

Chronologie mittel- und jungwürmzeitlicher „Interstadialböden“ im Löß an paläolithischen Freilandfundstellen Niederösterreichs

von Ludwig Zöller, Bonn

*Im dankbaren Gedenken an
Dr. Friedrich Brandtner*

Keywords: Chronometrie, Geoarchäologie, Interstadiale, Löss, Paläoböden, Paläolithikum, Thermolumineszenz (Chronometry, geoarchaeology, interstadials, loess, paleosols, palaeolithic, thermoluminescence)

Zusammenfassung: Im Anschluss an einen Abriß der Würmlößgliederung in Österreich wird anhand von zwei Profilen mit bedeutenden jungpaläolithischen Fundstellen (Willendorf II und Grubgraben) in Niederösterreich berichtet, wie sich Paläoklimawandel der mittleren und jüngeren Würmkaltzeit in der Litho- und Pedostratigraphie niederschlägt. Die Ergebnisse von verschiedenen Ansätzen führen bisher zu teilweise widersprüchlichen Interpretationen. Zur Absicherung der Chronologie der Fundplätze werden neue Thermolumineszenz-Datierungen beigesteuert. Diese ermöglichen den Vergleich mit Innerwürm-Bodenbildungen benachbarter Lößgebiete. Zusammenhänge von Landschaftsstabilität und Bodenbildung mit paläolithischen Besiedlungsphasen werden andiskutiert.

Abstract: Following a brief review of the stratigraphy of Würmian loess in Austria, the impact of middle and upper Würmian palaeoclimatic change on litho- and pedostratigraphy is reported for two loess sections in Lower Austria containing important upper Palaeolithic find layers (Willendorf II and Grubgraben). Until present, the results based on different approaches have yielded interpretations which are partly contradictory. New thermoluminescence dates contribute to the ascertainment of the chronology of the sites and enable comparisons with intra-Würmian soil formations in neighboured loess areas. Relations of landscape stability and pedogenesis with phases of palaeolithic encampments are discussed.

Einleitung, Forschungsstand und Problemstellung

Die Erforschung des Paläolithikums und die Entwicklung der Lößstratigraphie sind selten so eng Hand in Hand gegangen, wie es in Niederösterreich und in angrenzenden Gebieten (bes. Mähren) der Fall war. Hierfür sind sicherlich frühe und weltbedeutende Funde wie die „Venus von Willendorf“ (1908) ausschlaggebend gewesen. Lange bevor die amerikanischen Begriffe „Geological Archaeology“ und „Geoarchaeology“ (Waters 1992; Rapp u. Hill 1998; Hertz u. Garrison 1998) als „Geoarchäologie“ auch im deutschsprachigen Raum Verbreitung und Aufmerksamkeit fanden, wurde in den niederösterreichischen Lössen bereits eine für ihre Zeit beispielhafte interdisziplinäre geoarchäologische Forschung betrieben, die einen vorläufigen Höhepunkt mit den Arbeiten von Julius Fink (zuletzt 1976) erreichte. Der allzu früh verstorbene J. Fink hat nicht nur Fragen zur Lößstratigraphie geklärt, sondern vielfach auch polarisiert und der Nachwelt offen hinterlassen. Der vorliegende Beitrag versucht, einige dieser Fragen, sofern sie das letzte Glazial betreffen, im Lichte neuer Forschungen darzustellen und mit großenteils erstmals publizierten Thermolumineszenz- (TL-) Datierungen einen Beitrag zur Chronometrie zu leisten.

Die pedostratigraphische Gliederung der letztglazialen Lössen Niederösterreichs, die seit Götzing (1936) sehr kontrovers diskutiert worden ist, ist durch Fink (zuletzt 1976) erheblich vorangetrieben worden, ohne daß sie heute als unumstritten gelten könnte. Von jüngeren Arbeiten sind besonders solche von Haesaerts zu erwähnen, aus paläontologischer Sicht auch diejenigen von Rabeder und Mitarbeitern (in

Döppes u. Rabeder 1997). Nach Fink umfaßt der „Stillfried-A-Bodenkomplex“ einen fossilen Bt-Horizont des letzten Interglazials und bis zu drei Humuszonen des Unterwürms (vgl. Semmel 1999). Der darüber folgende Mittelwürm-Löß wird durch die interstadiale Bodenbildung des „Stillfried-B“ abgeschlossen. Kontrovers wird bis heute die „Paudorfer Bodenbildung“ diskutiert: Zunächst wurde diese Humuszone als „Innerwürm-Boden“ mit dem Stillfried B gleichgesetzt, wohingegen Ložek (in Fink 1976, 67 ff.) aufgrund malakologischer Untersuchungen in ihr ein stratigraphisch verkürztes Stillfried A sah. Diese Ansicht wurde durch Zöller et al. (1994) aufgrund von TL-Datierungen und Aminostratigraphie bestätigt, während Noll et al. (1994) den Paudorfer Boden ebenfalls nach TL-Datierungen ins Mittelwürm, allerdings älter als Stillfried B, einstuften. Zöller et al. (1994) datierten den Löß direkt über dem „Paudorfer Boden“ im Profil des „Hohlwegs von Aigen“ an den Beginn des letzten Hochglazials, womit einzugestehen ist, daß der Paudorfer Boden in Plateaulagen durchaus im Mittelwürm weitergebildet worden sein kann, an der Typlokalität in Paudorf jedoch von frühem Mittelwürmlöß überlagert wird. In der tschechischen Standardstratigraphie nach Kukla (1977) entsprechen der „Pedokomplex (PK) III“ und der „PK II“ dem Stillfried A, während der jüngere „PK I“ vollständiger als in Stillfried ausgebildet ist; Stillfried B ist danach in den unteren Teil des „PK I“ zu stellen.

Neuere lößstratigraphische Arbeiten aus Niederösterreich und aus dem südlichen Deutschland, aber auch aus Mähren, geben Hinweise auf ein differenzierteres Bild der Gliederung der Mittelwürm-Lösse. Der weitverbreitete Gräselberger Boden nach Semmel (1969) und sein mögliches zeitliches Äquivalent im Neckarbecken, der Böckinger Boden (Bibus 1989), oder Mittelwürm-Interstadialbildungen im NW-Kraichgau und im Elsaß (Hatté et al. 1998; Weidenfeller u. Zöller 1999; Antoine et al. 2000) hatten bis vor kurzem kein sicheres Pendant in der niederösterreichischen Lößstratigraphie gefunden. In Mähren hingegen dürften der „Bohunice-Boden“ (Valoch 1976) und der nach ¹⁴C-Daten gleichalte Vedrovice-Boden dem Gräselberger bzw. Böckinger Boden entsprechen, und in Ungarn – nach übereinstimmenden Lumineszenz-Datierungen aus verschiedenen Laboratorien (s. Zöller et al. 1994; Frechen et al. 1997) – der „Mende Felső-I-(MF I)-Boden“, ein schwach entwickelter tschernosemartiger Boden (Pécsi et al. 1979). Diese Böden entstanden in einer interstadialen klimatischen Gunstphase, in der Europa nach bisheriger Kenntnis einen entscheidenden kulturellen Wandel erlebte, den Übergang vom Mittel- zum Jungpaläolithikum, mit den regionalen Kulturen des „Bohunicien“ in Brno-Bohunice und des „Szeletien“ in Vedrovice (Valoch 1976; 1990).

Der in Frage kommende Zeitraum von ≥ 40 ka B.P. ist mit der ¹⁴C-Methode aus drei Gründen nur noch sehr schwer datierbar:

- 1) Aufgrund der Halbwertszeit des ¹⁴C von 5730 a wird die analytische Grenze der Methode erreicht.
- 2) Eine zuverlässige Kalibrierung von ¹⁴C-Daten liegt für diesen Zeitraum noch nicht vor, und verschiedene Modelle zur Korrektur von konventionellen ¹⁴C-Altern liefern für diesen Zeitraum noch unterschiedliche Ergebnisse.
- 3) Aus noch nicht näher bekannten Gründen werden von organischen Materialien aus Löß >ca. 30 ka B.P. vielfach stratigraphisch nicht konsistente endliche ¹⁴C-Alter erzielt, die unterschätzt sind und nicht mit stratigraphischem Alter wachsen.

An neu aufgeschlossenen archäologischen Profilen in niederösterreichischen Lössen, die von Haesaerts (1990a; 1990b) feinstratigraphisch bearbeitet wurden und von denen in diesen Arbeiten sowie von Brandtner (1996) neue ¹⁴C-Alter vorliegen, wurden TL-Datierungen an Lössen aus verschiedenen Kulturhorizonten vorgenommen. Die Ergebnisse werden vergleichend mit den ¹⁴C-Altern diskutiert.

Methodik

Mittels der Lumineszenz-Methoden kann die letzte Belichtung von Mineralkörnern, d. h. ihre Ablagerung, datiert werden. Das Alter ergibt sich – stark vereinfachend – aus dem Quotient aus Äquivalentdosis (ED) und effektiver Dosisleistung (DL_{eff}) ionisierender Strahlung (Aitken 1985). Als Äquivalentdosis wird diejenige β - oder γ -Dosis definiert, die ein der natürlichen TL (NTL) äquivalentes Signal hervorbringt.

Die Proben für die Thermolumineszenz-(TL)-Datierungen wurden unter Lichtabschluß in Stechzylindern entnommen. Am Ort der Probennahme wurde die Umgebungsdosisleistung in mindestens 40 cm tiefen horizontalen Bohrlöchern mittels eines tragbaren Vierkanal-Gammaspektrometers gemessen. Weiterhin wurden luftdicht versiegelte Beutelp Proben zur Bestimmung der aktuellen Bodenfeuchte sowie für Labormessungen der natürlichen Radioaktivität genommen. Die Aufbereitung des Probenmaterials im Labor für die TL-Messung nach der Feinkorntechnik (4–11 μm Korndurchmesser, Aitken 1985) erfolgte unter sehr stark gedämpftem Rotlicht. Zur Herstellung reproduzierbarer Teilproben wurden je 2 mg der Fraktion 4–11 μm in Aceton auf Aluminiumscheibchen (9,8 mm Durchmesser) pipettiert. Eine Anzahl dieser Teilproben wurde unter einer Dr. Hoelne SOL2-Sonnensimulatorlampe 3 h lang gebleicht („Totalbleichung“). Mit dieser Technik wird im Normalfall das latente residuale TL-Signal von reinem Löß bei Ablagerung sehr gut simuliert (Zöller et al. 1988; Zöller 1995).

Routinemäßig wurden die additive „Totalbleichungs-“ (total bleach) und die Regenerierungsmethode (total bleach-regeneration, Aitken 1985) angewandt. Die künstlichen Bestrahlungen im Labor erfolgten mittels kalibrierter ^{90}Sr und ^{241}Am -Quellen. Die TL-Leuchtkurven (glow curves) wurden bei einer Heizrate von 5 K/s bis 500 °C mittels eines EMI 9685A-Photomultipliers und vorgesetzten Filtern – Corning 5-58 (blaudurchlässig, maximale Transmission bei 420 nm) und Chance Pilkington HA-3 (Hitzefilter) – aufgenommen. Die mit der Regenerierungsmethode ermittelten Alter können aber nur dann als zuverlässig angesehen werden, wenn durch das optische Bleichen im Labor keine signifikante TL-Sensitivitätsänderung eingetreten ist. Dies wird durch den Vergleich der Dosisaufbaukurven (TL-Wachstumskurven, Aitken 1985; Zöller et al. 1988) überprüft. Für einige Proben ist aber offenbar die Prämisse der „Totalbleichung“ bei Ablagerung nicht erfüllt, besonders bei hangfluvial verlagerten Lössen. In jüngerer Zeit hat sich die Optisch (OSL) bzw. Infrarot Stimulierte Lumineszenz (IRSL) auch für die Datierung derartiger Lößderivate weitgehend bewährt (Aitken 1998; Lang 1996). Im vorliegenden Fall wurde für derartige Proben eine Technik des „Partiellen Bleichens“ (Aitken 1985), die des längsten Plateaus nach Mejdahl (1985), modifiziert. Diese Technik wurde bereits am Profil von Achenheim (Elsaß) erfolgreich getestet (Rousseau et al. 1998).

Der erfolgreiche „Plateautest“ (Aitken 1985), d. h. die Bestätigung, daß sich beim Auftragen des TL-Alters gegen die Aufheiztemperatur für ein längeres Temperaturintervall (>60 K) ein Plateau ergeben muß, ist eine notwendige Voraussetzung einer zuverlässigen TL-Datierung (Berger 1995). Typischerweise stellt sich bei Lössen >300–340 °C ein Plateau ein. Durch Vorheizen aller Teilproben können thermisch instabile oder nur partiell stabile Anteile der TL eliminiert und dadurch der Plateaubereich zu niedrigeren Aufheiztemperaturen verlängert werden. In der Literatur wurden verschiedene Vorheizprozeduren erprobt mit dem Ergebnis, daß bei der polymineralischen Feinkornfraktion von Lössen i. A. zwischen 300 und ≥ 400 °C TL-Signale von ausreichender Langzeitstabilität vorliegen, die in einem bei 300 °C beginnenden ausreichend langen Plateau resultieren. Wird mittels der Totalbleichungs-Methoden kein Plateau >300 °C erreicht, ist dies bei Lössen ein Hinweis darauf, daß bei Ablagerung ein weiter bleichbares TL-Restsignal erhalten blieb, denn die Lichtempfindlichkeit der TL von Lössen variiert mit der Leuchtkurventemperatur: Unter den angegebenen experimentellen Bedingungen bleicht die TL <300 °C Leuchtkurventemperatur deutlich leichter und effektiver als die bei höheren Temperaturen stimulierte. Diese unterschiedliche optische Empfindlichkeit kann man sich nach folgendem Modell zunutze machen: Man bleicht Teilproben

mit NTL partiell, und zwar unter verschiedenen natürlichen Beleuchtungsverhältnissen (pralle Sonne, bedeckt, trüb) verschieden lange. Mit der additiven Methode bestimmt man dann ED, wobei die verschiedenen TL-Residuen nach partieller Bleichung nacheinander als TL-Residual bei Ablagerung angenommen werden. Dasjenige partielle Bleichverfahren, für das sich das längste Plateau ergibt, kommt dem Bleichungszustand bei Ablagerung am nächsten. Diese Methode hat sich als so sensibel erwiesen, daß die verbleibende Unsicherheit der ED-Bestimmung im Vergleich zu den typischen Mutungsintervallen einer TL-Datierung von Lössen (1σ -Fehler typischerweise ca. 10 %) vernachlässigbar klein wird. Um die Methode sinnvoll anwenden zu können, mußte die Vorheiztechnik zur Eliminierung langzeitinstabiler Komponenten der TL optimiert werden. Alle Proben wurden nach der ionisierenden Bestrahlung im Labor eine Woche bei 70 °C dunkel gelagert, und bei der TL-Messung wurde beim Aufheizen die Temperatur bei 240 °C (Proben Willendorf und Bohunice) bzw. bei 200 °C (Proben Grubgraben) für 20 s gehalten, bevor weiter aufgeheizt wurde. Für die Datenauswertung wurden nur die TL-Intensitäten bei >280 °C berücksichtigt.

Die Bestimmung der Dosisleistung geschah nach verschiedenen Methoden: Neben der in situ-Messung der Umgebungsdosisleistung (s. o.) wurden im Labor die Alpha-Dosisleistung mittels Alphazählung und die Beta-Dosisleistung mittels Betazählung ermittelt. Zudem wurden für alle Proben die U-, Th- und K-Konzentrationen mittels hochauflösender Gammaskopimetrie (Ge-Detektor) bestimmt sowie eventuelle Ungleichgewichte der Uran-Reihen untersucht. Aus diesen Konzentrationen wurden unter Zuhilfenahme der Konvertierungsfaktoren nach Nambi u. Aitken (1986) die Dosisleistungen der drei Strahlungsarten berechnet und mit diesen die Ergebnisse der anderen Methoden überprüft. Bei den Proben WILKS7-8 und WILKS2 wurden die gammaskopimetrisch ermittelten Konzentrationen zugrundegelegt, da eine korrekte in situ-Messung der Umgebungsdosisleistung mit 4π -Geometrie nicht möglich war. Die Dosisleistungsberechnung berücksichtigt die Strahlungsabschwächung durch den aktuellen Feuchtegehalt sowie den kleinen, von der Tiefe der Probe im Profil abhängigen Beitrag der Höhenstrahlung.

Profile

Die hier vorgestellten Neudatierungen stammen von den Grabungsprofilen Willendorf (Wachau, Niederösterreich) und Grubgraben bei Kammern (Niederösterreich). In Willendorf wurde durch P. Haesaerts (1990 a) ein neues Grabungsprofil angelegt, welches von der „Kulturschicht 2“ (N.C.2) bis ins Hangende der „Kulturschicht 9“ (N.C.9) reicht (Abb. 1). Die Feinstratigraphie von Haesaerts wird hier übernommen. Die TL-Proben wurden aus diesem Grabungsprofil am 4.6.1993 entnommen, wobei Hinweise von P. Haesaerts (mündl. Mitt.) derart berücksichtigt wurden, daß nur nicht-verlagerte Löss beprobt wurden. Im Grubgraben erfolgte die Probennahme am 3.6.1993 zusammen mit Dr. F. Brandtner im Hohlweg, wenige Meter von der Stelle entfernt, an der Brandtner (1996) später die archäologische Grabung von 1993/94 anlegte. Dabei stellte sich heraus, daß die Kulturschichten 1 und 5 der Grabung im Hohlwegprofil nicht mehr erhalten sind, da sie vorher auskeilen. Auch vom Grubgraben hat Haesaerts (1990 b) eine Feinstratigraphie aufgestellt, in die die Probenentnahmestellen für die TL-Datierung eingetragen wurden (Abb. 2). Haesaerts stellt heraus, daß der Löß mit den Kulturschichten seitlich von einer mehrere m tiefen Rinne gekappt wurde, die dann mit Bachsedimenten und Schwemmlössen verfüllt wurde. Die oberste Probe aus dem jüngsten Löß über der verfüllten Rinne, der an der Grabung selbst nicht mehr erhalten ist, wurde auf der westlichen Seite des Grabens an einer Wegegabelung etwa 200 m unterhalb der Grabung in 1 m Tiefe entnommen.

Das Willendorfer Profil (entsprechend der paläolithischen Station Willendorf II) liegt an einem recht steilen Hang über einer endmittelpleistozänen Niederterrasse der Donau (Brandtner 1956–59; Verginis

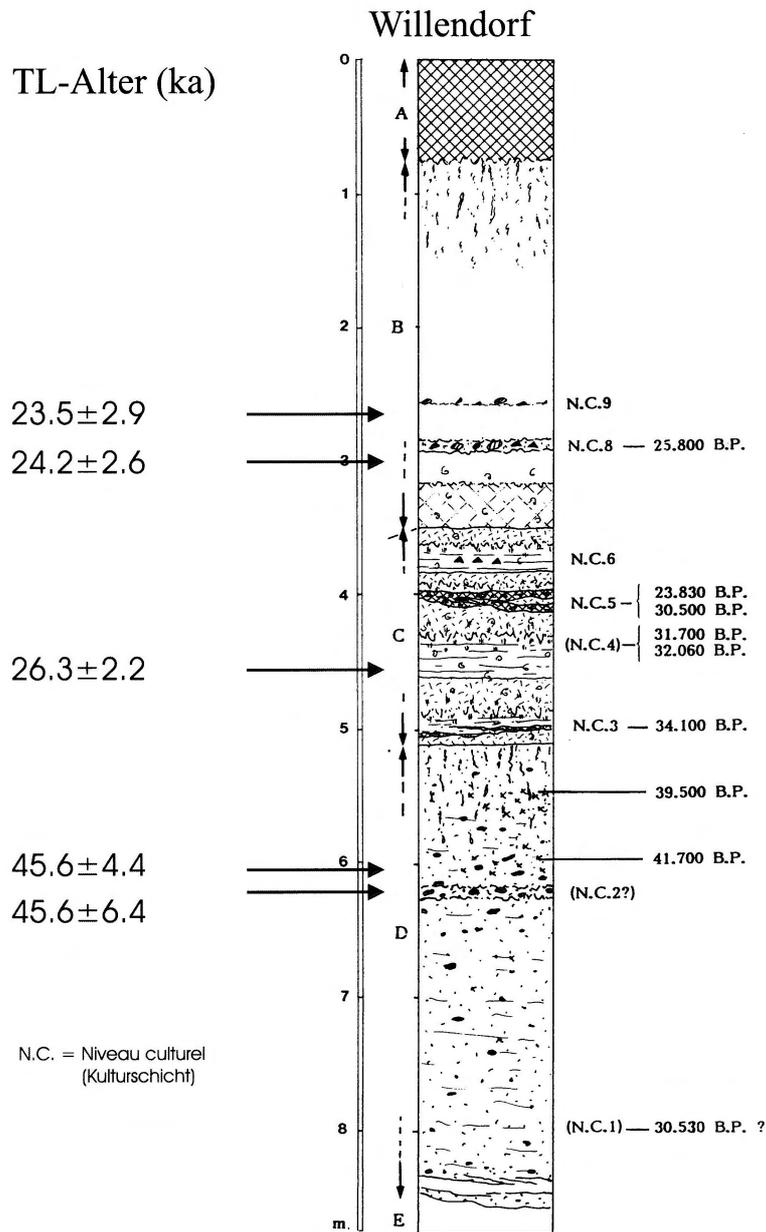


Abb. 1. Profil der Grabung Willendorf (nach Haesaerts 1990 a) mit ^{14}C - und TL-Altern.

1993). Infolgedessen sind die Löss stark von Verlagerungserscheinungen geprägt, und in-situ befindliche fossile Böden sind kaum auszumachen. Ein von Bayer beschriebener brauner toniger Lehm im Liegenden der Einheit E (Haesaerts 1990a) wird mit Brandtner (1956–59) ins letzte Interglazial gestellt, war aber nicht mehr aufgeschlossen. Im Hangenden der Kulturschicht 2 stellte Haesaerts (1990a, 209) am Top der Einheit D Spuren intensiver biologischer Aktivität mit Carbonatauskleidungen fest. Er deutet diesen Horizont als Unterboden eines entkalkten Bodens, welcher eine klimatische Verbesserung (Interstadial) vor der Ablagerung der geschichteten Löss der Einheit C (mit den Kulturschichten 3–5) bezeugt und in

Mähren als „Bohunice-Boden“ bekannt ist (ebd., 213). Einheit D ist nach Haesaerts unter kühlen, aber nicht periglazialen Bedingungen gebildet worden. Hingegen sehen Frank, Nagel u. Rabeder (1995) sowie Frank u. Rabeder (1997b) vor allem nach malakologischen Untersuchungen darin Zeugnisse einer Warmzeit, die etwas feuchter und zeitweilig wärmer war als heute, im Donautal (Wachau) einen Laubwald ermöglichte und dem im hochalpinen Bereich definierten „Ramesch-Interglazial“ des Mittelwürms (Nagel u. Rabeder 1991) entsprechen soll. Weder paläopedologisch noch palynologisch kann dieses Interglazial im nördlichen Alpenvorland bisher bestätigt werden, was aber nicht zwangsläufig gegen die Existenz dieses Thermals spricht, sondern höchstens seine Vergleichbarkeit mit dem Holozän oder dem Eem beeinträchtigt. Einheit C ist hingegen durch das Auftreten von tundrengleyartigen Böden aus kalt-humiden Phasen gekennzeichnet, zwischen denen (mindestens) zwei schwache Klimaverbesserungen auftraten. Sie sind durch die Kulturschichten 3 und 5 repräsentiert. Die jüngere der beiden parallelisiert Haesaerts (1990a, 215) mit dem Stillfried-B-Boden, ohne daß dieser in Willendorf typisch ausgebildet wäre. Einheit B schließlich, die mit einem schwach humosen Horizont (leichte Klimaverbesserung?) oberhalb Kulturschicht 6 beginnt, besteht aus rein äolischem Löß des oberen Pleniglazials und enthält die Kulturschichten 8 und 9. Die weltberühmte „Venus von Willendorf“ wird der Kulturschicht 9 zugeordnet.

Die aufgeschlossene Lößfolge im Grubgraben zeigt über einem nur aus einer Bohrung bekannten letztinterglazialen (?) fBt(?)-Horizont kaum eine paläopedologische, wohl aber eine bemerkenswerte sedimentologische Gliederung (Haesaerts 1990b). Brandtner (1996, 123) ordnet diese Bodenbildung eher dem „mittelwürmzeitlichen Interstadial um 30.000 B.P.“ zu. Der hier näher betrachtete Abschnitt beginnt mit einem feinlamellierten Löß (Einheit LS), der unter zunehmend trockenen Bedingungen abgelagert wurde. Ihm folgt ein homogener sandiger Löß, den Haesaerts (1990b, 29) trockeneren Bedingungen zuschreibt. Er enthält die älteste vom Grubgraben bekannte, räumlich eng begrenzte jungpaläolithische Fundschicht (A.L.5). Sie wird überlagert von einem als „dusty loess“ (Haesaerts 1990b, 30) charakterisierten Löß (L.P.1), der durch einen semi-kontinuierlichen dunkelbraunen humosen Horizont (H.H.1) mit der ersten zum Epigravettien gerechneten Fundschicht (A.L.4) abgeschlossen wird. Haesaerts sieht in der humosen Ausprägung – im Gegensatz zu Brandtner (1996) – nicht nur das Resultat menschlicher Aktivität, sondern auch eine pedologische Bildung als Folge einer kurzen klimatischen Erwärmung mit Feuchtezunahme, was auch durch den palynologischen Nachweis von *Pinus cembra* bestärkt wird. Die nachfolgende geringmächtige Einheit L.R.1 wird wiederum durch einen allerdings weniger kontinuierlichen humosen Horizont H.H.2 abgeschlossen, welcher die Epigravettien-Fundschicht A.L.3 enthält. Auch dieser leicht humose Horizont wird von Haesaerts (1990b, 30) im Sinne einer leichten Klimaverbesserung interpretiert. Aus überraschenden Funden von Rothirsch-Abwurfgehwüstücken folgert Brandtner (1996, 127): „Der Rothirsch muß also (wahrscheinlich in den Auenwäldern des mäandrierenden Kampflusses) noch vor etwa 20.000 Jahren existiert haben“, während ansonsten die Fauna „subarktische“ Verhältnisse indiziert (ebd., 128). Nach Brandtner (1996, 124) liegt „keine wesentliche Zeitspanne“ zwischen den Kulturschichten 4 und 3 sowie zwischen 3 und 2. Die zu dieser Zeit einsetzende fluviale Verfüllung der benachbarten Rinne durch kolluviale Sedimente bezeugt zunehmende Schüttung von hangaufwärts gelegenen Störungsquellen an der Diendorfer Störung und damit einen relativ humiden Kontext der Klimaentwicklung. Am Beginn der nachfolgenden Lößakkumulation (Einheit L.P.2) liegt die dritte Epigravettien-Fundschicht (A.L.2). Sie fällt durch ausgedehnte Steinpflaster aus permischen Arkoseplatten sowie Schiefergneis- und Gneisplatten auf. Die Größe der Platten wertet Brandtner (1996) als Beleg, daß es sich nicht um einen kurzfristigen Rastplatz, sondern um ein semi-permanentes Stammesjagdlager handelte. Im unteren Teil von L.P.2 sprechen naßbodenartige Horizonte („discontinuous light grey podzolic horizons“, Haesaerts 1990b, 30) für kurze kältere und humidere Episoden des ansonsten wohl eher trocken-kalten Klimas, während im oberen Teil von L.P.2 die Vorherrschaft hydrophiler Molluskenspezies ebenso wie die andauernde Aktivität der Quellen lokal eher recht humide Umweltbedingungen bezeugen.

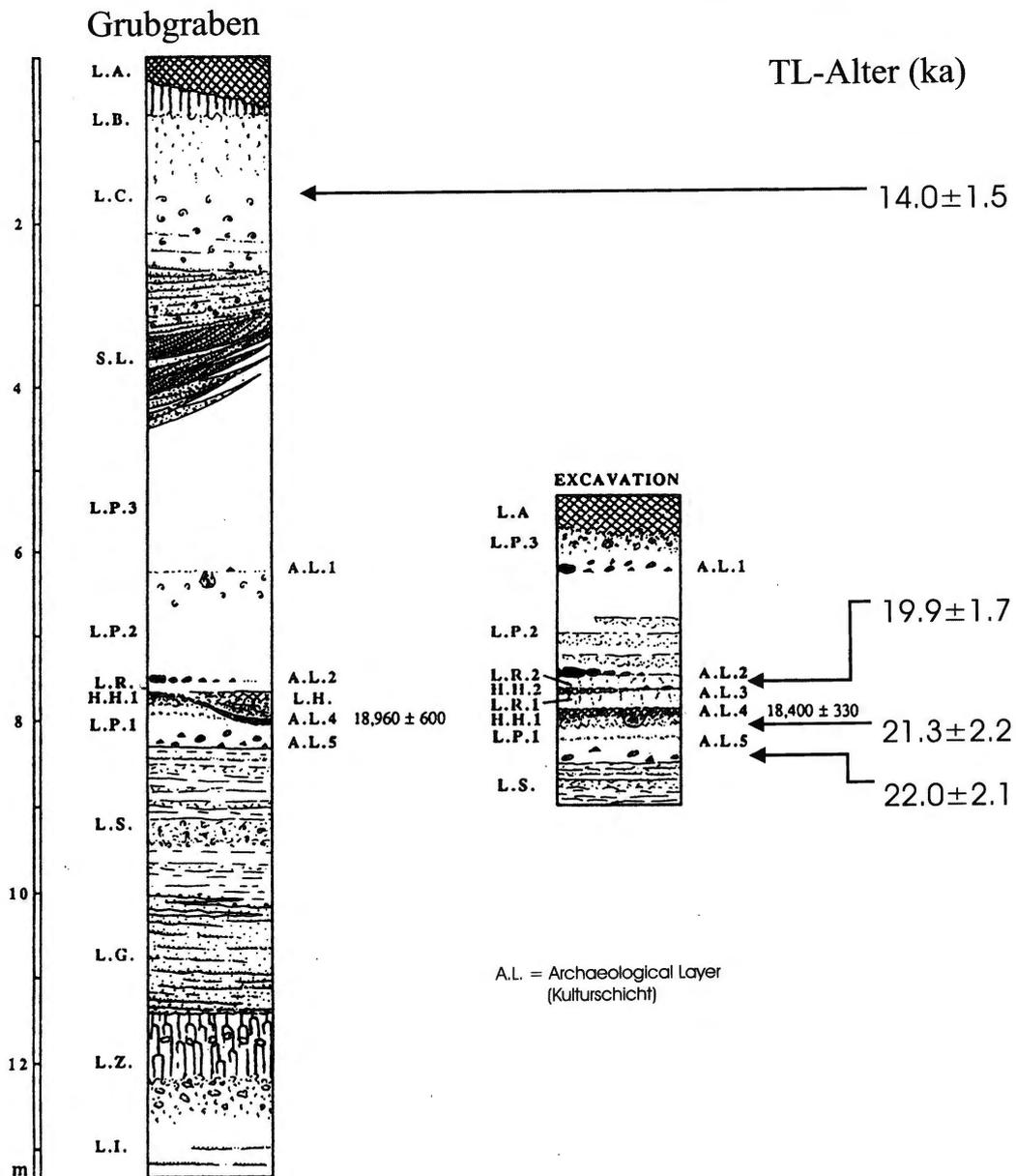


Abb. 2. Profil des Grubgrabens (nach Haesaerts 1990 b) mit ¹⁴C- und TL-Altern.

Eine flache, subhorizontale Diskordanz mit der jüngsten paläolithischen Fundschicht (A.L.1) trennt die Einheit L.P.2 vom Löß der Einheit L.P.3. Letztere wird von einer großen Rinne diskordant geschnitten, die in die Lössen von L.P.3 und L.P.2 eingetieft ist. Ihre Verfüllung (Einheit S.L.) besteht an der Basis aus schräggeschichteten fluvialen Sedimenten, zum Hangenden hin nehmen kolluviale Schneeschmelzwasser- und Löß-Fazies zu. Die Mollusken indizieren eine Fortdauer feuchtkalter Verhältnisse. Darüber lagert der jüngste Löß (Einheit L.C.), welcher die letzte trockenkalte Phase der Sequenz repräsentiert.

Nach Frank u. Rabeder (1997a) sind „in keinem Profilabschnitt ... durch den malakologischen Befund klimatische Extreme ablesbar“ (ebd., 18). Stärker trockenere, offene Gegebenheiten kennzeichnen nach ihnen den Löß mit der KS 5, darüber (20–30 cm unterhalb von KS 3) nehmen sie verhältnismäßig milde und auch feuchtere Klimaverhältnisse und „steiniges, offenes Heideland, eine Form von Trockengebüsch und mehr feuchtere, krautreiche Zonen mit Büschen und anspruchslosen Bäumen, eventuell auch Baumgruppen“ an (ebd., 19). Mesophile Arten als Vertreter offenen Buschlandes bei mittelfeuchtem Klima sind 0–20 cm unterhalb von KS 2/3 und 30–40 cm oberhalb von KS 2 charakteristisch. Unterhalb von KS 2 (Zuordnung wegen Profilwechsels nicht genauer möglich) schaltet sich ein xeromesophil geprägter Horizont ein, der mehr trockenere Verhältnisse mit ausgedehnten Steppenheiden und vereinzelt Büschen und/oder anspruchslosen Bäumen zeigt (ebd., 18). Leider ist aus den Angaben keine exakte Zuordnung zur Stratigraphie von Haesaerts möglich, es ist aber sehr wahrscheinlich, daß der xeromesophil geprägte Horizont dem Löß L.R.1 entspricht.

Fast alle paläolithischen Besiedlungsphasen am Grubgraben fallen mit kurzen Phasen der Sedimentationsruhe zusammen. Im Falle der Kulturschichten A.L.4 und A.L.3 wird diese Landschaftsstabilität („landscape stability“, vgl. Waters 1992) durch Bildung humoser Horizonte unterstrichen. Die Lithostratigraphie, kombiniert mit den paläobiologischen und paläopedologischen Befunden, wie auch die Abfolge dicht aufeinanderfolgender Kulturschichten lassen somit das Profil am Grubgraben als ein terrestrisches Teilarchiv hochauflösender Klimaoszillationen des letzten Hochglazials erscheinen.

Ergebnisse

Die von Haesaerts (1990a) mitgeteilten konventionellen ^{14}C -Alter von Willendorf ergeben kein einheitliches Bild. Insbesondere das Alter der Kulturschicht 1 (30.530 ± 250 B.P., GrN1287) und die zwei widersprüchlichen Datierungen der Kulturschicht 5 (23.830 ± 190 B.P., Humus, GrN-11194, und $30.500 + 900/-800$ B.P., GrN-11193) zeigen, daß hier teilweise systematische Fehlerquellen vorliegen. Das ^{14}C -Alter der Kulturschicht 8 (25.800 ± 800 B.P., GrN-11191) hält Haesaerts (1990a, 215) im Vergleich zu Gravettien-Fundschichten in der westlichen Slowakei und in Süd-Polen für etwas zu alt und nimmt eher ein Alter um 24.000 B.P. an. Frank u. Rabeder (1997 b, 72) zitieren noch neuere ^{14}C -Alter von Holzkohlen: Aus Einheit B (nicht näher spezifiziert) 25.230 ± 320 B.P. (GrN-17801) und 25.660 ± 350 B.P. (GrN-17802), aus KS 6a 27.600 ± 480 B.P. (GrN-17803), aus KS 6b 28.560 ± 520 B.P. (GrN-17804), aus KS 3 $38.880 + 1530/-1280$ B.P. (GrN-17805), aus Einheit D unterhalb KS 3 $41.600 + 4100/-2700$ B.P. (GrN-17806) sowie >36.000 B.P. (GrN-17807), sowie zwei weitere Alter nach Haesaerts (ohne Angabe der Labornummern) von Knochen aus der KS 8 mit 25.400 ± 170 B.P. und 25.440 ± 170 B.P.

Die analytischen Ergebnisse der TL-Datierungen und die TL-Alter sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Ein Vergleich der TL-Alter mit konventionellen ^{14}C -Altern ist problematisch, da letztere nicht kalibriert sind und seit Bard et al. (1990) offensichtlich ist, daß die „ ^{14}C -Uhr“ im Hochglazial um bis zu 3.500 Kalenderjahre „nachgeht“. Seitdem sind verschiedene Modelle zur Kalibrierung von ^{14}C -Altern jenseits des Anwendungsbereiches der Dendrochronologie vorgeschlagen worden (s. Übersicht bei Wagner 1998; zuletzt Schramm et al. 2000), es handelt sich aber um Modelle, deren universelle Gültigkeit noch zu bestätigen bleibt. Übereinstimmung kann aber darüber festgestellt werden, daß konventionelle ^{14}C -Alter im gesamten Zeitraum von 20–32 ka cal B.P. um $2,5 \pm 0,5$ ka jünger sind als Kalenderalter. Für Alter >32 ka cal B.P. differieren die Angaben zwischen ca. 1,5 ka und etwa 3 ± 1 ka (32 – 39 ka cal B.P.) Unterschätzung, während bei etwa 40 ka cal B.P. jetzt Hinweise auf einen Unterschied von 4–5 ka vorliegen, möglicherweise durch die paläomagnetische Exkursion des Laschamp-Events bedingt (Schramm et al. 2000).

Die TL-Alter vom Profil Willendorf sind stratigraphisch konsistent, d. h. sie wachsen mit zunehmendem stratigraphischem Alter. Beim Vergleich der TL-Alter von Willendorf mit den konventionellen ^{14}C -Altern fällt unter Berücksichtigung der ^{14}C -Altersunterschätzung auf, daß die mittleren TL-Alter in den Einheiten C und B (mit Fundschichten des Aurignacien und des Gravettien) eher zu jung sind (besonders auffällig bei der Kulturschicht 4), während die mittleren TL-Alter aus der Einheit D erwartungsgemäß über den ^{14}C -Altern liegen. Innerhalb der 2σ -Fehlergrenzen würden TL- und ^{14}C -Alter übereinstimmen, was wegen der nicht genau bekannten Altersunterschätzung konventioneller ^{14}C -Alter aber nur von eingeschränktem Aussagewert ist. Die beiden TL-Alter aus Kulturschicht 2 (bzw. direkt darüber) sind gut reproduzierbar. Bereits früher konnte eine TL-Versuchsprobe aus gebranntem Lehm der Kulturschicht 4 (mündl. Information von Dr. F. Brandtner) mit $26,4 \pm 2,4$ ka datiert werden, womit das in Abb. 1 eingetragene neue TL-Alter ($26,3 \pm 2,2$ ka) ebenfalls gut reproduziert wird. Trotz der Unsicherheit über die Zuverlässigkeit des ^{14}C -Alters der Kulturschicht 8 und damit fehlender direkter Alterskontrolle der beiden obersten TL-Alter legen die bisher diskutierten Befunde nahe, nach systematischen Fehlerquellen der TL-Datierungen von Willendorf zu suchen.

Vom Grubgraben berichten sowohl Haesaerts (1990b) als auch Brandtner (1996) ^{14}C -Alter (Tab. 1). Unter Berücksichtigung der oben diskutierten Korrektur konventioneller ^{14}C -Alter stimmen die TL-Alter sehr gut mit diesen überein. Die TL-Probe Grub-1 aus dem jüngsten Löß lieferte ein Alter von $14,0 \pm 1,5$ ka und spricht, übereinstimmend mit der Stratigraphie nach Haesaerts (1990 b), für ein spätglaziales Alter dieses Lösses. Für die Verfüllung der Rinne verbleibt damit ein Zeitraum vom Hochglazial bis zum beginnenden Spätglazial. Die Probe Grub-2 wurde nach Brandtner (schriftl. Mitt. vom 05.06.1995) direkt im Liegenden der Kulturschicht 2 genommen und wurde mit $19,9 \pm 1,7$ ka datiert. Die Probe Grub-3 direkt unter der Kulturschicht 4 ergab ein TL-Alter von $21,3 \pm 2,2$ ka, und die Probe Grub-4 aus dem Horizont mit der Kulturschicht 5 (die KS 5 war dort nicht mehr aufzufinden, weshalb nicht genau gesagt werden kann, ob die Probe dicht oberhalb oder dicht unterhalb der KS 5 einzuordnen ist) ein TL-Alter von $22,0 \pm 2,1$ ka. Die TL-Alter sprechen also wie die ^{14}C -Alter für ein hochglaziales Alter der gesamten Abfolge mit den Kulturschichten 1-5 und eine geringe Zeitspanne zwischen ihnen (besonders zwischen den KS 5-2). Die von Haesaerts (1990b) abgeleiteten schwachen Klimaoszillationen liegen somit in ihrer Periodizität nicht nur weit unter der der Milankovich-Zyklen, sondern sind offensichtlich auch noch von kürzerer Dauer als die Dansgaard-Oeschger-Zyklen (Dansgaard et al. 1993). Sofern die humosen Zonen H.H.1 und H.H.2 tatsächlich pedogen und nicht rein anthropogen sind, sprechen diese Ergebnisse auch für ein sehr schnelles Reagieren bodenbildender Prozesse auf schwache Oszillationen des Klimas und der Landschaftsstabilität.

Tab. 1. ^{14}C -Alter für die Kulturschichten vom Grubgraben bei Kammern.

Kulturschicht	Labor-Nr. (Haesaerts)	^{14}C -Alter	Labor-Nr. (Brandtner)	^{14}C -Alter
KS 1			GrN-21902	18.380 ± 130 B.P.
KS 2			GrN-21529	18.890 ± 140 B.P.
KS 3	LV-1660	18.170 ± 300 B.P. (KS 3 und 4)	GrN-21530	18.920 ± 180 B.P.
KS 4	AA-1746 LV-1680	18.960 ± 290 B.P. 18.400 ± 330 B.P.	GrN-21531	19.380 ± 90 B.P.

Tab. 2. Analytische Ergebnisse und TL-Alter.

a) Radioaktivitätsanalysen

Probe	U [µg/g]	Th [µg/g]	K [%]	DL α_{eff} [Gy/ka]	DL β_{eff} [Gy/ka]	DL $\gamma_{\text{eff}+c}$ [Gy/ka]
WILKS8A	3,48	9,57	1,40	0,996	1,741	1,339
WILKS7-8	3,57	10,07	1,55	(0,961)*	(1,876)*	(1,293)*
WILKS4	3,80	11,16	1,74	0,923	1,859	1,433
WILKS2-3	4,15	12,24	1,80	0,914	1,808	1,449
WILKS2	3,68	12,05	1,83	(1,089)*	(2,126)*	(1,424)
GRUB1	4,04	14,83	1,78	1,442	2,036	1,644
GRUB2	3,83	12,71	1,44	1,551	1,856	1,550
GRUB3	3,92	12,70	1,48	1,190	1,893	1,529
GRUB4	3,86	12,60	1,47	1,360	1,907	1,436
BOH2	3,56	11,58	1,71	1,086	1,970	1,383

* nicht direkt gemessen, sondern aus Konzentrationen berechnet

b) TL-Ergebnisse und -Alter

Probe	ED [Gy]	a-Wert	δ	DL $_{\text{eff}}$	TL-Alter [ka]
WILKS8A	95,8±11,1	0,092	1,1*	4,076	23,5±2,9
WILKS7-8	99,9±1,3	0,077	1,1*	4,130	24,2±2,6
WILKS4	110,2±7,8	0,075	1,12	4,198	26,3±2,2
WILKS2-3	191±16	0,074	1,19	4,172	45,6±4,4
WILKS2	212±7	0,080	1,11	4,638	45,6±6,4
GRUB1	71,8±5,8	0,090	1,1*	5,122	14,0±1,5
GRUB2	98,7±6,6	0,104	1,1*	4,957	19,9±1,7
GRUB3	98,3±7,6	0,088	1,1*	4,612	21,3±2,0
GRUB4	103,4±8,7	0,094	1,1*	4,703	22,0±2,1
BOH2	210±31	0,089	1,1*	4,439	47,3±7,3

* auf 1,1 gesetzt, wenn ein Wert $1 < \delta < 1,1$ gemessen wurde.

Diskussion

Die mögliche systematische TL-Altersunterschätzung der Proben aus den Einheiten C und B von Willendorf bedarf zunächst eingehenderer Diskussion. Gegen die generelle Annahme einer Langzeitinstabilität des TL-Signals als Ursache sprechen verschiedene Erfahrungen von anderen Lokalitäten seit 1985 sowie im konkreten Fall die Feststellung, daß für die beiden TL-Alter aus Einheit D keinerlei Hinweis auf signifikante Unterschätzung vorliegt. So bleiben m.E. zwei weitere Möglichkeiten zu untersuchen, bei denen die Reliefverhältnisse an der Station Willendorf II eine Rolle spielen. Erstens haben Verlagerungsprozesse aufgrund der großen Hangneigung häufig auch Fundschichten betroffen. Bei hangfluvialen und ablualen Umlagerungen können die Mineralkörner wieder dem Tageslicht ausgesetzt worden sein, wodurch eine Rückstellung des natürlichen Lumineszenz-Signals erfolgte. Ist diese Zurücksetzung ausreichend, wird der Zeitpunkt der Verlagerung und nicht der der ursprünglichen äolischen Sedimentation datiert. Dieser Fall konnte für die leicht verlagerte Fundschicht der „Venus von Stratzing“ (Neugebauer-Maresch 1993) wahrscheinlich gemacht werden; das TL-Alter der verlagerten Fundschicht wurde mit $26,2 \pm 2,5$ ka um annähernd 5 ka jünger als konventionelle ^{14}C -Alter bestimmt (Zöller et al. 1994). Eine Neudatierung von *in situ*-Löß der Fundschicht ergab dann ein Alter von $30,5 \pm 3,5$ ka, welches wegen radioaktiven Ungleichgewichts aber noch als Mindestalter anzusehen ist. Eine Verlagerung der mittelwürmzeitlichen Fundschicht 4 von Willendorf am Beginn des Jungwürms könnte – zumindest teilweise – für das unerwartet junge Alter der TL-Probe ($26,3 \pm 2,2$ ka, praktisch identisch mit dem Alter von Stratzing) verantwortlich sein. Für die reinen Löss der beiden TL-Proben aus Einheit B kann diese Erklärung jedoch nicht überzeugen. Eine weitere Ursache kann in der Hydrologie des lößbedeckten Hanges liegen. Das Bodenwasser absorbiert einen Teil der ionisierenden Strahlung und verringert damit die effektive Dosisleistung (DL_{eff}). Die Wachau ist heute aufgrund ihrer Leelage zur Böhmisches Masse ein relativ trockenes Gebiet (500–600 mm/a, Cihak 1981). Infolgedessen sind die Löss der Wachau in den oberen Metern sehr feuchtearm (<10 %). Unter kaltzeitlichen Bedingungen, besonders bei Vorhandensein von Permafrost, muß mit wesentlich höheren Werten des Bodenwassers bzw. -eises (bis zur Sättigung) gerechnet werden. Wird für δ (Feuchtgewicht/Trockengewicht) statt 1,1 der Wert 1,22 (annähernde Sättigung) eingesetzt, errechnet sich für die oberste Probe (WILKS8A) z. B. ein um etwa 9 % höheres TL-Alter von $25,6 \pm 3,2$ ka. Diese Überlegung zeigt, daß durch Klimawandel bedingte Änderungen der durchschnittlichen Bodenfeuchte eine bedeutende systematische Fehlerquelle darstellen. Insbesondere in heute relativ trockenen Lößgebieten, für die im Pleistozän aufgrund fossiler Tundringleye bzw. Naßböden, periglazialmorphologischer Erscheinungen und paläobiologischer Indikatoren zumindest zeitweise mit Dauerfrostboden und edaphischer Feuchte zu rechnen ist, kann diese Fehlerquelle bedeutend werden. In den tieferliegenden Profiltteilen von Willendorf (Einheit D), wo auch aktuell aufgrund der Schwerkraft eine etwas höhere Porensättigung zu beobachten ist, mag dieser Fehler weniger gravierend sein. Solange aber keine fundierten Aussagen über die Porensättigung während verschiedener Zeiträume seit Ablagerung der Löss möglich sind, ist eine entsprechende Korrektur der TL-Alter nicht gerechtfertigt. So muß also vorerst eine gewisse Unsicherheit über die Chronometrie der Fundschichten von Willendorf II bestehen bleiben. Übereinstimmend nach TL- und ^{14}C -Altern ist festzuhalten, daß die jüngsten Gravettien-Kulturschichten (8 und 9) im Jungwürmlöß liegen und vor das Letzte Glaziale Maximum (LGM, ca. 18.000 B.P.) zu datieren sind, und daß die in ihrer paläoklimatischen Signifikanz noch kontrovers diskutierte Bodenbildung zwischen den Kulturschichten 2 und 3 ins Mittelwürm zu stellen ist, und zwar älter als der „Stillfried B“-Boden.

Die schon angesprochene wahrscheinliche Korrelation des Bodens in Einheit D von Willendorf mit dem Bohunice-Boden in Südmähren kann durch physikalische Altersbestimmungen untermauert werden. Mook (in Valoch 1976, 84) teilt zwei ^{14}C -Alter von Holzkohlen aus dem Bohunice-Boden mit: 42.900 ± 1700 –1400 B.P. (GrN-6165) und 41.400 ± 1400 –1200 B.P. (GrN-6802). Ein weiteres ^{14}C -Alter von

Holzkohle lieferte Switsur (in Valoch 1976, 86) mit 40.173 ± 1200 B.P. (Q-1044). Ein TL-Alter des Lösses, in dem sich der Bohunice-Boden entwickelt hat, wurde im Auftrag von Dr. Valoch von mir 1995 gemessen (BOH2). Nach der Technik des längsten Plateaus ergab sich ein Alter von $47,3 \pm 7,3$ ka. Die Fundstelle in der Ziegelei Brno-Bohunice wurde seinerzeit interdisziplinär untersucht; interessanterweise sind die paläoklimatischen Schlußfolgerungen für die Bildung dieses Bodens ähnlich widersprüchlich wie für den offensichtlich gleichalten Boden in Willendorf D. Smolikova (in Valoch 1976, 69-71) folgert nach mikromorphologischen Untersuchungen des Bohunice-Bodens: „Seine Bildung verlief unter einem sehr kühlen Klima (Aggregat- und Hohlräumeformen), jedoch bei einer folgenden relativ hohen organischen Tätigkeit“ (ebd., 70) und charakterisiert den Boden typologisch als Pseudogley mit folgender Entwicklungstendenz zu einer „arktischen“ Braunerde, der „im Sinne von Kubiëna ... völlig der arktischen paläopedologischen Provinz“ entspreche. Demgegenüber kann aus den Ergebnissen der Holzkohleanalyse (u. a. *Abies*, *Picea*, *Alnus*, *Fraxinus*, *Quercus*) durchaus auf etwas günstigeres, wenn auch „feuchtes Klima...“, welches durch die Anwesenheit der Fichte (und eventuell der Lärche) als ein kühleres näher indiziert wird, wenn man es mit den heutigen Klimabedingungen des Fundgebietes vergleicht“, geschlossen werden (Opravil in Valoch 1976, 72-74). Ein Einzelfund eines Schneckengehäuses von *Cepea vindobonnensis* aus dem Übergang des Bodens zum hangenden Löß schließlich ist „kennzeichnend für wärmere Phasen des Quartärs.... Sie kommt vor in interglazialen Ablagerungen verschiedenen Alters, am häufigsten aber im jüngeren Holozän (besonders im Subboreal).“ (Kovanda in Valoch 1976, 75). Der Einzelfund kann aber m. E. verlagert sein. Der Klimacharakter dieses Mittelwürm-Interstadials bleibt demnach noch unklar. Der bis auf weiteres als gleichalt anzusehende „MF-I“-Boden in Ungarn mit Tschernosem-Charakter könnte durchaus als Argument für ein sommerwarmes (Wald)-Steppenklima angeführt werden.

Die paläoklimatische und geochronologische Interpretation des Profiles im Grubgraben erscheint demgegenüber – abgesehen von den nur erbohrten Teilen – wesentlich einheitlicher. Die gesamte kulturschichtenführende Sequenz kann ins Jungwürm (W I) bzw. „obere Pleniglazial“ gestellt werden, und zwar unmittelbar vor das LGM. Bemerkenswert sind die sedimentologischen, paläobiologischen und ?paläopedologischen Hinweise auf schwache, kurzzeitige Klimaoszillationen (Jahrzehnte bis Jahrhunderte), die immerhin in den günstigsten Phasen offenbar Auenwälder ermöglichten. Die Frage, ob die schwachen Humusanreicherungen in H.H.1 und 2 rein anthropogen oder auch pedogen sind, verdient weitere Beachtung und nähere Untersuchungen.

Schlußfolgerungen

Neben dem seit langem bekannten „Stillfried-B“-Interstadialboden gibt es weitere innerwürmzeitliche Böden im Löß Niederösterreichs. Im Altwürm sind es die Humuszonen bzw. Tschernoseme im oberen Teil des „Stillfried-A-Bodenkomplexes“, die ihr zeitliches Äquivalent sehr wahrscheinlich in den „Mosbacher Humuszonen“ Hessens (s. Semmel 1999) und in der hangenden Humuszone des „PK III“ sowie im „PK II“ Tschechiens (Kukla 1977, Zöller et al. in Vorb.) finden. Der „Paudorfer Boden“ wird noch kontrovers eingestuft zwischen verkürztem Stillfried A und Mittelwürm-Interstadial, aber auf jeden Fall älter als Stillfried B. Unvollständige Relikte einer braunen Bodenbildung im Profil an der paläolithischen Station Willendorf II können nunmehr einem älteren Mittelwürm-Interstadial (bzw. dem umstrittenen „Ramesch-Interglazial“) mit einem Alter von etwa 40–45 ka zugeordnet werden. Zur gleichen Zeit dürften in Südmähren der „Bohunice-Boden“ (verbraunter Pseudogley) und in Ungarn der „MF-1-Boden“ (schwach entwickelter tschernosemartiger Boden) entstanden sein. Wirkliche Gleichaltrigkeit vorausgesetzt, hätten sich also in den drei benachbarten Regionen in diesem Mittelwürm-Interstadial drei verschiedenartige Bodentypen ausgebildet. Daraus auf scharfe klimatische Gradienten während dieses Interstadials im südöstlichen Mitteleuropa zu schließen, ist aber verfrüht, denn noch bestehen bezüglich des Paläoklimas dieser

Zeit zu große Diskrepanzen zwischen paläopedologischen und paläobiologischen Sichtweisen. Möglichkeiten und Grenzen der paläoklimatischen Interpretation von Paläoböden im Allgemeinen und der hier diskutierten Mittelwürmböden im Besonderen bleiben eine Herausforderung an die Paläopedologie. Zur widerspruchsfreien Charakterisierung des Klimas dieses Interstadials sind genauere regionale Proxydaten erforderlich, mit denen paläopedologische Ergebnisse abzugleichen sind.

Der Stellenwert der jungwürmzeitlichen Klimaoszillationen, wie sie auszugsweise im Profil am Grubgraben dokumentiert sind, ist demgegenüber sicherlich geringer einzustufen, steckt aber weiteren Forschungsbedarf ab: Wieweit beeinflussten auch schon im Paläolithikum menschliche Aktivitäten die Bodenbildung? Diese Fragestellung ist letztlich im interdisziplinären Bereich der Geoarchäologie anzusiedeln, wo entsprechende Ansätze schon in Entwicklung sind (s. Waters 1992). Erst nach Klärung dieser Frage, die ähnlich hochauflösende, zeitgleiche Sediment-Boden-Abfolgen ohne nachweisliche menschliche Aktivitäten vergleichend einbeziehen muß, kann abschließend beantwortet werden, wie sensibel im ehemaligen Periglazialraum Mitteleuropas die Bodenbildung auf schwache Klimaoszillationen reagierte.

Menschliche Einwanderungs- bzw. Wiederbesiedlungsphasen im Paläolithikum Mitteleuropas können nicht deterministisch in Bezug auf das Klima betrachtet werden. Dagegen spricht schon die hohe Anpassungsfähigkeit paläolithischer Gruppen auch an extreme Klimabedingungen zumindest seit der Saale-Kaltzeit. Eine Beeinflussung durch das Klima kann aber nicht geleugnet werden und ist vom humanökologischen Ansatz her auch zu erwarten. Ein „Gunstklima“ ist aber für eine Jäger- und Sammlergesellschaft sicherlich anders zu definieren als für eine Ackerbauerngesellschaft. Die erstaunlich schnelle und durchgreifende Besiedlung Europas durch den *Homo sapiens sapiens* und die bedeutende kulturelle Umwandlung vom Mittel- zum Jungpaläolithikum fällt nach heutiger Kenntnis im wesentlichen in die Zeit des diskutierten Mittelwürminterstadials vor ca. 40 bis 45 ka. Das Hochglazial ist hingegen in Mitteleuropa zwischen dem Gravettien und dem spätglazialen Magdalénien äußerst arm an Spuren menschlicher Aktivitäten, und die Station Grubgraben nimmt eine Sonderstellung ein (Brandtner 1996). Die Ursache ist wohl weniger in einer mangelnden Anpassungsfähigkeit an extrem kalte Klimaverhältnisse, sondern eher in einer zu geringen Bioproduktivität der Landschaft zu sehen. An Gunststandorten wie dem Grubgraben mit der Verfügbarkeit von (Quell-)Wasser haben offensichtlich geringfügige Verbesserungen des klimatisch gesteuerten Landschaftshaushaltes mit kurzfristigen Verhältnissen der Landschaftsstabilität und infolgedessen Erhöhung der Bioproduktivität zur wiederholten Besiedlung ausgereicht. Als Ursache für die mehrfache Wiederaufgabe des Siedlungsplatzes kann mit Brandtner (1996) das Wiedereinsetzen der Lößstürme vermutet werden. Damit würde aber impliziert, daß die Staubanwehung kein kontinuierlicher, sondern ein sehr phasenhaft abgelaufener Prozeß gewesen wäre.

Danksagung

Ich danke Dr. Friedrich Brandtner † und Dr. Paul Haesaerts für die Einführungen und Diskussionen im Gelände, der Forschungsstelle Archäometrie der Heidelberger Akademie der Wissenschaften für die Möglichkeit zur Durchführung der TL-Datierungen, und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für Reisebeihilfen.

Literatur

- AITKEN, M. J., 1985: Thermoluminescence Dating. (Academic Press) London.
 –, 1998: An Introduction to Optical Dating. Oxford.
 BARD, E., HAMELIN, B., FAIRBANKS, R. u. ZINDLER, A., 1990: Calibration of the ^{14}C timescale over the past 30,000 years using mass spectrometric U-Th ages from Barbados corals. *Nature* 345, 405–410.
 BERGER, G.W., 1995: Progress in Luminescence Dating Methods for Quaternary Sediments. In: N.W. RUTTER u. N.R. CATTO (eds.), *Dating Methods for Quaternary Deposits*, Geol. Ass. of Canada, *GEOText* 2, 81–104.

- BIBUS, E., 1989: 8. Tagung des Arbeitskreises „Paläoböden“ der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Programm und Exkursionsführer (mit Beiträgen von W. RÄHLE u. L. ZÖLLER). Geogr. Inst. Univ. Tübingen, 31 S.
- BRANDTNER, F., 1956–59: Die geologisch-stratigraphische Position der Kulturschichten von Willendorf i.d. Wachau, Niederösterreich. In: F. FELGENHAUER, Willendorf in der Wachau. Monographie der Paläolithfundstellen I-VII. Mitt. prähistor. Kommission, Wien 8/9, 172–198.
- CEHAK, K., 1981: Das österreichische Klimadatenbuch, Teil II: Klimakarten. Wien.
- DANSGAARD, W., JOHNSEN, S.J., CLAUSEN, H.B., DAHL-JENSEN, N.S., GUNDESTRUP, N.S., HAMMER, C.U., HVIDBERG, C.S., STEFFENSEN, J.P., SVEINBJÖRNDÓTTIR, A.E., JOUZEL, J. u. BOND, G., 1993: Evidence for general instability of past climate from a 250-ky ice-core record. *Nature* 364, 218–20.
- DÖPPES, D. u. RABEDER, G. (Hrsg.), 1997: Pliozäne und pleistozäne Faunen Österreichs. Mitt. Komm. Quartärforschung Österr. Akad. Wiss. 10. Wien.
- FINK, J., 1976: in: J. FINK, H. FISCHER, W. KLAUS, A. KOCI, H. KOHL, J. KUKLA, V. LOZEK, L. PIFFL u. G. RABEDER, Exkursion durch den österreichischen Teil des Nördlichen Alpenvorlandes und den Donaauraum zwischen Krems und Wiener Pforte. Mitt. Komm. Quartärforschung Österr. Akad. Wiss. 1, 1–31. Wien.
- FRANK, C., NAGEL, D., u. RABEDER, G., 1995: Willendorf/Wachau (Lower Austria). In: W. SCHIRMER (ed.), Quaternary field trips in Central Europe 1, 415–417. München.
- FRANK, C., u. RABEDER, G., 1994: Neue ökologische Daten aus dem Lößprofil von Willendorf in der Wachau. *Archäol. Österr.* 5,2, 59–65. Wien
- , 1996: Neue malakologische Befunde aus dem jungpleistozänen Lößprofil von Grubgraben bei Kammern (Niederösterreich). *Beitr. Paläont.* 21, 21–31. Wien.
- , 1997a: Grubgraben bei Kammern. In: D. DÖPPES u. G. RABEDER (eds.), Pliozäne und pleistozäne Faunen Österreichs. Ein Katalog der wichtigsten Fossilfundstellen und ihrer Faunen. Mitt. Komm. Quartärforsch. Österr. Akad. Wiss. 10, 16–20. Wien.
- , 1997b: Willendorf in der Wachau. In: D. DÖPPES u. G. RABEDER (eds.), Pliozäne und pleistozäne Faunen Österreichs. Ein Katalog der wichtigsten Fossilfundstellen und ihrer Faunen. Mitt. Komm. Quartärforsch. Österr. Akad. Wiss. 10, 68–74. Wien.
- FRECHEN, M., HORVÁTH, E., u. GÁBRIS, G., 1997: Geochronology of Middle and Upper Pleistocene Loess Sections in Hungary. *Quat. Research* 48, 91–312.
- GÖTZINGER, G., 1936: Das Lößgebiet um Göttweig und Krems an der Donau. Führer für die Quartär-Exkursionen in Österreich (III: INQUA-Konferenz), Vol. 1, 1–11. Wien.
- HAESAERTS, P., 1990a: Nouvelles Recherches au gisement de Willendorf (Basse Autriche).– *Bull. de l'Inst. Royale des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre* 60, 203–218.
- , 1990b: Stratigraphy of the Grubgraben loess sequence. In: A. MONTET-WHITE (ed.), The Epigravettian site of Grubgraben (Austria): the 1986–87 excavations. *E.R.A.U.L.* 40, 15–35. Liège.
- HATTÉ, C., FONTUGNE, M., ROUSSEAU, D.-D., ANTOINE, P., ZÖLLER, L., TISNÉRAT-LABORDE, N. u. BENTALEB, I., 1998: $\delta^{13}C$ variations of loess organic matter as a record of the vegetation response to climatic changes during the Weichselian. *Geology* 26/7, 583–586.
- HERZ, N. u. GARRISON, E.G., 1998: *Geological Methods for Archaeology*. (Oxford University Press) New York, Oxford.
- KUKLA, G. J., 1977: Pleistocene Land-Sea Correlations. I. Europe. *Earth-Science Reviews* 13, 307–374.
- LANG, A., 1996: Die Infrarot-Stimulierte-Lumineszenz als Datierungsmethode für holozäne Lößderivate. *Heidelb. Geogr. Arb.* 103, 1–137.
- NAGEL, D., u. RABEDER, G., 1991: Exkursionen im Pliozän und Pleistozän Österreichs. (Österr. Paläontol. Ges.) Wien.
- NAMBI, K.S.V., u. AITKEN, M.J., 1986: Annual dose conversion factors for TL and ESR dating. *Archaeometry* 28, 202–205.
- NEUGEBAUER-MARESCH, C., 1993: Zur altsteinzeitlichen Besiedlungsgeschichte des Galgenberges von Stratzing/Krems-Rehberg. *Archäologie Österreichs* 4, 10–19.
- NOLL, M., LEITNER-WILD, E., HILLE, P., u. SCHMIDT, W.F.O., 1994: Thermoluminescence dating of Austrian loess deposits. *Quaternary Geochronology (Quat. Science Rev.)* 13, 473–476.
- PÉCSI, M., PEVZNER, M.A., u. SZEBÉNYI, E., 1979: Upper Pleistocene Litho- and Chronostratigraphical Type Profile from the Loess Exposure at Páks. In: M. PÉCSI (ed.), Guide-book for conference and field-workshop on the Stratigraphy of Loess and Alluvial Deposits, Budapest – Szeged 26–31 August 1979, 11–38. (Geogr. Inst. Hungarian Academy of Sciences) Budapest.
- RAPP, G. Jr., u. HILL, C.R., 1998: *Geoarchaeology. The Earth Science Approach to Archaeological Interpretations*. (Yale University Press) New Haven and London.
- ROUSSEAU, D.-D., ZÖLLER, L., u. VALET, J.-P., 1998: Late Pleistocene Climatic Variations at Achenheim, France, Based on Magnetic Susceptibility and TL Chronology of Loess. *Quaternary Research* 49, 255–263.

- SEMMEI, A., 1969: Bemerkungen zur Würmlößgliederung im Rhein-Main-Gebiet. Notizbl. Hess. Landesamt Bodenforsch. 97, 395–399.
- , 1999: Die paläopedologische Gliederung des älteren Würmlösses in Mitteleuropa – erörtert an Beispielen aus dem Rhein-Main-Gebiet. Z. geol. Wiss. 27, 121–133.
- VALOCH, K., 1976: Die altsteinzeitliche Fundstelle in Brno-Bohunice. Studie Archeologického Ústavu Československé Akademie Věd v Brně, Ročník IV,1, 1–120. Prag.
- , 1990: La Moravie il y a 40 000 ans. Mémoires du Musée de Préhist. d'Ile-de-France 3, 115–124.
- VERGINIS, S., 1993: Lößakkumulation und Paläoböden als Indikatoren für Klimaschwankungen während des Paläolithikums (Pleistozän). In: C. NEUGEBAUER-MARESCH, Altsteinzeit im Osten Niederösterreichs, 13–30. (Verlag Österr. Pressehaus) St. Pölten, Wien.
- WAGNER, G.A., 1998: Age Determination of Young Rocks and Artifacts. Berlin.
- WATERS, M.R., 1992: Principles of Geoarchaeology – a North American perspective. (Univ. of Arizona Press) Tucson.
- WEIDENFELLER, M., u. ZÖLLER, L. (eds.), 1999: Loess in the Middle and Upper Rhine Area. Loessfest '99 Field Guide, (revised edition). Geolog. Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz.
- ZÖLLER, L., STREMMER, H.E., u. WAGNER, G.A., 1988: Thermolumineszenz-Datierung an Löß-Paläoboden-Sequenzen von Nieder-, Mittel- und Oberrhein. Chemical Geology (Isot. Geosc. Sect.) 73, 39–62.
- ZÖLLER, L., OCHES, E. A., u. MCCOY, W. D., 1994: Towards a revised chronostratigraphy of loess in Austria with respect to key sections in the Czech Republic and in Hungary. Quaternary Geochronology (Quat. Science Rev.) 13, 465–472.
- ZÖLLER, L., ROUSSEAU, D.-D., JÄGER, K.-D., u. KUKLA, G. (in Vorb.): Last interglacial, Lower and Middle Weichselian – a comparative study from the Upper Rhine and Thuringian loess areas. – Z. f. Geom. N.F. in Vorb.