

Tobias Bolch

## Unterschiede der Gletschermassenbilanzen in einem Profil vom Westlichen Himalaya zum Tian Shan

In diesem kurzen Artikel werden die Gletschermassenbilanzen der letzten ca. 40 Jahre an einem Transekt vom Westlichen Himalaya zum Nördlichen Tian Shan vorgestellt. Hierzu wurden aus verschiedenen multi-temporalen Stereo-Fernerkundungsdaten Geländemodelle erstellt und die Massenänderungen aus den Höhenänderungen und den Gletscherflächen bestimmt. Die Ergebnisse zeigen merkliche Unterschiede: Während die Massenbilanzen im Karakorum und im Ostpamir seit mindestens Mitte der 1970er Jahre nur leicht negativ oder sogar leicht positiv waren, haben die Gletscher im zentralen und nördlichen Tian Shan klar an Masse verloren.

Schlagnworte: **Hochasien, Gletscher, Massenbilanz, Fernerkundung, Digitale Geländemodelle (DGM)**

### 1 Einleitung

Michael Richter und Koautoren publizierten vor nunmehr fast 20 Jahren eine umfassende Studie über die Unterschiede in den Klimagradien und der Höhenstufungen im Westen Hochasiens (RICHTER

et al. 1999). Eine kleine Wissenslücke aber blieb: Die Heterogenität der Gletschermassenbilanzen haben die Autoren nicht untersucht. Dies ist allerdings verständlich, da es doch ein erheblicher Aufwand gewesen wäre, die Massenbilanzen ausgewählter Gletscher im Gelände wiederholt zu messen. Die



Abb. 1: Das Hunzatal im Karakorum mit dem über 7700 m hohen vergletschertem Rakaposhi (oben links), der über 7500 m hohe Muztag Ata im Ostpamir (oben rechts), der Koindygletscher im Ak-Shirak (unten links) und Übergang von Akkumulationsgebiet zum Ablationsgebiet des westlichen Aksugletschers in Nördlichen Tian Shan (unten rechts)  
(Fotos: T. Bolch)



Abb. 2: Untersuchungsgebiete im Westen Hochasiens  
(Karte: T. Bolch)

rasante Entwicklung der Fernerkundung ermöglicht es nun, Massenbilanzen mit der geodätischen Methode zu bestimmen und eine Vielzahl von Gletschern gleichzeitig zu untersuchen. Dieses war eine meiner Schwerpunktarbeiten in den letzten Jahren und so möchte ich die Gletschermassenbilanzen und deren Veränderungen in den letzten Jahrzehnten in den oder in der Nähe von den Untersuchungsgebieten der Studie von Michael RICHTER et al. (1999) vorstellen. Wichtig zu erwähnen ist mir noch, dass Ortskenntnisse die Interpretation der Fernerkundungsdaten erleichtern und ich die vorgestellten Untersuchungsgebiete durch eigene Geländearbeiten kenne (Abbildung 1).

Kenntnisse über die Lage, Charakteristika und Massenänderungen der Gletscher sind nicht nur aus

klimatologischer Sicht, sondern insbesondere auch im Hinblick auf den Beitrag der Gletscherschmelze zum Abfluss der Flüsse von großer Bedeutung. Jüngste Studien konnten belegen, dass der Gletscherwasserabfluss insbesondere in den Sommermonaten im Westen Hochasiens von großer Bedeutung ist (BOLCH 2017).

## 2 Methodik

Eine wichtige Datengrundlage stellen Umriss der untersuchten Gletscher dar. Hierfür wurden in der Regel verfügbare Inventare (z.B. von der GLIMS-Datenbank [www.glims.org] oder vom Randolph Glacier Inventory [PFEFFER et al. 2014]) manuell anhand der verwendeten optischen Fernerkundungsdaten der jeweiligen Ausdehnung angepasst. Zur geodätischen Massenbilanzbestimmung sind zudem mindestens zwei digitale Geländemodelle (DGM) notwendig, die unterschiedliche Zeitpunkte repräsentieren. Das SRTM DGM, welches im Februar 2000 mit Hilfe von Radardaten aufgenommen worden ist und Großteile der Erde abdeckt, stellt einen bedeutenden Datensatz dar (z.B. GARDELLE et al. 2013). Weitere wichtige Datengrundlagen sind optische Stereobilddaten. Hier sind insbesondere ASTER-Daten (räumliche Auslösung 15 m) und jüngere hochauflösende Daten wie GeoEye (0,5 m) und Pleiadesdaten (0,5 m) zu nennen. Zumeist haben diese auch eine höhere radiometrische Auflösung (12-bit, statt 8-bit). Ein Schwerpunkt meiner Arbeit ist der Einsatz historischer US-Spionagedaten (Corona/Hexagon) aus den 1960er und 1970er Jahren, die ebenfalls Stereoaufnahmen in relativ hoher räumlicher Auflösung bieten. Die in dieser Studie verwendeten Daten zeigt Tabelle 1:

Problematisch ist bei den optischen Daten geringer Kontrast, z.B. in den schneebedeckten Gebieten, die zu Fehlkorrelationen und somit zu fehlerhaften

Tab. 1: Eigenschaften der verwendeten Fernerkundungsdaten in den verschiedenen Untersuchungsgebieten

Data	Aufnahmejahre der verwendeten Daten	Abdeckung (km <sup>2</sup> )	Räumliche Auslösung (m)	Radio-metrische Auslösung	Untersuchungsgebiete
Corona KH-4	1964 1971	~15 x 190	2-3	8-bit (scan)	Zentraler Tian Shan Nördl. Tian Shan
Hexagon KH-9	1973 1973 1973, 1980	~125 x 250	7-8	8-bit (scan)	Karakorum Ostpamir Zentraler Tian Shan
SRTM	2000	–	30/90m	–	Karakorum Ostpamir Zentraler Tian Shan
ASTER	2008-2010	60 x 60	15 m	8-bit	Karakorum
GeoEye	2012	15.2 x 15.2	0.5 m	11 bit	Nördl. Tian Shan
Pleiades	2013 2016	20 x 20	0.5 m	12 bit	Ostpamir Nördl. Tian Shan



Werten und Datenlücken führen können. Radardaten haben dieses Problem nicht, dringen jedoch in Schnee und Eis je nach Charakteristik unterschiedlich tief ein und geben somit nicht die wahre Oberfläche wieder.

Um möglichst präzise Oberflächenänderungen bestimmen zu können, müssen die DGM zueinander koregistriert werden. Dies wurde durch ein automatisiertes Verfahren nach NUTH und KÄÄB (2011) und PIECZONKA et al. (2013) durchgeführt, bei dem mögliche horizontale und vertikale Verschiebungen sowie Verkippungen berücksichtigt wurden. Anschließend wurden die DGM voneinander abgezogen und mit den Gletscherumrissen verschnitten. Zuletzt wurden Ausreißer gefiltert und Lücken durch Interpolation gefüllt (cf. PIECZONKA und BOLCH 2015). Zur Umrechnung der Volumenänderung zur Massenänderung wurde eine mittlere Dichte von  $850 \text{ kg m}^{-3}$  angenommen (HUSS 2013). Die Unsicherheiten wurden anhand statistischer Parameter des stabilen Geländes (Standardabweichung, NMAD, Standardfehler der 100m-Höhenintervalle) berechnet (cf. PIECZONKA und BOLCH 2015; GARDELLE et al. 2013).

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Westlicher Himalaya und Karakorum

Der westliche Himalaya und der Karakorum werden insbesondere durch die Westwinde beeinflusst, so dass der Großteil der Niederschläge in den Wintermonaten fällt. Die Gletschergleichgewichtslinie steigt von Süden nach Norden an und liegt im Schnitt bei rund

5000m ü. M. Im westlichen Himalaya wurden keine eigenen Untersuchungen durchgeführt. Forschungsergebnisse zeigen, dass die Gletscher in diesem Gebiet im Mittel klar an Masse verloren haben (BOLCH et al. 2012; KÄÄB et al. 2012). Am Nanga Parbat jedoch, südlich dessen RICHTER et al. (1999) gearbeitet haben, scheinen zumindest die größeren Gletscher relativ stabil zu sein (SCHMIDT und NÜSSER 2009). Für den nördlich gelegenen Karakorum berichtete HEWITT (2005) sogar, dass sich ungewöhnlich viele Gletscher im Gegensatz zu den meisten anderen Gletschern weltweit ausdehnen und ungewöhnlich viele Gletscher rasch vorstoßen („surgen“). Dieses ungewöhnliche Verhalten bezeichnete HEWITT (2005) als „Karakorum-Anomalie“. GARDELLE et al. (2012) konnten mittels geodätischer Massenbilanzberechnung diese Anomalie bestätigen, denn sie fanden im Schnitt ausgeglichene Massenbilanzen für die untersuchten Gletscher im Karakorum. Eine Studie, die an der Universität Erlangen durchgeführt wurde, fand ebenfalls insignifikante Massenänderungen seit 2000 im zentralen Karakorum (RANKL und BRAUN 2016). In meiner jüngsten Studie konnte ich mit Hilfe der Hexagon KH-9 Daten aufzeigen, dass sich die Gletscher im Hunzatal, ebenfalls im Karakorum gelegen (Abbildung 2), seit mindestens Mitte der 1970er Jahre im Gleichgewicht befinden oder nur leicht an Masse verloren haben (BOLCH et al. 2017, Tabelle 2). Die „surge-type“ Gletscher sind in den DGM-Differenzbildern gut zu erkennen: Hoher Höhenverlust um den Bereich der Gletschergleichgewichtslinie und eine starke Höhenzunahme der Zunge (z.B. beim Khuropingletscher [Nr. 6, Abbildung 3] in der Periode vor 1999). Derselbe Gletscher weist nach dem Surge an der Zunge hohe Schmelzraten auf.

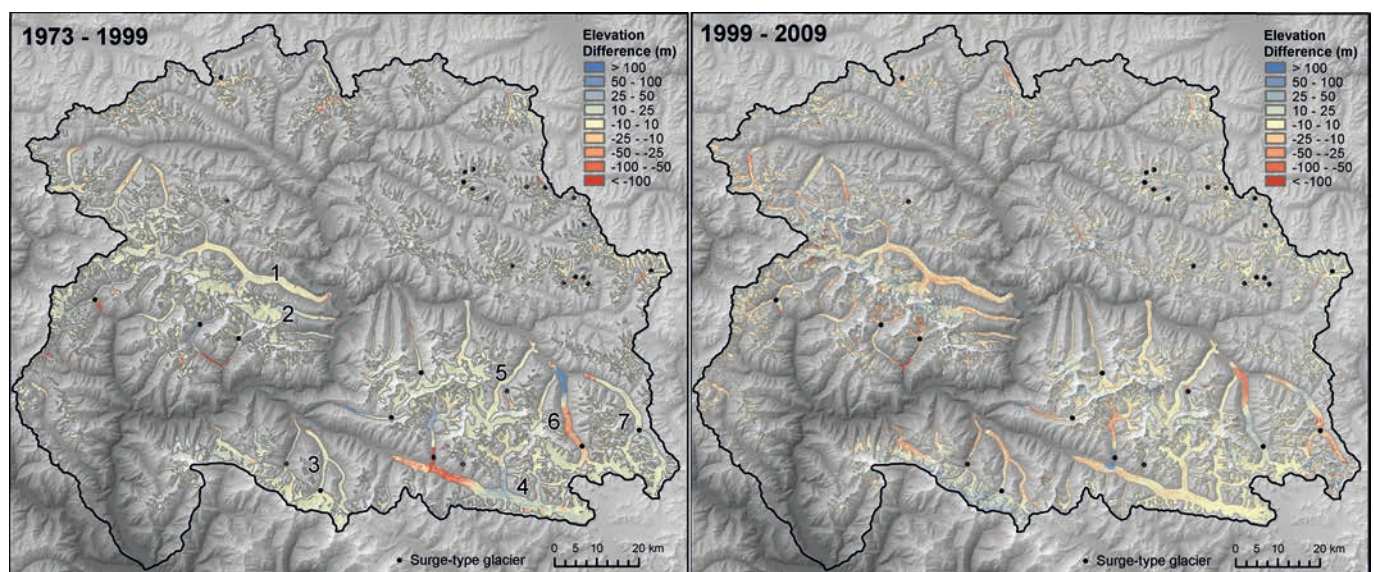


Abb. 3: Höhenänderungen zwischen dem Hexagon KH-9 und dem SRTM DGM (links) und dem SRTM DGM und den ASTER DGM (rechts). Die schwarzen Punkte sind identifizierte Surge-Type Gletscher. (Quelle: BOLCH et al. (2017))



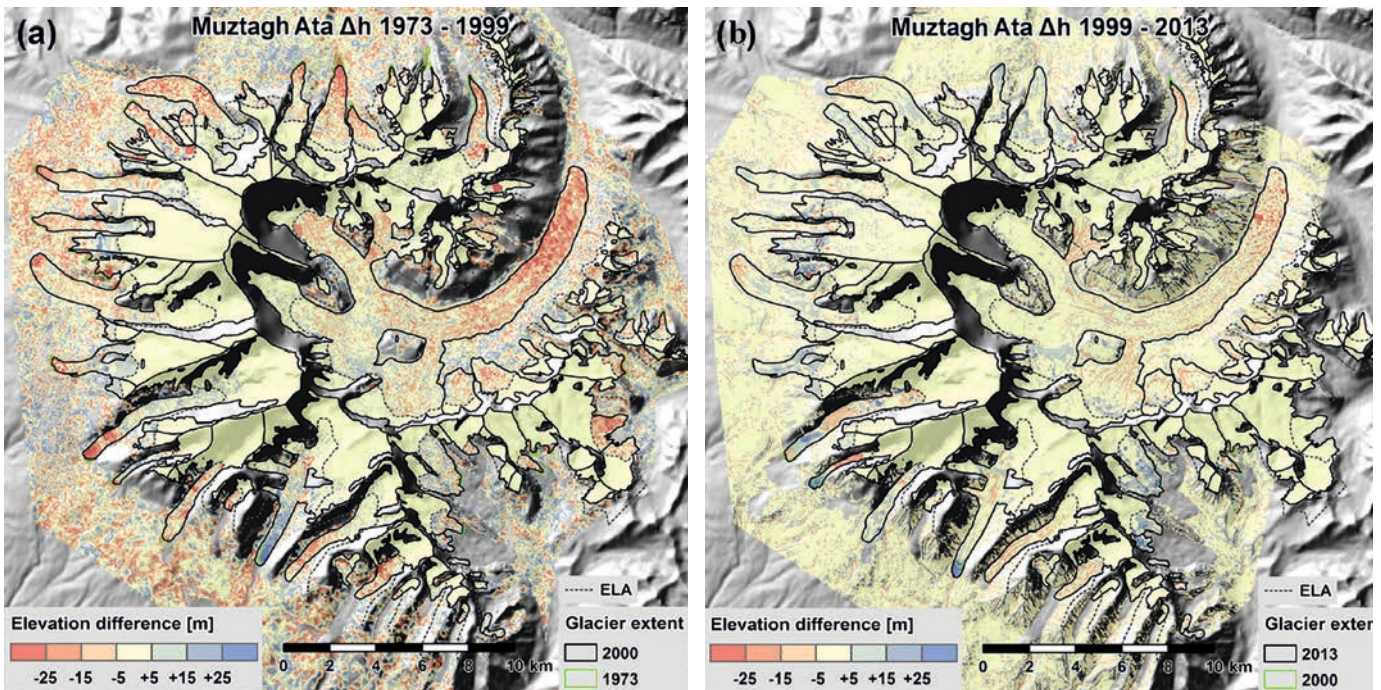


Abb. 4: Höhenänderungen am Muztagh Ata (Ostpamir) für die Perioden 1973–1999 und 1999–2013 (Quelle: HOLZER et al. (2015))

### 3.2 Ostpamir (Muztagh Ata)

Der Ostpamir ist sehr trocken, da er von den hohen Ketten des Zentralen Pamirs, von den Westwinden und dem Himalaya und Karakorum vom Monsuneinfluss abgeschirmt ist. Entsprechend hoch liegt die Gletschergleichgewichtslinie (ca. 5300 m ü. M.). Niederschläge fallen insbesondere in den Frühjahrs- und Sommermonaten. Ebenso wie im Karakorum waren die Massenbilanzen der Gletscher des 7546 m hohen Muztagh Ata, der sich etwas südlich des Oytaghtals befindet, welches RICHTER et al. (1999) untersucht haben, seit den 1970er Jahren im Schnitt ausgeglichen und seit ca. 2000 sogar leicht positiv (Tabelle 2, HOLZER et al. 2015). Leichte Höhenverluste an den Zungen werden durch Höhenzunahmen im Akkumulationsgebiet ausgeglichen (Abbildung 4). In-situ Messungen, die seit 2005 durchgeführt werden, bestätigen den positiven Trend (HOLZER et al. 2015; YAO et al. 2012).

### 3.3 Ak-Shirak (Zentraler Tian Shan)

Das Ak-Shirak Gebirge liegt im westlichen Teil des Zentralen Tian Shans (auch Innerer Tian Shan genannt). Eine Klimastation, die sich in unmittelbarer Nähe des Gebirgszugs auf über 3600 m Höhe befindet, misst im Jahresdurchschnitt Niederschläge von ca. 350 mm, wobei der Großteil der Niederschläge im Sommer fällt (OSMONOV et al. 2013). Die

Gletschergleichgewichtslinie liegt bei ca. 4500 m. Das Gebirge ist auch bekannt für die Existenz verschiedener „surge-type“ Gletscher (Dolgushin und Osipova 1975; Mukherjee et al. 2017). Aktive Gletschersurges sind auf dem Differenzbild in der Periode 1964–1973 durch die starke Dickenzunahme an der Zunge gut zu erkennen (Abbildung 5).

In diesem Gebiet wurden die historischen Gletscherveränderungen untersucht (PIECZONKA und BOLCH 2015, GOERLICH et al. 2017). Die Ergebnisse zeigen, dass die Gletscher des Ak-Shirak im Mittel  $0,4 \text{ m w.e. a}^{-1}$  im Zeitraum 1964–1980 an Masse verloren haben (Tabelle 2). Die Massenänderung in der Periode 1973–1999 war mit ca.  $-0,35 \text{ m w.e. a}^{-1}$  im gleichen Bereich. Die Werte von AIZEN et al. (2006) für den Zeitraum 1977–2003 sind ebenfalls ähnlich, so dass gefolgert werden kann, dass die Gletscher im Ak-Shirak fast durchgehend an Masse verloren haben. Lediglich die zwei surgenden Gletscher und ein weiterer Gletscher wiesen keine signifikanten Massenänderungen in der Periode 1964–1973 auf (GOERLICH et al. 2017).

### 3.4 Ile (Sailiskij) Alatau (Nördlicher Tian Shan)

Das Untersuchungsgebiet liegt am Nordrand des Tian Shan und weist für kontinentale Gebiete vergleichsweise hohe Niederschläge mit Maxima im Spätfrühling auf. An der Tujuksustation, die sich auf über 3400 m Höhe in der Nähe des Tujuksugletschers befindet, werden im



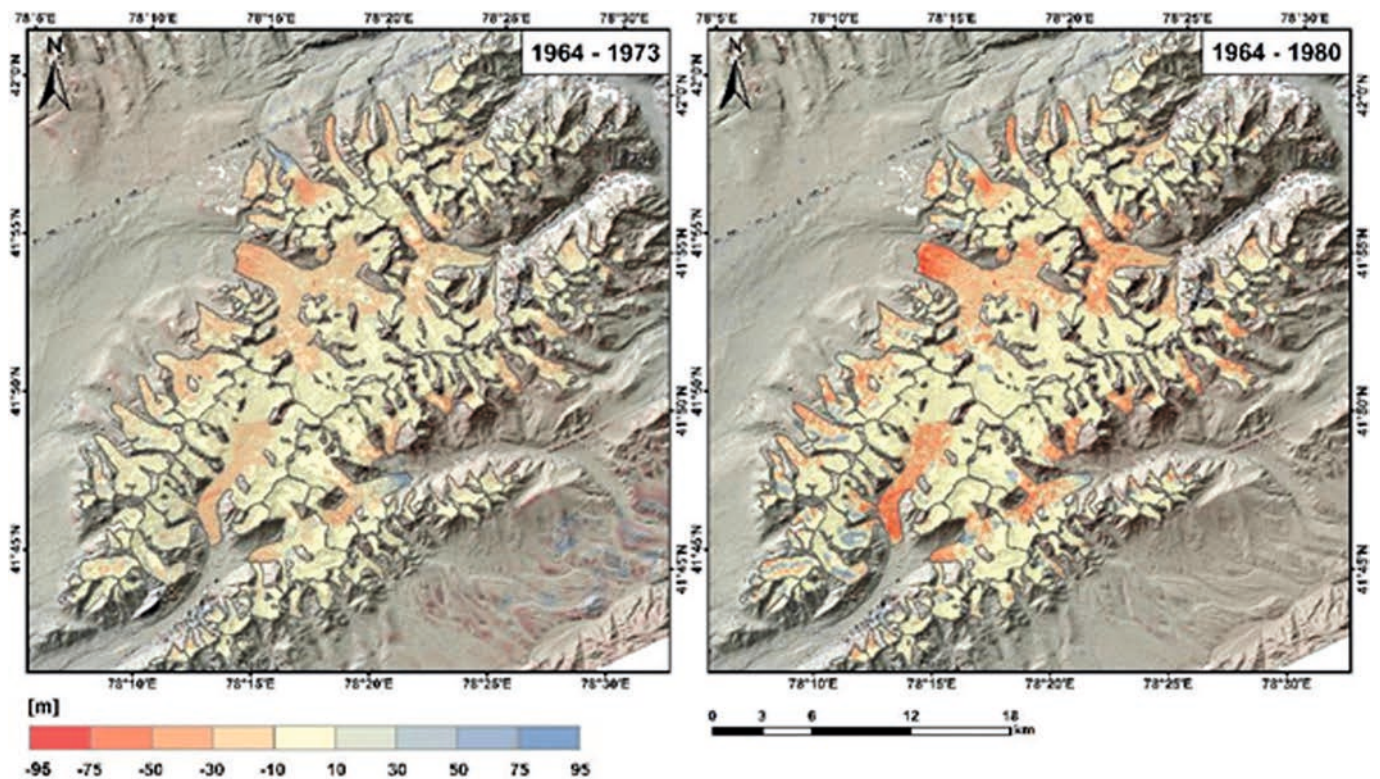


Abb. 5: Höhenänderungen im Ak-Shirak für die Perioden 1964-1973 und 1973-1980

(Quelle: GOERLICH et al. (2017))

Jahresmittel über 1100 mm Niederschlag gemessen. Die Gletschergleichgewichtslinie liegt bei etwa 3800 m ü. M. Dieses Gebiet ist mir bestens bekannt, da ich dort über Klima- und Gletscher(flächen)änderungen meine Dissertation geschrieben habe, die Michael Richter als Betreuer übernommen hat (BOLCH 2006). Wichtige Ergebnisse der Arbeit wurden 2005 in den Mitteilungen der Fränkischen Geographischen Gesellschaft (BOLCH 2005) und 2007 in einem internationalen Journal (BOLCH 2007) veröffentlicht. Massenbilanzen werden im Gelände am Zentralen Tujuksugletscher regelmäßig seit 1957 gemessen (WGMS 2015). Geodätische Massenbilanzen liegen nach meinem Wissensstand

bis dato nur aus dem Vergleich zweier Karten für den Zeitraum 1958–1999 vor (HAGG et al. 2004), nicht aber für den aktuellen Zeitraum und nicht aus Fernerkundungsdaten gewonnene Ergebnisse. Diese Lücke konnte im Rahmen einer von mir betreuten Masterarbeit geschlossen werden (STREL 2017). Die Ergebnisse zeigen im Mittel einen Massenverlust von  $-0,34 \pm 0,12$  m w.e. a<sup>-1</sup> für den Zeitraum 1971–2016, wobei der Massenverlust in den letzten Jahren stark zugenommen hat (Tabelle 2). Diese Ergebnisse stimmen mit den in-situ Messungen vom Tujuksugletscher gut überein. Die deutlichen Massenverluste sind auch gut anhand der DGM-Differenzen zu erkennen (Abbildung 6).

Tab. 2: Gletschermassenbilanzen in den Untersuchungsgebieten im Westen Hochasiens für unterschiedliche Zeitperioden

Gebiet	Untersuchte Fläche (km <sup>2</sup> )	Massenänderungen (m w.e. a <sup>-1</sup> )			Referenzen
		Erste Untersuchungsperiode	Zweite Untersuchungsperiode	Dritte Untersuchungsperiode	
Karakorum (Hunzatal)	2870 (1973)	Nicht untersucht	$-0,03 \pm 0,10$ (1973-1999)	$-0,08 \pm 0,21$ (1999 - 2009)	(BOLCH et al. 2017)
Ostpamir (Muztagh Ata)	274 (1973)	Nicht untersucht	$-0,04 \pm 0,42$ (1973-1999)	$+0,04 \pm 0,27$ (1999-2013)	(Holzer et al. 2015)
Zentraler Tian Shan (Ak-Shirak)	381 (1973)	$-0,4 \pm 0,1$ (1964-1980)	$-0,35 \pm 0,34$ (1973-1999)	Nicht untersucht	(PIECZONKA/ BOLCH 2015; GOERLICH et al. 2017)
Nördlicher Tian Shan (Ile Alatau)	55,5 (1971)	Nicht untersucht	$-0,34 \pm 0,12$ (1971-2012)	$-0,62 \pm 0,43$ (2012-2016)	(STREL 2017)

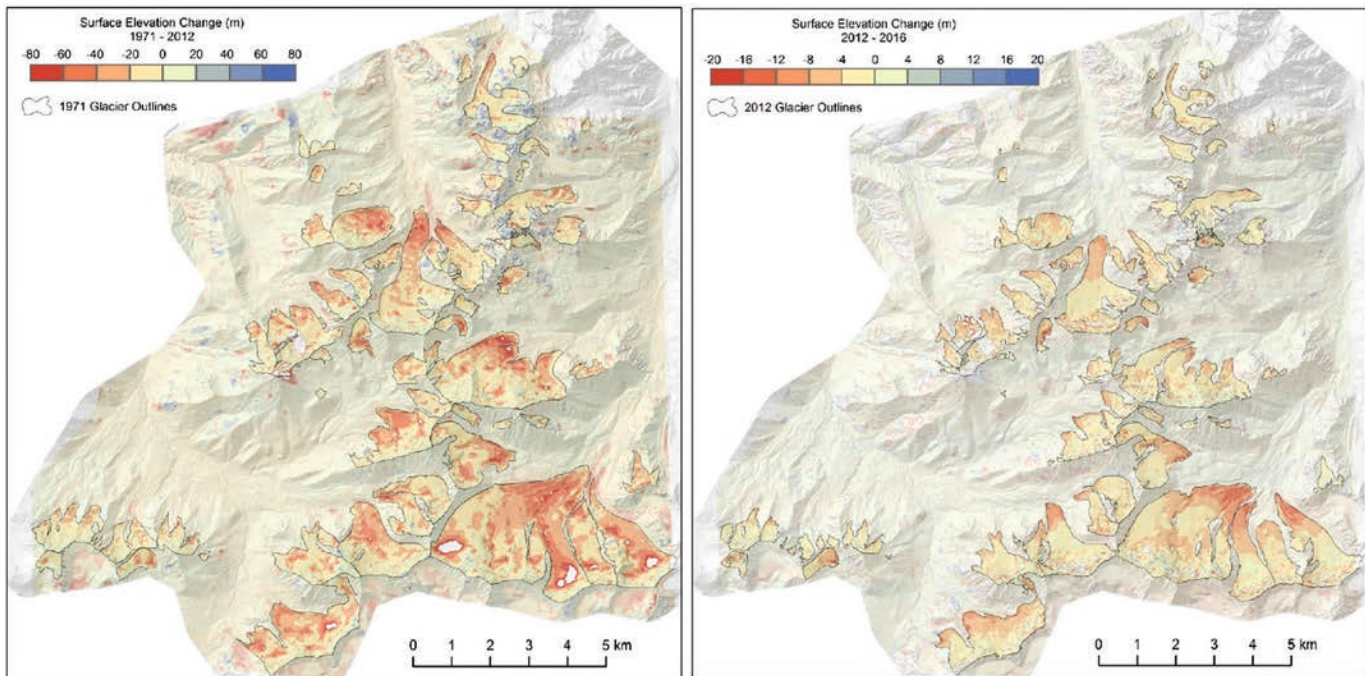


Abb. 6: Höhenänderung des Untersuchungsgebiets im Nördlichen Tien Shan auf Basis von DGM erstellt aus Corona und GeoEye Daten (links) und GeoEye und Pleiadesdaten (rechts). (Quelle: STREL (2017))

## Schlussfolgerungen

In dieser zusammenfassenden Studie konnte aufgezeigt werden, dass Stereo-Fernerkundungsdaten sehr gut geeignet sind, Gletschermassenbilanzen über längere Zeiträume zu bestimmen. US-Spionageaufnahmen ermöglichen es sogar, Massenbilanzen seit Mitte der 1960er Jahre zu berechnen. Die Daten zeigen im Schnitt klare Massenverluste der Gletscher im Westteil Hochasiens in den letzten Dekaden. Im Ostpamir und insbesondere im Karakorum waren die Massenbilanzen jedoch nur leicht negativ oder seit ca. 2000 sogar leicht positiv.

## Danksagung

Ich möchte Michael Richter ganz herzlich zum 71. Geburtstag gratulieren und mich nochmals bei ihm bedanken, dass er mich unterstützt, die Betreuung meiner Dissertation übernommen und mir so meine wissenschaftliche Laufbahn ermöglicht hat. Weiterhin möchte ich allen Masterstudierenden, Doktorierenden und PostDocs (insbesondere Allie Strehl, Franz Goerlich, Krtiti Mukherjee, Nikolai Holzer und Tino Pieczonka), die zu einem Großteil die hier vorgestellten Arbeiten durchgeführt haben, meinen Dank aussprechen. Zudem danke ich Igor Severskiy, Irina Shesterova, Alexander Kokarev (Geographisches Institut, Almaty, Kasachstan), Bolot Moldobekov,

Azamat Osmonov (Zentralasiatisches Institut für Angewandte Geowissenschaften, Bischkek, Kirgizstan) und Yao Tandong (Institute for Tibetan Plateau Research, Peking, China) für die langjährige erfolgreiche Zusammenarbeit.

## Literatur

- AIZEN, Vladimir B. et al. 2006: Glacier changes in the central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data. In: *Ann. Glaciol.* 43: 202–213.
- BOLCH, Tobias. 2005: Gletscherschwund und Klimawandel in nördlichen Tien Shan (Kasachstan/Kirgizstan). In: *Mitteilungen der Fränkischen Geographischen Gesellschaft* 52: 157–174.
- BOLCH, Tobias. 2006: GIS- und fernerkundungsgestützte Analyse und Visualisierung von Klimaänderung und Gletscherschwund im nördlichen Tien Shan mit einem Vergleich zur Bernina-Gruppe/Alpen, Erlangen. Institut für Geographie.
- BOLCH, Tobias. 2007: Climate change and glacier retreat in northern Tien Shan (Kazakhstan/Kirgizstan) using remote sensing data. In: *Global Planet. Change* 56: 1–12.
- BOLCH, Tobias. 2017: Hydrology: Asian glaciers are a reliable water source. In: *Nature* 545/7653: 161–162.
- BOLCH, Tobias et al. 2012: The state and fate of Himalayan glaciers. In: *Science* 336/6079: 310–314.
- BOLCH, Tobias et al. 2017: Brief communication: Glaciers in the Hunza catchment (Karakoram) have been nearly in balance since the 1970s. In: *The Cryosphere* 11/1: 531–539.
- DOLGUSHIN, L. D; OSIPOVA, G. B. 1975: Glacier surges and the problem of their forecasting. In: *IAHS Publication* 104: 292–304.



- GARDELLE, Julie et al. 2012: Slight gain of mass by Karakoram glaciers in the early 21st century. In: *Nature Geosci.* 5: 322–325.
- GARDELLE, Julie et al. 2013: Region-wide glacier mass balances over the Pamir-Karakoram-Himalaya during 1999–2011. In: *Cryosphere* 7: 1263–1286.
- GOERLICH, Franz et al. 2017: Glacier mass loss during the 1960s and 1970s in the Ak-Shirak range (Kyrgyzstan) from multiple stereoscopic Corona and Hexagon imagery. In: *Remote Sens.* 9/275: 18.
- HAGG, Wilfried et al. 2004: A Comparison of three methods of mass balance determination in the Tuyuksu Glacier region, Tien Shan. In: *J. Glaciol.* 50/171: 505–510.
- HEWITT, Kenneth. 2005: The Karakoram Anomaly? Glacier Expansion and the „Elevation Effect“ Karakoram Himalaya. In: *Mount. Res. Dev.* 25/4: 332–340.
- HOLZER, Nicolai et al. 2015: Four decades of glacier variations at Muztagh Ata (eastern Pamir): a multi-sensor study including Hexagon KH-9 and Pleiades data. In: *Cryosphere* 9/6: 2071–2088.
- HUSS, Matthias. 2013: Density assumptions for converting geodetic glacier volume change to mass change. In: *Cryosphere* 7/3: 877–887.
- KÄÄB, Andreas et al. 2012: Contrasting patterns of early twenty-first-century glacier mass change in the Himalayas. In: *Nature* 488/7412: 495–498.
- MUKHERJEE, Kriti et al. 2017: Surge-Type Glaciers in the Tien Shan (Central Asia). In: *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 49/1: 147–171.
- NUTH, Christopher; KÄÄB, Andreas. 2011: Co-registration and bias corrections of satellite elevation data sets for quantifying glacier thickness change. In: *Cryosphere* 5/1: 271–290.
- OSMONOV, Azamat et al. 2013: Glaciers characteristics and changes in the Sary-Jaz River Basin (Central Tien Shan) 1990–2010 Remote Sensing Letters. In: *Remote Sens. Lett.* 4/8: 725–734.
- PFEFFER, W. Tad et al. 2014: The Randolph Glacier Inventory: a globally complete inventory of glaciers. In: *J. Glaciol.* 60/221: 537–552.
- PIECZONKA, Tino; BOLCH, Tobias. 2015: Region-wide glacier mass budgets and area changes for the Central Tien Shan between ~1975 and 1999 using Hexagon KH-9 imagery. In: *Global Planet. Change* 128: 1–13.
- PIECZONKA, Tino et al. 2013: Heterogeneous mass loss of glaciers in the Aksu-Tarim Catchment (Central Tien Shan) revealed by 1976 KH-9 Hexagon and 2009 SPOT-5 stereo imagery. In: *Remote Sens. Environ.* 130: 233–244.
- RANKL, Melanie; BRAUN, Matthias. 2016: Glacier elevation and mass changes over the central Karakoram region estimated from TanDEM-X and SRTM/X-SAR digital elevation models. In: *Ann. Glaciol.* 57/71: 273–281.
- RICHTER, Michael; PFEIFER, Hartmut; FICKERT, Thomas. 1999: Differences in exposure and altitudinal limits as climatic indicators in a profile from Western Himalaya to Tian Shan. In: *Erdkunde* 53/2: 89–107.
- SCHMIDT, Susanne; NÜSSER, Marcus. 2009: Fluctuations of Raikot Glacier during the past 70 years: a case study from the Nanga Parbat massif, northern Pakistan. In: *J. Glaciol.* 55 (194), S. 949–959.
- STREL, Alexandra. 2017: Using high-resolution optical satellite imagery to observe glaciers and rock glaciers in Northern Tien Shan, Central Asia. Master Thesis. TU München, München.
- WGMS. 2015: Global Glacier Change Bulletin No. 1 (2012–2013). M. Zemp et al. (Hg.) World Glacier Monitoring Service. Zurich, Switzerland.
- YAO, Tandong et al. 2012: Different glacier status with atmospheric circulations in Tibetan Plateau and surroundings. In: *Nature Clim. Change* 2: 663–667.

### **Abstract: Differences of glacier mass balances in a profile from Western Himalaya to Tian Shan**

This short paper presents glacier mass balances of the last about 40 years along a profile from Western Himalaya to northern Tian Shan. Digital Terrain Models were generated from multi-temporal stereo remote sensing data and the mass changes calculated from the surface elevation changes and glacier outlines. Results show large differences: While the mass balances were only slightly negative or even slightly positive in the Karakoram and the Eastern Pamir since at least the 1970s, glaciers in central and northern Tian Shan lost clearly mass during the last decades.

Tags: **High Asia, glacier, mass balance, remote sensing, digital terrain model (DGM)**

**Autor:** Tobias Bolch, tobias.bolch@geo.uzh.ch, Geographisches Institut, Universität Zürich, Winterthurer Str. 190, 8057 Zürich Schweiz

