Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft in Bern
Band: 75 (2018)

Artikel: Radiokohlenstoffdatierungen heute
Autor: Szidat, Sönke / Stapfer, Regine
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-823107

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: 05.07.2025

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

Radiokohlenstoff-datierungen heute

Ohne Radiokohlenstoffdatierung sähe unser Geschichtsverständnis ganz anders aus. Sie hat es geschafft, die vielen relativen Chronologien in einen absoluten zeitlichen Rahmen zu setzen. Und schon von Anfang an waren Forscher der Universität Bern ganz vorne an der Spitze mit dabei.

Autoren

Sönke Szidat, Regine Stapfer

Radiokohlenstoffdatierung – die stille Revolution

Wann wuchs der Baumstrunk, der weit über der heutigen Baumgrenze aus einem Gletschertor gespült wird? Handelt es sich bei der Leiche im Moor um ein Verbrechen aus jüngster Zeit oder um einen Todesfall aus längst vergangenen Epochen? Wann wurde der Brei gekocht, der im Innern eines Topfes von «Pfahlbauern» erhalten geblieben ist? Wann immer kohlenstoffreiches Material erhalten geblieben ist, kann dessen Alter mittels Radiokohlenstoffdatierung – oder ^{14}C-Methode, wie sie meist genannt wird – bestimmt werden, vorausgesetzt das Material ist nicht älter als etwa 55 000 Jahre. Mittels dieser Methode konnten ab den 1950er Jahren auf einen Schlag relative Stratigraphien mit absoluten Altern belegt werden. Dies führte zu teils drastischen Neuinterpretationen von bis dahin geltenden Fakten. Der Nutzen der Radiokohlenstoff-Methode geht heute allerdings weit über die blosse Datierung von historischen und prähistorischen Funden hinaus.

Die ^{14}C-Methode – selbst nach unserem Tod ticken wir weiter

Kohlenstoff besteht aus den drei natürlichen Isotopen ^{12}C, ^{13}C und ^{14}C, wovon ^{12}C und ^{13}C stabil sind. Radiokohlenstoff (^{14}C) ist ein radioaktives Isotop des Kohlenstoffs. Es hat eine Halbwertszeit von 5730 Jahren, was bedeutet, dass nach dem Ablauf dieser Zeit noch die Hälfte des ursprünglichen ^{14}C vorhanden ist, nach einer weiteren Halbwertszeit noch ein Viertel und nach noch einer Halbwertszeit noch ein Achtel usw. Wie *Abbildung 1* zeigt, stammt Radiokohlenstoff von der Wechselwirkung eines thermischen Neutrons (engl.: *thermal neutron*) mit einem Stickstoffkern (*nucleus*) ^{14}N in der oberen Stratosphäre in ca. 30–50 km Höhe (Gäggeler und Szidat, 2016). Die thermischen Neutronen wiederum entstehen als sogenannte Spallationsprodukte (*spallation products*) bei der Kollision von hochenergetischen Teilchen aus dem Weltraum (der sogenannten galaktischen kosmischen Strahlung, *cosmic ray*) mit den Gasen unserer Atmosphäre. Der Kollision folgt eine Abkühlung in etwa auf Raumtemperatur, weswegen diese Neutronen als «thermisch» bezeichnet werden.

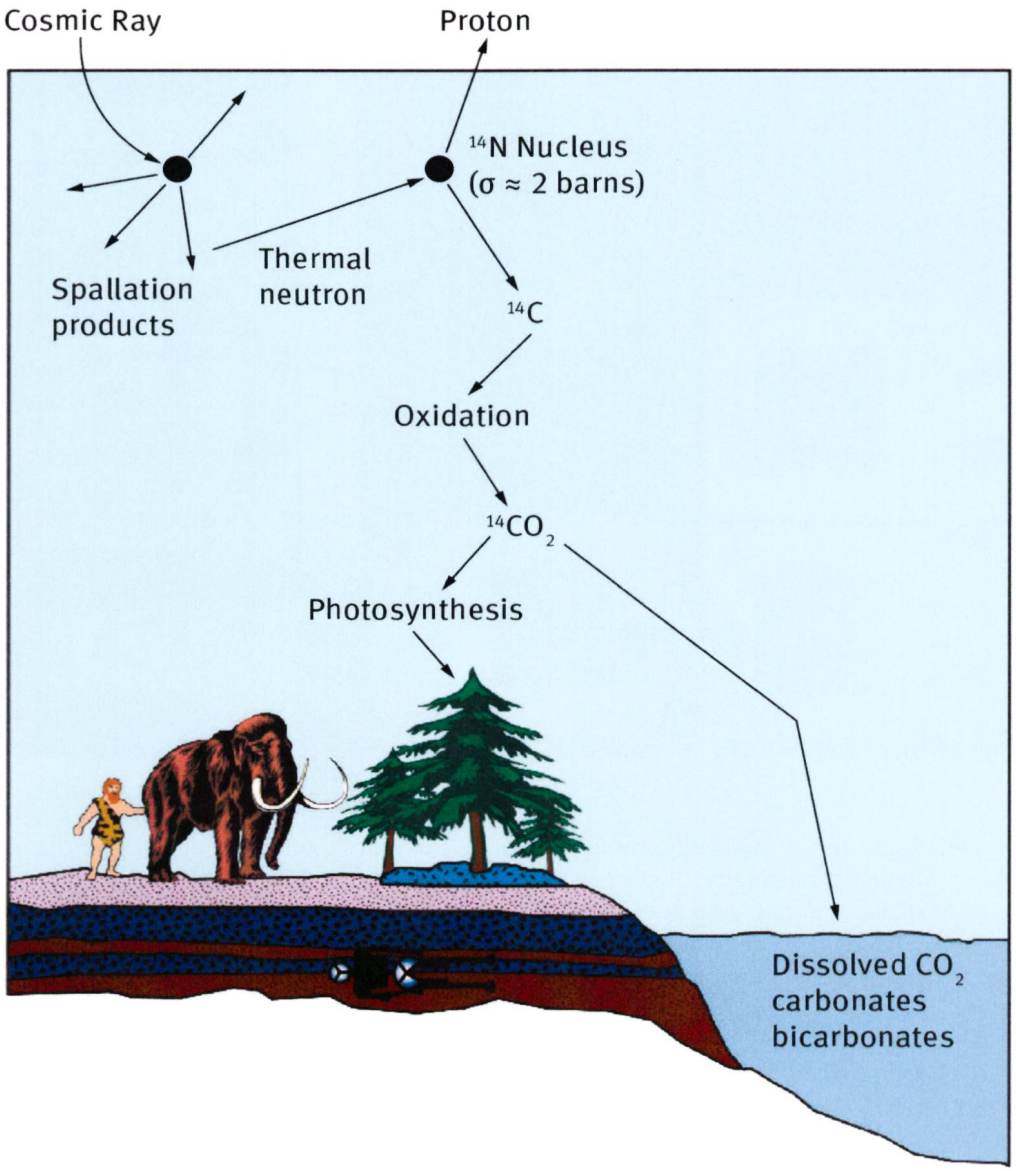


Abb. 1: Bildung und Verteilung von radioaktivem ^{14}C (Radiokohlenstoff) in der Umwelt (Gäggeler und Szidat, 2016). Die englischen Fachbegriffe sind im Text erläutert.

Liegt der Radiokohlenstoff kurzzeitig nach seiner Bildung zunächst als ^{14}C-Atom vor, entsteht durch zwei aufeinanderfolgende Oxidationsschritte zuerst radioaktives Kohlenmonoxid (^{14}CO) und mit etwas Verzögerung radioaktives Kohlendioxid ($^{14}CO_2$). Dieses erreicht die Troposphäre unterhalb von etwa 15 km Höhe und wird hier via Photosynthese in Pflanzenmaterial umgewandelt und im Meerwasser als CO_2, Carbonat und Bicarbonat (*dissolved CO_2, carbonates, bicarbonates*) aufgelöst. Über die Nahrungskette gelangt der Radiokohlenstoff schliesslich zu den Tieren und zum Menschen, so dass sich ein Gleichgewichtswert zwischen Pflanzen und den höheren Organismen während ihrer Lebensdauer einstellt. Nach dem Absterben kann kein weiterer Austausch mit der Umwelt mehr stattfinden, so dass der Anteil des ^{14}C am gesamthaft vorhandenen Kohlenstoff durch den radioaktiven Zerfall kontinuierlich abnimmt. Aus dem Vergleich des ^{14}C-Anteils eines prähistorischen Fundes mit dem Gleichgewichtswert, der zu Lebzeiten des Fundstücks geherrscht hat, kann das Alter bestimmt werden. Dies erlaubt die Datierung von organischer oder anderer kohlenstoffhaltiger Materie bis zu einem Alter von über 50 000 Jahren.

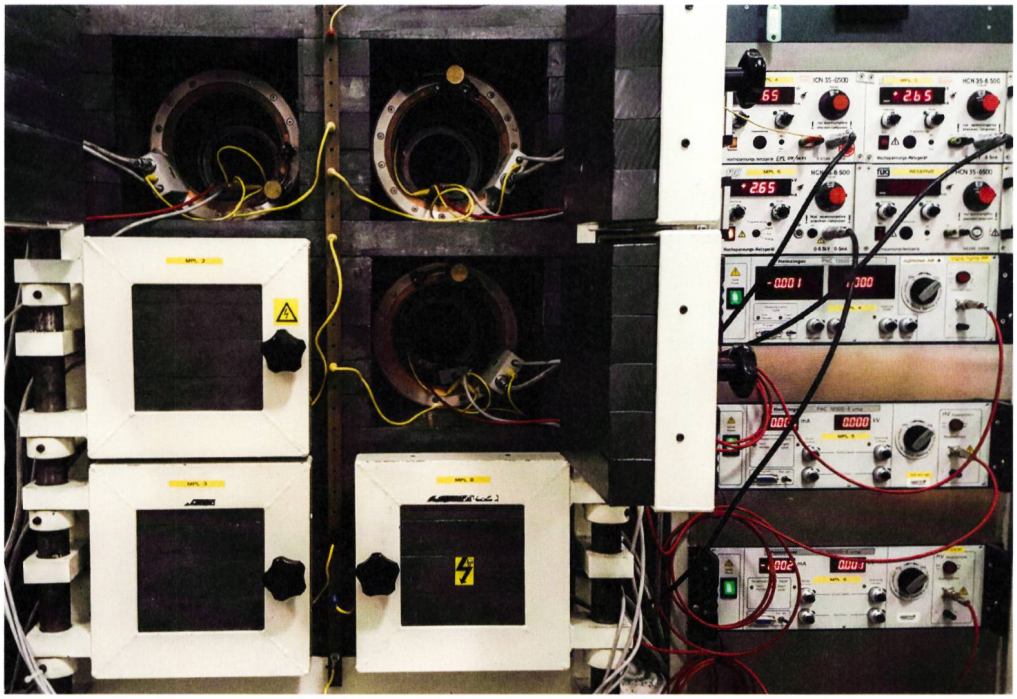


Abb. 2: Die von Hans Oeschger entwickelten Gasproportionalzählrohre in der Klima- und Umweltphysik der Universität Bern. Blick auf die Zählrohre (links oben), verschlossene Bleikammern bereit zur Messung (links unten) und Messelektronik (rechts) (Foto: Th. Wagner).

Einzelheiten zur Altersbestimmung und deren Abhängigkeit von der Sonnenaktivität, dem Erdmagnetfeld und dem CO_2-Austausch zwischen Atmosphäre und Ozean werden im Kapitel «Kalibration: Wie erhalten wir das richtige Alter der Probe?» erläutert.

Nachdem dieses Prinzip in den 1940er Jahren entdeckt wurde, lag es quasi auf der Hand, dass man diese Zerfallsreihe als archäologische Uhr einsetzen würde (Libby, 1952). Die zur damaligen Zeit verfügbare Methode war die direkte Messung des Zerfalls.

Von Kernstrahlungsmessungen zur Massenspektrometrie

Die Universität Bern hat bereits in den 1950er Jahren wichtige Beiträge zu der Entwicklung dieser Methode und deren Anwendungen geleistet. Der Physiker Hans Oeschger hat ein Gasproportionalzählrohr entwickelt, das die beim ß-Zerfall ausgesandten Elektronen des radioaktiven Kohlenstoff-Isotops ^{14}C effizient detektieren und dabei die natürliche Untergrundstrahlung weitestgehend unterdrücken konnte (Houtermans und Oeschger, 1958). Diese Messsysteme sind bis heute in der Klima- und Umweltphysik im Einsatz (siehe *Abb. 2*) und liefern Radiokohlenstoffbestimmungen mit hoher Präzision und Genauigkeit. Bei der Aufarbeitung wird der in den Proben enthaltene Kohlenstoff zunächst in CO_2 und dann vollständig in das «Zählgas» Methan (CH_4) umgewandelt. Das Methan wird in das Gasproportionalzählrohr gefüllt, in dem ein elektrisches Feld zwischen der Wand und einem im Innern gespannten Draht anliegt. Die beim ß-Zerfall entstehenden Ionen erzeugen so einen elektrischen Impuls, der es erlaubt, dieses Ereignis zu detektieren. Dabei wird der Einfluss der natürlichen Umgebungsstrahlung durch Bleikammern abgeschirmt und zusätzlich elektronisch unterdrückt. Aus dem Vergleich des Gehalts des radioaktiven ^{14}C mit dem gesamten Kohlenstoffgehalt ergibt sich der ^{14}C-Anteil der Probe. Mit diesem Verfahren hat Hans Oeschger z. B. die ersten Datierungen von polarem Eis versucht und erfolgreich das Alter des tiefen Wassers im Pazifischen Ozean bestimmt.

Allerdings benötigen diese und ähnliche, auf Kernstrahlungsmessungen beru-

hende Methoden relativ viel Probenmaterial von einigen Gramm Kohlenstoff. Zum einen stehen solche Probenmengen häufig nicht zur Verfügung – zum anderen zieht deren Aufarbeitung einen hohen zeitlichen und personellen Aufwand nach sich. Dabei hängt die Empfindlichkeit von Kernstrahlungsmessungen wie der ß-Spektrometrie neben der Detektionseffizienz für den radioaktiven Zerfall von der Halbwertszeit des Radionuklids ab, die umgekehrt proportional ist zur Zerfallsrate, also der Häufigkeit für einen Zerfall pro Zeit. Bei einer langen Halbwertszeit wie beim ^{14}C (5730 Jahre) treten radioaktive Zerfälle nur selten auf, auch wenn das Radionuklid genügend häufig in der Probe vorhanden ist, so dass Kernstrahlungsmessungen trotz einer hohen Detektionseffizienz nur wenige Ereignisse zählen können. Dieses Manko muss dann durch eine grössere Probenmenge und längere Zähldauer ausgeglichen werden.

In den späten 1970er Jahren wurde ein zweites, geradezu revolutionäres Verfahren zur Radiokarbonmessung entwickelt: Die Beschleuniger-Massenspektrometrie (engl.: *accelerator mass spectrometry*, AMS). Auch hier war die Schweiz und die Universität Bern massgeblich beteiligt: Unterstützt von Hans Oeschger hat der ETH-Teilchenphysiker Willy Wölfli in Zürich eine der ersten Anlagen in Europa aufgebaut. Dieses neue Verfahren einer Radiokarbonmessung basierte drauf, nicht den Zerfall zu messen, sondern direkt die Kohlenstoff-Isotopenzusammensetzung einer Probe mittels Massenspektrometrie zu bestimmen, also noch bevor der radioaktive Zerfall stattfindet. Das bedeutet, ^{14}C wird nicht via Zerfallsaktivität, sondern direkt quantitativ bestimmt. Die Empfindlichkeit der Massenspektrometrie hängt nur von der Ionisierungs- und der Detektionseffizienz ab, nicht aber von der Halbwertszeit. Daher wird die Massenspektrometrie umso attraktiver, je langlebiger ein Radionuklid ist. Heutige AMS-Anlagen sind etwa 10 000-mal empfindlicher als die von Hans Oeschger entwickelten Gasproportionalzählrohre und kommen deshalb mit einem Bruchteil an Probenmaterial aus, nämlich mit einigen Milligramm Kohlenstoff für Routineanalysen oder gar nur einigen Mikrogramm Kohlenstoff für Spezialanwendungen. Hierin liegt das Revolutionäre der AMS. Dieser Gewinn verlangt aber einen gewissen Preis, denn eine ^{14}C-Messung ist nicht möglich mit konventionellen Massenspektrometern, wie sie heutzutage in vielen chemischen Analysenlaboren anzutreffen sind, sondern sie verlangt ein Beschleuniger-Massenspektrometer, das ausschliesslich für die Messung von seltenen Isotopen konzipiert wurde. Diese speziellen Massenspektrometer sind in der Lage, den Messuntergrund von Fragmenten organischer Moleküle so weit zu reduzieren, dass ^{14}C überhaupt erst «sichtbar» wird, wie im folgenden Abschnitt erläutert wird.

«Heutige AMS-Anlagen sind etwa 10 000-mal empfindlicher als die von Hans Oeschger entwickelten Gasproportionalzählrohre.»

Prinzip der Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS)

In modernem Material kommt ^{14}C bezogen auf das häufigste stabile Kohlenstoffisotop ^{12}C in einem Verhältnis von 10^{-12} vor, ist also billionenmal seltener als der nichtradioaktive Kohlenstoff. Dieses Verhältnis verringert sich sogar auf etwa 10^{-15} für über 50 000 Jahre altes Material, einem Alter, welches der Nachweisgrenze des AMS entspricht.

Ein solch geringes Vorkommen erschwert die Messung von ^{14}C sehr, weil andere gleichschwere Teilchen um mehrere Grössenordnungen häufiger sind und vom Massenspektrometer unterdrückt werden müssen. Dies betrifft zum einen das stabile Stickstoff-Isotop ^{14}N, welches das häufigste Isotop in unserer Atmosphäre ist, und zum anderen Molekülfragmente wie $^{12}CH_2$

und ^{13}CH, welche in einem konventionellen Massenspektrometer nicht vollständig zerstört werden können. Ein AMS ist jedoch in der Lage, diese Interferenzen komplett zu beseitigen.

Man kann ein AMS als Abfolge mehrerer Filter verstehen *(Abb. 3)*, durch die störende Komponenten entfernt und ^{14}C in Reinform isoliert wird – und dies mit möglichst hoher Effizienz. In der Ionenquelle werden zunächst negativ geladene Kohlenstoff-Ionen ($^{12}C^-$, $^{13}C^-$ und $^{14}C^-$) gebildet (engl.: *negative ion formation)*, was sowohl mit hoher Leistung als auch mit hoher Ausbeute erfolgen muss, damit die wenigen in der Probe vorkommenden ^{14}C-Atome effektiv gemessen werden können. Um dies zu erreichen, wird eine Sputter-Ionenquelle *(Cs sputter ion source)* verwendet, in der die Probe mit hoher Intensität von Cäsium-Ionen beschossen wird, was zur Bildung der negativ geladenen Kohlenstoff-Ionen führt. Bei diesem Prozess wird die oben erwähnte Störung durch das Stickstoff-Isotop ^{14}N beseitigt, weil Stickstoff unter den speziellen Bedingungen in der Ionenquelle keine negativen Ionen bildet. In den Massenanalysatoren vor und nach dem Beschleuniger *(mass analysis, low-energy end/high-energy end)* werden die drei Kohlenstoff-Isotope nach den klassischen Prinzipien der Massenspektrometrie voneinander und von anderen Teilchen separiert. Im Beschleuniger *(accelerator)* selbst werden die Ionen zunächst auf hohe Geschwindigkeiten und dann zur Kollision mit Gasteilchen gebracht. Dieser Prozess, der das Besondere an einem AMS darstellt, führt zum einen dazu, dass störende Molekülfragmente eliminiert werden *(molecule destruction)*. Zum anderen werden auch beim sogenannten «Stripping» äussere Elektronen von den Kohlenstoff-Ionen herausgeschlagen, wodurch aus den negativen positiv geladene Atomionen *(positive atomic ions)* gebildet werden. Abschliessend werden die beschleunigten und von Störkomponenten befreiten positiven ^{14}C-Ionen in einem Teilchendetektor *(particle detector)* identifiziert *(particle identification)* und mit hoher Effizienz gezählt. Die Gesamtausbeute des Radiokohlenstoffs liegt für diesen Messprozess bei 5–10%, wobei die grössten Verluste bei der Ionisierung und beim Stripping auftreten.

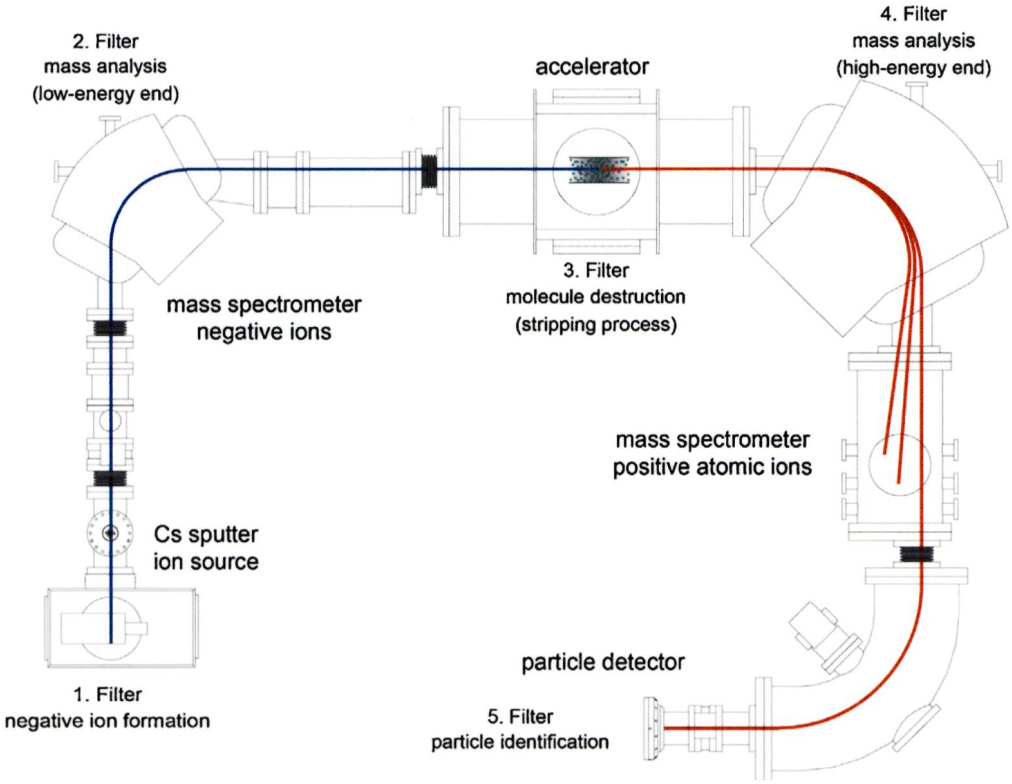


Abb. 3: Komponenten eines Beschleuniger-Massenspektrometers und Verlauf des Ionenstrahls (Synal, 2013). Die englischen Fachbegriffe sind im Text erläutert.

«Diese Anlagen füllten ganze Hallen und für die Ausrichtung des Ionenstrahls innerhalb des Geräts war ein Team von erfahrenen Physikern notwendig.»

Die ersten erfolgreichen AMS-Messungen von ^{14}C in den späten 1970er Jahren wurden an damals existierenden van-de-Graaf-Tandembeschleunigern durchgeführt (Synal, 2013). Diese Anlagen füllten ganze Hallen und für die Ausrichtung des Ionenstrahls innerhalb des Geräts war ein Team von erfahrenen Physikern notwendig. Dabei führten die grossen Beschleuniger der ersten Generation mit hohen Beschleunigungsspannungen von 6–14 MV zur Bildung von vierfach positiv geladenen Kohlenstoff-Ionen nach dem Beschleuniger. Die in den letzten Jahren entwickelten Geräte setzen Beschleunigungsspannungen von nur ~0,2 MV und weniger ein, wodurch nur einfach positiv geladene Kohlenstoff-Ionen gebildet werden können. Die Reduktion der Beschleunigungsspannung hat dabei zu einer ähnlichen Verringerung des Platzbedarfs geführt, wie am Vergleich des ETH-EN-Tandems (6 MV/~200 m²) mit dem ETH-MICADAS (0,2 MV/7,5 m²) verdeutlicht werden kann. Gleichzeitig hat die Komplexität der Geräte ab- sowie deren Bedienerfreundlichkeit und Robustheit zugenommen. Diese historische Geräteentwicklung ist in *Abbildung 4* gezeigt.

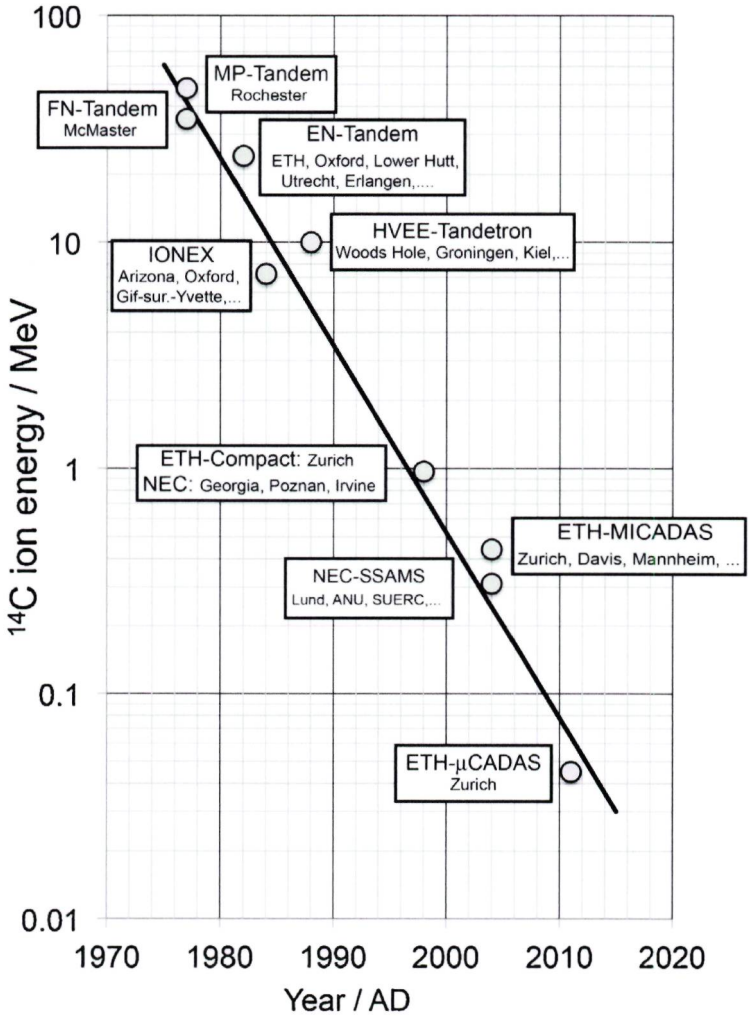


Abb. 4: Technische Entwicklung der ^{14}C-Messung mit AMS über die letzten 40 Jahre (Synal, 2013). Die notwendige Energie der beschleunigten ^{14}C-Ionen (engl.: *^{14}C ion energy*) bestimmt massgeblich die Grösse und die Komplexität einer AMS-Anlage. Die einzelnen Schritte dieser Entwicklung sind jeweils durch den verwendeten Beschleunigertyp oder den Gerätenamen gekennzeichnet zusammen mit einigen Institutionen oder Standorten mit einer solchen Anlage.

Das LARA-Labor in Bern

Seit 2013 betreibt die Universität Bern ein Beschleuniger-Massenspektrometer am Labor zur Analyse von Radiokohlenstoff mit AMS (LARA), welches im Departement für Chemie und Biochemie (DCB) beheimatet ist und gemeinsam dem DCB und dem Oeschger-Zentrum für Klimaforschung (OCCR) angehört (Szidat et al., 2014). Kernstück des

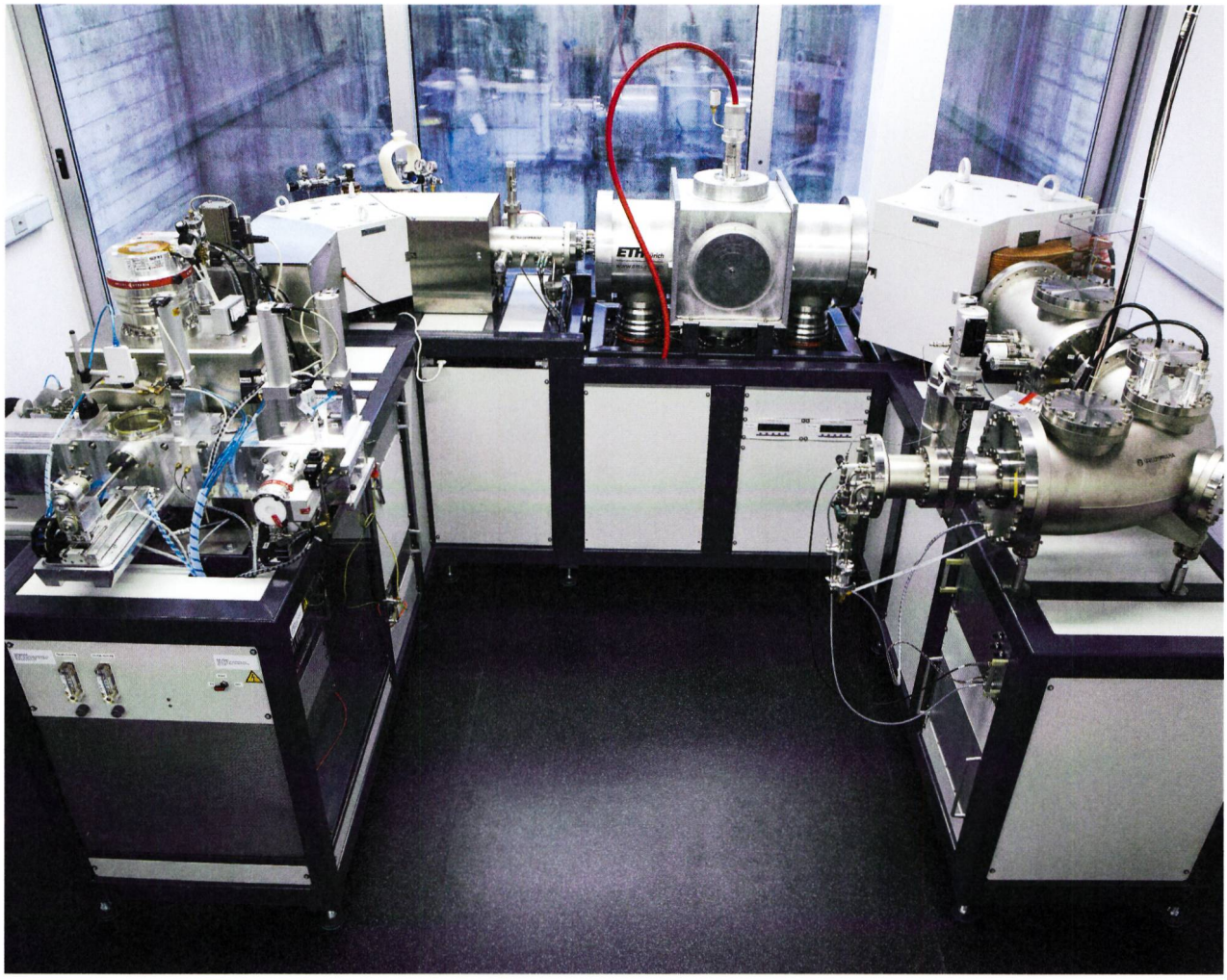


Abb. 5: Das Beschleuniger-Massenspektrometer MICADAS am Labor zur Analyse von Radiokohlenstoff mit AMS (LARA) der Universität Bern (Szidat et al., 2014). (Foto: A. Boutellier).

LARA ist die AMS-Anlage MICADAS (MIni CArbon DAting System, siehe *Abb. 5*), welche an der ETH Zürich entwickelt wurde (Synal et al., 2007) und mit einer Beschleunigungsspannung von 0,2 MV arbeitet.

Die Ionenquelle ist in der Lage, zwei Arten von Proben aufzunehmen. Im Standardverfahren werden feste Graphit-Targets verwendet, die aus dem eigentlichen Probenmaterial hergestellt werden (siehe nächstes Kapitel). Hierfür wird üblicherweise 1 mg Kohlenstoff eingesetzt, wobei die Probenmenge bis zu 100 µg reduziert werden kann. Alternativ kann gasförmiges CO_2 direkt in die Ionenquelle eingeleitet und so gemessen werden, was den Einsatz von kleineren Proben bis zu 2 µg Kohlenstoff erlaubt. Dieses Verfahren bedarf allerdings eines grösseren Aufwands und ist auch etwas weniger präzise als die Messung von festen Graphit-Targets, so dass es ausschliesslich für Kleinstproben angewandt wird.

Probenvorbehandlung und Messung

Die ^{14}C-Methode erlaubt die Datierung von organischer oder anderer kohlenstoffhaltiger Materie, was zum einen Pflanzenbestandteile, tierische und menschliche Gewebe sowie Knochen einschliesst, aber auch carbonatisches Material, wie z. B. Korallen, Stalagmiten, Gehäuse von Schnecken oder Muscheln und sogar Mörtel von Gebäuden. Die Probenvorbehandlung be-

inhaltet zwei Schritte. Im ersten Schritt soll diejenige kohlenstoffhaltige Fraktion isoliert werden, welche das Alter der Probe am besten repräsentiert. Im zweiten Schritt wird das aufgereinigte Material in das Messtarget, also in Graphit oder CO_2, umgewandelt.

Bei organischen Materialien wird das Alter der Probe am besten durch die chemisch stabilste Fraktion repräsentiert. Beim Isolieren dieser Fraktion sollen alle anderen kohlenstoffhaltigen Substanzen, welche die Datierung verfälschen können, entfernt werden. Dies schliesst sowohl Kontaminationen der Probennahme oder Ausgrabung ein als auch natürliche Probenbestandteile, die sich im Laufe der Zeit durch chemische Reaktionen mit der Umgebung verändert haben könnten. Aus diesem Grund stehen labiles Material und kleine organische Moleküle im Verdacht, das Datierungsergebnis zu verfälschen. Daher wird z. B. bei Holzproben die Cellulose als stabilstes Material isoliert und andere Bestandteile wie Hemicellulose, Lignin oder deren Abbauprodukte während der Aufarbeitung entfernt. Dies erfolgt in einer Abfolge von mehreren chemischen Behandlungen (Szidat et al., 2014). Dieses Verfahren beseitigt neben den ungeeigneten Pflanzenbestandteilen auch kohlenstoffhaltiges Material, das sich im Boden angelagert hat. Dies sind vor allem Carbonate sowie Humin- und Fulvinsäuren, die aus oberen Bodenschichten durch den Niederschlag in die Tiefe verlagert wurden. Bei Knochen wird in einem leicht modifizierten Verfahren das Collagen isoliert (Szidat et al., 2017). Das so aufgereinigte organische Material (also z. B. die Cellulose oder das Collagen) wird anschliessend bei hoher Temperatur in einer Sauerstoffumgebung zu CO_2 verbrannt, welches anschliessend entweder direkt in die Ionenquelle des AMS für eine Gasmessung eingeleitet wird oder eine zweite Reaktion durchläuft, in der das CO_2 durch Wasserstoff zu Graphit reduziert und auf Eisenpulver abgeschieden wird. Dieses Eisen-Graphit-Gemisch wird dann für eine Feststoffmessung eingesetzt. Wie bereits erwähnt kann neben organischem auch carbonatisches Material datiert werden. Dafür wird das Calciumcarbonat mit einer starken Säure aufgelöst und das entstehende CO_2 weiterverwendet wie nach der Verbrennung der organischen Proben. Die AMS-Messung von unbekannten Proben erfolgt zusammen mit zertifizierten Standards, die zur Untergrundkorrektur und zur Normalisierung verwendet werden. Am Ende liegen die Ergebnisse in Form eines $F^{14}C$-Wertes vor, welcher, vereinfacht formuliert, dem Anteil der Zerfallsaktivität im Vergleich zu einer Probe aus dem Referenzjahr 1950 entspricht (häufig wird von «Anteil modern» gesprochen). Aus dem $F^{14}C$-Wert wird ein sogenanntes «konventionelles ^{14}C-Alter» ermittelt, unter der vereinfachten Annahme einer über die Zeit konstanten ^{14}C-Bildung und der Anwendung des radioaktiven Zerfallsgesetzes. Dieses konventionelle ^{14}C-Alter ermöglicht lediglich eine ungefähre Altersabschätzung, aber keine genaue Datierung, da bei deren Bestimmung vernachlässigt wurde, dass die ^{14}C-Bildung in der Vergangenheit eben nicht konstant, sondern gewissen Schwankungen unterworfen war aufgrund von Variabilitäten der Sonnenaktivität und des Erdmagnetfeldes.

Kalibration: Wie erhalten wir das richtige Alter der Probe?

Die von der Sonne ausgestossenen geladenen Teilchen und das Erdmagnetfeld beeinflussen die ^{14}C-Bildung indirekt, indem sie einen gewissen Teil der galaktischen kosmischen Strahlung davon abhalten, unsere Stratosphäre zu erreichen und die Umwandlung von ^{14}N in ^{14}C auszulösen (vgl. *Abb. 1*). Dabei sind weder die Sonnenaktivität noch das Erdmagnetfeld über die Zeit konstant, sondern periodischen Schwankungen unterworfen. Zu Zeiten einer aktiveren Sonne oder eines stärkeren Erdmagnetfeldes wird die galaktische kosmische Strahlung stärker abgeschirmt, was zu einer etwas geringeren ^{14}C-Bildung führt. Dahingegen führt eine weniger aktive Sonne oder ein schwächeres Erdmagnetfeld zu einer leicht erhöhten ^{14}C-Bildung. Des Weiteren wirken sich Änderungen der Ozeanzirkulation auf den ^{14}C-Gehalt der

Atmosphäre aus. Die Ozeanzirkulation ist eng mit dem Gasaustausch von Atmosphäre und dem Meerwasser, der sogenannten Ozeanventilation, verbunden. Änderungen in der Ozeanzirkulation, z. B. durch eine erhöhte Frischwasserzufuhr nach einer Gletscherschmelze oder eine vermehrte Tiefenwasserbildung, beeinflussen die Geschwindigkeit des Gasaustauschs von allen Luftgasen und insbesondere von CO_2 und somit auch den ^{14}C-Gehalt der Atmosphäre. All diese Prozesse werden bei der Radiokarbondatierung berücksichtigt in einem als «Kalibrierung» bezeichneten Vorgang, bei dem aus dem gemessenen konventionellen ^{14}C-Alter das Kalenderalter einer Probe hervorgeht. Die hierbei verwendete Kalibrationskurve wurde zusammengestellt aus einer grossen Anzahl von individuellen ^{14}C-Messungen von Proben, deren Alter zuvor mithilfe anderer Methoden, z. B. durch die Dendrochronologie (siehe Beitrag Bolliger, S. 40), bestimmt wurden. Ein Beispiel für eine solche Kalibrierung wird in *Abbildung 6* anhand der Datierung des Ötzi aus der späten Jungsteinzeit gezeigt. Eigentlich wäre ein linearer Zusammenhang zwischen beiden Altersangaben zu erwarten, d.h. dass z. B. 600 Jahren auf der y-Achse 600 Jahren auf der x-Achse entsprechen sollten. Die Schwankungen, die oft auch «Wiggles» genannt werden, kennzeichnen die Abfolgen von Zeiten reduzierter und erhöhter ^{14}C-Bildung. In *Abbildung 6* sind Phasen reduzierter ^{14}C-Bildung durch ein starkes Abfallen der blauen Kalibrationskurve erkennbar (z. B. für das Kalenderalter 3660–3620 v. Chr.), während Phasen

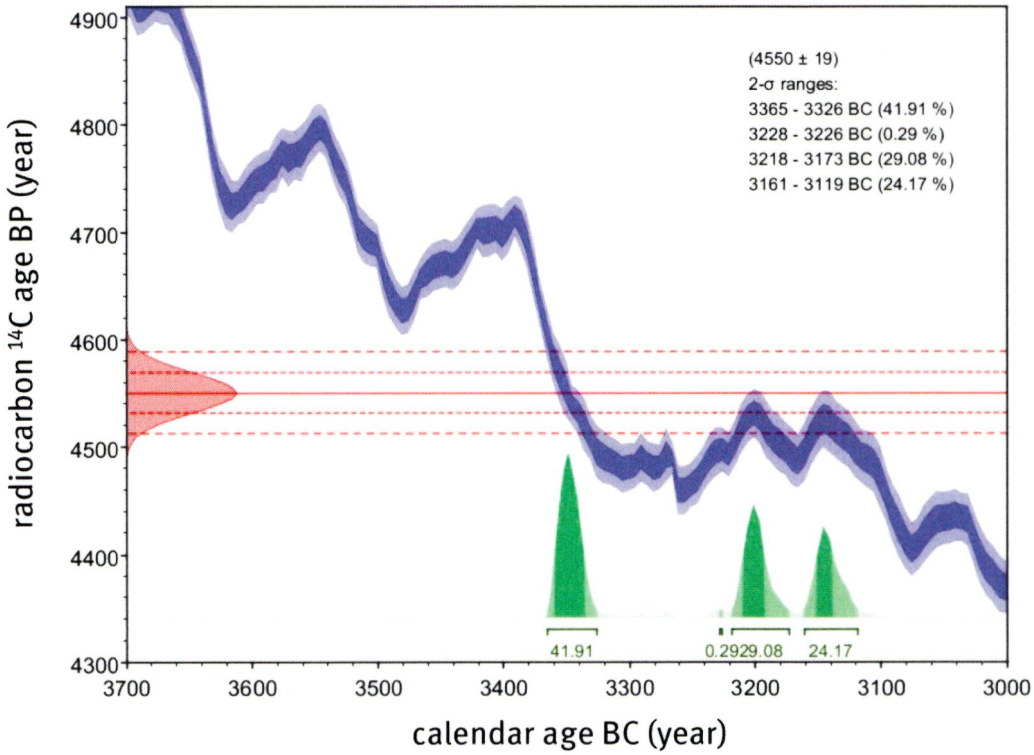
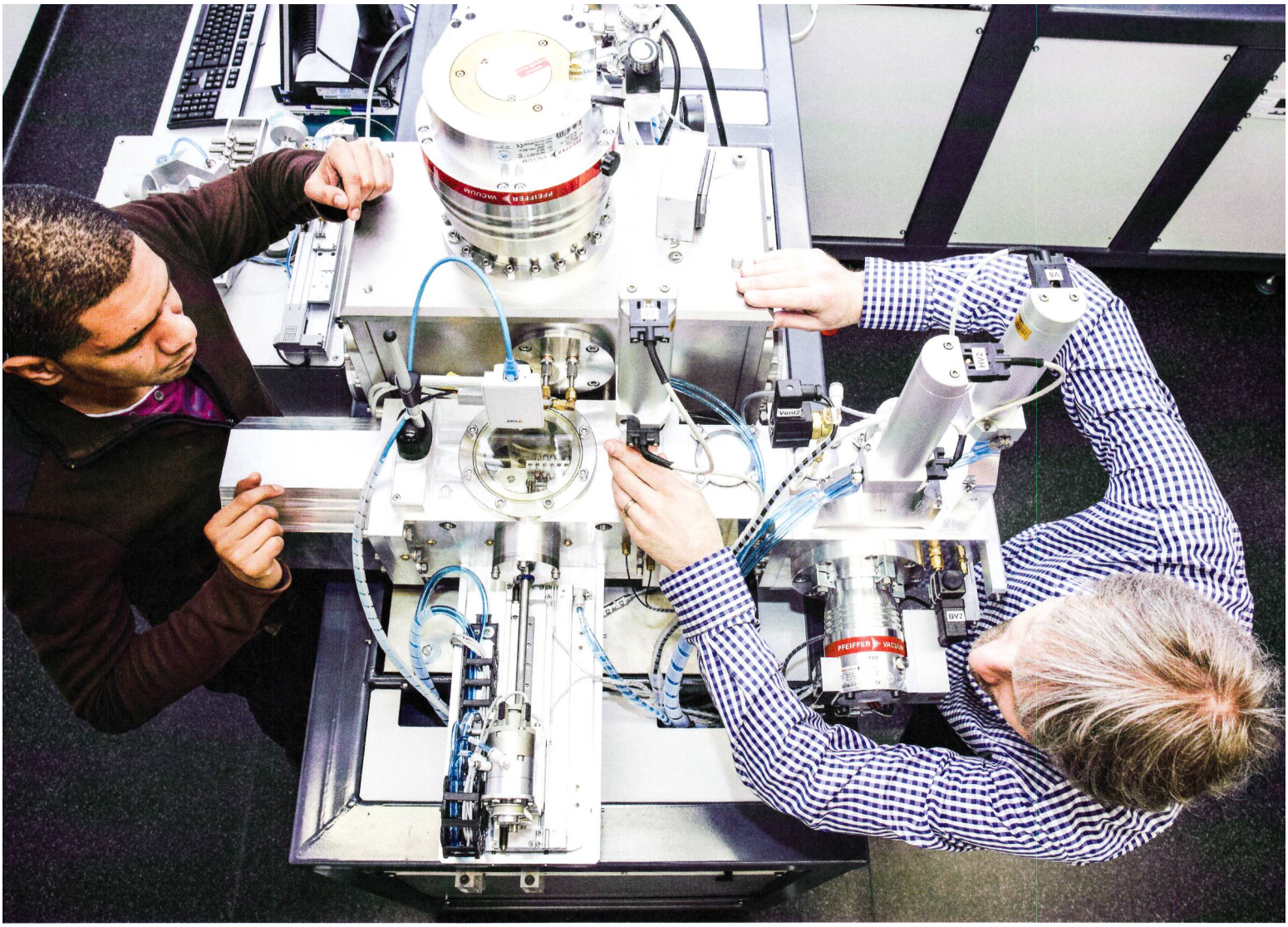


Abb. 6: Umwandlung des konventionellen ^{14}C-Alters (engl.: *radiocarbon ^{14}C age*) in das Kalenderalter (*calendar age*) am Beispiel der Datierung des Ötzi (Gäggeler und Szidat, 2016). Das gemessene konventionelle ^{14}C-Alter lag bei 4550 ± 19 Jahren BP *(«before present»)*, was laut Konvention der Anzahl der Jahre vor 1950 n. Chr. entspricht (siehe rote Gaussfunktion auf der y-Achse). Aus der Faltung mit der blauen Kalibrationskurve, die mit Vertrauensbereichen von 68% und 95% dargestellt ist, ergeben sich mehrere mögliche Bereiche des wahren Alters zwischen 3365 und 3119 v. Chr. (grüne Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen auf der x-Achse). Es ist zu beachten, dass die Zeitfenster zwischen den grün markierten Bereichen (z. B. die Zeit von 3326 bis 3228 v. Chr.) nicht als Herkunft in Frage kommen.



Arbeit an der Ionenquelle des MICADAS (Foto: A. Boutellier).

erhöhter ^{14}C-Bildung entweder ein leichtes Ansteigen (z.B. 3620–3550 v. Chr.) oder ein längeres Plateau der Kalibrationskurve (wie für 3300–3150 v. Chr.) nach sich ziehen. Solche Schwankungen im Bereich von Jahrzehnten bis Jahrhunderten sind vor allem auf die Variabilität der Sonnenaktivität und teilweise auf einen veränderten CO_2-Austausch zwischen Atmosphäre und Ozean zurückzuführen. Schwankungen des Erdmagnetfeldes beeinflussen die ^{14}C-Bildung im Bereich von Jahrtausenden bis Jahrzehntausenden. Sie werden auch in der Kalibrationskurve berücksichtigt, sind aber in *Abbildung 6* nicht sichtbar.

Fenster in die Vergangenheit: Die Sondierungen im Vorfeld des Bebauungsprojekts AggloLac

Dass in Nidau am nördlichen Ende des Bielersees «Pfahlbauten» vorhanden sind, ist schon lange bekannt. Denn bereits 1811 wurde eine bronzezeitliche Seeufersiedlung kartiert, die den Einheimischen als «Steinberg» bekannt war *(Abb. 7)* und aus der die frühen Forscher Emanuel Müller und Friedrich Schwab bereits im 19. Jahrhundert in grossen Mengen Bronzeobjekte und Keramik bargen (Fischer et al., 2017, 126, mit weiterführender Literatur).

«Die Schwankungen, die oft auch ‹Wiggles› genannt werden, kennzeichnen die Abfolgen von Zeiten reduzierter und erhöhter ^{14}C-Bildung.»

Moderne archäologische Untersuchungen wurden durch den Archäologischen Dienst des Kantons Bern in Nidau ab 1986 durchgeführt: Erst wurden im Rahmen der Bestandesaufnahme der Fundstellen am Bielersee zahlreiche Bohrsondierungen in

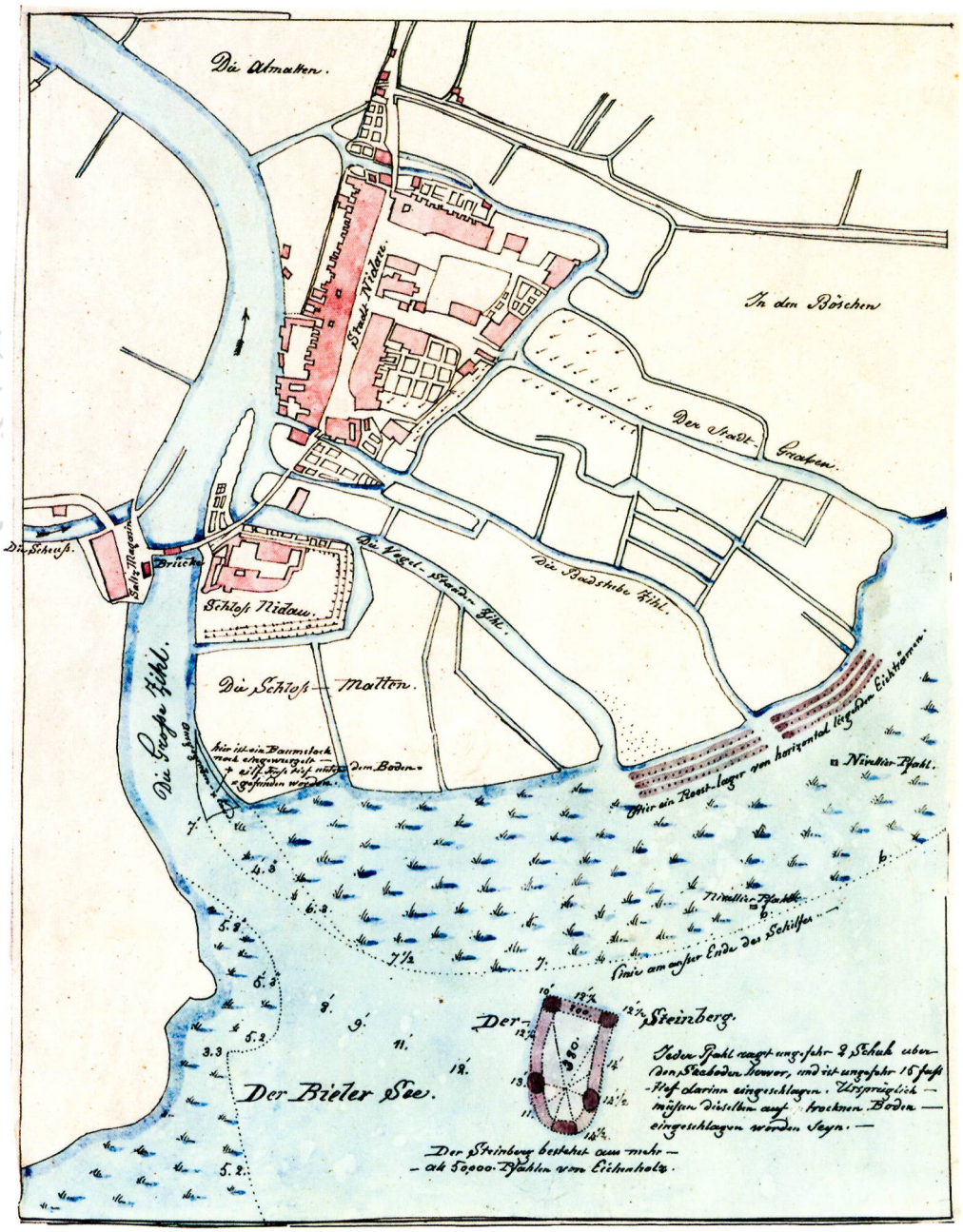


Abb. 7: Planaufnahme des Pfahlbaus «Nidau-Steinberg» durch Hauptmann Schlatter in den Jahren 1811–1813 (aus Fischer et al. 2017, Abb. 1).

Nidau durchgeführt, mit denen die Ausdehnung der erhaltenen Kulturschichten erfasst werden konnte (Winiger, 1989). Später führten ein Erweiterungsbau der BKW, Arbeiten an der Ufermauer und die Bauten der Schweizerischen Landesausstellung Expo.02 in den Jahren 1989, 1991 und 1999 zu Land- und Tauchgrabungen sowie Sondierungen mittels Kernbohrungen (Fischer et al., 2017, 126).

Sondierungen in grosser Tiefe – eine Herausforderung

Im Vorfeld der Planung des Stadtentwicklungsprojektes «Vision AGGLOlac», welches 2008 erstmals präsentiert wurde, veranlasste der Archäologische Dienst zwischen 2010–2016 insgesamt 22 Kernbohrungen sowie 61 Baggersondierungen von 5 m Länge und 1.6 m Breite und einer Tie-

fe von 4–8 m *(Abb. 8)*. Die dabei entdeckten (Fund)schichten und Holzpfähle wurden dokumentiert und wenn möglich beprobt. Um die Kulturschichten, welche oft erst in grosser Tiefe auftraten, zu dokumentieren, zu beproben und sie gleichzeitig möglichst wenig zu zerstören, wurde der Baggerabtrag im Bereich oberhalb der potentiell vorhandenen Kulturschichten gestoppt. Danach wurde die senkrecht gestellte Baggerschaufel ins Sediment gedrückt und lediglich eine Baggerschaufel der tieferen Schichten ausgehoben *(Abb. 9)*. Das in der

Kurzinfo: AGGLOlac

Die Städte Biel/Bienne, Nidau und der private Bauträger Mobimo planen auf dem ehemaligen Expo-Gelände ein urbanes Quartier, das Stadt und See verbindet.
Das Projekt AGGLOlac sieht ein nachhaltig konzipiertes Quartier sowie die Gestaltung einer attraktiven Begegnungs- und Erholungsfläche direkt am See mit einer Marina vor. Gleichzeitig entsteht dank einem Hochhaus mehr Wohn- und Arbeitsraum. Das verdichtete Bauen ermöglicht die Schaffung von mehr Freiraum.
Mehr Infos: www.agglolac.ch

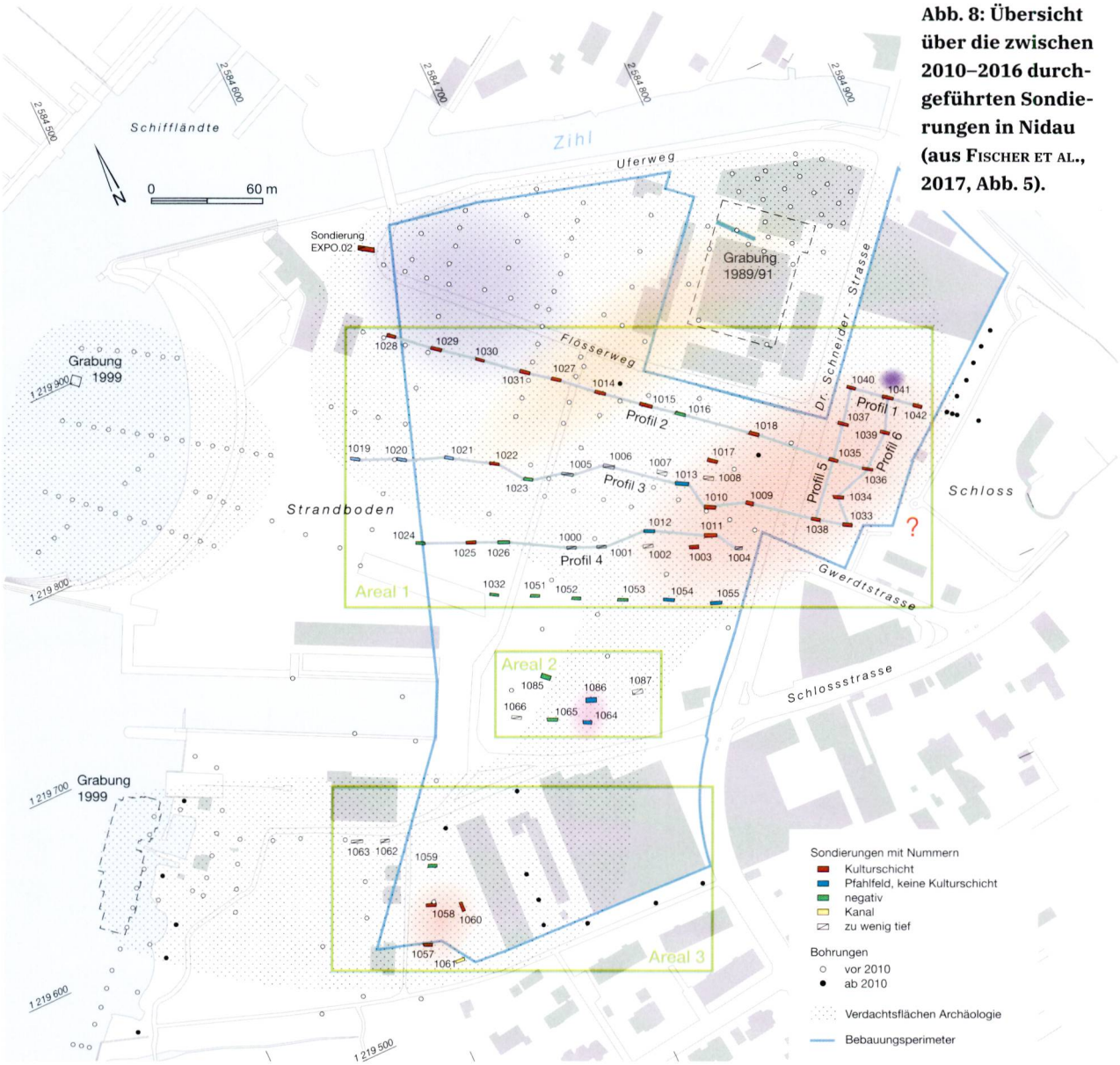


Abb. 8: Übersicht über die zwischen 2010–2016 durchgeführten Sondierungen in Nidau (aus Fischer et al., 2017, Abb. 5).

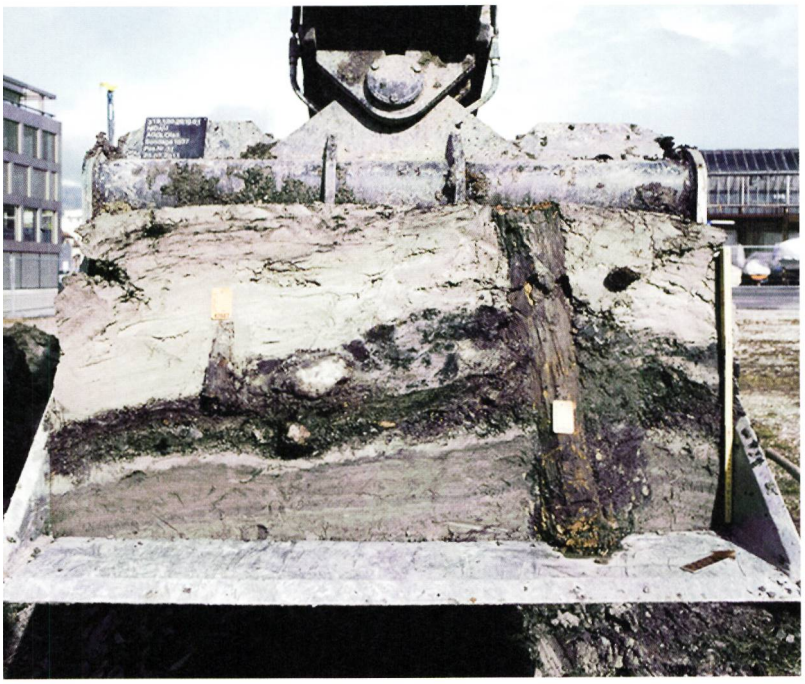


Abb. 9: Sondierungen des Archäologischen Dienstes des Kantons Bern in Nidau zwischen 2010–2016 (aus Fischer et al. *Abb. 19*).

Baggerschaufel vorhandene Schichtmaterial sowie allfällige Pfähle konnten so dokumentiert und beprobt werden, ebenso wurden in den Schichten vorhandene Funde geborgen (Fischer et al. 2017, 127–129). Durch diese effiziente Technik konnte innert kurzer Zeit eine riesige Fläche sondiert und Befunde aus tiefen Lagen im Boden relativ gut dokumentiert und beurteilt werden.

Anschliessend an die Felduntersuchungen wurde versucht, aus den zahlreichen dokumentierten Profilzeichnungen und Beschrieben den Verlauf der übereinander abgelagerten Schichten aus Schwemm- und Seesedimenten, Torf und Siedlungsabfall zu rekonstruieren. Ziel war es, einen Überblick über die Lage, Ausdehnung und Erhaltung der verschieden alten archäologischen Hinterlassenschaften zu erhalten. Da die Schichten über längere Strecken weder gleich stark sind noch zwingend horizontal verlaufen, ist deren Korrelation oft schwierig. Zudem liegen Schichten, welche sich um 3850–3800 v. Chr. abgelagert haben, nahezu auf der gleichen absoluten Höhe im Boden wie solche, die sich weniger als 100 m daneben, erst 1000 Jahre später, um 2700 v. Chr., gebildet haben. Ohne absolut datierte Proben aus den verschiedenen Ablagerungen ist es daher nahezu unmöglich, die in den 20 m auseinander liegenden Sondierungen erfassten Stratigraphien zusammenzuhängen. Für die Rekonstruktion und Verifizierung der Schichtverläufe sowie zur Erfassung der Ausdehnung der verschieden alten Schichtkörper wurden daher absolut datierte, stratifizierte Hölzer sowie datierte Materialproben aus dem Schichtzusammenhang beigezogen.

Neben der Dendrochronologie spielte für die Datierung die Radiokarbondatierung (^{14}C) eine sehr wichtige Rolle. Dies einerseits, da bei den beprobten Pfählen der Anteil von gut dendrochronologisch datierbaren Hölzern (Eiche, Esche, Weisstanne, Lärche/Fichte) mit 42% relativ gering ausfällt und zudem viele Hölzer von jungen Bäumen stammen, die nur wenige Jahrringe enthalten (siehe Beitrag Bolliger, S. 40). Andererseits da von den 148 dendrochronologisch gemessenen Holzproben nur 26 datiert werden konnten. Zwar konnten so drei Siedlungsphasen aus den Jahren um 3850–3800 v. Chr., um 3400 v. Chr. und um 2700 v. Chr. festgestellt werden, doch blieben Schichten aus vielen Sondierungen undatiert und somit die räumliche Ausdehnung der verschieden alten Siedlungen ungeklärt.

> «Die ^{14}C-Analysen verbessern die Datenlage erheblich, doch methodenbedingt bleibt ein gewisser Interpretationsspielraum für die archäologische Auswertung.»

Aus diesem Grund wurden 20 ausgewählte Proben von organischem Material (Haselnussschalen, Getreidekörner, Holzkohlen) aus den Fundschichten sowie von dendrochronologisch nicht datierbaren Hölzern mittels AMS-Radiokarbondatierungen analysiert; 16 Analysen wurden am MICADAS-Labor der Universität Bern und vier im Datierungslabor der ETH Zürich durchgeführt (Fischer et al. 2017, 133–135 und *Abb. 8* und *15*). Die ^{14}C-Analysen verbessern die Datenlage erheblich, doch methodenbedingt bleibt ein gewisser Interpretationsspielraum für die archäologische Auswertung.

Ein konkreteres Bild der Siedlungsspuren dank ^{14}C-Datierungen

Die vorgenommenen Radiokarbondatierungen erweitern das Bild der anzunehmenden Siedlungsphasen auf 5 bis maximal 7 *(Abb. 10 und Abb. 11)*. Überraschend ist, dass anhand der ^{14}C-Analysen von zwei Pfählen aus stratigraphisch klar trennbaren Pfahlgruppen (deren Funktion aber noch unbekannt ist) der Nachweis auf vermutlich zwei sehr frühe Belegungsphasen um 4330–4260 v. Chr. und 4250–4050 v. Chr. gelang. Solch frühe Siedlungsspuren sind in der Region äusserst selten. Am

Bielersee konnten ähnlich frühe Daten aus dem 43. Jh. v. Chr. in der Fundstelle Sutz-Lattrigen, Solermatt nachgewiesen werden, welche von drei Pfahlkreisen aus Hasel stammen (Francuz 2018, Abb. 18).

Neben den drei durch Dendrodaten bekannten Siedlungsphasen zeichnen sich im 4./3. Jt. in den ^{14}C-Datierungen eine bis drei weitere mögliche Belegungsphasen ab. Ein Holzkohlestück (ETH-66945) datiert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% (2σ) in die Zeit zwischen etwa 3640–3520 v. Chr. Dies wäre rund 100–200 Jahre vor der dendrochronologisch belegten Siedlungsphase um 3400 v. Chr. und könnte auf eine Siedlungsphase des 36. Jhs. v. Chr. hinweisen. Allerdings ist das Alter nicht so eindeutig interpretierbar, da es sich bei der Probe um

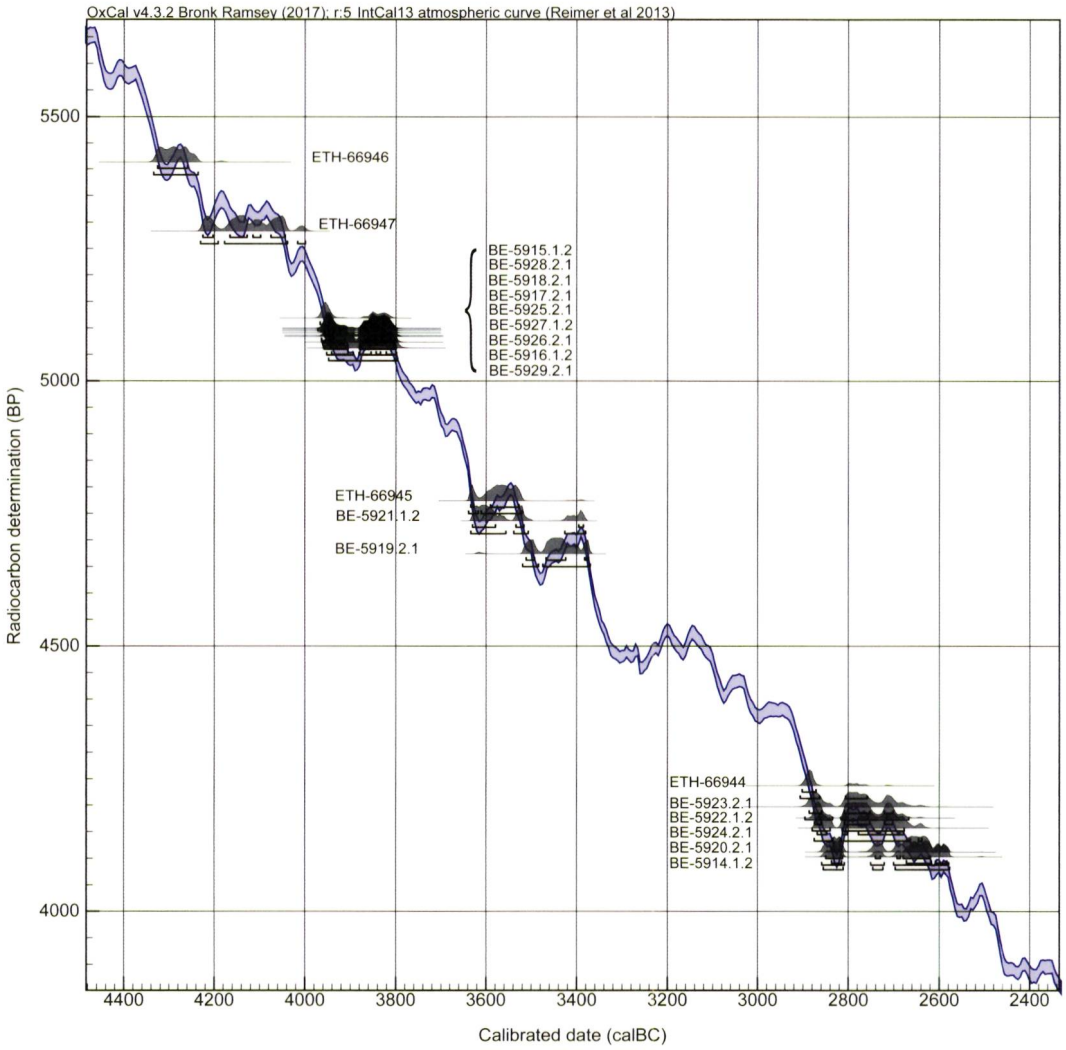


Abb. 10: Radiokarbondatierungen aus den Sondierungen von 2010–2016 in Nidau (1 und 2 σ Vertrauensbereich). Die Datierungsspannen der ^{14}C-Proben auf der Kalibrationskurve weisen auf verschieden alte Schichtpakete im Nidauer Untergrund (BP = *Before present* (1950), BC = v. Chr.). Man beachte, dass aufgrund des stark gewellten Kurvenverlaufs (Wiggles) ein ^{14}C-Alter oft eine längere Datierungsspanne abdeckt, innerhalb welcher das «wahre» Alter liegt. Innerhalb dieses Zeitraums sind allerdings nur bestimmte Zeitabschnitte als Datierung möglich (z. B. bei 2850–2600 calBC, siehe auch Erläuterung in Abb. 6). In Abschnitten mit steilem Kurvenverlauf fallen die Datierungsspannen hingegen relativ kurz aus (kalibriert mit OxCal Version 4.3.2 Bronk Ramsey 2017; IntCal13 atmospheric curve, Reimer et al. 2013).

Labor-Nr.	ADB-Fnr.	Herkunft Sondierung	Dendronr.	Probematerial	^{14}C Alter BP (y)	±	Datierungspanne 1σ (68.2%) Jahre v. Chr.	Datierungspanne 2σ (95.4%) Jahre v. Chr.
BE-5914.1.2	143451	1000	42591	Holz (Pfahl)	4103	20	2837–2815 (16.0%) 2672–2618 (39.0%) 2608–2584 (13.2%)	2856–2812 (22.9%) 2747–2724 (5.9%) 2698–2578 (66.6%)
BE-5920.2.1	143457	1015	42618	Holz (Pfahl)	4112	20	2850–2813 (21.3%) 2741–2730 (4.6%) 2694–2686 (3.2%) 2680–2620 (39.2%)	2859–2809 (25.4%) 2752–2722 (10.4%) 2701–2580 (59.6%)
BE-5924.2.1	143461	1031	42657	Holz (Pfahl)	4157	20	2869–2848 (11.3%) 2813–2802 (5.7%) 2778–2679 (51.2%)	2876–2834 (18.9%) 2818–2664 (75.1%) 2646–2638 (1.4%)
BE-5922.1.2	143459	1028		Haselnussschale	4176	20	2875–2860 (11.9%) 2808–2754 (43.1%) 2720–2702 (13.3%)	2880–2840 (18.8%) 2814–2678 (76.6%)
BE-5923.2.1	143460	1031	42651	Holz (Pfahl)	4197	35	2886–2859 (18.5%) 2809–2753 (39.0%) 2721–2702 (10.7%)	2896–2835 (26.5%) 2816–2668 (68.9%)
ETH-66944	138232	1086		Holzkohle	4237	25	2902–2872 (68.2%)	2906–2864 (75.2%) 2806–2759 (20.2%)
BE5919.2.1	143456	1014	42630	Holz (Pfahl)	4674	20	3512–3493 (16.6%) 3468–3424 (44.5%) 3382–3374 (7.1%)	3520 (22.5%) 3484 3475 (72.9%) 3371
BE-5921.1.2	143458	1027		Getreidekörner	4736	20	3630–3580 (47.4%) 3534–3516 (14.6%) 3396–3386 (6.2%)	3634–3556 (57.7%) 3539–3507 (19.2%) 3426–3381 (18.5%)
ETH-66945	138233	1086		Holzkohle	4774	25	3634–3628 (6.1%) 3590–3528 (62.1%)	3639–3618 (14.2%) 3611–3521 (81.2%)
BE-5929.2.1	143466	1060	42728	Holz (Pfahl)	5062	21	3942–3906 (26.8%) 3880–3855 (19.6%) 3844–3834 (6.2%) 3822–3800 (15.6%)	3948–3796 (95.4%)
BE-5916.1.2	143453	1010	42605	Holz (Pfahl)	5073	21	3945–3930 (10.8%) 3876–3805 (57.4%)	3953–3894 (33.1%) 3882–3799 (62.3%)
BE-5926.2.1	143463	1042	42708	Holz (Pfahl)	5084	21	3950–3936 (11.7%) 3872–3810 (56.5%)	3959–3906 (29.9%) 3880–3800 (65.5%)
BE-5927.1.2	143464	1057		Haselnussschale	5086	21	3951–3937 (12.2%) 3872–3811 (56.0%)	3960–3906 (30.1%) 3880–3800 (65.3%)
BE-5925.2.1	143462	1042	42705	Holz (Pfahl)	5091	21	3954–3937 (15.2%) 3871–3812 (53.0%)	3962–3908 (30.8%) 3880–3802 (64.6%)
BE-5917.2.1	143454	1010	42610	Holz (Pfahl)	5095	21	3957–3938 (18.9%) 3862–3812 (49.3%)	3962–3912 (31.6%) 3878–3803 (63.8%)
BE-5918.2.1	143455	1012	42617	Holz (Pfahl)	5098	21	3958–3938 (20.8%) 3860–3812 (47.4%)	3964–3912 (32.9%) 3878–3804 (62.5%)
BE-5928.2.1	143465	1057	42722	Holz (Pfahl)	5100	21	3958–3939 (21.9%) 3860–3814 (46.3%)	3964–3914 (33.9%) 3878–3804 (61.5%)
BE-5915.1.2	143452	1010		Haselnussschale	5119	20	3968–3942 (46.9%) 3855–3844 (9.9%) 3835–3821 (11.4%)	3972–3934 (54.7%) 3872–3810 (40.7%)
ETH-66947	138235	1086		Holz (Pfahl)	5283	26	4226–4204 (14.4%) 4166–4128 (24.8%) 4116–4098 (9.0%) 4076–4044 (20.0%)	4231–4192 (19.4%) 4178–4039 (72.2%) 4016–4000 (3.8%)
ETH-66946	138234	1086		Holz (Pfahl)	5413	26	4327–4260 (68.2%)	4336–4236 (95.4%)

Abb. 11: Radiokarbondatierungen aus den Sondierungen von 2010–2016 in Nidau (kalibriert mit OxCal Version 4.3.2 Bronk Ramsey 2017; IntCal13 atmospheric curve, Reimer et al. 2013). Nach Fischer et al. 2017, Abb. 16, ergänzt.

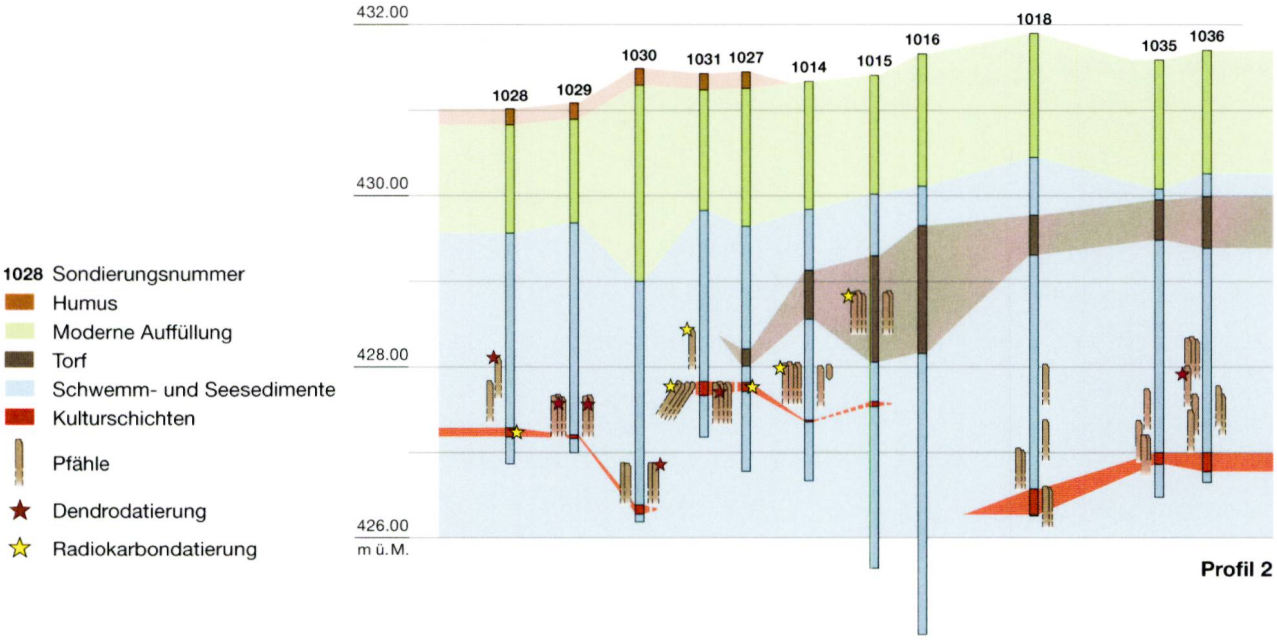


Abb. 12: Schematische Darstellung (überhöht) des Verlaufs der Schichtpakete in Profil 2. Anhand der Abfolge der Schichten in den Sondierungen und mit Hilfe absoluter Datierungen von Pfählen und Probematerial aus den Kulturschichten konnten die bis 6 m in den Untergrund reichenden Schichtverläufe auf einer Länge von rund 200 m rekonstruiert werden. Lage der Sondierungen und des Profils siehe *Abb. 8*. (aus Fischer et al. 2017, Abb. 7, oben).

ein Holzkohlefragment handelt. Stammt die Probe aus dem Kern oder vom Aussenbereich des Stammes? Bei einem grösseren Baum kann der Altersunterschied rasch mehrere Jahrzehnte bis wenige Jahrhunderte betragen. Dieses Phänomen wird auch als «Altholzeffekt» bezeichnet.

Die Analyse einer Getreidekornprobe (BE-5921.1.2) könnte auf einen ähnlichen Zeithorizont hinweisen. Ihre Datierungsspannen liegen mit 95% Wahrscheinlichkeit (2σ) bei 3634–3556, 3539–3507 und 3426–3381 v. Chr. Somit könnte das Getreidekorn gleich alt sein wie die Holzkohle, aber es könnte auch aus der Zeit der dendrochronologisch nachgewiesenen Siedlungsphase um 3400 v. Chr. stammen.

Eine dritte ^{14}C-Probe von einem Holzpfahl (BE-5919.2.1), die zwischen 3520–3484 oder 3475–3371 v. Chr. datiert, passt relativ gut zur Siedlungsphase um 3400 v. Chr.

Die langen Datierungsspannen resultieren aus starken Schwankungen (Wiggels) in der Kalibrationskurve zwischen 3620 und 3380 v. Chr (siehe *Abb. 6* und *10*). Die drei analysierten ^{14}C-Proben können demnach auf leicht ältere Siedlungsspuren vor 3400 v. Chr. und somit auf eine weitere Belegungsphase hinweisen. Aufgrund der möglichen Datierungsspanne des ^{14}C-Alters können sie aber ebenso zur Siedlungsphase um 3400 v. Chr. gehören; ihre eindeutige Zugehörigkeit kann nur mit weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Anhand der ^{14}C-Daten zeigen sich auch im Bereich der jüngsten Belegungsphase auf den ersten Blick leichte Diskrepanzen zu den Dendrodaten *(Abb. 10)*. Auch hier weist die Kalibrationskurve grössere Schwankungen auf und Proben aus diesem Zeitbereich haben somit eine längere Datierungsspanne. Zwar kann die dendrochronologisch nachgewiesene Siedlungsphase um 2700 v. Chr. bestätigt werden, doch eine Holzkohleprobe datiert älter, in den Zeitraum zwischen 2900 und 2760 v. Chr., und zwei Proben von Pfählen könnten jünger sein, da sie eine Datierungsspanne bis ca. 2580 v. Chr. aufweisen. Hier helfen jetzt die Grabungsbefunde

und zusätzliche Indizien weiter: Für die beiden fraglichen Pfähle ist ein Alter um 2700 v. Chr. am wahrscheinlichsten, da sie stratigraphisch zu Pfählen passen, die dendrochronologisch um 2700 v. Chr. datiert werden. Die ältere Holzkohleprobe könnte zwar tatsächlich auf eine Siedlungsphase vor 2750 v. Chr. hinweisen, allerdings könnte auch hier ein Altholzeffekt vorliegen wie bei der oben besprochenen Holzkohleprobe. Daher spricht nichts dagegen, dass sie zur Siedlungsphase um 2700 v. Chr. gehört. Bei der Auswertung der ^{14}C-Daten haben somit die Grabungsbefunde mitgeholfen, die möglichen Datierungsspannen sinnvoll und im Einklang mit den Dendrodatierungen zu interpretieren. Dieses interdisziplinäre Zusammenspiel aus verschiedenen Indizien und Methoden ist typisch für die Auswertung archäologischer Befunde.

«Die Ergänzung der dendrochronologischen Analyse mit 20 Radiokarbonanalysen hat sich bei der Auswertung der prähistorischen Siedlungsreste im Nidauer Untergrund vollumfänglich gelohnt.»

Die Ergänzung der dendrochronologischen Analyse mit 20 Radiokarbonanalysen hat sich bei der Auswertung der prähistorischen Siedlungsreste im Nidauer Untergrund vollumfänglich gelohnt: So

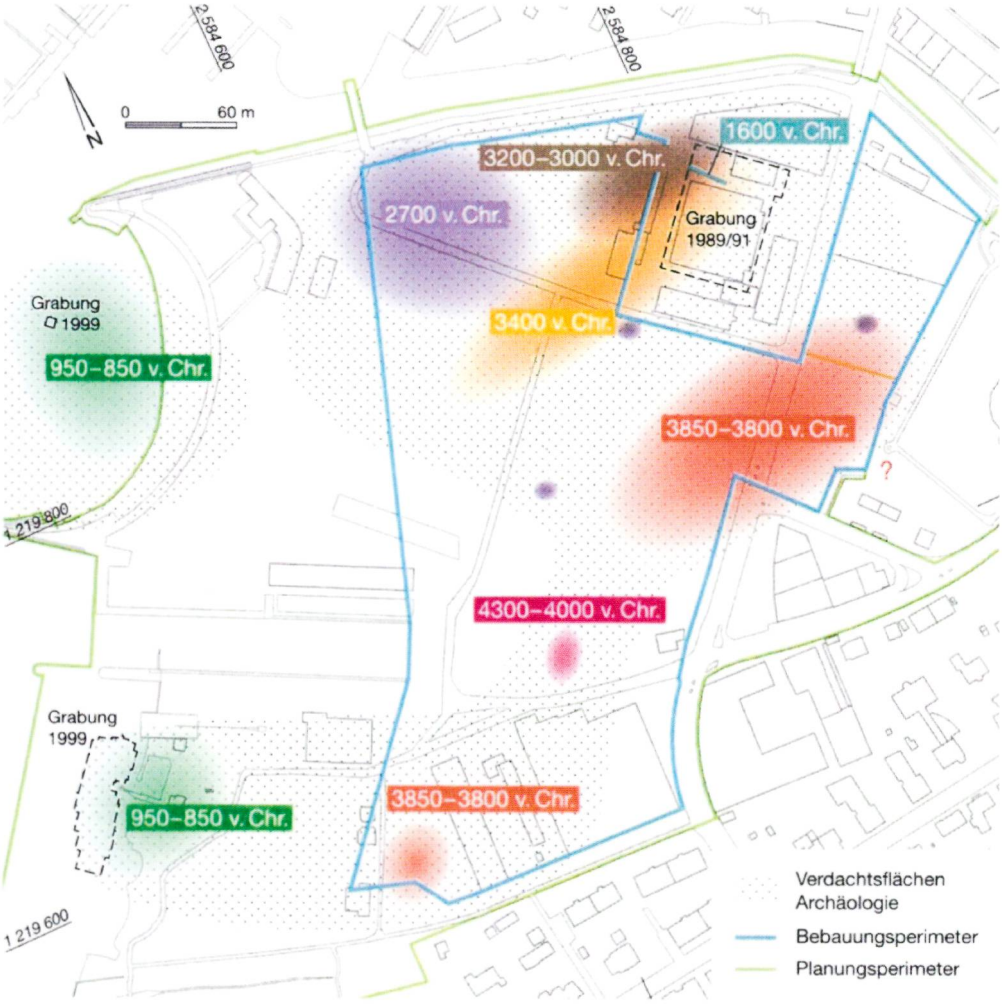


Abb. 13: Lage und ungefähre Ausdehnung der erfassten archäologischen Zonen im Bebauungsperimeter sowie bereits bekannte Pfahlbaufundstellen aus der Spätbronzezeit am Seeufer (Fischer et al. 2017, Abb. 4).

liessen sich die in den auseinander liegenden Baggersondierungen dokumentierten Schichtabfolgen weitgehend zusammenhängen und die Ausdehnungen der Belegungsphasen konnten relativ gut rekonstruiert werden *(Abb. 12)*.

Zudem konnten die drei dendrochronologisch erfassten Belegungsphasen auf mindestens fünf ausgeweitet werden.
Anhand der neuen absoluten Datierungen aus den grossflächig durchgeführten Sondierungen lässt sich eine reiche Belegungsabfolge im Planungsperimeter erkennen *(Abb. 13)*:

Im Zentrum der untersuchten Fläche sind Spuren zweier aussergewöhnlich früher Phasen menschlicher Aktivität aus dem ausgehenden 5. Jt. v. Chr. entdeckt worden. Nordöstlich und südwestlich davon zeichnen sich die Reste von zwei wohl nicht zusammenhängenden Seeufersiedlungen ab, welche aus der Zeit zwischen 3850–3800 v. Chr. stammen. Da Seeufersiedlungen oft nicht viel länger als 15–20 Jahre bestanden (Stapfer et al. 2016, 27–29), erstaunt das nahe Zusammenliegen zweier Siedlungen aus dem 39. Jh. v. Chr. nicht – die eine könnte problemlos wenige Jahrzehnten nach der Auflassung der älteren errichtet worden sein. Besonders in den nordöstlichen Schichtpaketen (Areal 1, vgl. *Abb. 8*) wurden in zahlreichen Sondierungen sehr gut erhaltene Kulturschichten beobachtet, welche kulturhistorisch einzigartige Einblicke in den Alltag der Pfahlbauer von Nidau vor fast 6000 Jahren erlauben. Weiter im Nordwesten des Bebauungsperimeters zeichnen sich auf engem Raum Spuren mehrerer Siedlungen aus dem ausgehenden 4. Jt. v. Chr. (um 3400 und 3200–3000 v. Chr.) ab, welche stellenweise bereits in der Grabung von 1989/91 untersucht wurden. Nordwestlich schliessen Reste einer endneolithischen Belegungsphase an, die um 2700 v. Chr. datiert. Nach über 1000 Jahren Unterbruch zeugen dann Reste aus der Frühbronzezeit (um 1600 v. Chr.) und im Bereich des heutigen Seeufers Siedlungsspuren der Spätbronzezeit von der weiteren Nutzung des Siedlungsplatzes.

«Auch bezüglich des Bauprojektes AggloLac haben die Grabungen Klarheiten geschaffen.»

Auch bezüglich des Bauprojektes AggloLac haben die Grabungen Klarheiten geschaffen: Fast auf dem gesamten Gelände muss mit urgeschichtlichen Hinterlassenschaften gerechnet werden, teilweise sicherlich bis auf rund 8 m unter dem heutigen Terrain. Diese Erkenntnis ist für die Planung künftiger Eingriffe entscheidend und in die aktuelle Planung bereits eingeflossen.

Literatur

Bolliger, M. (2018) Dendrochronologie, in diesem Band.

Fischer, J., Hafner, A., Stapfer, R., Marti, A. und Affolter, J. (2017) Neolithische Siedlungen in Nidau am Bielersee. In: Archäologie Bern/Archéologie bernoise 2017, Jahrbuch des Archäologischen Dienstes des Kantons Bern 2017, Bern, 268–275.

Francuz, J. (2018) Zur Entwicklung der Dendrochronologie am Bielersee 1978–2014. In: Archäologie Bern/Archéologie bernoise 2018, Jahrbuch des Archäologischen Dienstes des Kantons Bern 2018, Bern, 242–267.

Gäggeler, H. und Szidat, S. (2016) Nuclear dating. In: F. Rösch (ed.), Nuclear- and Radiochemistry, Volume 2: Modern Applications, de Gruyter, 133–168.

Houtermans, F. G. und Oeschger, H. (1958) Proportionalzahlrohr zur Messung schwacher Aktivitäten weicher ß-Strahlung, Helv. Phys. Acta 31, 117–126.

Libby, W. L. (1952) Radiocarbon Dating, Univ. Chicago Press, Chicago.

Stapfer, R., Hafner, A. und Heitz, C. (2016) Frischer Fang aus dem See. Mobilität und Beziehungsnetze im Fokus. as 39, 21–30.

Synal, H.-A., Stocker, M. und Suter, M. (2007) MICADAS: a new compact radiocarbon AMS system, Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B 259, 7–13.

Synal, H.-A. (2013) Developments in accelerator mass spectrometry, Int. J. Mass Spectrom. 349–350, 192–202.

Szidat, S., Salazar, G.A., Vogel, E., Battaglia, M., Wacker, L., Synal, H.-A. und Türler, A. (2014) ^{14}C analysis and sample preparation at the new Bern Laboratory for the Analysis of Radiocarbon with AMS (LARA), Radiocarbon 56, 561–566.

Szidat, S., Vogel, E., Gubler, R. und Lösch, S. (2017) Radiocarbon dating of bones at the LARA Laboratory in Bern, Switzerland, Radiocarbon 59, 831–842.

Winiger, J. (1989) Bestandesaufnahme der Bielerseestationen als Grundlage demographischer Theoriebildung. Ufersiedlungen am Bielersee Band 1. Bern.

Sönke Szidat

Sönke Szidat studierte an der Universität Hannover Chemie mit einem Schwerpunkt in Analytischer Chemie und hat am selben Ort im Jahr 2000 promoviert. Anschliessend kam er als Postdoc an die Universität Bern und hat Quellen von organischem Feinstaub mit Hilfe von Radiokohlenstoff-Messungen untersucht. Er hat die Leitung der Forschungsgruppe Umweltradionuklide übernommen, 2007 zunächst als Oberassistent und ab 2010 als Dozent. In 2009 erfolgte die Habilitation im Lehrgebiet Analytische Chemie. Seit 2013 leitet er das Labor zur Analyse von Radiokohlenstoff mit AMS (LARA) und führt neben der eigenen Feinstaub-Forschung ^{14}C-Messungen in Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Partnern durch. 2017 wurde er zum Assoziierten Professor ernannt

Regine Stapfer

Regine Stapfer studierte Ur- und Frühgeschichte, Schweizergeschichte und Klassische Archäologie an der Universität Bern. In ihrer Lizentiatsarbeit wertete sie neolithische Keramik aus Sutz-Lattrigen aus. Danach leitete sie die Ausgrabung der neuzeitlichen und römischen Bäder im «Limmatknie» des Badener Bäderquartiers. Anschliessend war sie als Assistentin am IAW der Universität Bern tätig. Seit 2017 leitet sie im Archäologischen Dienst des Kantons Bern das Ressort Prähistorische und Unterwasserarchäologie. In ihrer laufenden Dissertation beschäftigt sie sich im Rahmen des MET-Projektes am IAW der Universität Bern mit Kontaktnetzen und Mobilität anhand von Keramikstilen im west- und zentralschweizerischen Mittelland, wobei pXRF-Analysen einen Schwerpunkt bilden.