



Jahrbuch 2024

Herausgegeben vom
Vorstand der Marburger Geographischen Gesellschaft e. V.
in Verbindung mit dem Dekanat des Fachbereichs Geographie
der Philipps-Universität Marburg

Sonderdruck

Der Inhalt dieses Sonderdrucks oder Teile davon dürfen nicht ohne die schriftliche Genehmigung der Herausgeber vervielfältigt, in Datenbanken gespeichert oder in irgendeiner Form übertragen werden. Sie dürfen ausschließlich zum persönlichen Gebrauch ausgedruckt oder gespeichert werden.

Marburg/Lahn 2025

FELIX-HENNINGSSEN, PETER

Die *Grüne Sahara* im Holozän – auf Spurensuche nach einer vergangenen Umwelt

Einleitung

Die Erforschung des Klima- und Landschaftswandels der heutigen Wüsten ist international gerade vor dem Hintergrund der gegenwärtigen Klimaveränderung von großem Interesse. Sie basiert auf Identifikation, genetischer Interpretation und absoluter Datierung von sog. Proxys. Diese sind Indikatoren für aride Klimabedingungen, z. B. Dünen in der heute vegetationsbedeckten Sahelzone, während humide Klimaphasen der Vergangenheit in der heutigen Vollwüste durch Fossilien von Pflanzen und Tieren, Paläoböden, Seeablagerungen und Spuren prähistorischer menschlicher Besiedlung in den sich ausbreitenden Savannen angezeigt werden. Letztere ist durch die weit verbreiteten Funde steinzeitlicher Artefakte (z. B. Steinwerkzeuge, Schmuck, Tonscherben) und Felsgravuren belegt, die neben Menschen und den seit etwa 7.000 Jahren domestizierten Rindern auch Herden aus Säugetieren (Giraffen, Nilpferde etc.) zeigen, die heute nur in der tropischen Feuchtsavanne beheimatet sind.

Menschliche Skelette, die nähere Rückschlüsse auf Herkunft und Lebensweise geben könnten, sind extrem selten, da sie verwitterten oder die mechanische Beanspruchung durch Wind- und Wassererosion nicht überstanden. Durch einen bisher einmaligen Zufall entdeckte der Paläontologe und Saurierforscher Paul SERENO Anfang der 2.000er Jahre ein steinzeitliches Gräberfeld (SERENO et al. 2008), angelegt auf Dünenrücken in einem Paläoseebecken in der südlichen Sahara von Ost-Niger. Es wurde von SERENO und später von italienischen Prähistorikern bearbeitet (GARCEA 2013). Die Gräber enthalten intakte Skelette von Menschen zweier unterschiedlicher Zivilisationen, die zwischen 9.500 und 4.500 Jahren vor heute (im Folgenden 9,5–4,5 ka) an dem Seeufer in Gobero lebten. Die archäologischen Grabungen wurden durch interdisziplinäre Untersuchungen zur Rekonstruktion der früh- bis mittelholozänen Paläoumwelt begleitet. Von besonderem Interesse waren seitens der Archäologen die Fragen, welche Wasserressourcen (Fläche, Tiefe) der See über die Jahrtausende bot und wie lange die Möglichkeit einer Nutzung der aquatischen Fauna (u. a. Fische, Muscheln, Krokodile, Schildkröten), der Wildtiere der Savanne und der Wasserpflanzen als ausschließliche Nahrungsquellen gegeben war.

Auch aus hydrologischer und geomorphologischer Sicht ergaben sich interessante Fragestellungen. Die Probleme, die sich einer räumlichen und zeitlichen Rekonstruktion der Paläohydrologie entgegenstellten, waren u. a. ein sehr flaches Seebecken ohne visuell auszumachende Höhenunterschiede sowie nicht identifizierbare Seeufer und, bis auf kleine Reste, weitgehend ausgeblasene Sedimente des Seebodens. Dieses erforderte eine Spurensuche nach Indikatoren für wechselnde Seespiegelstände und deren Analyse, Datierung sowie Höhenmessungen im Zentimeterbereich.

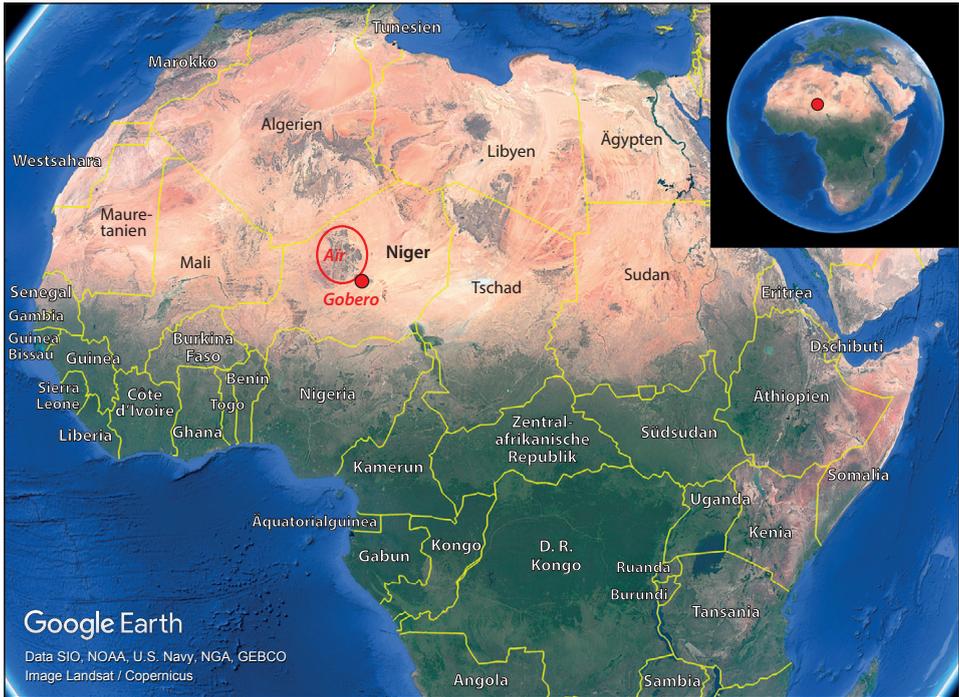


Abb. 1: Lage des Paläosees Gobero in der südlichen Sahara der Republik Niger

Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse der bodenkundlichen und geomorphologischen Untersuchungen in der Umgebung des Gräberfeldes von Gobero in der Sahara von Ost-Niger in den Mittelpunkt. Er zeigt, dass erst eine multidisziplinäre Analyse und Interpretation der Ergebnisse eine valide Rekonstruktion des Klima- und Landschaftswandels der vergangenen Jahrzehntausende ermöglicht.

Klimawandel in der Sahara

Das Klima der Sahara und der südlich angrenzenden Sahelzone wird durch zwei global wirkende Klimasysteme bestimmt, durch den NE-Passat und den SW-Monsun, die, über Jahrtausende betrachtet, nicht stabil waren, sondern in Dauer und Intensität Schwankungen unterlagen. Daher kam es im gesamten Pleistozän und Holozän in Nordafrika zu mehreren, teilweise abrupten Wechseln von ariden und humiden Phasen. In Kaltphasen auf der Nordhalbkugel wurde der Monsun zurückgedrängt und der NE-Passat dehnte sich weit über die Südgrenze der Sahara aus, was eine Ausweitung der flächen- und linienhaften Dünensysteme über mehrere hundert Kilometer nach Süden in der heutigen Sahelzone zur Folge hatte. Ein wärmeres Klima führte zur Verstärkung des Monsuns, so dass sich der Wüstenrand von seiner heutigen Position (etwa 16° nördliche Breite) über mehrere hundert Kilometer nach Norden bis in die heutige Zentralsahara verlagerte. Folglich konnte sich in der heutigen Vollwüste eine

belebte Savanne ausbreiten. Insgesamt pendelte die Sahara-Sahel-Grenze im Wechsel von Trocken- und Feuchtzeiten über eine N-S-Distanz von mehr als 700 km.

Über feuchtere Klimaphasen im älteren Pleistozän ist aus einzelnen Vorkommen von archäologischen Funden und Paläoböden im Wesentlichen bekannt, dass sie existiert haben und eine menschliche Besiedlung ermöglichten (SCERRI 2017, FELIX-HENNINGSSEN 2019). Fragen des Alters, der Dauer und der Paläoumwelt dieser alten Feuchtzeiten sind offen. Dagegen ist der Verlauf des Klima- und Landschaftswandels im Jungpleistozän und Holozän durch zahlreiche Vorkommen sog. Proxys recht gut belegt (BAUMHAUER et al. 2009). Dazu zählen u. a. immobile Altdünen mit Paläoböden (FELIX-HENNINGSSEN 2000), Seesedimente (BAUMHAUER 2004), Felsgravuren und Artefakte als Zeugen menschlicher Besiedlung (STRIEDTER et al. 1995) sowie fossile Pollen und Pflanzenreste (MALEY 1981).

Das obere Jungpleistozän, klimatisch eine Kalt-(Eis-)zeit, war seit mindestens 30.000 Jahren eine überwiegend aride Periode, in der die Paläodünen der heutigen Sahelzone entstanden (FELIX-HENNINGSSEN et al. 2009). Mit der ersten spätglazialen Klimaerwärmung um 14 ka setzte, zunächst mit Rückschlägen, eine humide Periode ein, die international als *African Humid Period* (AHP) bezeichnet wird und bis in das ausgehende Mittelholozän (etwa 4 ka) andauerte.

Die Ursachen für Klimaschwankungen in der Sahara aus der Zeit vor 30 ka mit Wechseln von extremer Aridität mit Dünenausbreitung und Feuchtzeiten liegen weitgehend im Dunkeln, dürften aber, wie auch für die jungpleistozänen Klimaschwankungen, maßgeblich auf orbitale Einflüsse zurückgehen, die phasenweise zu einer veränderten Einstrahlung führten und sich damit auf das Passat-Monsun-System auswirkten (RENSSEN et al. 2003, 2006). Dämpfend oder verstärkend kamen Wechselwirkungen zwischen den Klimafaktoren mit dem Festland (Boden und Vegetation über Wasserspeicherung, Verdunstung, Strahlungsadsorption bzw. Reflexion) und dem Ozean hinzu. Dessen steigende Wassertemperatur im Frühholozän verstärkte den Monsuneinfluss und folglich die humiden Klimabedingungen in der Sahara (BROSTRÖM et al. 1998). Hingegen führte eine kurzzeitige Abkühlung des Nordatlantiks durch die spontane Entleerung des laurentischen Eisstausees in Kanada um 8.2 ka zu weltweit nachweisbaren klimatischen Veränderungen. In Nordafrika wurde die Feuchtzeit durch ein arides Intervall unterbrochen, das in der Paläoklimaforschung als *8.2 k-event* bezeichnet wird (ALLEY et al. 1997) und das auch durch Klimamodelle für die Westsahara (CLAUSSEN et al. 1999) und datierte Sedimente in einem Tiefseekern aus dem westafrikanischen Atlantik (DEMENOCAI et al. 2000) bestätigt wurde.

Das anschließende Mittelholozän war klimatisch instabiler und durch einen Trend zunehmender Aridität gekennzeichnet, der in der Zentralsahara bereits bis 5 ka zu einer vollständigen Verdunstung der ausgedehnten, frühholozänen Paläoseen führte (BAUMHAUER 2004). Danach wurde das Klima auch in der südlichen Sahara trockener und mittel- bis jungholozäne Dünenfelder breiteten sich aus.

Das Untersuchungsgebiet

Der Paläosee von Gobero. Gobero ist eine Region südlich des Air-Gebirges in der südlichen Sahara Ost-Nigers. Das flach eingetiefte Paläoseebecken befindet sich auf einem kreidezeitlichen Sandsteinplateau. Im Südwesten und Süden wird das Seebecken von der tektonischen Störung *Mazelet* mit Kämmen aus aufgedrückten Sandsteinen begrenzt, die Höhen von 600 bis 610 m ü. NN erreichen. Im Westen trennt ein flacherer Störungsrücken das Gobero-Becken von einem 15 Meter tiefer gelegenen Seebecken, das vor allem durch einen Überlauf aus dem Gobero-Paläosee gespeist wurde. Seine Größe betrug zum Zeitpunkt des maximalen Seespiegels 11 km², der größte Durchmesser von NE nach SW betrug etwa 5,7 km und von SE nach NW 3,1 km. Es ist von einem massiven Beitrag des Grundwassers auszugehen, da die Größe des Einzugsgebiets durch die Lage auf der Wasserscheide zwischen dem Niger- und dem Tschadbecken im Vergleich zu vielen anderen Paläoseen der Sahara zu klein ist, um einen See dieser Größe mit einer permanenten Wasserführung zu erzeugen. Eine Vielzahl an Quellen, die aus einem Aquifer des kretazischen Sandsteins gespeist wurden, trugen daher zur Existenz des Sees bei. Bleichungen der (normalerweise rotbraunen) Sandsteine und Lagen aus Manganoxid an den Quellstandorten entlang der tektonischen *Mazelet*-Störung belegen den Austritt von Grundwasser. Der Grundwasserleiter gehörte offensichtlich zu einem mit dem Air-Gebirgsmassiv verbundenen System, das gespeist von orographischen Niederschlägen und Abflüssen zum Gebirgsvorland hin, auch in klimatisch trockeneren Perioden zu anhaltenden Quellschüttungen in Gobero führte.

Uferzonen sind als Folge der starken Deflation nicht mehr erkennbar. Der Boden des Paläosees besteht zumeist aus dem durch Deflation der Seesedimente freigelegten kretazischen Sandstein, der durch den Einfluss der langen Überflutung an der Oberfläche gebleicht ist, da das rotbraun färbende Eisenoxid herausgelöst wurde. In begrenzten Flecken treten Reste von geringmächtigen, grauen Seeablagerungen auf, die aus humosem, schluffigem Feinsand bestehen und an der Oberfläche durch die Spuren von Rhizomen der *Helophyten* (Papyrus, Schilf, Binsen) und kreisrunden Fischnestern strukturiert werden.

Paläodünen mit Gräbern. Auf dem Seeboden kommen unregelmäßig verteilte, flache, schildförmige Rücken aus Altdünen vor, die allesamt im Jungpleistozän vor mehr als 11 ka (belegt durch Lumineszenzdatierung) abgelagert wurden. Sie sind bis zu 2,5 Meter hoch mit Durchmessern von 5 bis 100 Metern, die infolge der Erosion durch Wellen bei einem ansteigenden oder absinkenden Wasserspiegel des Paläosees abgeplattet wurden. Die Paläodünen ragten zeitweilig als Inseln über den Wasserspiegel, bis auch die höchsten von ihnen durch den ansteigenden Seespiegel während des Feuchteoptimums im Frühholozän überflutet wurden.

Diese pleistozänen Altdünen waren während der früh- bis mittelholozänen Feuchzeit von dichter Vegetation bestanden, da sie, im Gegensatz zu dem umgebenden Sandstein, Wurzelraum für die Pflanzen boten. Auch für die Menschen, die am See-

ufer lebten, waren die Altdünen sowohl als Rastplätze (belegt durch Abfallhaufen aus Fischgräten, Muschelschalen und Tierknochen) als auch als Begräbnisplätze attraktiv, da es die einzigen Orte waren, die eine Erdbestattung ermöglichten. Es handelt sich um den ältesten erhaltenen und bekanntesten Begräbnisplatz der Sahara (SERENO et al. 2008). Mehrere hundert menschliche Grabstätten, die im Seebecken verteilt sind, sowie Artefakte, Abfallgruben und Keramik zeugen von zwei Phasen der prähistorischen Besiedlung des Seegebiets im frühen und mittleren Holozän. Das anthropologische Inventar, das während der ersten Expeditionen in den Jahren 2000 bis 2006 gefunden wurde, wurde von SERENO et al. (2008) ausführlich untersucht. Weitere archäologische Ergebnisse wurden von einer Reihe internationaler Wissenschaftler in einem multidisziplinären Sammelband veröffentlicht, der von GARCEA et al. (2013) herausgegeben wurde. Mehrere interdisziplinäre Untersuchungen unter der Leitung von Paul SERENO wurden zwischen 2011 und 2022 durchgeführt und brachten weitere herausragende Ergebnisse über die Herkunft, Kultur und Lebensweise der prähistorischen Gesellschaften.

Eine erste Besiedlung im Frühholozän erfolgte durch die *Kiffaer* (benannt nach dem Typusort Adrar-n-Kiffi bei Adrar Bous etwa 500 km nördlich), die sich als sesshafte Fischer, Jäger und Sammler von Fischen, Krokodilen, Schildkröten und Wildtieren der Savanne ernährten. Die *Kiffaer* nutzten die Altdüne als Begräbnis- und Siedlungsplatz. Ihre Skelette weisen Alter zwischen 9,7 ka und 8,2 ka auf und sind stets schwarzbraun gefärbt, da die Oberfläche der Knochen als Folge der langen Überflutung im Paläosee mit Fe/Mn-Oxiden imprägniert wurde. Es ist ein sicherer Beleg dafür, dass auch die Gräber auf den höchsten Altdünen von dem ansteigenden Seespiegel überflutet wurden. Steinwerkzeuge, Harpunenspitzen und Haken aus Knochen sowie Keramik mit gepunkteten Wellenlinien- und Zickzack-Motiven dienten als Grabbeigaben. Das abrupte Ende der *Kiffaer*-Kultur in Gobero fiel etwa mit dem 8.2 *k-event* zusammen. Aus den fehlenden Spuren einer Besiedlung nach 8,2 ka folgerten SERENO et al. (2008), dass der See austrocknete und die Menschen ihre Lebensgrundlage verloren.



Abb. 2/3: Skelette der *Kiffaer* (9,5–8,2 ka, links) sind durch Imprägnation mit Eisenoxid unter Seebedeckung dunkelbraun, während die Skelette der *Tenereer* (6,9–4,3 ka, rechts) nie im Wasser gelegen haben und daher hell gefärbt sind (Fotos: © P. Felix-Henningsen)

Eine zweite Phase der Besiedlung durch die Bevölkerungsgruppe der *Tenereer* erfolgte im klimatisch wieder günstigeren Mittelholozän ab etwa 6,9 ka. Im Gegensatz zu den robusten, bis zwei Meter großen *Kiffaer*, die vermutlich aus Nordafrika einwanderten, waren die *Tenereer* von grazilerem Körperbau. Die ältesten Skelette in dieser Phase haben bunte oder dunkel gefärbte Knochen und scheinen nach ihrer Bestattung Überschwemmungsepisoden erlebt zu haben. Ab 6,5 ka sind die Skelette weiß und ohne Eisenoxid-Imprägnation. Das zeigt, dass der Paläosee zwar noch vorhanden und Lebensgrundlage der Menschen war, aber nicht mehr die Höhe erreichte, um die Gräber auf den Paläodünenrücken langfristig zu überfluten. In 20 % der Gräber befanden sich Beigaben aus Knochen oder Stoßzähnen von Wildtieren, Keramik, neolithischen Pfeilspitzen sowie Knochen-, Elfenbein- und Muschelschmuck (SERENO et al. 2008). Die sesshaften Jäger und Sammler betrieben, wie schon die *Kiffaer*, eine diversifizierte Subsistenzwirtschaft auf der Grundlage von Muscheln, Fischen und Wirbeltieren aus der Savanne. Für eine Ernährung von den bereits um 7,5 ka domestizierten Rindern (Milch, Fleisch) wurden in Gobero nur vereinzelte Belege für das Mittelholozän gefunden. Diese sind möglicherweise auf stationäre Tierhaltung oder auf Tauschhandel mit nomadisierenden Viehzüchtern zurückzuführen. MANNING et al. (2023) vermuten als Ursache die auch anderenorts in der Sahara festgestellte Spezialisierung auf die zunehmende Aridität im Mittelholozän.

Paläowasserstände und ihre Indikatoren

Die hervorragende Erhaltung der empfindlichen menschlichen Knochen und Artefakte war nur möglich, weil sich über den Grabstellen auf den Plateaus der Paläodünen, die teilweise mehr als 2 m über dem Seeboden lagen, nach der Bestattung harte Krusten aus Eisenoxiden (*Ferricretes*) oder Kalk (*Calcretetes*) entwickelten. Sie schützten einen großen Teil der Skelette vor Zerstörung durch Ausblasung und Erosion. Es war zu vermuten, dass die Bildung dieser Krusten in Beziehung zu den Wasserständen des Paläosees stand.

Die Höhenlage der Krusten wurde mit einem extrem genauen RTK-GPS (*Real Time Kinematik*) eingemessen. Mit dem Verfahren sind Höhenunterschiede im Vergleich zu einer im Untersuchungsgebiet installierten Referenzstation im Zentimeterbereich zu bestimmen. Die Krusten wurden beprobt und physikalisch (Korngrößenverteilung der Silikatfraktion), chemisch (Gehalte an Carbonaten, Metalloxiden, Salzen und organischer Substanz) und mikromorphologisch untersucht. Das Alter der in den Krusten enthaltenen organischen Substanz wurde mittels der AMS-¹⁴C-Datierung bestimmt, die bereits bei einem sehr geringen Kohlenstoffgehalt valide Alter ergibt. Die Rohdaten wurden mit dem *Oxcal*-Programm in „Jahre vor 1950“ kalibriert. Bei den Kalkkrusten wurde zusätzlich das Alter des anorganischen (Carbonat-)Kohlenstoffs bestimmt.

***Ferricretes*:** Bei zahlreichen Altdünenschilden, die in unterschiedlicher Höhenlage innerhalb des Seebeckens verbreitet sind, werden die Plateaus von massiven, häufig miteinander verbackenen Konkretionen aus Eisenoxid (*Ferricretes*) ohne Kalkkrusten

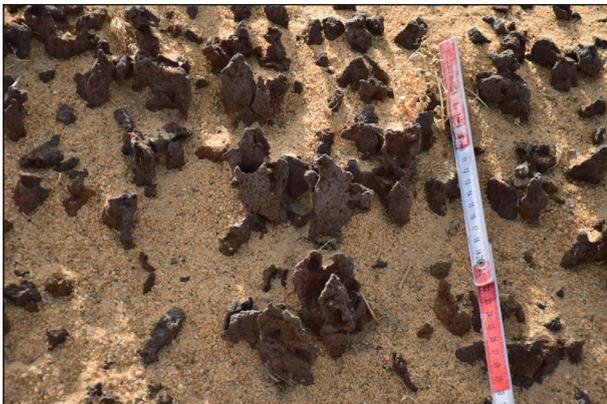


Abb. 4/5:
Paläoseebecken von Gobero mit 1 m hohen, durch Wellenerosion abgeplatteten Altdünenschilden (oben), die von einer dichten Kruste aus Sumpferz (*Ferricrete*) bedeckt sind. Typisch sind zentrale Röhren der ehemaligen Pflanzensubstanz und Seitenverzweigungen (Detailaufnahme unten). (Fotos: © P. Felix-Henningsen)

bedeckt. Diese steinartigen Konkretionen kommen meist stängelartig oder massiv mit vertikalen Gängen vor. Ihre Entstehung erfolgte in-situ im Dünen sand unter der Mitwirkung von Wasserpflanzen. Sie sind in den Paläoseen der Dünengebiete in der Sahara weit verbreitet und werden als *Sumpferz* bezeichnet (FELIX-HENNINGSSEN 1998, 2003). In Gobero wurden nur die überfluteten Altdünen von *Helophyten* wie Papyrus Schilf, Binsen und Rohrkolben besiedelt, da sie, im Gegensatz zum Sandstein des Paläoseebodens, einen ausreichenden Wurzelraum boten. Zur Wurzelatmung leiten diese Pflanzenarten über ihr Aerenchym Luft in die Stängelbasis und Rhizome, die über die Epidermis in das umgebende Sediment diffundiert. Daher schied sich im Wasser gelöstes Eisen (Fe^{2+}), das unter reduzierenden Bedingungen am Seeboden aus dem oxidreichen Sandstein herausgelöst wurde, durch Oxidation im Sediment um die luftführenden Rhizome und an der Stängelbasis als Ockerschlam ab. Je älter der Pflanzenbestand

wird, umso mehr Fe-Oxid wurde angereichert. Mit dem sinkenden Wasserspiegel und dem Austrocknen des Sediments verhärtete der Ockerschlammschicht irreversibel und wurde zudem durch die Adsorption von gelöster Kieselsäure an die Eisenoxide steinhart.

Die Sumpferze kennzeichnen einen Flachwasserbereich mit Wassertiefen von durchschnittlich 50 cm. Da die Anreicherung der großen Menge an Eisenoxid Zeit in Anspruch nahm, muss der Seespiegel über Jahrzehnte bis einige Jahrhunderte in einer gleichbleibenden Höhe verweilt haben, wenn der Trend der Austrocknung durch humidere Phasen mit höheren Niederschlagsmengen unterbrochen wurde. Die kalibrierten ^{14}C -Alter der *Ferricretes* zeigen, dass alle Sumpferze zwischen 8 ka und 7 ka gebildet wurden, also genau in dem Zeitraum, für den SERENO et al. (2008) ein Austrocknen des Sees und eine Abwanderung der Bevölkerung postulieren.

Das Gegenteil ist der Fall! Das topographisch höchstgelegene Sumpferze auf der Höhe des See-Überlaufs zu einem tiefer liegenden Seebecken weist das höchste Alter um 8 ka auf. Daraus folgt, dass vor 8.000 Jahren, als die Menschen die Region längst verlassen hatten, der See noch seine maximale Ausdehnung besaß und die frühholozänen Siedlungs- und Begräbnisplätze der *Kiffaer* mehr als 5 m tief überflutet waren. Mit abnehmender topographischer Höhe weisen die Sumpferze zunehmend jüngere Alter auf und belegen ein langsames Absinken des Seespiegels mit zwischengeschalteten Stillstandsphasen. Durch die Sümpfe um den See dürfte Malaria verbreitet gewesen sein, so dass die Region über 1.000 Jahre lang für Siedler nicht attraktiv war.

Calcretes: Auf flachen Dünenschilden und an der Dünenbasis treten ausschließlich harte Krusten aus verbackenen Kalkstängeln oder einzelne harte Kalkstängel (*Calcretes*) ohne Oxidkrusten auf. Ihr Habitus zeigt eine Entstehung im Wurzelraum von Landpflanzen und damit ebenfalls eine dichte Vegetationsbedeckung an. Die Vegetation filterte kalkhaltigen Staub aus der Atmosphäre, der den ausgetrockneten Paläosen der Zentralsahara entstammte. Mit dem Beginn der sommerlichen Regenzeit wurde der auf dem Boden abgelagerte Kalkstaub gelöst und als Ca-Bicarbonat mit dem Sickerwasser in den Wurzelraum verlagert. Die Aufkonzentration durch Wasserentzug mit einsetzender Trockenheit, der Ausschluss der Ca-Ionen von der Aufnahme in die Wurzeln und ein steigender pH-Wert an der Wurzeloberfläche führten zur Fällung von Ca-Carbonat und Umhüllung der Wurzeln mit weichem Kalk, der bei Austrocknung des Bodens steinartig verhärtete.

Calcretes sind Indikatoren für ein Trockenklima mit kurzen Regenzeiten, deren Regenmenge ($<500 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$, NETTERBERG 1969, KLAPPA 1980) für eine tiefere Auswaschung des gelösten Kalks nicht ausreichte. Die Bildung und Verbreitung der *Calcretes* in Gobero war ebenfalls an die Altdünen gebunden, da diese der Vegetation (im Gegensatz zum Sandstein) einen ausreichenden Wurzelraum boten und Niederschlagswasser für die Vegetation aus Landpflanzen (Gräser und Zwergsträucher) speicherten. Somit war am Standort der *Calcretes* zu ihrer Bildungszeit ein See nicht mehr vorhanden, denn geringere Niederschläge reichten nicht aus, um den Wasserspiegel gegen die zunehmende Austrocknung zu stabilisieren. Die Alter der *Calcretes* bewegen sich

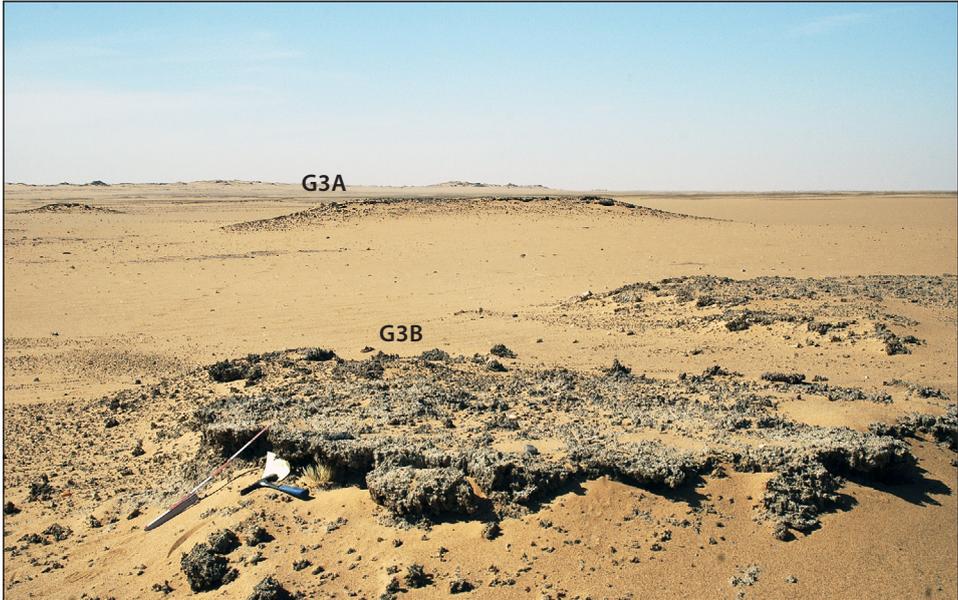


Abb. 6/7:
 Paläoseebecken von Gobero mit flachen Altdünenschilden, die aus einer Kalkkruste (*Calcrete*, oben mit der Bezeichnung G3B) mit zementierten, stängelartigen Kalkhüllen um die Pflanzenwurzeln bestehen (unten). Oben im Bildhintergrund (G3A) ein höherer Altdünenschild mit Bedeckung durch Sumpferz.
 (Fotos: © P. Felix-Henningsen)

im Zeitraum zwischen 6 ka und 4 ka und werden mit abnehmender topographischer Höhe jünger. Der *Calcrete* im tiefsten Bereich des Paläoseebeckens weist ein Alter von 4,3 ka auf. Danach reichten die Niederschläge offenbar nicht mehr aus, um Vegetation, Kalkeinwaschung und *Calcretebildung* zu ermöglichen. Dieser Zeitraum stimmt in etwa mit den letzten Siedlungs- und Begräbnisspuren überein (SERENO et al. 2008).

Paläohydrologie

Aus den Höhendaten und den Altersbestimmungen der Sumpferze und des jüngsten *Calcrete* konnte eine Ganglinie des Paläoseespiegels in ihrem zeitlichen Verlauf modellhaft abgeleitet werden. Sie ist aufgrund der geringen Probenzahl relativ grob und spiegelt kurzfristige Schwankungen nicht wider. Mit einem digitalen Höhenmodell

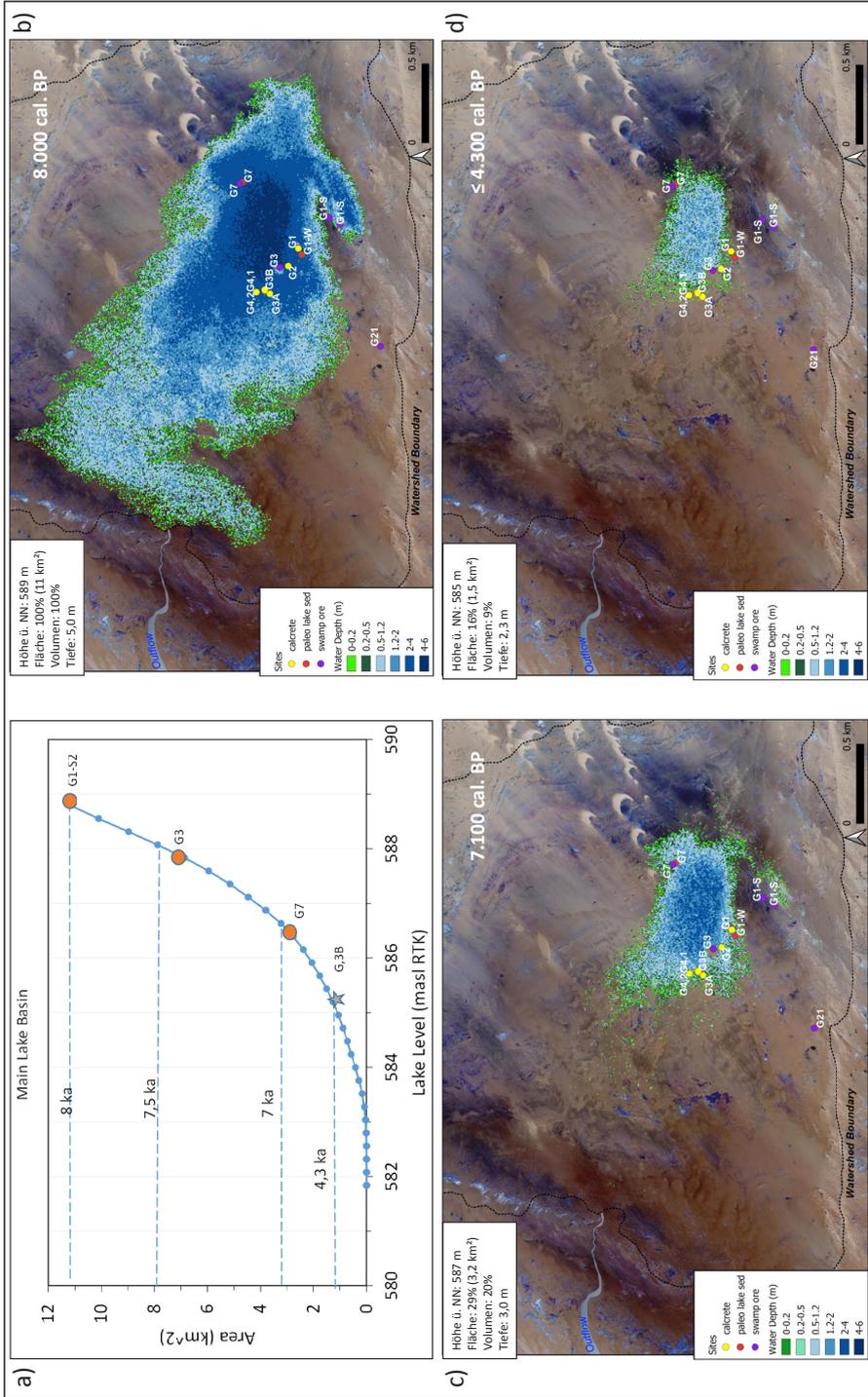


Abb. 8: Paläosee Gobero: (a) Ganglinie des Paläoseespiegels mit Wasserfläche und Höhe des Seespiegels ü. NN. (b-d) GIS-Modellierung der Was-serflächen und -tiefen (blau), der Sumpf- und Flachwasserzonen (grün) und der hydrologischen Daten zu verschiedenen Zeitpunkten im Holozän.

(DEM) in Kombination mit einem Geografischen Informationssystem (GIS) konnten gleichwohl für jede Zeitscheibe die Fläche, die Tiefe und das Wasservolumen sowie der Schilfgürtel um den See berechnet und dargestellt werden (Abb. 8).

Die Ergebnisse zeigen, dass in der 1.000-jährigen Zeitspanne zwischen dem Maximalstand mit rund 11 km² um 8 ka bis zum Beginn des Mittelholozäns um 7 ka der See rund 70 % seiner Fläche und 80 % seines Volumens durch Verdunstung, ausbleibende Niederschläge und nachlassende Quellschüttungen einbüßte. SERENO et al. (2008) hatten somit recht, wenn sie eine zunehmende Aridisierung der Sahara nach dem 8.2 *k-event* vermuteten. Allerdings war das nicht die Ursache für das Aussterben der *Kiffaer*-Kultur, sondern es waren die Überflutung der Altdünen und später die Ausbreitung von Sümpfen um den schwindenden See (einhergehend mit der Gefahr durch Malaria), die eine Neubesiedlung erst unter den trockeneren Bedingungen im Mittelholozän möglich machten. Um 4,3 ka war das Klima wüstenhaft, ermöglichte aber noch die menschliche Nutzung des Sees, der nur noch 9 % seiner ursprünglichen Größe (immerhin noch 150 ha) und eine Wassertiefe von zwei Metern aufwies. Somit waren bis zum ausgehenden Mittelholozän die Voraussetzungen gegeben, dass die Menschen ihre Spezialisierung durch eine an die aquatischen Ressourcen gebundene Lebensweise aufrechterhalten konnten. Dieses wurde vor allem durch die Ausbreitung wüstenhafter Bedingungen in den Dünengebieten begünstigt, die eine Versorgung durch alternative Nahrungsquellen (z. B. Jagd, Rinderhaltung) nicht mehr zuließ. Eine Besiedlung durch sesshafte *Tenereer* ist danach nicht mehr nachweisbar (SERENO et al. 2008).

Literatur

- ALLEY, R. B., [et al. + 4] & P. U. CLARK (1997): Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 yr ago. In: *Geology* 6: 483–486.
- BAUMHAUER, R. (2004): Die spätpleistozänen und holozänen Paläoseen in der zentralen Sahara – neue Ergebnisse aus der Ténéré, dem Erg de Ténéré und dem Erg de Fachi-Bilma, NE-Niger. In: *Die Erde* 135: 289–313.
- BAUMHAUER, R., FELIX-HENNINGSSEN, P. & B. SCHÜTT (2009): Geomorphological and palaeoenvironmental research in the South-Central Sahara in review. In: BAUMHAUER, R. & J. RUNGE (Eds.): Holocene Palaeoenvironmental history of the Central Sahara. In: *Palaeoecology of Africa* 29: 1–21.
- BROSTRÖM, A., [et al. + 6] & P. BEHLING (1998): Land surface feedbacks and paleomonsoons in northern Africa. In: *Geophys. Res. Letters* 25: 3615–3618.
- CLAUSSEN, M., [et al. + 4] & H. J. PACHUR (1999): Simulation of an abrupt change in Saharan vegetation in the mid-Holocene. In: *Geophys. Res. Letters* 26: 2037–2040.
- DEMENOCAL, P., [et al. + 5] & M. YARUSINSKY (2000): Abrupt onset and termination of the African humid period: rapid climate responses to gradual insolation forcing. In: *Quaternary Science Reviews* 19: 347–361.
- FELIX-HENNINGSSEN, P. (1998): Genese und paläoökologische Indikation von fossilen Böden mit Oxidkrusten auf Altdünen der Sahara Ost-Nigers. In: *Zbl. Geol. Paläont.* Teil I, H. 1–2: 59–76.

- FELIX-HENNINGSEN, P. (2000): Paleosols on Pleistocene dunes as indicators of paleo-monsoon events in the Sahara of East Niger. In: *Catena* 41: 43–60.
- FELIX-HENNINGSEN, P. (2003): Genesis and paleo-ecological interpretation of swamp ore deposits at Sahara paleo-lakes of East Niger. In: SMYKATZ-KLOSS, W. & P. FELIX-HENNINGSEN (Eds.): *Palaeoecology of Quaternary Drylands*. In: *Lecture Notes in Earth Sciences* 102: 47–72.
- FELIX-HENNINGSEN, P. (2019): OSL-ages and paleo-climatic evidence of ancient dunes with paleosols along a SW–NE transect from the southern Sahel to the central Sahara in Niger. In: *Z. f. Geomorph.* 62: 1–35.
- FELIX-HENNINGSEN, P., KORNATZ, P. & E. EBERHARDT (2009): Paleo-climatic evidence of soil development on Sahelian ancient dunes of different age in Niger, Chad and Mauretania. In: BAUMHAUER, R. & J. RUNGE (Eds.): *Holocene Paleoenvironmental history of the Central Sahara*. In: *Palaeoecology of Africa* 29: 91–105.
- GARCEA, E. A. A (ed., 2013): Gobero: The No-Return Frontier. Archaeology and landscape at the Saharo-Sahelian borderland. In: *J. African Archaeol. Monogr. Ser.* 9, XVIII + 293 pages. doi: 10.1017/S0003598X00050511.
- KLAPPA, C. F. (1980): Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis and significance. In: *Sedimentology* 27: 613–629.
- MALEY, J. (1981): Études palynologiques dans le bassin du Tchad et paléoclimatologie de l’Afrique nord-tropicale de 30000 ans à l’époque actuelle. In: *Travaux et Documents de L’O.R.S.T.O.M.* 129: 1–586.
- MANNING, K., [et al. + 4] & R. P. EVERSLED (2023): Habitat fragmentation and the sporadic spread of pastoralism in the mid-Holocene Sahara. In: *Quaternary Sci. Rev.* 309: 108070.
- NETTERBERG, F. (1969): The interpretation of some basic calcrete types. In: *S. Afr. Archaeol. Bull.* 24: 117–122.
- RENSSEN, H., [et al. + 2] & H. GOOSSE (2003): Holocene climate instability during the termination of the African Humid Period. In: *Geophysical Res. Letters* 30: 1184.
- RENSSEN, H., GOOSSE, H. & R. MUSCHELER (2006): Coupled climate model simulation of Holocene cooling events: oceanic feedback amplifies solar forcing. In: *Clim. Past* 2: 79–90.
- SERENO, P. C., [et al. + 15] & J. P. STIVERS (2008): Lakeside Cemeteries in the Sahara: 5000 Years of Holocene Population and Environmental Change. In: *PLoS ONE* 3(8): e2995. doi.org/10.1371/journal.pone.0002995.
- STRIEDTER, K.-H., [et al. + 3] & M. TAVERON (1995): Prähistorische und paläoökologische Forschungen im Djado-Plateau, Nordost-Niger. In: *Beitr. z. allgemeinen u. vergleichenden Archäologie* 15: 49–84.

Autor

Prof. Dr. Peter Felix-Henningsen
 Magdeburger Str. 35
 35435 Wettenberg
 E-Mail: Peter.Felix-H@umwelt.uni-giessen.de