

Hinweise auf eine Vergletscherung des Kemptener Beckens (Südwest-Bayern) im Mittleren Würm

ARNE LINK & FRANK PREUSSER^{*}

Keywords: Iller Glacier, glacial overdeepening, glaci-olacustrine sediments, luminescence dating, German Alpine Foreland

Kurzfassung: In den glazial übertieften Becken des würmzeitlichen Illergletschers wurden Untersuchungen zur Lagerung (Bohr- und Aufschlussdaten) und zur Chronologie (Lumineszenzdatierungen) limnischer Sedimente durchgeführt. Die Ergebnisse belegen drei getrennte Phasen mit einer Akkumulation von feinkörnigen lakustrinen Beckensedimenten im Bereich des Kemptener Beckens, die dem späten Hochglazial (Marines Isotopen-Stadium 2), dem Mittleren Würm (MIS 3) und dem Prävürm zugeordnet werden.

Die Sedimentabfolgen dokumentieren mit ihrem typischen Profilaufbau (Tillkomplex an der Basis; Bänderschluße mit dropstones; Bänderschluße), dass im Bereich des Kemptener Beckens in den drei genannten Zeitbereichen jeweils eine Vergletscherung mit Eiszerfall und abschließender Seephase nachzuweisen ist. Die mittelwürmzeitlichen Sedimentabfolgen sind stratigraphisch von besonderer Bedeutung, da sie auf eine Vergletscherung des Kemptener Beckens hinweisen, die unter Berücksichtigung regionaler und überregionaler Klimaarchive dem MIS 4 zugeordnet wird. Entsprechende Eisrandlagen konnten bisher an der Reliefoberfläche nicht eindeutig nachgewiesen werden, da sie mit dem Eisvorstoß zum Würmhochstand (MIS 2) vermutlich überfahren und verschliffen wurden.

^{*} Anschrift der Verfasser: DR. A. LINK, Geologisches Institut, Universität zu Köln, Zülpicher Str. 49a, 50674 Köln, Deutschland, Email: Arne.Link@gmx.net, DR. F. PREUSSER, Institut für Geologie, Universität Bern, Baltzerstrasse 1-3, 3012 Bern, Schweiz, preusser@geo.unibe.ch.

[Indications for a glaciation of the Kempten Basin (SW Bavaria) in the Middle Würmian]

Abstract: Lacustrine sediments from the glacially over-deepened basin of the Würmian Iller Glacier are investigated regarding their relative position (logging of cores and outcrops) as well as their chronology (luminescence dating). The results indicate three separate phases of accumulation of fine-grained lake deposits, which are correlated with the late High Glacial (Marine Isotope Stage 2), the Middle Würmian (MIS 3) and the pre-Würmian. The sequences document by their characteristic sediment development (till complex at the base; laminated silts with dropstones; laminated silts) for the Kempten Basin three glaciations followed by ice decay and a subsequent lake period. The Middle Würmian sediments are of particular stratigraphic importance since they indicate a glaciation of the Kempten Basin that is, considering regional and global climatic archives, correlated with MIS 4. Corresponding ice marginal remains are yet not convincingly identified since they were most probably overrun and eroded during the Würmian glacial high stand (MIS 2).

1 Einleitung

Seit einem knappen Jahrhundert stellt sich im Illergletschergebiet die Frage, ob es im letzten Glazial-Interglazial Zyklus mehr als nur einen Vorstoß alpiner Gletscher in das Vorland gegeben hat. Insbesondere die ersten berechneten Strahlungskurven (KÖPPEN & WEGENER 1924), die auf drei Strahlungsminima während des letzten Glazials hinweisen, führten zu dem

Gedanken einer mehrfachen würmzeitlichen Vergletscherung des Illergletschergebietes.

EBERL (1930), KNAUER (1937), SCHAEFER (1940, 1953) und GERMAN (1959) unterscheiden im Bereich des Iller-Lechgletschers bereits drei bzw. zwei selbstständige, durch Interstadiale getrennte würmzeitliche Vorlandvergletscherungen. Die Existenz möglicher früh- und/oder mittelwürmzeitlicher Vorstöße war in diesem Gebiet jedoch zugleich heftig umstritten (TROLL 1936, GRAUL 1953). Mit zunehmender Kenntnis über Aufbau und Gliederung der internen Illergletscherstände (BRUTSCHER 1975, HABBE 1979, 1985, 1986, ELLWANGER 1980a, 1983) wurde EBERLS (1930) früher Gliederungsversuch z.T. widerlegt, was die Ansicht einer mehrphasigen Würmvereisung entkräftete. Da im süddeutschen Alpenvorland Formen und Ablagerungen möglicher früh- und mittelwürmzeitlicher Vorlandgletscher vermutlich vom hochwürmzeitlichen Eisvorstoß (um 20 ka) überfahren wurden und nicht an der Oberfläche dokumentiert sind, konnten diese rein morphostratigraphisch ausgerichteten Arbeiten keinen eindeutigen Nachweis zur Existenz älterer würmzeitlicher Vorlandvergletscherungen liefern.

Im Gegensatz zu den bisherigen Arbeiten werden im Rahmen dieser Arbeit erstmals Untersuchungsergebnisse zur Lagerung und Chronologie limnischer Beckensediment-Sequenzen vorgestellt. Diese neuen beckenstratigraphischen Untersuchungen werfen erneut die Frage einer Vergletscherung des Kemptener Beckens im Mittleren Würm auf.

2 Das Untersuchungsgebiet

Das Illergletschergebiet befindet sich am Westrand des bayerischen Alpenvorlandes im bayerisch-schwäbischen Allgäu (Abb. 1). Nach Westen wird es durch die Adelegg, einem Mo-

lassehochgebiet mit Mittelgebirgscharakter vom Rheingletschergebiet abgetrennt. Nach Norden grenzt das Illergletschergebiet an glazifluviale Schotterfelder und Schotterplatten, die seit PENCK & BRÜCKNER (1901-09) als Typusregion für die Mehrgliedrigkeit des Eiszeitalters gelten.

Entsprechend der Ausdehnung des würmzeitlichen Illergletschers sind im Vereisungsgebiet im Relief hauptsächlich Formen und Ablagerungen des Hoch- und Spätglazials erhalten. So konzentrierten sich bisherige Arbeiten auf die Gliederung der End- und Rückzugsmoränen, was eine Rekonstruktion der späthochglazialen Rückzugsgeschichte des Illergletschers ermöglichte (BRUTSCHER 1975, HABBE 1979, 1985, 1986, ELLWANGER 1980a, 1983). Terrassenstratigraphische Untersuchungen lieferten zudem Informationen zur hoch-, spät- und postglazialen Talgeschichte der Iller (STEPP 1953, ELLWANGER 1980b, HABBE 1985, 1986).

Das dritte wichtige Untersuchungsfeld stellen die limnischen Beckensedimente dar. Sie entstanden hauptsächlich während einer späthochglazialen Seenphase, die mit dem Zerfall des Illergletschers einsetzte und mit der Bildung des Illertales endete. Der bekannteste dieser Paläoseen ist der Kemptener See (KELLENBERGER 1924, 1928, 1931, SCHOLZ & PETER 1995, LINK 2004), der im Späthochglazial das nördlichste Glied einer Seenkette einnahm, welche bis nördlich Sonthofen reichte (SIMON 1926, JERZ 1974). Im Kemptener Becken werden neben den späthochglazialen Beckensedimenten jedoch auch limnische Beckensedimente älterer Stauseestadien beschrieben, die teilweise durch die Iller und ihre Zuflüsse erosiv angeschnitten wurden (EBERL 1930, ELLWANGER 1980b, SCHOLZ & PETER 1995).

Im ersten Teil dieser Arbeit wird geklärt, welche Beckenschluffvorkommen aufgrund der Geländedaten eindeutig dem späthochglazialen Kemptener See zuzuordnen sind und welche Vorkommen als ältere Ablagerungen abzutren-

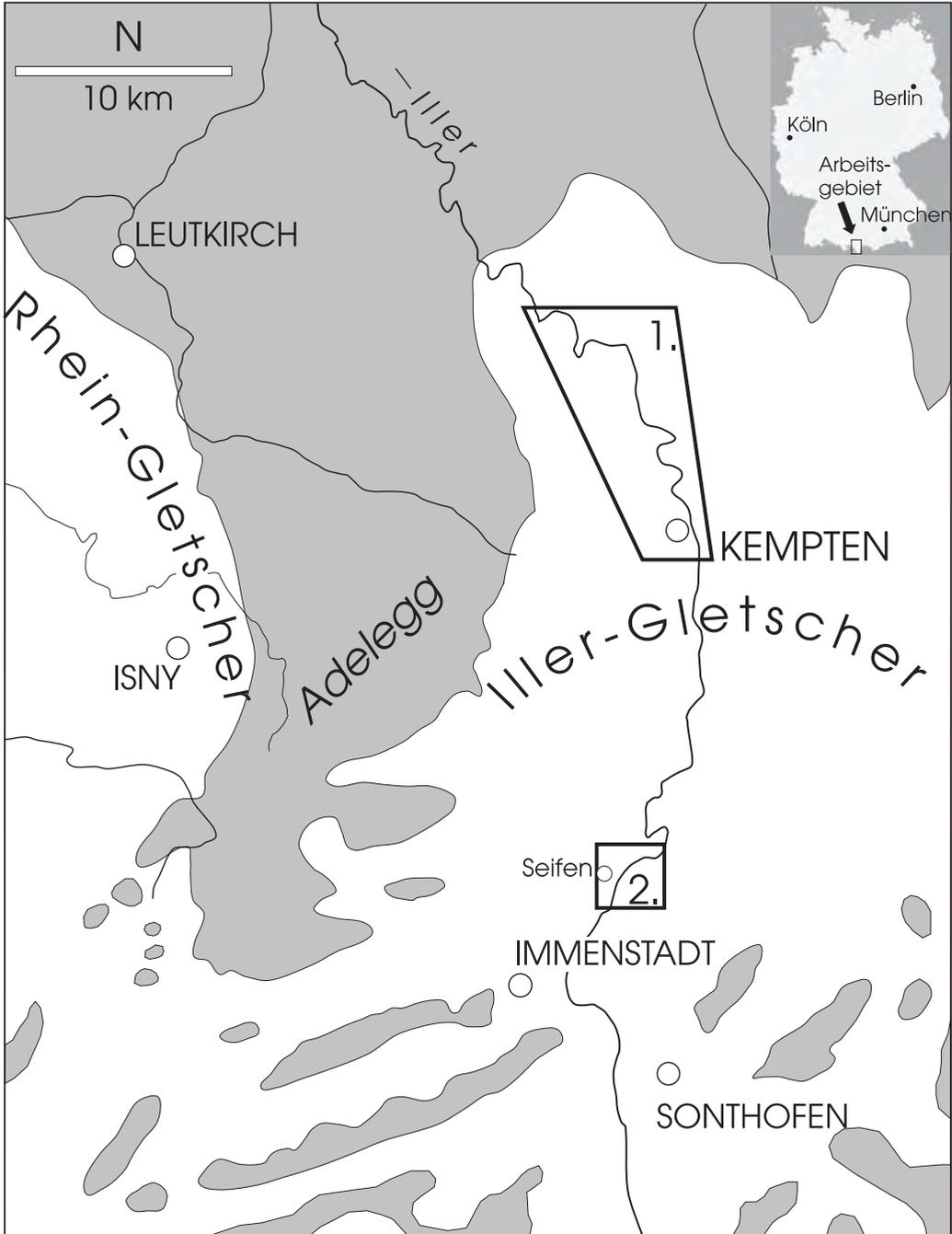


Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete (Nr.1: Kemptener Becken, Nr.2: Seifener Becken) mit Eisausdehnung von Iller- und östlichem Rheingletscher während des LGM (Karte nach SCHOLZ 1995).

Fig. 1: Location of the study area (No.1: Kempten Basin, No.2: Seifen Basin) with extent of Iller- and Rhine-Glacier during the LGM (modified after SCHOLZ 1995).

nen sind. Die Geländeergebnisse werden im zweiten Teil der Arbeit mit Lumineszenzdatierungen präzisiert. Geländedaten und Datierungsergebnisse ermöglichen es, im Illergletschergebiet verschieden alte Eiszerfallsphasen mit nachfolgender Seebildung zu identifizieren und indirekt vorausgegangene Eisvorstöße in das Kemptener Becken zeitlich und räumlich einzugrenzen.

3 Auswertung der Gelände- und Bohrdaten

Die flächenhafte Verbreitung der limnischen Beckensedimente wurde mit Hilfe eines Eijkelkampbohrers (Teufe 1-3 m) auskartiert. Natürliche und künstliche (Baugruben) Aufschlüsse gewährten erste Einblicke zur Lagerung der limnischen Beckensedimente. Mit einer Bohrraupe (Fa. Nordmeyer) und einem Motorhammer (Fa. Wacker) wurden an geeigneten Positionen acht Kernbohrungen mit Endteufen zwischen 6 und 15 m niedergebracht. Als Bohrsonde kam ein Stechrohr mit den Maßen 135 x 50 x 1 mm zum Einsatz. Die Anwendung einer Usinger-Sonde war für die untersuchten Sedimente nicht praktikabel, weil diese aufgrund des geringen Bohrvortriebs zu störanfällig war. Die eigenen Bohrdaten konnten mit 55 Archivbohrungen des GLA München ergänzt werden. Die Verwaltung der Bohr- und Geländedaten erfolgte mit einem GIS-System (ArcView 3.2). Mit der 3 D Modellierungssoftware GSI 3D war es zudem möglich, anhand räumlich vernetzter Profilschnitte Informationen zur dreidimensionalen Lagerung der limnischen Sedimente im Kemptener Becken zu gewinnen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind Teil einer gesonderten Arbeit (LINK 2004).

3.1 Lagerungstyp 1

(limnische Beckensedimente, oberflächennah anstehend)

Der Lagerungstyp 1 setzt sich aus limnischen Beckensedimenten zusammen, die unmittelbar bis zur Geländeoberkante anstehen und am Top der erbohrten Profile frei von Grobsedimenten (Schotter oder Moräne) sind (Abb. 3). Diesem Lagerungstyp werden im Einzelnen folgende Bereiche zugeordnet.

Altusrieder Tal

Das größte Areal befindet sich, geschützt vor der spät- und postglazialen Einschneidung der Iller, im Altusrieder Zweigbecken (Abb. 2). Das Gesamtprofil Lam (Abb. 3) zeigt, dass im Bereich der Siedlung Lamineten limnische Beckensedimente mit einer Mächtigkeit von ca. 19 m lagern, die unmittelbar bis zur Geländeoberkante anstehen. Sedimentologische Untersuchungen konnten diese Abfolge in vier lithologische Einheiten gliedern (LINK 2004) und einen vergleichbaren Profilaufbau mit spät-hochglazialen, Profilabschnitten rezenter Voralpenseen (Bodensee, Zürichsee) nachweisen (NIESSEN & STURM 1991, NIESSEN et al. 1992, WESSELS 1995, 1998, LISTER 1984 a, b, 1988). Die Basis der Vorkommen wird von Einheit 4, einem Tillkomplex, gebildet. Mit Einheit 3 folgen graue Beckenschluffe mit Dropstones, die den Beginn der späthochglazialen, glazilimnischen Ablagerungsphase im Kemptener Becken anzeigen und auf den Kontakt zwischen Illergletscher und Kemptener See hinweisen. Zum Hangenden folgen ca. 10,5 m mächtige, graue laminierte Beckentone der Einheit 2, die nach den Untersuchungen zur Lagencharakteristik das Produkt einer ereignisdominierten Sedimentation innerhalb eines instabilen Seebeckens sind. Mit Einheit 1 (Mächtigkeit: 6 m) folgen millimetergeschichtete gelbgraue Rhyth-

mite, die als klastische Warven gedeutet werden und durch den Eintrag von äolischem Material geprägt sind (LINK 2004).

Fläche nordöstlich der Ortschaft Lauben

Ein weiteres Vorkommen befindet in einer Einbuchtung am Ostrand des Kemptener Beckens, nordöstlich der Ortschaft Lauben (Abb. 2). Es stehen Beckenschluffe ohne Grobsedimentbedeckung bis in Höhen von 670-673 m NN an. Archivbohrdaten des GLA München zeigen, dass in diesem Bereich über der Grundmoräne ca. 10 bis 11 m mächtige Beckenschluffe lagern, die an der Basis dropstoneführend sind (z.B. Bohrung Fb 27, Abb. 2 und 3).

Fläche südwestlich der Ortschaft Dietmannsried

Südwestlich der Ortschaft Dietmannsried befindet sich auf 670 bis 675 m NN ein weiteres Areal, das im Zuge von Straßenbauarbeiten über eine Strecke von ca. 450 m angeschnitten war (Abb. 2). Die aufgenommenen Profile zeigen den typischen Aufbau mit einem Tillkomplex an der Basis, auf den Beckentone mit Dropstones, Beckentone und gelbliche Beckenschluffe folgen. Die Gesamtmächtigkeit dieser glazilimnischen Sedimente liegt in diesem Bereich bei ca. 8 m (Abb. 2 und 3, Bohrung D5).

3.2 Lagerungstyp 2 (limnische Beckensedimente mit erosiver Kiesüberlagerung)

Dem Lagerungstyp 2 werden limnische Beckensedimente zugeordnet, die in Folge der spät- und postglazialen Einschneidung der Iller und ihrer Zuflüsse erosiv angeschnitten wurden

und von Grobsedimenten, meist fluviatilen Kiesen überlagert werden (Abb. 3). Die Verbreitung dieser Vorkommen ist ausschließlich mit Hilfe ausreichend tiefer Bohrungen bzw. Aufschlüssen (Baugruben, tiefe Taleinschnitte) nachzuweisen.

Ostrand des Kemptener Beckens

Am Ostrand des Illertals lagern ca. 30 m über dem Illertalboden limnische Beckensedimente, die von Kiesen überdeckt werden (Abb. 2). Zwischen der Ortschaft Lauben und dem südlich gelegenen Leubastal konnten die Beckensedimente anhand von zwei Aufschlüssen (Lau und Grä) und einer Bohrung (Hof) untersucht werden (Abb. 2 und 3).

Die Baugrube Lauben (Lau) zeigt rhythmisch geschichtete Beckensedimente, die eine ausgeprägte Hell-Dunkel-Bänderung im Zentimeterbereich (ca. 6 cm) zwischen hellen, gelblichen Fein- bis Mittelschlufflagen und dunklen tonreichen Lagen aufweisen. Spezielle Untersuchungen zur Lagencharakteristik konnten typische Merkmale klastischer Warven identifizieren (LINK 2004).

Sedimentologisch vergleichbare Sedimente finden sich in der ca. 400 m südöstlich abgeteuften Bohrung Hofen (Hof). Angefertigte Radiographien zeigen über eine Profillänge von 12 Metern eine ausgeprägte rhythmische Bänderung mit durchschnittlichen Lagendicken zwischen 2,8 cm und 5,9 cm. Diese Vorkommen treten erst wieder im SW/NE verlaufenden Leubastal zutage (Abb. 2). An einem Prallhang der Leubas, im Bereich der Gräbelesmühle, existiert ein ca. 20 m mächtiger Hangrutsch, der sich vorwiegend aus abgerutschten Beckenschluffen zusammensetzt. Unmittelbar an der oberen Abbruchkante konnte ein 3 m mächtiges Profil (Grä) freigelegt werden, in dem schwach gebänderte, gelbliche Beckenschluffe von 60 cm mächtigen verwitterten bräunlichen Kiesen überlagert werden. Untersuchungen von

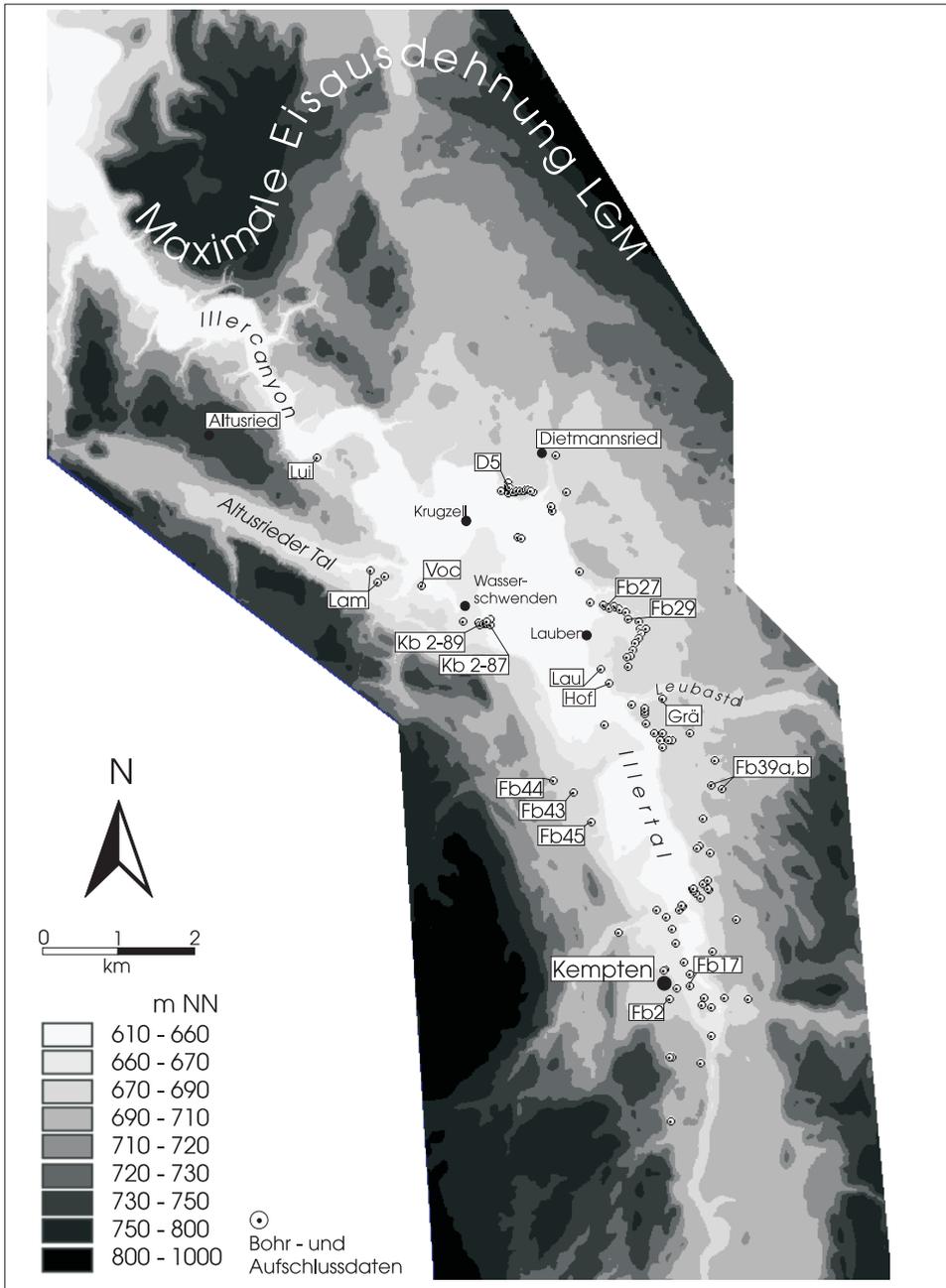


Abb. 2: Morphologische Karte des nördlichen Illergletschergebietes mit Eisausdehnung im LGM und mit der Position ausgewerteter Bohr- und Aufschlusspunkte. Die Lithologie der hervorgehobenen Profile ist der Abb. 3 zu entnehmen.

Fig. 2: Morphological map of the northern Iller-Glacier area with ice extent during the LGM and location of analysed sediment exposures and drill sites. See Fig. 3 for lithology of selected profiles.

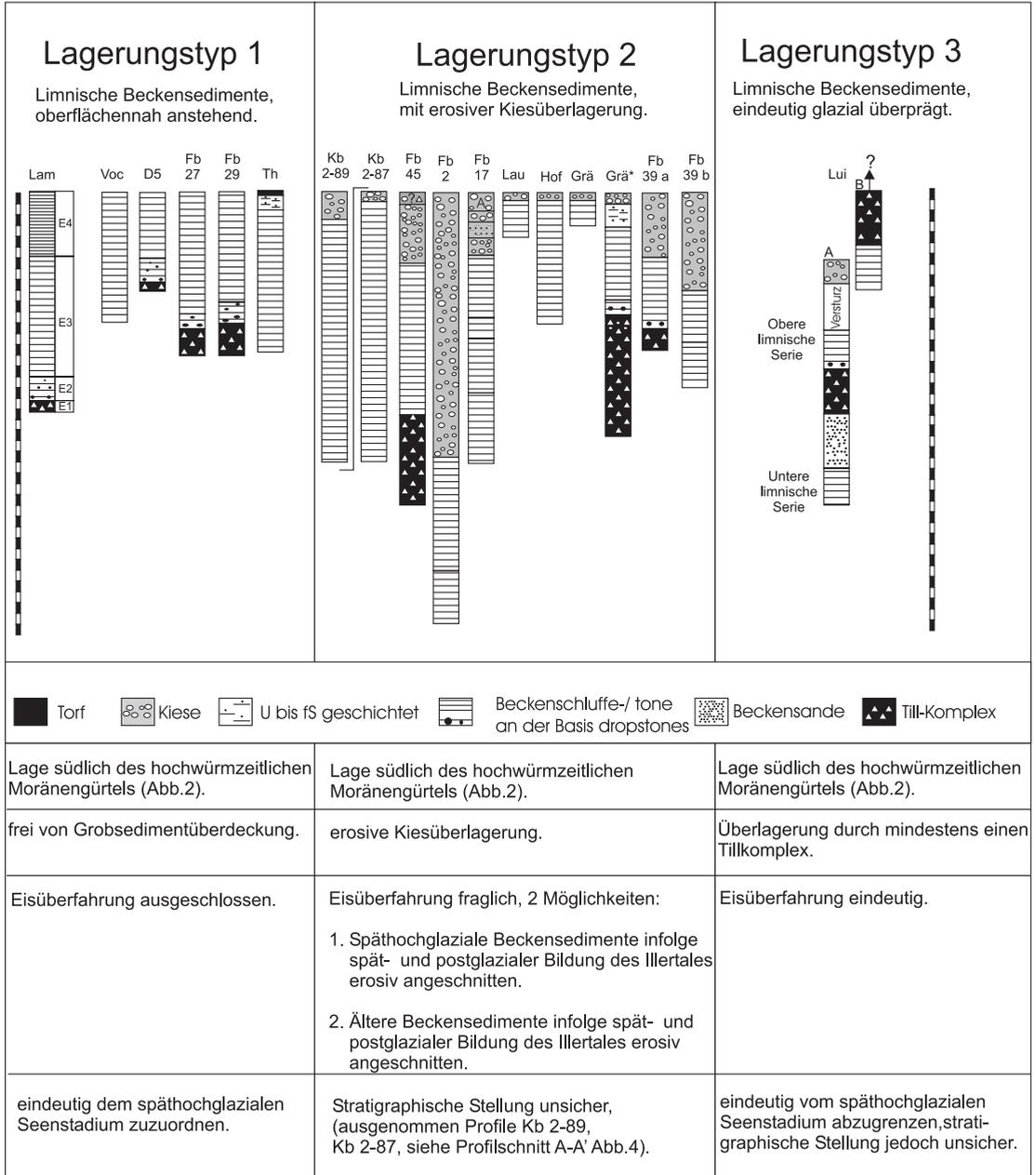


Abb. 3: Charakteristik der drei Lagerungstypen nach selektiver Betrachtung der Gelände- und Bohrdaten.

Fig. 3: Characterisation of the three sediment units by selective analysis of field and core data.

SCHOLZ & PETER (1995) zeigen, das in diesem Bereich die limnischen Beckensedimente von eisrandnah gebildeten Bänderschluften mit Dropstones und einem Tillkomplex unterlagert werden (Grä*, Abb. 3).

Problematisch ist jedoch die zeitliche Stellung dieser Vorkommen. Während die genannten Autoren die limnischen Beckensedimente dem späthochglazialen Kemptener See zuordnen, vermutet EBERL (1930) eine Zugehörigkeit zu einem älteren Stauseestadium, da er eine Anbindung an südlich gelegene Beckensedimente sieht (Brotkorbweg), die eine Moränenüberlagerung aufweisen.

Fläche südlich Krugzell und der Illertalboden

Zwischen den Siedlungen Krugzell und Wasserschwenden befindet sich auf einer Höhe von ca. 667 m NN eine SW/NE verlaufende Verebnungsfläche (Abb. 2). Archivbohrdaten des GLA München (z.B. Kb 2-89) zeigen in diesem Bereich mindestens 25 m mächtige limnische Beckensedimente, die von ca. 2 bis 3 m mächtigen Kiesen überdeckt werden. Unmittelbar benachbarte Bohrungen (z.B. Kb 2-87), die aus dem ca. 19 m tieferliegenden Illertalboden (Höhe: 648 m NN) stammen, zeigen, dass hier unter Kiesbedeckung nochmals mindestens 25 m mächtige limnische Beckensedimente lagern. Hieraus lässt sich für das nördliche Beckenzentrum eine Sedimentmächtigkeit von mindestens 42 m nachweisen (Abb. 4).

Reflexionsseismische Untersuchungen (BADER 1987, zit. in SCHOLZ & PETER 1995) lassen vermuten, dass die Mächtigkeit der Bänderschlufterien in diesem Bereich nochmals um mindestens 25 bis 35 m höher liegt. Im Gegensatz zu den restlichen Vorkommen des Lagerungstyps 2 können diese Vorkommen anhand des Profils A-A' mit glazilimnischen Ablagerungen aus dem Altusrieder Tal verknüpft werden (Abb. 4).

Westrand des Kemptener Beckens

Aus dem Westrand des Kemptener Beckens sind bisher nur wenige Bohrungen bekannt, die limnische Beckensedimente erschließen (Abb. 2). Im Bereich östlich der Ortschaft Neuhausen zeigt die Bohrung Fb 45 eine Abfolge mit einem Tillkomplex an der Basis, auf den Beckenschlufter (Mächtigkeit 13,7 m) folgen, die erosiv von ca. 6,8 m mächtigen Grobsedimenten überlagert werden (Abb. 3). Diese Fein- bis Grobkiese dürften zu einem Schwemmfächer gehören, der sich am Ausgang des Kollerbachtals nach Osten in das Illertal ausbreitet (Abb. 2). Eine ähnliche Abfolge zeigen die nordwestlich gelegenen Bohrungen Fb 43 und Fb 44, die zum Beckenrand jedoch deutlich reduzierte Mächtigkeiten der limnischen Sedimente erkennen lassen.

3.3 Lagerungstyp 3

(limnische Beckensedimente, glazial überprägt)

Limnische Beckensedimente des Lagerungstyps 3 lassen sich in den westlich des Illercanyons eingeschnittenen Tobeln (z.B. Luiblingstobel) finden. Das Profil Lui (Abb. 2 und 3) zeigt an der Basis eine stark kompaktierte „untere limnische Serie“ (Schlufter, Sande), auf die Sedimente eines Tillkomplexes folgen. Diese werden von kompaktierten dropstoneführenden Beckenschlufter einer „oberen limnischen Serie“ überlagert, die von mindestens einem Tillkomplex überdeckt werden (LINK 2004).

3.4 Interpretation der Gelände- und Bohrdaten

Nach selektiver Betrachtung der Geländedaten können ausschließlich die Vorkommen des Lagerungstyps 1 (limnische Beckensedimente,

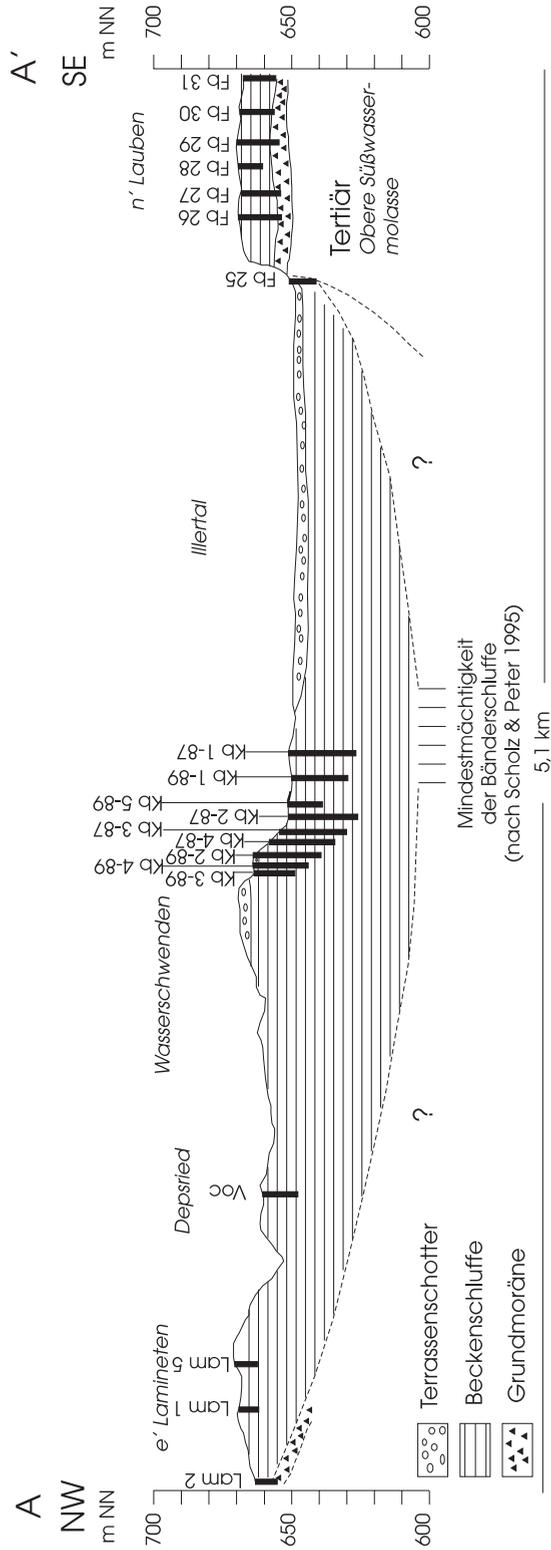


Abb. 4: Profilschnitt zwischen dem Altsrieder Tal und dem Gebiet nordöstlich der Ortschaft Lauben.

Fig. 4: Cross-section between the Altsried Valley and the area northeast of Lauben.

oberflächennah anstehend) dem späthoch-glazialen Kemptener See zugeordnet werden (Abb. 3). Sie befinden sich südlich der hochwürmzeitlichen Jungendmoränen (LGM um 20 ka), südlich dieser Beckenablagerungen sind bis in die Alpentäler nur spärliche Rückzugsmoränenreste anzutreffen (EBERL 1930, JERZ 1974). Ein höheres Alter als Hoch- bis Spätwürm setzt eine Eisüberföhrung der limnischen Seeablagerungen voraus, die sich in einer erosiven Überdeckung durch Grobsedimente äußern würde. Diese müssten sich entweder aus glazialen Sedimenten zusammensetzen oder, im Falle einer erosiven Abtragung der glazialen Sedimente, aus anderen Grobsedimenten (z.B. fluviatiler Schotter) bestehen. Da die beschriebenen Vorkommen bis unmittelbar an die Geländeoberkante völlig frei von Grobsedimenten sind, kann ein Bildungszeitraum nach dem LGM angenommen werden und eine Zuordnung zur späthochglazialen Seenphase (Kemptener See) erfolgen.

Dagegen lassen sich die Sedimente des Lagerungstyps 2 nur in einem Ausnahmefall dem späthochglazialen Seenstadium zuordnen. So zeigt das Profil A-A' (Abb. 4), dass die limnischen Beckensedimente, die unter dem Talboden der Iller lagern, mit späthochglazialen Sedimenten des Altusriedertales (Lagerungstyp 1) verknüpft werden können. Ein vergleichbarer Nachweis ist für die restlichen Vorkommen, die am West- und Ostrand des Illertales lagern, nicht möglich (Abb. 3). Es besteht einerseits die Möglichkeit, dass es sich bei diesen Sedimenten ebenfalls um späthochglaziale Seeablagerungen handelt, die nach der Verlandung des Kemptener Sees erosiv von Grobmaterial (Terrassenschotter, Schwemmfächer) überlagert wurden. Es ist jedoch auch nicht auszuschließen, dass infolge der spät- bis postglazialen Einschneidung der Iller ältere Sedimente (Prä-LGM) der limnischen Beckenfüllung angeschnitten wurden. Nach der selektiven Betrachtung der Gelände- und Bohrdaten sind diese Vorkommen als stratigraphisch unsicher einzustufen.

Die limnischen Sedimente des Lagerungstyps 3 sind aufgrund der Überlagerung von Tillsedimenten und des hohen Kompaktionsgrades eindeutig glazial überprägt. Sie sind daher vom späthochglazialen Seenstadium abzutrennen. Eine stratigraphische Zuordnung ist nach der alleinigen Betrachtung der Geländedaten jedoch auch für diese Sedimente nicht möglich. Die Auswertung der Gelände- und Bohrdaten zeigt, dass die limnischen Beckensedimente des Illergletschergebietes drei verschiedenen Lagerungstypen zugeordnet werden können, die entweder eindeutig dem späthochglazialen Seenstadium zuzuordnen sind (Lagerungstyp 1), z.T. keine eindeutige Zuordnung erlauben (Lagerungstyp 2) oder eindeutig vom späthochglazialen Seenstadium abzutrennen sind (Lagerungstyp 3). Im folgenden Kapitel wird diese Grundgliederung anhand von Lumineszenzdatierungen präzisiert.

4 Lumineszenzdatierungen

Die limnischen Beckensedimente des Illergletschergebietes wurden anhand von 18 Proben mittels Optisch Stimulierter Lumineszenz (OSL) datiert. Dazu wurden exemplarisch zwei Profile des Lagerungstyps 1 (Bohrung Lamineten, Bohrung Thanners), zwei Profile des Lagerungstyps 2 (Baugrube Lauben, Aufschluss Gräbelesmühe) und ein Profil des Lagerungstyps 3 (Aufschluss Luiblingstobel A) beprobt (Abb. 5).

4.1 Methodische Aspekte

Die Grundlagen der Methode sind z.B. bei AITKEN (1998), WINTLE (1997) oder auch PREUSSER (2004a) beschrieben. Die Methode wurde bisher jedoch relativ selten an limnischen Ablagerungen angewendet.

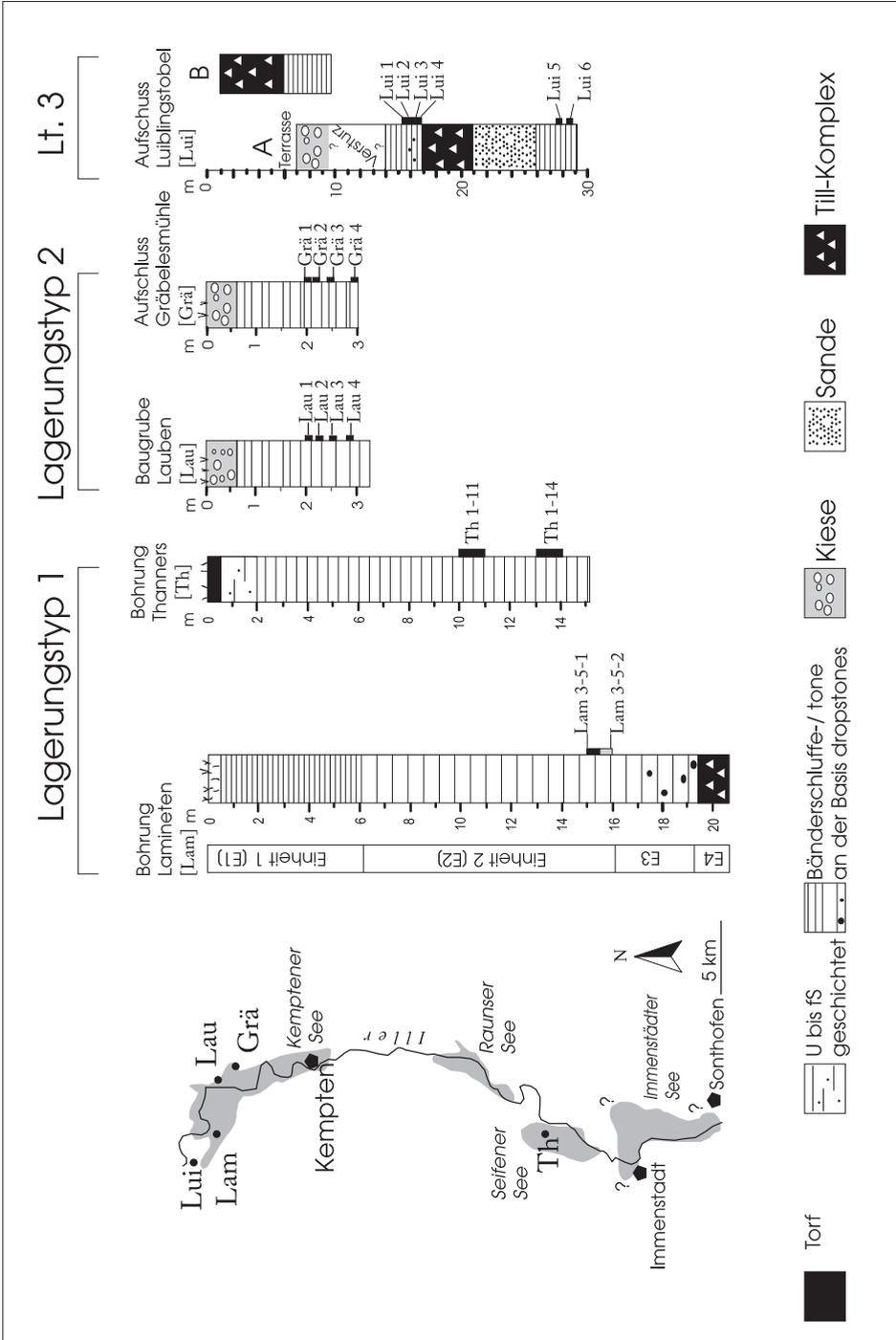


Abb. 5: Anordnung der spätglazialen Illerseen, mit Position und Aufbau der datierten Bänderschluferprofile.

Fig. 5: Spatial distribution of early Late Glacial lakes in the Iller Valley with location and lithology of dated glaciolacustrine sequences.

gerungen getestet. LANG & ZOLITSCHKA (2001) zeigten, dass mit der Methode der Infrarot Stimulierten Lumineszenz (IRSL) das bekannte Alter von laminierten Sedimenten des Holzmaars gut reproduziert werden kann, solange der Gehalt an organischem Material niedrig ist. Das von diesen Autoren angewendete Verfahren ist sehr ähnlich demjenigen, mit welchem die Beckensedimente des Kemptener Beckens datiert wurden (siehe unten). Daneben präsentierten PREUSSER & SCHLÜCHTER (2004), dass für limnische Ablagerungen aus dem Profil Thalgut, Schweiz, Lumineszenzalter bestimmt werden konnten, die mit der palynologischen Einordnung der Sedimente ins Eem-Interglazial (ca. 125.000 Jahre vor heute) gut übereinstimmen.

Die Akkumulierte Dosis wurde mit einem TL-/OSL-Gerät des Risø National Laboratories mittels IRSL und z.T. zusätzlich mittels Grünlicht Stimulierter Lumineszenz (GLSL) bestimmt. Die Proben wurden vor der Messung zuerst chemisch vorbehandelt, u.a. entkarbonatisiert, worauf die Anreicherung der Fraktion 4-11 μm erfolgte (vgl. FRECHEN et al. 1996). Darauf wurde das Material auf Probenträger aus Aluminium gebracht und nach der Additiven Methode mit einer Gammaquelle bestrahlt (acht Dosisgruppen mit je 5 Aliquots) (PREUSSER 1999). Die Proben wurden daraufhin für mindestens vier Wochen bei Raumtemperatur gelagert und daraufhin für 16 Stunden bei 150° C vorgeheizt, um instabile Komponenten des induzierten OSL-Signals zu eliminieren. Für alle Proben wurde die Akkumulierte Dosis (AD) für blaue IRSL-Emissionen bestimmt (Detektionsfilter: Schott BG39, Schott GG400, Corning 7-59). Für die Probenserien GRÄ und LAU wurden zusätzlich Messungen der Emissionen im UV-Bereich durchgeführt (Detektionsfilter: Hoya U340). Hierbei wurde zuerst das IRSL und darauf das GLSL-Signal von den gleichen Aliquots aufgezeichnet. Die Proben wurden für jeweils 60 s ausgeleuchtet und das Integral 50-60 s wurde als spätes Leuchten vom Rest des

Signals subtrahiert (AITKEN & XIE 1992).

Die Bestimmung des Gehaltes an dosisrelevanten Elementen (K, Th, U) erfolgte für die meisten Proben mittels ICP-MS (vgl. PREUSSER & KASPER 2001), da meist nur eine relativ kleine Probenmenge zur Verfügung stand. Ausnahme bilden die Profile GRÄ und LAU. Hier wurde für die Sedimente eine gemittelte Dosisleistung mittels hochauflösender Gammaskpektrometrie bestimmt. Dabei zeigten sich keine Hinweise auf radioaktive Ungleichgewichte innerhalb der Uran-Zerfallsreihe. Für die Berechnung wurde ein a -Wert von $0,07 \pm 0,02$ benutzt.

Ein mittlerer Feuchtegehalt der Proben von 30-50 % wurde angenommen. Die Berechnung der kosmischen Dosisleistung erfolgte auf Basis der Entnahmetiefe unter GOK.

4.2 Ergebnisse

Lagerungstyp 1

Dieser Gruppe gehören die oberflächennah anstehenden Beckenschluffe der Bohrung Lamineten (Lam) und der Bohrung Thanners (Th) an, die nach Betrachtung der Geländedaten eindeutig dem späthochglazialen Seenstadium zugeordnet werden konnten (Kap. 3). Die Proben LAM 3-5-1 und LAM 3-5-2 weisen eine Akkumulierte Dosis von $61,0 \pm 6,7$ Gy bzw. $124,3 \pm 10,4$ Gy auf. Bei einer ermittelten Dosisleistung von $3,4 \pm 0,4$ Gy ka^{-1} bzw. $3,8 \pm 0,4$ Gy ka^{-1} , ergeben sich IRSL-Alter (blaue Emissionen) von $16,1 \pm 2,4$ ka bzw. $36,8 \pm 4,8$ ka (Tab. 1 und 2).

Für die Proben TH 11 und TH 14 wurde eine Akkumulierte Dosis (IRSL_{blau}) von $44,1 \pm 3,0$ bzw. $57,7 \pm 2,5$ Gy gemessen, die Dosisleistung beträgt $2,7 \pm 0,3$ Gy ka^{-1} bzw. $2,9 \pm 0,3$ Gy ka^{-1} . Dies entspricht IRSL-Altern von $16,4 \pm 2,1$ ka bzw. $20,0 \pm 2,3$ ka.

Tabelle 1: Entnahmetiefe, Gehalte an Kalium, Uran und Thorium und ermittelte Gesamtdosisleistung (D) für Lumineszenzproben verschiedener Lagerungstypen aus dem Kemptener Becken.

Tab. 1: Samples depth, contents of Potassium, Uranium and Thorium and determined dose rate (D) for luminescence samples from the different sedimentary units of Kempten Basin.

| Probe | Lagerungs- typ | Teufe (m) | K (%) | Th (ppm) | U (ppm) | D (Gy ka ⁻¹) |
|---------|-------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| LAM3-51 | 1 | 4,25 | 3,08 ± 0,27 | 8,47 ± 0,18 | 2,74 ± 0,12 | 3,8 ± 0,4 |
| LAM3-52 | 1 | 4,75 | 2,49 ± 0,22 | 8,04 ± 0,17 | 2,87 ± 0,13 | 3,4 ± 0,4 |
| TH1-11 | 1 | 10,5 | 1,73 ± 0,15 | 5,72 ± 0,12 | 3,14 ± 0,14 | 2,7 ± 0,3 |
| TH1-14 | 1 | 13,5 | 1,92 ± 0,17 | 6,70 ± 0,14 | 3,12 ± 0,14 | 2,9 ± 0,3 |
| GRÄ 1-4 | 2 | 2,0 | 0,89 ± 0,04 | 5,39 ± 0,27 | 2,14 ± 0,11 | 1,9 ± 0,2 |
| LAU 1-4 | 2 | 2,1 | 1,03 ± 0,05 | 6,05 ± 0,30 | 2,02 ± 0,10 | 2,0 ± 0,2 |
| LUI 1 | 3 | 1,7 | 1,42 ± 0,13 | 6,06 ± 0,13 | 2,87 ± 0,13 | 2,5 ± 0,3 |
| LUI 2 | 3 | 2,2 | 1,30 ± 0,12 | 5,58 ± 0,12 | 2,70 ± 0,12 | 2,3 ± 0,3 |
| LUI 3 | 3 | 2,5 | 1,26 ± 0,11 | 5,73 ± 0,12 | 2,55 ± 0,11 | 2,3 ± 0,2 |
| LUI 4 | 3 | 2,9 | 0,91 ± 0,08 | 3,10 ± 0,07 | 1,86 ± 0,08 | 1,6 ± 0,2 |
| LUI 5 | 3 | 12,5 | 1,03 ± 0,09 | 4,17 ± 0,09 | 2,41 ± 0,11 | 2,2 ± 0,2 |
| LUI 6 | 3 | 13,5 | 1,15 ± 0,10 | 5,17 ± 0,11 | 2,58 ± 0,11 | 2,1 ± 0,2 |

Lagerungstyp 2

Dem Lagerungstyp 2 werden limnische Sedimente der Baugrube Lauben (LAU) und Bänderschluße des Profils Gräbelesmühle (GRÄ) zugeordnet, die erosiv von fluviatilen Kiesen überlagert werden und nach Auswertung der Geländedaten als stratigraphisch unsicher eingestuft werden mussten (Kap. 3). An den Proben LAU 1 bis LAU 4 wurde eine Akkumulierte Dosis (IRSL_{blau}) zwischen 59,7 ± 2,8 Gy und 93,8 ± 9,5 Gy gemessen. Unter Berücksichtigung der ermittelten Dosisleistung von 2,0 ± 0,2 Gy ka⁻¹ berechnen sich IRSL-Alter zwischen 30 ± 3 ka und 47 ± 7 ka (Tab. 1 und 2). Die ermittelten Alter für das ultraviolette Emissionsspektrum, sowohl IRSL als auch

GLSL, stimmen im Rahmen der erreichbaren Genauigkeit mit den zuvor beschriebenen Alterswerten überein. Der gewichtete Mittelwert aller Messungen der vier Proben liegt bei 38 ± 6 ka.

Die Proben GRÄ 1 bis 4 weisen eine Dosisleistung von 1,9 ± 0,2 Gy ka⁻¹ auf. Die Akkumulierte Dosis (IRSL_{blau}) liegt zwischen 69,4 ± 5,1 Gy und 91,9 ± 17,6 Gy, woraus sich IRSL-Alter zwischen 37 ± 5 ka und 49 ± 11 ka berechnen. Die Ergebnisse für das ultraviolette Emissionsspektrum (IRSL, GLSL) stimmen im Rahmen der erreichbaren Genauigkeit mit den für den blauen Emissionsbereich erzielten Ergebnissen überein. Der gewichtete Mittelwert liegt bei 45 ± 6 ka.

Tabelle 2: Akkumulierte Dosis (AD) und resultierende Lumineszenzalter für Proben verschiedener Lagerungstypen aus dem Kemptener Becken. Die stratigraphisch besonders bedeutenden Proben Grä und Lau wurden mit einem zusätzlichen Messverfahren datiert (siehe Text für Erläuterungen).

Tab. 2: Accumulated dose (AD) and luminescence ages for samples from Kempten Basin (different storage-types). The stratigraphic important samples Grä and Lau were dated with an additional measuring procedure (see text for explanations).

| Probe | Lag.- Typ | AD _{IRSL} (Gy) Blau | AD _{IRSL} (Gy) UV | AD _{GLSL} (Gy) UV | Alter _{IRSL} (Gy) Blau | Alter _{IRSL} (Gy) UV | Alter _{GLSL} (Gy) UV |
|---------|--------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| LAM3-51 | 1 | 61,0 ± 6,7 | - | - | 16 ± 2 | - | - |
| LAM3-52 | 1 | 124,3 ± 10,4 | - | - | 37 ± 5 | - | - |
| TH1-11 | 1 | 44,1 ± 3,0 | - | - | 16 ± 2 | - | - |
| TH1-14 | 1 | 57,7 ± 2,5 | - | - | 20 ± 2 | - | - |
| GRÄ 1 | 2 | 78,8 ± 7,2 | 88,6 ± 4,8 | 96,7 ± 11,0 | 42 ± 6 | 47 ± 5 | 52 ± 8 |
| GRÄ 2 | 2 | 91,9 ± 17,6 | 69,3 ± 8,1 | 89,0 ± 9,3 | 49 ± 11 | 37 ± 6 | 48 ± 7 |
| GRÄ 3 | 2 | 86,9 ± 7,2 | 76,4 ± 5,6 | - | 47 ± 6 | 41 ± 5 | - |
| GRÄ 4 | 2 | 69,4 ± 5,1 | 98,5 ± 20,3 | 108 ± 7,8 | 37 ± 5 | 53 ± 12 | 58 ± 7 |
| LAU 1 | 2 | 79,0 ± 10,9 | 63,8 ± 3,2 | 89,9 ± 7,7 | 40 ± 7 | 32 ± 4 | 45 ± 6 |
| LAU 2 | 2 | 59,7 ± 2,8 | 69,4 ± 5,4 | 74,8 ± 4,3 | 30 ± 3 | 35 ± 4 | 38 ± 4 |
| LAU 3 | 2 | 83,3 ± 4,5 | 72,0 ± 9,2 | 83,5 ± 6,1 | 42 ± 5 | 35 ± 6 | 42 ± 5 |
| LAU 4 | 2 | 93,8 ± 9,5 | 92,6 ± 5,0 | 91,6 ± 6,3 | 47 ± 7 | 47 ± 5 | 46 ± 6 |
| LUI 1 | 3 | 702 ± 122 | - | - | 278 ± 56 | - | - |
| LUI 2 | 3 | 723 ± 78 | - | - | 309 ± 46 | - | - |
| LUI 3 | 3 | 670 ± 295 | - | - | 295 ± 133 | - | - |
| LUI 4 | 3 | 409 ± 110 | - | - | 256 ± 73 | - | - |
| LUI 5 | 3 | 652 ± 65 | - | - | 293 ± 44 | - | - |
| LUI 6 | 3 | 304 ± 116 | - | - | 148 ± 59 | - | - |

Lagerungstyp 3

Limnische Beckensedimente dieses Typs sind östlich der Ortschaft Altusried in den tief eingeschnittenen, zum Illercanyon hin ausgerichteten Tobeln zu finden. Die erosive Überlagerung durch glaziale Sedimente und der

hohe Kompaktionsgrad lassen bereits aufgrund der Lagerungsverhältnisse auf mindestens eine einmalige Überföhrung durch Gletschereis schließen (Kap. 3). Für die hochverdichteten Beckenschluffe (Proben LUI 6 und LUI 5) der unteren limnischen Serie wurde eine Akkumulierte Dosis (IRSL_{blau}) von 304 ± 116 Gy bzw.

652 ± 65 Gy und eine Dosisleistung von $2,1 \pm 0,2$ Gy ka^{-1} bzw. $2.2 \pm 0,2$ Gy ka^{-1} gemessen, aus der sich IRSL-Alter von 148 ± 29 ka und 293 ± 44 ka berechnen (Tab.1 und 2).

Für die Proben LUI 1 bis LUI 4 aus der oberen limnischen Serie wurde eine Akkumulierte Dosis (IRSL_{blau}) zwischen 409 ± 110 Gy und 723 ± 78 Gy bestimmt. Bei Berücksichtigung der Dosisleistung, die zwischen $2,5 \pm 0,3$ Gy ka^{-1} und $1,6 \pm 0,2$ Gy ka^{-1} liegt, berechnen sich IRSL-Alter zwischen 256 ± 73 ka und 309 ± 46 ka.

4.3 Interpretation der Datierungsergebnisse

Mehrere Faktoren können theoretisch zu einer möglichen Verfälschung der Lumineszenzalter führen. Ein Signalverlust des Lumineszenzsignals mit der Zeit („Fading“) kann zu einer systematischen Unterbestimmung der Alter führen. Allerdings ist dieses Phänomen aus dem Alpenvorland bisher nicht beschrieben worden. Die bisher durchgeführten Datierungen zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen Lumineszenzaltern und unabhängiger Alterskontrolle (ERFURT et al. 2003, PREUSSER 1999, PREUSSER et al. 2001, 2003, PREUSSER & SCHLÜCHTER 2004). Für die stratigraphisch relevantesten Proben (GRÄ, LAU) wird zudem der Vergleich von blauen und UV-Emissionen herangezogen, um die Möglichkeit einer Altersunterbestimmung infolge von Fading auszuschließen. Blaue und UV-Emissionen entsprechen unterschiedlichen Rekombinationsprozessen und zeigen deshalb unterschiedliche physikalische Eigenschaften (vgl. KRBETSCHKE et al. 1997, LI & TSO 1997). Sollte das Probenmaterial von Fading betroffen sein, so sollten nach den bisherigen Erkenntnissen die UV-Emissionen wesentlich stärker als die blauen Emissionen hiervon betroffen sein. Zudem ist zu erwarten, dass sich deutliche Unterschiede für IRSL- und GLSL-Alter ergeben. Da keine systematischen Unterschiede zwischen

den einzelnen Emissionen zu erkennen sind, erscheint – unter Berücksichtigung der bisherigen Erfahrungen, die an Proben bekannten Alters gewonnen werden konnten – eine Unterbestimmung der Alter unwahrscheinlich.

Die unvollständige Rückstellung des Lumineszenzsignals vor der Ablagerung führt zu einer Überbestimmung des Sedimentationsalters. Vorliegende Untersuchungen deuten jedoch darauf hin, dass das optische Signal in Seeablagerungen in den meisten Fällen vollständig gebleicht wird (LANG & ZOLITSCHKA 2001, KLASSEN 2003, PREUSSER & SCHLÜCHTER 2004, PREUSSER et al., 2005, PREUSSER, unpubl. Daten). Hinweise auf eine mögliche Altersüberbestimmung durch unvollständige Bleichung werden im Folgenden im Detail diskutiert.

Die Ergebnisse der OSL-Datierungen konzentrieren sich auf drei Altersbereiche, die jeweils deutlich voneinander getrennt sind und mit der vorgenommenen Untergliederung in die drei Lagerungstypen übereinstimmen (Abb. 3). Der jüngste Bereich fällt mit Altern zwischen $20,0 \pm 2,3$ ka und $16,1 \pm 2,4$ ka in den Bereich des Hoch- bis Spätwürm, was den Altersvorstellungen entspricht, die sich aus der geologischen Position und dem sedimentologischen Charakter der Seeablagerungen ableiten lassen. Da sich die untersuchten Profile südlich der hochglazialen Würmendoränen (LGM) befinden und die datierten limnischen Sedimente unmittelbar bis zur Oberfläche anstehen, konnte bereits nach Betrachtung der Geländedaten eine Eisüberfahrung und damit ein Prä-LGM-zeitliches Alter ausgeschlossen werden.

Sedimentologisch handelt es sich um unregelmäßig gebänderte, klastische Beckenschluffe, deren Lagenaufbau auf eine stark ereignisgesteuerte Sedimentation hinweist, die typisch für den späthochglazialen Hauptzerfall der alpinen Eismassen ist. Vergleichbare Sedimente werden im benachbarten Bodensee-Untersee (laminierte, glazigene Schlämme) bis ca. 17.500 cal.¹⁴C-Jahre B.P. abgelagert (NIESSEN

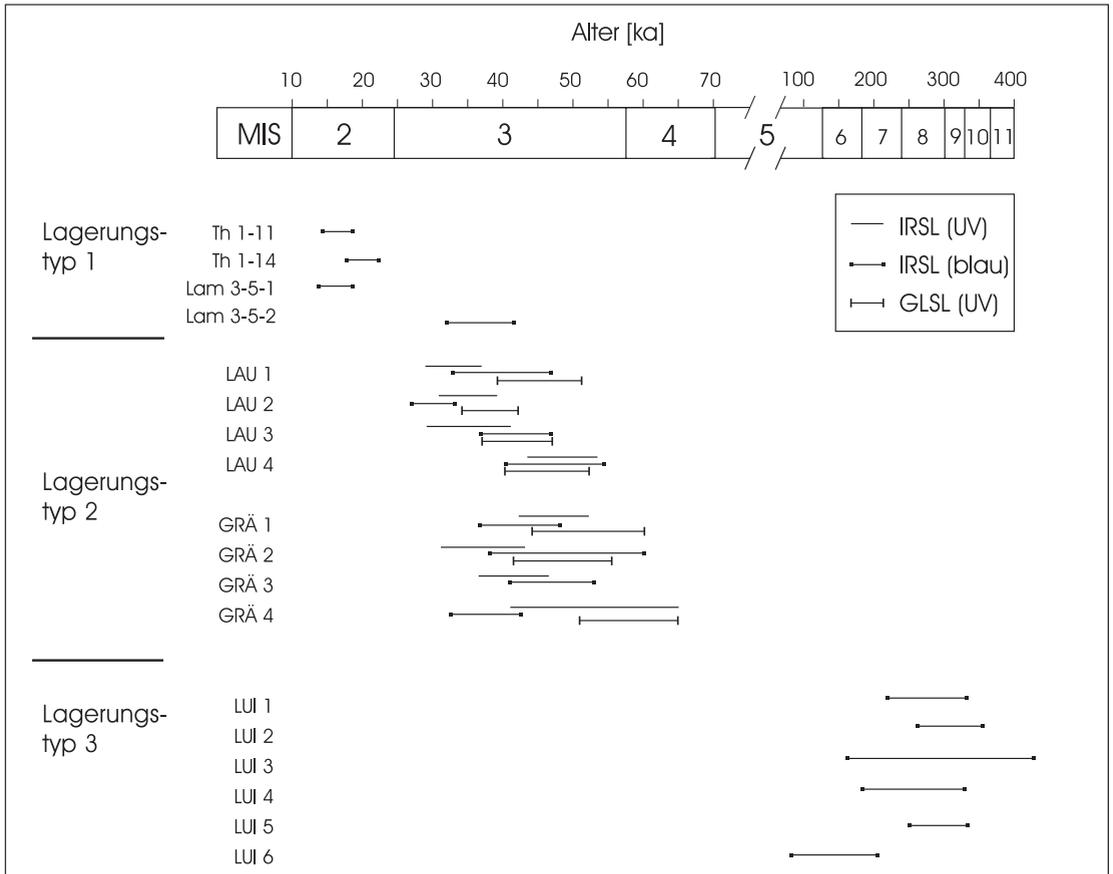


Abb. 6: Lumineszenzalter limnischer Beckensedimente. Nach Auswertung der Gelände- und Bohrdaten (Abb. 3) lassen sich drei Lagerungstypen unterscheiden, die exemplarisch datiert wurden. Grenzen der Isotopenstadien nach BASSINOT et al. (1994).

Fig. 6: Luminescence ages of glaciolacustrine sediments. The three sediment units distinguished by analysing field and core data were exemplarily dated. Limits of Marine Isotope Stages (MIS) after BASSINOT et al. (1994).

et al. 1992, WESSELS 1995, 1998, LINK 2004). Die gute Übereinstimmung der IRSL-Alter mit den geologischen Altersvorstellungen deutet auf eine vollständige Bleichung des Sediments vor der Ablagerung hin. Das deutlich zu hohe Alter der Probe Lam 3-5-2 kann damit erklärt werden, dass die Proben im Profil Lamineten unmittelbar nach dem Wechsel von Einheit 3 (Bänderschluße mit Dropstones) zur Einheit 2 (graue laminierte Beckentone) genommen wurden und in der Frühphase der Seentwicklung

auch mit unvollständig gebleichtem Probenmaterial gerechnet werden muss.

Der nächstältere Bereich fällt mit Altern zwischen 30 ± 3 ka und 47 ± 7 ka (LAU 1 bis 4) bzw. 37 ± 5 ka und 58 ± 7 ka (GRÄ 1 bis 4) in den Zeitraum des Mittleren Würm (CHALINE & JERZ 1984). Sedimentologische Untersuchungen des Profils Lauben (LAU) zeigen, dass die rhythmische Bänderung unter vergleichsweise ruhigen Ablagerungsbedingungen in einem stabilisierten Seebecken entstanden ist und ty-

pische Merkmale klastischer Warven aufweist (LINK 2004). Fehlende Dropstones und die regelmäßige Bänderung weisen auf eine längere fluviatil überbrückte Distanz zwischen Eisfront und See hin. Untersuchungen an fluviatilen Sedimenten aus dem Vorfeld des rezenten Steinlimigletschers (Schweiz) zeigen, dass für eine annähernde Nullstellung des optischen Signals ein Transportweg von mindestens einem Kilometer oder wiederholte Aufarbeitung der Sedimente nötig ist (PREUSSER 1999). Insgesamt sind die Bleichungsvoraussetzungen an diesen Sedimenten deutlich günstiger einzuschätzen, als in den zuvor beschriebenen späthochglazialen bis spätglazialen Sedimenten der Proben LAM und TH, an denen bereits (bis auf eine Ausnahme) geologisch konsistente Alter ermittelt werden konnten. Da nach der Betrachtung der Geländedaten für die Bänderschluftp profile LAU und GRÄ (Lagerungstyp 2) ein höheres Alter als Spätglazial nicht auszuschließen war, scheint es plausibel, dass infolge der spät- bis postglazialen Einschneidung der Iller und Leubas ältere Beckensedimente eines mittelwürmzeitlichen Seestadiums angeschnitten wurden.

Die Datierungsergebnisse für die limnischen Beckensedimente des Lagerungstyps 3 liegen mit scheinbaren IRSL-Altern zwischen 256 ± 73 ka und 309 ± 46 ka (obere limnische Serie) und 293 ± 44 bzw. 148 ± 59 ka (untere limnische Serie) im oberen Datierungsbereich der Methode und sind daher mit Vorsicht zu interpretieren. Obwohl beide limnischen Serien durch einen Eisvorstoß voneinander getrennt und verschieden stark kompaktiert sind, ist anhand der Altersdatierungen keine weitere zeitliche Trennung möglich. Zudem lassen sich in den datierten Sedimenten der oberen limnischen Serie Dropstones nachweisen, die auf eine in den See kalbende Eisfront hinweisen. Die Bleichungsvoraussetzungen dürften bei derartigen Sedimenten im Vergleich zu den datierten Proben der anderen Lagerungstypen (1 und 2) weniger günstig sein, womit die Ge-

fahr einer Altersüberbestimmung besteht. Nach den vorliegenden Daten ist eine Zuordnung in das vorletzte Glazial denkbar, wengleich diese durch weitere Untersuchungsergebnisse belegt werden müsste.

5 Diskussion

Im Illergletschergebiet lassen sich mindestens drei verschieden alte Beckensediment-Sequenzen nachweisen, die mit dem Grundaufbau Tillkomplex – Beckenschluße mit Dropstones – Beckentone bzw. Beckenschluße jeweils einen Eiszerfall mit anschließender Seebildung dokumentieren (Abb. 7).

Analog zur jüngsten Beckensedimentsequenz A (Abb. 7), die Zerfall des hochwürmzeitlichen Illergletschers (MIS 2) anzeigt, belegt die älteste Beckensedimentsequenz C den Zerfall eines vermutlich risszeitlichen Illergletschers (mindestens MIS 6).

Besondere Bedeutung kommt der zwischengeschalteten Beckensedimentsequenz B (Abb. 7) zu, da sie einen Eiszerfall mit anschließender Seephase dokumentiert, die – unter Berücksichtigung der Streuung der Datierungen (Probenserien LAU und GRÄ) – in einen breiten Zeitbereich zwischen ca. 55 bis 35 ka fällt. Die datierten Bänderschluße zeigen typische Merkmale klastischer Warven, die aufgrund hoher Lagenmächtigkeiten (3 bis 6 cm) vermutlich nur einen relativ kurzen Bildungszeitraum von wenigen Jahrhunderten repräsentieren (LINK 2004). Daher kann die vorausgeschaltete Vergletscherung nur unwesentlich älter als der datierte Zeitbereich sein. Hierfür ist insbesondere das MIS 4 (71-57 ka) heranzuziehen, dass nach der SPECMAP-Kurve durch eine deutliche Zunahme des globalen Eisvolumens gekennzeichnet ist (IMBRIE et al. 1984, BASINOT et al. 1994). In dieser Phase zeigt sich z.B. in Spitzbergen ein mittelweichselzeitlicher

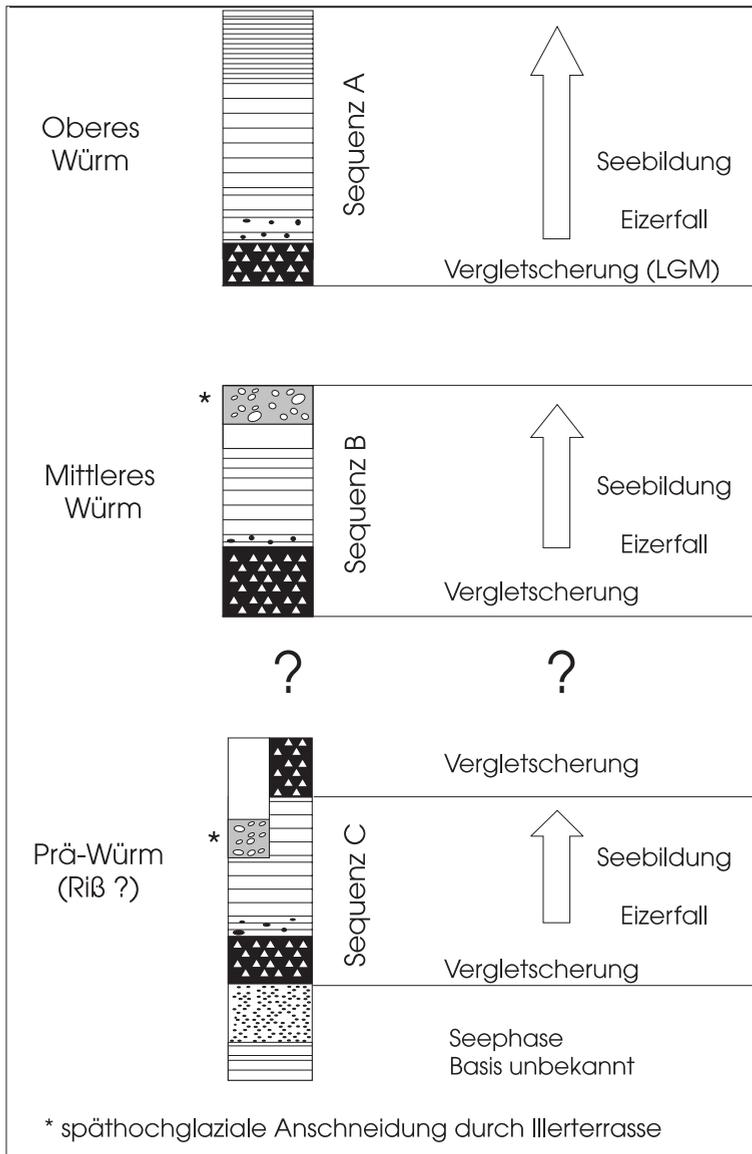


Abb. 7: Schematischer Aufbau limnischer Beckensedimentsequenzen, die im Oberen Würm, im Mittleren Würm und im Prä-Würm im Bereich des Kemptener Beckens eine Vergletscherung (Tillkomplex), Eizerfall (Beckenschluffe mit Dropstones) und ein abschließendes Seenstadium (Beckenschluffe) anzeigen. Die beiden älteren Abfolgen (Mittleres Würm und Prä-Würm) wurden infolge der späthochglazialen bis holozänen Talbildung der Iller erosiv angeschnitten. Legende siehe Abb. 3.

Fig. 7: Schematic lithology of three glaciolacustrine sequences indicating glaciation (till-complex), ice-decay (glaciolacustrine sediments, containing dropstones) and a final lake stage (glaciolacustrine sediments) during the Upper Würmian, Middle Würmian and pre-Würmian. The two older sequences were cut by erosion of the Iller Valley that started during the late part of the last glaciation and persisted into Holocene. See Figure 3 for legend.

Hauptvorstoß, auf den im frühen MIS 3 (ca. 55 bis 50 ka) ein nahezu vollständiger Eiszerfall folgt, der in der Barents See durch ein IRD-Maximum und deutliche $\delta^{18}\text{O}$ -Minima gekennzeichnet ist (MANGERUD et al. 1998). In der engeren Region des Untersuchungsgebietes kann im Füramoos-Pollenprofil (35 km nordwestlich des Kemptener Beckens) in einem Zeitraum zwischen ca. 70 und 55 ka (~MIS 4) eine Periode mit offener baumfreier Vegetation nachgewiesen werden, in der ein weitreichender Eisvorstoß des westlich benachbarten Rheingletschers denkbar ist (MÜLLER 2001). Die Möglichkeit von markanten Eisvorstößen während des Früh- und Mittelwürms wurde für das Schweizer Alpenvorland bereits von WELTEN (1981) und später auch von WEGMÜLLER (1992) auf Basis der Klimarekonstruktion anhand von Pollenanalysen diskutiert. Diese Diskussion wurde später im Zusammenhang mit sedimentstratigraphischen Betrachtungen von SCHLÜCHTER (1991) und KELLER & KRAYSS (1998) aufgegriffen. Lumineszenzdatierungen von fluviatilen Sedimenten mit einem vermuteten glazialen Ursprung haben in jüngerer Zeit dieser Diskussion, vor allem im Schweizer Alpenvorland, weitere Nahrung verschafft (FIEBIG & PREUSSER 2003, PREUSSER & GRAF 2002, PREUSSER et al. 2001, 2003, PREUSSER 2004b, PREUSSER & SCHLÜCHTER 2004). Es stellt sich jedoch die Frage nach der maximalen Ausdehnung eines mittelwürmzeitlichen Illergletschers, da entsprechende Eisrandlagen von dem hochwürmzeitlichen Eisvorstoß zum LGM (Vorstoßweite in das Alpenvorland: ca. 33 km) vermutlich überfahren wurden und daher an der Reliefoberfläche nicht zu fassen sind. Nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen sollte der geforderte mittelwürmzeitliche Vorstoß mindestens den Bereich des heutigen Leubastals (Beckensedimentsequenz B) erreicht haben, was einer Vorstoßweite von mindestens 23 km in das Alpenvorland entspricht (Abb. 8). In einer ca. 10 km breiten Zone, die

hauptsächlich dem hoch- bis späthochglazialen Moränengürtel angehört, wären demnach überfahrene Eisrandlagen eines mittelwürmzeitlichen Illergletschers zu vermuten (Abb. 8). In diesem Zusammenhang sind besonders die frühen morphologischen Arbeiten von EBERL (1930) und SCHAEFER (1940) von Interesse, da sie in dieser 10 km breiten Zone eine überfahrene WI-Eisrandlage rekonstruieren, die von einem WII-Gletscher überfahren und verschliffen wurde. Mit zunehmender Kenntnis der hoch- bis späthochglazialen Internstände des Illergletschers (GERMAN 1959, BRUTSCHER 1975, HABBE 1985, 1986, ELLWANGER 1980a) wurde dieses „überfahrene“ WI-Stadium jedoch weitestgehend abgelehnt und einem hochglazialen Rückzugsstadium (Eichholzphase) zugeordnet. Hingegen vermutet GERMAN (1959) eine überfahrene WI-Eisrandlage, die in nächster Nähe zum Würmmaximum gelegen haben soll. KNAUER (1937) unterscheidet im östlich benachbarten Wertachgletscherbereich eine WI-Eisrandlage, die von einem WII-Vorstoss überfahren und drumlinoid umgestaltet wurde. Diese frühen morphologischen Arbeiten belegen, dass in dieser ca. 10 km breiten Zone – sicherlich beeinflusst durch die ersten publizierten Strahlungskurven (KÖPPEN & WEGENER 1924) – wiederholt der Versuch unternommen wurde, eine mehrphasige Würmvereisung nachzuweisen. Eine abschließende Lösung dieser Problematik konnte jedoch nicht erbracht werden, da an der Reliefoberfläche Formen und Ablagerungen möglicher früh- und/oder mittelwürmzeitlicher Eisvorstöße nicht eindeutig zu identifizieren sind. Dagegen zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, dass im Illergletschergebiet mit einer gezielten Untersuchung limnischer Beckensedimentsequenzen unterschiedlich alte Eiszerfallsphasen nachgewiesen werden können, die indirekt auch auf eine Vergletscherung des Kemptener Beckens im MIS 4 hindeuten.

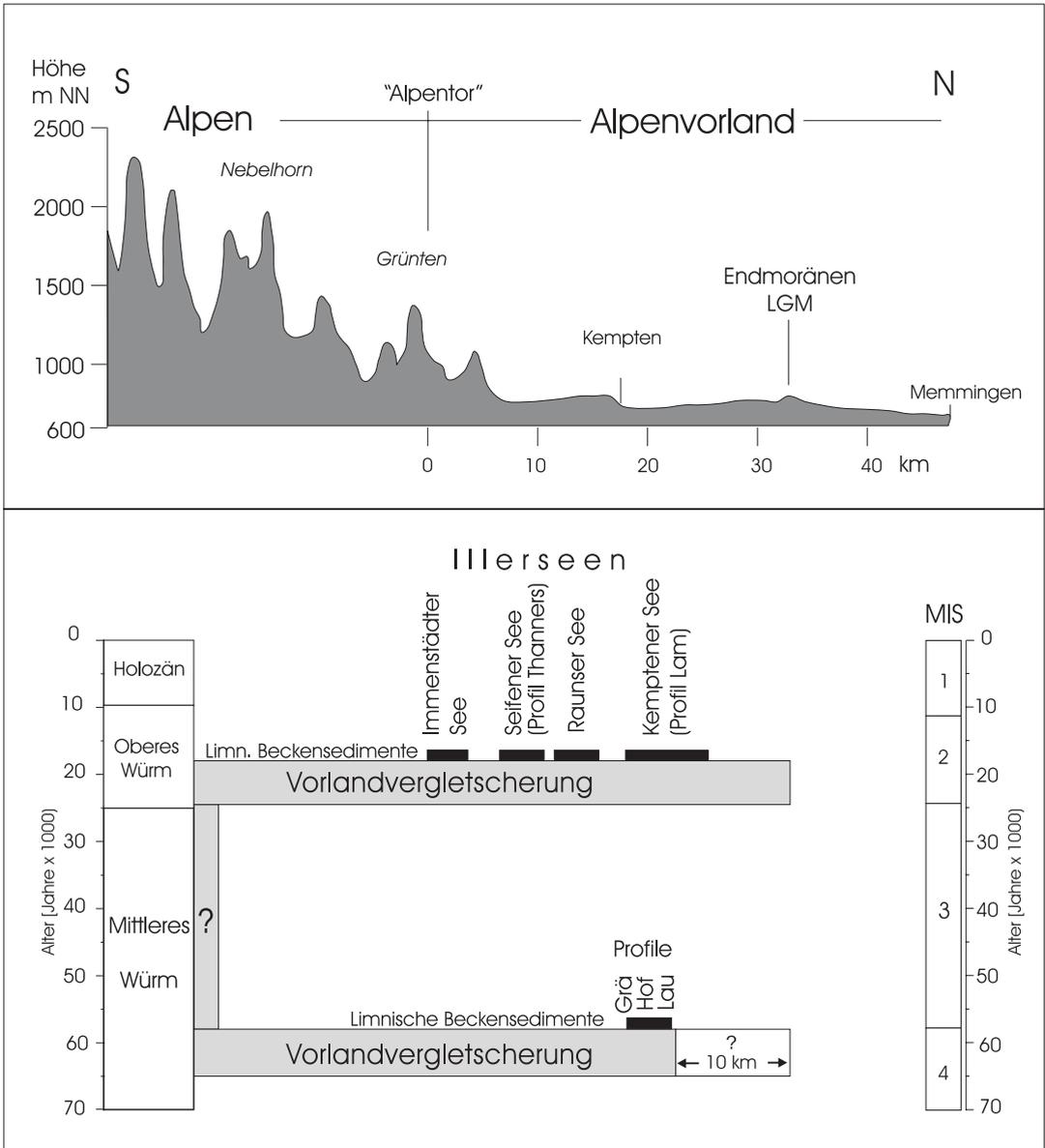


Abb. 8: Profilschnitt zwischen den Allgäuer Alpen (Süden) und dem Alpenvorland (Norden), mit Lage der untersuchten Beckensedimente. Die späthochglazialen Beckensedimente zeigen den Zerfall eines hochwürmzeitlichen Illergletschers an, dessen Ausdehnung durch die Endmoränen des LGM bekannt ist. Die mittelwürmzeitlich datierten Beckensedimente weisen indirekt auf eine Vorlandvergletscherung hin, die dem MIS 4 zugeordnet wird. Grenzen der Isotopenstadien nach BASSINOT et al. (1994).

Fig. 8: Cross-section between the Allgäu Alps (S) and the pre-Alps (N) with position of the analysed basin sediments. The glacial sediments show the ice-decay from the last maximum extent of Illerglacier (ice-extent known from LGM moraines). The Middle Würmian sediments refer indirectly to a glaciation of Kempten Basin, which is correlated with MIS 4. Limits of isotopes stages after BASSINOT et al. (1994).

Danksagung

Die Autoren danken Prof. Dr. Wolfgang Bonigk und PD Dr. Raimo Becker-Haumann für die umfassende Unterstützung der Forschungsarbeiten, die am Geologischen Institut der Universität zu Köln durchgeführt wurden. Herrn Prof. Dr. Ernst Brunotte (Geographisches Institut der Universität zu Köln) gilt ein besonderer Dank für die großzügige Bereitstellung der Nordmeyer-Bohrraupe. Bei Herrn Prof. Dr. Uwe Kasper möchten wir uns für die Durchführung der ICP-MS-Analysen bedanken. Das Bayerische Geologische Landesamt stellte freundlicherweise die Archiv-Bohrdaten zur Verfügung. Zahlreichen Studenten des Geologischen und des Geographischen Institutes der Universität zu Köln gebührt ein großer Dank für die Unterstützung bei den Bohrarbeiten. Die Untersuchungen wurden im Rahmen einer Dissertation am Geologischen Institut der Universität zu Köln mit einer Stelle als wissenschaftliche Hilfskraft unterstützt. Die Lumineszenzdatierungen wurden teilweise durch Mittel des Schweizer Nationalfonds finanziert (Projekt Nr. 2100-063988.00/1).

Schriftenverzeichnis

- AITKEN, M.J. (1998): An introduction of optical dating. – 267 S.; Oxford (Oxford University Press).
- AITKEN, M.J. & XIE, J. (1992): Optical dating using infrared diodes: Young samples. – *Quaternary Science Reviews*, **11**: 147-152; Oxford.
- BADER, K. (1987): Geophysikalische Untersuchungen. – Unveröffentlichtes Manuskript für einen Beitrag zu den Erläuterungen der Geologischen Karte von Bayern 1:25000, Blatt Nr. 8227 Kempten, 2 S; München (Bayerisches Geologisches Landesamt).
- BASSINOT, F.C., LABERYRIE, L.D., VINCENT, E., QUIDELLEUR, X., SHACKLETON, N.J. & LANCELOT, Y. (1994): The astronomical theory of climate and the age of Brunhes-Matuyama reversal. – *Earth and Planetary Science Letters*, **126**: 91-108; Amsterdam.
- BRUTSCHER, P. (1975): Glazialgeomorphologische Probleme im Bereich des würmzeitlichen Illergletschers. – Unveröffentlichte Zulassungsarbeit zur wissenschaftlichen Prüfung für das Lehramt an Gymnasien: 52 S.; Erlangen.
- CHALINE, J. & JERZ, H (1984): Arbeitsergebnisse der Subkommission für Europäische Quartärstratigraphie, Stratotypen des Würmglazials. – *Eiszeitalter und Gegenwart*, **34**: 185-206; Hannover.
- EBERL, B. (1930): Die Eiszeitenfolge im nördlichen Alpenvorland. – 427 S.; Augsburg.
- ELLWANGER, D. (1980a): Die Rückzugsphasen des würmzeitlichen Illergletschers. – Arbeiten aus dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Stuttgart, N.F., **76**: 93-126; Stuttgart.
- ELLWANGER, D. (1980b): Die Terrassen der Iller zwischen Memmingen und Kempten. – Arbeiten aus dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Stuttgart, N.F., **76**: 127 –167; Stuttgart.
- ELLWANGER, D. (1983): Der Rückzug des würmzeitlichen Iller-Vorlandgletschers. – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereines, N.F., **65**: 291-306; Stuttgart.
- ERFURT, G., KRBETSCHKE, M.R., BORTOLOTT V.J. & PREUSSER, F. (2003): A fully automated multi-spectral radioluminescence reader system for geochronometry and dosimetry. – *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B* **207**: 487-499; Oxford.
- FIEBIG, M. & PREUSSER, F. (2003): Das Alter fluvialer Ablagerungen aus der Region Ingolstadt (Bayern) und ihre Bedeutung für die Eiszeitenchronologie des Alpenvorland-

- des. – Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., **47**: 449-467; Stuttgart.
- FRECHEN, M., SCHWEITZER, U. & ZANDER, A. (1996): Improvements in sample preparation for the fine grain technique. – *Ancient TL*, **14**: 15-17; Aubière.
- GERMAN, R. (1959): Die Würmvereisung an Rhein- und Illergletscher zwischen Federseebecken und Günztal. – *Geologica Bavarica*, **43**: 3-73; München.
- GRAUL, H. (1953): Zur Gliederung der Würmeiszeit im Illergebiet. – In: GRAUL, H. & SCHAEFER, I.: Zur Gliederung der Würmeiszeit im Illergebiet. – *Geologica Bavarica*, **18**: 13-48; München.
- HABBE, K.A. (1979): Considerations on the relation between landforms, sediments and genesis at ice margins of the Würm Maximum – based on a geomorphological mapping in the area of the former Iller Glacier (Allgäu/Bavaria). – In: SCHLÜCHTER, Ch. (Hrsg.): *Moraines and Varves; Origin, Genesis, Classification*: 121-126; Rotterdam (Balkema).
- HABBE, K.A. (1985): Erläuterungen zur Geomorphologischen Karte 1:25000 der Bundesrepublik Deutschland, GMK 25 Blatt 18, 8127 Grönenbach, 80 S.; Stuttgart (Geo Center).
- HABBE, K.A. (1986): Zur geomorphologischen Kartierung von Blatt Grönenbach (I), Probleme, Beobachtungen, Schlußfolgerungen. – *Erlanger Geographische Arbeiten*, **47**: 366-479; Erlangen.
- IMBRIE, J., HAYS, J.D., MARTINSON, D.G., MCINTYRE, A., MIX, A.C., MORLEY, J.J., PISIAS, N.G., PRELL, W.L. & SHACKLETON, N.J. (1984): The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record. – In: BERGER, A.L., IMBRIE, J., HAYS, J., KUKLA, G., SALZMANN, B. (Hrsg.): *Milankovitch and climate, Part I*: 269-305; Dordrecht (Reidel Publishing Company).
- JERZ, H. (1974): Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:25000, Blatt Nr. 8327 Buchenberg. – 181 S.; München (Bayerisches Geologisches Landesamt).
- KELLENBERGER, M. (1924): Der Iller-Vorlandgletscher und seine Auswirkungen in der Umgebung von Kempten. – *Geologisches Archiv*, **3**: 295-314; Königsberg.
- KELLENBERGER, M. (1928): Aus dem Eiszeitalter und der Umgebung der Stadt Kempten. – *Allgäuer Geschichtsfreund*, N.F., **28**: 1-38; Kempten.
- KELLENBERGER, M. (1931): Neues vom Kemptener spätglazialen Stausee. – *Heimgarten*, **15** (5): 17-18; Kempten.
- KELLER, O. & KRAYSS, E. (1998): Datenlage und Modell einer Rhein-Linth-Vorlandvergletscherung zwischen Eem-Interglazial und Hochwürm. – *GeoArchaeoRhein*, **2**: 121-138; Bonn.
- KLASEN, N. (2003): Lumineszenz-Datierung letztglazialer Talfüllungen in Tirol (Ostalpen). – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität zu Köln.
- KNAUER, J. (1937): Widerlegung der Einwendungen C. Troll's gegen die Vorrückungsphase der Würm-Eiszeit. – *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München*, Bd. **XXX**: 1-37; München.
- KÖPPEN, W. & WEGENER, A. (1924): *Die Klimate der geologischen Vorzeit*. – 256 S.; Berlin (Borntraeger).
- KRBETSCHKE, M.R., GÖTZE, J., DIETRICH, A., TRAUTMANN, T. (1997): Spectral information from minerals relevant for luminescence dating. – *Radiation Measurements*, **27**: 695-748; Oxford.
- LANG, A. & ZOLITSCHKA, B. (2001): An optical dating study of varved lake-sediments from Holzmaar, Eifel, Germany. – *Quaternary Science Reviews*, **20**: 737-742; Oxford [u.a.].
- LINK, A. (2004): Zur Entstehung rhythmisch

- geschichteter Beckensedimente des Illergletschergebietes (Südwest Bayern). – Diss. Universität zu Köln: 145 S.; Köln [Online-Verfügbarkeit: <http://kups.ub.uni-koeln.de/volltexte/2004/1276/>].
- LI, S.-H. & TSO, M.-Y. W. (1997): Lifetime determination of OSL signals from potassium feldspar. – *Radiation Measurements*, **27**: 119-121; Oxford.
- LISTER, G.S. (1984a): Lithostratigraphy of Zübo sediments. – *Contributions to Sedimentology*, **13**: 31-58; Stuttgart.
- LISTER, G.S. (1984b): Deglaciation of the Lake Zurich area: a model based on the sedimentological record. – *Contributions to Sedimentology*, **13**: 177-185, Stuttgart.
- LISTER, G.S. (1988): A 15,000-Year Isotopic Record from Lake Zürich of Deglaciation and Climatic Change in Switzerland. – *Quaternary Research*, **29**: 129-141; New York.
- MANGERUD, J., DOKKEN, T.M., HEBBELN, D., HEGGEN, B., INGÓLSSON, O., LANDVIK, J.Y., MEJDAHL, V., SVENDSEN, J.I. & VORREN, T.O. (1998): Fluctuations of the Svalbard-Barents Sea ice sheet the last 150 000 years. – *Quaternary Science Reviews*, **17**: 11-42; Oxford.
- MÜLLER, U. (2001): Die Vegetations- und Klimaentwicklung im jüngeren Quartär anhand ausgewählter Profile aus dem südwestdeutschen Alpenvorland. – *Tübinger geowissenschaftliche Arbeiten*, **D7**: 1-118; Tübingen.
- NIESSEN, F. & STURM, M. (1991): Lithologische Gliederung und Genese der spät- und postglazialen Sedimente des Bodensee-Untersees. – *Berichte der Römisch-Germanischen Kommission*, **71** (1): 248-258; Mainz.
- NIESSEN, F., LISTER, G. & GIOVANOLI, F. (1992): Dust transport and palaeoclimate during the Oldest Dryas in Central Europe, implications from varves (Lake Constance). – *Climate Dynamics*, **8**: 71-81; Berlin.
- PENCK, A. & BRÜCKNER, E. (1901-09): *Die Alpen im Eiszeitalter*. – 1199 S.; Leipzig (Tauchnitz).
- PREUSSER, F. (1999): Lumineszenzdatierung fluviatiler Sedimente – Fallbeispiele aus der Schweiz und Norddeutschland. – *Kölner Forum für Geologie und Paläontologie*, **3**: 62 S; Köln.
- PREUSSER, F. (2003): IRSL dating of K-rich feldspars using the SAR protocol: Comparison with independent age control. – *Ancient TL*, **21**: 17-23; Abièrre Cedex.
- PREUSSER, F. (2004a): Lumineszenzdatierung von Sedimenten als Beitrag zur Rekonstruktion der pleistozänen Klimageschichte des Alpenraums. – *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, **38**: 95-116; Innsbruck.
- PREUSSER, F. (2004b): Towards a chronology of the Late Pleistocene in the northern Alpine Foreland. – *Boreas*, **33**: 195-210; Oslo.
- PREUSSER, F., GEYH, M.A. & SCHLÜCHTER, Ch. (2003): Timing of Late Pleistocene climate change in lowland Switzerland. – *Quaternary Science Reviews*, **22**: 1435-1445; Oxford.
- PREUSSER, F. & GRAF, H.R. (2002): Erste Ergebnisse von Lumineszenzdatierungen eiszeitlicher Ablagerungen der Nordschweiz. – *Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins*, N.F., **84**: 419-438; Stuttgart.
- PREUSSER, F. & KASPER, H.U. (2001): Comparison of dose rate determination using high resolution gamma spectrometry and inductively coupled plasma-mass spectrometry. – *Ancient TL*, **19**: 19-23; Abièrre Cedex.
- PREUSSER, F., MÜLLER B.U. & SCHLÜCHTER CH. (2001): Luminescence dating of sediments from the Luthern valley, central Switzerland, and implications for the chronology of the last glacial cycle. – *Quaternary Research*, **55**: 215-222; Washington.

- PREUSSER, F. & SCHLÜCHTER, CH. (2004): Dates from an important early Late Pleistocene ice advance in the Aare Valley, Switzerland. – *Eclogae Geologicae Helvetiae*, **97**: 245-253; Basel.
- PREUSSER, F., DRESCHER-SCHNEIDER, R., FIEBIG, M., SCHLÜCHTER, CH. (2005): Re-interpretation of the Meikirch pollen record, Swiss Alpine Foreland, and implications for Middle Pleistocene chronostratigraphy. *Journal of Quaternary Science*, **20**: 607-620; Chichester.
- SCHAEFER, I. (1940): Die Würmeiszeit im Alpenvorland zwischen Riß und Günz. – *Abhandlungen des Naturkunde und Tiergartenvereins Schwaben*, **2**: 1-148; Augsburg.
- SCHAEFER, I. (1953): Zur Gliederung der Würmeiszeit im Illergebiet, Stellungnahme zu den Ausführungen H. Graul's. – In: GRAUL, H. & SCHAEFER, I.: *Zur Gliederung der Würmeiszeit im Illergebiet*. – *Geologica Bavarica*, **18**: 49-112; München.
- SCHOLZ, H. (1995): *Bau und Werden der Allgäuer Landschaft*. – 305 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- SCHOLZ, H. & PETER, I. (1995): Sedimente und Sedimentationsgeschichte des späthochglazialen „Kemptener Sees“ (Würmglazial, Südwest-Bayern). – *Geologica Bavarica*, **99**: 187-222; München.
- SCHLÜCHTER, CH. (1991): Fazies und Chronologie des letztzeitlichen Eisaufbaus im Alpenvorland der Schweiz. – In: FRENZEL, B. (Ed.): *Klimageschichtliche Probleme der letzten 130 000 Jahre*: 401-407; Stuttgart (Fischer).
- SIMON, L. (1926): Der Rückzug des würmeiszeitlichen Allgäuvorlandgletschers. – *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München*, **19** (2): 1-37; München.
- STEPP, R. (1953): Zur Talgeschichte der mittleren Iller. – *Geologica Bavarica*, **19**: 168-185; München.
- TROLL, C. (1936): Die sogenannte Vorrückungsphase der Würm-Eiszeit und der Eiszerfall bei ihrem Rückgang. – *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München*, **29**: 1-38; München.
- WEGMÜLLER, S. (1992): Vegetationsgeschichtliche und stratigraphische Untersuchungen an Schieferkohlen des nördlichen Alpenvorlandes. – *Denkschriften der Schweizer Akademie der Naturwissenschaften*, **102**: 1-82; Basel.
- WELTEN, M. (1981): Verdrängung und Vernichtung der anspruchsvollen Gehölze am Beginn der letzten Eiszeit und die Korrelation der Frühwürm-Interstadiale in Mittel- und Nordeuropa. – *Eiszeitalter und Gegenwart*, **31**: 187-202, Hannover.
- WESSELS, M. (1995): Bodensee-Sedimente als Abbild von Umweltveränderungen im Spät- und Postglazial. – *Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie*, **66**: 105 S.; Göttingen.
- WESSELS, M. (1998): Late-Glacial and post-glacial sediments in Lake Constance (Germany) and their palaeolimnological implications. – *Archiv für Hydrobiologie, Advances in Limnology*, **53**: 411-449; Stuttgart.
- WINTLE, A. (1997): Luminescence dating: Laboratory procedures and protocols. – *Radiation Measurements*, **27**: 769-817; Oxford.