

POTENTIELLE STEUERGRÖSSEN FÜR DAS KLIMA OSTCHINAS
(SEA SURFACE TEMPERATURE, SOUTHERN OSCILLATION, EL NIÑO,
SONNENAKTIVITÄT)

– Analysezeitraum von 1470 bis 1990 –

Mit 8 Abbildungen und 3 Tabellen

DIRK WOLLESEN, LORENZ KING, JIANG TONG und CHEN JIAQI

Summary: Potential control elements for the climate of East-China (sea surface temperature, southern oscillation, El Niño, sun activity). Time span from 1470 to 1990

The analysis of the Chinese historic time series demonstrates that the Chinese data can contribute decisively to the general understanding of the climate of the Pacific region. One result is a strong correlation of the Sea Surface Temperatures (SST) to the historic time series ($r = -0,44$, $\alpha < 0,01$), formed from documents and chronicles (1470 to 1910) as well as from annual precipitation (1911 to 1990). The SST reflects quite well the climate anomalies of El Niño and La Niña. By using the Chinese historical data it is now possible to reconstruct an El Niño/La Niña history for the last 530 years. The El Niño/La Niña time series developed here were examined with the help of the harmonic analysis. The most important result is a highly significant oscillation at 10.4 years. The periodicity of the sun activity varies between 10 and 12 years. For this reason it might be questioned to what extent the Pacific climate system is controlled by the sun activity.

A further result is found by a simple correlation analysis of the SST with the annual precipitation of 81 stations. This analysis shows a spatial arrangement of the relationships, which can be divided in three parts. The result of this test is in particular a negative correlation for the northern areas of China to the water temperatures of the equatorial East Pacific. Towards the south follows a zone with positive as well as negative correlation values. Finally, for the southern coast region dominates a positive relationship to the SST.

A last significant result could be determined with the help of a detailed calculation method. The data base are monthly precipitation values and Sea Surface Temperatures from 1911 to 1990. The outcome of this analysis is a PEARSON correlation factor of $r = -0,72$ for the above-mentioned parameters ($\alpha < 0,01$). These results show once more the exceedingly close relationship of the Chinese precipitation to the Pacific climate system.

Zusammenfassung: Die Analyse der historischen Zeitreihen zeigt, daß die chinesischen Klimadaten maßgeblich zum allgemeinen Klimaverständnis des pazifischen Raumes beitragen können. So ist mit den historischen Zeitreihen, die sowohl aus Dokumenten und Chroniken (1470 bis 1910) als auch aus jährlichen Niederschlagssummen (1911 bis 1990) gebildet wurden, eine relativ enge Bindung zur Sea Surface Temperature (SST) belegt worden ($r = -0,44$, $\alpha < 0,01$). Da die SST recht gut die Klima-anomalien El Niño und La Niña widerspiegelt, konnte unter Vorbehalt mit den chinesischen Zeitreihen ebenfalls die 520-jährige Geschichte derselben rekonstruiert werden. Die daraus entwickelte Zeitreihe wurde mit Hilfe der Harmonischen Analyse geprüft. Ergebnis ist eine hochsignifikante Schwingung bei 10,4 Jahren, die die Frage aufwirft, inwieweit hier die Sonnenaktivität mit ihrer Periodizität von 10 bis 12 Jahren stärker in das beschriebene Klimasystem steuernd eingreift als bisher angenommen wurde.

Eine weitere einfache PEARSONSche Korrelationsanalyse der Jahresniederschlagssummen für 81 Stationen zeigt eine Dreigliederung der Beziehungen zur SST. Für die nördlichen Gebiete Chinas besteht eine negative Korrelation zur oberflächennahen Wassertemperatur des äquatorialen Ostpazifiks. Dem schließt sich in Richtung Süden eine Übergangszone an, in der sowohl positive als auch negative Bezüge vorherrschen. Für die südliche Küstenregion schließlich dominiert eine positive Anbindung zur SST.

Weiterhin konnte mit Hilfe der Verarbeitung monatlicher Niederschlags- und Sea Surface Temperatur-Werte ermittelt werden. Wichtigstes Resultat dieser detaillierten Analyse ist der Korrelationswert von $r = -0,72$ ($\alpha < 0,01$) für die genannten Parameter (Zeitraum: von 1911 bis 1990). Dieses Ergebnis belegt abermals die überaus enge Verflechtung der chinesischen Niederschläge mit dem pazifischen Klimageschehen.

Einleitung

China nimmt nicht nur infolge seiner Ausdehnung sondern auch aufgrund seiner Lage eine Schlüsselstellung für das Klimaregime Ostasiens ein. Bestimmt durch das pazifische Zirkulationssystem (ITC) und das sibirische Hochdruckgebiet ist es wechselseitig von

einem feuchten Sommer- und einem trockenen Wintermonsun geprägt. Folglich sind die thermischen und damit auch die atmosphärischen Verhältnisse im Pazifik maßgebend für die Steuerung der Niederschlagsintensitäten im chinesischen Raum (vgl. hierzu auch DING 1994). Die Anbindung des chinesischen Klimasystems an die Sea Surface Temperature Anomalies

(SSTA) des Pazifiks und den Southern Oscillation Index (SOI) ist daher eine wichtige Fragestellung, aber gegenwärtig noch in vieler Hinsicht offen (vgl. z. B. TOMITA u. YASUNARI 1996; ZHANG et al. 1997; NITTA u. HU 1996).

Um dieser Fragestellung nachzugehen, werden im Folgenden klimahistorische Werte und Niederschlagsdaten herangezogen. Sie umfassen einen Zeitraum von 1470 bis 1990. Es wird demnach auf der Grundlage großräumiger und langfristiger Schwankungen in der chinesischen Klimageschichte versucht, die Bedeutung, aber auch Funktion der pazifischen Klimamechanismen zu ermitteln. Auch OESCHGER et al. (1980) betonen, daß die Bedeutung gegenwärtiger Prozesse besonders effektiv auf der Grundlage klimahistorischer Forschungsansätze erfaßt werden kann. Der Beitrag, den die klimahistorische Forschung zum Verständnis der Klimamechanismen liefern kann, ist daher erheblich. Wichtig erscheint dies ebenfalls im Zusammenhang mit Klimatrendanalysen, denn nur der geschichtliche Aspekt kann klären, inwieweit die gegenwärtige Klimaentwicklung natürlichen oder bereits anthropogenen Ursprungs ist (vgl. BRADLEY 1985). Vor allem ist jedoch die Klärung der Frage nach den potentiellen Klimasteuergrößen für das chinesische Witterungsgeschehen das zentrale Anliegen der Verfasser.

2 Methodik

2.1 Datengrundlage

Die vorliegende Analyse des historischen Klimas für China stützt sich primär auf eine Arbeit, die 1982 von der CHINESE ACADEMY OF METEOROLOGICAL SCIENCES OF NATIONAL WEATHER BUREAU herausgegeben wurde. Dieses Werk basiert auf Zusammenstellungen von 2100 lokalen Chroniken, offiziellen Geschichtsschreibungen sowie alten Enzyklopädien und reicht von 1470 bis 1979. Inhaltlich wird darin über Dürreperioden, Sturmfluten, Hochwasser, Gewitterregen, langanhaltende Regenfälle etc. berichtet. Aus diesen hygrischen und häufig seminumerischen Informationen kann letztlich die regionale Klimageschichte Chinas rekonstruiert werden (vgl. CHEN et al. 1998). Genau genommen liegt hiermit eine Sammlung historischer Klimaaufzeichnungen über Hochwasser- und Dürreereignisse auf Provinzebene vor.

Daß vor allem hygrische Informationen in chinesischen Chroniken abgelegt wurden, hat seine Ursache in der besonderen Bedeutung der Niederschläge für die Landwirtschaft. Diese bestimmen entscheidend die Lebensgrundlage der Bevölkerung. Da sich das Klima in China überwiegend über seine monsunalen Nieder-

schläge ausdrückt, liegt mit diesen Daten ein hervorragendes Mittel zu seiner Beschreibung vor. Abgelegt wurden die klimahistorischen Informationen in Form eines fünfskaligen Indexwertes (vgl. Tab. 1). Die Indexwerte ab 1911 basieren größtenteils und ab 1951 ausschließlich auf Niederschlagsdaten, da mit dem Jahr 1910 die überlieferte Art der Aufzeichnungen in Form von Klimabeschreibungen in weiten Teilen des Landes endete.

Das von der CHINESE ACADEMY OF METEOROLOGICAL SCIENCES OF NATIONAL WEATHER BUREAU (1982) benutzte Verfahren, welches die Niederschläge auf historische Indexwerte umwandelt, erfolgte auf der Basis von Niederschlagsdaten der Monate Mai bis September (vgl. Tab. 1). Bei näherer Betrachtung zeigt sich allerdings, daß dieses Verfahren lediglich für die nördlichen Gebiete Chinas anwendbar ist, jedoch für die südlich gelegenen Stationen kaum aussagekräftige Ergebnisse liefert. Als Ursache kommt v. a. die für China stark variierende Jahresniederschlagsdynamik in Betracht. So fallen zwar im nördlichen Einzugsgebiet des Haihe-River etwa 80–90% aller Niederschläge im Zeitraum von Mai bis September, weshalb die Niederschläge dieser Monate sicherlich aussagekräftige Ergebnisse liefern dürften, doch fallen z. B. im Süden häufig nur 60% der Jahresniederschläge in dieser Periode. Um Fehler zu vermeiden, die sich zwangsläufig aus diesem Berechnungsverfahren ergeben müssen, beziehen sich die im weiteren ausgearbeiteten Ergebnisse auf Jahresniederschläge (vgl. Tab. 1). Bedingt durch die bei dieser Gelegenheit durchgeführte Aktualisierung der Daten bis 1990 kann gegenwärtig so auf 520 Jahre chinesischer Niederschlagsgeschichte zurückgegriffen werden. Hierbei wurde die Index-Neuberechnung grundsätzlich vom Jahre 1911 an durchgeführt (vgl. Tab. 1).

Insgesamt werden von der CHINESE ACADEMY OF METEOROLOGICAL SCIENCES OF NATIONAL WEATHER BUREAU (1982) die historischen Klimabedingungen von 120 Örtlichkeiten beschrieben. Die Datengrundlage zu diesen Stationen ist allerdings sehr heterogen. Um im weiteren zu gesicherten Aussagen zur chinesischen Klimageschichte zu gelangen, müssen Lokalitäten ausgewählt werden, die über eine weitgehend geschlossene Datenbelegung verfügen. Diese sind bevorzugt an der Ostküste zu finden, dem alten Kernraum des chinesischen Reiches. Nur hier konnten, mit Ausnahme der Südküstenregion, Zeitreihen mit einer über 95%-igen Datenbelegung aufgestellt werden (vgl. Tab. 3).

Insgesamt wurden zur Analyse der Klimageschichte 16 Stationen ausgewählt (vgl. Abb. 1), die neben einer guten historischen Datenbelegung über ausreichende

Tabelle 1: Berechnungsgrundlagen zur Umrechnung von Niederschlagswerten zu Indexwerten

Basis for the conversion of precipitation data to an index of values			
Index	Beschreibung	Indexberechnung*	Index-Neuberechnung
2	extreme Überschwemmungen	$N > 1,17\sigma$	$N > 1,0\sigma$
1	Überschwemmungen	$0,33\sigma < N < 1,17\sigma$	$0,5\sigma < N < 1,0\sigma$
0	Normaljahr	$-0,33\sigma < N < 0,33\sigma$	$-0,5\sigma < N < 0,5\sigma$
-1	Dürren	$-1,17\sigma < N < -0,33\sigma$	$-1,0\sigma < N < -0,5\sigma$
-2	extreme Dürren	$N < -1,17\sigma$	$N < -1,0\sigma$
		N = Niederschlag von Mai-September Berechnungszeitraum: von 1951 bis 1979 und teilweise von 1911 bis 1979	N = Jahresniederschlag Berechnungszeitraum: von 1911 bis 1990

* CHINESE ACADEMY OF METEOROLOGICAL SCIENCES OF NATIONAL WEATHER BUREAU, 1982

σ = Standardabweichung der Niederschläge für den entsprechenden Berechnungszeitraum
(standard deviation of the precipitation for the corresponding calculation period)

Niederschlagswerte verfügen. Mit den ausgewählten Stationen können insgesamt vier wichtige Klimaräume Ostchinas beschrieben werden:

- die tropische Küstenregion
- das subtropische Yangtze-River-Einzugsgebiet
- das warm-gemäßigte Yellow-River-Einzugsgebiet
- das küstennahe warm-gemäßigte Haihe-River-Einzugsgebiet.

2.2 Potentielle Steuergrößen

Der asiatische Monsun ist eine großräumige und sehr beständige Luftströmung der unteren tropischen Troposphäre mit jahresperiodischer Umkehr. Der Auslöser für die tropische Monsunzirkulation ist zum einen in der gewaltigen asiatischen Landmasse mit ihrem zentralasiatischen Hochlandssystem (rasche Erwärmung im Sommer sowie Abkühlung im Winter) und zum anderen in der thermodynamisch träge reagierenden Wassermasse der innertropischen Konvergenzzone (ITC) zu suchen. Die Folge ist ein starkes Luftdruck- und Temperaturgefälle, welches sich je nach den Jahreszeiten und damit der Einstrahlungsintensität umkehrt (vgl. HEYER 1984).

Dank dieser einfachen Wechselbeziehung ist bereits in den 20er Jahren erkannt worden, daß die Luftdruckdifferenz zwischen dem indischen und dem pazifischen Ozean eng mit der Intensität des asiatischen Monsuns korreliert (vgl. WALKER 1928). Den Zusammenhang zwischen dieser, als Southern Oscillation (SO) bezeichneten atmosphärischen Wechselwirkung und dem regelmäßig auftretenden El Niño-Phänomen deckte

schließlich SCHELL 1965 auf. Benannt wird dieser Kontext heute als El Niño/Southern Oscillation (ENSO). Nach SCHELL geht das warme Küstenwasser bei Chile während einer El Niño-Phase mit einer Abschwächung der Passatwinde einher. Der oberflächennahen Wassertemperatur im äquatorialen Ostpazifik (Sea Surface Temperature, SST) kommt daher eine einzigartige Zeigerfunktion für die Intensität der Monsune im pazifischen Raum zu. Seine Beziehung ist daher auch zum Southern Oscillation Index eng (vgl. hierzu auch PHILANDER 1990). Tatsächlich besteht für den Zeitraum von 1876 bis 1990 zwischen dem SST und dem SOI eine hohe negative Korrelation ($r = -0,73$). Daß die oben knapp ausgeführten Klimazusammenhänge gleichermaßen für das monsunale Geschehen in China bestimmend sind, steht außer Zweifel; Klärungsbedarf besteht allerdings in der Bestimmung der Bindungsstärke dieser potentiellen Steuergrößen zu den chinesischen Niederschlagsdaten. Hierbei wird ebenfalls eine Anbindung der historischen Klimaereignisse aus Ostchina an den ENSO-Zusammenhang versucht, wobei auch die Sonnenaktivität als potentielle Steuergröße mit in den Vergleich einbezogen wird (vgl. Tab. 2).

3 Ergebnisse

Die regionbezogene Analyse der klimahistorischen Daten mit den SST-Zeitreihen zeigt, daß ein Zusammenhang zwischen ihnen und den historischen Informationen besteht (vgl. Tab. 3). Die jeweiligen PEARSONSchen Korrelationskoeffizienten sind zwar gering,

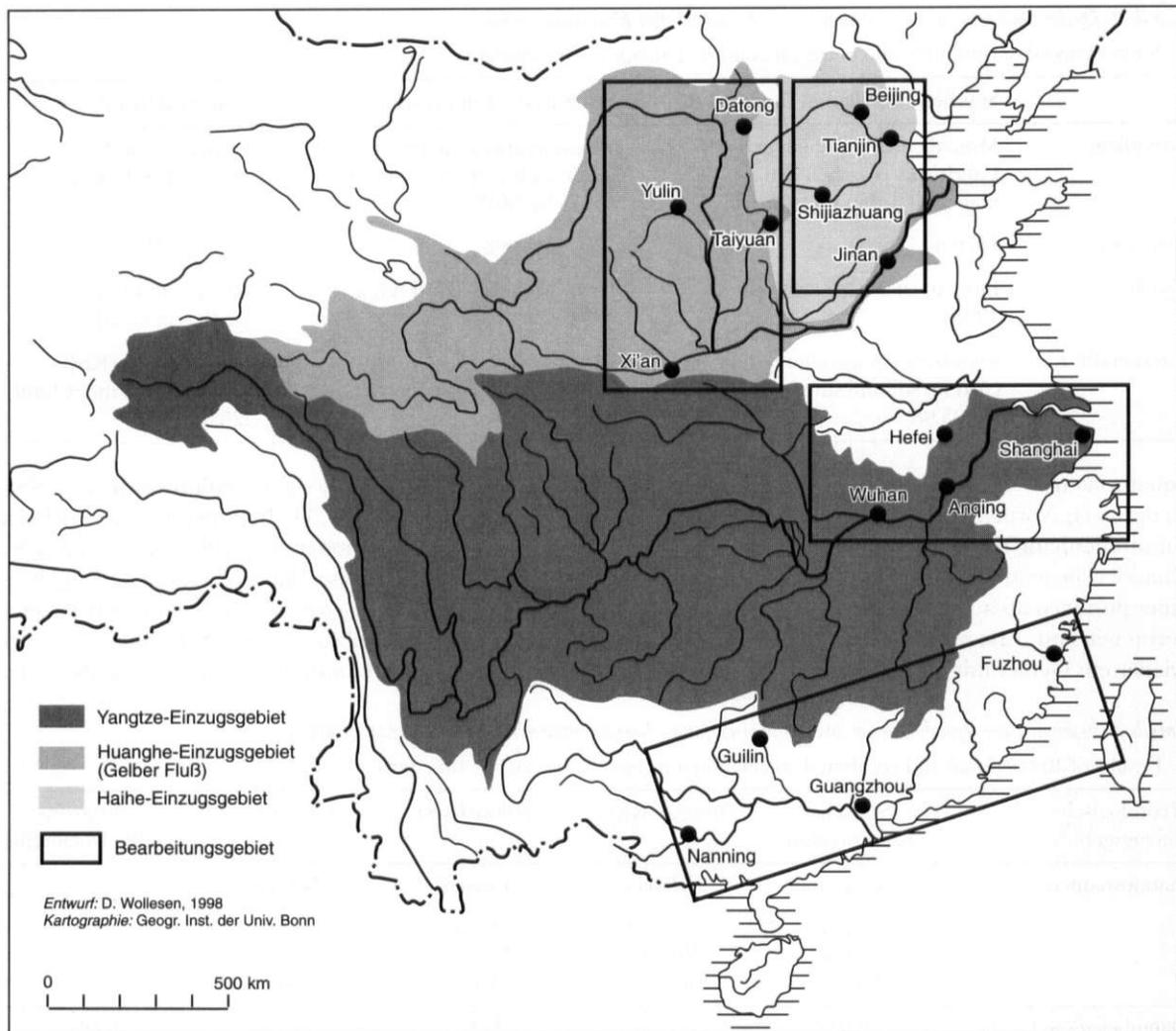


Abb. 1: Lage der analysierten klimahistorischen Stationen
Locations of the climate history stations analysed

doch kann, mit Ausnahme der Stationen am Yangtze-mittel- und -unterlauf für die Bezüge eine hohe Sicherheitswahrscheinlichkeit ($\alpha - 1$) angenommen werden. Auch ist eine interessante Umkehr von positiven Korrelationswerten im Süden zu negativen im Norden festzustellen. Da die Stationen am Yangtze keine Beziehung zur SST aufweisen (vgl. Tab. 3), können sie offenbar einer Zwischenzone zugeordnet werden, die zwischen den Gebieten mit signifikanten Bezügen vermitteln.

Aus Tabelle 3 geht weiterhin hervor, daß die Korrelationswerte zum SOI durchweg geringer sind als zu der SST. Für die chinesischen Klimadaten besteht somit zum Southern Oscillation Index zweifellos eine weniger enge Beziehung als zur SST. Die gegenüber den SST-Werten erfolgte Inversion der Bindungsform

der SOI-Werte entspricht den bereits beschriebenen naturgegebenen Zusammenhängen (vgl. Kap. 2.2).

Daß das Ergebnis der Vorzeichenumkehr der Korrelationsbeziehung von Süden nach Norden dem tatsächlichen Klimamechanismus Chinas entspricht, zeigt im übrigen auch die Analyse von 81 Klimastationen, die den Bindungscharakter der Jahresniederschlags-summen zur oberflächennahen Wassertemperatur im äquatorialen Ostpazifik beschreibt (vgl. Abb. 2).

Aus Abbildung 2 geht hervor, daß in der Tat im südlichen Küstenbereich die Jahresniederschläge positiv mit der SST korrelieren. Vermehrte Niederschläge in Südostchina werden demnach von höheren oberflächennahen Wassertemperaturen im äquatorialen Ostpazifik begleitet (El Niño-Ereignis) und geringe Niederschläge korrelieren umgekehrt mit geringen

Tabelle 2: Quellennachweise und Beschreibungen zu den potentiellen Klimasteuergößen

Sources and descriptions to the potential control elements for the climate

	Southern Oscillation Index (SOI)	Sea Surface Temperature (SST)	Sonnenaktivität
Grundlage	Monatliche Schwankungen des Luftdrucks zwischen den Stationen Tahiti und Darwin	Wassertemperaturen in °C im Bereich von 4N bis 4S und 150W bis 90W	relative Anzahl der Sonnenflecken
Zeitraum	1876 bis 1998	1868 bis 1998	1700 bis 1997
Quelle	BUREAU OF METEOROLOGY, 1998	Japan Meteorological Agency, 1991	ROYAL OBSERVATORY OF BELGIUM, 1997
Internetadresse	www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtml (20.05.98)	www.coaps.fsu.edu/pup/JMA_SST_Index (08.04.98)	Www.oma.be/KSB-ORB/SIDC/index.html (28.05.1998)

äquatorialen Wassertemperaturen (La Niña-Ereignis). In der nach Norden folgenden Zwischenzone ist dieser Zusammenhang nicht sehr eindeutig, da hier dicht beieinander liegend Niederschlagsstationen sowohl mit einer positiven als auch negativen Korrelation zur SST verbreitet sind. Erst nördlich dieser Zone befindet sich wieder ein Gebiet mit einer nunmehr dominant nega-

tiven SST-Bindung. Die Korrelationswerte zur SST fallen hier mit $r = -0,39$ (Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 0,01$) deutlich höher aus (vgl. Tab. 3). Ursache dafür ist möglicherweise, daß in diesem Gebiet gleichfalls die Verbreitungsgrenze des Sommermonsuns verläuft, so daß selbst geringe Schwankungen der Monsunintensität unmittelbar zum Ausbleiben der

Tabelle 3: Ergebnisse der regionbezogenen und zusammengefaßten Korrelationsanalyse der historischen Zeitreihen

Results of the regional and combined correlation analyses of the historic time series

Hydrologische Einzugsgebiete	Südliche Küstenregion	Yangtze River	Yellow River	Haihe River	zusammengefaßte Datenreihe
Stationsnamen	Guangzhou Fuzhou Nanning Guilin	Hefei Anqing Wuhan Shanghai	Taiyuan Xi'an Datong Yulin	Beijing Jinan Shijiazhuang Tianjin	
Datenbelegung für die Periode von 1470–1990	79,0%	96,7%	95,6%	96,9%	100%
Maximum	2	2	2	2	1,5
Minimum	-2	-2	-2	-2	-1,58
Durchschnitt	0,051	0,097	-0,095	0,019	-0,043
Standartabweichung	0,69	0,77	0,85	0,81	0,53
Verteilung	normal	normal	normal	normal	normal
Werte	diskret	diskret	diskret	diskret	diskret
Schiefe	0,019	-0,339	-0,06	0,025	-0,2
Kolmogorov-Smirnov D	0,09	0,11	0,09	0,07	0,054
PEARSONScher Korrelationskoeffizient mit der SST für die Zeitspanne von 1868 bis 1990	0,26	0,03	-0,29	-0,39	-0,44
Signifikanzniveau α (Irrtumswahrscheinlichkeit durchgeführt mit t-Test)	< 0,01	> 0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01

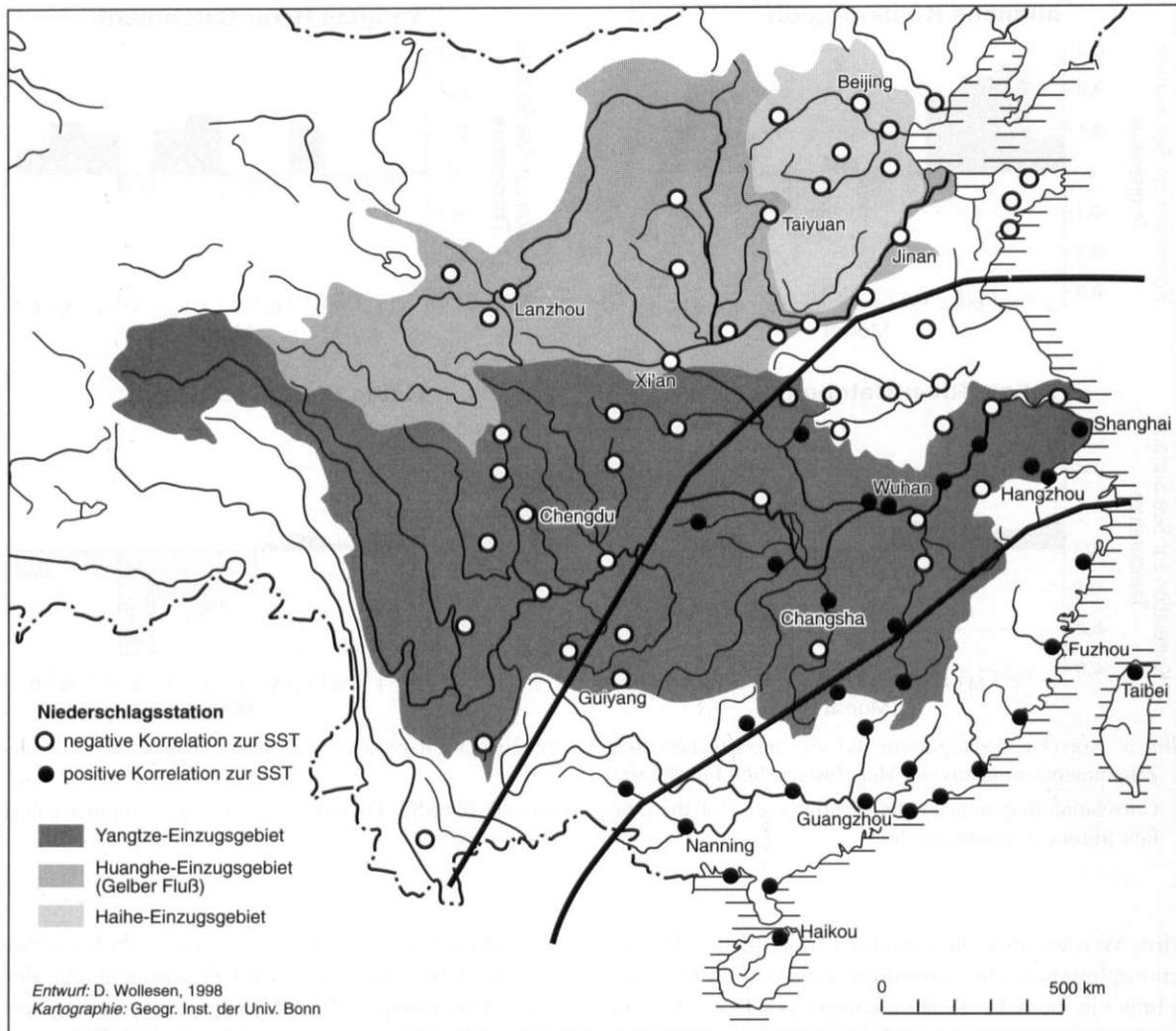


Abb. 2: Lage von 81 chinesischen Niederschlagsstationen und ihr Korrelationsergebnis mit der Sea Surface Temperature (SST)
 Locations of 81 Chinese precipitation stations and their correlation results with the Sea Surface Temperatures (SST)

Niederschläge für weite Areale führen. In dieser offenbar besonders sensitiv auf monsonale Schwankungen reagierenden Zone gehen folglich selbst schwach positive SST-Werte mit geringeren Jahresniederschlägen einher. Demgemäß werden während einer El Niño-Periode diese Gebiete mit höherer Wahrscheinlichkeit von Dürren heimgesucht werden. Im Süden sind im selben Zeitraum dann verstärkt Überschwemmungen festzustellen.

Auch bei der Betrachtung der monatlichen Korrelationen der Niederschläge mit den monatlichen SST-Werten ergibt sich ein ähnliches, jedoch deutlich differenzierteres Bild ihrer Wechselbeziehungen. Aus der Abbildung 3 geht hervor, daß die positiven Korrelationswerte der südlichen Küstenregion mit der SST

sich lediglich auf die Monate Oktober bis April beziehen. Die Sommermonate dagegen besitzen überwiegend eine negative Korrelation zur Sea Surface Temperature. Bei einer Jahresmittelwertbildung findet demnach eine Reduzierung des Korrelationszusammenhangs statt. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt für die Stationen der Yangtze-Region, in der sich die Bezüge im Jahresverlauf ebenfalls stark abwechseln. Hier heben sich bezogen auf das gesamte Jahr die Beziehungen sogar beinahe ganz auf.

Werden folglich zur Korrelationsanalyse mit der Sea Surface Temperature lediglich die jährlichen Niederschlagssummen herangezogen, so erscheint als Ergebnis immer nur der dominante Beziehungsfaktor, der aber um die entsprechende inverse Bindung reduziert

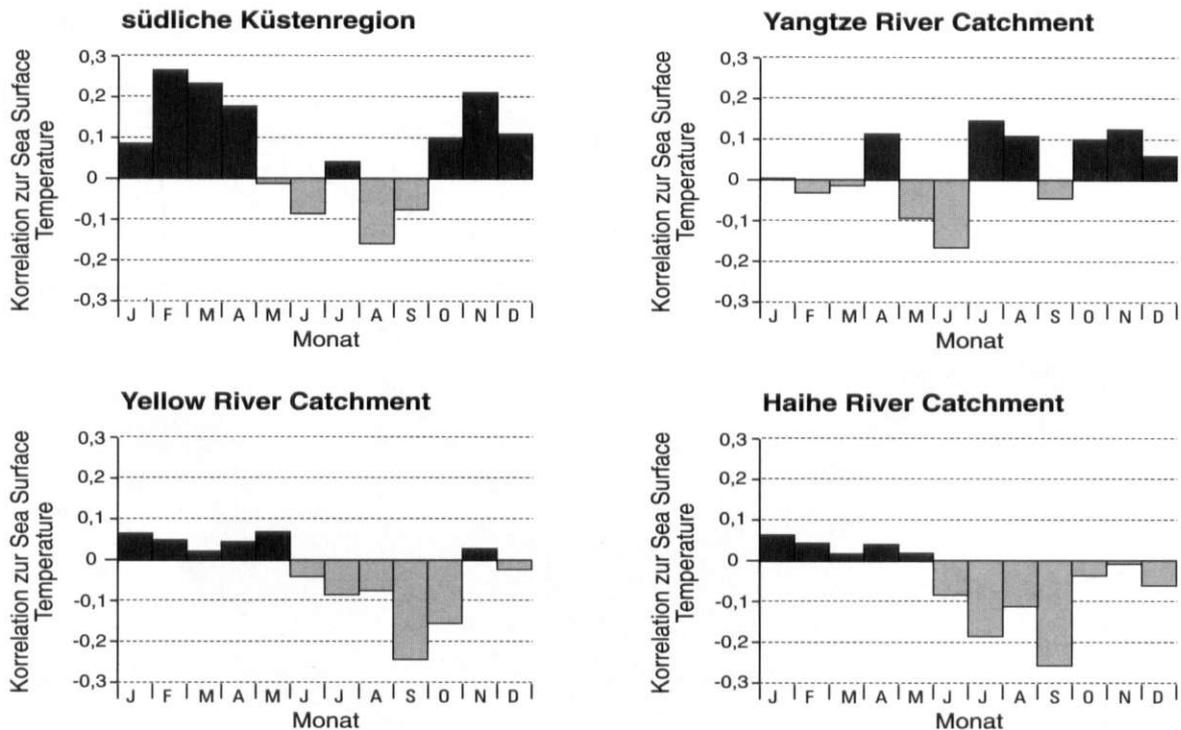


Abb. 3: Korrelationsdiagramme für die monatlichen Bezüge der Niederschläge zur SST. Jedes Diagramm stellt eine Zusammenfassung aus vier klimahistorischen Lokalitäten dar

Correlation diagrams for the monthly covers of the precipitation with the SST. Each diagram presents a summary from four historical climate localities

wird. Werden aber die einzelnen monatlichen Korrelationsphasen zu einer zusammengeführt, so ist das Ergebnis ein beinahe exakter spiegelverkehrter Verlauf der beiden Kurven (vgl. Abb. 4). Bei dieser detaillierteren Korrelationsanalyse wird also die jeweilige schwächere Korrelationsbeziehung umgekehrt zur stärkeren hinzugerechnet. Statt der bisher erfolgten Reduzierung der Zusammenhänge ist jetzt eine Akkumulation der Beziehungen festzustellen. Aus der Abbildung 4 geht hervor, daß nun eine klare gegenkorrelative Beziehung zwischen dem Verlauf der Niederschlagsindexkurve und der SST-Kurve besteht. Dies wird auch durch den hohen Korrelationswert von $r = -0,72$ unterstrichen (Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 0,01$); für den SOI wurde der Korrelationswert von $r = 0,62$ ermittelt. Mit Hilfe der monatlichen Betrachtungsweise der Wechselbeziehungen kann also eindeutig der Nachweis erbracht werden, daß das monsunale Geschehen in Ostchina vom Pazifik aus determiniert wird. In den hygrischen Bedingungen Chinas spiegelt sich demnach eindeutig das pazifische Klimageschehen wider, so daß weiterhin davon ausgegangen werden kann, daß auch die beabsichtigte Anbindung der

historischen Dürre- und Überschwemmungsdaten (von 1470 bis 1910) an den ENSO-Zusammenhang den realen klimatischen Beziehungen entspricht. Eine weitere Übereinstimmung der historischen Daten mit den Werten aus dem pazifischen Raum dürfte damit kein zufälliges Ergebnis darstellen.

Für eine homogene Fortführung und Darstellung der historischen Zeitreihen wurde, da sie besser als eine Kombination der monatlichen Werte die tatsächlichen hygrischen Bedingungen eines Jahres beschreiben, für den Zeitraum von 1911 bis 1990 wieder auf die jährlichen Gesamtniederschläge zurückgegriffen. Kann also belegt werden, daß sowohl die jährlichen Niederschlagssummen als auch die Daten, die aus historischen Dokumenten und Chroniken zusammengestellt wurden, eine gewisse Konformität ihrer Wechselbeziehungen zur SST und zum SOI aufweisen, können diese zur Rekonstruktion derselben herangezogen werden.

Die Abbildung 5 zeigt, daß tatsächlich sowohl die historischen Daten von 1868 bis 1910 als auch die Niederschlagsdaten annähernd die über die SST-Kurve beschriebenen Klimaanomalien wiedergeben können.

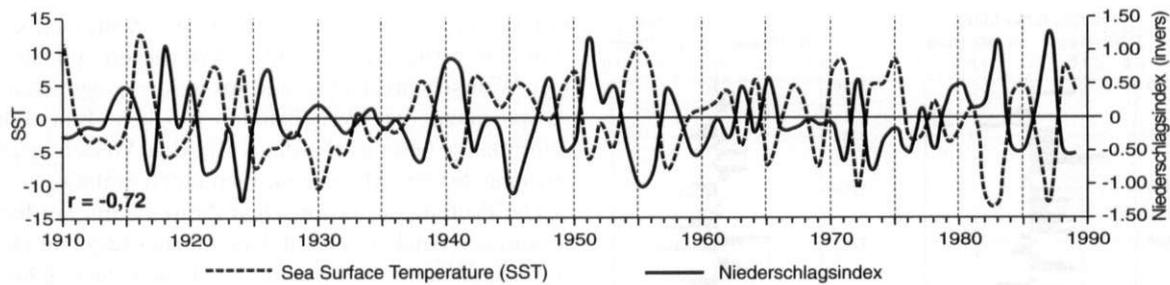


Abb. 4: Der Verlauf der Sea Surface Temperature und der aus Niederschlagsdaten gebildeten chinesischen Indexkurve (von 1911–1990)

The course of the Sea Surface Temperatures and the Chinese index curve (from 1911–1990) calculated from precipitation data

Für die Berechnung der historischen Indexkurve in dieser Abbildung wurden sowohl die nördlichen als auch mit inversen Daten die südlichen Zeitreihen in eine Gesamtzeitreihe zusammengefaßt. Diese Vorgehensweise hat als Korrelationsergebnis gegenüber dem bisherigen maximalen Wert im Haihe-Einzugsgebiet von $-0,39$ einen etwas höheren Koeffizienten von $-0,44$ zur Folge (Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 0,01$). Allerdings ist, bedingt durch ihre geringe ganzjährig gemittelte Bindung an die SST, die Zeitreihe vom Yangtze-Einzugsgebiet nicht mit in die Rechnung eingegangen (vgl. Tab 3).

Aus Abbildung 5 geht hervor, daß sowohl der Zeitraum von 1868 bis 1910 als auch der Zeitraum von 1911 bis 1990 über eine fast gleich hohe Bindungsstärke zur SST verfügt. Genau betrachtet werden die sechs negativen SST-Perioden (El Niño-Phasen) der Jahre 1868 bis 1910 von fünf positiven Indexwerten begleitet (vgl. Abb. 5). Umgekehrt werden von den zehn positiven SST-Zuständen (La Niña-Phasen) desselben

Zeitraums sogar neun von negativen historischen Indexwerten beschrieben. Da die ausgezählten Amplituden der Ereignisse ebenfalls eine relativ hohe Übereinstimmung aufweisen, sind mit Vorbehalt die historischen Daten tatsächlich für eine annähernde Rekonstruktion der El Niño- und La Niña-Phasen für die letzten Jahrhunderte zu verwenden. Dabei sind weitere Überprüfungen dieser Rekonstruktion sicherlich nötig, doch kann die jetzt aufgebaute El Niño-La Niña-Zeitreihe eine Basis für weitere Diskussionen und Ergänzungen liefern und eine Vorstellung von den wirklichen Periodizitäten vermitteln (vgl. Abb. 6).

Im Rahmen der statistischen Überprüfung der rekonstruierten El Niño-La Niña-Zeitreihe wurde ein Stationaritätstest und eine harmonische Analyse durchgeführt. Ziel ist es, mit Hilfe der linearen Analyse, signifikante harmonische Anteile zu extrahieren. Dieses kann unter der Annahme erfolgen, daß das Spektrum nicht durch Instationaritäten verunreinigt ist. Da sowohl die Varianz als auch die Autokorrelationsfunk-

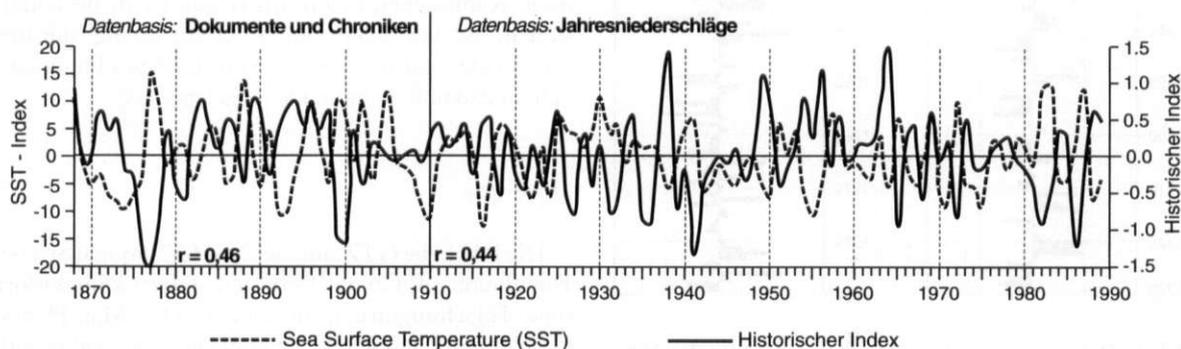


Abb. 5: Der Verlauf der Sea Surface Temperature und der historischen Zeitreihe, gebildet aus Dokumenten und Chroniken (1868–1910) sowie jährlichen Niederschlagssummen (1911–1990)

The course the Sea Surface Temperatures and the historic time series, collated from documents and chronicles (1868–1910), as well as annual precipitation data (1911–1990)

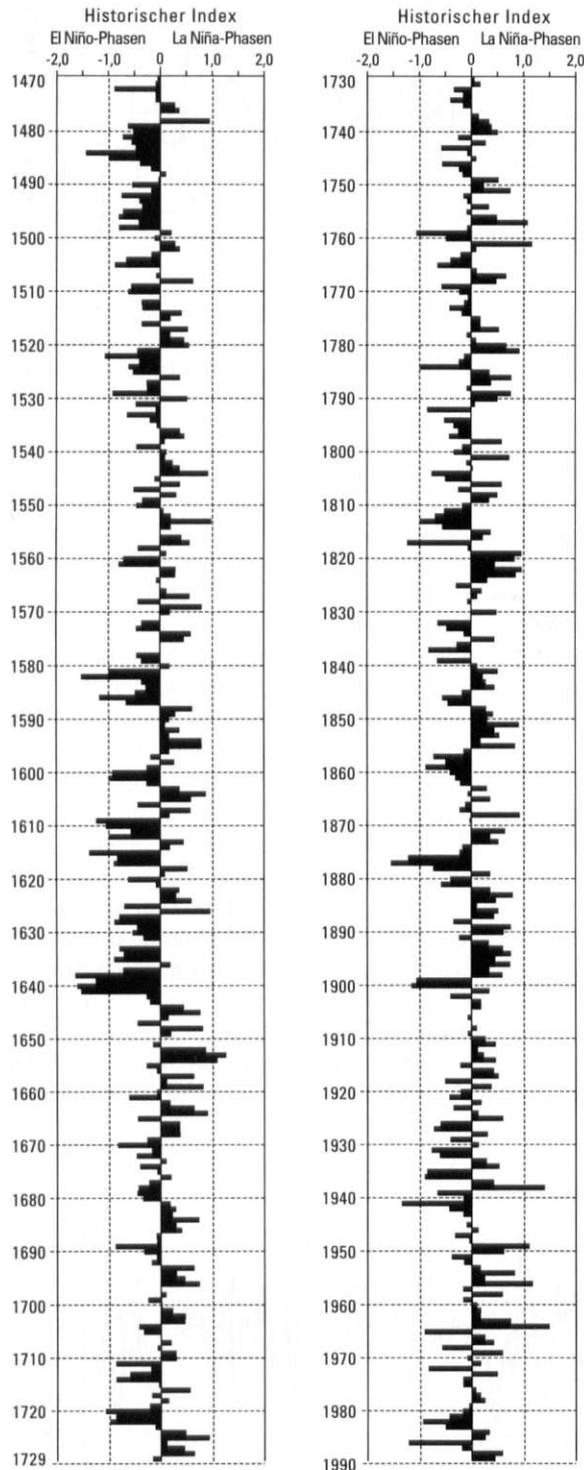


Abb. 6: Rekonstruktion der 520-jährigen El Niño-La Niña-Geschichte (Datengrundlage: chinesische klimahistorische Zeitreihen)

Reconstruction of a 520-year El Niño/La Niña history (data base: Chinese historical time series)

tion der ersten und zweiten Hälfte der Zeitreihen sich stationär verhalten (der Mittelwert variiert mit 90%iger Wahrscheinlichkeit), sind im weiteren signifikante Aussagen zu den Periodizitäten möglich. Eine Einschränkung besteht allerdings für den Wertebereich, der eine diskrete Menge von Elementen umfaßt.

Die Prüfung der historischen Zeitreihe mit der harmonischen Analyse zeigt als wesentliches Ergebnis eine hochsignifikante Schwingung zwischen den Jahren 10,18 und 10,6. Für die Wellenlänge von 10,38 Jahren kann schließlich eine Signifikanz von 99,87% angegeben werden. Die Abbildung 7 zur spektralen Dichte der untersuchten Zeitreihe veranschaulicht dieses Ergebnis nochmals. Aus dieser geht aber auch hervor, daß die nächstsignifikante Schwingung in etwa bei einer Periode von 5 Jahren anzusiedeln ist.

Beide Schwingungen weisen auffällig auf die bekannten Perioden zweier potentieller Klimasteuergrößen hin. So liegt z. B. die gegenwärtig diskutierte El Niño-Periodizität zwischen 4 und 6 Jahren. Auch wird mit der Wellenzahl von 10,4 Jahren auf eine mögliche Bindung zur Periodizität der Sonnenaktivität hingewiesen. Diese bewegt sich zwischen 10 und 12 Jahren (11,1 Jahre im Durchschnitt). Daß möglicherweise ein direkter Zusammenhang zwischen der rekonstruierten El Niño-La Niña-Kurve und dem Sonnenaktivitätsverlauf für die letzten 280 Jahre besteht, geht auch aus der gemittelten graphischen Gegenüberstellung derselben hervor (vgl. Abb. 8). Hier zeigt sich, daß auffällig häufig El Niño-Phasen in der Nähe eines Sonnenaktivitätsminimums auftreten, während La Niña-Perioden zyklisch mit einem Maximum einhergehen.

Abschließend kann festgehalten werden, daß die chinesischen Zeitreihen einem komplexen Wechselschlag zwischen ihren hygrischen Indexwerten und der Sea Surface Temperature, dem ENSO-Zusammenhang und der Sonnenaktivität unterliegen. Inwieweit diese Klimasteuergrößen untereinander in Beziehung stehen, ist vor allem im Zusammenhang mit der Sonnenaktivität und den El Niño-La Niña-Phänomen eine in Zukunft zu klärende Angelegenheit.

Danksagung

Die DFG, die GTZ und der NSFC (National Science Foundation of China) förderten unsere klimahistorische Forschungsarbeit in China. Die Max-Planck-Gesellschaft, München, ermöglichte die vorliegende Arbeit durch Stipendien an Mitglieder der chinesischen Arbeitsgruppe (CHEN JIAQI, JIANG TONG, GAO JUNFENG). Die Autoren danken ganz herzlich den oben genannten Organisationen sowie allen Mitarbeitern

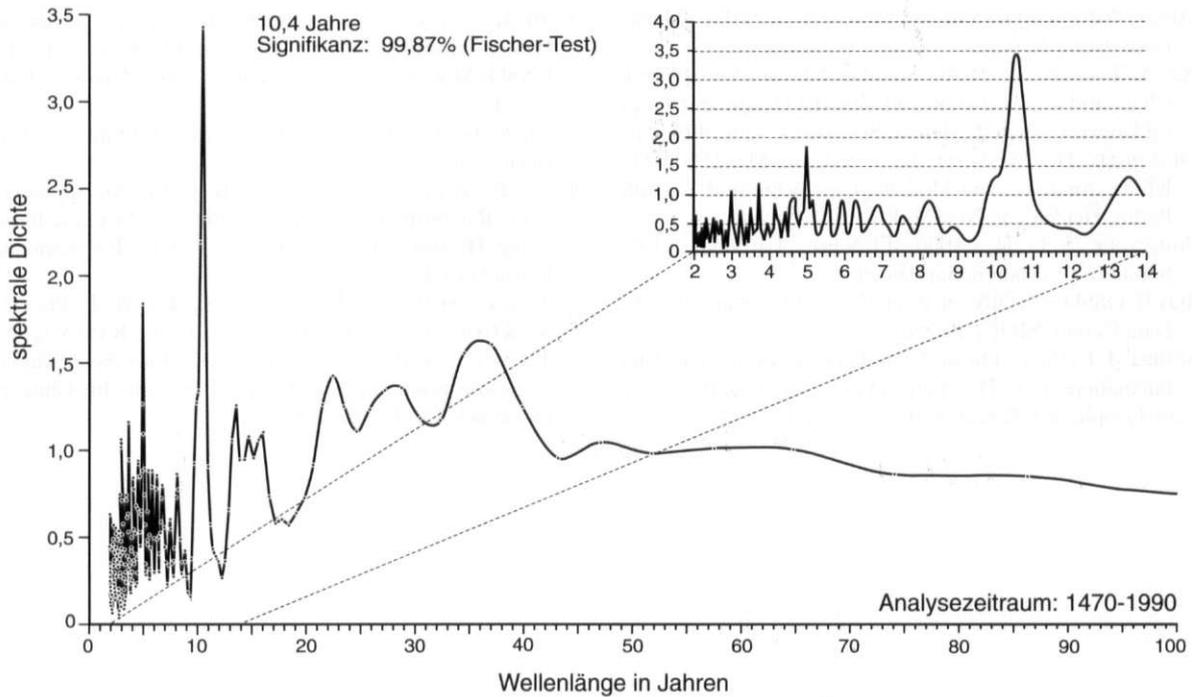


Abb. 7: Diagramm zur spektralen Dichte der chinesischen klimahistorischen Zeitreihe von 1470 bis 1990

The spectral density diagram of the Chinese historical time series (1470 to 1990)

für ihre Hilfe und Kooperationsbereitschaft. Einen ganz besonderen Dank verdient JÜRGEN GRIESER vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Johann

Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main, der eine statistische Überprüfung unserer chinesischen Zeitreihen durchführte.

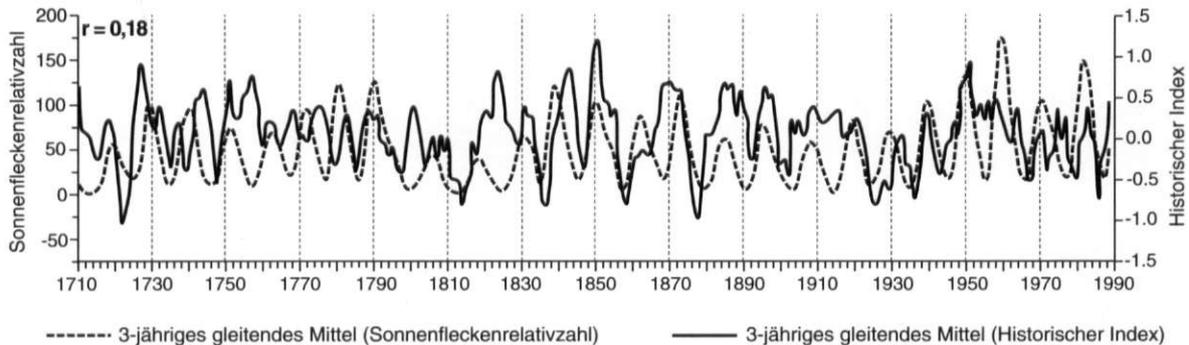


Abb. 8: Der Verlauf der rekonstruierten El Niño-La Niña-Geschichte und der Sonnenaktivität für die letzten 280 Jahre (dreijähriges gleitendes Mittel)

The course of the reconstructed El Niño/La Niña history and the sun activity for the last 280 years (three year mean)

Literatur

- BRADLEY, R. S. (1985): Quaternary Paleoclimatology. Methods of Paleoclimatic Rekonstruktion. London, Boston, Sydney.
- BUREAU OF METEOROLOGY (1998): Climate Variability and El Niño. Commonwealth of Australia.
- CHEN J., KING L., JIANG T. u. WOLLESEN, D. (1998): Klimageschichtliche Forschung in China: Quellenlage und Ergebnisse im Überblick. In: Erdkunde 52, 163–176.
- CHINESE ACADEMY OF METEOROLOGICAL SCIENCES OF NATIONAL WEATHER BUREAU et al. (1982): Yearly Charts of Dryness/Wetness in China for the Last 500 Years Period. Map Press, Beijing, 510 S. (in Chinese, English abstract).
- DING, YIHUI (1994): Monsoons over China. Dordrecht.
- HEYER, E. (1984): Witterung und Klima. Leipzig.

- JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY (1991): Marine Department Report.
- NITTA, T. u. HU, Z. (1996): Summer Climate Variability in China and its Association with 500hPa Height and Tropical Convection. In: *J. Meteor. Soc. Japan*, 74(4), 425–445.
- OESCHGER, H., MESSERLI, B. u. SVILAR, M. (1980): *Das Klima. Analysen und Modelle, Geschichte und Zukunft*. Berlin, Heidelberg, New York.
- PHILANDER, S. G. H. (1990): *El Nino – La Nina and the Southern Oscillation*. San Diego.
- ROYAL OBSERVATORY OF BELGIUM (1997): *Sunspot Index Data Center (SIDC)*. Brüssel.
- SCHELL, I. I. (1965): The origin and possible prediction of the fluctuations in the Peru Current and upwelling. In: *Journal of Geophysical Research* 70, 5529–5540.
- TOMITA, T. u. YASUNARI, T. (1996): Role of the Northeast Winter Monsoon on the Biennial Oscillation of the ENSO/Monsoon. In: *J. Meteor. Soc. Japan*, 74(4), 399–413.
- WALKER, G. T. (1928): *World Weather. Monthly Weather Review* 56, 167–170.
- WANG, R., WANG, S. a. FRAEDRICH, K. (1991): An Approach to the Reconstruction of Temperature on a Seasonal Basis Using Historical Documents from China. *International Journal of Climatology* 11, 381–392.
- ZHANG, Y., SPERBER, K. R., BOYLE, J. S., DIX, M., FERRANTI, A., KITO, A., LAU, K. M., MIYAKODA, K., RANDALL, D., TAKACS, L. a. WETHERALD, R. (1997): East Asian winter monsoon: results from eight AMIP models. In: *Climate Dynamics*, 13(11), 797–820.