

Karl-Ernst Behre (Hrsg.)

Die chronologische Einordnung der paläolithischen Fundstellen
von Schöningen

The chronological setting of the Palaeolithic sites of Schöningen

FORSCHUNGEN ZUR URGESCHICHTE AUS DEM TAGEBAU VON SCHÖNINGEN

Band 1

Römisch-Germanisches
Zentrum
Forschungsinstitut für
Archäologie

R | G | Z | M



Niedersächsisches Landesamt
für Denkmalpflege



Römisch-Germanisches Zentralmuseum
Forschungsinstitut für Archäologie

Niedersächsischen Landesamt
für Denkmalpflege

Römisch-Germanischen Kommission
des Deutschen Archäologischen Instituts

Karl-Ernst Behre (Hrsg.)

**DIE CHRONOLOGISCHE EINORDNUNG
DER PALÄOLITHISCHEN FUNDSTELLEN
VON SCHÖNINGEN**

**THE CHRONOLOGICAL SETTING
OF THE PALAEOLITHIC SITES
OF SCHÖNINGEN**

Gefördert durch



**Niedersächsisches Ministerium
für Wissenschaft und Kultur**

Redaktion: Karl-Ernst Behre; Martin Schönfelder (RGZM)
Satz: Manfred Albert (RGZM);
Michael Braun (Datenshop Wiesbaden)
Umschlaggestaltung: Reinhard Köster (RGZM)
unter Verwendung eines Fotos von Utz Böhner
sowie einer Grafik von Felix Bittmann

**Bibliografische Information
der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-88467-204-4

© 2012 Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funk- und Fernsehsendung, der Wiedergabe auf fotomechanischem (Fotokopie, Mikrokopie) oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, Ton- und Bildträgern bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Die Vergütungsansprüche des § 54, Abs. 2, UrhG. werden durch die Verwertungsgesellschaft Wort wahrgenommen.

Druck: Beltz Bad Langensalza GmbH
Printed in Germany.

INHALT

| | |
|--|------|
| <i>Johanna Wanka</i> Grußwort | VII |
| <i>Stefan Winghart</i> Vorwort zur neuen Reihe | IX |
| <i>Karl-Ernst Behre</i> Vorwort zum ersten Band | XIII |
| <i>Jordi Serangeli · Utz Böhner · Henning Haßmann · Nicholas J. Conard</i> Die pleistozänen Fundstellen in Schöningen – eine Einführung | 1 |
| <i>Jordi Serangeli · Utz Böhner</i> Die Artefakte von Schöningen und deren zeitliche Einordnung | 23 |
| <i>Jörg Lang · Jutta Winsemann</i> The 12II DB outcrop section at Schöningen: sedimentary facies and depositional architecture | 39 |
| <i>Klaus-Dieter Meyer</i> Stratigraphie des Saale-Komplexes in Niedersachsen und die Schöninger Profile | 61 |
| <i>Brigitte Urban · Melanie Sierralta</i> New palynological evidence and correlation of Early Palaeolithic sites Schöningen 12 B and 13 II, Schöningen open lignite mine | 77 |
| <i>Felix Bittmann</i> Die Schöninger Pollendiagramme und ihre Stellung im mitteleuropäischen Mittelpleistozän | 97 |
| <i>Thijs van Kolfschoten</i> The Schöningen mammalian fauna in biostratigraphical perspective | 113 |
| <i>Rudolf Musil</i> Die stratigraphische Anwendung der Evolution der Pferde im Hinblick auf die Funde von Schöningen | 125 |
| <i>Danielle Schreve</i> The Reinsdorf interglacial (Schöningen II) mammalian assemblage in its European context | 129 |

| | |
|---|-----|
| <i>Melanie Sierralta · Manfred Frechen · Brigitte Urban</i> ²³⁰ Th/U dating results from opencast mine Schöningen | 143 |
| <i>Mebus A. Geyh · Matthias Krbetschek</i> Zum radiometrischen Alter des Holstein-Interglazials | 155 |
| <i>Daniel Richter · Hartmut Thieme</i> One first chronometric date for the Lower Palaeolithic occupation at Schöningen 13 I | 171 |
| <i>Utz Böhner · Jordi Serangeli</i> Literaturverzeichnis zu den pleistozänen Fundstellen und den naturwissenschaftlichen Untersuchungen im Tagebau Schöningen bis Juli 2012 | 183 |
| Autorenverzeichnis | 193 |

GRUSSWORT

EINE NEUE WISSENSCHAFTLICHE REIHE ZUM FUNDORT SCHÖNINGEN

Schöningen zählt weltweit zu den zehn wichtigsten Orten der Archäologie. Hier wurde erstmals nachgewiesen, dass der Frühmensch über kognitive Fähigkeiten verfügte, die den unseren entsprechen. Die Menschheitsgeschichte musste daraufhin neu geschrieben werden. Heute lernen schon Kinder in der Schule, dass die Menschen vor mehr als 300 000 Jahren intelligente Wesen und uns im Entwickeln technologisch sinnvoller Werkzeuge ebenbürtig waren. Die Schöninger Speere und die damit verbundenen Erkenntnisse fanden in den letzten zehn Jahren Eingang in die Schulbücher.

Schöningen ist ein archäologischer Fundort, der hervorragend belegt, dass nur in engster Abstimmung mit den unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Disziplinen Erkenntnisse über die Vorzeit gewonnen werden können.

Das Niedersächsische Landesamt für Denkmalpflege führt seit über zwei Jahrzehnten Grabungen im Braunkohletagebau durch und treibt engagiert die Erforschung der Funde voran. Aktuell untersuchen Wissenschaftler in zwei DFG-Projekten unterschiedliche Aspekte des Schöninger Speerhorizontes.

Das Land Niedersachsen hat in den letzten Jahren erhebliche Mittel für die archäologische Forschung in Schöningen bereitgestellt. So freut es mich besonders, dass mit der neuen Reihe »Forschungen zur Urgeschichte aus dem Tagebau Schöningen« die gewonnenen Erkenntnisse der wissenschaftlichen Welt publik gemacht werden. Diese Reihe, deren Essays und Monographien einem peer-review-Verfahren unterzogen werden, setzt vorbildliche Standards.

Ich danke dem Herausgeber des ersten Bandes, Herrn Prof. Karl-Ernst Behre, für sein großes Engagement, ohne das dieses Buch nicht entstanden wäre. Mein Dank gilt auch den Autoren für ihre Beiträge sowie den Mitgliedern der »Wissenschaftlichen Kommission Schöningen«, denn ohne sie wäre die Aufarbeitung der einzigartigen Fundstelle noch nicht so weit fortgeschritten.

Prof. Dr. Johanna Wanka
Niedersächsische Ministerin für Wissenschaft und Kultur

VORWORT ZUR NEUEN REIHE

Tief im niedersächsischen Boden bei Schöningen im Landkreis Helmstedt stießen Archäologen 1994 auf einen Fund, der die bisher gültigen Vorstellungen vom Urmenschen verändern sollte. An einem früheren Seeufer hatten Urmenschen, Vorfahren der Neandertaler, vor über 300 000 Jahren Jagd auf Wildpferde gemacht. Dank nahezu unwahrscheinlicher Erhaltungsbedingungen ist der Fundplatz bis heute hervorragend bewahrt geblieben – einschließlich der ansonsten rasch vergänglichen Funde aus organischem Material wie Holz und Knochen. Das Jagdlager wurde in den Jahrhunderttausenden nach und nach durch ein über zehn Meter mächtiges Schichtpaket überdeckt und luftdicht konserviert. So sind die ältesten vollständig erhaltenen Jagdwaffen der Menschheit auf uns gekommen: Die hölzernen Schöninger Speere. Ein Fund wie dieser bedeutet Verpflichtung; die wissenschaftliche Behandlung muss sich an internationalen Qualitätsstandards messen lassen.

Die Entdeckung der Fundstelle ist das Ergebnis einer konsequenten archäologischen Begleitung des Braunkohlentagebaus Schöningen durch das Niedersächsische Landesamt für Denkmalpflege (NLD), das dort seit 1983 im Rahmen eines forschungsorientierten Schwerpunktprogramms nahezu ganzjährig umfangreiche Rettungs- und Forschungsgrabungen durchführt. Die Initialzündung für das von Dr. Hartmut Thieme konzipierte Projekt »Archäologische Schwerpunktuntersuchungen im Helmstedter Braunkohlerevier« (ASHB) waren die durch den Bau des Kraftwerkes Buschhaus notwendig gewordenen Ausgrabungen der Jahre 1981 und 1982, die auf eine Meldung des ehrenamtlichen Heimatforschers Hans Germer zurückgingen, dem das Projekt auch in der Folge mannigfaltige Unterstützung zu verdanken hat. Seit der Entdeckung der damals ältesten Befestigungsanlage Niedersachsens, dem jungsteinzeitlichen Erdwerk von Esbeck, gelangen Hartmut Thieme und seinem kleinen Team großartige Funde aus mehr als dreihunderttausend Jahren Menschheitsgeschichte.

Primäres Ziel dieses, auch in grabungsmethodischer Sicht, innovativen archäologischen Großprojektes war und ist die Rettung des unersetzlichen, von Zerstörung bedrohten Quellenmaterials. Zugleich war es gemäß dem Auftrag der archäologischen Denkmalpflege immer auch ein Forschungsprojekt. So gelang es, exemplarisch sämtliche Hinterlassenschaften einer überprägten ur- und frühgeschichtlichen Kulturlandschaft vor der Zerstörung durch den 6 km² großen Abbau aufzuspüren und weitgehend lückenlos zu dokumentieren. Bemerkenswert ist es, dass vor Anlage des Suchschnitttrasters kaum Fundstellen bekannt waren, denn luftbildarchäologische Beobachtungen waren wegen der Lage direkt an der Grenze zur DDR bis 1990 nicht möglich gewesen.

Mittlerweile ist ein Areal von mehr als 400 000 m² ausgegraben, zahlreiche urgeschichtlichen Siedlungen, Befestigungsanlagen und Gräber aus der Jungsteinzeit sowie der Bronze- und Eisenzeit wurden untersucht und gesichert. Viele dieser Befunde sind für Niedersachsen, zum Teil auch für ganz Deutschland, von hoher Bedeutung.

Während die holozänen Befunde unmittelbar unter der Humusschicht lagen, konnten die tief liegenden Relikte aus dem Quartär erst seit 1992 durch den tiefgreifenden Einschnitt des Schaufelradbaggers erreicht werden. In 10-15 m Tiefe erschloss sich hier in den mächtigen Ablagerungen aus dem Eiszeitalter ein ganzes Areal mit mehreren bedeutenden Fundstellen in unterschiedlichen »Stockwerken« des Bodenarchivs aus der Zeit des Heidelbergmenschen. Es ist der bleibende Verdienst von Dr. Hartmut Thieme, dass er die Aufschlüsse systematisch beobachtete, das Potenzial erkannte und schließlich die entscheidenden Fundstellen entdeckte und barg. Die dabei aufgedeckten Spuren reichen in das Altpaläolithikum und sind bis zu

einer halben Million Jahre alt. Sie sind damit nicht nur die ältesten Nachweise von Hominiden in Niedersachsen, sondern sie gehören auch zu den frühesten Spuren des Menschen in Europa.

Vor allem das 1994 entdeckte Jagdlager erwies sich als wissenschaftliche Sensation. Hier hatten die steinzeitlichen Jäger an einem Seeufer Wildpferde erlegt und uns die ältesten Holzartefakte der Menschheit hinterlassen. Die sorgfältig bearbeiteten Wurfspeere belegen die organisierte Jagd auf schnell fliehende Herden, die ohne planendes Handeln und Kommunikationsvermögen undenkbar gewesen wäre. Die kognitiven Fähigkeiten des Heidelbergmenschens wurden, dies zeigte der Schöninger Fund, in der Forschung bis dahin unterschätzt. Wie an keiner anderen Fundstelle in der Welt beleuchten die Grabungen in Schöningen das Dunkel der Urgeschichte. Der *Homo erectus* war kein Aasfresser und Spielball der Natur, er verfügte vielmehr über hohe technologische Fähigkeiten, ausgefeilte Jagdstrategien und wohl auch über ein komplexes Sozialgefüge und damit über die erst dem modernen Menschen zugeschriebenen, intellektuellen Fähigkeiten des vorausschauenden und planenden Denkens und Handelns.

Von herausragender Bedeutung sind auch die geologischen Untersuchungsergebnisse in Schöningen: Die ständige Beobachtung und Untersuchung der vom Braunkohlentagebau aufgeschlossenen Abbauwände auf einer Fläche von einem Quadratkilometer Größe gewährt einen detaillierten Blick in den geologischen Aufbau und die erdgeschichtliche Abfolge der insgesamt über 30 Meter mächtigen eiszeitlichen Deckschichten. Die besondere geologische Situation im Schöninger Tagebau ermöglichte die Entdeckung eines bislang in dieser Komplexität noch nicht dokumentierten warmzeitlichen Schichtpakets, das der Ausgräber Hartmut Thieme zunächst als eigenständiges Reinsdorf-Interglazial angesprochen hat, das aber nicht zuletzt durch die neuen, in diesem Band veröffentlichten Ergebnisse als eine Phase der Holsteinwarmzeit bezeichnet werden darf. Mit dem Aufschluss in Schöningen liegt nördlich der Alpen nun der bisher vollständigste an einer Lokalität erarbeitete Groß-Klimazyklus des Eiszeitalters der letzten 500 000 Jahre und damit ein einzigartiges Klimaarchiv vor.

Das Schöningenprojekt steht modellhaft für den niedersächsischen Weg einer forschungsorientierten Denkmalpflege, die neben der archäologischen Alltagsarbeit in wissenschaftlich breit vernetzten Schwerpunktprogrammen auch auf herausragende Objekte fokussiert, die wesentlich neue Erkenntnisse über die Ur- und Frühgeschichte unseres Landes liefern. Die archäologische Denkmalpflege erfüllt damit den Auftrag des Niedersächsischen Denkmalschutzgesetzes, das explizit die Erforschung der Denkmale verlangt. Angesichts der bei einem solchen Großprojekt wie in Schöningen anfallenden enormen Fund- und Datenmengen tritt die wissenschaftliche Auswertung dabei naturgemäß zunächst gegenüber der Rettung der Befunde zurück. Voraussetzung für die wissenschaftlichen Analysen in den diversen beteiligten Fachgebieten ist die technische und konservatorische Aufarbeitung der Funde und Befunde. Die Verantwortung für das sensible Material, die Entwicklung und Auswahl optimaler, z. T. neuer konservatorischer Methoden für die hochfragilen Holz- und Knochenfunde liegt bei der Restaurierungswerkstatt des Landesamtes für Denkmalpflege und bildet damit die Grundvoraussetzung für die nachhaltige Sicherung der einmaligen Funde – in engem Austausch und mit großzügiger Unterstützung der Partnerinstitutionen wie allen voran dem Römisch-Germanischen Zentralmuseum in Mainz und dem Züricher Landesmuseum. Die Dokumentation der Speere wie auch all der übrigen, einmaligen altpaläolithischen Holzgerätschaften ist wegen der Empfindlichkeit des Materials äußerst aufwendig und wird im NLD in enger Zusammenarbeit mit den genannten Institutionen in einer eigens für die Nasshölzer entwickelten Technik vorgenommen.

Das enorme wissenschaftliche Potenzial der Fundstelle kann nur ausgeschöpft werden, wenn viele verschiedene Fachrichtungen interdisziplinär eng zusammenarbeiten. Die archäologische Fachkompetenz des NLD wurde von Anbeginn des Projektes durch die enge Einbindung von renommierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Hochschul- und Forschungsinstitutionen im In- und Ausland ergänzt, deren Ergebnisse ihren Niederschlag in dieser Reihe finden sollen. Neben vielen Partnern der verschiedensten Dis-

ziplinen ist vor allem das Institut für Ur- und Frühgeschichte, Abt. Ältere Urgeschichte und Quartärökologie der Universität Tübingen unter seinem Leiter Prof. Dr. Nicholas Conard zu nennen, mit dem seit etlichen Jahren eine intensive Kooperation im Gelände und in der Fortführung der Grabung und der Aufarbeitung besteht.

Durch eine Prioritätensetzung innerhalb der archäologischen Denkmalpflege für das Schöningensprojekt, die Forschungsleistung vieler Partner und gezielt eingesetzte Forschungsmittel des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur konnte schon in der durch die Rettungsgrabungen geprägten Phase erhebliche Erkenntnisgewinne verzeichnet werden. Inzwischen haben diese Erkenntnisse aus dem Landkreis Helmstedt Eingang in die Schul- und Sachbücher, Fernsehproduktionen und Hunderte von Presseartikeln in aller Welt gefunden. Mehr als 100 wissenschaftliche Publikationen liegen vor. Die mit diesem Band beginnende Reihe »Forschungen zur Urgeschichte aus dem Tagebau von Schöningens« soll die neuesten Grabungs- und Forschungsergebnisse vorstellen und in einen größeren Kontext setzen.

Das Land Niedersachsen, dem durch dieses kulturelle Erbe der Menschheit eine besondere Verantwortung zugewachsen ist, bekennt sich auch in Zukunft zu diesem Großprojekt der archäologischen Denkmalpflege. Auf Grundlage der bislang erarbeiteten Ergebnisse forciert das Land die laufenden Forschungen durch eine gezielte Förderung. Die vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur bestellte wissenschaftliche Kommission für Schöningens, die sich aus international anerkannten Forschern und Denkmalpflegern zusammensetzt, begleitet und unterstützt die Arbeiten.

Inzwischen tangiert der Braunkohlentagebau keine archäologischen Fundstellen mehr, so dass sich der Charakter der Grabungen von einer unter Zeitdruck stehenden Rettungsgrabung zu einer DFG-geförderten Forschungsgrabung entwickelt hat. Die Bewältigung der immensen Aufgaben zur Rettung, Bergung, Bearbeitung und Konservierung bis hin zur wissenschaftlichen Auswertung und Veröffentlichung der Funde und Befunde aus Schöningens wird jedoch auch in Zukunft noch viel Kraft kosten.

An dieser Stelle gebührt »E.ON – Kraftwerke GmbH« (zuvor Braunschweigische Kohlen-Bergwerke AG) in Helmstedt besonderer Dank. E.ON hat die archäologischen Untersuchungen über drei Jahrzehnte technisch vielfältig unterstützt. Die weitsichtige Entscheidung, die Speerfundstelle vom Abbau auszusparen und mit großem Aufwand zu sichern war die Grundvoraussetzung für die systematischen Ausgrabungen dieses komplexen Schichtpaketes.

Die Erkenntnisse, die uns diese Funde eröffnen, erweitern unser Bild vom Menschen, seinen Fähigkeiten und der Dauer kultureller Entwicklung. Sie berühren uns direkt, denn am Ende der Entwicklung stehen wir selbst, die heutigen Menschen. Als Ergebnis der Bemühungen von Landesregierung und Landesamt, der Stadt, des Landkreises und des Fördervereins »Schöninger Speere – Erbe der Menschheit e.V.« mit einer Vielzahl von Partnern, werden die Schöninger Fundstellen in ihrem ganzen Kontext als wichtige Teile im großen historischen Puzzlespiel zur Frage der Menschheitsentwicklung in Kürze eine dauerhafte und adäquate Präsentation in der Nähe der authentischen Fundstätte in dem vor Ort konzipierten Forschungs- und Erlebniszentrum »paläon« erfahren.

Ich freue mich, dass mit diesem ersten Band der neu begründeten Reihe zu den altpaläolithischen Forschungen in Schöningens ein erster Schritt zur Vorlage der bedeutenden Ergebnisse gemacht wurde. Dafür danke ich den Mitherausgebern, dem Römisch-Germanischen Zentralmuseum in Mainz und der Römisch-Germanischen Kommission des Deutschen Archäologischen Institutes, allen beteiligten Autoren und dem Redaktionsteam. Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Karl-Ernst Behre, der das mühselige Geschäft der Herausgabe dieses Bandes übernommen hat.

Dr. Stefan Winghart

Präsident des Niedersächsischen Landesamtes für Denkmalpflege

VORWORT ZUM ERSTEN BAND

Der Braunkohlentagebau von Schöningen hat durch den Fund eines Jagdlagers mit zahlreichen Pferde-
resten und den damit in Zusammenhang stehenden bislang ältesten bekannten Speeren eine wissen-
schaftliche Bedeutung erlangt, die weltweite Beachtung findet. Darüber hinaus erwiesen sich die hangen-
den pleistozänen Schichten, in denen die Funde lagerten, als mehrfach durch minerogene, limnische und
torfige Schichten gegliederte Folgen, die einen hervorragenden Einblick in den Ablauf der mittelpleisto-
zänen Klima- und Landschaftsentwicklung ermöglichten.

Damit war Schöningen zu einem Schlüsselgebiet für die gesamte mitteleuropäische Eiszeitalterforschung
geworden. An diesen Aufschlüssen sollte es möglich sein, offene Fragen des Mittelpleistozäns zu lösen, so
vor allem die genaue Zeitstellung der einzelnen Abschnitte. Der dafür hervorragend geeignete Fundplatz
machte es möglich, dass hierfür zahlreiche Disziplinen zum Einsatz kamen: Geologie, Archäologie, Histori-
sche Geobotanik, Zoologische Paläontologie und dazu die absoluten Datierungen der Physiker.

Jahrelang hatte das Niedersächsische Landesamt für Denkmalpflege die Untersuchungen in Schöningen
alleine betreut, dabei wurden die spektakulären Entdeckungen gemacht. Wegen der weltweiten Bedeu-
tung dieses Platzes berief dann 2007 der Niedersächsische Minister für Wissenschaft und Kultur eigens eine
wissenschaftliche Kommission zur Koordinierung der Weiterführung, insbesondere der nun folgenden
umfangreichen Auswertungsarbeiten.

Ein wichtiges Ziel dieser Kommission war die Zusammenführung der verschiedenen Ergebnisse und Datie-
rungen aus den beteiligten Wissenschaftszweigen. Dazu diente ein auf die engsten Fachleute begrenzter



Die Teilnehmer der Tagung im Oktober 2009 in Hannover. – (Foto H. Haßmann).

Workshop zur chronologischen Einordnung der paläolithischen Funde von Schöningen, der im Oktober 2009 in Hannover stattfand und von Nicholas Conard und dem Unterzeichnenden geleitet wurde.

Der Workshop war so strukturiert, dass für jede Disziplin jeweils ein Referat von einem der in Schöningen direkt Beteiligten und ein weiteres für den größeren (mittel)europäischen Rahmen gehalten wurde. Dieser Aufbau spiegelt sich auch in den Beiträgen wider, die in diesem Band enthalten sind.

Mit der hier vorgelegten Publikation wird eine neue Schriftenreihe mit dem Titel »Forschungen zur Urgeschichte aus dem Tagebau von Schöningen« begründet. Wie in den naturwissenschaftlichen Zeitschriften üblich, unterlagen alle eingesandten Manuskripte auch hier dem Peer-Review-Verfahren, in dessen Verlauf die Beiträge durch Kommentare und Kritik von Fachkollegen vielfach noch verbessert wurden. Die Veranstalter haben deshalb nicht nur den Autoren, sondern auch den teils anonymen Referees zu danken, die ebenfalls viel Mühe aufgebracht haben.

Der Leser wird erkennen, dass es als wesentliches Ergebnis des Workshops und den daraus hervorgegangenen Beiträgen zu einem weitgehenden Konsens über die Chronologie des Schöninger Mittelpleistozäns gekommen ist und dieser Tagebau damit seine Schlüsselfunktion in Mitteleuropa gefestigt hat.

Karl-Ernst Behre

ZUM RADIOMETRISCHEN ALTER DES HOLSTEIN-INTERGLAZIALS

Die Entdeckung Urey's (1950), dass die Isotopenzusammensetzung des Sauerstoffs mariner Kalke ein präzises Paläotemperatursignal enthält, ermöglichte Emiliani (1955), seine weltweit akzeptierten Marine Isotopenstadien einzuführen, in der Glaziale mit geraden Zahlen und Interglaziale mit ungeraden Zahlen durchnummeriert sind. Ein unerwartetes Nebenergebnis dieser Arbeit war, dass es weit mehr als die bis dahin angenommenen vier terrestrischen Glazial-/Interglazialzyklen im Quartär gegeben hat. Shackleton (1969) gelang dann die erste Korrelation mit der Zuordnung des Eem-Interglazials zum MIS 5e. Ein nächster bedeutender Schritt war die Entwicklung der numerischen Chronologie der marinen Isotopenstadien (Shackleton / Opdyke 1973), die später mehrmals präzisiert wurde (z. B. Bassinot u. a. 1994). Das Alter des »Großen Interglazials«, des Holsteins, blieb jedoch bis heute kontrovers diskutiert (z. B. Scourse 2006). Unter Holstein folgen wir der Definition der INQUA-Subcommission on European Quaternary Stratigraphy (SEQS; Litt u. a. 2005).

Multidisziplinäre Analogieschlüsse konzentrierten sich zwar immer häufiger auf MIS 11 für das Holstein-Interglazial, also ein »absolutes« Alter um 410 ka, ließen aber bisher keine endgültige Festlegung zu. Als wesentliche Stütze der Zuordnung zu MIS 11 wird das zusammengesetzte Pollenprofil vom Zentral Massiv in Frankreich (Reille u. a. 2000) angesehen, nach dem das Praclaux-Interglazial zuverlässig mit MIS 11 gleichzusetzen ist. Weniger belastbar (Geyh / Müller 2005) ist der darauf aufbauende Analogieschluss, dass dieses Isotopenstadium auch mit dem Holstein-Interglazial korreliert sein soll. Geyh / Müller (2005) fanden schlüssige und bis heute nicht widerlegte Argumente, dass das Holstein-Interglazial besser dem folgenden Landos-Interglazial (MIS 9) ähnelt. Der Mittelwert aller bestimmten $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter von Torfen aus Bossel (Lkr. Stade) von 312 ± 3 ka (Geyh / Müller 2005) ließ eine sichere Zuordnung zu MIS 9 zu. Mit der ständigen Weiterentwicklung sensibler und nachvollziehbarer Kriterien zur Identifizierung von Datensätzen postsedimentär ungestörter und gestörter Proben (Geyh 2008) wurde dieses Ergebnis gefestigt. Die scheinbare Diskrepanz zur Einordnung des pollenanalytisch gleich alten englischen Hoxnian-Typusprofils Marks Tey (Essex/GB) zum MIS 11 wurde mit der Berechnung von $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Maximalaltern aus den U/Th-Isotopenmesswerten (Geyh / Müller 2005; Geyh 2008) weitgehend ausgeräumt.

METHODE DER $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -ALTERSBESTIMMUNG

Die Methode, Niedermoortorfe und Lignit mit Hilfe der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Methode zu datieren, ist in mehreren Arbeiten ausführlich vorgestellt worden (van der Wyk u. a. 1986; van der Plicht / Heijnis 1989; Heijnis 1992; Heijnis / van der Plicht 1992; Heijnis u. a. 1993; Geyh u. a. 1997; Geyh / Techmer 1997; Rowe u. a. 1997; Geyh 2008). Es brauchen deshalb hier nur die wesentlichen Aspekte wiederholt werden.

Uran, das leicht wasserlöslich ist und deshalb auch im Grundwasser vorkommt, wird aufgrund des hohen Absorptionsvermögens humoser Stoffe für Schwermetalle im wachsenden Niedermoortorf fest gebunden und angereichert. In der Folgezeit wächst durch radioaktiven Zerfall radiogenes ^{230}Th aus dem Uran-Isotop ^{234}U . Damit wird das Aktivitätsverhältnis (AV) $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ – physikalisch gesehen – zu einem Chronometer, dessen Anwendung geschlossene Systeme erfordert, in denen postsedimentär Uran und Thorium weder

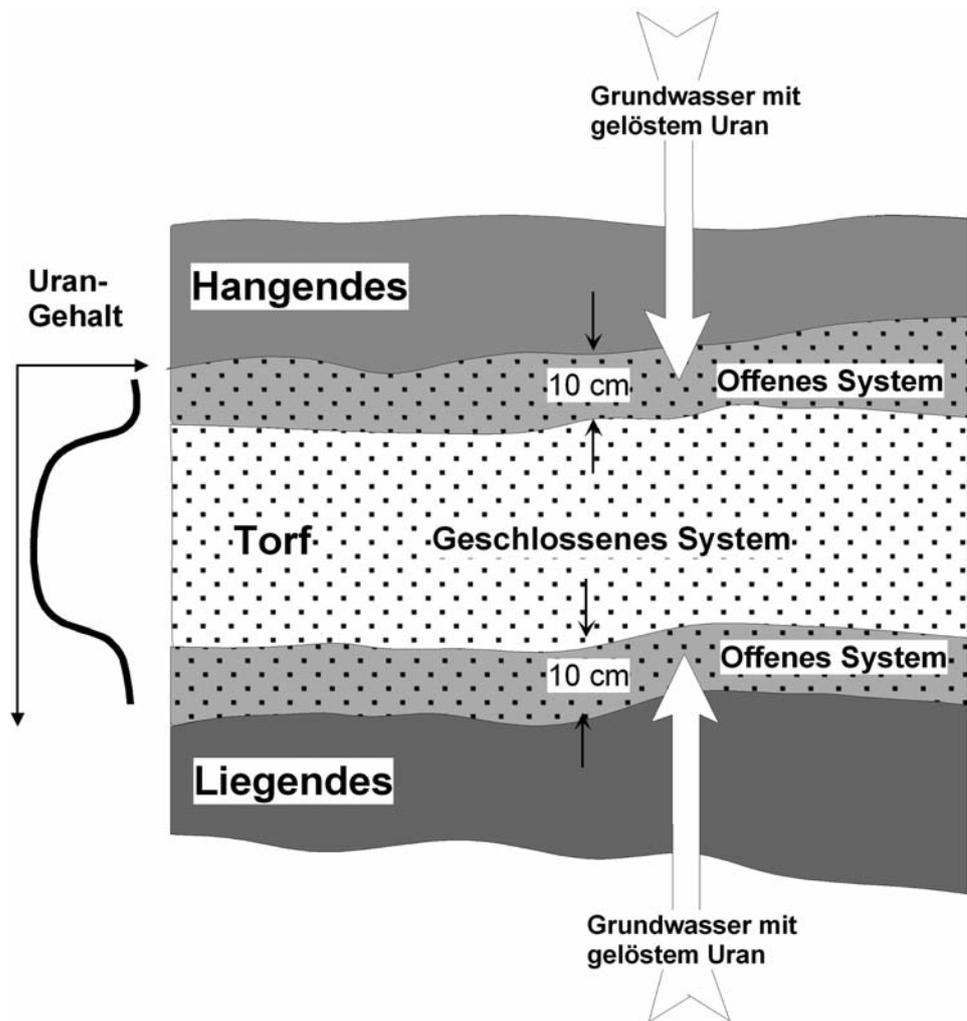


Abb. 2 Schematischer Schnitt durch ein idealisiertes Vorkommen interglazialer organischer Ablagerungen. Die Kernzone ist für die $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Altersbestimmung geeignet, die Randzonen mit laufender Urananreicherung (offenes System) nicht.

Müller 2005), und massenspektrometrisch genauere $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Altersbestimmungen (Tab. 1; Abb. 3, Labornummern >2000) durchgeführt.

Das Holstein-Typusprofil Bossel enthält zwei organischen Schichten, zwischen die Sand und Schluff eingeschaltet sind. Sie waren in den Bohrkernen so dünn, dass einige Proben für die Datierung nahe der wenig geeigneten Randzonen entnommen werden mussten (Abb. 3). Dadurch wurde es aber möglich, die Effizienz der Methoden zur Auswahl zuverlässiger und unzuverlässiger Messdaten zu beurteilen. Die Mess- und Auswertungsergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Standardabweichung des Mittelwerts der einzelnen $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter ist mit 4 ka um 1 ka etwas größer als die von Geyh / Müller (2005) veröffentlichte, weil durch die Verschärfung der Auswahlkriterien zwei weitere Ergebnisse von der Endauswertung ausgeschlossen werden mussten.

KORREKTUR- UND AUSWAHLVERFAHREN

Ideale Modellbedingungen zur Anwendung der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Methode sind in der Natur selten erfüllt. Es gibt mehrere genetische, geochemische und physikalische Prozesse, die die radiometrische Altersbestimmung

| Labor Nr. | Tiefe m | Asche % | $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ | $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ | $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ | $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter ka | Max.-Alter ka | Auswahlverfahren |
|-----------------------|---------|---------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------|------------------|
| obere Schicht | | | | | | | | |
| 412 | 18,45 | 45,5 | $1,57 \pm 0,19$ | $1,1756 \pm 0,1513$ | $1,0095 \pm 0,1482$ | offenes System | | 5 |
| 2430 | 19,10 | 17,9 | $0,98 \pm 0,02$ | $0,9891 \pm 0,0177$ | $1,0785 \pm 0,0105$ | 335^{+70}_{-40} | >425 | |
| 2432 | 19,20 | 6,7 | $0,90 \pm 0,020$ | $0,9698 \pm 0,0168$ | $1,0580 \pm 0,0059$ | 310^{+45}_{-30} | >445 | |
| 2435 | 19,25 | 9,0 | $1,11 \pm 0,03$ | $1,0073 \pm 0,0265$ | $1,0360 \pm 0,0076$ | offenes System | | 3;4 |
| 2436 | 19,30 | 8,4 | $1,11 \pm 0,03$ | $0,9876 \pm 0,0268$ | $1,0475 \pm 0,0023$ | 360^{+135}_{-60} | >410 | |
| 2181 | 20,45 | 7,1 | $1,75 \pm 0,07$ | $1,0414 \pm 0,0424$ | $1,0797 \pm 0,0169$ | offenes System | | 4 |
| 2182 | 20,47 | 6,9 | $1,93 \pm 0,02$ | $1,1464 \pm 0,0166$ | $1,1255 \pm 0,0134$ | offenes System | | 1;3;4;5 |
| 2183 | 20,49 | 6,6 | $1,84 \pm 0,02$ | $1,0755 \pm 0,0137$ | $1,1272 \pm 0,0087$ | offenes System | | 1;3;4;5 |
| 306 | 20,60 | 81,6 | $0,61 \pm 0,09$ | $1,0051 \pm 0,1233$ | $1,1379 \pm 0,1022$ | Maximalalter | >210 | |
| untere Schicht | | | | | | | | |
| 2426 | 38,30 | 19,0 | $78,40 \pm 0,17$ | $0,9839 \pm 0,0020$ | $1,1584 \pm 0,0019$ | 310 ± 4 | >645 | |
| 2427 | 38,33 | 23,3 | $33,96 \pm 0,46$ | $0,9959 \pm 0,0113$ | $1,1278 \pm 0,0019$ | 345^{+30}_{-25} | >510 | |
| 2428 | 38,36 | 22,4 | $52,74 \pm 0,25$ | $0,9842 \pm 0,0041$ | $1,1671 \pm 0,0019$ | 310 ± 7 | >610 | |
| 2434 | 38,38 | 23,6 | $66,36 \pm 1,17$ | $0,9801 \pm 0,0146$ | $1,1698 \pm 0,0020$ | 300^{+25}_{-20} | >490 | |
| 329 | 38,40 | 11,1 | $31,56 \pm 6,97$ | $0,9107 \pm 0,0614$ | $1,1027 \pm 0,0478$ | Maximalalter | >270 | |
| 330 | 38,41 | 10,6 | 128 ± 256 | $0,9593 \pm 0,0576$ | $1,1654 \pm 0,0652$ | Maximalalter | >245 | |
| 2153 | 38,42 | 21,6 | $43,80 \pm 2,88$ | $0,9789 \pm 0,0108$ | $1,1737 \pm 0,0122$ | 285^{+25}_{-20} | >450 | |
| 2154 | 38,43 | 18,9 | $1,36 \pm 0,02$ | $1,0044 \pm 0,0147$ | $1,1523 \pm 0,0037$ | 335^{+40}_{-30} | >490 | |
| 2155 | 38,44 | 13,0 | $2,29 \pm 0,01$ | $1,0088 \pm 0,0066$ | $1,1411 \pm 0,0065$ | 360^{+25}_{-20} | >515 | |
| 331 | 38,44 | 6,4 | $19,40 \pm 6,05$ | $1,0203 \pm 0,0744$ | $1,1503 \pm 0,0630$ | Maximalalter | >270 | |
| 2177 | 38,45 | 22,4 | $1,29 \pm 0,01$ | $1,0399 \pm 0,0045$ | $1,1324 \pm 0,0036$ | offenes System | | 2;4;5 |
| 567 | 38,46 | 9,0 | 128 ± 256 | $0,9593 \pm 0,0976$ | $1,1654 \pm 0,0652$ | Maximalalter | >245 | |
| 568 | 38,47 | 11,5 | $1,06 \pm 0,07$ | $1,2292 \pm 0,0964$ | $1,3841 \pm 0,1408$ | offenes System | | 1;2 |

Tab. 1 $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Einzelalter der Proben aus zwei Bohrkernen des Holstein-Typusprofils Bossel (ermittelter, zerfallskorrigierter Thorium-Index = $0,011 \pm 0,010$). Alle Standardabweichungen wurden als $\pm 2\sigma$ -Werte angegeben. – Tiefe: pollenanalytisch auf den Kern GE 00/1 bezogen. – Negativergebnisse des Auswahlverfahrens: 1-Rosholt-I; 2-Rosholt-II; 3-Osmond-I; 4-Osmond-II; 5-Isotopenentwicklung.

einzelner Proben erschweren oder gar unmöglich machen. Die Ursachen dafür werden zwar naturwissenschaftlich weitgehend verstanden, lassen sich aber nur für einen Prozess quantifizieren und durch eine entsprechende Alterskorrektur kompensieren. Ansonsten sind Auswahlverfahren anzuwenden, um hydrochemisch gestörte Isotopenverhältnisse, die zu offenen Systemen führen, zu identifizieren und von der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Altersberechnung auszuschließen.

Korrektur des detritischen ^{230}Th – die »Isochronen«-Methode

Staub gibt es überall, so auch beim Wachstum von Niedermoortorf. Er enthält u. a. mineralische Komponenten mit Thorium und meist auch Uran. Damit trifft eine der wichtigsten Annahmen der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Methode nicht mehr zu, dass während des Wachstums von Niedermoortorf nur Uran aus dem Grundwasser eingelagert wird. Aus dem angenommenen Einkomponentensystem wird ein Zwei-Komponentensystem, in dem neben radiogenem ^{230}Th aus dem Zerfall von ^{234}U »detritisches« ^{230}Th beteiligt ist. Die Aktivität des radiogenen ^{230}Th dient als Chronometer und muss exakt aus dem gesamten ^{230}Th errechnet werden. Das kann im Zweikomponentensystem unter der in der Praxis nahezu immer bestätigten Annahme geschehen, dass das detritische Thorium ein konstantes initiales $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ -Verhältnis gehabt hat. Diese

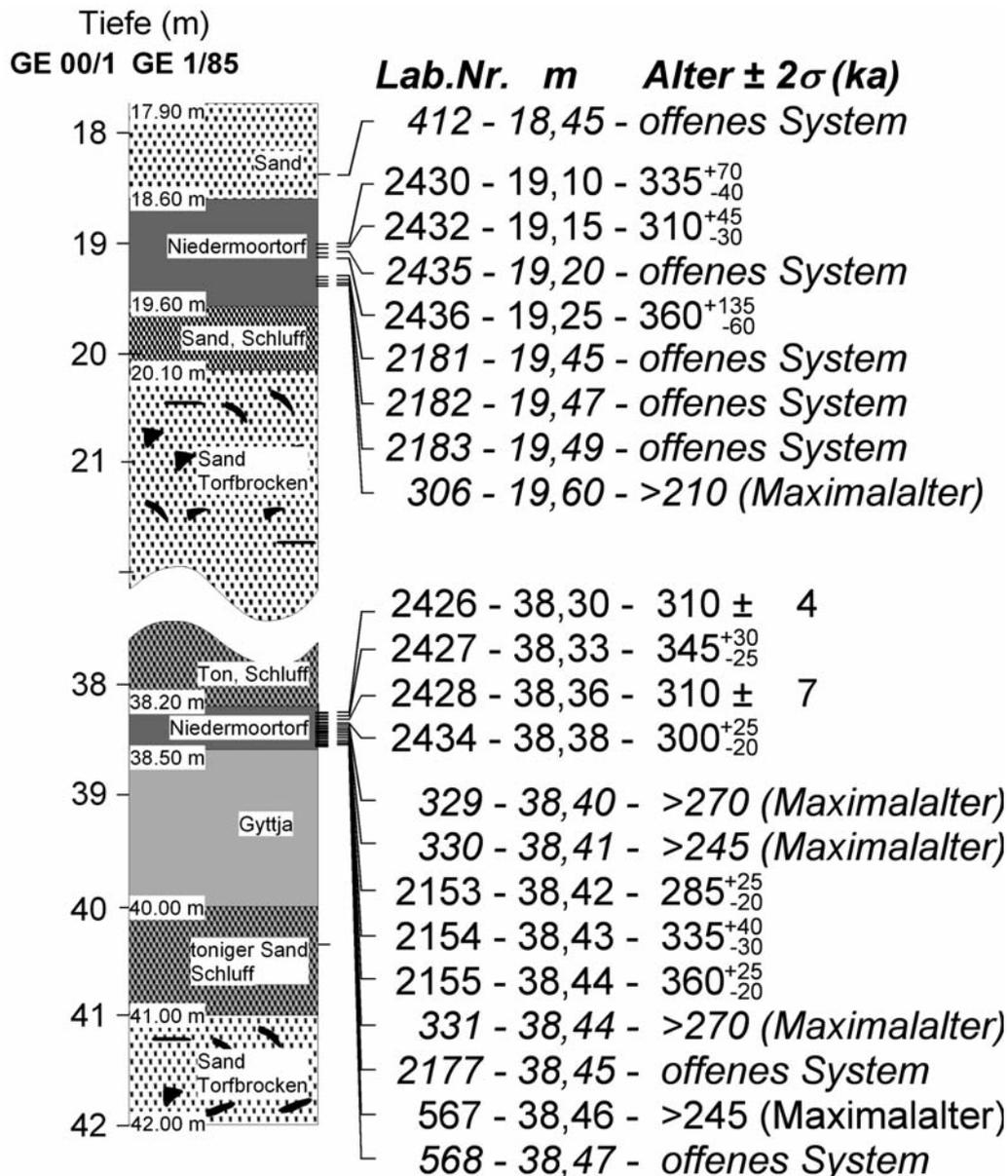


Abb. 3 Probeentnahmestellen und $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter der beiden Bossel-Kerne. Die Tiefen sind pollenanalytisch auf den Kern GE 00/1 bezogen. Nur die Proben, die weit genug entfernt von den Rändern der humosen Schichten entnommen worden waren, lieferten zuverlässige $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter (mit revidierten Daten von Geyh / Müller 2005).

Annahme bedeutet, dass es nur eine Staubquelle mit einer bestimmaren Thorium-Isotopenzusammensetzung während des Moorwachstums gegeben hat. Da ^{232}Th wegen seiner hohen Halbwertszeit als ein quasi stabiles Isotop anzusehen ist, wird seine Aktivität zum Maß für die detritische Kontamination.

Jedes duale Mischsystem lässt sich mit einer linearen Gleichung beschreiben. Beliebige Parameter der beteiligten Komponenten liefern als graphische Lösung eine Mischgerade. Darauf aufbauend hat Rosholt (1976) für die Auswertung der U/Th-Messwerte unreiner Proben zwei Diagramme vorgeschlagen. Wenn unterschiedlich detritisch belastetes Material gleichen Alters untersucht wird, ergibt sich im Rosholt-I Diagramm mit den $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ - und $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ Aktivitätsverhältnissen eine Gerade, im Rosholt-II Diagramm mit den

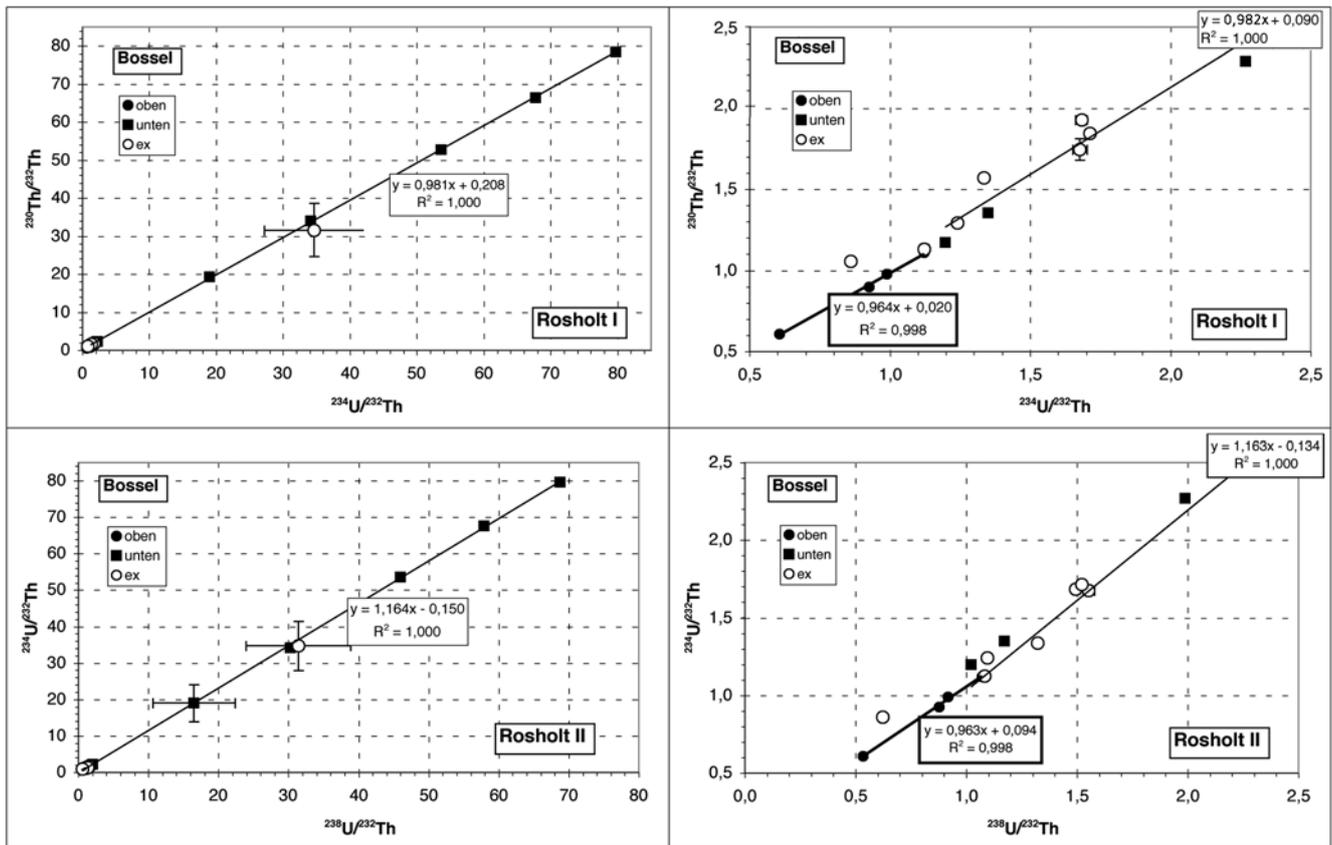


Abb. 4 Rosholt-I und II Diagramme (Rosholt 1976): Die dick umrandeten Regressionsgleichungen beziehen sich auf die oberen Proben, die dünn umrandeten auf die unteren. – Links: kleine Auflösung. – Rechts: große Auflösung. Die meisten Standardabweichungen (2s) sind so klein, dass die Symbole die Fehlerbalken verdecken. – Oben: Rosholt-I Diagramme: Erst bei großer Auflösung werden abseits der »Isochrone« liegenden Datenpunkte sichtbar. – Unten: Rosholt-II Diagramme: Auch hier sind erst bei hoher Auflösung abseits der Gerade liegende Punkte erkennbar.

$^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ - und $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ Aktivitätsverhältnissen eine andere (Abb. 4). Die Gerade des Rosholt-I Diagramms wird – methodisch nicht ganz korrekt – »Isochrone« genannt, weil ihre Steigung dem $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Aktivitätsverhältnis, dem Chronometer, entspricht. Das aktuelle $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ -AV liefert der Schnittpunkt der Gerade mit der Y-Achse. Es wird zur Berechnung der Aktivität des radiogenen ^{230}Th aus der gesamten ^{230}Th -Aktivität benötigt.

Wie **Abbildung 4** (links) für alle Messwerte des Bossel-Profiles zeigt, fallen bei kleiner Auflösung scheinbar alle Punkte auf die »Isochrone«. Erst bei großer Auflösung (Abb. 4, rechts) werden wenige abseits liegende Messwerte (Ex-Werte) sichtbar, die die an die $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Methode gebundene Bedingung einer dualen Mischung nicht erfüllen und deshalb von der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Altersberechnung auszuschließen waren.

Es gibt zwei Gründe, warum nicht mehr Ex-Werte mit den Rosholt-Diagrammen erkannt worden sind: Die Uran- und Th-Gehalte als auch deren Isotopenzusammensetzungen sind nicht miteinander korreliert. Geringe Störungen dieser geochemischen Systeme wirken sich kaum gegenseitig aus. Die durch denselben Nenner der beiden Isotopenverhältnisse der Rosholt-Diagramme bedingte Null-Korrelation kann deshalb den Korrelationskoeffizient bis nahe Eins anheben (Geyh / Müller 2005; Geyh 2008). Letzterer ist daher kein Kriterium für die Zuverlässigkeit von $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Altern, wie in vielen Publikationen behauptet wird.

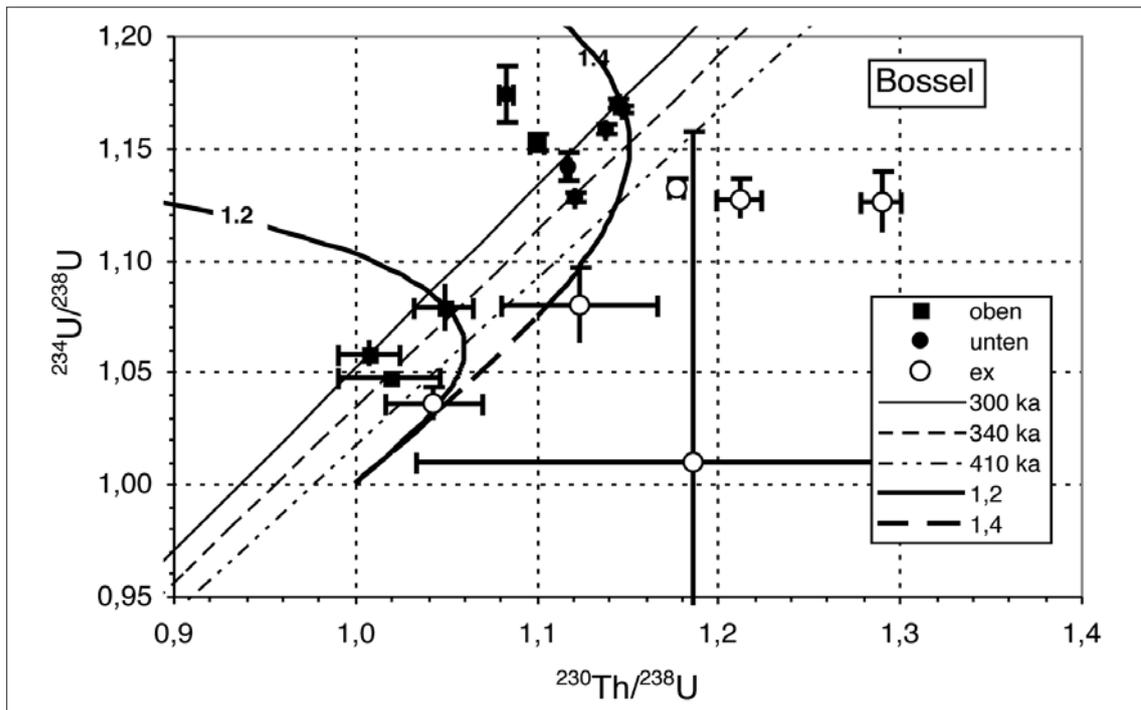


Abb. 5 $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Entwicklungsdiagramm der Aktivitätsverhältnisse vom Bossel-Profil: Sieben U/Th-Isotopenverhältnisse erweisen sich als Exwerte, da sie rechts von der nicht gezeigten, aber mit der 410ka-Isochrone quasi zusammenfallenden Isochrone für unendlich große Alter liegen. Diese Werte waren von der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Altersbestimmung auszuschließen. Die initialen $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ -Aktivitätsverhältnisse in Torfen unterscheiden sich häufig drastisch, ohne die Ursachen genau zu kennen. Bei den Holstein-Proben waren zwei Werte von 1,2 und 1,4 maßgeblich.

Urangewinn/Uranverlust – offene Systeme, Drei-Komponenten-Systeme

Es gibt mehrere Prozesse, die physikalisch und geochemisch verstanden werden, aber für die es keine Parameter gibt, um fehlerhafte $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter korrigieren zu können. Als Lösung bietet sich an, die entsprechenden Messwerte sicher zu identifizieren und von der Endauswertung auszuschließen.

Der wichtigste dieser störenden Prozesse ist postsedimentärer Gewinn oder Verlust von Uran in den gelagerten und zu datierenden Ablagerungen, also die Entstehung offener Systeme. In diesem Falle sind zwei Szenarien zu unterscheiden:

1. Grundwasser, das die geohydraulisch niemals völlig dichten hangenden und liegenden Schichten viele Jahrhunderttausende lang durchflossen hat, löste Uran, sofern es Sauerstoff enthielt. Das $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Aktivitätsverhältnis hat sich dadurch ebenso wie das $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter erhöht.
2. War das Grundwasser frei von Sauerstoff, wurde Uran an Humusstoffe gebunden. Das $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -AV nahm ab, woraus ein zu kleines $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter resultiert.

In beiden Fällen weichen die $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter beträchtlich von den tatsächlichen Altern ab. Von diesen Prozessen auch betroffen ist das $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ -Aktivitätsverhältnis, weil das seltenere ^{234}U leichter wasserlöslich ist als ^{238}U , allerdings normalerweise nur in den oberen und unteren Randschichten. Störungen treten aber auch in Teilen der Kernzone auf, wenn z. B. sandige Einlagerungen vorhanden sind, in die Grundwasser tief eindringen kann, ohne vorher seinen gelösten Sauerstoff oder enthaltenes Uran zu verlieren.

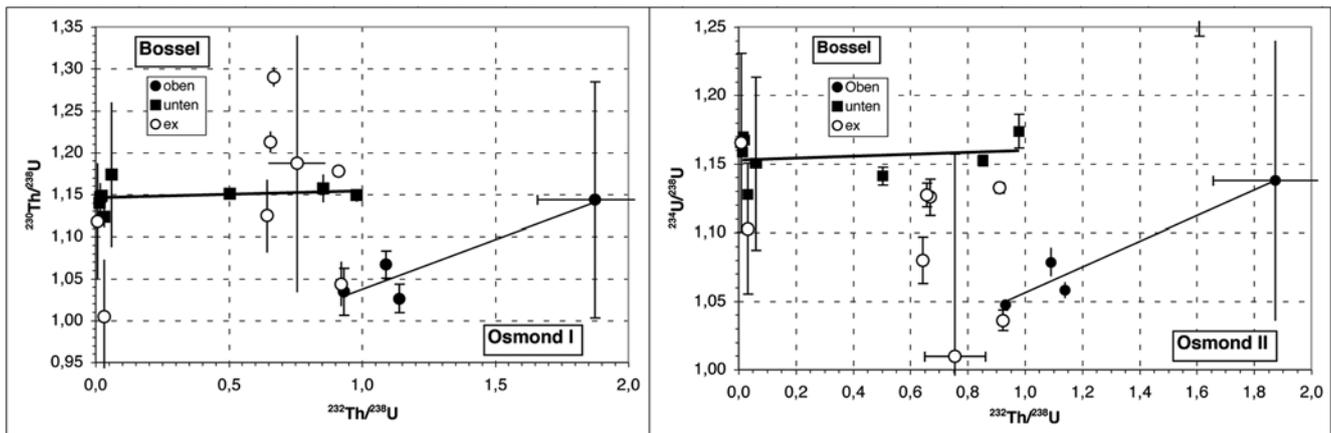


Abb. 6 Isotopen-Diagramme nach Osmond (1970): Es ergeben sich für die obere und untere humose Schicht unterschiedliche Gerade, die die geänderten ökologischen Bedingungen während ihrer Entstehung widerspiegeln.

| | |
|------------------------------|-------------------|
| Osmond-I Diagramm | bestens geeignet |
| Isotopenentwicklungsdiagramm | bestens geeignet |
| Osmond-II Diagramm | sehr gut geeignet |
| Rosholt-I Diagramm | geeignet |
| Rosholt-II Diagramm | weniger geeignet |

Tab. 2 Eignung der verschiedenen Auswahlverfahren.

Die Rosholt-I und Rosholt-II Diagramme erweisen sich nicht nur im vorliegenden Fall als wenig effizient, um Aktivitätsverhältnisse gestörter Proben (offene Kreise in **Abb. 4**) zu identifizieren. Wesentlich effektiver ist das Isotopenentwicklungsdiagramm (**Abb. 1; 5**), in dem alle sieben Ex-Werte erkennbar sind.

Gleichermaßen effizient sind die beiden Osmond-I und Osmond-II Diagramme (**Abb. 6**; Osmond u. a.

1970). Bei ihnen werden die $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ - über den $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -Aktivitätsverhältnissen bzw. die $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ - über den $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -Aktivitätsverhältnissen aufgetragen. Vier der Aktivitätsverhältnisse liegen abseits der beiden Geraden, die für die oberen und unteren Schichten zu unterscheiden sind. Die größere Effizienz der Osmond-Diagramme ist im Vergleich zu den Rosholt-Diagrammen darauf zurückzuführen, dass jede geochemische Störung (z. B. Uranmobilisation) des angenommenen radioaktiven Gleichgewichts zwischen dem Mutterisotop ^{238}U und seinem Tochterisotop ^{234}U die entsprechenden U/Th-Aktivitätsverhältnisse so stark verändert, dass die Nullkorrelation den Korrelationskoeffizient nicht mehr auf Eins anzuheben vermag. Die Beobachtung, dass für die unteren und oberen organischen Ablagerungen des Bosselprofils je eine Gerade erhalten wird, spiegeln die unterschiedlichen ökologischen Bedingungen zu Beginn und in der Mitte des Holstein-Interglazials wider (Geyh / Müller 2005).

Ein anderes störendes Problem besteht, wenn sich das Uran- oder Thorium-Isotopenverhältnis im Grundwasser bzw. Staub während des Niedermoorwachstums geändert hat. In diesem Fall liegen Drei- oder Mehrkomponentensysteme vor, die in den Rosholt-Diagrammen an zwei oder mehr parallelen »Isochronen« gleicher Steigung zu erkennen sind, sofern ausreichend viele Probenpunkte vorliegen. Dieses Problem ist beim Bossel-Profil nicht relevant.

Der naheliegende Versuch, die $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter über der Tiefe aufzutragen und deren Zuverlässigkeit an einer Zunahme zu erkennen, scheitert an der zu geringen Genauigkeit von ± 10 bis $> \pm 25$ ka (2σ) der Einzelwerte (**Tab. 1**). Die bisher erreichte altersmäßige Auflösung reicht gerade zu einer sicheren Zuordnung zu einzelnen MIS-Stadien aus.

Die Effizienz der beschriebenen Auswahlverfahren zum Erkennen gestörter und ungestörter Isotopenverhältnisse wurde mit sehr vielen $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten interglazialer organischer Ablagerungen in Deutschland,

Tab. 3 Mittelwerte und Standardabweichungen ($\pm 2\sigma$) der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter vom Holstein-Typusprofil Bossel.

| | Alter (ka) | Standardabweichung | | χ^2 | Probenzahl |
|-----------------|------------|--------------------|-----------------|----------|------------|
| | | Einzelwert (ka) | Mittelwert (ka) | | |
| Obere Schicht | 325 | ± 25 | ± 13 | 0,7 | 3 |
| Untere Schicht | 311 | ± 12 | ± 12 | 10,6 | 7 |
| Beide Schichten | 312 | ± 12 | ± 4 | 11,6 | 10 |

Österreich, der Schweiz, von Weißrussland, Russland und Litauen ermittelt (Tab. 2). Dazu ist ergänzend zu bemerken, dass keines der Auswahlverfahren der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Altersbestimmung allein alle ungeeigneten Aktivitätsverhältnisse zu identifizieren vermochte. Um konsequent zu sein, wurden alle Datensätze ausgeschlossen, die von wenigstens einem Verfahren als für die Altersbestimmung ungeeignet erkannt worden sind, auch wenn das entsprechende $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter scheinbar zu allen anderen gepasst hat.

ERGEBNISSE DER RADIOMETRISCHEN ALTERSBESTIMMUNG DES HOLSTEIN-INTERGLAZIALS

15 der 22 datierten Proben erwiesen sich als geschlossene Systeme; fünf lieferten radiometrisch $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Maximalalter, die nicht verwertbar sind. Die Standardabweichung des Mittelwerts der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter (Abb. 3; Tab. 3) hat sich auf ± 4 ka gegenüber früher (Geyh / Müller 2005) leicht erhöht, da die verbesserten Auswahlverfahren (Geyh 2008) zwei weitere Messwerte ausgesondert haben.

Die Standardabweichungen der Mittelwerte sind nur mathematisch relevant und spiegeln kaum die erreichbare Präzision der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Altersbestimmung von Torfen wider. Sie dürfte eher der mittleren Standardabweichung der Einzelwerte entsprechen. Das bedeutet, dass beim derzeitigen Stand der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Methode zwar unterschiedliche Interglaziale altersmäßig sicher voneinander unterschieden werden können, aber eine höher aufgelöste Chronostratigraphie eines Interglazials nicht zu erreichen ist.

Nach unseren Ergebnissen sind die organischen Ablagerungen des Holstein-Typusprofils Bossel zuverlässig dem MIS 9 zuzuordnen. Zusätzlich gestützt wird dieses Ergebnis durch neue IR-RF-Daten. Deren Datierungsbereich ist nach Vergleich mit Ergebnissen anderer radiometrischen Datierungsmethoden größer als der der OSL-Methoden.

WEITERE INTERGLAZIALVORKOMMEN IN DEUTSCHLAND

Die Schwierigkeiten, denen Quartärgeologen, Pollenanalytiker und Paläobotaniker gegenüber stehen, wenn sie Interglazial- und Glazialablagerungen den marinen MIS-Stadien zuordnen wollen, spiegeln sich in den z. T. widersprüchlichen altersmäßigen Zuordnungen wider, die insbesondere bei unvollständigen »Interglazial«-Vorkommen am Fluss Dömnitz (Lkr. Prignitz), Wacken (Kr. Steinsburg), in Schöningen (Lkr. Helmstedt) und in Reinsdorf (Lkr. Helmstedt) deutlich werden. Aus dieser Sicht ist das Eingeständnis des Quartärgeologen Lothar Eißmann (Leipzig) wissenschaftlich nicht hoch genug zu werten, der trotz seiner umfassenden Erfahrungen nach Aufnahme von über 1000 km Quartär-Profilen in den mitteldeutschen Tagebauen bekennt (Eißmann 2002), nur die obere der beiden oberhalb der glazialen Elster-Ablagerungen immer

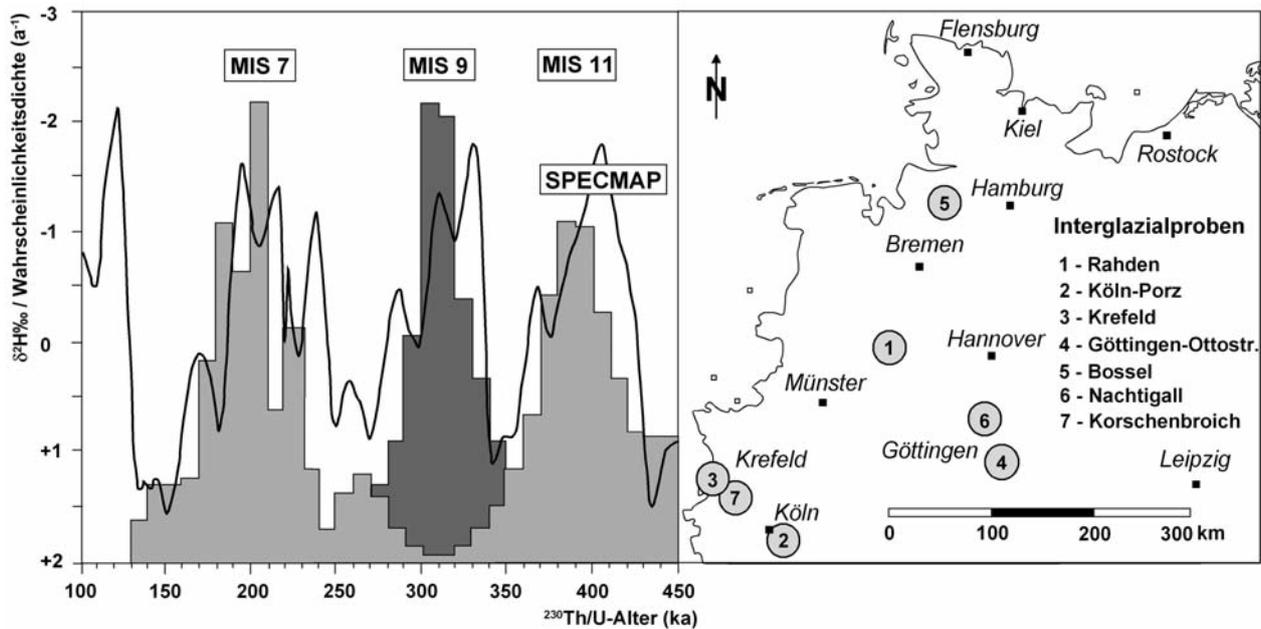


Abb. 7 Histogramm der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten vor-eemzeitlicher interglazialer Ablagerungen in Deutschland. Die Zuverlässigkeit der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter spiegelt sich in der engen Anlehnung ihrer Häufungen an die MIS-Stadien ungerader Zahlen wider. Die kleinen Gipfel zwischen 290-250 und 160-130 ka gehören zu den wenigen $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter, die von den Auswahlverfahren nicht erfasst werden konnten. Die Kurve im linken Teil entspricht dem Verlauf der $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve der SPECMAP (Imbrie u. a. 1984).

wieder vorzufindenden organischen Interglazialschichten sicher dem Eem zuordnen zu können. Die unteren organischen Ablagerungen gehören seiner Ansicht nach entweder dem MIS 7 oder dem MIS 9 an.

Neue $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter um 320 ka von Proben des »Reinsdorf«-Interglazials (vgl. u.; Beitrag Sierralta / Frechen / Urban in diesem Band) entsprechen denen der Holstein-Proben aus Bossel. Analoge Ergebnisse sind für das »Schöningen«-Interglazial zu erwarten, wenn die beschriebenen Auswahlverfahren konsequent auf die auf dem Workshop vorgestellten Messwerte angewandt werden.

Die methodische Zuverlässigkeit der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter interglazialer Torfe wird mit Datierungen weiterer Interglazialvorkommen in Deutschland belegt, wobei es unwichtig ist, dass einige von ihnen pollenanalytisch nicht mit der marinen Isotopenchronologie zu korrelieren waren. Das Histogramm (**Abb. 7**) der 61 $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter vor-eemzeitlicher Proben zeigt drei enge Häufungen bei den ungeraden MIS-Stadien, die Interglaziale repräsentieren. Die $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter gehören zu Proben aus Bossel (13 von 22 $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten), aus dem Tagebau Schöningen (9 von 13 früherer $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten), der Grube Nachtigall (Lkr. Holzminden; 10 von 14 $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten), der Ottostraße in Göttingen (16 von 19 Ergebnissen; Grüger 1994) und aus Kernbohrungen in Köln-Porz (3 von 3 $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten), Rahden (Lkr. Münden-Lübecke; 4 von 5 $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten), Krefeld (3 von 3 $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten) und Korschenbroich (Rhein-Kreis Neuss; 3 von 3 $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten). Die neuen $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter vom »Reinsdorf-Interglazial« (vgl. u.; Beitrag Sierralta / Frechen / Urban in diesem Band) und die vom Profil Tottenham in Norfolk PE33/GB (Rowe u. a. 1997) passen bestens zu diesem Histogramm. Wären viele der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter dieser organischen Ablagerungen unzuverlässig, hätte es Häufungen von Ausreißern in Glazialperioden (gerade MIS-Stadien) geben müssen. Es fallen aber nur wenige $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter in die glazialen Zeitabschnitte 250-290 ka und 130-160 ka. Sie wurden von den Auswahlverfahren nicht erfasst, weil es für die Auswertung mit den Osmond- und Rosholt-Diagrammen zu wenig Daten (<3) gegeben hat. Es werden nämlich immer mehr als drei Aktivitätsverhältnis-Paare benötigt, um eine zuverlässige »Isochrone« festzulegen. Zwei Punkte werden von jeder Geraden getroffen.

NEUE IR-RF-DATEN ZUM ALTER DES HOLSTEIN-INTERGLAZIALS

Krbetschek / Eißmann (2008) geben eine zusammenfassende Darstellung einer auf geochronometrische Daten gestützten Einordnung des Saale-Komplexes, die sich auf langjährige Forschungen insbesondere im Typgebiet der Elster- und Saale-Eiszeit stützt. Aus Gründen des Aufschluss- und Bearbeitungsstandes werden darin vorerst Angaben zum Holstein-Interglazial, der Liegendgrenze dieses Abschnittes, auf einzelne Vorkommen beschränkt. Im letzten Jahrzehnt ist eine sichere Datierung mittelpleistozäner Sedimente mit der Entwicklung der Infrarot-Radiofluoreszenzdatierung (IR-RF) möglich geworden, die von Trautmann u. a. (1999) unter der Bezeichnung Radiolumineszenzdatierung (RL) erstmal vorgestellt wurde. Trotz internationaler wissenschaftlicher Anerkennung (z. B. Boetter-Jensen u. a. 2003) ist die Anwendung noch immer auf das Lumineszenz-Datierungslaboratorium Freiberg (Institut für Angewandte Physik der TU Freiberg) beschränkt, weil bisher Messgeräte kommerziell nicht angeboten werden. Vergleiche mit unabhängigen physikalischen Datierungsverfahren wurden bis etwa 300 ka erfolgreich durchgeführt (Degering / Krbetschek 2007). Physikalische Grundlagenuntersuchungen (z. B. Erfurt / Krbetschek 2003) lassen einen noch weitaus höheren Datierungsbereich bis zu 500 ka, im günstigen Fall bis 800 ka, erwarten.

Die mit dieser Methode ermittelten radiometrischen Alter von Proben, die mittelbare und unmittelbare Belege zur Einstufung des Holstein-Interglazials geben, beziehen sich auf die letzte Lichtexposition der Sedimentpartikel während des Transports und der Ablagerung:

1. Die Datierung des Holsteins von Munster-Breloh/Lüneburger Heide (Lkr. Heidekreis; Müller 1974; neue Bohrung und pollenanalytische Bearbeitung durch die Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Geologisches Institut) erbrachte ein Alter von 334 ± 21 ka: Degering / Krbetschek 2007).
2. Pollenanalytische Daten (T. Litt) und IR-RF Daten (M. Krbetschek) des 1996 temporär aufgeschlossenen Holstein-Vorkommens von Benndorf bei Leipzig (Lkr. Delitzsch) werden derzeit für eine Publikation vorbereitet. Ein erstes vorläufiges Alter von 354 ± 24 ka liegt vom liegenden, spätelsterzeitlichen »Krippehnaer Schotter« vor. Für die hangenden frühsaalezeitlichen schluffigen Sande wurden 293 ± 35 ka und 280 ± 20 ka erhalten. Eine Korrelation der Interglazialsedimente zu MIS 9 ist damit anzunehmen.
3. Frühsaalezeitliche Sedimente (Saale-Komplex) von Wallendorf und Klinge (Lkr. Forst) lieferten Ergebnisse bis in den Zeitbereich um 300 ka (Krbetschek u. a. 2008), die im geologischen Kontext ebenfalls eine Zuordnung des Holsteins zum MIS 9 nahe legen und eine Korrelation mit MIS 7 ausschließen.
4. Die IR-RF Datierungen am Profil Schöningen 13-II sind noch nicht abgeschlossen. Die vorläufigen Ergebnisse liefern ein sicheres maximales Alter des »Reinsdorf«- Interglazials entsprechend MIS 9. Ein jüngeres Alter ist nach den bisher vorliegenden Daten nicht sicher auszuschließen.

Eine tiefer gehende methodische Bewertung älterer TL-Daten von Schöningen (Karelin 1997) soll hier nicht vorgenommen werden. Sie sind prinzipiell nicht gänzlich zu verwerfen, da sie vorteilhaft an zwei unterschiedlichen Mineralfraktionen (Quarz und Kalifeldspat) durchgeführt worden sind. Auch diese Ergebnisse legen eine Einstufung des »Reinsdorf«-Interglazial in MIS 9 nahe.

DISKUSSION IM LICHT NEUER VERÖFFENTLICHUNGEN ZUM HOLSTEIN BZW. MIS 9/MIS 11

Die Publikationen über das Holstein/Hoxnian-Interglazial der letzten Jahrzehnte liefern vielfältige Belege, dass es mit pollenanalytischen, paläobotanischen, quartärgeologischen und lithostratigraphischen Metho-

den allein nicht gelingt, terrestrische Ablagerungen eindeutig und sicher einzelnen marinen Isotopenstadien (MIS) zuzuordnen. Nur in zwei Fällen wurden Interglazial-spezifische Eigenschaften gefunden, die aus verschiedenen Gründen allerdings nicht in allen Profilen nachweisbar sind. Erfolgreicher waren multidisziplinäre Studien, in die mehrere, als zuverlässig anwendbar erwiesene radiometrische Altersbestimmungsmethoden (Geyh 2005) einbezogen worden sind (Rowe u. a. 1997; 1999; Geyh / Müller 2005; Degeering / Krbetschek 2007; Krbetschek / Eißmann 2008; Krbetschek u. a. 2008, Sierralta / Frechen / Urban in diesem Band). Auch Warvenzählungen (Müller 1974; 1992; Müller / Höfle 1994; Meyer 1974) haben dazu beigetragen.

Geyh / Müller (2005) haben vier nachprüfbare Argumente für die Zuordnung des Holstein-Interglazials zum MIS 9 in die wissenschaftliche Diskussion eingebracht:

1. Das mittlere $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter der Proben vom Holstein-Typusprofil Bossel beträgt 312 ± 4 ka. Es ist mit dem $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter von 317 ± 14 ka (Rowe u. a. 1997) vergleichbar, das vom Profil Tottenham/Nar Valley/UK bestimmt worden ist. Ventris (1996) hatte diese Ablagerungen in das Hoxnian-Interglazial eingestuft, was allerdings inzwischen umstritten ist (C. Turner, pers. Mitt.). Der scheinbare Widerspruch unserer Einordnung zu den $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten des englischen Hoxnian-Typusprofils Marks Tey (Rowe u. a. 1999), die an der weniger geeigneten Karbonatfraktion limnischer Sedimente bestimmt worden waren, besteht nach der Berechnung der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Maximalalter von >245 ka aus den veröffentlichten Messwerten nicht mehr (Geyh / Müller 2005). Diese Proben waren mit 95% Wahrscheinlichkeit älter als 245 ka, schließen also eine Einstufung in MIS 9 nicht aus.
2. Eine unverwechselbare interglazialspezifische Eigenschaft des Holstein-Interglazials ist ein in seiner Mitte aufgetretener kurzer Klimarückschlag, in dem die Zahl der thermophilen Bäume stark abnahm und *Taxus* ganz verschwand (Geyh / Müller 2007). Ein vergleichbarer Klimaverlauf ist in den älteren Rhume- und Praclaux-Interglazialen nicht vorhanden. Der Einwand von Nitychoruk u. a. (2006), dass so kurze Klimaänderungen pollenanalytisch nicht erfassbar seien, gilt für Pollenzählungen an jahreszeitlich geschichteten Sedimenten nicht.
3. Ein eindeutiges Indiz zur Identifikation des Rhume-Interglazials sind die zwei Gelgenbach-Interstadiale, die etwa 10 ka nach ihm auftraten und mit den beiden Jagonas-Interstadien nach dem Praclaux-Interglazial zu vergleichen sind. Es gibt keine Pendants in einem der nachfolgenden Interglaziale, insbesondere nicht nach dem Holstein- und dem Landos-Interglazial.
4. Das Holstein-Interglazial dauerte nach Diatomen-Warvenzählungen 15000-16000 Jahre (Müller 1974; Meyer 1974). Dazu kommt ein kurzes Spätglazial (Müller / Höfle 1994), das nach Linke (1993) etwa 2500 Jahre lang war. Das gesamte Rhume-Interglazial umfasst etwa 25000 Jahresschichten (Müller 1992; Bittmann / Müller 1996). Dazu kommt das etwa 8400 Jahre dauernde Spätglazial. Die deutlich unterschiedlichen Zeitspannen der beiden Interglaziale entsprechen denen von MIS 9 und MIS 11 der Altersskalen der Antarktischen Eiskerne von Vostok (Petit u. a. 1999) und vom Dom C (EPICA Community Members 2004).

Es ist nur schwer nachvollziehbar, warum diese klar formulierten und wissenschaftlich überprüfbaren Argumente einer Zuordnung des Holstein-Interglazials zum MIS 9 in späteren Arbeiten, in denen die Zuordnung des Hoxnian- oder Holstein-Interglazials zum MIS 11 verteidigt werden, nicht auf- oder angegriffen werden.

Lediglich Nityrochouk u. a. (2006) versuchen mit physikalischen Argumenten, eine Zuordnung des Holstein-Interglazials zum MIS 11 zu belegen, die aber einer seriösen Prüfung nicht standhalten. Die methodischen, selten quantifizierbaren Schwierigkeiten bei der Interpretation von $\delta^{18}\text{O}$ -Profilen limnischer Sedimente werden zwar angesprochen, aber nicht konsequent berücksichtigt. Die Korrelation des limnischen $\delta^{18}\text{O}$ -Profils vom See Ossówka in Ostpolen (bei Biała Podlaska in der Woiwodschaft Lublin; Nitychoruk 2000;

Nitychoruk u. a. 2005) mit einem marinen $\delta^{18}\text{O}$ -Profil ist daher weder visuell noch mathematisch nachvollziehbar. Auch die TL-Daten von 431,7 bis 430,9ka BP sind für diesen Korrelationsversuch ungeeignet (Krupiński 1995), da sie eine Genauigkeit vortäuschen, die um mindestens eine Größenordnung über der tatsächlich erreichbaren liegt. Abgesehen davon fallen diese TL-Alter in einen Bereich, der mit dieser älteren Datierungsmethode sicher nicht erreichbar war (Wintle 2008; Zöller 2010). Letztendlich wird das revidierte ESR-Alter eines Knochens aus Hoxnian-Schichten angeführt (Grün / Schwarz 2000), das ursprünglich eine Zuordnung zum MIS 9 belegen sollte (Grün u. a. 1988; Schwarcz / Grün 1993). Die aus denselben Messwerten berechneten revidierten ESR-Alter zwischen 100-400ka hängen entscheidend von der Wahl des Modells ab, das die Aufnahme von Uran im Knochen während Alterung beschreibt. Diese Wahl muss ohne gesicherte Annahmen getroffen werden. Entgegen der Darstellung in dieser Publikation werden die ESR-Alter nicht durch die parallel bestimmten $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter sicherer, weil Knochen als offene Systeme keine zuverlässige $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Altersbestimmung zulassen.

Abgesehen davon haben die zwei bisher durchgeführten internationalen Vergleichstests (Hennig u. a. 1985; Barabas u. a. 1993) keine überzeugenden Beweise für die Zuverlässigkeit von ESR-Daten an sich geliefert. Zuletzt behaupten Nitychoruk u. a. (2006) ohne Angabe wenigstens eines Grundes oder ein Zitat, dass $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierungen organischer Ablagerungen unzuverlässig seien.

Roe u. a. (2009) stellen paläobotanische Analogieschlüsse für ihre Zuordnung des Hoxnian-Interglazials zum MIS 11 vor. Dieses Ergebnis ist ähnlich problematisch wie die anderer methodisch analoger Arbeiten. Ein Beleg dafür mag die Zuordnung des »Schöningen-Interglazials« zu MIS 7 sein, die nach den vorläufigen, auf dem »Schöningen«-Workshop vorgestellten, aber noch nicht endgültig ausgewerteten $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Ergebnissen (Sierralta / Frechen / Urban in diesem Band) in Frage zu stellen ist.

Auch die neuen Aminosäure-stratigraphischen Ergebnisse von Roe u. a. (2009) lassen die Frage nach einer Zuordnung zu MIS 9 oder MIS 11 offen. Die Arbeit geht auf keines der vier oben genannten Argumente ein, verweist allerdings in einem Zitat auf unsere abweichende Auffassung. Roe u. a. distanzieren sich vehement von der Vorstellung (Geyh / Müller 2006), dass es zwei holstein-ähnliche Interglaziale (auch Scourse u. a. 1999, Scourse 2006) im Quartär auf den Britischen Inseln gegeben haben mag, nicht aber in den Region der südlichen Nordsee und der westlichen Ostsee. Sie drängen auf eine Fortsetzung umfassender multidisziplinärer Studien zu Holstein-ähnlichen Interglazialen über England hinaus.

Meijer / Cleveringa (2009), die eine umfassende Aminosäure-Stratigraphie der mittel- und spätpleistozänen Ablagerungen in den Niederlanden und des südlichen Nordseebeckens vorstellen, ordnen das Holstein-Interglazial dem MIS 9 zu, ohne auf die vier Argumente im Einzelnen einzugehen. Auch sie haben Belege, dass *Pterocarya*-Pollen keine Holstein-Anzeiger sind.

Ashton u. a. (2008) diskutieren neue Ergebnisse von Aminosäure-, Pollen und Käferuntersuchungen an interglazialen Sedimenten in Hoxne. Die Autoren ordnen danach die Nach-Hoxnian-Sequenz dem späten MIS 11 zu und vergleichen ihre Ergebnisse mit anderen palynologischen Sequenzen in Europa. Mit den vorliegenden radiometrischen Daten setzen sie sich nicht auseinander.

Toucanne u. a. (2009) bezeichnen ihre an bis 1,2Ma alten marinen Sedimenten vom Golf von Biscaya gewonnenen Ergebnisse als so gesichert, dass sie jede weitere Diskussion über die Gleichstellung des Holstein-Interglazials mit MIS 11 ausschließen. Ihre Argumentation stützt sich im wesentlichen auf eine Zuordnung der Elster-Eiszeit zu MIS 12, für das die höchste Sedimentationsrate während der letzten 1,2Ma gefunden wurde. Die Autoren bleiben allerdings den Beweis schuldig, dass die untersuchten Sedimente nur glazialen Ursprungs waren und begründen nicht, warum es gerade die Elster-Eiszeit und keine frühere die höchste Ablagerungsrate gehabt haben soll. Unsere $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten vom Bossel-Profil als auch die Ergebnisse anderer Autoren, die zu einer Zuordnung zum MIS 9 führen, bezeichnen Toucanne u. a. (2009) als spekulativ, ohne dafür nachvollziehbare und überprüfbare Argumente anzugeben.

ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es bisher keine wissenschaftlich ernst zu nehmende Auseinandersetzung mit den Argumenten von Geyh / Müller (2005) für eine Zuordnung des Holstein-Interglazials zu MIS 9 gibt. Keine der neueren wissenschaftlichen Publikationen hat diese chronologische Zuordnung widerlegt. Das von 308-316 ka reichende mittlere $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Alter (2σ) der Proben vom Holstein-Typusprofil Bossel ist nach Anwendung aller bekannten Korrektur- und Auswahlverfahren sehr belastbar, darf allerdings nicht mit der Dauer des Holstein-Interglazials verwechselt werden. Die Zuverlässigkeit der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten interglazialer organischer Ablagerungen wurde mit entsprechenden Ergebnisse voreem-zeitlicher Proben aus Deutschland und England mehrfach nachgewiesen.

Methodisch unabhängige Radiolumineszenz-Datierungen (IR-RF-Methode) an holsteinzeitlichen Sedimenten bzw. Proben aus Liegend- und Hangendschichten sprechen ebenfalls für eine Zuordnung des Holstein-Interglazials zu MIS 9. Für beide radiometrische Methoden wurden Auswerteverfahren angewendet, die verlässliche Korrekturen für Auswirkungen störender Primär- und Sekundäreffekte oder einen sicheren Ausschluss unzuverlässiger Messwerte von der Altersbestimmung erlauben („Isochronen«-Methode bei der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierung; single-aliquot-Technik bei der IR-RF-Datierung). Die Ergebnisse beider Methoden haben externe Vergleichstests ($^{230}\text{Th}/\text{U}$) bzw. Paralleluntersuchungen an stratigraphisch gleich alten Proben (IR-RF) erfolgreich bestanden. Damit sind die wesentlichen Voraussetzungen als erfüllt anzusehen, diese radiometrischen Daten und die damit verbundene Zuordnung der Holstein-Interglazials in Deutschland zu MIS 9 als zuverlässig anzusehen.

LITERATUR

- Ashton u. a. 2008: N. Ashton / S. G. Lewis / S. A. Parfitt / K. E. H. Penkman / G. R. Coope, New evidence for complex climate change in MIS 11 from Hoxne, Suffolk, UK. *Quaternary Science Reviews* 27 (7-8), 2008, 652-668.
- Barabas u. a. 1993: M. Barabas / R. Walther / A. Wieser / U. Radtke / R. Grün, Second interlaboratory-comparison project on ESR dating. *Applied Radiation and Isotopes* 44, 1993, 119-129.
- Bassinot u. a. 1994: F. C. Bassinot / L. D. Labeyrie / E. Vincent / X. Quidelleur / N. J. Shackleton / Y. Lancelot, The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal. *Earth Planetary Science Letters* 126, 1994, 91-108.
- Bittmann / Müller 1996: F. Bittmann / H. Müller, The Kärlich Interglacial site and its correlation with the Bilshausen sequence. In: C. Turner (Hrsg.), *The Early Middle Pleistocene in Europe. Proceedings INQUA Subcommission on European Quaternary Stratigraphy, Cromer-Symposium, Norwich 1990 (Rotterdam 1996)* 187-193.
- Boetter-Jensen u. a. 2003: L. Boetter-Jensen / S. W. S. McKeever / A. G. Wintle, *Optically Stimulated Luminescence Dosimetry* (Amsterdam 2003).
- Degering / Krbetschek 2007: D. Degering / M. R. Krbetschek, Dating of Interglacial Deposits by Luminescence Methods. In: F. Sirocko / M. Claussen / M. F. Sánchez-Goni / Th. Litt (eds), *The Climate of Past Interglacials. Developments in Quaternary Science* 7 (Amsterdam 2007) 157-172.
- Eißmann 2002: L. Eißmann, Quaternary geology of eastern Germany (Saxony, Saxon-Anhalt, south Brandenburg, Thüringia), type area of the Elsterian and Saalian Stages in Europe. *Quaternary Science Reviews* 21, 2002, 1275-1346.
- Emiliani 1955: C. Emiliani, Pleistocene temperatures. *Journal of Geology* 63, 1955, 538-573.
- EPICA community members 2004: EPICA Community Members, Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature* 429, 2004, 623-628.
- Erfurt / Krbetschek 2003: G. Erfurt / M. R. Krbetschek, Studies on the physics of the infrared radioluminescence of potassic feldspar and on the methodology of its application to sediment dating. *Radiation Measurements* 37, 2003, 505-510.
- Geyh 2005: M. A. Geyh, *Handbuch der physikalischen und chemischen Altersbestimmung* (Darmstadt 2005).
- 2008: M. A. Geyh, $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of interglacial and interstadial fen peat and lignite: Potential and limits. *Eiszeitalter und Gegenwart. Quaternary Science Journal* 57 (1-2), 2008, 78-98.
- Geyh / Müller 2005: M. A. Geyh / H. Müller, Numerical $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating and a palynological review of the Holsteinian/Hoxnian Interglacial. *Quaternary Science Reviews* 24, 2005, 1861-1872.
- Geyh / Müller 2005a: M. A. Geyh / H. Müller, Reply: Missing evidence for two Holstein-like Interglacials. Reply to the comments by J. D. Scourse: Numerical $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating and a palynological review of the Holsteinian/Hoxnian Interglacial. *Quaternary Science Reviews* 25, 2005, 3072-3073.
- Geyh / Müller 2007: M. A. Geyh / H. Müller (2007). Palynological and geochronological study of the Holsteinian/Hoxnian/Landos Interglacial. In: F. Sirocko / M. Claussen / M. F. Sánchez-Goni / Th. Litt (Hrsg.), *The Climate of Past Interglacials. Developments in Quaternary Science* 7 (Amsterdam 2007) 387-396.

- Geyh / Techmer 1997: M. A. Geyh / A. Techmer, $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ -Datierungen der organogenen Sedimente der Bohrung Groß Todtsborn (Kr. Harburg, Niedersachsen). Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft 4, 1997, 103-110.
- Geyh u. a. 1997: M. A. Geyh / G. Hennig / D. Oezen, U/Th-Datierung interglazialer und interstadialer Niedermoortorfe und Lignite – Stand und Zukunft. Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft 4, 1997, 187-200.
- Grüger u. a. 1994: E. Grüger / H. Jordan / D. Meischner / P. Schlie, Mittelpleistozäne Warmzeiten in Göttingen, Bohrungen Ottostraße und Akazienweg. Geologisches Jahrbuch A 134, 1994, 167-210.
- Grün / Schwarcz 2000: R. Grün / H. P. Schwarcz, Revised open system U-series/ESR age calculations for teeth from Stratum C at the Hoxnian Interglacial type locality, England. Quaternary Science Reviews 19, 2000, 1151-1154.
- Grün u. a. 1988: R. Grün / H. P. Schwarcz / J. Chadam, ESR dating of tooth enamel: coupled correction for U-uptake and U-series disequilibrium. Nuclear Tracks and Radiation Measurements 14/1-2, 1988, 237-241.
- Heijnis 1992: H. Heijnis, Uranium/thorium dating of Late Pleistocene peat deposits in N.W. Europe [unpubl. Diss. Univ. Groningen 1992] <http://dissertations.uib.rug.nl/faculties/science/1992/h.heijnis/> (13.09.2012).
- Heijnis / van der Plicht 1992: H. Heijnis / J. van der Plicht, Uranium/Thorium dating of Late Pleistocene deposits in NW Europe, uranium/thorium isotope systematics and open-system behaviour of peat layers. Chemical Geology (Isotope Geoscience Section) 94, 1992, 161-171.
- Heijnis u. a. 1993: H. Heijnis / J. Ruddock / P. Coxon, A uranium-thorium dated late Eemian or early midlandian organic deposit from near Kilfenora between Spa and Fenit, Co. Kerry, Ireland. Journal of Quaternary Science 8, 1993, 31-43.
- Hennig u. a. 1985: G. J. Hennig / M. A. Geyh / R. Grün, The first inter Laboratory ESR comparison project phase II: Evaluation of equivalent doses (ED) of calcites. Nuclear Tracks and Radiation Measurements 10, 1985, 945-952.
- Imbrie u. a. 1984: J. Imbrie / J. H. Hays / D. G. Martinson / A. McIntyre / A. C. Mix / J. J. Morley / N. G. Pisias / W. L. Prell / N. J. Shackleton, The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record. In: A. L. Berger / J. Imbrie / J. Hays / G. Kukla (Hrsg.), Milankovitch and climate: Understanding the response to astronomical forcing. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Milankovitch and Climate, Palisades, New York, November 30 – December 4, 1982 (Dordrecht u. a. 1984) 269-305.
- Karelin 1997: P. Karelin, Untersuchungen zur Datierungsanwendung des 325°C -TL-Peaks in Quarzen aus dem nordischen Vereisungsgebiet Deutschlands [unpubl. Diss. Univ. Heidelberg 1997].
- Krbetschek / Eißmann 2008: M. R. Krbetschek / L. Eißmann, Geochronologische Daten aus der Typregion der Elster- und Saale-Inlandvergletscherungen. Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt (Wien) 62, 2008, 169-171.
- Krbetschek u. a. 2008: M. R. Krbetschek / D. Degering / W. Alexowsky, Infrarot-Radiofluoreszenz-Alter (IR-RF) unter-saalezeitlicher Sedimente Mittel- und Ostdeutschlands. Zeitschrift der deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften 159/1, 2008, 133-140.
- Krupiński 1995: K. M. Krupiński, Pollen stratigraphy and succession of vegetation during the Mazovian interglacial based on studies of sediments from Podlasie. Acta Geographica Lodziensia 70, 1995, 1-200.
- Linke 1993: G. Linke, Zur Geologie und Petrographie der Forschungsbohrung qho 1-5, der Bohrung Hamburg-Bilbrook und des Vorkommens von marinem Holstein im Gebiet Neuwerk-Scharhörn. Geologisches Jahrbuch A 138, 1993, 35-76.
- Litt u. a. 2005: T. Litt / D. Ellwanger / E. Villinger / S. Wansa, Das Quartär in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002. Newsletter of Stratigraphy 41/1-3, 2005, 385-399.
- Meijer / Cleveringa 2009: T. Meijer / P. Cleveringa, Aminostratigraphy of Middle and Late Pleistocene deposits in The Netherlands and the southern part of the North Sea Basin. Global and Planetary Change 68, 2009, 326-345.
- Meyer 1994: K.-J. Meyer, Pollenanalytische Untersuchungen und Jahresschichtzählungen an der holsteinzeitlichen Kieselgur von Hetendorf. Geologisches Jahrbuch A 21, 1994, 87-105.
- Müller 1992: H. Müller, Climatic changes during and at the end of the interglacials of the Cromerian Complex. In: G. J. Kukla / E. Went (eds), Start of a Glacial. Nato ASI Series, 13 (Berlin, Heidelberg 1992) 55-69.
- 1994: H. Müller, Pollenanalytische Untersuchungen und Jahresschichtzählungen an der holstein-zeitlichen Kieselgur von Munster-Breloh. Geologisches Jahrbuch A 21, 1994, 107-140.
- Müller / Höfle 1994: H. Müller / H.-C. Höfle, Das Holstein-Interglazialvorkommen bei Bossel westlich von Stade und Wanhöden nördlich Bremerhaven. Geologisches Jahrbuch A 134, 1994, 71-116.
- Nitychoruk 2000: J. Nitychoruk, Climate reconstruction from stable-isotope composition of the Mazovian Interglacial (Holsteinian) lake sediments in eastern Poland. Acta Geologica Polonia 50, 2000, 247-294.
- Nitychoruk u. a. 2005: J. Nitychoruk / K. Bińka / J. Hoefs / H. Ruppert / J. Schneider, Climate reconstruction for the Holsteinian Interglacial in eastern Poland and its comparison with isotope data from marine Isotope Stage 11. Quaternary Science Reviews 24, 2005, 631-644.
- 2006: J. Nitychoruk / K. Bińka / H. Ruppert / J. Schneider, Holsteinian Interglacial = Marine Isotope Stage 11? Quaternary Science Reviews 25 (21-22), 2006, 2678-2681.
- Osmond u. a. 1970: J. K. Osmond / J. P. May / W. F. Tanner, Age of the Cape Kennedy barrier and lagoon complex. $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of interglacial and interstadial fen peat and lignite: Potential and limits. Journal of Geophysical Research 75, 1970, 469-479.
- Petit u. a. 1999: J. R. Petit / J. Jouzel / D. Raynaud / N. I. Barkov / J. M. Barnola / I. Basile / M. Bender / J. Chappellaz / J. Davis / G. Delaygue / M. Delmotte / V. M. Kotlyakov / M. Legrand / V. Lipenkov / C. Lorius / L. Pépin / C. Ritz / E. Saltzman / M. Stievenard, Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok Ice Core, Antarctica. Nature 399, 1999, 429-436.
- Reille u. a. 2000: M. Reille / J.-L. de Beaulieu / H. Svobodova / V. Andrieu-Ponel / C. Goeury, Pollen analytical biostratigraphy of the last five climatic cycles from a long continental sequence from the Velay region (Massif Central, France). Journal of Quaternary Science 15/7, 2000, 665-685.
- Roe u. a. 2009: H. M. Roe / G. R. Coope / R. J. N. Devoy / C. J. O. Harrison / K. E. H. Penkman / R. C. Preece / D. C. Schreve, Differentiation of MIS 9 and MIS 11 in the continental record: vegetational, faunal, aminostratigraphic and sea-level evidence from coastal sites in Essex, UK. Quaternary Science Reviews 28, 2009, 2342-2373.

- Rosholt 1976: J. N. Rosholt, $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of travertine and caliche rinds. The Geological Society of America, Abstracts and Program 8, 1976, 1076.
- Rowe u. a. 1997: P. J. Rowe / D. A. Richards / T. C. Atkinson / S. H. Bottrell / R. A. Cliff, Geochemistry and radiometric dating of a Middle Pleistocene peat. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61, 1997, 4201-4211.
- 1999: P. J. Rowe / T. C. Atkinson / C. Turner, U-series dating of Hoxnian interglacial deposits at Marks Tey, Essex, England. *Journal of Quaternary Sciences* 14/7, 1999, 693-702.
- Schwarz / Grün 1993: H. P. Schwarz / R. Grün, ESR dating of the lower industry. In: R. Singer / B. G. Gladfelder / J. J. Wymer (Hrsg.), *The Lower Paleolithic Site at Hoxne, England (Chicago 1993)* 203-205.
- Scourse 2006: J. D. Scourse, Comment on: Numerical $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating and a palynological review of the Holsteinian/Hoxnian Interglacial by Geyh and Müller. *Quaternary Science Reviews* 25 (21-22), 2006, 3070-3071.
- Scourse u. a. 1999: J. D. Scourse / W. E. N. Austin / H. P. Sejrup / M. H. Ansari, Foraminiferal isoleucine epimerization determinations from the Nar Valley Clay, Norfolk, UK; implications for Quaternary correlations in the southern North Sea Basin. *Geological Magazine* 136, 1999, 543-560.
- Shackleton 1969: N. J. Shackleton, The last interglacial in the marine and terrestrial records. *Proceedings of the Royal Society of London B* 174, 1969, 135-154.
- Shackleton / Opdyke 1973: N. J. Shackleton / N. D. Opdyke, Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of Equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10^5 year and 10^6 year scale. *Quaternary Research* 3/1, 1973, 39-55.
- Toucanne u. a. 2009: S. Toucanne / S. Zaragosi / J. F. Bourillet / P. L. Gibbard / F. Eynaud / J. Giraudeau / J. L. Turon / M. Cremer / E. Cortija / P. Martinez / L. Rossignol, A 1.2 Ma record of glaciation and fluvial discharge from the West European Atlantic margin. *Quaternary Science Reviews* 28, 2009, 2974-2981.
- Trautmann u. a. 1999: T. Trautmann / M. R. Krbetschek / A. Dietrich / W. Stolz, Feldspar radioluminescence: A new dating tool and its physical background. *Journal of Luminescence* 85, 1999, 45-58.
- Urey 1950: H. C. Urey, The high temperature stage in the evolution of the terrestrial planets. *Science* 112 (2912), 1950, 451-452.
- van der Plicht / Heijnis 1989: J. van der Plicht / H. Heijnis, Dating by uranium/thorium disequilibrium. *Proceedings of the 5th Working Meeting »Isotopes in Nature«, Leipzig, September 1989 (Leipzig 1989)* 181-192.
- van der Wijk u. a. 1986: A. van der Wijk / F. El-Daoushy / A. R. Arends / W. G. Mook, Dating peat with U/Th disequilibrium: Some geochemical considerations. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)* 59, 1986, 283-292.
- Ventris 1996: P. Ventris, Hoxnian interglacial freshwater and marine deposits in northwest Norfolk, England and their implications for sea-level reconstruction. *Quaternary Science Reviews* 15, 1996, 437-450.
- Wintle 2008: A. Wintle, Luminescence dating: where it has been and where it is going. *Boreas* 37, 2008, 471-482. DOI 10.1111/j.1502-3885.2008.00059.x.
- Zöller 2010: L. Zöller, New approaches to European loess: a stratigraphic and methodical review of the past decade. *Central European Journal of Geosciences* 2/1, 2010, 19-31.

ZUSAMMENFASSUNG / ABSTRACT

Zum radiometrischen Alter des Holstein-Interglazials

Die Diskussion über die Einstufung des Holstein-Interglazials in eines der Stadien der marinen Isotopenchronologie (MIS) engte sich in den letzten Jahrzehnten immer mehr auf MIS 11 ein, gestützt vor allem auf pollenanalytische, sedimentologische und quartärgeologische Analogieschlüsse. Die Schwächen dieser Methodik sind bekannt und können nur durch eine stärkere Einbindung radiometrischer Datierungsmethoden überwunden werden, so wie es in England schon mit unterschiedlichem Erfolg praktiziert wird. Die Anwendung der $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Methode auf torfige Proben des Holstein-Typusprofils Bossel lieferte mit 312 ± 4 ka ein mittleres radiometrisches Alter, das für eine Zuordnung zu MIS 9 spricht. Das Ergebnis ist methodisch gesehen sehr belastbar, weil es auf nachvollziehbaren Prüf- und Auswahlverfahren der Messergebnisse beruht. Es wird zusätzlich durch $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Daten anderer interglazialer Ablagerungen als auch neue Radiolumineszenz-Daten vor- und nach-holsteinzeitlicher Sedimente aus Deutschland bestätigt.

Radiometric Ages of the Holsteinian Interglacial Stage

Over the last several decades, pollen analyses, and sedimentological and Quaternary geology studies have increasingly pointed to assignment of the Holsteinian Interglacial to MIS 11 (Stage 11 of the marine isotope chronology). The well known weaknesses of these methods can be overcome only by radiometric dating methods, as have been used in the UK with differing degrees of success. A mean age of 312 ± 4 ka has been obtained with the $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating method on peaty material from the Holsteinian Type Section at Bossel in northern Lower Saxony, Germany. This result places the Holsteinian Interglacial Stage in MIS 9. This result can be viewed as reliable as it is based on a comprehensive procedure for testing the validity of the raw data and selection of the useful values. This assignment is confirmed by $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of other palynologically coeval interglacial deposits as well as by new radioluminescence ages for pre- and post-Holsteinian sediments in Germany.

VERZEICHNIS DER AUTOREN

Prof. Dr. Karl-Ernst Behre

Niedersächsisches Institut für historische Küstenforschung
Viktoriastraße 26/28
26382 Wilhelmshaven
behre@nihk.de

Dr. Felix Bittmann

Niedersächsisches Institut für historische Küstenforschung
Viktoriastraße 26/28
26382 Wilhelmshaven
bittmann@nihk.de

Dr. Utz Böhner

Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege
Scharnhorststraße 1
30175 Hannover
utz.boehner@nld.niedersachsen.de

Prof. Dr. Nicholas J. Conard

Eberhard Karls Universität Tübingen
Institut für Ur- und Frühgeschichte
und Archäologie des Mittelalters
Ältere Urgeschichte und Quartärökologie
Burgsteige 11, Schloss
72070 Tübingen
nicholas.conard@uni-tuebingen.de

Prof. Dr. Manfred Frechen

Leibniz Institute for Applied Geophysics
Geochronology and Isotope Hydrology
Stilleweg 2
30655 Hannover
manfred.frechen@liag-hannover.de

Prof. Dr. Mebus A. Geyh

Rübeland 12 – OT Bannetze
29308 Winsen (Aller)
mebus.geyh@t-online.de

Dr. Henning Haßmann

Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege
Scharnhorststraße 1
30175 Hannover
henning.hassmann@nld.niedersachsen.de

Dr. Matthias Krbetschek

Senckenberg Museum für Mineralogie und Geologie Dresden
Sektion Lumineszenz
Institut für Angewandte Physik/TU Freiberg
Leipziger Straße 23
09596 Freiberg/Sa
quatmi@physik.tu-freiberg.de

Dipl.-Geow. Jörg Lang

Leibniz-Universität Hannover
Institut für Geologie
Callinstraße 30
30167 Hannover
lang@geowi.uni-hannover.de

Prof. Dr. Klaus-Dieter Meyer

Engenser Weg 5
30938 Burgwedel-Oldhorst

Prof. RNDr. Rudolf Musil, DrSc

Masarykova univerzita
Přírodovědecká fakulta
Ústav geologických věd
Kotlářská 2
CZ - 61137 Brno
rudolf@sci.muni.cz

Prof. Dr. Daniel Richter

Universität Bayreuth
Lehrstuhl Geomorphologie
95440 Bayreuth
daniel.richter@uni-bayreuth.de

Dr. Danielle Schreve

University of London
Department of Geography
Royal Holloway
GB - TW20 0EX Egham, Surrey
danielle.schreve@rhul.ac.uk

Dr. Jordi Serangeli

Eberhard Karls Universität Tübingen
Institut für Ur- und Frühgeschichte
und Archäologie des Mittelalters
Ältere Urgeschichte und Quartärökologie
Burgsteige 11, Schloss
72070 Tübingen
jordi.serangeli@uni-tuebingen.de

Dr. Melanie Sierralta

Leibniz Institute for Applied Geophysics
Geochronology and Isotope Hydrology
Stilleweg 2
30655 Hannover
melanie.sierralta@liag-hannover.de

Prof. Dr. Brigitte Urban

Leuphana Universität Lüneburg
Institut für Ökologie
Scharnhorststraße 1 C13,117
21335 Lüneburg
b.urban@uni-lueneburg.de

Prof. Dr. Thijs van Kolfschoten

Universiteit Leiden
Faculteit der Archeologie
Reuvensplaats 4
Postbus 9515
NL - 2300 RA Leiden
t.van.kolfschoten@arch.leidenuniv.nl

Prof. Dr. Jutta Winsemann

Leibniz Universität Hannover
Institut für Geologie
Callinstraße 30
30167 Hannover
winsemann@geowi.uni-hannover.de