Schritte sind in Anhang 3-2 dokumentiert. Die Ergebnisse sind in Tab. 19 zusammengefasst. Sie sind mit denen von OSSOWSKI LARSSON & LARSSON im Wesentlichen identisch.

BROWN & BAILLIE (2012, 90) zufolge haben zusätzliche Funde¹²¹ die Situation nicht verändert; die irische Chronologie sei weiterhin auf den Link der englischen Swan-Carr-Chronologie angewiesen.¹²² Eine neukonstruierte sog. archäologische Eichenchronologie (1351 BC bis 856 BC), die die „Lücke“ zeitlich überspanne, stimme gut mit der Belfast-Long-Chronologie überein, korreliere aber nicht mit der Garry-Bog-2-Chronologie.

Pos.	Vergleich		Baillie (1995)	Ossowski Larsson & Larsson (2012b,2014)			diese Arbeit		
	Chronologie/Zeitreihe 1	Chronologie/Zeitreihe 2	t -Wert	r -Wert	t -Wert	Überl. [DJ]	r -Wert	t -Wert	Überl. [DJ]
1	Swan Carr	Belfast Long	4,7	0,19	2,8	206	0,21	3,0	206
2	Swan Carr	Garry Bog 2	6,3	0,31	8,3	635	0,33	8,7	635
3	Q10705M	"Belfast Long"		0,49	9,2	261	0,50	9,4	261
4	Q10705M	"Garry Bog 2"		0,13	1,4	110	0,12	1,3	110
5	Q10705M	"Swan Carr"		0,20	3,6	318	0,20	3,6	318
6	"Swan Carr"	"Belfast Long" erweitert		0,17	3,0	316	0,18	3,2	318

Tab. 19 Belfast-Chronologie, Überbrückung mit Swan-Carr-Chronologie.

Auflistung der Ähnlichkeitswerte für ausgewählte Chronologie-Segmente im Skalenbereich der „948-BC-Dendrolücke“. Überl. [DJ], Überlappung [Dendrojahre]. Die Referenz OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2012b) bezieht sich nur auf Pos. 6. Chronologien in Anführungszeichen sind nachgestellte (duplizierte) Chronologien; sie können von den Original-Chronologien abweichen, da deren Zusammensetzung nicht vollumfänglich publiziert ist. Die erweiterte „Belfast Long“ bezieht den Jahrringdatensatz Q10705M in voller Länge mit ein.

Fazit: Bei der „948-BC-Dendrolücke“ handelt es sich offensichtlich nicht um eine überbrückte (geheilte) Lücke, sondern um einen Bruch in der Chronologie. Diese Unterbrechung macht die Belfast-Chronologie im Sinne eines absoluten, jahrgenaue Kalenders für den Skalenabschnitt vor 947 BC wertlos.¹²³

einer erheblichen Anzahl von Jahren verbreitert werden muss, da wir mit dem bestehenden Material keinen konsistenten Match finden konnten.“ – Anmerkung: Eine Alternative ist, dass gleichzeitig so verschiedene Jahrringmuster erzeugt wurden, dass eine Kreuzkorrelation auf Grundlage der Muster nicht möglich ist (vgl. „Theorie des Muster-Vergleichs“, Abschnitt 5.4.2).

¹²¹ „Again the question is how has additional sampling changed this situation with regard to a gap in the Irish oak record?“ (BROWN & BAILLIE 2012, 90).

¹²² „(...) and the Irish chronology still depends on the link provided by the English Swan Carr chronology.“ (BROWN & BAILLIE 2012, 90).

¹²³ Unter einer Maßgabe, dass die Konstruktion für den Skalenbereich 947 BC bis Gegenwart valide ist.

5.6 Synchronisation deutscher Regionalchronologien

BECKER & SCHMIDT (1982, 104) berichten von einem erfolgreichen Versuch einer „Synchronisierung der zuvor nur C¹⁴-datierten süddeutschen Chronologie der Eisen- und Spätbronzezeit mit der norddeutschen Absolutchronologie“. Mit dieser Synchronisation oder Korrelation – Stand 1982 – wird die schwimmende Chronologie der Eisen- und Spätbronzezeit (Hohenheim) „absolut-datiert“ und die Hohenheim-Chronologie (süddeutsche Standardkurve) von Skalenpunkt 546 BC auf Skalenpunkt 1462 BC erweitert.¹²⁴ Die Situation vor und nach Synchronisation zeigt Tab. 20. (Teil I vs. Teil II).

Chronologie	Laboratorium	Dendro-Zeitskala		Länge [Dendrojähre]
		Start	Ende	
I. Situation vor Synchronisation				
(Absolute Chronologien)				
Norddeutsche Eichenchronologie	Köln	963 BC	Gegenwart	
Süddeutsche Eichenchronologie	Hohenheim	546 BC	Gegenwart	
Westdeutsche Eichenchronologie	Trier	724 BC	Gegenwart	
(Regional- bzw. Teilchronologien)				
Eisenzeit/Köln	Köln	> 720 BC	570 BC	
Eisen-Römerzeit/Hohenheim	Hohenheim	546 BC	< 420 BC	
Kirnsulzbach/E. Hollstein	Trier	691 BC	443 BC	
(Schwimmende Chronologie)				
Eisen- und Spätbronzezeit - bzw. Eisenzeit/Hohenheim	Hohenheim			989
II. Situation nach Synchronisation				
(Absolute Chronologien)				
Norddeutsche Eichenchronologie	Köln	963 BC	Gegenwart	
Süddeutsche Eichenchronologie	Hohenheim	1462 BC	Gegenwart	
Westdeutsche Eichenchronologie	Trier	724 BC	Gegenwart	
(Regional- bzw. Teilchronologien)				
"Eisen- und Spätbronzezeit"	Hohenheim	1462 BC	474 BC	989

Tab. 20 Erweiterung der süddeutschen Eichenchronologie, Stand 1982. Aufstellung nach Daten von BECKER & SCHMIDT (1982).

Die „geglückte Synchronisierung“ und die „kalenderjahrgenaue Datierung der süddeutschen Serie“ wird mit einem „signifikanten“ Gleichläufigkeitswert belegt: 62,8 % zwischen 963 BC und 569 BC bezogen auf die jeweiligen Standardkurven (norddeutsche Eichenchronologie und süddeutsche Eichenchronologie; Tab. 21, Pos. 1).

¹²⁴ Beispielweise in BECKER & SCHMIDT (1982, 101): „Aus diesem Grund schien den Verfassern der Versuch aussichtsreich, die in den beiden Laboratorien neuerdings erarbeiteten Chronologien der Eisen- und Spätbronzezeit miteinander zu korrelieren (...). Tatsächlich gelangen dabei zum Teil beträchtliche Verlängerungen verschiedener Regionalchronologien, aber auch der gesamten mitteleuropäischen Eichenchronologie (...).“

Die Korrelation „(...) ließ sich nachträglich durch eine Synchronlage der Hohenheimer Chronologie zu Kirnsulzbach bestätigen“ (S. 101, mit Verweis auf ihre Abb. 2¹²⁵). In ihrer Abb. 2 zeigen BECKER & SCHMIDT (1982) zwar die Mittelwertkurven der vier Regionalkurven im Vergleich (visueller „Nachweis“), aber statistische Ähnlichkeitswerte – u. a. auch *r*- oder *t*-Werte – für die überlappenden Abschnitte werden nicht präsentiert (Tab. 21). Dies gilt insbesondere für die „bestätigte“ Synchronlage (Tab. 21, Pos. 2c) als auch die interne Hohenheim-Synchronisation (Eisen- und Spätbronzezeit und Eisen-Römerzeit/Hohenheim, Überlappung 73 Dendrojahre; Tab. 21, Pos. 2b). Auch SCHMIDT & SCHWABEDISSEN (1982, 107) schreiben von einem „Nachweis“: „Es konnte nachgewiesen werden, dass sich die Chronologien aus dem Main-Donau-Gebiet (Labor Hohenheim) mit den Chronologien Nord- und Westdeutschlands (Labor Köln) sicher synchronisieren lassen (Becker u. Schmidt 1982) (...)“.

Pos.	Vergleich		Sequenz (Dendro- Zeitskala)	Überl. [Dendrojahre]	Länge	GLK- Wert	<i>r</i> -/ <i>t</i> - Wert
	Chronologie/Zeitreihe 1	Chronologie/Zeitreihe 2					
1	Standardkurve Süd (H)	Standardkurve Nord (K)	963-569 BC		395	62,8%	k. A.
2a	Eisen- und Spätbronzezeit (H)	Eisenzeit/Köln (K)	> 720-570 BC	> 151	(wie 1, da identisch)		
2b	Eisen- und Spätbronzezeit (H)	Eisen-Römerzeit/Hohenheim (H)	546-474 BC	73			k. A.
2c	Eisen- und Spätbronzezeit (H)	Kirnsulzbach/E. Hollstein (T)	691-474 BC	218			k. A.
3a	Kirnsulzbach/E. Hollstein (T)	Eisenzeit/Köln (K)	691-570 BC	122			k. A.
3b	Kirnsulzbach/E. Hollstein (T)	Eisen-Römerzeit/Hohenheim (H)	546-443 BC	104			k. A.
4	Standardkurve Süd (H)	Standardkurve West (T)					k. A.
5	Standardkurve Nord (K)	Standardkurve West (T)					k. A.

Tab. 21 Synchronisation deutscher Regionalchronologien.

Aufstellung nach Daten von BECKER & SCHMIDT (1982). Laboratorien: H, Hohenheim; K, Köln; T, Trier. Überl., Überlappung.

Fazit: BECKER & SCHMIDT (1982) erbringen keinen statistischen Nachweis darüber, dass die vorgenommene Synchronisation – bezogen auf die drei unabhängig¹²⁶ voneinander konstruierten Eichenchronologien: Trier (HOLLSTEIN 1980), Hohenheim (BECKER 1981) und Köln (SCHMIDT 1981¹²⁷) – wechselseitig untereinander valide ist. Lediglich für eine Teilbeziehung von Minimum vier ist ein GLK-Wert publiziert worden; dieser beträgt > 60%.

Mit diesen Synchronisationen (An- und Einpassungen) treten die Chronologien untereinander in ein abhängiges Verhältnis (s. auch Abschnitte 5.8.2 und 5.8.4).

¹²⁵ „Vergleich zwischen vier Regionalchronologien aus Nord-, West- und Süddeutschland (420-720 v. Chr.)“ (Beschriftung zu ihrer Abb. 2, BECKER & SCHMIDT 1982). Die Kurven „Eisenzeit/Hohenheim“ und „Kirnsulzbach/E. Hollstein“ (Trier) überlappen von 691 v. Chr. bis 474 v. Chr.; vgl. Tab. 21, Pos. 2c.

¹²⁶ „Der Aufbau einer von der Gegenwart bis in die vorgeschichtliche Zeit zurückreichenden, lückenlosen Eichenjahrringchronologie hat in jüngster Zeit bemerkenswerte Fortschritte gemacht. Unabhängig voneinander gelang es zunächst E. Hollstein (Trier), einen Eichenjahrringkalender bis 724 v. Chr. aufzubauen (Hollstein 1980). Gleichzeitig hatte die süddeutsche Jahrringserie das Jahr 546 v. Chr. erreicht (Becker 1981). B. Schmidt konnte zwischenzeitlich die west- und norddeutsche Eichenchronologie bis zum Jahr 963 v. Chr. zurückverlängern (Schmidt 1981)“ (BECKER & SCHMIDT 1982, 101).

¹²⁷ Gemäß Abb. 1 in SCHMIDT & SCHWABEDISSEN (1982, 107) ist die Kölner Eichenchronologie nicht lückenlos. Die Dendro-Lücke von Skalenpunkt 375 n. Chr. bis Skalenpunkt 1000 n. Chr. wird mit Chronologie-Segmenten der Hamburger und Hohenheimer Chronologie überbrückt.

5.7 ¹⁴C-Daten- und Wiggle-Matching

5.7.1 Verankerung der schwimmenden Jahrringchronologie „Thayngen-Burgäschisee“ – FERGUSON et al. (1966)

HUBER & MERZ (1963) konstruieren eine schwimmende, 311 Dendrojahre umfassende Jahrringchronologie, die aus Hölzern der „jungsteinzeitlichen“ Siedlungen von Thayngen-Weier sowie Burgäschisee-Süd und -Südwest (Schweiz) zusammengesetzt ist. FERGUSON, HUBER & SUESS (1966) verankern diese Thayngen-Burgäschisee-Chronologie mit der „absolutdatierten“ kalifornischen Borstenkiefernchronologie¹²⁸ (s. Abschnitt 5.3.1) durch Synchronisation der Radiokarbon-„Mittelkurven“ beider Chronologien. Sie nennen diese Methode der Altersbestimmung „dendrochronologisch-kalibrierte Radiokarbondatierung“¹²⁹. Als Ergebnis vermelden FERGUSON et al. (1966) ein Alter von „3700 BC“ für die Errichtung der mittleren Thayngen-Siedlung und ein Alter von „3760 BC“ für die Errichtung der unteren Thayngen-Siedlung (jeweils mit 1σ von \pm „40 Jahren“).

Der Vergleich – das sogenannte Matching – stellt sich folgendermaßen dar: FERGUSON et al. (1966) stellen zunächst für den Skalenbereich 4100 bis 3600 BC der Borstenkiefernchronologie dendrokalibriert-bestimmte Alter zu ihren konventionellen ¹⁴C-Altern graphisch in Beziehung; es handelt sich um 8 ausgewählte Wertepaare von zwei Bäumen (ihre Table 2, ihre Fig. 1 oben).¹³⁰ Die – offensichtlich manuell erstellte – Radiokarbon-„Mittelkurve“ besteht aus zwei Geraden unterschiedlicher Steigung, die durch eine leichte Kurvenziehung miteinander verbunden sind. Die nachgezeichnete Abb. 23 zeigt diese Radiokarbon-„Mittelkurve“ (rot; obere Gerade, untere Gerade) ohne Verbindungsglied. In einer zweiten Graphik (ihre Fig. 1 unten) werden 8 ausgewählte Wertepaare von drei Eichen der Thayngen-Burgäschisee-Chronologie gleichermaßen dargestellt (ihre Table 1, ihre Fig. 1 unten; Abb. 24); ebenfalls wird eine Radiokarbon-„Mittelkurve“ gezeigt, die den gleichen Verlauf hat wie die Radiokarbon-„Mittelkurve“ der Borstenkiefernchronologie. Unter Maßgabe dieses gleichen Verlaufs wird der Skalenpunkt 3635 BC der Borstenkiefernchronologie auf den Nullpunkt (Endpunkt) der schwimmenden Thayngen-Burgäschisee-Chronologie übertragen. Mit dieser Verankerung wird schließlich das „absolute“ Alter der Siedlungen bestimmt (s. o.). Es wird ausdrücklich betont, dass beide Teile der Fig. 1 (oben und unten) die gleiche gleichmäßige Linie zeige, die eine Kalibrationskurve für die „Periode 4100 bis 3600 BC“ kennzeichne.¹³¹

¹²⁸ Zu diesem Zeitpunkt – Stand 1966 – liegt eine „kontinuierliche Jahrringchronologie über 6600 Jahre“ vor (FERGUSON et al. 1966, 1174).

¹²⁹ Siehe Titel des Artikels (FERGUSON et al. 1966): „Determination of the Age of Swiss Lake Dwellings as an Example of Dendrochronologically-Calibrated Radiocarbon Dating.“

¹³⁰ ¹⁴C-Werte-Zuordnung: Baum 63-34: 4746-4967 konventionelle ¹⁴C-Jahre BP; Baum 65-F131: 5088-5176 konventionelle ¹⁴C-Jahre BP. Die „Kurve“ in Fig. 1 von FERGUSON et al. (1966, 1177) (hier: gedachte Verbindung der zwei roten Geraden, Abb. 23) entsteht durch Verknüpfung der Wertepaare von zwei Baumindividuen.

¹³¹ „Both parts of the figure show the same smooth line which indicates a calibration curve for the period 4100 to 3600 BC.“ (Teil der Beschriftung zu Fig. 1, FERGUSON et al. 1966, 1177).

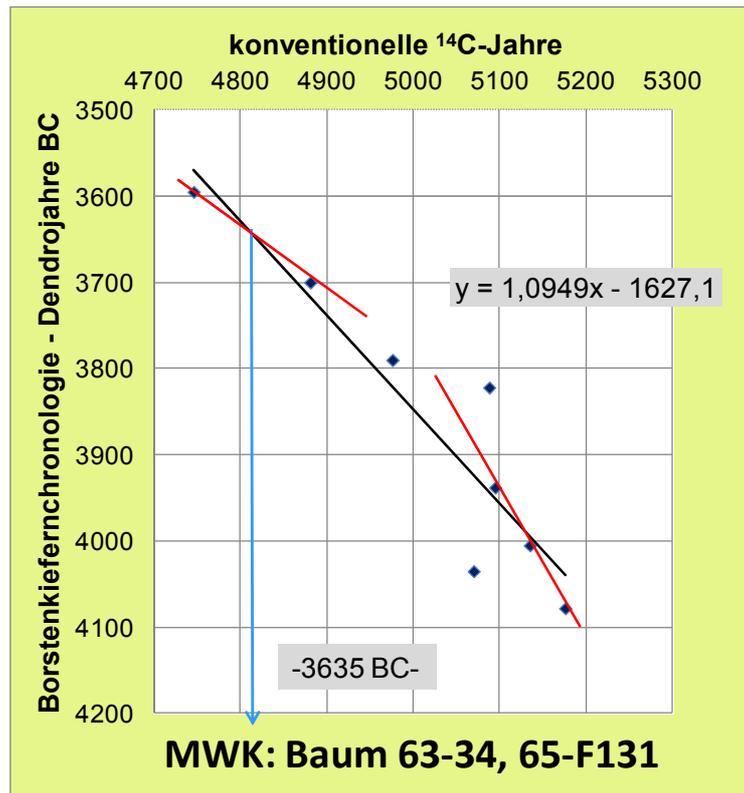


Abb. 23 Borstenkiefernchronologie (Ausschnitt).

Nach FERGUSON et al. (1966), ihre Fig. 1 (oben). Rote Linien: Radiokarbon-„Mittelkurve“ (analog FERGUSON et al. 1966), aber ohne Verknüpfung der oberen mit der unteren Gerade). Schwarze Linie: Trendlinie (linear; Excel); Steigung der Trendlinie (= „Mittelkurve“) $m = 1,09$. MWK: Lokalität Methusaleh Walk. Blaue Linie: Synchronisation, Übertrag des Skalenpunktes 3635 BC in Abb. 24.

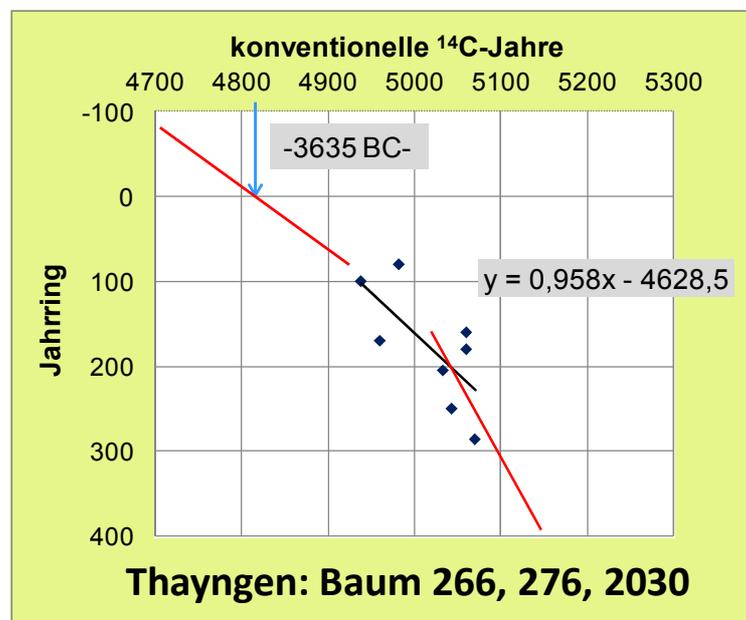


Abb. 24 Thayngen-Burgäschisee-Chronologie (Auswahl).

Nach FERGUSON et al. (1966), ihre Fig. 1 (unten). Rote Linien: Radiokarbon-„Mittelkurve“ (analog FERGUSON et al. 1966), aber ohne Verknüpfung der oberen mit der unteren Gerade). Schwarze Linie: Trendlinie (linear; Excel); Steigung der Trendlinie (= „Mittelkurve“) $m = 0,96$. Blaue Linie: Synchronisation, Übertrag des Skalenpunktes 3635 BC aus Abb. 23 auf 0-Punkt (Endpunkt) der Thayngen-Burgäschisee-Chronologie.

Allerdings ist zu erkennen, dass für den oberen Teil der Radiokarbon-„Mittelkurve“ der Thayngen-Burgäschisee-Chronologie – im Bereich des Übertrags – keine Wertepaare vorliegen (obere rote Gerade, Abb. 24). Ausgehend von dem schmalen Ausschnitt konventioneller ^{14}C -Jahre BP der Thayngen-Burgäschisee-Chronologie (ca. 5070 bis 4940 ^{14}C -Jahre BP) und der starken ^{14}C -Variation der 8 Wertepaare ist eine Extrapolation auf den Skalenbereich von ca. 5180 bis ca. 5070 konventionelle ^{14}C -Jahre BP (untere rote Gerade) und den Skalenbereich von ca. 4940 bis 4740 konventionelle ^{14}C -Jahre BP (obere rote Gerade) in der durchgeführten Weise unzulässig. Dies zeigt auch die ermittelte lineare Trendlinie der 8 Wertepaare an, deren Steigung nicht mit der Steigung des unteren Teils der Radiokarbon-„Mittelkurve“ übereinstimmt.

Des Weiteren ist festzustellen, dass SUESS (1978) später für diesen Skalenabschnitt der Borstenkiefernchronologie größtenteils andere Wertepaare liefert (vgl. Abb. 23 und Abb. 25). Werden die errechneten Wertepaare der Kalibrationskurve IntCal13 dargestellt, ergibt sich nochmals ein ganz anderes Bild (vgl. Abb. 23, Abb. 25 und Abb. 26). Wird jedoch hier diesem Matching-Verfahren grundsätzlich gefolgt, so lägen die Ergebnisse zur Ermittlung des Endpunktes der Thayngen-Burgäschisee-Chronologie auf Basis der jeweiligen Radiokarbon-„Mittelkurven“ der Abb. 23, Abb. 25 und Abb. 26 graphisch dicht beieinander.

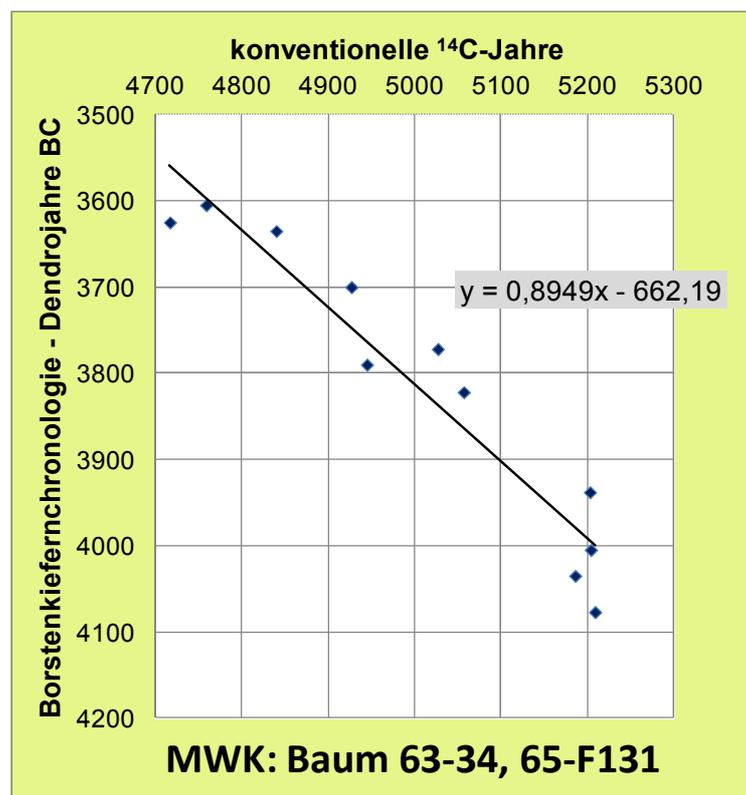


Abb. 25 Borstenkiefernchronologie (Ausschnitt), neue Wertepaare. Daten aus SUESS (1978), sein Appendix 1; vgl. Abb. 24 und Abb. 26; Steigung $m = 0,89$ (Trendlinie, linear; Excel). Diskussion siehe Textteil.

Mit dieser Korrelation sind erstmals dendrochronologisch-kalibrierte ^{14}C -Alter transkontinental übertragen worden: Die schweizerischen Siedlungen seien etwa 1000 Jahre älter als

bisher aus den Radiokarbon-Bestimmungen geschlossen wurde (bis dato implizit: konventionelle ^{14}C -Jahre gleich Realjahre).¹³² In der Folge sind die schwimmenden, europäischen (Teil-) Chronologien auf Grundlage der dendrochronologisch-kalibrierten ^{14}C -Alter der kalifornischen Borstenkiefernchronologie auf der Dendro-Zeitskala entsprechend positioniert worden (vgl. Abschnitte 5.4.4 und 5.4.6).

Das Beispiel zeigt, dass die Art und Weise der Konstruktion der Radiokarbon-„Mittelkurven“ ziel- und ergebnisgerichtet vorgenommen wurde: Nämlich visuell aufzuzeigen, dass aufgrund eines „gleichen“ Kurvenverlaufs eine Korrelation, ein Matching, möglich und zulässig sei.

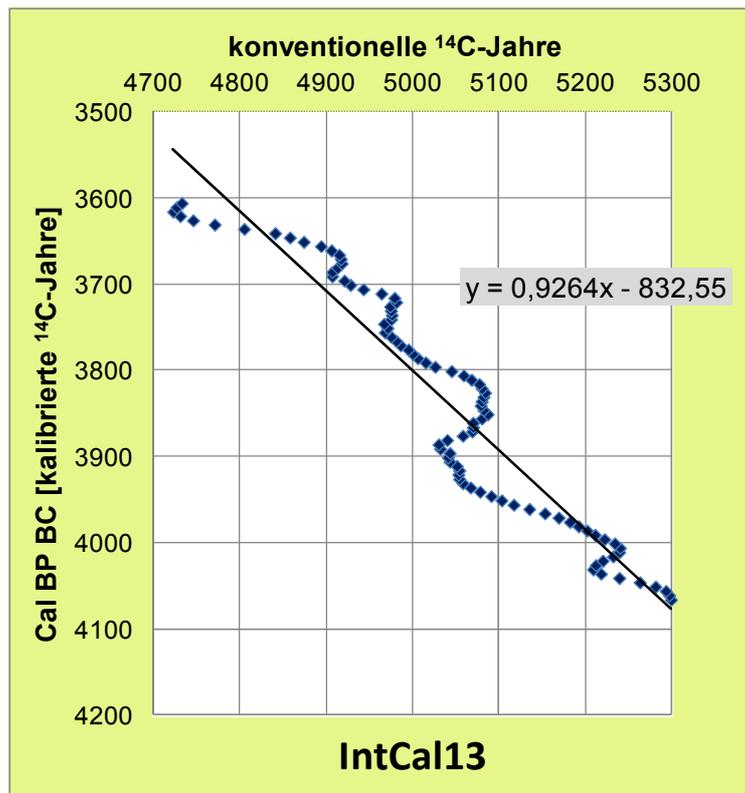


Abb. 26 IntCal 13 (Ausschnitt).

Daten aus REIMER et al. (2013a); vgl. Abb. 24 und Abb. 26; Steigung $m = 0,93$ (Trendlinie, linear; Excel). Diskussion siehe Textteil.

5.7.2 Verankerung schwimmender Hohenheim-Eichenserien – LINICK et al. (1985)

LINICK, SUESS & BECKER (1985) legen dar, dass die schwimmenden Hohenheim-Eichenserien Donau 6/Main 4/11, Main 6/13, Donau 11 und Donau 8 (Skalenbereich von 7215 bis etwa 4100 BC) mit „Wiggle-Matching“ auf die Borstenkiefernchronologie kalibriert wurden und zwar auf Basis von ^{14}C -Bestimmungen des Laboratoriums La Jolla. Nach dendrochronologi-

¹³² „This is about one thousand years earlier than had been previously concluded from radiocarbon measurements“ (FERGUSON et al. 1966, 1177).

scher Verknüpfung der einzelnen Serien seien die zuvor vorgenommenen „Wiggle-Matching“-Kalibrationen überprüft worden; dabei würden die ursprünglichen Match-Punkte (Null-Punkte) um weniger als „20 Jahre“ differieren (Tab. 22). Weitere ^{14}C -Bestimmungen des Hohenheim-Probenmaterials (Radiokarbon-Laboratorien Seattle und Heidelberg) hätten die La-Jolla-Kalibrationen bestätigt.¹³³

Chronologie (schwimmende Serie)	^{14}C -kalibrierter Null-Punkt	Null-Punkt nach Dendro-Link	Differenz (Dendrojahre)
	(Dendro-Zeitskala)		
Donau 6-Main 4/11	7215 BC	7215 BC	Bezugspunkt
Main 6/13	6457 BC	6440 BC	+17
Donau 8	4870 BC	4851 BC	+19

Tab. 22 Kalibrierte, schwimmende Hohenheim-Eichenserien I.

Vergleich des „ ^{14}C -kalibrierten Null-Punkts“ mit dem „Null-Punkt nach dendrochronologischer Verknüpfung“ auf der Dendro-Zeitskala nach Verknüpfung der schwimmenden Serien untereinander zu einer (gemeinsamen) schwimmenden Serie. Die maximale Differenz ist < 20 Dendrojahre. Die Hohenheim-Eichenserien sind mit ^{14}C -Daten- und Wiggle-Matching auf die kalifornische Borstenkiefernchronologie kalibriert worden (Spalte 2). Nach LINICK et al. (1985), ihre Table 2.

Vor dieser transatlantischen Kalibration waren bereits die schwimmenden Hohenheim-Eichenserien Donau 7/9/12, Main 5, Donau 3/10 und Zug-Sumpf (Skalenbereich < 4100 BC) mit „Wiggle-Matching“ auf die Borstenkiefernchronologie kalibriert worden (SUESS 1978, KRUSE et al. 1980). Die anschließende dendrochronologische Verknüpfung der schwimmenden Serien mit der Hohenheim-Absolutchronologie (im Zuge ihrer Erweiterung, vgl. Abb. 16) habe lediglich zu sehr geringfügigen Verschiebungen geführt. Die Differenz der „ ^{14}C -kalibrierten Null-Punkte“ zu den „dendrochronologisch absolut-datierten Null-Punkten“ ist in jedem Fall < 10 Dendrojahre (Tab. 23). LINICK et al. (1985) werten dies nicht nur als eine Bestätigung für die generelle Gültigkeit der „ ^{14}C -Wiggle-Matching“-Methode, sondern auch für deren Genauigkeit („accuracy“).¹³⁴

In beiden Fällen aber handelt es sich um eine Zuweisung – „assigned by wiggle-matching“ (LINICK et al. 1985, 21) –, einer Übertragung von „Absolut“-Alter der Borstenkiefernchronologie auf schwimmende Hohenheim-Eichenserien. Und in beiden Fällen sind erst nach dieser zeitlichen Verankerung (Kalibration) mit der Borstenkiefern-Dendrozeitskala dendrochronologische Verknüpfungen gesucht und realisiert worden; die diesen Kreuzdatierungen zugrunde liegenden Ähnlichkeitswerte sind allerdings nicht publiziert worden.

¹³³ „Recent measurements made by Minze Stuiver, Quaternary Isotope Laboratory, University of Washington, Seattle, and Bernd Kromer, Institut für Umweltp Physik, Universität Heidelberg, West Germany, on samples from these older Hohenheim series confirm the La Jolla calibrations; (...)“ (LINICK et al. 1985, 21).

¹³⁴ „Because of the recently established tree-ring-width matches of these individual series into a single continuous absolutely dendro-dated sequence, the accuracy of the ^{14}C wiggle-matching method can be checked. As listed in Table 1, the calibrated zero points (years of oldest rings) of the four previously floating series differ from their absolute dendro-years by less than 10 years, with a range of 3 to 7 years difference. This fact demonstrates once again the validity of absolute radiometric age determinations by matching short-term ^{14}C variations in floating tree-ring series with those in absolutely dated tree-ring chronologies“ (LINICK et al. 1985, 20).

Chronologie (schwimmende Serie)	¹⁴ C-kalibrierter Null-Punkt	Dendro-datierter Null-Punkt	Differenz (Dendrojahre)
	(Dendro-Zeitskala)		
Donau 7/9/12	4032 BC	4039 BC	-7
Main 5	3262 BC	3259 BC	+3
Donau 3/10	2871 BC	2875 BC	-4
Zug-Sumpf	1238 BC	1241 BC	-3

Tab. 23 Kalibrierte, schwimmende Hohenheim-Eichenserien II.

Vergleich des „¹⁴C-kalibrierten Null-Punkts“ mit dem „dendrochronologisch absolut-datierten Null-Punkt“ auf der Dendro-Zeitskala nach Verknüpfung der schwimmenden Serien mit der Hohenheim-Absolutchronologie. Die jeweilige Differenz ist < 10 Dendrojahre. Die Hohenheim-Eichenserien sind mit ¹⁴C-Daten- und Wiggle-Matching auf die kalifornische Borstenkiefernchronologie kalibriert worden (Spalte 2). Nach LINICK et al. (1985), ihre Table 1.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass die von LINICK et al. (1986) publizierten Radiokarbon-Daten der Borstenkiefernchronologie für den Skalenabschnitt 6554–5350 BC nicht mit dem finalen Kalibrationsdatensatz von IntCal98 harmonisieren; dies führte vorab zum Ausschluss der Borstenkieferndatensätze. Zuvor aber war die Hohenheim-Chronologie auf die Borstenkiefernchronologie geeicht worden (s. o., LINICK et al. 1985); erstere wurde später allerdings – ohne Einbeziehung der Borstenkiefernchronologie – teilrevidiert (SPURK et al. 1998; Abschnitt 5.8.4).

5.7.3 Verankerung der spätglazialen Kiefernchronologie – HUA et al. (2009)

HUA et al. (2009) verknüpfen über eine tasmanische Kiefernchronologie die schwimmende, spätglaziale Kiefernchronologie mit der „absoluten Jahrring-Zeitskala“ (Brückenkonstruktion). Damit liefern sie – nach eigener Darstellung – „eine kontinuierliche und zuverlässige atmosphärische ¹⁴C-Aufzeichnung der vergangenen 14.000 kalibrierten Jahre BP“ (S. 2982). Hierdurch sei auch die gegenwärtige Lücke in den „europäischen Baumring-Radiokarbon-Chronologien“ während der Jüngeren Dryas (Tab. 1) überbrückt.¹³⁵

Der Verknüpfung liegen drei Chronologien zu Grunde:

- Hohenheimer Jahrringkalender (Abschnitt 5.3.3), Zielchronologie: hier „europäische Jahrringchronologie“ bis Skalenpunkt 12.594 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP; Stand SCHAUB et al. (2008b, Tab. 15), mit Teilsegment YD-B als älteste (Start-) Chronologie.
- Brückenchronologie (schwimmend): nordwesttasmanische, 617 Dendrojahre umfassende Huon-Kiefernchronologie (Huon Pine, HP); Spanne von 10.760 bis 10.350 konventionelle ¹⁴C-Jahre BP (4 Baumindividuen).

¹³⁵ Zuvor war schon von KROMER et al. (2004) der Versuch unternommen worden, die LPG mit der ¹⁴C-Reihe der Sedimente des Curiaco-Beckens (HUGHEN et al. 1996, 2000) zu synchronisieren.

- Zu datierende Chronologie (schwimmend): europäische, 1382 Dendrojahre umfassende, spätglaziale Kiefernchronologie (nach KROMER et al. 2004¹³⁶); Spanne von 12.000 bis 10.650 konventionelle ¹⁴C-Jahre BP; hier mit LGP bezeichnet (s. Abschnitt 5.3.4).

Das Procedere stellt sich folgendermaßen dar: Zuerst wird die ¹⁴C-Reihe der schwebenden Huon-Kiefernchronologie (HP-40) mit der ¹⁴C-Reihe der schwimmenden spätglazialen Kiefernchronologie über Wiggle-Matching synchronisiert¹³⁷; konkret bezieht sich das Matching allerdings nur auf den „ältesten“ Teil von HP-40. Dann wird der „mittlere“ Teil von HP-40 mit der kompilierten ¹⁴C-Reihe der „absoluten Jahrring-Zeitskala“¹³⁸ über Wiggle-Matching synchronisiert. Mit dieser „Brücken-Synchronisierung“ verankern HUA et al. (2009) den Endpunkt der schwimmenden Huon-Kiefernchronologie bei 12.067 (± ?) kalibrierten ¹⁴C-Jahren BP und den Endpunkt der schwimmenden spätglazialen Kiefernchronologie bei 12.597 ± 16 (1σ) kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP.

Demnach bestünde eine Lücke von 2 Dendrojahren (ohne Unsicherheit) zwischen der spätglazialen Kiefernchronologie (LPG, Endpunkt 12.597 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP) und der erweiterten Hohenheim-Kiefernchronologie (PPC, Startpunkt 12.594 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP). Das ¹⁴C-Matching der Datensätze wird wie folgt bewertet: Für den Skalenbereich 12.680 bis 12.590 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP als „gute Übereinstimmung“, für den Skalenbereich 12.560 bis 12.400 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP als „exzellente Übereinstimmung“ und für den restlichen Teil dagegen als „noch evident, aber nicht so gut wie im Intervall zuvor“.

Diese Brückenkonstruktion ist allerdings in mehrfacher Weise fragwürdig. Zur Konstruktion der HP-40-Chronologie gilt festzuhalten:

- Es werden mehrere Möglichkeiten der Ringbreiten-Synchronisation der vier tasmanischen Kiefern (SRT-783, SRT-779, SRT-781, SRT-782) genannt; da keine Ringbreiten-Korrelation ein eindeutiges Ergebnis erbrachte, haben sich die Autoren von den ¹⁴C-Werten leiten lassen. Das heißt, dass ein ¹⁴C-Wiggle-Matching bereits bei der Ringbreiten-Korrelation führend (bestimmend) war.¹³⁹ Das ¹⁴C-Wiggle-Matching-Resultat „gut übereinstimmend“ (qualitativ, Beschreibung zu ihrer Fig. 2) wird nicht quantifiziert.
- Es werden keine Ähnlichkeitswerte, beispielsweise *t*-Werte, geliefert; die Jahrringbreiten-Reihen werden zwar als Kurven graphisch dargestellt (ihre Fig. 2a), eine visuelle Beurteilung ist allerdings nicht möglich.
- Die Rohdaten (Jahrringbreiten-Reihen) werden nicht publiziert; die Möglichkeiten der Ringbreiten-Synchronisation können nicht dupliziert werden.

¹³⁶ Das Material stammt – KROMER et al. (2004) zufolge – aus Schottern der Donau und ihrer Zuflüsse und Reichwalde (Süd- und Ostdeutschland) sowie Dätttau (Schweiz).

¹³⁷ Unter Verwendung der Programms OxCal (BRONK RAMSEY 2001, BRONK RAMSEY et al. 2001).

¹³⁸ Basis hierfür ist ihre Table S1: 30 ¹⁴C-Bestimmungen kompiliert von 4 Bäumen der Chronologie YD-B (G27, G102, G34, KW30). Die Chronologie YD-B setzt sich zusammen aus 7 Jahrringreihen: B200, G27, G34, G102, G22, KW30 und KW31. KW30/31 bilden die ältesten Jahrringreihen der Hohenheim-Kiefernchronologie, Stand 2004 (FRIEDRICH et al. 2004), mit Dendro-Startjahr 12.410 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP.

¹³⁹ „With only 4 logs currently available there is limited replication, and ring-width correlations alone did not uniquely cross-match and link the 4 logs together. High-precision AMS radiocarbon measurements were applied to select the best match based on ¹⁴C wiggle matching using the OxCal program (version 3.10) (Bronk Ramsey, 2001; Bronk Ramsey et al., 2001)“ (HUA et al. 2009, 2983f).

- Die 137 ^{14}C -Bestimmungen des tasmanischen Probenmaterials erfolgten ausschließlich in einem Laboratorium (ANSTO, Australien). Die ^{14}C -Variation, interpretiert als Wiggles, ist durch ^{14}C -Bestimmungen in einem zweiten Labor – Stand der Publikation – nicht bestätigt (vgl. DAMON 1995).

Zur Chronologie-Synchronisation:

- Die Korrelationsmethode des ^{14}C -Wiggle-Matchings setzt voraus, dass die ^{14}C -Konzentration und die Kohlenstoffisotopenverhältnisse an jedem Ort und zu jeder Zeit identisch war; für den hier diskutierten Dendro-Skalenbereich liegt ein Nachweis darüber nicht vor. Die Autoren berücksichtigen zwar einen Hemisphären-Versatz von durchschnittlich -40 Dendrojahren (markiert durch „HP-40“), aber diesen leiten sie hauptsächlich von Hemisphären-Vergleichen des letzten Jahrtausends ab (z. B. McCORMAC et al. 2002: durchschnittlich 41 ± 14 Jahre für die letzten 1000 Jahre).
- Die bis dato ausgewiesenen Wiggles im diskutierten Dendro-Skalenbereich haben keine eindeutigen Merkmale (einmalige „ ^{14}C -Muster“); dadurch können im Falle eines ^{14}C -Wiggle-Matching-Versuchs einerseits mehrere vermeintliche Lösungen vorliegen und andererseits alle vermeintlichen Lösungen falsch sein.

5.8 Externe Replikation: Referenzbeispiele

5.8.1 Borstenkiefernchronologien – LAMARCHE & HARLAN (1973)

LAMARCHE & HARLAN (1973) vergleichen ihre nach eigenen Angaben „unabhängig entwickelte“ Campito-Chronologie mit der Methuselah-Chronologie von FERGUSON (1969) (s. Abschnitt 5.3.1, kalifornische Borstenkiefernchronologie). Beide Borstenkiefern-Probenlokalitäten, Campito Mountain und Methuselah Walk, befinden sich in den White Mountains (Kalifornien) und sind nur etwa 16 km voneinander entfernt. Die konstruierte, zusammengesetzte Campito-Chronologie ist 5403 Dendrojahre lang und umfasst den Skalenbereich 3433 BC bis AD 1970 (Tab. 24).

Baumring-chronologie	Lokalität (White Mountains, Kalifornien)	Länge [Dendrojahre]	Dendro-Zeitskala	
			Start	Ende
Methuselah	Methuselah Walk	7104	5141 BC	AD 1962
Campito	Campito-Mountain, 16 km N Methuselah Walk	5403	3433 BC	AD 1970

Tab. 24 Lange Baumringchronologien der White Mountains, Kalifornien. Zusammengestellt nach LAMARCHE & HARLAN (1973).

Die Kreuzkorrelationsanalyse – Campito-Chronologie vs. Methuselah-Chronologie – erfolgte segmentiert durch Abgleich von 100-Jahringintervallen des jeweils gleichen Skalenbereichs über insgesamt 5300 Dendrojahre (53 Segmente); zuvor waren die zwei Jahringbreiten-Mittelwertreihen durch einen Hochpassfilter mit einer 13-Punkte-Gewichtung aufberei-

tet worden.¹⁴⁰ Die Werte der 53 ermittelten Korrelationskoeffizienten liegen in einem Korridor zwischen 0,4 und 0,8 (LAMARCHE & HARLAN 1973, ihre Fig. 7).

LAMARCHE & HARLAN (1973) beurteilen die Übereinstimmung der Chronologien als „nahezu perfekt“ und schließen, dass die Anwendung „dendrochronologischer Techniken auf die Borstenkiefer hoch-reproduzierbare Ergebnisse liefert“.^{141,142}

Die Campito-Probenkollektionen bestehen aus 1) lebenden Bäumen und 2) abgestorbenen, umherliegenden Baumstämmen bzw. Baumstammresten. Für die Probenkollektion 1 („sample 1“) – 81 Reihen (Radien) von 37 Bäumen – ist das Bezugsjahr das bekannte Jahr 1970 (die Sammlung fand im August 1971 statt); die Jahrringabfolge dieser Kollektion reicht bis AD 600 zurück. Für die Probenkollektion 2 gibt es kein bekanntes Bezugsjahr; die Datierung erfolgte „mit Baumring-Methoden“ mit Verweis auf STOKES & SMILEY (1968).¹⁴³ Zur Datierung der einzelnen Jahrringabfolgen und zur Konstruktion der Chronologie werden keine Daten geliefert. Das Datierungsergebnis wird als Balkendiagramm präsentiert (LAMARCHE & HARLAN 1973, ihre Fig. 2): Untereinander abgetragen die Zeitspannen von 118 Jahrringabfolgen (von 51 Bäumen); insgesamt wird der Skalenabschnitt von 3433 BC bis ca. AD 1800 belegt.

Hinsichtlich einer „unabhängigen Entwicklung“ sind folgende Punkte festzuhalten:

- Es werden keine Daten zur Datierung der Probenkollektion 2 geliefert (insbesondere Ähnlichkeitswerte) und damit zur Konstruktion des langen Teils der Chronologie; es wird lediglich allgemein die Anwendung der Technik der Kreuzdatierung geltend gemacht.
- Es wird nicht beschrieben, wie die mutmaßlich fehlenden Ringe identifiziert wurden.¹⁴⁴ Für zwei Fälle wird gezeigt, dass ein fehlender Ring durch Abgleich mit der Methuselah-Chronologie erkannt worden sei (Ring 5859 M und 5320 M; ihre Fig. 6).
- Zum Problem der Wuchsform der Borstenkiefer und zur Identifizierung des Jahrringprofils werden keine Informationen gegeben.
- Zur Konstruktion der Methuselah-Chronologie (FERGUSON 1969) sind ¹⁴C-Vordatierungen vorgenommen worden (s. Abschnitt 5.4.4); es ist deshalb anzunehmen, dass für die Konstruktion der Campito-Chronologie ebenfalls direkt oder indirekt

¹⁴⁰ Es handelt sich wahrscheinlich um die von FRITTS (1976, 270) dargestellte Technik und Gewichtung (seine Table 6.III).

¹⁴¹ „The nearly perfect agreement between the independently developed chronologies shows that dendrochronological techniques give highly reproducible results upon their application to bristlecone pine“ (LAMARCHE & HARLAN 1973, 8856).

¹⁴² BAILLIE (1991, 15) verwendet in diesem Fall neben Replikation auch den Begriff „duplizieren“: „LaMarche and Harlan's (1973) upper tree-line bristlecone pine chronology which duplicates the last five millennia of the original Ferguson chronology.“

¹⁴³ „Subsample 2 consists of (...). The remains of 94 dead trees were identified in the transect, and wood from 70 trees was dated in whole or in part by tree ring methods (Stokes and Smiley, 1968)“ (LAMARCHE & HARLAN 1973, 8849).

¹⁴⁴ Die Anzahl der betroffenen Jahrringabfolgen und die Streubreite der Häufigkeit werden nicht geradeaus genannt, sondern „umgekehrt“ ausgedrückt als Fallgröße bezogen auf die Gesamtlänge der Chronologie: 164 der 5403 Dendrojahre (zutreffend auf eine oder mehrere beprobte Jahrringabfolgen).

radiometrische „Ankerpunkte“ verwendet wurden. Hierzu werden keine Aussagen gemacht.

- Die ausgewiesenen r -Werte des Chronologien-Vergleichs von $\geq 0,6$ (bis 0,8) sind – bezogen auf die zwei Standorte – auffallend hoch. Später ergänzt LAMARCHE (1974, 1044), dass die Korrelation der beiden Chronologien stark von der betrachteten Frequenz abhängig sei. Die Kreuzkorrelation werde verbessert, indem die niedrigen Frequenzen durch „Prewhitening“ mit einem Hochpassfilter beseitigt würden. Werden alle Frequenzen berücksichtigt, betrage der durchschnittliche r -Wert nur ungefähr 0,4 (anstelle 0,6).¹⁴⁵
- LAMARCHE, HARLAN und FERGUSON sind zum Zeitpunkt der Entstehung der Chronologien Mitarbeiter des gleichen Laboratoriums, *Laboratory of Tree-Ring Research* (Tucson, Arizona).
- Die Konstruktion der Campito-Chronologie erfolgte in einem sehr kurzen Zeitraum: maximal zwischen September 1971 und Mai 1973 (Eingang des Manuskripts am 8. Juni 1973).
- Die Erstellung der Campito-Chronologie ist offenbar zielgerichtet durchgeführt worden: Um die „Genauigkeit der Borstenkiefern-Baumringdatierung für die Kalibration der Radiokarbon-Zeitskala“¹⁴⁶ (Titel des Artikels) aufzuzeigen bzw. zu untermauern. Insbesondere für den Skalenbereich vor etwa 2000 BC waren, bezogen auf die Borstenkiefernproben, zuvor „große Diskrepanzen zwischen dendrochronologischen Alter und Radiokarbon-Alter beobachtet“ worden.¹⁴⁷
- Es gibt keine weiteren Publikationen zum langen Teil der Campito-Chronologie; mit dem „Aufzeigen“ einer „Reproduzierbarkeit“ war wohl der alleinige Zweck erfüllt.

Fazit: LAMARCHE & HARLAN (1973) belegen eine unabhängige Konstruktion der Campito-Chronologie nicht. Folglich ist eine Reproduzierbarkeit der Methuselah-Chronologie (FERGUSON 1969) durch die Campito-Chronologie im Sinne einer unabhängigen Verifikation nicht gegeben (Skalenbereich 3433 BC bis < AD 600, Probenkollektiv 2). Demnach liegt keine externe (tertiäre) Replikation vor.

5.8.2 Baumringchronologie für Westeuropa – PILCHER et al. (1984)

PILCHER et al. (1984) vermelden als ein Ergebnis der Konstruktion einer 7272 [Dendro-] Jahre umfassenden Baumringchronologie für Westeuropa: „(...) es ist möglich zu behaupten, dass

¹⁴⁵ „For example, cross-correlation analysis of 53 consecutive 100-year segments of the two series after such filtering yields highly significant cross-correlation coefficients, averaging about 0.6, whereas the correlation is only about 0.4 when all frequencies are considered“ (LAMARCHE 1974, 1044).

¹⁴⁶ „Accuracy of Tree Ring Dating of Bristlecone Pine for Calibration of the Radiocarbon Time Scale“.

¹⁴⁷ „Tree ring dates of bristlecone pine are accurate and are reproducible with high precision. Therefore the large discrepancies observed between dendrochronological and radiocarbon ages of bristlecone pine wood samples, especially prior to about 2000 B. C., cannot be explained by major systematic errors in tree ring dating“ (LAMARCHE & HARLAN 1973, 8857).

ein vollständig replizierter europäischer Chronologie-Komplex zurück bis in das dritte vorchristliche Jahrtausend existiert.“^{148,149}

Die gemeinsame Initiative der Laboratorien von Belfast, Köln und Hohenheim soll insbesondere der finalen Positionierung und Datierung der irischen Sequenz durch Überbrückung einer Dendro-Lücke im Skalenbereich zwischen ca. 200 BC und 13 BC gegolten haben. Demnach basiert die Konstruktion der Westeuropa-Chronologie auf Synchronisationen der Belfast-Teilchronologien bzw. einer vorläufigen Belfast-Chronologie (Stand BAILLIE et al. 1983) mit den Chronologien bzw. Teilchronologien von Nord-, West- und Süddeutschland.

SCHMIDT & FREUNDLICH (1984) stellen zunächst den Vergleich zwischen der norddeutschen¹⁵⁰ und der irischen Chronologie für den „gesamten Zeitraum von 2000 bis 1000 v. Chr.“ heraus: Die Übereinstimmungen waren „über alle Erwartungen gut“ und es konnte „eine sichere Synchronisierung der norddeutschen und irischen Chronologien erreicht werden.“ Unklar allerdings ist, welche der beiden Chronologien als „absolut-datiert“ galt und führend war. Basierend auf BAILLIE et al. (1983) und SCHMIDT & SCHWABEDISSEN (1982) müsste es sich um die Norddeutschland-Chronologie gehandelt haben. BAILLIE (1995, 36) aber reklamiert, dass zum Zeitpunkt des Vergleichs die Belfast-Chronologie bereits „technisch abgeschlossen“ gewesen sei (Startjahr Belfast Long: Skalenpunkt 5289 BC, Endjahr Gary Bog 2: Skalenpunkt 229 BC). Wie auch immer, mit der Positionierung und Datierung des „schwimmenden“ irischen Teils wird das Endjahr bei Skalenpunkt 229 BC verankert. Dies wird als Bestätigung für die zuvor vorgenommene Brückenkonstruktion angesehen, wonach die englischen Teilchronologien Southwalk und Carlisle sowie Navan und Dorsey (PILCHER et al. 1984, seine Fig. 2) die irische Dendro-Lücke zwischen 229 BC und 13 BC fixierten.

Auf dieser Grundlage sind – um eine Synchronisierung auch in der Mitte des ersten vorchristlichen Jahrtausends darstellen zu können – die drei deutschen Chronologien bei ca. 546 BC (nach SCHMIDT & FREUNDLICH 1984) bzw. 550 BC (nach PILCHER et al. 1984) jeweils „gebrochen“ und die ehemals verknüpften Teilchronologien um 71 Dendrojahre voneinander weg positioniert worden. Maßgeblich war die von BAILLIE (1983) vorgeschlagene und in der Folge akzeptierte Neupositionierung bzw. Neudatierung der Teilchronologie Kirnsulzbach der Westdeutschland-Chronologie (691–443 BC nach HOLLSTEIN 1980¹⁵¹) (vgl. Abschnitt 5.6).

¹⁴⁸ „As these correlations are maintained across the weak links at 550 BC and 250 BC, it is possible to claim that a fully replicated European chronology complex exists back to the third millennium BC“ (PILCHER et al. 1984, 152).

¹⁴⁹ Co-Autor ist B. BECKER; er berichtete zuvor von keinen Übereinstimmungen (1982, 4): „Während ein Austausch des Hohenheimer Kurvenmaterials mit demjenigen der Kollegen Prof. PILCHER und Dr. G. L. M. BAILLIE vom Paleocology Laboratory der Queen’s University in Belfast bisher – offenbar infolge der zu großen Entfernung zwischen den Wuchsgebieten in West- und Mitteleuropa – leider keine gesicherte Übereinstimmung zeigt, (...)“

¹⁵⁰ BAILLIE (1995, 37) zu „der norddeutschen Chronologie“, die hier nicht näher bezeichnet bzw. definiert wird: „In reality each laboratory had many chronologies and sub-chronologies (...). However, the essence of the exercise was, that almost immediately Schmidt was able to demonstrate a long section of consistent cross-dating between one of his northern German chronologies and the Irish chronology.“

¹⁵¹ Ernst HOLLSTEIN hat offenbar nach 1980 seine Westdeutsche Eichenchronologie (hier auch: Westdeutschland-Chronologie) nicht weiter entwickelt (siehe Schriftenverzeichnis <http://dendrolabor.phil-fak.uni-koeln.de/8599.html?&L=0>, Zugriff 30. Juli 2018) oder einer Revision unterzogen. – HOLLSTEIN verstarb 1988.

Pos.	Vergleich		Endjahr Chrono- logie 1 (Dendro- Zeitskala)	Länge Chrono- logie 1 [Dendro- jahre]	Sequenz- länge (Korrela- tion)	t-Wert	diese Arbeit	
	Chronologie/ Zeitreihe 1	Chronologie/ Zeitreihe 2					Annahme Sequenz- länge (Korrelation)	r-Wert
	<u>direkt</u>							
1	Nordirland (Belfast Long)	Norddeutschland	949 BC	> 1000	1000	6,0	Übernahme 1000	0,19
	<u>Brückenelemente</u>							
2	Swan Carr (E)	BRD 9	381 BC	775	k. A.	4,1	160	0,31
3	Southwalk (E)	Westdeutschland	255 AD	507	k. A.	5,0	507	0,22
4	Southwalk (E)	Süddeutschland 2	255 AD	507	k. A.	7,5	507	0,32
5	BRD 9	Westdeutschland	ca. 220 BC	ca. 320	k. A.	8,9	220	< 0,52
	<u>interregional</u>							
6	Norddeutschland	Süddeutschland 1	ca. 650 BC	> 1350	k. A.	5,9	> 1350	< 0,16
7	Süddeutschland 2	BRD 9	> 500 AD	> 1050	k. A.	4,5	300	0,25
8	Westdeutschland	Süddeutschland 2	> 500 AD	? > 950	k. A.	9,4	> 950	< 0,29

Tab. 25 Irische und deutsche Eichenchronologien, Vergleich I.

Zusammengestellt aus PILCHER et al. (1984) und SCHMIDT & FREUNDLICH (1984), ausgewählte Vergleichsfälle. Die deutschen Chronologien sind nicht näher bezeichnet bzw. definiert. Süddeutschland 1, hier älterer Teil (Skalenbereich > 2000 BC bis ca. 550 BC); Süddeutschland 2, hier jüngerer Teil (Skalenbereich ≤ ca. 550 BC); (E), England.

Die GLK-Werte (Ausprägung 2) der Chronologie-Segment-Vergleiche Irland/Norddeutschland und Irland/Süddeutschland – 100-Dendrojahr-Sequenzen von synchronen und zueinander versetzten Lagen – werden nicht mitgeteilt; für den Skalenabschnitt 2000 BC bis AD 500 seien durchweg konsistente Werte gewonnen worden (Tab. 26, Pos. 6).

Pos.	Vergleich		Sequenz (Dendro-Zeitskala)	Länge [Dendrojahre]	GLK- Wert
	Chronologie/ Zeitreihe 1	Chronologie/ Zeitreihe 2			
1	Irland	Süddeutschland	? ca. 2800 BC bis AD 1900	4700	54,0%
2	Irland	Süddeutschland	k. A.	1582	56,1%
3	Irland	Norddeutschland 1	k. A.	k. A.	57,0%
4	Irland	Norddeutschland 2	k. A.	k. A.	56,8%
5	Irland	Norddeutschland 3	k. A.	k. A.	55,6%
6	Irland	Norddeutschland/ Süddeutschland	2000 BC bis AD 500	400er-Segmente; 100er-Versätze	konsis- tent

Tab. 26 Irische und deutsche Eichenchronologien, Vergleich II.

Zusammengestellt aus PILCHER et al. (1984).

Fazit: Mit den publizierten Informationen und Daten lässt sich der Vergleich der irischen und deutschen Chronologien nur unzureichend nachvollziehen; die präsentierten t-Werte und GLK-Werte werden nicht durch Daten belegt. Insbesondere für den langen Teil der Chronologie (älter als Skalenpunkt 550 BC) zeigen die t-Werte in Verbindung mit den niedrigen r-Werten sowie die niedrigen GLK-Werte von < 60 % keine signifikante Korrelationen an.

Die Chronologien sind aufeinander synchronisiert und in Abhängigkeit gestellt worden: die „Baumringchronologie für Westeuropa“. Eine externe (tertiäre) Replikation kann – wie von PILCHER et al. (1984) behauptet – nicht geltend gemacht werden. BAILLIE (1991, 1995)

schränkt die Abhängigkeit auf den Skalenabschnitt um 500 BC ein; (nur) dort sei der gesamte „Stuttgart/Köln/Belfast-Chronologie-Komplex“ von der irischen Chronologie abhängig.¹⁵³

5.8.3 Belfast-Göttingen-Vergleich – BROWN et al. (1986)

BROWN et al. (1986) berichten von einem Vergleich der Göttingen-Chronologie mit der Belfast-Chronologie. Nach LEUSCHNER & DELORME (1984) umfasst die Göttinger Eichenjarringchronologie 4793 [Dendro-] Jahre; sie reicht von Skalenpunkt 4008 BC bis Skalenpunkt AD 785 und ist an ihrem jüngeren Ende „durch Hollsteins Westdeutsche Eichenchronologie jahrgenau fixiert“ (S. 5).¹⁵⁴ Die Chronologie ist durch Verknüpfung von mehreren, zuvor ¹⁴C-datierten¹⁵⁵ Teilchronologien gebildet worden (vgl. Abschnitt 5.4.5). Das Material, subfossile Eichenstämme, stammt überwiegend aus Schotterkörpern von Main und Fulda.

BROWN et al. (1986) zufolge sind bei dem Vergleich der Chronologien¹⁵⁶ in jedem Fall „signifikante Korrelationswerte“ gefunden worden, die die zuvor durchgeführte präzise Datierung der Teilchronologien der Belfast-Chronologie inklusive eines Überbrückungselements bestätigt habe. Sie werten diese Resultate als „externe Evidenz“¹⁵⁷ für die Richtigkeit der europäischen Chronologie (PILCHER et al. 1984, Abschnitt 5.8.2). Die einzelnen Vergleichsfälle sind in Tab. 27 zusammengestellt; nach BROWN et al. (1986, Figs. 1 und 2) betreffen die Korrelationsanalysen etwa den Skalenbereich 4200 BC bis 200 BC.

Als „signifikante Korrelationswerte“ bezeichnen BROWN et al. (1986) wohl *t*-Werte deutlich > 3,0 (vgl. Abschnitt 5.4.3). Von der Durchführung visueller Vergleiche wird nicht berichtet. Es wird nicht mitgeteilt, wie die *t*-Werte ermittelt wurden, insbesondere nicht die Länge der korrelierten Zeitreihen-Sequenzen, und in welcher Weise gegebenenfalls die Zeitreihen vorbearbeitet wurden. Die *t*-Werte werden maßgeblich von der Länge der korrelierten Sequen-

¹⁵³ „However, a lingering problem was that a section of the overall chronology was now without tertiary replication. At 500 BC the whole Stuttgart/Köln/Belfast chronology complex depended only on the Irish chronology. Had that situation remained static it would have been a continuing source of concern. For something of such fundamental chronological importance, full tertiary replication was essential“ (BAILLIE 1995, 39).

¹⁵⁴ Zuvor – Stand 1983 – umfasste die Auwaldeichenchronologie „die Jahre 1187 BC bis 795 AD“ (DELORME & LEUSCHNER 1983, 51).

¹⁵⁵ Dass diese Teilchronologien ¹⁴C-vordatiert waren, lässt sich aus Abb. 4 in LEUSCHNER & DELORME (1984) ableiten. Diese zeigt die Chronologie-Situation nach Verlängerung der Göttingen-Eichenchronologie (Startjahr nun Skalenpunkt 4008 BC). Zahlreiche schwimmende Chronologien sind der Göttinger „Absolutchronologie“ zeitlich vorgelagert; ihre relative Position auf der Zeitskala bestimmt sich nach dem konventionellen ¹⁴C-Alter (hier ca. 8500-5500 konventionelle ¹⁴C-Jahre BP). Ebenso muss sich die Situation vor Verlängerung der Göttingen-Chronologie dargestellt haben; die nunmehr verknüpften Teilchronologien müssen ebenfalls durch konventionelle ¹⁴C-Alter vorpositioniert gewesen sein. – Dies wird durch LEUSCHNER & DELORME (1988, 124) bestätigt: „On this basis radiocarbon-dated floating chronologies which were built up using South German river Oaks were integrated into a chronology stretching from 931 A.D. back to 4008 B.C. (Leuschner and Delorme, 1984).“

¹⁵⁶ Im Frühjahr 1985 stellten A. DELORME und H.-H. LEUSCHNER vom Institut für Forstnutzung der Universität Göttingen D. BROWN et al. eine „kontinuierliche deutsche Chronologie“ von 4163 BC bis AD 928 zur Verfügung (BROWN et al. 1986, 281). Unklar ist, ob es sich um eine einzige Zeitreihe oder mehrere Zeitreihen gehandelt hat. – Demnach umfasst die Göttingen-Chronologie – Stand 1985 – 5091 Dendrojahre.

¹⁵⁷ Zwischenüberschrift S. 281: „The External Evidence“ (BROWN et al. 1986).

zen (Überlappung) bestimmt; der Verfasser hat bestimmte Sequenzlängen angenommen und die zugrunde liegenden r -Werte berechnet. Die r -Werte sind mit Ausnahme einer Position $< 0,3$ (Tab. 27, Pos. 6). Solche r -Werte ($< 0,3$) können bezogen auf das Signal-Rausch-Verhältnis (Zeitreihenvergleich) noch das Rauschen repräsentieren (vgl. Tab. 32); sie lassen für unterschiedliche Interpretationen viel Spielraum.

Pos.	Vergleich		Endjahr Chronologie 1 (Dendro-Zeitskala)	Länge Chronologie 1 [Dendro-jahre]	Sequenzlänge/Überlappung (Korrelation)	t -Wert	diese Arbeit	
	Chronologie/Zeitreihe 1	Chronologie/Zeitreihe 2					Annahme Sequenzlänge/Überlappung (Korrelation)	r -Wert
	<u>direkt</u>							
1	Belfast Long	Göttingen	949 BC	4341	k. A.	8,80	1000	0,27
2	Göttingen	Belfast Long	AD 928	5091	k. A.	8,80	3000	0,16
3	Garry Bog 2	Göttingen	229 BC	719	k. A.	3,59	719	0,13
	<u>Brückenelement</u>							
4	Swan Carr (E)	Göttingen	381 BC	775	k. A.	8,45	775	0,29
	<u>indirekt (Zwischenelemente)</u>							
5	East Anglia (E)	Göttingen	2661 BC	509	k. A.	6,19	509	0,27
6	NEO 10 WJ (K)	Göttingen	ca. 3800 BC	ca. 300	k. A.	6,21	300	0,34
7	Belfast Long	East Anglia (E)	949 BC	4341	k. A.	4,04	509	0,18
8	Belfast Long	NEO 10 WJ (K)	949 BC	4341	k. A.	4,08	300	0,23

Tab. 27 Belfast-Göttingen-Vergleich I.

Zusammengestellt aus BROWN et al. (1986), insbesondere ihre Fig. 2. Nach dieser Fig. 2 beträgt die maximale Überlappung für den Vergleich Belfast Long/Göttingen (Pos. 1 und 2) etwa 3200 Dendrojahren (etwa Skalenpunkt 4200 BC bis 1000 BC); für die Ermittlung des r -Wertes werden Überlappungen von 1000 und 3000 Dendrojahren gerechnet. (E), englische Chronologie; (K), norddeutsche (schwimmende ?) Chronologie (Schleswig-Holstein) des Kölner Laboratoriums. Zu den Vergleichsfällen geben BROWN et al. (1986) Irrtumswahrscheinlichkeiten an, für die hier aufgeführten Pos. 1–2 und 4–6 von $\leq 0,001$. Diese Irrtumswahrscheinlichkeit bezieht sich auf eine Ausreißerstatistik: „(...) significance probabilities, P , calculated by using an outlier statistic (Barnett & Lewis, 1978, p 106) to compare the highest t value to the empirical distribution of t values from the other relative positions of the two chronologies: * means P is between 0.05 and 0.01, *** means P is less than or equal to 0.001“ (BROWN et al. 1986, Erklärung zu ihren Figs. 1 und 2). Die Berechnung und Darstellung solch einer Irrtumswahrscheinlichkeit hat sich nicht durchgesetzt; die Aussagekraft bezogen auf den „nicht strengen statistischen t -Test“ ist sehr fraglich. Diskussion des Vergleichs siehe Textteil.

Der Vollzug einer erfolgreichen externen Replikation wird von den Beteiligten an anderer Stelle bekräftigt. So sind LEUSCHNER & DELORME (1988, 124) zufolge die „unabhängig entwickelten“ Chronologien durch eine „bemerkenswerte enge Korrelation ($t = 8$)“ gekennzeichnet; deshalb würden sich die Chronologien gegenseitig bestätigen.^{158,159} BAILLIE (1991, 19)¹⁶⁰ re-

¹⁵⁸ „Starting in 1984 we exchanged data with Bailey and Pilcher from Ireland. The chronologies, which have been worked out absolute independently, indicate remarkably close correlation ($t = 8$) and thus confirmed each other“ (LEUSCHNER & DELORME 1988, 124).

¹⁵⁹ Hier fehlt ein Verweis auf BROWN et al. (1986). Offenbar haben LEUSCHNER & DELORME keine eigenen Korrelationsanalysen durchgeführt – trotz Datenaustauschs (s. Fußnote 158). Insofern bestätigen sie auch nicht die Ergebnisse von BROWN et al. (1986). Andererseits haben LEUSCHNER & DELORME (1988, 124) mithilfe der irischen Chronologie eine ältere, schwimmende Chronologie „absolut-datiert“ und ihre norddeutsche Mooreichenchronologie zurück auf 5543 BC erweitert. Hierzu werden keine weiteren Daten mitgeteilt.

¹⁶⁰ BAILLIE (1991, 18): „(...) that these two independent chronologies were in exact year-by-year synchronisation.“

sümiert, dass es über die ganze europäische Eichenchronologie hinweg keinen Punkt gibt, der nicht durch eine Replikation auf tertiärer Ebene unterstützt werde.¹⁶¹

Zum Belfast-Göttingen-Vergleich vermeldet LEUSCHNER (1992) für die [Dendro-] Periode 4200 BC bis AD 900 einen *t*-Wert von ungefähr 10. Da er explizit bis AD 900 aufführt, handelt es sich offenbar nicht um einen der von BROWN et al. (1986) publizierten Vergleichsfälle (vgl. Tab. 27), sondern um einen zusätzlichen Fall. Wird die Gesamtlänge von 5100 Dendrojahren zugrunde gelegt, beträgt der rückgerechnete *r*-Wert ungefähr 0,14 (Tab. 28).

Vergleich		Endjahr Chrono- logie 1 (Dendro- Zeitskala)	Länge Chrono- logie 1 [Dendro- jahre]	Sequenz- länge/ Überlappung (Korrelation)	<i>t</i> -Wert	diese Arbeit	
Chronologie/ Zeitreihe 1	Chronologie/ Zeitreihe 2					Annahme Sequenzlänge/ Überlappung (Korrelation)	<i>r</i> -Wert
<u>direkt</u>							
Belfast	Göttingen	900 AD (abgeschnitten)	5100 (bei 4200 BC abgeschnitten)	5100	~ 10	5100	~ 0,14

Tab. 28 Belfast-Göttingen-Vergleich II.

Zusammengestellt aus LEUSCHNER (1992). „Belfast“ meint hier die gesamte irische Eichenchronologie und schließt den Teil „Belfast long“ ab Skalenpunkt 4200 BC ein (vgl. Tab. 27).

Des Weiteren ist die Göttinger Eichenchronologie keine unabhängige Chronologie. Sie reicht nicht ununterbrochen bis zur Gegenwart und ist mehrfach mit der Hohenheim-Eichenchronologie abgestimmt worden (s. Abschnitt 5.8.4).

Fazit: Mit den von BROWN et al. (1986) publizierten Informationen und Daten lässt sich der Vergleich irischer, englischer und deutschen Chronologien nur unzureichend nachvollziehen. Die Ähnlichkeitswerte des Chronologievergleichs Belfast/Göttingen sind – entgegen der Beurteilungen der Bearbeiter – nicht signifikant. Im Lichte der niedrigen *r*-Werte (< 0,3; vgl. Abb. 15 und Abschnitt 5.4.3) sind die korrespondierenden (ausgewiesenen) *t*-Werte (3,6 bis 8,8) nicht aussagekräftig. Demzufolge liegt hier kein Fall einer externen Replikation vor. Belfast- und Göttingen-Chronologie bestätigen sich nicht gegenseitig.

5.8.4 Hohenheim-Göttingen-Vergleich – SPURK et al. (1998)

SPURK et al. (1998) legen eine Teilrevision der Hohenheim-Chronologie dar. Diese basiert auf einen Vergleich der süddeutschen Eichenchronologien der Laboratorien von Hohenheim und Göttingen. Als ein Ergebnis vermelden sie (vgl. Tab. 29): „Beide langen Eichenchronologien

¹⁶¹ „In summary, throughout the European oak chronology there is no point which is not supported by tertiary-level replication. The two bristlecone pine chronologies, constructed by different workers on independent material, are equally replicated. Since the oak chronologies tell the same story as the bristlecone pine chronologies, no-one in the scientific community has any doubt about the entire tree-ring system“ BAILLIE (1991, 19).

von Deutschland bestätigen sich nun, zum ersten Mal, wechselseitig zurück bis 7736 BC (9685 BP).¹⁶²

SPURK et al. (1998) zufolge hat der Vergleich für den Skalenbereich vor 5242 BC einen Versatz der Hohenheim-Chronologie um 41 Dendrojahre in Richtung zur Vergangenheit aufgezeigt. Zur Schließung der Dendro-Lücke zwischen den Skalenpunkten 5242 BC und 5283 BC ist dann die Hohenheim-Chronologie (Stand: BECKER 1993) für den Skalenbereich vor 5100 BC „unabhängig von der Göttingen-Chronologie“ neu aufgebaut worden. Dafür sind zwei Proben (Sand 29 und Sand 23) neu vermessen und neue, zuvor undatierte Baumabschnitte, die die fehlenden Dendrojahre abdecken (sollen), verwendet worden. Dies resultierte schließlich „in einer perfekten Ringbreiten-Synchronisation der Hohenheim- mit der Göttingen-Eichenchronologie zurück bis zum Ende der Göttingen-Chronologie bei 7197 BC (9147 BP) (Leuschner 1992) (Fig. 1).“

Eichen- chronologie	Dendro-Zeitskala		Länge [Dendrojahre]	Bemerkung
	Start	Ende		
<u>vor Verlängerung</u>				
Göttingen	7197 BC	931 AD		Dendro-Lücke zwischen 4221 BC und 4008 BC
Hohenheim	8021 BC	Gegenwart	9970	
<u>nach Verlängerung</u>				
Göttingen	7736 BC	931 AD		Dendro-Lücke zwischen 4221 BC und 4008 BC
Hohenheim	8480 BC	Gegenwart	10429	

Tab. 29 Süddeutsche Eichenchronologien.

Stand der süddeutschen Eichenchronologien der Laboratorien Göttingen und Hohenheim vor und nach Verlängerung. Zusammengestellt aus LEUSCHNER (1992), BECKER (1993) und SPURK et al. (1998).

Der Vergleich hat des Weiteren zu einer Erweiterung beider Chronologien geführt. Einerseits ist eine 578 Dendrojahre umfassende, schwimmende Sequenz der Göttingen-Chronologie auf den Skalenbereich vor 7197 BC der Hohenheim-Chronologie (nach Revision) synchronisiert worden; sie wird als „perfekte Synchronisation“ qualifiziert¹⁶³. Mit dieser Überbrückung reicht die Göttingen-Chronologie bis Skalenpunkt 7736 BC zurück. Andererseits ist die älteste Teilchronologie der Hohenheim-Chronologie um 54 Dendrojahre in Richtung Vergangenheit versetzt, durch neue Baumabschnitte überbrückt und durch Verknüpfung der Teilchronologien Rhein 9a/9b verlängert worden; mit dieser Anknüpfung reicht die Erweiterung der Hohenheim-Chronologie bis Skalenpunkt 8480 BC zurück.

Insgesamt fällt auf, dass die „perfekte Synchronisation“ der beiden süddeutschen Chronologien von Hohenheim und Göttingen nur für einen verhältnismäßig sehr kleinen Ausschnitt von 150 Dendrojahren durch Ähnlichkeitswerte und Jahrringbreiten-Kurven (visuell) belegt wird. Es gilt festzuhalten:

Für den Skalenbereich 7736 BC bis mindestens 5100 BC:

¹⁶² „Both long oak chronologies from Germany are now, for the first time, mutually corroborative back to 7736 BC (9685 BP)” (SPURK et al. 1998, 1108).

¹⁶³ „The pre-7197 BC part of the Hohenheim chronology also displays perfect synchronization to a 578-yr-long floating sequence in the Göttingen chronology” (SPURK et al. 1998, 1108).

- Der Begriff „perfekt“ wird nicht definiert.

Für den Skalenbereich 5350–5200 BC (SPURK et al. 1998, ihre Fig. 1; Tab. 30):

- Die Vorher-Nachher-Darstellung (ihre Fig. 1) soll eine Erhöhung des Ähnlichkeitsgrades der Jahrringbreiten-Zeitreihen – dargestellt als Kurven – beider Chronologien aufzeigen: Für den Skalenbereich 5350–5242 BC ist dies erkennbar deutlich, für den Skalenbereich 5242–5200 BC dagegen nur für einen kleinen Abschnitt.
- Die Werte für GLK und t nach der Korrektur liegen deutlich über den Schwellenwerten; entsprechende Vergleichswerte für die Situation vor der Korrektur werden nicht mitgeteilt.
- Hohenheim-Chronologie intern: Es werden keine Werte für GLK und t für die jeweils einbezogenen Jahrringfolgen geliefert (vor und nach der Korrektur).

Für den Skalenbereich 7197 BC bis ca. 5100 BC bis (ausgenommen Skalenbereich 5350–5200 BC, s. o.):

- Es werden keine GLK- und t -Werte geliefert.

Für Skalenbereich nach ca. 5100 BC:

- Die Vergleichsperiode ist unklar, der Skalenendpunkt in Richtung zur Gegenwart wird nicht genannt; nach LEUSCHNER (1992) endet der ältere Teil der „absolut-datierten“ Göttinger Eichenchronologie bei Skalenpunkt 4221 BC.

Für Skalenbereich 7736–7197 BC (Erweiterung Göttingen-Chronologie):

- Es werden keine GLK- und t -Werte geliefert.

Vergleich		Status	Sequenz		GLK-Wert	t -Wert
Chronologie/ Zeitreihe 1	Chronologie/ Zeitreihe 2		Dendro-Zeitskala	Länge [Dendrojahre]		
Hohenheim	Göttingen	vor Korrektur	? ca. 5350-5200 BC	? ca. 150	k. A.	k. A.
Hohenheim	Göttingen	nach Korrektur	? ca. 5350-5200 BC	? ca. 150	77,9%	8,2

Tab. 30 Hohenheim-Göttingen-Vergleich.

Daten aus SPURK et al. (1998), ihre Fig. 1 und zugehörige Beschreibung. Unklar ist die Länge der Sequenz, auf welche sich die ausgewiesenen Ähnlichkeitswerte GLK und t beziehen: auf die ca. 150 Dendrojahre der Fig. 1 oder eine längere Sequenz, die die Sequenz des abgebildeten Teils inkludiert. Das „?“ bezieht sich auf diesen Sachverhalt. Der Verfasser geht von Ersterem aus. Des Weiteren wird ein „ t -value_{Baillie} = 82.0“ ausgewiesen; der Verfasser geht von einem Tippfehler aus und hat den t -Wert auf 8,2 korrigiert.

Die süddeutschen Eichenchronologien von Hohenheim und Göttingen sind nicht unabhängig voneinander konstruiert worden. SPURK et al. (1998) formulieren zum Stand vor dem Vergleich: „Die Chronologien sind in den meisten Teilen voneinander unabhängig aufgebaut worden.“¹⁶⁴ Bei DELORME & LEUSCHNER (1983, 45) heißt es: „Die in beiden Labors erarbeiteten Jahrringchronologien wurden in der Folge ausgetauscht und haben die Arbeitsfortschritte in Göttingen und Hohenheim wesentlich beschleunigt.“ Und mit den von SPURK et al. (1998)

¹⁶⁴ „The chronologies were established independently of one another in most parts“ (SPURK et al. 1998, 1107).

berichteten Korrekturen und Erweiterungen sind erneut Teile beider Chronologien miteinander synchronisiert und in Abhängigkeit gesetzt worden.

Fazit: Die „perfekte Synchronisation“ der süddeutschen Eichenchronologien von Hohenheim und Göttingen für den Skalenbereich 7736 bis 5100 BC kann mit den publizierten Information und Daten nicht nachvollzogen werden. Die während den Konstruktionsphasen mehrmalig durchgeführten Abstimmungen und Synchronisationen können nicht als externe Replikation geltend gemacht werden. Abhängige Baumringchronologien können sich nicht gegenseitig validieren (bestätigen). Insofern ist die Aussage von SPURK et al. (1998) irrelevant.

5.9 Zusammenfassende Feststellungen

5.9.1 Zu den Anforderungen an dendrokalibrierte Rohdatensätze

Es ist bemerkenswert, dass erst mit REIMER et al. (2013b) konkrete methodische Anforderungen an dendrokalibrierte Rohdatensätze und im weiteren an die zugrundeliegenden langen Baumringchronologien – z. T. Jahrzehnte nach ihrer Fertigstellung – gestellt werden (Abschnitt 5.2.4). Zu einzelnen Punkten wird festgestellt:

Externe Validierung bzw. tertiäre Replikation

REIMER et al. (2013b, 1934) schreiben: „Der entscheidende Nachweis für eine absolut datierte Dendrochronologie ist die externe Validierung durch unabhängig aufgebaute Baumringchronologien mittels signifikanter Kreuzdatierung (...)“¹⁶⁵

Beide von REIMER et al. (2002, 2013b¹⁶⁶) angegebenen Referenzbeispiele einer externen Validierung – PILCHER et al. (1984) und SPURK et al. (1998) – erfüllen die Voraussetzung einer Unabhängigkeit nicht (Abschnitte 5.8.2 und 5.8.4). Die Eichenjahr chronologien – Belfast, Hohenheim, Köln und Göttingen – sind unmittelbar oder mittelbar untereinander abgestimmt und bilden einen Chronologie-Komplex. Ergänzend hierzu wird noch LEUSCHNER (1992) angeführt: „Während die Hohenheim-, Belfast- und Köln-Serien in enger Kooperation aufgebaut wurden, wurde die Göttinger Torfeichenchronologie weitgehend unabhängig aufgebaut.“¹⁶⁷ Und zu der in diesem Zusammenhang erwähnten, norddeutschen Torfeichenchronologie von Göttingen heißt es einige Jahre zuvor, dass sie mit der süddeutschen Auwaldeichenchronologie von Göttingen synchronisiert wurde (LEUSCHNER & DELORME 1984, 4). Letztere wiederum ist im Austausch mit der süddeutschen (Auwaldeichen-) Chronologie

¹⁶⁵ „The crucial proof of an absolutely dated dendrochronology is the external validation by significant cross-dating of independently established tree-ring chronologies, (...)“ (REIMER et al. 2013b, 1934).

¹⁶⁶ Fortsetzung des unter Fußnote 165 zitierten Satzes „(...)“, as could be shown for the European oak chronologies (Pilcher et al. 1984; Spurk et al. 1998) (...)“ (REIMER et al. 2013b, 1934).

¹⁶⁷ „While the Hohenheim-, Belfast- and Köln-series have been built up in close cooperation, the Göttingen bog oak chronology has been built largely independent“ (LEUSCHNER 1992, 193).

von Hohenheim entstanden (DELORME & LEUSCHNER 1983, 45).¹⁶⁸ Diese Aussagen zeigen beispielhaft, dass die Chronologien nicht unabhängig voneinander konstruiert wurden. Selbst nur eine einzige Abstimmung führt zu einer Abhängigkeit; einschränkende Aussagen wie „weitgehend unabhängig“ sind in diesem Sinne wertlos.

Da die von REIMER et al. (2013b, 1934) angegebenen Referenzbeispiele die Voraussetzung einer Unabhängigkeit nicht erfüllen, ist auch das geforderte Ergebnis – der Nachweis für eine absolut-datierte Chronologie – nicht geliefert.

Auch die von BAILLIE (1991, 1995) angeführten Referenzbeispiele erfüllen die Voraussetzung einer Unabhängigkeit nicht. BAILLIE (1991) reklamiert zunächst, dass die kalifornischen Borstenkiefernchronologien Methuselah (FERGUSON 1969) und Campito (LAMARCHE & HARLAN 1973) sowie die europäischen Eichenchronologien Belfast (PILCHER et al. 1984) und Göttingen (LEUSCHNER 1992) „vollkommen für sich stehen“, mit anderen Worten unabhängig seien.¹⁶⁹ Belfast- und Göttingen-Chronologie sind aber Teil des europäischen Chronologie-Komplexes (s. o., Abschnitte 5.8.3 und 5.8.4). Und das *Wie* der Entstehung der zweiten (langen) kalifornischen Borstenkiefernchronologie ist unklar (Abschnitt 5.8.1); eine unabhängige Konstruktion haben LAMARCHE & HARLAN (1973) nicht belegt. Der Chronologie-Vergleich kann deshalb nicht als tertiäre (externe) Replikation gewertet werden (vgl. Abschnitt 5.4.2). Den „ultimativen Test“ im Sinne von BAILLIE (1995, 28) hat bisher keine der hier genannten Baumringchronologien bestanden.

Es ist evident, dass Chronologien, die nicht unabhängig voneinander konstruiert wurden bzw. werden, nicht zu einer gegenseitigen Validierung (Bestätigung) verwendet werden können (Zirkelschluss).¹⁷⁰ Offenbar liegt bis dato – im Sinne von REIMER et al. 2013b – keine „extern validierte“, absolut-datierte, lange Dendrochronologie vor.

¹⁶⁸ ACHTERBERG et al. (2017, 10) zur Konstruktion der norddeutschen Torfeichenchronologie von Göttingen, hier als „Lower Saxonian Bog Oak Chronology (LSBOC)“ bezeichnet: „The Lower Saxonian Bog Oak Chronology (LSBOC) was established largely in the 1980s (Leuschner et al. 1986, Leuschner & Delorme 1988, Leuschner et al. 2002) in mutual cross-dating with the Göttingen chronology of riverine oak material from Central Germany (7197 BC–1136 AD).“

¹⁶⁹ „(...) there are only five long tree-ring chronologies which need to be considered. These are:
 1. The lower forest border bristlecone pine chronology published by Ferguson [1969].
 2. LaMarche and Harlan's [1973] upper tree-line bristlecone pine chronology which duplicates the last five millennia of the original Ferguson chronology.
 3. The Irish bog oak chronology which runs back to 5400 BC [Pilcher *et al.*, 1984].
 4. The Becker and Schmidt [1989] German oak chronology which currently runs back to 7237 BC, and
 5. The Leuschner and Delorme, Göttingen, chronology which runs back to 6200 BC [Leuschner, 1991].
 Of these, 1, 2, 3, and 5 are completely free-standing. (...) These are fundamental chronologies upon which the radiocarbon calibration depends“ BAILLIE (1991, 15). [Leuschner 1991] siehe LEUSCHNER (1992).
 Und weiter: „In summary, throughout the European oak chronology there is no point which is not supported by tertiary-level replication. The two bristlecone pine chronologies, constructed by different workers on independent material, are equally replicated. Since the oak chronologies tell the same story as the bristlecone pine chronologies, no-one in the scientific community has any doubt about the entire tree-ring system“ BAILLIE (1991, 19).

¹⁷⁰ LEUSCHNER (1992, 193) stellt dem zitierten Satz in Fußnote 167 unmittelbar voran: „The network of the European chronologies confirm each other.“ Dies zeigt, dass ein Zirkelschluss anscheinend toleriert wird.

¹⁴C-Daten- und Wiggle-Matching

Es heißt in REIMER et al. (2013b, 1934): „(...) ¹⁴C-,Wiggle-Matching‘ von ¹⁴C-Datenserien mag eine adäquate Methode sein, um die Zeitskalen zu vergleichen und zu verifizieren (e. g. LINICK et al. 1985).“¹⁷¹ Die „Verifizierung“ bezieht sich auf die Feststellung von LINICK et al. (1985, Co-Autoren sind SUESS und BECKER), dass zuvor statistisch ermittelte, beste ¹⁴C-Daten- und Wiggle-Matching-Punkte („Null-Matchpoints“; Kalibration auf Borstenkiefernchronologie) einzelner schwimmender Hohenheim-Eichenserien nach ihrer dendrochronologischen Verknüpfung mit der Hohenheim-Absolutchronologie keine größere Repositionierung erfahren haben. Die Differenz betrug für vier Fälle weniger als 10 Dendrojahre (Abschnitt 5.7.2). Hierzu stellen die Autoren fest (S. 21): „Diese Tatsache demonstriert erneut die Validität [der] Bestimmung absoluter radiometrischer Alter durch Vergleich kurzfristiger ¹⁴C-Variationen in schwimmenden Baumringserien mit solchen in absolut-datierten Baumringchronologien.“¹⁷² Es gilt aber festzuhalten, dass erst aufgrund der ¹⁴C-Kalibration („harte“ Prädeterminierung) eine finale dendrochronologische Verknüpfung quasi erzwungen wurde. Mit dieser Vorgehensweise ist die schwimmende „Hohenheim-Zeitskala“ zwar auf Basis der ¹⁴C-Werte verglichen, aber nicht verifiziert worden. Hierbei handelt es sich – mit Bezug auf bestimmte Ankerpunkte – um eine Zuweisung von Borstenkiefern-kalibrierter ¹⁴C-Alter auf konventionell ¹⁴C-datierte und positionierte Hohenheim-Eichenserien. Die geringe Differenz ist der „harten“ Prädeterminierung geschuldet; eine solche Art der „Verifizierung“ ist ein Zirkelschluss.

KRUSE et al. (1980, 260) reklamieren für die „Wiggle-Matching“-Methode: „Die Methode nutzt die Tatsache, dass Holzproben, die während derselben Zeitperiode gewachsen sind, nicht nur die gleiche ¹⁴C-Konzentration aufweisen, sondern auch das gleiche Zeitderivat ihrer ¹⁴C-Konzentration, wie es von der $\Delta^{14}\text{C}$ -Änderung abgeleitet wird.“¹⁷³ Für diese „Tatsache“ allerdings liegen keine Nachweise für den Dendro-Skalenbereich > 1000 BC vor. KRUSE et al. (1980, 260) führen unmittelbar vor Darlegung der Methodik ein prominentes Beispiel auf, nämlich die zeitliche Verankerung der schwimmenden Thayngen-Burgäschisee-Chronologie (vgl. Abschnitt 5.7.1, Skalenbereich 4100–3600 BC). Sie schreiben, dass die Methode des Wiggle-Matchings zur Ableitung genauer Radiokarbon-Alter erstmals von FERGUSON et al. (1966) verwendet wurde. Dieser Kurven-Übertrag („Wiggle-Matching“) ist aber mehr als fragwürdig; im Grunde genommen handelt es sich um eine „harte“ ¹⁴C-Kalibration. Und die o. g. „Tatsache“ kann allenfalls als Prämisse aufgefasst werden.

¹⁷¹ „If direct comparisons of ring-width series from different regions are not feasible, because a common signal is not expected, ¹⁴C “wiggle-matching” on series of ¹⁴C data from the chronologies may be an adequate method to compare and verify the timescales (e.g. Linick et al. 1985)“ (REIMER et al. 2013b, 1934).

¹⁷² „This fact demonstrates once again the validity of absolute radiometric age determinations by matching short-term ¹⁴C variations in floating tree-ring series with those in absolutely dated tree-ring chronologies“ (LINICK et al. 1985, 21).

¹⁷³ „The method makes use of the fact that wood samples grown during the same period of time show not only the same ¹⁴C content, but also the same time derivative of their ¹⁴C content, as deduced from the ¹⁴C change within the respective wood series“ (KRUSE et al. 1980, 260).

In diesem Sinne ist die Verankerung der spätglazialen Kiefernchronologie (LPG) ebenfalls eine „harte“ ^{14}C -Kalibration (Abschnitt 5.7.3). Die Aufnahme der LPG-Rohdatensätze in IntCal13 zeugt davon, dass die Kalibrations-Arbeitsgruppe von der Prämisse einerseits und der Genauigkeit andererseits überzeugt sind. Denn es wird lediglich eine Unsicherheit von „ ± 20 Jahre“ berücksichtigt (REIMER et al. 2013a).¹⁷⁴

So gilt es festzuhalten, dass eine Korrelation von Jahrringserien oder Jahrringmittelkurven im Dendro-Skalenbereich > 1000 BC auf Grundlage von ^{14}C -Variationen (oder ^{14}C -Trends bzw. Wiggles) mehr als fraglich ist, denn 1) ist nicht bekannt, ob es sich wirklich um zeitgleiche Variationen handelt und 2) besitzen die Variationen keine eindeutigen Merkmale, z. B. ein individuelles, einmaliges „ ^{14}C -Muster“.

Konstruktion der Baumringchronologien und Veröffentlichung

REIMER et al. (2013b, 1934) fordern: „(...) für Proben der Kalibrationskurve ist es zwingend erforderlich, dass die Dendrochronologie gut erstellt und vollständig publiziert ist.“¹⁷⁵ Sie führen hierzu einige Punkte auf (s. Abschnitt 5.2.4).

Diese Anforderung wird weder von der Belfast-Chronologie noch von den Hohenheim-Chronologien erfüllt (Abschnitte 5.3 bis 5.8). Die Bearbeiter (Konstrukteure) haben beispielsweise „vollständige Details des Kreuzvergleichs und der Kreuzdatierung für jede Jahrringserie“ oder „Roh-Jahrringbreiten der Bäume, die für Kalibrationsdaten beprobt wurden“ bislang nicht veröffentlicht. Eine Ausnahme ist die Veröffentlichung der Rohdatenbasis des dendrochronologischen Labors der Queens-Universität Belfast (QUB) 2010; sie erfolgte aber zwanghaft und nicht im Rahmen der Präsentation der Belfast-Chronologie (z. B. mit BROWN et al. 1986).

KUNIHOLM (2002) bewertet die Situation so: „Wir müssen bedenken, dass unveröffentlichte Informationen nahezu wertlos sind.“¹⁷⁶ Denn ohne diese Informationen können die Aus-

¹⁷⁴ „The floating Late Glacial pine (LGP) chronology tree-ring sequence (Friedrich et al. 2004; Kromer et al. 2004; Schaub et al. 2008) was anchored by a ^{14}C wiggle-match as described by Hua et al. (2009). There is the potential that this link may change as additional trees are measured. An uncertainty in the match of ± 20 yr was accounted for in the statistical methodology using implementational changes described in Niu et al. (2013, this issue, section 3.4)“ (REIMER et al. 2013a, 1871).

¹⁷⁵ „In general, whatever method is used for building chronologies or correlating samples to a master chronology, it is imperative for calibration curve samples that the dendrochronology is well established and fully published. Publication should include details of the methodology used for tree-ring analysis, full details of the cross-matching and cross-dating of each tree-ring series, the remaining uncertainty in the absolute ages, and should cite the version of the chronology used for dating. Raw tree-ring widths of trees sampled for calibration data should be published or logged in a digital archive. Publication of calibration data sets should make clear exactly which rings from which individual tree-ring series were included in each ^{14}C sample. Whenever possible, pooling of synchronous tree rings of different trees in one ^{14}C sample should be avoided and samples of single trees should be kept separate“ (REIMER et al. 2013b, 1934).

¹⁷⁶ KUNIHOLM (2002, 67): „I, for one, was quite surprised to learn that dendrochronological data in some countries is considered highly proprietary. One wonders what the governments of the various countries will do with the secret treering data. The value, therefore, of the new European dendrochronological ‘database’ is vitiated if there are no data attached and therefore available for use by others (always of course with proper citation and acknowledgment). We must keep in mind that unpublished information is next to worthless.“

sagen der Konstrukteure zu ihren Baumringchronologien nicht verifiziert werden (s. auch Abschnitt 5.9.2).

Kreuzdatierung

Hinsichtlich der Kreuzdatierung geben REIMER et al. (2013b, 1934) für „die statistische Signifikanz der Kreuzkorrelation von Jahrringserien mit der Standardchronologie“ Beispiele für noch akzeptable Schwellenwerte für die Ähnlichkeitsmaße (s. Abschnitt 5.2.4).

Aus den Ergebnissen von PILCHER et al. (1984) lässt sich eine „absolute“ (reale) Synchronisation zwischen der irischen Chronologie und den deutschen Chronologien im Skalenbereich vor 550 BC nicht ableiten (vgl. Abschnitte 5.8.2): Die t -Werte sind zwar $> 3,5$, die zugrundeliegenden r -Werte aber niedrig ($< 0,2$), auch sind die GLK-Werte mit $\leq 57\%$ niedrig und unterhalb des „geforderten“ Wertes von $\geq 60\%$. Insgesamt müssen die Ergebnisse letztlich geglaubt werden; sie werden durch Daten nicht belegt.

Bei SPURK et al. (1998) werden lediglich für den Skalenbereich 5350 bis 5200 BC Jahrringbreiten-Kurven vergleichend dargestellt und Ähnlichkeitswerte ausgewiesen (Abschnitt 5.8.4): GLK-Wert von 77,9 % und t -Wert von 8,2. Für den Skalenbereich 7736 bis 5200 BC werden nicht einmal die Ergebnisse konkretisiert; es werden keine t -Werte und GLK-Werte mitgeteilt. Auch hier gilt es grundsätzlich, den Ergebnissen zu glauben; sie werden mit einer Ausnahme (nur Jahrringbreiten-Kurven) durch Daten nicht belegt. Dass visuelle Vergleiche der Serien durchgeführt worden sind, wird nicht erwähnt.

Generell ist festzustellen, dass die Schwellenwerte für t und GLK offensichtlich zu niedrig sind; sie liegen noch im Bereich des Grundrauschens. Niedrige Schwellenwerte haben den Vorteil, dass ggf. überhaupt eine „mögliche“ Synchronlage oder ggf. mehrere „mögliche“ Synchronlagen (mit entsprechenden Wahloptionen) gelistet werden. Höhere Schwellenwerte dagegen liefern ggf. keine „mögliche“ Synchronlage.

5.9.2 Zum Konzept der Radiokarbon-Dendrokalkibration

Zahlreiche Dendrochronologen betrachten Dendrochronologie als Wissenschaft. So beispielsweise auch H. SPEER in *Fundamentals of Tree-Ring Research* (2010, 4): „Der Begriff *Dendrochronologie* bezieht sich auf die Wissenschaft der Datierung von Baumringen und der Untersuchung ihrer Strukturen, um Informationen über umweltbedingte und historische Ereignisse und Prozesse zu interpretieren (...).“¹⁷⁷ In diesem Sinne ist eine methodisch-wissenschaftliche Vorgehensweise zu beachten bzw. einzufordern.

Publikation der dendrochronologischen Rohdaten und Konstruktionsdaten

Es reicht nicht aus, dass die langen Baumringchronologien theoretisch bzw. glaubhaft dargelegt werden; sie müssen praktisch überprüfbar, also duplizier- und reproduzierbar sein. Sie

¹⁷⁷ Definiert nach KAENNEL & SCHWEINGRUBER (1995).

müssen vollumfänglich belegt werden. Hierzu bedarf es der Veröffentlichung nachfolgender Informationen und Daten:

- Konstruktionsdaten
- vollständige dendrochronologische Rohdatenbasis (alle Jahrringbreiten-Reihen, auch solche, die nicht in die abschließende Chronologie einfließen)
- Zusammensetzung einzelner Chronologien: Rohdaten (Auswahlkriterien); Synchronlagen; Begründung der Synchronisation (auch im visuellen Fall); r -, t - und GLK-Werte; resultierende Mittelwert-Jahrringbreiten-Zeitreihe etc.
- Zusammensetzung von Teilchronologien (einzelne Chronologien, usf. wie oben)
- Zusammensetzung der Standardchronologie (einzelne Teilchronologien, usf. wie oben)

Dies geht über die Anforderungen von REIMER et al. (2013b, 1934) hinaus (vgl. Abschnitt 5.9.1).

Radiokarbon-Kalibration mit Radiokarbon-Alter

Insbesondere ab dem ersten vorchristlichen Jahrtausend liegt eine wechselseitige und abhängige Beziehung zwischen Radiokarbon-Alter und Dendro-Alter vor (u. a. Abschnitte 5.4.4 und 5.4.5). Mit einer Prädeterminierung von Dendro-Alter durch Radiokarbon-Alter ist die Erstellung einer unabhängigen Dendro-Zeitskala, eines Jahrringkalenders, nicht gegeben. Letztere soll aber dazu dienen, die Radiokarbon-Alter zu kalibrieren. Diese Vorgehensweise ist wissenschaftlich-methodisch wegen zirkulärer Argumentation bedenklich.

„Absolut-Datierung“ versus Interpretation

Die Konstruktion einer vermeintlich ununterbrochenen Lang-Chronologie ist mit zahlreichen individuellen und persönlichen Faktoren der Bearbeiter behaftet: sie ist u. a. selektiver, subjektiver und interpretativer Natur. Jede Kreuzdatierung ist eine Interpretation. Einer Lang-Chronologie aus Hunderten oder Tausenden Einzelementen (Jahrringfolgen) liegen ebenso viele Interpretationen zugrunde. Bei diesem Komplex von Interpretationen handelt es sich zudem um eine abhängige Nacheinander-Verkettung. Anstelle von Interpretation wird allerdings fast ausschließlich der Begriff „absolut-datiert“ verwendet.

Mit den gleichen dendrochronologischen Rohdaten kommen andere Bearbeiter möglicherweise zu anderen Ergebnissen oder auch zu gar keinen Ergebnissen. D. BROWN hat diesen Sachverhalt – unter erstmaliger Verwendung des Begriffs „interpretieren“ – im Zuge der Veröffentlichung der QUB-Rohdaten (Anhang 3) so formuliert: „Es mögen auf Grundlage der gleichen Kollektion von Ringmustern andere Lösungen existieren, abhängig von der vom Analytisten getroffenen Wahl, die dann als gesehene Übereinstimmung interpretiert werden kann.“¹⁷⁸

¹⁷⁸ Auf der QUB-Website (siehe Anhang 1) heißt es u. a. (D. BROWN): „These data can be used to build a chronology, as has been done by staff in the dendrochronological laboratory (see references in the PDF file). Doing so involves making decisions about which ring patterns to include, and is thus an intellectual exercise.“

Unabhängige, System-externe Validierung

Systemisch wird die Konstruktion einer langen Baumringchronologie, auf der Grundlage primärer und sekundärer Replikation (System-Design), mit ihrer Validierung durch tertiäre Replikation (Test-Design) abgeschlossen. Damit hat sich die Dendrochronologie eine eigenkonstruierte, System-interne Beweisführung geschaffen. Allerdings ist bisher in keinem Fall der für die Kalibrationskurve Rohdaten-liefernden Chronologien – weder Belfast noch Hohenheim (HOC und PPC) – die System-interne Beweisführung gelungen (s. Abschnitt 5.9.1).

Vielmehr aber bedarf es – wissenschaftlich-methodisch – einer *wirklich* unabhängigen, d. h. System-externen Validierung der langen Baumringchronologien. Diese kann beispielsweise, wie bereits festgestellt, durch Objekte bzw. Ereignisse bekannten Alters erfolgen. Für die bereits genannten Chronologien ist dies gegenwärtig für die Zeit vor dem ersten christlichen Jahrtausend nicht gegeben. Daher ist nicht bekannt, ob die langen Teile (Skalenbereich > ca. 1000 BC) der für die Radiokarbon-Kalibration verwendeten Baumringchronologien valide sind.

Das Konzept der Radiokarbon-Dendrokalibration gründet entscheidend auf einer Validität der langen Baumringchronologien. Wird der bisherigen Vorgehensweise (System-interne Nachweisverfahren, Etablierung erfolgreicher Nachweise; REIMER et al. 2013b) ausschließlich und kritiklos gefolgt, kann dies zu weitreichenden irreleitenden Schlüssen führen.

Nachweispflicht

Insgesamt ist festzustellen, dass die Konstrukteure der hier diskutierten langen Chronologien die Gültigkeit (Validität) ihrer Chronologien weder aufgezeigt noch belegt haben; die Beweislast aber liegt auf ihrer Seite.

5.10 Das Alter des verkohlten Baumstamms

Die Radiokarbon-Alter des verkohlten Baumstamms 1 in der Bimsabbaugrube Nickenich betragen aktuell 13.017–12.727 und 13.091–12.794 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP (IntCal13, REIMER et al. 2013a; OxCal 4.3, BRONK RAMSEY 2017) (Kapitel 4).

Die Altersinterpretation für den Skalenbereich 13.900 bis 0 kalibrierte ¹⁴C-Jahre BP gründet auf eine Kalibration der ¹⁴C-Zeitskala durch lange Baumringchronologien. Die Macher der atmosphärischen Kalibrationskurve haben bisher nicht nachweisen können, dass die der Kurve zugrundeliegenden konstruierten Baumringchronologien vor dem ersten vorchristlichen Jahrtausend valide sind (Abschnitt 5.9). Demzufolge können kalibrierte ¹⁴C-Jahre nicht mit Kalenderjahren (Realjahren) gleichgesetzt werden. Das heißt konkret, das auch nicht bekannt ist, in welchem Verhältnis bzw. in welcher Beziehung 12.000 oder 13.000 kalibrierte ¹⁴C-Jahre [BP] zu Kalenderjahren (Realjahren) stehen.

Other solutions may exist from the same basic collection of ring patterns, depending on choices made by the analyst, which can then be interpreted as seen fit.”

Das *reale* Alter des Baumstamms 1 – das Datum der Verschüttung durch Laacher-See-Tephra – lässt sich über das derzeitige Konzept der Dendrokalibration nicht bestimmen. Es lässt sich auch nicht bestimmen über Ergebnisse der warvenchronologischen Methode oder der Argon/Argon-Methode, da beide Ergebnisse auf bereits kalibrierte ^{14}C -Alter synchronisiert worden sind (Abschnitt 4.4). Daraus folgt schließlich, dass das *reale* Alter des Baumstamms 1 gegenwärtig unbekannt ist.

6 Zusammenfassung

- (1) Zwei aufrecht stehende verkohlte Baumstämme bei Nickenich – 5 km östlich des Laacher Sees – sind von Laacher-See-Tephra eingeschlossen und überdeckt; ihre Verschüttung erfolgte durch den explosiven Ausbruch des Laacher-See-Vulkans (Kap. 3).
- (2a) Die Radiokarbon-Konzentrationen der Proben NCK-1a und NCK-1b (verschütteter Baumstamm 1) betragen 25,43 und 25,12 pMC (Prozent moderner Kohlenstoff) (Abschnitt 4.1.1); die Konzentrationen unterscheiden sich im Rahmen ihrer 1σ -Unsicherheiten nicht.
- (2b) Das mit der Radiokarbon-Methode (Abschnitt 4.1.1, Gleichung 1) ermittelte konventionelle Radiokarbon-Alter der Probe NCK-1a beträgt 10.999 ± 60 und das der Probe NCK-1b 11.099 ± 68 ^{14}C -Jahre BP (Abschnitt 4.1).
- (2c) Das mit der Kalibrationskurve IntCal13 ermittelte kalibrierte Radiokarbon-Alter liegt bei Probe NCK-1a zwischen 13.017 und 12.727 und bei Probe NCK-1b zwischen 13.091 und 12.794 kalibrierten ^{14}C -Jahren BP (Abschnitt 4.2).
- (3) Die Radiokarbon-Zeitskala ist im Skalenbereich 13.900 bis 0 kalibrierte ^{14}C -Jahre durch Baumringchronologien geeicht (kalibriert) (Abschnitt 5.2); für diesen Skalenbereich gilt kalibriertes ^{14}C -Jahr gleich Dendrojahr (Jahringkalenderjahr) gleich Realjahr.
- (4) Die konventionellen als auch die kalibrierten Radiokarbon-Alter der Proben NCK-1a und NCK-1b stimmen – im Rahmen ihrer 1σ -Unsicherheiten – mit Ergebnissen früherer Arbeiten überein (Abschnitt 4.3). Unter der Maßgabe der in (3) genannten Gleichsetzung passen die Radiokarbon-Alter dieser Arbeit zu dem ausgewiesenen Ausbruchdatum von etwa „12.900 Jahren vor heute“.
- (5) Die Konstruktion langer (ununterbrochener) Baumringchronologien erfolgte zielgerichtet. Zum Zeitpunkt der Einführung der Radiokarbon-Methode existierten keine langen Baumringchronologien. Sie sind mit dem Ziel erstellt worden, für die postglaziale bzw. holozäne Periode „absolut-datierte“ Datensätze zu generieren und für die ^{14}C -Kalibration zur Verfügung zu stellen (Abschnitt 5.3).

- (6a) Die Konstruktion der langen Abschnitte der Baumringchronologien erfolgte ausnahmslos direkt oder indirekt mit ^{14}C -Vordatierungen von Baumringproben. Mit diesen ^{14}C -Alter wurden die Proben entlang der ^{14}C -Zeitskala entsprechend zeitlich positioniert (Abschnitte 5.4.4 und 5.4.5).
- (6b) Bei der Konstruktion der Kalibrationsdaten-liefernden Eichenchronologien Belfast und Hohenheim sind schwimmende Serien mit ^{14}C -Daten- und Wiggle-Matching (Abschnitte 5.4.4, 5.4.6 und 5.7.2) auf die kalifornische Borstenkiefernchronologie kalibriert worden.
- (6c) Die Konstruktion langer, ununterbrochener Baumringchronologien erfolgte nicht ausschließlich – unabhängig – mit der dendrochronologischen Methode („Prinzip der Kreuzdatierung“) (Abschnitt 5.4.2).
- (6d) Es liegt – insbesondere vor dem ersten vorchristlichen Jahrtausend – eine wechselseitige und abhängige Beziehung zwischen Radiokarbon-Alter und Dendro-Alter vor (u. a. ^{14}C -Vordatierungen und ^{14}C -Daten- und Wiggle-Matching). Mit einer Präterminierung von Dendro-Alter durch Radiokarbon-Alter ist eine unabhängige Dendro-Zeitskala nicht gegeben, mit welcher wiederum die Radiokarbon-Zeitskala kalibriert werden soll (methodisch-wissenschaftlich fragwürdig).
- (7) Die Kalibrationsdaten-liefernden Eichenchronologien Belfast und Hohenheim (letzte zurück bis Skalenpunkt 10.410 kalibrierte ^{14}C -Jahre) erfüllen nicht die Anforderung der Kalibrationsarbeitsgruppe für eine „externe Validierung“ bzw. „tertiäre Replikation“ (Abschnitte 5.2.4, 5.8 und 5.9.1). Demnach liegt für beide Eichenchronologien der „entscheidende Nachweis für eine absolut-datierte Dendrochronologie“ *nicht* vor. Es ist evident, dass Chronologien, die nicht unabhängig voneinander konstruiert wurden bzw. werden, nicht zu einer gegenseitigen Validierung (Bestätigung) verwendet werden können. Eine solche gegenseitige Bestätigung ist ein Zirkelschluss.
- (8) Es bedarf einer *wirklich* unabhängigen Validierung der langen Baumringchronologien. Die sog. „externe Validierung“ (7) ist nicht System-extern, sondern System-intern. Eine unabhängige, System-externe Validierung wäre z. B. durch Objekte bzw. Ereignisse bekannten Alters gegeben. Für die Kalibrationsdaten-liefernden Baumringchronologien von West- und Mitteleuropa ist eine unabhängige Validierung vor dem ersten vorchristlichen Jahrtausend – z. B. durch römische Bauwerke – gegenwärtig nicht gegeben.
- (9) Die langen, ununterbrochenen Baumringchronologien sind nicht oder sehr unzureichend publiziert. Es reicht nicht aus, dass sie theoretisch bzw. glaubhaft dargelegt werden; sie müssen praktisch überprüfbar, also duplizier- und reproduzierbar sein. Sie müssen vollumfänglich belegt sein. Hierzu bedarf es der Veröffentlichung aller notwendigen Informationen und Daten, u. a. der Konstruktionsdaten und der voll-

ständigen dendrochronologischen Rohdatenbasis (Abschnitt 5.9.2). – So besteht gegenwärtig ein eklatantes Missverhältnis zwischen aufwendiger, hoch-technisierter Radiokarbon-Bestimmung und einer Quasi-Black-Box konstruierter, langer Baumringchronologien.

- (10) Nur im Falle der Belfast-Chronologie sind dendrochronologische Rohdaten bislang veröffentlicht (in 2010). Der Versuch der Nachbildung der Überbrückung der „Lücke“ bei Dendro-Skalenpunkt 948 BC hat gezeigt, dass die originäre Verknüpfung – unter Einbeziehung weiterer Funde – durch entsprechend hohe Ähnlichkeitswerte nicht unterstützt wird. Demnach handelt es sich nicht um eine überbrückte Lücke, sondern um einen Bruch in der Chronologie. Diese Unterbrechung macht die Belfast-Chronologie im Sinne eines absoluten, jahrgenaue Kalenders für den Skalenabschnitt vor 947 BC im Grunde genommen wertlos.
- (11) Die schwimmende, spätglaziale Kiefernchronologie (LGP) ist über eine Brückenkonstruktion mit der Hohenheim-Kiefernchronologie (PPC) verknüpft und damit zeitlich verankert (Skalenbereich 13900 bis 12.580 kalibrierte ^{14}C -Jahre BP). Die Verankerung mit der Methode des ^{14}C -Daten- und Wiggle-Matchings in Verbindung mit einer Brückenchronologie aus Kiefern in Tasmanien (südöstlich von Australien) ist allerdings in mehrfacher Weise fragwürdig. So sind z. B. mehrere Möglichkeiten der Ringbreiten-Synchronisation der vier tasmanischen Kiefern möglich.
- (12) Die Konstruktion der langen, ununterbrochenen Baumringchronologien ist mit zahlreichen individuellen und persönlichen Faktoren der Bearbeiter behaftet: Sie ist u. a. selektiver, subjektiver und interpretativer Natur. Jede Kreuzdatierung ist eine Interpretation. Einer Lang-Chronologie aus Hunderten oder Tausenden Einzelelementen liegen ebenso viele Interpretationen zugrunde. Bei diesem Komplex von Interpretationen handelt es sich zudem um eine abhängige Nacheinander-Verkettung. Anstelle von Interpretation wird allerdings fast ausschließlich der Begriff „absolutdatiert“ verwendet. – Mit den gleichen Rohdaten kommen andere Bearbeiter möglicherweise zu anderen Ergebnissen oder auch zu gar keinen Ergebnissen.
- (13) Die Konstrukteure der hier diskutierten langen Chronologien haben die Gültigkeit und Unabhängigkeit ihrer Chronologien weder aufgezeigt noch belegt; die Beweislast aber liegt auf ihrer Seite.
- (14) Unter den hier aufgeführten Gegebenheiten ist gegenwärtig nicht bekannt, wie sich Radiokarbon-Alter und Realjahre vor dem ersten vorchristlichen Jahrtausend zueinander verhalten. Die Dendro-Zeitskala vor dem ersten vorchristlichen Jahrtausend ist nicht nachweislich valide. Deshalb ist eine Gleichsetzung von Dendrojahr (Jahringkalenderjahr) und Realjahr nicht gegeben, folglich ist auch eine Gleichsetzung von kalibriertem ^{14}C -Jahr und Realjahr nicht gegeben.

7 Schlussfolgerung

- (1) Das *reale* Alter von Baumstamm 1 – das Datum der Verschüttung durch Laacher-See-Tephra – lässt sich mit dem derzeitigen Konzept der Dendrokalibration nicht bestimmen. Es lässt sich auch nicht bestimmen über Ergebnisse der warvenchronologischen Methode oder der Argon/Argon-Methode; beide Ergebnisse sind auf bereits kalibrierte ^{14}C -Alter synchronisiert worden (KOTULLA 2016). Daraus folgt schließlich, dass das *reale* Alter von Baumstamm 1 gegenwärtig unbekannt ist.
- (2) Die langen Baumringchronologien verifizieren die ^{14}C -Zeitskala vor dem ersten vorchristlichen Jahrtausend nicht. Es sind Baumringchronologien konstruiert worden, die sich aus ^{14}C -datierten Jahrringsequenzen zusammensetzen.¹⁷⁹
- (3) Eine Voraussetzung zur Berechnung von Radiokarbon-Altern (Gleichung 1) ist „die Annahme der Konstanz des atmosphärischen ^{14}C -Gehalts während der Vergangenheit“ (STUIVER & POLLACH 1977, 356¹⁸⁰; Abschnitt 4.1.1). Allerdings liegen zwei Variablen vor, der Gehalt an ^{14}C und ^{12}C ; das ist mindestens eine Unbekannte zu viel. Gleichung 1 beschreibt wahrscheinlich nur einen Sonderfall der Vergangenheit.

¹⁷⁹ Das zugrundeliegende Altersmodell für die chronostratigraphischen Einheiten Holozän und Pleistozän (nur der oberste Teil) ist ^{14}C -basiert, obgleich die Grenze Pleistozän/Holozän eiskernchronologisch definiert ist (KOTULLA 2013, WALKER et al. 2008, WALKER et al. 2018).

¹⁸⁰ Diese Voraussetzung stellt – technisch betrachtet – eine Vereinfachung dar. Läge keine Konstanz vor, wäre eine mathematische Formulierung mitunter sehr komplex oder überhaupt nicht möglich.

Anhang 1: Datennachweis

Die Daten-Zugriffe erfolgten im Zeitraum April bis Dezember 2018.

Datei (Autor)	Quelle, Anmerkung
Ca506.crn (FERGUSON et al.)	ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/treering/chronologies/northamerica/usa/ca506.crn
Ca535.rwl Ca535.crn Ca535.txt	https://www.ncdc.noaa.gov/paleo-search/study/3376?siteId=15815
IntCal04_rawdata.csv (REIMER et al. 2004)	http://www.radiocarbon.org/IntCal04.htm Datei: IntCal04_rawdata.csv Mit Angabe von Laborcode und -nummer.
IntCal09_atm_rawdata.csv (REIMER et al. 2009)	http://www.radiocarbon.org/IntCal09.htm Datei: IntCal09_atm_rawdata.csv Mit Angabe von Laborcode und –nummer sowie Chronologie.
IntCal13.14c (REIMER et al. 2013a)	http://www.radiocarbon.org/IntCal13.htm Datei: http://www.radiocarbon.org/IntCal13%20files/intcal13.14c Ohne Angaben wie oben.
	Zu den einzelnen Lieferanten/Gruppen: http://intcal.qub.ac.uk/intcal13/
QUB-Datensätze (Queens-Universität Belfast: z. B. BAILLIE oder BROWN oder PEARSON)	Zugriff über Queens-Universität (Stand 25.04.2018, aktuell fehlen einige Datensätze): http://www.chrono.qub.ac.uk/bennett/dendro_data/dendro.html Zugriff über Douglas KEENAN (Stand 25.04.2018, vollständige Datensatz-Sammlung): http://www.informath.org/apprise/a3900/b10/dendro.html

Zur Zwangsveröffentlichung der Rohdaten des (ehemaligen) dendrochronologischen Labors der Queens-Universität Belfast (QUB)

Douglas KEENAN beantragte 2007 beim *Beauftragten für Information* (ICO) die Veröffentlichung aller Jahrringbreiten-Rohdatenreihen des dendrochronologischen Labors der Queens-Universität Belfast. Zuvor hatte er mehrmals ein Ersuchen direkt an die Queens-Universität Belfast gerichtet – ohne Erfolg. Der Antrag wurde schließlich am 29. März 2010 positiv entschieden, unter Maßgabe des *UK Freedom of Information Act 2000 (Section 50)* sowie der *Environmental Information Regulations 2004* (abgekürzt FOIA und EIRs).¹⁸¹ Daraufhin hat die Queens-Universität Belfast binnen einer Frist von einem Monat die Rohdatenbasis veröffentlicht (aktueller Link s. Tabelle oben).

Der Vorfall ist auch mehrfach von den Medien aufgegriffen worden, u. a. von *BBC* (19. April 2010), *The Guardian* (PEARCE 2010, 20. April 2010) und *Belfast Telegraph* (WEIR 2010, 1.

¹⁸¹ Entscheid s. <http://www.informath.org/apprise/a3900/b163282.pdf>.

Mai 2010). Laut WEIR (2010) ist das dendrochronologische Labor der Queens-Universität 2009 geschlossen worden.

Ein Punkt der Auseinandersetzung war die Frage nach der Eigentümerschaft der Rohdaten. BAILLIE (2010; *The Guardian*, 11. Mai 2010) reklamiert, dass die Baumringmuster geistiges Eigentum des bearbeitenden Dendrochronologen seien¹⁸²; für jedes Ringmuster bestehe für den Dendrochronologen ein fester Anspruch auf Copyright.¹⁸³

Die Frage nach der Eigentümerschaft der (Roh-) Daten wird – aus Anlass der QUB-Zwangsveröffentlichung – auch von ABBOT & MAROHASY (2010) diskutiert. Sie beziehen sich u. a. auf den sog. Muir Russel Review, demgemäß eine erhebliche Verwirrung und Unruhe in der wissenschaftlichen Gemeinschaft darüber herrsche, wie die Bestimmungen (FOIA/EIRs) bezüglich des während eines Forschungsprozesses generierten Materials genau angewendet werden sollten. Im Review wird empfohlen, die Vorgehensweise der USA für das UK zu übernehmen. Demnach würde dies erfordern, dass alle Daten, die durch öffentlich finanzierte Forschung produziert werden, unter dem FOIA verfügbar gemacht werden. Unter dem *US Freedom of Information Act* gelten als Forschungsdaten („research data“):¹⁸⁴ „Das aufgezeichnete faktische Material, das in der wissenschaftlichen Gemeinschaft üblicherweise akzeptiert ist, um Forschungsergebnisse zu validieren. Darunter fallen nicht: Vorstudien, Entwürfe wissenschaftlicher Arbeiten, Pläne für zukünftige Forschungsvorhaben, Peer-Reviews oder Kommunikation mit Kollegen.“¹⁸⁵

Eine abschließende Bemerkung von KEENAN zu diesem Vorfall ist, dass nunmehr (Stand 2013) in UK Gesetz und akzeptierte Praxis sei, dass Daten, die die publizierte wissenschaftliche Forschung unterstützen, grundsätzlich offen gelegt werden müssen.¹⁸⁶

¹⁸² „Finally, regarding intellectual property and the release of data under FOI, when a dendrochronologist measures the widths of the growth rings in a sample, he or she has to make multiple decisions with respect to the starts and ends of the rings, problem rings, and so on. Repeated measurement of the same sample, will not give exactly the same measurements. The number of rings must be the same, but the actual measured widths will not be. This means that the ring pattern of a tree-ring sample carries the "intellectual fingerprint" of the dendrochronologist who measured it, every bit as much as this text carries my intellectual fingerprint. In my opinion, tree-ring patterns are therefore intellectual property and should not be handed out as if they are instrumental climate data“ (BAILLIE 2010). – FOI, Freedom of Information (Act).

¹⁸³ BAILLIE zitiert in *The Guardian* (PEARCE 2010, 20. April 2010): „We are the ones who trudged miles over bogs and fields carrying chain saws. We prepared the samples and – using quite a lot of expertise and judgment – we measured the ring patterns. Each ring pattern therefore has strong claims to be our copyright. Now, for the price of a stamp, Keenan feels he is entitled to be given all this data.“

¹⁸⁴ „The Muir Russell Review recognised that there is ‘extensive confusion and unease within the academic community as to exactly how FOIA/EIRs should be applied in terms of the materials developed during a research process’, and recommended that an approach similar to that taken in the US be adopted in the UK. [ihre Fußnote 71, MK] This would require that all data produced by publicly funded research be made available under FOIA. Under the US Freedom of Information Act research data is defined as:“ (ABBOT & MAROHASY 2010, 181). Ihre Fußnote 71: „Federal Register Vol 65(52) 14406 (16 March 2000) available at http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=2000_register&docid=00-5674-filed.“

¹⁸⁵ „[T]he recorded factual material commonly accepted in the scientific community as necessary to validate research findings, but not any of the following: preliminary analyses, drafts of scientific papers, plans for future research, peer reviews, or communications with colleagues“ (ABBOT & MAROHASY 2010, 181).

¹⁸⁶ Siehe <https://www.informath.org/apprise/a3900.htm>; beinhaltet auch ein komplette Dokumentation des Vorfalles sowie eine Kommentierung durch D. KEENAN.

Anhang 2: Fortentwicklung der internationalen Radiokarbon-Kalibrationskurve

Die Aufstellung bezieht sich auf den dendrokalibrierten Teil.

Intervall [cal BP]	Intervall [cal AD/BC]	1986	1993	INTCAL98	INTCAL04	INTCAL09	INTCAL13
Labor: ¹⁴ C- Analysen		h: (S)/(B)	h: (S)/(B)	h: (S)/(B)/(H); p: (G)/(P)	h: (S)/(B)/(H); p: (W)/(G)/(P)	h: (S)/(B)/(H); p: (W)/(G)/(P)	h: (S)/(B)/(H); p: (W)/(G)/(P)
0 - 2450	1950 AD - 500 BC	Material: CA, US, DE (p); IE/GB(p) [BOC]	wie zuvor; geringfügige Korrekturen	wie zuvor; geringfügige Korrekturen	wie zuvor		wie zuvor, zusätzliche ¹⁴ C-Analysen (p)
2450 - 4450	500 BC - 2500 BC	Material: DE [HOC], IE/GB [BOC]	wie zuvor; geringfügige Korrekturen	wie zuvor; geringfügige Korrekturen	wie zuvor; geringfügige Korrekturen		wie zuvor, zusätzliche ¹⁴ C-Analysen (p)
4450 - 7950	2500 BC - 6000 BC		Material: DE [HOC], US(p) [BPC]; IE/GB, bis 5210 [BOC], >5000: nur DE [HOC]	wie zuvor; geringfügige Korrekturen; [BPC] exkludiert	k. A.		wie zuvor
7950 - 11854	6000 BC - 9668 BC			Material: DE [HOC]/[PPC], beide korri- giert: (S): einige ¹⁴ C- Alter (noch) nicht dupli- ziert; 11624-11854: nur (H)	k. A.	wie zuvor bis 12410 cal BP	wie zuvor
11854 - 12410					Material: DE/CH [PPC]; >11674: nur (H)		wie zuvor
12410 - 12550						Material: DE/CH [PPC]; nur (H)	wie zuvor
12580 - 13900							Material: DE/CH [LGP]; nur (H)

Tab. 31 Fortentwicklung der Radiokarbon-Kalibrationskurve.

Referenzen: Spalte „1986“: BECKER (1983); PEARSON & STUIVER (1986), STUIVER et al. (1986), STUIVER & BECKER (1986), STUIVER & PEARSON (1986). Spalte „1993“: STUIVER (1993), STUIVER & PEARSON (1993), PEARSON & STUIVER (1993), STUIVER & BECKER (1993), STUIVER & REIMER (1993). Spalte „IntCal98“: KROMER & SPURK (1998), KROMER et al. (1986), McCORMAC et al. (1998a,b), PEARSON et al. (1993), STUIVER et al. (1998a,b), VOGEL & VAN DER PLICHT (1993). Spalte „IntCal04“: FRIEDRICH et al. (2004), REIMER et al. (2004). Spalte „IntCal09“: REIMER et al. (2009), SCHAUB et al. (2008b). Spalte „IntCal13“: HUA et al. (2009), REIMER et al. (2013a,b). Abkürzungen: h, hauptsächlich; p, punktuell. Labore: (B), Belfast; (G), Groningen; (H), Heidelberg; (P), Pretoria; (S), Seattle; (W), Waikato. Material (Jahrringproben): Länderbezeichnung nach ISO 3166 (ALPHA 2). Chronologien: [HOC], Holocene Oak Chronology (Hohenheim-Eichenchronologie); [BOC], Belfast Oak Chronology (Belfast-Eichenchronologie); [BPC], Bristlecone Pine Chronology (kalifornische Borstenkiefernchronologie); [PPC], Preboreal Pine Chronology (Hohenheim-Kiefernchronologie); [LGP], Late Glacial Pine Chronology (spätglaziale Kiefernchronologie).

Anhang 3: Dendrochronologische Analysen

Software und Präsentation der Ergebnisse

Es wird das Software-Paket CDendro/CooRecorder 9.3 der Firma Cybis Elektronik & Data AB¹⁸⁷ (Saltsjöbaden, Schweden; <http://www.cybis.se>) verwendet.

Neben der visuellen Präsentation der Jahrringabfolgen (Zeitreihen) kann die Software umfangreiche Vergleichsrechnungen durchführen. Eine typische Ergebnisaufstellung zeigt Tab. 32 (Vergleich der Jahrringabfolgen Q2204 und Q2272, QUB-Datensätze).

Rel Year	Over lap	P2Yrs CorrC	----- TTest	BaPi- CorrC	----- TTest	C84F- CorrC	----- TTest	BesIE CorrC	----- TTest	MeanS F----- CorrC	TTest	GLK-- GLK	Skel- Chi2	P2YrsL -----** CorrC	TTest
0	144	0,89	23,7	0,90	25,2	0,91	25,7	0,92	28,7	0,91	25,6	0,89	80,9	0,89	23,7
-79	65	0,39	3,3	0,41	3,5	0,49	4,4	0,40	3,4	0,42	3,6	0,62	0,3	0,39	3,3
-90	54	0,42	3,3	0,35	2,7	0,35	2,7	0,38	2,9	0,37	2,8	0,62	4,8	0,42	3,3
4	144	0,23	2,8	0,16	1,9	0,07	0,8	0,05	0,5	0,13	1,5	0,55	1,7	0,23	2,8
6	144	0,22	2,7	0,16	1,9	0,20	2,4	0,16	1,9	0,18	2,2	0,59	1,3	0,22	2,7
94	59	0,34	2,7	0,25	1,9	0,28	2,2	0,26	2,0	0,28	2,2	0,63	1,7	0,34	2,7
96	57	0,32	2,5	0,16	1,2	0,24	1,8	0,25	1,9	0,24	1,8	0,60	0,4	0,32	2,5
-73	71	0,29	2,5	0,26	2,3	0,31	2,7	0,30	2,6	0,29	2,5	0,63	2,6	0,29	2,5
79	74	0,27	2,4	0,27	2,3	0,28	2,4	0,31	2,7	0,28	2,4	0,57	3,1	0,27	2,4
100	53	0,30	2,2	0,36	2,7	0,30	2,3	0,35	2,6	0,33	2,4	0,56	0,0	0,30	2,2
85	68	0,26	2,2	0,27	2,2	0,26	2,2	0,22	1,8	0,25	2,1	0,54	0,3	0,26	2,2
90	63	0,26	2,1	0,32	2,6	0,26	2,1	0,38	3,2	0,30	2,5	0,59	0,6	0,26	2,1
46	107	0,20	2,1	0,20	2,1	0,16	1,6	0,11	1,1	0,17	1,7	0,57	1,0	0,20	2,1
77	76	0,23	2,0	0,05	0,4	0,06	0,5	0,06	0,5	0,10	0,9	0,62	0,4	0,23	2,0
-94	50	0,28	2,0	0,21	1,5	0,25	1,8	0,26	1,8	0,25	1,7	0,55	2,3	0,28	2,0
73	80	0,22	2,0	0,17	1,5	0,25	2,3	0,24	2,1	0,22	1,9	0,61	2,8	0,22	2,0
-21	123	0,17	1,9	0,21	2,4	0,21	2,3	0,23	2,5	0,20	2,3	0,56	0,7	0,17	1,9
-75	69	0,22	1,8	0,09	0,8	0,06	0,5	0,03	0,2	0,10	0,8	0,59	0,3	0,22	1,8
15	138	0,14	1,7	0,13	1,6	0,15	1,8	0,14	1,7	0,14	1,7	0,53	0,9	0,14	1,7
81	72	0,19	1,7	0,01	0,1	0,13	1,1	0,06	0,5	0,10	0,8	0,53	0,0	0,19	1,7
21	132	0,14	1,6	0,20	2,3	0,13	1,5	0,17	2,0	0,16	1,8	0,58	0,7	0,14	1,6
40	113	0,15	1,6	0,12	1,2	0,13	1,4	0,07	0,7	0,12	1,2	0,54	5,3	0,15	1,6
-77	67	0,20	1,6	-0,02	-0,2	-0,01	-0,1	0,00	0,0	0,04	0,3	0,57	2,6	0,20	1,6
-15	129	0,13	1,5	0,08	0,8	0,13	1,4	0,13	1,5	0,12	1,3	0,48	0,1	0,13	1,5
-92	52	0,21	1,5	-0,07	-0,5	0,01	0,0	-0,03	-0,2	0,03	0,2	0,53	0,5	0,21	1,5

Tab. 32 CDendro, Ergebnistabelle Ähnlichkeitsmaße.

Normalisierungsmethoden zur Berechnung des Wertes für den Korrelationskoeffizienten (CorrC) sowie des *t*-Wertes (Details siehe Programm CDendro): PSYrs, „Proportion des Wachstums der letzten beiden Jahre“; BaPi, nach BAILLIE & PILCHER (1973); C84F, gemäß Cross84 (MUNRO 1984); BesIE, nach Bescanon index E; MeanSF, Mittelwert der vier erstgenannten Werte für *r*; PSYrsL, wie PSYrs, jedoch werden hohe Peaks abgeschnitten. Des Weiteren: Rel year, relatives Jahr (Versatz) im Vergleich zur Referenz-Zeitreihe; Overlap, Überlappung (Anzahl Jahrringe); GKL, Gleichläufigkeitswert; Skel-Chi2, „Skeleton“-Chi-Quadrat-Wert (bezogen auf die „Skeleton-Plot“-Methode; STOKES & SMILEY 1968). – Bei der vorliegenden Analyse, dem Vergleich der Zeitreihen Q2204 und Q2272, liegen hohe *t*-Werte (> 23) für den Fall vor, dass beide Jahrringfolgen zum gleichen Zeitpunkt (Versatz = 0) enden (Spalte „Rel Year, Ergebniszeile 1).

Die errechneten Ähnlichkeitswerte werden nebeneinander dargestellt, jeweils bezogen auf eine relative Positionierung zueinander („Rel Year“, Versatz) und der Angabe der über-

¹⁸⁷ Der Vorstand besteht aus Lars-Ake LARSSON sowie Petra OSSOWSKI LARSSON.

lappenden Jahrringe („Overlap“): Korrelationskoeffizient r („CorrC“) und t -Wert („TTest“) für sechs unterschiedliche Normalisierungsmethoden sowie GLK-Wert („GLK“) und „Skeleton-Plot“-Wert („Skel-Chi2“) (weitere Details s. Beschriftung zu Tab. 32). Ein „*“ markiert, welche Methode für die „beste Übereinstimmung“ aktiviert ist. Es wird die Voreinstellung „P2YrsL“ verwendet.

Mit Balkendiagrammen werden die Ergebnisse der Altersinterpretation visualisiert. Die datierten Zeitreihen, einer Jahrringabfolge (Probe) oder einer Jahrring-Mittelwertkurve (Kollektion), sind entlang einer numerischen Zeitachse aufgetragen (christliche Zeitrechnung, jedoch entspricht $-1 = 2$ BC usf.; Einbeziehung eines technischen Nulljahres). Die jeweiligen Zeitreihen sind nebenstehend links mit ihrer Bezeichnung und nebenstehend rechts mit ihrem Endjahr versehen (z. B. Abb. 29).

Die Ergebnisse von Korrelationsanalysen einer Gruppe von Zeitreihen werden in Korrelationstabellen dargestellt (z. B. Tab. 43). Gemäß einer Voreinstellung zeigt „*“ einen sehr niedrigen Korrelationswert bei einer nicht zu geringen Überlappung an (hier: $r < 0,2$ und Überlappung > 40).“ Das heißt z. B., dass auch Korrelationswerte für Überlappungen < 100 Dendrojahre gelistet werden.

Anhang 3-1: Ca535-Datenbasis

Anhang 3-1 führt weitere Abbildungen und Tabellen auf, die zu Abschnitt 5.5.1 gehören. Die Ca535-Datenbasis mit der Bezeichnung „Methuselah Walk“ besteht aus den Dateien ca535.crn¹⁸⁸, ca535.rwl¹⁸⁹ und ca535.txt. Zunächst die Übersicht:

- Header (Kopfzeilen) und Datensatzaufbau der Datei ca535.crn (Tab. 33);
- Header (Kopfzeilen) und Datensatzaufbau (Teil 7) der Datei ca535.txt (Tab. 34 und Tab. 35);
- Datensatzaufbau der Datei ca535.rwl (Tab. 36);
- Balkendarstellung der 285 datierten Jahrringserien der Datei ca535.rwl (Abb. 27);
- Korrelationsanalyse: Vergleich einer aus Datei ca535.rwl erstellten Chronologie mit der Chronologie von ca535.crn (Tab. 37);
- Korrelationsanalysen: Vergleich der 285 Jahrringbreiten-Zeitreihen der Datei ca535.rwl mit der erstellten Chronologie; Vergleich mit den ausgewiesenen Ergebnissen der Datei ca535.txt (Tab. 38);
- Korrelationsanalyse: Vergleich der Jahrringbreiten-Zeitreihen MWK 852 vs. MWK 851 (Tab. 39);
- Versuch einer Identifizierung und Zuordnung von Jahrringprofilen der Datei ca535.rwl zu den von FERGUSON (1970) ausgewiesenen Proben bzw. Baumindividuen (Tab. 40).

¹⁸⁸ Gemäß „NOAA Template Chronology file“ (ergänzt am 20. 12. 2018) Zugang zur NOAA-Datenbasis am 26. 4. 2002.

¹⁸⁹ Gemäß „NOAA Template Raw Measurement file“ (ergänzt am 8. 2. 2019) Zugang zur NOAA-Datenbasis am 26. 4. 2002.

- Balkendarstellung ausgewählter Jahrringserien der Datei ca535.rwl für den Skalenabschnitt -1200 bis -1000 (Abb. 28).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
MWK519	METHUSELAH WALK							PILO													
MWK519	CALIFORNIA	GT BASIN B C	PINE	2805M	3726-11810			-6000	1979												
MWK519	DONALD A. GRAYBILL							1980													
MWK51	-6000	1345	11	1077	11	1545	11	1319	11	1413	11	1069	11	489	11	1171	11	887	11	493	11
MWK51	-5990	346	11	846	11	837	11	79	11	829	11	919	11	776	11	81	11	876	11	254	11
MWK51	-5980	1092	11	659	11	900	11	732	11	703	11	690	11	581	11	834	11	838	11	600	11
MWK51	-5970	611	11	704	11	517	11	525	11	1086	11	849	11	183	11	823	11	433	11	849	11
MWK51	-5960	1021	11	813	11	675	11	479	11	824	11	473	11	1010	11	1297	11	917	12	457	12
MWK51	-5950	866	12	1121	12	1301	12	1017	12	676	12	816	12	1365	12	759	12	791	12	1016	12

Tab. 33 Datei ca535.crn.

Chronologie-Datensatz im crn-Datenformat. MWK519-Zeilen: 1: Bezeichnung der Lokalität und Baumart, PILO = Pinus logaeva (Great Basin bristlecone pine); 2: Bundesstaat, Abkürzung für Great Basin bristlecone pine, Höhe ü. d. M. in Meter (= 2805), ? Minimal- bzw. Maximalhöhe ü. d. M. in Fuß (= 3726-11810), Start- und Endjahr der Chronologie (6000 BC bis AD 1979); 3: Bearbeiter und Jahr der Erstellung. Spalten (ab Zeile 4): 1: Probe; 2: Dekaden-Startjahr (bezogen auf BC-AD-Dendroskala); 3, 5, etc. (jeweils für den nächsten Jahrring, pro Zeile 10 Jahrringe): Jahrringbreiten-Mittelwert, normalisiert zur Basis 1 (= 1000), 0 = (mutmaßlich) fehlender Jahrring; 4, 6, etc.: Anzahl der Proben (Belegdichte), zur Bildung des Jahrringbreiten-Mittelwerts.

NOTE: All statistics reported below describe the raw measurement file, not the chronology itself. This file should be viewed with a non-proportional font.

Chronology file name : CA535.CRN
 Measurement file name : CA535A.RWL
 Date checked : 27MAR94
 Technician's name : HENRI D. GRISSINO-MAYER
 Supervisor's name : HENRI D. GRISSINO-MAYER
 Beginning year : -6000
 Ending year : 1989
 Principal investigators: DONALD A. GRAYBILL, GARY FUNKHOUSER
 Site name : METHUSELAH WALK
 Site location : CALIFORNIA, USA
 Species information : PILO BRISTLECONE PINE
 Latitude : 3726N
 Longitude : 11810W
 Elevation : 2805 M
 Series intercorrelation: 0.767
 Avg mean sensitivity : 0.446
 Avg standard deviation : 0.113
 Avg autocorrelation : 0.480
 Number dated series : 285
 Segment length tested : 50
 Number problem segments: 2
 Pct problem segments : 0.024

Are there obvious misdated series? NO
 Number possible misdated series : N/A
 Percent misdated series : 0.00

COMMENTS: A TRULY EXCELLENT RING MEASUREMENT FILE AND SUBSEQUENT CHRONOLOGY. OVER 8,500 SEGMENTS TESTED AND ONLY TWO WERE FLAGGED AS BEING LOW CORRELATIONS WITH MASTER.

Tab. 34 Datei ca535.txt, Header.

Die Datei ca535.txt (Tab. 34 und Tab. 35) besteht aus „PART 5: CORRELATION BY SEGMENTS OF SERIES: METHUSELAH WALK RING WIDTHS“ (S. 56-166) und „PART 7: DESCRIPTIVE STATISTICS: METHUSELAH WALK RING WIDTHS (S. 167-173). In Teil 5 werden die Korrelationsergebnisse (r -Werte) von 50-Jahr-Segmenten in 25-Jahr-Abständen für alle Proben (Serien) gelistet. Der „Ausdruck“ der Datei erfolgte am 28. März 1995.

AR				Corr	Unfiltered			Filtered						
Seq	Series	Interval	Years	No.	No.	No. with	Mean	Max	Std	Auto	Mean	Max	Std	Auto
			Segmt	Flags	Master	msmt	msmt	dev	corr	sens	value	dev	corr	()
241	MWK851	9510 9978	19	0	.856	.28	.48	.087	.212	.333	1.74	.224	-.010	1
(...)														
284	MWK994	7985 9759	71	0	.732	.14	.79	.098	.467	.649	2.11	.300	-.018	9
285	MWK995	8800 9979	47	0	.693	.09	.43	.058	.430	.608	1.99	.292	-.008	4
Total or mean:			213185	8507	2	.767	.24	1.91	.113	.480	.446	2.25	.259	-.016

Tab. 35 Datei ca535.txt, S. 173 (Ausschnitt).

Seq: fortlaufende Nummer (bis 285); Series: Probe (Jahrringserie); Interval: Jahrringintervalle, Start- und Endjahr (Intervall-Werte 0-10000 = Dendro-Zeitskala 8000 BC bis 2000 AD); No. Years: Länge der Serie (Dendro-jahre); No. Segmt: Anzahl der 25-Jahr-Segmente; No. Flags: Anzahl der Segmente mit geringer Korrelation zum Master (Schwellenwert für r : $< 0,3281$); Corr with Master: Vergleich der Zeitreihen Probe und Master, r -Wert; Unfiltered: ungefilterten Werte der Jahrringserie für mittlere Jahrringbreite (Mean msmt, in mm), maximale Jahrringbreite (Max msmt, in mm), Standardabweichung (Std dev), Autokorrelation (Auto korr), mittlere Sensitivität (Mean sens); Filtered: wie „unfiltered“, Total or mean: Summe oder Durchschnitt.

Probe	Dekade [Dendrojahr]	Jahrringbreite [1/100 mm] /Dendrojahr (Dekadenjahr +)									
		+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9
MWK495	-3830	39	5	18	17	27	17	31	23	30	3
MWK495	-3820	39	20	28	38	47	2	26	28	29	0
MWK495	-3810	29	32	27	999						
MWK496	-4801	45									
MWK496	-4800	54	12	10	40	16	13	37	22	24	20
MWK496	-4790	64	29	23	29	37	31	25	23	17	49
MWK496	-4780	25	0	8	0	20	15	29	33	32	2

Tab. 36 Datei ca535.rwl.

Jahrringbreiten-Datensätze im rwl-Datenformat, für 285 Proben ohne Header. Hier Ausschnitt der Datensätze zu den Proben MWK495 und MWK496, pro Zeile für jeweils 10 Jahrringe. Jahrringbreiten in 1/100 mm. Jahrringbreite „0“, (mutmaßlich) fehlender Jahrring; Jahrringbreite „999“, Ende des Datensatzes.

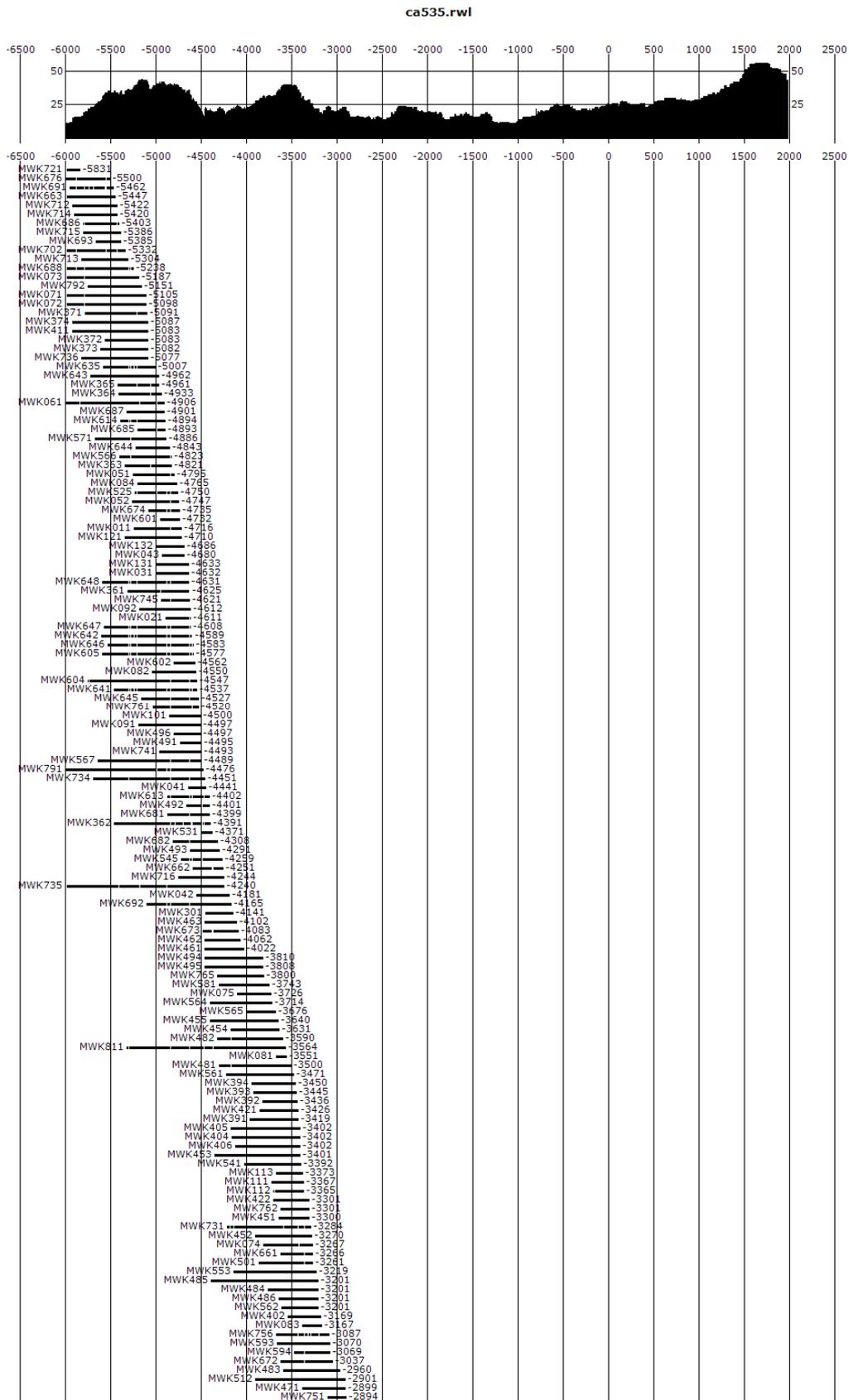


Abb. 27 Datei ca535.rwl, Balkendiagramm.

Anordnung der 285 datierten Jahrringbreiten-Reihen nach aufsteigendem Dendro-Endjahr, älteste oben (Fortsetzung nächste Seite). Skala: Dendrojahr (AD-Format mit Nulljahr), hier Belegung von -6000 bis 1979; links neben Balken: Jahrringabfolge (Probennummer); rechts neben Balken: Dendro-Endjahr.

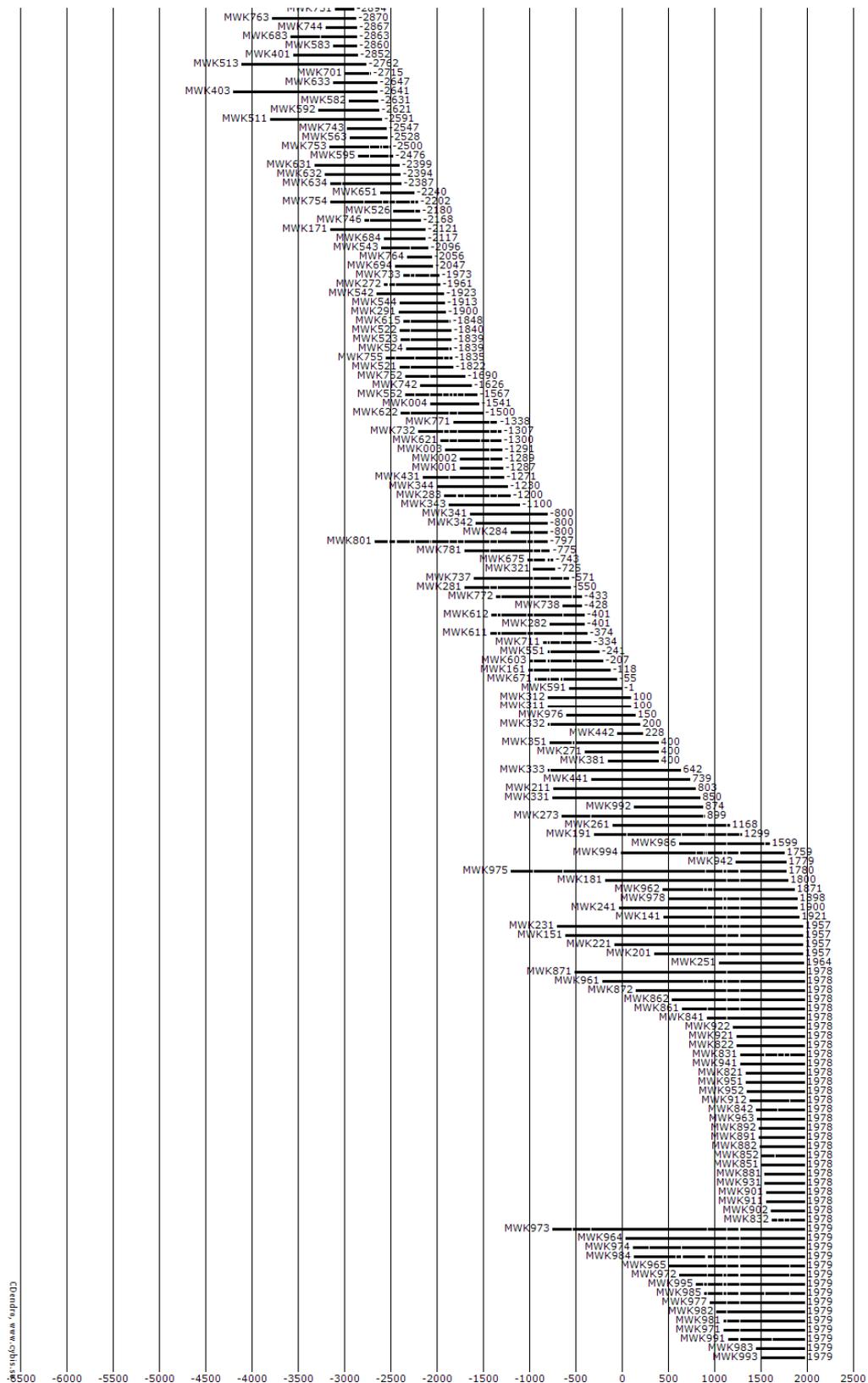


Abb. 27 Fortsetzung (von vorheriger Seite).

Rel year	Over lap	P2Yrs CorrC	----- TTest	BaPi CorrC	----- TTest	C84F CorrC	----- TTest	BesIE CorrC	----- TTest	MeanSF CorrC	----- TTest	GLK-- GLK	Skel- Chi2	P2YrsL CorrC	----** TTest	(year)
0	7978	0,99	99,9	0,96	99,9	0,96	99,9	1	99,9	0,98	99,9	0,98	7351	0,96	99,9	(1979)
544	7433	0,05	4,5	0,03	2,8	0,04	3,1	0,03	2,9	0,04	3,3	0,51	1,3	0,05	4,7	(1435)
-7744	235	0,28	4,4	0,16	2,4	0,18	2,8	0,23	3,6	0,21	3,3	0,59	0,2	0,29	4,6	(9723)
-6364	1614	0,11	4,6	0,08	3,3	0,09	3,8	0,08	3	0,09	3,7	0,54	2,1	0,11	4,5	(8343)
-2530	5448	0,06	4,6	0,06	4,2	0,05	3,6	0,04	3	0,05	3,9	0,52	6,6	0,06	4,5	(4509)
6760	1219	0,12	4,3	0,12	4,2	0,12	4,1	0,11	3,9	0,12	4,1	0,51	1	0,13	4,4	(-4781)
2530	5448	0,06	4,3	0,05	3,8	0,04	3,3	0,04	2,9	0,05	3,6	0,52	7,9	0,06	4,4	(-551)
-544	7433	0,05	4,2	0,03	2,3	0,03	2,6	0,03	2,8	0,03	3	0,51	2	0,05	4,3	(2523)

Tab. 37 Korrelationsanalyse Ca535-Datenbasis, Datei ca535.rwl und ca535.crn.

Vergleich einer aus Datei ca535.rwl erstellten Chronologie (Mittelwertreihe, s. Tab. 38) mit der Chronologie von ca535.crn. Der sehr hohe r -Wert (gelb markiert) bestätigt, dass beide Dateien derselben Datenbasis angehören.

Jahrringserie			Kreuzkorrelationen: Jahrringserien vs. Chronologie (r -Werte)		
Pos.	Bezeichnung	Länge [Dendrojahre]	ca535.text	diese Arbeit	
				Bildung des Mittelwerts (Format)	
			d12	wid	
1	MWK001	464	0,784	0,81	0,79
2	MWK002	462	0,795	0,82	0,79
(...)					
283	MWK993	483	0,710	0,80	0,77
284	MWK994	1775	0,732	0,70	0,59
285	MWK995	1180	0,693	0,67	0,59
Durchschnitt			0,767	0,75	0,70

Tab. 38 Korrelationsanalysen Ca535-Datenbasis, Jahrringserien vs. Chronologie.

Die Bildung einer Mittelwertreihe („mean value sample“) – hier aus des 285 Jahrringbreiten-Zeitreihen der Datei ca535.rwl – erfolgt in CDendro entweder als „normalisierte Mittelwerte mit Standardabweichung und Ringbreiten mit Standardabweichung (d12-Format)“ oder nur als „Ringbreiten-Mittelwerte“ (z. B. wid-Format). Die erstgenannte Prozedur liefert höhere r -Werte. Dateien: Datei ca535.rwl und ca535.txt.

Rel year	Over lap	P2Yrs CorrC	----- TTest	BaPi CorrC	----- TTest	C84F CorrC	----- TTest	BesIE CorrC	----- TTest	MeanSF CorrC	----- TTest	GLK-- GLK	Skel- Chi2	P2YrsL CorrC	----** TTest	(year)
0	460	0,85	34,2	0,85	35,1	0,84	32,9	0,8	28,6	0,84	32,4	0,78	158,1	0,86	35,7	(1978)
358	110	0,54	6,6	0,51	6,1	0,51	6,2	0,44	5,1	0,5	5,9	0,61	11	0,53	6,6	(1620)
-358	108	0,48	5,7	0,46	5,3	0,45	5,2	0,37	4,1	0,44	5	0,54	5,1	0,47	5,6	(2336)
-280	180	0,26	3,6	0,25	3,5	0,28	3,8	0,22	3	0,25	3,4	0,52	0,4	0,26	3,6	(2258)
280	188	0,23	3,3	0,18	2,5	0,21	3	0,19	2,7	0,2	2,8	0,53	1,7	0,24	3,4	(1698)
384	84	0,35	3,4	0,3	2,8	0,3	2,8	0,15	1,4	0,27	2,6	0,51	2	0,34	3,3	(1594)
5	455	0,16	3,5	0,17	3,6	0,2	4,4	0,16	3,3	0,17	3,7	0,54	2,8	0,15	3,2	(1973)
177	291	0,17	2,9	0,13	2,3	0,14	2,3	0,09	1,5	0,13	2,2	0,53	1,1	0,17	2,9	(1801)

Tab. 39 Korrelationsanalyse Ca535-Datenbasis, MWK 852 vs. MWK 851.

Der hohe r -Wert (gelb markiert) zeigt, dass beide Jahrringbreiten-Reihen (Jahrringprofile, Radien) vom selben Baumindividuum stammen.

Pos.	Ferguson (1970)		Ergänzungen (diese Arbeit)				Datei ca535.rwl (zuordbare Datensätze)	vermes- sene Radien (Anzahl)	
	Proben- nummer Baum (TRL)	Intervall "9999-Skala" [Dendrojahre]		Intervall "AD-Skala" [Dendrojahre]		Länge			Gesamt- länge
		Start	Ende	Start	Ende	[Dendrojahre]			
17	63-88	7044	9285	-956	1285	2242	2242	MWK 321	> 1
16	61-1	6330	8473	-1670	473	2144	2144		
15	63-48	8200	8800	200	800	601	601		
14	63-43	7200	8850	-800	850	1651		MWK331-333	3
	63-43	6000	7200	-2000	-800	1201		MWK341-344	4
	63-43	5600	6200	-2400	-1800	601	3251	(?) MWK521-524, MWK526	5
13	63-55	7200	8100	-800	100	901	901	MWK311-312	2
12	67-23	6584	7626	-1416	-374	1043	1043	MWK611-612	2
11	68-102	5930	6713	-2070	-1287	784	784	MWK001-004	4
10	63-89	5395	6649	-2605	-1351	1255			
	63-89	4140	5394	-3860	-2606	1255	2510		
9	64-F19	5600	6170	-2400	-1830	571	571	(?) MWK521-524, MWK526	
8	64-F22	4623	6269	-3377	-1731	1647	1647		
7	66-405	4680	5606	-3320	-2394	927	927	MWK631-634	2
6	65-F131	4900	5409	-3100	-2591	510		s. u.	
	65-F131	3796	4899	-4204	-3101	1104	1614	(?) MWK401-406	6
5	68-106	4622	5085	-3378	-2915	464	464		
4	65-F117	3600	4730	-4400	-3270	1131	1131	MWK451-455	5
3	63-92	3539	3978	-4461	-4022	440	440	(?) MWK461-463	3
2	63-34	3540	5101	-4460	-2899	1562		MWK471, MWK481-485	6
	63-34	3205	3600	-4795	-4400	396	1897	MWK491-496	6
1	63-92E	2859	3440	-5141	-4560	582	582		
E	67-35			-5521	-5089	433	433	(?) MWK371-374	4

Tab. 40 Kalifornische Borstenkiefernchronologie, Baumindividuen.

Versuch einer Identifizierung und Zuordnung von Jahrringprofilen der Datei ca535.rwl zu den von FERGUSON (1970) ausgewiesenen Proben bzw. Baumindividuen. Pos. E (für Erweiterung) ist das Baumindividuum, mit welchem FERGUSON (1970, 243) die Borstenkiefernchronologie um 380 Dendrojahre, von 7104 auf 7484 Dendrojahre, erweitert; Pos. 1 und Pos. E überlappen allerdings nur 53 Dendrojahre.

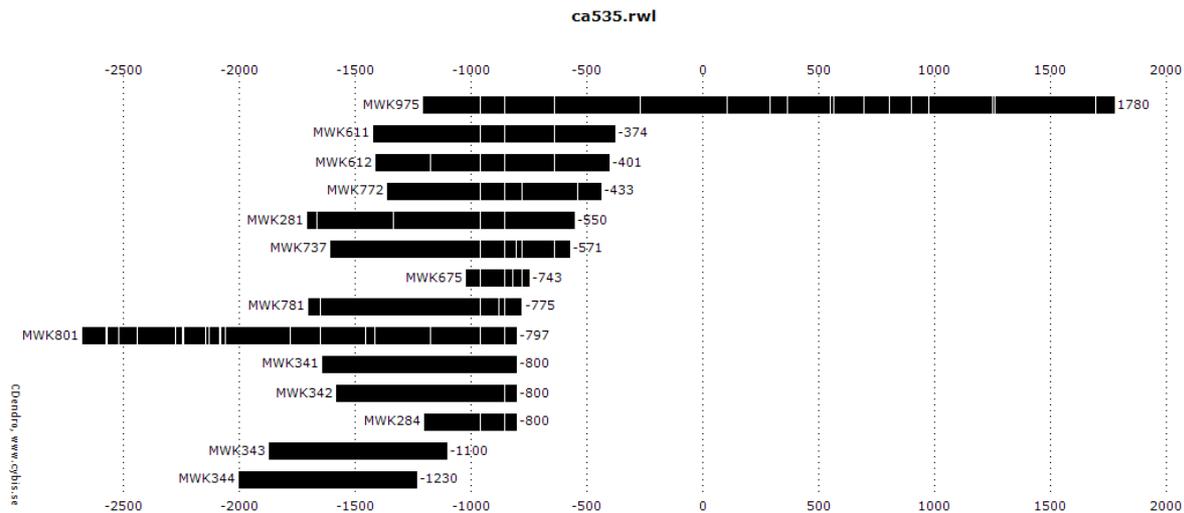


Abb. 28 Ca535-Datenbasis (Auswahl 1), Balkendiagramm.

Die Auswahl bezieht sich auf den Skalenabschnitt von etwa -1200 bis -1000, vor Bereinigung offensichtlicher Mehrfachbelegungen (vgl. Abb. 19). Skala: Dendrojahr (AD-Format mit Nulljahr), hier Belegung von -2672 bis 1780; links neben Balken: Jahrringabfolge (Probennummer); rechts neben Balken: Dendro-Endjahr; Datei: ca535.rwl.

Anhang 3-2: Duplikation der „948-BC-Dendrolücke“

Anhang 3-2 gehört zu Abschnitt 5.5.2. Ein Teil der Belfast-Chronologie (BAILLIE et al. 1983, BAILLIE 1995) ist von OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2012a, 2012b, 2012c, 2014)¹⁹⁰ im Wesentlichen nachgebildet worden, insbesondere die „948-BC-Dendrolücke“. Für diesen Bereich der „948-BC-Dendrolücke“ hat der Verfasser den Versuch unternommen, die Arbeit von OSSOWSKI LARSSON & LARSSON zu duplizieren. Für die unten aufgeführten Teilschritte der Duplikation gilt die Synopse der Tab. 41.

Die von OSSOWSKI LARSSON & LARSSON vorgenommene Nachbildung ist keine 1:1-Duplikation, da nicht bekannt ist, welche Einzel-Jahrringfolgen von BAILLIE et al. (1983) final einbezogen wurden; dies zeigen die teilweise unterschiedlichen Startjahre (Teil I und Teil III) bzw. Endjahre (Teil II) an. Die Nachbildungen bzw. Erweiterungen werden als Kollektionen bezeichnet. Schließlich sind die vom Verfasser verwendeten oder gebildeten Kollektionen direkt den Kollektionen von OSSOWSKI LARSSON & LARSSON gegenübergestellt.

¹⁹⁰ Zu den Manuskripten von OSSOWSKI LARSSON & LARSSON siehe „Peer Review“: <http://www.cybis.se/dendro/dendro-audit/peer-review/> (Zugriff 26. April 2018).

Ossowski Larsson & Larsson (2012-2014); OLL				Diese Arbeit			
Bezeichnung der Kollektion	Interpretation [Dendrojahre]			Bezeichnung der Kollektion (Bemerkung)	Interpretation [Dendrojahre]		
	Dendroskala				Dendroskala		
	Start	Ende	Länge		Start	Ende	Länge
I. Linker (älterer) Teil:							
Belfast-Long-Chronologie (1351BC bis 949 BC)							
Ballymacombs3withoutQ10705	-1227	-948	280	BM3ohneQ10705M-K (Konstruktion nach OLL)	-1227	-948	280
GarryBog5	-2404	-967	1438	GarryBog5-OLL (wie OLL)	-2404	-967	1438
BelfastLong948 (Länge 1451?)	-2404	-948	1457	BelfastLong-OLLK (Mittelwertkurve aus BM3ohneQ10705M-K + GarryBog5-OLL)	-2404	-948	1457
Ballymacombs3	-1227	-836	392	BM3mitQ10705M-K (Konstruktion nach OLL, jedoch ohne Q10705, Q10705A, Q10705M2)	-1227	-836	392
BelfastLongVersion2	-5431	-836	4596	BelfastLongmitQ10705M- OLLK* (Mittelwertkurve aus BM3mitQ10705M-K + GarryBog5-OLL)	-2404	-836	1569
II. Rechter (jüngerer) Teil:							
Garry-Bog-2-Chronologie (947 BC bis 229 BC)							
GB2 (?= LateBCwithoutSwanCarr)	-946	-220	727	GB2-OLL (Mittelwertkurve aus Ballymacombs4 + GarryBog4)	-946	-220	727
Ballymacombs4	-946	-508	439	Ballymacombs4-OLL (wie OLL)	-946	-508	439
GarryBog4	-906	-220	687	GarryBog4-OLL (wie OLL)	-906	-220	687
III. Brückenteil:							
Swan-Carr-Chronologie (1155 BC bis 381 BC)							
Swan Carr	-1154	-311	844	SwanCarr-OLL	-1154	-311	844
IV. Einzelne Jahrringfolgen (datiert)							
				Kollektion BM3mitQ10705M-K			
				Q10705M	-1209	-836	374
				Q2203	-1163	-970	194
				Q2204	-1181	-1028	154
				Q2208	-1227	-1052	176
				Q2211	-1223	-1037	187
				Q2265	-1132	-948	185
				Q2272	-1172	-1028	145

Tab. 41 „948-BC-Dendrolücke“: Synopse der Chronologien und Kollektionen.

Zur Zeitachse: -946 entspricht 947 BC usf. Zu den Bezeichnungen des Verfassers: OLL, Datenübernahme von OSSOWSKI LARSSON & LARSSON; K Konstruktion des Verfassers (Datierung nach OLL); OLLK, Kombination aus OLL und K. Zusammengestellt nach BROWN & BAILLIE (2012), BAILLIE (1995) sowie OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2012a, 2012b; 2012c, insbesondere „dating reports for published mean value collections“; 2014). *, im Vergleich zu OSSOWSKI LARSSON & LARSSON hier nur das kürzere Ende.

Nachstellung der Ausgangssituation. „Swan Carr“ überbrückt die Lücke zwischen „Belfast Long“ und „GB2“ (Abb. 29; vgl. BAILLIE 1995, seine Fig. 2.3, sowie Abb. 21): -947 = 948 BC. Die Ähnlichkeitswerte der Zeitreihen SwanCarr-OLL und BelfastLong-OLLK sind gering ($r=0,21$, $t=3,0$), die der Zeitreihen SwanCarr-OLL und GB2-OLL dagegen höher ($r = 0,33$, $t = 8,7$) (Tab. 42).

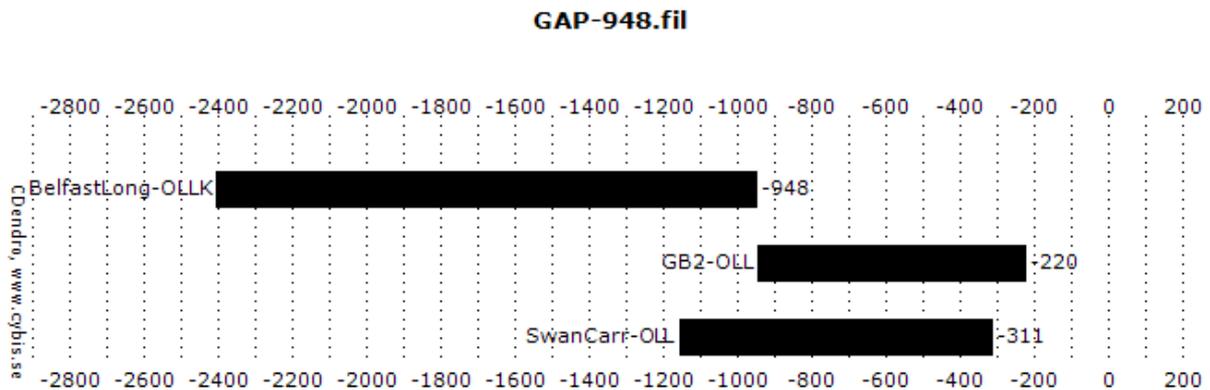


Abb. 29 Überbrückung von „Belfast Long“ und „GB2“.

		BelfastLong-OLLK	GB2-OLL	SwanCarr-OLL
Dated:		-948	-220	-311
	Years	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap
BelfastLong-OLLK	1457			0,21 3,0 206
GB2-OLL	727			0,33 8,7 635
SwanCarr-OLL	844	0,21 3,0 206	0,33 8,7 635	

Tab. 42 Korrelationsanalyse mit Brückenelement „Swan Carr“.

Detaillierte Analyse. Die Zeitreihe BelfastLong-OLLK (Abb. 29) geht aus einer Mittelwertkurve der Zeitreihen BM3ohneQ10705M-K und GarryBog5-OLL (Abb. 30) hervor.

Hinsichtlich Aufbau und Inhalt ist Abb. 30 vergleichbar mit Fig. 2.1 von BAILLIE (1995, 34)¹⁹¹; die Ähnlichkeitswerte der Zeitreihen betragen: SwanCarr-OLL und BM3ohneQ10705M-K: $r=0,18$, $t=2,6$ (BAILLIE 1995: Swan Carr und Ballymacombs mit $t=3,6$); SwanCarr-OLL und GarryBog5-OLL: $r=0,24$, $t=3,3$ (BAILLIE 1995: Swan Carr und Garry Bog 1 mit $t=4,7$); GarryBog5-OLL und BM3ohneQ10705M-K: $r=0,54$, $t=10,2$ (BAILLIE 1995: Garry Bog 1 und Ballymacombs mit $t=7,6$); SwanCarr-OLL und GB2-OLL: $r=0,33$, $t=8,7$ (BAILLIE 1995: Swan Carr und Garry Bog 2 mit $t=6,3$).

Für BAILLIE (1995) ausschlaggebend war der t -Wert von 4,7.¹⁹² Die Beschreibung zu seiner Fig. 2.1 lautet: „Die subfossile Swan-Carr-Chronologie von Nordostengland bildete einen kri-

¹⁹¹ Ursprünglich: Fig. 2 (BAILLIE et al. 1983); die Abbildungsbeschreibung dort lautet: „Possible matching position between the Belfast Long chronology and the Swan Carr/Garry Bog 2 chronology. This tentative link requires further replication but is consistent with the ¹⁴C information.“

¹⁹² „It was quickly apparent that this extension gave a direct correlation ($t = 4.7$) to the Long Chronology (Fig. 2.1)“ (BAILLIE 1995, 35). – In BAILLIE et al. (1983, 174): „A consistent match is found with the Swan Carr chronology at this position $t = 4.7$ (cf GB1) and $t = 3.6$ (cf BMcC). No other consistent match exists.“

tischen Link über die Lücke des zehnten vorchristlichen Jahrhunderts der irischen Chronologie, mit konsistenten Korrelationen zu zwei irischen Lokalchronologien (BAILLIE et al. 1983)".¹⁹³ BROWN & BAILLIE (2012, 89) weisen in ihrer Fig. 4 für Swan Carr und Belfast Long Chronology (i. e. S. Garry Bog 1) einen t -Wert von 7,6 aus. Nach OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2014) handelt es sich hierbei um einen Fehler bei der Erstellung der Abbildung; der t -Wert von 4,7 sei nach wie vor maßgeblich.¹⁹⁴

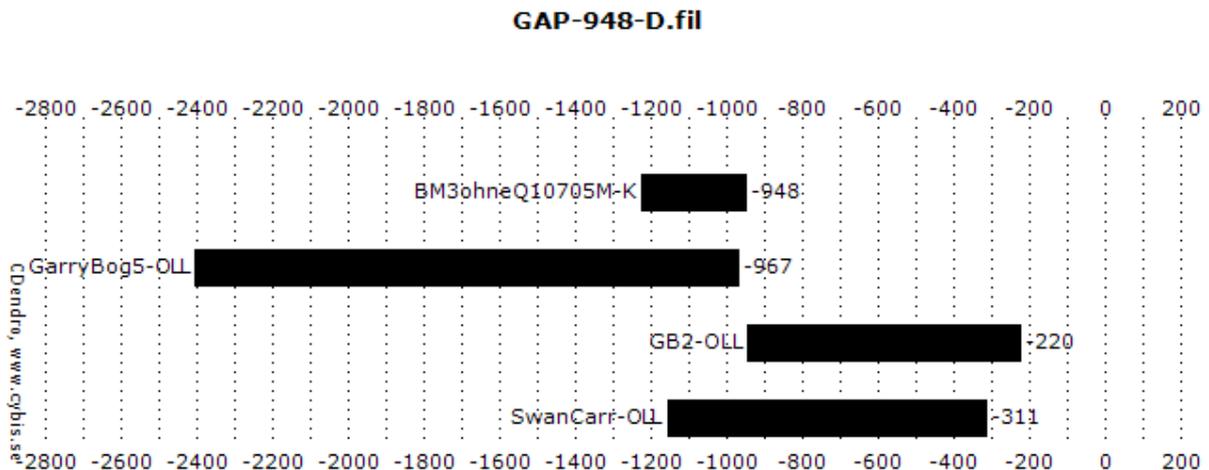


Abb. 30 Überbrückung von „Belfast Long“ und „GB2“, Detail.

		BM3ohneQ10705M-K	GarryBog5-OLL	GB2-OLL	SwanCarr-OLL
Dated:		-948	-967	-220	-311
	Years	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap
BM3ohneQ10705M-K	280		0,54 10,2 260		* 0,18 2,6 206
GarryBog5-OLL	1438	0,54 10,2 260			0,24 3,3 187
GB2-OLL	727				0,33 8,7 635
SwanCarr-OLL	844	* 0,18 2,6 206	0,24 3,3 187	0,33 8,7 635	

Tab. 43 Korrelationsanalyse mit Brückenelement „Swan Carr“, Detail.

Erstellung von BM3ohneQ10705M-K. Die Kollektion ist aus den in der Abb. 31 dargestellten Jahrringfolgen zusammengesetzt. Mit den ermittelten Ähnlichkeitswerten erfolgte zunächst eine relative Positionierung der Jahrringfolgen zueinander, anschließend eine Datierung durch Zuweisung eines Enddatums von -948 zur Jahrringfolge Q2265. Für die Zeitreihe Q2265 werden im Vergleich zur Referenz-Zeitreihe Q2272 zwei Synchronlagen für $t > 3,0$ gelistet (Tab. 44, ersten zwei Zeilen): Versatz um -38 oder -80. Analog zu OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2012c, Report „D. BelfastLongVersion2“, Kollektion Ballymacombs3.fh) ist -80 ge-

¹⁹³ „The Swan Carr sub-fossil chronology from north-east England formed a critical link across the tenth-century BC gap in the Irish chronology, with consistent correlations to two Irish site chronologies (Baillie et al. 1983)“ (BAILLIE 1995, 34).

¹⁹⁴ „This high value is due to a drawing error; the best match is still claimed to be $t=4.7$ (Baillie et al. 1983) (D. Brown, personal communication)“ OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2014, 11).

wählt worden. Tab. 45 zeigt die Korrelationsanalyse der Zeitreihen der Kollektion BM3ohneQ10705M-A nach Datierung.

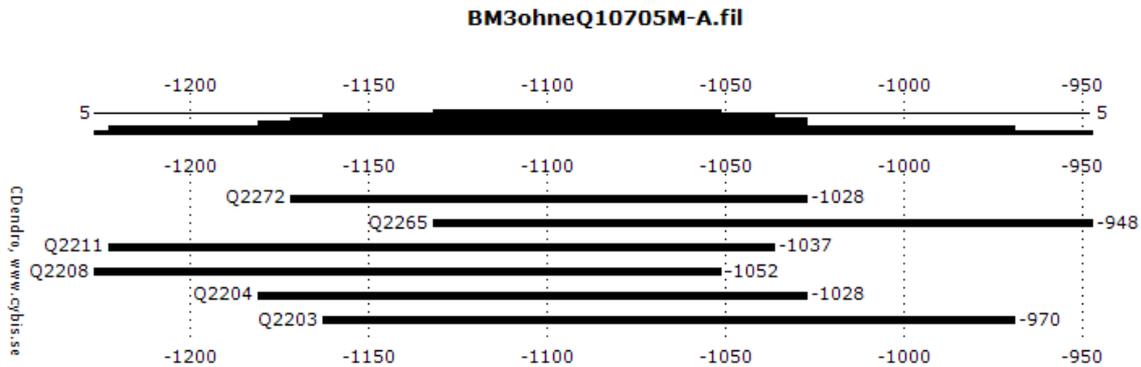


Abb. 31 Kollektion BM3ohneQ10705K.

Der obere Teil der Graphik zeigt die Belegdichte, die Anzahl der Überlappungen in Relation zum Zeitpunkt (hier max. 6).

Rel year	Over lap	P2Yrs CorrC	----- TTest	BaPi- CorrC	----- TTest	C84F- CorrC	----- TTest	BesIE CorrC	----- TTest	MeanS CorrC	F----- TTest	GLK-- GLK	Skel- Chi2	P2YrsL CorrC	----** TTest
-38	144	0,31	3,8	0,27	3,4	0,26	3,1	0,21	2,6	0,26	3,2	0,6	7,4	0,31	3,8
-80	104	0,33	3,6	0,3	3,2	0,34	3,6	0,27	2,8	0,31	3,3	0,61	3,2	0,33	3,6
41	103	0,24	2,5	0,22	2,2	0,25	2,6	0,23	2,3	0,23	2,4	0,54	0,9	0,24	2,5
-50	134	0,2	2,4	0,23	2,7	0,28	3,4	0,25	3	0,24	2,9	0,56	9,4	0,2	2,4
91	53	0,31	2,3	0,21	1,5	0,26	1,9	0,09	0,6	0,21	1,5	0,62	3,5	0,31	2,3
12	132	0,2	2,3	0,12	1,4	0,11	1,3	0,1	1,1	0,13	1,5	0,57	0,5	0,2	2,3
-46	138	0,19	2,2	0,19	2,2	0,11	1,3	0,09	1	0,14	1,7	0,55	7,8	0,19	2,2
-111	73	0,26	2,2	0,15	1,2	0,19	1,7	0,21	1,8	0,2	1,7	0,55	1,8	0,26	2,2

Tab. 44 Korrelationsanalyse mit Brückenelement „Swan Carr“, Detail.

		Q2203	Q2204	Q2208	Q2211	Q2225	Q2272
Dated:		-970	-1028	-1052	-1037	-948	-1028
	Years	CorrTTest Olap					
Q2203	194		0,36 4,5 135	0,45 5,2 111	0,26 3,0 126	0,36 4,9 162	0,38 4,7 135
Q2204	154	0,36 4,5 135		0,38 4,6 129	0,34 4,3 144	0,28 3,0 104	0,89 23,7 144
Q2208	176	0,45 5,2 111	0,38 4,6 129		0,36 5,0 171	0,32 3,0 80	0,33 3,8 120
Q2211	187	0,26 3,0 126	0,34 4,3 144	0,36 5,0 171		0,29 3,0 95	0,39 4,9 135
Q2225	185	0,36 4,9 162	0,28 3,0 104	0,32 3,0 80	0,29 3,0 95		0,33 3,6 104
Q2272	145	0,38 4,7 135	0,89 23,7 144	0,33 3,8 120	0,39 4,9 135	0,33 3,6 104	

Tab. 45 Kollektion BM3ohneQ10705M-K nach Datierung, Korrelationsanalyse.

Jahrringfolge Q10705M. Zu Baum Q10705 (Ballymacombs) liegen vier Jahrringfolgen vor: Q10705, Q10705A, Q10705M und Q10705M2. Sie sind am 21. und 25. August 2009 in den Bestand der Queens-Universität Belfast (QUB) aufgenommen worden (Bearbeiter DMB, D. BROWN). Im Weiteren wird nur die Jahrringfolge Q10705M betrachtet.

Q10705M wird von OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2012c, Report „D. BelfastLongVersion2“) in ihre Ballymacombs3-Kollektion integriert. Analog wird Q10705M in die Kollektion

BM3ohneQ10705M-K eingefügt: zusammen bilden sie die Ballymacombs-Kollektion BM3mitQ10705M-K (Abb. 32). Die t -Werte betragen zwischen 4,0 und 7,3 (Tab. 46).

Mit der Integration erfolgt auch die Datierung der Jahrringfolge Q10705M: -1209 bis -836. Damit wird die Kollektion weit über die „948-BC-Lücke“ hinaus erweitert.

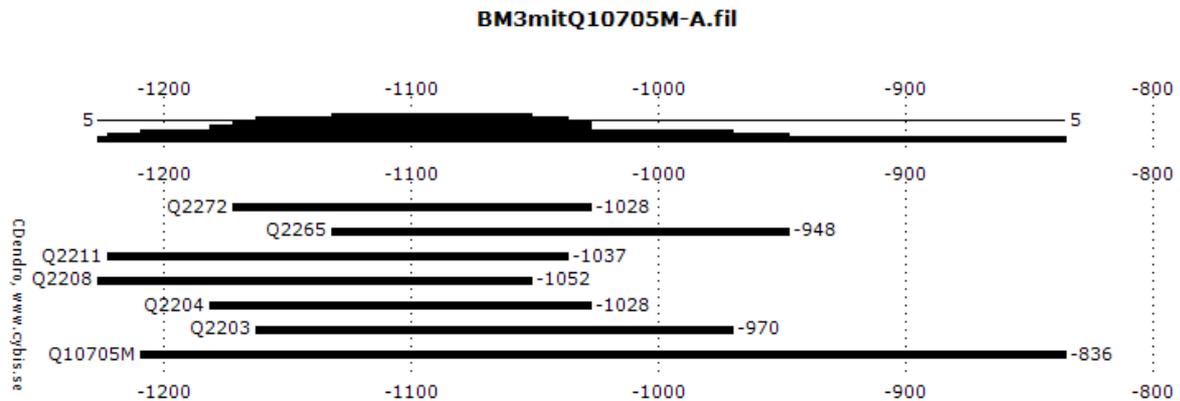


Abb. 32 Kollektion BM3mitQ10705M-K.

Der obere Teil der Graphik zeigt die Anzahl der Überlappungen in Relation zum Zeitpunkt (hier max. 7).

		Q10705M	Q2203	Q2204	Q2208	Q2211	Q2265	Q2272
Dated:		-836	-970	-1028	-1052	-1037	-948	-1028
	Years	CorrTTest Olap						
Q10705M	374		0,38 5,7 193	0,33 4,2 153	0,39 5,3 157	0,39 5,5 172	0,48 7,3 184	0,32 4,0 144
Q2203	194	0,38 5,7 193		0,36 4,5 135	0,45 5,2 111	0,26 3,0 126	0,36 4,9 162	0,38 4,7 135
Q2204	154	0,33 4,2 153	0,36 4,5 135		0,38 4,6 129	0,34 4,3 144	0,28 3,0 104	0,89 23,7 144
Q2208	176	0,39 5,3 157	0,45 5,2 111	0,38 4,6 129		0,36 5,0 171	0,32 3,0 80	0,33 3,8 120
Q2211	187	0,39 5,5 172	0,26 3,0 126	0,34 4,3 144	0,36 5,0 171		0,29 3,0 95	0,39 4,9 135
Q2265	185	0,48 7,3 184	0,36 4,9 162	0,28 3,0 104	0,32 3,0 80	0,29 3,0 95		0,33 3,6 104
Q2272	145	0,32 4,0 144	0,38 4,7 135	0,89 23,7 144	0,33 3,8 120	0,39 4,9 135	0,33 3,6 104	

Tab. 46 Kollektion BM3mitQ10705M-K nach Datierung, Korrelationsanalyse.

Q10705M im Vergleich I. Die datierte Zeitreihe Q10705M wird in Beziehung gesetzt zu den Zeitreihen der Kollektionen links (älter) und rechts (jünger) der „948-BC-Dendrolücke“ (Abb. 33). Diese Situation entspricht hinsichtlich Aufbau und Inhalt der Fig. 2 von OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2012b). Die Ähnlichkeitswerte in Beziehung zu den jünger-datierten Kollektionen sind sehr gering: Q10705M und GarryBog4-OLL: $r=0,08$, $t=0,6$ (OSSOWSKI LARSSON & LARSSON 2012b: Q10705M und GarryBog4 mit $r=0,08$ und $t=0,7$); Q10705M und Ballymacombs4-OLL: $r=0,13$, $t=1,4$ (OSSOWSKI LARSSON & LARSSON 2012b: Q10705M und Ballymacombs4 mit $r=0,13$ und $t=1,4$).

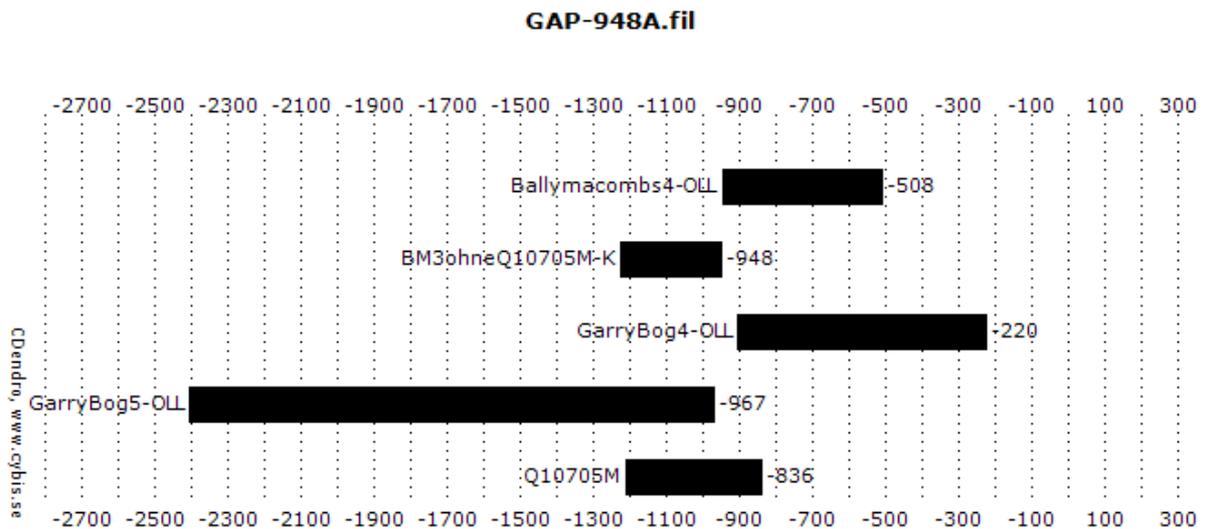


Abb. 33 „948-BC-Dendrolücke“ mit überbrückender Jahrringfolge Q10705M.
Beachte: -947 = 948 BC.

		Ballymacombs4-OLL	BM3ohneQ10705M-K	GarryBog4-OLL	GarryBog5-OLL	Q10705M
Dated:		-508	-948	-220	-967	-836
	Years	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap
Ballymacombs4-OLL	439			0,41 8,9 398		* 0,13 1,4 110
BM3ohneQ10705M-K	280				0,54 10,2 260	0,52 9,7 261
GarryBog4-OLL	687	0,41 8,9 398				* 0,08 0,6 70
GarryBog5-OLL	1438		0,54 10,2 260			0,35 5,9 242
Q10705M	374	* 0,13 1,4 110	0,52 9,7 261	* 0,08 0,6 70	0,35 5,9 242	

Tab. 47 Korrelationsanalyse mit Zeitreihe Q10705M (1).

Q10705M im Vergleich II. Die datierte Zeitreihe Q10705M wird in Beziehung gesetzt zu der Zeitreihen-Konstellation der Ausgangssituation (Abb. 29). Diese Konstellation (Abb. 34) entspricht hinsichtlich Aufbau und Inhalt im Wesentlichen der Fig. 3 von OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2014). Die Ähnlichkeitswerte (Tab. 48) zeigen eine deutliche Separierung an. Einerseits (sehr) niedrige Werte: Q10705M und GB2-OLL: $r=0,12$, $t=1,3$ (OSSOWSKI LARSSON & LARSSON 2014: Q10705M und GB2 mit $r=0,13$ und $t=1,4$); Q10705M und SwanCarr-OLL: $r=0,20$, $t=3,6$ (OSSOWSKI LARSSON & LARSSON 2012b: Q10705M und SwanCarr-OLL mit $r=0,20$ und $t=3,6$). Andererseits höhere Werte: Q10705M und BelfastLong-OLLK: $r=0,45$, $t=8,0$ (OSSOWSKI LARSSON & LARSSON 2014: Q10705M und BelfastLong948 mit $r=0,49$ und $t=9,2$).

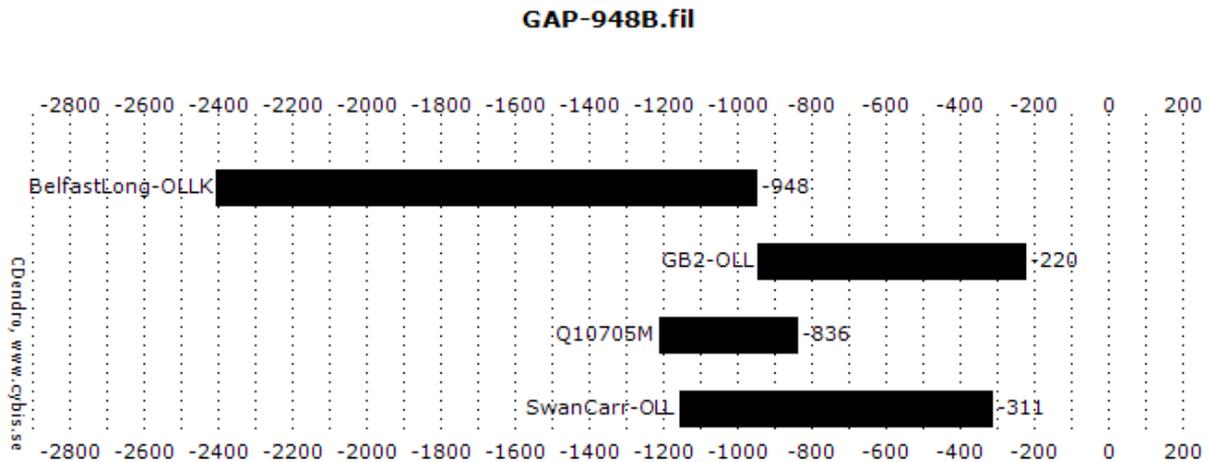


Abb. 34 „948-BC-Lücke“ mit überbrückender Jahrringfolge Q10705M.

		BelfastLong-OLLK	GB2-OLL	Q10705M	SwanCarr-OLL
Dated:		-948	-220	-836	-311
	Years	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap
BelfastLong-OLLK	1457			0,50 9,4 261	0,21 3,0 206
GB2-OLL	727			* 0,12 1,3 110	0,33 8,7 635
Q10705M	374	0,50 9,4 261	* 0,12 1,3 110		* 0,20 3,6 318
SwanCarr-OLL	844	0,21 3,0 206	0,33 8,7 635	* 0,20 3,6 318	

Tab. 48 Korrelationsanalyse mit Zeitreihe Q10705M (2).

Situation nach Einbeziehung von Q10705M: um Q10705M erweiterte „Belfast Long“ im Vergleich. Es wird eine Zeitreihe BelfastLongmitQ10705M-OLLK erstellt, die sich aus einer Mittelwertkurve der Zeitreihen BM3mitQ10705-K und GarryBog5-OLL herleitet. Die erweiterte „Belfast Long“ (bis -836) wird in Beziehung gesetzt zum Brückenelement „SwanCarr“ und „Garry Bog 2“; diese Konstellation entspricht hinsichtlich Aufbau und Inhalt der Fig. 1 von OSSOWSKI LARSSON & LARSSON (2012b). Die Ähnlichkeitswerte (Tab. 49) zeigen erneut eine deutliche Separierung an: BelfastLongmitQ10705M-OLLK und SwanCarr-OLL: $r=0,18$, $t=3,2$ (OSSOWSKI LARSSON & LARSSON 2012b: BelfastLongVersion2 und SwanCarr mit $r=0,16$ und $t=2,8$); BelfastLongmitQ10705M-OLLK und GB2-OLL: $r=0,12$, $t=1,3$ (OSSOWSKI LARSSON & LARSSON 2012b: BelfastLongVersion2 und LateBCwithoutSwanCarr mit $r=0,10$ und $t=1,0$); SwanCarr-OLL und GB2-OLL: $r=0,33$, $t=8,7$ (OSSOWSKI LARSSON & LARSSON 2012b: SwanCarr und LateBCwithoutSwanCarr mit $r=0,30$ und $t=8,0$).

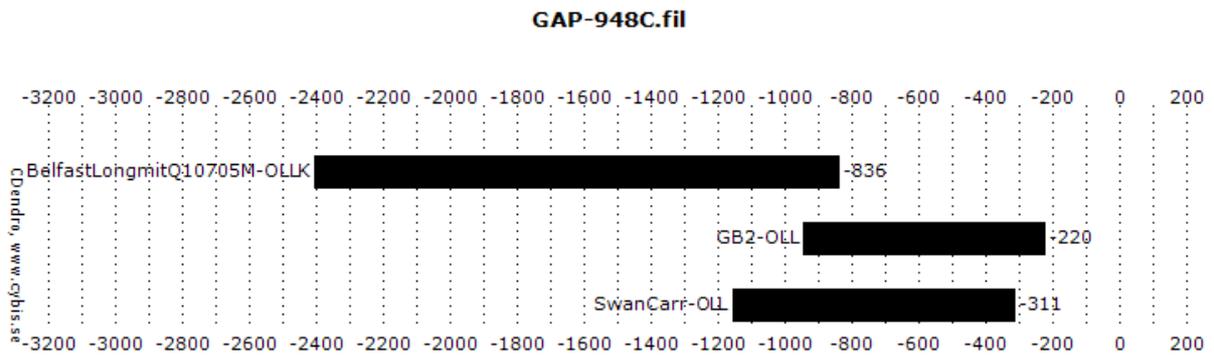


Abb. 35 „948-BC-Lücke“ mit überbrückender Jahrringfolge Q10705M.

		BelfastLongmitQ10705M-OLLK	GB2-OLL	SwanCarr-OLL
Dated:		-836	-220	-311
	Years	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap	CorrTTest Olap
BelfastLongmitQ10705M-OLLK	1569		* 0,12 1,3 110	* 0,18 3,2 318
GB2-OLL	727	* 0,12 1,3 110		0,33 8,7 635
SwanCarr-OLL	844	* 0,18 3,2 318	0,33 8,7 635	

Tab. 49 Korrelationsanalyse mit Zeitreihe Q10705M (3).

Glossar mit Verzeichnis der Abkürzungen

Absolutchronologie, absolut-datiert: Lückenlose → Baumringchronologie von der Gegenwart bis zu einem Zeitpunkt in der Vergangenheit. Die jahrgenaue Datierung einer Holzprobe (→ Jahrringabfolge) durch Synchronisation mit einer Absolutchronologie wird als absolute [Dendro-] Datierung bezeichnet; die Holzprobe ist absolut-datiert.

Ähnlichkeitsmaß: Bezogen auf Vergleiche von → Jahrringbreiten-Reihen bzw. → Jahrringbreiten-Mittelwertreihen: → Gleichläufigkeitswert, → Kreuzkorrelationskoeffizient, → t -Wert.

AD: Anno Domini; kalendarische Jahresangabe, nach Christus.

AMS: Accelerator mass spectrometry, Beschleuniger-Massenspektrometrie.

Baumringchronologie (engl.: *tree-ring chronology, dendrochronology*): Auch Dendrochronologie, Jahrringchronologie oder Jahrringkalender. Bezieht sich hier hauptsächlich auf die mit Baumringen (Jahrringen) konstruierten, langen (mehrtausendjährigen), ununterbrochenen und bis zur Gegenwart reichenden Chronologien (→ Absolutchronologie). Generell: Chronologie aus n Jahrringabfolgen von n Bäumen. Standardchronologien sind regionale Baumringchronologien oder → Absolutchronologien.

Bims: Erstarrte Fetzen aufgeschäumten Magmas.

BP: Before present, vor heute; Bezugsjahr 1950.

BC: Before Christ; kalendarische Jahresangabe, vor Christus.

Beleg(ungs)dichte: Anzahl (Dichte) der zeitlich synchronisierten Jahrringabfolgen (Jahrringprofile, Radien) in Beziehung zum [Dendro-] Skalenpunkt einer Jahrringchronologie; auch Replikationsdichte (→ Replikation). Es gilt zu unterscheiden zwischen Anzahl Baumindividuen und Anzahl Radien (ggf. mehrere Radien pro Baumindividuum).

Cal: Abkürzung für „calibrated“; hier für „kalibrierte ^{14}C -Jahre“.

Chronostratigraphie: „Jener Teil der Stratigraphie, der sich mit den relativen Zeitbeziehungen und Alter der Gesteinskörper beschäftigt“ (SALVADOR 1994, 77) oder anders ausgedrückt mit „der relativen Zeitgliederung anhand von Gesteinskörpern“ (STEININGER & PILLER 1999, 4). Hier bezogen auf die formale Gliederung des Quartär (vgl. Tab. 1).

Chronologie: Allgemein: Abfolge definierter Ereignisse, hier im engeren Sinne: „jahr“-genaue Chronologie durch Datierung der Ereignisse. Auch verkürzt für Jahrringchronologie.

$\delta^{13}\text{C}$: Verhältnis von ^{13}C zu ^{12}C in Relation zu einem Standard.

Dendro(-): Als Vorsilbe oder verkürzt für Dendrochronologie verwendet.

Dendro-Link: Verkürzt für eine dendrochronologische Verknüpfung von zwei Baumringchronologien oder einer Jahrringserie mit einer Baumringchronologie.

Dendrochronologie: Zusammengesetzt aus den griechischen Wörtern für Baum, Zeit und Lehre. Allgemein: Studium der chronologischen Sequenz jährlicher Wachstumsringe in Bäumen (nach STOKES & SMILEY 1968). Konkret (als Altersbestimmungsmethode): die Konstruktion einer lückenlosen Chronologie mit Baumjahrringen (→ Baumringchronologie) von der Gegenwart bis möglichst weit zurück in die Vergangenheit; synonym: Jahrringdatierung.

Duplikation: Hier das Nachbauen/-stellen einer Chronologie mit den dendrochronologischen Rohdaten und Konstruktionsinformationen.

Filterung (Zeitreihen-): Tiefpassfilterung: „Passierenlassen“ tiefer Frequenzen, Unterdrückung (relativ) hoher Frequenzen (kleiner Perioden) zur Hervorhebung (relativ) niedriger Frequenzen (langer Perioden); Hochpassfilterung: „Passierenlassen“ hoher Frequenzen, entsprechend umgekehrt zu Tiefpassfilterung; Bandpassfilterung: Hervorhebung bzw. Extraktion eines bestimmten Frequenz- bzw. Periodenintervalls; bei Ersterem Unterdrückung der anderen Frequenzen.

Ggf.: gegebenenfalls.

Gleichläufigkeit (engl.: *percentage agreement coefficient* oder *coefficient of parallel variation*): Der Gleichläufigkeitswert, hier mit GLK abgekürzt, gilt nach ECKSTEIN & BAUCH (1969) als ein Maß für die Ähnlichkeit von Jahrringfolgen. Die Gleichläufigkeit ist unmittelbar von der Gegenläufigkeit abgeleitet (HUBER 1943). Es handelt sich um den Vergleich zweier Reihen, bei dem der Anteil der gleichsinnigen Jahr-zu-Jahr-Variationen berechnet wird. Dabei werden jeder Reihe für jede Jahr-zu-Jahr-Variation folgende Werte zugewiesen: Zunahme, + 0,5; keine Veränderung, 0; Abnahme, - 0,5. BURAS & WILMKING (2015) haben kürzlich die definierte Gleichläufigkeit (z. B. SCHWEINGRUBER 1983, 83) einer mathematischen Korrektur unterzogen. Wert in % zwischen 0 und 100.

IntCal: International calibration. Die Abkürzung, zusätzlich mit einer zweistelligen Jahreszahl versehen, bezieht sich auf die herausgegebene atmosphärische → Kalibrationskurve für Radiokarbon.

IUGS: International Union of Geological Sciences [<http://www.iugs.org/>]; „Internationale Vereinigung der Geologischen Wissenschaften“. Deutsches Nationalkomitee für die IUGS, siehe: <http://www.bgr.bund.de/DE/Allgemeines/Kooperation/DNK-IUGS.html>.

Jahrring(ab)folge, Jahrringbreiten-Reihe: Eine einzelne, vermessene Abfolge von Jahrringen (Breiten) eines Baumquerschnitts oder einer Kernprobe (eine Jahrringabfolge ist eine Zeitreihe).

Jahrringbreiten-Mittelwertreihe: Mittelwert von mindestens 2 (synchronisierten) Jahrringabfolgen (Zeitreihen).

Jahrringchronologie, -kalender: → Baumringchronologie.

Jahrringdatierung: → Dendrochronologie.

Jüngere Dryas: Eine Phase der klimatostratigraphisch gegliederten, jüngeren Abschnitte des Quartär in NW-Europa, stratigraphisch nach der relativen Kalt-/Warmphase Allerød (beide oberstes Pleistozän).

k. A.: kein Angabe.

Kalibration, kalibrieren: Eichung, eichen. Hier das Eichen (Ausrichten) der Radiokarbon-Zeitskala (→ Kalibrationskurve).

Kalibrationskurve, ¹⁴C-Kalibrationskurve: Hier die von der Kalibrations-Arbeitsgruppe (IntCal Working Group, IWG) jeweils herausgegebene atmosphärische ¹⁴C-Kalibrationskurve. Sie gilt als international anerkannt. Für den Skalenbereich 13.900 bis 0 kalibrierte Jahre BP dendrokalibriert, nach Aussagen der Dendrochronologen auf ein kalendarisches, jahrgenaues Maß.

Kalibrierte ^{14}C -Alter: → Kalibrationskurve.

Konventionelle ^{14}C -Alter: Errechnete ^{14}C -Alter nach Gleichung 1 (Abschnitt 4.1.1), nicht kalibriert.

Korrelationsquotient: → Kreuzkorrelationsanalyse.

Kreuzdatierung (engl.: *cross-dating*): Der (interpretative) Vollzug einer zeitlichen Synchronisation von zwei Jahrringabfolgen oder Jahrringbreiten-Mittelwertreihen bzw. einer Kombination von beiden auf Grundlage ihrer Muster von breiten und schmalen Jahrringen. Die Interpretation erfolgt visuell und/oder mit statistischen Hilfsmitteln, z. B. der → Kreuzkorrelationsanalyse. Im deutschsprachigen Raum auch als Überlappungs- oder Überbrückungsverfahren bezeichnet.

Kreuzkorrelationsanalyse: Korrelationsanalyse zweier Stichproben-Zeitreihen a_i und b_i , wobei die Reihe b_i gegenüber der Reihe a_i (oder umgekehrt) verschoben wird; es wird versucht, die Zeitverschiebung(en) zu ermitteln, die den (die) höchsten Wert(e) für den (Kreuz-) Korrelationskoeffizienten r aufweisen.¹⁹⁵ Werte zwischen -1 und 0 bzw. 0 und 1. Gleichung siehe z. B. in SCHÖNWIESE (2013, 180) oder in SCHWEINGRUBER (1983, 94). Zur Dendrochronologie: Der Wert des Korrelationskoeffizienten ist von der Länge der zu vergleichenden Jahrringabfolgen abhängig (→ t-Wert).

Kreuzvergleich (engl.: *cross-match*): Vergleich von zwei Jahrringabfolgen oder Jahrringbreiten-Mittelwertreihen bzw. einer Kombination von beiden auf Grundlage ihrer Muster von breiten und schmalen Jahrringen (→ Kreuzdatierung).

Link: → Dendro-Link.

LST: Laacher-See-Tephra.

Marine Isotopenstufen (MIS): Auch Sauerstoffisotopenstufen (OIS); Gliederung der abstrahierten Sauerstoffisotopen-Chronologie in Stufen (Oszillationen interpretiert als relativ wärmere bzw. relativ kältere Perioden) von der Gegenwart bis über die Grenze des Pleistozän/Pliozän hinaus (Grenze: Stufe 103), aktueller Standard LR04 (LISIECKI & RAYMO 2005).

Master: hier → Standard(baumring)chronologie.

Pos.: Position; häufig bei Tabellen verwendet.

Phonolithisch: Eine Bezeichnung, die die Zusammensetzung der Magma beschreibt: Mg- und Fe-arm, aber Al_2O_3 -, K_2O - und Na_2O -reich.

Querverprobung (engl.: *cross-check*): Hier bedeutungsgleich mit → Kreuzvergleich.

Radiokarbon: Auch Radiokohlenstoff, ^{14}C ; natürlich vorkommendes, radioaktives Isotop des Kohlenstoffs. Natürliche Häufigkeit (gegenwärtig): ^{14}C , $< 10^{-9}$ %, zum Vergleich: ^{12}C , 98,9 %; ^{13}C , 1,1 %.

Replikation: Prinzip in der Dendrochronologie. Nach BAILLIE (1995, 28): **Primäre** Replikation ist der Vorgang, individuelle Jahrringabfolgen einer Lokalität zu vergleichen; sie bilden ggf. eine lokale Chronologie. **Sekundäre** Replikation ist der Vorgang, unabhängige lokale

¹⁹⁵ SCHÖNWIESE (2013, 179) zur Korrelationsrechnung: „Es muss nur jedem, dem Statistiker wie dem Kritiker statistischer Arbeit, klar sein, dass *Korrelationsrechnungen keine ursächlichen Zusammenhänge behaupten können und wollen*. Sie sind stets nur *Hinweise auf mögliche ursächliche Zusammenhänge* (solange sie nicht im Widerspruch zum deterministischen Hintergrund der Korrelation, speziell zu den physikalischen, eventuell auch physikochemischen Hintergrund-Gegebenheiten, stehen).“

Chronologien zu vergleichen; lokale Chronologien sind länger und robuster als individuelle Jahrringabfolgen. **Tertiäre** (oder **externe**) Replikation ist der Vorgang, Chronologien unabhängiger Bearbeiter zu vergleichen; als „ultimativer Test“ bezeichnet. – Der Begriff Replikation kann den Vorgang als auch den (interpretativen) Vollzug einer Synchronisation meinen. Primäre und sekundäre Replikation werden auch als **interne** Replikation zusammengefasst.

Replikationsrate: → Belegdichte.

σ : Standardabweichung (der Grundgesamtheit) bzw. Unsicherheit; verkürzt: $1\sigma = 68,3\%$; $2\sigma = 95,4\%$.

s.: siehe.

S.: Seite.

Sanidin: Alkalifeldspat, Mischkristall mit der chemischen Formel $(K,Na)[AlSi_3O_8]$.

Schwimmend (engl.: *floating*): Hier eine „schwebende/nicht-verankerte“, (noch) nicht → „absolut-datierte“ Jahrringabfolge oder Baumringchronologie; auch als floatend bezeichnet.

Standard(baumring)chronologie: → Baumringchronologie.

Stratigraphie: Stratigraphie gilt der Beschreibung aller Gesteinskörper, die die Erdkruste aufbauen (auch der nicht geschichteten). → Chronostratigraphie.

t-Wert: Relatives Maß für eine Übereinstimmung von zwei Jahrringabfolgen (allgemein zwei gegeneinander verschobenen Zeitreihen, → Kreuzkorrelationsanalyse) auf Grundlage des (Kreuz-) Korrelationskoeffizienten r und der Länge der zu vergleichenden Jahrringabfolgen; von der Student-Verteilung abgeleitet (BAILLIE & PILCHER 1973, 11). Die Berechnung des t -Wertes erfordert vorab eine Trend-Bereinigung der Basisdaten; BAILLIE & PILCHER (1973, 11) führten hierzu eine 5-Punkte-Glättung (gleitender Mittelwert) durch. – Der „ t -Test“ ist „ein eher ziemlich grober Routinetest (...) als ein strenger statistischer Test“ (PILCHER et al. 1984); „die Werte für t können nicht in Wahrscheinlichkeiten überführt werden, da eine Berücksichtigung der Autokorrelation nicht möglich ist.“

Tephra: Pyroklastika; Auswurfprodukte einer explosiven vulkanischen Eruption; Komponenten nach zunehmender Korngröße: Asche (< 2mm), Lapilli (2-64 mm) sowie Blöcke und Bomben (> 64 mm).

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

vs.: versus; gegen(übergestellt), bei Vergleichen.

Wiggle-Matching: An- oder Einpassung (Tuning) einer Radiokarbon-Mittelkurve einer → schwimmenden Chronologie auf die einer → „absolut-datierten“ Standardchronologie. Mit dieser Art vollzogenen Korrelation bzw. Synchronisation wird die schwimmende Chronologie „absolut-zeitlich“ verankert. Eine möglicherweise dadurch verlängerte Standardchronologie ist für diesen Abschnitt Radiokarbon-kalibriert.

Zeitangaben: Einfügungen in eckigen Klammern dienen – unter Inkaufnahme einer Verschlechterung der Lesbarkeit – zur Konkretisierung oder Klarstellung; die Einfügung *ra-*

diometrisch bezieht sich auf radiometrische Altersbestimmungen (inklusive Interpolation) und die Einfügung *Warven* auf eine Jahresschichtenzählung.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Eruption des Laacher-See-Vulkans: regionale Übersichtskarte.....	2
Abb. 2	Vorkommen und Verbreitung der Laacher-See-Tephra in Mitteleuropa.....	5
Abb. 3	Bimsgrube östlich der Ortschaft Nickenich.....	6
Abb. 4	Verkohelter Baumstamm 1, Bimsabbaugrube Nickenich.....	7
Abb. 5	Verkohelter Baumstamm 2, Bimsabbaugrube Nickenich.....	8
Abb. 6	Wertereihe der atmosphärischen ¹⁴ C-Kalibrationskurve IntCal13 (Auswahl).....	13
Abb. 7	Präsentation des kalibrierten Radiokarbon-Alters mit OxCal-Programm I.....	14
Abb. 8	Präsentation des kalibrierten Radiokarbon-Alters mit OxCal-Programm II.....	15
Abb. 9	Radiokarbon-Variation, Baum 63-92E.....	22
Abb. 10	Radiokarbon-Variation des letzten Jahrtausends.....	23
Abb. 11	Atmosphärische Kalibrationskurve IntCal13.....	24
Abb. 12	Radiokarbon-Kalibration (Ausschnitt).....	26
Abb. 13	Hohenheimer Jahrringkalender.....	34
Abb. 14	Holozäne Eichenchronologie des Hohenheim-Laboratoriums.....	36
Abb. 15	Ähnlichkeitsmaß <i>t</i>	42
Abb. 16	Datierungsmethoden.....	44
Abb. 17	¹⁴ C-Vordatierung.....	46
Abb. 18	Minimal-Chronologie der Ca535-Datenbasis, Balkendiagramm.....	51
Abb. 19	Ca535-Datenbasis (Auswahl 2), Balkendiagramm.....	52
Abb. 20	Belfast-Eichenchronologie, Konstruktionsstand 1980.....	54
Abb. 21	„948-BC-Dendrolücke“, Überbrückung mit Swan-Carr-Chronologie.....	54
Abb. 22	Erweiterung der „Belfast-Long“-Chronologie.....	55
Abb. 23	Borstenkiefernchronologie (Ausschnitt).....	60
Abb. 24	Thayngen-Burgäschisee-Chronologie (Auswahl).....	60
Abb. 25	Borstenkiefernchronologie (Ausschnitt), neue Wertepaare.....	61
Abb. 26	IntCal 13 (Ausschnitt).....	62
Abb. 27	Datei ca535.rwl, Balkendiagramm.....	95
Abb. 28	Ca535-Datenbasis (Auswahl 1), Balkendiagramm.....	99
Abb. 29	Überbrückung von „Belfast Long“ und „GB2“.....	101
Abb. 30	Überbrückung von „Belfast Long“ und „GB2“, Detail.....	102
Abb. 31	Kollektion BM3ohneQ10705K.....	103
Abb. 32	Kollektion BM3mitQ10705M-K.....	104
Abb. 33	„948-BC-Dendrolücke“ mit überbrückender Jahrringfolge Q10705M.....	105
Abb. 34	„948-BC-Lücke“ mit überbrückender Jahrringfolge Q10705M.....	106
Abb. 35	„948-BC-Lücke“ mit überbrückender Jahrringfolge Q10705M.....	107

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Gliederung der jüngeren Abschnitte des Quartär und Eis/Land/Meer-Korrelation. ...	4
Tab. 2	Profilbeschreibung, Abbauwand Bimsgrube Nickenich.	9
Tab. 3	Radiokarbon-Alter der Proben NCK-1a und NCK-1b I.	10
Tab. 4	Radiokarbon-Bestimmungen: organisatorische und technische Details.	10
Tab. 5	Radiokarbon-Alter der Proben NCK-1a und NCK-1b II.	12
Tab. 6	Wertereihe der atmosphärischen ¹⁴ C-Kalibrationskurve IntCal13 (Auswahl).	13
Tab. 7	Kalibrierte Radiokarbon-Alter der Probe NCK-1b mit OxCal-Programm.	14
Tab. 8	Radiokarbon-Alter von verkohlten Baumstämmen in Laacher-See-Tephra.	16
Tab. 9	Warvenkalibrierte Radiokarbon-Alter, Cariaco-Becken (Venezuela).	19
Tab. 10	Altersbestimmung der Laacher-See-Eruption.	20
Tab. 11	Rohdaten für Radiokarbon-Kalibration (Ausschnitt).	25
Tab. 12	Kalibrationsdaten der Radiokarbon-Kalibration (Ausschnitt).	27
Tab. 13	Kalifornische Borstenkiefernchronologie.	31
Tab. 14	Belfast-Chronologie.	33
Tab. 15	Hohenheim-Chronologien.	35
Tab. 16	Kalifornische Borstenkiefernchronologie, Grundgerüste.	49
Tab. 17	Minimal-Chronologie der Ca535-Datenbasis, Ähnlichkeitswerte.	52
Tab. 18	Ca535-Datenbasis (Auswahl), <i>r</i> -Werte.	53
Tab. 19	Belfast-Chronologie, Überbrückung mit Swan-Carr-Chronologie.	56
Tab. 20	Erweiterung der süddeutschen Eichenchronologie, Stand 1982.	57
Tab. 21	Synchronisation deutscher Regionalchronologien.	58
Tab. 22	Kalibrierte, schwimmende Hohenheim-Eichenserien I.	63
Tab. 23	Kalibrierte, schwimmende Hohenheim-Eichenserien II.	64
Tab. 24	Lange Baumringchronologien der White Mountains, Kalifornien.	66
Tab. 25	Irische und deutsche Eichenchronologien, Vergleich I.	71
Tab. 26	Irische und deutsche Eichenchronologien, Vergleich II.	71
Tab. 27	Belfast-Göttingen-Vergleich I.	73
Tab. 28	Belfast-Göttingen-Vergleich II.	74
Tab. 29	Süddeutsche Eichenchronologien.	75
Tab. 30	Hohenheim-Göttingen-Vergleich.	76
Tab. 31	Fortentwicklung der Radiokarbon-Kalibrationskurve.	90
Tab. 32	CDendro, Ergebnistabelle Ähnlichkeitsmaße.	91
Tab. 33	Datei ca535.crn.	93
Tab. 34	Datei ca535.txt, Header.	93
Tab. 35	Datei ca535.txt, S. 173 (Ausschnitt).	94
Tab. 36	Datei ca535.rwl.	94
Tab. 37	Korrelationsanalyse Ca535-Datenbasis, Datei ca535.rwl und ca535.crn.	97
Tab. 38	Korrelationsanalysen Ca535-Datenbasis, Jahrringserien vs. Chronologie.	97
Tab. 39	Korrelationsanalyse Ca535-Datenbasis, MWK 852 vs. MWK 851.	97
Tab. 40	Kalifornische Borstenkiefernchronologie, Baumindividuen.	98

Tab. 41 „948-BC-Dendrolücke“: Synopse der Chronologien und Kollektionen.	100
Tab. 42 Korrelationsanalyse mit Brückenelement „Swan Carr“.	101
Tab. 43 Korrelationsanalyse mit Brückenelement „Swan Carr“, Detail.....	102
Tab. 44 Korrelationsanalyse mit Brückenelement „Swan Carr“, Detail.....	103
Tab. 45 Kollektion BM3ohneQ10705M-K nach Datierung, Korrelationsanalyse.....	103
Tab. 46 Kollektion BM3mitQ10705M-K nach Datierung, Korrelationsanalyse.....	104
Tab. 47 Korrelationsanalyse mit Zeitreihe Q10705M (1).....	105
Tab. 48 Korrelationsanalyse mit Zeitreihe Q10705M (2).....	106
Tab. 49 Korrelationsanalyse mit Zeitreihe Q10705M (3).....	107

Dank

Für eine Durchsicht des Manuskripts und wertvolle Hinweise danke ich Dr. Reinhard Junker, Dr. Rafael Schäffer und Thomas Veigel.

Literatur

- ABBOTT J & MAROHASY (2010) Accessing environmental information relating to climate change: the case of Irish oaks tree rings. *Environmental Law & Management* 22, 172-181.
- 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 (1998) Verkohlte Bäume im Trass der Laacher See-Tephra bei Kruft (Neuwieder Becken). *Archäol. Korresp.* 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. *Quat. Res.* 58, 273-288.
- BABBAGE C (1838) Note M, On the Age of Strata, as Inferred from the Rings of Trees Embedded in Them. In: *The Ninth Bridgewater Treatise, a Fragment*, 2nd edition. London, 256-264.
- BAILLIE MGL (1977a) Recent dendrochronological results from modern and historic Irish oak timbers. In: FRENZEL B (ed.) *Dendrochronologie und postglaziale Klimaschwankungen in Europa*. *Erdwissenschaftliche Forschung XIII*, 9-15.
- BAILLIE MGL (1977b) The Belfast oak chronology to AD 1001. *Tree-Ring Bulletin* 37, 1-12.
- BAILLIE MGL (1979) An interim statement on dendrochronology at Belfast. *Ulster Journal of Archaeology* 42, 72-84.
- BAILLIE MGL (1982) *Tree-Ring Dating and Archaeology*. London.
- BAILLIE MGL (1983) Belfast dendrochronology – the current situation. In: OTTAWAY BS (ed.) *Archaeology, Dendrochronology and the Radiocarbon Calibration Curve*. *Occasional Paper No. 9*, 15-24. Edinburgh.
- BAILLIE MGL (1991) Dendrochronology and Thera. The scientific case. *Journal of the Ancient Chronology Forum* 4, 15-28.
- BAILLIE MGL (1995) *A Slice Through Time: Dendrochronology and Precision Dating*. London.
- BAILLIE MGL (2009) The Radiocarbon calibration from an Irish oak perspective. *Radiocarbon* 51, 361-371.
- BAILLIE M (2010) Tree-ring patterns are intellectual property, not climate data. *The Guardian*, 11. Mai 2010.
- BAILLIE MGL & PILCHER JR (1973) A simple cross-dating program for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin* 33, 7-14.
- BAILLIE MGL, PILCHER JR & PEARSON GW (1983) Dendrochronology at Belfast as a background to high-precision calibration. *Radiocarbon* 25, 171-178.
- BARNETT V & LEWIS T (1978) *Outliers in statistical data*. Chichester.
- BBC (19. April 2019) University told to hand over tree ring data.
- BECKER B (1981) Fällungsdaten römischer Bauhölzer anhand einer 2350-jährigen süddeutschen Eichen-Jahrringchronologie. *Fundberichte aus Baden Württemberg* 6, 369-386.
- BECKER B (1982) Dendrochronologie und Paläoökologie subfossiler Baumstämme aus Flussablagerungen. Ein Beitrag zur nacheiszeitlichen Auenentwicklung im südlichen Mitteleuropa. *Mitteilungen der Kommission für Quartärforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften*, Band 5. Wien.
- BECKER B (1983) The long-term radiocarbon trend of the absolute German oak tree-ring chronology, 2800 to 800 BC. *Radiocarbon* 25, 197-203.
- BECKER B (1992) The history of dendrochronology and radiocarbon calibration. In: TAYLOR RE, LONG A & KRA RS (eds.) *Radiocarbon After Four Decades: An Interdisciplinary Perspective*. New York, 34-49.
- BECKER B (1993) An 11,000-year German oak and pine dendrochronology for radiocarbon calibration. *Radiocarbon* 35, 201-213.
- BECKER B, DELORME A & SCHMIDT B (1977) Koordination der Jahrringforschung beim Aufbau einer postglazialen Eichenchronologie. *Erdwiss. Forschung* 13, 143-146.
- BECKER B & FRENZEL B (1977) Paläoökologische Befunde zur Geschichte postglazialer Flußauen im südlichen Mitteleuropa. *Erdwiss. Forschung* 13, 43-61.
- BECKER B & KROMER B (1986) Extension of the Holocene dendrochronology by the Preboreal pine series, 8800 to 10,100 BP. *Radiocarbon* 28, 961-967.
- BECKER B, KROMER B & TRIMBORN P (1991) A stable-isotope tree-ring timescale of the Late Glacial/Holocene boundary. *Nature* 353, 647-649.
- BECKER B & SCHMIDT B (1982) Verlängerung der mitteleuropäischen Eichen-Jahrringchronologie in das zweite vorchristliche Jahrtausend (bis 1462 v. Chr.). *Archäologisches Korrespondenzblatt* 12, 101-106.
- BECKER B & SCHMIDT B (1990) Extension of the European oak chronology to the past 9924 years. In: WATERBOLK HT & MOOK WG (eds.) *Proceedings of the Second International Symposium, Archaeology and ¹⁴C*. *PACT* 29, 7-50.

- 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.
- 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 (1999b) Lateglacial calendar year chronology based on annually laminated sediments from Lake Meerfelder Maar, Germany. *Quaternary International* 61, 17-25.
- 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.
- BRONK RAMSEY C (2001) Development of the radiocarbon calibration program. *Radiocarbon* 43, 355-363.
- BRONK RAMSEY C (2009) Bayesian Analysis of Radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51, 337-360.
- BRONK RAMSEY C (2017) Methods for summarizing Radiocarbon datasets. *Radiocarbon* 59, 1809-1833.
- BRONK RAMSEY C, ALBERT PG, BLOCKLEY SPE, HARDIMAN M, HOUSLEY RA, LANE CS, LEE S, MATTHEWS IP, SMITH VC & LOEW J (2015) Improved age estimates for key Late Quaternary European tephra horizons in the RESET lattice. *Quaternary Science Reviews* 118, 18-32.
- BRONK RAMSEY C, VAN DER PLICHT J & WENINGER B (2001) 'Wiggle matching' radiocarbon dates. *Radiocarbon* 43, 381-389.
- BROWN DM & BAILLIE MGL (2012) Confirming the existence of gaps and depletions in the Irish oak tree-ring record. *Dendrochronologica* 30, 85-91.
- BROWN DM, MUNRO MAR, BAILLIE MGL & PILCHER JR (1986) Dendrochronology – the absolute Irish standard. *Radiocarbon* 28, 279-283.
- BURAS A & WILMKING M (2015) Correcting the calculation of Gleichläufigkeit. *Dendrochronologica* 34, 29-30.
- DAMON PE (1995) Note concerning 'intercomparison of high-precision ^{14}C measurements at the University of Arizona and The Queen's University of Belfast radiocarbon laboratories' by Kalin et al. (1995) and the regional effect. *Radiocarbon* 37, 955-959.
- DAMON PE (1987) The history of the calibration of radiocarbon dates by dendrochronology. In: AURENCHÉ O, EVAN J, & HOURS P (eds.) *Chronologies in the Near East*. BAR International Series 379. Oxford, 61-104.
- DAVIES SM, ABBOTT PM, PEARCE NJG, WASTEGARD S & BLOCKLEY SPE (2012) Integrating the INTIMATE records using tephrochronology: rising to the challenge. *Quaternary Science Reviews* 36, 11-27.
- DELORME A (1978) Fortschritte beim Aufbau der Göttinger Eichenjährringchronologie des Postglazials. *Neue Ausgrab. u. Forsch. in Nieders.* 12, 243-246.
- DELORME A & LEUSCHNER H-H (1983) Dendrochronologische Befunde zur jüngeren Flußgeschichte von Main, Lahn und Oker. *Eiszeitalter u. Gegenwart* 33, 45-57.
- DOUGLASS AE (1909) Weather cycles in the growth of big trees. *Monthly Weather Review* 37, 225-237.
- DOUGLASS AE (1917) Climatic records in the trunks of trees. *American Forestry* 23, 732-735.
- DOUGLASS AE (1920) Evidence of climatic effects in the annual rings of trees. *Ecology* 1, 24-32.
- DOUGLASS AE (1921) Dating our prehistoric ruins: how growth rings in trees aid in establishing the relative ages of the ruined pueblos of the Southwest. *Natural History* 21, 27-30.
- DOUGLASS AE (1929) The secret of the Southwest solved by talkative tree rings. *National Geographic Magazine* 56, 736-770.
- DOUGLASS AE (1941) Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forestry* 39, 825-831.
- DE JONG AFM, MOOG WG & BECKER B (1979) Confirmation of the Suess wiggles: 3200-3700 BC. *Nature* 280, 48-49.
- DE VRIES H (1958) Variation in concentration of radiocarbon with time and location on earth. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Van Wetenschappen Series B* 61, 94-102.
- ECKSTEIN D & BAUCH J (1969) Beitrag zu Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 88, 230-250.
- ECKSTEIN D & BAUCH J (1977) Über den Aufbau von regionalen Jähringchronologien entlang der Nordseeküste von Dänemark bis zu den Niederlanden. *Erdwiss. Forschung* 13, 1-8.
- ECKSTEIN D & WROBEL S (2005) Dendrochronologie. In: PINGEL V & HAUPTMANN A (eds.) *Archäometrie – eine Querschnittswissenschaft. Methoden und Anwendungsbeispiele naturwissenschaftlicher Verfahren in der Archäometrie*. Stuttgart, 154-170.
- FERGUSON CW (1968) Bristlecone Pine: Science and Esthetics. *Science* 159, 839-846.
- FERGUSON CW (1969) A 7104-year annual tree-ring chronology for bristlecone pine, *Pinus aristata*, from the White Mountains, California. *Tree-Ring Bulletin* 29, 3-29.
- FERGUSON CW (1970) Dendrochronology of bristlecone pine, *Pinus aristata*: establishment of a 7484-year chronology in the White Mountains of eastern-central California, U. S. A. In: OLSSON IU (ed.) *Radiocarbon Variations and Absolute Chronology*. Stockholm, 237-259.

- FERGUSON CW (1972) Dendrochronology of bristlecone pine prior to 4000 B.C. Proceedings of the 8th International Conference on Radiocarbon Dating, Lower Hutt, New Zealand. *Bulletin Royal Society of New Zealand* 14, A2-A10.
- FERGUSON CW (1979) Dendrochronology of bristlecone pine, *Pinus longaeva*. *Environment International* 2, 209-214.
- FERGUSON CW, HUBER B & SUESS HE (1966) Determination of the Age of the Swiss Lake Dwellings as an Example of Dendrochronologically-Calibrated Radiocarbon Dating. *Z. Naturforschung* 21, 1173-1177.
- FERGUSON CW & GRAYBILL DA (1981) Dendrochronology of bristlecone pine. A terminal report submitted 31 October, 1981 on the National Science Foundation grant EAR-78-04436 with the assistance of the Department of Energy contract no. EE-78-A-28-3274.
- FERGUSON CW & GRAYBILL DA (1983) Dendrochronology of bristlecone pine: a progress report. *Radiocarbon* 25, 287-288.
- FERGUSON CW & GRAYBILL DA (1985) Dendrochronology of bristlecone pine. A final technical report submitted 31 May 1985 on the National Science Foundation grant EAR-8018687.
- FERGUSON CW, LAWN B & MICHAEL HN (1985) Prospects for the extension of the bristlecone pine chronology: Radiocarbon analysis of H-84-1. *Meteoritics* 20, 415-421.
- FERGUSON CW & WRIGHT RA (1963) Tree rings in the western Great Basin. Anthropological Paper Number 9, Nevada State Museum. Carson City, Nevada.
- FIRBAS F (1953) Das absolute Alter der jüngsten vulkanischen Eruptionen im Bereich des Laacher Sees. *Die 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.
- FRIEDMAN I, O'NEIL J & CEBULA G (1982) Geostandards Newsletter 6, 11-12.
- FRIEDRICH M, KROMER B, SPURK M, HOFMANN J & KAISER KF (1999) Paleo-environment and radiocarbon calibration as derived from Late Glacial/Early Holocene tree-ring chronologies. *Quaternary International* 61, 27-39.
- FRIEDRICH M, REMMELE S, KROMER B, HOFMANN J, SPURK M, KAISER KF, ORCEL C & KÜPPERS M (2004) The 12,460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from Central Europe – a unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment reconstructions. *Radiocarbon* 46, 1111-1122.
- FRITTS HC (1976) *Tree Rings and Climate*. London New York San Francisco.
- GODWIN H (1962) Half-life of Radiocarbon. *Nature* 195, 984.
- 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.
- GUNTHER K, VONDRÁK D, HRUBA J, VAN DER KNAAP WO, VAN LEEUWEN JFN & HEURICH M (2019) Laacher See tephra discovered in Bohemian Forest, Germany, east of the eruption. *Quaternary Geochronology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2019.02.003>.
- HALLMAN C, HARLAN T & ARNOTT H (2006) Lost and found: the bristlecone pine collection. *Tree-Ring Research* 62, 25-29.
- 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 (1995) Problems in the extension of the radiocarbon calibration curve (10-13 Kyr BP). *Radiocarbon* 37, 75-79.
- 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 H₂O degassing. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 138, 84-98.
- HOLLSTEIN E (1977) Eichenchronologie Westdeutschlands und der Schweiz aus römischer und vorrömischer Zeit. *Erdwiss. Forschung* 13, 16-24.

- HOLLSTEIN E (1980) Mitteleuropäische Eichenchronologie. Trierer dendrochronologische Forschungen zur Archäologie und Kunstgeschichte. [= Trierer Grabungen und Forschungen 11.] Mainz.
- HOGG A, SOUTHON J, TURNEY C, PALMER J, RAMSEY CB, FENWICK P, BOSWIJK G, BÜNTGEN U, FRIEDRICH M & HELLE G (2016) Decadally resolved lateglacial radiocarbon evidence from New Zealand kauri. *Radiocarbon* 58, 709-733.
- HOLDEN NE (1990) Total half-lives for selected nuclides. *Pure & Appl. Chem.* 62, 941-958.
- HUA Q, BARBETTI M, FINK D, KAISER KF, FRIEDRICH M, KROMER B, LEVCHENKO VA, ZOPPI U, SMITH AM & BERTUCH F (2009) Atmospheric ^{14}C variations derived from tree rings during the early Younger Dryas. *Quaternary Science Reviews* 28, 2982-2990.
- HUBER B (1943) Über die Sicherheit jahrringchronologischer Datierung. *Holz Roh- u. Werkst.* 6, 263-268.
- HUBER B (1970) Dendrochronology of central Europe. In: OLSSON IU (ed.) *Radiocarbon Variations and Absolute Chronology*. Stockholm, 233-235.
- HUBER B & GIERTZ-SIEBENLIST V (1969) Unsere tausendjährige Eichen-Jahrringchronologie durchschnittlich 57 (10-150)-fach belegt. *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse Abteilung 1*, 178, 37-42.
- HUBER B & MERZ W (1963) Jahrringchronologische Synchronisation der jungsteinzeitlichen Siedlungen Thayngen-Weier und Burgäschisee-Süd und –Südwest. *Germania* 41, 1-9.
- HUGHEN KA, OVERPECK JT, LEHMAN SJ, KASHGRIAN M, SOUTHON J, PETERSON LC, ALLEY R & SIGMAN DM (1998a) Deglacial changes in ocean circulation from an extended radiocarbon calibration. *Nature* 391, 65-8.
- HUGHEN KA, OVERPECK JT, LEHMAN SJ, KASHGRIAN M, SOUTHON J & PETERSON LC (1998b) A new ^{14}C calibration data set for the last deglaciation based on marine varves. *Radiocarbon* 40, 483-494.
- JARVIS C (2001) Bristlecone work raises chances of bridging the gap. *Tree-ring Times*, Fall 2001.
- JOHNSEN SJ, CLAUSEN HB, DANSGAARD W, FUHRER K, GUNDESTRUP 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.
- 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.
- KAENNEL M & SCHWEINGRUBER FH (1995) *Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian*. Paul Haupt Publishers. Berne Stuttgart Vienna.
- 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.
- KLEIN J, LERMAN JC, DAMON PE & RALPH EK (1982) Calibration of radiocarbon dates: Tables based on the consensus data of the Workshop on Calibrating the Radiocarbon Time Scale. *Radiocarbon* 24, 103-150.
- KOTULLA M (2013) Grönländische Eiskerndaten und ihre Interpretation: Absolute Datierung durch Zählung von Jahresschichten? W+W Special Paper G-13-1, Baiersbronn; http://www.wort-und-wissen.de/artikel/sp/g-13-1_kotulla2013_groenlaendische_eiskerndaten.pdf.
- KOTULLA M (2016) Der explosive Ausbruch des Laacher-See-Vulkans. *Studium Integrale Journal* 23, 111-116.
- KROMER B (1994) Bernd Becker, 1940-1994. *Radiocarbon* 36 (1), v-viii.
- KROMER B, AMBERS J, BAILLIE MGL, DAMON PE, HESSHAIMER V, HOFMANN J, JÖRIS O, LEVIN I, MANNING SW, McCORMAC FG, VAN DER PLICHT J, SPURK M, STUIVER M & WENINGER B (1996) Report: Summary of the workshop “Aspects of high-precision radiocarbon calibration” *Radiocarbon* 38, 607-610.
- KROMER B, FRIEDRICH M, HUGHEN KA, KAISER KF, REMMELE S, SCHAUB M & TALAMO S (2004) Late Glacial ^{14}C ages from a floating, 1382-ring pine chronology. *Radiocarbon* 46, 1203-1209.
- KROMER B, RHEIN M, BRUNS M, SCHOCH-FISCHER H, MÜNNICH KO, STUIVER M & BECKER B (1986) Radiocarbon calibration data for the 6th to the 8th millennia BC. *Radiocarbon* 28, 954-960.
- KROMER B & SPURK M (1998) Revision and tentative extension of the tree-ring based ^{14}C calibration, 9200-11,855 cal Bp. *Radiocarbon* 40, 1117-1125.
- KRUSE HH, LINICK TW & SUESS HE (1980) Computer-matched radiocarbon dates of floating tree-ring series. *Radiocarbon* 22, 260-266.
- KUNIHOLM PI (2002) Archaeological dendrochronology. *Dendrochronologica* 20, 63-68.
- LAMARCHE JR VC & HARLAN TP (1973) Accuracy of tree ring dating of bristlecone pine for calibration of the radiocarbon time scale. *Journal of Geophysical Research* 78, 8849-8858.
- LAMARCHE JR VC (1974) Paleoclimatic Inferences from Long Tree-Ring Records. *Science* 183, 1043-1048.

- 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.
- LARSSON SA & WASTEGARD S (2018) The Laacher See Tephra discovered in southernmost Sweden. *Journal of Quaternary Science* 33, 477-481.
- LEAVITT SW & BANNISTER B (2009) Dendrochronology and Radiocarbon dating: The Laboratory of tree-ring research connection. *Radiocarbon* 51, 373-384.
- LEUSCHNER H-H (1992) Subfossil trees. In: BARTHOLIN T (ed.) *Tree-rings and environment. Proceedings of the International Dendrochronological Symposium, Ystad, South Sweden, Lundqua Report 34*, 193-197.
- LEUSCHNER H-H & DELORME A (1984) Verlängerung der Göttinger Eichenjahrringchronologien für Nord- und Süddeutschland bis zum Jahr 4008 v. Chr. *Forstarchiv* 55, 3-5.
- LEUSCHNER H-H & DELORME A (1988) Tree-ring work in Göttingen: Absolute oak chronologies back to 6255 B. C. In: Hackens T, Munaut AV & Till C (eds.) *Wood and Archaeology. Acts of the European Symposium held at Louvain-lan-Neuve, October 1987*, 123-132.
- LIBBY WF (1955) *Radiocarbon Dating*. Chicago, 2nd ed.
- LIBBY WF (1963) Accuracy of Radiocarbon Dates. *Science* 140, 278-280.
- LINICK TW, LONG A, DAMON PE & FERGUSON CW (1986) High-precision radiocarbon dating of bristlecone pine from 6554 to 5350 BC. *Radiocarbon* 28, 943-953.
- LINICK TW, SUESS HE & BECKER B (1985) La Jolla measurements of radiocarbon in South German Oak tree-ring chronologies. *Radiocarbon* 27, 20-32.
- LISIECKI LE & RAYMO ME (2005) A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records, *Paleoceanography* 20, PA1003, doi: 10.1029/2004PA001071.
- MCCORMAC FG, HOGG AG, HIGHAM TFG, LYNCH-STIEGLITZ J, BROECKER WS, BAILLIE MGL, PALMER J, XIONG L, PILCHER, JR, BROWN D & HOPER ST (1998a) Temporal variation in the interhemispheric ^{14}C offset. *Geophysical Research Letters* 25, 1321-1324.
- MCCORMAC FG, HOGG AG, HIGHAM TFG, BAILLIE MGL, PALMER JG, XIONG L, PILCHER JR, BROWN D & HOPER ST (1998b) Variations of radiocarbon in tree rings: Southern Hemisphere offset preliminary results. *Radiocarbon* 40, 1153-1159.
- MCGINNIES WG & PATRICK DL (1963) Continuation of Studies on the Dendrochronology of Bristlecone Pine (*Pinus aristata* Engelm.) (Continuation of Research Grant NSF-G 19949). A Research Proposal Submitted to the National Science Foundation.
- MEYER W (1983) *Geologischer Wanderführer: Eifel*. Stuttgart.
- MEYER W (1988) *Das Vulkangebiet des Laacher Sees. Rheinische Landschaften 9*. 4. Auflage, Köln.
- MORRIS EA (1986) Charles Wesley Ferguson, 1922-1986 (obituary). *Tree-Ring Bulletin* 46, 1.
- NIU M, HEATON TJ, BLACKWELL PG & BUCK CE (2013) The Bayesian approach to radiocarbon calibration curve estimation: the IntCal13, Marine13, and SHCal13 methodologies. *Radiocarbon* 55, 1905-1922.
- North Greenland Ice Core Project Members (2004) High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature* 431, 147-151.
- OSSOWSKI LARSSON P & LARSSON L-A (2012a) Dating and linkage of the long Belfast BC chronology - an error in one of the key links. <http://www.cybis.se/forfun/dendro/hollstein/belfast/index.php>.
- OSSOWSKI LARSSON P & LARSSON L-A (2012b) How continuous is the European oak chronology? Veröffentl. Manuskript vom 8. Oktober 2012. <http://www.cybis.se/dendro/wp-content/uploads/2015/02/16117-19224-1-SM.pdf>.
- OSSOWSKI LARSSON P & LARSSON L-A (2012c) Evaluation of the Irish oak chronology and its linkage. Veröffentl. Manuskript vom 8. Dezember 2012. <http://www.cybis.se/dendro/wp-content/uploads/2015/02/LarssonResearchReport.pdf>.
- OSSOWSKI LARSSON P & LARSSON L-A (2014) Dendrochronological dating of Roman time. Veröffentl. Manuskript vom 18. April 2014. <http://www.cybis.se/dendro/wp-content/uploads/2015/02/Dendrochronological-dating-of-Roman-time.pdf>.
- 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.
- PEARCE F (2010) Climate sceptic wins landmark data victory ,for price of a stamp'. *The Guardian*, 20. April 2010.

- PEARSON GW (1986) Precise calendrical dating of known growth-period samples using a “curve fitting” technique. *Radiocarbon* 28, 292-299.
- PEARSON GW, BECKER B & QUA F (1993) High-precision ^{14}C measurement of German and Irish oaks to show the natural ^{14}C variations from 7890 to 5000 BC. *Radiocarbon* 35, 93-104.
- PEARSON GW & STUIVER M (1986) High-precision calibration of the radiocarbon time scale, 500-2500 BC. *Radiocarbon* 28, 839-862.
- PEARSON GW & STUIVER M (1993) High-precision bidecadal calibration of the radiocarbon time scale, 500-2500 BC. *Radiocarbon* 35, 25-33.
- PILCHER JR, BAILLIE MGL, SCHMIDT B & BECKER B (1984) A 7272-year tree-ring chronology from Western Europe. *Nature* 312, 150-152.
- PILCHER JR, HILLAM J, BAILLIE MGL & PEARSON GW (1977) A long sub-fossil tree-ring chronology from the north of Ireland. *New Phytologist* 79, 713-729.
- 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.
- REIMER PJ, AUSTIN WEN, BARD E, BAYLISS A, BRONK RAMSEY C, CHENG H, EDWARDS L, FRIEDRICH M, GROOTES PM, GUILDERSON TP, HAJDAS I, HEATON TJ, HOGG AG, HUGHEN KA, KROMER B, MANNING SW, MUSCHELER R, PALMER JG, PEARSON CL, REIMER RW, RICHARDS DA, SCOTT M, SOUTHON JR, TURNEY CSM, VAN DER PLICHT J & WACKER L (2018) A preview of the IntCal19 radiocarbon calibration curves. 23rd International Radiocarbon Conference, June 17-22 2018, Trondheim. Book of Abstracts, 42.
- REIMER PJ, BARD E, BAYLISS A, BECK JW, BLACKWELL PG, BRONK RAMSEY C, BUCK CE, CHENG H, EDWARDS RL & FRIEDRICH M (2013a) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55, 1869-1887.
- REIMER PJ, BARD E, BAYLISS A, BECK JW, BLACKWELL PG, BRONK RAMSEY C, BUCK CE, EDWARDS RL, FRIEDRICH M, GROOTES PM, GUILDERSON TP, HAFIDASON H, HAJDAS I, HATTÉ C, HEATON TJ, HOGG AG, HUGHEN KA, KAISER KF, KROMER B, MANNING SW, REIMER RW, RICHARDS DA, SCOTT EM, SOUTHON JR, TURNEY CSM & VAN DER PLICHT J (2013b) Selection and treatment of data for radiocarbon calibration: an update to the International Calibration (IntCal) criteria. *Radiocarbon* 55, 1923-1945.
- REIMER PR, BAILLIE MGL, BARD E, BAYLISS A, BECK JW, BERTRAND CJH, BLACKWELL PG, BUCK CE, BURR GS, CUTLER KB, PAUL E, DAMON PE, EDWARDS RL, FAIRBANKS RG, FRIEDRICH M, GUILDERSON HP, HOGG AG, HUGHEN KA, KROMER B, MCCORMAC G, MANNING S, RAMSEY CB, REIMER RW, REMMELE S, SOUTHON JR, STUIVER M, TALAMO S, TAYLOR FW, VAN DER PLICHT J & WEYHENMEYER CE (2004) IntCal04 Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0–26 cal kyr BP. *Radiocarbon* 46, 1029-1058.
- REIMER PR, BAILLIE MGL, BARD E, BAYLISS A, BECK JW, BLACKWELL PG, BRONK RAMSEY C, BUCK CE, BURR GS, EDWARDS RL, FRIEDRICH M, GROOTES PM, GUILDERSON TP, HAJDAS I, HEATON TJ, HOGG AG, HUGHEN KA, KAISER KF, KROMER B, MCCORMAC FG, MANNING SW, REIMER RW, RICHARDS DA, SOUTHON JR, TALAMO S, TURNEY CSM, VAN DER PLICHT J & WEYHENMEYER CE (2009) INTCAL09 and MARINE09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 51, 1111-1150.
- REIMER PJ, HUGHEN KA, GUILDERSON TP, MCCORMAC G, BAILLIE MGL, BARD E, BARRATT P, BECK JW, BUCK CE, DAMON PE, FRIEDRICH M, KROMER B, BRONK RAMSEY C, REIMER RW, REMMELE S, SOUTHON JR, STUIVER M & VAN DER PLICHT J (2002) Preliminary report of the first workshop of the IntCal04 radiocarbon calibration/comparison working group. *Radiocarbon* 44, 653-661.
- REINIG F, NIEVERGELT D, ESPER J, FRIEDRICH M, HELLE G, HELLMANN L, KROMER B, MORGANTE S, PAULY M, SOOKDEO A, TEGEL W, TREYDTE K, VERSTEGE A, WAKER L & BÜNTGEN U (2018) New tree-ring evidence for the Late Glacial period from the northern pre-Alps in eastern Switzerland. *Quaternary Science Reviews* 186, 215-224.
- RUMP HH (2017) Die historische Entwicklung von Jahrringforschung und Dendrochronologie in Europa. Diss., Frankfurt/M.
- SALVADOR A (1994) (Ed.) *International Stratigraphic Guide*. 2nd ed.
- SCHAUB M, BÜNTGEN U, KAISER KF, KROMER B, TALAMO S, ANDERSEN KK & RASMUSSEN SO (2008a) Lateglacial environmental variability from Swiss tree rings. *Quaternary Science Reviews* 27, 29-41.
- SCHAUB M, KAISER KF, FRANK DC, BÜNTGEN U, KROMER B & TALAMO S (2008b) Environmental change during the Allerød and younger Dryas reconstructed from Swiss tree-ring data. *Boreas* 37, 74-86.
- SCHMIDT B (1977) Der Aufbau von Jahrringchronologien im Holozän mit Eichen (*Quercus* sp.) aus dem Rhein-, Weser- und Werregebiet. *Erdwiss. Forschung* 13, 91-98.
- SCHMIDT B (1981) Beitrag zum Aufbau der holozänen Eichenchronologie in Mitteleuropa. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 11, 361-363.
- SCHMIDT B & FREUNDLICH J (1984) Zur absoluten Datierung bronzzeitlicher Eichenholzfunde. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 14, 233-237.

- SCHMIDT B & SCHWABEDISSEN H (1978) Jahrringanalytische Untersuchungen an Eichen der römischen Zeit. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 8, 331-337.
- SCHMIDT B & SCHWABEDISSEN H (1982) Ausbau des mitteleuropäischen Eichenjahrringkalenders bis in neolithische Zeit (2061 v. Chr.). *Archäologisches Korrespondenzblatt* 12, 107-108.
- SCHMINCKE H-U (1970) „Base surge“-Ablagerungen des Laacher-See-Vulkans. *Aufschluss* 21, 359-364.
- SCHMINCKE H-U (1981) Die Bimsablagerungen des Laacher See Vulkans. In: NEUNAST A & THEINER J (Hrsg.) *Bims. Bauen mit Baustoffen*. Köln, 19-31.
- 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*. Berlin Heidelberg, 392-429.
- SCHMINCKE H-U, VAN DEN BOGAARD P & FREUNDT A (1990) Quarternary Eifel Volcanism. Excursion guide, workshop in explosive volcanism. IAVCEI International Volcanological Congress Mainz (FGR). Witten, 1-188.
- SCHÖNWIESE C-D (2013) *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*. Stuttgart.
- SCHWEINGRUBER FH (1983) *Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie*. Bern Stuttgart.
- SCHULMAN E (1956) *Dendroclimatic Changes in Semiarid America*. Tucson, Arizona, USA. University of Arizona.
- SCHULMAN E (1958) Bristlecone pine, oldest known living thing. *National Geographic Magazine* 113, 354-372.
- SCHULMAN E & FERGUSON CW (1956) Millenia-old pine trees sampled in 1954 and 1955. In: SCHULMAN (ed.) *Dendroclimatic Changes in Semiarid America*. Appendix C, 136-138.
- SMITH AG, BAILLIE MGL, HILLAM J, PILCHER JR & PEARSON GW (1972) Dendrochronological work in progress in Belfast: the prospects for an Irish post-glacial tree-ring sequence. *Proceedings of the 8th International Conference on Radiocarbon Dating*, Lower Hutt, New Zealand. *Bulletin Royal Society of New Zealand* 14, A92-A95.
- SPEER JH (2010) *Fundamentals of Tree-Ring Research*. Tuscon.
- SPURK M, FRIEDRICH M, HOFMANN J, REMMELE S, FRENZEL B, LEUSCHNER H-H, KROMER B (1998) Revisions and extensions of the Hohenheim oak and pine chronologies – new evidence about the timing of the Younger Dryas/Preboreal transition. *Radiocarbon* 40, 1107-16.
- STEININGER FF & PILLER WE (1999) (Hrsg.) *Empfehlungen (Richtlinien) zur Handhabung der stratigraphischen Nomenklatur*. *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg* 209, 1-19.
- STENSTRÖM KE, SKOG G, GEORGIADOU E, GENBERG J & JOHANSSON (2011) A guide to radiocarbon units and calculations. *Internal Report LUNFD6(NFFR-3111)/1-17/(2011)*, Lund University.
- STOKES MA & SMILEY TL (1968) *An introduction to tree-ring dating*. Chicago London. [Die Ausgabe von 1996 ist unverändert.]
- STUIVER M (1986) Editorial comment. *Radiocarbon* 28 (2B), ii.
- STUIVER M (1993) Editorial comment. *Radiocarbon* 35 (1), iii.
- STUIVER M & BECKER B (1986) High-precision decadal calibration of the radiocarbon time scale, AD 1950 – 2500 BC. *Radiocarbon* 28, 863-910.
- STUIVER M & BECKER B (1993) High-precision decadal calibration of the radiocarbon time scale, AD 1950 – 6000 BC. *Radiocarbon* 35, 35-65.
- STUIVER M, KROMER B, BECKER B & FERGUSON CW (1986) Radiocarbon age calibration back to 13,300 years BP and the ¹⁴C age matching of the German oak and US bristlecone pine chronologies. *Radiocarbon* 28, 969-979.
- STUIVER M & PEARSON GW (1986) High-precision calibration of the radiocarbon time scale, AD 1950 – 500 BC. *Radiocarbon* 28, 805-838.
- STUIVER M & PEARSON GW (1993) High-precision bidecadal calibration of the radiocarbon time scale, AD 1950 – 500 BC and 2500 – 6000 BC. *Radiocarbon* 35, 1-23.
- STUIVER M, PEARSON GW & BRAZIUNAS T (1986) Radiocarbon age calibration of marine samples back to 9000 cal yr BP. *Radiocarbon* 28, 980-1021.
- STUIVER M & POLLACH HA (1977) Discussion: Reporting of ¹⁴C data. *Radiocarbon* 19, 355-363.
- STUIVER M & REIMER PJ (1993) Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program. *Radiocarbon* 35, 215-230.
- STUIVER M, REIMER PJ, BARD E, BECK JW, BURR GS, HUGHEN KA, KROMER B, MCCORMAC G, VAN DER PLICHT J & SPURK M (1998a) INTCAL98 radiocarbon age calibration 24,000-0 cal BP. *Radiocarbon* 40, 1041-1083.

- STUIVER M, REIMER PJ & BRAZIUNAS TF (1998b) High-precision radiocarbon age calibration for terrestrial and marine samples. *Radiocarbon* 40, 1127-1151.
- STUIVER M & SUESS HE (1966) On the relationship between radiocarbon dates and true sample ages. *Radiocarbon* 8, 34-40.
- SUESS HE (1970) Bristlecone-pine calibration of the radiocarbon time-scale 5200 B.C. to the present. In: OLSSON IU (ed.) *Radiocarbon Variations and Absolute Chronology*. Stockholm, 303-312.
- SUESS HE (1978) La Jolla measurements of radiocarbon in tree-ring dated wood. *Radiocarbon* 20, 1-18.
- SUESS HE (1986) Secular variations of cosmogenic ^{14}C on Earth: their discovery and interpretation. *Radiocarbon* 28, 259-265.
- SUESS H & BECKER B (1977) Der Radiokarbongehalt von Jahrringproben aus postglazialen Eichenstämmen Mitteleuropas. *Erdwissenschaftliche Forschung* 13, 156-165.
- TAYLOR RE & SOUTHON J (2013) Reviewing the Mid-First Millennium BC ^{14}C "warp" using ^{14}C /bristlecone pine data. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 294, 440-443.
- TWINING AC (1833) On the growth of timber. *American Journal of Science and Arts* 24, 391-393.
- 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.
- VOGEL JC & VAN DER PLICHT J (1993) Calibration curve for short-lived samples, 1900-3900 BC. *Radiocarbon* 35, 87-91.
- WALKER M, HEAD MJ, BERKELHAMMER M, BJÖRCK S, CHENG H, CWYNAR L, FISHER D, GKINIS V, LONG A, LOWE J, NEWNHAM R, RASMUSSEN SO & WEISS H (2018) Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries. *Episodes* 41, DOI: 10.18814/epiugs/2018/018016.
- WALKER M, JOHNSEN S, RASMUSSEN SO, STEFFENSEN JP, POPP T, GIBBARD P, HOEK W, LOWE J, ANDREWS J, BJÖRCK 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.
- WEIR C (2010) Queen's ordered to release tree data. *Belfast Telegraph*, 1. Mai 2010.
- 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 (1990) Spätquartäre jahreszeitlich geschichtete Seesedimente ausgewählter Eifelmaare. *Documenta naturae* 60, München.
- 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.

Impressum

Studiengemeinschaft Wort und Wissen e. V.

Geschäftsstelle

Rosenbergweg 29, 72270 Baiersbronn

Tel.: 07442-81006

E-Mail: sg@wort-und-wissen.de

Internet: www.wort-und-wissen.de