

Zusammenstellung und Kommentar zu den ^{14}C -datierten Bestattungen aus dem Bereich des Basler Münsters

Caroline Heitz und Peter-Andrew Schwarz

Einleitende Bemerkungen

In den vergangenen Jahrzehnten wurden verschiedene menschliche Skelettreste aus ansonsten nicht datierbaren Gräbern und Ossuaren im Basler Münster sowie aus Bestattungen im engeren Umkreis des Münsters beprobt und mit Hilfe der ^{14}C -Methode einer Altersbestimmung unterzogen (vgl. Abb. 1)¹.

Die Resultate dieser älteren ^{14}C -Analysen sowie von neuen, noch unpublizierten Proben werden im Folgenden vorgelegt und kurz kommentiert. Dies, obschon eine abschliessende Beurteilung der Ergebnisse bzw. eine Verknüpfung mit der komplexen Baugeschichte des Basler Münsters zurzeit nur bedingt möglich ist. Die Vorlage der Ergebnisse der ^{14}C -Analysen erfolgt in erster Linie im Sinne einer Arbeitsgrundlage für künftige Forschungen, namentlich auch für die nach wie vor ausstehende Gesamtauswertung der Grabungen der Jahre 1966/67 und 1974.

Menschenknochen gehören mit zu den komplexesten Probenmaterialien, die für ^{14}C -Datierungen verwendet werden können². Das liegt u. a. daran, dass Menschen im Vergleich zu anderen ^{14}C -datierbaren Organismen relativ lange leben und dass das postsedimentäre Kontaminationsrisiko bei Knochen höher ist, als etwa bei pflanzlichen Proben. Daher sind für eine präzise Datierung von Knochenproben die Reinigungsverfahren bei der Probenaufbereitung entscheidend³. Die hier zu besprechenden ^{14}C -Messungen stammen ausserdem aus verschiedenen Dekaden der Forschungsgeschichte, so dass die Datierungsergebnisse auch von den technischen Voraussetzungen her von der jeweils angewandten ^{14}C -Methode abhängig sind. Aus diesen Gründen müssen zur Bewertung der Datierungsergebnisse einige methodische Prämissen dargelegt werden.

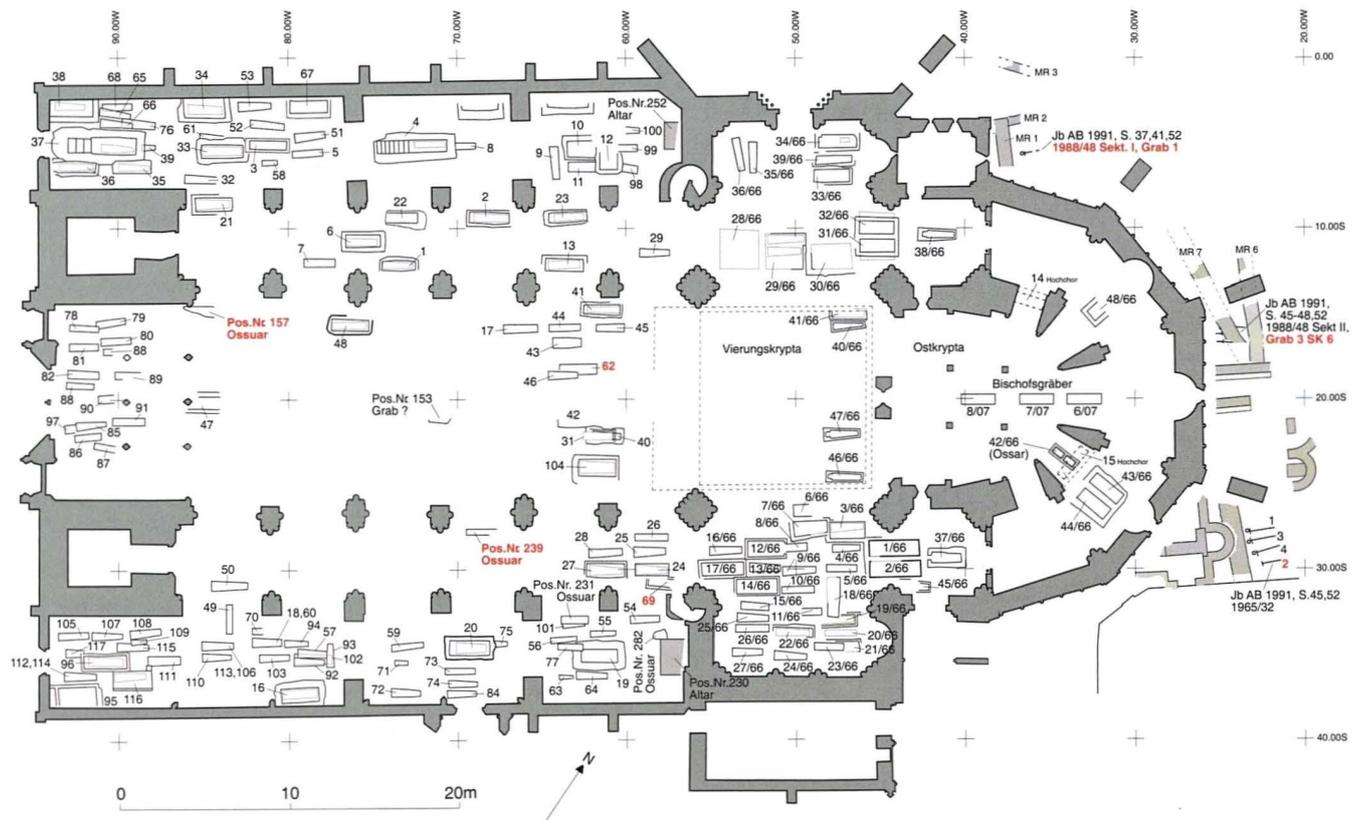


Abb. 1 Übersichtsplan mit der Lage der ^{14}C -datierten Gräber aus dem Bereich des Basler Münsters.

1 Vgl. dazu grundlegend Hajdas 2008, 2-24.

2 Bronk Ramsey et al. 2004, 155-156.

3 Higham et al. 2006, 179.

Bei der ¹⁴C-Datierung können nur Zeitspannen ermittelt werden, keine absoluten Daten einer Probe. Radiokohlenstoff (¹⁴C) ist ein Isotop des Kohlenstoffes (C), das im Vergleich zu den Isotopen ¹²C und ¹³C nicht stabil ist. ¹⁴C wird in der oberen Atmosphäre permanent durch die Reaktion von Stickstoffatomen mit Neutronen aus der kosmischen Strahlung gebildet⁴. Durch Oxidation verbindet es sich zu Kohlenstoffdioxid (¹⁴CO₂) und tritt als solches in den globalen Kohlenstoffkreislauf ein. Durch Photosynthese der Pflanzen gelangt das ¹⁴CO₂ in die Nahrungskette⁵. Organismen, und somit auch der Mensch, nehmen bei der Nahrungsaufnahme permanent ¹⁴C auf. Gleichzeitig zerfällt das instabile ¹⁴C fortlaufend. Aufnahme und Zerfall halten sich so die Balance. Sterben Organismen, so bricht auch ihre ¹⁴C-Aufnahme ab. Mit dem Tod beginnt das verbleibende ¹⁴C mit einer Halbwertszeit von 5730 ± 40 Jahren⁶ wieder zu Stickstoff zu zerfallen⁷.

Die Radiokarbondatierung ist eine Methode mittels welcher das übrig gebliebene ¹⁴C in vorwiegend organischen Resten gemessen wird. Da die Halbwertszeit des ¹⁴C-Zerfalls bekannt ist, kann man durch die Messung des verbliebenen ¹⁴C in einer Knochenprobe beispielsweise auf den Todeszeitraum eines Menschen schliessen.

Die ¹⁴C-Datierungen, die an den Skeletten aus dem Bereich des Basler Münsters vorgenommen wurden, sind mit zwei verschiedenen Methoden errechnet worden. Die hier zu diskutierenden Proben B-681 und B-682 stammen aus der Pionierphase der ¹⁴C-Messung. Sie wurden 1965 im Radiocarbon-Labor des Physikalischen Instituts der Universität Bern⁸ mit dem so genannten Oeschger-Zähler gemessen⁹. Dieser wurde zu Beginn der Sechzigerjahre vom Berner Physiker Hans Oeschger entwickelt, ist bis heute in Funktion und gilt als technischer Meilenstein in der Forschungsgeschichte¹⁰. Der Oeschger-Zähler basierte auf der konventionellen Gasproportional-Zählrohrmethode¹¹. Dabei wird Kohlenstoff in gasförmiges Kohlendioxid umgewandelt. Die Beta-Partikel, die während einer Zerfallszeit von mehreren Tagen entste-

hen, werden in einem Zählrohr ausgezählt¹². Der Zerfall wird damit direkt gemessen. Bei der Ermittlung der ¹⁴C-Rohdaten wird nebst dem Mittelwert der Datierung (Jahre BP) stets ein Standardfehler (± n Jahre) mitberücksichtigt, der die Ungenauigkeit der physikalischen Messung angibt. In den Sechzigerjahren bewegten sich die notwendigen Probemengen für eine damals vergleichsweise genaue Datierung (±100 Jahre) im Grammbereich¹³.

Gegen Ende der Siebzigerjahre wurde die ¹⁴C-Messung mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS) entwickelt. Dabei wird das Verhältnis der in einer Probe übrig gebliebenen ¹⁴C-Atome zum stabilen ¹²C gemessen¹⁴. ¹⁴C-Atome werden so indirekt in Sekundenschnelle gezählt, ohne dass eine Zerfallszeit abgewartet werden muss. Ausserdem sind nur sehr kleine Probemengen von 0.2-2 mg nötig, um eine Genauigkeit von max. ± 35-40 Jahren zu erreichen¹⁵.

Die hier besprochenen Proben UZ-2503/ETH-5146, UZ-2504/ETH-5147 wurden 1988 mittels AMS-Technik im Institut für Mittelenergiephysik der ETH-Hönggerberg gemessen¹⁶, die Proben UtC-1436, UtC-14537, UtC-14538, UtC-14539, UtC-14551 und UtC-14552 im Jahr 2006 im R.J. Van de Graaff Laboratorium der Universität Utrecht.

Heute gibt es punkto Messgenauigkeit keinen Unterschied mehr zwischen den beiden Messverfahren. In den Sechzigerjahren war der Messfehler (BP ±) aber noch um einiges grösser als heute. Die Datierungen aus den Sechziger- und Achtzigerjahren sind deswegen deutlich ungenauer (vgl. dazu auch Abb. 10).

Bei alten ¹⁴C-Proben können wir die Kontamination durch «modernes» oder «altes» ¹⁴C weniger gut einschätzen als bei heutigen Proben. Alle kohlenstoffhaltigen Materialien, die mit ¹⁴C-Proben in Berührung kommen, sind grundsätzliche Quellen von Kontamination. Da die zu datierenden Knochen meist in Sedimenten eingelagert waren, in denen sich auch andere organische Materialien befanden, sind sie stark von Kontamination betroffen: durch den mikrobiellen Abbau organischen Materials werden postsedimentär Huminsäuren freigesetzt, welche den Kohlenstoffgehalt in Knochen verändern können¹⁷. Auch umgebende Sedimente, die z. B. reich an Kalkstein sind, können eine Knochenprobe älter erscheinen lassen. Durch Moose und Wurzeln von Pflanzen, die leicht in die porösen Knochen eindringen, kann eine Kontamination mit «jüngeren» ¹⁴C erfolgen¹⁸. Die Behandlung der Knochen mit

4 Hajdas 2008, 3-5.

5 Jacomet/Kreuz 1999, 195-197.

6 Dabei wird in der Regel die aus den Sechzigerjahren stammende ungenauere Libby-Halbwertszeit von 5568 ± 30 Jahren berücksichtigt, um die Vergleichbarkeit der ¹⁴C-Messungen von forschungsgeschichtlich älteren und jüngeren Proben zu gewährleisten. Vgl. dazu Olsson 2009, 2-3.8.

7 Hajdas 2008, 3-4 sowie ebd. Abb. 1 und Abb. 2.

8 Schoch 1991, 54.

9 Freundliche Mitteilung von René Fischer, Radiocarbon-Labor des Physikalischen Instituts der Universität Bern vom 27.4.2012.

10 Ruff 2008, 8-9; Povinec et al. 2009, 48-49; http://www.oeschger.unibe.ch/about/news/news_de.html?ID=9 [letzter Zugriff am 20.5.2012].

11 Diese erste und älteste Methode der Radiokohlenstoffmessung wurde vom Chemiker und Physiker Willard Libby in den Vierziger- bis Sechzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts entwickelt (vgl. Olsson 2009).

12 <http://www.radiocarbon.com/about-carbon-dating.htm> [letzter Zugriff am 30.4.2012].

13 Olsson 2009, 1; Ruff 2008, 8-9.

14 Kromer 2007, 3-4.

15 Currie 2004, 185.199; Jacomet/Kreuz 1999, 197-198.

16 Schoch 1991, 54.

17 Hajdas 2008, 10.

18 Hajdas 2008, 10. Vgl. auch <http://www.radiocarbon.com/carbon-dating-bones.htm> [Letzter Zugriff am 30.4.2012].

organischen Klebstoffen und kohlenstoffhaltigen Konservierungschemikalien nach der Bergung, die Bedeckung mit modernem Staub, das Einwickeln und Lagern der Knochen in Papier etc. können die Proben ebenfalls mit «modernem» ^{14}C kontaminieren und zu jung erscheinen lassen¹⁹.

In den Sechzigerjahren war das Wissen um mögliche Kontaminationsquellen geringer als heute und es gab noch keine spezifischen Aufbereitungs- und Reinigungsverfahren für Knochenproben. Datierungen aus dieser Zeit dürften daher ungenau sein²⁰. In den Siebziger- und Achtzigerjahren begann man die Proben durch Demineralisierung von anorganischem ^{14}C und durch eine Säure/Base/Säure-Behandlung von Huminsäuren zu reinigen. Ausserdem wird seit den späten Achtzigerjahren durch Ultrafiltration Kollagen aus den Knochen separiert um die Datierung von durch Kontamination dazugekommenem ^{14}C zu vermeiden²¹. Die Erhaltung des Kollagens hängt vom Bodenmilieu ab, in dem der Knochen eingelagert war²²; je stärker der Knochen bereits abgebaut ist, desto geringer sind die Erhaltungschancen für Kollagen²³; je kleiner die Menge an Kollagen, desto ungenauer das ^{14}C -Messergebnis²⁴ und je kleiner die Probe, desto stärker wirkt sich Kontamination aus²⁵.

Sehr fraglich ist, ob 1965 im Radiocarbon-Labor in Bern bereits Kollagen extrahiert wurde²⁶. Dies müsste auch bei den Proben, die in den Achtzigerjahren im Labor der ETH gemessen wurden, abgeklärt werden. Heute werden die Knochendaten ausserdem durch die Messung der ^{13}C -Fraktionierung korrigiert ($^{-13}\text{C} \text{‰}$)²⁷. Dieses Verfahren wurde im Berner Labor erst 1978 eingeführt²⁸. Die Korrektur der Proben B-682 und B-681 erfolgte nachträglich am 27.4.2012 durch R. Fischer, Laborant am ^{14}C -Labor der Universität Bern²⁹. Bei den Proben, die im Labor der ETH gemessen wurden, ist die ^{13}C -Korrektur bereits damals vorgenommen worden (vgl. Abb. 4 und 5).

Bei der Umrechnung der ^{14}C -Rohdaten in Kalenderjahre, der Kalibration, ergeben sich weitere Ungenauigkeiten. Die natürlichen Schwankungen des ^{14}C -Gehaltes in der Atmosphäre im Laufe der Zeit wirken sich auch auf die Menge der gebundenen ^{14}C -Atome in den Organismen aus. Die ^{14}C -Rohdaten berücksichtigen diese Schwankungen nicht und müssen daher kalibriert werden. Die Anstiege und Abfälle der Kalibrationskurve entsprechen den Schwankungen des ^{14}C -Gehaltes in der Atmosphäre. Ein kurzzeitiger Anstieg des ^{14}C -Gehalts ist als Gipfel in der Kurve sichtbar (Wiggle) und ein vorübergehend sinkender ^{14}C -Gehalt als Plateau³⁰. Bei der Kalibrierung wird das gemessene ^{14}C -Rohdatum als Gauss'sche Glockenkurve (Mittelwert mit Standardfehler) auf die schwankende Kalibrationskurve projiziert. Aus dem Zusammentreffen der Kurven ergibt sich kein punktgenaues Datum, sondern erneut eine Verteilungskurve. Das kalibrierte ^{14}C -Datum ergibt eine Zeitspanne, die in Kalenderjahren (cal BC/cal AD) angegeben wird. Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen werden mathematisch in Konfidenzintervallen für die Standardabweichung (1σ , 2σ) angegeben: der 1σ -Bereich entspricht einer Wahrscheinlichkeit von 68.2 % und umfasst eine engere Zeitspanne als der 2σ -Bereich, der aber mit einer Wahrscheinlichkeit von 95.4% das tatsächliche Alter der Probe beinhaltet.

Die erste international verwendete Kalibrationskurve wurde erst 1985 konstruiert. Die von Helmig 1991 publizierten ^{14}C -Daten von 1965 und 1988 dürften mit dieser Kurve kalibriert worden sein. Seither folgte immer wieder eine Verlängerung und Präzisierung der terrestrischen Kalibrationskurve, IntCal98, IntCal04 und schliesslich IntCal09³¹. Die einzelnen Kalibrationskurven liefern leicht unterschiedliche Kalibrationsergebnisse.

Der besseren Vergleichbarkeit halber werden im Folgenden alle ^{14}C -Rohdaten im Programm OxCal v4.17 mit der Kurve IntCal09 kalibriert³². Grundsätzlich werden die einzelnen Daten jeweils separiert geplottet. In der zur Grafik gehörigen Tabelle werden die kalibrierten Kalenderjahr-Intervalle mit ihren verschiedenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen im 1σ - und 2σ -Bereich aufgelistet. Zusätzlich wird ein gerundeter Mittelwert³³ ($\approx m$) sowie die dazugehörige Standardabweichung ($\pm \text{Sigma}$) angegeben. Daraus kann eine wiederum gerundete Datierungsspanne errechnet werden, die eine hohe Wahrscheinlichkeit aufweist ($\approx n$. Chr.). Zu allen Proben werden die Befundzusammenhänge besprochen.

19 Hajdas 2008, 10.

20 Vgl. dazu auch Olsson 2009, 14.

21 Olsson 2009, 14; Bronk Ramsey et al. 2004, 155.

22 Higham et al. 2006, 179.

23 Heute wird die Erhaltung des Kollagens standardmässig untersucht. Eine Möglichkeit abzuklären, ob in einer Knochenprobe genügend Kollagen für die Datierung vorhanden ist, ist die Analyse des enthaltenen $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisses. <http://www.radiocarbon.com/carbon-dating-bones.htm> [Letzter Zugriff am 30.4.2012].

24 Higham et al. 2006, 193.

25 Kreuz/Jacomet 1999, 200.

26 Laut Auskunft von René Fischer, Radiocarbon-Labor des Physikalischen Instituts der Universität Bern, wäre dies zumindest möglich gewesen. Aufzeichnungen zum damaligen Vorgehen sind indes nicht (mehr) vorhanden.

27 Weitere Ausführungen dazu finden sich bei Olsson 2009, 5; van der Plicht et al. 2009/1, 216.

28 Freundliche Mitteilung von René Fischer, Radiocarbon-Labor des Physikalischen Instituts der Universität Bern, vom 27.4.2012.

29 René Fischer, Radiocarbon-Labor des Physikalischen Instituts der Universität Bern, sei an dieser Stelle nochmals herzlich für seine Auskünfte gedankt.

30 Hajdas 2008, 16.

31 Kromer 2007, 3-4.

32 Vgl. Bronk Ramsey 2009.

33 Verwendet wurde hier der in OxCal v4.17 jeweils berechnete Median, der bei Wahrscheinlichkeitsverteilungen als statistischer Mittelwert verwendet wird.

¹⁴C-datierte Bestattungen aus dem südlich der Aussenkrypta gelegenen Areal (Pfalz)

Bei den Grabungen im Bereich der heutigen Pfalz im Jahr 1965 wurden westlich eines spätrömischen Mauerzuges vier beigabenlose Bestattungen (Grab 1, Grab 2, Grab 3 und Grab 4) sowie eine «Vorbereitung» mit menschlichen Skelettresten freigelegt (vgl. Abb. 1). Letztere lag zu Füßen von Grab 2 (1965/32)³⁴. Die für die Altersbestimmung erforderliche Präparierung und Aufbereitung des Probenmaterials erfolgte im Jahr 1965 im Radiocarbon-Labor der Universität Bern.

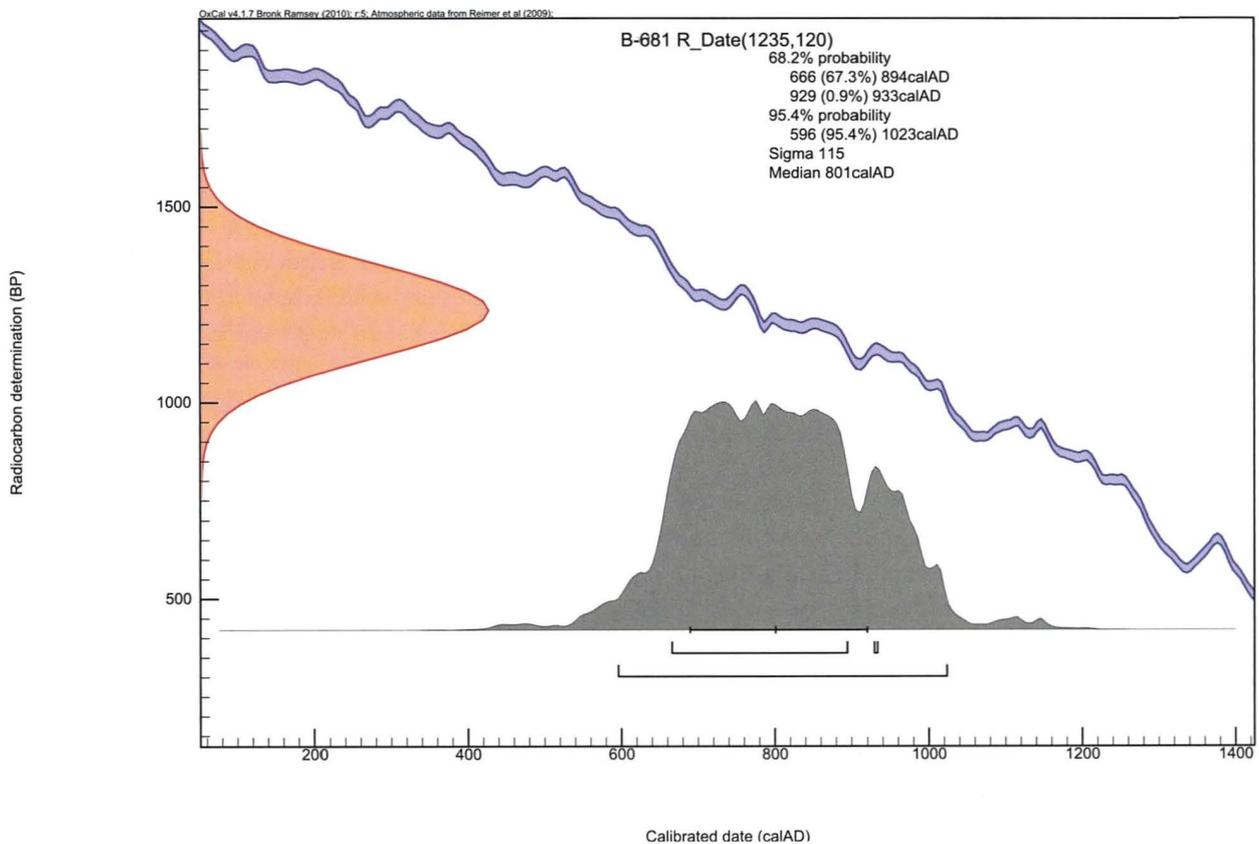
Grab 2 (1965/32) (B-681)

Die Probe B-681 (Abb. 2) stammt aus Grab 2 (1965/32), welches laut dem anthropologischen Befund das Skelett eines mindestens fünfzigjährigen Mannes enthielt³⁵.

«Vorbereitung» (1965/32) (B-682)

Probe B-682 (Abb. 3) stammt aus Knochen der in Grab 2 gefundenen «Vorbereitung». Es handelt sich dabei offensichtlich um Überreste einer älteren Bestattung, die beim Anlegen von Grab 2 (1965/32) angeschnitten und zusammengesammelt wurden. Die Knochen, aus denen die Proben für die ¹⁴C-Messung entnommen wurden, stammen vermutlich von mehreren Individuen, die aber nicht mehr unterschieden werden konnten³⁶.

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass die aufgrund der Befundsituation sicher ältere «Vorbereitung» auch ein um rund 100 Jahre älteres ¹⁴C-Messergebnis geliefert hat. Die erneute Kalibrierung der beiden Daten mit der Kalibrationskurve IntCal09 und unter Einbezug der ¹³C-Korrektur führt jedoch zu einem nahezu identischen Datum³⁷. Die Gräber stammen demnach sicher nicht aus der Spätantike, sondern aus dem Frühmittelalter. Berücksichtigt man die gerundeten Mittelwerte (≈m AD) der



Probennummer	δ ¹³ C (‰)	¹⁴ C BP	≈ n. Chr.	≈ m cal AD	cal AD (1σ=68.2%)	cal AD (2σ=95.4%)
B-681	-25	1235 ± 120	685-915	800 ± 115	666-894 (67.3%) 929-933 (0.9%)	596-1023 (95.4%)

Abb. 2 Grab 2 (1965/32), Probe B-681. Grafische Darstellung der Einzelkalibration. Die Rohdaten sowie die kalibrierten und gerundeten Werte sind in der Tabelle angegeben. Die δ¹³C-Korrekturwerte wurden nachträglich ergänzt. Präparierung, Aufbereitung und Zählrohr-Messung: Oegscher-Zähler des Radiocarbon-Labors der Universität Bern (1965).

34 Helmig 1991, 34-72 bes. 52 sowie Tabelle 1 und Abb. 7.

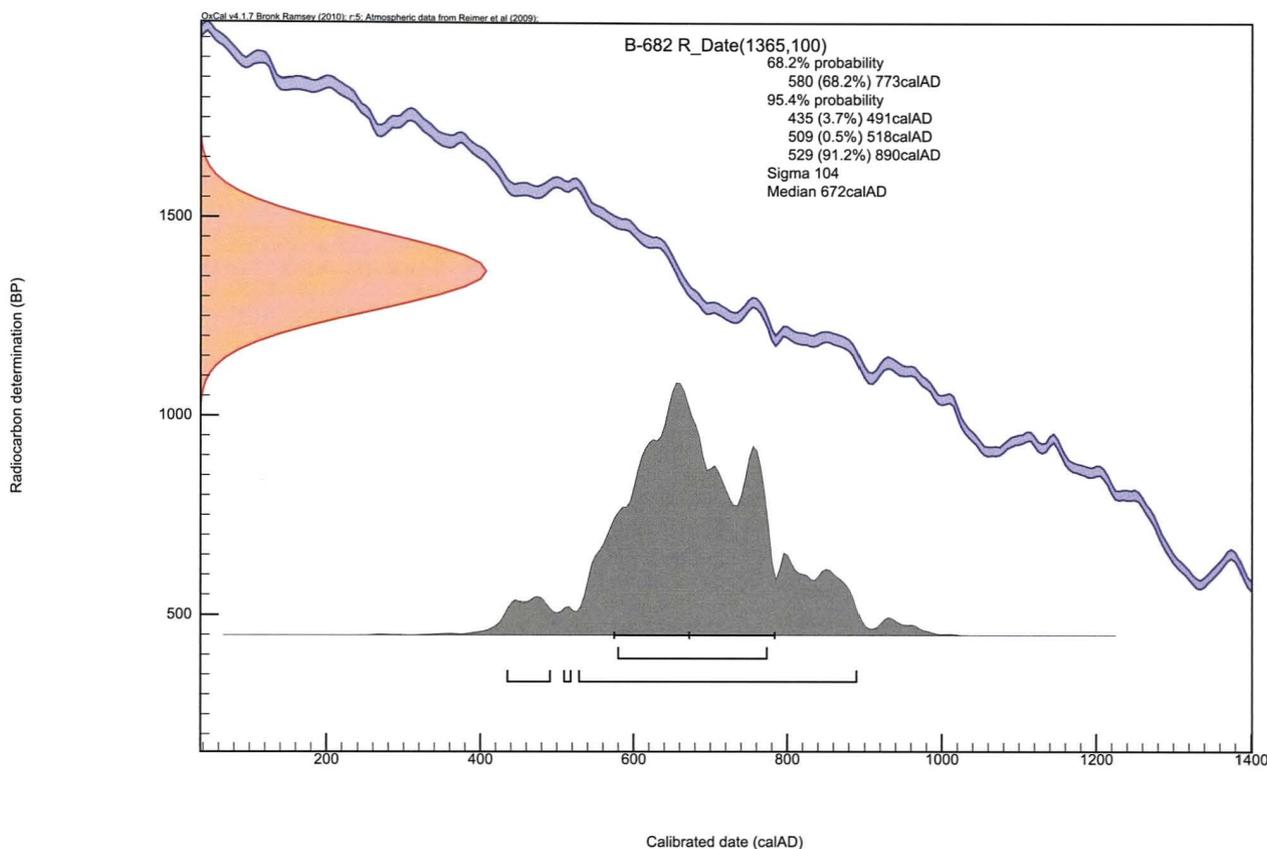
35 Schoch 1991, 54.

36 Schoch 1991, 54.

37 Helmig 1991, Tabelle 1.

beiden Proben, so wäre die «Vorbereitung» in die Zeit um 670 ± 105 bzw. zwischen 565 und 775 n. Chr. zu datieren. Grab 2 fällt mit einem Mittelwert von 800 ± 115 ins 6. bis 8. Jh. n. Chr. Die ^{14}C -Messungen sind mit einem Standardfehler von ± 100 Jahren für die damalige Zeit relativ präzise. Dennoch ergeben sich aus heutiger Sicht bei der Kalibration sehr lange Zeitspannen³⁸. Im 8. und 9. Jh. bestehen zudem gleich mehrere durch einen vorübergehend sinkenden ^{14}C -Gehalt in der Atmosphäre verursachte Altersplateaus, was am nahezu horizontalen Verlauf der Kalibrationskurve abzulesen ist. Organismen, die in dieser Zeitspanne starben, weisen folglich alle dasselbe Radiokarbonalter auf, was bei der Kalibration zu langen Kalenderjahr-Intervallen führt. Dennoch datiert die "Vorbereitung" mit grösster Wahrscheinlichkeit in die Zeit vor 800 n. Chr. Sie könnte mit der bis-

her vermuteten, aber nicht archäologisch nachgewiesenen vor-karolingischen Kirche in Zusammenhang stehen. Möglich ist, dass Grab 2 und die drei anderen beigabenlosen Gräber aber etwas später datieren und aus der Zeit des karolingischen Haito-Münsters stammen. Da nichts über das Vorgehen und den Erhaltungszustand der Knochen zum Zeitpunkt der Probenentnahme bekannt ist, kann zudem auch eine Kontamination durch natürliche (z. B. durch kalkhaltiges Sediment und Huminsäuren) und menschliche Einflüsse (z. B. Kontakt mit (Zeitung-)Papier, Verpackung in Karton, Staub) nicht *a priori* ausgeschlossen werden. Des Weiteren fehlen auch wichtige Informationen über das damalige Aufbereitungs- und Reinigungsverfahren im Radiocarbon-Labor der Universität Bern. Damals wurde wahrscheinlich noch kein Kollagen isoliert³⁹, so dass wir

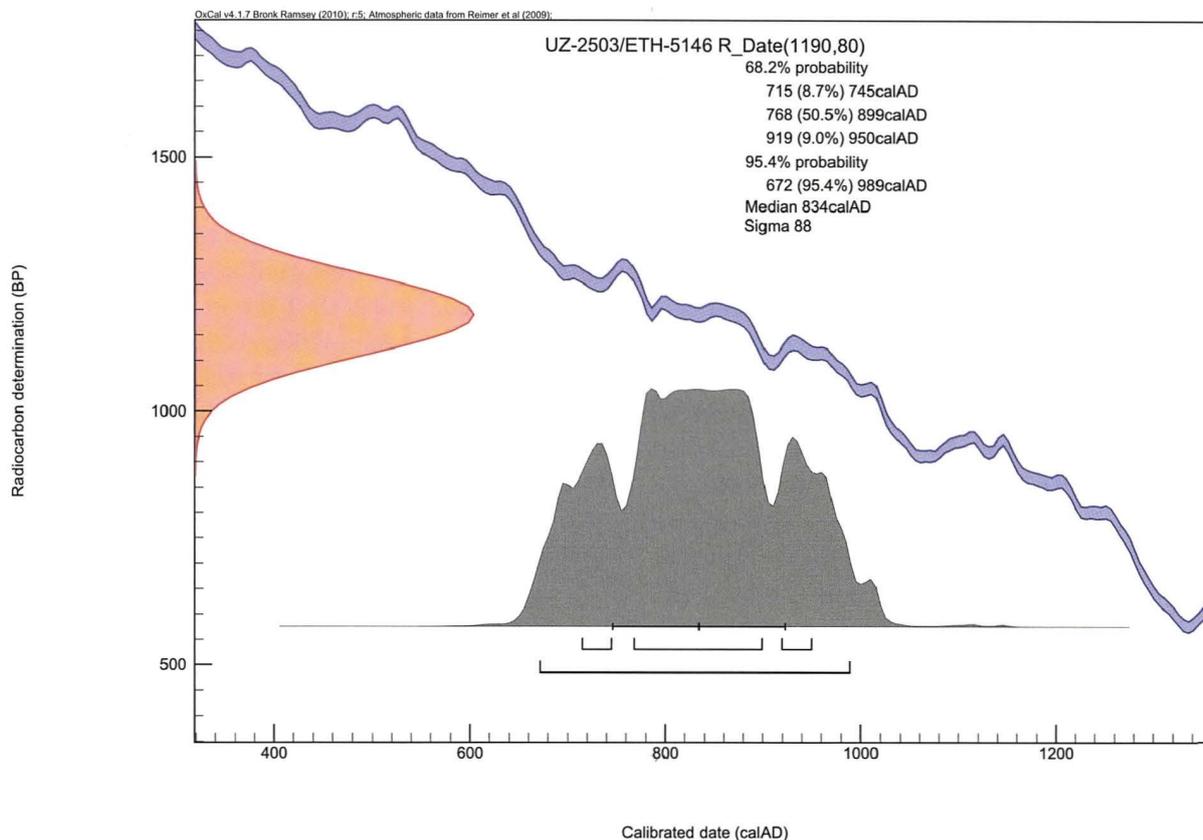


Probennummer	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C BP	\approx n. Chr.	\approx m cal AD	cal AD ($1\sigma=68.2\%$)	cal AD ($2\sigma=95.4\%$)
B-682	-25	1365 ± 100	565-775	670 ± 105	580-773 (68.2%)	435-491 (3.7%)
						509-518 (0.5%)
						529-890 (91.2%)

Abb. 3 «Vorbereitung» von Grab 2 (1965/32), Probe B-682. Grafische Darstellung der Einzelkalibration. Die Rohdaten sowie die kalibrierten und gerundeten Werte sind in der Tabelle angegeben. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Korrekturwerte wurden nachträglich ergänzt. Präparierung, Aufbereitung und Zählrohr-Messung: Oegscher-Zähler des Radiocarbon-Labors der Universität Bern (1965).

38 Hajdas 2008, 16.

39 Die heute von den meisten ^{14}C -Labors angewandte Standardmethode zur Separierung von Kollagen wurde erst 1971 entwickelt. Vgl. dazu Hajdas 2008, 13.



Probennummer	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C BP	≈ n. Chr.	≈ m cal AD	cal AD ($1\sigma=68.2\%$)	cal AD ($2\sigma=95.4\%$)
UZ-2503/ETH-5146	-21.6	1190 ± 80	745-925	835 ± 88	715-745 (8.7%) 768-899 (50.5%) 919-950 (9.0%)	672-989 (95.4%)

Abb. 4 Grab 1, Skelett 1 (1988/48), Probe UZ-2503/ETH-5146. Grafische Darstellung der Einzelkalibration. Die Rohdaten sowie die kalibrierten und gerundeten Werte sind in der Tabelle angegeben. Präparierung und Aufbereitung: 1988, Radiocarbon-Labor des Geographischen Institutes der Universität Zürich (GIUZ); AMS-Messung: Tandem-Beschleuniger des IMP (Institut für Mittelenergiephysik) der ETH-Hönggerberg (1988).

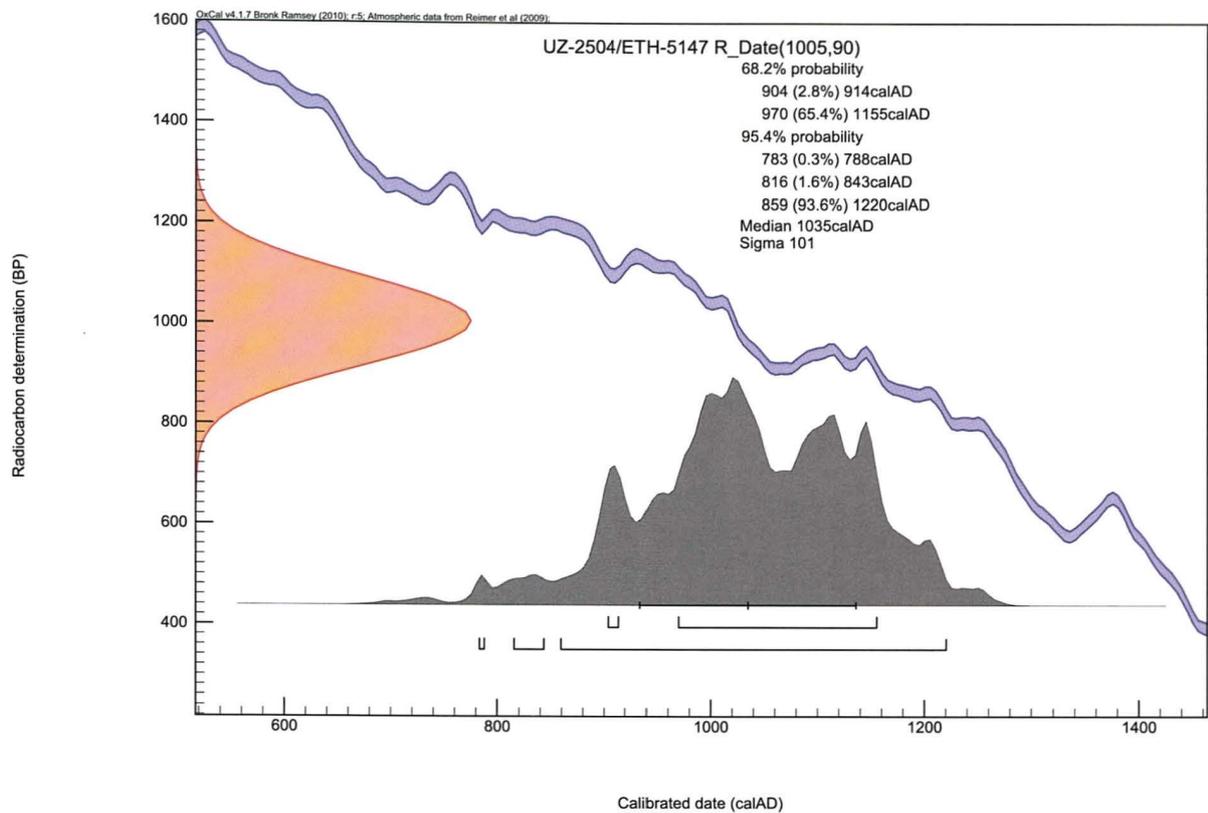
mit einer Kontamination durch «modernes» ^{14}C rechnen müssen. Im Falle der Probe B-681 ist immerhin bekannt, dass fast alle erhaltenen Knochen aus Grab 2 für die Datierung verwendet wurden, was einem Probengewicht von mehreren 100g entsprechen dürfte. Diese grosse Probenmenge könnte sich insofern positiv ausgewirkt haben, als dass eine moderne Kontamination weniger ins Gewicht fallen würde. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass auch geringfügig kontaminierte Proben (Kontamination von ca. 1%) Messwerte liefern, die rund 100 bis 200 Jahre zu jung oder zu alt sind⁴⁰.

^{14}C -datierte Bestattungen aus dem nördlich der Aussenkrypta gelegenen Areal (Pfalz) und aus dem Bereich der Nordsakristei

Bei den Grabungen im Zusammenhang mit der Sanierung der Dachwasserableitungen des Basler Münsters (1988/48) wurden verschiedene Gräber angeschnitten (vgl. Abb. 1). Aufgrund konkreter archäologischer Fragestellungen wurden in der Folge zwei Skelette im Hinblick auf eine ^{14}C -Datierung beprobt⁴¹. Die für die Altersbestimmung erforderliche Präparierung und Aufbereitung des Probenmaterials erfolgte im Jahr 1988 im Radiocarbon-Labor des Geographischen Institutes der Universität Zürich (GIUZ). Die anschliessende Datierung wurde mittels der

41 An dieser Stelle sei der Freiwilligen Akademischen Gesellschaft Basel und der Sophie und Karl Binding Stiftung, welche die Kosten für die zusätzlichen und hier erstmals publizierten ^{14}C -Analysen übernommen haben, nochmals herzlich gedankt.

40 Vgl. dazu Jacomet/Kreuz 1999, 200.



Probennummer	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C BP	\approx n. Chr.	\approx m cal AD	cal AD (1 σ =68.2%)	cal AD (2 σ =95.4%)
UZ-2504/ETH-5147	-14.8	1005 \pm 90	935-1135	1035 \pm 101	904-914 (2.8%)	783-788 (0.3%)
					970-1155 (65.4%)	816-843 (1.6%)
						859-1220 (93.6%)

Abb. 5 Grab 3, Skelett 6 (1988/48), Probe UZ-2504 / ETH-5147. Grafische Darstellung der Einzelkalibration. Die Rohdaten sowie die kalibrierten und gerundeten Werte sind in der Tabelle angegeben. Präparierung und Aufbereitung: 1988, Radiocarbon-Labor des Geographischen Institutes der Universität Zürich (GIUZ); AMS-Messung: Tandem-Beschleuniger des IMP (Institut für Mittelenergiephysik) der ETH-Hönggerberg (1988).

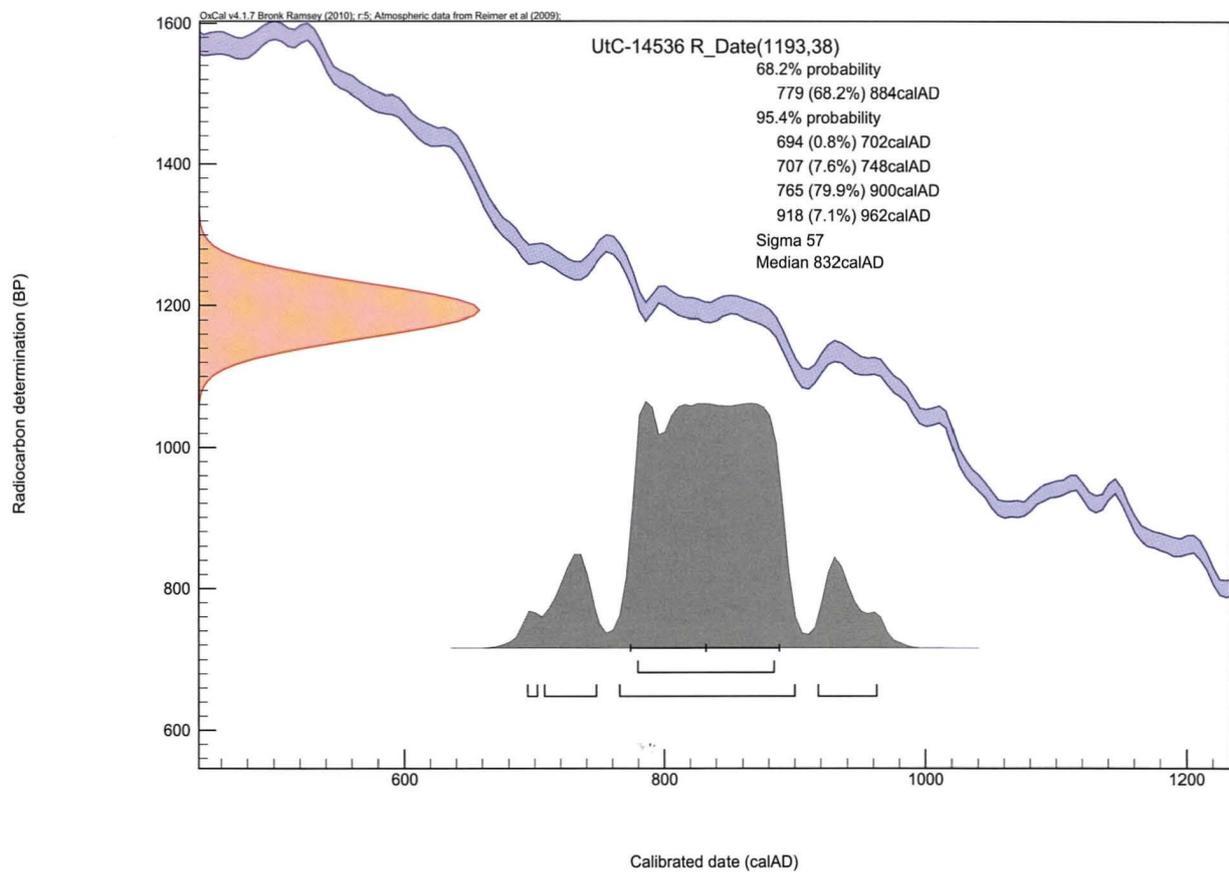
AMS-Technik (Accelerator Mass Spectrometry) auf dem Tandem-Beschleuniger des IMP (Institut für Mittelenergiephysik) der ETH-Hönggerberg durchgeführt.

Grab 1, Skelett 1 (1988/48) (UZ-2503/ETH-5146)

Die Probe UZ-2503/ETH-5146 (Abb. 4) stammt aus dem nur teilweise freigelegten beigabenlosen Grab 1 bzw. Skelett 1, das im Bereich des spätromanischen Fundaments der Nordsakristei zum Vorschein kam. Kopf und Oberkörper lagen in einem aus hochkant gestellten Sandsteinplatten gefügten, Südwest-Nordost orientierten Plattengrab (mit Kopf im Südwesten). In dessen Verfüllung fand sich das Fragment eines Knickwandtopfes mit Rechteckrädchen-Dekor, was für eine merowingzeit-

liche (frühmittelalterliche) Zeitstellung der Bestattung spricht⁴². Kalibriert man mit der neuesten Kalibrationskurve und berücksichtigt das wahrscheinlichste Kalenderjahr-Intervall im 1 σ -Bereich, das eine Zeitspanne zwischen 768 und 899 n. Chr. bei 50.5% Wahrscheinlichkeit umfasst, würde man Grab 1 heute wohl eher in das 9. Jh. bzw. in karolingische Zeit datieren. Bei der Kalibrierung wirkt sich der Verlauf der Kurve nämlich wieder eher ungünstig aus. Der Mittelwert des unkalibrierten Rohdatums, 1190 BP, trifft bei der Kalibration genau auf das zwischen 790 und 890 n. Chr. liegende Altersplateau. Daraus ergibt sich ein Kalenderjahrintervall im 1 σ -Bereich, das in etwa der Zeitspanne des Plateaus entspricht. Die Ähnlichkeit der Datierungsergebnisse von Gab 2 (1965/32) und Grab 1 (1988/48) könnte folglich durch das Altersplateau bedingt sein.

42 Helmig 1991, 34-72 bes. 52 sowie Tabelle 1 und Abb. 7.



Probennummer	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C BP	\approx n. Chr.	\approx m cal AD	cal AD ($1\sigma=68.2\%$)	cal AD ($2\sigma=95.4\%$)
UtC-14536	-19.9	1193 \pm 38	775-885	830 \pm 57	779-884 (68.2%)	694-702 (0.8%) 707-748 (7.6%) 765-900 (79.9%) 918-962 (7.1%)

Abb. 6 Grab 62 (1974/29), Probe UtC-14536. Grafische Darstellung der Einzelkalibration. Die Rohdaten sowie die kalibrierten und gerundeten Werte sind in der Tabelle angegeben. Präparierung, Aufbereitung und AMS-Messung: Tandem-Beschleuniger des R.J. Van de Graaff Laboratorium der Universiteit Utrecht (2006).

Im Vergleich zum archäologischen Fundmaterial fällt die ^{14}C -Datierung eher zu jung aus. Dafür gibt zwei mögliche Erklärungen: Entweder ist die Probe durch «modernes» ^{14}C kontaminiert, weil bei den eher frühen AMS-Datierungen der Achtzigerjahre vielleicht noch kein Kollagen isoliert wurde, oder die merowingerzeitliche Keramik stammt aus einem älteren archäologischen Kontext und wurde bei der Grabverfüllung sekundär umgelagert. Das scheinbar wenig verfälschte und somit «passende» Datierungsergebnis der Probe UZ-2504 / ETH-5147 (vgl. dazu unten) scheint für Letzteres zu sprechen.

Grab 3, Skelett 6 (1988/48) (UZ-2504/ETH-5147)

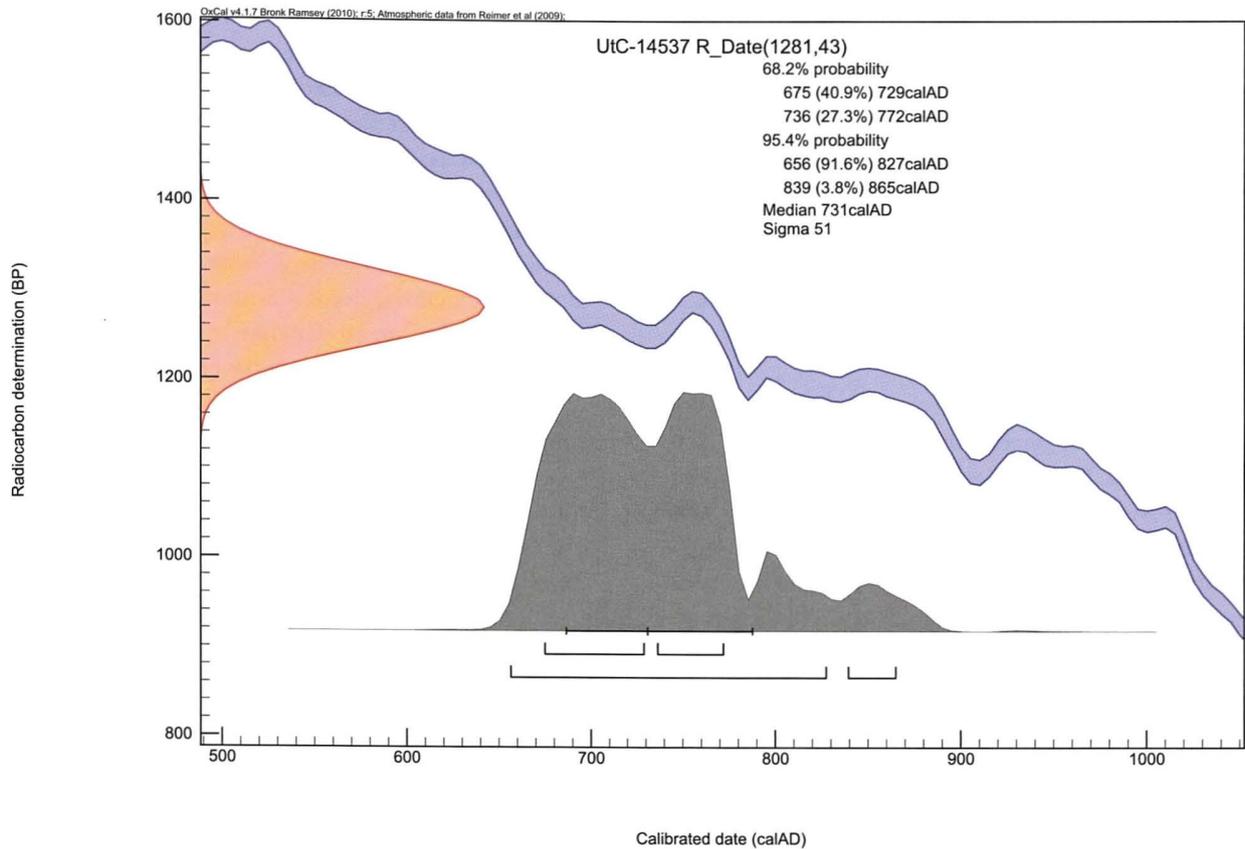
Die Probe UZ-2504/ETH-5147 (Abb. 5) stammt aus Grab 3 bzw. von Skelett 6. Es handelte sich dabei um die am tiefsten gelegene (älteste) intakte Bestattung. Die Sohle der Grabgrube liegt unmittelbar über den Resten einer vermutlich spätantiken Mauer. Kopf bzw. Oberkörper von Skelett 6, das von einem ca.

23-jährigen Mann stammt⁴³, lagen – wie auch die beiden darüber liegenden Skelette 4 und 3 – unterhalb der nach Osten vorragenden Fundamentzone des spätromanischen Chores. Der Befund deutet darauf hin, dass beim Bau des Fundaments des romanischen Münsters im späteren 12. Jh. bewusst Rücksicht auf die älteren Bestattungen genommen wurde⁴⁴.

Die Datierung der Probe von Skelett 6 aus Grab 3 stützt die Hypothese, dass beim Bau des spätromanischen Chors auf die Gräber Rücksicht genommen wurde. Berücksichtigt man beim Kalibrationsergebnis den gerundeten Wert des Median (\approx m AD), so wäre Grab 3 in die Zeit zwischen 935 und 1135 n. Chr. zu datieren. Berücksichtigt man den 1σ -Bereich, so ergibt

43 Schoch 1991, 56.

44 Helmig 1991, 47 sowie ebd. Tabelle 1 sowie Abb. 2, Abb. 3 und Abb. 7.



Probennummer	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C BP	≈n. Chr.	≈m cal AD	cal AD ($1\sigma = 68.2\%$)	cal AD ($2\sigma = 95.4\%$)
UtC-14537	-20.5	1281 ± 43	685-785	735 ± 51	675-729 (40.9%) 736-772 (27.3%)	656-827 (91.6%) 839-865 (3.8%)

Abb. 7 Grab 69 (1974/29), Probe UtC Nr. 145537. Grafische Darstellung der Einzelkalibration. Die Rohdaten sowie die kalibrierten und gerundeten Werte sind in der Tabelle angegeben. Präparierung, Aufbereitung und AMS-Messung: Tandem-Beschleuniger des R.J. Van de Graaff Laboratorium der Universität Utrecht (2008).

sich eine Datierung in die Zeit zwischen 970 und 1155 n. Chr. bei 65% Wahrscheinlichkeit.

Demzufolge kann davon ausgegangen werden, dass das Messergebnis von Probe UZ-2504/ETH-5147 kaum durch Kontaminationen verfälscht worden ist – auch wenn nicht *a priori* ausgeschlossen werden kann, dass es sich, wie auch bei Probe UtC-14538, um einen zu jungen Ausreisser handelt (vgl. unten).

^{14}C -datierte Bestattungen und Ossuare aus dem Inneren des Basler Münsters

Aufgrund konkreter archäologischer Fragestellungen seitens der Projektleiter (H.R. Meier, P.-A. Schwarz) wählten H. R. Courvoisier, G. Helmig und B. Kaufmann insgesamt sechs Proben aus archäologisch relevanten Grabbefunden bzw. Ossuaren der Grabungen 1966/67 bzw. 1974 aus, die im Jahr 2006 einer ^{14}C -Analyse unterzogen wurden.

Die für die Altersbestimmung erforderliche Präparierung und Aufbereitung des Probenmaterials sowie die anschließende Datierung mittels AMS-Technik (accelerator mass spectrometry) erfolgte im R.J. Van de Graaff Laboratorium der Universität Utrecht.

Die Befundbeschreibungen stammen aus der Dokumentation der Grabung 1973/74 und wurden von H. R. Courvoisier zusammengestellt.

Grab 62 (1974/29) (UtC-14536)

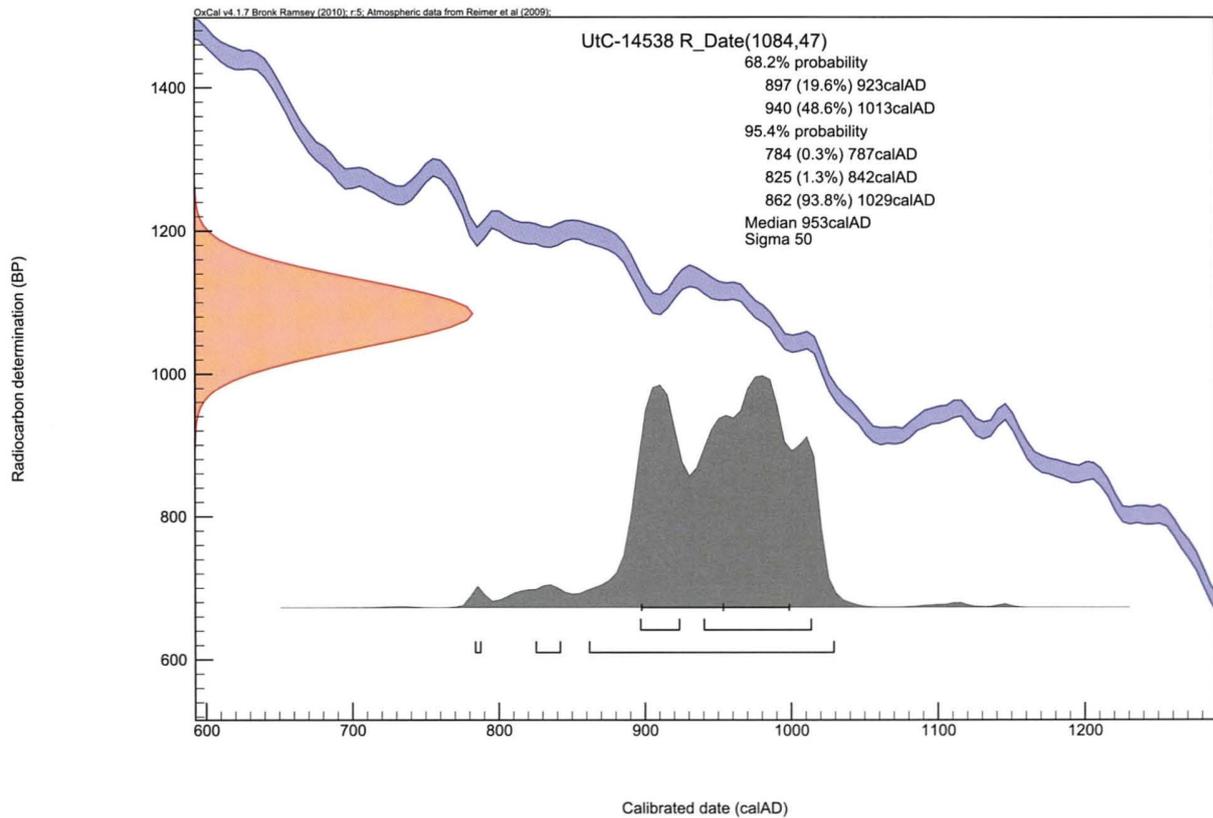
Feld Q20, Mittelschiff: 1 Individuum, Blick nach Osten, der linke Arm ist neben Körper gestreckt, der rechte Arm ist nicht erhalten. Es handelt sich um ein Erdgrab mit dem Negativ einer rechteckigen Sargkiste. Die Bestattung liegt *unter* dem «ottonischen» Mörtelboden (Pos. Nr. 17), der dem im Jahr 1019 eingeweihten Heinrichs-Münster zugewiesen werden kann.

Das ^{14}C -Datum aus Grab 62 (1974/29) (Abb. 6) ist mit einem Messfehler von ± 38 Jahren relativ genau. Aus den Proben wurde Kollagen ausgefiltert, so dass die Kontamination mit «altem» oder «modernem» ^{14}C relativ gering sein dürfte. Die Datierung mit einem gerundeten Mittelwert um 830 ± 57 n. Chr. bestätigt die Existenz von älteren, wahrscheinlich zum karolingischen Hainto-Münster gehörigen Bestattungen. Sie dürften – unter Berücksichtigung des gerundeten Mittelwertes – aus der Zeit um 830 n. Chr. stammen.

Grab 69 (1974/29) (UtC Nr. 145537)

Feld Q35, südlich des romanischen Seitenschiffs: Ein Häufchen gestört liegender Knochen, wohl nur von einem Individuum. Rest eines – wie die entsprechenden Negative zeigten – ehemals mit Kieselbollen umstellten Grabvierecks. Grab 69 liegt unter dem «ottonischen» Mörtelboden (Pos. 17), der dem im Jahr 1019 eingeweihten Heinrichs-Münster zugewiesen werden kann.

Auch die ^{14}C -Probe aus Grab 69 (1974/29) (Abb. 7) ergab einen grösseren Messfehler von ± 43 Jahren. Die Datierung zw. 685-785 n. Chr. weist in die Merowingerzeit. Obschon die ^{14}C -Daten der Skelette aus Grab 62 und Grab 69 dies suggerieren, ist nicht zwingend davon auszugehen, dass die Bestattungen in grossem zeitlichen Abstand erfolgten. Berücksichtigt man nämlich das Wiggel zwischen 850 und 860 n. Chr., bzw. das kurzzeitige Ansteigen in der Kalibrationskurve, das sich bei der Kalibration der Probe aus Grab 69 auswirkt, wäre sogar denkbar, dass beide Bestattungen mehr oder weniger gleichzeitig erfolgten und möglicherweise sogar in die karolingische Zeit datieren. Beide Datierungen liefern einen – wenn auch weit zu fassenden – *terminus post quem* für den Bau des Heinrichs-Münsters bzw. für den «ottonischen» Mörtelgussboden, der somit sicher in die Zeit nach 962 n. Chr. datiert, berücksichtigt man das jüngste Ende des 2σ -Kalenderjahrintervalls der Probe aus Grab 62 (vgl. Abb. 6).



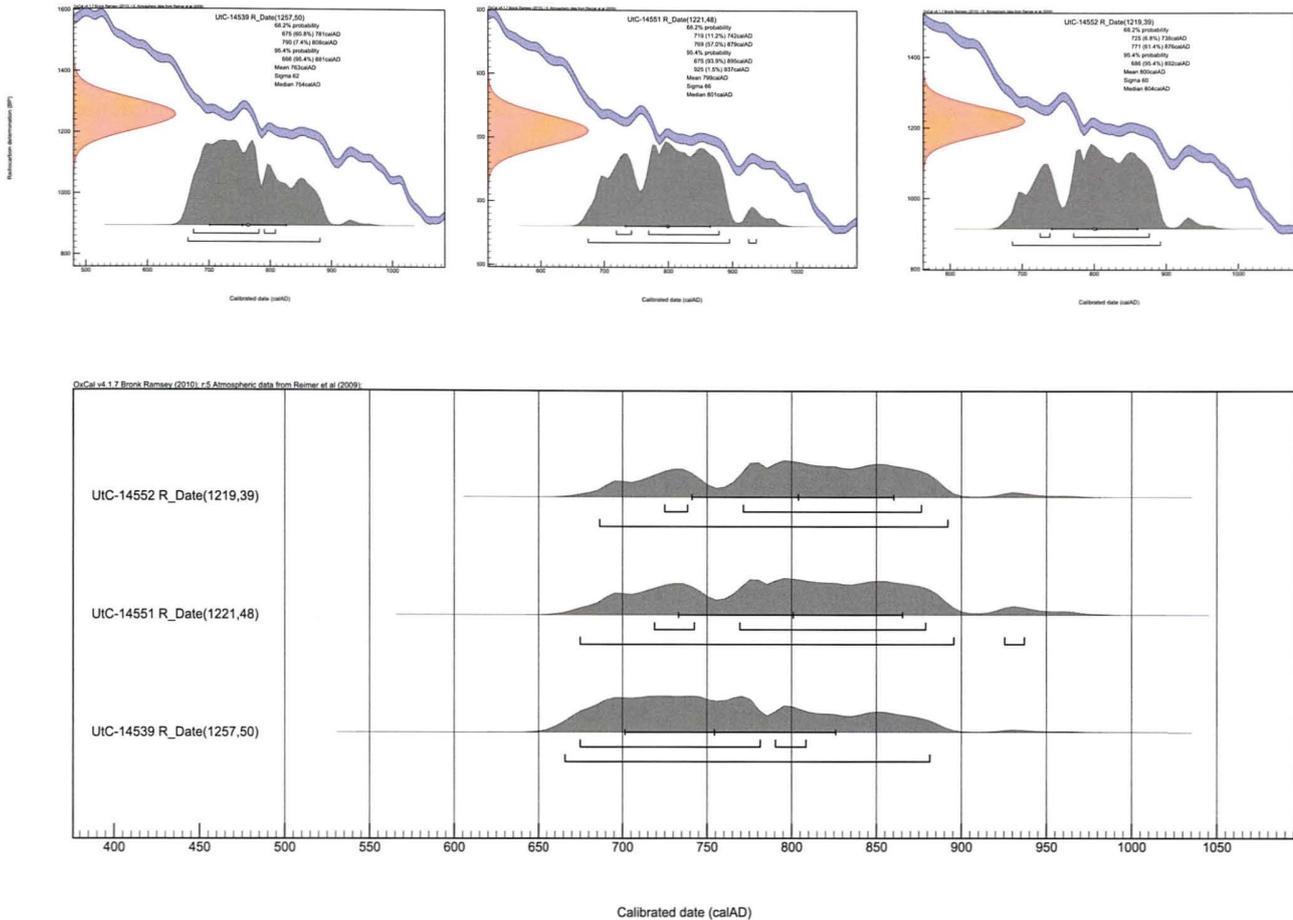
Probennummer	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C BP	≈n. Chr.	≈m cal AD	cal AD ($1\sigma=68.2\%$)	cal AD ($2\sigma=95.4\%$)
UtC-14538	-20.2	1084 ± 47	900-1000	950 ± 50	897-923 (19.6%)	784-787 (0.3%)
					940-1013 (48.6%)	825-842 (1.3%)
						862-1029 (93.8%)

Abb. 8 Ossuar Pos. 157 (1974/29), Probe UtC-14538. Grafische Darstellung der Einzelkalibration. Die Rohdaten sowie die kalibrierten und gerundeten Werte sind in der Tabelle angegeben. Präparierung, Aufbereitung und AMS-Messung: Tandem-Beschleuniger des R.J. Van de Graaff Laboratorium der Universiteit Utrecht (2006).

Feld Q16, Mittelschiff: In Ossuar Pos. 157 waren verworfene Knochen, vermutlich von nur einem Individuum stammend, enthalten. Die Knochen wurden im Arbeitsgraben (Fundamentgrube?) auf der Südseite der «karolingischen» Längsmauer (Pos.155) deponiert. Die Bearbeiter (H.-R. Courvoisier; HR. Sennhauser) gehen davon aus, dass die Skelettreste aus einem älteren Grab stammen, das beim Bau der zum um 800

errichteten Haito-Münster gehörenden «karolingischen» Längsmauer angeschnitten und in der Folge in der Fundamentgrube niedergelegt wurden.

Aus dem ¹⁴C-Datum (Abb. 8) lässt sich kein *terminus post quem* für den Bau der (ansonsten nur bautypologisch und relativchronologisch datierten) «karolingischen» Längsmauer (Pos.155) ableiten. Aufgrund der ¹⁴C-Daten muss vielmehr davon ausgegangen werden, dass das zwischen 900 und 1000 n. Chr. zu datierende Ossuar (Pos.157) jünger ist, als die «karolin-



Probennummer	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	¹⁴ C BP	≈ n. Chr.	≈ m cal AD	cal AD (1σ=68.2%)	cal AD (2σ=95.4%)
UtC-14552	-19.8	1219 ± 39	745-870	805 ± 60	724-738 (6.8%)	686-892 (95.4%)
					771-876 (61.4%)	
UtC-14551	-19.9	1221 ± 48	735-865	800 ± 66	718-742 (11.2%)	674-895 (93.9%)
					769- 878 (57.0%)	925-936 (1.5%)
UtC-14539	-19.8	1257 ± 50	695-815	755 ± 62	674-781 (60.8%)	666-881 (95.4%)
					790-808 (7.4%)	

Abb. 9 Ossuar Pos. 239 (1974/29), Proben UtC-14539, UtC-14551 und UtC-14552. Grafische Darstellung der Einzelkalibrationen sowie der Gruppenkalibration. Die Rohdaten sowie die kalibrierten und gerundeten Werte sind in der Tabelle angegeben. Präparierung, Aufbereitung und AMS-Messung: Tandem-Beschleuniger des R.J. Van de Graaff Laboratorium der Universiteit Utrecht (2006).

gische» Längsmauer (Pos.155). Im konkreten Fall stellt sich die Frage, ob die Knochen allenfalls im Zusammenhang mit jüngeren Baumassnahmen, z. B. beim Abbruch resp. Ausplündern der Längsmauer, bzw. – was uns wahrscheinlicher scheint – beim Bau des Fundaments des zum Heinrichsmünster gehörigen Martinsturms, zusammengesammelt und hier deponiert worden sind. Falls dies zutrifft, dürfte es sich um die Reste einer Bestattung aus der Zeit des um 800 n. Chr. errichteten Haito-Münsters handeln.

Letztendlich kann aber nicht *a priori* ausgeschlossen werden, dass die bereits 1974 geborgenen, aber erst im Jahr 2006 im Hinblick auf eine ¹⁴C-Messung beprobten Knochen verunreinigt waren und deswegen ein zu junges ¹⁴C-Datum geliefert haben.

Ossuar Pos. 239 (1974/29) (UtC-14539/UtC-14551/UtC-14552)

In Feld Q33, südlich des romanischen Seitenschiffs, wurde das Ossuar Pos. 239 gefunden, das verworfene Knochen von mindestens 3 Individuen enthielt. Es befand sich in einer Nische des römischen Kellers (Pos. 167), dicht an der Südseite der «karolingischen» Längsmauer (Pos. 113). Diese wird von den Bearbeitern (H.-R. Courvoisier; HR. Sennhauser) dem um 800 errichteten Haito-Münster zugewiesen.

Es handelt sich offensichtlich um Skelettmaterial aus älteren Bestattungen, die beim Bau der «karolingischen» Längsmauer angeschnitten und in der Folge an dieser Stelle deponiert worden sind.

Aus den ¹⁴C-Daten (Abb. 9) lässt sich, wenn man die gerundeten Mittelwerte betrachtet, ein recht genauer bzw. den Erwartungen entsprechender, zwischen ca. 750 und 800 n. Chr. liegender *terminus post quem* für den Bau der (ansonsten nur bautypologisch und relativchronologisch datierten) «karolingischen» Längsmauer (Pos.113) ableiten. Die geringe Streuung der Messwerte lässt zudem den Schluss zu, dass die daraus abgeleitete Datierung verlässlich ist. Allerdings ergibt sich durch das Wiggle in der Zeit um 750/760 n. Chr. wiederum eine Streuung der Wahrscheinlichkeit in mehrere Kalenderjahr-Intervalle im 1 σ -Bereich, was den Mittelwert von Probe UtC-14539 älter macht. Daher können diese ¹⁴C-Daten nur bedingt als Beleg für die Existenz von älteren, wahrscheinlich zu einem Vorgängerbau des Haito-Münsters gehörenden Bestattungen herangezogen werden.

Fazit und Schlussfolgerungen

Trotz der oben ausführlich dargelegten methodischen Schwierigkeiten lassen sich aus den vorliegenden ¹⁴C-Messergebnissen folgenden Aussagen ableiten (vgl. Abb. 10):

- Die «Vorbegräbnis» aus Grab 2 (1965/32; Probe B-682) könnte mit ihrer Datierung zw. 565 und 775 n. Chr. aus der Zeit des aus den Schriftquellen erschliessbaren, archäologisch aber nicht nachgewiesenen Vorgänger-

baus des karolingischen Haito-Münsters stammen. Eine Datierung der Probe B-682 in das 8. Jh. n. Chr. kann deswegen nicht *a priori* ausgeschlossen werden, weil davon ausgegangen werden muss, dass die Knochen mit «modernem» ¹⁴C kontaminiert sind und damit ein tendenziell eher etwas zu altes oder zu junges Messergebnis geliefert haben.

- Eine ganze Reihe von Gräbern datiert in die karolingische Zeit. Grab 2 (1965/32; Probe B-681), das zwischen 685 und 915 n. Chr. datiert, stammt wohl aus der Zeit des karolingischen Haito-Münsters. Wegen der oben bereits angesprochenen Kontamination der Proben aus den 1966 geborgenen Bestattungen kann allerdings nicht *a priori* ausgeschlossen werden, dass Grab 2 allenfalls sogar noch älter ist.
- Grab 1, Skelett 1 (1988/48; Probe UZ-2503/ETH-5146), das im Bereich des spätromanischen Fundaments der Nordsakristei zum Vorschein kam, datiert – wenn auch unter Vorbehalt – in die Zeit zwischen 745 und 925 n. Chr., könnte also ebenfalls aus karolingischer Zeit stammen.
- Das Ossuar Pos. 239 (1974/29; UtC-14539/UtC-14551/UtC-14552), das in einer Nische des römischen Kellers (Pos. 167), dicht an der Südseite der «karolingischen» Längsmauer (Pos. 113) angelegt wurde, enthält Menschenknochen, die sehr wahrscheinlich aus karolingischen Bestattungen stammen. Aus den Proben UtC-14539, UtC-14551 und UtC-14552 lässt sich zudem auch ein approximativer *terminus post quem* für den Bau der so genannten «karolingischen» Längsmauer ableiten, die etwa in der Zeit zwischen 750 und 800 n. Chr. errichtet worden sein könnte. Diese Datierung passt sehr gut zum historisch überlieferten Baudatum des Haito-Münsters (um 800 n. Chr.).
- Grab 69 (1974/29; Probe UtC Nr. 14537) und Grab 62 (1974/29; Probe UtC-14536) lagen unter dem «ottonischen Mörtelboden» (Pos. 17), der dem im Jahr 1019 eingeweihten Heinrichs-Münster zugewiesen werden kann. Die Proben aus diesen beiden Bestattungen liefern einen ungefähren *terminus post quem* für den Bau des Heinrichs-Münsters bzw. für das Einbringen des «ottonischen Mörtelbodens» (Pos. 17), der, unter Berücksichtigung des 2 σ -Kalenderjahr-Intervalls der Probe aus Grab 62, um ca. 960 n. Chr. angesetzt werden kann.
- Grab 3, Skelett 6 (1988/48; Probe UZ-2504 / ETH-5147) datiert in die Zeit zwischen 935 und 1135 n. Chr. Die Datierung stützt die Hypothese, dass beim Bau des Fundaments des Chores des spätromanischen Münsters im späteren 12. Jh. wahrscheinlich bewusst Rücksicht auf die älteren Bestattungen genommen wurde.
- Schlecht einordnen lässt sich besonders das Datierungsergebnis des Ossuars Pos. 157 (1974/29; Probe UtC-14538). Zwar handelt es sich um ein modernes AMS-Datum, aber es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die bereits 1974 geborgenen Menschenknochen mit «jüngerem» ¹⁴C kontaminiert waren.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ältere und mit den notwendigen Angaben publizierte ^{14}C -Daten nicht *a priori* unbrauchbar sind. Problematisch ist jedoch, dass die hier besprochenen Proben zu verschiedenen Zeiten in verschiedenen ^{14}C -Labors und mit unterschiedlichen Messtechniken analysiert wurden. Zudem muss davon ausgegangen werden, dass

jeweils auch unterschiedliche Reinigungs- und Aufbereitungsverfahren angewandt worden sind. Da Letzteres, wie eingangs dargelegt, bei Knochenproben entscheidend für die Qualität des Datierungsergebnisses ist, können die einzelnen Resultate nicht direkt mit einander verglichen werden: Jede Datierung muss individuell beurteilt werden.

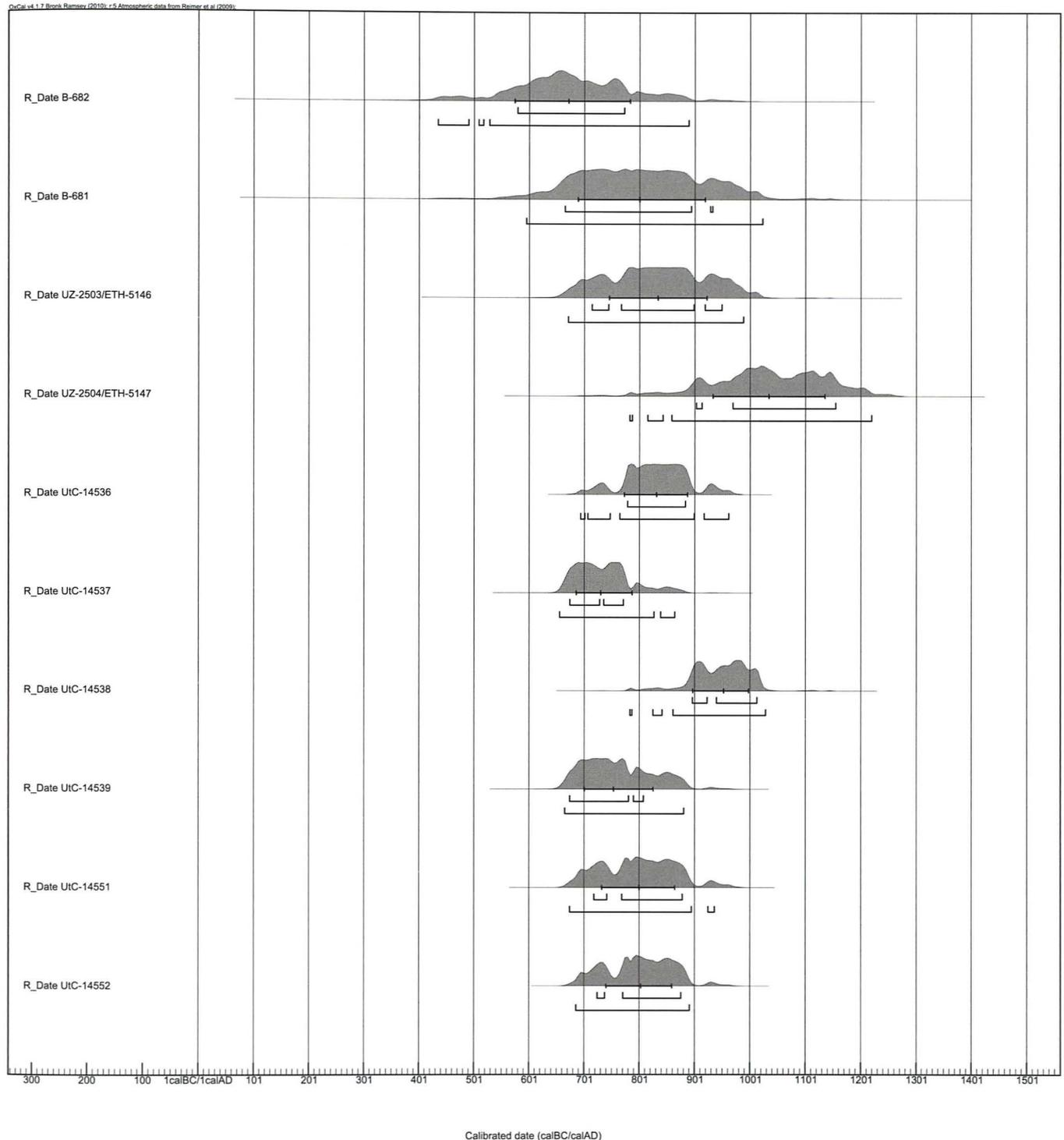


Abb. 10 Synoptische Darstellung der Messergebnisse aller besprochenen ^{14}C -Datierungen aus dem Bereich des Basler Münsters. Angegeben sind jeweils die Kalenderjahr-Intervalle (ranges) im 1 σ -Bereich (oben) und im 2 σ -Bereich (unten). Die in den Sechziger- und Achtzigerjahren gemessenen Daten (Probennummern B-682 bis UZ-2504/ETH-5147) weisen deutlich längere Kalenderjahr-Intervalle auf, was aus den damals noch grösseren Standardabweichungen bei den ^{14}C -Messungen resultiert. Kalibration: OxCal v4.17 mit InCal09 (vgl. Bronk Ramsey 2009).

Hinzu kommt, das in den Sechzigerjahren noch nicht alle durchgeführten methodischen Schritte protokolliert wurden, so dass sich die damals angewandten Aufbereitungs- und Messverfahren nicht mehr vollständig rekonstruieren lassen. Ohne diese zu kennen, ist es jedoch im Nachhinein schwierig die Genauigkeit und Verlässlichkeit der alten Messwerte sowie das Vorhandensein allfälliger Kontaminationen in den Proben zu beurteilen.

Deswegen ist es gegebenenfalls sinnvoll, bei der Auswertung von Altgrabungen das noch vorhandene Skelettmaterial erneut zu beproben und zu analysieren. Die Ergebnisse der erst kürzlich vorgenommenen ¹⁴C-Analysen haben zudem gezeigt, dass es im Falle von menschlichen Skelettfunden sinnvoll ist, nicht Einzelproben, sondern ganze Probenserien zu entnehmen. Auf diese Weise lassen sich einerseits Ausreisser bzw. kontaminierte Proben besser erkennen, andererseits lassen sich die Datierungsspannen mit Hilfe von Gruppenkalibrationen bzw. unter Anwendung von Kalibrationsmodellen, die auf der Bayes'schen Statistik beruhen, besser eingrenzen⁴⁵. Diese Vorgehensweise ist namentlich bei komplizierten Streuungen der Wahrscheinlichkeitsverteilung, wie sie beispielsweise durch Wiggles und Plateaus entstehen, zu empfehlen. Dies, weil die relative, aus der archäologischen Befundsituation ableitbare Datierung der einzelnen Proben mit Hilfe des Bayes'schen Satzes in die Wahrscheinlichkeitsberechnungen einbezogen werden kann, was wiederum zu einer Einengung der Datierungsspannen führt.

Literatur

Bayliss 2009

Alex Bayliss, Rolling out the revolution: using radiocarbon dating in archaeology. *Radiocarbon* 51, 2009/1, 123-147.

Bronk Ramsey et al. 2004

Christopher Bronk Ramsey, Thomas Higham, Angela Bowles, Robert Hedges, Improvements to the pretreatment of bone at Oxford. *Radiocarbon* 46/1, 2004, 155-163.

Bronk Ramsey 2009

Christopher Bronk Ramsey. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51/1, 2009, 337-360.

Currie 2004

Lloyd Currie, The Remarkable Metrological History of Radiocarbon Dating [II]. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 109/2, 2004, 185-217.

Hajdas 2008

Irka Hajdas, Radiocarbon dating and its applications in Quaternary studies. *Eiszeitalter und Gegenwart – Quaternary Science Journal* 57, 2008, 2-24.

Helmig 1991

Guido Helmig (mit Beitr. von François Maurer-Kuhn, Beatrice Schärli, Willi Schoch, Markus Weder), Ausgrabungen im Umkreis des Basler Münsters. *Jahresbericht der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt* 1991, 34-72.

Higham et al. 2006

Thomas Higham, Roger Jacobi, Christopher Bronk Ramsey, AMS radiocarbon dating of ancient bone using ultrafiltration. *Radiocarbon* 48/2, 2006, 179-195.

Jacomet/Kreuz 1999

Stefanie Jacomet, Angela Kreuz (mit Beitr. von Manfred Rösch), Archäobotanik. Aufgaben, Methoden und Ergebnisse vegetations- und agrargeschichtlicher Forschung. *UTB 8158* (Stuttgart 1999).

Kromer 2007

Bernd Kromer, Radiokohlenstoffdatierung. In: Günther A. Wagner (Hrsg.): *Einführung in die Archäometrie* (Heidelberg 2007) 3-10.

Olsson 2009

Ingrid Olsson, Radiocarbon dating history: early days, questions, and problems met. *Radiocarbon* 51/1, 2009, 1-43.

Plicht et al. 2009

Johannes van der Plicht, Hendrik Bruins, Albert Nijboer, The Iron Age Around the Mediterranean: A High Chronology Perspective from the Groningen Radiocarbon Database. *Radiocarbon* 51/1, 2009, 213-242.

Povinec et al. 2009

Pavel Povinec, A. E. Litherland, Karl von Reden, Developments in Radiocarbon Technologies: From the Libby Counter to Compound-Specific AMS Analyses. *Radiocarbon* 51/1, 2009, 45-78.

Ruff 2008

Matthias Ruff, Radiocarbon Measurement of Micro-Scale Samples – A carbon dioxide inlet system for AMS. Unpublizierete Inaugural-Dissertation an der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern (Bern 2008).

Schoch 1991

Willi Schoch, Anthropologischer Bericht. In: Helmig 1991, 54-57.

Abbildungsnachweise

Abb. 1: Plangrundlage Büro Prof. H. R. Sennhauer Zurzach / Ergänzungen Peter-Andrew Schwarz / grafische Umsetzung Hans Rudolf Courvoisier, Riehen / ProSpect GmbH.

Abb. 2 – Abb. 10: OxCal v4.17 (Kalibration mit IntCal09) / Entwurf Caroline Heitz & Peter-Andrew Schwarz / grafische Umsetzung ProSpect GmbH.

⁴⁵ Vgl. dazu Bayliss 2009, 123-147.