



Datierung von LGM und Eisrandlagen der Jüngeren Dryas in der NW- und SW-Türkei und Diskussion im überregionalen Vergleich

CONRADIN ZAHNO*), NAKI AKÇAR*), VURAL YAVUZ**), PETER W. KUBIK***) & CHRISTIAN SCHLÜCHTER*)

3 Abbildungen

Türkei
Jüngere Dryas
Vergletscherung
Oberflächenexposition
Datierung

Inhalt

Zusammenfassung	239
Abstract	239
1. Aktuelles Zirkulationsregime über Anatolien und Einführung in die Problematik	239
2. Geologische Disposition und Resultate in den einzelnen Untersuchungsgebieten	241
2.1. Uludağ (NW-Türkei)	241
2.2. Dedegöldağ (SW-Türkei)	242
3. Diskussion der Resultate im überregionalen Vergleich	243
Literatur	244

Zusammenfassung

Sowohl auf Uludağ (Mt. Uludağ, 2542 m.ü.M., NW-Türkei) als auch im Muslu-Tal des Dedegöl-Gebirges (Dedegöldağ; Mt. Dipoyraz, 2992 m.ü.M., SW-Türkei) können sedimentäre und geomorphologische Belege später oberpleistozäner Vergletscherungen untersucht werden. Von gletschertransportierten Blöcken, abgelagert auf End- und Seitenmoränen, wurden Oberflächenproben entnommen und deren Expositionsalter mit Hilfe der kosmogenen Nuklide ¹⁰Be und ²⁶Al in Quarz bestimmt. In den Untersuchungsgebieten datieren die letzten maximalen Gletscherausdehnungen innerhalb von ca. 20–22 ka (Uludağ) und ca. 19,5–26,6 ka (Dedegöldağ). Spätglaziale Gletscheroszillationen sind beiderorts morphologisch erkennbar. Auf Uludağ datiert ein mindestens einphasiger Eisvorstoß in die Zeit der Jüngeren Dryas.

Dating of LGM and Glaciation of Younger Dryas Age in Northwestern and Southeastern Turkey

Abstract

The northern slope of Uludağ (Mt. Uludağ, 2542 m asl., NW Turkey) as well as the Muslu valley in the Dedegöldağ area (Mt. Dipoyraz, 2992 m asl., SW Turkey) display sedimentary and geomorphological records of late Upper Pleistocene palaeoglaciations. With the aim to establish a chronology of palaeoglacier change, surface samples from glacially transported boulders, deposited on terminal and lateral moraine ridges, were collected and processed for surface exposure dating with ¹⁰Be and ²⁶Al in quartz. In the study areas, the last maximal palaeoglacier extensions could be dated between circa 20–22 ka (Uludağ) and circa 19.5–26.6 ka (Dedegöldağ), and morphologically, Lateglacial glacier fluctuations could be distinguished. On Uludağ, dating evidence supports the occurrence of a Younger Dryas glacier re-advance.

1. Aktuelles Zirkulationsregime über Anatolien und Einführung in die Problematik

Die räumlich komplexen und saisonal kontrastreichen klimatologischen Verhältnisse über der anatolischen Halbinsel lassen sich mit der geographischen Lage und Einbettung und der topographischen Konfiguration Anatoliens erklären. Eingebettet zwischen dem Schwarzen Meer im Norden, der Ägäis im Westen und dem östlichen Mittelmeer im Süden liegt Anatolien zwischen 26-45°E und 36-42°N (Abb. 1), also im räumlichen und saisonalen Einfluss-

*) CONRADIN ZAHNO, DR. NAKI AKÇAR, Prof. CHRISTIAN SCHLÜCHTER, Universität Bern, Institut für Geologie, Baltzerstraße 1+3, CH 3012 Bern. zahno@geo.unibe.ch, akcar@geo.unibe.ch, schluechter@geo.unibe.ch.

**) Dr. VURAL YAVUZ, Istanbul Technical University, Faculty of Mines, 80626 Maslak, Istanbul. vural@itu.edu.tr.

***) Dr. PETER W. KUBIK, ETH Zürich, Paul-Scherrer-Institut, c/o Institut für Teilchenphysik, CH 8093 Zürich. kubik@phys.ethz.ch.

bereich verschiedener großskaliger atmosphärischer Zirkulationssysteme (WIGLEY & FARMER, 1982; BOLLE et al., 2003): Einerseits bringt die südwärts gerichtete Verschiebung des Polarfront-Jets im Herbst und Winter feuchte Luftmassen und Niederschläge vom Atlantik und Mittelmeer in den zirkum-mediterranen Raum; andererseits bewirkt das stark ausgeprägte winterliche Sibirien-Hoch über dem eurasischen Kontinent das Abfließen polarer kontinentaler Luftmassen aus dem Nordsektor, die jedoch über Anatolien mit intensiven Schneefällen assoziiert sein können, wobei sich das Schwarze Meer als Feuchtequelle identifizieren lässt. Während der Sommermonate etabliert sich, angetrieben durch die Hadley-Zirkulation, ein stabiler subtropischer Hochdruckgürtel über dem Mittelmeerraum. In der Folge entwickelt sich über dem Gebiet des östlichen Mittelmeerraumes ein ausgeprägtes meridionales Luftströmungsregime, welches sich für die trockenen und heißen Sommer verantwortlich zeigt.

Selbstverständlich ist dieses beschriebene generelle „Mediterrane Klima“ über Anatolien regional verschieden ausgeprägt oder, wie entlang des Küstenstreifens zum Schwarzen Meer, nicht charakteristisch. Als Gründe hierfür sind hauptsächlich der klimadämpfende Einfluss der umgebenden Ozeane und die küstenparallelen Gebirgsketten des Taurus im Süden und des Pontus in Norden anzugeben. Aufgrund des ausgeprägten Gebirgsniederschlages nehmen die Niederschlagstotale generell von den Küstenregionen gegen das Landesinnere hin ab. Die Küstengebirge agieren als topographische Hindernisse für die anströ-

menden feuchten Luftmassen und verstärken somit die Kontinentalität Zentralanatoliens (ALPERT et al. 1990; TÜRKEŞ, 1996; CULLEN & DEMENOCAL, 2000; RAICICH et al., 2003; TÜRKEŞ & ERLAT, 2003).

Im Zuge der Geschichte des globalen Klimas hatten Veränderungen in der Intensität und Verschiebungen in der geographischen Position der großskaligen atmosphärischen Zirkulationssysteme sicherlich zu Veränderungen im saisonalen und räumlichen Muster des Niederschlages und der Temperatur über der anatolischen Halbinsel führen müssen. In diesem Zusammenhang sind Gletscher und im Speziellen deren geomorphologischen Belege (z.B. Moränenwälle) wichtige terrestrische Archive zur Rekonstruktion des Paläoklimas in Anatolien (z.B. LOUIS, 1944; ERINÇ, 1952; MESSERLI, 1967; ÇINER, 2004; AKÇAR & SCHLÜCHTER, 2005; AKÇAR et al., 2007, 2008; SARIKAYA et al., in press). Die Probleme, die sich unmittelbar stellen, sind einerseits die Rekonstruktion des Paläoklimas selber (z.B. OHMURA et al., 1992; BENN & LEHMKUHL, 2000; OERLEMANS, 2005; OSMASTON, 2005) und andererseits die Zeitpunkte, zu denen die rekonstruierten Klimate vorherrschten. Also die Datierung der glazialmorphologischen Belege für die jeweiligen Paläoeisrandlagen. Die direkte Datierung von Moränenrücken ist oftmals schwierig oder umständlich, da datierbares Material z.B. für die Radiokohlenstoff- oder Lumineszenz-Methode selten vorhanden bzw. nicht geeignet ist. Als Ausweg bietet sich die Methode der Oberflächenexpositionsdatierung an (z.B. BIERMANN, 1994; CERLING & CRAIG, 1994; GOSSE & PHILLIPS, 2001; WALKER,

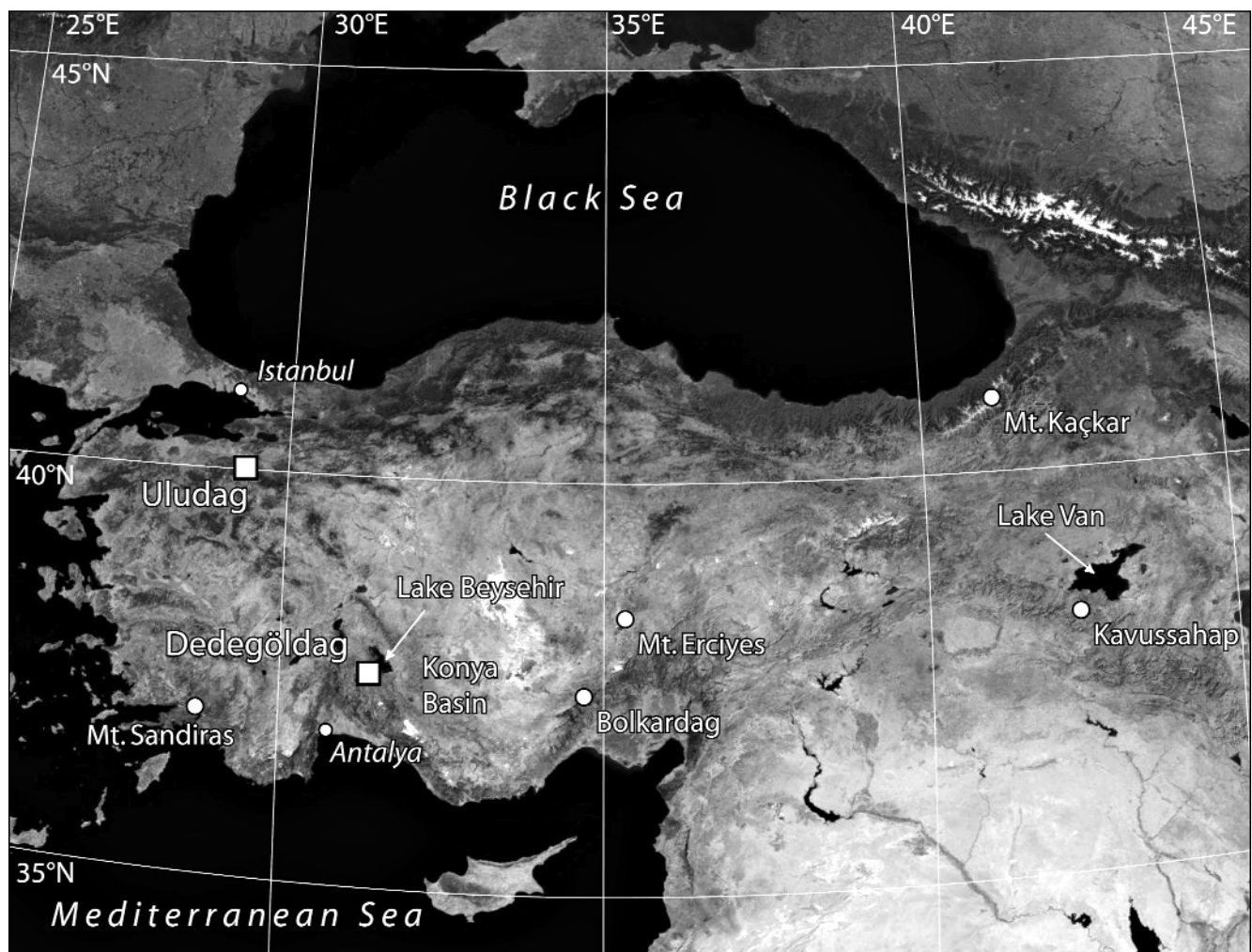


Abb. 1. Übersicht über die Untersuchungsgebiete und die im Text erwähnten Standorte. Satellitenbild: NASA World Wind 1.4, July 2004.

2005). Mit Hilfe der durch die kosmogene Strahlung in einer Gesteinsoberfläche produzierten radio genen Isotope ^{10}Be oder ^{26}Al (oder anderer geeigneter Isotope) lässt sich die Expositions dauer einer beprobten Gesteinsoberfläche gegenüber der kosmischen Strahlung bestimmen. Umge münzt auf die Datierung von Moränenständen heißt das nun im Grundsatz Folgendes: Die Expositionsalter glet schertransportierter und auf Moränen abgelagerter Blöcke ergeben eine Datierung derer Stabilisierung oder schließ lich strikt ein Mindestalter für den Abschluss der Moränen bildung.

In unseren Studien fokussieren wir auf zwei Untersu chungsgebiete (Abb. 1): Sowohl auf Uludağ (Mt. Uludağ, $29^{\circ}10'\text{E}$, $40^{\circ}05'\text{N}$, 2542 m, NW-Türkei) als auch im Muslu tal des Dedegöl-Gebirges (Dedegöldag: Mt. Dipoyraz, $31^{\circ}19'\text{E}$, $37^{\circ}37'\text{N}$, 2992 m, SW-Türkei) können sedimentäre und morphologische Belege später oberpleistozäner Vergletscherungen untersucht werden. In den folgenden Abschnitten werden die Arbeitsgebiete vorgestellt und unser Beitrag zum aktuellen Wissen der zeitlichen Geschichte und räumlichen Entwicklung der Paläoglet scher in Anatolien dargelegt. Der hier vorliegende Text zielt somit hauptsächlich auf den Aspekt der Oberflächen expositionsdatierungen und den Versuch, zwei lokale Paläogletscherchronologien zu erarbeiten. Abschließend werden die Resultate mit Bezug auf Ergebnisse unter schiedlicher terrestrischer Archive diskutiert.

2. Geologische Disposition und Resultate in den einzelnen Untersuchungsgebieten

2.1. Uludağ (NW-Türkei)

Als alleinstehender und folglich exponierter NW–SE streichender Gebirgszug nimmt der Uludağ eine besonde re Stellung im Nordwesten der Türkei ein. Niederschlags messungen von der Klimastation auf 1877 m.ü.M. zwi schen 1970–2001 (Türkischer Staatlicher Meteorologi scher Dienst) belegen einen mittleren Jahresniederschlag (Jan – Dez) von 1496 mm, wovon ca. 36 % (534 mm) im Winter (Dez – Jan – Feb) und 11 % (165 mm) während der Sommermonate (Jun – Jul – Aug) fallen. Die mittlere Jah restemperatur liegt bei $4,8^{\circ}\text{C}$, das Sommermittel (Jun – Jul – Aug) bei $13,0^{\circ}\text{C}$ und das Wintermittel (Dez – Jan – Feb) bei $-3,1^{\circ}\text{C}$. Verglichen mit den Klimadaten der Stadt Bursa am nordöstlichen Hangfuß auf 100 m.ü.M. sind alle drei Niederschlagsmittelwerte der Höhenstation Uludağ mehr als doppelt so hoch und die Tem peraturmittel durchwegs rund 10°C kälter. Aufgrund seiner exponierten Lage und der Saisonalität des Niederschlages stellt der Uludağ eine Feuchtigkeits- und Schnee senke in Nordwesten der Türkei dar, die sogar den Betrieb von Win tersportanlagen zwischen 1750 und 2220 m.ü.M. erlaubt.

Die hauptsächlich aus Marmoren und granitischen Ge steinen zusammengesetzten glazigenen Sedimente am Nordabhang des Mt. Zirve (2468 m.ü.M.) überlagern das anstehende granitische Festgestein (Abb. 2). Der lithologi sche Kontakt zwischen dem diskordant eingedrungenen granitischen Pluton und den synklinal eingefalteten Mar moren (vgl. KETIN, 1947; TOLUN, 1955; VAN DER KAADEN, 1958, 1959; BRINKMANN, 1976) ist an der lateralen Basis des westlichen Kares aufgeschlossen. Zwei Karnischen definieren das obere Ende des Akkumulationsgebietes eines Paläogletschers, der talwärts bis auf ca. 1850 m.ü.M. floss (ausgezogene Linie in Abb. 2) (vgl. LOUIS, 1944). Die Oberfläche der glazigenen Sedimente ist onduliert, aber in drei klar unterscheidbare Niveaus durch zwei steil einfall ende Abhänge abgegrenzt, die als ehemalige Eisrandla gen interpretiert werden (gestrichelte und punkt-gestrichelte Linien in Abb. 2). Klar definierte Moränenrücken wurden selten angetroffen, einzig auf ca. 2220 m.ü.M. schließen zwei Moränenwälle den Ausgang des westlichen Kares ab (gepunktete Linie in Abb. 2) (vgl. ERINÇ, 1949, 1952; BIR MAN, 1968). Die größte Ausdehnung des Zirve-Gletschers wird durch die Verteilung von gletschertransportierten granitischen Blöcken und Marmoren angezeigt (ausgezogene Linie in Abb. 2, wobei das Zungengebiet nicht abgebildet ist), und darüber hinaus durch das Auftreten von Tor-Ver witterungsformen im stark verwitterten anstehenden graniti schen Fels. Als Ursprung der eistransportierten graniti schen Blöcke wird der lithologische Kontakt an der Basis der Kare vermutet.

Die glazialmorphologische Disposition am Nordabhang des Mt. Zirve wurde schon früh z.B. von BIRMAN (1968) erkannt und beschrieben, wobei seine Darstellung der größten Eisausdehnung (<1850 m.ü.M) nicht nachvollzo gen werden konnte. Seine postulierte Altersgliederung der interpretierten Paläoeisrandlagen, die er ausgehend vom „early or middle Wisconsin“ bis ins „post-Wisconsin“ stellt, beruht auf einer relativen Gliederung, die auf ausgezählten Verhältnissen von frischen zu verwitterten granitischen Blöcken entlang von Moränenrücken basiert. Dieses Bei spiel zeigt die dringende und grundsätzliche Notwendigkeit absoluter Datierungen zur Erstellung von Paläogletscher chronologien. Mit diesem Hintergrund wurden entlang der morphologisch und petrologisch eingegrenzten maximalen Eisrandlage bis auf ca. 1850 m.ü.M. Oberflächenproben eistransportierter Blöcke granitischer Zusammensetzung entnommen und für die Oberflächenexpositionsdatierung mit Hilfe der in situ produzierten kosmogenen Isotope ^{10}Be

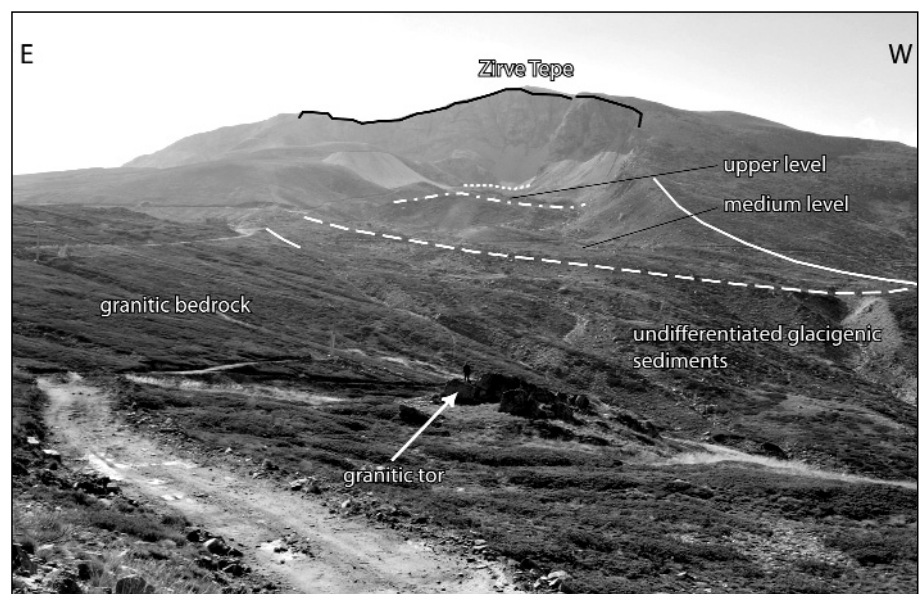


Abb. 2.
Geomorphologische Situation des Uludağ.
Das Gebiet der LGM-Gletscherzunge ist nicht
abgebildet. Für weitere Details siehe Text.
Foto: N. AKÇAR, 2006.

und ^{26}Al aufbereitet. Ebenfalls wurden Oberflächen zweier Tor-Verwitterungsformen beprobt, die proximal aber klar außerhalb der Verbreitung der glazigenen Lockersedimente liegen (also außerhalb der vermuteten größten Vereisung bis auf ca. 1850 m.ü.M.). Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die distalsten granitischen Blöcke nicht später als vor ca. 20–22 ka abgelagert wurden, also während des frühen Marinen Isotopen-Stadiums (MIS) 2, was somit ins generelle Konzept einer Maximalvereisung während des Last Glacial Maximum (LGM) passt. Die beprobten Oberflächen der Tor-Verwitterungsformen ergaben in beiden Fällen, sowohl für ^{10}Be als auch für ^{26}Al , Oberflächenexpositionsalter zwischen 40–50 ka. Diese Befunde erhärten, dass der Zirve-Paläogletscher zur Zeit des LGM eine Maximalausdehnung erreichte, die durch die distalste Ablagerung eistransportierter Marmore und granitischer Blöcke abgegrenzt wird. Weiter muss davon ausgegangen werden, dass die Tor-Formen als morphologische Landschaftselemente älter als 40–50 ka sind. Die fortlaufende Zerlegung dieser Formen (z.B. entlang von Diskontinuitäten) und die umsäumende Anlagerung dieser Blöcke (wie in Abb. 2 abgebildet) legt diesen Schluss nahe, da folglich a priori nicht die ursprünglichen Tor-Oberflächen beprobt werden konnten.

Zwei Oberflächenproben von Blöcken, die auf dem äußeren Wall der vorgefundenen Moränenstaffel auf ca. 2220 m.ü.M. (gepunktete Linie in Abb. 2) abgelagert wurden, datieren auf ca. 11,3 ka bzw. 12,3 ka. Die Eisrandlage ist somit in die Jüngere Dryas (ca. 12,7–11,5 ka) zu stellen. Ob allenfalls der innere Wall ebenfalls der Jüngeren Dryas zugeordnet werden kann, lässt sich zurzeit nicht mit Datierungen belegen. Der morphologische Umstand aber, dass der innere Moränenwall dieselbe Eisausdehnung wie der äußere Wall anzeigt, spricht tendenziell für einen zweiphasigen Gletschervorstoß während des Jüngere-Dryas-Stadials. Aufgrund der bisher dargelegten Ergebnisse müssen die übrigen Eisrandlagen zwischen der Maximalausdehnung während des LGM und dem Eisvorstoß zur Zeit der Jüngeren Dryas intermediären spätglazialen Stadien des Zirve-Gletschers entsprechen (Abb. 2).

2.2. Dedegöldağ (SW-Türkey)

Als Teil des westlichen Zentraltaurus liegt das N–S-streichende Dedegöl-Gebirge ca. 100 km nordöstlich der am Mittelmeer liegenden Küstenstadt Antalya (Abb. 1). TÜRKES (1996) definiert das intramontane Gebiet um den Beyşehirsee (Abb. 1) – eingegrenzt zwischen dem konti-

entalen zentralanatolischen Hochland, mit einer mittleren Höhe von rund 1130 m.ü.M., und der mediterranen Küste im Süden – als Teil der Übergangszone zwischen dem mediterranen und zentralanatolischen Niederschlagsregime mit moderaten Winter- und Frühjahrsniederschlägen. Der Einfluss des Taurusgebirges auf die regionalen jährlichen mittleren Niederschlagstotalen zwischen der der Küste und der dem Landesinneren zugewandten Seite ist beträchtlich: So erhielt die Stadt Beyşehir (1129 m.ü.M.), am südöstlichen Ende des Beyşehirsees gelegen, zwischen 1970 und 2001 im Jahresmittel rund 484 mm Niederschlag und somit ca. 55 % weniger als die Stadt Antalya an der Mittelmeerküste. Für Dedegöldağ selber schätzen DELANNOY & MAIRE (1983) den mittleren Jahresniederschlag zwischen 2000 und 3000 m.ü.M. auf mehr als 1500 mm und charakterisieren die klimatischen Bedingungen als feucht submediterran mit ausgeprägten Winterniederschlägen.

Wir untersuchten das W–E-orientierte und von der Aktivität eines Paläogletschers überprägte Muslu-Tal auf der östlichen, landeinwärts gerichteten Seite des Dedegöldağ. Das Tal ist ca. 3 km lang und durch drei Steilstufen in drei flache Niveaus unterteilt, wobei die obere Steilstufe den Talabschluss bildet und das tiefste Niveau das ehemalige Gletschervorfeld bezeichnet. Der anstehende Fels im Muslu-Tal gehört zum präkambrischen Grundgebirge und besteht aus epimetamorphen feinkörnigen Sandsteinen und Schiefnern, die im Untersuchungsgebiet diskordant von geringmächtigen karbonzeitlichen sedimentären Sandsteinen und Kalken überlagert werden. Die obere Steilstufe und der obere Teil des Dedegöl-Gebirges sind von karstanfälligen Karbonatserien (mit mehr als 1000 m Mächtigkeit) der mittleren und oberen Trias aufgebaut (DUMONT & MONOD, 1976; DELANNOY & MAIRE, 1983; ŞENEL, 1984, 1997). Zwei 50–100 m mächtige Seitenmoränen (ausgezogene Linien in Abb. 3) verlängern das Tal bis auf ca. 1400 m.ü.M., verfüllen das im rechten Winkel dazu streichende Haupttal und bilden eine Wasserscheide auf ca. 1450 m.ü.M. Das Muslu-Tal entwässert in den ca. 650 km³ großen und mit nur etwa 10 m Wassertiefe relativ seichten Beyşehirsee. Eine diffuse Endmoränenstaffel wurde auf ca. 1550 m.ü.M. vorgefunden (gestrichelte Linie in Abb. 3). Weitere Belege für die ehemalige Präsenz eines Muslu-Gletschers sind ca. 200 Höhenmeter weiter talaufwärts gelegen: vom Eis parallel zur Talachse überschiffene Felsoberflächen.

Entlang der Krete der beiden Seitenmoränen wurden gletschertransportierte Blöcke für die Oberflächenexpositionsdatierung beprobt. Die Blöcke sind stratigraphische Glieder des präkambrischen Grundgebirges bzw. der karbonischen Sandsteine. Gemäß dem ^{10}Be -Oberflächenexpositionsalter muss eine Gletschervorstoßphase vor ca. >26,6 ka eingesetzt haben, die sich während des MIS 2 zu einer Maximalausdehnung bis auf ca. 1400 m.ü.M.

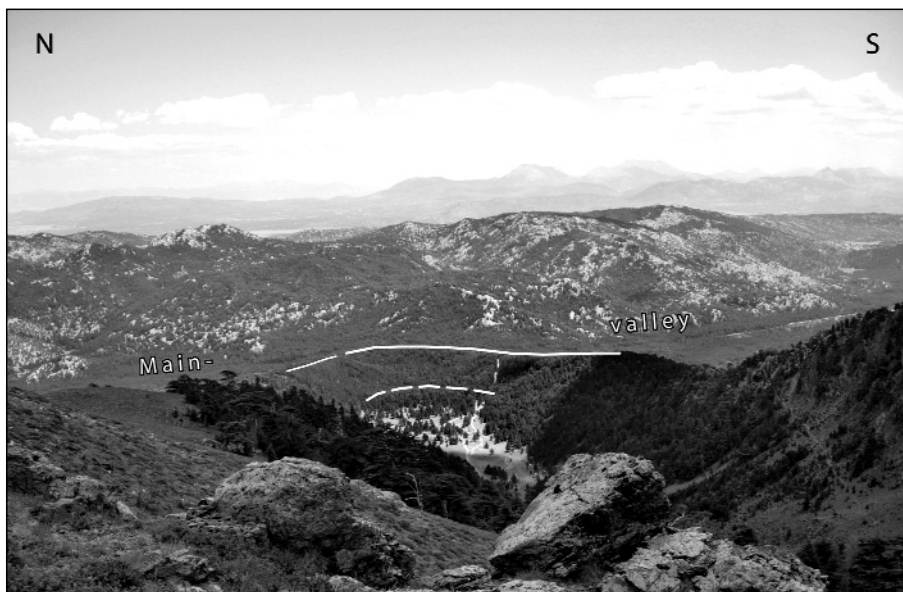


Abb. 3.
Ansicht auf das Zungengebiet des ehemaligen Muslu-Gletschers.
Für weitere Details siehe Text.
Foto: N. AKÇAR, 2005.

entwickelte. Die Eiszunge dieses Talgletschers löste sich nicht vor ca. 19,5 ka von ihrer distalsten Position. Die sich weiter talaufwärts befindende Moränenstaffel ist folglich jünger als ca. 19,5 ka und höchstwahrscheinlich ins Spätglazial zu stellen.

3. Diskussion der Resultate im überregionalen Vergleich

Bereits LOUIS (1944) und darauf aufbauend MESSERLI (1967) besprechen die Spuren der eiszeitlichen Vergletscherung in Anatolien, wobei die untersuchten glazialen Morphologien und Sedimente dem Gletschermaximum der klassischen Würmeiszeit zugeschrieben werden. MESSERLI (1967) berechnete bedeutende wärmzeitliche Schneegrenzdepressionen von generell „eher weniger als 1200 m“ für das östliche Mittelmeerbecken, die eine Folge veränderter Klimaverhältnisse über der anatolischen Halbinsel sind. Sedimente, für die aufgrund ihrer stratigraphischen Stellung und/oder dem Verwitterungsgrad ein prä-würmzeitliches Alter anzunehmen ist, wurden im Bolakdağ (Zentraltaurus), auf Mt. Erciyes (Kappadokien) und im Kavussahap (SE Taurus) beschrieben (Abb. 1) (MESSERLI, 1967; ÇINER, 2004). Die genaue zeitliche Gliederung all dieser pleistozänen Sedimente bleibt unklar, da absolute Datierungen meist fehlen (ÇINER, 2004). Die relativ neue Methode der Oberflächenexpositionsdatierung ermöglicht es hingegen, für glaziale Morphologien ein absolutes Alter zu bestimmen. Die gewonnenen Resultate aus den Untersuchungsgebieten sollen nun mit Daten unterschiedlicher terrestrischer Archive verglichen und so in einen überregionalen Kontext gestellt werden.

Die Gegenüberstellung der vorliegenden Resultate vom Uludağ (NW-Türkei) und Dedegöldağ (SW-Türkei) ergibt ein konsistentes Bild der Vergletscherungsgeschichte mit der letzten maximalen Ausdehnung während des LGM im MIS 2. Im Vergleich wurden die spätglazialen Gletscherfluktuationen vom Zive-Gletscher auf Uludağ in einer größeren morphologischen Dichte abgebildet. Dieser Eindruck könnte damit zusammenhängen, dass der untersuchte Kargletscher wegen seiner kurzen Reaktions- und Anpassungszeiten und der geologischen Situation Änderungen in den klimatischen Randbedingungen schneller in eine korrespondierende morphologische Eisrandlage umzusetzen vermochte. In Anatolien waren bis anhin keine Gletschervorstöße während der Phase der Jüngeren Dryas durch absolute Datierungen belegt. Auf Uludağ konnte nun ein mindestens einphasiger Gletschervorstoß in die Zeit der Jüngeren Dryas datiert werden. Aufgrund der vorliegenden Daten kann auch der spätglaziale Wiedervorstoß der Gletscher im Kavron-Tal des Kaçkar-Gebirges zwischen 13,0 und 11,5 ka als eine Reaktion auf veränderte Klimaverhältnisse während der Periode der Jüngeren Dryas vermutet werden (AKÇAR et al., 2007). Diese Ergebnisse ergänzen die bisherigen terrestrischen Belege für die Präsenz dieser klimatisch ungünstigen Phase in Anatolien, wie beispielsweise die Vegetationsentwicklung, Seespiegelschwankung und Sauerstoffisotopensignatur gespeichert in den laminierten Seesedimentkernen aus dem Vansee (Abb. 1; Wick et al., 2003).

Aufgrund der direkten hydrologischen Anbindung des Muslu-Tals an den Beyşehirsee sollten in dessen Sedimenten weitere Informationen bezüglich der Vergletscherungsgeschichte seines Einzugsgebietes gespeichert sein. Aufgrund fehlender morphologischer Spuren ehemaliger Seestände über dem heutigen Wasserniveau rekonstruierte ROBERTS (1980) die Paläolimnologie mit Hilfe von 17 Sedimentkernen aus der Südhälfte des Sees. Unter den organischen Lagen, die er in den Kernen vorfand, ist die stratigraphisch tiefstliegende Schicht mit 50-150 cm Mäch-

tigkeit auch die markanteste. Die Radiokarbondatierung dieses Materials ergab ein Alter von 24'025 ¹⁴C a BP und wird als eine „marsh“-Bildung am Rand des Beyşehirsees interpretiert, der etwa 10 % seiner aktuellen Fläche besaß (vgl. ROBERTS, 1991; ROBERTS & WRIGHT, 1993). Mindestens eine weitere undatierte organische „marsh“-Schicht liegt in stratigraphisch höherer Position. Beide organischen Bänder sind zwischen dunkel grau-grünen mergeligen Tonen eingelagert. Es wird angenommen, dass diese Sedimente limnischen Ursprungs sind und, da der Fels in den Seesedimentbohrungen nicht erreicht wurde, die kontinuierliche Existenz des Sees mindestens seit 24'025 ¹⁴C a BP belegen (ROBERTS, 1991). Die organischen Lagen repräsentieren folglich regressive Seespiegel in der Vergangenheit des Beyşehirsees. Außerdem besteht zwischen dem Beyşehirsee und dem rund 200 km weiter östlich gelegenen Konya-Becken (Abb. 2) eine hydrologische Verbindung via Suğlasee und Balikliavi-Rinne. Schwermineraluntersuchungen an spätpleistozänen Sedimenten im Konya- und Beyşehir-Suğla-Becken (DE RIDDER, 1965; ROBERTS, 1980) zeigen, dass zur Zeit des letzten bedeutenden Seespiegelhochstandes des spätpleistozänen Konyasees zwischen ca. 23–17 ¹⁴C ka BP (ROBERTS et al., 1999) Wasser und Sedimente vom Beyşehir-Suğla-Becken in die Konya-Depression gelangten und somit in beiden Becken, Beyşehir und Suğla, hohe Seespiegel erreicht werden mussten. Die genaue Abgrenzung dieses letzten bedeutenden Seespiegelhochstandes im Konya-Becken ist gegen die obere, jüngere Grenze hin unklar (ROBERTS et al., 1999), da die Wahrscheinlichkeit besteht, dass Sedimente während der nachfolgenden intensiven ariden Phase zwischen 17–12 ¹⁴C ka BP (ROBERTS et al., 1999) bzw. 17–15,4 ¹⁴C ka BP (FONTUGNE et al., 1999) durch Winderosion ausgeblasen wurden. FONTUGNE et al. (1999) andererseits rekonstruierte und datierte fünf Schwankungsperioden zwischen ca. 22–17 ¹⁴C ka BP, wobei drei Seespiegelhochstände mit zwei Austrocknungsereignissen alternieren. Gesichert scheint eine frühe Phase des Seespiegelhochstandes zwischen 27,2–24,6 ka (U-Th; ROBERTS et al., 1999) bzw. >22,1–20,6 ¹⁴C ka BP (FONTUGNE et al., 1999). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die einsetzende Gletschervorstoßphase um ca. >26,6 ka im Dedegöl-Gebirge in etwa parallel mit dem im Beyşehirsee nach 24'025 ¹⁴C a BP beginnenden Seespiegelanstieg abließ, und auch im Konya-Becken um ca. 27,2 ka (U-Th) die letzte bedeutende Seespiegelhochstandsphase einsetzte.

Weitere aktuelle gletscherchronologische Befunde aus SW-Anatolien kommen vom Mt. Sandiras (2295 m) rund 300 km westlich des Dedegöl-Gebirges (Abb. 1; SARIKAYA et al., in press). ³⁶Cl-Oberflächenexpositionsalter weisen auf eine maximale Vergletscherung vor rund 20,4 ka bis ca. 1900 m.ü.M. hin, gefolgt von einem zweiten Vorstoß bis ca. 19,6 ka. Weitere vergleichende ¹⁰Be-Oberflächenexpositionsdatierungen können auch aus NE-Anatolien, dem Kaçkar-Gebirge (Abb. 1), herangezogen werden (AKÇAR et al., 2007, 2008): Analog zum Dedegöl-Gebirge muss eine Eisaufbauphase >26,0 ka eingesetzt, und die Gletscher anschließend während des LGM eine maximale Position erreicht haben, von der sie sich nicht später als vor ca. 18,3 ka lösten.

Die vorliegenden Daten und Befunde unterschiedlicher Untersuchungen ergeben somit ein einheitliches Bild: Der Beginn des letzten bedeutenden Seespiegelhochstandes im Beyşehir- und Konya-Becken und der Eisaufbau in den untersuchten Gebirgen Anatoliens muss als Reaktion auf dieselben veränderten klimatischen Randbedingungen interpretiert werden, worauf die Gletscher in unterschiedlichen Gebieten Anatoliens während des LGM ein morphologisch eingrenzbare und datierbares Maximum erreichten. Spätglaziale Gletscherschwankungen wurden mor-

phologisch abgebildet, und auf Uludağ belegen Expositionsdatierungen einen mindestens einphasigen Gletschervorstoß während der Jüngerer Dryas.

Literatur

- AKÇAR, N. & SCHLÜCHTER, C.: Paleoglaciations in Anatolia: a Schematic Review and First Results. – *Eiszeitalter und Gegenwart*, **55**, 102–121, 2005.
- AKÇAR, N., YAVUZ, V., IVY-OCHS, S., KUBIK, P.W., VARDAR, M. & SCHLÜCHTER, C.: Paleoglacial records from Kavron Valley, NE Turkey: Field and cosmogenic exposure dating evidence. – *Quaternary International*, **164/165**, 170–183, 2007
- AKÇAR, N., YAVUZ, V., IVY-OCHS, S., KUBIK, P.W., VARDAR, M. & SCHLÜCHTER, C.: A case for a downwasting mountain glacier during Termination I, Verçenik valley, northeastern Turkey. – *Quaternary Research*, **23**(3), 273–285, 2008.
- ALPERT, P., NEEMANN, B.U. & SHAY-EL, Y.: Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. – *Tellus*, **42A**, 65–77, 1990.
- BENN, D.I. & LEHMKUHL, F.: Mass balance and equilibrium-line altitudes of glaciers in high-mountain environments. – *Quaternary International*, **65/66**, 15–29, 2000.
- BIERMANN, P.R.: Using in situ produced cosmogenic isotopes to estimate rates of landscape evolution: A review from the geomorphic perspective. – *Journal of Geophysical Research*, **99** (7B), 13885–13896, 1994.
- BIRMAN, J.H.: Glacial Reconnaissance in Turkey. – *Geological Society of America Bulletin*, **79**(2), 1009–1026, 1968.
- BOLLE, H.-J., MENENTI, M. & RASOOL, I.: *Mediterranean Climate – Variability and Trends*. – 372 S., Berlin (Springer-Verlag) 2003.
- BRINKMANN, R.: *Geology of Turkey*. – 158 S., Stuttgart (F. Enke Verlag) 1976.
- CERLING, T.E. & CRAIG, H.: Geomorphology and in-situ cosmogenic isotopes. – *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **22**, 273–317, 1994.
- ÇINER, A.: Turkish glaciers and glacial deposits. – In: EHLERS, J. & GIBBARD, P.L. (eds.): *Quaternary Glaciations: Extent and Chronology, Part 1: Europe*, 419–429, Amsterdam (Elsevier Publishers) 2004.
- CULLEN, H.M. & DEMENOCAL, P.B.: North Atlantic influence on Tigris-Euphrates streamflow. – *International Journal of Climatology*, **20**, 853–863, 2000.
- DELANNOY, J.J. & MAIRE, R.: Le massif du Dedegöl Dag (Taurus occidental, Turquie). *Recherches de géomorphologie glaciaire et karstique*. – *Bulletin de l'Association de Géographes français*, **60** (491), 43–53, 1983.
- DUMONT, J.F. & MONOD, O.: La serie carbonatée triasique du massif du Dipoyraz Dağ (Taurus occidental, Turquie). – *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA)*, **87**, 19–32, 1976.
- ERINÇ, S.: Glazialmorphologische Untersuchungen auf dem Uludağ (NW-Anatolien). – *Turkish Geographical Review*, **11/12**, 79–94, 1949.
- ERINÇ, S.: Glacial Evidences of the Climatic Variations in Turkey. – *Geografiska Annaler*, **34**(1–2), 89–98, 1952.
- FONTUGNE, M., KUZUCUOĞLU, C., KARABIAKOĞLU, M., HATTÉ, C. & PASTRE, J.-F.: From Pleniglacial to Holocene: a ¹⁴C chronostratigraphy of environmental changes in the Konya Plain, Turkey. – *Quaternary Science Reviews*, **18**, 573–591, 1999.
- GOSSE, J.C. & PHILLIPS, F.M.: Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application. – *Quaternary Sciences Reviews*, **20**, 1475–1560, 2001.
- KETIN, I.: Über die Tektonik des Uludağ-Massivs. – *Turkish Geological Society*, **1**, 59–88, 1947.
- LOUIS, H.: Die Spuren eiszeitlicher Vergletscherung in Anatolien. – *Geologische Rundschau*, **34**, 447–481, 1944.
- MESSELI, B.: Die eiszeitliche und die gegenwärtige Vergletscherung im Mittelmeerraum. – *Geographica Helvetica*, **22**(3), 105–228.
- OERLEMANS, J.: Extracting a Climate Signal from 169 Glacier Records. – *Science*, **308**, 675–677, 2005.
- OHMURA, A., KASSER, P. & FUNK, M.: Climate at the equilibrium line of glaciers. – *Journal of Glaciology*, **38** (130), 397–411, 1992
- OSMASTON, H.: Estimates of glacier equilibrium line altitudes by the Area × Altitude, the Altitude × Altitude Balance Ratio and the Area × Altitude Balance Index methods and their validation. – *Quaternary International*, **138/139**, 22–31, 2005.
- RAICICH, F., PINARDI, N. & NAVARRA, A.: Teleconnections between Indian Monsoon and Sahel rainfall and the Mediterranean. – *International Journal of Climatology*, **23**, 173–186, 2003.
- DE RIDDER, N.A.: Sediments of the Konya Basin, central Anatolia, Turkey. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **1**, 255–254, 1965.
- ROBERTS, N.: Late Quaternary Geomorphology and Palaeoecology of the Konya Basin, Turkey. – Unpublished Ph.D. thesis, London University, London 1980.
- ROBERTS, N.: Late Quaternary Geomorphological Changes and the Origins of Agriculture in South Central Turkey. – *Geoarchaeology*, **6**(1), 1–26, 1991.
- ROBERTS, N. & WRIGHT, H.E., Jr.: Vegetational, Lake-Level, and Climatic history of the Near East and Southwest Asia. – In: WRIGHT, H.E., Jr, KUTZBACH, J.E., WEBB, T., III, RUDDIMAN, W.F., STEET-TERROTT, A.F. & BARTLEIN, P.J. (eds.): *Global Climates since the Last Glacial Maximum*, 194–220, Minneapolis (Minnesota Press) 1993.
- ROBERTS, N., BLACK, S., BOYER, P., EASTWOOD, W.J., GRIFFITHS, H.I., LAMB, H.F., LENG, M.J., PARISH, R., REED, J.M., TWIGG, D. & YİĞİTBAŞIOĞLU, H.: Chronology and stratigraphy of Late Quaternary sediments in the Konya Basin, Turkey: Results from the KOPAL Project. – *Quaternary Science Reviews*, **18**, 611–630, 1999.
- SARIKAYA, M.A., ZREDA, M., ÇINER, A. & ZWECK, C.: Cold and wet Last Glacial Maximum on Mount Sandiras, SW Turkey, inferred from cosmogenic dating and glacier modeling. – *Quaternary Science Reviews*, in press.
- ŞENEL, M.: Discussion on the Antalya nappes. – In: TEKELI, O. & GÖNCÜOĞLU, M.C. (eds.): *The Geology of the Taurus belt. Mineral Research and Exploration Institute (MTA)*, 41–51, Ankara 1984.
- ŞENEL, M.: *Türkiye Jeoloji Haritaları, Isparta patrası*, 1 : 250 000, No. 4. – General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), 47 S., Ankara 1997.
- TOLUN, R.: A Study on the Concentration Tests and Beneficiation of the Uludağ Tungsten Ore. – *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA)*, **46/47**, 106–127, 1955.
- TÜRKEŞ, M.: Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. – *International Journal of Climatology*, **18**(9), 1057–1076, 1996.
- TÜRKEŞ, M. & ERLAT, E.: Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic Oscillation during the period 1930–2000. – *International Journal of Climatology*, **23**, 1771–1796, 2003.
- VAN DER KAADEN, G.: On the Genesis and Mineralization of the Tungsten Deposit Uludağ. – *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA)*, **50**, 33–42, 1958.
- VAN DER KAADEN, G.: Age Relations of Magmatic Activity and of Metamorphic Processes in the Northwestern Part of Anatolia – Turkey. – *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA)*, **52**, 15–33, 1959.
- WALKER, M.: *Quaternary Dating Methods*. – 499 S., Chichester, UK (John Wiley & Sons, Ltd), 2005.
- WICK, L., LEMCKE, G. & STURM, M.: Evidence of Lateglacial and Holocene climatic change and human impact in eastern Anatolia: high-resolution pollen, charcoal, isotopic and geochemical records from the laminated sediments of Lake Van, Turkey. – *The Holocene*, **13**(5), 665–675, 2003.
- WIGLEY, T.M.L. & FARMER, G.: Climate of the Eastern Mediterranean and Near East. – In: BINTLIFF, J.L. & VAN ZEIST, W. (eds.): *Paleoclimates, Paleoenvironments and Human communities in the Eastern Mediterranean region in Later Prehistory*, BAR International Series, **133**(i), 3–37, 1982.