

---

# Das Aktuelle Thema

---

Bernhard Weninger

## Zur Präzisionskalibration Archäologischer Radiocarbonaten

Zu Beginn und als Voraussetzung einer Ur- und Frühgeschichtsforschung mit historischer und soziokultureller Zielsetzung muß ein absolutes Zeitgerüst stehen. Die Radiocarbonmethode kann hierzu wichtige Beiträge leisten.

Grundlagen der archäologischen Interpretation von  $^{14}\text{C}$ -Daten ist eine möglichst genaue dendrochronologische Kalibration des in  $^{14}\text{C}$ -„Jahren“ formulierten  $^{14}\text{C}$ -Isotopengehalts. Die Kalendereichung der BP-Meßwerte ist notwendig zur Berücksichtigung der zeitlichen Schwankungen des atmosphärischen  $^{14}\text{C}$ -Gehalts. Ohne diese Korrektur treten die häufig beobachteten Widersprüche zwischen den  $^{14}\text{C}$ -Daten und dem tatsächlichen Probenalter zwangsläufig auf.

Zwar ist die sogenannte „kurze“ Chronologie des europäischen Neolithikums seit langem überholt, doch ist es erst in den letzten Jahren gelungen, die Kalibrationskurve bis ins 6. vorchristliche Jahrtausend mit ausreichender Genauigkeit zur Rechtfertigung einer allgemeinen Umrechnung der  $^{14}\text{C}$ -Isotopenwerte („unkalibrierte  $^{14}\text{C}$ -Jahre“) zu verlängern.

Abb. 1 zeigt einen Ausschnitt aus der Kalibrationskurve für den Zeitraum 200 - 4000 v. Chr. und vergleicht die Güte verschiedener Eichserien. Die Kurve „A“ des Belfast-Laboratoriums stellt die derzeit genaueste und umfassendste Eichserie dar. Die in ihr erkennbaren Feinstrukturen des atmosphärischen  $^{14}\text{C}$ -Gehalts äußern sich ebenso, aber weniger gut erkennbar, bereits in den älteren Datenserien. Die Übereinstimmung der Feinstrukturen der verschiedenen Datenserien beweist den weltweiten Gleichlauf der sekularen atmosphärischen  $^{14}\text{C}$ -Schwankungen und gewährleistet die Vergleichbarkeit von  $^{14}\text{C}$ -Daten im weltweiten Maßstab.

Problematisch sind die Oszillationen des atmosphärischen  $^{14}\text{C}$ -Gehalts, weil sie dazu führen, daß die Kalenderablesungen der meisten Daten mehrdeutig sind. Alle Proben der ersten Hälfte des ersten vorchristlichen Jahrtausends haben das gleiche  $^{14}\text{C}$ -„Alter“ von 2500 BP.

In flachen Bereichen der Kalibrationskurve, so zwischen 800 und 400 v. Chr., ist die  $^{14}\text{C}$ -Methode nicht in der Lage, das unterschiedliche Probenalter genauer als mit dem Ableseintervall der Länge 400 Kalenderjahre zu erkennen, es sei denn, es werden Serienmessungen an Bäumen oder - allgemeiner betrachtet - an zeitlich strukturierten, beispielsweise stratifizierten, Probenserien vorgenommen.

Zunächst ist die  $^{14}\text{C}$ -Methode in vielen Zeitperioden innerhalb der Dauer der Oszillationen der Kalibrationskurve „blind“, gleichgültig mit welcher Genauigkeit die Daten selbst gemessen wurden. Da die Oszillationen der Kalibrationskurve häufig mehrere Kalenderjahrhunderte andauern, ist hierin eine Grenze des Auflösungsvermögens der  $^{14}\text{C}$ -Daten gegeben, zumindest für archäologische Einzelproben.

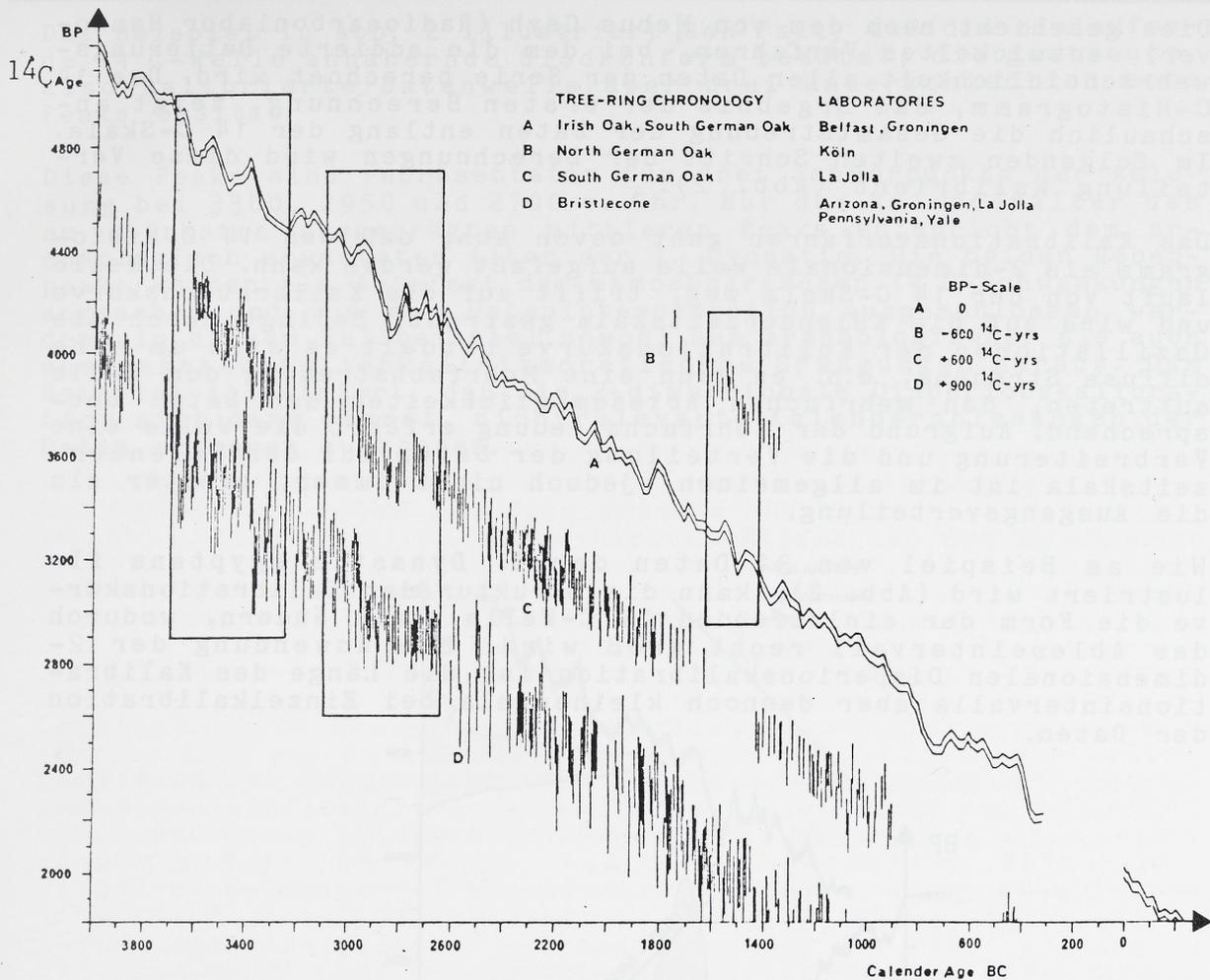


Abb. 1 Kalibrationsmessungen an europäischen (A-C) und amerikanischen Bäumen (D)

der Kalibration der gesamten Datenserie, im Unterschied zur Einzelkalibration der Daten, das Ableseintervall zu verkleinern. Auf der Jahrestagung der DGUF wurde über die Grundlagen einer hierzu geeigneten Kalibrationsmethode, der sogenannten 2-dimensionalen Dispersionskalibration berichtet. Ziel der Methode ist die Minimierung der Informationsverluste, die aufgrund der Strukturen der Kalibrationskurve zwangsläufig auftreten. Der Ansatz beruht darauf, daß die Daten einer gegebenen, möglichst langen Datenserie in einem ersten Schritt zu einem <sup>14</sup>C-Histogramm addiert werden.

Die Möglichkeiten der <sup>14</sup>C-Methode sind trotz dieser für Einzeldaten unüberwindlichen Schwierigkeiten dennoch bei weitem nicht erschöpft. Bei längeren Datenserien ist es möglich, durch die "wiggles" der Kalibrationskurve gewissermaßen hindurchzuschauen und somit die Datierungsgenauigkeit zu verbessern. Dies gelingt, weil die Verteilung der <sup>14</sup>C-Daten auf der <sup>14</sup>C-Skala Information darüber speichert, von welchem der verschiedenen "wiggles" die Proben im statistischen Mittel stammen.

Es ist bei vielen archäologischen Datenserien möglich, mittels

Dies geschieht nach dem von Mebus Geyh (Radiocarbonlabor Hannover) entwickelten Verfahren, bei dem die addierte Datierungswahrscheinlichkeit aller Daten der Serie berechnet wird. Das  $^{14}\text{C}$ -Histogramm, das Ergebnis der ersten Berechnung, zeigt anschaulich die Gesamtstreuung der Daten entlang der  $^{14}\text{C}$ -Skala. Im folgenden zweiten Schritt der Berechnungen wird diese Verteilung kalibriert (Abb. 2).

Das Kalibrationsverfahren geht davon aus, daß das  $^{14}\text{C}$ -Histogramm als 2-dimensionale Welle aufgefaßt werden kann. Die Welle läuft von der  $^{14}\text{C}$ -Skala weg, trifft auf die Kalibrationskurve und wird auf die Kalenderzeitskala gestreut. Bedingt durch die Oszillationen der Kalibrationskurve handelt es sich um eine diffuse Streuung, d.h. es kann eine Mehrfachstreuung der Welle auftreten, den mehrfachen Ablesemöglichkeiten der Daten entsprechend. Aufgrund der Mehrfachstreuung erfährt die Welle eine Verbreiterung und die Verteilung der Daten auf der Kalenderzeitskala ist im allgemeinen, jedoch nicht immer, breiter als die Ausgangsverteilung.

Wie am Beispiel von 31 Daten der I. Dynastie Ägyptens illustriert wird (Abb. 2), kann die Struktur der Kalibrationskurve die Form der einlaufenden  $^{14}\text{C}$ -Welle stark ändern, wodurch das Ablesintervall recht groß wird. Bei Anwendung der 2-dimensionalen Dispersionskalibration ist die Länge des Kalibrationsintervalls aber dennoch kleiner als bei Einzelkalibration der Daten.

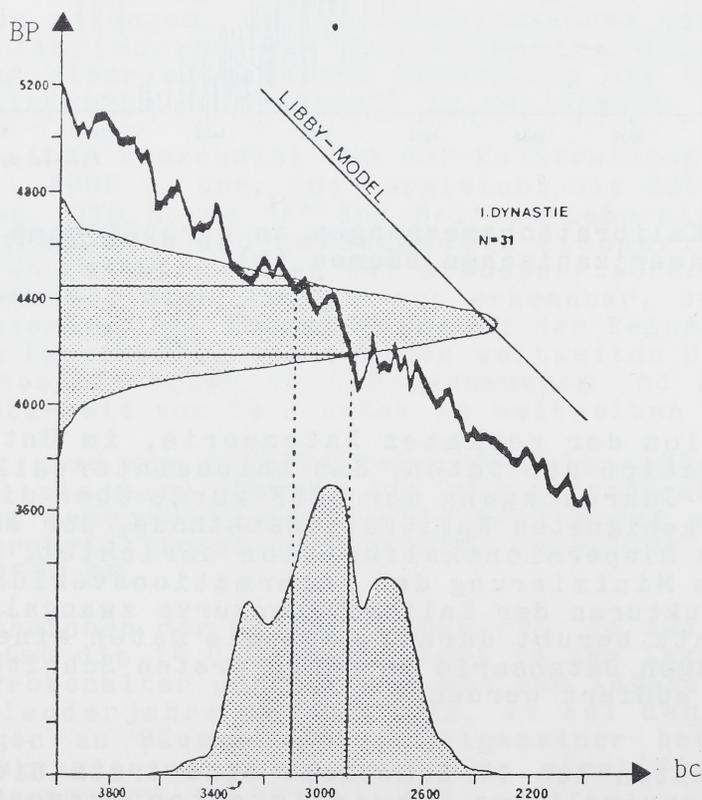


Abb. 2 Daten der Ägyptischen I. Dynastie

Das Beispiel in Abb. 2 illustriert, den Fall, daß die einlaufende 14 C-Welle annähernde Glockenform besitzt, die gestreute, also kalibrierte Datenwelle aber drei unterschiedlich hohe Peaks besitzt.

Diese Peaks sind repräsentativ für drei Schwerpunkte der Ableitung bei 3300, 2950 und 2700 v. Chr. Nur das Kalenderalter des am stärksten ausgeprägten mittleren Peaks entspricht dem archäologisch erwarteten Alter der I. Dynastie. Die beiden Nebenpeaks können als Artefakt der atmosphärischen 14 C-Schwankungen angesehen und von der Dateninterpretation ausgeschlossen werden, in diesem Fallbeispiel sowohl aus archäologischen als auch aus wahrscheinlichkeitstheoretischen Erwägungen heraus. Das Beispiel illustriert, daß die 2-dimensionale Dispersionskalibration sich dazu eignet, nichtrelevante Kalenderablesungen der Daten erkennen zu können.

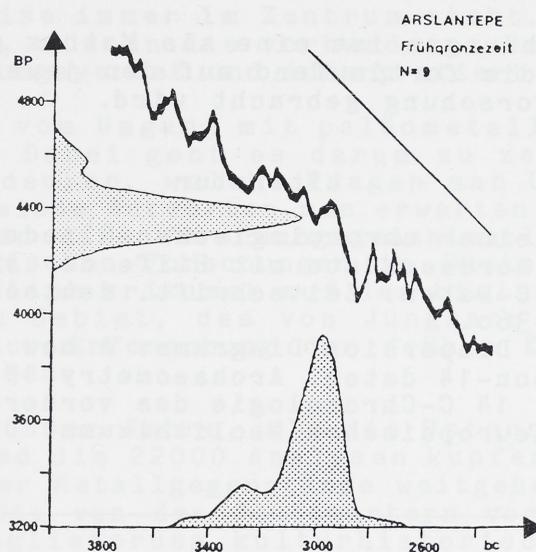


Abb. 3 Frühbronzezeitliche Daten von Arslantepe, Türkei

Ein zweites Beispiel (Abb. 3) zeigt, wie stark die mit der Radiocarbonmethode erzielbare Datierungsgenauigkeit vom Kalenderalter der Proben, ebenso von den Standardabweichungen der Daten abhängen kann, in einer Weise, die den unkalibrierten Datenwerten nicht anzusehen ist. Es handelt sich um eine Serie von 9 14C-Daten vom frühbronzezeitlichen Palast des Tell Arslantepe bei Malatya in der Türkei. Die Daten haben annähernd den gleichen Schwerpunkt wie diejenigen der I. Dynastie (vergl. Abb. 2 und Abb. 3), doch ist die Breite des 14 C-Histogramms der Arslantepe-Datenserie kleiner, deswegen, weil die Daten eine meist kleinere Standardabweichung haben. Die frühbronzezeitlichen Daten liegen deshalb innerhalb eines Fensters der Kalibrationskurve und haben beinahe durchweg (fast) eindeutige Ablesungen.

---

Die 2-dimensionale Disperionskalibration setzt recht umfangreiche Berechnungen voraus, um das  $^{14}\text{C}$ -Histogramm an der Kalibrationskurve zu streuen. Es handelt sich um eine rekursiv durchzuführende Faltung der  $^{14}\text{C}$ -Wahrscheinlichkeitsverteilung.

Da die hierzu notwendigen Rechnungen nicht per Hand geleistet werden können, wurde ein in der Sprache FORTRAN 77 geschriebenes Programm entwickelt, das am Hochschulrechenzentrum der Universität Frankfurt installiert ist und allen interessierten Benutzern zur Verfügung steht.

Die Ausgabe der Kalibrationsgraphiken geschieht auf einem Cal-Comp-Plotter in der in Abb. 2 und Abb. 3 illustrierten Weise der Darstellung. Die Plots enthalten zusätzliche Maßzahlen zur statistischen Auswertung, so die Länge der Kalibrationsintervalle der einzelkalibrierten Daten, statistische Grenzen der Dispersionsverteilungen, und für jedes Datum eine Maßzahl (die sog. "Wertigkeit" als Ausdruck dafür, wie groß die Anzahl der Ablesungen inklusive der Betrachtung der Standardabweichungen des Datums und der Kalibrationskurve ist.

Grundlage der Rechnungen ist eine als Matrix gespeicherte Kalibrationsstabelle, die fortlaufend auf den jeweils neuesten Stand der Kalibrationsforschung gebracht wird.

#### Literatur

- M. Geyh, Versuch einer chronologischen Gliederung des marinen Holozän an der Nordseeküste mit Hilfe der statistischen Auswertung von  $^{14}\text{C}$ -Daten. Zeitschrift. deutsch. geol. Ges., Teil 2, S. 351-360.
- B. Ottaway, 1973: Dispersion Diagrams: A new approach to the display of Carbon-14 dates. Archaeometry 15, 1, S. 5-12.
- P. Breunig, 1983,  $^{14}\text{C}$ -Chronologie des vorderasiatischen, südost- und mitteleuropäischen Neolithikums. Diss. Köln.

---

Dipl. phys. Bernhard Weninger  
Institut für Vor- und Frühgeschichte  
Arndtstr. 11, 6000 Frankfurt