

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 44 (2003)
Heft: 3

Artikel: Vom Denekamp-Interstadial zur Gegenwart : 30'000 Jahre Erdgeschichte überliefert in den Sedimenten des Bergsees bei Bad Säckingen
Autor: Becker, Arnfried
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088414>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Vom Denekamp-Interstadial zur Gegenwart – 30'000 Jahre Erdgeschichte überliefert in den Sedimenten des Bergsees bei Bad Säckingen

Arnfried Becker

Zusammenfassung

Die Ergebnisse der sedimentologischen Untersuchungen an drei Kurzkern- und fünf Livingstone-Bohrkernen sowie einer Interpretation eines Ausschnittes aus einem reflexionsseismischen Profil aus dem Bergsee werden vorgestellt. Die Entwicklung des Bergsees über einen Zeitraum von 30'000 Jahren wird dokumentiert. Zwischen dem Denekamp- und dem Bølling-Interstadial wurden vorwiegend feinkörnige klastische Sedimente abgelagert, ab dem späten Pleistozän (Allerød-Interstadial) und im gesamten Holozän organische Sedimente. Die organischen Sedimente belegen eine zunehmende Verlandung des Sees. Diese Entwicklung wird erst vor 200 Jahren durch die künstliche Anhebung des Wasserspiegels unterbrochen.

1 Einleitung

Die Baselregion wurde am 18. Oktober 1356 vom stärksten Erdbeben erschüttert, das nördlich der Alpen in historischer Zeit registriert wurde. In seinem Epizentralgebiet wenige Kilometer südlich von Basel erreichte es eine Intensität IX auf der MSK-Skala (Mayer-Rosa & Cadiot 1979). Uns stellte sich die Frage, ob das *Basel-Erdbeben* ein einmaliges Ereignis war oder ob es Hinweise auf weitere Starkbeben in der Region während des Holozäns und im ausgehenden Pleistozän gibt. Auf der Suche nach geeigneten geologischen Archiven, in denen Spuren solcher prähistorischer Starkbeben erhalten sein könnten, kam der Bergsee bei Bad Säckingen in Betracht. Abgesehen von geochemischen Untersuchungen an Sedimentproben des Seegrundes war über die Art der Sedimentverfüllung des Seebeckens und ihr Alter zum Zeitpunkt des Beginns der Untersuchungen nichts bekannt (Kümmerlin 1994).

Adresse des Autors: Dr. Arnfried Becker, Institut für Geophysik, ETH Zürich,
CH-8093 Zürich

Das Alter des Sees wurde anhand geomorphologischer und geologischer Gelände-befunde aus seiner Umgebung mit risseiszeitlich angegeben (Metz 1980). Im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte (*Earthquake Scenarios for Switzerland, PALEOSEIS 1-2*) wurde im Bergsee seit 1998 nach Spuren prähistorischer Starkbeben gesucht. Über die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurde bereits anderweitig ausführlich berichtet (Becker et al. 2002). In der vorliegenden Publikation werden dagegen Ergebnisse vorgestellt, die die allgemeine Entwicklung des Bergsees während der letzten knapp 30'000 Jahre beschreiben, sowie einige Ereignisse besonders hervorgehoben, die von lokaler oder regionaler Bedeutung sind.

2 Untersuchungsprogramm

Im Mai und August 1998 wurden im Bergsee reflexionsseismische Untersuchungen durchgeführt sowie Sedimentproben mit einem Kurzkern- und Livingstone-Probenehmer gezogen. In den Livingstone-Bohrpunkten BL1 und BL2 wurden in geringer Entfernung voneinander je zwei Bohrkerne entnommen (Abb. 1). Die maximale Bohrtiefe erreichte 20.66 m in der Bohrung BL3.1.

An den Kernen der Bohrungen BL1.2 und BL3.1 wurde in den unteren Abschnitten mit dem *Bartington Loop Sensor MS2E* (Auflösung: 5×10^{-6} SI) zunächst die magnetische Suszeptibilität bestimmt. Anschliessend wurden alle Bohrkerne längs geteilt, lithologisch beschrieben und fotografiert. Danach wurden Strukturanalysen mit der Röntgentomographie durchgeführt sowie Proben entnommen, u. a. für Radiokohlenstoffdatierungen, Pollen- und Chironomidenuntersuchungen, Korngrössenanalysen und verschiedene geotechnische Untersuchungen.

3 Sedimente des Bergsees

3.1 Sedimenttypen

Die Sedimente des Bergsees lassen sich deutlich in einen unteren klastischen und einen oberen organischen Abschnitt unterteilen (Abb. 1, 2). Die klastischen Sedimente sind bräunlich graue tonige Schluffe und Schluffe, die – besonders häufig in BL1.2 – kleine (1–2 mm Ø) blaue Flecken aufweisen (Vivianit). Die tonigen Schluffe und Schluffe in den Bohrkernen BL1.2 und BL3.1 sind weitgehend homogen und nur gelegentlich undeutlich geschichtet. Dennoch lassen sich die beiden Bohrkerne anhand der Suszeptibilitätskurven gut miteinander korrelieren (Abb. 1). Diese Korrelation verdeutlicht, dass die Sedimentationsraten in beiden Bohrprofilen angenähert gleich waren. Nur für den Tiefenbereich zwischen 14.50 m und 17 m war die Sedimentationsrate in BL1.2 leicht erhöht (Abb. 1). Der Abfall der Suszeptibilitätswerte korreliert mit einer Zunahme des organischen Anteils in den Sedimenten. Das Ende der klastisch dominierten Sedimentation kann mit dem Erreichen der für die überlagernden organischen Sedimente typischen Suszeptibilitätswerte (≈ 0 SI) gleichgesetzt werden. Dieses fällt anhand der Radiokohlenstoffdatierun-

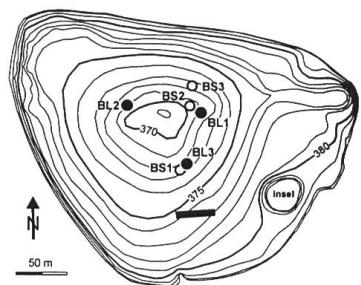
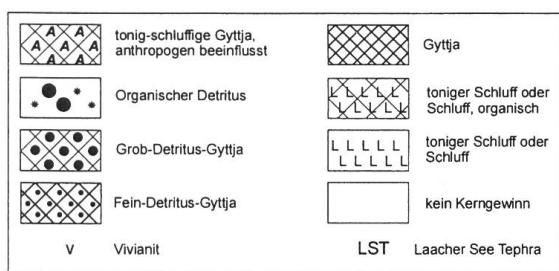
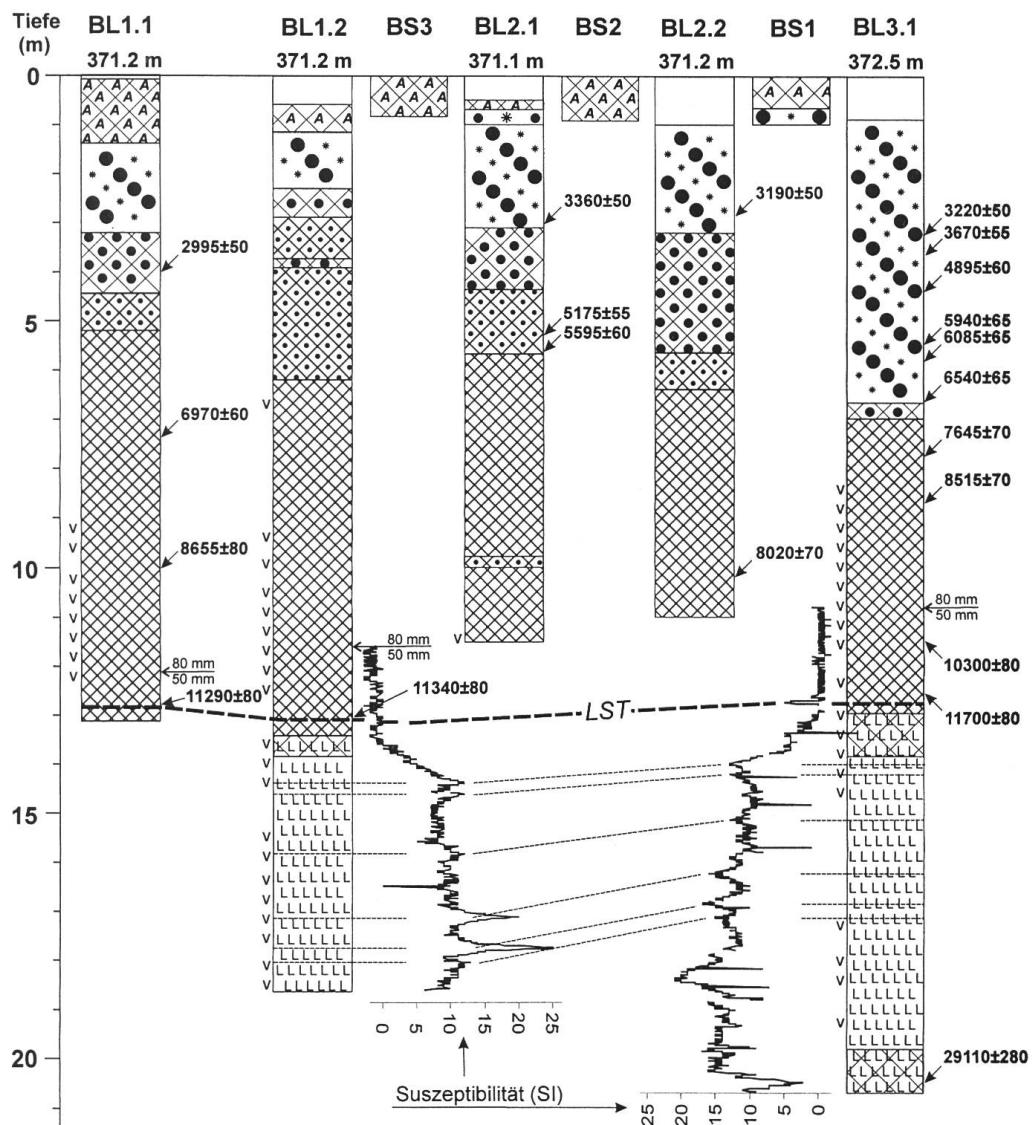


Abb. 1 Bohrprofile von fünf Livingstone-Bohrungen (BL1.1-BL3.1) und drei Kurzkernbohrungen (BS1-BS3) mit Angaben zu den Radiokohlenstoffalatern (Zahlen rechts neben den Bohrprofilen) und der magnetischen Suszeptibilität. Skizze des Bergsees mit Lage der Bohrpunkte sowie des reflexionsseismischen Profils von Abb. 6 (schwarzer Balken).

gen (Abb. 1) und palynostratigraphischer Untersuchungen mit dem Beginn des Alleröds vor ca. 12'000 BP (ca. 12'000 v. Chr.) zusammen. Die Sedimentationsrate für den Abschnitt klastischer Sedimentation kann mit 0.5 mm/a nur grob abgeschätzt werden.

Die organischen Sedimente im oberen Teil der Bohrungen werden vier Sedimenttypen zugeordnet (Abb. 1): Gyttja, Detritus-Gyttja, organischer Detritus und tonig-schluffige Gyttja. Die Gyttja an der Basis dieses Abschnittes ist zumeist homogen, zeigt fast nie grössere Pflanzenreste und ist dunkelgrau bis schwarz (Abb. 2), gelegentlich grünlich. Im frischen Zustand ist die Farbe häufig ein dunkles Rotbraun, das sich innert Minuten in einen Grauton umwandelt. Der Karbonatanteil ist <1 %. An der Basis ist die Gyttja mitunter schwach geschichtet und enthält schluffig-sandige Einlagerungen. Hingegen beschränken sich die klastischen Komponenten im mittleren und höheren Abschnitt auf gelegentliche Einzelkörner aus Quarz und Feldspat.

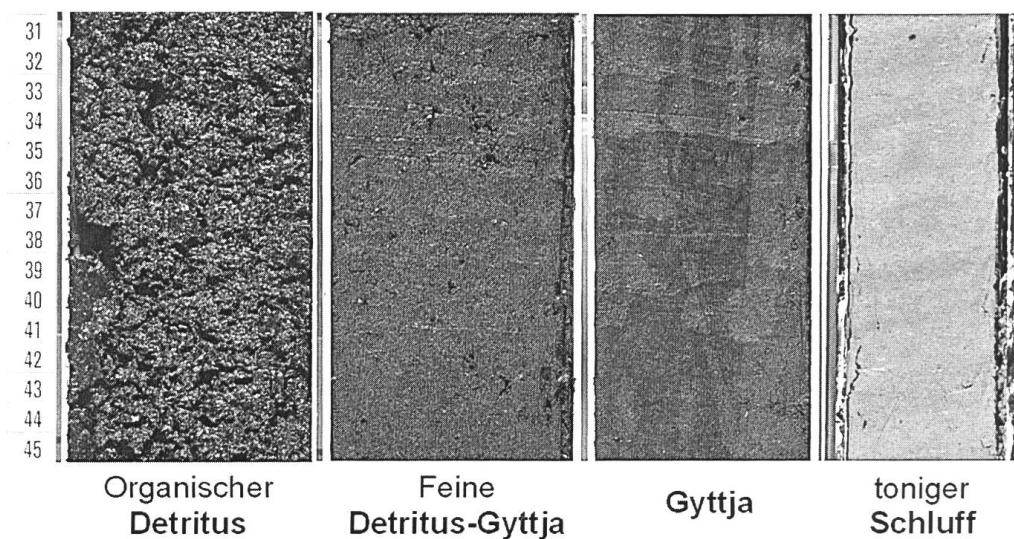


Abb. 2 Beispiele für die unterschiedlichen Sedimente aus dem Bergsee.

Ausserdem konnten röntgendiffraktometrisch Illit, Chlorit und Vivianit nachgewiesen werden. Vivianit fiel bereits mit dem blossen Auge als teilweise zentimetergroße blaue amorphe Aggregate auf. Der Übergang zur Fein-Detritus-Gyttja ist flüssig, makroskopisch vor allem durch den etwas höheren Anteil grober Pflanzenreste zu erkennen. Der Übergang zeigt sich auch im Dichteprofil, der undrainiert-ungestörten Scherfestigkeit und dem TC (total carbon content) (Abb. 3). Der Anteil grober Pflanzenreste nimmt zum Hangenden kontinuierlich zu, so dass die Fein-Detritus-Gyttja in die Grob-Detritus-Gyttja und schliesslich in den organischen Detritus übergeht (Abb. 2). Letzterer zeigt z. T. lagige Anreicherungen von Blättern krautartiger Vegetation sowie Holzfragmente. Ausserdem sind Samen von Sauergräsern sehr häufig. Wurzeln sind ebenfalls häufig, Teile von Wurzelstöcken von Bäumen wurden allerdings nicht gefunden. Der Übergang von der Gyttja zur Detritus-Gyttja setzt in der südlichen Bohrung BL3.1 etwas früher ein als in den beiden anderen Bohrpunkten. Noch deutlicher wird das beim Übergang von der

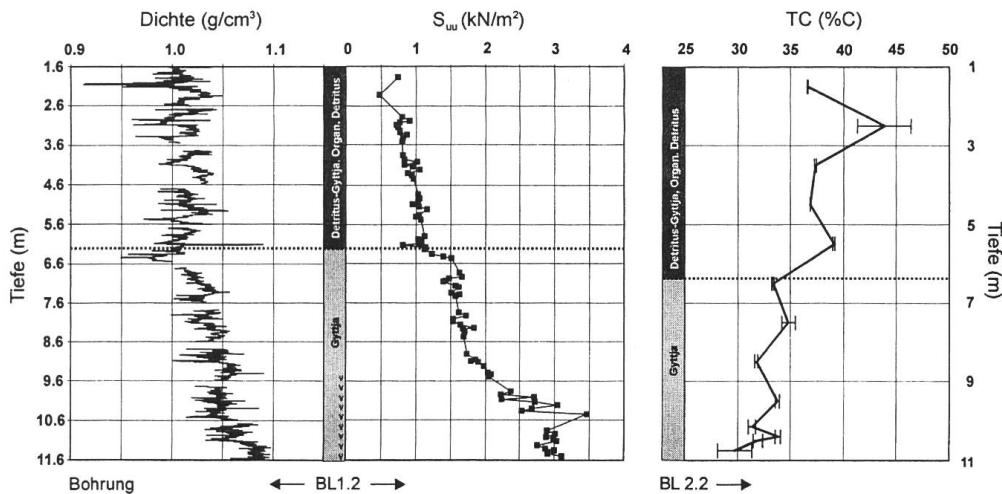


Abb. 3 Dichte, undrainierte ungestörte Scherfestigkeit (S_{uu}) sowie TC (total carbon content) -Werte für die Bohrungen BL1.2 und BL2.2. Der Übergang von Gyttja zu Detritus-Gyttja wird durch eine punktierte Linie angezeigt.

Detritus-Gyttja zum organischen Detritus, der in BL3.1 mehr als 3500 Jahre früher als in den beiden nördlicheren Bohrpunkten einsetzt. Die Sedimentationsrate lag für den Zeitraum seit dem Beginn des Allerød bis zum Ende der Ablagerungen organischen Detritus bei durchschnittlich 0.9 mm/a.

Den Abschluss der organischen Sedimentation bildet eine graubraune bis rötlich braune tonig-schluffige Gyttja, die in ihrem mittleren Teil dunkelgraue, unscharf begrenzte Lagen aufweist. Im Vergleich zur früh- und mittelholozänen Gyttja ist sie deutlich weicher, weniger „gelee-artig“, nicht elastisch, dafür klebrig-schmierig. Dieser Unterschied ist nur teilweise auf den geringeren Verfestigungsgrad der jüngeren Ablagerungen zurückzuführen, sondern vor allem auf den höheren Anteil mineralischer Komponenten. Die tonig-schluffige Gyttja erreicht in den nordöstlichen Bohrungen die grösste (>1 m), in der südlichen Bohrung BS1 die geringste Mächtigkeit (0.6 m). Die Sedimentationsrate in den letzten 200 Jahren liegt teilweise über 5 mm/a.

3.2 Allgemeine Entwicklung

Die klastisch-dominierte Sedimentation im Bergsee umfasst einen Zeitraum von ungefähr 15'000 (Kalender-)Jahren zwischen den Radiokohlenstoffaltern von 30'000 BP bis 12'000 BP. Der höhere organische Anteil an der Basis und am Top dieses Abschnittes weist auf eine höhere Bioproduktivität hin, die mit wärmeren Klimaabschnitten korreliert: an der Basis mit dem Denekamp-, am Top mit dem Bølling-Interstadial. Der Zeitabschnitt dazwischen umfasst die Periode maximaler Vergletscherung der Alpen während der Würm-Eiszeit. Die Würm-Gletscher erreichten den Bergsee nicht. Er lag aber in einem Gebiet mit spärlicher Vegetationsdecke und mit intensiver periglazialer Verwitterung in einem trocken-kontinentalen Klima. Eine grobklastische Schüttung wurde in keiner der Bohrungen im tiefen Seebcken angetroffen. Das spricht gegen einen bedeutenden Oberflächen-

zufluss in den See, der demnach im Wesentlichen durch Grundwasserzustrom und Oberflächenabfluss von den umgebenden Bergflanken genährt wurde. Authigene Mineralbildungen, z. B. Vivianit, spielten bei der Sedimentakkumulation nur eine untergeordnete Rolle. Hingegen kann der Eintrag klastischer Sedimente im Bergsee durch Wind als bedeutend eingestuft werden. Äolische Sedimente sind in der Umgebung des Bergsees weit verbreitet, z. B. unmittelbar südlich des Bergsees, im Möhliner Feld und in der Oberrheinebene, und wurden auch während der letzten Eiszeit gebildet. Für die Annahme, dass vor allem Windtransport den grössten Teil der klastischen Sedimente angeliefert hat, spricht die Korngrössenverteilung, die im Tiefenbereich 14.50–17.50 m ein deutliches, für Löss typisches Maximum in der Grobschlufffraktion hat. Der relativ hohe Tonanteil von 15–20 % deutet eine lokale Komponente an, die möglicherweise aus der Verwitterung der Gneise und Granite der unmittelbaren Umgebung unter periglazialen Bedingungen resultiert (*G. Zollinger, pers. Mitt.*). Bodenbildungsprozesse und eine Intensivierung der chemischen Verwitterung in der Umgebung des Sees in einem zunehmend humideren Klima führten dazu, dass durch den Oberflächenabfluss von den umgebenden Bergflanken des Sees der Tonanteil in den lakustrinen Sedimenten allmählich zur dominanten Kornfraktion wurde. Mit der Entwicklung einer mehr oder weniger geschlossenen Vegetationsdecke setzte die klastische Sedimentation dann fast völlig aus. Dieses Stadium wurde noch während des Pleistozäns zu Beginn des Alleröd-Interstadials erreicht.

Mit der dichter werdenden Vegetation in seiner Umgebung erlosch im Laufe des Boreals der Eintrag klastischer Komponenten und nährstoffreicher Lösungen in den Bergsee weitgehend, was besonders durch das Verschwinden von Vivianit angezeigt wird. Die Sedimentabfolge Gyttja–Detritus–Gyttja–organischer Detritus weist auf eine zunehmende Verlandung des Sees hin. Gyttja wird i. A. in einem See mit einigen Metern Wassertiefe gebildet, wohingegen organischer Detritus bereits in einem Riedsee abgelagert wurde. Es ist nicht ausgeschlossen, dass der See temporär trocken fiel. Das deutlich frühere Einsetzen der Bildung organischen Detritus im zentralen südlichen Seebecken (BL3.1) kann möglicherweise damit erklärt werden, dass die Bohrungen BL1 und BL2 über dem Depozentrum liegen, wo durch Kompaktion der tieferen, mächtigen klastischen Sedimente der See über einen längeren Zeitraum eine grösse Wassertiefe beibehalten konnte als in BL3.1, wo die Verlandung früher einsetzen konnte.

Mit der Nutzung als Wasserreservoir und der Einleitung eines künstlichen Zuflusses vor 200 Jahren beginnt die letzte Phase in der Entwicklung des Bergsees. Die tonig-schluffigen Gyttja-Ablagerungen zeigen an, dass die Verlandungsphase abrupt beendet wurde und der Seespiegel rasch anstieg. Außerdem ist die Sedimentationsrate ungefähr 5-mal so hoch wie zuvor und der hohe, nicht-organische Anteil an den Sedimenten weist auf einen Zufluss mit klastischem Sedimenteintrag hin. Außerdem kann aus der Sedimentmächtigkeit, die in BL1 und BS3 am grössten, in BL3 und BS1 aber am geringsten ist, auf einen Sedimenteintrag von NE in das Seebecken geschlossen werden.

4 Besondere Ereignisse

4.1 Denekamp-Interstadial

Das Denekamp-Interstadial ist im Tiefsten der Bohrung BL3.1 aufgeschlossen. Es ist das letzte würmzeitliche Interstadial vor dem Würm-Maximum. Der höhere organische Anteil in den klastischen Sedimenten dieser Epoche gibt sich makroskopisch bereits farblich durch den im Vergleich zu den nachfolgenden pleistozänen Sedimenten dunkleren Grauton zu erkennen. Die Suszeptibilitätskurve (Abb. 1 und 4) zeigt einen relativ eng begrenzten, deutlichen Abfall der SI-Werte in einer Tiefe von 20.5 m. Dieses Minimum fällt zusammen mit einem kurzfristigen starken Anstieg in der Pollenfrequenz sowie einem deutlichen Anstieg in den Baumpollen von Föhre und Birke (G. Sampietro, pers. Mitt.). Neben diesen Bäumen sind Sträucher wie Wacholder und Zwergeide vertreten. Die lichten Föhren-Birkenwälder waren aber nur von kurzem Bestand und existierten kaum länger als 400 Jahre. Eine Probe für eine Radiokohlenstoff-Altersdatierung wurde aus einer Tiefe von

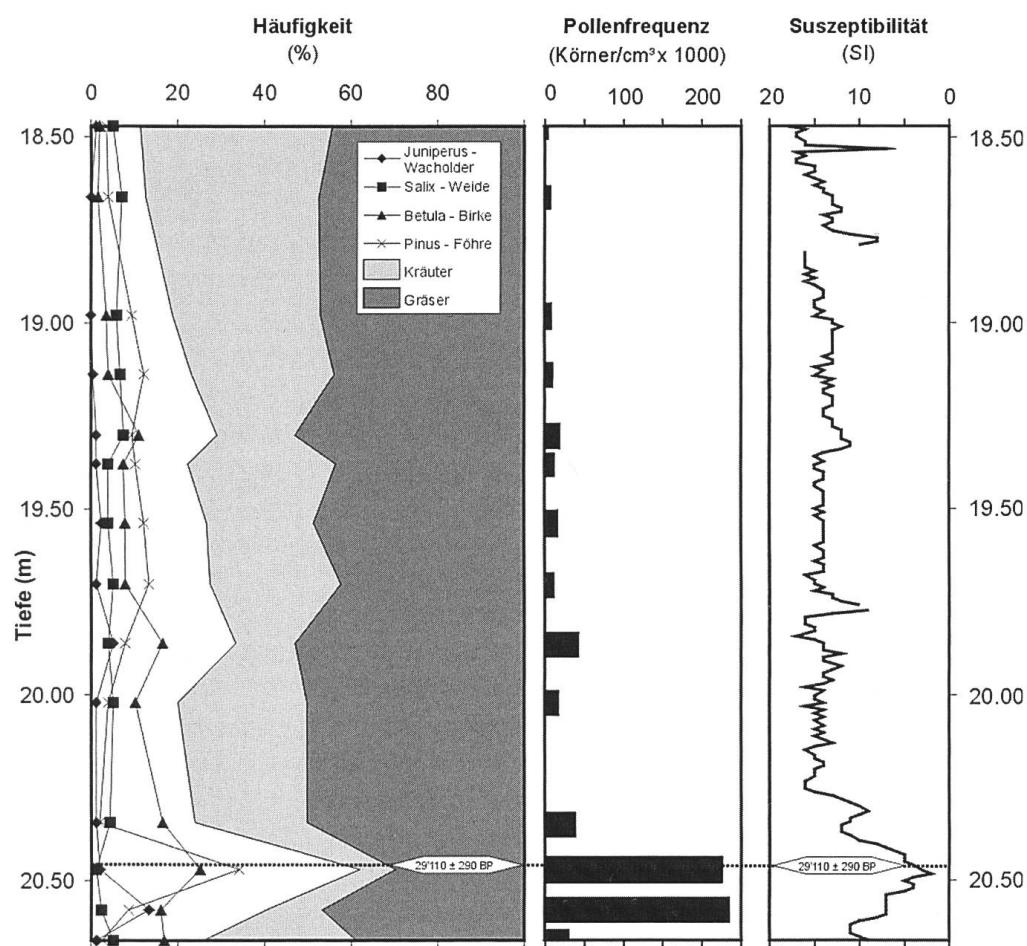


Abb. 4 Pollendiagramm sowie Suszeptibilitätskurve für den Übergang vom Denekamp-Interstadial zum Würm-Maximum. Das Pollendiagramm wurde freundlicherweise von Herrn Giuseppe Sampietro zur Verfügung gestellt.

20.47 m entnommen und lieferte ein Alter von $29'110 \pm 280$ BP. Das stimmt sehr gut mit dem für das Denekamp-Interstadial in der Literatur angegebenem Alter von ca. 29'000-32'000 BP (Hantke 1978) überein, deutet aber gleichzeitig an, dass das Denekamp in der Bohrung BL3.1 nicht vollständig erschlossen ist.

4.2 Laacher See Tephra

Der phreatomagmatisch-plinianische Vulkanausbruch des Laacher Sees in der Eifel, Deutschland, kann im Bergsee in den Bohrungen BL1.1, BL1.2 und BL3.1 nachgewiesen werden. Auffallend sind nahe der Basis der Gyttja weisse, z. T. grünliche tonige Schluffe und Feinsande, die in schliefen, unscharf begrenzten Lagen und Nestern angereichert sind und die Laacher See Tephra (LST) enthalten (Abb. 1 und 5). Die LST führt zu einem kurzen, steilen Anstieg der Suszeptibilitätskurve, der besonders klar in BL3.1 zu sehen ist. Dieser Anstieg in der magnetischen Suszeptibilität beruht vor allem auf einer Anreicherung ferromagnetischer Mineralien. Proben der Bohrung BL1.2 wurden von H.-U. Schmincke, Kiel, eingehender mineralogisch untersucht. Die Probe aus einer Tiefe von 13.10 m enthielt verhältnismäßig grosse vulkanische Glasscherben neben Hornblende, Pyroxen, Feldspat und vielen Gesteinsfragmenten, die aus 13.12 m nur wenig Bims, aus 13.13 m Bims, Hornblende und Feldspat, aus 13.14 m viel Bims aber nur wenige kristalline Kom-

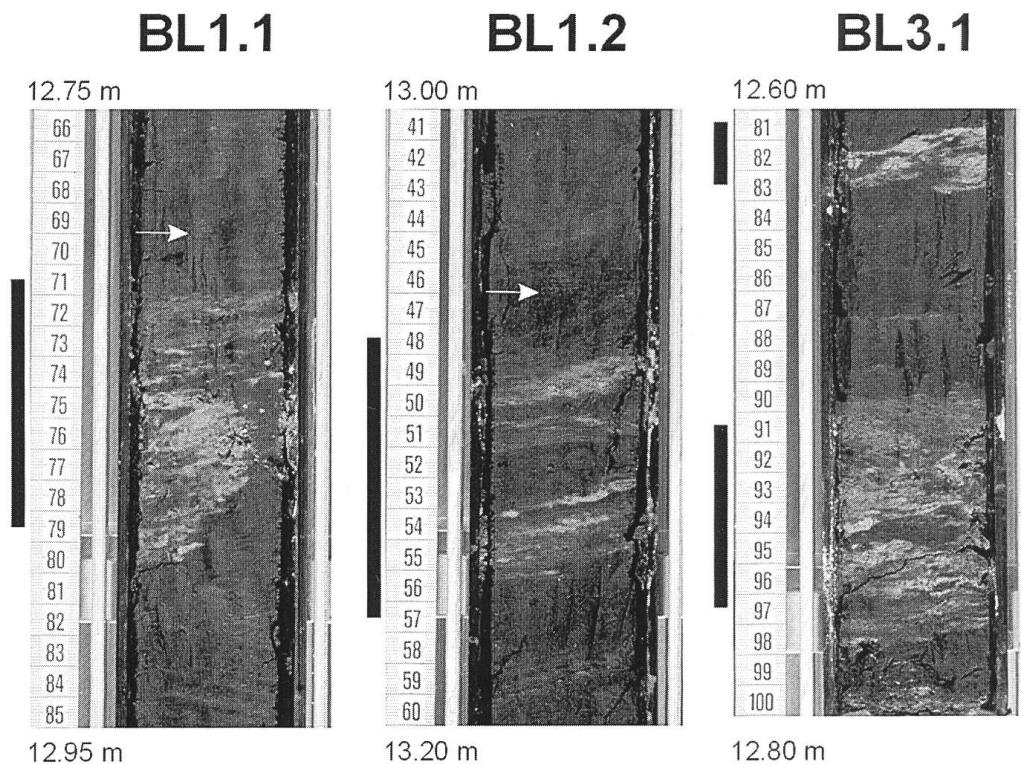


Abb. 5 Bereich der Laacher See Tephra in den Bohrungen BL1.1, BL1.2 und BL3.1 im Bergsee. Die Abschnitte, die ferromagnetische Mineralien, Pyroxene, Hornblenden und vulkanische Gläser enthalten, sind randlich durch einen schwarzen Balken markiert. Die Pfeile markieren Probenahmepunkte für Radiokohlenstoff-Datierungen.

ponenten und schliesslich enthielt die Probe aus 13.16 m Tiefe keine deutlich erkennbaren vulkanischen Relikte mehr. Die meisten Vorkommen der LST in Torfmooren und Seen der Schweiz und des Schwarzwaldes zeigen nur ein dünnes, wenige Millimeter dickes Tephraband (v.d. Bogaard & Schmincke 1985, Hajdas et al. 1995, Lang 1954, Wegmüller & Welten 1973). Die Verteilung der vulkanischen Förderprodukte im Bergsee spricht für eine sekundäre Aufarbeitung des LST-Horizontes, sehr wahrscheinlich durch Bioturbation. Zwei Radiokohlenstoffdatierungen aus einer Tiefe von 12.79 m in BL1.1 und 13.06 m in BL1.2, die unmittelbar oberhalb entnommen wurden und damit die LST nachdatieren, liefern Alter von $11'290 \pm 80$ BP bzw. $11'340 \pm 80$ BP. Diese Alter stimmen sehr gut mit publizierten Altersangaben überein (Hajdas et al. 1995). Davon deutlich abweichend ist das Radiokohlenstoffalter aus einer Tiefe von 12.55 m in BL3.1. Die Probeentnahme liegt 5 cm oberhalb des oberen Schluffhorizontes (Abb. 5) und zeigt mit $11'700 \pm 80$ BP das höchste Alter. Als Ursache für diese Anomalien kann eine Rutschung angenommen werden, die sich zusätzlich in einer Inversion des Pollenspektrums bemerkbar macht (G. Sampietro, pers. Mitt.).

4.3 Subaquatische Rutschungen

Obgleich der Bergsee klein ist und kaum je eine grosse Wassertiefe besass, sind seine Flanken relativ steil und damit anfällig für subaquatische Rutschungen. In den Bohrungen selbst ist bisher nur ein Hinweis auf eine subaquatische Rutschung gefunden worden, in einigen reflexionsseismischen Profilen scheinen sich solche aber häufiger abzuzeichnen. Im Randbereich des (ursprünglich kleineren) Sees ist die Eindringtiefe der seismischen Wellen grösser. Damit wird der Blick auf die Lageungsverhältnisse der tieferen Seeablagerungen frei (Abb. 1 und 6). Teilweise zeigen sich dort keilförmige Verdickungen, in denen die Reflektoren unregelmässig

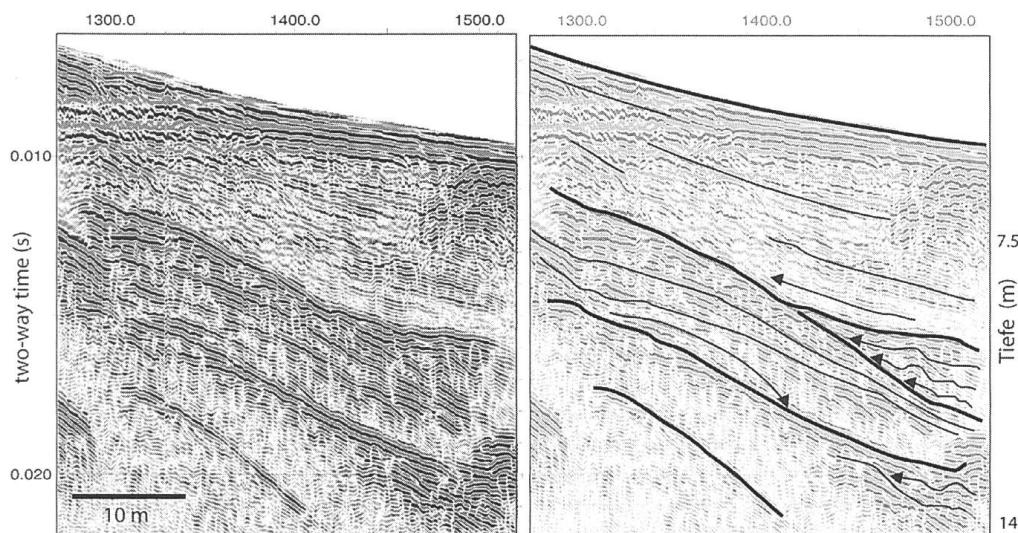


Abb. 6 Reflexionsseismisches Profil aus dem südöstlichen Bergsee (Lage vgl. Abb. 1). Die Interpretation (rechts) wurde freundlicherweise von Herrn Flavio Anselmetti zur Verfügung gestellt.

verbogen und gefaltet sind. Aus verschiedenen schweizerischen Seen sind solche Strukturen gut bekannt und können im Bergsee ebenfalls als typische Rutschungserscheinungen interpretiert werden (F. Anselmetti, pers. Mitt.).

4.4 Erdbebenspuren im Bergsee?

Die organischen Sedimente des Bergsees sind über weite Strecken sehr homogen, so dass Erdbebendeformationen nur schwer nachzuweisen sind. Offensichtlich verhinderte die faserige Struktur der jüngeren organischen Ablagerungen, dass sich Erdbebendeformationen (z. B. Basel-Erdbeben von 1356) in diesen Sedimenten überhaupt entwickeln konnten. Gyttja zeigt aufgrund ihrer Struktur ein besonderes Deformationsverhalten, das weniger zu plastischen, eher zu bruchhaften Deformationen führt (Becker et al. 2002). Solche Brüche, die möglicherweise auf Erdbebenerschütterungen zurückzuführen sind, konnten in der Bohrung BL1.1 in einer Tiefe von ca. 10.30 m nachgewiesen werden (Abb. 7). Der grössere der beiden Brüche ist eindeutig alt und nicht auf die Kerngewinnung oder -präparation zurückzuführen, denn er unterscheidet sich durch seine Raumorientierung (60° Einfalten) und durch seinen mineralischen Kluftbelag (Vivianit) deutlich von künstlich erzeugten Brüchen. Wenn dieser Bruch durch ein Erdbeben erzeugt worden sein sollte, dann muss dieses Ereignis jünger gewesen sein als die jüngsten Sedimente, die den Bruch enthalten. Eine gewisse Verfestigung als Voraussetzung für die Bruchbildung in der Gyttja angenommen, kann das Erdbeben auch nicht unmittelbar nach der Ablagerung der ältesten, den Bruch überlagernden Sedimente erfolgt sein. Nimmt man das Radiokohlenstoffalter von 8655 ± 80 BP (Abb. 7) als eine untere Zeitmarke für das Ereignis an, dann ergibt sich für das Erdbeben ein Alter jünger als 8655 BP.

Unverfestigte Sedimente am Seegrund können durch Erdbeben aufgewirbelt werden (Doig 1990). Resuspension und anschliessende Resedimentation führen möglicherweise dazu, dass Sedimentinhaltsstoffe entsprechend ihrer Schwere und ihres Volumens gesondert und angereichert werden. Doig (1990) konnte für kanadische Seen zeigen, dass es zu solchen Anreicherungen in Gyttja kommt und besonders deutlich in Erscheinung tritt, wenn eine mineralische Komponente vorhanden ist (so genanntes Silting). Da im Bergsee die mineralische Komponente in der Gyttja sehr gering ist, wäre die Frage zu klären, ob auch andere Komponenten angereichert werden könnten. Die Pollenfrequenz (= Anzahl der Pollenkörper pro cm^3) zeigt im Kernabschnitt zwischen 10.0–9.4 m Werte, die im Mittel zwischen 600'000 und 800'000 Körner/ cm^3 liegen (Abb. 7). Zwischen 9.80–9.85 steigt die Pollenfrequenz schlagartig um mehr als das Doppelte des Basiswertes an, um dann über eine Kernlänge von 20 cm wieder auf den Ausgangswert zurückzufallen. Dieser Anstieg kann mehrere Ursachen haben: (1) eine primär höhere Pollenproduktion infolge besserer, klimatisch verursachter Wachstumsbedingungen, (2) kurzfristig deutlich reduzierte Sedimentationsraten, (3) ein katastrophales Ereignis, das zu einer Resuspension grosser Mengen bereits abgelagerter Sedimente führte (z. B. subaquatische Rutschung, Hochwasser, Sturm, Erdbeben).

Legt man eine durchschnittliche Sedimentationsrate von 0.9 mm/a zu Grunde, dann beinhalteten die knapp 25 cm Kernlänge mit erhöhten Pollenkonzentrationen einen Zeitraum von 280 Jahren. Dieser lange Zeitraum spräche für eine klimatische Ursache, die zu einer erhöhten Pollenproduktion führte, von der, wie die gleich blei-

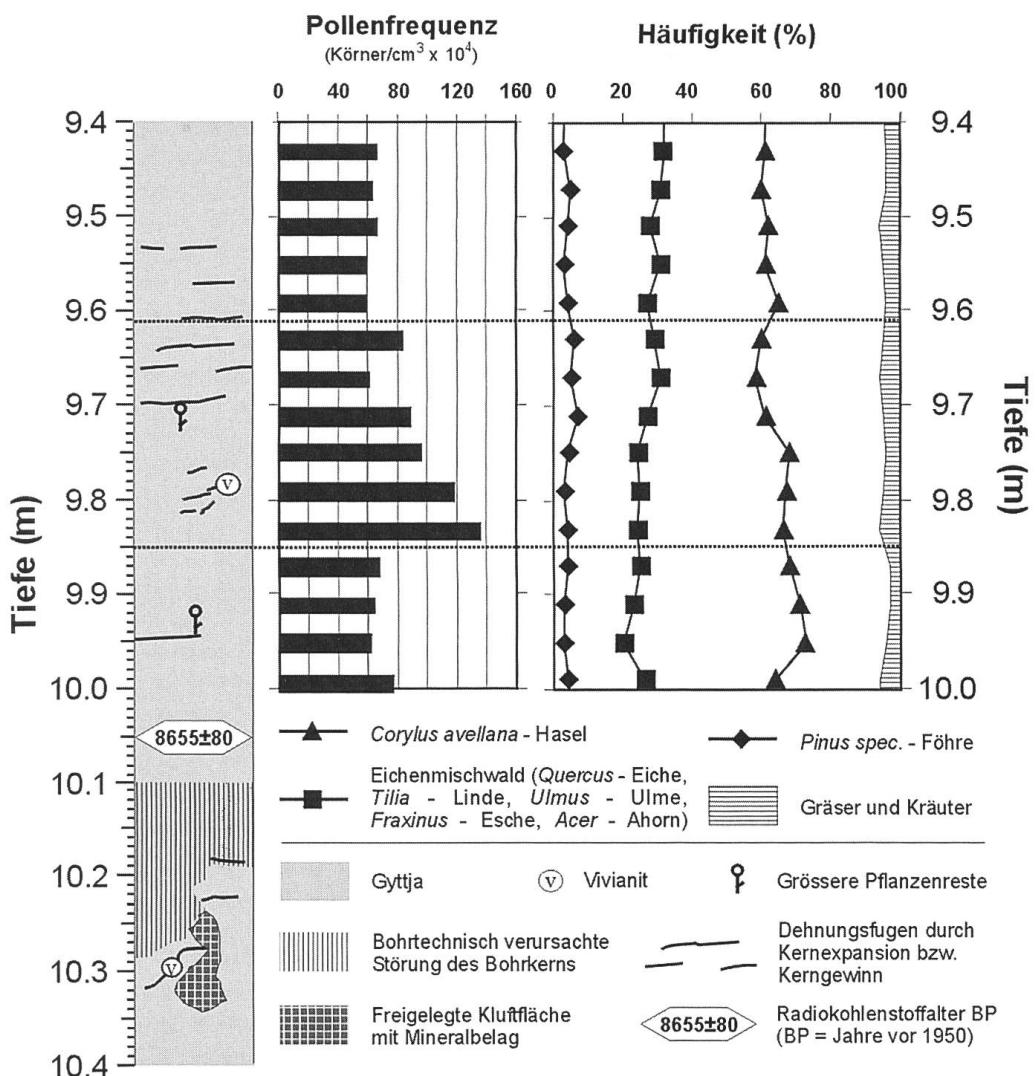


Abb. 7 Abschnitt der Bohrung BL1.1, der bei 10.3 m Tiefe zwei natürliche Kluftflächen zeigt. Das Pollendiagramm (bearbeitet von Giuseppe Sampietro) zeigt eine Pollenverteilung, die charakteristisch für das mittlere Boreal ist (c. 8'500 BP).

benden relativen Pollenhäufigkeiten zeigen, alle Pflanzen profitierten. Mit einer erhöhten Sedimentationsrate wäre in diesem Fall in einem See, in dem zu diesem Zeitpunkt fast ausschliesslich organische Sedimente abgelagert wurden, ebenfalls zu rechnen. Allerdings müsste eine Verdoppelung der Sedimentationsrate ungefähr mit einer Vervierfachung der Pollenfrequenz korrelieren, um den beobachteten Anstieg in der Pollenfrequenz zu erklären. Das sowie die asymmetrische Verteilungskurve der Pollenfrequenz und die gleich bleibende relative Pollenhäufigkeit lassen ein katastrophales Ereignis wahrscheinlicher erscheinen. So könnte ein Erdbeben für die natürliche Bruchstruktur in der unterlagernden Gyttja und als Quelle der Mobilisierung eines grossen Sedimentvolumens im See durch in situ-Resuspension des Sediments am Seegrund und durch das Auslösen subaquatischer Rutschungen angesehen werden. Im Sediment bereits eingelagerte Pollen wurden so in grossen Mengen freigesetzt und vorzugsweise im tieferen Seebecken innerhalb kurzer Zeit

wieder abgelagert. Allerdings gibt es keine Anzeichen einer Anreicherung von Pollenkörnern entsprechend ihrer Dichte oder ihres Volumens, wie anhand der relativen Pollenhäufigkeiten ersichtlich wird. Das Ende des Ereignisses kann in einer Tiefe von 9.6 m mit Hilfe der Radiokohlenstoffalter-Sedimentmächtigkeits-Beziehung mit ungefähr 8000–7550 v. Chr. angegeben werden. Ein Erdbeben sollte daher den Bergsee in etwa in diesem Zeitraum erschüttert haben.

5 Fazit

Im Bergsee konnten bisher Sedimente erschlossen werden, die die letzten 30'000 Jahre seiner Entwicklung seit dem Ende des Denekamp-Interstadials dokumentieren. In der vegetationsarmen Periode des späten Pleistozäns wurden in einem zeitweise kalt-trockenen Klima klastische Sedimente abgelagert, die windverfrachtet oder von den umliegenden Hängen abgespült in das Seebecken gelangten. Die Umstellung zu rein organischer Sedimentation setzte bereits im Allerød ein, dem letzten Interstadial am Ende der Würmeiszeit. Zunächst wurde Gyttja abgelagert, die offene und tiefere Wasserverhältnis anzeigt. Im Laufe des Holozäns setzte eine zunehmende Verlandung des Seebeckens ein, die schliesslich zur Ablagerung organischen Detritus führte. Mit der Nutzung des Sees als Reservoir für die Industrie Säckingens seit Beginn des 19. Jahrhunderts änderte sich das lakustrine Ablagerungsmilieu schlagartig und leitete eine erneute Tiefwasserphase ein. Als besonderes Ereignis lässt sich im Bergsee beispielsweise der Ausbruch des Laacher-See-Vulkans im Allerød nachweisen. Andere Ereignisse, wie z. B. Erdbeben oder subaquatische Rutschungen, lassen sich in den überwiegend sehr homogenen Sedimenten bisher nur mit Schwierigkeiten belegen. Durch ein verbessertes Verständnis des Ablagerungsmilieus und der Sedimenteigenschaften können aber neue Methoden und Forschungsansätze entwickelt werden, um auch diese Fragen zu beantworten und vor allem das grosse Potenzial, das der Bergsee noch birgt, zu heben und wissenschaftlich zu erschliessen.

Danksagung

Gefördert wurden die Untersuchungen durch die ETH und die Universität Zürich sowie den Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung. Die Interpretation des seismischen Profils stammt von Herrn Flavio Anselmetti, die pollenanalytischen Daten aus dem Denekamp-Interstadial von Herrn Giuseppe Sampietro, die mineralogischen Daten der LST von H.-U. Schmincke. Diesen Herren danke ich ganz besonders für die durchgeführten Untersuchungen und Überlassung dieser Daten für die vorliegende Publikation. Schliesslich möchte ich mich bei der Stadt Bad Säckingen für die Erlaubnis zur Durchführung der Untersuchungen bedanken, ganz besonders beim Bürgermeister Herrn Dr. Nufer und dem Umweltbeauftragten Herrn Ralf Däubler.

Literatur

- Becker A., Davenport C.A. & Giardini D. 2002. Palaeoseismicity studies on end-Pleistocene and Holocene lake deposits around Basle, Switzerland. *Geophys. J. Int.* 149: 659–678.
- Bogaard P.v.d. & Schmincke H.-U. 1985. Laacher See Tephra: A widespread isochronous late Quaternary tephra layer in central and northern Europe. *Bull. Geol. Soc. Am.* 96: 1554–1571.
- Doig R. 1990. 2300 yr history of seismicity from silting events in Lake Tadoussac, Charlevoix, Quebec. *Geology* 18: 820–823.
- Hajdas I., Ivy-Ochs S.D., Bonani G., Lotter A.F., Zolitschka B. & Schlüchter C. 1995. Radiocarbon age of the Laacher See Tephra: $11,230 \pm 40$ BP. *Radiocarbon* 37 (2): 149–154.
- Hantke R. 1978. *Eiszeitalter – Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete*. Bd. 1, Thun, 1–468.
- Kümmerlin R.E. 1994. *Handbuch Wasser 2 – Handbuch der stehenden Gewässer in Baden-Württemberg – Regierungsbezirke Stuttgart, Karlsruhe und Freiburg*. Band 13, Karlsruhe, LfU, WT-029-1-4.
- Lang G. 1954. Neue Untersuchungen über die spät- und nacheiszeitliche Vegetationsgeschichte des Schwarzwaldes. I. Der Hotzenwald im Südschwarzwald. *Btr. naturk. Forschung Südwestdeutschland* XIII (1): 3–42.
- Mayer-Rosa D. & Cadiot B. 1979. A review of the 1356 Basel earthquake. *Tectonophysics* 53: 325–333.
- Metz R. 1980. *Geologische Landeskunde des Hotzenwaldes*. Lahr, 1–1117.
- Wegmüller S. & Welten M. 1973. Spätglaziale Bimstufflagen des Laacher Vulkanismus im Gebiet der westlichen Schweiz und Dauphiné (F). *Eclogae geol. Helv.* 66 (3): 533–541.

