

Zur Geschichte des größten alpinen Ökosystems der Erde: Palynologische Untersuchungen zu den *Kobresia*-Matten SE-Tibets

- Frank Schlütz, Göttingen, Georg Miehe, Marburg, Frank Lehmkuhl, Aachen -

Abstract

Today, so called *Kobresia*-pastures (alpine meadows) are the dominant vegetation type in eastern Tibet, covering an area of about 450.000 km². They are mostly understood as more or less natural vegetation type. Our palynological data combined with ecological results lead to the assumption, that *Kobresia*-pastures are the product of grazing. We demonstrate that nomadic use influenced their development possibly as early as 8500 years ago concomitant with the early domestication of yaks. Since then, structure and species composition of the mats have been shaped by grazing. The anthrozoogenic influence increased with the establishment of the first Tibetan kingdom, the so called Yarlung Dynasty, some 1500 years ago and 1200 years ago with the establishment of nomadic migration routes which are still practiced today. During the medieval warm period the upper limit of the mats raised. The latest increase in grazing intensity started around 1980.

1. Einleitung

In archäologisch wie palynologisch gut untersuchten ehemaligen Waldlandschaften wie Mitteleuropa ist das Ausmaß der Umgestaltung der Natur- hin zu einer Kulturlandschaft durch den Menschen seit langem ein Thema palynologischer Forschung (FIRBAS 1949, FIRBAS 1952, LANG 1994). Ganz anders stellt sich die Beantwortung der Frage nach dem Anteil des Menschen an der Herausbildung der heutigen Vegetation für das Hochland von Tibet dar. Fernab der wenigen Kulturzentren und des lokalen Ackerbaus mancher tiefer gelegener Täler nur dünn von Nomaden besiedelt, werden die *Kobresia*-Matten Ost-Tibets als natürliche, klimagesteuerte Vegetation betrachtet (NI 2000, LUO et al. 2004, SONG et al. 2004, YU et al. 2001), obwohl schon seit langem auch gegenteilige Ansichten publiziert sind (KINGDONWARD 1947, FRENZEL 1994, THELAUS 1992). Dies könnte zum Teil daran liegen, dass mit Bohrkernen aus Seeablagerungen für die Untersuchung der Kulturlandschaftsgeschichte Tibets eher ungeeignete paläoökologische Archive gewählt wurden. In diese werden der Pollen und die Sporen wichtiger Beweidungs- und Degradationszeiger kaum eingetragen. Zudem scheint es möglicherweise auch an der notwendigen palynologischen Formenkenntnis sowie fundierter vegetationsökologischer Erkenntnisse zu mangeln.

Auf einer Fläche von rund 450.000 km² (Deutschland 360.000 km²) sind *Kobresia*-Matten die dominierende Vegetation (Abb. 1). Wichtigster Vertreter der Gattung *Kobresia* ist dabei *K. pygmaea*, die die dichtfilzigen golfrasenartigen Bestände zwischen dem Qilian Shan im Norden Tibets und dem Inneren Himalaya Nepals ausbildet. Die Rasen sind in Nordosttibet oberhalb 3.000 m und in Südosttibet ab 4.000 m landschaftsprägend. Mit einer Wuchshöhe von nur 2–3 cm entzieht sich *K. pygmaea* fast vollständig den weidenden Yaks. Weil die erfolgreiche Etablierung anderer Arten durch den Filz der von ihr dominierten Matten weitgehend

unterbunden wird, ist die Geschichte der *Kobresia*-Matten zugleich eng mit der Frage der natürlichen Waldverbreitung verknüpft.

Die Niederschläge Ost-Tibets werden von den aus süd-östlichen Richtungen auf das Plateau vordringenden Luftmassen des Sommermonsuns bestimmt. Entsprechend fallen sie überwiegend in den Monaten Juni bis September und nehmen in ihrer Ergiebigkeit nach Westen hin bald ab. So fallen im Nianbaoyeze mehr als 900 mm und bei Damxung nur 442 mm Jahresniederschlag (SCHLÜTZ 1999, MIEHE et al. 2001).

Die westliche Verbreitungsgrenze der Wälder wird daher oft als Trockengrenze aufgefasst. Die dortigen Außenposten des Waldes sind typischerweise expositionsabhängig verteilt. Fichten- und Tannenwald stehen auf nordexponierten Hängen, Wacholderwälder (*Juniperus tibetica*, *J. convallium*) in Südexposition. Die im Süden Tibets kartierten Wacholderwälder sind nach unseren rezent- und paläoökologischen Untersuchungen in der Umgebung von Lhasa als Relikte vormals weiter verbreiteter Wälder aufzufassen und befinden sich keineswegs an ihrer Trockengrenze (MIEHE et al. 2006, MIEHE et al. 2007a). In der hier vorliegenden Arbeit soll anhand von vier ausgesuchten Pollendiagrammen der holozänen Bildungsgeschichte der *Kobresia*-Matten im Wechselspiel zwischen Klimadynamik und dem von den Nomaden und ihren Herden ausgeübten anthropo-zoogenen Einfluss nachgegangen werden.

2. Material und Methoden

Die Profile Damxung und Dharu wurden 2003 erbohrt bzw. ergraben, die zwei Profile Ji'ea-Becken und Kekehe aus dem Nianbaoyeze-Gebirge 1991 erbohrt (LEHMKUHL 1995). Die Aufbereitung der Proben erfolgte nach Standardmethoden und unter Verwendung von Flusssäure (ERDTMAN 1960, MOORE et al. 1999). Zur Ansprache der Pollenkörner und Sporen wurden die einschlägige Literatur und eine über 4500 Präparate umfassende Vergleichsammlung herangezogen (SCHLÜTZ 1999, SCHLÜTZ & LEHMKUHL submitted). Soweit nötig wurde die an BEUG (2004) orientierte Benennung der Pollentypen an die regional vertretenen Sippen angepasst. Hinweise zum Zeigerwert der Typen finden sich bei BEUG & MIEHE (1999) und SCHLÜTZ (1999). Neben Pollen und den üblichen Sporen wurden in den jüngst bearbeiteten Profilen auch sog. NPP (Non Pollen Palynomorphs), darunter besonders die Sporen coprophiler Pilze (APTROOT & VAN GEEL 2006, VAN GEEL et al. 2003, VAN GEEL & APTROOT 2006) sowie Sporenbälle von Brandpilzen berücksichtigt (VÁNKY 1994). In den mit dem Programm C2 (JUGGINS 2003) gezeichneten Pollendiagrammen ist jeweils nur eine Auswahl an Typen dargestellt. Die Grundsumme zur Berechnung der Prozentwerte bildet der Pollen der Landpflanzen ohne Cyperaceae. Die Grundsumme beträgt im Allgemeinen 250 – 280 Pollenkörner, im holozänen Abschnitt des Profils Damxung mindestens 330 Pollenkörner. Für eine bessere Lesbarkeit wurden teilweise unterschiedliche Maßstäbe gewählt. Nicht farblich ausgefüllte Schattenrisse geben die Prozentwerte 10fach überhöht wieder. In den Diagrammen Damxung, Ji'ea-Becken und Kekehe wurde entsprechend einer vergleichbaren (paläo-)ökologischen Ausgangslage ein einheitlicher Farbcode verwendet, der mit den Kartendarstellungen korrespondiert. Die Altersangaben für die Profile Damxung und Dharu beruhen auf sechs bzw. fünf AMS-Datierungen der Pollenfraktion (MORGENROTH et al. 2000), die der Profile Ji'ea-Becken und Kekehe auf jeweils zwei herkömmlichen ¹⁴C-Datierungen (SCHLÜTZ 1999, SCHLÜTZ 1995). Bei der Interpolation der kalibrierten Alter (www.calpal-online.de CalPal2005_SFCP) wurde von einem linearen Sedimentzuwachs ausgegangen.

3. Paläoökologische Ergebnisse

Die folgenden Ausführungen und der Umfang der Abbildungen sind teilweise sehr kurz zusammengefasst. Für weitergehende Informationen sei hier auf SCHLÜTZ (1999) und SCHLÜTZ & LEHMKUHL (submitted) verwiesen.

Damxung in Südost-Tibet

Die Lokalität Damxung (4250 m.ü.M) liegt ca. 90 km nördlich von Lhasa in einem Hochtal östlich des Nam Co, des Himmel-Sees, inmitten von beweideten *Kobresia*-Matten (Abb. 1)

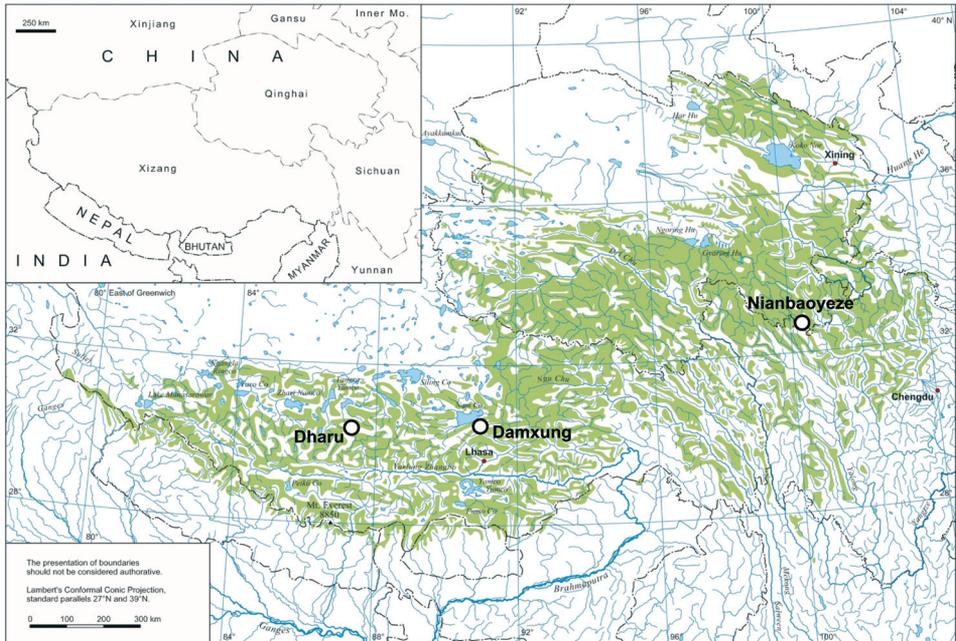


Abb. 1: Verbreitungsgebiet der *Kobresia*-Matten in Tibet nach MIEHE et al. (in review) ergänzt um die Lage der Untersuchungspunkte.

an der westlichen Verbreitungsgrenze von *Juniperus tibetica* (MIEHE et al. 2007a). Das untersuchte Profil wurde in einem kleinen von *Kobresia schoenoides* beherrschten Niedermoor am Fuße eines Hügels erbohrt. Die Lokalität unterliegt wie das umgebende Tal einer intensiven Beweidung durch Yaks. Dadurch bestehen beste Voraussetzungen, Pollen der überwiegend von Insekten bestäubten Weideunkräuter sowie wichtige Indikatorensporen von Moosen und Pilzen im Archiv vorzufinden. Zudem deuten die am Hügel gelegene Ortschaft und die Nähe zum überregional wichtigen Kloster Reting (Abb. 4) auf einen möglicherweise weit zurückreichenden intensiven menschlichen Einfluss hin. Ferner bietet die geringe Distanz des Pollenarchivs zu den Wacholderbeständen des angrenzenden Hügels von nur ca. 200 m die Möglichkeit, die lokale Waldgeschichte gut zu erfassen. Bei größeren Abständen zum Pollenarchiv kann die geringe Transportfähigkeit des *Juniperus*-Pollens die palynologische Rekonstruktion der Waldgeschichte erschweren. So zeigen Oberflächenproben, dass sich schon in wenigen hundert Metern Entfernung von Wacholderbeständen das lokale Pollensignal kaum mehr vom Hintergrundsignal des Fernfluges abgrenzen lässt (SCHLÜTZ in MIEHE et al. 2006). Die Wacholderbäume (*Juniperus tibetica*) und -sträucher (*J. pingii*) stehen hier in typischer Südexposition zwischen Felsen und entlang von Erosionsrinnen.

Das Pollendiagramm Damxung (Abb. 2) spiegelt die Landschaftsgeschichte der letzten 13000 Jahre wider. Am Ende des Pleistozäns und zu Beginn des Holozäns, im Präboreal und

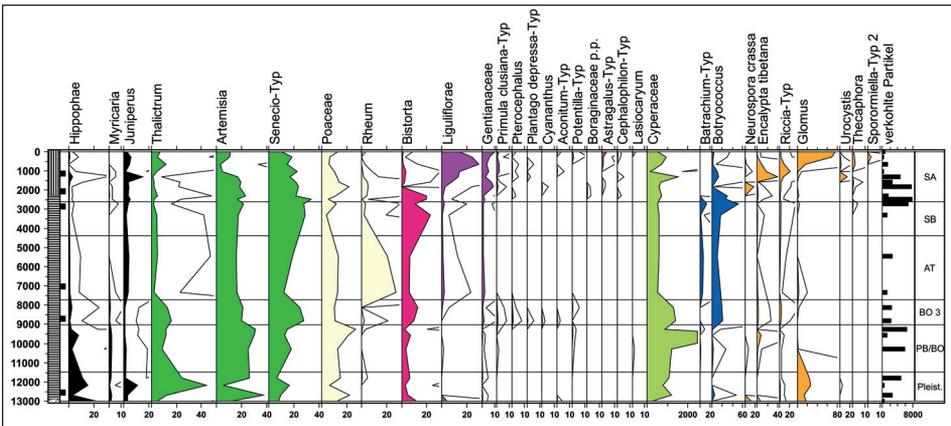


Abb. 2: Pollendiagramm Damxung (4250 m, 30°22'N/90°54'E) mit ausgesuchten Taxa. Alle Angaben in Prozent (Grundsomme = Landpflanzen ohne Cyperaceae), verkohlte Partikel in Anzahl/cm² · a. Die Cyperaceae erreichen im Maximum 4600%. Alter in kalibrierten Jahren vor 2003 basierend auf 6 AMS-Datierungen. An der Basis sandiger Schluff mit Grus, pollenführend, darüber Fein- und Grobseggentorfe im Wechsel mit (Torf-)Mudden, gefolgt von Feinseggentorf.

in den älteren Abschnitten des Boreals, bildeten Vertreter der Gattungen *Hippophaë* und *Myricaria* Strauchbestände auf den ausgedehnten Schotter- und Sandflächen der das Tal durchfließenden Flüsse. Vermutlich handelte es sich hierbei um Arten von nur wenigen Dezimetern Wuchshöhe wie z.B. *H. tibetana* und *M. prostrata* (MEIER-GRÜNHAGEN 2005). Auch erste Strauchbestände von *Juniperus* bildeten sich offenbar bereits im Spätglazial heraus. Die Abflussdynamik war aufgrund einer noch spärlichen Vegetationsbedeckung durch hohe Sedimentfrachten gekennzeichnet und schuf immer wieder den genannten Pioniergehölzen zugehörige Standorte. Diese Flächen bildeten lokale Lössquellen (LEHMKUHL & HASELEIN 2000). Nach 9500 cal. BP deuten die sinkenden Werte von *Hippophaë* und *Myricaria* sowie der Anstieg der Cyperaceae-Werte auf eine ruhigere Flussdynamik in Folge sich ausbreitender *Kobresia*-Matten hin. Etwa zeitgleich endete die im Spätglazial begonnene Lössbildungsphase (KLINGE & LEHMKUHL 2005). Der Rückgang von Sporen des Mykorrhiza-Pilzes *Glomus* belegt den nachlassenden Eintrag erodierten Bodenmaterials. Dass der Cyperaceae-Pollen tatsächlich die Herausbildung von *Kobresia*-Matten kennzeichnet, belegen die Sporen des typischerweise in nicht ganz geschlossenen Matten zu findenden Mooses *Encalypta tibetana* (LI & CROSBY 2001). Zugleich scheinen aber auch noch Steppen mit *Poaceae*, *Artemisia* und *Thalictrum* ein bestimmendes Landschaftselement gewesen zu sein.

Bereits im späten Boreal (BO 3) deutet der Pollen von Weidezeigern (Gentianaceae, *Primula clusiana*-Typ, *Pteroccephalus*, *Plantago depressa*-Typ, *Cyananthus*, *Aconitum*-Typ, *Potentilla*-Typ) auf eine erste nachweisbare Beweidung der *Kobresia*-Matten um 8500 cal. BP hin. Eine umgehende Nutzung entstehender Weidemöglichkeiten war in den Trockenräumen Asiens (Karakorum, Gobi Altai) bislang erst nach dem Atlantikum bekannt (SCHLÜTZ 1999, SCHLÜTZ 2003). Der Beweidungsdruck war offenbar noch moderat, so dass sich Matten mit reichlich *Bistorta*, wohl *B. macrophylla*, bildeten (ZHANG et al. 1988). Dabei wird der Rückgang der *Poaceae* zu Gunsten der *Kobresia*-Matten durch die nachgewiesene Beweidung bedingt gewesen sein. Hierauf weisen angelegte Auszäunungsflächen hin (Abb. 3), auf denen die Matten bei ausbleibender Beweidung innerhalb weniger Jahre von *Poaceae* überwuchert werden (MIEHE et al. 2006). Aufgrund von Weideausschlussexperimenten und den pollen-

analytischen Befunden ist nicht auszuschließen, dass *Kobresia pygmaea*-Matten höherwüchsiges Grasland ersetzen (MIEHE et al. in review) und möglicherweise überhaupt erst durch



Abb. 3: Auszäunungsfläche bei Reting auf Lichtung in *Juniperus tibetica*-Wald (ca. 4250 m, 30°18'N/91°30'E). Bei Beweidungsausschluss wird *Kobresia pygmaea* in wenigen Jahren von hochwüchsigen Süßgräsern überwachsen (Foto G. Miehe, 1999).

Beweidung entstanden sind. Dies kann wohl zumindest für einige Gebiete Tibets angenommen werden. Inwieweit am Ende des Boreals der Beweidungsdruck nur von Wildtieren oder auch schon von Herden der Nomaden ausging, bedarf weiterer Untersuchungen. Immerhin gibt es Hinweise aus der Archäologie sowie von Genomanalysen, wonach der Yak möglicherweise bereits im frühen Holozän domestiziert wurde (GUO et al. 2006).

Für den Zeitraum des Atlantikums liegen wegen lückiger Überlieferung nur zwei Proben vor. Diese lassen mit hohen *Rheum*-Werten einen Rückgang der *Kobresia*-Matten aufgrund relativ trockener Bedingungen erkennen. Demzufolge wirkte sich in der Bilanz die Erwärmung des Klimas im Atlantikum stärker als der monsunale Anstieg der Niederschläge aus. Der Beginn dieser Phase liegt um 7700 cal. BP, das interpolierte Ende um 4500 cal. BP ist relativ unsicher datiert und fällt im Vergleich zu anderen Regionen Tibets eher zu jung aus (FRENZEL 1994, SCHLÜTZ 1999).

Der Übergang zum Subboreal ist wie in anderen Regionen Tibets durch einen deutlichen Anstieg der *Bistorta*-Werte gekennzeichnet (SCHLÜTZ 1999). Die unter dem kühleren Klima des Subboreals wieder zur Vorherrschaft gelangenden *Bistorta macrophylla*-*Kobresia pygmaea*-Matten scheinen wie schon am Ende des Boreals reich an Vertretern des *Senecio*-Typs (z.B. *Aster sibirica*) gewesen zu sein. Die ab dieser Zeit zunehmenden archäologischen Besiedlungsnachweise legen einen erheblichen anthro-po-zoogenen Anteil an der Matten-Ausbreitung nahe (ALDENDERFER & ZHANG 2004, BRANTINGHAM & XING 2006, HUANG WEIWEN 1994).

Der Übergang zum Subatlantikum um 2700 cal. BP zeichnet sich in lokalen Veränderungen ab. Die Rückgänge des *Batrachium*-Typs und von *Botryococcus* gehen mit einem leichten Anstieg der Cyperaceae-Kurve einher. Dies deutet auf eine weitgehende Verlandung des bis dahin existierenden Quelltümpels durch *Kobresia schoenoides* und andere Cyperaceae hin, wobei die Bestände von Wasserhahnenfuß und Grünalgen zurückgedrängt wurden. Im

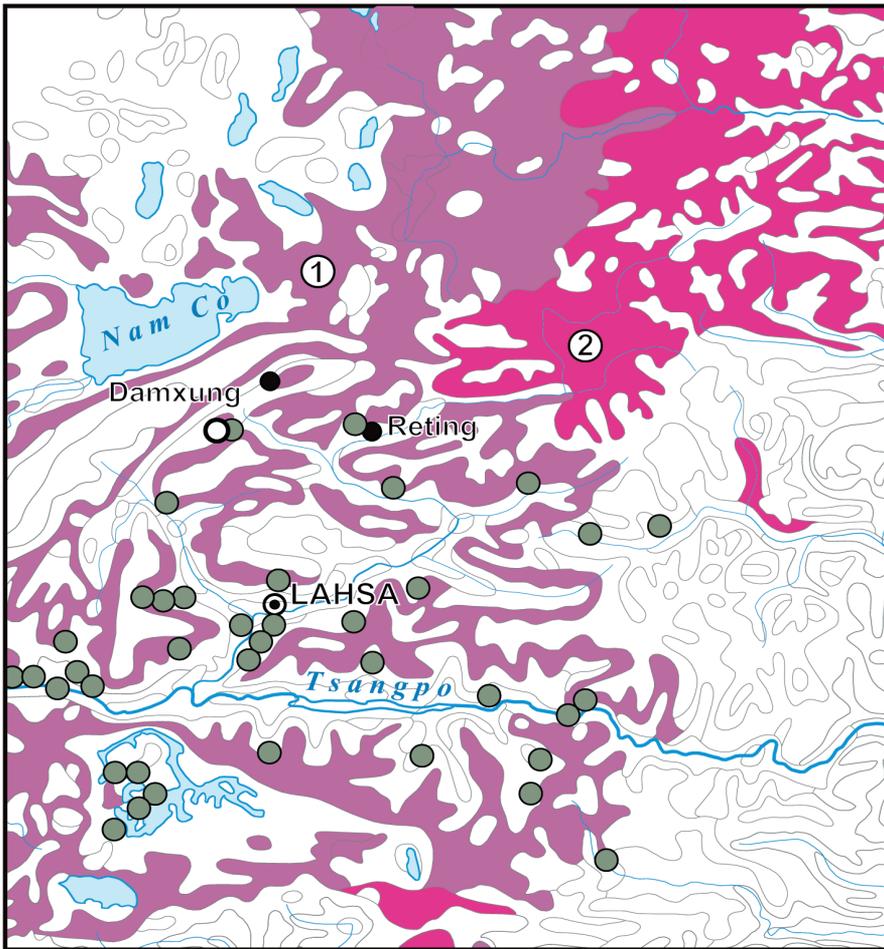


Abb. 4: Verbreitung zweier unterschiedlicher Typen von *Kobresia pygmaea*-Matten in SO-Tibet mit Lage der heutigen Vorkommen (o) von *Juniperus*-Bäumen (verändert nach ZHANG 1988 und MIEHE et al. 2007a). (1) Westliche Matten ohne, (2) östliche Matten mit der aspektbildenden Art *Bistorta macrophylla*. Das Profil Damxung wurde unmittelbar am nordwestlichsten Baumbestand des Kartenausschnittes südwestlich von Damxung nahe einer kleinen Siedlung genommen. Das Kloster Reting liegt etwa 60 km östlich von Damxung, und bis Lhasa sind es von Damxung aus etwa 85 km Luftlinie.

Anschluss deuten Sporen von *Neurospora crassa* auf Brände unmittelbar am Untersuchungspunkt hin (VAN GEEL & APTROOT 2006). Verschiedene Beweidungszeiger weisen im älteren Teil des Subatlantikums durch ihre Zunahme (*Gentianaceae*), ihr erneutes (*Primula clusi-ana*-Typ, *Pteroccephalus*, *Cyananthus*) sowie erstmaliges Auftreten (*Boraginaceae* p.p., *Astragalus*-Typ, *Cephalophilon*-Typ) auf eine verstärkte Beweidung der Matten hin, durch die *Bistorta macrophylla* fast verdrängt wurde. Mit dem weitgehenden Verlust dieser Art stellten sich bereits vor mehr als 1500 Jahren um Damxung ähnliche *Kobresia pygmaea*-Matten wie heute ein, wo Matten mit *Bistorta macrophylla* erst ca. 80 km weiter östlich zu finden sind (Abb. 4). Ab dieser Zeit kam es zu einer ganz erheblichen Steigerung des Beweidungseinflusses auf die Landschaft. Dies drückt sich zunächst in der Zunahme der Liguliflorae bei gleichzeitigem Rückgang der Poaceae aus. Gerade die Liguliflorae spielen nach unseren Untersuchungen in ganz Hochasien eine wichtige Rolle als Weideunkräuter (SCHLÜTZ 1999,

MIEHE et al. 2006, MIEHE et al. 2007b). Dann zeigen die Sporen von *Encalypta tibetana* eine wohl durch die Trittbelastung beginnende Lückigkeit der *Kobresia pygmaea*-Matten und daraufhin die Sporen von *Riccia* offene, ihrer Vegetation beraubte Bodenpartien an. Mit der an diesen Flächen ansetzenden Tiefenerosion gingen die *Riccia*-Standorte verloren und mit dem forterodierten Bodenmaterial gelangten die Sporen des Mykorrhiza-Pilzes *Glomus* in das untersuchte Archiv. Nun weisen auch die Sporen der coprophilen Pilzgattung *Sporormiella* auf die Anwesenheit von Weidetieren hin (APTROOT & VAN GEEL 2006). Auf offenen, sandigen Partien siedelten sich schließlich die annuellen Vertreter der Gattung *Lasiocaryum* (Boraginaceae) an. Die zunehmende Beweidung hatte aber auch noch ganz andere Auswirkungen auf das Ökosystem. Zum einen wurde die oberflächliche Biomasse so weitgehend abgeweidet, dass es kaum mehr zu Bränden kam. Dies zeigt sich deutlich im Rückgang der gefundenen verkohlten Partikel. Soweit in der Pollenfraktion bestimmbar, handelt es sich bei diesen um verkohlte Epidermisfragmente von Poaceae und Cyperaceae. Zum anderen hat sich die Beweidung offenbar positiv auf die Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten ausgewirkt, wie die Sporenbälle von Brandpilzen (*Urocystis*, *Thecaphora*) belegen. Erstaunlicherweise scheint die anthropo-zoogen ausgelöste Matten-Degradation einen positiven Einfluss auf die Wacholderbestände des Hügels gehabt zu haben. Mit der einsetzenden Grasnarbenöffnung boten sich den Sämlingen von *Juniperus* offene Standorte, auf denen sie sich nachhaltig etablieren konnten.

Auslöser für diese vor ca. 1500 Jahren beginnende Entwicklung mag zunächst eine aus weiten Teilen Hochasiens bekannte Abkühlungsphase gewesen sein (BAO et al. 2003, SCHLÜTZ & LEHMKUHL 2007). Hinzu kommen wohl zugleich auch gesellschaftliche Änderungen, die schließlich zur Gründung des ersten tibetischen Königreiches, der sog. Yarlung-Dynastie, führten (SMITH 1996, SHARMA & SHARMA 1996, BECKWITH 1987). Sicherlich trug die mit den anschließenden Klostergründungen verbundene Konzentration großer Menschenmengen zum anthropo-zoogen gelenkten Verlauf der Vegetations- und Landschaftsgeschichte bei.

Das Nianbaoyeze-Gebirge in Ost-Tibet

Durch das Nianbaoyeze-Gebirge in Ost-Tibet verlaufen mehrere naturräumliche Übergänge und die politische Grenze zwischen den Provinzen Qinghai und Sichuan. Das Gebirge liegt an der Wasserscheide zwischen dem Gelben Fluss (Huang He) im Norden und dem Oberlauf des Jangtsekiang im Süden. Die kleinen Baumbestände von *Juniperus tibetana* und *Picea* (*P. purpurea*, *P. asperata*) im Südostteil des Gebirges stellen für die Region die äußersten Vorposten des Waldes im Hochland von Tibet dar. Der Gipfel des Nianbaoyeze ist 5369 m hoch, die Talböden sind im Norden um 4200 m, im Süden um 3800 m hoch gelegen.

Von den zahlreichen hier genommenen Pollenarchiven soll anhand von zwei relativ jungen Profilen die mögliche Entwicklung des nomadischen Einflusses auf die Matten nach dem mittleren Holozän diskutiert werden. Beide Pollendiagramme sind auf die hierzu notwendigen Taxa beschränkt. Nähere Angaben zum Gebiet und detaillierte Ergebnisse finden sich in LEHMKUHL (1995), SCHLÜTZ (1995), SCHLÜTZ (1999). Eine ausführliche Neugewichtung der Analysen geben SCHLÜTZ & LEHMKUHL (submitted).

Die Pollendiagramme Ji'ea-Becken (Abb. 5) und Kekehe (Abb. 6) reichen etwa 6000 Jahre weit zurück. In beiden deuten sich um 3000 cal. BP und um 1200 cal. BP synchrone Änderungen in der Vegetation an.

Die Profilstelle Ji'ea-Becken (3870 m.ü.M) liegt etwas östlich des Gebirgsmassivs in einem kleinen Talbecken des Ji'ea-Flusses. Heute wird es von *Sanguisorba filiformis*-reichen

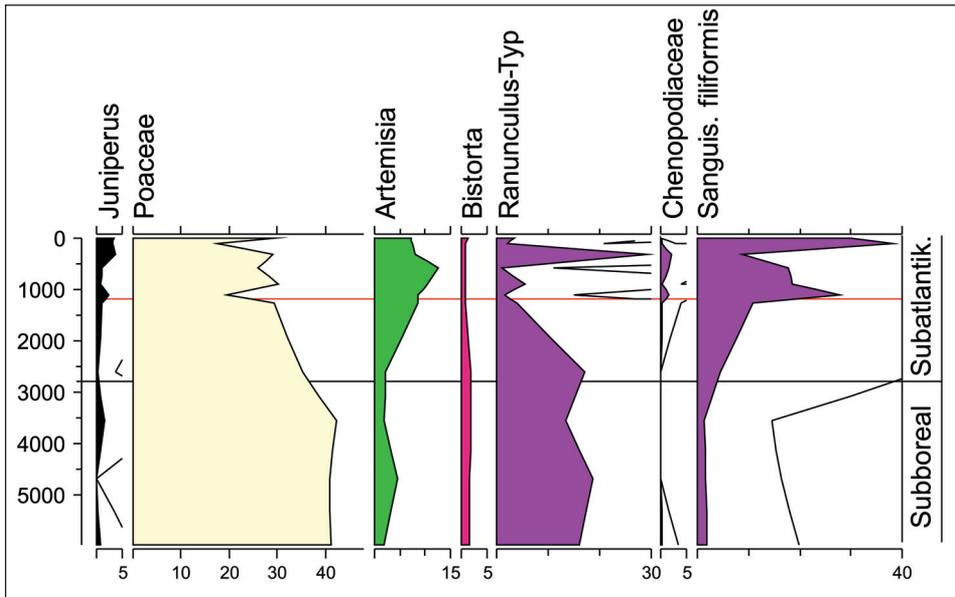


Abb. 5: Pollendiagramm aus dem Ji'ea-Becken (3870 m, 33°17'N/101°25'E) östlich des Nianbaoyeze-Gebirges mit ausgesuchten Taxa, vollständiges Diagramm in SCHLÜTZ (1999).

Kobresia-Matten eingenommen. Bei *S. filiformis* scheint es sich um ein Weideunkraut eher tieferer Lagen zu handeln (<http://hengduan.huh.harvard.edu/fieldnotes/>).

Der heutige Reichtum an *S. filiformis* hat sich offenbar unter steigendem Weidedruck, Zunahme von *Artemisia* bei gleichzeitigem Rückgang des *Ranunculus*-Typs (Abb. 5), vor ca. 3000 Jahren begonnen herauszubilden. Dabei deuten die von Beginn an geringen *Bistorta*-Werte (<2%) und die zu Anfang noch hohen Werte des *Ranunculus*-Typs (um 15%) auf eine mindestens 6000-jährige Beweidung im Ji'ea-Becken hin. Vor ca. 1200 Jahren kam es zu einer sprunghaften Zunahme von *S. filiformis* und zur Ausbreitung der *Chenopodiaceae*. Die daran zu erkennende Beweidungszunahme führte zu einem vorübergehenden Rückgang der *Poaceae*, was die Verdrängung vorhandener Süßgräser und möglicherweise die spätere Einwanderung oder Herausbildung beweidungsresistenter Arten vermuten lässt.

Das Profil Kekehe stammt von der Südseite des Nianbaoyeze aus dem Einzugsgebiet des Flusses Kekehe aus 3690 m.ü.M. Hier existieren heute noch kleinere *Picea*-Wälder, die nach dem Pollendiagramm Relikte von bis vor ca. 3000 Jahren stärker verbreiteten Waldbeständen darstellen. Danach deuten die Anstiege des *Ranunculus*-Typs sowie von *Bistorta* und *Trollius* auf einen verstärkten Weideeinfluss hin. Wie im Ji'ea-Becken kam es vor ca. 1200 Jahren zu einem kurzen Einbruch der *Poaceae*-Bestände. Erhöhte Prozentwerte von *Bistorta* und *Trollius* deuten Beweidung als Grund dafür an. Erst in den letzten ca. 200 Jahren kommt es bei Anstieg der Beweidungszeiger *Ranunculus*-Typ, *Trollius* und *Apiaceae* zum Rückgang von *Bistorta*. Wie schon für Damjung ausgeführt, scheint *Bistorta macrophylla* nur bis zu einem gewissen Beweidungsdruck gefördert zu werden. Ein Überschreiten dieses Schwellenwertes ist im Gebiet des Nianbaoyeze offenbar durch Werte des *Ranunculus*-Typs von über 10% gekennzeichnet. Der zu beobachtende Anstieg der *Juniperus*-Kurve dürfte auf eine Zunahme strauchförmiger Wacholder als Weideunkraut hindeuten.

Die Nomaden nutzen das Becken von Ji'ea heute als Weide im Frühjahr bei ihren Wanderungen zu ihren Sommerweiden im Süden des Nianbaoyeze und im Herbst bei der Rückwan-

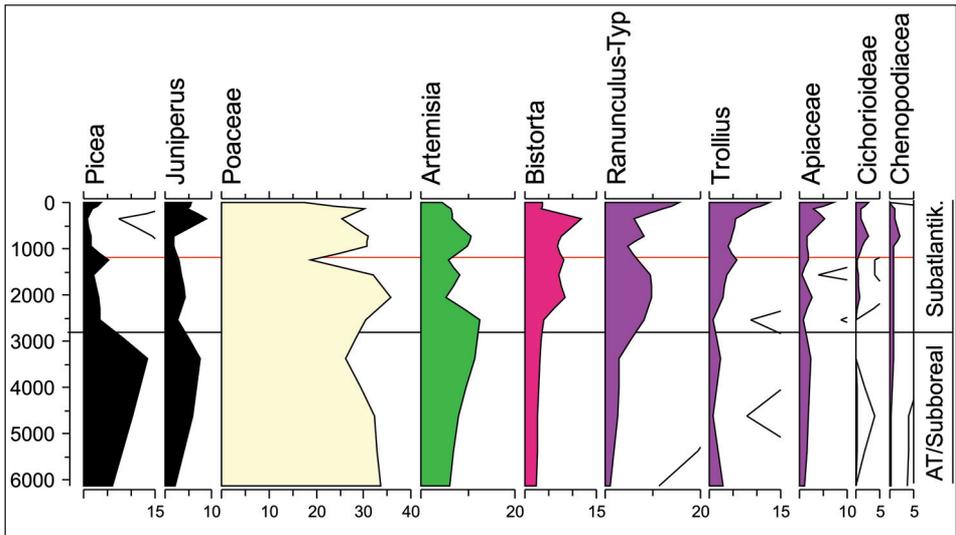


Abb. 6: Pollendiagramm Kekehe (4130 m, 33°00'N/101°09'E) aus dem Süden des Nianbaoyeze-Gebirges mit ausgesuchten Taxa, vollständiges Diagramm in SCHLÜTZ (1999).

derung vom Nianbaoyeze zu den östlich gelegenen Winterweiden. Der vor 1200 Jahren etwa zeitgleich im Ji'ea-Becken und im Süden des Nianbaoyeze zu beobachtende Beweidungsanstieg könnte somit auf eine seit vielen Generationen währende Tradition dieses Wandermusters hinweisen. Möglicherweise rissen diese Wanderungen durch das Vordringen der räuberischen Golok-Stämme in den Norden des Gebirges während des 17. Jahrhunderts (HERMANNNS 1949) vorübergehend ab, was den entgegen gesetzten Verlauf der Kurven von *Sanguisorba filiformis* (Abfall) und des *Ranunculus*-Typs (Steilanstieg) erklären würde.

Dharu in Südwest-Tibet

Das Sodenprofil Dharu wurde in 5060 m.ü.M. nahe der gleichnamigen Siedlung an der Abrisskante einer flachen Abflussrinne ergraben. Die umgebenden *Kobresia pygmaea*-Matten sind hier an ihrer alpinen Obergrenze fleckig aufgelöst. In der Wasserzuflusslage der Profilstelle wird *K. pygmaea* von der hochwüchsigen *Kobresia schoenoides* begleitet. Die Beweidung des Gebietes und die Nähe zur Siedlung Dharu gaben den Ausschlag für die Untersuchung dieses Archivs. Die Höhenlage und das periodisch hier abfließende Wasser machen sich in zwei durch Sedimentwechsel deutlich ausgeprägten Schichtlücken bemerkbar. Die Basis besteht aus einem sandigen Silt mit einzelnen größeren Steinen über einem Steinpflaster. Darüber folgt von 42 bis 32 cm ein stärker organisches, von Pflanzenfasern durchzogenes Sediment, das abgesehen von seinen höheren Sand- und Siltanteilen der obersten Lage des *Kobresia*-Sodens (22 – 0 cm) entspricht. Beide organische Lagen sind durch einen sandigen Silt getrennt.

Das Pollenspektrum aus der minerogenen Basislage belegt mit einem Caryophyllaceae-Wert von 60% die Existenz alpiner Steppen mit polsterförmigen Caryophyllaceae in der lokalen Pollenzone (LPZ) DH 1 vor ca. 2000 Jahren.

Extrapoliert man die Sedimentationsrate zwischen den zwei Datierungen der LPZ DH 2 an deren Beginn, so ergibt sich für den Hiatus zur Basislage (DH 1) eine Dauer von ungefähr 1300 Jahren. Offenbar besserten sich in der von der LPZ DH 2 repräsentierten mittelalterli-

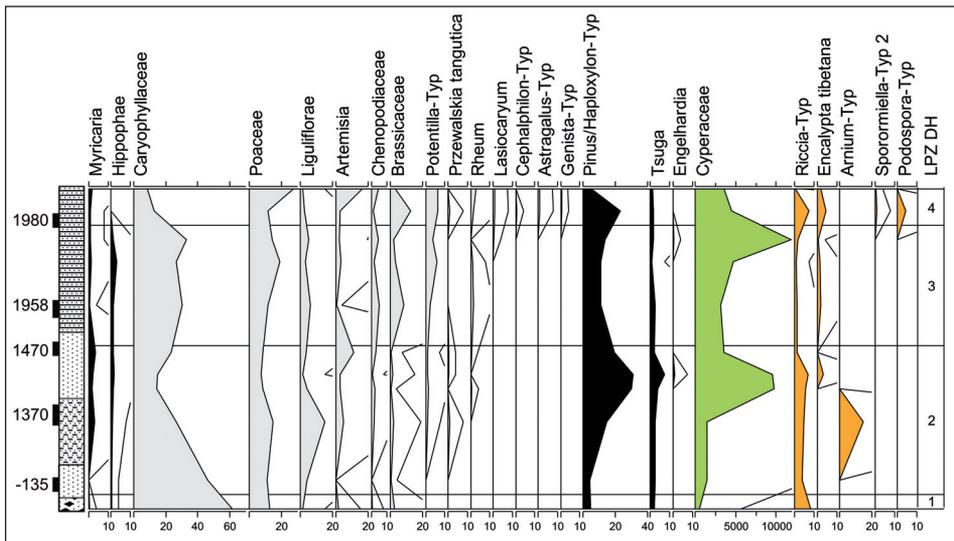


Abb. 7: Pollendiagramm Dharu (5060 m, 30°05'N/86°57'E) am Übergang der *Kobresia pygmaea*-Matten zu alpinen Steppen. Alter der AMS-Datierungen in kalibrierten Jahren v. Chr. bzw. n. Chr., Stratigraphie siehe Text.

chen Warmphase (BAO et al. 2003) die lokalen Bedingungen für die weitere Bildung und den Erhalt des Archivs. Der sedimentologisch und vegetationsgeschichtlich zweigeteilte Abschnitt DH 2 umfasst nur etwa 150 Jahre. Die Abnahme der Caryophyllaceae-Werte auf unter 20% und die Zunahme der Cyperaceae und Liguliflorae bei Auftreten von Sporen coprophiler Pilze (*Arnium*-Typ) sprechen für einen Wandel der Vegetation hin zu *Kobresia*-Matten bei Anwesenheit von Beweidung. Mit den Pollenfunden von *Przewalskia tangutica* liegt hier erstmals der palynologische Nachweis für die Beteiligung von Kleinsäugetern an der Landschaftsentwicklung vor. Diese Solanaceae ist auffällig häufig im Bodenauswurf vor den Bauten von Pfeifhasen (*Ochotona*) zu finden, der durch Kot- und Urinausscheidungen reich an Nährstoffen ist. Die Kolonien von Pfeifhasen tragen heute in Tibet und in der Mongolei durch Fraß und Anlage unterirdischer Bauten großflächig zur Degradierung der Mattendecke bei (MIEHE & MIEHE 2000, RETZER 2004).

Während der generativen Ausbreitungsphase von *Kobresia pygmaea*, deren hohe Pollenproduktion sich in Prozentwerten von 9000 bis 10.000% ausdrückt, treten ganz ähnlich wie 8000 Jahre zuvor bei Damxung wieder die Sporen von *Encalypta tibetana* auf. Mit der Bildung der *Kobresia*-Matten wurden die Caryophyllaceae und andere hier wachsende Pflanzen verdrängt, wodurch sich der Anteil des Fernfluges an der Grundsumme erheblich erhöhte. So erreicht der Haploxyton-Typ (*Pinus*) Werte von 30%, und es tritt u.a. Pollen von *Tsuga* und *Engelhardia* auf, der aus SO-China und/oder von der Himalaya-Südseite über einige hundert Kilometer hierher flog.

Auf die mittelalterliche Warmphase folgt einhergehend mit einem Sedimentwechsel ein Hiatus von ca. 450 Jahren. Erst spät nach der Kleinen Eiszeit haben sich die lokalen Verhältnisse soweit stabilisiert, dass es wieder zu Bildung und Erhalt von Sediment kam.

Nach den wahrscheinlichsten kalibrierten Altern umfasst das jüngste Schichtpaket weniger als die letzten 100 Jahre. Sedimentbeschaffenheit, relativ hohe Cyperaceae-Werte (über 3000%), das Auftreten von *Encalypta tibetana*-Sporen und gleichzeitig hohe Caryophyllaceae-Werte sprechen für das Vorkommen von Matten und alpinen Steppen mit *Arenaria bryo-*

phylla und/oder *A. kansuensis*. Die Hartpolster beider *Arenaria*-Arten sind durch ihre Wuchsform vor Beweidung geschützt und heute besonders auf offen gefallenem ehemaligen *Kobresia pygmaea*-Standorten zu beobachten. Höhere Werte der Chenopodiaceae, der Brassicaceae und des *Potentilla*-Typs deuten auf eine stärkere Beweidung als im Mittelalter hin. Um 1980 weist der Anstieg der Cyperaceae-Kurve auf eine erneute generative Ausbreitungsphase der Matten hin. Diese Ausbreitung kommt dann in der jüngsten Pollenzone (LPZ DH 4) in einer Zurückdrängung der Caryophyllaceae und einem entsprechenden Wiederanstieg des Fernfluganteils zum Ausdruck. Das vergrößerte Weideangebot scheint zu einer Aufstockung der Herden geführt zu haben, die möglicherweise den episodischen Wasserlauf am Untersuchungspunkt als Tränke nutzten und so zum Auftreten neuer Beweidungszeiger (*Lasiocaryum*, *Astragalus*-Typ, *Genista*-Typ) und coprophiler Pilze (*Sporormiella*-Typ 2, *Podospora*-Typ) führten.

4. Zusammenfassung

Kobresia-Matten dominieren in Ost-Tibet in einem Gebiet von ca. 450.000 km² das Landschaftsbild. Im Allgemeinen werden sie als natürlich, vor allem durch kühl-feuchtes Klima bestimmt, angesehen. Eine palynologische Klärung war nur durch die gezielte Auswahl von unmittelbar in den Weideflächen gelegenen Profilen möglich. Die bei fast allen wichtigen anthropo-zoogenen Zeigerpflanzen geringe Pollen- und Sporenausbreitung können schon wenige Dekameter abseits gelegene Archive (z.B. Seekerne) für die Rekonstruktion der Beweidungsgeschichte ungeeignet machen.

Nach unseren paläo- und rezentökologischen Untersuchungen handelt es sich bei den *Kobresia pygmaea*-Matten zumindest im weiten Übergangsbereich zu den heutigen Wäldern (Damxung, Nianbaoyeze) um einen durch Beweidung geschaffenen und in seiner Existenz durch anhaltende Beweidung aufrecht erhaltenen Vegetationstyp (MIEHE et al. in review). Möglicherweise spielte anthropo-zoogener Einfluss schon im Boreal vor ca. 8500 Jahren eine mit entscheidende Rolle bei der Entstehung dieser Matten. Mit dem Klimawandel im Atlantikum scheinen die Matten gebietsweise von Steppen (Damxung) oder aber auch Wald (Nianbaoyeze) ersetzt worden zu sein (SCHLÜTZ 1999, SCHLÜTZ & LEHMKUHL submitted).

Eine weitflächige Reetablierung der *Kobresia*-Matten unter dem wieder kühleren und feuchteren Klima des Subboreals erfolgte bei gleichzeitiger Zunahme der Besiedlungsdichte. Vor ca. 1500 Jahren lösten eine Abkühlungsphase und sozioökonomische Änderungen im Zusammenhang mit der Gründung des ersten tibetischen Königreiches (Yarlung-Dynastie) eine Degradation und anschließende Erosion der *Kobresia*-Matten aus. Lokal scheint auf dadurch geöffneten Böden die Ausbreitung von Wachholdern erfolgt zu sein.

Im Gebiet des Nianbaoyeze zeichnet sich vor spätestens 1200 Jahren eine Etablierung von bis heute tradierten jährlichen Wanderrouten der Nomaden zwischen ihren Winter- und Sommerweiden ab. Während einer mittelalterlichen Warmphase (BAO et al. 2003) kam es durch Anstieg der Mattenobergrenze bei Damxung zur Verdrängung alpiner Schuttfloren. Einer erneuten Mattenausweitung nach der Kleinen Eiszeit folgte dort eine seit ca. 1980 nochmals verstärkte Weidenutzung. Mit den Pollenfunden von *Przewalskia tangutica* liegt erstmals ein palynologischer Hinweis für die Beteiligung von Pfeifhasen (*Ochotona*) an der Landschaftsentwicklung Tibets vor.

Heutige Erhaltung und vegetationsgeschichtliche Entstehung der *Kobresia*-Matten sind somit auf das engste mit Beweidung und den Nomaden Tibets verknüpft. Dies wurde und wird bei paläoökologischen Rekonstruktionen noch immer viel zu wenig berücksichtigt. Dabei kam bereits KINGDON-WARD (1947), einer der besten Kenner Tibets seiner Zeit, zu

dem Schluss „But Tibet considered primarily as a grazing land seems to have been overlooked. Yet that is what it really is.“

5. Danksagung

Die Autoren sind der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der VW-Stiftung für die finanzielle Unterstützung ihrer Untersuchungen zu Dank verpflichtet. Herrn La Duo (EECRG/University of Bergen, University of Lhasa) sei auf diesem Wege für seine tatkräftige und organisatorische Hilfe sowie Diskussion gedankt. Herrn Dr. K. Vánky (Tübingen) ist an dieser Stelle für die freundliche Überlassung von Vergleichsmaterial zu danken.

6. Literatur

- ALDENDERFER, M. & Y. ZHANG (2004): The Prehistory of the Tibetan Plateau to the Seventh Century A.D.: Perspectives and Research from China and the West Since 1950. – *Journal of World Prehistory* **18**: 1-56.
- APTROOT, A. & B. VAN GEEL (2006): Fungi of the colon of the Yukagir Mammoth and from stratigraphically related permafrost samples. – *Review of Palaeobotany and Palynology* **141**: 225 - 230.
- BAO, Y., A. BRÄUNING & S. YAFENG (2003): Late Holocene temperature fluctuations on the Tibetan Plateau. – *Quaternary Science Reviews* **22**: 2335-2344.
- BECKWITH, C. I. (1987): *The Tibetan Empire in Central Asia: a history of the struggle for great power among Tibetans, Turks, Arabs, and Chinese during the Early Middle Ages.* – 269 p. Princeton University Press, Princeton.
- BEUG, H.-J. (2004): Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzender Gebiete. – 542 S. Pfeil, München.
- BEUG, H.-J. & G. MIEHE (1999): Vegetation history and human impact in the eastern Central Himalaya (Langtang and Helambu, Nepal). – *Dissertationes Botanicae* **318**: 1-98, J. Cramer, Berlin, Stuttgart.
- BRANTINGHAM, P. J. & G. XING (2006): Peopling of the northern Tibetan Plateau. – *World Archaeology* **38**: 387-414.
- ERDTMAN, G. (1960): The acetolysis method. – *Svensk Botanisk Tidskrift* **54**: 561-564.
- FIRBAS, F. (1949): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen 1: Allgemeine Waldgeschichte. – 480 S. Fischer, Jena.
- FIRBAS, F. (1952): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen 2: Waldgeschichte der einzelnen Landschaften. – 256 S. Fischer, Jena.
- FRENZEL, B. (1994): Über Probleme der holozänen Vegetationsgeschichte Osttibets. – *Göttinger Geographische Abhandlungen* **95**: 143-166.
- GUO, S., P. SAVOLAINEN, J. SU, Q. ZHANG, D. QI, J. ZHOU, Y. ZHONG, X. ZHAO & J. LIU (2006): Origin of mitochondrial DNA diversity of domestic yaks. – *BMC Evolutionary Biology* **2006**: 73.
- HERMANN, M. (1949): *Die Nomaden von Tibet: die sozial-wirtschaftlichen Grundlagen der Hirtenkulturen in Amdo und von Innerasien.* – 325 S. Herold, Wien.
- HUANG WEIWEN (1994): The prehistoric human occupation of the Qinghai-Xizang Plateau. – *Göttinger Geographische Abhandlungen* **95**: 201-219.
- JUGGINS, S. (2003): C2 User guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. – 69 p. University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, UK.
- KINGDON-WARD, F. (1947): Tibet as a Grazing Land. – *The Geographical Journal* **110**: 60-75.
- KLINGE, M. & F. LEHMKUHL (2005): Untersuchungen zur holozänen Bodenentwicklung und Geomorphodynamik in Tibet: Hinweise auf klimatische und anthropogene Veränderungen. In: EIDAM, U., H. SCHRÖDER & S. WINTER (eds.): *Hochgebirge und ihr Umland.* – Humboldt-Univ., Geograph. Inst., Berlin. 81-91.
- LANG, G. (1994): *Quartäre Vegetationsgeschichte Europas: Methoden und Ergebnisse.* – 462 S. Fischer, Jena.
- LEHMKUHL, F. (1995): Geomorphologische Untersuchungen zum Klima des Holozäns und Jungpleistozäns Osttibets. – *Göttinger Geographische Abhandlungen* **102**: 1-184.
- LEHMKUHL, F. & F. HASELEIN (2000): Quaternary paleoenvironmental change on the Tibetan Plateau and adjacent areas (Western China and Western Mongolia). – *Quaternary International* **65**: 121-146.

- LI, XINGJIANG & M. R. CROSBY (2001): Moss Flora of China 2. – 283 p. Science Press, Beijing, Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.
- LUO, T., Y. PAN, H. OUYANG, P. SHI, J. LUO, Z. YU & Q. LU (2004): Leaf area index and net primary productivity along subtropical to alpine gradients in the Tibetan Plateau. – *Global Ecology and Biogeography* **13**: 345-358.
- MEIER-GRÜNHAGEN, U. (2005): Palynologische Untersuchungen an spätquartären Sedimenten aus Hochasien. – 68 S. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Göttingen.
- MIEHE, G. & S. MIEHE (2000): Environmental Changes in the Pastures of Xizang. – *Marburger Geographische Schriften* **135**: 282-311.
- MIEHE, G., M. WINIGER & J. BÖHNER (2001): The climatic diagram map of High Asia. Purpose and concepts. – *Erdkunde* **55**: 94 - 97.
- MIEHE, G., S. MIEHE, F. SCHLÜTZ, K. KAISER & LA DUO (2006): Palaeoecological and experimental evidence of former forests and woodlands in the treeless desert pastures of Southern Tibet (Lhasa, A.R. Xizang, China). – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **242**: 54-67.
- MIEHE, G., S. MIEHE, M. WILL, LA DUO, TSERING DORGEH & J. LIU (2007a): An inventory of forest relicts in the pastures of Southern Tibet (Xizang A.R., China). – *Plant Ecology*: DOI 10.1007/s11258-007-9282-0.
- MIEHE, G., F. SCHLÜTZ, S. MIEHE, L. OPGENOORTH, J. CERMAK, R. SAMIYA, E. J. JÄGER & K. WESCHE (2007b): Mountain forest islands and Holocene environmental changes in Central Asia: A case study from the southern Gobi Altay, Mongolia. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **250**: 150-166.
- MIEHE, G., S. MIEHE, K. KAISER, J. LIU & X. ZHAO (in review): Status and dynamics of the *Kobresia pygmaea* ecosystem on the Tibetan Plateau. – *AMBIO*, in review.
- MOORE, P. D., J. A. WEBB & M. E. COLLINSON (1999): Pollen analysis. – 216 p. Blackwell Science, Oxford.
- MORGENROTH, G., H. KERSCHER, W. KRETSCHMER, M. KLEIN, M. REICHEL, T. TULLY & I. WRZOSOK (2000): Improved sample preparation techniques at the Erlangen AMS-facility. – *Nuclear instruments methods in physics research B* **172**: 416-423.
- NI, J. (2000): A Simulation of Biomes on the Tibetan Plateau and Their Responses to Global Climate Change. – *Mountain Research and Development* **20**: 80-89.
- RETZER, V. (2004): Carrying capacity and forage competition between livestock and a small mammal, the Mongolian Pika (*Ochotona pallasii*), in a non-equilibrium ecosystem, South-Gobi, Mongolia. – 272 S. Görlich und Weiershäuser, Marburg.
- SCHLÜTZ, F. (1995): Zur holozänen Vegetationsgeschichte im Gebiet des Nianbaoyeze an der Grenze der Provinzen Qinghai und Sichuan. – *Göttinger Geographische Abhandlungen* **102**: 185 - 200.
- SCHLÜTZ, F. (1999): Palynologische Untersuchungen über die holozäne Vegetations-, Klima- und Siedlungsgeschichte in Hochasien (Nanga Parbat, Karakorum, Nianbaoyeze, Lhasa) und das Pleistozän in China (Qinling-Gebirge, Gaxun Nur). – *Dissertationes Botanicae* **315**: 1-183, J. Cramer, Berlin, Stuttgart.
- SCHLÜTZ, F. (2003): Grazing on salty ground – Palynological results from the Gobi Altai, Mongolia. – *Berliner Paläobiologische Abhandlungen* **2**: 103.
- SCHLÜTZ, F. & F. LEHMKUHL (2007): Climatic change in the Russian Altai, southern Siberia, based on palynological and geomorphological results with implications on teleconnections and human history since the middle Holocene. – *Vegetation History and Archaeobotany* **16**: 101-118.
- SCHLÜTZ, F. & F. LEHMKUHL (submitted): Holocene climatic change and human influence in Eastern Tibet: Geomorphological and palynological results from the Nianbaoyeze Mountains.
- SHARMA, S. K. & U. SHARMA (1996): *Encyclopaedia of Tibet*. Vol 1: History and geography of Tibet. – 260 p. Anmol Publ., New Delhi.
- SMITH, W. W. (1996): *Tibetan nation: a history of Tibetan nationalism and Sino-Tibetan relations*. – 732 p. Westview Press, Boulder, Colorado.
- SONG, M., C. ZHOU & H. OUYANG (2004): Distributions of Dominant Tree Species on the Tibetan Plateau under Current and Future Climate Scenarios. – *Mountain Research and Development* **24**: 166-173.
- THELAUS, M. (1992): Some characteristics of the mire development in Hongyuan County, eastern Tibetan Plateau. – *Proc. of the 9th Intern. Peat Congr. 1992*, **1**: 334-351.
- VAN GEEL, B. & A. APTROOT (2006): Fossil ascomycetes in Quaternary deposits. – *Nova Hedwigia* **82**: 313-330.

- VAN GEEL, B., J. BUURMAN, O. BRINKKEMPER, J. SCHELVIS, A. APTROOT, G. VAN REENEN & T. HAKBIJL (2003): Environmental reconstruction of a Roman Period settlement site in Uitgeest (The Netherlands), with special reference to coprophilous fungi. – *Journal of Archaeological Science* **30**: 873-884.
- VÁNKY, K. (1994): European smut fungi. – 570 p. Fischer, Stuttgart [u.a.].
- YU, G., L. TANG, X. YANG & X. KE (2001): Modern pollen samples from alpine vegetation on the Tibetan Plateau. – *Global Ecology and Biogeography* **10**: 503-519.
- ZHANG, J., B. LI, J. WANG, W. CHEN & K. ZHAO (1988): Vegetation of Xizang (Tibet) (in Chinese). – 589 p. Science Press, Beijing.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Frank Schlütz, Georg-August-Universität Göttingen, Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften, Palynologie und Klimadynamik, Untere Karspüle 2, D-37073 Göttingen. e-Mail: fschlue@gwdg.de

Prof. Dr. Georg Mieke, FB Geographie, Univ. Marburg, Deutschhausstr. 10, D-35032 Marburg. e-Mail: miehe@staff.uni-marburg.de

Prof. Dr. Fank Lehmkuhl, Geografisches Institut, RWTH Aachen, Templergraben 55, D-52056 Aachen. e-Mail: flehmkuhl@geo.rwth-aachen.de