

Sandstürme im Tarim-Becken: Ursachen und sozio-ökonomische Folgen

Manfred Domrös* und Buhalqem Mamtimin

Sandstorms are a typical, yet hazardous phenomenon in the Tarim Basin that is basically caused by certain meteorological frame conditions, but its disastrous socio-economic impact is strongly affected by man. Frequency and intensity of sandstorms and their associated negative human and societal impact have increased in the recent past making the Tarim Basin a more vulnerable region claiming, at the same time, for a more sustainable landuse to providing a safer livelihood environment to the growing population. The Tarim Basin is suffering from a growing extent of desertification claiming for a more sustainable water use and protecting the scarce water resources available. It is shown that under favourable irrigation conditions, agriculture plays a significant role, despite a growing risk of harmful sandstorms.

Einleitung

Sandstürme sind im Tarim-Becken als typisches und häufigstes Unwetter-Phänomen bekannt und wegen ihrer negativen sozio-ökonomischen Auswirkungen gefürchtet, da sie die Lebensbedingungen der Menschen verschlechtern und die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen schwer belasten. Sandstürme sind ein charakteristisches Element des ariden Klimas im Tarim-Becken. Die hohen Windgeschwindigkeiten, die für das Wüstenklima des Tarim-Beckens kennzeichnend sind, transportieren häufig große Sand- und Staubmassen, die ein erhebliches Gefahrenpotenzial in sich tragen.

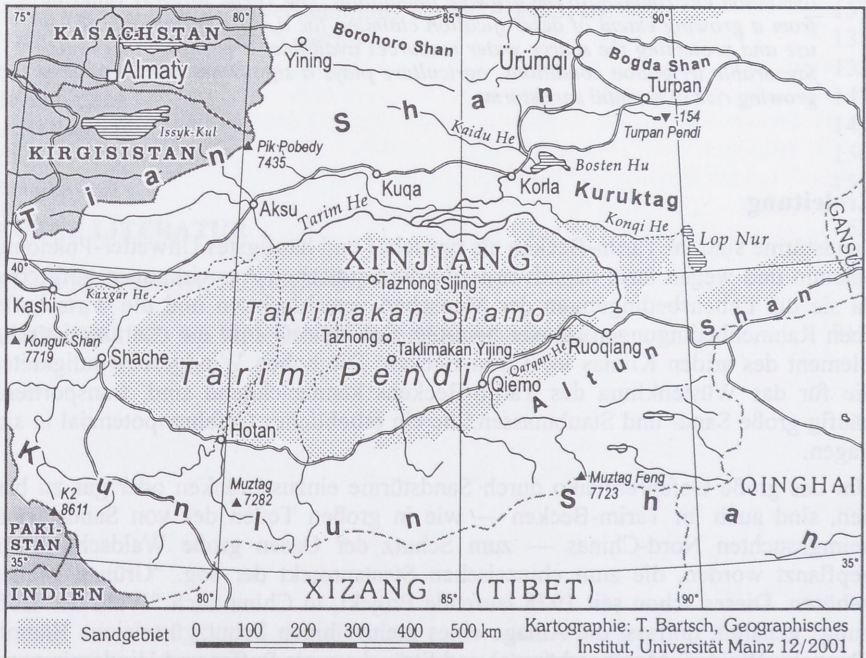
Um das große Gefahrenrisiko durch Sandstürme einzuschränken oder gar zu bannen, sind auch im Tarim-Becken — wie in großen Teilen des von Sandstürmen heimgesuchten Nord-Chinas — zum Schutz der Oasen große Waldschutzgürtel gepflanzt worden, die zum chinesischen Staatsprojekt der sog. "Grünen Mauer" gehören. Dieses schon seit 1978 laufende Projekt, in China auch "Wald der Hoffnung" genannt, umfasst die Anlage eines mehrreihigen Schutzgürtels aus Bäumen (Pappeln, Weiden, Maulbeerbäume) und Sträuchern als Puffer und Hindernis gegen Sandstürme und kräftigen Sandflug.

* Geographisches Institut, Universität Mainz, 55099 Mainz; eMail: physische.geographie@geo.uni-mainz.de

Untersuchungsgebiet

Mit seiner gewaltigen Ausdehnung von 530.000 Quadratkilometern stellt das Tarim-Becken (lt. offiziellem Sprachgebrauch Tarim Pendi) das größte Inlandbecken Chinas dar, das den südlichen Teil der Autonomen Uigurischen Region Xinjiang einnimmt (Abb. 1). Es ist fast geschlossen von gewaltigen, schnee- und eisbedeckten Hochgebirgen umrahmt (Tian Shan im Norden, Pamir-Hochland im Westen, Kunlun Shan im Süden und Altun Shan im Südosten) und nur gegen Osten in einem schmalen Korridor offen gegen die Hochebene von Gansu. Das Tarim-Becken stellt ein Hochplateau dar und ist großflächig geneigt von Westen nach Osten zwischen 1.800 und 600 m über dem Meeresspiegel. Die West-Ost-Entfernung beträgt fast 2.000 km, die Nord-Süd-Ausdehnung über 500 km.

Abb. 1: Übersichtskarte der Autonomen Region Xinjiang sowie Lage- und Raumbedingungen des Tarim-Beckens



Im Zentrum des Tarim-Beckens befindet sich die Taklimakan-Wüste (Taklimakan Shamo) mit einer Fläche von 338.000 Quadratkilometern. Ihre hauptsächliche Verbreitung hat sie zwischen $36^{\circ}30'$ und $41^{\circ}25'$ nördlicher Breite und $77^{\circ}20'$ und 90° östlicher Länge. Die Taklimakan-Wüste stellt die zweitgrößte Wüste der Erde dar.

Die Taklimakan-Wüste wird von vegetationslosen Sand- und Felswüsten, das umgebende Tarim-Becken von Halbwüsten mit büschelförmigen Horstgräsern eingenommen, die im Sommer den Lebensraum von nomadisierenden Schafherden darstellen. Am Rande des Tarim-Beckens gegen die umrahmenden Hochgebirge befinden sich zahlreiche historische, heute zu Großstädten und zugleich den wichtigsten Wirtschaftszentren expandierte Oasen, die entlang der antiken Seidenstraße an deren Nord- und Süd-Route aufgereiht sind, z.B. Korla, Kuqa, Aksu u.a.; vgl. Abb. 1. Der Ursprung der Oasen liegt in der seit Jahrhunderten ungemein effizient praktizierten Kharez-Bewässerung, bei der mittels unterirdischer Kanäle die im Grundwasser gesammelten Schmelzwässer aus den Gebirgsregionen in die Fußzonen vor den Gebirgen geleitet werden. Das weit verbreitete Kharez-Bewässerungssystem wird von den Chinesen als die größte Erfindung in China nach der Großen Mauer gewürdigt. Aus den das Tarim-Becken umrahmenden Gebirgen fließen zahlreiche episodische Flüsse ins Tarim-Becken, die aber schon am Beckenrand wegen der hohen Verdunstungs- und großen Versickerungsraten wieder versiegen. Die Schwemmlandflächen entlang der Flussläufe sind von fruchtbaren Flussoasen eingenommen. Außer den Oasen bietet das Tarim-Becken aufgrund des Wassermangels und der kargen, unfruchtbaren Sand- und Felswüsten keine Möglichkeiten für eine dauerhafte landwirtschaftliche Nutzung. Die Niederschläge sind mit unter 50 mm im östlichen Teil des Beckens und um 50-70 mm im westlichen Teil so gering, dass eine landwirtschaftliche Nutzung auf der Basis der vorhandenen Regenfälle nicht möglich ist.¹

Der vorliegende Beitrag untersucht die Ursachen für die große Häufigkeit von Sandstürmen im Tarim-Becken und beschreibt ihre sozio-ökonomischen Folgen. Der Beitrag beruht auf Gelände- und Literaturstudien (Domrös) und eigenen Lehrerfahrungen und Geländebeobachtungen (Mamtimin).

Kennzeichen und Häufigkeit von Sandstürmen

Sandstürme stellen eine außergewöhnliche und gefährliche Wettererscheinung dar, sie sind durch eine große Sand- und Staubfracht gekennzeichnet, die vom Wind über eine größere Entfernung transportiert wird und mit ungünstigen sozio-ökonomischen Folgen verbunden ist. Die im Falle von Sandstürmen transportierten großen Sand- und Staubmassen in Bodennähe bewirken eine geringe Sichtweite von weniger als 1 Kilometer und verursachen Verwehungen sowie eine eingeschränkte Assimilationsfähigkeit der Pflanzen aufgrund der abgelagerten Staubfracht. Sandstürme treten im Tarim-Becken bei einer Windgeschwindigkeit ab 8 m/sec auf; der transportierte Sand hat eine Korngröße über 0,078 mm Durchmesser. Von chinesischen Meteorologen werden vier Intensitätsstufen von Sandstürmen unterschieden: schwach, stark, kräftig, sehr kräftig, die jeweils charakteristische Kennzeichen und Eigenschaften aufweisen (Tab. 1, nach Liu Anliang 2000).

¹ Zum Klima des Tarim-Beckens siehe Domrös und Peng 1988, vor allem die dort befindlichen Klimatafeln ausgewählter Stationen.

Tab. 1: Kennzeichen und Eigenschaften der Sandstürme im Tarim-Becken

Sichtstufe	Sichtweite (m)	Windstärke	Windgeschwindigkeit (m/s)	Intensitätsstufe
0	< 50	9	> 20,7	sehr kräftig
1	50 — < 200	8	17,2 — 20,7	kräftig
2	200 — < 500	6 — 7	10,8 — 17,1	stark
3	500 — < 1000	5	8,0 — 10,7	schwach

(nach Liu Anliang 2000)

Die Häufigkeit der Sandstürme hat in den letzten 50 Jahren erheblich zugenommen, ebenso auch das Ausmaß der volkswirtschaftlichen Schäden, wie von Liu Anliang (2000) für die "sehr kräftigen" Sandstürme aufgezeigt wurde (Tab. 2).

Tab. 2: Häufigkeit der Sandstürme im Tarim-Becken und ihre volkswirtschaftlichen Schäden (1950-1999)

Zeitraum	Gesamtzahl der Sandstürme (Sandsturm-tage)	Zerstörte Äcker (1000 Hektar)	Todesopfer an Tieren	Todesopfer an Menschen	Zahl der eingestürzten Häuser	Finanzielle Verluste (in 10000 Yuan)
1950-59	2	36	*	*	*	*
1960-69	8	724	509	5	373	*
1970-79	5	1638	7519	16	1752	*
1980-89	18	1352	24775	12	2556	6018
1990-99	25	3407	48068	3	1943	50792,2

* keine Angaben

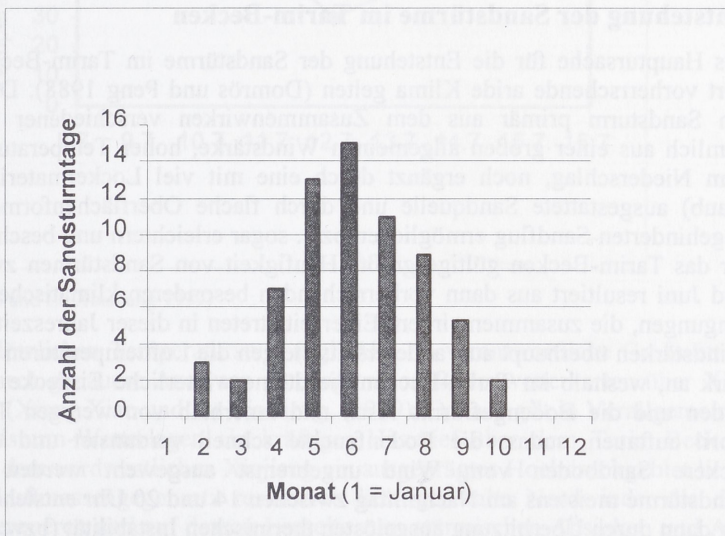
(nach Liu Anliang 2000)

Das Auftreten von Sandstürmen unterliegt großen jahreszeitlichen Schwankungen. Die mittlere Häufigkeit der Sandstürme, ausgedrückt in der jährlichen Anzahl von Sandsturm-Tagen, beläuft sich im Tarim-Becken auf 38, ihre maximale Anzahl beträgt über 70, was zugleich eine große Veränderlichkeit in der Sandsturmhäufigkeit von Jahr zu Jahr bedeutet. Auch die monatliche Frequenz der Sandstürme schwankt sehr. 90% der Sandstürme treten von März bis August auf — bei einem deutlichen Maximum zwischen April und Juni mit rund 70 Prozent der Sandsturmereignisse. Im Dezember und Januar treten dagegen kaum Sandstürme auf.

Auch in räumlicher Hinsicht bestehen große Unterschiede im Auftreten und in der Häufigkeit von Sandstürmen. Dabei wird die Taklimakan Wüste am häufigsten von Sandstürmen heimgesucht, wobei ihr zentraler Teil die allergrößte Häufigkeit aufweist. Nach Untersuchungen von He Qing, Zhao Jingfeng und Nagashima Hideki (1996) nimmt die jährliche Anzahl der Sandstürme vom Rand zum Innern der

Taklimakan Wüste von 20 auf 60 Fälle stark zu. Dokumentiert durch Beobachtungen an der Station Taklimakan Yijing ($38^{\circ}40' \text{ N}$, $83^{\circ}50' \text{ E}$, vgl. Abb. 1), haben Xue Hong und Hu Liqun (1999) die monatliche Anzahl von Sandstürmen für 1996 ermittelt (siehe Abb. 2) und dabei auch die obigen Beobachtungen über die jahreszeitliche Häufigkeit der Sandstürme im Tarim-Becken bestätigt.

Abb. 2: Monatliche Anzahl von Sandstürmen für die Station Taklimakan Yijing im Jahre 1996 ausgedrückt in der Zahl der Sandsturmtage



(nach Xue Hong und Hu Liqun 1999)

Auch im Tagesverlauf schwankt das Auftreten (bzw. die Stärke) der Sandstürme. Deutlich häufiger treten Sandstürme tagsüber (von 8 bis 20 Uhr) als nachts (von 20 bis 8 Uhr) auf, wie durch Beobachtungen an der Station Tazhong Sijing ($40^{\circ}06' \text{ N}$, $83^{\circ}06' \text{ E}$, vgl. Abb. 1) von Juli 1996 bis Juni 1998 belegt wird. Danach traten Sandstürme tagsüber in 53 Fällen und nachts nur in 29 Fällen auf. Bei genauer Betrachtung lässt sich das gehäufte Auftreten von Sandstürmen am Tage zeitlich noch differenzieren (siehe Tab. 3 nach Xue Hong und Hu Liqun 1999), wobei sich die größte Häufigkeit von Sandstürmen zwischen 14 und 20 Uhr zeigt. Auch die Lebensdauer der Sandstürme ist sehr unterschiedlich; sie reicht von mehreren Tagen über wenige Stunden bis zu wenigen Minuten.

Tab. 3: Tageszeitliche Unterschiede im Auftreten von Sandstürmen für die Station Tazhong Sijing (40°06' N, 83°06' E) von Juli 1996 bis Juni 1998

Tageszeit	20-08 Uhr	08-14 Uhr	14-20 Uhr
Anzahl der Sandstürme	29	22	31

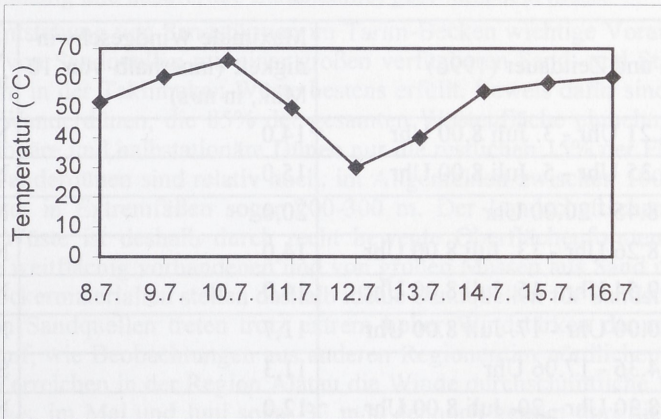
(nach Xue Hong und Hu Liqun 1999)

Entstehung der Sandstürme im Tarim-Becken

Als Hauptursache für die Entstehung der Sandstürme im Tarim-Becken muss das dort vorherrschende aride Klima gelten (Domrös und Peng 1988). Dabei resultiert ein Sandsturm primär aus dem Zusammenwirken verschiedener Klimagrößen, nämlich aus einer großen allgemeinen Windstärke, hoher Temperatur und fehlendem Niederschlag, noch ergänzt durch eine mit viel Lockermaterial (Sand und Staub) ausgestattete Sandquelle und durch flache Oberflächenformen, die einen ungehinderten Sandflug ermöglichen bzw. sogar erleichtern und beschleunigen. Die für das Tarim-Becken gültige größte Häufigkeit von Sandstürmen zwischen April und Juni resultiert aus dann vorherrschenden besonderen klimatischen Rahmenbedingungen, die zusammenwirken: Einerseits treten in dieser Jahreszeit die höchsten Windstärken überhaupt auf, andererseits steigen die Lufttemperaturen saisonbedingt stark an, weshalb im Tarim-Becken die dünne winterliche Eiskecke auf dem Erdboden und die Bodengefrorenis rasch und innerhalb von wenigen Tagen Anfang April auftauen, sodass die Bodenfeuchte schnell verdunstet und der daraufhin lockere Sandboden vom Wind ungebremst ausgeweht werden kann. Dass Sandstürme meistens am Nachmittag zwischen 14 und 20 Uhr entstehen, beruht auf der dann durch Überhitzung ausgelösten thermischen Instabilität (bzw. Labilität) der bodennahen Luft. Als Folge davon steigt die Windkraft mit der Zunahme der Temperatur und der wachsenden Labilität bis zur (Sand-)Sturmstärke.

Die Entstehung eines Sandsturms hängt ganz entscheidend von der Großwetterlage ab, die durch ein plötzliches Vordringen von mächtigen Kaltluftmassen in die überhitzte Wüste gekennzeichnet ist, was auch einen Temperatursturz während eines Sandsturms zur Folge hat. Das Ausmaß des Temperatursturzes zeigt beispielhaft die von Xiang Xiao und Lu Xinsheng für die Station Tazhong dargestellte Beobachtungsperiode vom 8. bis 16. Juli 1998 mit dem innerhalb dieses Zeitraums vom 11. bis 13. Juli aufgetretenen kräftigen Sandsturm über der Taklimakan Wüste (Abb. 3, vgl. auch Abb. 1).

Abb. 3: Verlauf der Mittagstemperaturen am Erdboden während einer Sandsturm-Wetterlage vom 8. bis 16. Juli 1998 für die Station Tazhong (39°00' N, 83°40' E)



(nach Xiang Xiao und Lu Xinsheng 1999)

Die für den plötzlichen Temperatursturz (vgl. Abb. 3) verantwortliche Großwetterlage wurde durch genauere Analysen von regionalen Bodenwetterkarten über Xinjiang ermittelt (Xiang Xiao und Lu Xinsheng, (1999). Danach gilt in Verallgemeinerung für Sandsturm-Wetterlagen ein kräftiges Hitzetief über dem Tarim-Becken, während über dem nordwestlichen Xinjiang ein ausgeprägtes Hochdruckgebiet liegt. Aus diesem Luftmassengegensatz resultieren kräftige, kalte Nordwinde, die den Tian Shan überqueren und auf dessen Leeseite zum stürmischen Absinken und Ableiten der Kaltluft in das Tarim-Becken führen, insbesondere weil diese Winde vom Tian Shan (aufgrund seiner großen Erhebung und seines Kälteeffektes aufgrund der Eis- und Schneebedeckung der Gipfelregionen) als kalte Fallwinde in das Tarim-Becken wehen. Dabei verdrängt die Kaltluft die am Erdboden vorhandene Warmluft, die nach oben gedrückt wird, was zur Bildung einer lockeren Bewölkung führt, ohne dass es jedoch aufgrund der mangelnden Luftfeuchte zur Entstehung von Niederschlägen über dem Tarim-Becken kommt.

Die in dieser Weise typische Sandsturm-Großwetterlage über dem Tarim-Becken ist außerordentlich wetterwirksam, was durch die große vertikale Mächtigkeit der beiden Druckgebilde belegt wird, wie durch verschiedene Analysen über die Druckverhältnisse im 500 hPa-Höhen-Niveau (bzw. rund 3.000 m Meereshöhe) bewiesen wird (Xu Xihui, 1996; Xiang Ming, Chen Yonghang, Luxin Xing; Xu Xihui, 1999; Tang Jaojue, He Qing, Cang Qangqing, 1999).

Nach Untersuchungen von Chen Yonghang (1999), bezogen auf Messungen von neun Sandsturmereignissen an der Station Tazhong im Juli 1996, traten bei Sandstürmen am Boden auch hohe Windgeschwindigkeiten im 500 hPa-Niveau (bzw. rund 3.000 m Meereshöhe) auf (Tab. 4).

Tab. 4: Sandsturmereignisse am Erdboden und zugehörige maximale Windgeschwindigkeiten der Höhenwinde im 500 hPa-Niveau (bzw. rund 3.000 m Meereshöhe), bezogen auf die Sandstürme im Juli 1996, gemessen an der Station Tazhong

Zeitraum und Zeitdauer (1996)	Maximale Windgeschwindigkeit (innerhalb von 10 Min., in m/s)	Windrichtung
2. Juli 18.21 Uhr - 3. Juli 8.00 Uhr	14,0	N
4. Juli 14.35 Uhr - 5. Juli 8.00 Uhr	15,0	N
11. Juli 18.45 - 20.00 Uhr	20,0	N
12. Juli 18.26 Uhr - 13. Juli 8.00 Uhr	14,0	NNE
14. Juli 19.54 Uhr - 15. Juli 8.00 Uhr	14,0	NNW
16. Juli 20.00 Uhr - 17. Juli 8.00 Uhr	11,7	NW
18. Juli 14.36 - 17.06 Uhr	11,3	SSW
19. Juli 18.30 Uhr - 20. Juli 8.00 Uhr	12,0	NW
26. Juli 17.04 - 17.08 Uhr	11,7	SE

(nach Chen Yonghang 1999)

Geökologische und menschliche Einflüsse auf die Entstehung der Sandstürme

Die Entstehung von Sandstürmen hängt neben den klimatischen und synoptischen Bedingungen auch von der Sandquelle ab, deren Vorhandensein und Entstehung ganz entscheidend als ein ökologischer Vorgang gewertet werden muss, weil er aus dem Zusammenwirken der natürlichen Rahmenbedingungen und den Eingriffen des Menschen resultiert.

Geökologische Rahmenbedingungen

Im Gegensatz zu anderen Gebieten Chinas wird das Tarim-Becken durch drei gravierende Mangelfaktoren charakterisiert, die die wirtschaftliche Erschließung und menschliche Besiedlung großflächig verhindern: Wasser, fruchtbare Böden und Vegetation. Obwohl das Tarim-Becken von hohen, schnee- und eisbedeckten Gebirgen umgeben ist, die viele Flüsse episodisch speisen, versickern die Flüsse, was in den meisten Fällen bereits an den Rändern des Tarim-Beckens geschieht. Ursache dafür sind die durch das aride Klima bedingten hohen Verdunstungsraten und die von den Wüstenböden ausgelösten raschen Versickerungsraten. Die hohe Verdunstung bedingt auch an vielen Stellen des Tarim-Beckens eine starke Versalzung der Oberflächen. Die höchst defizitären natürlichen (oberirdischen) Wasserressourcen bedingen, dass das Tarim-Becken als Ganzes kein ökologisches Gleichgewicht besitzt. Nur die in Form der Kharez-Bewässerung genutzten unterirdischen Wasserressourcen ermöglichen eine lokale, auf Oasen bezogene Landnutzung und Besied-

lung (wie oben beschrieben), was die Oasen zugleich in ein ökologisches Gleichgewicht versetzt, das jedoch einer besonders sorgfältigen, ständigen Wahrung und Pflege bedarf und vor jeglicher unkontrollierter Überforderung (z.B. durch unangepasste Landnutzung und ausufernde Landnahme) geschützt sein muss.

Die für die Entstehung von Sandstürmen im Tarim-Becken wichtige Voraussetzung der Existenz von Sandquellen mit einer großen verfügbaren Sand- und Staubmasse wird vor allem in der Taklimakan Wüste bestens erfüllt. Beweis dafür sind die weit verbreiteten Wanderdünen, die 85% der gesamten Wüstenfläche einnehmen, während auf stationäre und halbstationäre Dünen nur die restlichen 15% der Fläche entfallen. Die Wanderdünen sind relativ hoch, im Allgemeinen zwischen 100 und 150 m über Grund, in Extremfällen sogar 200-300 m. Der Landschaftscharakter der Taklimakan Wüste ist deshalb durch recht bewegte Oberflächenformen gekennzeichnet. Die weitflächig vorhandenen und von großen Massen aus Sand und Staub gebildeten Lockermaterialien stellen deshalb ideale Sandquellen für Sandstürme dar. Bei fehlenden Sandquellen treten trotz extrem hoher Windstärken dennoch keine Sandstürme auf, wie Beobachtungen aus anderen Regionen im nördlichen Xinjiang beweisen: So erreichen in der Region Alatau die Winde durchschnittliche Windstärken von 22 m/s, im Mai und Juni sogar 33 m/s, dennoch beträgt dort die Zahl der Sandstürme im Jahresmittel nur 0,1 Fälle. Ähnliche Beobachtungen liegen auch für die Region von Karmay am Westrand der Gurbantünggüt Wüste vor.

Menschliche Einflüsse

Die Voraussetzungen für die Entstehung von Sandstürmen werden auch in starkem Maße durch menschliche Einflüsse geschaffen. In den vergangenen 40 Jahren ist die Bevölkerung in der Autonomen Uigurischen Region Xinjiang ungefähr auf das Dreifache (von 6 Mio. auf 17,74 Mio.) gestiegen. Mit der wachsenden Bevölkerung stieg auch der Bewässerungsfeldbau rasch an; so hat sich die Ackerbaufläche in Xinjiang von rund 1,2 Mrd. ha (1949) auf rund 3,1 Mrd. ha (1999) vergrößert. Da Wasser vor allem im Tarim-Becken einen gravierenden Mangelfaktor darstellt, ist durch die wachsende Bevölkerung mit der damit verbundenen, zunehmenden Neuanderschließung die Wasserknappheit immer größer geworden. Dies zeigt sich an der Nutzung der verfügbaren Wasserressourcen im Tarim-Becken (Tab. 5).

Tab. 5: Verfügbare Wasserressourcen und ihre Nutzung im Tarim-Becken

Oberflächenabfluss	Nutzungsrate der Abflussmenge	Grundwasserversorgung	Nutzungsrate des Grundwassers	Gesamtmenge der Wasserressourcen	Gesamtnutzungsrate der Wasserressourcen
407,0×10 ⁸ m ³ /a	67,0%	221,1×10 ⁸ m ³ /a	3,9%	430,5×10 ⁸ m ³ /a	65,3%

(Wang Genxu 1999)

Die sich auf 65,3% belaufende Gesamtnutzungsrate der Wasserressourcen im Tarim-Becken liegt damit weit über dem mittleren Nutzungsniveau in ariden Gebieten der Erde, die nur bei 30% liegt (Wang Genxu 1999). Die Überbeanspruchung der knappen natürlichen Ressourcen (neben dem Wasser auch Boden und Vegetation) hat im Tarim-Becken stellenweise die Grenzen der ökologischen Belastbarkeit überschritten. Als Folge davon müssen auch die wachsende Häufigkeit von Sandstürmen und ihr größeres sozio-ökonomisches Gefährdungspotenzial gesehen werden. Dafür sind vor allem vier Gründe verantwortlich:

1 Verkürzung des Tarim-Flusses und veränderte Wasserbilanz sowie Austrocknung des Lop-Nur-Sees

Seit den 1950er-Jahren begann die Neulanderschließung im Einzugsgebiet des Tarimflusses, besonders am Oberlauf. In diesem Gebiet wurden Kulturen mit hohem Wasseranspruch wie Reis und Baumwolle angebaut; dies führte zusammen mit der vernachlässigten Regulierung im Mittellauf des Tarim-Flusses dazu, dass sich der Flusslauf bis heute ungefähr um 300 km verkürzt hat (Tan Changyan 1999). Eine weitere Folge ist, dass sich in den letzten 50 Jahren die jährliche Abflusspende des Tarim-Flusses um 37,5% verringert hat. Wegen der Neulanderschließung am Oberlauf wurden 40% der Abflusspende umgeleitet und im Mittellauf des Flusses werden schon 43% der Gesamtabflusspende genutzt. Der Abfluss im Unterlauf des Tarimflusses beträgt dagegen nur noch 17% der gesamten Abflusspende, die fast ausschließlich für Agrarland genutzt wird, wodurch der Grundwasserspiegel um 1-4 m auf jetzt 6-12 m gesunken ist (Tan Changyan 1999).

Die Folge der Verwendung eines Großteils der Abflusspende des Tarimflusses für landwirtschaftliche Zwecke ist das Austrocknen des Lop-Nur-Sees, des ehemals größten Sees von Xinjiang. Der See (40°30' N, 90°20' E) befand sich am Ostrand des Tarim-Beckens mit einer Wasseroberfläche von 12.500 km² (B. Hamann 1998). Ende der 1960er-Jahre trocknete die ursprüngliche Wasserfläche aus, wodurch eine wichtige Wasserdampfquelle des Tarim-Beckens verloren gegangen ist; damit ist die Verfügbarkeit von Wasserdampf viel geringer geworden, womit letztendlich auch die Feuchtvegetation in den Uferregionen des ehemaligen Lop-Nur-Sees verschwunden ist. Mit der wachsenden Austrocknung ist auch ein größeres Risiko für die Entstehung von Sandstürmen verbunden, da die Sandquellen zugenommen haben.

2 Vegetationsdegeneration

Die Vegetationsdegeneration im Tarim-Becken schlägt sich vor allem in einem Rückgang der Pappelpflanzungen nieder. In den letzten 50 Jahren hat die Zahl der Pappeln im Tarim-Becken um 47% und am Unterlauf des Tarimflusses sogar um 56,3% abgenommen (Tan Changyan 1999); allein zwischen 1958 und 1983 ist der Pappelbestand entlang des Tarimflusses von 400.000 auf 298.000 Hektar geschrumpft (Liu Jingfu 1995). Ursache für die gravierenden Abholungen der Pappeln ist die Gewinnung von Nutzland im Zuge der groß angelegten Neulanderschließung, woraus zugleich ein rasch angestiegener Wasserverbrauch resultierte. So

wurde im Mittel- und Unterlauf des Tarimflusses seit den 1980er-Jahren das Ackerland von 500.000 auf 800.000 Mu (1 Mu = 1/15 Hektar) vergrößert. Aufgrund dieses ständig ausgeweiteten Ackerlandes wurde (und wird) dem Ober- und Mittellauf des Tarimflusses sowie seiner Quell- und Nebenflüsse immer mehr Wasser entzogen, sodass der Oberflächenabfluss reduziert und der Unterlauf ausgetrocknet ist. Als Folge davon kommt es zu einer fortschreitenden Verödung und damit zu einem größeren Risiko für Sandstürme, da die verödeten Flächen günstige Sandquellen für Sandstürme darstellen.

Der menschliche Einfluss hatte aber nicht nur Auswirkungen auf den Rückgang der Pappelpopulation, sondern auch auf die Degeneration der Wüstensteppe. Dafür gibt es ein Beispiel: In den letzten 50 Jahren gingen im nördlichen Tarim-Becken 2.100 km² Wüstensteppe verloren, wodurch dort die wichtige Produktion von Futtergräsern um 40-60% zurückgegangen ist. Im Gegensatz dazu haben sich die für Weidewieh unverträglichen Steppengräser um 15% ausgeweitet. Darüber hinaus zeigen die genannten Beobachtungen der vergangenen 50 Jahre der Vegetationsdegeneration im Tarim-Becken, dass menschliche Einflüsse auf die Abholzung neu einsetzende Dünenwanderungen auslösten. Besonders ungünstig ist der Rückgang der Pappelpflanzungen im Umkreis der Oasen, wodurch die Entstehung von Wanderdünen begünstigt wird und die Gefahr der Versandung der Oasen gestiegen ist.

3 Bodenversalzung

Die Bodenversalzung als Folge des hohen Wasserbedarfs für die künstliche Bewässerung bedeutet eine besondere ökologische Krisensituation, mit der die Landwirtschaft von Xinjiang konfrontiert ist. Das gewaltige Ausmaß der Bodenversalzung wird an der Ausdehnung der Versalzungsflächen auf 1,45 Mrd. ha verdeutlicht, womit rund 45% der gesamten Ackerbaufläche von Bodenversalzung heimgesucht sind. Im Tarim-Becken gingen bis heute rund 3 Mrd. ha Auenwälder und Steppen durch Versalzung, Abholzung, Austrocknung und Versandung verloren (Gruschke 1991). Das große Ausmaß der Bodenversalzung vor allem im Bereich des Tarim-Mittel- und -Unterlaufs hängt von der Hebung des Grundwasserspiegels und dem erhöhten Mineralgehalt des Oberflächen- und Grundwassers ab. Ursache für die Hebung des Grundwasserspiegels am Oberlauf des Tarimflusses ist insbesondere der große Wasserbedarf der neu errichteten Staatsfarmen, die in der Niedrigwasserzeit des Flusses (zu Beginn der Vegetationsperiode) das gesamte Oberflächenwasser für Bewässerungszwecke benötigen, wodurch das Flussbett selbst nur noch das Drainagewasser aufnimmt. Damit verbunden ist eine Hebung des Grundwasserspiegels im Tarim-Oberlauf von früher 5-8 m Tiefe auf jetzt 1-2 m Tiefe unter Flur (Gruschke 1991), verbunden mit einer höheren Bodenversalzung am Mittel- und Unterlauf. In den nicht bewässerten Gebieten am Unterlauf des Tarimflusses ist der Grundwasserspiegel dagegen um 2-3 m gesunken.

Eine weitere Ursache der Bodenversalzung ist die zunehmende Mineralisierung des Fluss- und Bewässerungswassers am Oberlauf des Tarimflusses. Die Mineralisierung der Böden ist vor allem durch übermäßige Anwendung von Kunstdünger bedingt. Im Jahre 1996 wurden z.B. in Xinjiang insgesamt 3.600×10^3 kg Kunst-

dünger bzw. 900 kg pro ha ausgetragen. Die übermäßige Anwendung von Kunstdünger sowie von Pestiziden und Insektiziden hat nachhaltige negative Folgen für das Oberflächen-(Fluss-) als auch für das Grundwasser, indem einerseits eine Mineralisierung des Fluss- und Bewässerungswassers und andererseits eine Versalzung der Böden auf den Bewässerungsfeldern eintritt. Dies hat im Tarim-Becken in jüngerer Zeit die Landnutzung erheblich eingeschränkt. So hat sich z.B. am Südrand des Tarim-Beckens die Wüste pro Jahr um 5-35 m in Richtung ausgedehnt.

4 Umweltbelastungen durch den Baumwollanbau

Die wichtigste Anbaupflanze im südlichen Xinjiang ist die Baumwolle. Der Baumwollanbau ist in Süd-Xinjiang seit 1988 vor allem in staatlichen Produktions- und Ackerbaugenossenschaften gefördert worden. Die wichtigsten Baumwollanbaugebiete befinden sich in der Umgebung von Aksu. Mit 925.000 t (1995) produziert Xinjiang inzwischen etwa ein Viertel der chinesischen Baumwolle und nimmt damit den ersten Rang unter den Provinzen und Regionen ein.

Im Jahre 2000 hat die Baumwollproduktion 1,5 Mio. t erreicht und damit ihr Planziel erfüllt. Der Baumwollanbau wird in Süd-Xinjiang durch die heißen Sommer begünstigt. Um eine möglichst hohe Produktion zu erzielen, werden große Mengen von Hilfs- und Betriebsmitteln eingesetzt. Dazu zählen neben Kunstdünger auch Kunststoffplanen, die in den Baumwollpflanzungen ausgelegt werden, um die Bodentemperaturen zu erhöhen und die Bodenfeuchtigkeit zu erhalten, womit die Vegetationsperiode verkürzt wird.

Heutzutage werden im Baumwollanbau in Xinjiang über 500.000 Tonnen Kunststoffplanen zur kompletten Bedeckung der Anbaufläche benutzt. Durch den kräftigen Wind werden jedoch rund 20% der Planen weggeweht, was zu Umweltverschmutzungen führt. Nach Untersuchungen von Umweltschutzorganisationen in Xinjiang beläuft sich der nicht eingesammelte Rest an Kunststoffplanen auf durchschnittlich 2,52 kg pro Mu und höchstens auf 18 kg pro Mu (1 Mu = 1/15 ha). Vor dem Beginn der regelmäßigen Bewässerung der Felder werden dann nur noch 80% der ausgelegten Planen wieder eingesammelt.

Schlussbemerkungen

Es kann kein Zweifel daran bestehen, dass die im Tarim-Becken vorherrschenden ariden Klimabedingungen und die starken menschlichen Eingriffe zur Entstehung von Sandstürmen führen. Die Sandsturmkatastrophen bedingen negative ökonomische Folgen und erschweren die Lebensbedingungen im Tarim-Becken. Die unter dem wachsenden Bevölkerungsdruck teilweise unkontrollierte und unangepasste Landnutzung sowie ausufernde Landerschließung haben das äußerst sensible ökologische Gleichgewicht im Tarim-Becken empfindlich gestört. Sandstürme müssen als Folge der ökologischen Instabilität gesehen werden. Ausnahmen bilden die seit Jahrhunderten hervorragend funktionierenden antiken Oasenkulturen entlang der Seidenstraße durch das Tarim-Becken, die auf der genialen Nutzung durch das Kharez-Bewässerungssystem beruhen. Um dem großen Gefährdungsrisiko des

Tarim-Beckens durch Sandstürme zu begegnen, müssen aktive Gegenmaßnahmen eingeleitet werden:

- Der zur Verfügung stehende, ökologisch sehr sensible Raum bedarf im Blick auf jegliche Landnutzungsmaßnahmen einer behutsamen Abschätzung und Analyse des ökologischen Risikopotenzials. Eine unkontrollierte Nutzung zieht automatisch eine wachsende Landdegradation und Desertifikation nach sich. Dadurch stellt sich die Frage, wie für die weiter wachsende Bevölkerung der erforderliche Lebensraum bereitgestellt werden kann. Die Antwort sollte eher in einer gezielten regionalen Umverteilung der Menschen auf andere Gebiete gesucht werden als in einer weiter ausufernden Nutzlanderschließung auf Kosten der verstärkten ökologischen Gefährdung und Degradierung der Region.
- Im Sinne ökologisch verantwortlichen und nachhaltigen Handelns sollte das Vorhandensein der verfügbaren Wasserressourcen die oberste Richtlinie jeglicher Wassernutzung darstellen. Dazu muss vor allem die Überwachung der Wasserressourcen noch verstärkt werden, um eine Übernutzung zu vermeiden.
- Windschutzpflanzungen sind im Tarim-Becken verstärkt erforderlich, da sie Windhindernisse darstellen und zur Bekämpfung von Sandstürmen beitragen. Vor allem mit Pappelpflanzungen waren in der Vergangenheit gute Erfolge erzielt worden. Abholzungen von früher angelegten Windschutzpflanzungen auch zum Zwecke der Nutzlandgewinnung müssen streng untersagt sein.
- Die Prognosegenauigkeit von Sandstürmen muss verbessert werden, damit Vorbeugungsmaßnahmen gegen Sandstürme, z.B. für die bestellten Felder, getroffen werden können.
- Auch muss das Bewusstsein der Bevölkerung in den von Sandstürmen betroffenen Gebieten in der Weise gestärkt werden, dass die ungünstigen sozio-ökonomischen Folgen von Sandstürmen nicht allein von Naturfaktoren, sondern auch von einem ökologisch unverantwortlichen Handeln abhängen. Entsprechend muss auch bei der Bevölkerung das Umweltbewusstsein gestärkt werden.

Zusammenfassung

Sandstürme stellen im Tarim-Becken ein typisches, ursächlich primär meteorologisches, aber vom Menschen mit beeinflusstes Phänomen dar, das verheerende sozio-ökonomische Folgen hat. Sandstürme sind in ihrem Ursprung ein Wetterphänomen, das im Einzelfall zu einer unberechenbaren Katastrophe ausarten kann, dessen Ausmaß sowie negative Folgen jedoch vom Menschen maßgeblich mit verursacht sind. Daher müssen die Ursachen wie auch die Wirkungen von Sandstürmen als Ergebnis des komplexen Zusammenwirkens von bestimmten atmosphärischen Bedingungen und einem instabilen Ökosystem gesehen werden.

Der Untersuchungsraum des Tarim-Beckens stellt sich als ein ökologisch höchst sensibler Raum dar, in dem eine nachhaltige ökologische Nutzung der begrenzten Ressourcen die oberste Forderung an jegliche Arten von Neulanderschließungen darstellt, trotz der Dringlichkeit derselben in Hinblick auf den wachsenden Bevölkerungsdruck. Als Beispiel vorbildlichen, nachhaltigen wie auch ökologischen Han-

delns müssen die antiken Oasen mit ihrem genialen Kharez-Bewässerungssystem gelten. Die Häufigkeit und Intensität von Sandstürmen und ihre Auswirkungen haben im Tarim-Becken in jüngerer Zeit zugenommen. Das Tarim-Becken ist deshalb in wachsendem Maße aufgrund des großen Gefährdungsrisikos durch Sandstürme ein instabiler Lebensraum. Eine Reihe von anthropogenen Maßnahmen gegen eine zunehmende Desertifikation mit einem wachsenden Risiko von Sandstürmen kann wirksam das höchst sensible ökologische Gleichgewicht wahren.

Literatur

- Chen Yonghang et al.: "Comprehensive Analysis and Forecasting of Ten Time Dust Devils in the Hinterland of the Taklimakan Desert in Midsummer", in: *Bimonthly Journal of Xinjiang Meteorology* 22, 1999: 9-12 (in Chinesisch)
- Domroes, M., Peng Gongbing: *The Climate of China*. Heidelberg 1988
- Giese, E.: "Die ökologische Krise der Aralseeregion", in: *Geographische Rundschau* 52, 2000: 293-297
- Gruschke, A.: *Neulanderschließung in Trockengebieten der Volksrepublik China und ihre Bedeutung für die Nahrungsversorgung der chinesischen Bevölkerung*. Hamburg 1991
- Erlach, S.: "Die Umweltverträglichkeit der Neulanderschließung am Tarim-Oberlauf/Region Aksu-Aral", in: *Landwirtschaft und Umwelt in den Trockengebieten der VR China*, Reihe C/Band 8/1988: 56-62. Berlin
- Hamann, B., Ümüt Halik: "Die Zerstörung natürlicher Ressourcen in der Autonomie Region Xinjiang der Uiguren", in: *ASIEN* Bd. 69: 1998, S. 43-54
- Han Delin: *Geography Handbook of Xinjiang*. Ürumqi 1990
- He Qing, Zhao Jingfeng, Nagashima Hideki: "The Distribution of Sandstorms in Taklimakan Desert", in: *Journal of Arid Land Studies* (Japan), 1996: 185-193
- Krieg, R. et al: *Provinzporträts der VR China. Geographie, Wirtschaft, Gesellschaft*. 2. Auflage: Mitteilungen des Instituts für Asienkunde Hamburg. Nr. 289. Hamburg 1998
- Li Jiangfeng: *Climate of Xinjiang*. Peking 1991 (in Chinesisch)
- Liu Anliang: *Report on Field Survey of Middle and Lower Reaches of Tarim River*. Peking 2000
- Tan Changyan, Song Yudong: "Status, Causes and Countermeasures of Desertification in Xinjiang", in: *Journal of Desert Research* 19, 1999: 214-218 (in Chinesisch)
- Wang Genxu et al.: *Journal of Natural Resources* Vol. 14, 1999: 109-117 (in Chinesisch)
- Xiang Ming et al.: "Methods of Short-range Forecast of Local Dust Devil in the Hinterland of Taklimakan Desert", in: *Bimonthly Journal of Xinjiang Meteorology* 22, 1999: 13-16 (in Chinesisch)
- Xue Hong et al.: "Weather and Climate Analysis on Dust Devil in Tazhong Area", in: *Bimonthly Journal of Xinjiang Meteorology* 22, 1999: 13-15 (in Chinesisch)
- Xu Xihui: "Analysis and Research on NOAA Satellite Cloud Picture of Taklimakan", in: *Die Erforschung der Sandstürme in China* 1996: 88-91 (in Chinesisch)
- Yan Junxu et al.: *China-Buchreihe Geographie*. Peking 1994