

Datierungen im Berliner ^{14}C -Labor

JOCHEN GÖRSDORF

1. Einleitung

Dieser Beitrag soll einen Eindruck von der Anwendungsbreite der Datierungsmethode vermitteln und die gewachsene Leistungsfähigkeit des Berliner ^{14}C -Labors demonstrieren. Schwerpunkt der Arbeit war zunächst die Steigerung der Meßgenauigkeit. Für eine Vielzahl von Datierungsaufgaben in der Archäologie werden Präzisionsdatierungen benötigt, mit 1σ Standardabweichungen zwischen 20 und 30 Jahren. In den vergangenen zehn Jahren konnte die minimal erreichbare 1σ Standardabweichung im Berliner ^{14}C -Labor von etwa 50 Jahre auf 23 Jahre gesenkt werden. Eine Halbierung der Standardabweichung erfordert aber mehr als den vierfachen Aufwand bei der Messung. Hohe Anforderungen werden an die Probenchemie und die kernphysikalische Meßtechnik gestellt.

2. Probenchemie

Ein zuverlässiges Datierungsergebnis erfordert eine sorgfältige Vorbehandlung des Datierungsmaterials. Kohlenstoff, der das Datierungsalter verfälschen würde muß aus dem Probenmaterial eliminiert werden. So würde z.B. fossiler Kalk im Probenmaterial ein zu hohes Alter liefern, während rezente Wurzeln im Datierungsmaterial ein zu geringes Probenalter ergeben würden. Wir verwenden vorwiegend die AAA-Methode (Mook and Streuerman 1983), die sich international bewährt hat. In einer aufwendigen Probenchemie wird dann der Kohlenstoff des Datierungsmaterials in das Meßgas Methan umgewandelt (Kohl and Quitta 1978).¹⁾

3. Meßtechnik

Die ^{14}C -Konzentrationsbestimmung im Datierungsmaterial erfolgt im Berliner ^{14}C -Labor indirekt über die Messung der radioaktiven Zerfallsakte, in Zählrohren vom Houtermanns-Oeschger-Typ (Kohl and Quitta 1978). Die Signalverarbeitung erfolgt in einer speziell entwickelten Meßelektronik, die mit einer Computerdatenerfassung gekoppelt ist (Görsdorf 1991, Görsdorf und Bojadžiev 1996). Vorverstärker, Impulsverstärker, Komparator, Impulsformer und Antikoinzidenzstufe befinden sich in einem Gehäuse, das direkt mit dem Zählrohr verbunden ist. Neben den eigentlichen Meßsignalen, die von Mehrkanalanalysatoren erfaßt werden, erfolgt für jedes Zählrohr die Registrierung und statistische Auswertung von drei weiteren Kontrollsignalen. 4 Zählrohre befinden sich gleichzeitig im Einsatz. Die Erfassung der Variation der Umgebungsstrahlung und die Kontrolle der Langzeitstabilität der Apparatur waren erforderlich, um die hohe Meßgenauigkeit zu erreichen.

4. Kalibration

Die ^{14}C -Konzentration in der Biosphäre, die sich über die Erzeugungs- und Zerfallsrate einstellt, ist zeitlich nicht konstant. Änderungen in der ^{14}C -Produktionsrate, die durch Schwankungen der kosmischen Strahlung und des Erdmagnetfeldes verursacht werden sowie klimatisch und anthropogen bedingte Verschiebungen der Verteilung der Gesamtkohlenstoffmenge in der Atmosphäre, der Biosphäre und den Ozeanen sind dafür verantwortlich. Eine Eichung muß die zeitliche Variation der ^{14}C -Ausgangskonzentration korrigieren. Die Korrekturen betragen bis zu Probenaltern von 2 000 Jahren kaum mehr als zwei Jahrhunderte, vergrößern sich aber bis 22 000 BC auf etwa 4 000 Jahre. Die Abb.1 zeigt die Kalibrationskurve, die durch intensive internationale Forschungskooperation erarbeitet werden konnte (Stuiver et al. 1998). Durch die Wiggle-Struktur der Kalibrationskurve ergeben sich für das Kalibrationsergebnis oft komplizierte Wahrscheinlichkeitsverteilungen entlang der Zeitachse. Die Abb.2 zeigt als Beispiel das Ergebnis einer Kalibration mit dem OxCal Programm (Ramsey 1995). Bei der Kalibration wird auch die fehlerhafte Libby-Halbwertszeit ($T_{1/2} = 5568$ Jahre) korrigiert, die man vereinbarungsgemäß weiterhin benutzt, um die Vergleichbarkeit der ^{14}C -Alter untereinander zu erhalten (Stuiver and Polach 1977).

5. Datierungsergebnisse

In den letzten zehn Jahren erfolgten im Berliner ^{14}C -Labor Datierungsserien mit Probenmaterial aus den nachfolgend aufgeführten Ländern: Albanien, Ägypten, Bolivien, Bulgarien, China, Deutschland, Frankreich, Georgien, Griechenland, Guatemala, Iran, Italien, Jemen, Jordanien, Jugoslawien, Kasachstan, Litauen, Marokko, Nepal, Oman, Pakistan, Polen, Rumänien, Rußland, Slowakei, Spanien, Syrien, Sri Lanka, Tadschikistan, Tschechische Republik, Ungarn, Ukraine, Usbekistan, Vereinte Arabische Emirate und Vietnam.

Drei Beispiele sollen das Spektrum der Datierungsarbeit demonstrieren.

5.1. Bulgarien

1996 wurden in einer Veröffentlichung zusammenfassend alle im Berliner ^{14}C -Labor datierten Proben aus bulgarischen, archäologischen Fundplätzen vorgelegt (Görsdorf und Bojadžiev 1996). Datierungen der bulgarischen Fundstelle Dubene-Sarovka wurden 1997 durchgeführt (Nikolova und Görsdorf 1998). Die Tabelle 1 zeigt in einer Übersicht die Fundorte mit ihren Katalognummern, die Anzahl der Datierungen und die Kulturzuweisungen.

Tabelle 1: Bulgarische Datierungen in der Übersicht

Nr.	Name	Anzahl	Kultur
1	Poljanica-plateo	4	Frühneolithikum
2	Gâlâbnik	12	Frühneolithikum
3	Slatina	12	Frühneolithikum
4	Čavdar	28	Frühneolithikum
5	Elešnica	9	Frühneolithikum
6	Dobrinišče	2	Frühneolithikum
7	Kremenik (Separeva Banja)	10	Frühneolithikum
8	Ovčarovo-gorata (Ruec)	5	Frühneolithikum
9	Ovčarovo-plateo	4	Frühneolithikum und Übergangsperiode

10	Bálgarčvo	2	Frühneolithikum und Spätneolithikum
11	Okrâzna Bolnica (Stara Zagora)	11	Frühneolithikum und Frühâneolithikum
12	Karanovo	36	Frühneolithikum, Mittelneolithikum, Spätneolithikum und Frühâneolithikum
13	Tell Azmak	34	Frühneolithikum, Frühâneolithikum und Spätâneolithikum
14	Jassatepe-Plovdiv	1	Mittelneolithikum
15	Kazanlák	2	Mittelneolithikum
16	Ezero (Tell Dipsis)	58	Mittelneolithikum, Frühâneolithikum und Frühbrozezeit
17	Kaçica	3	Spätneolithikum
18	Strumsko	2	Spätneolithikum
19	Topolnica (Kremenica)	5	Spätneolithikum
20	Hlebozavoda	2	Spätneolithikum
21	Ovčarovo	16	Frühâneolithikum, Mittelâneolithikum und Spätâneolithikum
22	Poljanica	4	Frühâneolithikum
23	Čardako (Slatino)	3	Frühâneolithikum
24	Goljamo Delčevo	8	Mittelâneolithikum und Spätâneolithikum
25	Poveljanovo I (Varnasee)	2	Spätâneolithikum
26	Tell Russe	3	Spätâneolithikum
27	Smjadovo	11	Spätâneolithikum
28	Hotnica	1	Spätâneolithikum
29	Bikovo (Dončova mogila)	1	Spätâneolithikum
30	Dolnoslav	2	Spätâneolithikum
31	Tell Banjata (Kapitan Dimitrievo)	2	Spätâneolithikum
32	Pipra	1	Spätâneolithikum
33	Durankulak	11	Spätâneolithikum, Spätbronzezeit und Mittelalter
34	Djakovo	1	Spätâneolithikum
35	Goljamata peštera	1	Spätâneolithikum
36	Krivodol	2	Spätâneolithikum
37	Teliš (Teliš Redutite)	7	Spätâneolithikum
38	Galatin-Čukata	2	Spätâneolithikum
39	Kolarovo	2	Spätâneolithikum
40	Jagodina (Jagodinska peštera)	6	Spätâneolithikum
41	Haramijska dupka	8	Spätâneolithikum
42	Hotnica-Vodopada	6	Übergangsperiode
43	Poručik Gešanovo	3	Frühbronzezeit
44	Placidol	2	Frühbronzezeit
45	Măgura (Höhle Măgura)	2	Frühbronzezeit
46	Ezerovo II (Varnasee)	2	Frühbronzezeit

47	Urdoviza	8	Frühbronzezeit
48	Junacite	25	Frühbronzezeit und Mittelbronzezeit
49	Tell Nova Zagora	12	Frühbronzezeit und Mittelbronzezeit
50	Evmolpia (Nebettepe)	15	Frühbronzezeit, Mittelbronzezeit und Früheisenzeit
51	Razkopanica	2	Mittelbronzezeit
52	Gâlâbovo (Assara)	2	Mittelbronzezeit
53	Djadovo	6	Mittelbronzezeit
54	Sava-Conevo	1	Mittelbronzezeit
55	Balej	1	Spätbronzezeit
56	Borovo	1	Eisenzeit
57	Silistra (Durostrum)	2	Frühmittelalter
58	Bajlovo	1	Mittelalter
59	Krivina	4	Mittelalter
60	Karasura	56	Äneolithikum bis Mittelalter
61	Dubene-Sarovka	2	Frühbronzezeit

Aus diesen Datierungen ergibt sich die in Abb.3 dargestellte vergleichende Chronologietabelle. Durch Kalibration von Datengruppen konnte für die Fundstelle Karanovo die Dauer einzelner Kulturstufen abgeschätzt werden (Görsdorf 1997):

Karanovo I :	6000 - 5750 cal BC
Karanovo II:	5750 - 5500 cal BC
Karanovo III:	5500 - 5280 cal BC.

5.2. Ägypten

Datierungen von Materialien aus der Nekropole Umm el-Qaab bei Abydos (ca. 500 km südlich von Kairo) ermöglichten eine Präzisierung der ägyptischen Chronologie. Die Grabung wurde vom Deutschen Archäologischen Institut Kairo durchgeführt (Kaiser und Dreyer 1982, Dreyer u.a. 1990, 1993, 1996). 16 Datierungsergebnisse des Berliner Labors sind zusammen mit 8 Datierungen des Heidelberger Labors (Boehmer, Dreyer and Kromer 1993) in kalibrierter Form in der Abb.4 dargestellt. Die geringen Probenmengen waren dafür verantwortlich, daß die 1σ Standardabweichungen nicht weiter reduziert werden konnten. Bedingt durch die Form der Kalibrationskurve in diesem Bereich ist die Aussagekraft der Datierungen zunächst noch nicht sehr hoch. Durch Einbeziehung der archäologischen Information bei der Kalibration (Weninger 1986, 1992) konnte eine wesentliche Verbesserung der Datierungsaussage erreicht werden (Görsdorf, Dreyer and Hartung 1998). Die Abb. 5 zeigt die kalibrierten Datierungsergebnisse. Die Datierungen ergeben, im Vergleich zur historischen Chronologie der dynastischen Periode (Beckerath 1971), ein um mehr als 100 Jahre höheres Alter für die 1. Dynastie. Die prädynastischen Datierungen ermöglichten eine Präzisierung der vorliegenden allgemeinen Chronologie (Hassan 1988). Die Negade IIIa2 konnte in die Mitte des 34. Jahrhunderts v. Chr. und die Negade II d in die Mitte des 35. Jahrhunderts v. Chr. datiert werden.

5.3. Sibirische Steppe

Die chronologischen Probleme im Gebiet der sibirischen Steppe wurden in den letzten Jahren zum Gegenstand intensiver Forschung (Åääöëäÿ 1986). Die kulturelle Abfolge in der Bronzezeit wurde dabei durchaus kontrovers diskutiert. Mit einer Serie von 21 Datierungen im Berliner ¹⁴C-Labor und 2 Datierungen im St. Petersburger ¹⁴C-Labor, von sorgfältig ausgewähltem Materialien aus Grabungen in Suchanicha, Ašpyl, Čebaki und Ujbat V, konnte ein wichtiger Beitrag zur Klärung der kulturellen Abfolge im Gebiet der Sibirischen Steppe geleistet werden (Görsdorf, Parzinger, Nagler und Leont'ev 1998). Die Abb. 6 zeigt die Datierungsergebnisse mit ihrer kulturellen Zuordnung. Weitere Datierungen sind in Arbeit, um die Übergänge zwischen den Kulturen in Abhängigkeit vom Fundort noch präziser zu ermitteln.

Literatur:

- BOEHMER, R. M., DREYER, G. AND KROMER, B. 1993 Einige frühzeitliche ¹⁴C-Datierung aus Abydos und Urak. Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts Kairo 49: 63-68.
- BECKERATH, J. von 1971 Abriß der Geschichte des Alten Ägyptens. Oldenbourg Verlag, München.
- DREYER, G., BOESSNECK, H. J., VON DEN DRIESCH, A., UND KLUG, S. 1990 Umm el-Qaab - Nachuntersuchungen im frühzeitlichen Königshof - 3./4. Vorbericht. Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts Abteilung Kairo 46: 53-90.
- DREYER, G. 1993 Umm el-Qaab - Nachuntersuchungen im frühzeitlichen Königshof - 5./6. Vorbericht. Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts Abteilung Kairo 46: 23-62.
- DREYER, G., ENGEL, E.-M., HARTUNG, U., HIKADE, TH., KÖHLER, E. CH. UND PUMPENMEIER, F. 1996 Umm el-Qaab - Nachuntersuchungen im frühzeitlichen Königshof - 7./8. Vorbericht. Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts Abteilung Kairo 52: 11-81.
- GÖRSDORF, J. (1991): Die Interpretation von ¹⁴C-Datierungen an ausgewählten Beispielen. Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Potsdam 25: 147-151.
- GÖRSDORF, J. AND BOJADŽIEV, J. 1996: Zur absoluten Chronologie der bulgarischen Urgeschichte. Berliner ¹⁴C-Datierungen von bulgarischen archäologischen Fundplätzen. *Eurasia Antiqua* 2: 105-173.
- GÖRSDORF, J. (1997): ¹⁴C-Altersbestimmungen. In Karanovo. Die Ausgrabungen im Südsektor 1984-1992. Hrsg. Hiller, S. und Nikolov, V., Verlag Berger & Söhne, Horn/Wien, B a n d I.1: 377-384.
- GÖRSDORF, J., DREYER, G. AND HARTUNG, U. (1998): New ¹⁴C Dating of the Archaic Royal Necropolis Umm el-Qaab at Abydos (Egypt). Proceedings of the 16th International ¹⁴C Conference, edited by W. G. Mook and J. van der Plicht. *Radiocarbon*, Vol.40, No.2: 641-647.
- GÖRSDORF, J., DREYER, G. AND HARTUNG, U. (1998): ¹⁴C Dating Results of the Archaic Royal Necropolis Umm el-Qaab at Abydos. Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts Abteilung Kairo, Band 54: 169-175.
- GÖRSDORF, J., PARZINGER, H., NAGLER, A. AND LEONT'EV, N. (1998): Neue ¹⁴C-Datierungen für die Sibirische Steppe und ihre Konsequenzen für die regionale Bronzezeitchronologie. *Eurasia Antiqua*, Band 4: 73-80.
- HASSAN, F. A. (1988): The Predynastic of Egypt. *Journal of world prehistory* 2(2): 135-145.

- KAISER, W. UND DREYER, G. (1982): Umm el-Qaab - Nachuntersuchungen im frühzeitlichen Königshof - 2. Vorbericht. Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts Abteilung Kairo 38: 211-269.
- KOHL, G. AND QUITTA, H. (1978): Berlin Radiocarbon Dates V. *Radiocarbon* 20, No.3: 386-397.
- MOOK, W. G. AND STREUERMAN, H. J. (1983): Physical and chemical aspects of radiocarbon dating. Journal of the European Study Group on Physical, Chemical and Mathematical Techniques Applied to Archaeology. PACT 8: 31-55.
- NIKOLOVA, L. AND GÖRSORF, J. (1998): Stratigraphic sequence and ^{14}C -dates from the Dubene-Sarovka tell in the context of the Early Bronze Age Balkans. *Eurasia Antiqua*, Band 4: 11-18.
- RAMSEY, C. B. (1995): Radiocarbon Calibration and Analysis of Stratigraphy: The OxCal Program. In Cook, G. T., Harkness, D. D., Miller, B. F. and Scott, E. M. eds., Proceedings of the 15th International ^{14}C Conference. *Radiocarbon* 37(2): 425-430.
- STUIVER, M. AND POLACH, H.A. (1977): Reporting of ^{14}C -Data. *Radiocarbon* 19: 355-363.
- STUIVER, M., REIMER, P.J., BARD, E., BECK, J.W., BURR, G.S., HUGHEN, K.A., KROMER, B., MCCORMAC, F.G., V.D. PLICHT, J., AND SPURK, M. (1998): *Radiocarbon* 40: 1041-1083.
- WENINGER, B. (1986): High-Precision Calibration of Archaeological Radiocarbon Dates. *Acta Interdisciplinaria Archaeologica* IV: 11-53.
- WENINGER, B. (1992): Studien zur dendrochronologischen Kalibration von archäologischen ^{14}C -Daten. Diss. Frankfurt/M.
- Вадецкая, Э. Б. (1986): Археологические памятники в степях Среднего Енисея. (Ленинград 1986).

Anmerkungen:

¹⁾ Sehr herzlich möchte ich den technischen Mitarbeiterinnen E. Lau und D. Teckenburg für ihre engagierte Mitarbeit in der Probenchemie und beim Füllen der Zählrohre danken.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Görzdorf, Jochen
 Deutsches Archäologisches Institut, Eurasien-Abteilung, Postfach 330014,
 D-14191 Berlin
 e-mail: 14C@dainst.de

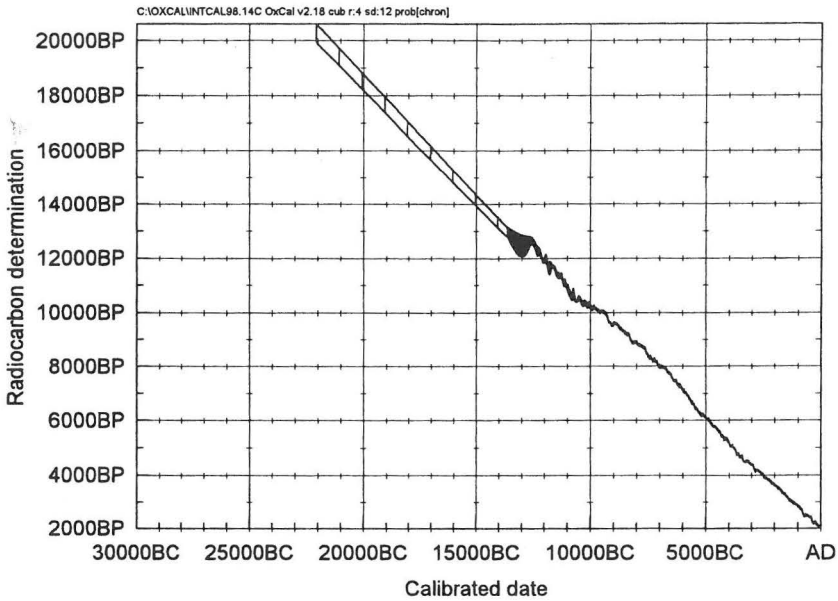


Abb. 1: Kalibrationskurve zur Umwandlung des konventionellen ^{14}C -Alters in eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für das historische Alter.

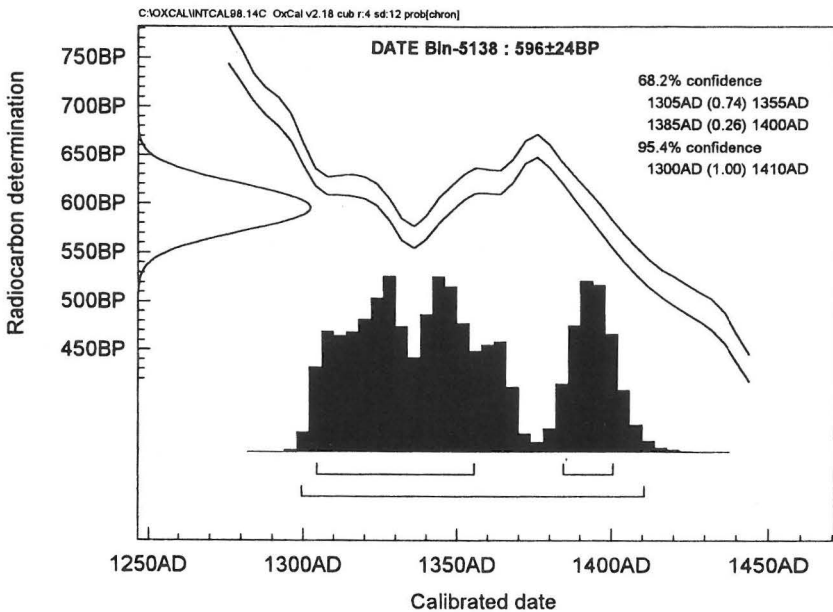


Abb. 2: Kalibrationsbeispiel. Das historische Alter liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 68,2% in den Kalibrationsintervallen 1305 - 1355 cal AD bzw. 1385 - 1400 cal AD und mit einer Wahrscheinlichkeit von 95,4% im Kalibrationsintervall 1300 - 1410 cal AD.

Mittel-Europa	Mittel-Donaugebiet	Zentral-Balkan	PERIODE		West-Bulgarien	Süd-Bulgarien	Nordost-Bulgarien	Westliche Schwarzmeerküste	C- ¹⁴ cal. BC
	Hügelgräber-Zeit	Žuto-Brdo / Gírla-Mare	B R O N Z E Z E I T	<i>spät</i>	Balei-Orsoe	Plovdiv-Zimnicea	Plovdiv-Zimnicea	Coslogeni	1200
Langquaid	Mađarovce	Vinkovci-Somogyvár		<i>mittel</i>	Verbicioara / Vatina	?	?	?	1600
Véteřov Aunjetitz Glockenbecher Schnurkeramik Kugelamphoren	Vatya Nagyrev Makó Baden				Glina III	Nova Zagora	?	?	2500
		Vučedol	<i>früh</i>	Magura-Coțofeni	Ezero	Jamnaja	Ezerovo	2500	
		Coțofeni-Kostolac		Über-gangs- periode					3300
Trichterbecherkultur		Boleráz Cernavodă III Balaton-Lásinja (Scheibenhenkelhorizont) Sălcuța IV Bodrogkeresztúr			Galatin / Teliš	?	Cernavodă III Cernavodă I / Pevec	Cernavodă I	3300
		Tiszapolgár / Lengyel	Ä N E O L I T H I K U M	<i>spät</i>	Krivodol (KSBh)	Karanovo VI	KGK VI	Varna	4000
Stichbandkeramik		Vinča D		<i>mittel</i>	Gradešnica / Dikilitaš-Slatino	Marica (Phase 4)	Poljanica (Phase 4)	Sava (4) / Hamangia (4)	4450
		Lengyel / Theiss		<i>früh</i>		Marica (Karanovo V)	Poljanica	Sava / Hamangia (3)	4600
		Vinča C	<i>spät</i>	Kurilo / Akropotamos-Topolnica	Karanovo IV (Kalojanovec)	Hotnica	Usoe II / Hamangia (2)	4900	
Linearbandkeramik		Vinča B			<i>mittel</i>	?	Karanovo III (Veselinovo) Karanovo II/III	Samovodene	Usoe I / Hamangia (1)
		Vinča A	<i>früh</i>	bemalte Keramik (WBBK) (Čavdar-Kremikovci)	Karanovo II Karanovo I	Ovčarovo	Conevo	5500	
		Körös			<i>Frühkeramik</i>			Mono-chromkeramik	6000
		Starčevo						6300	
		Proto-Starčevo						6300	

Abb. 3: Vergleichende Chronologietabelle für Bulgarien, den mittleren Donauraum und Mitteleuropa. KGK = Kodžadermen-Gumelnița-Karanovo, KSBh = Krivodol-Sălcuța-Bubanjhum la Kultur, WBBK = Westbulgarische bemalte Keramik.

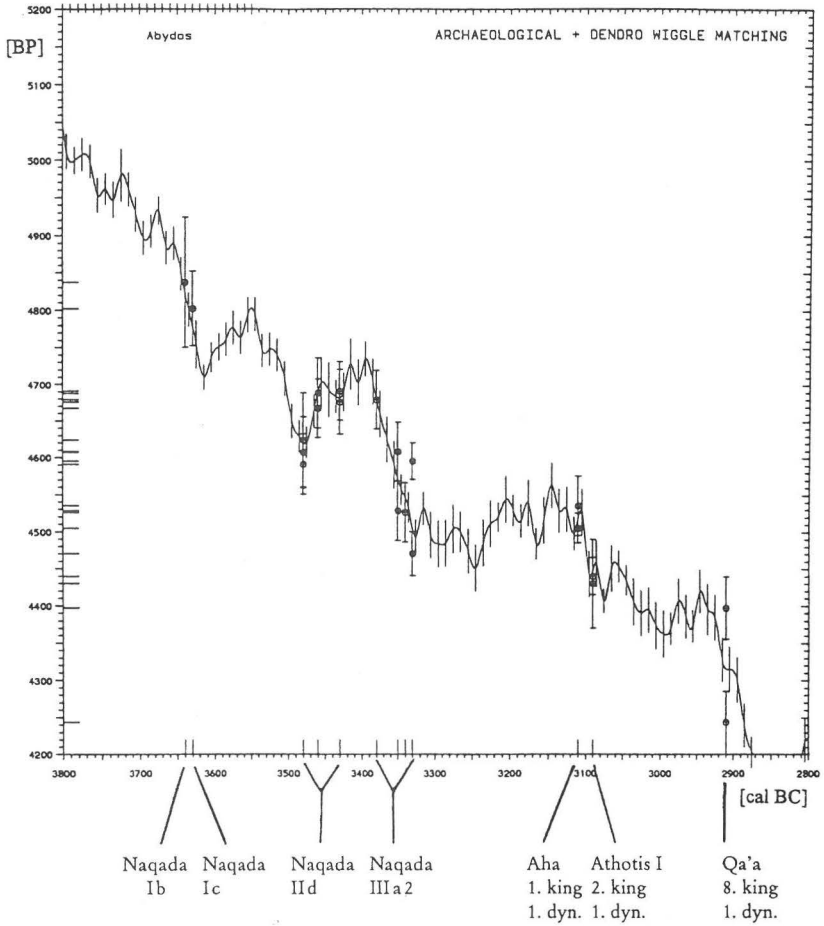


Abb. 5: Kalibration der Datierungen von Materialien aus der Nekropole Umm el-Qaab unter Einbeziehung der archäologischen Informationen.

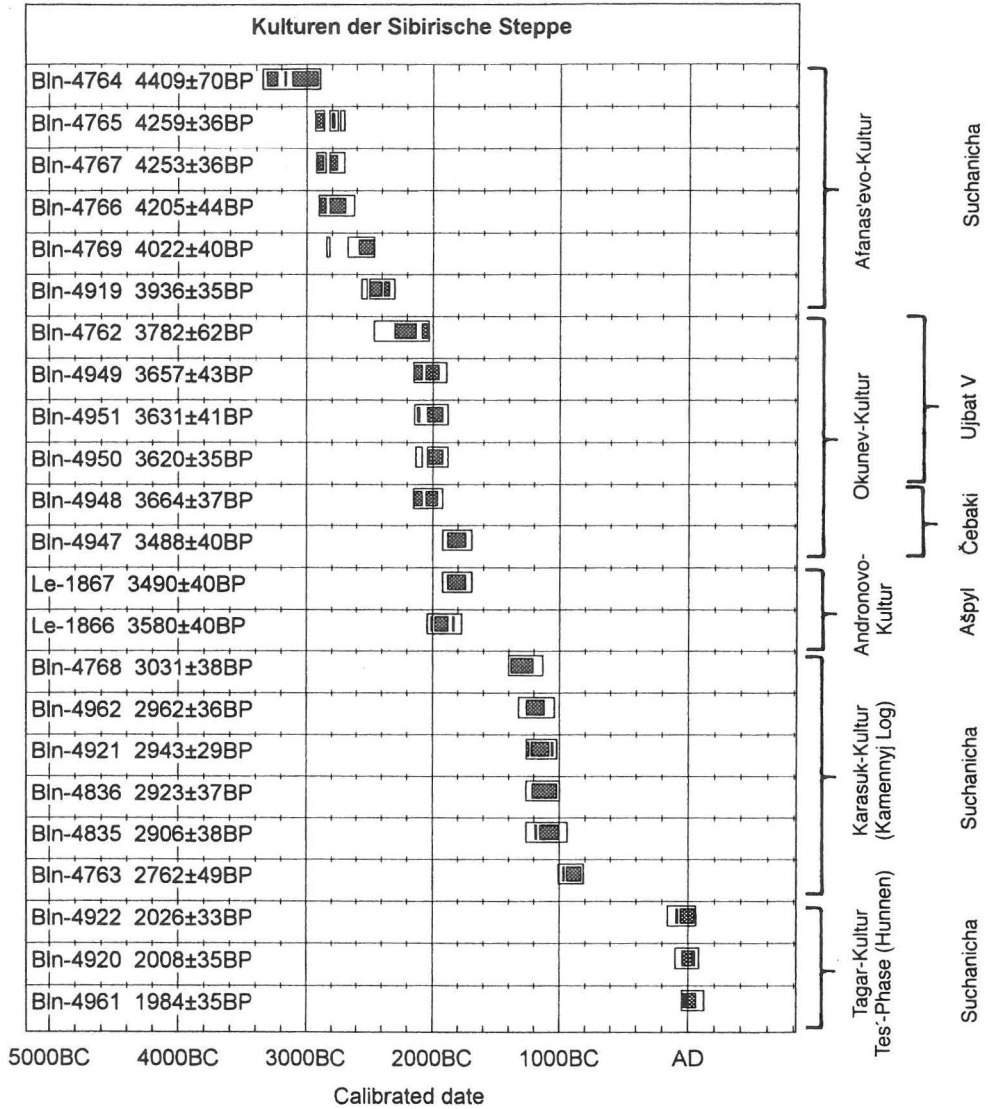


Abb. 6: Kalibrierungsergebnisse der Datierungen von Materialien aus der Sibirischen Steppe, dargestellt als Kastendiagramm, mit Angabe der Fundorte und der kulturellen Zuordnung. Die schmalen, gefüllten Kästen zeigen die Kalibrationsintervalle für die Wahrscheinlichkeit von 68,2% und die breiten Kästen zeigen die Kalibrationsintervalle für die Wahrscheinlichkeit von 95,4%.