

# Ungewöhnliche Probleme bei der $^{14}\text{C}$ -Datierung organischer Komponenten und Fraktionen fluviatiler Sedimente aus der Aue der Weißen Elster bei Leipzig

ACHIM HILLER, CHRISTIAN TINAPP, PIETER M. GROOTES & MARIE-JOSÉE NADEAU\*)

HILLER, A., TINAPP, C., GROOTES, P. M. & NADEAU, M.-J. (2003): Ungewöhnliche Probleme bei der  $^{14}\text{C}$ -Datierung organischer Komponenten und Fraktionen fluviatiler Sedimente aus der Aue der Weißen Elster bei Leipzig. – *Eiszeitalter und Gegenwart*, 52: 4-12; Hannover.

Keywords: Weisse Elster valley, floodplain, Weichselian, Holocene, radiocarbon dating, Germany

**Kurzfassung:** Aus Paläorinnensedimenten und fossilen Bodenhorizonten in der Weißen Elsteraue wurden konventionelle und AMS  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmungen der organischen Substanz durchgeführt. Die Ergebnisse liefern z.T. sehr große Altersdifferenzen der verschiedenen Komponenten einer Probe bis über 20.000  $^{14}\text{C}$ -Jahre, die der Beimischung von umgelagertem tertiären Material zuzuschreiben ist. Die Resultate belegen, dass bei der Interpretation von  $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmungen an organischem Material aus fluviatilen Sedimenten große Vorsicht geboten ist, wenn nicht die Altershomogenität des Probenmaterials bewiesen werden kann oder weitere Absicherungen durch unabhängige absolute Datierungsmethoden vorliegen.

[Problems with  $^{14}\text{C}$  dating of organic compounds from fluvial sediments of the Weisse Elster floodplain near Leipzig]

**Abstract:** Conventional and AMS  $^{14}\text{C}$  dates of palaeochannel sediments and fossil soil horizons of the Weisse Elster floodplain differ largely by up to 20,000  $^{14}\text{C}$  years for various organic components and fractions of the same sample.

\*) Anschriften der Verfasser: Dr. ACHIM HILLER, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Hydrogeologie, Theodor-Lieser-Straße 4, 06120 Halle; (neue Adresse: Institut für Interdisziplinäre Isotopenforschung, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig, e-mail: hiller@iif-leipzig.de); Dr. CHRISTIAN TINAPP, Physische Geographie / Geowissenschaften, Universität Trier, 54286 Trier; Prof. Dr. PIETER M. GROOTES & Dr. MARIE-JOSÉE NADEAU, Leibniz-Labor für Altersbestimmung und Isotopenforschung, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Max-Eyth-Straße 11-13, 24118 Kiel.

These differences may be attributed to reworked Tertiary material (lignites). Hence,  $^{14}\text{C}$  dates of organic material from fluvial sediments should be interpreted with great caution when the inherent age distribution of the material is wide and they can not be verified by methodically independent absolute dating techniques.

## 1 Einleitung

$^{14}\text{C}$ -Messungen spielen vor allem für die altersmäßige Charakterisierung organischer Substanzen eine herausragende Rolle, weil organisches Material wie z.B. Holz, Torf, Holzkohle, Pflanzendetritus in Sedimenten, Humus, Knochen, das im Bildungs- bzw. Wachstumszeitraum mehr oder weniger direkt mit dem atmosphärischen  $^{14}\text{C}$  korrespondiert hat, überwiegend zuverlässige konventionelle Alterswerte liefert. Bei der  $^{14}\text{C}$ -Datierung jungquartärer Gesteinsabfolgen werden oftmals organische Bestandteile aus Schichten verwendet, um eine absolute Chronologie der stratigraphischen Alter zu erstellen. Ist das terrestrische organische Material autochthoner Herkunft, treten keinerlei Probleme auf. Wenn es sich um zeitgleiche Bildungen verschiedener Komponenten handelt (z.B. Holzreste, Megafossilien<sup>1</sup>, Fein- und Grobdetritus in einem humosen Sediment), lassen sich auch solche Mischproben solide datieren.

In Mitteldeutschland, wo mächtige tertiäre Schichten (z. T. oberflächennah anstehende Braunkohlevorkommen) auftreten, können die Verhältnisse jedoch weitaus komplizierter sein. Insbesondere während der Glaziale haben Bewegungen des Gletschereises und kryoturbate Prozesse in Periglazialräumen sowie fluviatile Tätigkeit oft zu Umlagerungen, intensiven gravitativen Deformationen (Tropfen- und Taschenstrukturen) und zu

[<sup>1</sup> Als Megafossilien bezeichnen wir kompakte Hölzer im Unterschied zu pflanzlichen Makrofossilien wie z.B. Samen, Nadeln etc.]

Diskordanzen in der Schichtenfolge geführt (EISSMANN 1997: 64), die nicht immer sicher zu erkennen und stratigraphisch einzuordnen sind. Hinzu kommt, dass versickerndes oder in seinem Pegel schwankendes Grundwasser bestimmte Komponenten von organischen Ablagerungen (Fulvinsäuren, Huminsäuren) löst und leicht verlagert. Sie werden dann an anderer Stelle angereichert.

Wir möchten hier anhand einiger Beispiele aus dem Tal der Weißen Elster zeigen, welche großen  $^{14}\text{C}$ -Altersdifferenzen innerhalb von Proben mit altersmäßig heterogener Zusammensetzung auftreten können. Wissenschaftler, die sich mit der jüngeren Geschichte des Quartärs befassen, sollen dadurch zur vorsichtigen Interpretation von  $^{14}\text{C}$ -Daten solcher Sedimente und zum kritischen Umgang mit  $^{14}\text{C}$ -Altersangaben aufgefordert werden. Empfehlenswert ist eine sorgfältige Prüfung der Alterskonsistenz unterschiedlicher organischer Fraktionen oder der Einsatz methodisch unabhängiger absoluter Datierungsmethoden (z.B. archäologische und TL/OSL- oder  $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Altersbestimmungen).

## 2 Problemstellung

Torfe, Torfmudden, Schluffmudden (humic silts), Böden etc., deren organische Substanz aus unterschiedlich komplexen und oft auch verschiedenen alten Stoffgruppen zusammengesetzt ist und die z.T. komplexe Bildungs- und Umwandlungsprozesse durchlaufen haben (STEVENSON 1982), erlauben die Anwendung von  $^{14}\text{C}$ -Analysen. Lösliche Komponenten wie vor allem Fulvin- und Huminsäuren sind mobil und werden leicht verlagert (Lösungs- und Wiederausfällungsprozesse). Sie sind daher häufig allochthoner Herkunft oder weisen eine breite Altersverteilung auf. Zur Beseitigung allochthoner Bestandteile bzw. zur Dekontamination werden bei der Vorbehandlung höhermolekulare Verbindungen wie Säure lösliche Fulvinsäuren, vor allem aber die Alkali löslichen Huminsäuren und die Alkali unlösliche Fraktion (Humine) abgetrennt. Dazu wird üblicherweise das Säure-Lauge-Säure Verfahren (AAA) angewendet, das den Säurecharakter der Huminsäuren (aromatische Strukturen mit Carboxyl- und Hydroxylgruppen) ausnutzt. Bei Böden, die – sofern es sich nicht um Ah-Horizonte handelt – meist nur sehr geringe C-Gehalte (< 1%) haben, wird oft nur eine HCl-

Extraktion zur Zersetzung des Karbonates durchgeführt. In diesem Fall wird demnach die gesamte organische Substanz ( $\text{C}_{\text{org}}$ ) datiert. Sind solche Proben durchwurzelt, sind scheinbare Verjüngungen die Regel.

In bodenkundlichen Studien wurden verschiedene organische Fraktionen (verschiedene Huminsäure-Extrakte) untersucht und nicht selten um mehrere Jahrtausende zu große oder zu kleine  $^{14}\text{C}$ -Alter gefunden (SCHARPENSEEL et al. 1968; KIGOSHI et al. 1980; WILLIAMS 1989; SHORE et al. 1995; GROOTES et al. 1998). Sehr gut übereinstimmende  $^{14}\text{C}$ -Alter werden für Huminsäure- und Huminfraktionen von Ah-Horizonten erhalten (COOK et al. 1998).  $^{14}\text{C}$ -Messergebnisse von Huminsäure-Extrakten aus Böden sind meist nur schwierig als Alter zu interpretieren (GEYH 1970; SCHARPENSEEL & SCHIFFMANN 1977; GILET-BLEIN et al. 1980; GEYH et al. 1983). In seltenen Fällen beträgt die  $^{14}\text{C}$ -Altersdifferenz zwischen Makroresten und Huminsäuren mehr als 10.000 Jahre, so z.B. in Böden unter Hochgebirgsmoränen (GEYH 1985). Die Genese und Zusammensetzung der organischen Stoffe in solchen Sedimenten spielen für die Zuverlässigkeit der erhaltenen Alterswerte eine ebenso große Rolle wie die Zusammensetzung der extrahierten organischen Bestandteile.

## 3 Geologische Situation, Beschreibung der Proben

Das untere Tal der Weißen Elster, aus dem die Proben stammen (Abb. 1), durchziehen tertiäre (Braunkohle, Meeressande) und vor allem quartäre Gesteine (vor allem Schotter, Geschiebelehm und -mergel, Löss). Im Quartär wechselten Aufschüttungsphasen am Beginn der Glaziale mit linearer Erosion durch Einschneidung der Fließgewässer und der Tieferlegung der Talböden während der Interglaziale (EISSMANN 1997: 61). Da der heutige Talverlauf der Weißen Elster praktisch identisch mit dem der Weichseleiszeit ist, erfolgte die Erosion großer Teile der Niederterrassenschotter mit Beginn der Klimaerwärmung im Spätglazial und im Holozän (HILLER et al. 1991). Anthropogen bedingt kam es im Gefolge der ackerbaulichen Nutzung seit etwa 7300 Jahren (CAMPEN & STÄUBLE 1999) zur Ablagerung von 4 - 5 m Auenlehm, der außerhalb der Rinnen – entgegen dem natürlichen Trend – in Warmzeiten zu einer Erhöhung des Tal-

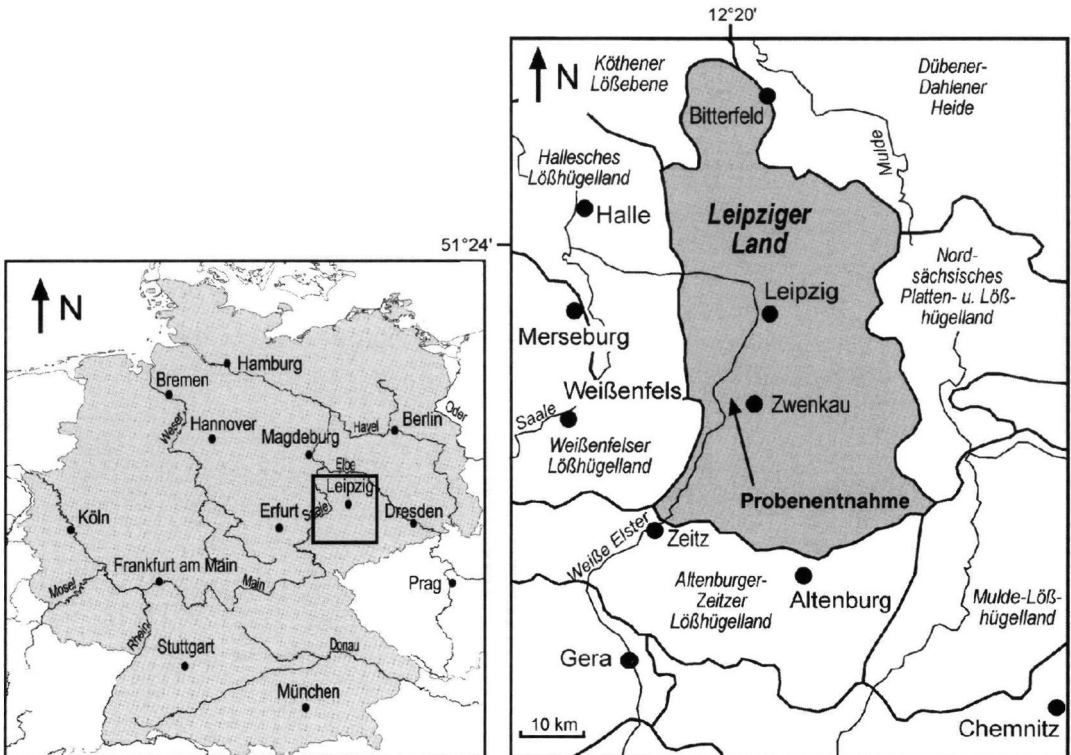


Abb. 1: Lage und naturräumliche Einordnung des Untersuchungsgebietes (nach MANNSELD & RICHTER 1995). Der westlich von Zwenkau abknickende bogenförmige Lauf der Weißen Elster beruht auf der Umleitung des Flusses für den Tagebau Zwenkau.

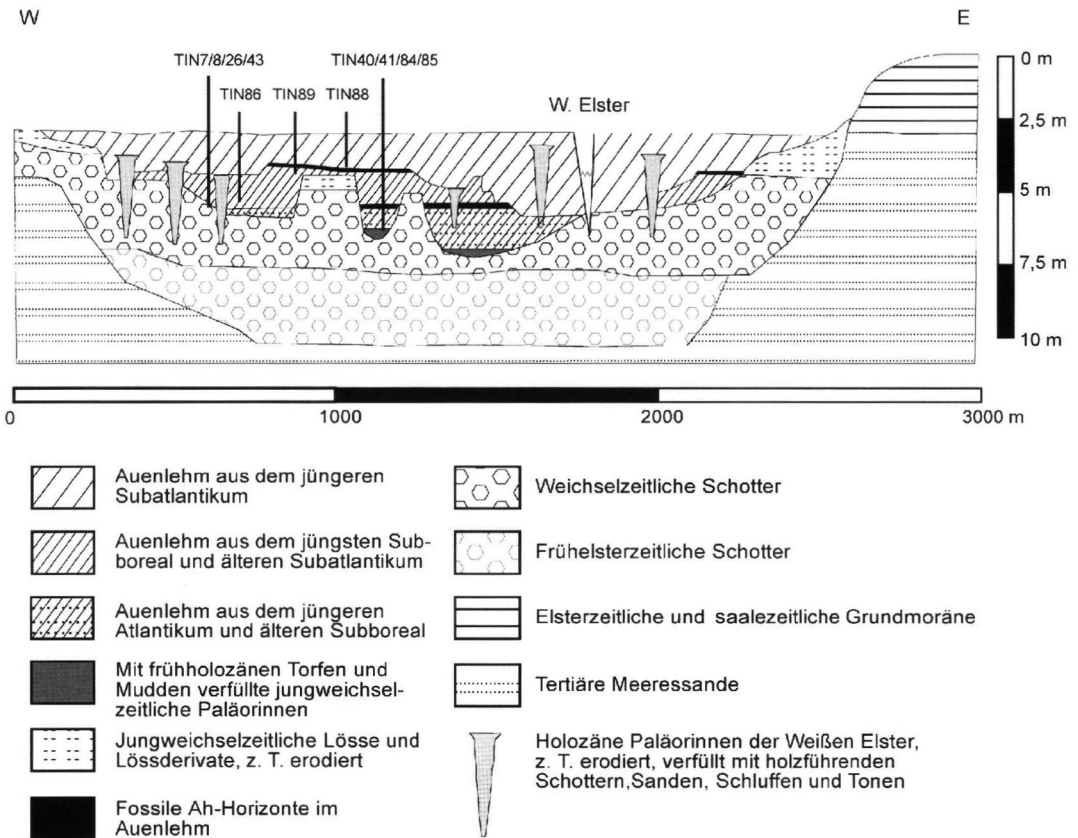
Fig. 1: Location of the study area (after MANNSELD & RICHTER 1995). The bent river course of the Weisse Elster west of Zwenkau is due to its redirection for the open-cast mine.

bodens geführt hat (TINAPP & STÄUBLE 2000). Das Resultat der komplexen Talgeschichte sind kleinräumige, horizontal stark wechselnde Alter der Schichten auf gleicher absoluter Höhe. Jungweichselzeitliche Sedimente liegen z.B. neben Paläorinnenablagerungen aus dem mittleren Holozän (Abb. 2). An wenigen Stellen sind auch, von Erosion weitgehend ungestört, mächtige Abfolgen weichselzeitlicher und holozäner Sedimente erhalten geblieben (EISSMANN 1994: 103).

Die Probenmaterialien von TIN 7 und TIN 8, 26 und 43 (vgl. Tab. 1) stammen aus Paläorinnen, die direkt über hochweichselglazialen Schottern liegen. Sie setzen sich aus Sanden mit größeren organischen Beimengungen zusammen. Oberhalb der Entnahmestellen liegen 2,5 bis 4 m Auenlehm oder jüngere holozäne Paläorinnensedimente (vgl. HILLER & TINAPP 2000; TINAPP 2002).

Die Proben TIN 86, 88 und 89 stammen aus

Hochflutlehmen. Während TIN 86 von der über weichselzeitlichen Schottern liegenden Auenlehm-basis stammt, wurden TIN 88 und 89 aus Auenlehmen oberhalb einer bereits durch mehrere  $^{14}\text{C}$ -Werte datierten Profilbasis entnommen (vgl. Abb. 2). Über jungweichselzeitlichen Sanden hat sich dort ein Torf gebildet, der nach drei  $^{14}\text{C}$ -Daten zwischen ca. 10.200 und 9800 a BP (TIN 40, 84, 85) entstanden ist. Die zwischen Torf und Auenlehm liegende Schluffmulde mit Pflanzenresten datiert wesentlich jünger auf ca. 7300 a BP (TIN 41) in das frühe Atlantikum. Dies wird durch das Pollenspektrum bestätigt. Während aus den Torfen eine präboreale Flora rekonstruiert werden kann, weist die darüber liegende Schluffmulde ein boreales bis frühatlantisches Pollenspektrum auf (TINAPP 2002). Somit muss der darüber liegende Auenlehm ein kleineres Alter haben. Mit der Probe TIN 88 sollte das Alter eines fossilen  $\text{A}_h$ -Horizontes ermittelt werden.



Proben (konv.  $^{14}\text{C}$ -Alter, vgl. Tab. 1):

TIN 7/8: 11.940 +/- 60, TIN 26: 11.520 +/- 70, TIN 43: 9425 +/- 45, TIN 40: 9850 +/- 110, TIN 41: 7330 +/- 90, TIN 84: 9910 +/- 110, TIN 85: 10.145 +/- 110, TIN 86: 7900 +/- 70, TIN 88: 7560 + 390/-370, TIN 89: 6945 +/- 60.

Abb. 2: Schematisches Talquerprofil der Weißen Elster zwischen Pegau und Zwenkau mit der stratigraphischen Position der Probenentnahmestellen.

Fig. 2: Schematic profile across the valley of the Weisse Elster between Pegau and Zwenkau including the stratigraphic positions of the sampling sites.

#### 4 Ergebnisse und Diskussion

Innerhalb einer Sandlage einer flachen Paläorinne oberhalb von weichselzeitlichen Sanden und Schottern wurden zwei deutlich sichtbare, 4 cm vertikal auseinander liegende humose Bänder beprobt. Aus ihnen wurden die Proben TIN 7 und 8 (s.o.; Tab. 1) entnommen und datiert. Sie bestanden aus Grobdetritus und Holzresten (kleine Ästchen), die aus einem sandigen Sediment ausgelesen worden sind. Wegen der unzureichenden Menge wurden die Holzreste mit der angereicherten Grobdetritusfraktion (Siebfraktion) vereinigt. Die konven-

tionellen  $^{14}\text{C}$ -Alter dieser beiden Mischproben (nur mit HCl behandelt) stimmten mit etwa 33 ka BP gut überein, erwiesen sich aber als unerwartet groß. Die geringen verbliebenen Probenmengen von TIN 7 und 8, beide vereinigt, wurden deshalb an das Leibniz-Labor in Kiel zur  $^{14}\text{C}$ -Datierung mit dem AMS-Verfahren geschickt. Hier wurden Holzreste vom humosen Sediment getrennt und beide Proben nach dem üblichen Säure-Lauge-Säure-Verfahren vorbehandelt, wobei je zwei Fraktionen – Lauge löslich und Lauge unlöslich – erhalten wurden (NADEAU et al. 1997, 1998). Die  $^{14}\text{C}$  AMS-Analyse dieser vier Fraktionen von TIN 7/8 spiegelt die kom-

Tab. 1: Übersicht der  $^{14}\text{C}$ -Alter der untersuchten Sedimentproben; die grau hinterlegten Daten sind als die zuverlässigsten anzusehen.

(KIA: Leibniz AMS-Labor Kiel, LZ: Leipzig, SWAN: University of Wales; \* nur HCl-Extraktion; \*\* sehr kleine Probe, zeigt Isotopenfraktionierung in  $\delta^{13}\text{C}$ ; \*\*\*  $^{14}\text{C}$ -Wert mit angenommenen  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert korrigiert; † Alterswert unsicher wegen sehr geringer Probenmenge).

Tab. 1: Overview of the  $^{14}\text{C}$  ages of sediment samples investigated. The grey shaded data are considered as the most reliable.

(KIA: Leibniz AMS Lab Kiel, LZ: Leipzig, SWAN: University of Wales; \* only HCl extraction; \*\* very small sample, shows isotope fractionation in  $\delta^{13}\text{C}$ ; \*\*\*  $^{14}\text{C}$  age corrected with estimated  $\delta^{13}\text{C}$  value; † age value uncertain due to very little sample quantity).

Probe	Sediment	stratigraph. Einheit	organisches Material	Lab-No.	Fraktion	mg C AMS	delta $^{13}\text{C}$ (% PDB)	konv. C-14 Alter ( $\pm 1\sigma$ )	
TIN 7	lehmiger Sand mit "Holz"resten	SPÄT - WEICHSEL	Grobdetritus + "Holz"-Reste	LZ-1397	Corg-Gesamt *		-26,8	<b>33.500+580/-540</b>	
			Grobdetritus	LZ-1500	Corg-Gesamt *		-27,0	<b>32.250+400/-380</b>	
TIN 8	lehmiger Sand mit "Holz"resten		Grobdetritus + "Holz"-Reste	LZ-1398	"Holz"-Reste *		-26,4	<b>33.700+580/-540</b>	
TIN 7/8	lehmiger Sand mit "Holz"resten		A: "Holz"-Stückchen	KIA 9370	Alkaliunlösl. Huminsäuren	0,2 4,0	-33,4 ** -22,6	<b>10.880±240</b> <b>32.240+290/-280</b>	
			B: Restprobe (Grobdetritus)	"	Alkaliunlösl. Huminsäuren	1,8 2,3	-27,4 -26,8	<b>11.940±60</b> <b>14.510±80</b>	
TIN 43	Sand mit Pflanzenresten			Grobdetritus (Rinde, Samen)	KIA 10962	Alkaliunlösl. Huminsäuren	4,9 5,0	-29,8 -25,2	<b>9425±45</b> <b>31.110+230/-220</b>
TIN 26	Sand mit Pflanzenresten		Grobdetritus	SWAN-342	Alkaliunlösl.		-26,9	<b>18.710±280</b>	
			Grobdetritus + wenig "Holz"-Reste	LZ-1639	Corg-Gesamt *		-27,0 ***	<b>22.200±160</b>	
			Grobdetritus	KIA 11793	Alkaliunlösl. Huminsäuren	5,1 5,1	-30,1 -29,8	<b>11.520±70</b> <b>14.095±55</b>	
TIN 40	Torf	FRÜH - HOLOZÄN	Torf	SWAN-345	Corg-Gesamt *		-29,1	<b>9850±110</b>	
TIN 41	Schluffmudde		Pflanzenreste	SWAN-346	Alkaliunlösl.		-26,7	<b>7330±90</b>	
TIN 84	Torf		Torf	SWAN-418	Corg-Gesamt *		-28,8	<b>9910±110</b>	
TIN 85	Torf		Torf	SWAN-419	Corg-Gesamt *		-28,5	<b>10.145±110</b>	
TIN 86	Sandiger Lehm	MITTLERES HOLOZÄN	Humoses Sediment	KIA 10965	Alkaliunlösl. Huminsäuren	1,1 1,0	-25,1 -25,0	<b>9840±60</b> <b>7900±70</b>	
			Humoses Sediment	KIA 10967	Alkaliunlösl.	0,5	-29,4	<b>9480±110</b>	
TIN 88	Sandiger Lehm Ah-Horizont				"	Alkaliunlösl. Huminsäuren	1,8 0,1	-25,7 -32,8 *	<b>8510±50</b> <b>7560+390/-370 †</b>
				Humoses Sediment	KIA 10959	Alkaliunlösl. Huminsäuren	0,5 0,8	-27,2 -26,4	<b>9490±100</b> <b>6945±60</b>
TIN 89	Sandiger Lehm				"				

plizierte altersmäßige Zusammensetzung der Probe wider. Die separierten "Holzstückchen" (Tab. 1: Probe A) waren – völlig überraschend – fast vollständig Alkali löslich, ein Verhalten, das für echtes Holz ungewöhnlich ist. Diese Fraktion lieferte ebenfalls ein konventionelles  $^{14}\text{C}$ -Alter von etwa 33 ka. Der geringfügige Rückstand war mit 11.000 a BP jedoch wesentlich jünger. Dieses Ergebnis wird freilich von dem  $^{14}\text{C}$ -Alter der Makroreste des Restsedimentes von ca. 12.000 a BP bestätigt (Tab. 1: Probe B). Überraschend klein ist auch das  $^{14}\text{C}$ -Alter von 14.500 a BP der zugehörigen Huminsäuren. Das tatsächliche  $^{14}\text{C}$ -Alter des Sedimentes wird mit 12.000  $^{14}\text{C}$  a BP angenommen, da die Alkali unlösliche Komponente der Probe A die für präzise AMS-Messungen minimale Substanzmenge von 1 mg unterschritten hat. Das Sediment wurde danach im frühen Bølling-Interstadial direkt nach der Deglaziation abgelagert.

Die ermittelten Altersdifferenzen von über 20.000  $^{14}\text{C}$ -Jahren sind so groß, dass es nicht nur eine Deutung geben kann. Wenn die Alkali löslichen „Holzstückchen“ stark zersetztes, umgelagertes Holz aus dem Spätglazial waren, könnte es vor der Sedimentation von Abbau resistenten Huminsäuren aus tertiärem Material penetriert worden sein. Die beim Abbau des Holzes selbst entstehenden Huminsäuren sind dagegen mobiler und wurden vorwiegend ausgewaschen, weswegen sich deren  $^{14}\text{C}$ -Alter stark unterscheiden. Eine andere mögliche Erklärung geht davon aus, dass es sich bei den vermeintlichen Holzpartikeln um umgelagertes tertiäres, humoses, organisches Material handelt, das durch mikrobielle und/oder bodenchemische Prozesse abgebaut und verändert worden ist. Hierfür kommen verkohlte Pflanzenreste und Kohlenstoffpartikel („black carbon“) in Betracht. Letztere entstehen z.B. bei Waldbränden. Beide Komponenten werden in den Kohlenstoffbestand von Böden und Sedimenten eingebunden und sollen nach SKJEMSTAD et al. (1996) zu organischen Verbindungen umgewandelt werden können. Dieses Material ist weitgehend (bio)chemisch resistent. Es gibt aber Hinweise (s.o.) für mikrobielle oder chemische Abbau- und Oxidationsprozesse unter spezifischen Bedingungen (BIRD et al. 1999; SCHMIDT & NOACK 2000), bei denen unterschiedlich mobile Huminsäuren bzw. Huminsäure ähnliche Verbindungen entstehen (HAUMAIER & ZECH 1995; SKJEMSTAD et al.

1996). Bei der Pollenanalyse konnten keine Kohlenstoffpartikel entdeckt werden. Bei den "Holzpartikeln" könnte es sich möglicherweise auch um sogenannte Melanine handeln, Abbau resistente Umwandlungsprodukte, die vor allem durch Pilze produziert werden, Huminsäure ähnliche Eigenschaften haben und sogar einen bedeutenden Anteil der Humussubstanz in Böden ausmachen können (BUTLER & DAY 1998).

Aus dem Pflanzendetritus von TIN 43 wurden kleine Rinden(?)stückchen und Samen für die  $^{14}\text{C}$ -Analyse separiert. Die Ergebnisse sind überraschend ähnlich den Daten von TIN 7/8: Die Huminsäuren lieferten ein stratigraphisch nicht akzeptables  $^{14}\text{C}$ -Alter von 31 ka BP, während das  $^{14}\text{C}$ -Alter von 9425 a BP die stratigraphische Position bestätigt und ins frühe Holozän zu stellen ist.

Der organische Anteil von TIN 26 umfasste neben holzähnlichen Partikeln nicht näher identifizierbare Pflanzenreste. Zwei unabhängige konventionelle  $^{14}\text{C}$ -Analysen von HCl-Extrakten lieferten ca. 19 ka BP (Huminfraktion) und 22 ka BP für die mit HCl vorbehandelte Probe. Ein hochglaziales Alter ist stratigraphisch und sedimentologisch auszuschließen. Das wahre Alter erbrachte wieder die AMS-Analyse (Tab. 1). Die Alkali unlösliche Fraktion der ausgelesenen Makroreste lieferte 11.500  $^{14}\text{C}$  a BP, also ein Spätallerød-zeitliches Alter. Das wiederum höhere  $^{14}\text{C}$ -Alter der Alkali löslichen Fraktion (ca. 2500 a) bestätigt, dass im Sediment geringe Anteile tertiärer Huminstoffe enthalten waren. Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass ein wesentlicher Teil der Huminsäuren im Allerød gebildet wurde, wofür jedoch palynologische Befunde nicht zu erbringen waren.

Alle beschriebenen Proben (TIN 7, 8, 26, 43) stammen aus einem 500 x 200 m großen Ausschnitt der Aue im Vorfeld des Tagebaus Zwenkau. Hier wurden fluviatile sandige Sedimente zwischen der Jungweichselzeit und dem Frühholozän abgelagert. Die Ablagerungen bestehen danach aus Erosionsmaterial der Weißen Elster und ihrer Nebenflüsse. Der im Sediment der Proben enthaltene allochthone organische Kohlenstoff kann zeitlich vom Oligozän bis in die Spätweichselzeit reichen (vgl. Abb. 2).

Die bisher aus den  $^{14}\text{C}$ -Altern abgeleitete fossile Herkunft der organischen allochthonen Bestandteile wird durch Pollenanalysen von TIN 7, 8 und 26 bestätigt. Es wurde eine weitgehend tertiäre

Flora mit wenigen pleistozänen Arten gefunden. Der tertiäre Pollen war wesentlich besser erhalten als z.T. stark korrodierter aus dem Pleistozän. Immer wieder hat sich in den holozänen Schichten der Aue gezeigt, dass schwache bis starke Verunreinigungen mit tertiärem Material vorhanden sind (vgl. TINAPP 2002). Da der Pollen aus dem Spätglazial – dem tatsächlichen Zeitraum der Sedimentation – z.B. während des Wechsels zwischen Durchfeuchtung und Austrocknung teilweise zerstört worden ist, muss der tertiäre Pollen widerstandsfähiger sein, obwohl sie sich äußerlich kaum unterscheiden. Wie die Alterswerte zeigen, wurde bei der Datierung jedoch nicht ausschließlich tertiäres organisches Material in Alkali löslicher Form erfasst, sondern auch ein geringer jüngerer organischer Anteil aus dem Spätglazial. Die mit der  $^{14}\text{C}$ -Analyse untersuchten, unterschiedlich alten Komponenten werden damit durch die Pollenanalyse grundsätzlich bestätigt.

Im Weichsel-Spätglazial sind durch Einschneidung von Rinnen stromaufwärts offenbar auch tertiäre Schichten angeschnitten worden. Da am Ende der Weichseleiszeit die Humusneubildung in noch wesentlich geringerem Maße stattfand als später im Holozän, liegen folglich die Anteile tertiärer Verunreinigungen in organischen Anreicherungen in den spätglazialen Bildungen der Aue wesentlich höher. Die aus zahlreichen geologischen Befunden sicher gestellte Erosion großer Teile der Niederterrassenschotter (vgl. HILLER et al. 1991; EISSMANN 1994: 101) wird somit durch unsere  $^{14}\text{C}$ -Daten zeitlich bestätigt.

Die  $^{14}\text{C}$ -Daten der Extrakte des organischen Materials der Proben TIN 86, 88 und 89 demonstrieren ganz andere Verhältnisse. Hier sind die Huminsäuren um ca. 2000 bis 2500 Jahre jünger als die Humine. Dies entspricht durchaus dem Normalfall, weswegen das AAA-Verfahren angewendet wird. Die Altersdifferenz dieser Komponente bei der Wiederholungsmessung von TIN 88 (s. Tab. 1) ist kaum messtechnisch bedingt, sondern deutet möglicherweise auf inhomogenes Probenmaterial und damit variable Mischungsverhältnisse hin. Infolge der bei der Ablagerung von Hochflutlehm stattfindenden Prozesse muss mit solchen Effekten gerechnet werden. Nach dem  $^{14}\text{C}$ -Alter stammt die Alkali unlösliche Fraktion aus dem frühen Holozän

(Präboreal) und nicht – wie erwartet – aus dem mittleren Holozän. Wegen des sehr geringen Kohlenstoffgehaltes der Sedimente ist allerdings nicht ausgeschlossen, dass die in den untersuchten Sedimenten der Elsteraue nachgewiesenen Beimengungen an fossilem, nicht-mobilen allochthonem Kohlenstoff zu beträchtlichen, scheinbaren Altersüberhöhungen geführt haben. Somit ist anzunehmen, dass hier die  $^{14}\text{C}$ -Alter der Huminsäuren den Zeitpunkt der Sedimentation besser widerspiegeln als die der Huminfraction, zumal TIN 89 auch eine logische Alters-Tiefen-Abfolge ergibt.

Die niedrigeren Huminsäurealter von TIN 86 und 89 können auch als Hinweis für pedogene Vorgänge innerhalb der Auenlehme angesehen werden, in deren Verlauf es zu Verlagerungen von Huminsäuren mit Sickerwässern bzw. durch schwankende Grundwasserspiegel gekommen sein kann (vgl. SCHARPENSEEL & SCHIFFMANN 1977). Im Fall des Ah-Horizontes (TIN 88) sollten Huminsäure-Umlagerungen keine wesentliche Rolle spielen und das Datum den frühesten Zeitpunkt liefern, von dem an der Boden mit Sedimenten überdeckt worden ist. Stratigraphisch gesehen ist das tatsächliche Alter des Auenlehms noch etwas kleiner als die  $^{14}\text{C}$ -Werte der Huminsäuren (Abb. 2), denn als Mischung können die Daten hier nur als Maximalalter gedeutet werden (CASELDINE & MATTHEWS 1985; STÄUBLE 1995; BROWN 1997).

Zusammenfassend stellen wir fest:

1. Wir finden in Auensedimenten eines eng begrenzten Gebietes extrem unterschiedliche  $^{14}\text{C}$ -Alter, wobei die Huminsäure-Komponente von >20.000 Jahre älter (TIN 7/8, 43) bis ca. 2000 Jahre jünger (TIN 86, 89) ist als die Alkali unlösliche Fraktion. Übereinstimmend mit einschlägigen Erfahrungen sollten aus fluviatilen Sedimenten nur die ausgelesenen Makroreste nach AAA-Vorbehandlung AMS  $^{14}\text{C}$ -datiert werden. Falls nur  $\text{C}_{\text{org}}$ -Daten ermittelt werden können, ist mit scheinbar zu großen oder zu kleinen  $^{14}\text{C}$ -Altern zu rechnen. Allerdings spiegeln auch die AMS- $^{14}\text{C}$ -Daten in unseren Untersuchungen ungewöhnlich komplizierte Verhältnisse wider.
2. Die Huminsäuren ergeben in einigen Fällen vollkommen irrelevante, zu große Alterswerte. Bei den untersuchten Proben aus dem Hochflutlehm

sind deren <sup>14</sup>C-Alter jedoch jünger als die der Huminfraction und besser vereinbar mit dem aus der Stratigraphie abgeleiteten Bildungszeitraum.

3. Wegen der sehr wahrscheinlichen Koexistenz unterschiedlich alter organischer Komponenten in fluviatilen Sedimenten ist die <sup>14</sup>C-Altersbestimmung mehrerer Komponenten oder vergleichende Datierungen mit anderen Methoden zu empfehlen.

## 5 Danksagung

Für die Durchführung der Pollenanalysen danken wir Frau Dr. M. Knipping, Universität Hohenheim. Unser Dank gilt ebenso Dr. Q. Dresser (University of Wales), der fünf <sup>14</sup>C-Daten zur Verfügung stellte. Herrn Prof. M.A. Geyh sind wir für die kritische Durchsicht und zahlreiche Anmerkungen dankbar.

## 6 Schriftenverzeichnis

- BIRD, M.I., MOYO, C., VEENENDAAL, E.M. LLOYD, J. & FROST, P. (1999): Stability of elemental carbon in a savanna soil. – *Global Biogeochem. Cycles*, **13**: 923-932.
- BROWN, A. G. (1997): Alluvial geoarchaeology. Floodplain archaeology and environmental change. – 377 S.; Cambridge (Cambridge University press).
- BUTLER, M.J. & DAY, A.W. (1998): Fungal melanins: a review. – *Canad. J. Microbiol.*, **44**: 1115-1136.
- CAMPEN, I. & STÄUBLE, H. (1999): Holzfunde im Braunkohlentagebau Zwenkau: Ausnahme oder Regel? – *Plattform*, **7/8**: 46-57.
- CASELDINE, C. J. & MATTHEWS, J. A. (1985): <sup>14</sup>C-Dating of palaeosoils, pollen analysis and landscape change: Studies from the Low- and Mid-Alpine Belts of Southern Norway. – In: BOARDMAN [ed.]: Soils and Quaternary landscape evolution, 87-116; Chichester - New York - Brisbane - Toronto - Singapore (John Wiley & Sons).
- COOK, G.T., DUGMORE, A.J. & SHORE, J.S. (1998): The influence of pretreatment on humic acid yield and <sup>14</sup>C age of *Carex* peat. – *Radiocarbon*, **40**: 21-27.
- EISSMANN, L. (1994): Grundzüge der Quartärgeologie Mitteldeutschlands. – In: EISSMANN, L. & LITT, T. [Hrsg.]: Das Quartär Mitteldeutschlands. Ein Leitfaden und Exkursionsführer. – *Altenburger naturwiss. Forsch.*, **7**, 55-135, Altenburg.
- (1997): Das quartäre Eiszeitalter in Sachsen und Nordosthüringen. *Altenburger naturwiss. Forsch.*, **8**, 98 S.; Altenburg.
- GEYH, M.A. (1970): Möglichkeiten und Grenzen der Radiokohlenstoffaltersbestimmung von Böden - Methodische Probleme. – *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges.*, **10**: 239-241.
- (1985): <sup>14</sup>C-Daten zu Gletscherständen - Probleme der Deutung. – In: RÖTHLISBERGER, F. [Hrsg.]: 10.000 Jahre Gletschergeschichte der Erde: 319-330, (Sauerländer).
- , ROESCHMANN, G., WIJNSTRA, T.A. & MIDDELDORP, A. (1983): The unreliability of <sup>14</sup>C dates obtained from buried sandy podzols. – *Radiocarbon*, **25**: 409-416.
- GILET-BLEIN, N., MARIEN, G. & EVIN, J. (1980): Unreliability of <sup>14</sup>C dates from organic matter in soils. – *Radiocarbon*, **22**: 919-929.
- GROOTES, P.M., NADEAU, M.-J. & SCHLEICHER, M. (1998): Determination of the <sup>14</sup>C-age of soil organic matter. – *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges.*, **87**: 191-198.
- HAUMAIER, L. & ZECH, W. (1995): Black carbon – Possible source of highly aromatic components in soil humic acids. – *Org. Geochemistry*, **23**: 191-196.
- HILLER, A., LITT, T. & EISSMANN, L. (1991): Zur Entwicklung der jungquartären Tieflandstäler im Elbe-Saale-Gebiet unter besonderer Berücksichtigung von <sup>14</sup>C-Daten. – *Eiszeitalter und Gegenwart*, **41**: 26-46.
- & TINAPP, C. (2000): Geoarchäologie im Tagebau Zwenkau. Rinnensedimente als Spiegel einer sich wandelnden Umwelt. – *Archäol. Aktuell Freistaat Sachsen*, **6**: 36-41.
- KIGOSHI, K., SUZUKI, N. & SHIRAKI, M. (1980): Soil dating by fractional extraction of humic acid. – *Radiocarbon*, **22**: 853-857.
- MANNSFELD, K. & RICHTER, H. (1995) [Hrsg.]: Naturräume in Sachsen. – *Forschungen zur deutschen Landeskunde*, **238**: 228 S.; Trier (Selbstverlag).
- NADEAU, M.-J., SCHLEICHER, M., GROOTES, P.M., ERLKENKUSER, H., GOTTDANG, A., MOUS, D.J.W., SARNTHEIN, J.M. & WILLKOMM, H. (1997): The Leibniz-Labor AMS facility at the Christian-Albrechts-University, Kiel, Germany. – *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res., Ser. B*, **123**: 22-30.
- , GROOTES, P.M., SCHLEICHER, M., HASSELBERG, P., RIECK, A. & BITTERLING, M. (1998): Sample throughput and data quality at the Leibniz-Labor AMS Facility. – *Radiocarbon*, **40**: 239-245.
- SCHARPENSEEL, H.W. & SCHIFFMANN, H. (1977): Radiocarbon dating of soils. A review. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, **140**: 159-174.
- , RONZANI, C. & PIETIG, F. (1968): Comparative age determination on different humic-matter fractions. – In: IAEA Proceedings of the symposium on the use of isotopes and radiation in soil organic matter studies, IAEA Wien: 67-73.
- SCHMIDT, M.W.I. & NOACK, A.G. (2000): Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges. – *Global Biogeochem. Cycles*, **14**: 777-793.



- SHORE, J.S., BARTLEY, D.D. & HARKNESS, D.D. (1995): Problems encountered with the  $^{14}\text{C}$  dating of peat. – *Quat. Sci. Rev.*, **14**: 373-383.
- SKJEMSTAD, J.O., CLARKE, P., TAYLOR, J.A., OADES, J.M. & MACCLURE, S.G. (1996): The chemistry and nature of protected carbon in soil. – *Austr. J. Soil Res.*, **34**: 251-271.
- STÄUBLE, H. (1995): Archäologischer Kommentar zu  $^{14}\text{C}$ -Daten von altholozänen Böden im Rhein-Main-Gebiet. – *Arch. Korresp.-Bl.* **25**: 165-168.
- STEVENSON, F.J. (1982): *Humus Chemistry*, 443 S.; New York (John Wiley & Sons).
- TINAPP, C. (2002): Geoarchäologische Untersuchungen zur holozänen Landschaftsentwicklung der südlichen Leipziger Tieflandsbucht. – *Trierer Geogr. Studien*, **26**: 275 S.; Trier (Selbstverlag).
- & STÄUBLE, H. (2000): Auenentwicklung und Besiedlungsgeschichte im Tal der Weißen Elster südlich von Leipzig. – *Trierer Geogr. Studien*, **23**: 31-48; Trier (Selbstverlag).
- WILLIAMS, J.B. (1989): Examination of freshwater peat pretreatment methodology. – *Radiocarbon*, **31**: 269-275.