

## „Postglaziale“ Warwchronologien

Kritik der Altersbestimmungsmethoden für das Quartär II  
Christian Blöss & Hans-Ulrich Niemitz

Im ersten Teil unserer Untersuchung der Altersbestimmungsmethoden für das Quartär [Blöss/Niemitz 1998] haben wir den Entstehungsmechanismus von Warwen untersucht und dann vor allem die methodischen Probleme der berühmten schwedischen Warwchronologie De Geers beleuchtet. Wir haben auch gezeigt, daß sie dort auf besonders schwachen Füßen steht, wo am häufigsten auf sie verwiesen wird, nämlich bei der Bestimmung der Länge des Postglazials. De Geers postglaziale, knapp 10.000 Jahre umfassende Chronologie ist aus rund 20 Teilsequenzen aufgebaut. Sie war stets vor fundamentaler Kritik geschützt, weil das Datenmaterial unzugänglich blieb. Weder die Synchronisierung der Teilsequenzen, noch die Jahrgenauigkeit der in diesen erkannten Schichten konnte so überprüft werden.

Anders verhält es sich mit den in jüngster Zeit gebohrten Kernen aus Seesedimenten. Sie sind in der Regel durchgehend und bleiben damit von dem Synchronisierungsproblem verschont. Große Anstrengungen wurden unternommen, die jährliche Entstehung der in diesen Kernen erkannten Schichten nachzuweisen, denn erst dann kann die Länge des Postglazials abgezählt werden. Der Beginn des Postglazials wird hier mit dem Übergang von sterilen zu organisch befruchteten Schichten gleichgesetzt, indem dieser als Folge eines grundlegenden Klimaumschwungs bzw. als das Ende der letzten Eiszeit interpretiert wird. Die Bewältigung der keineswegs geringen methodischen Probleme bei der Auszählung und Interpretation der erkannten Schichten in diesen modernen Bohrkerne geschieht vor einem festgelegten chronologischen Hintergrund. Immer dort, wo auf bekannte Zeitvorgaben zurückgegriffen werden muß, um methodisch voranzukommen, dort wird nicht Chronologie betrieben sondern lediglich reproduziert.

Wir werden uns in diesem Artikel auf eine Betrachtung der Untersuchung und Interpretation von Bohrkerne aus dem Holzmaar (West-Eifel, Deutschland) beschränken und gehen davon aus, daß die hier eingeschlagenen Wege zur Lösung methodischer Probleme unter Zuhilfenahme scheinbar bewährter chronologischer Eckdaten auch in anderen Fällen zu beobachten sein wird.

### **5. Das zentrale Problem: Die Jahrgenauigkeit**

### 5) Probleme mit der Jahrgenauigkeit pleistozäner Warwen

In diesem Bild [Pettijohn/Potter 1964, Tafel 108B] ist zu erkennen, daß über einer waagrecht orientierten Bändertonschicht eine verwickelt gefaltete Bändertonschicht liegt. Diese Schichten werden sämtlich dem Pleistozän zugeordnet. Wenn tatsächlich eine jährliche Ablagerung vorliegen würde, wäre nicht zu verstehen, warum eine so klare Trennung zwischen ebener („trockener“) und gefalteter („feucht-plastischer“) Schichtung vorliegt. Vielmehr ist davon auszugehen, daß die gefaltete Schichtung gleichmäßig plastisch und damit innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums entstanden ist, während die ebene Schichtung so viel älter ist, daß sie bereits zu trocken für das Mitmachen der Faltung war.

In dem Buch „Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures“ [Pettijohn/Potter 1964] werden Sedimentite aus vielen anderen Epochen gezeigt, die ebenfalls eine Art „Gekröseschichtung“ aufweisen und damit auf eine feuchte Ablagerung mit anschließender Verfestigung hinweisen. Gewöhnlich wird angenommen, daß die Verfestigung eines körnigen Sediments zu einer Art Kristallgittergefüge in tieferen Erdschichten (Diagenese) stattfindet, aus der es anschließend wieder in die Nähe der Erdoberfläche angehoben werden muß. Von Zillmer [1998] wird darauf verwiesen, daß statt Senkung und Hebung auch das oberirdische Abbinden eines anfänglich plastischen Gemischs unter Beimischung geeigneter Zuschlagsstoffe in Frage kommt.



### 5.1 *Erkannte Probleme*

Während die spätglazialen Warwen relativ mächtig sind, dafür aber nur in relativ geringer Zahl (höchstens einige hundert) an einem Ort entstehen, können postglaziale Warwen an einer vertikal erschlossenen Fundstelle von erheblicher Anzahl sein, sie fallen dafür aber auch erheblich dünner aus. Nur wenn folgende Fragen positiv beantwortet werden können, ist eine chronologische Aussage mit der Zählung dieser Ereignisse verbunden und können synchron laufende Ereignisse mit ihnen datiert werden:

- 1) Können die Schichten mit ausreichender Genauigkeit unterschieden und damit gezählt werden?
- 2) Ist der Entstehungsmechanismus ausschließlich an jahreszeitliche Klimaentwicklung gekoppelt oder teilweise bzw. sogar ganz an andere Ereignisse (Regenfälle, Tiertränke, seismische Aktivität)?
- 3) Falls eine überwiegende Kopplung an die jahreszeitliche Klimaentwicklung besteht, können die Schichten, die auf andere Ursachen zurückzuführen sind, sicher identifiziert werden?

### 5.2 *Das Problem der Unterscheidbarkeit*

Ohne bereits die jeweilige Bedeutung einzelner Schichten zu beurteilen, wird die Qualität ihrer Unterscheidbarkeit durch den mittleren Fehler einer größeren Anzahl von Zählungen einzelner Abschnitte abgeschätzt. Üblich erweise wird die Qualität der Warwenerhaltung in 4 Stufen eingeteilt. Brauer [1994, 62] gibt für diese Einteilung Zählfehler von maximal  $\pm 5,5\%$  („sehr schlecht“, entsprechend Deutlichkeitsmaß 0) bis minimal  $\pm 1,0\%$  („sehr gut“, entsprechend Deutlichkeitsmaß 3) an. Zolitschka et al. [1992, 85] läßt dagegen selbst für das Deutlichkeitsmaß 1 nur Schätzungen der Warvenzahl gelten. Sofern die Qualitätsstufungen von beiden auf ähnliche Weise vorgenommen wurden, muß die Angabe von Fehlerbandbreiten als irreführend und die tatsächlich schlechte Qualität der Warwenerhaltung verschleiern bezeichnet werden.

### 5.3 *Der Nachweis jahrweiser Entstehung*

Wo keine organischen Einschlüsse vorliegen wie bei den Bändertonen (den sogenannten „klastischen“, ausschließlich aus mehr oder weniger stark zermahlenem Gesteinsmaterial bestehenden Warwen), dort sei ihre jahreszeitliche Genese ebenso schwierig nachzuweisen, wie sie schon seit langem postuliert werde [Brauer 1994, 58]. Diese Anmerkung A. Brauers trifft ohne Ein-

schränkungen auch auf alle Bändertone zu, deren Entstehung im Zusammenhang mit schmelzenden Gletschern gesehen wird und bedeutet nichts anderes, als daß die saisonale Entstehung der Warven der schwedischen Chronologie nach wie vor ungeklärt ist (siehe dazu auch Bild 5).

Bereits 1950 zeigten Kuenen und Migliorine [1950], daß eine Aufeinanderfolge warvenähnlicher Silt- und Tonschichten auch durch Trübeströmungen entstehen können, die durch subaquatische Rutschungen ausgelöst werden. So ist auch gegen die postulierte Jahrgenauigkeit spätglazialer Warven der schwedischen Chronologie eingewandt worden, daß bereits periodisch an- und abschwellender Wasserfluß ausreiche, um in einem Jahr lokal die Ablagerung mehrerer Warven hervorzurufen [Fromm 1970, 168]. Lambert und Hsü interpretierten Warven aus dem schweizerischen Walensee als Ablagerungen nicht-saisonalen Trübestrome [Lambert/Hsü 1979]. Siegenthaler und Sturm weisen darauf hin, daß „lakustrine“, also in stehenden Gewässern auftretende Turbidite häufig auf subaquatische Rutschungen zurückzuführen seien [Siegenthaler/Sturm, 1991] und halten selbst nach rund hundert Jahren Warvenforschung nach wie vor weitere Untersuchungen für erforderlich, um „reguläre“ und „irreguläre“ Warven unterscheiden zu können.

Wo die jahreszeitliche Ablagerung weder aus (meistens ohnehin wenig tragfähigen) sedimentologischen Betrachtungen [Brauer 1994, 13] noch mit konventionellen Methoden wie der Pollenanalyse oder über Populationssukzessionen von Diatomeen (Kieselalgen) positiv bestätigt werden kann, da bietet sich ein Nachweis über astronomische Zyklen an. Wenn sich ein astronomischer Zyklus, der in Kalenderjahren gezählt wird, durchgehend in der Abfolge der Schichtenmächtigkeit widerspiegelt, dann kann von einer jahreszeitlichen Kopplung der Schichtbildung ausgegangen werden. Sofern eine Klimaabhängigkeit der Schichtbildung besteht, spielt dabei die mittlere Sonneneinstrahlung eine entscheidende Rolle. Schwankungen der mittleren Sonneneinstrahlung können sich sowohl aufgrund von Zyklen der Sonnenaktivität selber bemerkbar machen, als auch auf indirekte Weise, wenn nämlich die Ausbeute der Sonnenenergie entsprechend periodischer Änderungen von Elementen der Erdbahn bzw. der Erdachsenneigung schwankt.

Eine nachweisbare Abhängigkeit der Schichtenmächtigkeit von astronomischen bzw. solaren Zyklen setzte komplexe Kopplungsmechanismen voraus, denn die bekannten Schwankungen der Solaraktivität bleiben isoliert betrachtet unter einem Prozent. Ohne daß andere klimatische Einflußfaktoren streng mit diesen Zyklen mitgehen und diesen Effekt verstärken, kann es keine Abbildung in der Schichtenmächtigkeit geben. Obwohl einerseits die Komplexi-

tät und Irregularität dieses Zusammenhangs immer wieder betont wird, wird andererseits doch immer wieder versucht, Zyklen der Solaraktivität im letzten Glied dieser Kette, den Seesedimenten, aufspüren zu können.

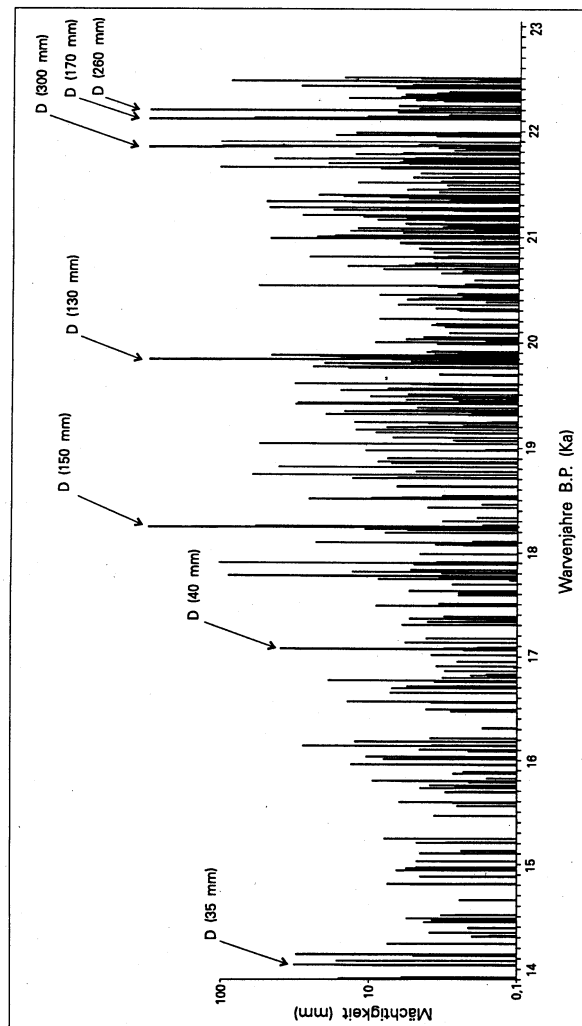
Die Identifizierung solcher Zyklen ist dann auch alles andere als trivial, wie das folgende Beispiel zeigt. 1985 erregte eine Publikation weltweit Aufmerksamkeit, in welcher die Abbildung des Sonnenfleckenzyklus von 11 Jahren in präkambrischen, glazialen Warven beschrieben wurde [Williams/Sonett, 1985]. Eine anschließende genauere sedimentologische Untersuchung ergab dagegen, daß es sich bei den Rhythmiten nicht um glaziale Warven, sondern um zwei Größenordnungen schnellere marine Gezeitenablagerungen und beim „Sonnenzyklus“ eher um einen Mondzyklus handelt [Sonett et al. 1988, Williams 1989]. Auch die Auffindung des sogenannten Gleissberg-Zyklus in den Sedimentschichten von Holzmaar und seine Interpretation als Nachweis der Jahresschichtung dieser Sedimente erscheint uns problematisch. Während die meisten Autoren seine Länge nur auf ein Intervall zwischen 80 bis 100 Jahre eingrenzen wollen, legt A. Brauer seiner Untersuchung der „Weichselzeitlichen Seesedimente des Holzmaars“ eine Zykluslänge von genau 87.7 Jahren zugrunde.

Die Analyse der Holzmaar-Daten auf ihre Jahrgenauigkeit beschränkt Brauer auf jeweils wenige Prozent der vorliegenden Schichten, um nur gut meßbare Schichtdickenfolgen zur Auswertung zu bringen. Das kann nicht ohne Auswirkung auf das errechnete Vorkommen insbesondere langer Zyklen bleiben, denn das ohnehin stark verrauschte Spektrum der gefundenen Zyklen ist in seiner Intensitätsverteilung insbesondere im Bereich der längeren Zyklen stark von den verwendeten Datensätzen abhängig. Eine derart vorgefundene Resonanz mit dem Gleissberg-Zyklus bedeutet auch keinesfalls, daß eine Kopplung über die ganze Zeit vorliegt, sie kann sich genauso auch nur über einen Teilbereich erstrecken. Darüber hinaus gilt weder die Länge noch die Existenz dieses Zyklus als erwiesen<sup>1</sup>. Nicht gut zu verstehen ist auch, warum sich der viel kürzere, 11 Jahre umfassende Schwabe-Zyklus nicht abgebildet hat, obwohl er sich grundsätzlich aufgrund der begrenzten Länge des Datensatzes deutlicher hervorheben müßte.

---

<sup>1</sup> K. Schatten, der sich beruflich mit der langjährigen Beobachtung der Sonnenaktivität befaßt, schrieb uns auf Anfrage: „It is my belief from years of studying solar activity, that unlike the 11 year cycle, the Gleissberg cycle is not really a cycle at all, but just a persistence phenomenon. Hence my statement ... (just as the weather lasts a few days, but is not cyclic)“ [schriftliche Mitteilung vom 12.08.1998]

6) Verteilung und Mächtigkeit der Turbidite und Debrisagen in den weichselzeitlichen Seesedimenten des Holzmaares



Nicht weniger problematisch wird es, wenn für andere Warwensequenzen eine Resonanz bei 78 Jahren als Verschiebung des Gleissberg-Zyklus um rund 10 Jahre aufgrund gewisser Störungen interpretiert wird. Ein Zyklus, wenn er denn vorhanden ist, muß auch bei Störungen im Spektrum erhalten bleiben. Sofern die Störungen selber zyklischer Natur sind, treten lediglich weitere Resonanzen in das Spektrum hinzu.

#### 5.4 *Das Ausmaß von Störungen*

Die Tatsache, daß nennenswerte Anteile der Rhythmite stets irregulär sind und einen völlig anderen Typus als der reguläre Anteil darstellt, macht die sorgfältige Analyse aller Schichten notwendig. Bei den Schichten, die aus dem Holzmaar gehoben worden sind, mußte aus diesem Grund eine detaillierte Dünnschliffauswertung zur Struktur und Zusammensetzung jeder einzelnen Schicht vorgenommen werden [Brauer 1994, 58].

In Seen, die im Einzugsbereich von Gletscherhochständen gelagert sind, kann die Häufigkeit sogenannter „Turbidite“<sup>2</sup> bis zu 20% der Schichtenanzahl ausmachen [Leeman 1993, 32]. Diese Turbidite machten beim spät- bzw. hochglazialen Teil des Holzmaar mit 19% Anteil an der gesamten Sedimentmächtigkeit das Gros der unterschiedlich klassifizierten Störungen aus (siehe Bild 6).

Während Brauer ihre Zahl mit insgesamt 367 bei Mächtigkeiten zwischen 1.5 bis 119 mm angibt [1994, 51], wird darüber hinaus ein Datensatz mit der mehr als vierfachen Anzahl aufgeführter Turbiditmächtigkeiten ausgewertet [1994, 82] und nun in ihrer Abfolge ein Gleissberg-Zyklus von 87.7 Jahren wiedergefunden, was als weiterer Beweis für die streng saisonale Abhängigkeit der Schichtenbildung gewertet wird. (Ein Datensatz mit 367 Einträgen ist eine unzureichende Basis, um derart lange Zyklen herauszufiltern. Möglicherweise wurden die Turbidite aus dem postglazialen Teil hinzugenommen, der damit eine vergleichsweise schlechte Qualität aufweisen würde.) Wenn auch in Turbiditen, deren Entstehung an zufällige Ereignisse gekoppelt ist, ein Zyklus der Sonnenaktivität prägnant wiedergefunden wird, dann erhebt sich für uns die Frage, ob nicht auch die Art der Datensatzpräparierung zu dem Ergebnis mit beigetragen hat.

Als weiterer wesentlicher Beitrag zur Störung regelmäßiger Sedimentation gelten grobklastische Horizonte, sogenannte „Debrislagen“, die im spät- bzw.

<sup>2</sup> definiert als „klastische, meist gradierte Ablagerungen aus grundberührenden Suspensionsströmungen“ [Brauer 1994, 46], im Gegensatz zu Schwebeteilchen, die sich mit der Zeit vertikal ablagern.

hochglazialen Profil von Holzmaar sieben Mal mit Mächtigkeiten von 35 bis 300 mm auftauchten und damit einen Anteil von 6% der gesamten Sedimentmächtigkeit ausmachten. Trotz der geringen Zahl dieser Lagen zeigten sich Auswirkungen auch auf ihre Umgebung, denn im Bereich dieser Debrislagen zeigten die Sedimente zum Teil starke, den Auswertungsprozeß beeinträchtigende „Verwürgungs- und Fältelungsstrukturen“, die als präparationsbedingte Artefakte interpretiert wurden.

## 6. Der Fall „Holzmaar“

### 6.1 Besonderheiten des Holzmaares in der Eifel

Normalerweise wird für die Bildung von Schichten beispielsweise in Seesedimenten vorausgesetzt, daß während des gesamten Ablagerungszyklus eine ausreichend starke feinkörnige Suspension in den Zuflüssen vorhanden sein muß. Diese Voraussetzung ist nur in Einzugsgebieten von Gletschern gewährleistet [Bogen 1988]. Wäre das Einzugsgebiet hingegen unvergletschert, so A. Leeman [1993, 41], würde die Suspensionsfracht nicht mehr durch den saisonalen Eintrag von „Gletschermilch“, sondern vor allem durch Regenfälle bestimmt. Dies würde dann in einem See zur Bildung ereignisbezogener, nicht aber saisonaler Schichten führen.

Für die sogenannten „Maare“ der Eifel wird das völlig anders gesehen. Diese Seen sind eine für die vulkanischen Gebiete der West-Eifel (Deutschland) typische geologische Struktur. Lediglich 8 der rund 50 bekannten Maare sind heutzutage allerdings noch mit Wasser gefüllt. Der Zeitpunkt der vulkanischen Explosionen, die dieses Maare geformt haben könnten, gilt als umstritten. Insbesondere in den Seen Holzmaar und Meerfelder Maar werden nun die feinen Schichten als „eindeutig jahreszeitliche Ablagerung“ angesehen [Zolitschka 1990; Brauer 1994, 12].

Eine flache Bucht des Holzmaar wird vom Sammetbach durchflossen. Die Sedimentfracht dieses Sees muß nun für die letzten 20.000 Jahre als so gering vorausgesetzt werden, daß eine ereignisbezogene Sedimentierung ausgeschlossen werden kann und der Nachweis saisonaler Bildung der Schichten eine Chance bekommt.

Für die Zeit des Hochglazials hätten nur 4 Monate lang Lufttemperaturen über dem Gefrierpunkt von Wasser geherrscht [Brauer 1994, 22]. Da aufgrund des Vorhandenseins von mehr als 20.000 Schichten eine streng saisonale Bildung folglich auch im Hochglazial vorausgesetzt werden muß, sind die For-



schon darauf angewiesen, daß die Maare während dieser 4 Monate Jahr für Jahr offen gewesen sind. Eine Voraussetzung, die von ebenso zentraler Bedeutung wie schwierig nachzuweisen ist.

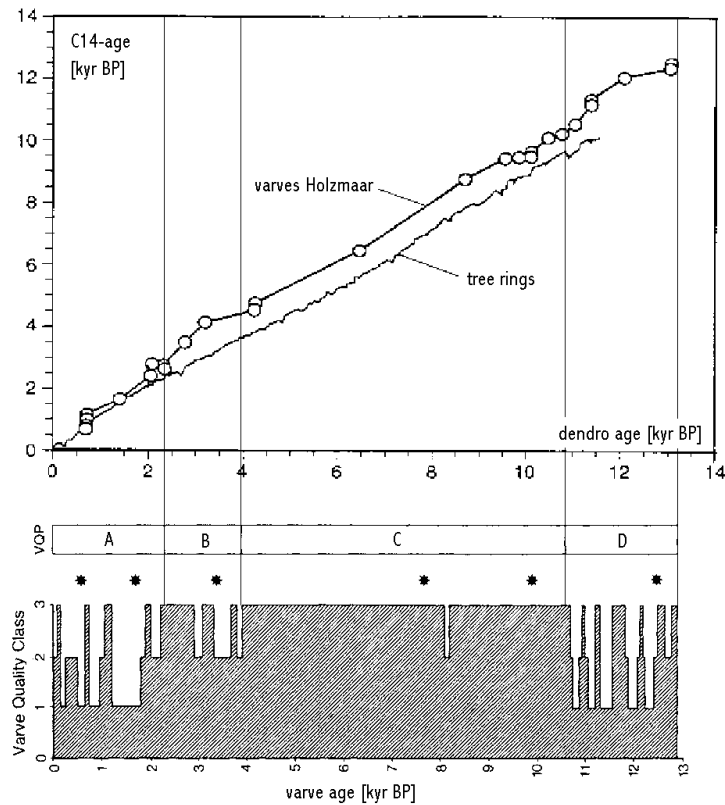
### 6.2 Im Widerspruch zur Europäischen Baumringchronologie

Im post- bzw. spätglazialen Teil der Warwenchronologie von Holzmaar in der Eifel werden 4000 intermediäre sowie noch einmal rund 2500 darunterliegende, ältere Schichten (Sektion C in Bild 7/links als relativ gut auszählbar („best warwes“) dargestellt [Zolitschka et al. 1992, 85]. Ihnen werden 4000 bis auf heute gehende Schichten mit schlechter (A) bis mittlerer (B) Qualität zeitlich voran- und weitere 2000 solcher problematischen Schichten (D) zeitlich nachgestellt (vergleiche insgesamt Bild 7). Eine Kennzeichnung dieser Sektionen macht deutlich, daß sich für die relativ schlecht oder gar nicht auszählbaren Schichten (A, B, D) die verwertbaren organischen Spuren häufen [Brauer et al. 1994], während in den Schichten, die für relativ gut auszählbar gehalten werden (C), erheblich seltener C14-datierbare Proben gefunden bzw. aufgeführt werden.

Wir sprechen auf der Basis der Veröffentlichung von Brauer et al. [1994] folgende Vermutungen aus:

- Die Zahl der Schichten für die schlecht oder gar nicht auszählbaren Bereiche wurde so verifiziert, daß C14-Jahre und Warwenjahre in ihrer Zahl annähernd übereinstimmen. Das würde uns aufgrund der schon anderenorts festgestellten Affinität von Warwenchronologen zur Identifizierung von C14-Jahren mit Kalenderjahren nicht verwundern (siehe Abschnitt 3.2).
- Messungen an „umgelagertem Material“ wurden möglicherweise gerade in den Schichten ausgeschlossen [Brauer et al. 1994, 329], die relativ gut auszählbar sind, wodurch sich auch die auffallend geringe Zahl von C14-Daten erklären würde. „Umgelagert“ kann in diesem Zusammenhang nur bedeuten, daß der Unterschied in den C14-Altern der hier gefundenen Proben auch nicht annähernd mit einer jahrgenaue Schichtenentstehung in Einklang zu bringen ist.
- Im Endeffekt wären unter Zugrundelegung eines einheitlichen Trends in der Änderung des C14/C12-Verhältnisses in der Atmosphäre ein erheblich kürzerer Zeitraum für den Bereich C zu veranschlagen (siehe Tabelle 1 für den Trend im Spätglazial).

### 7) C14-Daten aus Holzmaar: Widerspruch ...

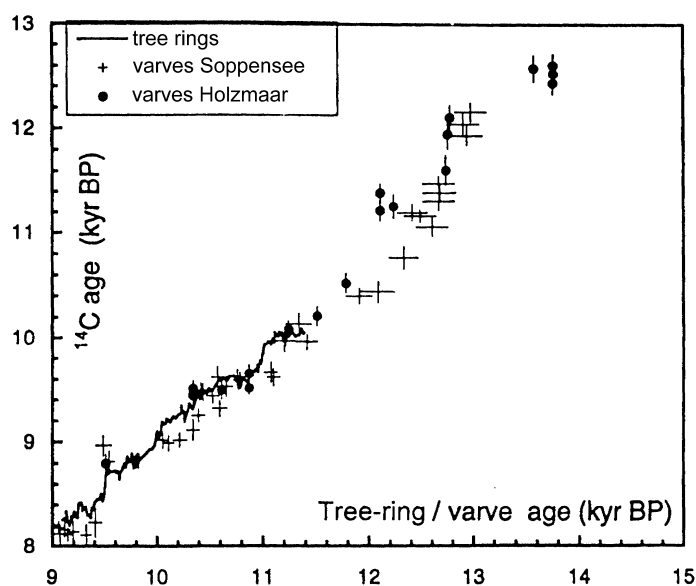


Die Autoren einer Studie der post- bzw. spätglazialen Warvenchronologie des Holzmaar von 1994 stellen eine Übereinstimmung der C14-Werte in ihrer jahrgenaue Chronologie mit denen der Dendrochronologie für die jüngsten 2.000 Jahre fest [Brauer et al. 1994, 329]. Bei höherer Auflösung lassen sich für diesen Zeitraum allerdings Diskrepanzen von mehreren C14-Jahrhunderten konstatieren, was für jahrgenaue Chronologien einerseits und unter strikter Gültigkeit des Simultanitätsprinzips andererseits nicht akzeptabel wäre. In einer der beiden Prämissen - in der Jahrgenauigkeit beider Chronologien oder dem Simultanitätsprinzip - muß ein Fehler stecken. Unabhängig davon ergibt sich für den Zeitpunkt vor 2.500 BP ein Versatz der Kurven von über 1.000 C14-Jahren, dessen Ursache seinerzeit „allerdings noch nicht genau bekannt“ [329] war.

### ... und Anpassung an die Dendrochronologie

Für die warvenchronologische C14-Kalibrierkurve (in Bild links) mußten „Messungen an umgelagertem Material“ von der Auswertung ausgeschlossen werden. Es ist schon auffällig, daß zwischen rund 4.500 und 9.500 BP nur noch ein Meßwert vorkommt. Deshalb fragten wir in unserem Buch „C14-Crash“ auch, ob die offenkundige Massierung der Meßwerte einschließlich des Anstiegs der Kurve bis etwa 11.000 BP auf eine „Kalibrierung“ am konventionellen Datum für den Beginn des Postglazial zurückzuführen sei? (Zur Problematik der warvenchronologischen Absolutdatierung vgl. auch Hajdas et al. [1995, 75])

Wie wenig Vertrauen die Warvenchronologen ihrer Jahreszählung hier letztlich entgegenbringen, wird dann aus dem Bild auf dieser Seite ersichtlich [Hajdas et al. 1995, 77], das wenig später unter Zugeständnis methodischer Komplikationen unter nunmehriger Angleichung an die dendrochronologische Kalibrierkurve entstanden ist. Ein Diagramm über die Güte der Zählbarkeit (aus Zolitschka et al. [1992, 85]) erkennt nur dem Bereich mit weitgehend fehlenden organischen Proben zählbare Warven zu. Sind in den Bereichen schlechter Zählbarkeit die Anzahl der Warven nach Maßgabe der C14-Daten approximiert worden?



### 6.3 Ein Jahr später

Wie gut ist es um die Jahrgenauigkeit des „jährlich geschichteten“ (so drücken sich die Autoren jedenfalls aus) Sediments von Holzmaar tatsächlich bestellt? I. Hajdas et al. [1995, 75] berichteten ein Jahr nach der erwähnten Veröffentlichung von Brauer et al., daß aufgrund gewisser „Komplikationen“ Korrekturen an der Warwenchronologie von Holzmaar vorgenommen werden mußten, die durch statistische Anpassung ihres jüngeren Teils an der etablierten, aus Baumringchronologien gewonnenen C14-Kalibrierkurve erfolgte.

Von Brauer et al. [1994] wissen wir, daß in ihrer seinerzeitigen Aufstellung ab dem Zeitpunkt 2.500 BP eine Verschiebung der warwenchronologischen gegenüber der dendrochronologischen Kalibrierkurve um etwa 1.000 C14-Jahre gegeben hat. Dieser Sprung ist in der Veröffentlichung von 1995 verschwunden. Daraus ist ebenfalls abzuleiten, wie unsicher eine „jährliche Sedimentierung“ in vielen (wenn nicht in allen) Bereichen tatsächlich ist, denn offenbar kann die Zählweise der Schichten so abgewandelt werden, daß die Folge der C14-Daten sich der Folge anpaßt, die sich aus der Baumringchronologie ergibt.

## 7. Warwen - eine überschätzte Chronologiegattung

### 7.1 Der tatsächliche Gebrauchswert von Warwenchronologien

Der „Gebrauchswert“ von Warwen ist für Historiker weitaus geringer, als es das Image ihrer als jahrgenau gepriesenen Chronologie eigentlich vermuten läßt. So wurde beispielsweise niemals ein historisch bedeutsamer Fund direkt mit Hilfe einer Warwenchronologie datiert. Obwohl auch der Gebrauchswert von Baumringchronologien aus verschiedenen Gründen - selbst wenn sie lückenlos und an die Jetztzeit angebunden sind - bereits sehr eingeschränkt ist [Blöss/Niemitz 1997, 103], übertrifft er doch immer noch deutlich den von Warwenchronologien. Am Ende lassen sich nur auf zwei verschiedene Weisen Korrelationen von Warwenchronologien zu anderen Chronologien herstellen:

- Aus den in Warwen eventuell eingeschlossenen Pollen können charakteristische *Biozonen* (s.u.) abgeleitet werden.

- Aus organischen Proben, die in Warwen eingeschlossen und zugleich ausreichend groß sind, können unter Umständen *C14-Daten* für die entsprechenden Schichten gewonnen werden.
- Aus markanten Ablagerungsschichten wie dem Tephra von Vulkanausbrüchen in der Eifel können u.U. Synchronismen zwischen Stratigraphien unterschiedlicher Art erzeugt werden.

Folglich bleibt eine Warwenchronologie dort, wo sie organisch steril oder ohne auswertbare organische Einschlüsse ist - und das kommt häufig vor -, ohne Bezug zu anderen Chronologien.

Selbst wenn organische Einschlüsse etwa in Form von Pollen vorliegen, scheitern Synchronisierungsversuche über den Vergleich der vertikal gegebenen Biozonen anerkanntermaßen an der Tatsache, daß in zwei auseinanderliegenden Biosphären verschiedene Vegetationen vorliegen, die generell zu einem unterschiedlichen organischen „Mix“ in den sich ablagernden Schichten führen müssen. Die Pflanzen und Tiere entwickeln sich an unterschiedlichen Orten aus verschiedensten Gründen disparat. Zudem ist die Definition der Biozonen über Pollenanteile typischer Arten zu willkürlich, um die zeitliche Länge der daraus abgeleiteten lokalen Zonenübergänge mehr als nur grob zu bestimmen bzw. untereinander zu synchronisieren.

So bleibt offenbar nur die Möglichkeit, eingeschlossenes organisches Material über *C14* zu datieren. Für das *C14/C12*-Verhältnis in der Atmosphäre wird nach wie vor an ein entsprechendes „Simultanitätsprinzip“ geglaubt, wonach sich dieses Verhältnis an allen Orten der Erde absolut gleichzeitig entwickelt. Das ist die wichtigste Voraussetzung dafür, *C14*-Daten überhaupt untereinander vergleichen zu können. Tatsächlich liegen aber unmißverständliche Hinweise darauf vor, daß dieses Verhältnisses zeitlich sehr stark schwankt, und die dafür naheliegenden Ursachen auch Schwankungen von Ort zu Ort bedeuten müssen [Blöss/Niemitz 1997, 33ff., 393ff.].

Eine Datierung in Warwen eingeschlossener organischer Proben wird durchaus als problematisch erkannt [Lotter et al. 1992, 54; Björck et al. 1992, 39]. Auch den Warwenchronologen bleibt die Verwunderung über große Streuungen von *C14*-Daten an sich gleichaltriger, d.h. aus derselben (oder wenigstens eng benachbarten) Warwe stammenden Proben nicht erspart, wenn sie z.B. (unkalibrierte) *C14*-Daten zwischen 11.600 und 8.300 Jahren BP für ihre Proben aus einem 10.430er Warw zu interpretieren haben [Björck et al. 1992, 39]. Doch obwohl immer mit der Möglichkeit gerechnet werden muß, daß gleichalte Proben aus unterschiedlichsten Gründen voneinander abweichende *C14*-Al-

### 8) C14-Daten (1987-1997) ...

Die Graphik (Bild rechts) wurde aus Meßdaten erstellt, die in den einschlägigen Bänden der ENCYCLOPEDIA BRITANNICA der Jahre 1987 bzw. 1997 veröffentlicht worden sind. Dabei beruht die 87er-Veröffentlichung ausschließlich auf Daten, die von H. Tauber bereits 1969 auf dem 12. Nobel-Symposium im schwedischen Uppsala vorgelegt worden waren [Tauber 1970]. Die Quelle für die Veröffentlichung von 1997 bleibt hingegen unklar, doch ist ihre Anlehnung an die 87er-Ausgabe offensichtlich. Taubers Ausführungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 1) Zuverlässige C14-Daten für einzelne Warven bzw. Warwensequenzen können für die spätglazialen Epochen wegen des unzureichenden Zustandes der organischen Einschlüsse nicht gewonnen werden [Tauber 1970, 178].
- 2) Für die spätglazialen Epochen gibt es demnach nur einen indirekten Vergleich zwischen den in den Warven u.U. erkennbaren Pollenzonengrenzen und deren anderweitig gewonnenen C14-Daten. Allerdings sind die spätglazialen Perioden bzw. ihre Pollenzonen nicht direkt erkennbar in den Warwensequenzen markiert, sie können vielmehr nur indirekt - durch eine „mehr oder weniger subjektive“ Vorgehensweise - identifiziert werden [Tauber 1970, 179].
- 3) Das Alter und die Dauer dieser Pollenzonen wurde im Zuge der Rekonstruktion des klimatischen Verlaufs des Spätglazials exklusiv jeweils durch C14-Daten bestimmt [179]. (Für die Datierung einer Pollenzonengrenze mußte seinerzeit eine große Menge organischen Materials aus biologisch äquivalenten Übergangszonen zusammengetragen werden [Wenner 1968, 85].)
- 4) Die Wiedergabe der Kalibrierkurve für das Spätglazial als nahezu perfekte Wiedergabe der Winkelhalbierenden impliziert also, daß für die gefundenen Pollenzonen stets annähernd so viele Warvenjahre gezählt wie C14-Jahre gemessen wurden.

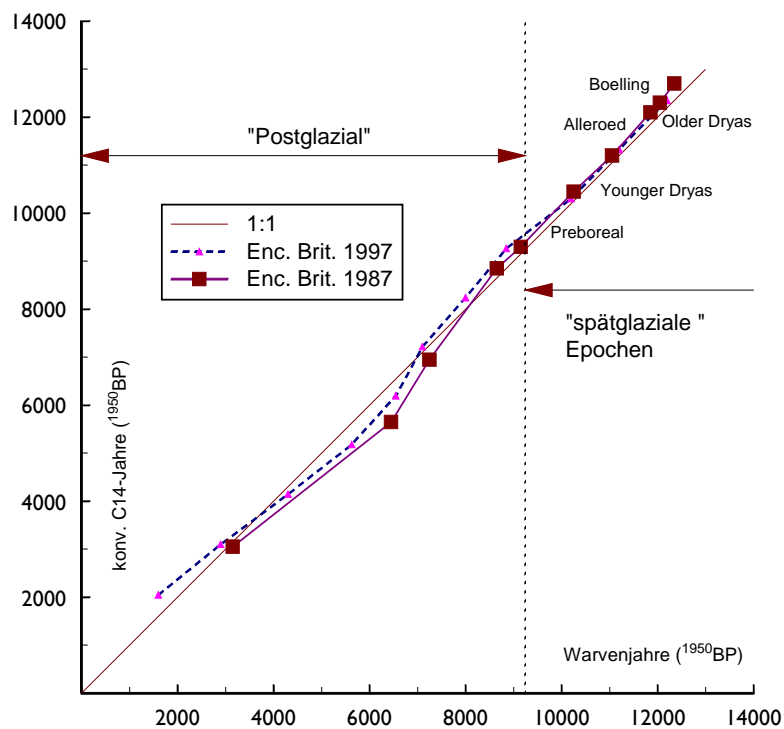
Tatsächlich haben sich jedoch im Laufe der Zeit erhebliche Diskrepanzen herausgestellt. Die Gegenüberstellung von Warven- und C14-Jahren in der Tabelle 1 (nach Lotter et al. [1992, 57f]) weist ebenso wie der erhebliche Anstieg des Verhältnisses von C14/C12 in Bild 2.17 in Blöss/Niemmitz [1997, 106] auf einen steileren Anstieg der Kalibrierkurve hin, der spätestens in der 97er-Ausgabe hätte aufgegriffen bzw. kommentiert werden müssen.

Die Kalibrierkurven der ENCYCLOPEDIA BRITANNICA geben demnach zumindest für die spätglazialen Epochen einen irreführenden Trend vor, der ein weiteres Mal die Wirksamkeit und scheinbare Unausrottbarkeit des Vorurteils über stationäre C14-Verhältnisse in der Atmosphäre verdeutlicht. Eine dem widersprechende Tendenz haben wir bereits in unserem Buch „C14-Crash“ anhand der Meßdaten aus Sedimenten schweizerischer Seen festgestellt, die auf eine systematische Erhöhung der C14-Produktionsrate von 40% gegenüber dem fiktiven stationären Maß schließen ließen.

### ... aus der Schwedischen Warwenchronologie

Wie sieht es nun für die postglaziale Epoche aus, in der für die schwedische Chronologie nur 5 Daten aus Lidén's Chronologie vorliegen? Wir gehen an dieser Stelle nicht auf die Qualität der Chronologie selber ein (vgl. dazu den Text zum Bild 2 in Blöss/Niemitz [1998, 326]), sondern weisen lediglich auf den Umstand hin, daß sie seinerzeit für jenen Zeitraum, den die kalifornische Bristlecone-Pine-Chronologie belegen sollte, nur zwei als „metachronous“ (irrtümlich datiert) zu wertende Vegetationsumschwünge aufweisen konnte [Tauber 1970, 190].

Uns wundert es nicht, daß die Bristlecone-Pine-Chronologie mit einem C14-Datum endete, an die dann die „spät-“ bzw. „postglaziale“ Warwenchronologien anschlossen. Das Absolutdatum selber kann aber aus dem C14-Termin dieses Bruchs - ca. 7.000 C14-Jahre - nicht unmittelbar abgeleitet werden.



ter aufweisen können, haben sich Warvenchronologen den Glauben bewahrt, daß ein C14-Alter in guter Näherung als Absolutalter gewertet werden darf. Das hat zu problematischen Vordatierungen neuerer Warvenchronologien geführt.

### *7.2 Warven werden mit C14 vordatiert*

Der unvorsichtige Umgang mit der C14-Methode führt zwangsläufig zur Verfälschung entsprechender Warvenchronologien, indem diese über C14-Daten so vorstrukturiert bzw. erweitert werden, daß mit dem C14-Alter einer Probe annähernd auch ihr Absolutalter gegeben war. Dabei führen bereits minimale Ungleichgewichte zwischen den Isotopenkonzentrationen in den verschiedenen Kohlenstoffreservoirs zu dramatischen Beschleunigungen der C14-Uhr [Blöss/Niemitz 1997, 380] und damit zu drastischen Unterschieden zwischen C14- und Absolutalter.

In der Praxis scheint aber an Warvenchronologen die Debatte um die Notwendigkeit und die Voraussetzungen der Kalibrierung von C14-Daten - nämlich wegen zurückliegender Veränderungen des atmosphärischen C14/C12-Verhältnisses (um hier von der Kalibrierbarkeit als solcher abzusehen) - lange Zeit vorbeigegangen zu sein. Es werden nämlich Warven- und C14-Jahre in der Regel direkt miteinander verglichen und dabei stets beruhigend geringe Abweichungen zwischen ihnen festgestellt - höchstens einige hundert Jahre für das gesamte Postglazial [Strömberg 1985a, 1985b; Lundquist 1986].

Die einschlägige Literatur aus den 50er Jahren, in denen ein C14-Alter noch vorbehaltlos als Absolutalter hingenommen wurde, weist C14-Datierungen für einen Zeitraum von insgesamt 70.000 Jahren aus. So ordnete H. Gross seinerzeit den Ablauf der letzten Eiszeit, dessen bisherige Beschreibungen ihm in einem „beklagenswerten Wirrwarr“ [Gross 1958, 183] erschienen war, allein mithilfe von C14-Datierungen neu an. Nachdem allerdings Ozeanographen deutlich gemacht haben, daß globale Temperaturänderungen zu Umschichtungen des Isotopengehaltes der Ozeane und damit in ungleich stärkerem Maße auch zu dem in der Atmosphäre führen müssen [Blöss/Niemitz 1997, 33ff.], extrapoliert niemand mehr C14/C12-Verhältnisse, selbst wenn sie für das Postglazial „konventionell“ noch als einigermaßen konstant gedacht werden, in die zurückliegenden Eiszeitperioden und -stadien. Es wäre eine interessante Aufgabe, die heutige „Glazialchronologie“ auf fragwürdige Wurzeln in zutiefst falsch verstandenen frühen C14-Daten zu überprüfen.

Björck et al. [1992, 37] weisen ausdrücklich darauf hin, daß sehr viele Warvenchronologien für den Eisrückzug in Schweden erstellt wurden, die tat-



sächlich auf der Verwendung von C14-Daten basieren. Die Tatsache, daß die Verwendung von C14-Daten als Quasi-Absolutdaten bislang von der Kritik verschont geblieben ist, hängt direkt damit zusammen, daß Warwenchronologien nahezu korrelationslos zu anderen Chronologien laufen. Sie ist allerdings um so erstaunlicher, als sich in den „spätglazialen“ Warwenchronologien außerordentlich hohe Diskrepanzen zwischen abgezählten Warwen und der entsprechenden Differenz in C14-Jahren offenbaren. Beispielsweise sind 600 Warwen aus dem Allerød für 1.300 C14-Jahre gut (siehe die folgende Tabelle 1, nach Daten von Lotter et al. [1992, 58; Blöss/Niemitz 1997, 106].

<b>Tabelle 1: Warwen- contra C14-Jahre</b>		
<b>Epoche</b>	<b>Warwenjahre</b>	<b>C14-Jahre</b>
Bølling	335	600
Older Dryas	-	-
Allerød	587	1.300
Younger Dryas	684	700
Preboreal	287	500
<b>Summe</b>	<b>1.893</b>	<b>3.100</b>

Ein „Link“ mit den Baumringchronologien wird nur im Spätglazial gesehen und hier klaffen die C14-Chronologien auch deutlich auseinander. Während Dendrochronologen die Diskrepanz zwischen ihren für jahrgenau ausgegebenen Baumringchronologien und der entsprechenden C14-Chronologie für das Holozän mit 1.280 siderischen Jahren angeben [Becker/Kromer 1986], sprechen Warwenchronologen dagegen nur von wenigen hundert Jahren [Lundquist 1986; Björck et al. 1987]. Obwohl Methoden, die sich gleichermaßen zur Jahrgenauigkeit ihrer Chronologien bekennen, Diskrepanzen solchen Ausmaßes nicht zwischen sich stehen lassen dürften, hat es bislang keine Debatte über die Konsequenzen für die eine oder die andere Methode gegeben.

Wir gehen davon aus, daß für die Komplettierung relevanter Warwenchronologien mangels anderer Möglichkeiten in großem Stil C14-Daten zur Hilfsdatierung herangezogen worden sind. Sie ermöglichten dann schein-signifikante, zugleich jedoch unangreifbare (weil unveröffentlicht bleibende) Synchronismen, die dann an die Stelle der C14-Daten gerückt sind.

Auch nach konventionellen Maßstäben ist die Ableitung einer Kalibrierkurve für C14-Daten aus einer Warwenchronologie nur eingeschränkt und auch nur seit der Entwicklung der AMS-Technologie möglich, da diese mit einem Bruchteil der für die konventionelle Auswertungstechnik benötigten Proben-

menge auskommt [vgl. Blöss/Niemitz 1997, 267]. Gerade bei dünnen Warwen stellt sich automatisch das Problem der Probenmenge. C14-Daten von organischen Einschlüssen in Warwen etwa aus den siebziger Jahren, in denen sich das Schicksal der C14-Methode über die Frage der Kalibrierbarkeit von C14-Daten entscheiden sollte, sind fragwürdig, weil sie naturgemäß nur aus Proben von vergleichsweise geringer Qualität gewonnen wurden und mit Sicherheit eine sehr hohe Streuung aufwiesen, ein Umstand, der dann auch zu einer Adaptierung des für richtig erachteten Trends der Kalibrierkurve genutzt werden konnte. Nur so ist die magere Belegdichte einer warwenchronologischen Kalibrierkurve aus der *ENCYCLOPEDIA BRITANNICA* von 1987 zu verstehen, die lediglich eine einzige Probe für die jüngsten 7.000 Jahre auszuweisen vermag (vergleiche Bild 8). Wir glauben gerne, daß sich unter den vorhandenen Proben auch eine befand, die mit dem fürwahr gehaltenen stationären Trend konform ging.

### *7.3 Warwenchronologien im Zirkelschluß*

Wegen der mangelnden Korrelation zu sonstigen Chronologien sind Warwenchronologien angehalten, einen Anschluß ihrer Chronologien ganz auf sich allein gestellt nicht nur an die „historische Zeit“ sondern bis an heute zu leisten. Da ein Simultanitätsprinzip, das die methodische Basis für die Synchronisierung von Teilsequenzen bildet, nicht nachgewiesen werden konnte und kann, bleiben chronologische Angaben aus Warwenchronologien des Spätglazials fragwürdig. Durchgehende Warwenchronologien aus dem Postglazial wurden erst dann intensiv untersucht, als sein chronologischer Rahmen bereits fixiert war, und die methodischen Probleme direkt und indirekt über das gegebene Zeitgerüst aus dem Wege geräumt werden könnten.

Gegebenenfalls stützen sich die Forscher auf unkalibrierte C14-Daten und wiegen sich in Sicherheit, damit in erster Näherung auch das Absolutalter zu kennen - Warwenchronologien sind damit von Eckdaten eines Chronologiegerüsts abhängig, zu deren Bestätigung sie nichts mehr beizutragen haben. Wir müssen auch für die Warwenchronologien einen Zirkelschluß ähnlich dem für C14-Methode und Dendrochronologie [vgl. Blöss/Niemitz 1997, 174] festhalten.

Warwenchronologien taugen nicht zum Kronzeugen für die C14-Methode. Dafür wurden bei der Zusammenstellung der Bändertone C14-Daten zu oft und immer wieder fälschlicherweise als Quasi-Absolutalter, also ohne Reflektion über mögliche Diskrepanzen zwischen C14- und Absolutalter, zur Hilfsdatierung herangezogen. Hilfsdatierungen waren und sind notwendig,

weil die Schichten entweder nicht durchgängig auszählbar sind (Holzmaar) oder deutlich strukturierte Schichten nicht zuverlässig miteinander synchronisiert werden können. Warwenchronologien sind „tongewordene“ Vorurteile über den quasistationären Zustand der Isotopenzusammensetzung der Atmosphäre und eine gradlinige Fortführung der Ansichten und Hoffnungen der einstigen Begründer der C14-Methoden.

Wir erkennen eine merkwürdige Harmonie zwischen überkommenen Zeitvorstellungen für das sogenannte Postglazial einerseits und dem Zeitrahmen, der sich aus der Stationaritätsidee für die C14-Methode ergibt, andererseits. Wenn diese Harmonie nicht zufällig perfekt sein sollte (was wir nicht glauben können), dann müssen noch erhebliche Diskrepanzen zwischen C14- und Warwendaten existieren. Das sich diese wegdiskutieren lassen, haben wir am Beispiel der warwologischen C14-Kalibrierung in der *ENCYCLOPEDIA BRITANNICA* (Bild 8) sehen können.

Nirgendwo sonst war und ist die Gewißheit von der Wahrhaftigkeit des Mythos einer universellen und elegant einfachen Anwendbarkeit der C14-Methode so stark wie in dieser Disziplin. Das ist um so verwunderlicher, als die frühesten (und auch besten) Warwenchronologien immer „glazial“ und damit in einem Zeitraum angesiedelt waren, für den naturgemäß erhebliche Temperaturschwankungen unterstellt werden mußten. Das wurde von H.E. Suess [1966] aber schon frühzeitig als Ursache dramatischer Änderungen in der Isotopenzusammensetzung der Atmosphäre und damit als (späteste) Grenze für die Anwendbarkeit der Datierungsmethode erkannt. Daß tatsächlich ungehemmt C14-Daten im Zusammenhang mit spät- und hochglazialen Warwen benutzt werden, ist für uns ein Hinweis, wie unverstanden die Grundlagen der C14-Methode tatsächlich sind.

Es zeichnet sich immer deutlicher ab, daß *jede* wissenschaftliche Disziplin, die Absolutdaten zu erzeugen versucht, sich nötigenfalls unhinterfragt und teilweise auch stillschweigend auf scheinbar abgesicherte Absolutdaten anderer Disziplinen stützt. Das hat auch der berühmte Altertumswissenschaftler H. Müller-Karpe festgestellt, der seine Kollegen davor warnte, ohne weiteres Daten zu übernehmen, die auf geologischen Zeitbestimmungsmethoden beruhten, denn Geologen benützten umgekehrt bereits vorhandene Daten archäologischer Einschlüsse: „Daraus erhellt, wie groß für den Prähistoriker die Gefahr eines Zirkelschlusses ist, wenn er bei chronologischen Einstufungen sich einseitig auf geologische Datierungen verläßt“ [Müller-Karpe 1966, 119]. Diese Mahnung darf man allen datierenden Disziplinen ans Herz legen.

## 8. Literatur

- Becker, B. und B. Kromer (1986): „Extension of the Holocene dendrochronology in Preboreal pine series, 8.800 to 10.100 BP”; in *RADIOCARBON* 28 961-67
- Björck, S., I. Cato, L. Brunnberg und B. Strömberg (1992): „The clay-varve based swedish time scale and its relation to the late weichselian radiocarbon chronology”; in: Ward/Broecker (1992, eds.) 25-44
- Björck, S., P. Sandgren und B. Holmquist (1987): „A magnetostratigraphic comparison between  $^{14}\text{C}$  years and varve years during Late Weichselian, indicating significant differences between the time scales”; in: *JOURNAL OF QUATERNARY SCIENCE* 2 133-40
- Blöss, C. und H.-U. Niemitz (1997): „C14-Crash. Das Ende der Illusion, mit Radiokarbonmethode und Dendrochronologie datieren zu können”; Gräfelfing (Mantis-Verlag)
- (1998): „Die schwedische Warvenchronologie. Kritik der Altersbestimmungsmethoden für das Quartär I”; in: *ZEITENSPRÜNGE* 10 (Heft 2) 320-344
- Bogen, J. (1988): „A monitoring programme of sediment transport in Norwegian rivers”; in: *IAHS PUBL.* 174 149-59
- Brauer, A (1994): „Weichselzeitliche Seesedimente des Holzmaars”; in: *DOCUMENTA NATURAE* 85
- Brauer, A., I. Hajdas, J.W.F. Negendank, B. Rein, H. Vos, B. Zolitschka (1994): „Warvenchronologie”; in: *GEOWISSENSCHAFTEN* 12 (Heft 10-11) 325-32
- Fromm, E. (1970): „An estimation of errors in the Swedish varve chronology”; in: Olsson (1970, ed.)
- Gross, H. (1958): „Die bisherigen Ergebnisse von  $\text{C}^{14}$ -Messungen und paläontologischen Untersuchungen für die Gliederung und Chronologie des Jungpleistozäns in Mitteleuropa und den Nachbargebieten”; in: *EISZEIT UND GEGENWART* 9, 155-187
- Hajdas, I. (1993): „Extension of the radiocarbon calibration curve by AMS dating of laminated sediments of Lake Soppensee and Lake Holzmaar”; Zürich (Dissertation an der ETH Zürich, Nr. 10157)
- Hajdas, I., S.D. Ivy-Ochs und G. Bonani (1995): „Problems in the Extension of the Radiocarbon Calibration Curve (10-13 kyr BP)”; in: *RADIOCARBON* 37 75-79
- Kuenen, P.H. und C.I. Migliorini (1950): „Turbidity currents as a cause of graded bedding”; in: *JOURNAL OF GEOLOGY* 58 91-127
- Lambert, A.M. und K.J. Hsü (1979): „Varve-like sediments of the Walensee, Switzerland”; zitiert nach: Leeman (1993) 8

- Leeman, Andreas (1993): „Rhythmite in alpinen Vorgletscherseen - Warvenstratigraphie und Aufzeichnung von Klimaveränderungen“; ETH Zürich, Dissertation DBN 94.375046.6
- Lotter, A.F., B. Ammann, J. Beer, I. Hajdas und M. Sturm (1992): „A step towards an absolute time-scale for the late-glacial: annually laminated sediments from Soppensee (Switzerland)“; in: Ward/Broecker (1992, eds.) 45-68
- Lundquist, J. (1986): „Late Weichselian Glaciation and Deglaciation in Scandinavia“; in: Sibrava et al. (1986, eds.) 269-92
- Müller-Karpe, H. (1966): „Handbuch der Vorgeschichte. Erster Band: Altsteinzeit“; München (C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung)
- Olsson, I.U. (1970, ed.): „Radiocarbon Variations and Absolute Chronology“; Stockholm (Almqvist & Wiksell)
- Pettijohn, F.J., und P.E. Potter (1964): „Atlas and glossary of primary sedimentary structures“; Berlin et al. (Springer-Verlag)
- Sibrava, V., D.Q. Bowen und G.M. Richmond (1986, eds.): „Quaternary Glaciation in the Northern Hemisphere“; in: QUATERNARY SCIENCE REVIEW 5
- Siegenthaler, Ch. und M. Sturm (1991): „Slump induced surges and sediment transport in Lake Uri, Switzerland“; in: VERH. INTERNAT. VEREIN. LIMNOL. 24 955-58
- Sonett, C.P., S.A. Finney und C.R. Williams (1988): „The lunar orbit in the late Precambrian and the Elatina sandstone laminae“; in NATURE 335 806-808.
- Strömberg, B. (1985a): „New varve measurements in Västergötland, Sweden“; in: BOREAS 14 111-16
- (1985b): „Revision of the late glacial Swedish varve chronology“; in: BOREAS 14 101-105
- Suess, H.E. (1965): „Secular variations of the cosmic-ray produced carbon 14 in the atmosphere and their interpretations“; in: Journal of Geophysical Research 70 (23) 5.937-5.952
- Tauber, H. (1970): „The Scandinavian varve chronology and C14 dating“; in: Olsson (1970, ed.) 173-96
- Ward, E. und W.S. Broecker (1992): „The Last Deglaciation: Absolute and Radiocarbon Chronologies“; NATO ASI Series I, Vol.2, Berlin et al. (Springer-Verlag)
- Wenner, C.-G. (1968): „Comparison of varve chronology, pollen analysis and radiocarbon dating“; in: Acta Universitatis Stockholmiensis (Stockholm Contributions in Geology) XVIII (3) 75-97
- Williams, G.E. (1989): „Late Precambrian tidal rhythmites in South Australia and the history of earth's rotation“; in: JOURNAL OF GEOLOGY 146 97-111

- Williams, G.E. und C.P. Sonett (1985): „Solar signatures in sedimentary cycles from the late Precambrian Elatina formation, Australia”; in: *NATURE* 318 523-27
- Zbinden, H., M. Andree, H. Oeschger, B. Ammann, A. Lotter, G. Bonani, und W. Wölfli (1989): „Atmospheric radiocarbon at the end of the last glacial: An estimate based on AMS radiocarbon dates on terrestrial macrofossils from lake sediments”; in: *RADIOCARBON* 31 795-804
- Zillmer, H.-J. (erscheint Herbst 1998): „Darwins Irrtum. Vorsintflutliche Funde be- weisen: Dinosaurier und Menschen lebten gemeinsam”; München (Langen Müller)
- Zolitschka, H. (1990): „Spätquartäre jahreszeitlich geschichtete Seesedimente aus- gewählter Eifelmaare. Paläolimnologische Untersuchungen als Beitrag zur spät- und postglazialen Klima- und Besiedlungsgeschichte”; in: *DOCUMENTA NATURAE* 85
- Zolitschka, H., B. Haverkamp und J.W.F. Negendank (1992): „Younger Dryas Oscil- lation - Varve Dated Microstratigraphic, Palynological and Paleomagnetic Re- cords from Lake Holzmaar, Germany”; in: Ward/Broecker (eds.) 1992 81-101