Zeitschrift: Archiv des Historischen Vereins des Kantons Bern
Herausgeber: Historischer Verein des Kantons Bern
Band: 93 (2019)

Artikel: Radiokarbon-Datierung der Goldenen Handfeste von Bern
Autor: Wacker, Lukas / Hajdas, Irka / Fahrni, Simon / Synal, Hans-Arno
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1071025

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Radiokarbon-Datierung der Goldenen Handfeste von Bern

Lukas Wacker, Irka Hajdas, Simon Fahrni, Hans-Arno Synal

Die Goldene Handfeste von Bern, ein mittelalterliches Dokument, das mutmasslich am 15. April 1218 durch Kaiser Friedrich II. ausgestellt wurde und Bern weitgehende Freiheiten zusichert, ist seit geraumer Zeit ein Objekt historischer Forschung. Im Rahmen eines weiteren Versuchs, die Authentizität der Urkunde zu klären, wurden zur Feststellung ihres tatsächlichen Alters ein Teil des Pergaments und Fäden der Siegelschnur entnommen und mit Hilfe der Radiokarbon-Methode an der ETH Zürich datiert. Die $^{14}C/^{12}C$-Isotopensignatur der organischen Materialien (Tierhaut, Seide), aus denen das Dokument hergestellt wurde, erlaubt es, das Materialentstehungsalter festzustellen. Die Umrechnung der erhaltenen Radiokarbon-Alter in historische Alter wurde mit einer neu generierten, jährlich aufgelösten Kalibrationskurve vorgenommen. Während das Pergament aus einer Zeit zwischen 1160 und 1217 AD stammt, wurde für die Siegelschnur, an der das goldene Siegel Friedrichs II. angebracht ist, ein Zeitbereich zwischen 1222 und 1265 AD bestimmt. Die Siegelschnur ist somit eindeutig jünger als das Ausstellungsdatum der Urkunde.

Eine Aussage über den Zeitpunkt, an dem die Materialien verwendet, beschriftet oder besiegelt worden sind, lässt sich allerdings nur insoweit machen, als ein allfälliges Verwendungsdatum nach der Entstehung liegen muss. Die so bestimm-

ten Alter sind also als maximal mögliche Alter der Entstehung der Urkunde anzusehen. Wie viel Zeit zwischen Materialentstehung und Verwendung vergangen sein mag, lässt sich heute nicht mehr feststellen. Im Folgenden wird das Verfahren beschrieben, das zur Datierung des Pergamentes und der seidenen Siegelschnur angewendet wurde.

Methoden

Probennahme und Reinigung der Goldenen Handfeste

Am 12. November 2008 wurde die Goldene Handfeste von Bern im Staatsarchiv Bern beprobt. Dafür wurde ein schmaler Streifen Pergament an der unteren rechten Ecke, innerhalb der Siegelfalte, aus der Urkunde herausgeschnitten. Von der Siegelschnur (Abb. 1) wurden einzelne Fäden unterhalb des goldenen Siegels entnommen und in 5 ml Glasbehälter abgepackt.

Das Material der Pergamentprobe wurde unter der Nummer ETH-36716, das der Siegelschnüre unter der Nummer ETH-36717 katalogisiert. Insgesamt standen 18 mg Pergament und 47 mg Siegelschnur für die Radiokarbon-Analyse zur Verfügung. Beide Proben wurden in zwei etwa gleich grosse Hälften geteilt. Die erste Hälfte des Probenmaterials wurde am 16. Dezember 2008, die zweite Hälfe zwischen dem 21. und 23. Januar 2009 mit dem nachfolgend beschriebenen Verfahren aufbereitet:

Bevor die $^{14}C/^{12}C$-Isotopensignatur des Probenmaterials bestimmt werden kann, ist eine sorgfältige Reinigung des Ausgangsmaterials nötig. Damit werden diejenigen Verunreinigungen entfernt, die zu einer Verfälschung des zu bestimmenden Probenalters führen könnten. Dazu wurden in einem ersten Reinigungsschritt die entsprechenden Teilproben in heissen (60°C) organischen Lösungsmitteln (Hexan, Aceton und Äthanol) gewaschen,[1] um eventuell vorhandene Verunreinigungen durch Fette oder Wachse herauszulösen. In einem zweiten Reinigungsschritt wurde ein Säure- (0.5 M HCl), Base- (0.1 M NaOH), Säure- (0.5 M HCl) -Verfahren bei 60°C angewendet, um mögliche Kontaminationen von Karbonaten und Huminsäuren zu entfernen. Die jeweiligen Reinigungsschritte dauerten etwa 30 Minuten. Zwischen jedem Schritt wurden die Proben in ultra-purem Wasser gespült. Im Anschluss an den letzten Reinigungsschritt wurde das Material getrocknet.

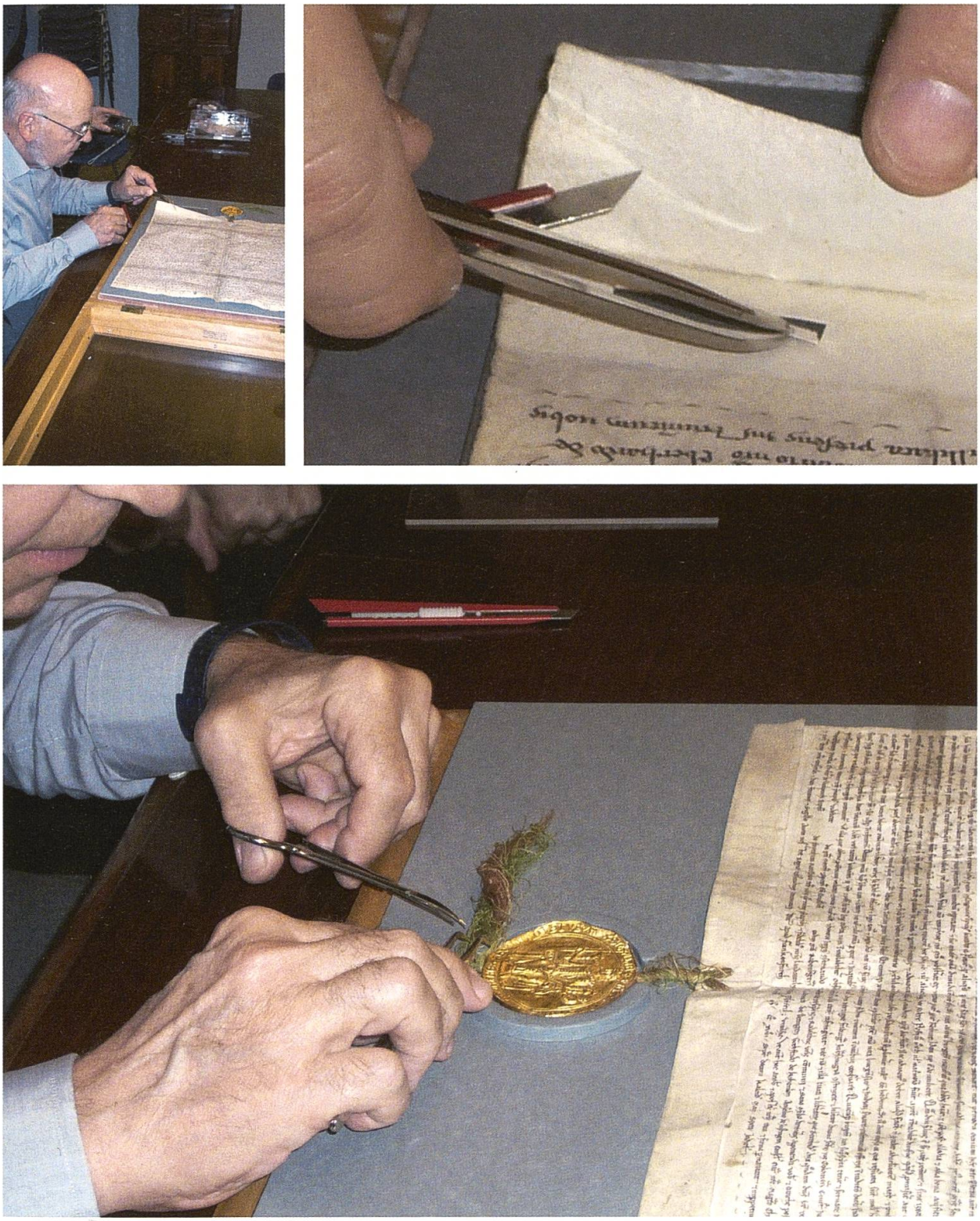

Abb. 1a–c: Zu sehen ist die Entnahme je einer Probe des Pergaments (oben) und der Siegelschnur (unten) der Goldenen Handfeste von Bern.

Die erste Probenserie (2 Pergamentproben, 1 Siegelschnurprobe) wurde in einem Element-Analysator (EA) verbrannt und das entstehende CO_2 mit Wasserstoff gemischt und über eine katalytische Reaktion an Eisen in Graphit umgewandelt.[2] Die zweite Probenserie (2 Pergamentproben, 4 Siegelschnurproben) wurde in Quarzglasröhrchen zusammen mit CuO abgeschmolzen und innerhalb von 2 Stunden bei 950°C zu CO_2 umgewandelt. Die Graphitisierung erfolgte dann ebenfalls in einer katalytischen Reaktion, allerdings in einem separaten Versuchsaufbau.[3] Eine Zusammenstellung der Probenvorbereitung zeigt Tabelle 1:

Proben		**Reinigung**		**Graphitisierung**	
Nummer	Typ	Gewicht	Datum	Datum	System
ETH-36716	**Pergament**	**18 mg**			
ETH-36716.1.1	Pergament I	10 mg	2. Dez. 2008	16. Dez. 08	EA
ETH-36716.1.2				16. Dez. 08	
ETH-36716.2.1	Pergament II	8 mg	15. Jan. 2009	21. Jan. 09	Röhrchen
ETH-36716.2.2				21. Jan. 09	
ETH-36717	**Siegelschnur**	**47 mg**			
ETH-36716.1.1	Siegelschnur I	27 mg	2. Dez. 2008	16. Dez. 08	EA
ETH-36716.2.1	Siegelschnur II	20 mg	15. Jan. 2009	23. Jan. 09	Röhrchen
ETH-36716.2.2				21. Jan. 09	
ETH-36716.2.3				23. Jan. 09	
ETH-36716.2.4				23. Jan. 09	

Tabelle 1: Zusammenstellung der Gewichte der Proben sowie die Aufarbeitungs- und Graphitisierungsdaten.

Radiokarbon-Bestimmung

Analysiert wurde das Probenmaterial mit dem MIni Carbon Dating System (MICADAS) der ETH Zürich.[4] Es wurden zwei unabhängige Messserien ausgeführt, für die das Probenmaterial wie oben beschrieben separat gereinigt und aufgearbeitet wurde. Die erste Serie wurde am 18. Dezember 2008 und die zweite am 27. Januar 2009 durchgeführt. Die Messungen wurden nach dem an der ETH Zürich üblichen Verfahren für Höchstpräzisionsaltersbestimmungen[5] vorgenommen. Dabei wurden die Proben zusammen mit Eich-, Kontroll- und Blank-Materialien gemessen. Die effektive Messzeit pro Probe betrug ca. 2.5 Stunden. Die Auswertung der Messresultate erfolgte mit dem Programm Bats.[6] In Tabelle 2 sind die Messresultate wiedergegeben.

Die Resultate der Messung vom 18. Dezember 2008 werden durch die Ergebnisse der unabhängigen Kontrollmessung vom 27. Januar 2009 bestätigt. Die einzelnen Messwerte der jeweiligen Proben sind innerhalb der Fehlertoleranz gleich. Die Endergebnisse der Datierungen von Pergament und Siegelschnur sind durch die Mittelwerte der jeweiligen Einzelmessungen bestimmt. Für die Bestimmung des Mittelwertes wurde berücksichtigt, dass die Aufarbeitung teilweise nicht unabhängig war. Für die Präparation wurde deshalb ein systematischer Fehler von acht Jahren angenommen.

Festzustellen ist, dass das Endresultat der Siegelschnur sich signifikant von dem des Pergaments unterscheidet, das heisst Siegelschnur und Pergament haben nicht dasselbe Entstehungsalter. Der Altersunterschied beträgt etwa 70 Jahre auf der Radiokarbon-Altersskala und ist, bei einer Messunsicherheit von lediglich 10 Jahren, signifikant.

Proben		**Radiokarbon-Alter**			**^{13}C**			**Datum der**
Nummer	Typ	Jahre (BP)			(‰)			**Messung**
ETH-36716.1.1	**Pergament**	**888**	**±**	**20**	**-22.6**	**±**	**1.1**	**18. Dez. 08**
ETH-36716.1.2	Pergament	878	±	19	-20.7	±	1.1	18. Dez. 08
ETH-36716.2.1	Pergament	882	±	19	-23.9	±	1.1	27. Jan. 09
ETH-36716.2.1	Pergament	875	±	19	-22.3	±	1.1	27. Jan. 09
ETH-36716	Pergament	881	±	10	-22.4	±	0.6	Mittelwert*
ETH-36717.1.1	**Siegelschnur**	**800**	**±**	**20**	**-24.0**	**±**	**1.1**	**18. Dez. 08**
ETH-36717.2.1	Siegelschnur	808	±	19	-29.1	±	1.1	27. Jan. 09
ETH-36717.2.2	Siegelschnur	833	±	18	-25.5	±	1.1	27. Jan. 09
ETH-36717.2.3	Siegelschnur	808	±	18	-27.1	±	1.1	27. Jan. 09
ETH-36717.2.4	Siegelschnur	800	±	17	-27.7	±	1.1	27. Jan. 09
ETH-36717	Siegelschnur	809	±	10	-26.7	±	0.9	Mittelwert*

* Für die Bildung des Mittelwertes wurde berücksichtigt, dass die Messungen teilweise nicht unabhängig voneinander sind, da die Proben nur zweimal unabhängig gereinigt worden sind. Ein Präparationsfehler von acht Jahren wurde angenommen.

Tabelle 2: Liste der ausgewerteten Einzelmessungen vom Pergament und Siegelschnur mit den jeweiligen Mittelwerten, angegeben in Jahren BP (Before Present – gemäss Konvention wird vom Jahr 1950 AD an gerechnet) zusammen mit dem ±1σ-Fehler. Das $d^{13}C$ ist das Isotopenverhältnis des präparierten Graphits und nicht das der ursprünglichen Probe.

Konventionelle Kalibrierung der Radiokarbon-Messungen

Die Radiokarbon-Alter sind theoretisch gerechnete Alter unter der Annahme, dass die atmosphärische ^{14}C-Konzentration zeitlich konstant war und die Halbwertszeit von ^{14}C 5568 Jahre beträgt (korrekte Halbwertszeit: 5700+/–30). Die so berechneten Radiokarbon-Alter können jedoch mit Hilfe einer Kalibrierkurve, die auf der Analyse von altersbekannten Baumringproben basiert, in Kalenderalter überführt werden. Die zurzeit gültige Kalibrierkurve wurde für das Holozän aus Messungen an Baumringen bekannten Alters erstellt.[7]

Die Radiokarbon-Alter der Siegelschnur und des Pergaments wurden als Erstes mit dem Programm OxCal v4.3[8] und der IntCal13 Kalibrierkurve[9] in Kalenderalter umgerechnet (Abb. 2). Für die Angabe der Kalenderalter werden die sogenannten 2σ-Bereiche verwendet. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95.4 Prozent liegen die wahren Alter der genommenen Proben in den angegebenen 2σ-Bereichen. Gemäss der Kalibrierung mit dem IntCal13-Datensatz liegt das Alter des Pergaments zwischen den Jahren 1057 und 1210 AD, wobei der Zeitbereich von 1057 AD bis 1152 AD ausgeschlossen werden kann. Die Siegelschnur ist dagegen mit einem Altersbereich von 1217 bis 1259 AD jünger.

Unter Verwendung des IntCal13-Datensatzes für die Kalibrierung der Radiokarbon-Alter im 12. und 13. Jahrhundert können die folgenden Schlüsse gezogen werden:

1. Das Pergament datiert vor 1218 AD.
2. Das Jahr 1218 AD liegt gerade noch innerhalb des Altersbereichs der Siegelschnur.
3. Eine Entstehung der Siegelschnur nach 1259 AD kann mit 97.7 Prozent Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Einschränkung der Gültigkeit der Aussage zum Alter des Probenmaterials

Die Messung der beiden Proben hat eine Genauigkeit erreicht, die über die Qualität der Daten hinausgeht, die der Kalibrierkurve im relevanten Zeitbereich zugrunde liegen. Allerdings basiert die IntCal13-Kalibrierkurve im relevanten Zeitbereich auf Messungen, die jeweils zehn Jahre abdecken (Integral von zehn Jahrringen). Die suggerierte jährliche Präzision der Altersbereiche ist somit nicht gegeben. Die Altersbereiche können durchaus etwas grösser oder auch kleiner sein.

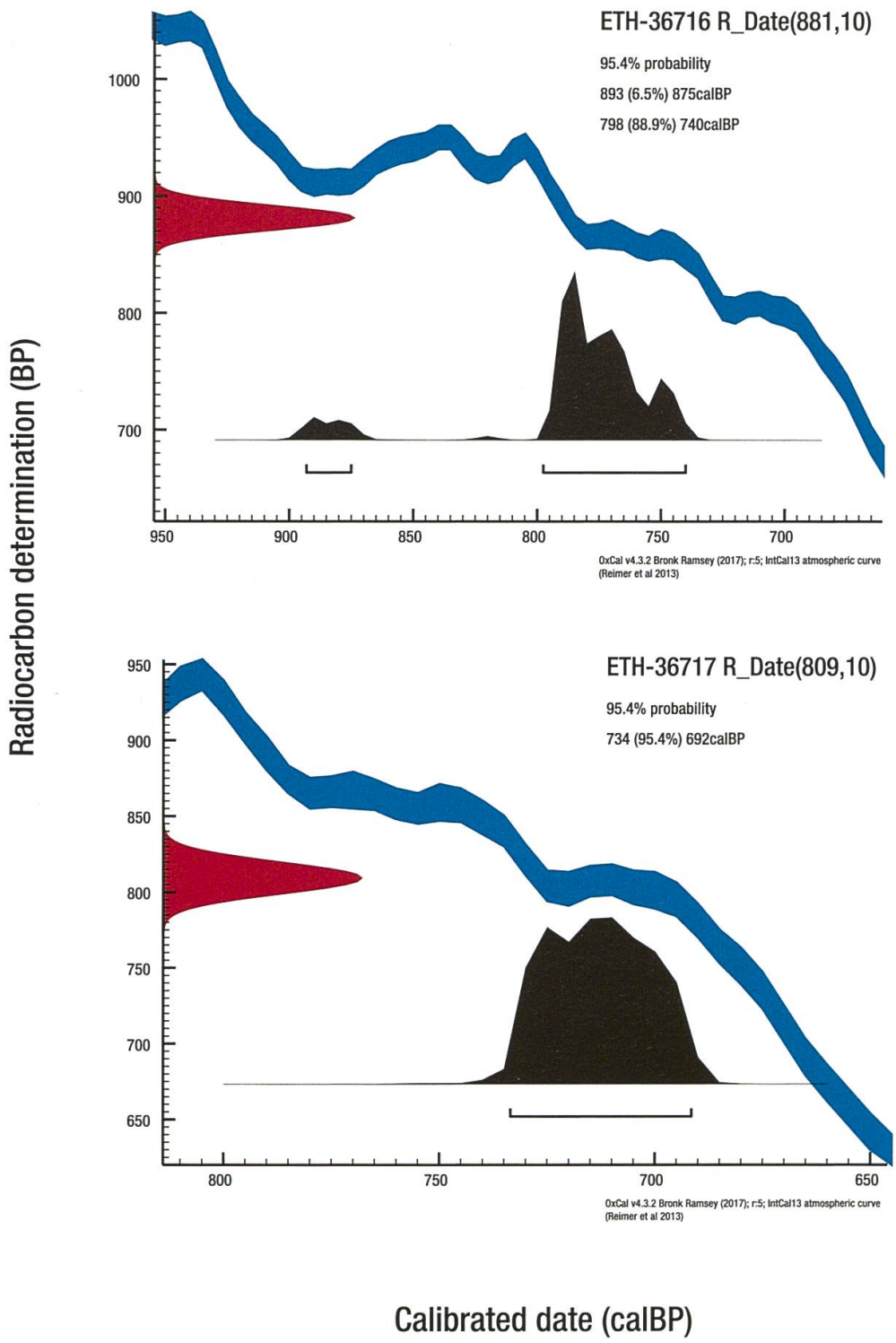

Abb. 2: Die Radiokarbon-Alter (rot) des Pergaments (ETH-36716) und der Siegelschnur (ETH-36717) wurden mit der Kalibrierkurve (blau) in Kalenderalter umgerechnet (Wahrscheinlichkeitsverteilung für 2σ-Bereich, grau).

Es ist basierend auf einer Kalibration mit IntCal13 nicht möglich, Aussagen zur Authentizität der Berner Handfeste zu machen.

Kalibrierung mit jährlich aufgelöster Kalibrierkurve

Die IntCal13-Kalibrierkurve basiert in dem analysierten Zeitbereich auf Radiokarbon-Messungen, die über Zerfallsmessungen durchgeführt wurden. Weil für eine solche Messung mehrere Gramm Zellulose notwendig sind, musste auf jährlich aufgelöste Messungen verzichtet werden, und es wurde jeweils in 10-Jahres-Blöcken gemessen.

Neue, kompakte Beschleunigungsmassenspektrometer (MICADAS-Anlagen) erlauben es heutzutage, effiziente, genaue Messungen an Milligramm-Proben durchzuführen. Wir haben uns deswegen in Hinblick auf diese Publikation entschlossen, den für die Altersbestimmung der Berner Handfeste relevanten Altersbereich in jährlicher Auflösung an der ETH Zürich nachzumessen.

Um eine neue, jährlich aufgelöste Kalibrationskurve zu generieren, wurden die jährlichen Messdaten mit einem Savitky-Golay Filter[10] (Polynom 2. Grades über jeweils elf Jahre) geglättet. Über den Zeitbereich von 1150–1300 AD wurden mehr als 200 Einzelmessungen durchgeführt.[11]

Zur präziseren Bestimmung der historischen Entstehungsalter der Probenmaterialien wurden die Radiokarbon-Alter der Siegelschnur und des Pergaments nun mit Hilfe der jährlich aufgelösten, neu generierten Kalibrierkurve in Kalenderalter umgerechnet (Abb. 3). Auch hier wurden für die Kalenderalter die so genannten 2σ-Bereiche verwendet.

Dementsprechend kann nun die folgende Aussage getroffen werden: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95.4 Prozent liegen die wahren Alter der genommenen Proben in den im Folgenden angegebenen 2σ-Bereichen:

1. Das Alter des Pergaments liegt zwischen 1160 und 1217 AD.
2. Der Siegelschnur kann nun ein Altersbereich von 1222 bis 1265 AD zugewiesen werden.

Für das Pergament erhalten wir einen signifikant kürzeren Altersbereich, der aber immer noch (knapp) vor 1218 AD liegt.

Der Altersbereich für die Siegelschnur ist mit 1222 bis 1265 AD verglichen mit dem Bereich 1217 bis 1259 AD, der sich mit der IntCal13-Kalibrierung ergibt, nur leicht verschoben. Entscheidend ist jedoch, dass das Jahr 1218 eindeutig vor dem

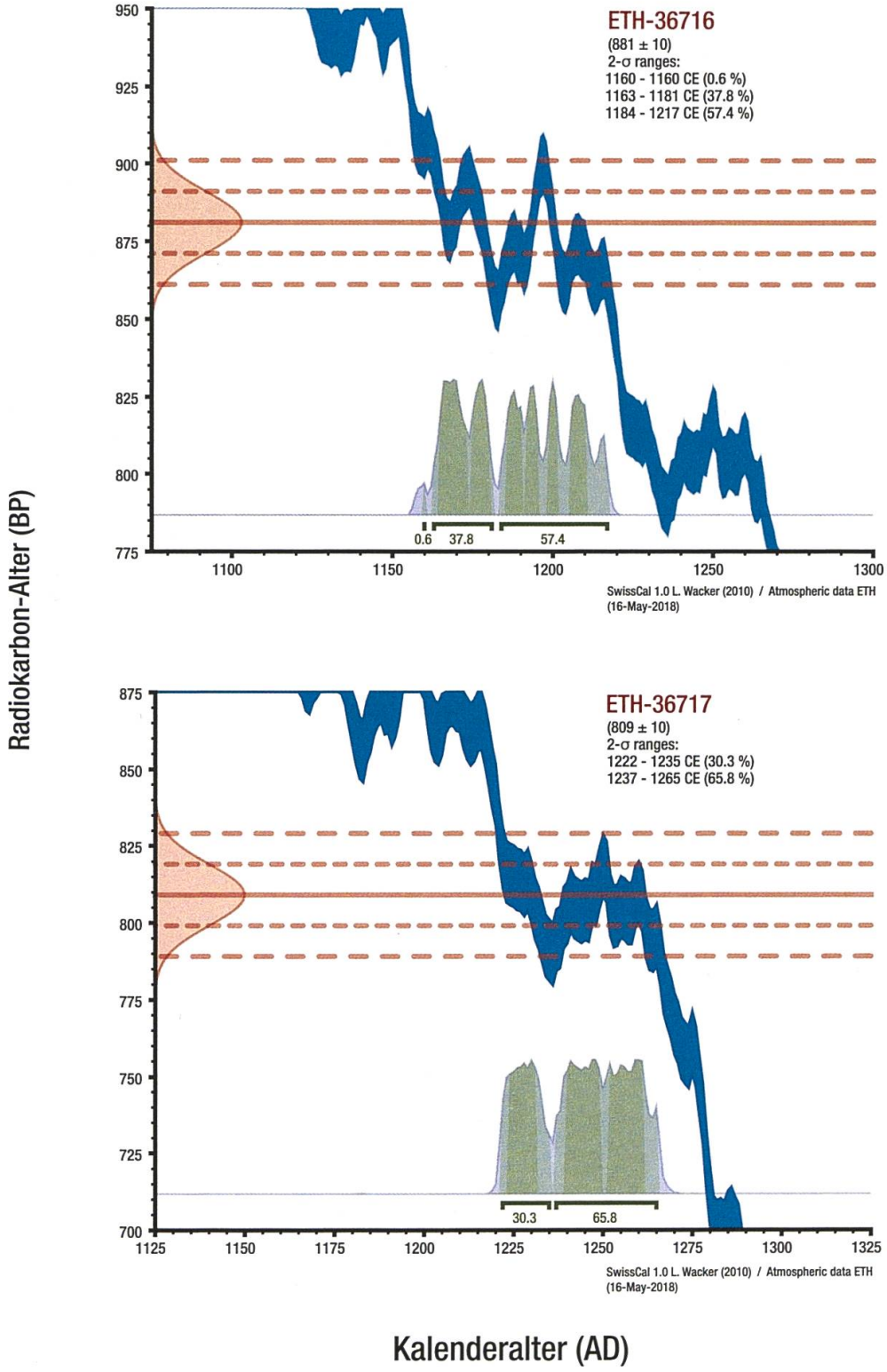

Abb. 3: Zu sehen sind in Grün die Wahrscheinlichkeitsbereiche für die Kalenderalter der Kalibrierung. Die Radiokarbon-Alter (rot) für das Pergament (ETH-36716) und die Siegelschnur (ETH-36717) wurden mit Hilfe der jährlich aufgelösten ETH-Kalibrierkurve (blau) in Kalenderalter umgerechnet (2σ-Wahrscheinlichkeitsverteilung in grün).

Altersbereich von 1222–1265 AD liegt. Dazu muss zusätzlich angemerkt werden, dass die neue Kalibrierkurve wirklich auf jährlich aufgelösten Daten basiert und die Altersbereiche auch wirklich auf das Jahr genau angegeben werden können.

Mit der neuen Kalibrierung können nun folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Das Pergament datiert vor 1218 AD (2σ-Bereich).
2. Die Siegelschnur ist jünger als das Jahr 1218 und muss somit nach 1218 AD dem Dokument angefügt worden sein.

Eine Entstehung der Siegelschnur nach 1265 AD kann mit 97.7 Prozent Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Zusammenfassung

Erstmals wurde mit der Handfeste von Bern ein historisches Dokument aus der Zeit vor 1500 AD mit der Radiokarbon-Methode mit Hilfe einer Höchstpräzisionsmessung und einer jährlich aufgelösten Radiokarbon-Kalibrierkurve datiert.

Die jährlich aufgelöste Kalibrierkurve erlaubt die Datierung der Siegelschnur der Berner Handfeste präzise auf einen Bereich (1222–1265 AD), der jünger ist als das auf dem Dokument angegebene Ausstellungsdatum (1218 AD). Somit muss die Siegelschnur nach 1218 AD angebracht worden sein, nämlich frühestens im Jahr 1222 und spätestens im Jahr 1265.

Wir bedanken uns bei Barbara Studer und Peter Martig vom Staatsarchiv Bern, die uns die Beprobung der Berner Handfeste ermöglicht haben. Ebenfalls danken wir Georges Bonani und Mantana Maurer für die Hilfe bei der Probennahme und Reinigung.

Anmerkungen

1 I. Hajdas, Radiocarbon dating and its applications in Quaternary studies, E&G Quaternary Sci. J., 57 (2008), 2–24.
2 L. Wacker, M. Nemec, J. Bourquin, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms, Proceedings of the AMS-11 Conference.
3 I. Hajdas, G. Bonani, J. R. Thut, G. Leone, R. Pfenninger, C. Maden, A report on sample preparation at the ETH/PSI AMS facility in Zurich, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 223–224 (2004), 267–271.
4 H.-A. Synal, M. Stocker, M. Suter, MICADAS: A new compact radiocarbon AMS system, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 259 (2007), 7–13.
5 L. Wacker, G. Bonani, M. Friedrich, I. Hajdas, B. Kromer, M. Nemec, M. Ruff, M. Suter, H.-A. Synal, C. Vockenhuber, MICADAS: Routine and high-precision radiocarbon dating, Radiocarbon, 52 (2010), 252–262.
6 L. Wacker, M. Christl, H.-A. Synal, Bats: A new powerful tool for AMS data reduction, Nucl Instrum Meth B, AMS11 proceedings (2009).
7 P. J. Reimer, E. Bard, A. Bayliss, J. W. Beck, P. G. Blackwell, C. B. Ramsey, C. E. Buck, H. Cheng, R. L. Edwards, M. Friedrich, P. M. Grootes, T. P. Guilderson, H. Haflidason, I. Hajdas, C. Hatte, T. J. Heaton, D. L. Hoffmann, A. G. Hogg, K. A. Hughen, K. F. Kaiser, B. Kromer, S. W. Manning, M. Niu, R. W. Reimer, D. A. Richards, E. M. Scott, J. R. Southon, R. A. Staff, C.S.M. Turney, J. van der Plicht, Intcal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years Cal Bp, Radiocarbon, 55 (2013), 1869–1887.
8 C. B. Ramsey, Development of the radiocarbon calibration program, in: 17th International Radiocarbon Conference, Univ Arizona Dept Geosciences, Jerusalem, Israel, 2000, 355–363.
9 Wie Anm. 7.
10 A. Savitzky, M.J.E. Golay, Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures, Anal Chem, 36 (1964), 1627–1639.
11 L. Wacker, Reconstruction of annual atmospheric radiocarbon concentrations over the last 1000 years, in prep. (2018).