

7.4 Die Bedeutung der Kryosphäre im Tien Shan als »Wasserturm« für Zentralasien

KATY UNGER-SHAYESTEH, DORIS DÜTHMANN, ABROR GAFUROV,
LARS GERLITZ & SERGIY VOROGUSHYN

Die Bedeutung der Kryosphäre im Tien Shan als »Wasserturm« für Zentralasien: Bezogen auf die Bevölkerungszahl gehören die fünf zentralasiatischen Staaten zu den 15 größten Wasserverbrauchern der Welt. Hauptnutzer der Wasserressourcen ist dabei die Landwirtschaft. Schnee- und Gletscherschmelze im Tien Shan tragen bedeutend zum Abfluss in den Frühjahrs- und Sommermonaten bei und stellen damit Wasser zu einem für die Landwirtschaft günstigen Zeitpunkt bereit. In warmen und trockenen Jahren können sie Niederschlagsminima kompensieren und für einen stabilen Basisabfluss sorgen. Mit dem kontinuierlichen Rückgang der Vergletscherung kann der Anteil der Gletscherschmelze am Gesamtabfluss zunächst zu-, später aber auch abnehmen – je nachdem in welchem Zustand sich der Gletscher befindet und ob bereits der Wendepunkt erreicht ist, an dem die zunehmende Gletscherschmelze den Rückgang der vergletscherten Fläche in Bezug auf die Abflusspende nicht mehr kompensieren kann. Für die Zukunft wird erwartet, dass infolge des reduzierten Gletscherspeichers der Sommerabfluss abnimmt und die interannuelle Variabilität zwischen den Jahren zunimmt. Dies kann sich nachteilig auf die Landwirtschaft und den Wasserkraftsektor auswirken und auch die Hochwassergefahr erhöhen. Für Zentralasien bleibt als wirksamste Anpassungsmaßnahme, die Wassernutzungseffizienz zu erhöhen und die Landnutzung an die langfristig verfügbaren Wasserressourcen anzupassen.

The importance of the cryosphere in the Tien Shan as a »water tower« for Central Asia: In relation to the population, the five Central Asian states are among the 15 largest water consumers in the world. Main user of the water resources is the agricultural sector. In the Tien Shan, snow and glacier melt contribute substantially to river runoff in the spring and summer months and thus supply water at a time convenient for agriculture. In warm and dry years, they may compensate precipitation minima and provide a stable base flow. The continuous retreat of glacierization may result in an increased but later decreasing contribution of glacier melt to total river runoff. This depends upon the state of the glacier, in particular if it has reached the tipping point, beyond which the increasing glacier melt cannot compensate the shrinking of the glacierized area in terms of the runoff rate anymore. In the future, summer runoff is expected to decrease due to the reduced glacier storage, and the interannual variability is expected to increase. This may have a negative impact on agriculture and the hydropower sector, and may also increase flood risk. For Central Asia, the most effective adaptation measure would be to increase water use efficiency and to adapt land use to the renewable water resources available in the long-term.

Weltweit sind Gebirgsregionen von großer Bedeutung als Süßwasserquelle und werden daher häufig als die »Wassertürme« der Flachlandregionen bezeichnet (z.B. VIVIROLI et al. 2007). Zum einen sind die Hochgebirge in der Regel durch höhere Jahresniederschläge infolge ihrer orographischen Sperrwirkung gegenüber feuchten Luftmassen gekennzeichnet, zum anderen speichern sie Wasser kurz- und langfristig, saisonal und überjährig in Form von Schnee, Firn und Gletschereis. Diese Speicherung von Wasser in der Kryosphäre führt zu höheren Abflüssen in den Frühjahrs- und Sommermonaten. Davon profitiert in Zentralasien insbesondere die bewässerte Landwirtschaft, die während der sommerlichen Vegetationsperiode auf das Wasser dringend angewiesen ist. In warmen und trockenen Jahren kann eine erhöhte Gletscherschmelze zudem ausbleibende Niederschläge lokal teilweise kompensieren und für einen Basisabfluss sorgen.

Die zentralasiatischen Gebirgsregionen Tien Shan und Pamir speisen die wichtigsten zentralasiatischen Flüsse Amudarja, Syrdarja und Tarim. Verglichen mit den stromabwärts gelegenen Tieflandregionen sind die Gebirge durch eine hohe Abflusspende von > 300 bis über 600 mm pro Jahr gekennzeichnet (MAMATKANOV

et al. 2006). So werden mehr als 70% des Jahresabflusses der im Tien-Shan und seinen Ausläufern liegenden Flussgebiete in Höhen von mehr als 3.000 m gebildet (DYURGEROV et al. 1995). Berücksichtigt man den Wasserbedarf der Bevölkerung in den Tiefebene, so zählen der Tien Shan und der Pamir zu den lebenswichtigsten Quellgebieten weltweit (VIVIROLI et al. 2007). In den Flussgebieten des Aral-See-Beckens ist die Bevölkerung zudem zu einem sehr hohen Grad abhängig vom saisonalen Gletscherbeitrag zum Abfluss. Diese Abhängigkeit ist höher als in anderen gletscher- und schneedominierten Flussgebieten, z.B. Indus und Ganges (KASER et al. 2010).

Die Klimaveränderungen der letzten und zukünftigen Jahrzehnte werden sich erheblich auf den Wasserhaushalt auch in den zentralasiatischen schnee- und gletscherdominierten Regionen auswirken. So wird erwartet, dass sich die Abflussspitzen saisonal auf einen früheren Zeitpunkt im Jahr verschieben und die saisonale und die überjährige Speicherkapazität der Quellgebiete abnehmen. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die hydrologische und wirtschaftliche Bedeutung der Kryosphäre im Tien Shan und fasst dafür die wichtigsten Ergebnisse der internationalen Forschung zusammen.

Wassernutzung in Zentralasien

Zentralasien ist eine Region, die für Wasserknappheit bekannt ist – der durch menschliche Eingriffe weitgehend ausgetrocknete Aral-See ist dafür zum weltweiten Symbol geworden. Aufgrund der geographischen Lage fernab der Ozeane ist das Klima Zentralasiens durch eine extreme Kontinentalität gekennzeichnet. Folglich ist eine große Jahres-Amplitude der Temperatur mit kalten Wintern und heißen Sommern für die Region charakteristisch. Weite Teile Zentralasiens sind durch aride Verhältnisse mit Jahres-Niederschlägen unter 150 mm geprägt (siehe Karte *Abb. 7.4-1*). Hydroklimatisch begünstigt sind lediglich die exponierten Lagen an der West- und Nordabdachung des Tien Shan und des Pamir-Gebirges. Insbesondere in den Winter- und Frühjahrsmonaten führt die orographische Anhebung der kontinuierlichen Westwinde sowie der Durchzug der an den subtropischen Jetstream gebundenen Zyklonen zu erheblichen Niederschlägen in den Hochgebirgsregionen, die vor allem in Form von Schnee fallen. Im Gegensatz zu den Tiefländern Zentralasiens sind die Hochgebirge mit Jahresniederschlagssummen von stellenweise mehr als 1.800 mm durch eine deutlich positive klimatische Wasserbilanz gekennzeichnet.

Unter den Bedingungen des äußerst kontinentalen Klimas macht das aus den Hochgebirgen Zentralasiens stammende Wasser der beiden Flusssysteme Amudarja und Syrdarja das Leben und das wirtschaftliche Überleben der Menschen in den ariden und semi-ariden Wüsten und Steppen überhaupt erst möglich. Jahrtausende alte Oasenstädte wie Chiwa, Buchara und Choresm zeugen davon. Derzeit leben rund 60 Mio. Menschen in Zentralasien, die vor allem in den Oasen und Gebirgsausläufern siedeln. Das starke Bevölkerungswachstum

insbesondere in Usbekistan könnte aber dazu führen, dass sich bis zum Jahr 2100 die Bevölkerungszahl verdoppelt – was nicht ohne Auswirkungen auf den Wasserverbrauch der zentralasiatischen Staaten bleiben wird. Bereits heute zählen die zentralasiatischen Staaten zu den 15 Ländern mit dem höchsten Pro-Kopf-Verbrauch an Wasser (*Abb. 7.4-2*), wobei Turkmenistan mit mehr als 5.000 m³ pro Jahr und Einwohner den weltweit mit Abstand höchsten Wert erzielt. Dem stehen in den Unterlieger-Staaten im Tiefland im Umfang sehr limitierte erneuerbare Wasserressourcen gegenüber, so dass diese daher größtenteils auf grenzüberschreitende Zuflüsse angewiesen sind (*Abb. 7.4-3*).

Hauptsächlicher Wassernutzer ist die Landwirtschaft, die einen Anteil von 85-95% an den genutzten Wasserressourcen in den Ländern Kirgisistan, Tadschikistan, Turkmenistan und Usbekistan hat (FAO 2013). Die sozioökonomische Bedeutung dieses Sektors lässt sich daran ablesen, dass er in den rohstoffarmen Ländern Kirgisistan, Tadschikistan und Usbekistan einen Anteil von 20 bis 30% des Bruttoinlandsproduktes erzeugt und 19-26% der erwerbstätigen Bevölkerung in diesem Sektor beschäftigt sind, in Afghanistan sogar bis zu 60% (FAO 2013).

Für die Wassernutzung spielt in Zentralasien das Oberflächenwasser aus Flüssen und Seen die größte Rolle (*Abb. 7.4-4*). Sein Anteil an den gesamten genutzten Wasserressourcen wird auf 75 bis 99% in den zentralasiatischen Staaten geschätzt (FAO 2013). Der Oberflächenabfluss wird überwiegend in den Hochgebirgsregionen gebildet (*Abb. 7.4-5*). In den großen Tälern und an den Rändern der Gebirge wird das Flusswasser in ein weitverzweigtes Netz von Bewässerungskanälen eingespeist und zum Teil über hunderte

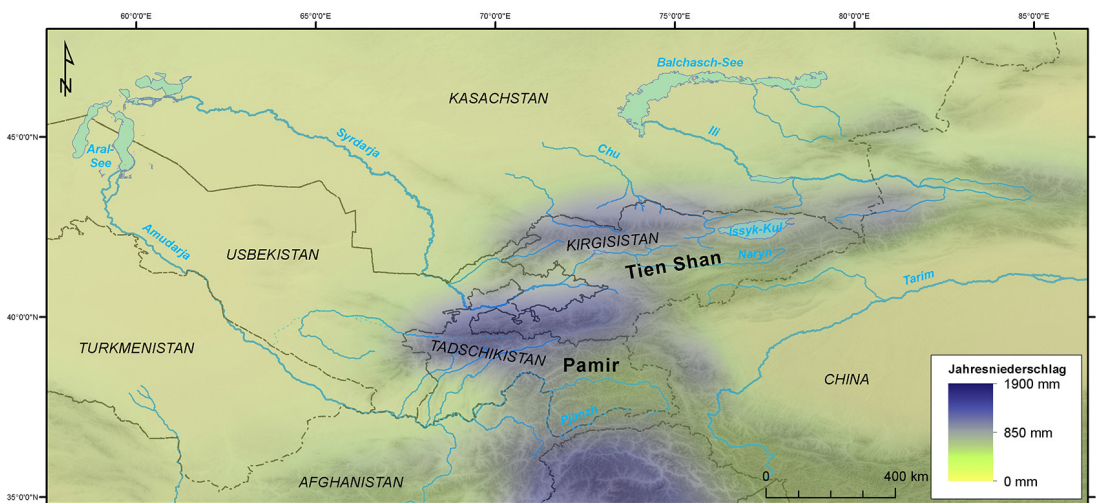


Abb. 7.4-1: Langjähriger mittlerer Jahresniederschlag im Zeitraum 1979-2014, basierend auf ERA-Interim Daten

Kilometer durch Wüsten- und Steppengebiete geleitet. Bekanntestes Beispiel ist der Karakum-Kanal, der in den 1950er Jahren als Erdkanal erbaut Wasser aus dem Amudarja über rund 1.500 km bis in die turkmenische Hauptstadt Aschgabat und fast zum Kaspischen Meer transportiert.

Gletscher und Schnee als Wasserspeicher im Tien Shan

Mit der bedeutenden wirtschaftlichen Rolle des Oberflächenwassers rückt die Frage in den Mittelpunkt, welchen Beitrag die Kryosphäre zum Abfluss leistet und welche Auswirkungen der Klimawandel auf diesen Beitrag hat. Im Tien Shan gibt es rund 13.000 Glet-

scher, die eine Fläche von ca. 15.000 km² bedecken und über ein Eisvolumen von rund 1.000 km³ verfügen (FARINOTTI et al. 2013, DYURGEROV et al. 1995). Der Beitrag der Gletscherschmelze zur Abflussbildung in Hochasien variiert räumlich und zeitlich sehr stark und ist bisher weitgehend nicht quantifiziert. Für ausgewählte zentralasiatische Flussgebiete ist eine Reihe von Schätzungen verfügbar, die meist auf Berechnungen von Wasserbilanzen oder auf empirischer Ganglinienseparation basieren. Diese Hochrechnungen sind jedoch mit sehr großen Unsicherheiten verbunden, da es sich meist um vereinfachte Ansätze handelt, in denen andere schwer zu quantifizierende Abflusskomponenten wie der Beitrag des Grundwassers oder auch

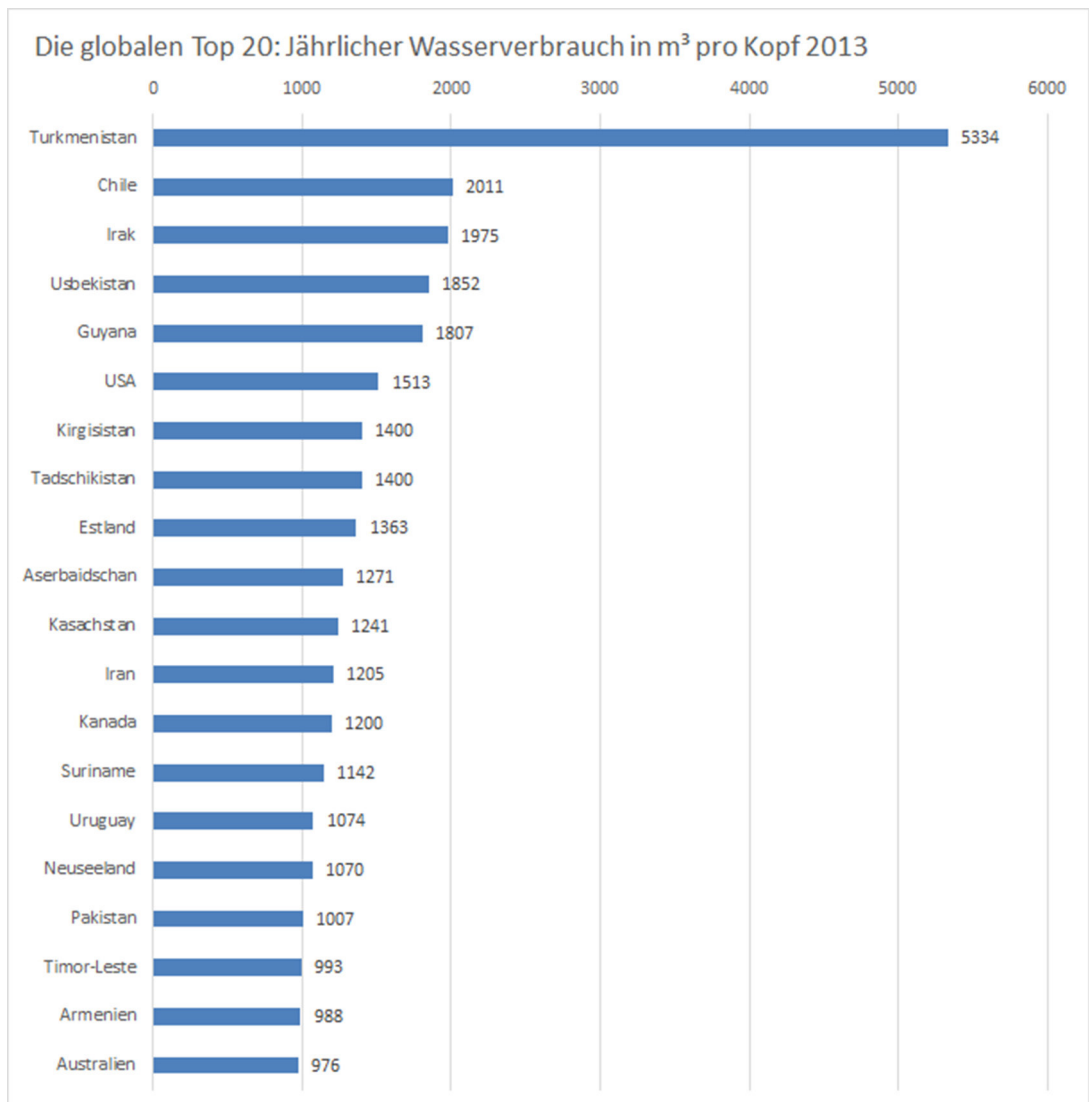


Abb. 7.4-2: Die größten globalen Wasserverbraucher gemessen in Bezug auf die Bevölkerungszahl (Zahlen: WELTBANK 2014).

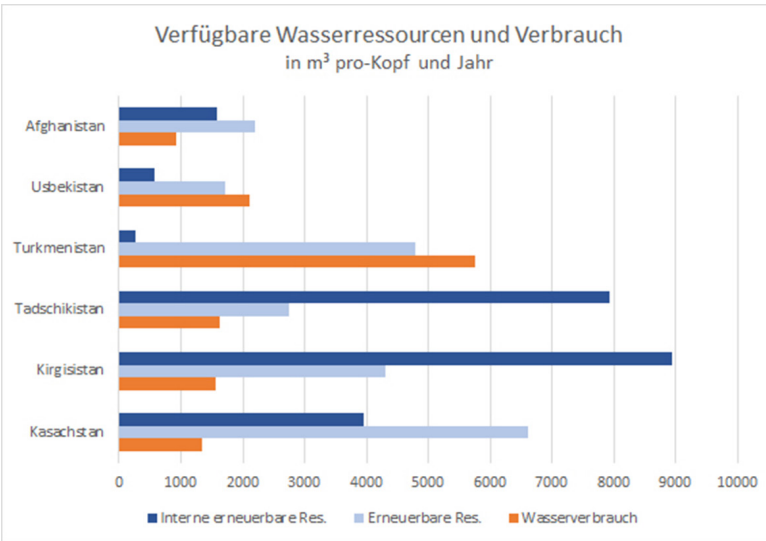


Abb. 7.4-3: Verfügbare erneuerbare Wasserressourcen und Wasserverbrauch pro-Kopf für die zentralasiatischen Staaten (Zahlen: FAO 2013).

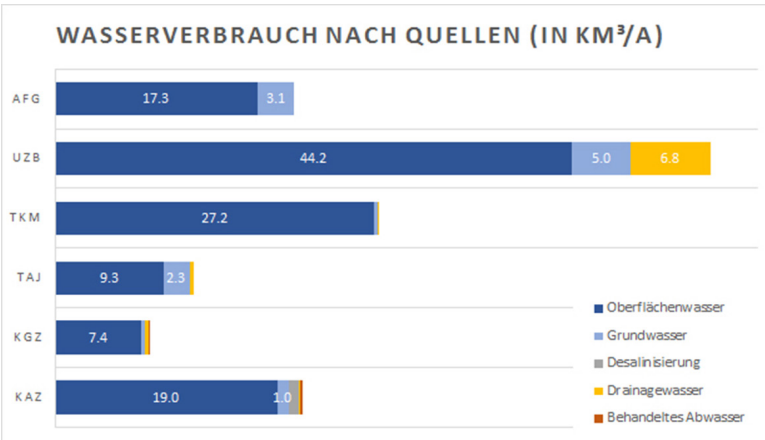


Abb. 7.4-4: Herkunft der genutzten Wasserressourcen in den zentralasiatischen Staaten (Daten: FAO 2013).



Abb. 7.4-5: Wasserflüsse und langjährige mittlere Abflussmengen im Aral-See Becken (aus: UNEP 2011, mit freundlicher Genehmigung des ZOI).

des Permafrosts vernachlässigt werden. Zudem wurde keine dieser Abschätzungen bisher durch Messungen validiert. Unterschiedliche Definitionen des Gletscherbeitrags und des Gesamtabflusses sowie variierende Untersuchungsperioden erschweren zusätzlich die Vergleichbarkeit der Ergebnisse, so dass sich derzeit lediglich eine grobe Bandbreite angeben lässt.

Abb. 7.4-6 gibt einen Überblick über die Ergebnisse ausgewählter Studien zum Gletscherabfluss im Tien Shan. Sie berücksichtigt nur Studien, die basierend auf Beobachtungsdaten sowohl den Anteil der erneuerbaren, saisonal freigesetzten Wasserressourcen als auch den Anteil der nicht erneuerbaren, durch den langfristigen Rückgang der Gletscher freigesetzten (»institutionären«) Wasserressourcen einbeziehen. Abb. 7.4-6 zeigt, dass der prozentuale Anteil der Gletscherschmelze am gesamten Jahresabfluss für kleine, stärker vergletscherte Einzugsgebiete bis zu 50% erreichen kann. Mit dem Flächenanteil von Gletschern nimmt naturgemäß auch der Anteil des Gletscherabflusses in einem Einzugsgebiet ab. Für die Skala von großen Flussgebieten schwankt der langjährige Anteil des Gletscherabflusses am Gesamtabfluss zwischen ca. 15% im Tschu und im Issyk-Kul-Becken, 10% im oberen Teil des Ili-Flussgebietes und ca. 40% im Aksu als wichtigstem Zufluss ins Tarim-Becken. Damit ist der auf und von Gletschern generierte Abfluss insbesondere im niederschlagsarmen Inneren, Zentralen und Südlichen Tien Shan von Bedeutung.

Für die Sommermonate ist der relative Anteil des Gletscherbeitrags noch einmal um das 1,5- bis 3fache höher als in Bezug auf den Jahresabfluss. In einigen hochgelegenen Einzugsbieten wird die Gletscherschmelze vorübergehend sogar zur Hauptabflusskomponente, wie Abb. 7.4-7 am Beispiel des Sarydschas-Einzugsgebietes, einem Zufluss zum

Aksu-Tarim, im Zentralen Tien Shan zeigt. In einem anderen Teileinzugsgebiet des Aksu-Tarim, dem Kokschal-Gebiet, ist in Trockenjahren mit niedrigem Gesamtabfluss die Gletscherschmelze höher als in feuchten Jahren mit hohen Niederschlägen und kann somit einen Teil der ausbleibenden Sommerniederschläge kompensieren (Abb. 7.4-7).

In vielen im Tien Shan liegenden Einzugsgebieten kommt der jährlichen Schneeschmelze eine noch bedeutendere Rolle als dem Gletscherabfluss zu. So schätzt KEMMERIKH (1972) den Anteil der Schneeschmelze am Jahresabfluss in verschiedenen Teileinzugsgebieten von Syrdarja, Tschu, Issyk-Kul und Ili auf 18-50%. Im Unterschied zur zeitlichen Limitierung des Gletscherbeitrags auf die Monate Juli-August trägt die Schneeschmelze über einen saisonalen Zeitraum von 6 Monaten und mehr zum Abflussgeschehen bei, da der Schneespeicher über ein breiteres Höhenband verteilt ist und daher schrittweise freigesetzt wird. Die Schneeschmelze setzt bereits in den Frühlingsmonaten März/April und damit weit früher als die Gletscherschmelze ein. Schneearme Jahre wie z.B. die hydrologischen Jahre 2006/2007 und 2007/2008 spiegeln sich in besonders niedrigen Abflüssen während der Vegetationsperiode wider (Abb. 7.4-8).

Die Auswirkungen des Klimawandels

Die Aufzeichnungen an Klimastationen zeigen über die letzten Jahrzehnte zweifellos statistisch signifikante positive Trends in der Temperatur auf verschiedenen Zeitskalen, sowohl in den Jahresmitteltemperaturen als auch in den mittleren Temperaturen über die Ablationsperiode (siehe Überblick in SORG et al. 2012, UNGER-SHAYESTEH et al. 2013). Ausgeprägter sind dabei die Änderungen im Winter und Herbst, was im Einklang mit den Signalen in anderen Teilen Hochasiens

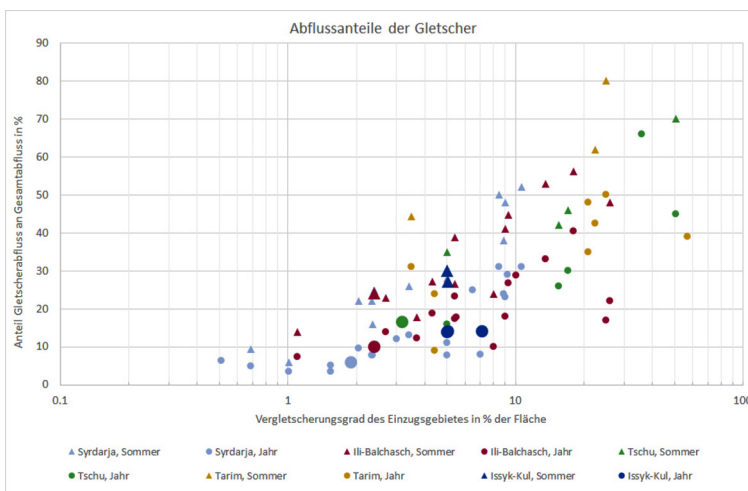


Abb. 7.4-6: Beiträge des Gletscherabflusses in Flussgebieten des Tien Shan (erweitert und adaptiert nach SORG et al. 2012). Die Punkte markieren die Ergebnisse der ausgewählten Studien für verschiedene Teileinzugsgebiete der großen Flussgebiete. Kreise stehen für den Anteil am Jahresabfluss, Dreiecke für den Anteil am Sommerabfluss.

steht. Positive Rückkopplungseffekte, beispielsweise ein potentieller Rückgang der Albedo als Folge einer verringerten Schneebedeckung, führen insbesondere in den Übergangsjahreszeiten zu erhöhten Erwärmungsraten. Regional gesehen werden höhere Temperaturtrends im Bereich des zentralen Tien Shan sowie an dessen Südabdachung beobachtet. Im Gegensatz dazu sind die Trends im Niederschlag im Vergleich zur natürlichen Variabilität zwischen den Jahren nicht substantiell und ergeben kein räumlich konsistentes Muster. Ähnliches gilt für bisher kaum untersuchte Änderungen in der Dauer der Schneebedeckung und in der Schneehöhe (DIETZ et al. 2014).

Wie in anderen Gletscherregionen der Erde wird seit dem Ende der Kleinen Eiszeit ein kontinuierlicher Rückzug der Gletscher im Tien Shan-Gebirge beobachtet. Der Rückgang der Gletscherzungen und der damit verbundene Flächenverlust setzten sich in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts fort und scheinen sich in den letzten Jahrzehnten zu beschleunigen (SORG et al. 2012; UNGER-SHAYESTEH et al. 2013). Die größten Flächenverluste von 20% bis 40% seit den 1960er Jahren im Vergleich zu den 1990er/2000er Jahren traten dabei an den Gebirgsrändern, insbesondere im humiden Norden und Nordwesten des Tien Shans auf. Dies wird

dadurch erklärt, dass in diesen niederschlagsreicheren Gebieten mit vorherrschender Winterakkumulation die Gletscher einen höheren jährlichen Massenumsatz haben und sich dadurch in tiefere Höhenbereiche erstrecken als die Gletscher innerhalb des Gebirgssystems. Sie reagieren daher auch sensibler und schneller auf Änderungen in Temperatur und Niederschlag, d.h. auf eine Abnahme der Akkumulation und eine Zunahme der Ablation.

Entscheidend für die Wasserverfügbarkeit sind aber die Massenänderungen der Gletscher. Die wenigen für den Tien Shan verfügbaren Gletschermassenbilanzen zeigen über die letzten 50 Jahre einen stetigen Abwärtstrend (Abb. 7.4-9), der sich seit Beginn der 1970er Jahre deutlich beschleunigt hat. FARINOTTI et al. (2013) errechneten unter Verwendung von drei unabhängigen Ansätzen eine regionale Gletschermassenbilanz für den Tien Shan in Höhe von $-7,1 \pm 5,6$ Gigatonnen pro Jahr für den Zeitraum 2003-2009. Abgesehen von den großen Unsicherheiten wäre damit innerhalb der sieben Jahre umfassenden Untersuchungsperiode ein Wasservolumen abgeschmolzen, welches ausreichen würde, um den Bodensee einmal komplett zu füllen.

Die Massenänderungen der Gletscher spiegeln sich auch in längerfristigen Änderungen der Wasser-

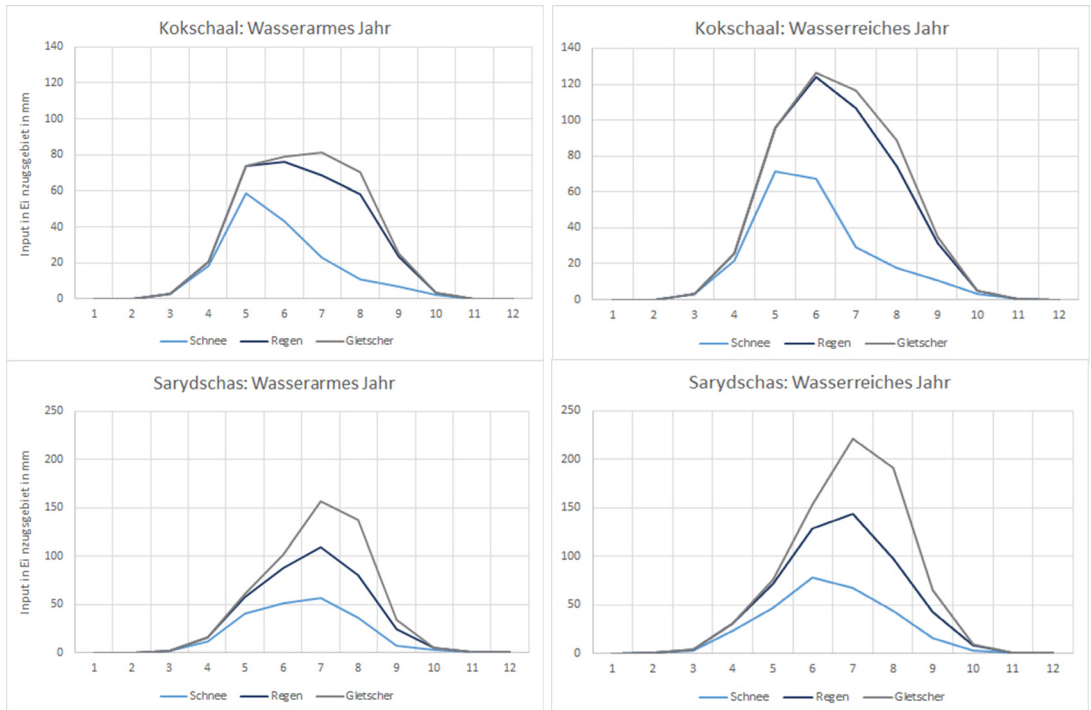


Abb. 7.4-7: Modellierter Wasserinput für (a) wasserarme und (b) wasserreiche Jahre in zwei im Tien Shan gelegenen Teileinzugsgebieten des Aksu-Tarims (Daten aus DUETHMANN et al. 2015). Oben: gering vergletschertes Einzugsgebiet des Kokschaal, unten: Sarydschas Einzugsgebiet mit ca. 21% vergletschelter Fläche.

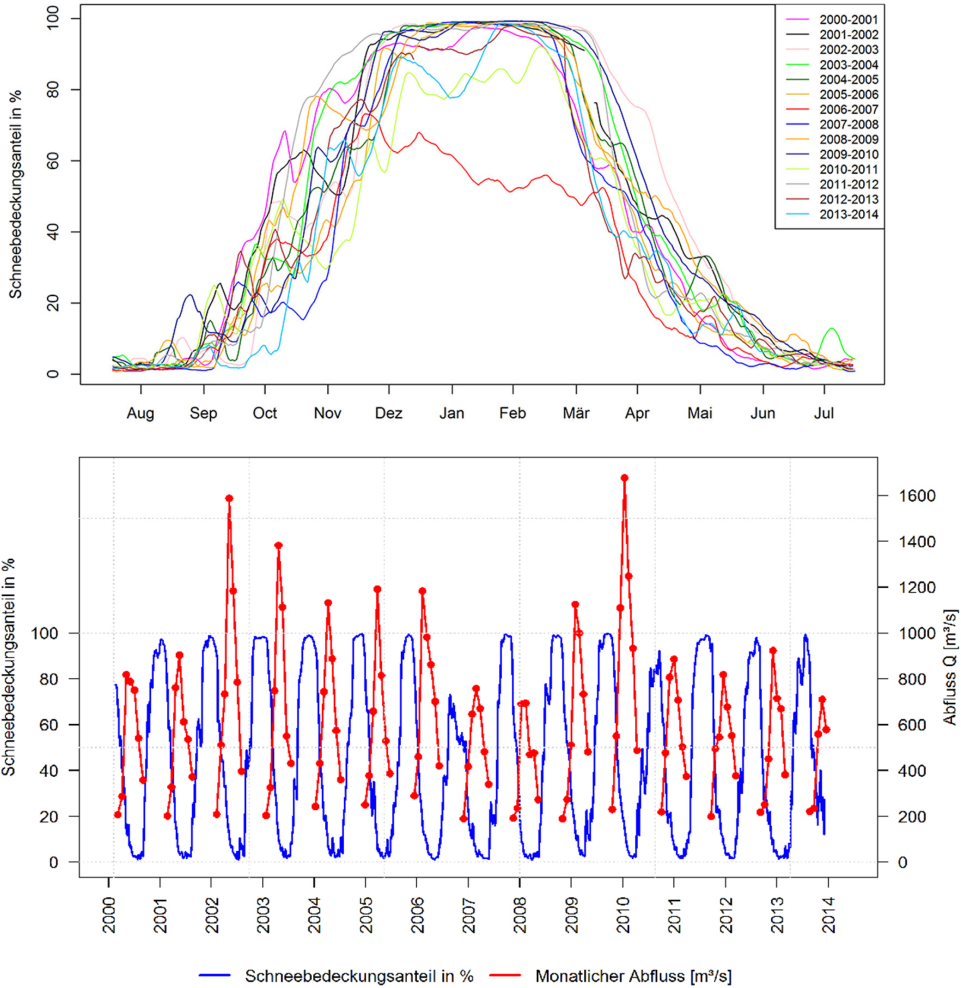


Abb. 7.4-8: Saisonale Entwicklung der Schneebedeckung und des Sommerabflusses im Einzugsgebiet des Naryn im Zeitraum 2000-2014. Oben: Relativer Anteil der schneebedeckten Fläche im Einzugsgebiet abgeleitet aus MODIS-Daten (gleitendes Mittel über 10 Tage). Unten: Zeitreihen des Schneebedeckungsanteils und des Zuflusses in die Toktogul-Talsperre in der Vegetationsperiode.

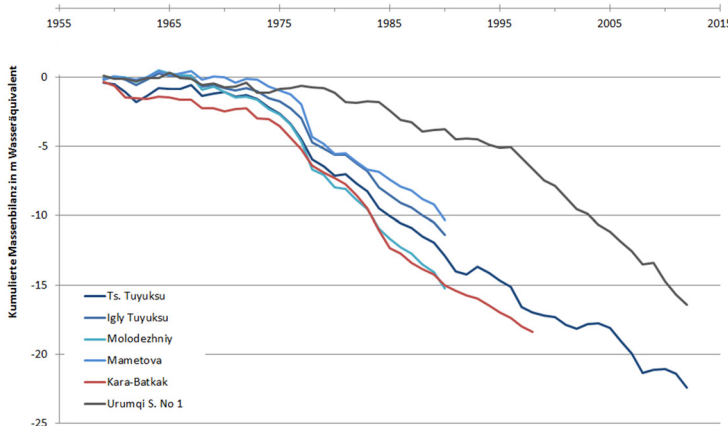


Abb. 7.4-9: Kumulierte Massenbilanzen für einzelne Gletscher im Tien Shan (Daten: WGMS 2014).

führung der Flüsse aus den Gebirgsregionen wider. So zeigten Flüsse aus vergletscherten Einzugsgebieten über die letzten Jahrzehnte überwiegend eine Zunahme ihres Sommerabflusses und teilweise auch des Jahresabflusses, während Flüsse aus nicht-vergletscherten Gebirgsregionen sehr unterschiedliche Abflusstrends aufwiesen (UNGER-SHAYESTEH et al. 2013). Soweit diese Zunahme des Abflusses durch den Anstieg der nicht erneuerbaren Gletscherschmelze bedingt ist, ist sie allerdings nicht von Dauer. Die Flächen- und Volumenänderungen der Gletscher werden irgendwann einen Wendepunkt erreichen, an dem die zunehmende Gletscherschmelze den Rückgang der vergletscherten Fläche in Bezug auf die Abflussspende nicht mehr kompensieren kann. Dann wird der Abflussbeitrag der Gletscher nachhaltig abnehmen.

Ausblick

Abschätzungen der zukünftigen Entwicklung sind mit großen Unsicherheiten verbunden, sowohl in Bezug auf Projektionen des zukünftigen Klimas, noch mehr aber im Hinblick auf Vorhersagen zum weiteren Rückgang und teilweisen Verschwinden der Gletscher in Zentralasien. In jedem Falle kann ein reduzierter Gletscher- und Schneespeicher zu einer Veränderung der Saisonalität des Abflusses führen, wie bereits für einige Bergregionen, z.B. den europäischen Alpenraum, gezeigt wurde. Gleichzeitig kann die interannuelle Variabilität zunehmen, da die kompensierende Wirkung der Kryosphäre in Trockenjahren entfällt. Dies kann sich nachteilig auf die Landwirtschaft als wichtigstem Wassernutzer sowie den Wasserkraftsektor auswirken und auch die Hochwassergefahr erhöhen. Für Zentralasien bleibt als wirksamste Anpassungsmaßnahme in erster Linie die Wassernutzungseffizienz zu erhöhen und die Landnutzung an die langfristig verfügbaren Wasserressourcen anzupassen, z.B. durch den Anbau von Kulturen, die weniger Wasser benötigen und auch Dürreperioden überstehen.

Literatur

DIETZ, A., CONRAD, C., KUENZER, C., GESELL, G. & S. DECH (2014): Identifying Changing Snow Cover Characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from Remote Sensing Data. *Remote Sensing* (6): 12752-12775.

- DUETHMANN, D., T. BOLCH, D. FARINOTTI, D. KRIEGL, S. VOROGUSHYN, B. MERZ, T. PIECZONKA, T. JIANG, B. SU & A. GÜNTNER (2015): Attribution of streamflow trends in snow- and glacier melt dominated catchments of the Tarim River, Central Asia. *Water Resources Research*, accepted manuscript online, DOI: 10.1002/2014WR016716.
- DYURGEROV, M. B., KUNAKHOVICH, M. & V. MIKHAILENKO (1995): Oledenenie Tyan-Shanya. [Die Gletscher des Tien Shan]. VINITI, Moskau (in Russisch).
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS) (2013): Irrigation in Central Asia in figures. AQUASTAT Survey – 2012. K. Frenken, eds. FAO Water Reports No. 39. <http://www.fao.org/docrep/018/i3289e/i3289e.pdf>.
- FARINOTTI, D., GÜNTNER, A., BARTHELMES, F., VOROGUSHYN, S. & D. DUETHMANN (2013): Wie steht es um die Gletscher in Zentralasien? Ein Lagebericht auf der Grundlage satelliten- und bodengestützter Messungen. *System Erde* 3 (2), 38-43.
- KASER, G., GROSSHAUSER, M. & B. MARZEION (2010): Contribution potential of glaciers to water availability in different climate regimes. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 107: 20223-20227.
- KEMMERIKH, A. O. (1972): Rol' lednikov v stoke rek Sredney Azii. [Die Rolle der Gletscher für den Abfluss der Flüsse Zentralasiens]. *Data of Glaciological Studies* 20, 82-94 (in Russisch).
- MAMATKANOV, D. M., BAZHANOVA, L. V. & V. V. ROMANOVSKIY (2006): Vodnye resursy Kirgizystana na sovremennom etape. [Wasserressourcen Kirgisistans in der modernen Epoche]. Ilim, Bishkek (in Russisch).
- SORG, A., BOLCH, T., STOFFEL, M., SOLOMINA, O. & M. BENISTON (2012): Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia). *Nature Climate Change* 2 (10), 725-731.
- UNEP (2011): Environment and security in the Amu Darya basin (<http://envsec.org/publications/AmuDarya-EN-Web.pdf>).
- UNGER-SHAYESTEH, K., VOROGUSHYN, S., FARINOTTI, D., GAFUROV, A., DUETHMANN, D., MANDYCHEV, A. & B. MERZ (2013): What do we know about past changes in the water cycle of Central Asian headwaters? A review. *Global and Planetary Change* 110, Part A (0), 4-25.
- VIVIROLI, D., DÜRR, H. H., MESSERLI, B., MEYBECK, M. & R. WEINGARTNER (2007): Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. *Water Resources Research*, 43, W07477.
- WELTBANK (2014): World Bank Development Indicators. <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>, Update vom 14.04.2015.
- WGMS (2014): Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland. DOI: 10.5904/wgms-fog-2014-09.

Kontakt:

Dipl. Geol. Katy Unger-Shayesteh
Dr. Doris Duthmann
Dr. Abror Gafurov
Dr. Lars Gerlitz
Dr. Sergiy Vorogushyn
Helmholtz-Zentrum Potsdam
Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)
unkunger@gfz-potsdam.de

Unger-Shayesteh, K., D. Duthmann, A. Gafurov, L. Gerlitz & S. Vorogushyn (2015): Die Bedeutung der Kryosphäre im Tien Shan als »Wasserturm« für Zentralasien. In: Lozán, J. L., H. Grassl, D. Kasang, D. Notz & H. Escher-Vetter (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Das Eis der Erde*. pp.271-278. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.eis-der-erde.41