

Projektabschlussbericht

Verbundvorhaben: „SuMaRiO: Nachhaltige Bewirtschaftung von Flussoasen entlang des Tarimflusses in China“. Teilvorhaben: „Hydrologische Modellierung in Gletscher- und Schnee-dominierten Einzugsgebieten und GIS und Datenmanagement“.

Zuwendungsempfänger: Deutsches GeoForschungszentrum (GFZ), Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Deutschland

Ansprechpartner: Prof. Dr. Bruno Merz, Sektion Hydrologie, Email: bmerz@gfz-potsdam.de

Förderkennzeichen: 01 LL 0918I

Datum: 3. August 2016

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Entwicklung von Konzepten und Strategien für eine nachhaltige Landnutzung im Rahmen eines internationalen Verbundprojektes erfordert eine hochqualitative und konsistente Datenbasis. Eine solche Datenbank sollte einerseits räumlich georeferenzierte Datensätze auf unterschiedlichen Skalen wie Landnutzungsdaten, meteorologische Daten andererseits deskriptive Datensätze wie demographische Daten und andere. Darüber hinaus soll die Datenbank durch dynamisch generierte gemessene Datensätze komplementiert werden. Diese Datensätze werden durch Monitoringnetzwerke generiert. Die Hauptaufgabe vom Arbeitspaket WP1.4 "GIS and Data Management" umfasste: (1) Design und Implementierung vom Projektportal, (2) Implementierung vom Geodatenserver, (3) Integration und Harmonisierung von Referenzdaten (3) Geodatenmanagement als Support, Training und Wissenstransfer, (4) Gewährleistung eines Zugangs zu dynamisch generierten Daten.

Die Hauptaufgabe der Hydrologie Gruppe am GFZ im SuMaRiO Projekt war die Entwicklung von praktikablen Ansätzen zur Modellierung und Kalibrierung des glazio-hydrologischen Modells WASA in den Gletscher und Schnee-dominierten Quelleinzugsgebieten des oberen Tarims, das durch ein semi-arides bis arides Klima und die Knappheit von Beobachtungsdaten geprägt ist. Insbesondere sollten die Volumenänderung von Gletschern, sowie Volumen-Flächen Evolution in der Zeit sowie die Verteilung von Gletschermasse mit der Höhe berücksichtigt werden. Ein multi-kriterieller Kalibrierungsansatz basierend auf Gletschermassenbilanzen, Schneeeinformationen aus der Fernerkundung und Abflussmessungen sollte entwickelt werden (WP2.1). Wir haben uns verpflichtet, die Projektionen der Klimaänderung basierend auf den Simulationen mit dem regionalen Klimamodell REMO, die von der Universität Würzburg durchgeführt wurden, für den Tarim Gebiet zu prozessieren und für die Nutzung im SuMaRiO Projekt bereitzustellen (WP2.2). Zusammen mit den Partnern vom PIK und TUD war es vorgesehen, die Dynamik der

Kryosphäre und die Wasserverfügbarkeit in den Quelleinzugsgebieten Aksu, Hotan und Yarkand unter Berücksichtigung der regionalen Klimaänderungsszenarien abzuschätzen (WP2.1 und WP2.3). Die Ergebnisse der Abschätzung der Wasserverfügbarkeit sollte die Basis für die Analyse von Landnutzungsmanagementszenarien, weitere wissenschaftliche Untersuchungen in der Region und Empfehlungen an die Nutzer und Entscheidungsträger in den Tarim Behörden.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Teilvorhaben war ein Teilprojekt des Verbundprojektes Nachhaltige Bewirtschaftung von Flussoasen entlang des Tarimflusses in China (SuMaRiO) und wurde vom BMBF im Rahmen des Programms Nachhaltiges Landmanagement gefördert.

In dem Teilvorhaben zur Modellierung von Gletscher und Schnee-dominierten Einzugsgebiete des oberen Tarims wurden wir an eine enge Zusammenarbeit mit den Gruppen von TUD, die uns Gletscherinventar und Massenbilanzdaten bereitstellen sollte, und PIK, mit der wir gemeinsam die Klimaänderungsszenarien vorbereiten und mit Hilfe hydrologischer Modellansätze analysieren sollten, angewiesen. Mit Chinesischen Partnern vom National Climate Centre (NCC) Prof. Jiang Tong und Dr. Su Buda haben wir gemeinsam die Klima- und Abflussdaten ausgewertet und für die Nutzung für die hydrologische Modellierung aufbereitet. Nach anfänglichen Schwierigkeiten war die Zusammenarbeit im Work Block 2 (WB2) hervorragend, was ein vollumfängliches Erreichen der Teilprojektziele und eine Reihen von hochrangigen wissenschaftlichen Publikationen ermöglicht hatte.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Tabelle 1 stellt die Planung des Teilvorhabens mit entsprechenden Meilensteinen dar.

Tabelle 1: Planung der Arbeitspakete WP1.4, WP2.1 und WP2.2 (aus Antrag).

| Tasks | Work period in month since project start |
|--|--|
| <i>WP 1.4 GIS and data management</i> | |
| MS 1.4-1 Launch SuMariO portal system | 4-9 |
| MS 1.4-2 Launch (geo)data delivery | 7-12 |
| MS 1.4-3 Launch geodata service | 10-18 |
| MS 1.4-4 Launch sensor service | 10-24 |
| MS 1.4-5 All sensors implemented | 25-36 |
| MS 1.4-6 Begin training courses | 31-48 |
| MS 1.4-7 Final report | 58-60 |
| <i>WP 2.1 Monitoring of cryosphere and modelling of headwater catchments</i> | |
| MS 2.1-2 WASA model adapted to the study region: hydro-meteorological data collection and regionalization (together with | 10-12 |

| | |
|--|-------|
| PIK), model setup and parameterisation employing available cryosphere monitoring data(GFZ) | |
| MS 2.1-5 WASA model calibrated and validated for small glaciated catchments: parameterization of glacier dynamics for selected monitored glaciers (Inylchek, Keciqaq Glacier) (GFZ) | 13-24 |
| MS 2.1-8 Glacier parameters transferred to unmonitored sites. WASA model calibrated and validated for the headwater catchments based on discharge records and multi-temporal glacier inventory and glacier mass balance series (GFZ). | 25-36 |
| MS 2.1-10 Climate change modelling results assimilated into WASA model. Glacier storage, snow cover and runoff dynamics for different climate change scenarios assessed. Boundary conditions to the SWIM model transferred. (GFZ) | 37-48 |
| MS 2.1-11 Model uncertainty introduced by model parameterization into the glacier dynamics and runoff predictions assessed. Model transferred to regional institutions. Training course developed and introduced in the region. Final report.(GFZ) | 49-57 |
| WP 2.2 Regional climate scenarios and medium-term precipitation forecast | |
| MS 2.2-3 REMO scenarios are ready for the region (GFZ). | 34-36 |

Eine dynamische Übermittlung von Messdaten in das Geodatenportal konnte im Laufe des Projektes nicht realisiert. Die Gründe dafür sind in der restriktiven Gesetzeslage der VR China zu sehen, die es nicht erlauben Datensender und/oder GPS-Geräte zu verwenden, um diese direkt mit Datenbanken zu verbinden. Aufgrund der Tatsache, dass Herr Prof. Liu (Geoinformatik), der unserer Hauptansprechpartner zu Geoinformatik Community und entsprechenden Verwaltungsstellen war, von seinem Posten an der Xinjiang Universität im Laufe des Projektes abgesetzt wurde, konnte der geplante Trainingskurs zum Geodatenmanagement nicht durchgeführt werden. Das SuMaRiO Projekt wurde zu Beginn an vor einer Herausforderung gestellt, da das Chinesische Ministerium für Wissenschaft und Technologie (MOST) nicht das von Chinesischen Wissenschaftlern eingereichte Teilprojekt genehmigte. Das führte dazu, dass die Forschungsarbeiten Chinesischer Kollegen nicht zusätzlich finanziert wurden und insbesondere die Reisemittel für die Vernetzung mit den deutschen Teilprojekten fehlten. Darüber hinaus wurden die Chinesischen Partner nicht offiziell ermächtigt ihre Daten mit uns zu teilen, insbesondere was die grenzüberschreitenden Flüsse wie Tarim betrifft. Diese Schwierigkeiten führten zu einer deutlichen Verzögerung beim Aufbau des hydrologischen Modells. Nach einer Reihe von Treffen und Vereinbarungen mit Chinesischen Kollegen wurden die Probleme gelöst, und die Chinesischen Partner trugen mit ihren Analysen zu gemeinsamen Forschungsarbeiten und Publikationen bei. Dank einer sehr effizienten und fruchtbaren Zusammenarbeit mit den deutschen Partnern, wurden alle notwendigen Daten und Informationen für den Aufbau und Kalibrierung des glaziohydrologischen Modells WASA sowie die Daten für Klimaänderungsszenarien bereitgestellt, was ein erfolgreiches Erreichen der GFZ Projektziele ermöglichte. Der ursprünglich geplante

Trainingskurs zu hydrologischer Modellierung wurde auf die Initiative von der SuMaRiO Projektkoordinierung und nach Absprache mit dem Projektträger zurückgestellt. Die dadurch frei gewordenen finanziellen Ressourcen wurden für die Finanzierung der Stelle von Herrn Kyba an der KU Eichstätt eingesetzt. Herr Kyba sollte zur Implementierung der SuMaRiO Gesamtprojektergebnisse, insbesondere der SuMaRiO-DSS in der Tarim Region beitragen.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Der Einfluss des Klimawandels auf den Wasserhaushalt auf regionaler Skala ist Gegenstand aktueller Forschung. Der Wissensstand ist besonders gering für datenarme Regionen, wie die Hochgebirgsgebiete Zentralasiens. Verlässliche Beobachtungen von Klimagrößen mit langen Zeitreihen und guter räumlicher Auflösung sind nicht vorhanden. Das gleiche trifft auf Größen des Wasserhaushalts und dessen Interaktion mit globalen Änderungsprozessen zu. Unser Wissen zu Änderungen in der Vergangenheit und zu möglichen zukünftigen Änderungen von Wasserhaushaltsgrößen in Kopfeinzugsgebieten des Tarim war relativ gering.

Regionale, modellbasierte quantitative Studien zur Gletscher- und Schneedynamik, sowie deren Beiträge zum Wasserhaushalt des Tarim waren, zum Wissen der Antragssteller, nicht bekannt. In der begutachteten Literatur werden nur wenige hydrologische Modelle genannt, die in kleinen Einzugsgebieten in Zentralasien und Nordwestchina angewandt wurden (Aizen et al., 2000, Li und Williams, 2008).

Generell gibt es nur wenige Studien zum Einfluss des Klimawandels auf den Wasserhaushalt der Gebirgseinzugsgebiete in Zentralasien und Nordwestchina. Hagg et al. (2006, 2007) haben das räumlich semi-explizite HBV-ETH Modell auf einige Einzugsgebiete im Tien Shan und Pamir angewandt, wobei einfache Zukunftsprojektionen und Annahmen zur zukünftigen Gletscherbedeckung angewandt wurden. Ein Nachteil des verwendeten Ansatzes ist die Annahme von unbegrenzter Gletschermächtigkeit. Änderungen des Gletschervolumens und der Gletscherfläche werden nicht im Modell simuliert, sondern fließen als Annahme in die Modellierung ein. Dieser methodische Nachteil verhindert die Anwendung dieser Modelle für Langzeit-Klimaänderungsprojektionen, die zu Änderungen der Gletscherfläche und des Gletschervolumens führen.

Ein einfacher Ansatz zur Berücksichtigung von Änderungen in der Gletscherfläche wurde von Schaefli et al. (2005, 2007) zur Simulation des Wasserhaushalts in mehreren Einzugsgebieten in der Schweiz verwendet. Die Autoren aktualisierten die Gletscherfläche unter Annahme eines konstanten mittleren interannuellen Akkumulationsflächen-Verhältnis. Dieser Ansatz ist jedoch nicht massenerhaltend und kann zu einer deutlichen Unterschätzung der Gletscherfläche (30-55%) und des Jahresabflusses (30%) führen, wie von Huss et al. (2008) für einige Gebiete in den Alpen gezeigt. Huss et al. (2008) schlugen ein glazio-hydrologisches Modell vor, das explizit den gesamten Gletscherspeicher berücksichtigt, einschließlich von Änderungen der Gletscherfläche und des Gletschervolumens. Huss et al. (2008) entwickelten eine Methode, um die Verteilung der Gletschermächtigkeiten mit der Höhe abzuschätzen und validierten ihren Ansatz für einige Gletscher in der Schweiz.

The WASA Modell wurde von Güntner (2002) und Güntner und Bronstert (2002, 2003) zur Quantifizierung des Wasserhaushalts in semi-ariden Regionen entwickelt. Das Modell wurde in dem Teilvorhaben um Schnee- und Eisakkumulation, -umverteilung und -schmelze nach dem Ansatz von Huss et al. (2010) erweitert und für die Abschätzung des Wasserhaushalts im oberen Tarim Einzugsgebiet angewandt.

4.3. Problemfelder

Das Tarimbecken in Nordwestchina ist besonders vulnerabel gegenüber Einflüssen des Klimawandels. Da der Abfluss zu einem großen Teil durch die Gletscher- und Schneeschmelzdynamik kontrolliert wird, haben zukünftige Temperatur- und Niederschlagsänderungen einen großen Einfluss auf die Wasserverfügbarkeit. Die Kryosphäre in den Gebirgseinzugsgebieten des Tarimflusses ist eine wichtige Komponente des Wasserhaushalts, und sowohl für Ökosysteme als auch für die Landwirtschaft von entscheidender Bedeutung. Das sich ändernde Klima wird fundamentale Folgen für die Kryosphäre und den Wasserhaushalt der Region haben. Generell führt ein Gletschermassenverlust in Folge der Klimaerwärmung kurzzeitig zu einem Anstieg des Abflusses. Auf längere Sicht ist dagegen aufgrund der kleineren Gletscherflächen ein geringerer Gletscherabfluss zu erwarten. Die zu erwartende Abnahme der Wasserressourcen wird erheblichen wirtschaftlichen Druck auf den stark von der Bewässerung abhängigen landwirtschaftlichen Sektor ausüben und birgt soziales Konfliktpotenzial. Eine Abschätzung der zukünftigen Wasserverfügbarkeit ist daher für das Landnutzungs- und Wassermanagement essentiell. Strategien zur Adaption an den Klimawandel erfordern einen politischen Prozess und den Einbezug der Bevölkerung, und sollten auf einem fundierten und transparenten fachlichen Hintergrundwissen basieren, um die öffentliche Aufmerksamkeit zu erhalten.

Aufgrund der datenarmen Situation in den Gebirgseinzugsgebieten des Tarim ist die Anwendung von hydrologischen Modellen in diesen Gebieten eine Herausforderung. In einer Region mit großen Unsicherheiten in den Niederschlagsdaten kann eine Unterschätzung des Niederschlags im Modell durch eine Überschätzung der Gletscherschmelze kompensiert werden (und umgekehrt). In dieser Situation ist es zielführend einen Kalibrierungsansatz zu wählen, der verschiedene Datenquellen basierend auf Abflussdaten und Gletschermassenbilanzdaten einbezieht.

Bezüglich des GIS- und Geodaten-Managements sind den Projektpartnern derzeit keine technische Lösungen bekannt, die entsprechende Geodaten für das Forschungsgebiet um das Tarim Becken enthalten oder liefern kann. Das Projekt SuMaRiO ist durch die Zusammenarbeit vieler Akteure aus verschiedenen Disziplinen geprägt. Das sind nationale Forschungseinrichtungen und Universitäten und ebenso Universitäten, Institute und regionalen Behörden auf internationaler Ebene. Diese transdisziplinären Akteure sind räumlich an den verschiedensten Orten in Deutschland und China aktiv. Eine projektweite Kommunikation und reibungslose Datenflüsse zwischen diesen Projektteilnehmern ist daher

eine besondere Herausforderung, birgt aber auch Chancen. Somit ist eine gemeinsame und gut funktionierende Informations- und Dateninfrastruktur essentiell. Dieses wird erreicht aus einer Kombination aus öffentlich zugänglichem und internem Web-Portal inklusive entsprechender Kommunikationswerkzeuge wie verschiedener E-Mail Verteiler, RSS Feeds, etc., welche die externe und interne Kommunikation ermöglichen und somit eine Infrastruktur für ein effizientes Datenmanagement geschaffen haben.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Laufe des Projektes hat eine enge Kooperation innerhalb des WB2 und mit den Chinesischen Kollegen vom National Climate Centre (NCC) durch Datenaustausch (Klima, Abfluss, Schnee, Gletscher), Datenanalyse, Modellierungsarbeiten und gemeinsame Publikationen stattgefunden (Krysanova et al., 2015, Kundzewicz et al., 2015, Duethmann et al., 2015, 2016, Rumbaur et al., 2015). Darüber hinaus wurde eine Kooperation und Datenaustausch mit den Kirgisischen Partnern aus CAIAG und Kirgishydrometdienst gepflegt. GFZ war an der Planung des Decision Support Systems (DSS) beteiligt und in Zusammenarbeit mit Marie Hinnenthal (Universität der Bundeswehr, München) wurden einige Ergebnisse dieses Teilvorhabens in das DSS integriert. GFZ war bei der Implementierungskonferenz in Ürümqi im September 2015 und an der Abschlusskonferenz im Dezember 2012 in München vertreten und die Ergebnisse wurden den Stakeholdern und der wissenschaftlichen Community vorgestellt.

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung, erzielte Ergebnisse mit Gegenüberstellung der Ziele

1.1 Zielsetzungen

GIS and Datenmanagement

Ein effizientes Datenmanagement hat eine besondere Relevanz für das gesamte SuMaRiO Projekt. Die Entwicklung von Konzepten und Strategien für ein nachhaltiges Landmanagement erfordert eine qualitativ hochwertige und konsistente Datenbasis. Diese Datenbasis enthält einerseits räumliche Daten in unterschiedlichen Maßstäben als Georeferenz und andererseits verschiedene beschreibende Daten wie Landnutzungsdaten, demographische oder meteorologische Daten. Ferner sollte die Datenbasis durch dynamisch erzeugte Monitoringdaten komplementiert werden. Diese Monitoringdaten sollen kontinuierlich durch Sensornetzwerke gesammelt werden. Die einzelnen Aufgaben des WP1.4 GIS und Datenmanagement sehen daher wie folgt aus:

Aufbau und Betrieb eines Projektportals: Das SuMaRiO Portal bietet allgemeine und öffentliche Informationen über das Projekt und Partner an. Für die Projektteilnehmer soll eine interne Kommunikationsplattform den Austausch von Informationen, Daten und Dokumenten ermöglichen.

Implementierung eines Geodaten Servers: Ein Geodaten Server eingebettet in einer Geodateninfrastruktur (GDI) bietet geschützten Zugriff auf Karten und relevante Geodaten für die Projektteilnehmer und Stakeholder. Geodienste dieser SuMaRiO GDI enthalten und liefern Daten aus verschiedenen externen und internen Quellen.

Integration und Harmonisierung von Referenzdaten: Erfahrungen anderer Projekte zeigen die Bedeutung der Verfügbarkeit von harmonisierten Referenzdaten für die Qualität der Ergebnisse. Aus diesem Grund ist die Harmonisierung von Geodaten ein permanenter Prozess und umfasst zum Beispiel vereinheitlichende Datenformate und Projektionen sowie Anpassungen der räumlichen und zeitlichen Auflösungen. Dies kann nur in enger Abstimmung mit allen Arbeitspaketen erfolgen und soll den Wissenschaftlern einen erleichterten Zugang zu den Daten ermöglichen und gleichzeitig den Austausch mit der GLUES-GDI vorbereiten.

Geodatenmanagement als Unterstützung, Ausbildung und Wissenstransfer: Im Anschluss an die technische Umsetzung des Portal-Systems und der Web-Dienste werden Support-Aktivitäten notwendig sein. Das betrifft die Unterstützung der Projektteilnehmer für den Umgang mit der Kommunikationsplattform und einzelne Trainingseinheiten als Wissenstransfer für die GI-Systeme und den GDI Umgang mit den chinesischen Akteuren.

Dynamischer Zugriff auf Monitoring-Daten: Im Zuge dieses Projektes soll der einfache Zugang zu Echtzeit-Daten mehr werden. Das Umwelt-Monitoring der ESF/ESS-Funktionen erfordert eine Integration verschiedener Sensoren in einem Sensornetzwerk. Bereits etablierte Standards und entsprechende technologische Konzepte, die den dynamischen Zugriff auf diese Zeitreihendaten erlauben, sollen in der Projektlaufzeit eingesetzt werden.

Hydrologische Modellierung

Das Hauptziel der Arbeiten der Hydrologie Gruppe am GFZ im SuMaRiO Projekt war die Entwicklung von Ansätzen zur Modellierung und Kalibrierung des glazio-hydrologischen Modells WASA in den Gletscher und Schnee-dominierten Quelleinzugsgebieten des oberen Tarims und die Durchführung von Analysen der zukünftigen Wasserverfügbarkeit im Folge des Klimawandels. Insbesondere sollten die Volumenänderung von Gletschern, sowie Volumen-Flächen Evolution in der Zeit sowie die Verteilung von Gletschermasse mit der Höhe im Modellierungsansatz berücksichtigt werden. Die bisher oft angewandten Ansätze mit einem unbegrenzten oder unzureichend abgebildeten Gletscherspeicher sollten vermieden werden. Ein multi-kriterieller Kalibrierungsansatz basierend auf Gletschermassenbilanzen, Schneeeinformationen aus der Fernerkundung und Abflussmessungen sollte entwickelt werden. Wir haben uns verpflichtet, die Projektionen der Klimaänderung basierend auf den Simulationen mit dem regionalen Klimamodell REMO, die von der Universität Würzburg durchgeführt wurden, für den Tarim Gebiet zu prozessieren und für die Nutzung im SuMaRiO Projekt bereitzustellen. Zusammen mit den Partnern vom PIK und TUD war das Ziel, die Dynamik der Kryosphäre und die Wasserverfügbarkeit in den Quelleinzugsgebieten Aksu, Hotan und Yarkand unter Berücksichtigung der regionalen Klimaänderungsszenarien abzuschätzen. Die Berücksichtigung verschiedener Emissionsszenarien, globalen und

regionalen Klimamodelle sowie verschiedener Parametrisierung hydrologischer Modelle sollte eine umfassende Abschätzung von Unsicherheiten in den Projektionen der Wasserverfügbarkeit ermöglichen. Die Ergebnisse der Abschätzung der Wasserverfügbarkeit sollte die Basis für die Analyse von Landnutzungsmanagementszenarien, weitere wissenschaftliche Untersuchungen in der Region und Empfehlungen an die Nutzer und Entscheidungsträger in den Tarim Behörden.

1.2 Erzielte Ergebnisse

GIS und Datenmanagement

Das Arbeitspaket GIS und Datenmanagement im vorliegenden Teilvorhaben realisierte ein integriertes Konzept für das Daten- und Informationsmanagement im komplexen Umfeld eines internationalen wissenschaftlichen Projektes. Ein herausragendes Ergebnis stellt die Umsetzung des PanMetaDocs Metadatendienstes einschließlich der Datenveröffentlichung und das Management von Digital Object Identifier (DOI) dar. Das INSPIRE-konforme Metadatenchema, welches vom übergeordneten GLUES-GDI-Team entwickelt wurde, konnte verwendet werden, um die SuMaRiO Metadaten im entsprechenden Editor zu beschreiben. Die einzelnen Fachgruppen des Projektes erhielten mit der Nutzung des Dienstes die Möglichkeit, ihre Daten und Modelle zu dokumentieren und zu veröffentlichen. Die beschriebenen Datensätze können dazu in einem dauerhaft (persistent) verfügbaren Speicher hochgeladen werden. Der Datensatz wird mit der Vergabe einer DOI zur globalen Identifizierung verknüpft und ist somit gesichert. Der Abruf der Daten im Metadatenkatalog basiert auf standardisierten Schnittstellen der Open Archives Initiative - Protocol for Metadata Harvesting (OAI-PMH) und der ISO Norm 19115 und ermöglicht so die Verknüpfung der SuMaRiO Repositorien zum GLUES Geoportal (siehe Abb. 1). Damit wurde eine wichtige Voraussetzung zur dauerhaften Verfügbarkeit der wissenschaftlichen Daten und Meilensteine aus den Projektzielen erreicht. Die Gesamtarchitektur der SuMaRiO Geodateninfrastruktur (GDI) wird in Abb. 2 dargestellt.



Abb. 1: Abgerufene Metadaten im GLUES Katalog System aus dem SuMaRiO Metadatenkatalogdienst.

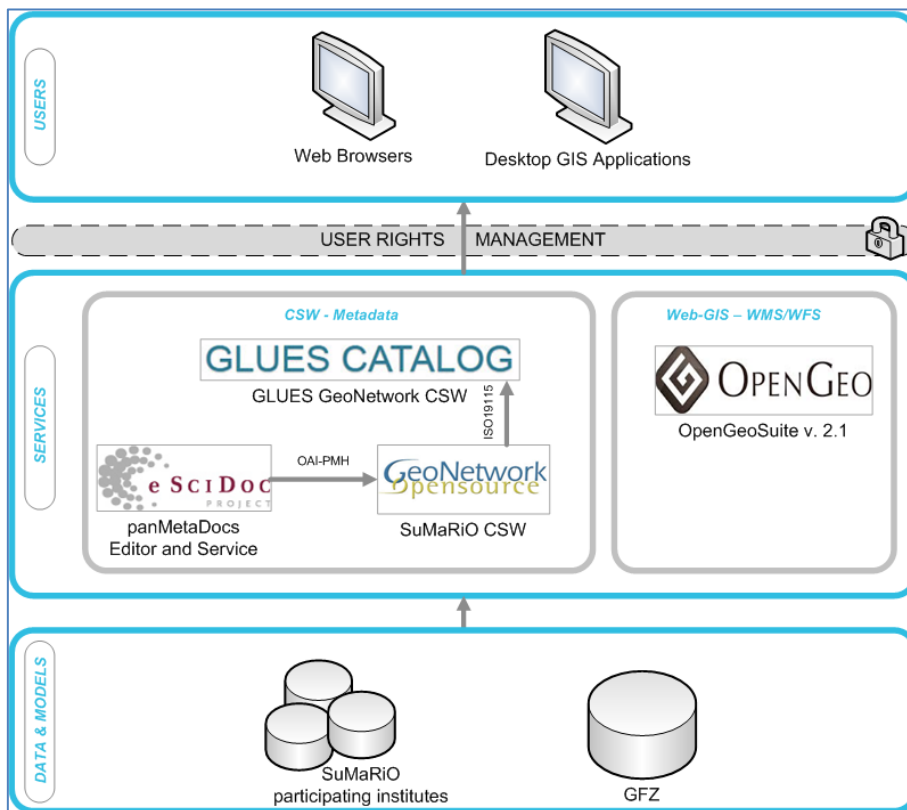


Abb. 2: Schema des SuMaRiO Dienste Architektur.

Hydrologische Modellierung

Datenakquise und Prozessierung

Für den Aufbau des WASA Modells für Gletscher- und Schnee-dominierten Quelleinzugsgebiete des oberen Tarims wurden eine Reihe von Datensätzen in der Zusammenarbeit mit PIK und TUD zusammengetragen und prozessiert (Tabelle 1).

Tabelle 1: Datensätze, die im Rahmen des Teilvorhabens gesammelt und für die hydrologische Modellierung prozessiert wurden.

| Variable | Datensatz | Beschreibung |
|--------------------------|---|--|
| Klima | CMA | Daily precipitation, temperature (mean, min, max) interpolated to a 0.25 arc degree grid for the Chinese part of the Tarim basin, 1961 - 2004. |
| | WATCH (Weedon et al., 2011) | Daily precipitation, temperature (mean, min, max), humidity and solar radiation reanalysis data at 0.5 arc degree grid global dataset, 1957-2001. |
| | APHRODITE (Yatagai et al. 2009) | Daily precipitation at a resolution of 0.25 degree for the region 60-150°E, 15 - 55°N, for 1951-2007. |
| Topographie | SRTM (Jarvis et al., 2007) | Hole-filled, global digital elevation model (DEM) constructed from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) in decimal degrees at 3 arc seconds resolution (~90 m). |
| Landnutzung | NCC CMA | Chinese land use map reclassified to the SWIM classes for the Chinese part of the Aksu River basin at 80 m resolution, in Lambert projection. |
| | MODIS (Friedl et al., 2002) | Land Cover Type Yearly version 5 product from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) with 17 classes at 500 m resolution for every year since 2000. |
| | GLC-2000 Map (Tateishi et al., 2003) | Part of the Global Land Cover (GLC) 2000 map by the EC Joint Research Centre including 31 classes at a resolution of 1 km based on SPOT imagery. |
| Boden-information | HWSD (FAO et al., 2011) | The Harmonised World Soil Database (HWSD) from the FAO, including the recent addition of the 1:10 ⁶ Soil Map of China. |

| | | |
|--------------------|--|---|
| | FAO Soil Map (FAO, 2007) | The Digital Soil Map of the World based on the FAO-UNESCO soil map at 1:5*10 ⁶ , delivered as shapefile in a geographic projection. |
| | (Batjes, 2006) | ISRIC-WISE derived soil properties on a 5 by 5 arc-minutes global grid. |
| Gletscher | GLIMS and RGI (Bolch et al., 2012, Pfeffer et al., 2014) Akshirak Gletscher DEM (Surazakov and Aizen, 2006) | The glacier map provided by WP 2.1. It consists of data from the GLIMS and RGI database and newly mapped data. Multiple DEM models of the Akshirak Glacier Massif for 1977 and 2000 used to parameterize glacier module. |
| Schneedaten | MODIS Snow cover (Hall et al., 2002) AVHRR (Peters et al., 2015) | 8-daily and monthly snow cover composite images from the MODIS Terra indicating maximum snow extent at 500 m resolution for the period 2000-2012. Daily snow cover images from the NOAA AVHRR sensors with the resolution of 1x1 km for the period 1986-2000, processed and prepared by TUD. |
| Abfluss | (Wang, 2006) | Daily and monthly discharge data at the gauges Shaliguilanke, Xiehela and Xidaqiao in the Aksu basin, 1957 – 2004, and at gauges Tonguziluo, Wuluwati in Hotan und Kaqun in Yarkand catchments. |

Analyse von Trends in Klima- und Abflussvariablen

Die Klimadaten (Temperatur (T) und Niederschlag (P)) sowie die Abflussdaten (Q) im Aksu Einzugsgebiet (Abb. 3) (zu dem Zeitpunkt lagen nur die Daten für Aksu Gebiet vor) wurden im Hinblick auf Trends und Elastizität zusammen mit PIK und Chinesischen Partnern (NCC) untersucht. Die Ergebnisse der multiplen Trendanalysen wurden in zwei Veröffentlichungen zusammengefasst (Kryanova et al., 2015; Kundzewicz et al., 2015). Anhaltendes Erwärmen wurde mit statistischer Signifikanz bei den meisten Punkten im Einzugsgebiet festgestellt. Ein Niederschlagsanstieg wurde hauptsächlich in den unteren Teilen des Einzugsgebiets festgestellt. Trends in mittleren jährlichen Abflusswerten sind deutlich positiv (Abb. 4), aber auch die saisonalen Abflusstrends in der kalten als auch in der warmen Saison zeigten einen

signifikanten Anstieg. Das wirft die Frage nach den genauen Ursachen und Mechanismen, die zur Zunahme des Abflusses in der Vergangenheit führten und ob und wie lange dies in Zukunft auch so sein wird. Diese Frage wurde mit der Attributierungsstudie für den Aksu Einzugsgebiet (Duethmann et al., 2015) beantwortet (s. Kapitel **Attributierung von Abflusstrends zu Änderungen der Temperatur und des Niederschlags**).

Modellentwicklung und Multiobjective Modell-Kalibrierung

Für den Einsatz in stark vergletscherten und Schneedominierten Einzugsgebieten wurde das WASA Modell um ein Gletschermodul erweitert. Das Gletschermodul basierend auf dem Δh -Ansatz (Huss et al., 2010) wurde implementiert. Dieser Ansatz berücksichtigt jährliche Änderungen der Gletscherdicke und -fläche in Abhängigkeit von der berechneten Massenbilanz für jeden einzelnen Gletscher und erlaubt somit eine deutlich bessere und plausible Abschätzung von Langzeitänderungen der Kryosphäre erlauben. Das WASA-Schneemodul wurde verbessert und erlaubt nun die Simulation einer fraktionalen Schneebedeckung innerhalb einer Höhenzone. Dies ermöglichte auch einen verbesserten Ansatz für die Evaluierung der simulierten Schneebedeckung mit aus Satellitendaten abgeleiteten Schneebeobachtungsdaten, da somit auch Informationen über die Schneevertelung mit der Höhe einbezogen werden können (Duethmann et al., 2014).

Das WASA Modell wurde für Einzugsgebiete Aksu, Hotan und Yarkand aufgesetzt und multiobjektiv unter Berücksichtigung von Abfluss und Gletschermassenbilanzen kalibriert (Tabelle 2). Für den Abfluss wurden Zeitreihen der Gebietsauslässe zur Modellkalibrierung verwendet, und es wurden sowohl tägliche als auch zwischenjährliche Variationen des Abflusses berücksichtigt. Für die Gletschermassenbilanz wurden die Informationen von geodätischen Massenbilanzschätzungen verwendet, um die kumulative Gletschermassenänderung zu begrenzen. Weiterhin wurde für Aksu-Gebiet die Korrelation zu einer gemessenen Massenbilanzzeitreihe eines nahe gelegenen Gletschers zur Kalibrierung der zeitlichen Änderung der simulierten Gletschermassenbilanzen verwendet.

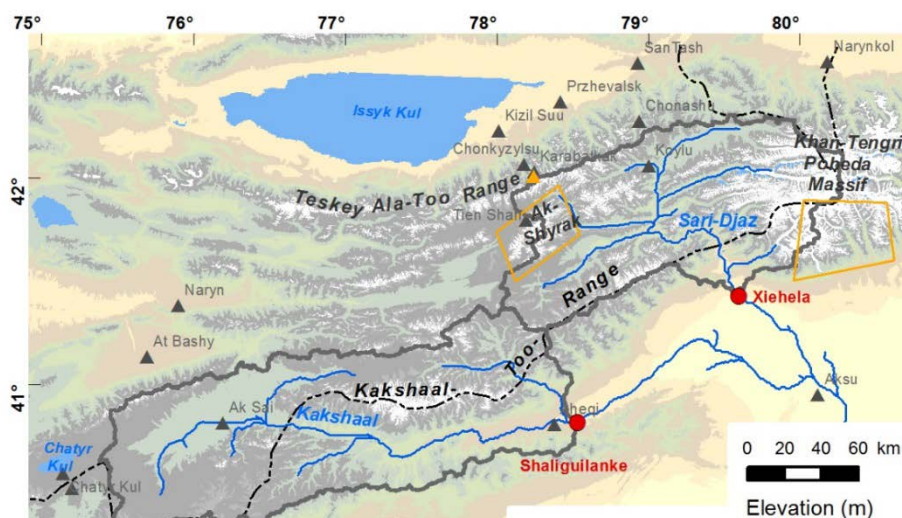


Abb. 3. Die Kopfeinzugsgebiete Kakshaal und Sari-Djaz des Aksu, einschließlich der für die Modellkalibrierung verwendeten Beobachtungsdaten: Abflusspegel (rote Kreise), Gletschermassenbilanzzeitreihen (gelbe Dreiecke) und geodätische Massenbilanzschätzungen (gelbe Polygone).

Das Modell wurde automatisch mit einem multiobjektiven Kalibrieralgorithmus kalibriert und zeigt insgesamt hohe Modellgüte, einschließlich interannueller Variationen des Abflusses (Tabelle 2).

Die modellierten Gletschermassenbilanz im Aksu-Einzugsgebiet im Zeitraum 1961-2001 war $-0.41 \text{ m w.e.q. a}^{-1}$ (Xiehela) und $-0.42 \text{ m w.e.q. a}^{-1}$ (Shaliguilanke). Die Massenbilanzen für Hotan und Yarkand wurden mit -0.10 , -0.11 , und $-0.10 \text{ m w.e.q. a}^{-1}$ entsprechend für Wuluwati, Tonguziluoke und Kaqun simuliert. Die Gletscherflächenänderungen ergaben in diesem Zeitraum -2% (Wuluwati), -7.9% (Tonguziluoke), and -4.2% (Kaqun).

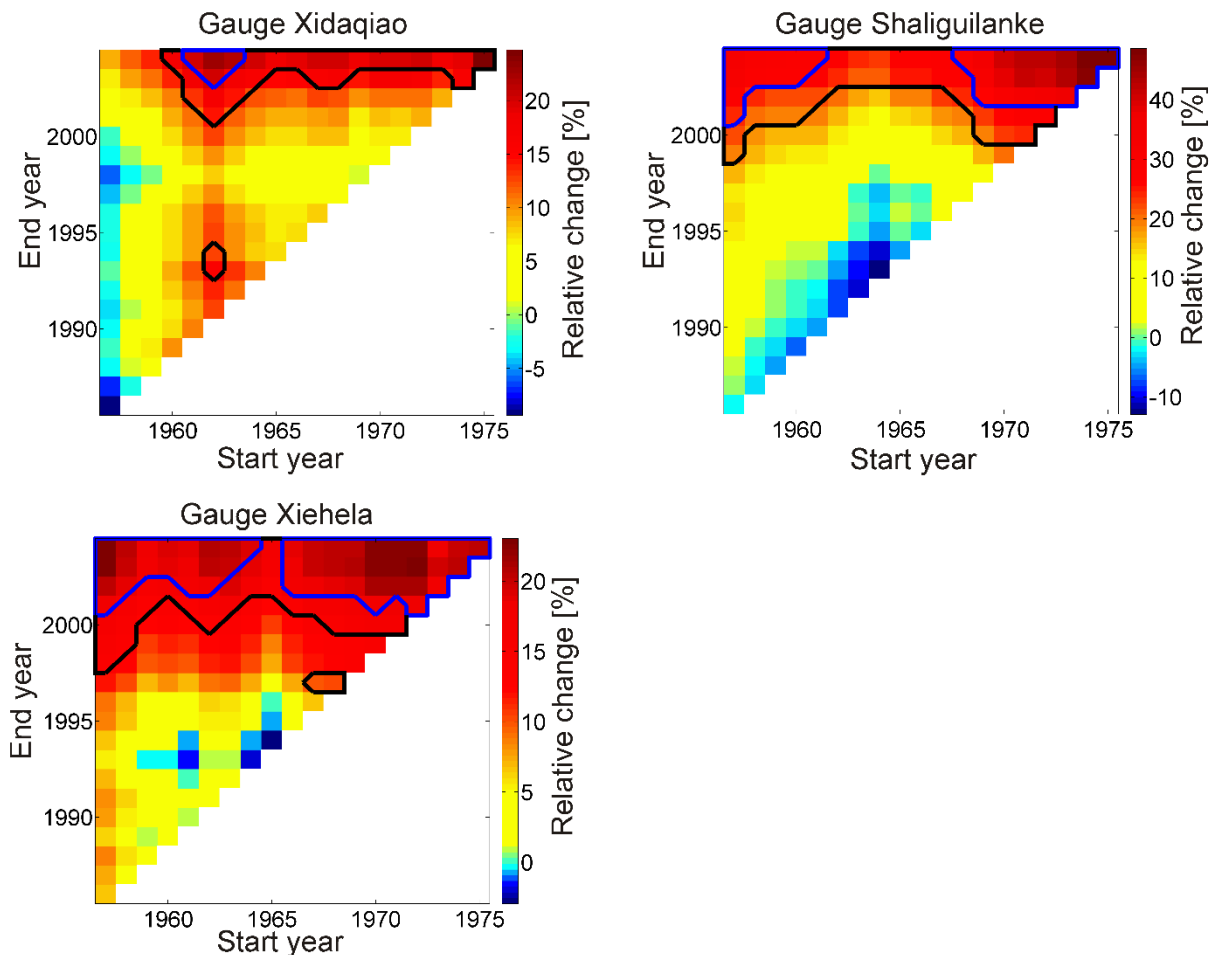


Abb. 4. Multiple Trendanalysen für den mittleren jährlichen Abfluss an Pegel Xidaqiao, Shaliguilanke and Xiehela im Aksu Einzugsgebiet. Die Legende zeigt eine relative Änderung im Vergleich zum Mittelwert in der jeweiligen Periode. Blaue und schwarze Konturlinien zeigen die Perioden, in denen die Trends respektive mit 1% und 5% signifikant sind.

Tabelle 2: Ergebnisse der WASA Modellkalibrierung und Evaluierung. Dargestellt sind die Nash-Sutcliffe efficiency (Eff), die Nash-Sutcliffe efficiency logarithmierte Abflusswerte (Log Eff), das Volumenfehler (Bias) für tägliche und monatliche Zeitreihen.

| EZG | Pegel | | Kalibrierungsperiode | | | Evaluierungsperiode | | |
|---------|-------------|-----------|----------------------|---------|-------|---------------------|---------|-------|
| | | | Eff | Log Eff | Bias | Eff | Log Eff | Bias |
| Aksu | Xiehela | täglich | 0.85 | 0.95 | 0.05 | 0.80 | 0.94 | 0.12 |
| | | monatlich | 0.92 | 0.96 | 0.02 | 0.86 | 0.95 | 0.15 |
| | Shaliguilan | täglich | 0.80 | 0.86 | -0.02 | 0.70 | 0.83 | -0.01 |
| | | monatlich | 0.84 | 0.89 | -0.03 | 0.83 | 0.87 | -0.03 |
| Hotan | Tonguziluo | täglich | 0.60 | 0.82 | -0.15 | 0.72 | 0.87 | -0.12 |
| | | monatlich | 0.74 | 0.87 | -0.15 | 0.83 | 0.91 | -0.12 |
| | Wuluwati | täglich | 0.67 | 0.71 | -0.13 | 0.71 | 0.68 | -0.13 |
| | | monatlich | 0.83 | 0.78 | -0.14 | 0.83 | 0.75 | -0.13 |
| Yarkand | Kaqun | täglich | 0.75 | 0.84 | -0.13 | 0.74 | 0.84 | -0.12 |
| | | monatlich | 0.81 | 0.87 | -0.13 | 0.81 | 0.87 | -0.12 |

Attributierung von Abflusstrends zu Änderungen der Temperatur und des Niederschlags

Über die letzten Jahrzehnte zeigte der Abfluss in den Kopfeinzugsgebieten des Aksu (Abb. 3) eine Zunahme. Diese Abflusstrends wurden im SuMaRiO WB2 zusammen mit PIK, TUD und Chinesischen Partnern analysiert und die Ergebnisse wurden in Krysanova et al. (2015) und Kundzewicz et al. (2015) publiziert. Um besser zu verstehen, inwieweit diese Abflusstrends Änderungen in Temperatur und Niederschlag zugeordnet werden können, wurde das WASA-Modell angewendet. Die Auswirkungen von Änderungen in der Gletschergeometrie, in der Temperatur und im Niederschlag wurden mittels Simulationen mit konstanter Gletschergeometrie und mit trendbereinigten Temperatur und Niederschlagszeitreihen abgeschätzt. Simulationen mit konstanter Gletschergeometrie zeigten, dass die Abflussänderungen in dem stärker vergletscherten Sari-Djaz Einzugsgebiet ohne Änderungen in der Gletschergeometrie fast 20% höher gewesen wären (Abb. 5a). Bei Verwendung von Niederschlags- und Temperaturzeitreihen ohne Trend als Eingangsdaten waren die simulierten Abflusstrends vernachlässigbar. Dies zeigt, dass die Änderungen der Temperatur und des Niederschlags die beobachtete Abflusstrends erklären können (Fig. 5b).

Simulationen mit jeweils nur trendbereinigten Temperatur oder die Niederschlagszeitreihen zeigten, dass im Kakshaal-Gebiet sowohl Temperaturerhöhungen also auch die Zunahme des Niederschlags zum Abflusstrend beitrugen. Im stärker vergletscherten Sari-Djaz-Gebiet war die Zunahme der Temperatur der dominante Treiber für den Abflussanstieg (Abb. 5b). Diese Analyse wurde mit einem datenbasierten Ansatz unter Verwendung von multilinear Regression ergänzt und in Water Resources Research publiziert (Duethmann et al., 2015).

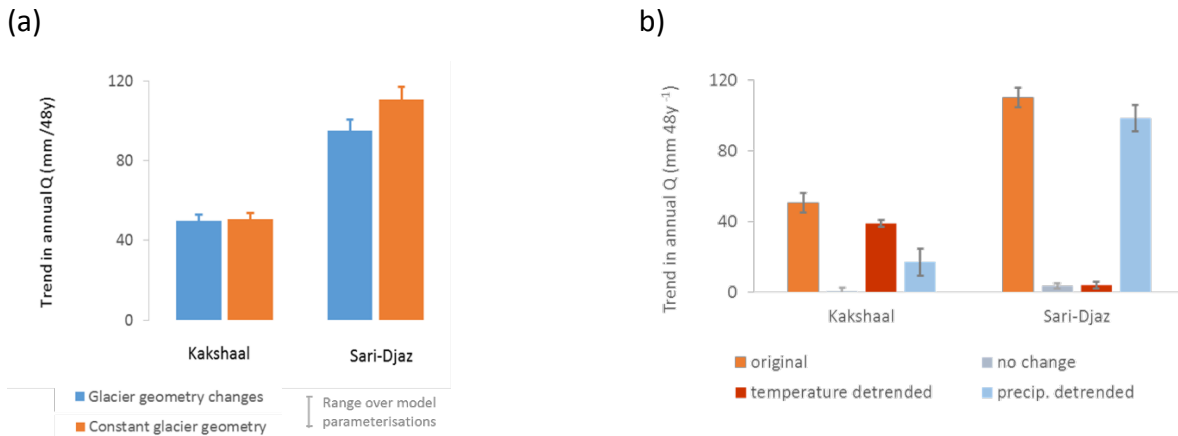


Abb. 5: Auswirkungen von Änderungen in der Gletschergeometrie, in der Temperatur und im Niederschlag auf den simulierten Abflusstrend. a) Simulierter Abflusstrend mit und ohne Berücksichtigung von Änderungen der Gletschergeometrie. b) Simulierter Abflusstrend (des Modells mit konstanter Gletschergeometrie) mit den originalen Niederschlags- und Temperatureingangsdaten, mit trendbereinigten Niederschlags- und Temperatureingangsdaten, und mit Eingangsdaten in denen nur die Temperatur oder der Niederschlag trendbereinigt wurden.

Klimaänderungsszenarien für Quelleinzugsgebiete

Nach der Evaluierung des Modells in Bezug auf zwischenjährliche Abflussvariationen und Trends in der Vergangenheit wurde es mit Klimaszenarien angewandt, um mögliche zukünftige Abflussänderungen zu projizieren. Dazu wurden auch Änderungen der Gletschergeometrie berücksichtigt. Insgesamt wurden neun globale Klimamodelle in Kombination mit drei "Repräsentativen Konzentrationspfaden" (RCPs) verwendet. Das Beispiel für Aksu Gebiet zeigt die Auswahl von Klimamodellen, die einen 90%-Unsicherheitsbereich bei den Temperatur- und Niederschlagsänderungen abdecken (Abb. 6). Dieser Ensemble wurde zusätzlich um die regionalen Klimamodelle CCLM (RCP-MPI-ESM-LR) und REMO (A1B-ECHAM5) erweitert, deren Ergebnisse für die Region zur Verfügung standen. Die Klimadaten wurden auf die Einzugsgebiete interpoliert und mit einem Quantile-Mapping-Ansatz bias-korrigiert (Gudmundsson et al., 2012). Die Bias-Korrektur wurde für tägliche Werte durchgeführt und nach Monaten unterschieden.

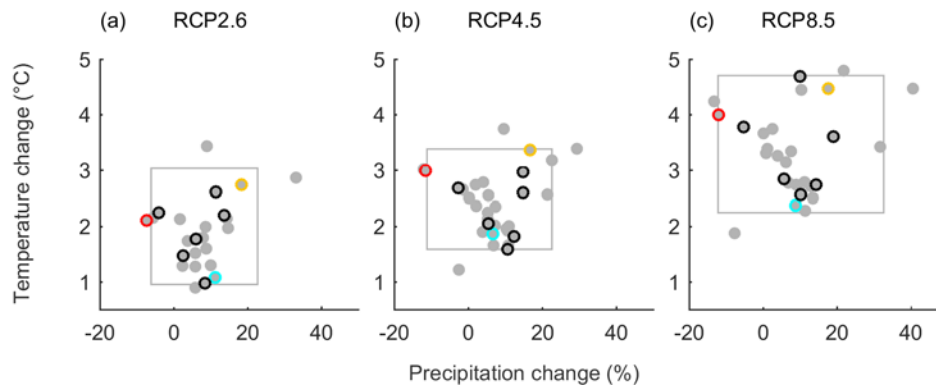


Abb. 6: Temperatur- und Niederschlagsänderungen für die "2050-er" (2031-2060) im Vergleich zu 1971-2000 wie projiziert für den Aksu mit CMIP5 GCMs für RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5. Das Rechteck stellt die 5-95 Perzentile von Temperatur- und Niederschlagsänderungsspannen aller GCMs dar. Die markierten Punkte stellen die GCMs dar, die für weitere Analysen berücksichtigt wurden.

Die Klimaszenarienrechnungen mit dem hydrologischen Modell WASA, das um ein dynamisches Gletschermodul erweitert wurde, zeigen einen deutlichen Rückgang von Gletscherflächen im Aksu Gebiet im Schnitt um 36% bis 2050 und 69% bis Ende des Jahrhunderts bezogen auf das Jahr 2008 (Duethmann et al., 2016). Die Teil-Einzugsgebiete Sari-Djaz und Kakshaal würden respektive 66% und 78% der Gletscherflächen bis Ende des Jahrhunderts verlieren (Abb. 7). Dies ist auch mit dem entsprechenden Eisvolumenverlust verbunden (Abb. 8). Die Ergebnisse zeigen aber große Spanne an möglichen Szenarien (graue Fläche), die durch die Unsicherheiten in Klimaprojektionen, globalen Klimamodellen und Unsicherheiten in Parametrisierung des hydrologischen Modells zustande kommt. Die Analyse von Beiträgen verschiedener Unsicherheitsquellen zu der Gesamtvarianz (Abb. 9) zeigte, dass die globalen Klimamodelle zum größten Teil zur Gesamtunsicherheit beitragen. Erst gegen Ende des Jahrhunderts die Unsicherheiten in den Projektionen (RCPs) sich den von GCMs angleicht. Die Unsicherheit in den hydrologischen Modellparametern trägt etwa zwischen 5 und 20% zur Gesamtvarianz bei.

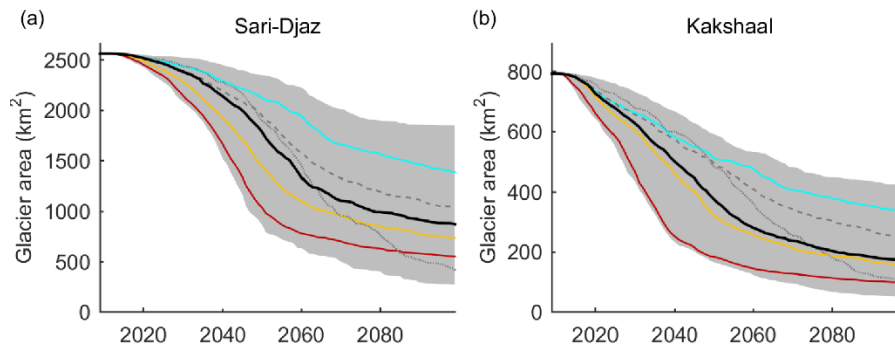


Abb. 7: Modellerte Änderungen der Gletscherflächen in (a) Sari-Djaz und (b) Kakshaal Einzugsgebieten. Die schwarze Linie stellt den Median und die graue Fläche die 5-95 Perzentil-Spanne vom Modellensemble. Die Farblinien zeigen die ausgewählten GCMs, die unterschiedliche Klimaprojektionen darstellen: kalt (hellblau), warm-nass (gelb) und warm-trocken (rot). Die grauen Linien zeigen den Median von Projektionen mit RCMs CCLM und REMO.

Die Analyse von Abflussänderungen im Aksu-Gebiet zeigt eine Zunahme vom Abfluss in den 2020-er Jahren (2010-2039) und eine Abnahme des Abflusses in den folgenden Jahrzehnten (Abb. 10). Dies deutet auf einen Wendepunkt in den Abflusstrends, der für das Aksu-Gebiet für die Jahre 2040-2050 projiziert wurde. Der Abfluss in 2080-er nimmt im Schnitt um 13% im Vergleich zu Kontrollperiode (1971-2000) ab (Duethmann et al., in review). Die Abflussabnahme ist insbesondere in den Sommermonaten ausgeprägt. Zum Teil ist dies durch eine Verlagerung der Abflussspitze in die Frühlingsmonate aufgrund von früheren Schneeschmelze zu erklären und zum anderen durch die sinkende Gletscherwasserspende in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts aufgrund vom Gletscherflächenrückgang. Zusätzlich steigt laut Szenario-Auswertung die interannuelle Variabilität des Abflusses an, was die Wasserwirtschaft vor zusätzlicher Herausforderung stellt und die Bedeutung der saisonalen Abflussvorhersage unterstreicht.

Die Szenario-Analyse (zusammen mit PIK) für die Einzugsgebiete Hotan und Yarkand zeigen eine Zunahme des Abflusses gegenüber der Kontrollperiode im Laufe der ganzen Untersuchungsperiode bis 2100 (Abb. 11) Die Zunahme ist auf den projizierten Anstieg im Niederschlag sowie einen verzögerten Gletscherrückgang im Vergleich zu Aksu-Gebiet. Dieser bleibt aber aufgrund von nur wenigen für die Bias-Korrektur verwendeten Niederschlagsstationen unsicher. Der projizierte Abflussanstieg im Hotan und Yarkand kann aber trotzdem, den Wendepunkt der Abflusstrends im Unterlauf des Tarim-Flusses laut WASA-Modellrechnungen nicht abwenden.

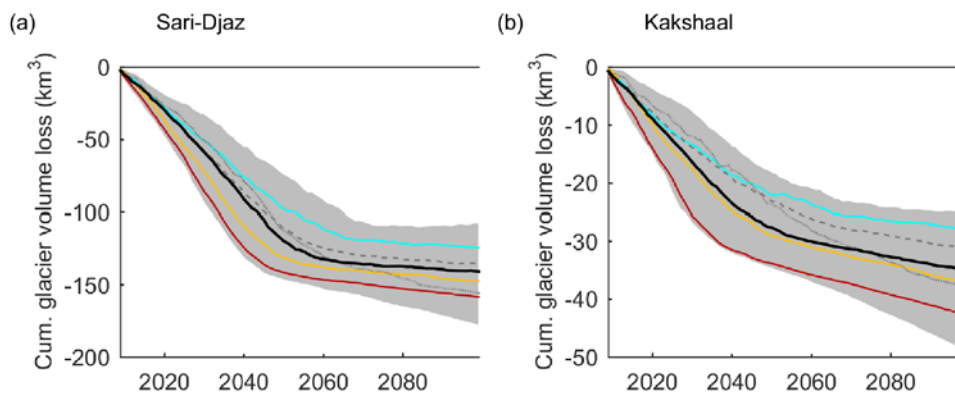


Abb. 8: Projektionen von kumulierten Änderungen der Gletschervolumina in (a) Sari-Djaz und (b) Kakshaal Einzugsgebieten. Legende wie in Abb. 7.

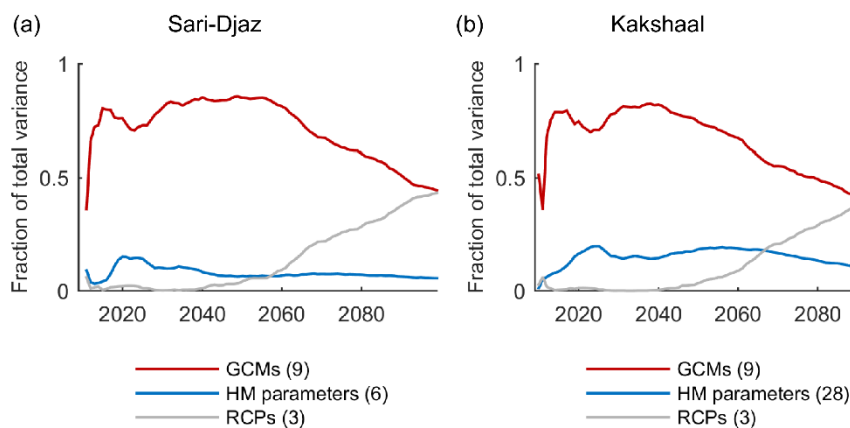


Abb. 9: Beitrag unterschiedlicher Unsicherheitsquellen zur Gesamtunsicherheit von abgeschätzten Änderungen der Gletscherflächen durch GCMs, RCPs und hydrologische Modellparameter in (a) Sari-Djaz und (b) Kakshaal Einzugsgebieten.

Modellierung der Gletscheränderungen

In einer flankierenden Studie von Farinotti et al. (2015) mit Beteiligung von GFZ-Wissenschaftlern aus WB2 wurde der Gletscherrückgang (Masse und Fläche) im gesamten Tian Shan seit 60-er Jahren mit Hilfe von gemessenen Massenbilanzdaten, ICESat-Altimetriedaten, GRACE-Erdschweredaten und glaziologischer Modellierung analysiert. Für den gesamten Tian Shan wurde von 1961 bis 2012 ein Gletschermassenschwund von $27 \pm 15\%$ bestimmt. Diese Ergebnisse wurden auch regional aufgelöst und ein entsprechender Gletscherbeitrag zum Abfluss im Aksu-Gebiet quantifiziert, der sich im Jahresschnitt zwischen ~ 7 und 18% variiert. Dieser Anteil steigt aber in den Sommermonaten dramatisch an.

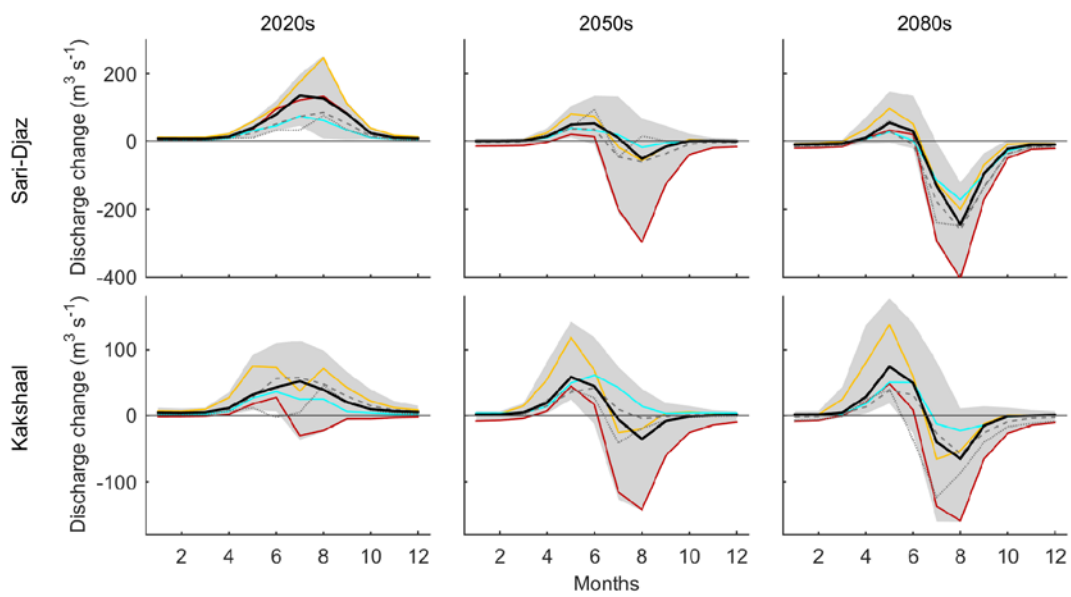


Abb. 10: Projizierten Änderungen im Abflussregime in “2020-er”, “2050-er” and “2080-er” im Vergleich zu der Kotrollperiode 1971-2000 für Sari-Djaz (oben) und Kakshaal Einzugsgebiet (unten). Legende wie in Abb. 7.

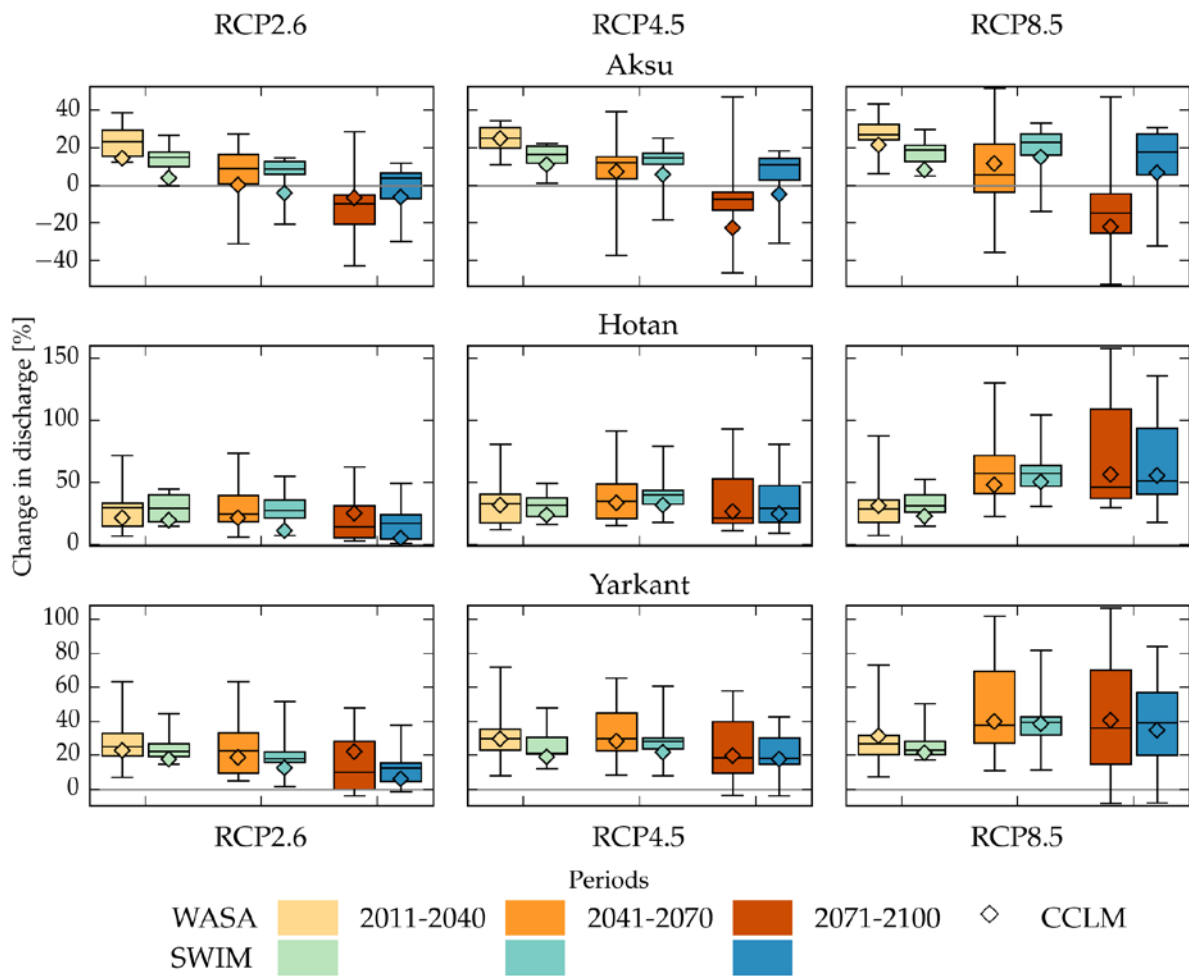


Abb. 11: Klimafolgenabschätzungen des Quellgebietsabflusses unter den drei IPCC Emissionsszenarien (RCP2.6, 4.5, 8.5) ermittelt von WASA und SWIM. Die Rauten markieren die Veränderungsmagnituden des regionalen Klimamodells CCLM.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

| | € |
|--|------------|
| Personalkosten (Position 0812) | 843,905.90 |
| Vergabe von Aufträgen (Position 0835) | 15,603.92 |
| Sonstige Ausgaben (Position 0843) | 8,245.40 |
| Reisekosten (Position 0846) | 26,186.25 |
| Gegenstände über 410 EUR (Position 0850) | 0.00 |
| Gesamt | 893,941.47 |

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

Die geleisteten Arbeiten waren notwendig, um die Ergebnisse (II.1 und III.2) zu erzielen und auszuarbeiten. Die Arbeiten sind mit angemessenen Ressourceneinsatz durchgeführt worden.

4. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

GIS und Datenmanagement

Die Arbeitsgruppe GIS und Datenmanagement etablierte für SuMaRiO erfolgreich eine auf internationalen Standards (ISO/TC211, OGC) basierte wissenschaftliche Geodateninfrastruktur (Scientific SDI). Für die Wissenschaft und interessierte Öffentlichkeit besteht derzeit der Zugang zu mehr als 20 Gigabytes an wissenschaftlichen Daten. Diese Datenbasis steht in einem dauerhaften Speichersystem über die Projektlaufzeit zur Verfügung. Die zusätzliche Vergabe von DOI Nummern sorgt für eine eindeutige und persistente Verknüpfung der Daten mit den wissenschaftlichen Stellen und kann für Publikationen herangezogen werden. Gleichfalls können die Datensätze der wissenschaftlichen Geodateninfrastruktur als Eingangsparameter für das DSS (Decision Support System; WP 5.3.1) dienen.

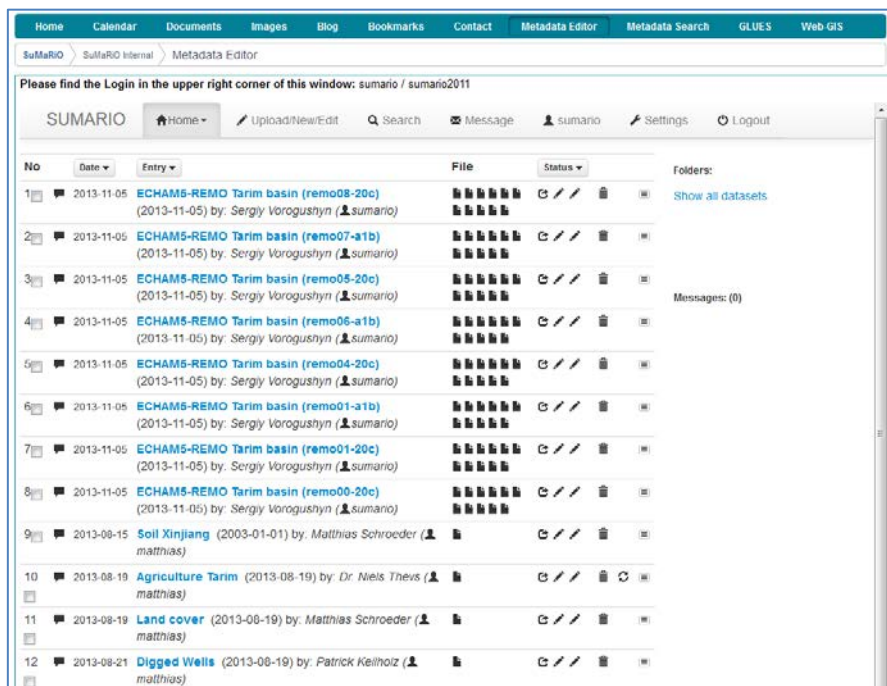


Abb. 12: Ansicht des panMetaDocs Metadateneditor mit einigen SuMaRiO Daten.

Hydrologische Modellierung

Dieses Teilprojekt zielte auf die Entwicklung neuer Ansätze für die hydrologische Modellierung von Gletscher- und Schnee-dominierten Einzugsgebiete des oberen Tarim Flusses, der durch ein arides bis semi-arides Klima geprägt ist. Das erforderte die Implementierung neuartiger Prozessbeschreibungen (Gletscherflächendynamik und Schneeschmelze) und Kalibrierungsmethoden basierend auf neu erhobenen Daten. Diese Ansätze wurden am GFZ im WASA Modell implementiert, das für weitere Nutzung zur Verfügung steht. Die Ergebnisse unserer Forschungsarbeiten wurden für die internationale Forschungscommunity und für die Stakeholder präsentiert. Die neuen Fernerkundungsdaten

Daten und erweiterten Modellansätze sind für diese Region von großer Bedeutung, da die Verfügbarkeit von Bodendaten extrem gering ist.

Unsere Ergebnisse von glazio-hydrologischer Modellierung und Attributierungsanalysen zeigten, dass bis zu 20% des Abflusses in den letzten Jahrzehnten auf den Masseverlust von Gletschern zurückzuführen sind. Ein weiterer Rückzug der Gletscher würde eine Abflusszunahme für mehrere Jahrzehnte in der Zukunft zur Folge haben, würde aber nicht ewig andauern. Ein starker Rückgang des Gletscherabflusses ist nach Erreichen eines Wendepunkts zu erwarten. Der Zeitpunkt des Wendepunkts im Aksu Gebiet, das derzeit bis zu 70-80% des jährlichen Abflusses zum oberen Tarim beiträgt, wurde etwa in 2040-2050 prognostiziert. Im Hotan und Yarkand wird es später erwartet, die Aussagen in diesen beiden Gebieten sind jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet, aufgrund von beschriebener Knappheit von Beobachtungsdaten. Dies ist ein wichtiges Ergebnis und hat wesentlichen Einfluss auf alle Entscheidungen, die auf zukünftiger Wasserverfügbarkeit basieren. Wassermanager sollten sich der Situation bewusst sein, dass die Hydrologie der Region bedeutenden Veränderungen unterliegt, die Gletscher schrumpfen und die Zunahme der Wasserverfügbarkeit in den Einzugsgebieten der Quellflüsse in den Jahrzehnten nicht als ein Muster verstanden werden darf, nach dem sich die Wasserverfügbarkeit in Zukunft entwickeln wird.

Simulierte Szenarien der zukünftigen Wasserverfügbarkeit einschließlich deren Unsicherheiten, z.B. durch den Einsatz verschiedener globaler Klimamodelle wurden für das SuMaRiO-DSS bereitgestellt. Über die Erforschung der verschiedenen Szenarien sollen Studierende und der fachliche Nachwuchs (die möglichen Wassermanager der Zukunft) ein Gefühl für diese Unsicherheiten bekommen. Diese Unsicherheiten sind oft schwer zu kommunizieren, aber sie sind sehr wichtig. Die Szenarien sind keine exakten Vorhersagen der zukünftigen Wasserverfügbarkeit; sie zeigen vielmehr mögliche zukünftige Veränderungen. Eine wissenschaftlich fundierte Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf Klimavariablen und Abfluss ist die Basis für mittel- und langfristige Entscheidungen im Wasser- und Landnutzungsmanagement im Einzugsgebiet des Tarim-Oberlaufs.

Mit der Abschätzung von Wasserverfügbarkeit in den Zuflüssen des oberen Tarims hat das GFZ einen wesentlichen Input für die Bewertung von verschiedenen Szenarien der Landnutzung bereitgestellt, die anschließend vom PIK analysiert wurden. Diese Ergebnisse, die im WP2 erzielt wurde, sind wichtig für die langfristige Planung von Wasser- und Landnutzung. Daher liefern unsere Ergebnisse wertvolle Informationen für die örtliche Bevölkerung und ermöglichen es, derzeitige Aktivitäten zu überprüfen und optimale Pläne für die Zukunft zu entwickeln. Aufbauend auf unseren Ergebnissen können langfristige Investitionen in die Wasserinfrastruktur und in das Landmanagement getätigt werden.

5. Fortschritte bei anderen Stellen auf dem Gebiet des Vorhabens

Soweit bekannt haben andere in diesem Bericht nicht genannte Stellen nicht auf dem Gebiet der GIS/Datenmanagement und glazio-hydrologischer Modellierung gearbeitet.

6. Geplante und erfolgte Veröffentlichungen

6.1 Erfolgte Veröffentlichungen (chronologisch, GFZ Autoren im SuMaRiO-Projekt hervorgehoben)

Peer-reviewed

Duethmann, D., J. Zimmer, A. Gafurov, A. Güntner, D. Kriegel, **B. Merz**, and **S. Vorogushyn** (2013): Evaluation of areal precipitation estimates based on downscaled reanalysis and station data by hydrological modelling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 2415-2434.

Duethmann, D., Peters, J., Blume, T., **Vorogushyn, S.**, Güntner, A. (2014): The value of satellite-derived snow cover images for calibrating a hydrological model in snow-dominated catchments in Central Asia. - *Water Resources Research*, 50, 3, p. 2002-2021.

Unger-Shayesteh, K., **Vorogushyn, S.**, Farinotti, D., Gafurov, A., **Duethmann, D.**, Mandychew, A., **Merz, B.** (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, p. 4-25.

Duethmann, D., T. Bolch, T. Pieczonka, D. Farinotti, D. Kriegel, **S. Vorogushyn, B. Merz**, T. Jiang, B. Su, and A. Güntner (2015): Attribution of streamflow trends in snow- and glacier melt dominated catchments of the Tarim River, Central Asia, *Water Resources Research*, 51, 6, 4727-4750.

Farinotti, D., Longuevergne, L., Moholdt, G., **Duethmann, D.**, Mölg, T., Bolch, T., **Vorogushyn, S.**, Güntner, A. (2015): Substantial glacier mass loss in the Tien Shan over the past 50 years. - *Nature Geoscience*, 8, 716-722.

Gafurov, A., **Vorogushyn, S.**, Farinotti, D., **Duethmann, D.**, Merkushkin, A., **Merz, B.** (2015): Snow-cover reconstruction methodology for mountainous regions based on historic in situ observations and recent remote sensing data. - *The Cryosphere*, 9, 451-463.

Krysanova, V., M. Wortmann, T. Bolch, **B. Merz, D. Duethmann**, J. Walter, Sh. Huang, T. Jiang, B. Su & Z. W. Kundzewicz (2015): Analysis of current trends in climate parameters, river discharge and glaciers in the Aksu River basin (Central Asia), *Hydr. Sci. Journal*, 60(4), 566-590.

Kundzewicz, Z., **B. Merz, S. Vorogushyn**, H. Hartmann, **D. Duethmann**, M. Wortmann, S. Huang, B. Su, T. Jiang, and V. Krysanova (2015): Analysis of changes in climate and river discharge with focus on seasonal runoff predictability in the Aksu River Basin, *Environmental Earth Sciences*, 73(2), 501-516.

Rumbaur, C., Thevs, N., Disse, M., Ahlheim, M., Brieden, A., Cyffka, B., Doluschitz, R., **Duethmann, D.**, Feike, T., Frör, O., Gärtner, P., Halik, Ü., Hill, J., Hinnenthal, M., Keilholz, P., Kleinschmit, B., Krysanova, V., Kuba, M., Mader, S., Menz, C., Othmanli, H., Pelz, S., Schroeder, M., Siew, T.F., Stender, V., Stahr, K., Thomas, F.M., Welp, M., Wortmann, M., Zhao, X.N., Chen, X., Jiang, T., Zhao, C.Y., Zhang, X.M., Yu, R.D., Yimit, H. (2015): Sustainable management of river oases along the Tarim River (SuMaRiO) in Northwest China under conditions of climate change. *Earth System Dynamics*, 6:83–107.

Duethmann, D., Menz, Ch., Jiang, T., **Vorogushyn, S.** (2016): Projections for headwater catchments of the Tarim River reveal glacier retreat and decreasing surface water availability but uncertainties are large. *Environmental Research Letters*, 11 (5), 054024.

Weitere Publikationen und Tagungsbeiträge

Schroeder, M. & Wächter, J. (2012): A Scientific SDI Node for Sustainable Land and Water Management, Workshop “Testbed Research and Scientific SDI”, AGILE 2012 – 15th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 24.-27.4.2012 Avignon, France

Schroeder, M. & Hinnenthal, M. (2012): A Scientific SDI for Decision Support within the Project SuMaRiO, AGIT 2012, 4.-6.7.2012 Salzburg, Austria

Duethmann, D., A. Güntner, J. Peters, and **S. Vorogushyn** (2013): The value of snow cover maps for hydrological model calibration in snow dominated catchments in Central Asia. EGU General Assembly Conference Abstracts.

Duethmann, D., J. Zimmer, A. Güntner, A. Gafurov, D. Kriegel, **B. Merz**, and **S. Vorogushyn** (2013): Using hydrological modelling for the evaluation of areal precipitation estimates based on downscaled reanalysis and station data in data sparse mountainous catchments in Central Asia. EGU General Assembly Conference Abstracts, solicited poster.

Farinotti, D., Güntner, A., Barthelmes, F., **Duethmann, D.**, Gafurov, A., Huss, M., Kriegel, D., **Vorogushyn, S.** (2013): The glacier mass balance of the Tien Shan mountain range, Central Asia - Proceedings, MOUNTAINHAZARDS 2013: Natural Hazards, Climate Change and Water in Mountain Areas (Bishkek 2013) (Bishkek 2013), p. 187.

Schroeder, M., Stender, V., Klump, J., **Wächter, J.**, Kunkel, R. (2013): The design of monitoring and data infrastructures — Applying a forward-thinking reference architecture. Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2013 10th IEEE International Conference, Digital Object Identifier: 10.1109/ICNSC.2013.6548739, IEEE Conference Publications, Page(s): 216 – 220.

Farinotti, D., Longuevergne, L., Mohold, G., **Duethmann, D.**, Bolch, T., **Vorogushyn, S.**, Güntner, A., Gafurov, A. (2014): Adding the Long-Term Perspective: Tien Shan’s Glacier Mass Change during 1961-2012 - Abstracts, AGU 2014 Fall Meeting (San Francisco, USA 2014).

Duethmann, D., Bolch, T., Pieczonka, T., Farinotti, D., Jiang, T., Güntner, A. (2014): A model based attribution of streamflow trends in headwater catchments of the Tarim River, Central Asia - Abstracts, AGU 2014 Fall Meeting (San Francisco, USA 2014).

Duethmann, D., J. Zimmer, J. Peters, D. Kriegel, A. Gafurov, T. Blume, **B. Merz, S. Vorogushyn**, and A. Güntner (2014): Kaum Daten? Angepasste Ansätze für die hydrologische Modellierung in datenarmen Gebirgseinzugsgebieten. Tri-nationaler Workshop - Hydrologische Prozesse im Hochgebirge, Obergurgl, Austria.

Schroeder, M., Stender, V. and **Wächter, J.** (2014): Data Publishing Services in a Scientific Project Platform [EGU2014-2595], Poster contribution at EGU General Assembly 2014, Vienna, Austria, 27 April – 02 May 2014. (<http://de.slideshare.net/MatthiasSchroeder/egu2014-sumario-final>)

Farinotti, D., **Vorogushyn, S., Duethmann, D.**, Longuevergne, L., Moholdt, G., Bolch, T., Gafurov, A., Güntner, A. (2015): Tien Shan's glacier mass changes during the last half-century and implications for glacier melt contribution. - Abstracts, International Symposium on Glaciology in High-Mountain Asia (Kathmandu, Nepal 2015).

Duethmann, D., Farinotti, D., Kriegel, D., **Merz, B., Vorogushyn, S.**, Pieczonka, T., Bolch, T., Tong, J., Buda, S., Güntner, A. (2015): Understanding streamflow changes in glacierized headwater catchments of the Tarim river: attribution of past and projection of future changes based on hydrological modelling - Abstracts, International Symposium on Glaciology in High-Mountain Asia (Kathmandu/Nepal 2015).

Duethmann, D. (2015): Hydrological modeling of mountain catchments in Central Asia: approaches for data sparse catchments, Dissertation, Potsdam: Univ., 95 p.

Unger-Shayesteh, K., **Duethmann, D.**, Gafurov, A., Gerlitz, L., **Vorogushyn, S.** (2015): Die Bedeutung der Kryosphäre im Tien Shan als "Wasserturm" für Zentralasien. - In: Lozán, J., Grassl, H., Kasang, D., Notz, D., Escher-Vetter, H. (Eds.), Warnsignal Klima: das Eis der Erde, Hamburg : Verl. Wissenschaftliche Auswertungen, p. 271-278.

6.3 Geplante Veröffentlichungen (in Vorbereitung)

Wortmann et al. Climate impact assessment on cryosphere and water discharge of the Aksu, Hotan and Yarkand tributaries of the Tarim River. (Lead: PIK Potsdam with contributions from GFZ)

Huang et al. Combined assessment of climate change and agricultural management scenarios for the water balance of the Upper Tarim River Basin, China (Lead: PIK Potsdam with contributions from GFZ)

IV. Bericht Kurzfassung

Das Teilvorhaben wurde im Rahmen des Verbundvorhaben SuMaRiO (Nachhaltige Bewirtschaftung von Flussoasen entlang des Tarimflusses in China) durchgeführt. Das übergeordnete Ziel des Teilvorhabens "GIS und Datenmanagement" war es, die Entwicklung eines Projekt Geodaten Portals, Integration von räumlichen Daten und die Gewährleistung vom Zugang für die Projektpartner und Forschungscommunity. In dem Teilprojekt der Sektion Hydrologie am GFZ war das Hauptziel die Entwicklung von Modellierungs- und Kalibrierungsansätze für Gletscher und Schnee-dominierten Einzugsgebiete des oberen Tarims (Aksu, Hotan, Yarkand) sowie die Durchführung von Abschätzungen der Wasserverfügbarkeit unter Berücksichtigung verschiedener Szenarien von Klimaänderungen.

Die Arbeiten in diesen Teilprojekten wurden im Arbeitspaket WP1.4 "GIS und Data Management" integriert bzw. leisteten einen Beitrag zu WP2.1 "Monitoring of cryosphere and modelling of headwater catchments" und WP2.2 "Regional climate scenarios and medium-term precipitation forecasts".

Das Teilprojekt „GIS und Data Management“ im vorliegenden Teilvorhaben realisierte ein integriertes Konzept für das Daten- und Informationsmanagement im komplexen Umfeld eines internationalen wissenschaftlichen Projektes. Für die Wissenschaft und interessierte Öffentlichkeit besteht derzeit der Zugang zu mehr als 20 Gigabytes an wissenschaftlichen Daten, die im Laufe des Projektes gesammelt, entstanden und gespeichert wurden. Diese Datenbasis steht in einem dauerhaften Speichersystem zur Verfügung. Weiterhin trägt die Etablierung der wissenschaftlichen GDI mit dem Webdienste System zur Erfassung und Veröffentlichung der Daten und Metadaten inklusive der Vergabe der DOI zu einer nachhaltigen Dateninfrastruktur bei.

Im Teilprojekt „Hydrologische Modellierung“ wurde ein modernes glazio-hydrologisches Modell WASA weiterentwickelt und für alle drei Quelleinzugsgebiete des oberen Tarims (Aksu, Hotan, Yarkand) aufgesetzt, kalibriert und validiert. In Kombination mit einem einzigartigen Ensemble an Klimaszenarien, das mehrere Emissionsszenarien, globale und regionale Klimamodelle umfasste, wurde eine umfangreiche Analyse von Klimaänderungsfolgen für die Kryosphäre und Wasserhaushalt dieser Region zusammen mit den PIK Partnern durchgeführt. Diese Ergebnisse bildeten die Grundlage für die Management Empfehlungen und stellten ein Input in das SuMaRiO-DSS dar.

Unsere Ergebnisse von glazio-hydrologischer Modellierung und Attributierungsanalysen zeigten, dass bis zu 20% des Abflusses in den letzten Jahrzehnten auf den Masseverlust von Gletschern zurückzuführen sind. Ein weiterer Rückzug der Gletscher würde eine Abflusszunahme für mehrere Jahrzehnte in der Zukunft zur Folge haben, würde aber nicht ewig andauern. Ein starker Rückgang des Gletscherabflusses ist nach Erreichen eines Wendepunkts zu erwarten. Der Zeitpunkt des Wendepunkts im Aksu Gebiet, das derzeit bis zu 70-80% des jährlichen Abflusses zum oberen Tarim beiträgt, wurde etwa in 2040-2050 prognostiziert. Im Hotan und Yarkand wird es später erwartet, die Aussagen in diesen beiden

Gebieten sind jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet, aufgrund von beschriebener Knappheit von Beobachtungsdaten. Dies ist ein wichtiges Ergebnis und hat wesentlichen Einfluss auf alle Entscheidungen, die auf zukünftiger Wasserverfügbarkeit basieren. Wassermanager sollten sich der Situation bewusst sein, dass die Hydrologie der Region bedeutenden Veränderungen unterliegt, die Gletscher schrumpfen und die Zunahme der Wasserverfügbarkeit in den Einzugsgebieten der Quellflüsse in den Jahrzehnten nicht als ein Muster verstanden werden darf, nach dem sich die Wasserverfügbarkeit in Zukunft entwickeln wird.

Literatur

Aizen, V., Aizen, E. Glazirin, G., Loaiciga, H. A. (2000): Simulation of daily runoff in Central Asian alpine watersheds. *Journal of Hydrology*, 238: 15-34.

Friedl, M. A., McIver, D. K., Hodges, J. C. F., Zhang, X. Y., Muchoney, D., Strahler, A. H., Woodcock, C. E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A., Baccini, A., Gao, F., and Schaaf, C. (2002): Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results, *Remote Sens. Environ.*, 83, 287–302.

Gudmundsson, L., J.B. Bremnes, J.E. Haugen, and T. Engen-Skaugen (2012): Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations - a comparison of methods, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16(9), 3383-3390.

Güntner, A. (2002): Large-scale hydrological modelling in the semi-arid North-East of Brazil. PIK-Report No.77. Potsdam Institute for Climate Research, Germany (http://www.pik-potsdam.de/pik_web/publications/pik_reports/reports/reports/pr.77/pr77.pdf).

Güntner, A., Bronstert, A. (2002): Process-based modelling of large-scale water availability in a semi-arid environment: process representation and scaling issues. In G. H. Schmitz, editor, *Schriftenreihe des Institutes für Abfallwirtschaft und Altlasten*, Universität Dresden, Dresden, pp. 46.

Güntner, A., Bronstert, A. (2003): Large-scale hydrological modeling of a semiarid environment: model development, validation and application, In T. Gaiser, M. Krol, H. Frischkorn, and J. C. Araujo, editors, *Global Change and Regional Impacts*. Springer-Verlag, Berlin.

Hagg, W., Braun, L. N., Weber, M., Becht, M. (2006): Runoff modelling on glacierized Central Asian catchments for present-day and future climate. *Nordic Hydrology* 37: 93-105.

Hagg, W., Braun, L. N., Kuhn, M., Nesgaard, T. I. (2007): Modelling of hydrological response to climate change in glacierized Central Asian catchments. *Journal of Hydrology*, 332: 40-53.

Huss, M., Farinotti, D., Bauder, A., Funk, M. (2008): Modelling runoff from highly glacierized alpine drainage basins in a changing climate. *Hydrological Processes*, 22: 3888-3902.

Huss, M., G. Juvet, D. Farinotti, and A. Bauder (2010): Future high-mountain hydrology: a new parameterization of glacier retreat, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14(5), 815-829.

Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., and Guevara, E.: *Holefilled seamless SRTM data*, 4th Edn., International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), 2008.

Li, X., Williams, M. W. (2008) Snowmelt runoff modeling in arid mountain watershed, Tarim Basin, China. *Hydrological Processes*, 22: 3931-3940.

Peters, J., Bolch, T., Gafurov, A., Prechtel, N. (2015): Snow Cover Distribution in the Aksu Catchment (Central Tien Shan) 1986–2013 Based on AVHRR and MODIS Data. - *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8, 11, p. 5361-5375.

Pfeffer, W. T., Arendt, A. A., Bliss, A., Bolch, T., Cogley, J. G., Gardner, A. S., Hagen, J.-O., Hock, R., Kaser, G., Kienholz, C., Miles, E. S., Moholdt, G., Mölg, N., Paul, F., Radic, V., Rastner, P., Raup, B. H., Rich, J., Sharp, M. J., Andreassen, L., Bajracharya, S., Barrand, N., Beedle, M., Berthier, E., Bhambri, R., Brown, I., Burgess, D., Burgess, E., Cawkwell, F., Chinn, T., Copland, L., Cullen, N., Davies, B., Angelis, H. D., Fountain, A., Frey, H., Giffen, B., Glasser, N., Gurney, S., Hagg, W., Hall, D., Haritashya, U., Hartmann, G., Herreid, S., Howat, I., Jiskoot, H., Khromova, T., Klein, A., Kohler, J., König, M., Kriegel, D., Kutuzov, S., Lavrentiev, I., Le Bris, R., Li, X., Manley, W., Mayer, C., Menounos, B., Mercer, A., Mool, P., Negrete, A., Nosenko, G., Nuth, C., Osmonov, A., Pettersson, R., Racoviteanu, A., Ranzi, R., Sarıkaya, M., Schneider, C., Sigurðsson, O., Sirguey, P., Stokes, C., Wheate, R., Wolken, G., Wu, L., Wyatt, F. (2014): The Randolph Glacier Inventory: a globally complete inventory of glaciers. - *Journal of Glaciology*, 60, 221, p. 537-552.

Schaefli, B., Hingray, B., Niggli, M., Musy, A. (2005): A conceptual glacio-hydrological model for high mountainous catchments, *Hydrology and Earth System Sciences*, 9: 95-109.

Schaefli, B., Hingray, B., Musy, A. (2007): Climate change and hydropower production in the Swiss Alps: quantification of potential impacts and related modelling uncertainties. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(3): 1191-1205.

Surazakov, A.B. and V.B. Aizen (2006): Estimating volume change of mountain glaciers using SRTM and map-based topographic data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44(10), 2991-2995.

Yatagai, A., Kamiguchi, K., Arakawa, O., Hamada, A., Yasutomi, N., and Kitoh, A. (2012): APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 93, 1401–1415.

Wang, Y. (2006): *Local Records of the Akesu River Basin*, Fangzhi publisher, China.

Weedon GP, Gomes S, Viterbo P, Shuttleworth WJ, Blyth E, Österle H, Adam JC, Bellouin N, Boucher O, Best M (2011): Creation of the WATCH Forcing Data and Its Use to Assess Global and Regional Reference Crop Evaporation over Land during the Twentieth Century. *Journal of Hydromet.* 12, 823–848.

Berichtsblatt

| | |
|---|---|
| 1. ISBN oder ISSN 10.1002/2014WR016716 | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung |
| 3. Titel Attributierung der Abflusstrends in Gletscher- und Schnee-dominierten Einzugsgebieten des Tarimflusses, Zentralasien | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Duethmann, Doris; Bolch, Tobias; Farinotti, Daniel; Kriegel, David; Vorogushyn, Sergiy; Merz, Bruno; Pieczonka, Tino; Jiang, Tong; Su, Buda; Güntner, Andreas | 5. Abschlussdatum des Vorhabens Dezember 2015 |
| | 6. Veröffentlichungsdatum 30. Juni 2015 |
| | 7. Form der Publikation Fachzeitschrift „Water Resources Research“ |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsches GeoForschungszentrum GFZ, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Deutschland; Institut für Kartographie, TU Dresden; Department of Geography Universität Zürich, Schweiz; National Climate Centre, Beijing, Volksrepublik China; Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Volksrepublik China; Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science, Urumqi, Volksrepublik China | 9. Ber. Nr. durchführende Institution |
| | 10. Förderkennzeichen *) 01LL0918I |
| | 11. Seitenzahl 24 |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn | 13. Literaturangaben 104 |
| | 14. Tabellen 8 |
| | 15. Abbildungen 10 |
| 16. Zusätzliche Angaben | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) | |

*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden. BMBF-Vodr. 3831/03.07_2

Berichtsblatt

18. Kurzfassung

Der beobachtete Abfluss in den Quelleinzugsgebieten des Tarim Flusses (Zentralasien) nahm im Zeitraum 1957-2004 um ca. 30% zu. Diese Studie zielt auf die Abschätzung, inwieweit diese Abflusstrends zu den Änderungen der Temperatur und des Niederschlags attribuiert werden können. Die Analyse umfasst einen datenbasierten Ansatz, der auf multipler linearer Regression basiert, und einen simulation-basierten Ansatz, der auf einem hydrologischen Modell aufbaut. Das hydrologische Modell berücksichtigt die Änderungen sowohl der Gletscherflächen als auch der Gletschermächtigkeiten. Es wurde mit Hilfe eines multi-objektiven Optimisationsalgorithmus kalibriert, der auf Gletschermassenbilanzen und auf tägliche sowie inter-annuelle Abflussvariationen als Kriterien basiert. Die individuellen Beiträge der Änderungen der Gletschergeometrie, der Temperatur und des Niederschlags zu den Gesamttrends des Abflusses wurden durch Simulationsexperimente mit konstanter Gletschergeometrie und mit trend-bereinigter Temperatur und Niederschlag berechnet. Die Ergebnisse zeigten, dass die beobachteten Änderungen des Abflusses mit den Änderungen der Temperatur und des Niederschlags konsistent sind. In dem Sari-Djaz Einzugsgebiet wurde der Anstieg der Temperatur und der damit verbundene Anstieg der Gletscherschmelze als dominanter Treiber identifiziert, während im Kakshaal Einzugsgebiet sowohl der Anstieg der Temperatur als auch des Niederschlags eine entscheidende Rolle spielten. Ein Vergleich der beiden alternativen Ansätze machte den Vorteil des simulations-basierten Ansatzes deutlich. Dieser besteht in der prozess-basierten Beschreibung der Zusammenhänge, die im hydrologischen Modell implementiert wurde, im Gegensatz zu den rein statistischen Beziehungen im Regressionsmodell. Der daten-basierte Ansatz ist jedoch weniger anfällig für die Parameter- und Modellstruktur-Unsicherheiten und ist normalerweise schnell anwendbar. Eine komplementäre Anwendung beider Ansätze wird empfohlen.

19. Schlagwörter

20. Verlag

John Wiley & Sons, Inc., Boston, USA

21. Preis

Document Control Sheet

| | |
|--|---|
| 1. ISBN or ISSN 10.1002/2014WR016716 | 2. Type of document (e.g. report, publication) publication |
| 3. Title Attribution of streamflow trends in snow and glacier melt-dominated catchments of the Tarim River, Central Asia | |
| 4. Author(s) [Family name(s), First name(s)] Duethmann, Doris; Bolch, Tobias; Farinotti, Daniel; Kriegel, David; Vorogushyn, Sergiy; Merz, Bruno; Pieczonka, Tino; Jiang, Tong; Su, Buda; Güntner, Andreas | 5. End of project December 2015 |
| | 6. Publication date 30. Juni 2015 |
| | 7. Form of publication Journal "Water Resources Research" |
| 8. Performing organization(s) (Name, Address) GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany; Institute for Cartography, TU Dresden, Dresden, Germany; Department of Geography, University of Zurich, Zurich, Switzerland; National Climate Centre, China Meteorological Administration, Beijing, China; Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, China; Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science, Urumqi, China | 9. Originator's report no. |
| | 10. Reference no. 01LL0918I |
| | 11. No. of pages 24 |
| 12. Sponsoring agency (Name, Address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn | 13. No. of references 104 |
| | 14. No. of tables 8 |
| | 15. No. of figures 10 |
| 16. Supplementary notes | |
| 17. Presented at (Title, Place, Date) | |

Document Control Sheet

| | |
|--|------------------|
| | |
| <p>18. Abstract Observed streamflow of headwater catchments of the Tarim River (Central Asia) increased by about 30% over the period 1957–2004. This study aims at assessing to which extent these streamflow trends can be attributed to changes in air temperature or precipitation. The analysis includes a data-based approach using multiple linear regression and a simulation-based approach using a hydrological model. The hydrological model considers changes in both glacier area and surface elevation. It was calibrated using a multiobjective optimization algorithm with calibration criteria based on glacier mass balance and daily and interannual variations of discharge. The individual contributions to the overall streamflow trends from changes in glacier geometry, temperature, and precipitation were assessed using simulation experiments with a constant glacier geometry and with detrended temperature and precipitation time series. The results showed that the observed changes in streamflow were consistent with the changes in temperature and precipitation. In the Sari-Djaz catchment, increasing temperatures and related increase of glacier melt were identified as the dominant driver, while in the Kakshaal catchment, both increasing temperatures and increasing precipitation played a major role. Comparing the two approaches, an advantage of the simulation-based approach is the fact that it is based on process-based relationships implemented in the hydrological model instead of statistical links in the regression model. However, data-based approaches are less affected by model parameter and structural uncertainties and typically fast to apply. A complementary application of both approaches is recommended.</p> | |
| <p>19. Keywords</p> | |
| <p>20. Publisher John Wiley & Sons, Inc., Boston, USA</p> | <p>21. Price</p> |

Berichtsblatt

| | |
|---|---|
| 1. ISBN oder ISSN doi:10.1088/1748-9326/11/5/054024 | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung |
| 3. Titel Projektionen für Quelleinzugsgebiete entlang des Tarim Flusses zeigen schmelzende Gletscher und sinkende Wasserressourcen aber die Unsicherheiten sind groß | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Duethmann, Doris Menz, Christoph Jiang, Tong Vorogushyn, Sergiy | 5. Abschlussdatum des Vorhabens Dezember 2015 |
| | 6. Veröffentlichungsdatum 20. Mai 2016 |
| | 7. Form der Publikation Fachzeitschrift „Environmental Research Letters“ |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Deutschland Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung PIK, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Deutschland National Climate Centre, Qi Xiang Ke Ji Da Lou 827, 46, Zhongguancun Nandajie, Haidian, Beijing 100 081, Volksrepublik China | 9. Ber. Nr. durchführende Institution |
| | 10. Förderkennzeichen *) 01LL0918I |
| | 11. Seitenzahl 13 |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn | 13. Literaturangaben 69 |
| | 14. Tabellen 1 |
| | 15. Abbildungen 10 |
| 16. Zusätzliche Angaben | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) | |

*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden. BMBF-Vodr. 3831/03.07_2

Berichtsblatt

18. Kurzfassung

Im Tarim-Einzugsgebiet spielen die Wasserressourcen aus Gebirgsregionen eine Schlüsselrolle aufgrund des extrem ariden Klimas im Flachland. Diese Studie stellt eine Analyse der Auswirkungen der künftigen Klimaänderungen auf die Gletscher und auf die Verfügbarkeit des Oberflächenwassers im Quelleinzugsgebieten des Aksu Flusses, des wichtigsten Zuflusses des Tarim Flusses dar. Wir haben ein glazio-hydrologisches Modell angewendet, das zuvor anhand von multiplen Variablen und Zielfunktionen auf der Grundlage der täglichen und inter-annuellen Variationen des Abflusses und der Gletschermassenänderungen umfassend kalibriert und validiert wurde. Transiente Änderungen der Gletschergeometrie wurden mit Hilfe des Δh -Ansatzes simuliert. Für die Ensemble-Projektionen haben wir drei Emissionsszenarien, neun globalen Klimamodelle (GCMs) und zwei regionale Klimamodelle sowie verschiedene Parametersätze des hydrologischen Modells aus der multi-objektiven Kalibrierung berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen einen Rückgang der Gletscherflächen von -90% bis -32% bis zum Jahr 2099 (Referenzjahr~2008) (basierend auf dem 5-95 Perzentilbereich des Ensembles). Es wird erwartet, dass die Gletscherschmelze weiter zunimmt oder auf dem hohen Niveau in den ersten Dekaden des 21. Jahrhunderts bleibt. Dann nimmt diese aufgrund von schwindenden Gletscherflächen ab. Es wird erwartet, dass der Gesamtabfluss in Aksu-Quellgebieten in dem Zeitraum 2010-2039 (Referenzperiode 1971-2000) zunimmt, aber nimmt in der Periode 2070-2099 ab. Hinsichtlich der Saisonalität zeigen die Projektionen eine Zunahme des Abflusses im Frühling und Frühsommer im ganzen 21. Jahrhundert. Die Abflussänderungen mitten und im Spätsommer sind variabler und weisen eine Zu- bzw. Abnahme je nach Betrachtungsperiode und GCM auf. Unsicherheiten sind im Wesentlichen auf die Unterschiede zwischen GCMs zurückzuführen. Weitere wichtige Beiträge zu Unsicherheiten stammen von verschiedenen Emissionsszenarien in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts. Beiträge von Parametrisierung des hydrologischen Modells zu Ensemble-Unsicherheiten wurden grundsätzlich als klein identifiziert.

19. Schlagwörter

Klimaänderungen, hydrologische Modellierung, Gletscher, Tien Shan

20. Verlag

IOP Publishing, Bristol, England

21. Preis

Document Control Sheet

| | |
|---|--|
| 1. ISBN or ISSN doi:10.1088/1748-9326/11/5/054024 | 2. Type of document (e.g. report, publication) publicaton |
| 3. Title Projections for headwater catchments of the Tarim River reveal glacier retreat and decreasing surface water availability but uncertainties are large | |
| 4. Author(s) [Family name(s), First name(s)] Duethmann, Doris Menz, Christoph Jiang, Tong Vorogushyn, Sergiy | 5. End of project December 2015 |
| | 6. Publication date 20th May 2016 |
| | 7. Form of publication Journal Environmental Research Letters |
| 8. Performing organization(s) (Name, Address) GFZ German Research Centre for Geosciences, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Germany Potsdam Institute for Climate Impact Research, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Germany National Climate Centre, Qi Xiang Ke Ji Da Lou 827, 46, Zhongguancun Nandajie, Haidian, Beijing 100 081, People's Republic of China | 9. Originator's report no. |
| | 10. Reference no. 01LL0918I |
| | 11. No. of pages 13 |
| 12. Sponsoring agency (Name, Address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn | 13. No. of references 69 |
| | 14. No. of tables 1 |
| | 15. No. of figures 10 |
| 16. Supplementary notes | |
| 17. Presented at (Title, Place, Date) | |

Document Control Sheet

18. Abstract

In the Tarim River Basin, water resources from the mountain areas play a key role due to the extremely arid climate of the lowlands. This study presents an analysis of future climate change impacts on glaciers and surface water availability for headwater catchments of the Aksu River, the most important tributary to the Tarim River. We applied a glacio-hydrological model that underwent a comprehensive multivariable and multiobjective model calibration and evaluation, based on daily and interannual discharge variations and glacier mass changes. Transient glacier geometry changes are simulated using the Δh -approach. For the ensemble-based projections, we considered three different emission scenarios, nine global climate models (GCMs) and two regional climate models, and different hydrological model parameters derived from the multiobjective calibration. The results show a decline in glacier area of -90% to -32% until 2099 (reference ~ 2008) (based on the 5–95 percentile range of the ensemble). Glacier melt is anticipated to further increase or stay at a high level during the first decades of the 21st century, but then declines because of decreased glacier extents. Overall discharge in the Aksu headwaters is expected to be increased in the period 2010–2039 (reference 1971–2000), but decreased in 2070–2099. Seasonally, projections show an increase in discharge in spring and early summer throughout the 21st century. Discharge changes in mid to late summer are more variable, with increases or decreases depending on the considered period and GCM. Uncertainties are largely caused by differences between the different GCMs, with further important contributions from different emission scenarios in the second half of the 21st century. Contributions from the hydrological model parameters to the ensemble uncertainty were generally found to be small.

19. Keywords

climate change, hydrological modelling, glacier, Tien Shan

20. Publisher

IOP Publishing, Bristol, UK

21. Price