

Klimainduzierte Oszillationen von Vegetationsgrenzen im Wald-Steppen-Ökoton des Inneren Mongolei-Plateaus (Volksrepublik China)

- Martin Speier, Hongyan Liu, Haiting Cui u. Richard Pott, Hannover, Peking -

Abstract: Climatic induced oscillations of vegetation in the woodland-steppe ecotone of the Inner Mongolia Plateau (PR China): The woodland-steppe ecotone in the southeastern Inner Mongolia Plateau (PR China) is situated between the southeastern part of the Asian steppe zone and the northern part of the deciduous broadleaved forest zone which is currently within the northern boundary of the summer monsoon. The transition area between „woodland-zone“ and „steppe-zone“ can be subdivided into „woodland-grassland zone“ and „woodland-steppe zone“ including 12 main types of plant communities: 1. *Quercus mongolica*-community, 2. *Betula platyphylla*-community, 3. *Populus davidiana*-community, 4. *Betula dahurica*-community, 5. *Pinus tabulaeformis*-community, 6. *Picea meyeri*-community, 7. *Ostryopsis davidiana*-community, 8. *Polygonum viviparum*-community, 9. *Ranunculus japonicus*-community, 10. *Stipa baicalensis*-community, 11. *Leymus chinensis*-community, 12. *Ulmus-pumila*-community. The 4 subtypes of the ecotone are determined by combinations of these different community types. According to modern pollen rain studies from 148 assemblages the subzones can be also characterized by typical pollen combinations of different tree species (mainly *Pinus* and *Betula*), Chenopodiaceae and *Artemisia*. Pollen of Gramineae are extremely under-represented. Basing on modern pollen spectra, radiocarbon-dated pollen data from 4 cores of palaeolake sediments are used for the reconstruction of local and regional vegetation history. Palynological and sedimentological data (deposition of former aerosolic dust particles) as well indicate that the last 13.000 years have been characterized by several climatic variations which have been mainly influenced by changing interactions of summer and winter monsoon prevalences. During the the Holocene the steppe vegetation expanded more than 70 km to the east between 9.800-8.400 BP and 3.000-2.300 BP. The woodland reached its maximum extent 70 km westward from its current border line between 7.900-5.000 BP under warm and humid climatic conditions.

key words: vegetation history, Holocene, climatic change, woodland-steppe ecotone, vegetation response to climatic oscillations, Inner Mongolia

1. Einführung

Ökotope sind als Übergangsbereiche zwischen Gebieten verschiedener Klimaxformationen aus Vegetationsmosaikern aufgebaut, welche von den jeweiligen zonalen Vegetationstypen gebildet werden. In solchen Naturräumen können bereits geringe Schwankungen der klimatischen Bedingungen zu nachweisbaren Veränderungen in der räumlichen Verteilung der verschiedenen Vegetationstypen führen, da hier viele Arten ihre natürlichen Verbreitungs- oder Wachstumsgrenzen erreichen und auf Umweltveränderungen besonders deutlich reagieren (vergl. DI CASTRI 1988). Die Steppen- und Halbwüstengebiete der Erde, wo derzeit fast 13 % der Weltbevölkerung leben, stellen in diesem Zusammenhang besonders gefährdete Regionen dar, da infolge nachlassender Niederschläge und einer Übernutzung der natürlichen Ressourcen

cen heute vielerorts die Lebensgrundlage von Millionen von Menschen bedroht ist. Sinkt die durchschnittliche Niederschlagsrate unterhalb von 400 mm jährlich, so ist in solchen Gebieten ein Ackerbau ohne Bewässerung meist nicht mehr möglich (WINKLER et al. 1993).

Das Innere Mongolei-Plateau stellt einen solchen Ökoton zwischen der semihumid-temperaten Laubwaldzone Nordostchinas und dem westlich anschließenden semiariden Steppen- und Wüstenklima dar, dessen heutige räumliche Ausdehnung jedoch nur als vorläufiges Ergebnis einer seit Jahrtausenden anhaltenden Einwirkung von Klima, Bodenentwicklung und anthropo-zoogener Einflussnahme zu verstehen ist. Im Laufe der Erdgeschichte hat sich das Landschafts- und Vegetationsbild hier mehrfach gewandelt, wobei sich Phasen mit trocken-kalten, feucht-kühlen, trocken-warmen oder feucht-warmen Klimabedingungen einander ablösten. Als Folge menschlicher Eingriffe der Vergangenheit sind jedoch bis heute nur noch wenige, unbeeinträchtigte Wald- und Steppengebiete erhalten geblieben. Insbesondere die intensive Beweidung hat in der jüngeren Vergangenheit zu einer Degradation der Böden und zur Ausdehnung der Steppenelemente geführt. Das Vorkommen von zahlreichen, über den gesamten Grenzökoton verstreuten Paläoseen mit entsprechenden limnischen Ablagerungen macht das Innere Mongolei-Plateau für solche Forschungen zu einem besonders interessanten Untersuchungsgebiet, da hier auf einem vergleichsweise engen Raum die ehemaligen Verschiebungen der Steppen- und der Waldlandzone rekonstruiert werden können. Die vorliegende Arbeit soll einen Einblick in den derzeitigen Stand der Untersuchungen geben.

2. Lage und naturräumliche Gesamtsituation des Untersuchungsgebietes

Das Innere Mongolei-Plateau liegt im Übergangsbereich zwischen der temperaten Waldlandzone und der Steppenzone Nordostchinas in einer Meereshöhe von 1.100 m bis 1.400 m NN und wird naturräumlich im Nordosten von den bis zu 2.000 m hohen Khingan-Bergen (Greater Khingan Mountains) und im Süden und Südosten von den Jibei-Bergen begrenzt (Abb. 1 und 2). Das Gebiet wird durch seine geomorphologische Vielfalt aus ebenen Hoch-

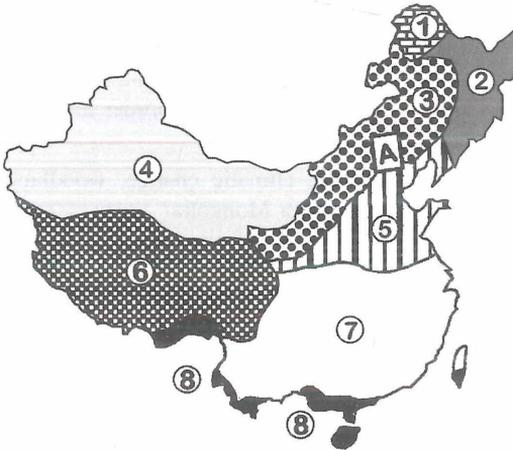


Abb. 1: Übersicht über die Vegetationszonen Chinas (nach: Wu 1983). Es bedeuten: 1= Boreale Nadelwälder; 2= Nadelholzmischwälder; 3= Steppenvegetation; 4= vegetation der Wüsten; 5= temperate Laubwälder, im Süden mit Übergängen zur immergrünen Lorbeerwaldzone; 6= Vegetation der Hochländer und Hochgebirge; 7= Immergrüne subtropische Wälder; 8= Tropisch-monsunale Regenwälder; A zeigt die Lage des Untersuchungsgebietes.

terrassen, steilen Gebirgszügen und tiefgelegenen Flusstälern sowie durch Dünengürtel gekennzeichnet. Im Gegensatz zu dem flachwelligen Khingan-Gebirge zeichnet sich die Jibei-Region durch steil aufragende Gebirgsstöcke mit Gipfellagen von über 2.000 m NN aus. Im Nordosten schließt sich die Hochebene von Xilinguole an, an deren Südrand zahlreiche Seen ausgebildet sind (Abb. 2). Im Osten dehnen sich bis zu den Flusstälern des Xilamun und des Tuligen die Sandlandschaften von Hunshandak aus, die von Ost-West-streichenden Dünenzügen geprägt werden. Der Waldsteppen-Ökoton lässt sich in zwei weitere Subzonen untergliedern, die als „Wald-Grasland-Zone“ und als „Wald-Steppen-Zone“ bezeichnet werden können (H. LIU 1998). Die jährlichen Niederschläge zeigen eine deutlich asymmetrische Verteilung von etwa 470 mm im Südosten und kontinuierlich abnehmenden Regenmengen im Nordwesten, wo nur noch 330-320 mm Niederschlag pro Jahr fällt. Die Jahresdurchschnittstemperaturen erreichen in den Tallagen und in der Hochebene von Xilinguole etwa + 3,5 °C, wohingegen die Werte in den westlichen und südlichen Gebirgsketten lokal nur - 3 °C betragen. Entsprechend diesen naturräumlichen Gegebenheiten haben sich in den verschiedenen Teillandschaften des Inneren Mongolei-Plateaus im Laufe der Zeit sehr unterschiedliche Bodentypen entwickelt: Vom Jibei-Gebirge bis zur nordwestlichen Vulkanterrasse wechseln die Bodentypen von Braunerden, grauen Waldböden und Chernozemen zu sog. „kastanienfarbigen“ Bodentypen. Sandböden dominieren dagegen in der Hunshandak-Region. Lokal können als azonale Bodentypen Rohböden in den Steillagen oder verschiedene Nassböden in den Tallagen auftreten (s. H. LIU 1998).

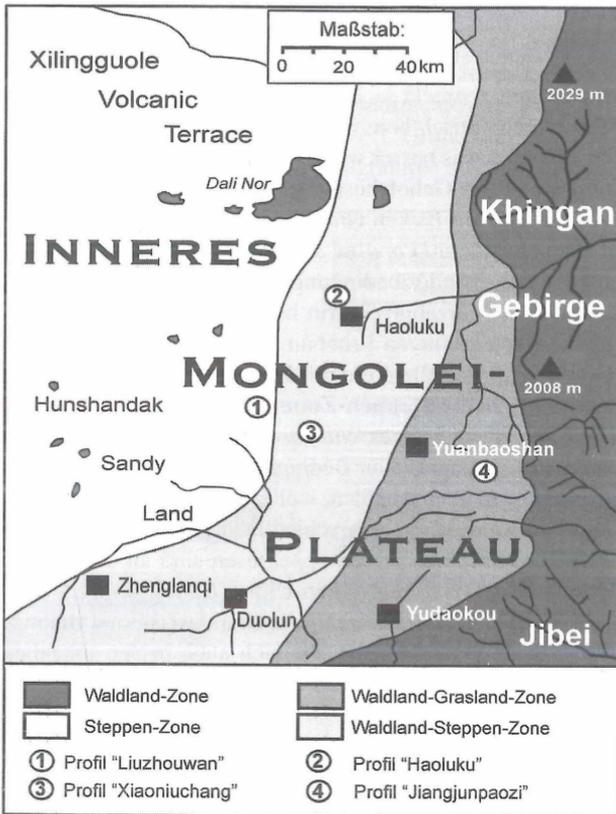


Abb. 2: Übersicht über das Untersuchungsgebiet im Inneren Mongolei-Plateau mit Angabe der Profilentnahmestellen für pollenanalytische Untersuchungen (nach: H. Liu et al. 2000).

3. Die aktuelle Vegetation

Arealgeographisch gesehen treffen in der Untersuchungsregion Elemente der ostasiatischen Florenregion mit dahurisch-mongolischen Geoelementen aufeinander. Das Jibei-Gebirge kann in diesem Zusammenhang als Tor für die Einwanderung ostasiatischer Arten in das Mongolei-Plateau verstanden werden. Die Khingan-Berge stellen dagegen eine Brücke für die Nordwanderung ostasiatischer Geoelemente bzw. die Südwanderung sibirischer Arten dar (S. LIU & Z. LIU 1982). Als zonaler Vegetationstyp der temperaten **Waldland-Zone** dominieren bis zu einer Meereshöhe um 1.400 m NN strauch- und krautreiche *Quercus mongolica*-Wälder, wohingegen *Betula dahurica*-Wälder vor allem die Höhenlagen zwischen 1.200 m und 1.600 m charakterisieren. Während großflächige *Pinus tabulaeformis*-Wälder besonders in den Jibei-Bergen verbreitet sind, kommen sie im Gebiet des Inneren Mongolei-Plateaus meist nur als kleinflächige Waldinseln am Fuße von Dünenketten vor. Die **Wald-Grasland-Zone** zeichnet sich durch ein Mosaik von Gesellschaftskomplexen aus *Betula platyphylla*- und *Picea meyeri*-Wäldern sowie aus *Polygonum viviparum*-Beständen aus (s. H. LIU et al. 1999a). In den Jibei-Bergen treten unter günstigen Niederschlagsbedingungen in Höhenlagen um 1.400 m NN zusätzlich Niedermoor-Gesellschaften hinzu, die jeweils von *Carex duriuscula* und *C. appendiculata* oder *Ranunculus japonica* dominiert werden. *Picea meyeri* erreicht im Untersuchungsgebiet zudem bereits die Nordgrenze ihrer Verbreitung, so dass sich geschlossene Waldbestände hier nur noch im Bereich der Gebirgsketten ausbilden. Im Inneren Mongolei-Plateau selbst besiedelt *Picea meyeri* dagegen vornehmlich die Dünenzüge, wo sie noch eine ausreichende Wasserversorgung vorfindet. Mit zunehmender Aridität lösen sich solche kleinflächigen Bestände sukzessive zu Einzelbaumvorkommen auf.

Die **Wald-Steppen-Zone** erstreckt sich in Lagen von weniger als 1.450 Höhenmetern, wobei Steppengesellschaften optisch bereits deutlich in den Vordergrund treten und Gehölze nur noch als Bauminseln auf etwas besser wasserversorgte Standorte beschränkt sind. Es handelt sich hierbei zum einen um Gehölzbestände, die aus Scheinhopfenbuchen (*Ostryopsis davidiana*) und mandschurischen Birken (*Betula platyphylla*) und zum anderen aus lichten und strauchreichen Pappelwäldern (*Populus davidiana*-Gesellschaft) gebildet werden. Entsprechend den kleinflächigen Standortbedingungen sind sie hier mit unterschiedlichen Steppengesellschaften mosaikartig verzahnt: So tritt beispielsweise die *Leymus chinensis*-Gesellschaft an den Hangfüßen von kleineren Erhebungen und Dünenketten auf, wohingegen die *Stipa baicalensis*-Gesellschaft vor allem die mittleren Bereiche der Dünenhänge und Terrassen einnimmt (H. LIU 1998). In der **Steppen-Zone** des Inneren Mongolei-Plateaus sind unterhalb von 1.300 m NN vor allem *Leymus chinensis*-Steppengesellschaften ausgebildet. Entsprechend den kleinräumigen edaphischen Bedingungen lassen sich auch hier unterschiedliche Gesellschaftsausprägungen unterscheiden, wobei anthropo-zoogene Beeinflussungen beispielsweise in Form der Beweidung zu unterschiedlichen Dominanzbeständen der genannten Arten führen können. Eingestreut in diese Steppenrasen sind an der Basis der Dünenketten kleinflächige Vorkommen der mandschurischen Ulme (*Ulmus pumila*). Die lichten und von einer lückigen Strauchschicht aus *Spiraea aquifolia* charakterisierten Baumgruppen zeigen in der Krautschicht weitgehend Krautelemente, die sich auch in den umgebenden Steppengesellschaften finden lassen (H. LIU 1998, H. LIU et al. 2000).

4. Material und Methoden

Für die pollenanalytischen Untersuchungen wurden Sedimente von vier Paläosen als kontinuierliche Profile erbohrt, in Intervallen von 5 cm nach der Acetolyse-Methode von ERDTMAN (1954) physikalisch und chemisch aufbereitet und bis zum Erreichen einer Summe von

250 Pollenkörnern lichtmikroskopisch ausgezählt. Die Auszählung von Staubpartikeln sowie die Bestimmung der magnetischen Suszeptibilität bieten zusätzliche Informationsquellen für das vermehrte Einwehen von Stäuben und geben damit Auskunft über die Ausdehnung oder gegebenenfalls auch den Rückgang der Steppenelemente im Einzugsbereich der heutigen Paläoseen. Ausgewählte Proben wurden zur Ermittlung des Radiocarbonalters AMS-datiert. Daneben wurden 148 Oberflächenproben aus der Bodenoberfläche von distinkten Vegetationseinheiten, welche zuvor pflanzensoziologisch nach der Methode von BRAUN-BLANQUET (1964) bearbeitet wurden, entnommen und nach der bereits erwähnten Methodik aufbereitet. Die Ergebnisse der Rezentpollenanalyse wurden je nach ihrem Entnahmeort verschiedenen Subzonen (Waldlandzone, Wald-Graslandzone, Wald-Steppenzone, Steppenzone) zugeordnet und mathematisch subsummiert (Abb. 3).

5. Rezentpollenanalytische Untersuchungen als Schlüssel zur Identifikation ehemaliger arider und humider Vegetations- und Klimazonen

Zur Identifikation von ehemaligen ariden oder humiden Klimabedingungen sowie zur Rekonstruktion von Phasen mit vergleichsweise niedrigen oder hohen Jahresdurchschnittstemperaturen ist das parallele Auftreten von verschiedenen Pollentypen und Pollenkorn-Kombinationen in Pollendiagrammen von besonderer diagnostischer Bedeutung: Die verschiedenen Fichtenarten Nordostasiens (*Picea jezoensis*, *P. koraiensis*, *P. meyeri*, *P. wilsonii*) zeichnen sich beispielsweise durch eine recht enge ökologische Amplitude aus, so dass das Vorkommen von Pollenkörnern dieser Arten in Paläosedimenten als Indikator für relativ kühle, aber feuchte Klimabedingungen gilt (Cui et al. 1997). Grundsätzlich muss in diesem Zusammenhang aber beachtet werden, dass die Pollendiagramme aus Nordostchina nicht nur klima-

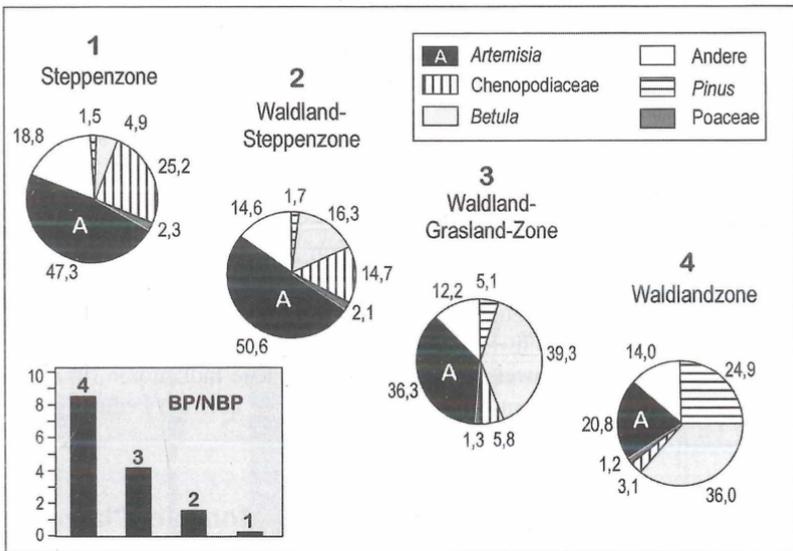


Abb. 3: Vereinfachte Darstellung der Ergebnisse aus den Messungen des aktuellen Pollenniederschlags in den verschiedenen Subzonen des Inneren Mongolei-Plateaus. Links unten ist das jeweilige Verhältnis der Baumpollen (BP) zu den Nichtbaumpollen (NBP) dargestellt (nach: H. Liu et al. 1999b).

tisch gesteuerte Verschiebungen der Wald- und Steppenzonen widerspiegeln, sondern auch die zeitlich und räumlich differenzierte Wiedereinwanderung unterschiedlicher Baum-, Strauch- und Krautarten. Insbesondere die Analysen des rezenten Pollenniederschlags in den verschiedenen Wald- und Steppenlandschaften Chinas (SUN & WU 1988, LI & YAO 1990, HUANG 1993, WENG et al. 1993, WANG et al. 1997, H. LIU et al. 1999b, H. LIU et al. 2000) und des Vorderen Orients (EL-MOSLIMANY 1990, VAN ZEIST & BOTTEMA 1991) ermöglichen inzwischen eine sichere Differenzierung arider und humider Klimabedingungen.

Die Frequenzspektren des aktuellen Pollenniederschlags in den vier Subzonen des Inneren Mongolei-Plateaus reflektieren überraschend deutlich die heutigen Vegetationsverhältnisse im Untersuchungsgebiet: So zeichnet sich der rezente Pollenniederschlag durch besonders hohe Anteile an Baumpollen aus, wobei der prozentuale Anteil an *Pinus*-Pollen (24,9 %) und *Betula*-Pollen (36,0 %) fast zwei Drittel des Gesamtpollenspektrums ausmacht (Abb. 3). Generell kann man beobachten, dass der Anteil an Baumpollen in den aktuellen Pollenspektren der Waldlandzone am höchsten, in denen der Steppenzone hingegen am niedrigsten ist. Das aus dem aktuellen Pollenniederschlag bestimmbare Verhältnis von Baum- zu Nichtbaumpollen (BP/NBP) nimmt in den verschiedenen Subzonen von Ost nach West kontinuierlich ab. Die beiden Subzonen des Ökoton zeigen in diesem Zusammenhang genau die intermediären Verhältnisse (Abb. 3).

Artemisia-Pollenkörner sind in diesen Pollenspektren häufig vertreten und erreichen mit einem Anteil von fast 21 % bereits in der Waldlandzone recht hohe Werte. Gemessen an der tatsächlichen Bedeutung der verschiedenen Beifußarten am Aufbau der heutigen Vegetation sind sie pollenanalytisch aber sicherlich überrepräsentiert (vergl. H. LIU et al. 1999b). Entsprechend der wachsenden Bedeutung von *Artemisia*-Arten in den zunehmend ariden Subzonen des Inneren Mongolei-Plateaus nimmt auch ihr Anteil am aktuellen Pollenspektrum bis zu einem Maximalwert von 47,3 % sukzessive zu. Hohe Pollenfrequenzen von *Artemisia* in den Pollendiagrammen sind demnach neben anderen pollenfloristischen und sedimentologischen Merkmalen (Rückgang der Baumpollen, Zunahme der Gramineen-Frequenzspektren, hoher Anteil an Staubpartikeln in den Sedimenten) ein guter Indikator zur Bestimmung von ariden Klimaperioden. Vergleichbares gilt übrigens auch hinsichtlich der zahlreichen Gänsefußarten in der mongolischen Steppenvegetation, deren Pollenkörner unter dem sog. „Chenopodiaceen-Typ“ zusammengefasst werden: Macht ihr Anteil an den aktuellen Pollenspektren aus der Waldlandzone nur etwa 3 % aus, so steigt er in der Steppenzone auf über 25 % (Abb. 3). Auch der Chenopodiaceen-Typ ist demnach ein guter Indikator für die Ausbildung einer Steppenvegetation, wenn er mit hohen Anteilen in den Paläosedimenten wiederzufinden ist. In allen rezenten Pollenspektren sind die Pollenkörner der verschiedenen Gras-Arten (Poaceen-Typ) deutlich unterrepräsentiert, denn mit einem Anteil von maximal 2,3% sind sie selbst im aktuellen Pollenniederschlag inmitten der heutigen mongolischen Federgras-Steppe - in allen Frequenzspektren nur sehr schwach vertreten (vergl. H. LIU 1998, H. LIU et al. 1999a). Zwar können säkulare Schwankungen der Poaceen-Spektren auf Veränderungen der damaligen Steppenvegetation hinweisen, als pollenanalytische Indikatoren für eine Zu- oder Abnahme der Aridität sind Gräser in diesem Zusammenhang aber nur bedingt geeignet.

6. Wandel der Vegetation im Inneren Mongolei-Plateau

Zahlreiche pollenanalytische Untersuchungen belegen inzwischen, dass während des letzten Vereisungsmaximums (ca. 18.000 BP) weite Teile der heutigen Laubwald- und Nadelmischwaldzone im Norden und Nordosten Chinas von einer *Artemisia*-Kältesteppe bedeckt waren, die sich unter dem damaligen trocken-kalten Klima herausgebildet hatte (K. LIU 1988,

WINKLER & WANG 1993, WANG & SUN 1994). Noch im Spätglazial (14.380 ± 620 BP - 10.490 ± 240 BP) herrschte auch im Inneren Mongolei-Plateau eine *Artemisia*-reiche Steppeflora vor, wie die beiden Pollendiagramme Liuzhouwan und Haoluku exemplarisch veranschaulichen (Abb. 4). Der hohe Anteil an *Betula*-Pollen in den Baumpollenspektren dieser beiden Diagramme lässt zudem vermuten, dass bereits damals inselartig ausgebildete Birkenbestände in die ehemalige Steppenlandschaft eingestreut waren. Insgesamt lassen die pollenanalytischen Befunde aber auf ein - im Vergleich zu heute - deutlich kälteres und trockenes Klima schließen, welches die Existenz geschlossener Laubmischwälder und Nadelholzwälder nicht zuließ. Der hohe Anteil an Feinstäuben in den Sedimenten der untersuchten Paläosen verdeutlicht weiterhin, dass diese trocken-kalten Klimabedingungen eine stärkere Verwehung von aerosolen Staubpartikeln ermöglichte (vergl. Abb. 4).

In ihrer räumlichen Ausdehnung reichte die damalige Steppenvegetation dagegen mindestens 60-70 km weiter ostwärts bis in das Gebiet der heutigen Ortschaft Jiangjunpaozi (Abb. 5). Noch bis 13.100 ± 600 BP dehnte sich diese Kältesteppe aber nachweislich noch wesentlich weiter nach Süden, bis über den 39. Breitengrad nach Peking aus, wo erst ab 13.000 BP

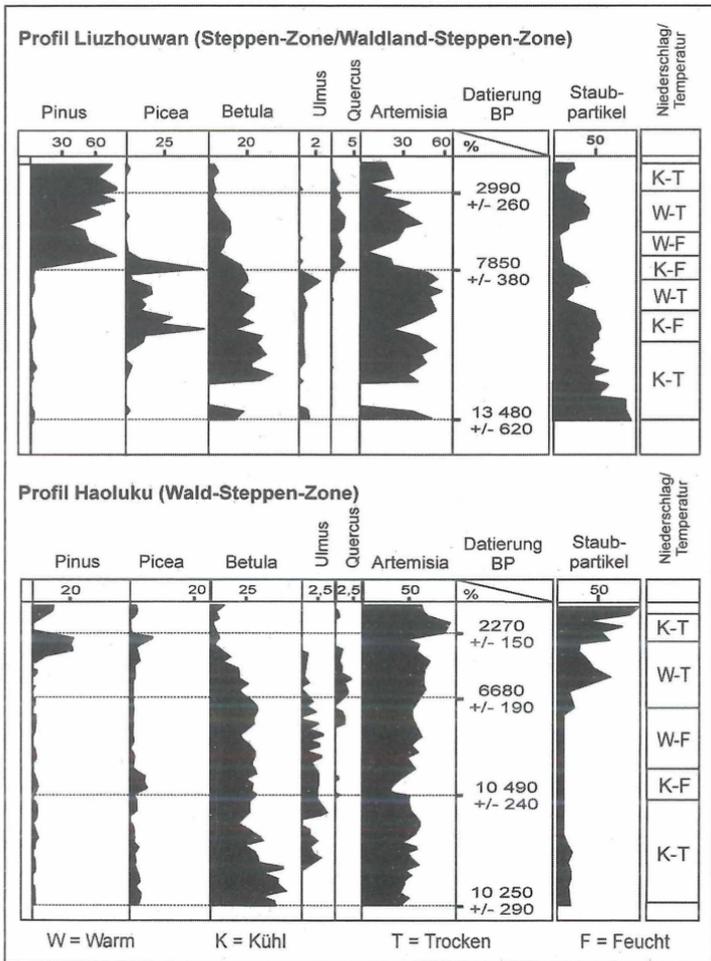


Abb. 4: Darstellung ausgewählter Frequenzspektren aus den Pollendiagrammen Liuzhouwan und Haoluku (nach: H. Liu 1998).

an Fichten, Tannen und Lärchen reiche Mischwälder entstanden (KONG & DU 1980, K. LIU 1988). In Nordwestchina lässt sich pollenanalytisch bereits während des Spätglazials eine Südwanderung von Ulmen anhand von deutlichen Frequenzsteigerungen von *Ulmus* (wahrscheinlich *Ulmus pumila*) nachweisen (SUN & CHEN 1991). In der Region um Liuzhouwan, welche heute im Übergangsbereich zwischen der Steppen-Zone und der Wald-Steppen-Zone liegt, waren demnach bereits um 13.000 BP neben Birken auch Ulmen im Gehölzspektrum vertreten. Kiefern, Fichten und Eichen spielten dagegen nur eine untergeordnete Rolle oder fehlten noch gänzlich. Im Gebiet der heutigen Wald-Steppen-Zone um Haoluku lassen sich Ulmen dagegen erst 3.000 Jahre später für die Zeit um 10.000 BP pollenanalytisch nachweisen. Demgegenüber haben in der Wald-Grasland-Zone um Jiangjunpaozi Ulmen vermutlich zu keiner Zeit eine größere Rolle im Baumartenspektrum gespielt.

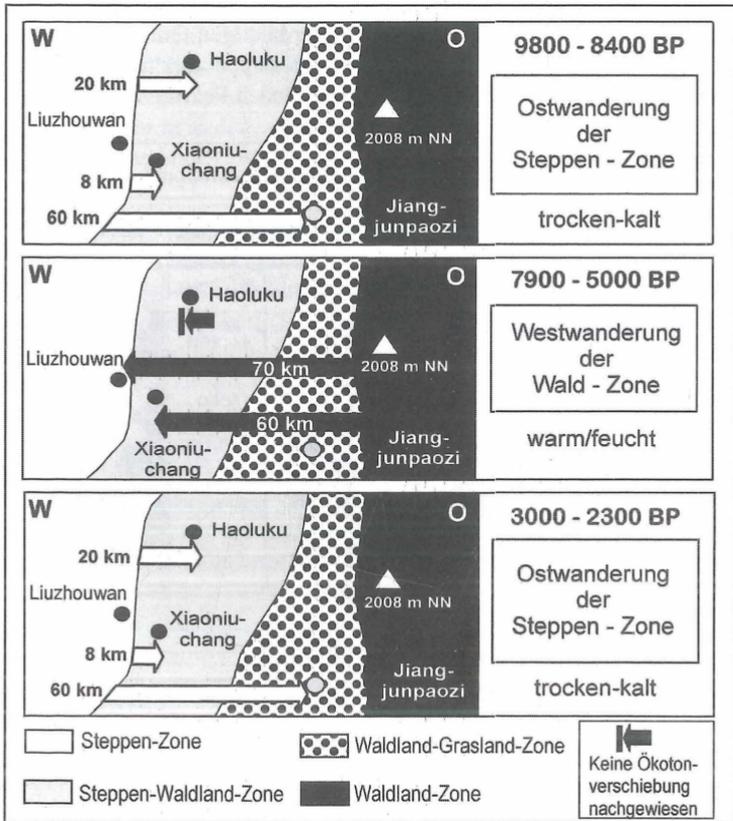


Abb. 5: Vereinfachte Übersicht über die Ost-West-Migrationen von Wäldern und Steppenelementen im Verlaufe des Holozäns auf der Basis pollenanalytischer und sedimentologischer Untersuchungen im Inneren Mongolei-Plateau.

Um 10.000 BP breiteten sich unter den verbesserten klimatischen Rahmenbedingungen verstärkt Fichten (*Picea spec.*) im nordwestlichen China aus, während die Steppenflora vorübergehend zurückgedrängt wurde. In Nordostchina entstanden in der Folgezeit Nadelmischwälder und sogar Laubmischwälder, während sich im Gebiet des Yangtze bereits immergrüne Wälder etablieren konnten (YANG & XIE 1984, K. LIU & JIANG 1992). Im zeitlichen Einklang mit diesen regionalen Veränderungen zeigen die Pollenspektren aus der Region der Inneren Mongolei für diesen Zeitabschnitt eine deutliche Zunahme von *Picea*, die Fre-

quenzspektren der Steppenelemente nehmen hingegen einen regressiven Verlauf (Abb. 4). Diese Befunde weisen auf eine Zunahme der Humidität in der Region hin, welche die Ausbreitung von verschiedenen Fichten-Arten auch in Bereichen der heutigen Wald-Grasland-Zone und der Wald-Steppen-Zone ermöglichte. Pollenanalytisch lässt sich belegen, dass während des Präboreals Fichten allmählich von Norden nach Süden in die Untersuchungsregion einwanderten (K. LIU 1988). So lassen sich im Pollendiagramm Haoluku Pollenkörner von *Picea* schon für die Zeit um 10.250 ± 290 BP nachweisen. In der einige km südlich gelegenen Region um Liuzhouwan treten Fichten dagegen erst um 9.770 ± 380 BP auf. Wo in der heutigen Steppen-Zone des Inneren Mongolei-Plateaus *Stipa baicalensis*- und *Leymus chinensis*-Gesellschaften vorherrschen, wuchsen somit zur Zeit des Präboreals noch *Picea jezoensis*-reiche Nadelwälder. Der Fund eines auf 10.040 ± 100 BP datierten Baumstammes von *Picea jezoensis* in der heutigen Hunshandak-Steppe belegt nachweislich die damalige Existenz eines temperat-humiden Fichtenwaldes (CUI et al. 1997). Das Vorkommen von *Picea meyeri* in der Untersuchungsregion legt weiterhin nahe, dass die ermittelten Pollenspektren jedoch das Migrationsverhalten von mindestens zwei verschiedenen Fichten-Arten in diesem Naturraum widerspiegeln könnten: Während zunächst die Yedo-Fichte (*Picea jezoensis*) im Präboreal nach Südosten einwanderte, ist im mittleren Holozän mit einer Nordwanderung von *Picea meyeri* zu rechnen, die sich in der kälteren Phase des späten Holozäns wieder nach Süden zurückzog und im Inneren Mongolei-Plateau nur auf Sonderstandorten überleben konnte (vergl. H. LIU 1998).

Um 7.850 ± 380 BP haben sich Kiefern (*Pinus spec.*) im Mongolei-Plateau unter dem zeitgleichen Rückgang von Fichten und Birken stark ausgebreitet (s. Abb. 4). Vom Spätglazial bis zum frühen Holozän hatten Kiefern in Nordostchina nur eine sehr untergeordnete Rolle in den damaligen Wäldern gespielt. Während des Hochglazials waren sie in Nordostchina vermutlich auf lokal günstigere Refugialgebiete beschränkt, bis sie im mittleren Holozän unter dem wärmeren und humiden Klima verstärkter Sommermonsune in die südlichen Steppenregionen einwanderten. Auf regionaler und lokaler Ebene lässt sich daher für die Zeit um 8.000-3.500 BP eine unterschiedliche Ausbreitungsdynamik der Chinesischen Tafelkiefer (*Pinus tabulaeformis*) oder der Koreanischen (*P. koraiensis*) und Mongolischen Kiefer (*P. sylvestris var. mongolica*) diskutieren (KREMENETSKI et al. 1998). Aufgrund der heutigen Areale der verschiedenen *Pinus*-Arten erscheint es wahrscheinlich, dass es im Inneren Mongolei-Plateau vor allem *Pinus tabulaeformis* ist, deren Einwanderungsverhalten sich in den ermittelten Pollenspektren widerspiegelt. Demnach erschien die Chinesische Tafelkiefer im frühen Atlantikum um 7.850 BP zuerst in der Region um Liuzhouwan, wohingegen sie sich in den Gebieten um Xiaoniuchang und Jiangjunpaozi erst um 5.500 BP ausbreitete (H. LIU 1998).

Unter den verbesserten klimatischen Rahmenbedingungen mit höheren Jahresdurchschnittstemperaturen und höheren Niederschlägen setzten um 7.000-5.000 BP aber nicht nur verstärkte Migrationsbewegungen verschiedener Nadelholzarten ein, es verbesserten sich im Ökoton des Mongolei-Plateaus generell die Rahmenbedingungen für die Etablierung von Wäldern. Aufgrund der palynologischen Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass sich die Grenze der damaligen Waldlandzone zu dieser Zeit um mindestens 70 km nach Westen verschoben hatte (s. Abb. 5). Mit einer klimatischen Abkühlung etwa ab 5.000 BP lässt sich pollenanalytisch in verschiedenen Teilen Nordchinas ein Rückgang der Kiefernwälder nachweisen, die auch in den Diagrammen aus dem Bereich des Inneren Mongolei-Plateaus deutlich wird (vergl. K. LIU 1988, KREMENETSKI et al. 1998). Mit der Erwärmung und der zunehmenden Humidität im mittleren Holozän konnten sich auch Laubgehölze wie *Corylus* und *Quercus* vermehrt in den Wäldern durchsetzen. Um 8.680 ± 250 BP hatten sich in der Region um Xiaoniuchang bereits Eichen (*Quercus spec.*) etabliert, die in der Peripherie der heutigen Steppenlandschaft um Liuzhouwan jedoch erst 1000 Jahre später ($7.850 \pm$

380 BP) auftraten. Im mittleren Holozän (7.500 - 2.900 BP) bildeten sich somit in der Laubwaldzone zunehmend eichenreiche Waldtypen aus, wohingegen *Picea*-reiche Wälder bis auf lokale Reliktstandorte verschwanden. Vergleichbare Verdrängungseffekte machten sich in der ersten Hälfte des mittleren Holozäns auch in Europa bemerkbar, wo die vormals vorherrschenden Nadelbäume sukzessive durch die einwandernden Laubhölzer auf ökologische Sonderstandorte verdrängt wurden, wie dies beispielsweise POTT (2000) anhand des Antagonismus zwischen nadelholzreichen Mischwäldern und Buchenwäldern dargestellt hat.

Die pollenanalytischen Ergebnisse aus dem Grenzökoton des Mongolei-Plateaus lassen auf eine Ausbreitung der Steppenelemente ab 3.000 BP schließen. Auch im Umfeld von Haoluku lässt sich beispielsweise für die Zeit um 2.270 ± 150 BP ein erneuter Versteppungsprozess feststellen. Pollenfloristisch macht sich dies in einer deutlichen Zunahme des Frequenzspektrums von *Artemisia* und einem prozentualen Rückgang des Pollens von *Pinus*, *Picea* und *Quercus* in den Pollendiagrammen bemerkbar (Abb. 4). Die Ausbreitung der Steppe im Inneren Mongolei-Plateau könnte hier als Folge einer subatlantischen Erwärmungsphase gedeutet werden. Zugleich muss aber auch hier mit einer verstärkten menschlichen Einflussnahme auf die Vegetation gerechnet werden, welche die klimatischen Effekte überlagert. Aufgrund fehlender pollenführender Straten bzw. einer Stauchung in den oberen Sedimentschichten der Profile Xiaoniuchang und Jiangjunpaozi kann die weitere Vegetationsentwicklung im Inneren Mongolei-Plateau nur noch eingeschränkt verfolgt werden. Aus den Frequenzspektren der Waldbildner und der Steppenelemente im Pollendiagramm Haoluku lässt sich für die Phase des Späten Holozäns lediglich eine Zunahme der Aridität ableiten. Sie wurde von einer stärkeren menschlichen Einflussnahme auf Vegetation und Landschaft begleitet, welche im Laufe der Zeit zu den heutigen Vegetationsverhältnissen führte.

7. Spätglaziale und holozäne Klimazyklen

Als eine wesentliche Ursache für die Zu- oder Abnahme der Aridität innerhalb der nordasiatischen Steppengebiete gilt der wechselnde Einfluss der monsonalen Sommerwinde, die je nach ihrer Stärke unterschiedliche Regenmengen nach Süd- und Nordostchina transportieren (WINKLER & WANG 1993, AN et al. 2001). Noch während des Wisconsin-Würm-Hochglazials und auch noch während des frühen Spätglazials, als die damalige Kältetundra noch bis nach Peking reichte, war das Klima ausgesprochen kalt und trocken. Man nimmt an, dass zu dieser Zeit regelmäßige Einbrüche arktischer Luftmassen aus Sibirien die Südausdehnung der Steppe begünstigten (K. LIU 1988). Offenbar als Folge stärkerer Sommermonsune setzte bereits um 10.490 ± 240 BP kurzfristig ein klimatischer Umschlag zu etwas kalt-trockenen Bedingungen folgte. Um 9.000 BP bestimmten jedoch wiederum stärkere Sommermonsune und eine ausgeprägte Saisonalität das Klima Süd- und Nordostchinas, wobei aber vor allem die Winter feuchter, die Sommer jedoch regenreicher und sogar wärmer als heute waren (Abb. 6). Kennzeichnend für diese Periode ist zudem ein allgemeiner Anstieg des Meeresspiegels sowie eine flächenmäßige Ausdehnung heutiger Paläoseen (SUN & CHEN 1991, PACHUR et al. 1995, LI & ZHU 2001). Dennoch herrschte um 9.000 BP im Bereich des Inneren Mongolei-Plateaus noch eine Steppenvegetation vor, die sich mindestens bis zu 70 km in das Gebiet der heutigen Waldland-Grasland-Zone erstreckte (Abb. 5). Nach WEBB et al. (1993) lagen noch vor mehr als 9.000 Jahren die Oberflächentemperaturen über der nordafrikanischen und der euroasiatischen Landmasse um 2-4 °C höher als heute. Etwa ab etwa 8.400 BP begann sich das Klima aber deutlich zu höheren jährlichen Durchschnittstemperaturen und höheren Niederschlägen zu verbessern (s. Abb. 7). Grundsätzlich unterbrochen nach FENG et al. (1993) im Holozän zwei kühlere Epochen jeweils um 7.300 BP und 5.000 BP diese „Optimalphase“, so

dass sie insgesamt in drei wärmere Subperioden gegliedert werden kann: 9.000-7.800 BP, 7.500-5.800 BP und 5.300-3.000 BP. Vermutlich waren die Niederschläge um 6.000 BP wesentlich höher als noch 3.000 Jahre zuvor und ermöglichten eine Ausdehnung neolithischer Kulturen nach Norden und Nordosten (WINKLER & WANG 1993). Pollenanalytische und sedimentologische Untersuchungen in der südlich an das Mongolei-Plateau anschließenden Provinz Liaoning lassen weiterhin darauf schließen, dass die mittlere Jahresdurchschnittstemperatur zwischen 8.500 BP und 3.500 BP sogar um 3-5 °C höher als heute lag (QU 1981, CUI & XIE 1985).

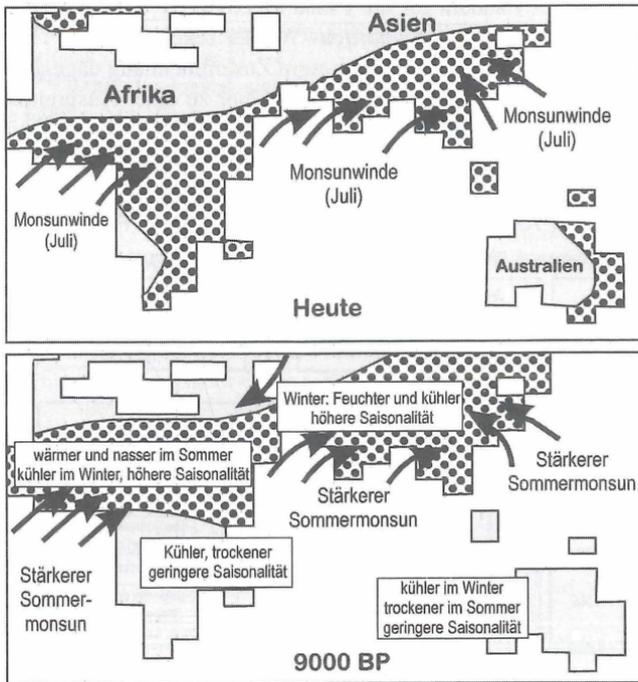


Abb. 6: Stark vereinfachte Darstellung der sommermonsunalen Windsysteme im Bereich des Indischen Ozeans vor 9.000 Jahren und heute (nach: Webb et al. 1993).

Aufgrund der palynologischen Untersuchungen aus dem Inneren Mongolei-Plateau kann man schließen, dass ab etwa 3.000 BP ein deutlicher Rückgang der Jahresmitteltemperatur und der Niederschläge einsetzte, welche erneut eine Ausdehnung der Steppe nach Osten ermöglichten (Abb. 5). Vergleichbare Untersuchungen aus Liaoning bestätigen diesen allgemeinen Trend in der Klimaentwicklung (Abb. 7). Ob es sich hierbei nur um ein regionales oder gar um ein globales Klimasignal handelt, kann derzeit noch nicht endgültig geklärt werden: Vergleichende Untersuchungen aus Zentral- und Südchina lassen darauf schließen, dass China insgesamt von kühleren Wintermonsunen geprägt wurde (WINKLER & WANG 1993). Pollenanalytische Untersuchungen aus den Übergangsbereichen der nordamerikanischen Langgras-Prärie zur damaligen Eichen-Savanne lassen für die Zeit um 3.500-2.500 BP auch auf dem nordamerikanischen Kontinent eine Abkühlung des Klimas vermuten (WINKLER 1986, WINKLER et al. 1986). Andererseits ergeben sich aus vergleichbaren Untersuchungen aus Indiana (USA), dass diese Abkühlungsphase jedoch regional unterschiedlich wirksam wurde (BARTLEIN et al. 1984). TARASOV & KREMENETSKI (1995) kommen aufgrund ihrer Untersuchungen im Grenzökotonbereich der kasachischen Steppe zu dem Ergebnis, dass im Subboreal ein Trend zu einer zunehmenden Aridität zu verzeichnen sei, die zu einer Ausbrei-

tung der Steppe geführt habe. Pollenanalytische Untersuchungen in Seesedimenten der Sahel-Zone (Oursi, Burkina Faso) führen wiederum zu dem Ergebnis, dass sich um 3.000 BP die Vegetationsverhältnisse auch in Nordwestafrika zwar deutlich verändert haben, hier jedoch weniger klimatische als viel mehr anthropogene Effekte ausschlaggebend waren (BALLOUCHE & NEUMANN 1995). Dass sich etwa ab 2.000 BP allgemein veränderte Klimabedingungen durchzusetzen begannen, lässt sich beispielsweise auch aus der Verschiebung von Vegetationsgrenzlinien in den Steppengebieten Nord- und Südamerikas ableiten (COLE & TAYLOR 1995). In der südargentinischen Wald-Steppen-Region der Tierra del Fuego konnten auch HEUSSER & RABASSA (1995) zudem für die Phase ab 2.000 BP eine Ausdehnung der Steppe unter Zurückdrängung der dortigen *Nothofagus*-Wälder rekonstruieren. Für das Gebiet der eurasisch-kasachischen Steppe bietet sich in diesem Zusammenhang dagegen ein etwas anderes Bild: Zwischen 1.800 BP und 800 BP kommt es hier zu einer Ausbreitung von Kiefernwäldern, woraus TARASOV & KREMENETSKI (1995) auf eine klimatische Grundsituation von niedrigeren Sommertemperaturen, aber wärmeren Wintern schließen.

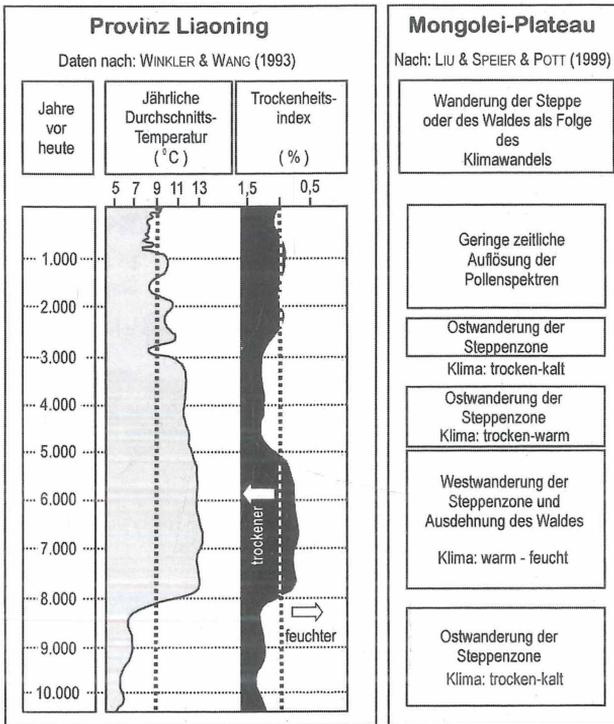


Abb. 7: Gegenüberstellung der Temperatur- und Niederschlagsbedingungen im Verlaufe des Holozäns in der chinesischen Provinz Liaoning und im Inneren Mongolei-Plateau (nach Winkler & Wang 1993 und H. Liu et al. 1999b).

8. Literatur

- AN, Z.S., J.E. KUTZBACH, W.L. PRELL & S.C. PORTER (2001): Evolution of Asian monsoon and phased uplift of the Himalayas-Tibetan plateau since late Miocene times. - *Nature* **365**: 143-147.
- BALLOUCHE, A. & K. NEUMANN (1995): A new contribution to the Holocene vegetation history of the West African Sahel: pollen from Oursi, Burkina Faso and charcoal from three sites in northeast Nigeria. - *Veget. Hist. and Archaeobot.* **4** (1): 31-39.

- BARTLEIN, P. J., T. WEBB & E. FLERI (1984): Holocene climatic change in the northern Midwest: Pollen derived estimates. - *Quart. Res.* **22**: 361-374.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): *Pflanzensoziologie*, 3. Aufl., 865 S., Springer-Verl., Wien.
- COLE, K. L. & R. S. TAYLOR (1995): Past and current trends of change in a dune prairie/oak savanna reconstructed through a multiple-scale history. - *Journ. of Veg. Science* **6**: 399-410.
- CUI, H., H. LIU & X. YAO (1997): The finding of a palaeo-spruce timber in Hunshandak sandy land and its paleoecological significance. - *Science in China* **40** (6): 599-604.
- CUI, Z. & Y. ZIE (1985): Periglacial environments in northern China. - *Glaciology and Geocrology* **6** (2): 115-123.
- DI CASTRI, F. (1988): A new look at ecotones: emerging international projects on landscape boundaries. - *Biology International Special Issue* **17**:1-17.
- EL-MOSLIMANY, A.P. (1990): Ecological significance of common nonboreal pollen examples from drylands of the middle east. - *Review of Palaeobotany and Palynology* **64**: 343-350.
- ERDTMAN, G. (1954): *An introduction to pollen analysis*: 239 S., Stockholm.
- FENG, Z., L.G. THOMPSON, E. MOSLEY-THOMPSON & T. YAO (1993): Temporal and spatial variations of climate in China during the last 10.000 years. - *The Holocene* **3** (2): 174-180.
- HEUSSER, C. J. & J. RABASSA (1995): Late Holocene forest-steppe interaction at Cabo San Pablo, Isla Grande de Tierra del Fuego, Argentina. - In: RABASSA, J. & M. SALEMNE (eds.): *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*: 173-182, Balkema/Rotterdam.
- HOU, H.-Y (1981): On the principles and programs of vegetation regionalization in China. - *Acta Phytocologia et Geobotanica Sinica* **5** (4): 290-301 (in Chinese).
- HOU, H.-Y (1988): *Physical geography of China*. - *Phytogeography (II)*, Science Press, Beijing (in Chinese).
- HUANG, C. (1993): A study on pollen in surface soil from the western Xizang. - *Arid Land Geography* **16** (4): 75-83.
- KONG, Z. & N. DU (1980): Vegetational and climatic changes in the past 30.000-10.000 years in the Beijing region. - *Acta Botanica Sinica* **22** (4): 330-338.
- KREMENETSKI, K. V., K. LIU & G. M. MACDONALD (1998): The late Quaternary dynamics of pines in northern Asia. - In: RICHARDSON, D. M. (ed.): *Ecology and biography of Pinus*. - Cambridge University Press: 95-106.
- KREMENETSKI, K. V., P. E. TARASOV & A. E. CHERKINSKY (1997): The latest Pleistocene in southwestern Siberia and Kazakhstan. - *Quaternary Internat.* **41/42**: 125-134.
- LI, B. & L. ZHU (2001): „Greatest lake period“ and its palaeoenvironment on the Tibetan plateau. - *J. Geogr. Sci.* **11** (1): 34-42.
- LI, W. & Z. YAO (1990): A study on the quantitative relationship between vegetation and pollen in surface samples and *Pinus* vegetation. - *Acta Botanica Sinica* **32** (12): 943-950 (in Chinese).
- LI, Y., X. ZHANG & G. ZHOU (2000): Study of quantitative relationship between vegetation and pollen in surface samples in the eastern forest area of northeast China transect. - *Acta Botanica Sinica* **42** (1): 81-88 (in Chinese).
- LIU, H. (1998): Past and present woodland-steppe ecotone in the south-eastern Inner Mongolia plateau. - *Diss. Institut für Geobotanik der Universität Hannover*, 106 S., Hannover.
- LIU, H., M. SPEIER & R. POTT (1999a): Vegetationskundliche und paläoökologische Untersuchungen zum Landschafts- und Klimawandel im Waldsteppen-Ökoton des Inneren Mongolei-Plateaus (VR China). - In: BRECKLE, S.-W., B. SCHWEIZER & U. ARNDT (Hrsg.): *Ergebnisse weltweiter ökologischer Forschung - Beiträge des I. Symposiums der A.F.W. Schimper-Stiftung*: 1-17, Stuttgart.
- LIU, H., H. CUI, R. POTT & M. SPEIER (1999b): Surface pollen of the woodland-steppe-ecotone in south-eastern Inner Mongolia, China. - *Review of Palaeobotany and Palynology* **105**: 237 - 250.
- LIU, H., H. CUI, R. POTT & M. SPEIER (2000): Vegetation of the woodland-steppe transition at the south-eastern edge of the Inner Mongolian Plateau. - *J. Veg. Science* **11**: 525-532, Uppsala.
- LIU, K. (1988): Quaternary history of the temperate forests of China. - *Quart. Science Reviews* **7**: 1-20.
- LIU, K. & X. JIANG (1992): Environmental change in the Yangtze River Delta since 12.000 yr BP. - *Quat. Res.* **38**: 32-45.

- LIU, S. & Z. LIU (1982): Flora of the Xilin river basin, Inner Mongolia. - Research of grassland ecosystems 2: 1-53 (in Chinese).
- PACHUR, H.J., B. WÜNNEMANN & H. ZANG (1995): Lake evolution in the Tengger Desert, Northwestern China during the last 40.000 years. - Quat. Res. 44: 383-391.
- POTT, R. (2000): Palaeoclimate and vegetation- long term vegetation dynamics in central Europe with particular reference to beech. - Phytocoenologia 30 (3/4): 285-333.
- QU, S. (1981): Environmental changes since the last glaciation in northeastern China. - Acta Geographica Sinica 36 (3): 315 - 327.
- SUN, X. & Y. CHEN (1991): Palynological records of the last 11.000 years in China. - Quat. Science Rev. 10: 537-544.
- SUN, X. & Y. WU (1988): Modern pollen rain of mixed conifer forest in Changbai MT., northeastern China. - Acta Botanica Sinica 30 (5): 549-557 (in Chinese).
- TARASOV, P. E. & K. V. KREMENETSKI (1995): Geochronology and stratigraphy of the Holocene lacustrine-bog deposits in northern and central Kazakhstan. - Stratigraphy and Geological Correlation 3 (1): 73-80.
- VAN ZEIST, D. & S. BOTTEMA (1991): Late Quaternary vegetation of the Near East. - Reichert-Verl., Wiesbaden.
- WANG, P. & X. SUN (1994): Last glacial maximum in China: comparison between land and sea. - Catena 23: 341-353.
- WANG, F., C. SONG, X. SUN & Q. CHENG (1997): Climatic response in surface sample pollen spectra from pollen data of four arboreal taxa in northern China. - Acta Botanica Sinica 39 (3): 272-281 (in Chinese).
- WEBB, T., W.F. RUDDIMAN, F.A. STREET-PERROT, V. MARKGRAF, J.E. KUTZBACH, P.J. BARTLEIN, H.E. WRIGHT & W. L. PRELL (1993): Climatic changes during the past 18.000 years: regional syntheses mechanisms and causes. - In: WRIGHT, H.E., J.E KUTZBACH, T. WEBB, W.F. RUDDIMAN, F.A. STREET-PERROT & P.J. BARTLEIN (eds.): Global climates since the last glacial maximum: 514-535, University of Minnesota Press, Minneapolis, London.
- WENG, C., X. SUN & Y. CHENG (1993): Numerical characteristics of pollen assemblages of surface samples from the west Kulun Mountains. - Acta Botanica Sinica 5 (1): 69-79 (in Chinese).
- WINKLER, M. G. (1988): Effect of climate on development of two *Sphagnum*-bogs in south-central Wisconsin. - Ecology 69: 1032-1043.
- WINKLER, M. G. & P. WANG (1993): The Late-quaternary vegetation and climate of China. - In: WRIGHT, H.E., J.E KUTZBACH, T. WEBB, W.F. RUDDIMAN, F.A. STREET-PERROT & P.J. BARTLEIN (eds.): Global climates since the last glacial maximum: 221-261, University of Minnesota Press, Minneapolis, London.
- WINKLER, M. G., A. M. SWAIN & J. E. KUTZBACH (1986): Middle Holocene dry period in the northern midwestern United States lake levels and pollen stratigraphy. - Quart. Res. 25: 235-250.
- WU, C. Y. (1983): Vegetation of China. - Science Press, Beijing (in Chinese).
- YANG, H. & Z. XIE (1984): The processes and tendencies of sea level and climate change. - Acta Geographica Sinica 39 (1): 156-162.
- YU, P. & H. LIU (1997): Surface pollen and their relationship with climate of different vertical zones in Beitai, Xiaowutai Mountain. - Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis 33 (4): 475-484.
- ZHOU, G. (1981): On the boundary of the temperate broadleaved forest region in China. - Acta Phytocologia et Geobotanica Sinica 5 (4): 302-304 (in Chinese).

Anschriften der Verfasser:

Univ.-Prof. Dr. Richard Pott, Priv.-Doz. Dr. Martin Speier, Institut für Geobotanik der Universität Hannover, Nienburgerstraße 17, D-30167 Hannover
pott@mbox.geobotanik.uni-hannover.de speier@mbox.geobotanik.uni-hannover.de

Prof. Dr. Haiting Cui, Dr. Hongyan Liu, Department of Urban and Environmental Sciences, Peking University Beijing, 100871, PR China
Ihy@urban.pku.edu.cn

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 2002

Band/Volume: [14](#)

Autor(en)/Author(s): Speier Martin, Liu Hongyan, Cui Haiting, Pott Richard

Artikel/Article: [Klimainduzierte Oszillationen von Vegetationsgrenzen im Wald-Steppen-Ökoton des Inneren Mongolei-Plateaus \(Volksrepublik China\) 17-30](#)