

Paläolimnologische Untersuchungen an zwei Profilsäulen der horgenzzeitlichen Station Nußdorf-Strandbad am nördlichen Ufer des Überlinger Sees (Bodensee)

WOLFGANG OSTENDORP¹ CHRISTIANE RUNGE-FROBÖSE²

1. Einleitung

Im Winter 1992/93 wurden vor dem Strandbad in Nußdorf (Stadt Überlingen) Rettungsgrabungen durchgeführt, die einer horgenzzeitlichen Siedlung galten, deren Kulturschichten flächenhaft erodiert waren. Dabei wurden aus dem zentralen Sondierschnitt zwei Profilsäulen entnommen, die die Situation in einer vorsiedlungszeitlichen Senke westlich der Liebesinsel mit besonders mächtiger Kulturschichthaltung widerspiegeln (s. Beitrag KÖNINGER). Mit den Profilsäulen sollten weitere Informationen über die Bildungsbedingungen der Kulturschicht, insbesondere die siedlungszeitliche Wasserstandsentwicklung gewonnen werden.

2. Material und Untersuchungsgebiet

Die beiden untersuchten Profilsäulen Nußdorf 93 Q 193-17 ES II und ES III wurden anlässlich der Tauchsondage 1993 von J. Köninger in der Station Nußdorf-Strandbad am nördlichen Ufer des Überlinger Sees (Gemarkung Nußdorf, Stadt Überlingen, r = 3514765,0, h = 5290217,5, GK3) entnommen (Abb. 1).

Die Niveauangaben orientieren sich am Nullpunkt des Konstanzer Pegels von 391,77 m ü. NN („altes System“; a.S.); dieses Niveau entspricht 391,895 m NHN (DHHN92, HS160). Alle im Folgenden genannten Höhenangaben beziehen sich auf das „alte System“. Die Wasserstandshauptwerte des Bodensee-Obersees für die Periode 1990/91 bis 2016/17 sind für das mittlere Mittelwasser (mMW) 395,23 m NHN (395,105 m ü. NN a.S.), für das mittlere Niedrigwasser (mNW) 394,58 m NHN (394,455 m ü. NN a.S.) und für das mittlere Hochwasser (mHW) 396,31 m NHN (396,185 m ü. NN a.S.). Die Höhen aller anderen Profile bei Köninger (in diesem Band) sind jedoch in m ü. NN n. S. („neues System“) angegeben.

Die Höhen der beiden Profilsäulen wurden nicht gesondert eingemessen. Stattdessen wurden die hier angegebenen absoluten Höhen anhand der von J. Köninger eingemessenen Schichtniveaus der Profilzeichnung (Nordprofil 2/Q193) ermittelt. Die Schichtniveaus wurden durch Differenzmes-

sung zum seinerzeitigen Seespiegel in Verbindung mit dem Pegelstand am Obersee-Pegel Konstanz ermittelt.

Das in den beiden Profilsäulen erfasste Schichtpaket beginnt bei 392,88 m ü. NN und endet bei 393,65 m ü. NN. Es enthält im Liegenden fundfreie Seekreide-Schichten und im Hangenden das Horgener Kulturschichtpaket, dessen Oberkante zum Zeitpunkt der Probenahme einer Flächenerosion unterlag. Die rezenten mobilen Deckschichten waren nicht in der Profilsäule ES III enthalten. Die oberste Schicht von ES II, LSE 5.1.1 war gestört und wurde deshalb nicht bearbeitet.

Nach den Keramikfunden gehört das gesamte Kulturschichtpaket der mittleren Horgener Kultur an (s. Beitrag KÖNINGER) mit dendrochronologischen Daten zwischen 3176 und 3127 v. Chr. (s. Beitrag NELLE/BILLAMBOZ).

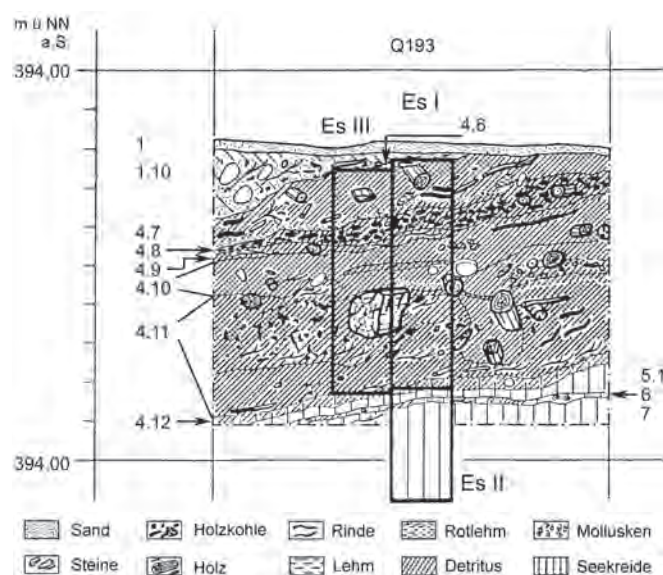


Abb. 1 Lage der Profilsäulen ES I, ES II und ES III im Nordprofil NU93 Q193-17 (s. Beitrag KÖNINGER S. 24 Abb. 25). Die Profilsäule ES I wurde nicht von uns bearbeitet.

¹ Limnologisches Institut der Universität Konstanz, 78464 Konstanz, wolfgang.ostendorp@uni-konstanz.de.

² 78465 Konstanz, christiane.runge-froboese@uni-konstanz.de.

3. Methoden

Die Präparation, lithostratigraphische Beschreibung und Aufarbeitung der beiden Kerne folgten den „Hemmenhofer Methoden“ (OSTENDORP/BLUM 1998); auf kleinere Abweichungen wird im Folgenden gesondert hingewiesen. Die Analysen wurden im Sommer 1993 durchgeführt, die Manuskripterstellung erfolgte nach dem aktuellen Kenntnisstand im Sommer 2017.

Zur Bergung der Profilsäulen wurden zwei PVC-Rohre von ca. 10 cm Durchmesser in den Untergrund geschlagen und bei der Präparation der Profilwand geborgen. Im Labor wurden die Rohre der Länge nach halbiert und die Schnittflächen gesäubert. Die Einteilung in lithostratigraphische Einheiten (LSE) erfolgte visuell und wurde photographisch und zeichnerisch auf einer Klarsichtfolie festgehalten. Die LSE beziehen sich auf die beiden Kerne; sie entsprechen teilweise den Befundbezeichnungen, die für das gesamte Grabungsprofil gelten (s. Beitrag KÖNINGER). In der Tabelle I sind LSE und Befundbezeichnungen einander gegenübergestellt. Im Folgenden wird nur die Bezeichnung für die Kern-LSE verwendet. Nach der schichtweisen Abtragung wurde das Material für die Weiterbearbeitung (Korngrößen-, Partikel- und sedimentchemische Analyse) aufgeteilt. Zur Vorbereitung der sedimentchemischen Analyse wurde eine homogene Stichprobe des Schichtmaterials getrocknet, in einer Kugelmühle homogenisiert und auf 2 mm abgesiebt. Die Konzentration an organischer Substanz (OS) wurde durch Glühverlust (560 °C, 8 Std.) bestimmt. Die Bestimmung von Kalzium, Magnesium, Strontium und Kalium erfolgte flammenabsorptionsspektrometrisch mit einem Perkin-Elmer AAS 3030 B. Dazu wurden der Glührückstand mit Salzsäure ($c = 1 \text{ mol l}^{-1}$) aufgeschlossen, über Cellulose-Acetat-Filter (0,2 μm Porengröße) abfiltriert und mit Lanthan-Caesium-Lösung versetzt. Die Konzentrationsangaben beziehen sich auf die Sedimenttrockensubstanz (Tab. II im Anhang). Für die Auswertung wurde zusätzlich der molare Elementmengenanteil x berechnet, der sich aus dem molaren Massenanteil des jeweiligen Elements, dividiert durch die Summe der molaren Massenanteile von Ca, Mg und Sr, ergibt.

Die Korngrößenanalyse in der Kies-Fraktion wurde am gesamten Schichtvolumen, die Korngrößenanalyse im Sand-, Silt- und Tonbereich an homogenen Stichproben durchgeführt. Die feuchten Sedimentproben wurden mit deionisiertem Wasser versetzt und über Nacht auf einer Schüttelmaschine geschüttelt. Die Suspension wurde dann über eine Siebkolonie mit Sieben nach DIN 4022 (2,0 mm bis 0,063 mm) gegeben und mit fließendem Wasser 30 min bei mittlerer Bewegungstärke einer 3D-Siebmaschine geschüttelt. Die ersten 8 Liter des Durchlaufs dienten zur Korngrößenbestimmung im Silt- und Tonbereich. Die Siebrückstände wurden quantitativ in Filtertüten überführt, bei 50 °C getrocknet und sofort nach Entnahme ausgewogen. Die Analyse im Silt- und Tonbereich wurde mit einem Laser Particle Analyzer Galai Cis 1 am Institut für Seenforschung der LUBW durchgeführt. Die Suspension wurde zunächst aufgeschüttelt (1 Std.), dann wurde ein Aliquot von 0,3 ml mit 50%igem Glycerin auf 1 ml aufgefüllt und gemessen. Bei einigen Proben hatten sich Aggregate aus kristallinen

Körnern und feinen Fäden gebildet, die im Ultraschallbad unter Zugabe von verdünnter Ammoniaklösung zerstört wurden. Aufgrund des hohen Gehaltes an partikulärer organischer Substanz konnten die Sedimentproben aus der Kulturschicht nicht laseroptisch analysiert werden; für diese Proben liegt demnach nur eine Siebanalyse bis 0,2 mm Maschenweite vor. Die Korngrößen werden in der zeta-Notation (ζ) wiedergegeben, wobei $i = \zeta \lg(d_i/d_0)$, d_i – Median des Äquivalenzdurchmessers der Partikelklasse i , $d_0 = 2 \text{ mm}$ (Tab. I im Anhang).

Die Siebrückstände der Korngrößenfraktionen Mittelsand (MS), Grobsand (GS), Feinkies (FG) und Mittelkies (MG) wurden einer Partikelanalyse unterzogen, indem an zufälligen Stichproben alle auftretenden Partikel klassifiziert und gezählt wurden. In der MS-Fraktion wurden nur Characeen-Oogonien/Oosporen und Ostracoden-Schalen berücksichtigt. Insgesamt wurden 38 Partikelklassen unterschieden. Davon ließen sich 8 Klassen als limnigen, 11 als terrigen und 11 als anthropogen charakterisieren. Weitere 8 Klassen ließen sich nicht eindeutig zuordnen (Tab. III im Anhang). Die terrigenen Partikel können sowohl auf natürlichem Weg als auch durch menschliche Aktivitäten in die Schicht gelangt sein, wobei letztere überwogen haben dürften. Zu dieser Gruppe wurden auch die „Samen/Früchte“ gerechnet, da keine Samen häufiger Wasserpflanzen (Teichfaden, Laichkraut-Arten) enthalten waren. Die Zählergebnisse z_i der Partikelklasse i wurden für jede Korngrößenfraktion auf ein Kilogramm Trockensubstanz hochgerechnet, mit dem Anteil dieser Korngrößenfraktion am Gesamtsediment multipliziert und über die Fraktionen addiert. Damit ergab sich die Partikeldichte n_i , die im Folgenden logarithmisch wiedergegeben wird ($\text{pn}_i = \lg(n_i/n_0)$, mit $n_0 = 1 \text{ kg}^{-1}$). Aus dem Verhältnis der erhalten gebliebenen Mollusken zur Gesamtzahl der Mollusken und der Schill-Partikel wurde der Mollusken-Erhaltungsgrad berechnet.

Die Analysenergebnisse sind in den Anhangstabellen I bis III dargestellt. Auf die Bedeutung und Aussagekraft der einzelnen Parameter wurde bereits früher (OSTENDORP 1990; ders. 1991; 1996; 2006) eingegangen.

4. Ergebnisse

4.1 Lithostratigraphie und Zeitstellung

Das Liegende begann in ES II mit mittelgrauen, deutlich gebänderten Seekreiden (LSE 5.2.7 bis 5.2.1). In die LSE 5.2.7 war ein einzelnes Geröll eingebettet, an dessen Oberkante sich Mollusken-Schill angesammelt hatte (Abb. 2; Tab. 1). Im Hangenden lag eine deutlich silikatsandige Schicht (LSE 5.6), der wiederum gebänderte Seekreiden (LSE 5.2.5 bis 5.2.1) folgten.

Die Obergrenze beim Übergang zum Kulturschichtpaket wurde durch bräunlich-dunkelgraue Seekreiden (LSE 5.1.3 und 5.1.2) von insgesamt etwa 3 cm Mächtigkeit gebildet, die zum Top hin immer mehr organischen Detritus enthielten. Die als LSE 5.1.1 bezeichnete Schicht war gestört und wurde nicht erfasst, dürfte aber eine ähnliche Ausprägung wie LSE 5.1.2 gehabt haben.

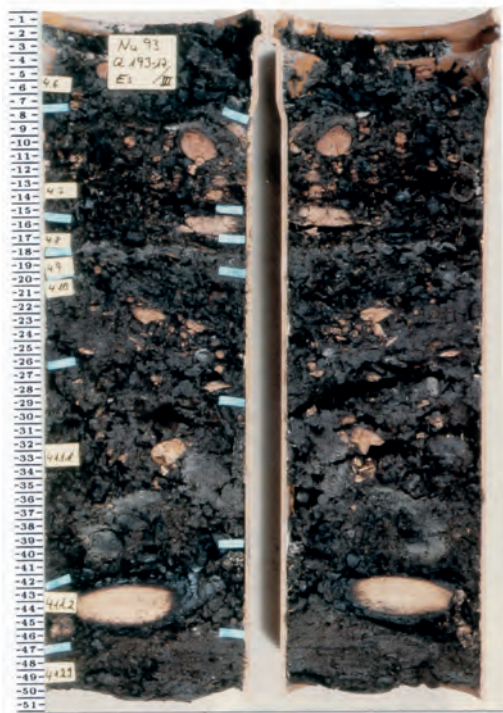


Abb. 2 Stratigraphischer Aufbau der Profilsäulen ES II (unten) und ES III.

Das horgenzzeitliche Kulturschichtpaket, das in ES III erfasst war, begann mit einer lehmigen Schicht (LSE 4.12.1), deren Oberfläche ein großes Rundholz horizontal auflag (LSE 4.11.2). Die weitere Abfolge war durch grobdetritus- und holzreiche Kulturschichten geprägt, in die mit der LSE 4.9 ein etwa 15 mm mächtiges Sandband eingeschaltet war. Das Kulturschichtpaket endete mit der LSE 4.6, ebenfalls eine grobdetritische Matrix. Die nach Ausweis der Profilzeichnung folgenden Umlagerungsschichten bzw. die rezenten mobilen Deckschichten des Hangenden waren nicht erfasst.

Eine pollenanalytische Datierung der Schichten in den Profilsäulen liegt nicht vor. Drei Radiokarbondaten, die im direkten Umfeld der Profilsäulen entnommen wurden, verwiesen auf älter als 5.500 BPcal für Seekreide an der Basis des Profils ca. 30 cm unterhalb der Kulturschicht-Basis, auf älter als 4.900 BPcal für die Unterkante der Kulturschicht und auf älter als 4.400 BPcal für die Oberkante der Horgener Kulturschicht (vgl. Beitrag KÖNINGER). Die Daten sind jedoch für die Schichtdatierung zu ungenau.

4.2 Sedimentchemische Zusammensetzung

Die sedimentchemischen Parameter folgten im Wesentlichen der lithostratigraphischen Einteilung (Abb. 3). Die Seekreide-Schichten im Liegenden wiesen erwartungsgemäß hohe Gesamtkarbonat-Gehalte auf, die mit Ausnahme

Tab. 1 Beschreibung der Schichtenabfolge der Profilsäulen ES II und ES III. LSE – lithostratigraphische Einheit der Kerne; Bef. – Befundbezeichnung des Grabungsprofils (s. Beitrag KÖNINGER), o = oben, u = unten; Niveaus der Schichtgrenzen in m ü. NN „altes System“ (a.S.). Typ: KS – Kulturschicht, SK – Seekreideschicht, ÜS – Übergangsschicht; die angegebenen Niveaus beziehen sich auf die OK des Stechrohrs von 393,68 m ü. NN „altes System“.

Profilsäule	Niveau (m ü. NN a.S.)	LSE	Bef.	Typ	Beschreibung
ES III	393,600–393,650	4.6	4.7.1 u / 4.7.2	KS	schwarzbrauner Grobdetritus; Übergang zu LSE 4.7 fließend
	393,525–393,600	4.7	4.8 u / 4.9	KS	schwarzbrauner Grobdetritus; Übergang zu LSE 4.8 fließend
	393,505–393,525	4.8	4.10 o	KS	schwarzbrauner Grobdetritus; mit Haselnusschalen; von LSE 4.9 scharf abgegrenzt
	393,490–393,505	4.9	4.10 o	KS	mittelgrauer silikatischer Sand; von LSE 4.10 scharf abgegrenzt
	393,410–393,490	4.10	4.10 u	KS	schwarzbrauner Grobdetritus; Übergang zu LSE 4.11.1 fließend
	393,270–393,410	4.11.1	4.11 o / (4.10 m)	KS	schwarzbrauner Grobdetritus, an der Basis ein mittelgraues Sandband, das auf ein großes Holzstück aus der Schicht 4.11.2 stößt; Übergang zu Schicht 4.11.2 fließend
	393,215–393,270	4.11.2	4.11 u	KS	schwarzbrauner faseriger Detritus; in der Schicht ein liegendes Holz, das den überwiegenden Teil des Schichtvolumens einnimmt; von LSE 4.12.1 scharf abgegrenzt
393,170–393,215	4.12.1	4.11 u / 4.12	KS	dunkelbrauner faseriger Detritus, an der Basis mit lehmiger Konsistenz	
ES II	393,165–393,170	5.1.1	5.1	KA	durch Probennahme gestört, nicht erfasst; vermutl. wie LSE 5.1.2 (graue Seekreide)
	393,150–393,165	5.1.2	6	ÜS	bräunlich-dunkelgraue siltig bis tonige Seekreide, zum Top hin dunkler; Übergang zu LSE 5.1.3 fließend
	393,135–393,150	5.1.3	6	ÜS	bräunlich-dunkelgraue, siltige Seekreide; von LSE 5.2.1 scharf abgegrenzt
	393,120–393,135	5.2.1	5.2 / 7	SK	hellgraue feinsandige bis siltige Seekreide; Übergang zu LSE 5.2.2 fließend
	393,100–393,120	5.2.2	7	SK	mittelgraue feinsandige bis siltige homogene Seekreide; Übergang zu LSE 5.2.3 fließend
	393,085–393,100	5.2.3	7	SK	mittelgraue, zur Basis heller werdende, feinsandige bis siltige, homogene Seekreide; deutlich abgegrenzt von LSE 5.2.4
	393,045–393,085	5.2.4	7	SK	mittelgraue feinsandige bis siltige, zum Top hin dunkler werdende, leicht gebänderte Seekreide; von LSE 5.2.5 scharf abgegrenzt
393,025–393,045	5.2.5	7	SK	mittelgraue, feinsandige bis siltige Seekreide, die von der folgenden Schicht durch ein hellgraues Sandband getrennt war; von LSE 5.2.6 scharf abgegrenzt	
392,965–393,025	5.2.6	7	SK	mittelgraue, sandige bis siltige Seekreide, mit vereinzelten hellgrauen Sandbändern; Übergang zu LSE 5.2.7 fließend	
392,880–392,965	5.2.7	7	SK	mittelgraue, sandige bis siltige Seekreide mit vereinzelten hellgrauen Sandbändern; mit einem großen Geröll, das schräg aufrecht in der Schicht steckte	

der LSE 5.2.6 zwischen 800 und 900 g/kg TS lagen. Seekreide-Bildungen gelten als eher untypisch für den Überlinger See und sind nach Müller (1966, Fig. 10) weitgehend auf die Güll beiderseits der Insel Mainau und auf das Litzelstetter und Dingelsdorfer Ufer beschränkt. Offenbar haben sich im mittleren Holozän auch vor dem Nußdorfer Ufer typische Seekreiden abgelagert.

Die Übergangsschichten zeichneten sich durch einen verringerten Gesamtkarbonatgehalt und einen höheren Gehalt an organischer Substanz aus. Hohe x_{Mg} - und Kalium-Gehalte verwiesen auf hohe Anteile klastischer Karbonat- und Silikatkomponenten, die aus dem terrestrischen Bereich stammen dürften.

Die Kulturschichten enthielten deutlich weniger Gesamtkarbonat, dessen Anteil nur in einer Schicht den Wert von 200 g/kg überschritt. Über die Herkunft des Karbonats kann der Elementmassenanteil x_{Mg} Auskunft geben. Erwartungswerte für biogen gefällte Sedimente des Bodensee-Untersees liegen bei $x_{Mg} = 5\text{--}30$ mmol Mg/mol Erdalkali. Höhere Werte indizieren die Beimischung allochthoner Calcite und Dolomite aus glazialen Ablagerungen; in solchen Fällen schwankte der x_{Mg} zwischen 130 und 230 mmol/mol (OSTENDORP, 1990; ders. 1991). In den Seekreide-Schichten von ES II wiesen die x_{Mg} -Werte mit rd. 36 bis 43 mmol/mol darauf hin, dass sich die Karbonatkomponente überwiegend aus biogen gefällten Karbonaten zusammensetzte; möglicherweise kam es zusätzlich zu einer geringen Einschwemmung klastischer Karbonate aus dem nahen Nußbach. In den Kulturschichten wurden jedoch regelmäßig Elementmengenanteile von über 200 mmol/mol erreicht, was auf sehr hohe Anteile allochthoner Karbonate hindeutet, die nichts mit einem seebürtigen Seekreide-Eintrag zu tun haben. Werte dieser Größenordnung waren typisch für Kulturschichtpakete am Obersee (Station Hagnau-Burg, OSTENDORP 1996) und am Untersee (Station Hörnle I, OSTENDORP 1991; ders. 2006).

Die Anteile an organischer Substanz waren in den Seekreide-Schichten mit 20 bis 30 g/kg TS erwartungsgemäß gering. Dagegen war das Kulturschichtpaket der LSE 4 durch hohe Mengenanteile geprägt, die bis auf 535 g/kg TS anstiegen, in dem dünnen Sandband der LSE 4.9 jedoch nur 122 g/kg TS erreichten. In den Kulturschichten anderer Stati-

onen des Untersees (s.o.) wurden nur selten 250 g/kg TS überschritten, dagegen wurden in der Station Hagnau-Burg in einer Brandschicht mehr als 600 g/kg TS erreicht.

Die dritte Hauptkomponente, die sich rechnerisch als Differenz aus den beiden anderen Komponenten ergibt, sind säureunlösliche Silikate und Oxide. In den Seekreide-Schichten (LSE 5.2) betrug ihr Anteil rund 50–100 g/kg TS, um in den Kulturschichten auf über 500 g/kg TS zu steigen (LSE 4.12 bis 4.6). Höhere Werte traten in Silikatsandbändern der Seekreide (LSE 5.2.6) und der Kulturschicht (LSE 4.9) auf. Die Silikat-Konzentrationen bewegten sich damit im Rahmen der Profilsäulen vom Untersee, waren aber durchwegs geringer als in der Station Hagnau-Burg, da dort die Karbonatkomponente stark zurücktrat.

Die Kalium-Konzentration wies auf die mineralischen Silte und Tone hin, die entsprechende Kationen-Austauschkapazitäten bereitstellen und so Kalium binden können (Abb. 3). Unter den Tonmineralen kommen am Bodensee besonders häufig bodenbürtige Smektiten vor (MÜLLER/QUAKERNAAT 1969), von denen bekannt ist, dass sie Kalium adsorptiv binden. In den vorliegenden Profilsäulen war Kalium signifikant positiv mit dem Silikat-Anteil korreliert ($r^2 = 0,343$, $p < 0,05$, $n = 16$). Eine Ausnahme bildete das Sandband der LSE 4.9, dem die Feinanteile weitgehend fehlen.

4.3 Korngrößenverteilung

Bei den Seekreiden im Liegenden (LSE 5.2) handelte es sich durchwegs um feinsandige Silte; rd. 580 bis 750 g/kg des Materials lagen im Bereich zwischen 0,112 mm (fFS) und 0,0063 mm (fMU). Kiesige Komponenten machten weniger als 1% aus (Abb. 4 a).

In den Übergangssedimenten (LSE 5.1.2 u. 5.1.3) wurde eine Vergröberung sichtbar; hier lag der Kies-Anteil bei 28 g/kg und darüber. Die Kulturschichten selbst zeichneten sich durch einen hohen Anteil der Kies-Fraktion aus, der zumeist über 200 g/kg lag. Ausnahmen bildeten die basale Schicht LSE 4.12.1 und das Sandband LSE 4.9.

Die Abb. 4b u. c stellen beispielhaft die Korngrößenverteilungen von zwei Seekreide-Schichten dar. Die LSE 5.2.6 im unteren Teil des erfassten Schichtpakets zeigte eine

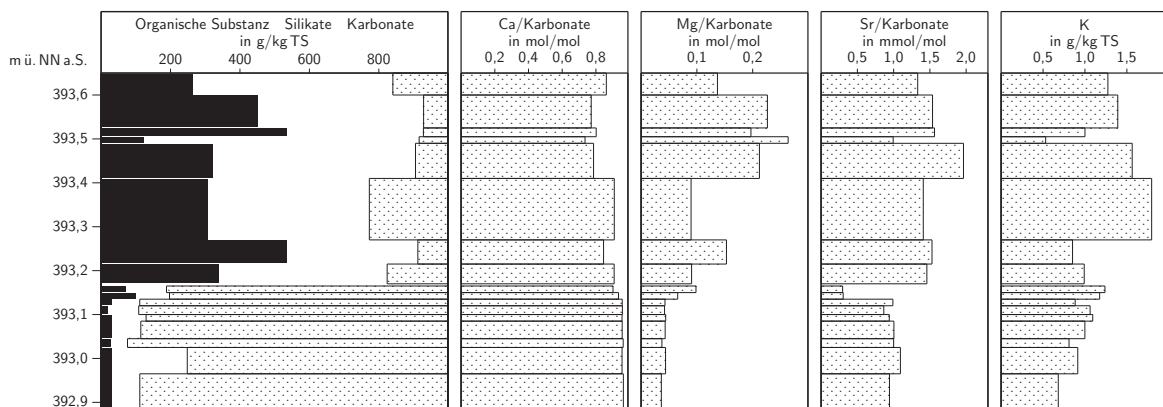


Abb. 3 Sedimentchemische Zusammensetzung der Schichtabfolge in den Profilsäulen ES II und ES III. Links – Hauptkomponenten (schwarz – organische Substanz, punktiert – Karbonate, weiß – silikatische Restsubstanz). Mitte und rechts – molare Elementmengenanteile von Ca, Mg (mol/molCa+Mg+Sr) und Sr (mmol/molCa+Mg+Sr) sowie Kalium-Gehalte (g/kg TS).

symmetrische Verteilung mit einem Modalwert im Grob-silt-Bereich. Die LSE 5.1.2 im Übergangsbereich zur Kulturschicht wies demgegenüber Abweichungen auf (nicht symmetrische Verteilung, schlechtere Sortierung, höhere Standardabweichung), wie sie bei Verteilungen von Materialmischungen auftreten.

4.4 Partikelinhalte

In den Seekreide-Schichten (LSE 5.2) wurden fast ausschließlich limnigene Partikel angetroffen (Abb. 5a). Es dominierten Characeen-Krusten, Characeen-Oogonien/Oosporen und Ostracoden-Schalen, alles Überreste obligat aquatischer Organismen. In weit geringerem Umfang waren terrigene Partikel vertreten, darunter (pflanzlicher) Strukturdetritus sowie wenige Quarzite und Silikat-Klastika, die vermutlich aus landwärtigen Einschwemmungen des nahen Nußbachs stammten. Unter den anthropogenen Resten traten einige wenige Holzkohle-Bruchstücke hervor, die sich am Top der Seekreide-Sequenz anreicherten.

In den beiden Übergangsschichten (LSE 5.1) waren alle drei Partikelgruppen etwa gleichrangig vertreten (Abb. 5b). An limnigenen Bestandteilen dominierten Ostracoden-Schalen, daneben waren Mollusken-Schill und die abrasionsfesten Schließdeckel der Schnauzenschnecke (*Bithynia tentaculata* L., Mollusca) in hohen Konzentrationen vertreten. Die terrigene Gruppe war mit fast allen Partikelklassen vertreten, wobei Strukturdetritus, Samen u. Früchte sowie Silikatgesteinstrümmer dominierten. In ähnlicher Weise war nahezu das gesamte Spektrum an anthropogenen Partikeln vorhanden, v.a. Holzkohlen und andere verkohlte Reste, Knochensplitter sowie Schuppen, Wirbel und Schlundknochen von Fischen (s. Beitrag GALIK).

Der Kulturschicht (LSE 4.6 bis 4.12) fehlten nahezu alle limnigenen Partikel; lediglich Köcherreste von Köcherflie-

gen-Larven (Ordnung Trichoptera, Insecta) konnten in sehr geringen Mengen angetroffen werden (Abb. 5c). Dagegen war das gesamte Spektrum an terrigenen und anthropogenen Partikeln vertreten. Die Häufigkeitsverteilung der terrigenen Partikel ähnelte der in den Übergangsschichten: Mit $pn_i > 5$, d.h. mehr als 100.000 Partikeln pro kg Trockensubstanz, war Grobdetritus vorhanden, gefolgt in weitem Abstand ($3 < pn_i < 4$) von Holz-Bruchstücken, Samen und Früchten sowie Silikat-Klastika. In der Gruppe anthropogener Partikel traten am häufigsten Holzkohle-Bruchstücke ($pn_i > 4$) sowie andere verkohlte Reste auf, daneben in geringeren Mengen ($pn_i < 3$) Knochen-Bruchstücke und Fischschuppen.

Trichopteren-Köcherreste in sehr geringen Konzentrationen ließen sich auch in den Kulturschichten anderer Stationen nachweisen (Hornstaad-Hörnle I, OSTENDORP 2006; Hagnau-Burg, OSTENDORP 1996). Neben einem direkten Eintrag aus dem See sind auch andere Eintragswege denkbar, beispielsweise durch den Gebrauch von Steinen (Netzsenker) aus dem limnischen Strandbereich oder durch das Einholen von Netzen und Booten. Denn die relativ ortsfesten Larven und Puppen halten sich gern auf festen Oberflächen (Steine, Holz) und in lockeren Unterwasserpflanzenbeständen auf.

5. Schichtgenese

5.1 Seekreide-Schichten (LSE 5.2)

Die Seekreide-Schichten im Liegenden zeichneten sich durch eine teils deutlich hervortretende Bänderung aus, wobei feinere, dunklere Bänder sich mit etwas gröberen, helleren Bändern abwechselten (gradierte Schichtung). Insgesamt konnten 5 bis 6 solcher Paare identifiziert werden (Abb. 2). Die Bänder ließen sich nicht getrennt präparieren,

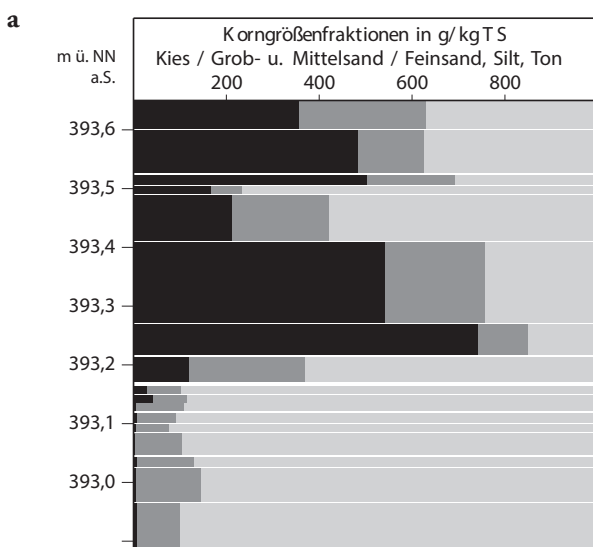
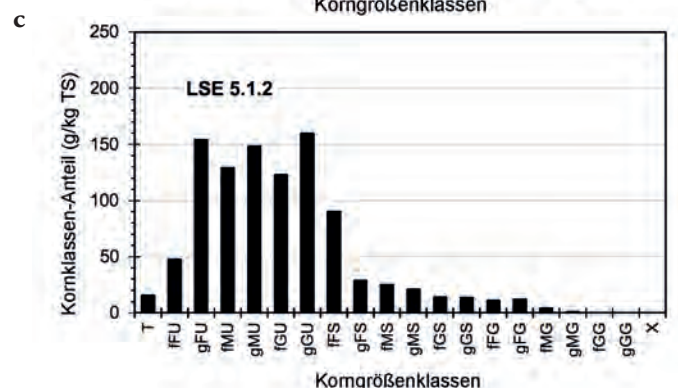
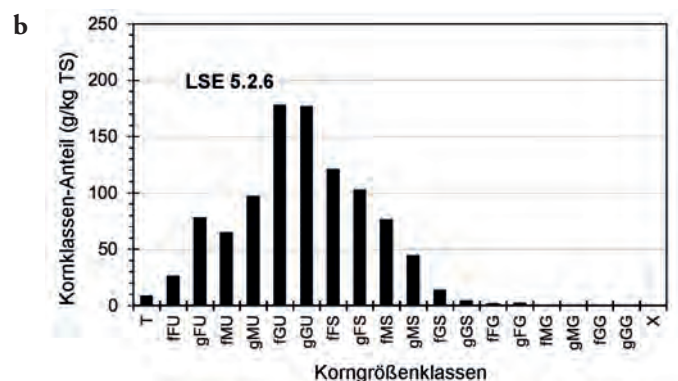
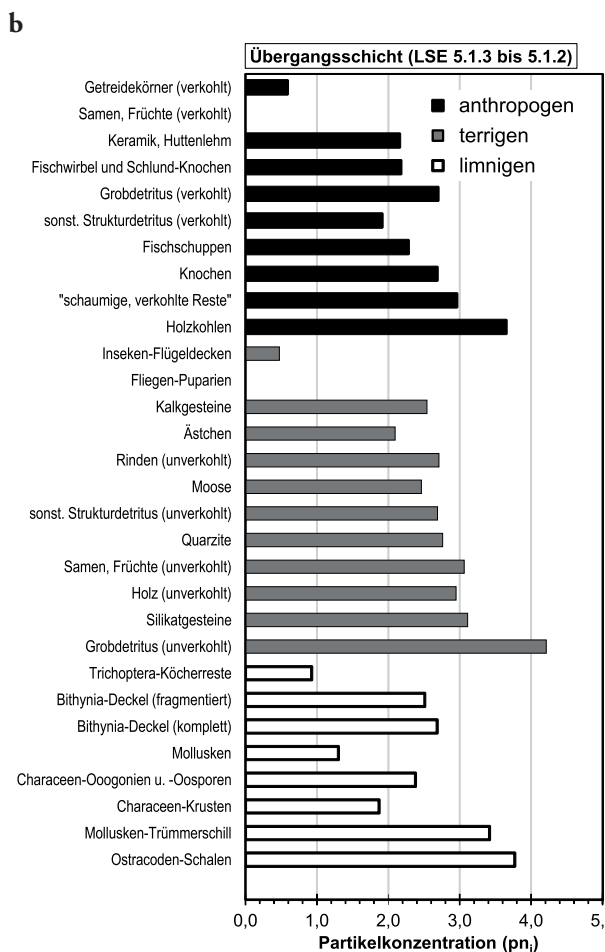
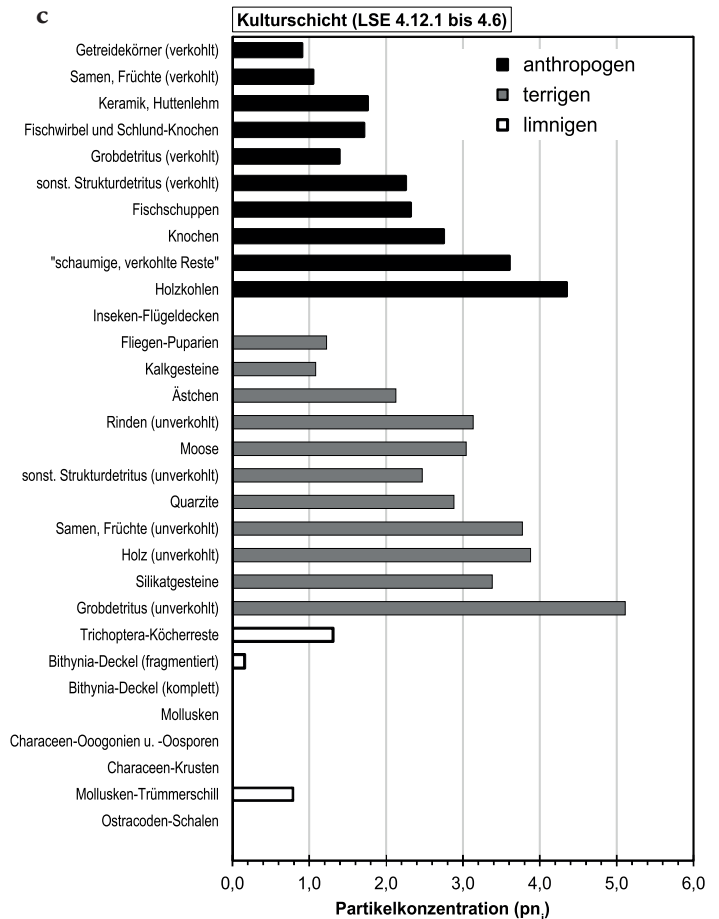
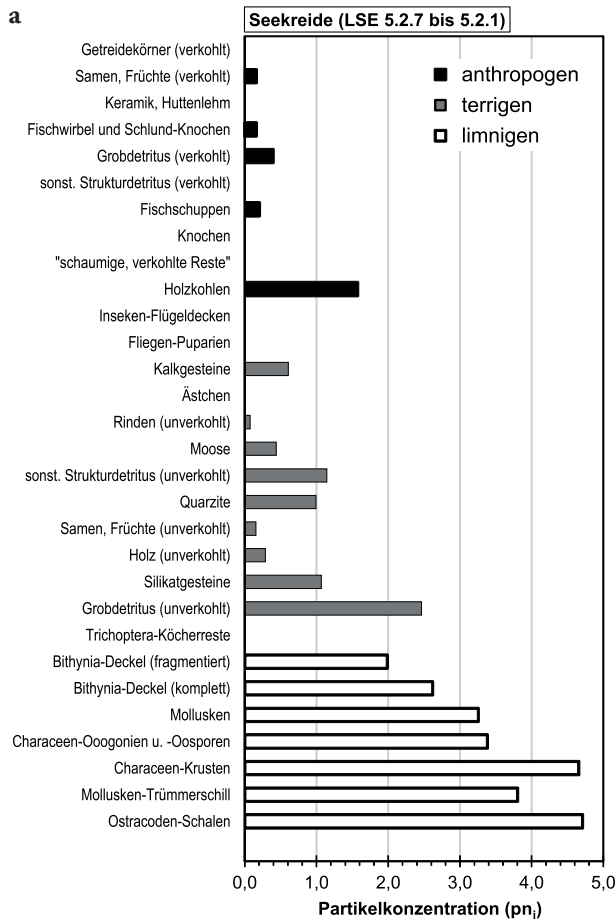


Abb. 4 (a) Anteile der Korngrößenfraktionen von Kies (schwarze Balken), Grob- und Mittelsand (mittelgraue Balken) sowie Feinsand, Silt und Ton (hellgraue Balken) in den Profilsäulen ES II (LSE 5.2.7 bis 5.1.2) und ES III (LSE 5.1.1 bis 4.6). (b) und (c) Korngrößenverteilungen in den lithostratigraphischen Einheiten LSE 5.2.6 und 5.1.2.





so dass die nachfolgenden Ergebnisse jeweils eine Paarung repräsentieren. Die beiden Schichten lagerten sich wahrscheinlich während eines Starkwindereignisses ab, bei dem zunächst das gröbere (hellere) Material sedimentiert wurde, nach Abflauen des Ereignisses dann das feinere Material. Das Feinmaterial enthielt mehr organische Substanz, bei dessen anaerobem Abbau Eisensulfid gebildet wurde, das sich auf den feinen Körnern niederschlug und zur dunkleren Färbung beitrug. Bislang konnte diese in Bodensee-Litoralsedimenten häufig auftretende Bänderung noch nicht detailliert analysiert werden, so dass die Interpretation nicht gesichert ist. Insgesamt handelt es sich um litorale Sedimente, die innerhalb von ausgedehnten Armelechteralgen-Rasen verhältnismäßig schnell und in gleichmäßiger Folge abgelagert worden sind.

In nahezu allen Schichten waren einzelne Holzkohle-Bruchstücke präsent, die vielleicht durch den Nußbach, möglicherweise auch durch Erosion der landwärts gelegenen Hornstaader bzw. Pfyner Kulturschichten eingetragen wurden (s. Beitrag KÖNINGER).

Die undeutlich gebänderte basale Schicht LSE 5.2.7 war durch eine sehr feinkörnige Matrix (Feinsand, Silt und Ton > 850 g/kg) mit einem sehr geringen Gehalt an organischer Substanz sowie durch hohe Konzentrationen limnigener Partikel gekennzeichnet, während terrigene Partikel (hier v.a. unverkohlter Grobdetritus) nur in sehr geringen Mengen vorkamen. Anthropogene Partikel fehlten völlig mit Ausnahme sehr weniger Holzkohle-Bruchstücke. Das Schichtpaket dürfte in der unteren Flachwasserzone, in gut 2 m Tiefe unter dem Mittelwasserspiegel abgelagert worden sein. Auffällig war ein ovales, gut gerundetes Geröll,

Abb. 5 Verteilung der limnigenen, terrigenen und anthropogenen Partikelklassen in den Seekreide-, Übergangs- und Kulturschichten. Mittelwerte (pn) über alle zugehörigen lithostratigraphischen Einheiten.

das fast senkrecht in der Schicht steckte. Möglicherweise repräsentiert es eine fossile Strandoberfläche im unteren Bereich der Wasserwechselzone, die frei lag, nachdem die Ablagerung von LSE 5.2.7 zum Stillstand gekommen war. Das Geröll wurde in die Schicht eingedrückt, bevor sich die LSE 5.2.6 auflagerte.

Die zum Top hin folgende gebänderte Seekreide LSE 5.2.6 unterschied sich durch einen deutlich höheren Anteil an silikatischen Klastika im Mittel- und Grobsand-Bereich, verbunden mit einem leicht erhöhten Kalium-Gehalt und Mg-Elementmengenanteil. Die Konzentration an terrigenen Partikeln sowie an Holzkohle-Bruchstücken war leicht erhöht. Die Schicht wurde wahrscheinlich unter deutlich verringertem Wasserstand abgelagert, wobei der erhöhte silikatische Sand-Anteil durch Ausspülung des karbonatischen Feinmaterials zustande kam.

Mit den LSE 5.2.5 bis 5.2.2 wurde ein Seekreidepaket von nur 6 cm Mächtigkeit untergliedert. Hier kamen in schneller Folge drei deutlich und eine nur undeutlich sichtbare gradierte Sequenz von jeweils einem helleren Band an der Basis und einem dunkleren Band am Top zur Ablagerung (Abb. 2). In diesen Doppelschichten nahmen der Grob- und Mittelsand-Anteil zugunsten des Feinsand-, Silt- und Tonanteils ab. Parallel stiegen der Kalium-Gehalt sowie der x_{Mg} an. Der zunehmende x_{Mg} deutet darauf hin, dass zunehmende Teile der Karbonat-Komponente nicht mehr aus der biogenen Seekreide-Fällung, sondern aus klastischen Karbonaten, d. h. aus anstehenden glazialen Geschieben am Ufer oder aus dem Hinterland des Nußbachs stammten. Die Konzentrationen terrigener und anthropogener Partikel nahmen stetig, wenn auch nur auf bescheidenem Niveau von $pn_i = 2,37$ auf 2,69 bzw. von 1,11 auf 1,92 zu. Die zum Top hin zunehmende Holzkohle-Konzentration deutet auf menschliche Aktivitäten in der Umgebung hin; sie wurden wahrscheinlich während des Starkwindereignisses erodiert oder durch den Nußbach eingetragen. Über die zeitliche Dauer des Ereignisses können keine Angaben gemacht werden, jedoch ist es möglich, dass sich die Schichten innerhalb von nur Monaten oder wenigen Jahren dort ablagerten.

Die LSE 5.2.1 gehört möglicherweise noch zu dieser Sequenz. Auffällig war hier jedoch die sprunghafte Zunahme terrigener und anthropogener Partikel. Dies galt insbesondere für Holzkohlen ($pn_i = 2,36$) und Grobdetritus (2,98). Erstmals traten einige wenige verkohlte Samen und Früchte (1,13) sowie Fischschuppen und -wirbel (1,43; 1,13) auf. Die Konzentrationen von Mollusken sowie von Schill, erhaltenen und fragmentierten *Bithynia*-Deckeln waren leicht erhöht, was auf eine etwas längere Phase gleichbleibend niedriger Wasserstände hindeutet. Der deutlich verminderte Mollusken-Erhaltungsgrad spricht für eine stärkere mechanische Belastung oder Umlagerung der Sedimente durch Wellen. Die LSE 5.2.1 vermittelt somit zu dem Schichtpaket im Hangenden, das bereits deutlich unter dem Einfluss anthropogener Aktivitäten im Uferbereich stand.

5.2 Übergangsschichten (LSE 5.1)

Die beiden zusammen nur ca. 3 cm mächtigen Übergangsschichten LSE 5.1.3 und 5.1.2 waren mit einem Ge-

samt-Karbonatgehalt von 802 bis 810 g/kg ebenfalls als Seekreideschichten anzusprechen, obschon die braune Färbung einen hohen Anteil an organischer Substanz (69 bzw. 100 g/kg TS) verriet. In der Karbonat-Komponente dominierten nach wie vor biogen gefällte Kalke, gekennzeichnet durch einen nur mäßig erhöhten x_{Mg} . Bei den limnigenen Partikeln fiel die hohe Konzentration an fragmentiertem Molluskenschill (sehr geringer Mollusken-Erhaltungsgrad) sowie an relativ abriebfesten *Bithynia*-Deckeln besonders in der LSE 5.1.3 auf; beide Komponenten dürfen als Beleg für eine mechanische Belastung durch Wellenbewegung angesehen werden. Die Konzentration anthropogener Partikel war auf $pn_i = 3,86$ bis 4,10 angestiegen, wobei nun auch Keramik- bzw. Hüttenlehmreste, Knochen-Bruchstücke, verschiedene verkohlte Pflanzenteile und schließlich Holzkohlen ($pn_i = 3,59$ bis 3,71) in beträchtlicher Menge anfielen. In ähnlicher Höhe lag der Gehalt an terrigenen Partikeln, die wahrscheinlich ebenfalls durch menschliches Zutun in die Schicht gelangten. Der Übergang zwischen der liegenden LSE 5.2.1 und der hangenden LSE 5.1.3 war scharf und gleichmäßig gezogen, Schichtstörungen irgendwelcher Art waren in der Profilsäule nicht zu erkennen. Es ist anzunehmen, dass sich die Übergangsschichten unter nur geringer Wasserbedeckung während der Horgener Siedlungsphase vor Ort gebildet haben. Unter mäßigem Welleneinfluss wurden die Seekreiden mehrfach umgelagert, die darin enthaltenen Mollusken fragmentiert und die Kulturschicht-Bestandteile in die geringmächtige Seekreide-Schicht eingearbeitet.

5.3 Kulturschichten (LSE 4)

Unmittelbar auf den Seekreide-Übergangsschichten lagerte das rund 48 cm mächtige Kulturschichtpaket (LSE 4.12 bis 4.6). Der Schichtaufbau war wenig gegliedert, Brandhorizonte fehlten. Charakteristisch war der hohe Anteil an Grobpartikeln der Mittel- und Grobkiesfraktion ($d > 6,3$ mm), worin auch die zahlreich vorkommenden Astholzreste eingeschlossen waren. Der Gesamtkarbonatgehalt lag zumeist unter 100 g/kg TS, während der Gehalt an organischer Substanz meist Werte über 300 g/kg TS erreichte. Der hohe Elementmengenanteil x_{Mg} wies darauf hin, dass die Karbonatkomponente nicht durch rezente biogene Entkalkung entstanden war, mithin also nicht aus dem Bodensee-Litoral stammte. Typische limnigene Partikel wie Ostracoden-Schalen, *Bithynia*-Deckel, intakte Molluskenschalen, Characeen-Oogonien/Oosporen und Characeen-Krusten fehlten der Kulturschicht völlig.

Während der Ablagerung des Kulturschichtpakets kam es also nicht zu einer Einschwemmung von litoralen Sedimenten oder anderen seebürtigen Materialien. Vermutlich lagen die Kulturschichten über dem seinerzeitigen mittleren Mittelwasserspiegel, so dass die Schichten während der windreichen winterlichen Niedrigwasserperiode nicht mehr vom Wellenschlag erreicht wurden.

An der Basis des Kulturschichtpaketes befand sich mit LSE 4.12.1 eine feinsandig-siltige Schicht mit hohem Anteil an organischer Substanz, die offenbar noch in nennenswertem Maße seebürtige Karbonate (175 g/kg TS Gesamtkarbonat

mit $x_{Mg} = 91$) enthielt. Hier waren noch sehr wenige Köcherreste von Trichoptera-Larven anzutreffen, ansonsten fehlten alle limnigenen Bestandteile. Ähnlich verhielt es sich mit der Schicht LSE 4.11.1, die auf einem liegenden Astholzauflage und Hüttenlehmreste enthielt. Der verhältnismäßig große Anteil seebürtiger Karbonate stand offenbar in Zusammenhang mit den Hüttenlehmen. Auch hier fehlten mit Ausnahme der Köcherreste sämtliche limnigenen Partikel. Diese Befunde deuten darauf hin, dass die Dorfbewohner dem See Material entnommen hatten, dessen aufgearbeitete Abfälle oder Reste in den Schichten LSE 4.12.1 und 4.11.1 teilweise erhalten blieben. Zwischen beiden Schichten lag die LSE 4.11.2, die sich durch einen hohen x_{Mg} -Wert auszeichnete, der für die Präsenz von klastischen Karbonaten spricht.

Die zum Top hin folgenden Schichten LSE 4.10 bis 4.7 waren arm an Gesamtkarbonat (70 bis 90 g/kg TS) bei gleichzeitig hohem $x_{Mg} > 200$), so dass anzunehmen ist, dass die Karbonatkomponente überwiegend terrigen war. Da abgesehen von sehr wenigen Molluskenbruchstücken und einigen Köcherresten keine limnigenen Partikel enthalten waren, dürften auch diese Schichten nicht im Wellenschlagsbereich des Sees gelegen haben.

Hinzuweisen ist noch auf das Sandband LSE 4.9, das auch außerhalb der Profilsäule im Profilschnitt verfolgt werden konnte (s. Beitrag KÖNINGER). Wahrscheinlich handelte es sich um eine lokale Bildung, z. B. als Rückstandssediment des durch Regen abgewaschenen Hauswandmaterials. Ein sortierender Welleneinfluss scheint angesichts des völligen Fehlens limnigener Bestandteile sehr unwahrscheinlich.

Die Profilsäule ES III schließt mit der LSE 4.6 ab, auf die im Profilschnitt eine jüngere Aufarbeitungsschicht folgt, die in der Profilsäule allerdings nicht mehr enthalten war. In der LSE 4.6 war der Gesamt-Karbonatgehalt mehr als doppelt so hoch wie in den liegenden Schichten (159 g/kg TS); gleichzeitig nahm der Magnesium-Elementanteil deutlich ab ($x_{Mg} = 137$), was insgesamt auf die Beteiligung biogen gefällter, seebürtiger Karbonate hindeutet. In diesem Sinne ist auch das Vorkommen limnigener Partikel (*Bithynia*-Deckel und Trichopteren-Köcherreste) zu deuten. Möglicherweise kam es während der Bildungsphase dieser Schicht unter Welleneinfluss zu einer Einschwemmung von Seekreide-Material. Allerdings muss mit einer Kontamination mit der nicht mehr erfassten Schicht Bef. 4.6 gerechnet werden.

6. Umweltgeschichtliche Rekonstruktion

Die Profilsäulen ES II und III beinhalten eine Abfolge aus Seekreide-Schichten im Liegenden, geringmächtigen Übergangsschichten sowie einem horgenzeitlichen Kulturschichtpaket im Hangenden. Nachsiedlungszeitliche Deckschichten wurden nicht erfasst. Die 0,80 m lange Sedimentsäule wurde in 17 lithostratigraphische Einheiten getrennt, die hinsichtlich ihrer Textur, geochemischen und partikulären Zusammensetzung analysiert wurden. Im Vordergrund standen Fragen der Schichtgenese unter dem Einfluss wechselnder Bodensee-Wasserstände.

Die gebänderten Seekreiden der LSE 5.2 mit einer Ober-

kante bei 393,12 m ü. NN a.S. sind als gradierte Akkumulationssequenzen zu interpretieren. Das feinkörnige Material aus biogen gefällten Karbonaten (Characeen-Krusten) hat sich während einiger markanter Starkwindereignisse in etwa 2 m Wassertiefe unter dem Mittelwasserspiegel ablagern und erhalten können. Bereits während dieser Phase könnte es zu einer vorübergehenden Seespiegelsenkung gekommen sein, die durch das eingedrückte Geröll in LSE 5.2.7 markiert wird.

Am Ende dieser Entwicklung war der Seespiegel so weit abgesunken, dass die seekreidehaltigen Oberflächensedimente in die Brandungszone gerieten und intensiv mechanisch belastet und umgelagert wurden (LSE 5.1). Zeitgleich wurden große Mengen terrigener und anthropogener Partikel eingetragen und zusammen mit den limnischen Partikeln eingebettet. Möglicherweise stammten die Partikel aus den erodierten Kulturschichten der kaum 30 m entfernten Hornstaader/Pfynner Siedlung. Es ist aber auch möglich, dass das nur 3 cm mächtige Schichtpaket der Gründungsphase des Horgener Dorfes zugerechnet werden muss. Eine Seespiegel-Absenkung unmittelbar vor Siedlungsbeginn wird durch die Tatsache gestützt, dass die älteren Häuser landseits gelegen sind, während die jüngsten Häuser seeseits vor die älteren gesetzt wurden; eine Gasse führt direkt auf den See zu (s. Beitrag NELLE/BILLAMBOZ).

Die Kulturschichten (LSE 4.12 bis 4.6) waren fast völlig frei von limnigenen Partikeln. Es ist also während der laut Dendro-Daten (s. Beitrag NELLE/BILLAMBOZ) ca. 50 Jahre andauernden Bildungsphase zu keinem Zeitpunkt zu einer Materialumlagerung durch Wellen oder zu einer Einschwemmung limnigenen Materials, etwa in der winterlichen Starkwind- und Niedrigwasserperiode gekommen. Wahrscheinlich lag der Mittelwasserstand um einige Dezimeter unter dem Kulturschichtniveau. Ob die Siedlung während des sommerlichen Hochwasserstands überflutet war, lässt sich anhand unserer Untersuchungen nicht beurteilen. In den Ablagerungen sollten dann Reste von Kieselalgen oder Wasserflöhen zu finden sein (vgl. z. B. VEIT 2006); Mikroreste dieser Art wurden jedoch nicht untersucht.

Bezieht man die skizzierte Seespiegelenwicklung auf das heutige Niveau des Schichtpakets, kann für die basalen Seekreiden ein Mittelwasserniveau von etwa 395 m ü. NN a.S. angenommen werden, mithin ein ähnlicher Seestand wie heute. Die Übergangsschichten hätten sich bei einem Seestand von 393,0 bis 393,5 m gebildet. Zur Zeit der Kulturschichtbildung hätte der mittlere Seespiegel zwischen 392,5 und 393,0 m gelegen. Unterstellt wird ein ähnlicher jährlicher Schwankungsbereich wie heute, d.h. im Bereich von 1,5 bis 2 m. Ein solch niedriger Seespiegel erscheint wenig plausibel, bedenkt man, dass die heutige Überlaufschwelle des Obersees bei etwa 392,50 m ü. NN a.S. liegt (vgl. WESSELS et al. 2016). Der Obersee wäre bei Mittelwasser durch ein etwa 30 m breites und rd. 0,5 m tiefes Rinnsal in den Seerhein abgeflossen (vgl. SCHMIDLE 1933; PARET 1941/42). In der Station Hagnau-Burg, ebenfalls in Haldennähe am nördlichen Bodenseeufer gelegen, wurde eine vergleichbare Situation angetroffen (OSTENDORP 1996). Auch hier zeigten die Kulturschichten, die auf etwa 391,40 m ü. NN a.S. lagen, nur geringfügige Einschwemmungen seebürtiger

Komponenten, so dass ein Mittelwasserstand knapp unter der Kulturschichtbasis angenommen wurde.

Zur Erklärung dieses Paradoxons wurden vier Faktoren in Betracht gezogen und diskutiert (OSTENDORP, 1996):

- Kompaktion der Seekreiden im Liegenden, so dass die heutigen Niveaus nicht mehr mit den Niveaus zur Bildungszeit übereinstimmen. Damit wären dann auch absolute Niveaueangaben ehemaliger Seestände nicht mehr sinnvoll. Die obigen Aussagen zu den relativen Veränderungen der Seestände vor und während der Horgener Siedlung blieben aber gleichwohl gültig.

- Rutschungen der Halde in den Jahrtausenden nach Siedlungsende, womit sich Schichten abgesenkt und ggf. auch verstellt hätten. Schichtbewegungen dieser Art sind in einer Profilsäule grundsätzlich kaum festzustellen. Es bedarf vielmehr der Untersuchung langer ufersekrechter Profile, um ggf. schräg stehende, gegen den See geneigte Pfähle u. a. identifizieren zu können.

- langfristige tektonische Erdkrustenbewegungen unterschiedlichen Betrages zwischen der Ausflussschwelle des Obersees bei Konstanz und der Siedlungsposition, und schließlich

- ein langsamer Aufbau der Ausflussschwelle bei Konstanz während des mittleren Holozäns durch Kalktuffbildungen. Dies impliziert, dass die Schwelle anfänglich niedriger lag, so dass niedrigere als die oben postulierten Wasserstände möglich waren, ohne dass der Obersee abflusslos geworden wäre.

Der Schlüssel zum Verständnis der tief liegenden neolithischen und bronzezeitlichen Stationen am nördlichen Bodenseeufer liegt also bei der geophysikalischen Untersuchung der Haldenstruktur sowie der Ausflussschwelle.

Danksagung

Dem ehemaligen Leiter des sedimentologischen Labors des Instituts für Seenforschung der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg in Langenargen, Herrn Dr. H. G. Schröder sei herzlich für die Durchführung der Korngrößenanalysen im Silt- und Tonbereich gedankt.

7. Zitierte Literatur

MÜLLER 1966: G. MÜLLER, Die Sedimentbildung im Bodensee. Die Naturwissenschaften 53, 1966, 237–247.

MÜLLER/QUAKERNAAT 1969: G. MÜLLER/J. QUAKERNAAT, Diffractometric clay mineral analysis of recent sediments of Lake Constance (Central Europe). Contr. Mineral. Petrol. 22, 1969, 268–275.

OSTENDORP 1990: W. OSTENDORP, Zur Stratigraphie und Sediment-Petrographie der Station Allensbach-Strandbad: Profilsäule E6. In: Siedlungsarch. Alpenvorland II. Forsch. u. Ber. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg 37 (Stuttgart 1990) 76–89.

OSTENDORP 1991: W. OSTENDORP, Stratigraphische und sedimentologische Untersuchungen im Bereich der Station Hörnle I am Bodensee-Untersee. In: Beitr. Landschafts- u. Siedlungsgesch. Bodensee-Untersee: Paläolimnologische Untersuchungen. Ber. RGK 71, 1991, 292–300.

OSTENDORP 1996: W. OSTENDORP, Paläolimnologische Untersuchungen im Bereich der spätbronzezeitlichen Station Hagau-Burg am Bodensee-Obersee. Profilsäule HA91 E1. In: Siedlungsarch. Alpenvorland IV. Forsch. u. Ber. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg 47 (Stuttgart 1996) 223–238.

OSTENDORP 2006: W. OSTENDORP, Sedimentologische Untersuchungen zur Stratigraphie und Genese der Kulturschichten der jungneolithischen Station Hornstaad-Hörnle IA. Profilsäulen E111 und E112. In: Siedlungsarch. Alpenvorland IX. Forsch. u. Ber. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg 98 (Stuttgart 2006) 455–472.

OSTENDORP/BLUM 1998: W. OSTENDORP/H. BLUM, Hemmenhofener Methoden – Sedimentologische und paläolimnologische Methoden in der Siedlungsarchäologie. In: Siedlungsarch. Alpenvorland VI. Forsch. u. Ber. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg 68 (Stuttgart 1998) 243–299.

PARET 1941/42: O. PARET, Die Pfahlbauten. Ein Nachruf. Schr. Ver. Gesch. Bodensee 68, 1941/42, 75–107.

SCHMIDLE 1933: W. SCHMIDLE, Stand der Sipplinger Pfahlbau trocken? Badische Fundber. 3, 1933–1936, 79–88.

VEIT 2006: K. VEIT, Eine Cladocerenanalyse am Kulturschichtkern E112 aus der jungneolithischen Seeufersiedlung Hornstaad-Hörnle IA. In: Siedlungsarch. Alpenvorland IX. Forsch. u. Ber. Vor- u. Frühgesch. Baden-Württemberg 98 (Stuttgart 2006) 533–539.

WESSELS et al. 2016: M. WESSELS/F. ANSELMETTI/R. BARAN/M. HILBE/M. GESSLER/P. WINTERSTELLER, Tiefenschärfe – Hochauflösende Vermessung Bodensee. Ber. Internat. Gewässerschutzkomm. Bodensee (IGKB), Blaue Reihe 61, 2016, 1–106.

8. Tabellen im Anhang

Profilsäule	Niveau UK/OK (m ü. NN a.S.)	LSE	Befund	x d (mm)	X	GG	MG	FG	GS	MS	FS	U+T
					2,0/1,5	1,5/1,0	1,0/0,5	0,5/0,0	0,0/-0,5	-0,5/-1,0	-1,0/-1,5	-1,5/-4,0
					>63	63–20	20–6,3	6,3–2,0	2,00–0,63	0,63–0,20	0,20–0,063	<0,63
ES III	393,600–393,650	4.6	4.7.1 u / 4.7.2	0	85	158	114		66	207		370
ES III	393,525–393,600	4.7	4.8 u / 4.9	0	0	301	182		62	83		373
ES III	393,505–393,525	4.8	4.10 o	0	110	243	151		77	113		306
ES III	393,490–393,505	4.9	4.10 o	0	27	113	27		16	52		765
ES III	393,410–393,490	4.10	4.10 u	0	8	129	76		83	127		578
ES III	393,270–393,410	4.11.1	4.11 o / (4.10 m)	0	244	188	111		77	138		242
ES III	393,215–393,270	4.11.2	4.11 u	0	276	344	124		38	69		150
ES III	393,170–393,215	4.12.1	4.11 u / 4.12	0	0	60	61		101	149		630
ES II	393,165–393,170	5.1.1	5.1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
ES II	393,150–393,165	5.1.2	6	0	0	6	23		28	46	119	778
ES II	393,135–393,150	5.1.3	6	0	0	15	27		22	51	150	735
ES II	393,120–393,135	5.2.1	5.2 / 7	0	0	1	6		17	87	207	683
ES II	393,100–393,120	5.2.2	7	0	0	0	6		10	75	165	743
ES II	393,085–393,100	5.2.3	7	0	0	0	7		7	62	140	784
ES II	393,045–393,085	5.2.4	7	0	0	1	4		13	87	197	699
ES II	393,025–393,045	5.2.5	7	0	0	1	7		14	110	288	580
ES II	392,965–393,025	5.2.6	7	0	0	0	4		19	121	224	631
ES II	392,880–392,965	5.2.7	7	0	0	2	6		13	79	178	722

Tab. I – im Anhang: Korngrößenverteilung der lithostratigraphischen Einheiten (LSE) in den Profilsäulen ES II und ES III. X Geröll, GG Grobkies, MG Mittelkies, FG Feinkies, GS Grobsand, MS Mittelsand, FS Feinsand, U+T Silt und Ton mit zugehörigen Äquivalentdurchmessern (d, mm) und x-Werten der Klassengrenzen in der ζ -Notation; alle Zahlenangaben in g/kg TS.

Profilsäule	Niveau UK/OK (m ü. NN a.S.)	LSE	Bef.	K µg/g TS	Ca g/kg TS	x_{Ca} mol Ca/mol Ca+Mg+Sr	Mg g/kg TS	x_{Mg} mmol Mg/mol Ca+Mg+Sr	Sr mg/kg TS	x_{Sr} mmol Sr/mol Ca+Mg+Sr	Gesamt-Karbonat g/kg TS	Organ. Substanz g/kg TS	Silikate/ Oxide g/kg TS
ES III	393,600–393,650	4.6	4.7.1 u/4.7.2	1274	56	0,862	5,38	137	189	1,33	159	265	577
ES III	393,525–393,600	4.7	4.8 u/4.9	1391	22	0,769	3,99	230	98	1,57	69	450	480
ES III	393,505–393,525	4.8	4.10 o	1000	23	0,799	3,48	199	100	1,59	70	535	394
ES III	393,490–393,505	4.9	4.10 o	532	25	0,732	5,53	267	75	1,00	82	122	795
ES III	393,410–393,490	4.10	4.10 u	1564	30	0,784	4,97	214	166	1,98	92	322	584
ES III	393,270–393,410	4.11.1	4.11 o / (4.10 m)	1796	84	0,910	4,99	89	283	1,40	228	306	467
ES III	393,215–393,270	4.11.2	4.11 u	852	30	0,846	3,29	153	119	1,53	87	535	378
ES III	393,170–393,215	4.12.1	4.11 u/4.12	991	65	0,909	3,90	90	227	1,45	176	338	487
ES II	393,165–393,170	5.1.1	5.1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
ES II	393,150–393,165	5.1.2	6	1239	297	0,901	19,66	98	214	0,30	810	69	120
ES II	393,135–393,150	5.1.3	6	1176	303	0,934	12,90	66	216	0,30	802	100	98
ES II	393,120–393,135	5.2.1	5.2 / 7	884	342	0,956	9,28	43	774	0,99	888	29	83
ES II	393,100–393,120	5.2.2	7	1062	343	0,957	9,15	42	678	0,87	889	19	91
ES II	393,085–393,100	5.2.3	7	1093	335	0,955	9,36	44	720	0,94	870	31	100
ES II	393,045–393,085	5.2.4	7	999	341	0,956	9,32	43	782	1,00	885	29	86
ES II	393,025–393,045	5.2.5	7	810	357	0,962	8,40	37	812	1,00	922	27	50
ES II	392,965–393,025	5.2.6	7	914	289	0,955	8,04	44	723	1,09	751	30	219
ES II	392,880–392,965	5.2.7	7	682	344	0,963	7,85	36	736	0,94	888	30	83

Tab. II – im Anhang: Geochemische Zusammensetzung der lithostratigraphischen Einheiten (LSE) in den Profilsäulen ES II und ES III. x – Elementmengenanteil.

Profilsäule	Niveau UK/OK (m ü. NN a.S.)	LSE	Bef.	Characeen-Krusten	Characeen-Oogonien und -Oosporen	Mollusken	Mollusken- Trümmerschill	Mollusken- Erhaltungsgrad	<i>Bithynia</i> -Deckel (komplett)	<i>Bithynia</i> -Deckel (fragmentiert)	Ostracoden-Schalen	Trichoptera- Köcherreste	Gesamt-Dichte
ES III	393,600–393,650	4.6	4.7.1 u / 4.7.2	0,00	0,00	0,00	0,00	entf.	0,00	1,27	0,00	2,33	2,36
ES III	393,525–393,600	4.7	4.8 u / 4.9	0,00	0,00	0,00	0,00	entf.	0,00	0,00	0,00	2,07	2,07
ES III	393,505–393,525	4.8	4.10 o	0,00	0,00	0,00	2,07	<-2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,07
ES III	393,490–393,505	4.9	4.10 o	0,00	0,00	0,00	1,97	<-2	0,00	0,00	0,00	0,00	1,97
ES III	393,410–393,490	4.10	4.10 u	0,00	0,00	0,00	0,00	entf.	0,00	0,00	0,00	0,99	0,99
ES III	393,270–393,410	4.11.1	4.11 o / (4.10 m)	0,00	0,00	0,00	2,27	<-2	0,00	0,00	0,00	1,97	2,45
ES III	393,215–393,270	4.11.2	4.11 u	0,00	0,00	0,00	0,00	entf.	0,00	0,00	0,00	1,81	1,81
ES III	393,170–393,215	4.12.1	4.11 u / 4.12	0,00	0,00	0,00	0,00	entf.	0,00	0,00	0,00	1,30	1,30
ES II	393,165–393,170	5.1.1	5.1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
ES II	393,150–393,165	5.1.2	6	0,00	2,08	0,95	2,66	-1,72	1,85	1,73	3,40	1,85	3,52
ES II	393,135–393,150	5.1.3	6	3,74	2,68	1,65	4,18	-2,53	3,52	3,29	4,14	0,00	4,60
ES II	393,120–393,135	5.2.1	5.2 / 7	4,65	3,25	3,27	4,01	-0,81	2,57	2,08	4,95	0,00	5,17
ES II	393,100–393,120	5.2.2	7	4,56	3,35	3,25	3,84	-0,69	2,54	1,86	4,48	0,00	4,89
ES II	393,085–393,100	5.2.3	7	4,54	3,01	3,43	3,94	-0,63	2,69	2,18	4,35	0,00	4,85
ES II	393,045–393,085	5.2.4	7	4,57	3,36	3,21	3,73	-0,64	2,44	1,76	4,87	0,00	5,08
ES II	393,025–393,045	5.2.5	7	4,75	3,81	2,63	3,88	-1,28	2,94	2,39	4,53	0,00	5,03
ES II	392,965–393,025	5.2.6	7	4,84	3,74	3,47	3,43	-0,28	2,62	1,73	4,84	0,00	5,18
ES II	392,880–392,965	5.2.7	7	4,68	3,17	3,53	3,80	-0,46	2,55	1,91	4,95	0,00	5,17

Tab. III a – im Anhang: Partikuläre Zusammensetzung der lithostratigraphischen Einheiten (LSE) in den Profilsäulen ES II und ES III: Limnigene Partikel. Alle Zahlenangaben in der pn_i -Notation (Erläuterungen s. Text).

Profilsäule	Niveau UK/OK (m ü. NN a.S.)	LSE	Bef.	Quarzite	Silikat-Gesteine	Kalk-Gesteine	Holz (unverkohlt)	Grobdetritus (unverkohlt)	Samen, Früchte (unverkohlt)	Rinden (unverkohlt)	Moos-Reste	Ast-Reste	sonst. Strukturdetritus (unverkohlt)	Fliegen-Puparien	Gesamt-Dichte
ES III	393,600–393,650	4.6	4.7.1 u/4.7.2	3,80	4,09	2,55	3,90	5,14	4,17	2,97	3,12	1,57	1,97	2,33	5,26
ES III	393,525–393,600	4.7	4.8 u/4.9	2,81	2,90	0,00	4,25	5,55	4,06	3,61	3,35	3,20	3,12	2,24	5,59
ES III	393,505–393,525	4.8	4.10 o	3,35	3,40	0,00	3,95	5,60	4,13	3,67	2,98	2,55	2,55	2,07	5,64
ES III	393,490–393,505	4.9	4.10 o	3,03	3,35	1,97	3,53	4,67	3,61	2,45	2,63	0,00	0,00	0,00	4,76
ES III	393,410–393,490	4.10	4.10 u	3,72	4,25	1,85	3,84	5,25	4,43	2,79	3,23	2,75	2,87	0,00	5,38
ES III	393,270–393,410	4.11.1	4.11 o / (4.10m)	3,15	3,46	0,00	4,22	5,45	4,31	2,82	2,90	2,13	3,30	0,00	5,51
ES III	393,215–393,270	4.11.2	4.11 u	3,18	3,34	2,29	4,35	5,42	3,88	3,49	3,33	2,28	3,40	3,16	5,48
ES III	393,170–393,215	4.12.1	4.11u / 4.12	0,00	2,26	0,00	3,01	3,83	1,60	3,28	2,79	2,53	2,53	0,00	4,05
ES II	393,165–393,170	5.1.1	5.1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
ES II	393,150–393,165	5.1.2	6	3,14	3,72	2,95	3,13	4,66	3,06	2,94	2,43	2,06	2,61	0,00	4,76
ES II	393,135–393,150	5.1.3	6	2,38	2,50	2,13	2,77	3,77	3,06	2,48	2,50	2,13	2,77	0,00	3,98
ES II	393,120–393,135	5.2.1	5.2 / 7	1,90	1,97	1,83	0,00	2,98	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	0,00	3,09
ES II	393,100–393,120	5.2.2	7	1,02	0,00	1,32	1,49	2,56	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	0,00	2,67
ES II	393,085–393,100	5.2.3	7	1,48	0,00	0,00	0,00	2,39	0,00	0,00	0,00	0,00	1,66	0,00	2,50
ES II	393,045–393,085	5.2.4	7	1,12	1,42	0,00	0,00	2,30	0,00	0,00	1,67	0,00	1,42	0,00	2,49
ES II	393,025–393,045	5.2.5	7	1,41	1,41	1,11	0,00	2,15	0,00	0,00	1,41	0,00	0,00	0,00	2,37
ES II	392,965–393,025	5.2.6	7	0,00	1,57	0,00	0,51	2,45	1,09	0,51	0,00	0,00	1,69	0,00	2,59
ES II	392,880–392,965	5.2.7	7	0,00	1,09	0,00	0,00	2,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45

Tab. III b – im Anhang: Partikuläre Zusammensetzung der lithostratigraphischen Einheiten (LSE) in den Profilsäulen ES II und ES III: Terrigene Partikel. Alle Zahlenangaben in der pn_i -Notation (Erläuterungen s. Text).

Profilsäule	Niveau UK/OK (m ü. NN a.S.)	LSE	Bef.	Holz-kohlen	Grobdebris (verkohlt)	Samen, Früchte (verkohlt)	sonst. Strukturdebris (verkohlt)	„schaumige, verkohlte Reste“	Getreidekörner (verkohlt)	Fischschuppen	Fischwirbel und Schlund- Knochen	Knochen	Keramik, Hüttenlehm	Schnur	Gesamt-Dichte
ES III	393,600–393,650	4.6	4.7.1 u / 4.7.2	4,89	3,57	2,45	2,37	4,49	1,75	2,15	0,00	2,99	2,87	0,00	5,06
ES III	393,525–393,600	4.7	4.8 u / 4.9	4,54	0,00	0,00	2,78	3,70	0,00	2,31	1,94	3,17	1,49	0,00	4,62
ES III	393,505–393,525	4.8	4.10 o	4,65	3,72	0,00	2,55	4,10	0,00	3,22	2,38	3,25	0,00	0,00	4,82
ES III	393,490–393,505	4.9	4.10 o	4,23	0,00	0,00	2,27	2,95	0,00	2,45	2,15	3,03	0,00	0,00	4,30
ES III	393,410–393,490	4.10	4.10 u	4,44	0,00	0,00	2,18	3,64	0,99	3,29	3,16	3,81	2,46	0,00	4,63
ES III	393,270–393,410	4.11.1	4.11 o / (4.10 m)	4,68	0,00	3,01	2,89	3,47	1,97	3,33	2,76	2,86	3,42	0,00	4,77
ES III	393,215–393,270	4.11.2	4.11 u	4,71	3,83	2,93	2,97	4,25	2,51	1,78	0,00	3,36	2,51	1,81	4,90
ES III	393,170–393,215	4.12.1	4.11 u / 4.12	2,62	0,00	0,00	0,00	2,21	0,00	0,00	1,30	2,86	1,30	0,00	3,13
ES II	393,165–393,170	5.1.1	5.1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
ES II	393,150–393,165	5.1.2	6	3,59	1,65	0,00	1,65	2,89	0,00	2,15	2,03	3,19	2,44	0,00	3,84
ES II	393,135–393,150	5.1.3	6	3,71	3,74	0,00	2,17	3,03	1,18	2,41	2,32	2,17	1,87	1,18	4,10
ES II	393,120–393,135	5.2.1	5.2 / 7	2,36	0,00	1,13	0,00	0,00	0,00	1,43	1,13	0,00	0,00	0,00	2,45
ES II	393,100–393,120	5.2.2	7	1,86	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,92
ES II	393,085–393,100	5.2.3	7	1,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,48
ES II	393,045–393,085	5.2.4	7	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24
ES II	393,025–393,045	5.2.5	7	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11
ES II	392,965–393,025	5.2.6	7	1,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,81
ES II	392,880–392,965	5.2.7	7	1,16	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,85

Tabelle III c – im Anhang: Partikuläre Zusammensetzung der lithostratigraphischen Einheiten (LSE) in den Profilsäulen ES II und ES III: Anthropogene Partikel. Alle Zahlenangaben in der pn^i -Notation (Erläuterungen s. Text).

Profilsäule	Niveau UK/OK (m ü. NN a.S.)	LSE	Bef.	Kalkkonkretionen	verbackene Sande	Sandplättchen	Obsidian	plattige Kalke	Insekten- Flügeldecken	Insekten-Beine, Halschilder etc.	unstrukturierte Chitin-Reste	Gesamt-Dichte
ES III	393,600–393,650	4.6	4.7.1 u / 4.7.2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,00	1,85	2,71	2,90
ES III	393,525–393,600	4.7	4.8 u / 4.9	0,00	2,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,51	2,88
ES III	393,505–393,525	4.8	4.10 o	2,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,55	2,85
ES III	393,490–393,505	4.9	4.10 o	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	1,67
ES III	393,410–393,490	4.10	4.10 u	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,00	0,00	2,32	2,34
ES III	393,270–393,410	4.11.1	4.11 o / (4.10 m)	3,01	3,27	0,00	0,00	2,45	0,00	0,00	2,84	3,59
ES III	393,215–393,270	4.11.2	4.11 u	1,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,66	3,11	3,26
ES III	393,170–393,215	4.12.1	4.11 u / 4.12	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60
ES II	393,165–393,170	5.1.1	5.1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
ES II	393,150–393,165	5.1.2	6	0,00	0,95	0,95	0,00	0,00	0,95	1,43	2,18	2,31
ES II	393,135–393,150	5.1.3	6	1,17	1,65	1,48	1,17	0,00	0,00	1,17	2,52	2,65
ES II	393,120–393,135	5.2.1	5.2 / 7	0,00	0,00	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	2,13
ES II	393,100–393,120	5.2.2	7	1,32	0,00	3,76	0,00	0,00	0,00	1,02	2,13	3,78
ES II	393,085–393,100	5.2.3	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,18	2,36	2,39
ES II	393,045–393,085	5.2.4	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	2,08
ES II	393,025–393,045	5.2.5	7	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,71	1,89
ES II	392,965–393,025	5.2.6	7	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,17	2,20
ES II	392,880–392,965	5.2.7	7	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	2,36

Tabelle III d – im Anhang: Partikuläre Zusammensetzung der lithostratigraphischen Einheiten (LSE) in den Profilsäulen ES II und ES III: Sonstige Partikel. Alle Zahlenangaben in der pn^i -Notation (Erläuterungen s. Text).