

**Zeitschrift:** Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =  
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =  
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

**Herausgeber:** geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und  
Landmanagement

**Band:** 110 (2012)

**Heft:** 9

**Artikel:** Stereo-Worldview-2-Daten für die Modellierung und  
Volumenbestimmung des Kyagar Gletschersees (China)

**Autor:** Sauerbier, Martin

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-309309>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 13.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Stereo-Worldview-2-Daten für die Modellierung und Volumenbestimmung des Kyagar Gletschersees (China)

Im Rahmen eines chinesisch-schweizerischen Kooperationsprojektes zwischen der Schweizer Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA) und dem Xinjiang Department of Water Resources (VR China) wurde ein satellitengestütztes Frühwarnsystem für Gletscherseeausbrüche im Shaksgam Valley in der Region Xinjiang im Westen Chinas konzipiert. Zur Bereitstellung eines Referenz-DOMs als Basis für Volumenberechnungen, Bestimmung von Seepegeln und Modellierung der Gletscherzung des Kyagar Gletschers wurden Worldview-2-Stereobilder automatisch und in Gebieten mit hohen Genauigkeitsanforderungen manuell ausgewertet.

*Dans le cadre d'un projet de coopération sino-suisse entre la Direction suisse du développement et de la coopération (DDC) et le Xinjiang Department of Water Resources (RP de Chine) on a conçu un système de première alerte basé sur satellites pour des éruptions de lacs glaciaires dans la vallée de Shaksgam, région de Xinjiang à l'ouest de la Chine. Pour la mise à disposition d'une référence DOM comme base de calcul des volumes, de détermination des niveaux des lacs et de modélisation de la langue du glacier de Kyagar on a utilisé des images stéréo Worldview 2 en mode automatique et manuel dans les régions de hautes exigences de précision.*

Nell'ambito di un progetto di cooperazione cino-svizzero tra la Direzione dello sviluppo e della collaborazione (DSC) e il Xinjiang Department of Water Resources (Repubblica Popolare Cinese) si è creato un sistema di preallarme in caso di esondazione del lago glaciale, ubicato nella Shaksgam Valley della regione dello Xinjiang, nella Cina occidentale. Per l'approntamento di un DOM di riferimento come base per i calcoli volumetrici, la determinazione dei livelli del lago e la modellizzazione della lingua del ghiacciaio Kyagar si è provveduto a valutare automaticamente le immagini stereo Worldview-2, mentre nelle zone con elevati requisiti di precisione la valutazione è stata fatta manualmente.

---

M. Sauerbier

---

Gletscherseeausbrüche verursachen immer wieder grosse Überschwemmungen, betroffen sind häufig Landwirtschaftsflächen und Siedlungsgebiete. Hinzu kommt, dass diese Ausbrüche ohne ein wirkungsvolles Monitoring der Seen sowie eines funktionierenden Frühwarnsystems nur schwer vorausgesagt und damit Gegenmassnahmen eingeleitet werden können. Die Beobachtung von Gletschern und Gletscherseen sind insbesondere im Karakorum, aber auch in anderen Hoch-

gebirgen, von generellem Interesse (Hewitt, 1982), nicht zuletzt aufgrund ihrer Funktion als Trinkwasserreservoirs (Kulkarni et al., 2007).

Im Rahmen eines Schweizerisch-Chinesischen Memorandum of Understanding sollte ein satellitengestütztes Frühwarnsystem mit dem Zweck, den Kyagar Gletschersee zu beobachten und bei Erreichen des kritischen Pegels Massnahmen einzuleiten, aufgebaut werden. Dieses wurde seit Januar 2011 unter Federführung der Firma Geotest (Zollikofen) und in Zusammenarbeit mit der Gamma Remote Sensing AG und der Flotron AG (Gümligen)

konzipiert und getestet. Dabei kamen neben SAR-Daten auch optische, hochauflösende Satellitenbilder für verschiedene Zwecke zum Einsatz. Im Rahmen des Projektes war MFB-GeoConsulting für die Beschaffung und Auswertung verschiedener optischer Satellitendaten zuständig, insbesondere von Stereo-Worldview-2 Bildern zur Erzeugung eines Digitalen Oberflächenmodells.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass Geotest historische Satellitenbilder aus vergangenen Jahren, in denen bereits Gletscherseeausbrüche stattfanden, nutzte, um Schwellwerte für den Seepegel bzw. das Volumen zu ermitteln, die in Zukunft als Richtgrößen für bevorstehende Ausbrüche dienen können.

Obwohl satellitengestützte Frühwarn- bzw. Monitoringsysteme für Gletscherseen bereits seit einiger Zeit im Einsatz sind, wurden in der Vergangenheit neben SAR-Daten (Wiesmann et al., 2010) meist gering bis mittel aufgelöste Sensoren genutzt (Zhang und Zhang, 2010, Richardson, 2010, ), hochauflöste optische Bilder kamen bisher nicht zum Einsatz. Eine hohe geometrische Auflösung ist jedoch gerade in topographisch bewegtem Gelände wichtig, um mittels abgeleiteter Digitaler Höhenmodelle Seevolumen möglichst genau bestimmen zu können.

### Kyagar Gletscher

Der Kyagar Gletscher (Abb. 1) liegt im Shaksgam Tal im chinesisch-pakistanischen Grenzgebiet nahe des K2 (35.679° nördl. Breite, 77.185° östl. Länge) auf etwa 4800 m Höhe ü. NN. Hier hat der Yarkant River seinen Ursprung, der durch die chinesische Provinz Xinjiang fliesst und für die dortige Bevölkerung und die Bewässerung der in der Region betriebenen Landwirtschaft von enormer Bedeutung ist. Der Kyagar Gletscher selbst stellt ausserdem ein bedeutendes Trinkwasserreservoir für die flussabwärts gelegenen Siedlungen und Städte dar, verursacht aber auch eine besondere Gefahr: In unregelmässigen Abständen bildet sich ein vom Kyagar Gletscher aufgestauter See,



Abb. 1: Kyagar Gletscher und Yarkant River im panchromatischen Kanal einer WorldView-2 Szene.

der in manchen Jahren kontrolliert abfließt, in anderen Jahren jedoch verheerende Überflutungen auslösen kann oder auch gar nicht entsteht (Chen et al., 2010).

Die Gletscherzunge des Kyagar Gletschers blockiert das Tal und staut den See somit auf, der sich wiederum mit der Zeit durch den Gletscher frisst und – kontrolliert oder unkontrolliert – talabwärts fließt. Der aufgestaute See wird bis zu 120 m tief, 6.5 km lang und ca. 1 km breit, das Volumen beträgt dann etwa  $4.6 \times 10^8 \text{ km}^3$ .

## Datenakquisition

Die Worldview-2 Stereoszenen wurden mittels Tasking bei DigitalGlobe bestellt, da in den Archiven keine aktuellen Daten vorrätig waren. Hierbei stellten sich die von uns gewünschten Parameter der Bildaufnahme als Herausforderung dar: Zum einen sollte ein für die Stereo-Auswertung geeigneter Aufnahmewinkel realisiert werden, zum anderen der Bewölkungsgrad bei möglichst 0% liegen. Aus dieser Konstellation ergab sich, auch bedingt durch die wechselhaften Wetterbedingungen, eine Wartezeit von etwa fünf Monaten bis geeignete Bilder aufgenommen werden konnten. Die vorliegenden Stereoszenen stammen vom 25. Juni 2011 und besitzen einen panchromatischen Kanal mit einem Footprint von 0.5

m sowie 8 Multispektralkanäle (Coastal, Blue, Green, Yellow, Red, Red Edge, NIR1, NIR2) mit einem Footprint von 2 m, auf die in diesem Zusammenhang allerdings nicht näher eingegangen werden soll (mehr Details finden sich unter DigitalGlobe, 2012).

## Bildorientierung

Die beiden Stereo-Worldview-2 Szenen, aus denen das Oberflächenmodell erzeugt werden sollte, wurden nach er-

folgter Aufnahme zusammen mit den Rational Polynomial Coefficients (RPC) Daten geliefert und konnten somit direkt in der Software LPS (Leica Photogrammetry Suite, Intergraph), die das Worldview-Sensormodell unterstützt, verarbeitet werden. Dank der RPCs waren beide Szenen bereits absolut orientiert, es zeigte sich jedoch eine Lageabweichung zu anderen Projektdaten von ca. 90 m. Aus diesem Grund wurden die Bildorientierungen mittels Messung von Verknüpfungs-(automatisch) und Passpunkten (manuell), die aus SAR-Daten abgeleitet wurden, korrigiert. Eine geplante Feldmission zur Aufnahme von Passpunkten im Feld konnte aufgrund der schlechten Witterungsbedingungen nicht durchgeführt werden, somit standen keine hochgenauen Passpunkte zur Verfügung. Bezuglich der Passpunkte muss angemerkt werden, dass deren absolute Genauigkeit ebenfalls nur bei ca. 90 m liegt, für unsere Zwecke war es jedoch wichtiger, ein gemeinsames Datum für alle Projektdaten zu nutzen. Bei der Messung von Verknüpfungspunkten wurde auf eine gute Verteilung sowie eine relativ hohe Anzahl geachtet, da diese von LPS eATE bei der DOM-Generierung als Initialwerte mit berücksichtigt werden.

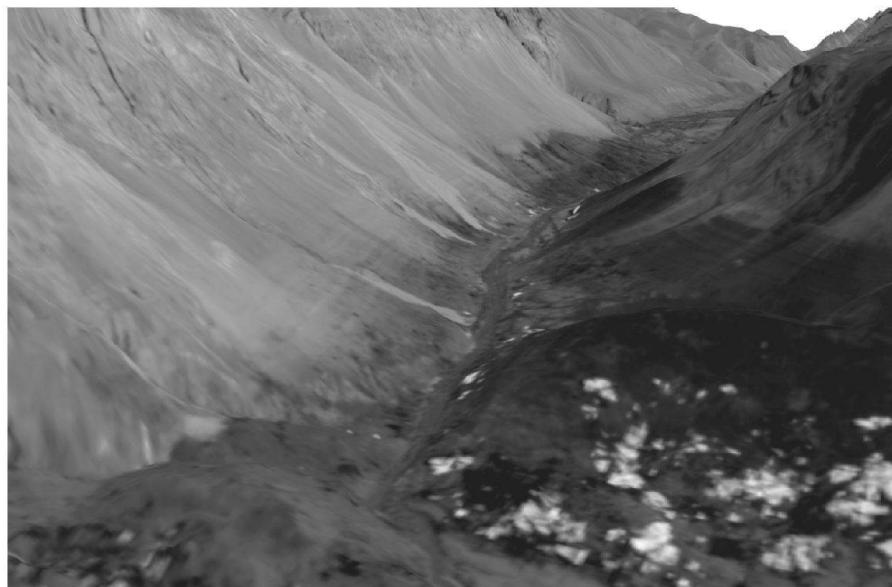


Abb. 2: 3D-Darstellung des DOM mit 5 m Maschenweite aus LPS eATE, basierend auf der uneditierten Punktewolke, überlagert mit dem orthorektifizierten panchromatischen Kanal einer WorldView-2 Szene.

## DOM-Generierung mittels LPS eATE

In Bezug auf die automatische Generierung eines DOM war insbesondere der Bildinhalt zu berücksichtigen: grosse Flächen sind von Gletschern bedeckt, die wiederum unter einer glatten, fast texturlosen Schneefläche liegen, sowie einige steile Bergflanken, wodurch Probleme bei der Bildkorrelation zu erwarten waren. Darüberhinaus wiesen einige nach Norden ausgerichtete Bergflanken Schattengebiete auf.

Der in LPS eATE implementierte Matching-Algorithmus zielt darauf ab, für jedes Bildpixel auch einen Höhenwert zu ermitteln, um eine möglichst dichte Punktwolke zu erzeugen, und matcht hierarchisch durch die Bildpyramiden. Der Matching-Algorithmus geht dabei wie folgt vor, wobei er ausschliesslich auf die panchromatischen Kanäle der Stereo-Szenen angewandt wurde:

- Normalisierte Kreuzkorrelation durch alle Bildpyramiden unter Verwendung eines Start- und eines End-Schwellwerts für den Korrelationskoeffizienten
- Least Squares Matching in den drei höchst aufgelösten Bildpyramiden zur Verfeinerung der Matching-Resultate
- Edge Constraint ebenfalls in den drei höchst aufgelösten Bildpyramiden
- Reverse Matching aller Kandidaten
- Berücksichtigung eines Maximalwerts für die Abweichung von der Epipolarlinie
- Automatische Detektion von Ausreisern mittels Hauptkomponentenanalyse
- Matching in 16bit Farbtiefe, wobei die Worldview-2 Bilder effektiv 11bit Farbtiefe aufwiesen.

LPS eATE erlaubt ausserdem die Berücksichtigung bereits existierender Daten als Näherung bzw. übernimmt sie unverändert in das Resultat. Das gilt für Digitale Höhenmodelle, Bruchkanten, Strukturlinien und Einzelpunkte, in unserem Fall wurden dazu nur die Verknüpfungs- und Passpunkte verwendet.

Der aufwändige Matching-Algorithmus benötigt je nach Wahl der Parameter zwischen zwei und sieben Tagen an CPU-Zeit

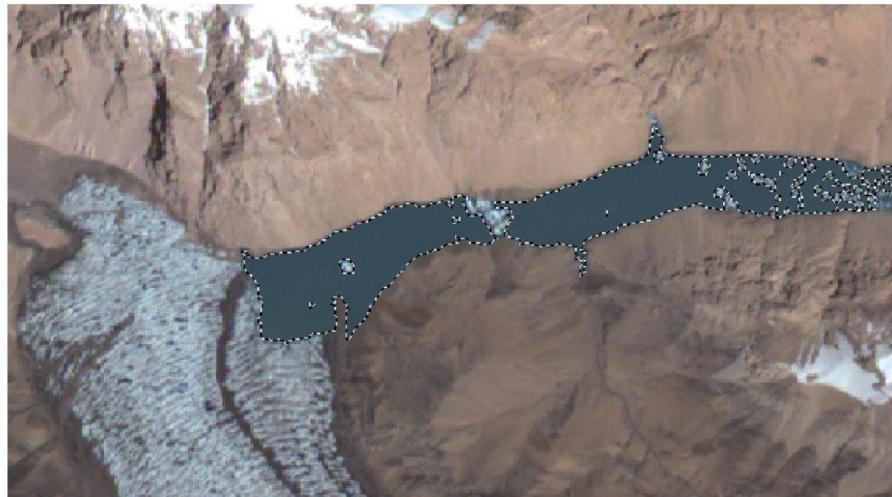


Abb. 3: Mittel Region Growing, basierend auf einer RapidEye-Szene mit 5 m Auflösung digitalisierte Uferlinie.



Abb. 4: Virtueller See in VirtualGIS, generiert basierend auf einer ermittelten Uferlinie.

für eine komplette Worldview-2 Stereo-szene. In den problematischen Bildregionen konnten nur wenige Punkte gematcht werden bzw. kam es zu Fehlmes-sungen, hier muss manuell editiert oder nachgemessen werden. Diese Regionen sind vor allem Schattenbereiche und glatte, schneebedeckte Gletscherflächen, die kaum Textur aufweisen.

Die 3D-Punktwolken wurden daraufhin

zusammengefügt und ein Raster mit ei-ner Maschenweite von 5 m interpoliert. Eine Ansicht auf einen Ausschnitt des re-sultierenden Raster-DOM ist in Abb. 2 dar-gestellt, im rechten Bildbereich sind Ge-biete mit Schatten, in denen nur wenige Punkte gematcht werden konnten, zu er-kennen. Im mittleren Bildbereich am Berg-hang sind einige historische Uferlinien des Kyagar Gletschersees zu sehen.

## Anwendungsbeispiel – Bestimmung des Seepegels

Mit dem erstellten DOM ist es nun möglich, den Seepegel effizient aus jeweils aktuellen Bildern zu bestimmen sobald ein See in diesen sichtbar wird. Stereobildauswertung wäre zu diesem Zweck die genaueste Methode, andererseits sind Stereobilder aufgrund der bereits erwähnten Witterungsverhältnisse selten verfügbar, so dass eine Einzelbildauswertung erforderlich ist. Um den Seepegel zu bestimmen, muss zunächst die Uferlinie digitalisiert und dann mit dem DOM verschchnitten werden. Die Bestimmung der Uferlinie lässt sich automatisieren, hierzu bieten sich z.B. Verfahren der Bildklassifikation wie die überwachte oder unüberwachte Klassifikation, da WorldView-2 über 2 Infrarotkanäle verfügt, mit denen sich Wasser aufgrund seiner geringen Reflektanz sehr gut von Boden, Gletschereis und Fels, gerade im Wellenlängenbereich von 750–1000 nm, trennen lässt. Auch mittels Region Growing liess sich die Uferlinie automatisch generieren (Abb. 3). Das entstandene Polygon kann zusammen mit DOM und abgeleiteten Orthobildern in ERDAS VirtualGIS in 3D visualisiert und mit der «Water Layer»-Funktion ein virtueller See mit dem entsprechenden Pegel berechnet werden. Weitere Informationen wie das Seevolumen und die Oberfläche des Sees werden automatisch mit berechnet und als Attributwerte gespeichert. Zu Simulationszwecken kann der Seepegel vom Nutzer in Echtzeit interaktiv verändert werden und so beispielsweise der Pegel, bei dem der See über den Gletscher tritt, ermittelt werden (Abb. 4).

## Fazit und Ausblick

Die vorgestellten Arbeiten haben gezeigt, dass sich auch in problematischen Gebieten, z.B. mit stark ausgeprägtem Relief und wenig Textur, mit LPS eATE qualitativ gute Höhenmodelle erzeugen lassen. Für eine geometrisch genaue Modellierung von Details wie Gletschergraten, die im Rahmen des Projektes von grosser Wichtigkeit für Untersuchungen der Mächtigkeit des Gletschers sind, sind manuelle Messungen jedoch unerlässlich. Die topographische Struktur des Gletschers hingegen wird gut modelliert, sofern er nicht von einer durchgehenden Schneedecke bedeckt ist. Mit Hilfe der von der Firma Flotron AG durchgeführten manuellen Messungen wird eine detaillierte quantitative Analyse des automatisch erzeugten DOM erfolgen, die voraussichtlich an anderer Stelle publiziert werden wird. Hinsichtlich der Softwareentwicklung ist anzumerken, dass Intergraph für das Jahr 2013 plant, einen neuen, auf der Methode des Semi-global Matching basierenden, Algorithmus in LPS zu implementieren, der eine weitere Steigerung der Qualität automatisch erzeugter Höhenmodelle erwarten lässt (Hirschmüller, 2005).

logical Aspects of Alpine and High Mountain Areas. Proceedings of the Exeter Symposium, July 1982, IAHS Publ. No. 138, pages 259–269.

Hirschmüller, H., 2005: Accurate and Efficient Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), San Diego, CA, USA. Kulkarni, A. V., Bahuguna, I. M., Rathore, B. P., Singh, S. K., Randhawa, S. S., Sood, R. K., Dhar, S., 2007: Glacial retreat in Himalaya using Indian Remote Sensing satellite data. Current Science, Vol. 92, No. 1, S. 69–74.

Richardson, S. D., 2010: Remote sensing approaches for early warning of GLOF hazards in the Hindu Kush-Himalayan region. Report prepared for the United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR). 35 pages.

Wiesmann, A., Strozzi, T., Käab, A., 2010. GLOF, Glacial lake mapping, an ESA DUE. Innovator2 project: Proceedings ESA Living Planet Symposium, Bergen.

Zhang, L., Zhang, J., 2010: Precise processing of SPOT-5 HRS and IRS-P5 stereo imagery – for the project of West China Topographic Mapping at 1:50,000 scale. In: Wagner, W., Székely, B. (eds.): ISPRS TC VII Symposium – 100 years ISPRS, IAPRS Vol. XXXVIII, Part 7A, S. 317–322.

DigitalGlobe, 2012: <http://worldview2.digitalglobe.com/about>

### Literatur:

Chen, Y., Changchun, X., Yapeng, C., Weihong, L., Jingshi, L., 2010: Response of glacial-lake outburst floods to climate change in the Yarkant River basin on northern slope of Karakorum Mountains, China. Quaternary International 226 (2010), S. 75–81.  
Hewitt, K., 1982: Natural dams and outburst floods of the Karakoram Himalaya. In: Hydro-

Martin Sauerbier  
MFB-GeoConsulting GmbH  
Eichholzstrasse 23  
CH-3254 Messen  
sauerbier@mfb-geo.com