



universität
wien

MASTERARBEIT

Titel der Masterarbeit

„Geologische und glazialgeomorphologische
Untersuchungen im Bereich des Inylchek Gletschers
(Tien Shan, Republik Kirgistan)“

Verfasser

Alexander Kopecny, Bakk. rer. nat.

angestrebter akademischer Grad

Master of Science (MSc)

Wien, 2014

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 066 815

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Masterstudium Erdwissenschaften

Betreuer:

Ao. Univ.-Prof. Dr. Hermann Häusler

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG.....	3
1.1 Geografischer/ Orografischer Überblick	4
1.2 Klimatologischer Überblick.....	6
1.3 Geologischer Überblick.....	8
1.4 Geomorphologischer/Glazialer Überblick	10
1.4.1 Arbeitsgebiet oberer See	10
1.4.2 Arbeitsgebiet westliches Inylchek-Tal – Gripkov	12
2. PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG.....	14
2.1 Westliches Inylchek-Tal – Gripkov.....	14
2.2 Bereich oberer See	15
3. METHODIK	16
3.1 Westliches Inylchek-Tal – Gripkov.....	16
3.2 Bereich oberer See	16
4. DATENGRUNDLAGEN	17
4.1 Westliches Inylchek-Tal – Gripkov.....	17
4.1.1 Ikonos – Daten.....	18
4.1.2 RapidEye – Daten.....	18
4.2 Bereich oberer See	20
4.2.1 Historische Fotoaufnahmen.....	20
4.2.2 Luftbilder	20
4.2.3 Topografische Karten	20
4.2.4 Keyhole Satelliten Daten	21
4.2.5 Landsat – Daten	22
4.2.6 SPOT – Daten	24
4.2.7 Jers-1 – Daten	25
4.2.8 IRS-1C – Daten	26
4.2.9 Aster – Daten.....	27
4.2.10 Quickbird – Daten	27
4.2.11 Ikonos – Daten.....	28
4.2.12 RapidEye – Daten.....	28
5. BEARBEITUNG WESTLICHES INYLCHEK-TAL – GRIPKOV.....	29
5.1 Geologisch – (glazial)geomorphologische Kartierung	29
5.1.1 Orografisch linke Seite (Expedition 2009)	29
5.1.2 Orografisch rechte Seite (Expedition 2011).....	30
5.2 Zusammenfassung und Interpretation der Geländeaufnahmen	40
5.1 Kombination mit fernerkundungsbasierten Daten.....	44
6. BEARBEITUNG BEREICH OBERER SEE.....	46
6.1 Bearbeitung/Analyse der fernerkundungsbasierten Daten.....	46
1903	46
1943 – 1960	48
1961 – 1989	54
1990 – 1999	70
2000	80
2001 – 2011	89

6.2	Zusammenfassung und Diskussion der Zeitreihenanalyse „oberer See“	95
7.	AUSBLICK	105
7.1	Bereich westliches Inylchek-Tal – Gripkov	105
7.2	Bereich oberer See	106
8.	DANKSAGUNG	107
	LITERATURVERZEICHNIS	108
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	112
	TABELLENVERZEICHNIS	120
	ANHANG	I
I.	Zusammenfassung	i
II.	Datengrundlagen	iii
III.	Legende der geologischen Karte	v
IV.	Lebenslauf	vi

1. Einleitung

Die vorliegende Masterarbeit wurde im Rahmen des Masterstudiums Erdwissenschaften an der Universität Wien verfasst. Sämtliche vorliegende Untersuchungen, sowie deren Finanzierung erfolgten im Zuge des FP7 ERA-NET Projektes EURAS-CLIMPACT ("Impact of climate change and related glacier hazards and mitigation strategies in the European Alps, Swedish Lapland and the Tien Shan Mountains, Central Asia", Projektleitung Dr. Hermann Häusler).

Behandelt werden zwei getrennte Arbeitsgebiete (siehe Abbildung 1) welche sich beide im Bereich des Inylchek Gletschersystems in Kirgistan (Zentralasien) befinden.

Das erste Arbeitsgebiet ist im westlichen Inylchek-Tal, östlich der Talverengung „Gripkov“, situiert. In diesem Bereich wurden vorwiegend geologisch/sedimentologische Fragestellungen behandelt, welche im Rahmen von Geländeaufnahmen und im weiteren Schritt durch Methoden der Fernerkundung erarbeitet werden konnten.

Das zweite Arbeitsgebiet liegt im unteren Bereich des nördlichen Inylchek-Tales. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Zeitreihenanalyse des in diesem Arbeitsgebiet situierten nördlichen Inylchek Gletschers mit Methoden der Fernerkundung durchgeführt.

Die für diese Masterarbeit beziehungsweise deren Fragestellungen nötigen geologischen und geomorphologischen Geländearbeiten konnten im Rahmen von zwei Expeditionen im Jahr 2009 und 2011 realisiert werden.

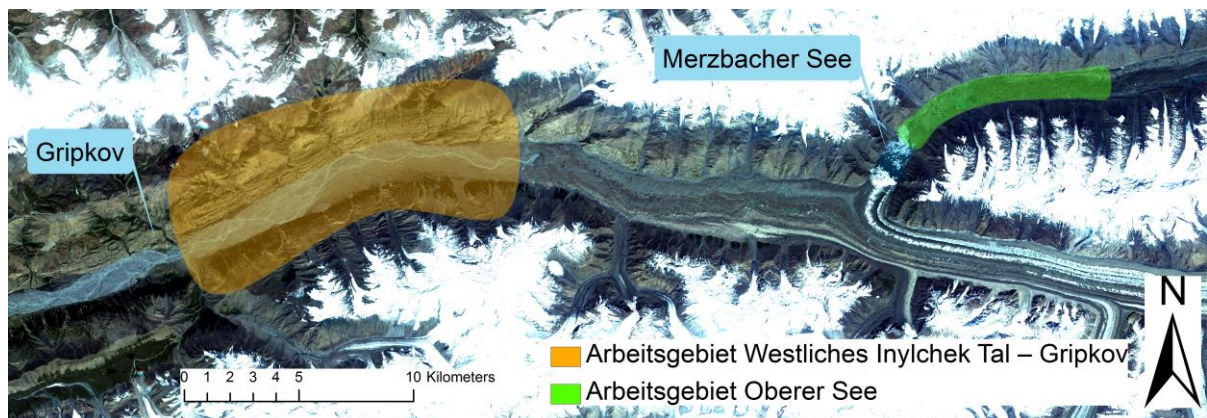


Abbildung 1: Arbeitsgebiete der vorliegenden Masterarbeit; Satellitenbild: RapidEye, Aufnahmedatum 4.7.2011.

1.1 Geografischer/ Orografischer Überblick

(nach Bolch, 2006 und Wikipedia)

Das vorliegende Arbeits- und Untersuchungsgebiet ist Teil des zentralasiatischen Gebirgszuges „Tien Shan“ (chinesisch: „Himmliche Berge“). Das Hoch- und Faltengebirge wird der Gebirgsregion Turkestan zugeordnet und erstreckt sich über die Staatsgebiete von China, Kasachstan, Kirgistan, Usbekistan und Tadschikistan. Südöstlich des Tien Shan Gebirges befindet sich das Tarim Becken, die größte Beckenlandschaft Zentralasiens mit der Wüste Takla Makan. Das südlich des Tien Shan Gebirgszuges gelegene Alaital bildet die Grenze zum tibetanisch-himalayischen Gebirgsgürtel mit dem Pamir als seinem nördlichsten orogenen Komplex. Im Südwesten schließt das Ferghanatal/-becken an, gefolgt von dem Kettengebirge Alai (auch südlicher Tien Shan genannt). Im Nordwesten befindet sich die Kasachische Steppe. Dem nordöstlich gelegenen kasachischen Hochgebirge „Dsungarische Alatau“ folgt das Tarbagatai Gebirge und anschließend das Hochgebirge Altai.

Der Tien Shan hat eine Ausdehnung von rund 2.500 x 400 km. Die vorwiegend West-Ost gerichtete Gebirgskette erstreckt sich zwischen 40° bis 46° Nord und 67° bis 95° Ost. Die höchste Erhebung des Tien Shan, die gleichzeitig auch die höchste Erhebung von Kirgistan ist, stellt mit 7.439 m ü. M. der Dschengisch Tschokusu (russ. Pik Pobedy) dar. Der Gipfel der zweithöchsten Erhebung des Tien Shan, der Khan Tengri mit 6.995 m ü. M. (Höhe der Eiskappe: 7.010 m ü.M.), bildet das Dreiländereck China, Kasachstan und Kirgistan.



Abbildung 2: Politische Übersichtskarte von Zentralasien. Im Bereich des Dreiländereckes Kasachstan, Kirgistan und China liegen die Arbeitsgebiete. Karte: Meissner, H. (2010).

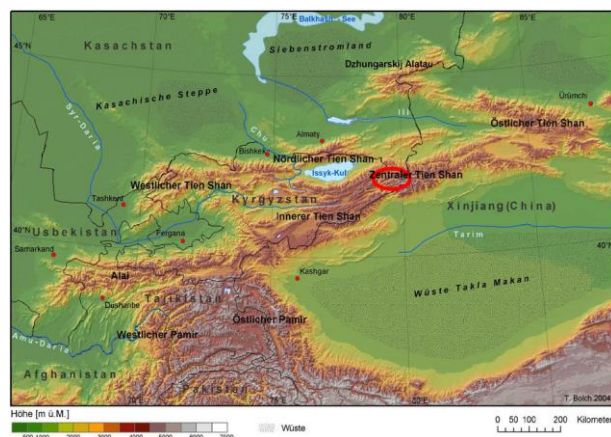


Abbildung 3: Topografische Übersichtskarte mit Lage und Einteilung des Tien Shan (nach Bolch, 2006, S. 5). Der Untersuchungsbereich ist rot markiert.

Ungefähr ein Prozent des Tien Shan ist von Gletschern bedeckt, circa sechs Prozent der gesamten Fläche besteht aus Permafrost. Einer der größten außerpolearen Gletscher erstreckt sich vom Khan Tengri in Richtung Westen und wird „Inylchek“ genannt. Der Inylchek Gletscher lässt sich in den nördlichen und südlichen Inylchek Gletscher

untergliedern, wobei der kleinere nördliche Teil „Severnyj“ und der größere südlich gelegene Gletscher „Južnyj“ genannt wird. Das gesamte Inylchek Gletscher System weist eine Länge von circa 61 km auf und befindet sich zum größten Teil in der Provinz Issyk Kul der Republik Kirgistan.

Am westlichen Ende des Inylchek-Tales ist die Ortschaft Inylchek situiert. Vor der Unabhängigkeit Kirgistans von der Sowjetunion (1991) wurde in diesem Gebiet vorwiegend Zinn abgebaut und Inylchek hatte als Bergbausiedlung circa 5000 Einwohner. Derzeit ist sämtlicher Bergbau in diesem Bereich stillgelegt, Inylchek wird als militärischer Grenzposten geführt und die Einwohnerzahl ist auf ein paar Familien beschränkt. Im Bereich der Siedlung Inylchek mündet der Abfluss des Inylchek Gletschers in den Fluss Aksu, welcher im Tarim Becken in das gleichnamige Flusssystem mündet. Der Abfluss des Schmelzwassers des Inylchek Gletschers spielt dadurch eine sehr wichtige wasserwirtschaftliche Rolle im Tarim Becken.

1.2 Klimatologischer Überblick

H. Fischer beschreibt das, den Inylchek Gletscher prägende Klima des Tian Shan wie folgt (Fischer, 2010, S. 5f.):

„Das Klima im zentralen Tian Shan ist hochkontinental. Im Winter herrscht das sibirische Kältehoch, das keine Niederschläge zulässt. Im Sommer driften Tiefs aus dem Nordwesten ein und bringen den höheren Lagen Steigungsniederschläge, die vor allem den Nordabdachungen zugute kommen. Der Monsun, abgeblockt durch den Himalaja, den Karakorum und das Hochplateau von Tibet, spielt keine Rolle.

Im Jahresgang verteilen sich die Niederschläge: nur 8% fallen im Winter, 49% im Sommer, 23% im späten Frühling und 20% im frühen, noch sommernahen Herbst. Die Niederschlagsmengen sind aber gering; dabei spielen Orographie und Exposition eine bedeutende Rolle. Wie schon erwähnt, erhalten die Nordabdachungen und nordexponierten Hänge, also die Luvlagen, die meisten Niederschläge. Darüber hinaus spielt die Verdunstung als Folge der intensiven Einstrahlung eine bedeutende Rolle. Davon sind die südexponierten Lagen besonders betroffen.

Die Werte einiger Klimastationen und Messstellen, welche die Russen im zentralen Tian Shan installiert hatten, können die Asymmetrie der Niederschlagsverteilung aufzeigen, ebenso wie die Bedeutung von Luv- und Leelagen.

Die langjährigen Mittel weisen folgende Werte auf: Almaty (850 m absolute Höhe - a.H.) – am Fuß der Nordabdachung des Zailjysky Alatau gelegen – verzeichnet 581 mm Niederschläge.

Im Issyk-Kul-Becken, im Lee des Zailjysky-Kungej-Gebirges, wurden am Südufer des Sees in den Stationen Rybač'e (heute Balykči; 1.927 m a.H.) und Prževal'sk (heute Karakol; 1.932 m a.H.) 300 mm gemessen.

Auf der Nordabdachung des Terskej-Alatau hatte man in 2.552 m a.H. die Messstelle Polšaja Kiz installiert; sie verzeichnete 600 mm Niederschlag. In diesen Höhenlagen zwischen 2.200 m und 2.900 m a.H., wo mit 600 mm etwas mehr Niederschläge fallen, erstreckt sich die Waldzone mit Beständen der Schrenck-Fichten (*picea Schrenckiana*). Dies sind sehr schlanke, hohe Fichten mit einem durchschnittlichen Alter von 300 Jahren. Die untere Waldgrenze bei 2.200 m ist eine Trockengrenze, während die obere bei 2.900 m eine Kältengrenze sein dürfte.

Eine höhere Messstelle wurde noch im Ak-Shirak-Massiv errichtet, die Station ‚Tian Shan‘ in 3.610 m. Überraschenderweise nahmen hier die Niederschlagsmengen wieder ab, man maß 300 mm Niederschlag. Der Mittelwert der Jahrestemperatur liegt bei -7,6°C.

Wie bereits erwähnt, ist infolge der starken Einstrahlung auch die Verdunstung sehr wichtig. Unsere Feuchtemessungen im Juli ergaben folgende Werte: Nordhänge um 14 Uhr: 80% relative Feuchte, Südhänge dagegen nur 25%.

Für die Verbreitung der Gletscher und deren Gletscherhaushalt sind also die orographischen Gegebenheiten – Luv-Leelagen, Nord-Süd-Abdachungen – von eminenter Bedeutung. Die nordexponierten Abdachungen und Hänge weisen in Höhen über der Schneegrenze (4.100 m) eine mehr oder minder starke Vergletscherung auf, während die südexponierten Lagen gleicher Höhe meist gletscherfrei sind.“

Bolch (2006) charakterisiert das Klima des Zentralen Tien Shan sowohl als kontinental, als auch subpolar und führt einen Jahresmittelwert der Temperatur im nördlichen Tien Shan von ungefähr 9°C an, wobei dieser bis zu -4°C auf einer Höhe von 3400 m im zentralen Tien Shan abnimmt.

1.3 Geologischer Überblick

Das heute vorliegende Tien Shan Gebirge ist ein aktiver, intrakontinentaler Gebirgszug in Zentralasien, welcher sich zwischen der Tarim und Kazachstan Platte seit dem Miozän entwickelt hat (Korjenkov et al., 2006). Der Tien Shan ist charakterisiert durch die hohe seismische und tektonische Aktivität. Den genannten Autoren zufolge wurde das Gebiet auf Grund der Indien-Eurasien Kollision im Tertiär intensiv reaktiviert. Die Sedimentation, Deformation (Kompression) und Abtragung begann im späten Oligozän oder mittleren Miozän und endete ungefähr im Übergang von Neogen zu Quartär. Untersuchungen des Paläostress zeigen, dass die Deformationen im Paläogen und Neogen aus einem Kompressions-Stressfeld resultieren, dessen horizontale Hauptkompressionsrichtung Nord-Süd verläuft. Die rezenten Nord-Süd Stauchungsraten des Tien Shan, basierend auf GPS Messungen werden mit -20 ± 2 mm/Jahr angegeben (Zubovich et al., 2010).

Es ist naheliegend, dass die Geomorphologie des Tien Shan sowohl durch neotektonische Aktivität, als auch durch die Vergletscherung intensiv geformt wurde. Einige Beispiele an seismischer Deformation der Landschaft verursacht durch starke rezente, historische und paläo-Erdbeben südlich von Bishkek, in der Umgebung des Issykul Sees und im Fergana Becken wurden von Korjenkov et al. (2006) zusammengestellt. Crosby et al. (2005) dokumentierten einen vertikalen Versatz von 6 m der fluvialen Chon Aksu Terrasse im Kungey Ridge, nördlich des Issyk Kul Sees, verursacht durch das 1911 M=8 Chon Kemin Erdbeben.

Eine geologische Karte der östlichen Grenzregion von Kirgistan wurde 1971 in einem Maßstab von 1:200 000 gedruckt (Zakharov & Mozolev, 1971). Die Erläuterungen wurden von Zakharov I. L. (1988) publiziert. Im Wesentlichen wird in Kirgistan seit 1970 geologisch kartiert und die daraus resultierenden geologischen Karten im Maßstab 1:50 000 sind theoretisch für mehr als 80% des Landes Kirgisien verfügbar. Obwohl diese Karten nicht mehr als geheim klassifiziert sind, sind diese jedoch in verschiedensten kirgisischen Institutionen archiviert und daher schwer verfügbar (zum Beispiel: Mikolaichuk, Burg, & Apayarov, 2004). Die aktuellste geologische Karte im Maßstab 1:200.000 im Bereich des Inylchek-Tales und die Erläuterungen des Khan Tengri Massives wurde von Manfred Buchroithner und Manfred Strecker aktualisiert (Ausschnitt siehe Abbildung 4). Die Erstellung dieser digitalen Karte erfolgte im Rahmen eines GIS-Projektes, finanziert vom International Science and Technology Center of the Kyrgyz-Russian Slavic University (ISTC) und in englischer Sprache von Mikolaichuk, Buchroithner & Dolgushev (2006) und Mikolaichuk et al. (2008) publiziert.

Der nördliche und südliche Bereich des westlichen Inylchek-Tales im vorliegenden Untersuchungsgebiet besteht aus steil einfallenden und stark verfalteten Formationen des

Silur-Karbon. Am Nordhang werden diese Formationen teilweise von Graniten des Perm intrudiert. Über dem paläozoischen Grundgebirge lagern teilweise quartäre, fluvioglaziale Sedimente.

Nach Mikolaichuk et al. (2008) bestehen die marinen paläozoischen Formationen des Khan Tengri Massives aus gefalteten kristallinen Schiefern, teilweise mit Einschaltungen von fossilführenden kalkhaltigen Schiefern, Mergeln und Sandsteinen des Devon bis unteren Karbon. Das grob-klastische Material der Endmoräne des nördlichen Inylchek Gletschers und das fein-klastische Material der Seeablagerungen des unteren Merzbacher Sees (im Bereich der Peremitschka) bestehen demzufolge hauptsächlich aus verwitterten paläozoischen Metasedimenten, überwiegend Tonschiefern, kalkhaltigen Schiefern, Mergeln und Sandstein.

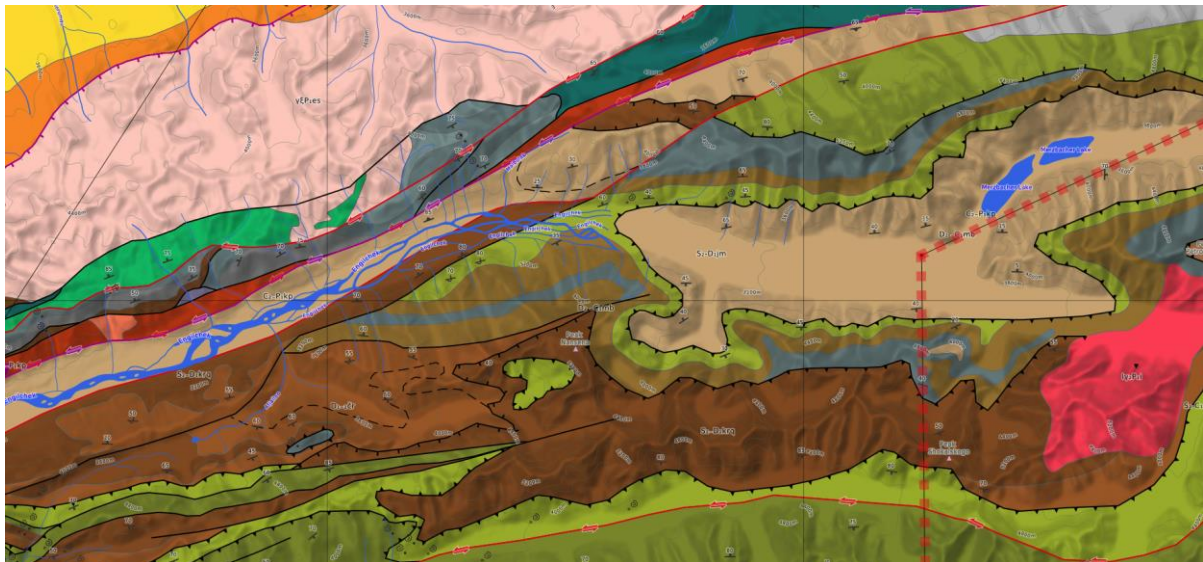


Abbildung 4: Bearbeiteter Ausschnitt der "Geological Maps of Khan Tengri Massif (ISTC Project #KR-920)", (Mikolaichuk & Buchroithner, 2008) Kartenmaßstab 1:200 000; rote strichlierte Linie markiert den Schnitt des geologischen Profiles (siehe Abbildung 5); Legende siehe Anhang III.

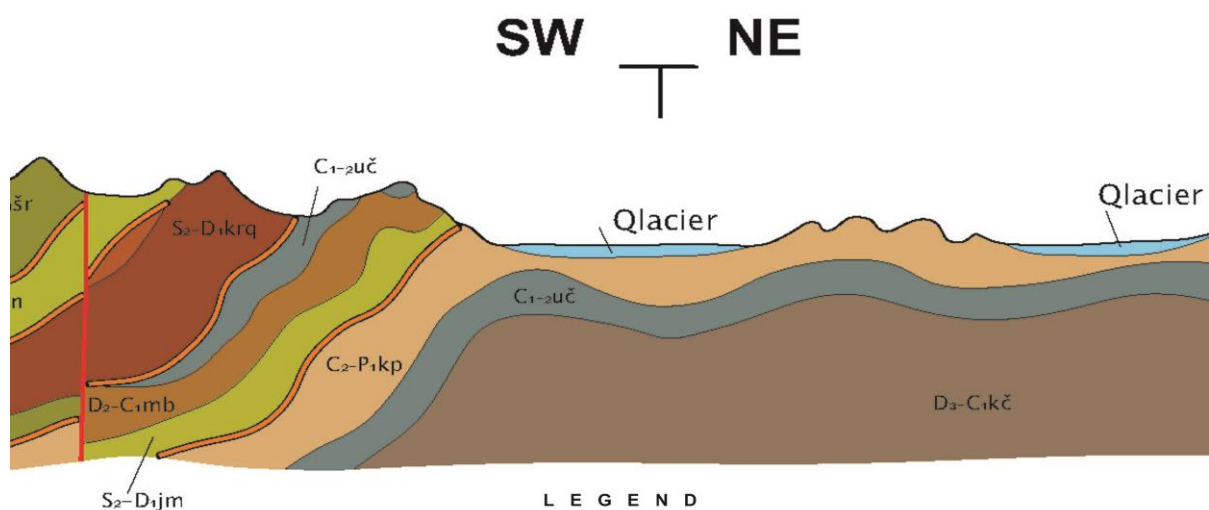


Abbildung 5: Geologisches Profil (Mikolaichuk & Buchroithner, 2008), Lage des Schnittes siehe Abbildung 4, erweiterte Legende siehe Anhang III.

1.4 Geomorphologischer/Glazialer Überblick

Häusler et al. (2011) fassen die glazialen Veränderungen im Bereich des zentralen Tien Shan sowie des damit verbundenen Inylchek Gletschers wie folgt zusammen:

Wie in anderen Regionen des Zentralen Tien Shan Gebirges, fand der jüngste, bedeutendste Vorstoß des Inylchek Gletschers während der letzten Eiszeit¹ statt (Solomina, Barry & Bodnya, 2004; Kargel et al., 2005; Aizen, 2006). Globale Analysen der Gletscherregime zeigen einen weitgehenden Rückgang seit den späten 1970er Jahren mit einer deutlichen Beschleunigung in den späten 1980er Jahren. Dies trifft ebenfalls auf den Tien Shan zu (Narama, Kääb, Severskiy & Abdrakhmat, 2008; Niederer et al., 2008). Das Ak-Shirak Gletschersystem, welches sich ungefähr 100 km nordwestlich des Inylchek Gletschersystems befindet, weist ebenso einen signifikanten Rückgang in der durchschnittlichen Gletschergröße auf. Auf einen kleinen Gletscherschwund während 1943 – 1977 folgte ein ein Rückgang von zumindest 20% während 1977 – 2001. Als Grund dafür wird ein Anstieg der Sommer- und Jahres-Lufttemperatur und ein entsprechender Rückgang der Jahresniederschläge gesehen (Khromova, Dyurgerov & Barry, 2003). Bolch (2006) publizierte eine exzellente Analyse von Gletscherrückgängen bezogen auf Klima Veränderungen im nördlichen Tien Shan (vergl. Häusler et al., 2011).

1.4.1 Arbeitsgebiet oberer See

Das System des Inylchek Gletschers setzt sich sowohl aus dem nördlichen Inylchek Gletscher, als auch dem südlichen Inylchek Gletscher zusammen, wobei beide Teile wiederum aus mehreren größeren Gletscherströmen entstehen.

Die zwei genannten aktiven Bereiche des Gletschersystems vereinigten sich in einem früheren Stadium im südlichen Bereich des heutigen unteren Merzbacher Sees auf ungefähr 3400 m Höhe und bildeten den weiter talwärts fließenden westlichen Bereich des Gletscher Systems. Dieser westliche Teil ist zumindest seit dem 19. Jahrhundert inaktiv, nahezu vollständig von einer Obermoräne bedeckt und von Glaziokarst charakterisiert. Aufgrund der Inaktivität des westlichen Teils fließt der heutige südliche Inylchek Gletscher in das Tal des nördlichen Inylchek Gletschers und bildet eine Barriere für das abfließende Schmelz- und Niederschlagswassers des nördlichen Inylchek-Tales. Der dadurch aufgestaute untere Merzbacher See entleert sich in der Regel einmal jährlich in den Sommermonaten fast gänzlich (Glazirin, 2010). Der Ablauf des Seewassers erfolgt über ein subglaziales Röhrensystem. Mavlyudov (1997) beschreibt als Hauptursachen für die regelmäßige, jährliche Leerung des Sees das Aufschwimmen der Gletscherstirn und die Öffnung des subglazialen Röhrensystems, bedingt durch einen gewissen Wasserspiegel, den damit

¹ LIA, Anfang 15. bis Mitte 19. Jahrhundert

verbundenen Anstieg des hydrostatischen Drucks und die nötige Seewassertemperatur (siehe Abbildung 6 und Abbildung 7).

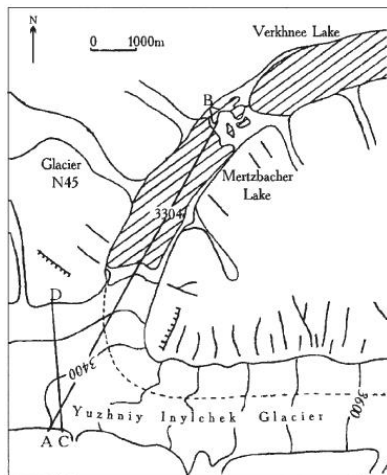


Abbildung 6: Inylchek Gletscher, unterer Mertzbacher See und oberer See (Verkhnee) mit Lage der Querschnitte in Abbildung 7 (Mavlyudov, 1997).

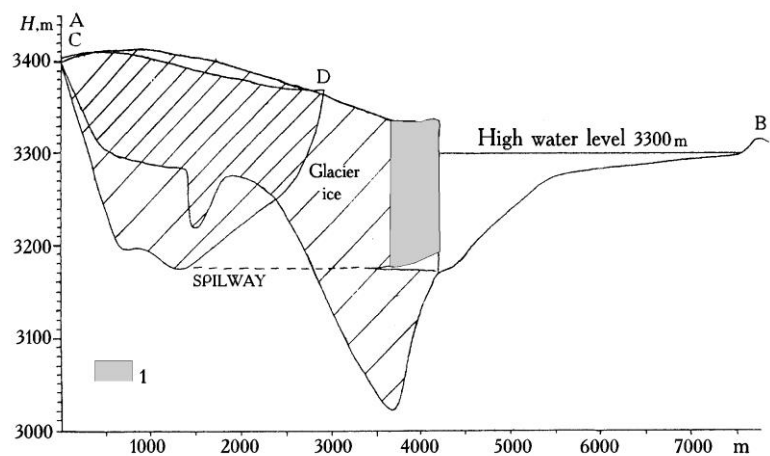


Abbildung 7: Querschnitte des südlichen Inylchek Gletschers und unteren Mertzbacher Sees (Mavlyudov, 1997). Lage der Schnitte siehe Abbildung 6.

Kuzmichenok (1983) generierte aus den Luftbildaufnahmen vom Jahr 1981, welche nach dem Ausbruch des unteren Mertzbacher Sees erstellt wurden, ein Höhenmodell des leeren unteren Mertzbacher Sees und somit des Seebodens (siehe Abbildung 8). Die Tiefe des Sees beträgt bei maximalem Wasserniveau im Gletscherstirnbereich ungefähr 80 m. Aus dem Höhenmodell wurde eine Wasserkubatur von ungefähr 130 Millionen m³ bei maximalem Wasserstand errechnet.

Häusler, et al. (2011) führten 2009 geophysikalische Untersuchungen unter anderem im Bereich des entleerten unteren Mertzbacher Sees, auch Peremitschka genannt, durch. Die Autoren beschreiben in diesem Bereich einen mächtigen Toteiskörper, welcher von Permafrostlagen mit trichterartigen Thermokarst-Strukturen überlagert wird. Der Abfluss des oberen Sees erodiert die Peremitschka teilweise 20-25 m tief. Die dadurch entstandenen steilen Böschungen zeigen eine Wechselfolge siltiger, kalkhaltiger Seeablagerungen mit Eislagen und Eislinen, welche den oben genannten Permafrostlagen entsprechen.

Nordöstlich des unteren Mertzbacher Sees beziehungsweise der Peremitschka und südwestlich des oberen Sees befindet sich ein stabiler, in den letzten 50 Jahren morphologisch kaum veränderter Bereich mit einer Ausdehnung von circa 1 x 1 km.

Die Oberfläche besteht aus Moränenmaterial, welches teilweise von helleren Seesedimenten überlagert wird. Morphologisch charakteristisch sind die vielen kleineren Seen in diesem Bereich, welche teilweise auch miteinander verbunden sind und kaum eine zeitliche Veränderung vorweisen.

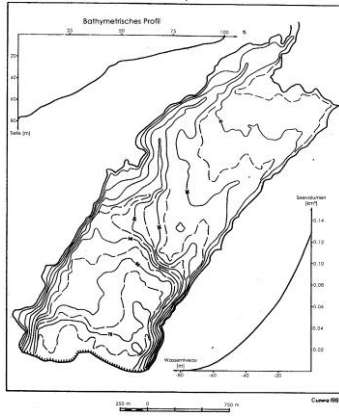


Abbildung 8: Höhenmodell des leeren Merzbacher Sees (Kuzmichenok, 1983).

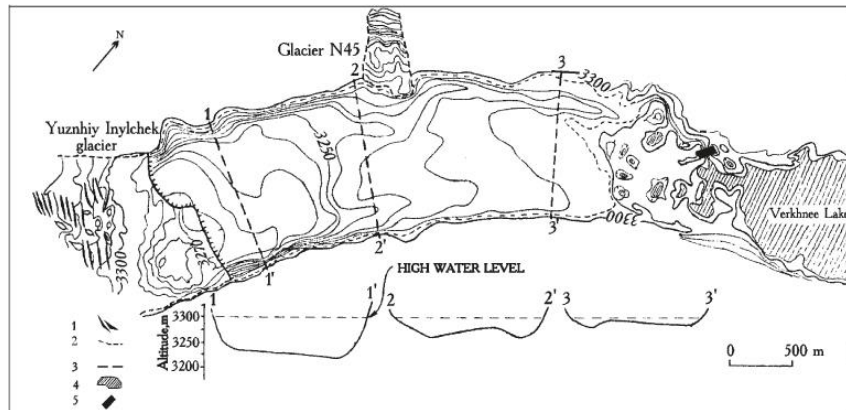


Abbildung 9: Topografische Karte des Merzbacher Seebodens. Höhenlinien wurden im 10 m Intervall gezeichnet. 1-Gletscherspalten; 2-Gletscher Grenzen; 3-Hochwasserstand des unteren Merzbacher Sees im Jahr 1985; 4-permanenter See; 5-Abflussmessstation (Mavlyudov, 1997).

1.4.2 Arbeitsgebiet westliches Inylchek-Tal – Gripkov

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in einem vom Inylchek Gletscher geprägten Tal. Der Gletscher selbst ist rezent in diesem Bereich nicht mehr anzutreffen und hat sich Richtung Osten zurückgezogen. Die mächtigen glazialen, fluvioglazialen und fluviatilen Ablagerungen im Vorderland des heutigen Gletschers werden durch den stark verflochtenen Gletscherabfluss sukzessive erodiert. Die Talflanken sind sowohl durch fluviatile Terrassen, tektonische Prozesse, als auch durch steilstehende verfaltete Formationen geprägt. Geomorphologisch auffällig sind die multiplen, parallel verlaufenden Terrassen vorwiegend auf der nordwestlichen Seite des Tales. Die Seitenhänge des Tales, sowie die genannten Terrassen werden des Öfteren von einmündenden Seitenzuflüssen eingeschnitten. Diese Seitenzuflüsse sind morphologisch durch tief erodierte Gräben charakterisiert.

Ein Teil der genannten multiplen Terrassen wurde im Zuge der vorliegenden Untersuchungen als Kameterrassen interpretiert.

Kame (von schottisch Kame = steilhängiger Hügel aus Lockermaterial) wird als geomorphologischer Begriff für isolierte Schuttablagerungen unter stagnierendem Gletschereis verwendet, die nach dem Abschmelzen des Eises als Schutthügel im Gelände entstehen (Ahnert, 1999: S. 344).

Kameterrassen hingegen entstehen nicht subglazial, sondern als glaziofluviale Ablagerungen an den Seiten von Talgletschern in der Furche zwischen dem Gletscher und dem angrenzenden Talhang, durch Bäche, die vom höheren Gelände kommend an der Seite des Gletschers entlangfließen. Der Gletscher trägt mit seinem Schmelzwasser zu ihrem Abfluss und mit seiner Seitenmoräne zu ihrer Fracht bei (nach Ahnert, 1999). Weiters schreibt der Autor, dass die Akkumulation geschichtet und sortiert sei und die Oberfläche eben.

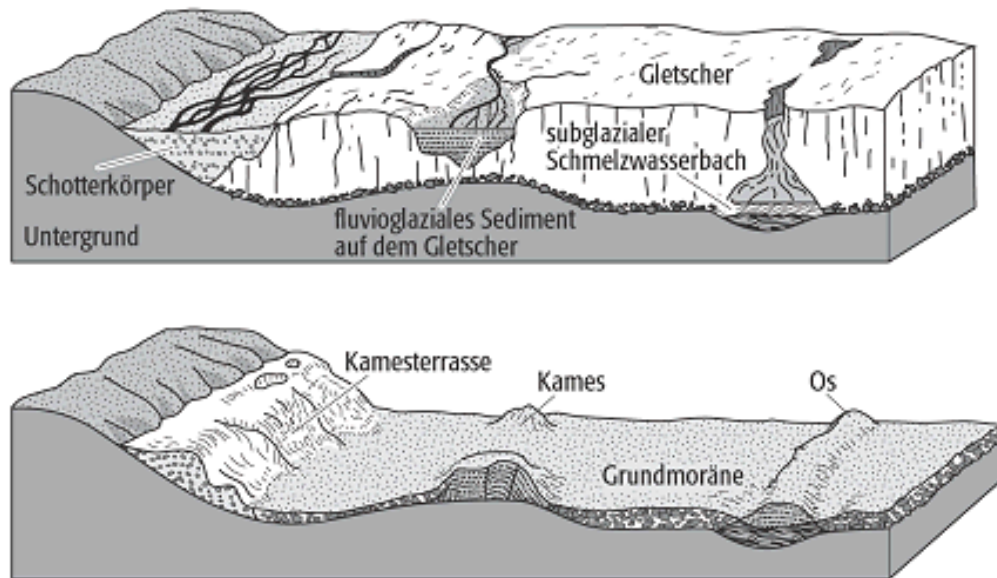


Abbildung 10: Kamesterrasse; Entstehung von Kames und Kameterrassen, Oser und Grundmoräne nach dem Abtauen des Eises (GeoDZ.com - Das Lexikon der Erde).

2. Problemstellung und Zielsetzung

Wie in *Kapitel 1 Einleitung* bereits erwähnt, werden im Rahmen dieser Arbeit zwei geografisch naheliegende, jedoch thematisch verschiedene Gebiete bearbeitet. Die vorliegende Arbeit setzt sich daher mit zwei verschiedenen Problemstellungen und den dazugehörigen Zielsetzungen auseinander.

2.1 Westliches Inylchek-Tal – Gripkov

Die Geomorphologie des Tien Shan wurde vorwiegend durch neotektonische (siehe 1.3 Geologischer Überblick) wie auch glaziologische Prozesse (siehe 1.4 Geomorphologischer/Glazialer Überblick) geformt und geprägt. Während einiger Hubschrauberflüge zum nördlichen und südlichen Inylchek Gletscher im Zuge einer Expedition 2009, konnten unter anderem etliche Terrassen am nördlichen Hang des Inylchek-Tales beobachtet werden. Die multiplen Terrassen erstrecken sich im Bereich des westlichen/unteren Inylchek-Tales vom Militärstützpunkt Majda-Adyr (östlich der Ortschaft Inylchek) bis zur derzeitigen Gletscherzunge. Während einer einwöchigen Feld-Kampagne im Zuge der Expedition 2011 wurden vom 10. – 15. August 2011 vor allem die genannten Terrassen näher untersucht.

In den vergangenen Jahren wurde die Ursache für die Entstehung dieser parallel verlaufenden, multiplen Terrassen zwischen kirgisischen, deutschen und österreichischen Geologen immer wieder diskutiert.

Ursprünglich wurde davon ausgegangen, dass **neotektonische Prozesse**, wie im Kapitel 1.3 Geologischer Überblick beschrieben, für die Entstehung dieser Terrassen verantwortlich sind. Es wurde die Meinung vertreten, dass im Bereich der Störungsflächen die einzelnen Terrassen abgeglitten sind und dadurch ein Staffelbruch-System entstanden sei.

Im Zuge der Expedition 2009 wurden jedoch zwei weitere Hypothesen für die Entstehung der Terrassen aufgestellt:

- 1.) Die Terrassen könnten genauso ein Ergebnis der **Vergletscherung des Inylchek-Tales** sein. Die einzelnen Terrassen entsprächen in etwa einem Gletscherstadium und wären durch den Gletscher erodiert oder sedimentiert worden.
- 2.) Auf Grund von **Massenbewegungen nach dem Rückzug des südlichen Inylchek Gletschers** könnten die Terrassen ebenso entstanden sein. Durch den fehlenden Gegendruck für das Gebirge auf Grund des Gletscherrückzugs könnte es zu einem Abgleiten und damit translationalen und/oder rotationalen Felsstürzen gekommen sein. Naheliegend wären auch Massenbewegungen, ausgelöst durch neotektonische Prozesse, wie Erdbeben kombiniert mit rezenten „uplift“ oder „strike-slip“ Bewegungen.

Ein lithologisches Auskeilen und eine damit verbundene Synklinale im Bereich des Inylchek-Tales als Ursache für die Terrassen-Strukturen wurde in Betracht gezogen, konnte jedoch auf Grund der lithologischen Unterschiede zwischen dem südlichen und nördlichen Hang ausgeschlossen werden.

Das Ziel dieser Arbeit ist daher für das Arbeitsgebiet westliches Inylchek-Tal – Gripkov, die genannten möglichen Gründe für die Entstehung der multiplen Terrassen näher zu betrachten. Dafür sind Argumente für den tektonischen und sedimentologischen Ursprung der Terrassen von großer Bedeutung. Die folgende Untersuchung soll dazu beitragen, das naheliegende Zusammenspiel von glaziologischen, sedimentologischen sowie tektonischen Prozessen besser zu verstehen.

2.2 Bereich oberer See

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war es, eine Zeitreihenanalyse des Arbeitsgebietes „oberer See“ durchzuführen. Vor allem sollten zeitliche Veränderungen des nördlichen Inylchek Gletschers respektive des oberen Sees analysiert werden. Im Speziellen gab es zum Beginn der Untersuchungen Hinweise und Überlegungen über einen raschen Vorstoß des nördlichen Inylchek Gletschers in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts während des eigentlichen, allgemeinen Gletscherrückzugs im umliegenden Gebiet. Die Zeitreihenanalyse des nördlichen Inylchek-Gletschers soll eine Grundlage für weitere Detailuntersuchungen betreffend die Entwicklung und Mechanismen des nördlichen Inylchek Gletschers darstellen.

3. Methodik

3.1 Westliches Inylchek-Tal – Gripkov

Die im westlichen Inylchek-Tal zu beobachtenden linearen, parallel verlaufenden Erscheinungen, vor allem des nördlichen Talhanges, konnten mittels Fernerkundungsaufnahmen gut kartiert werden. Ebenso konnte im Rahmen einer Expedition im Jahr 2009 entlang der orografisch linken Talseite ein sehr guter Überblick über die Terrassen der orografisch rechten Seite gewonnen werden. Um die Frage der Herkunft und Entstehung dieser Terrassen näher erläutern zu können, wurde vom 9. – 15. August 2011 eine geologische und geomorphologische Kartierung durchgeführt. Vor allem die von seitlichen Zuflüssen erodierten Taleinschnitte sollten im Rahmen dieser Untersuchungen in Hinblick auf strukturgeologische und sedimentologische Fragestellungen näher betrachtet werden. Die Umsetzung der im Gelände gewonnenen Erkenntnisse in einen kleineren Maßstab erfolgte wiederum durch die Analyse und Interpretation der verwendeten Satellitendaten. Zusammengefasst wurde also in dem Arbeitsgebiet eine Kombination aus Methoden der Fernerkundung sowie geologischer/geomorphologischer Geländeaufnahmen (Kartierung) angewandt.

3.2 Bereich oberer See

Im Rahmen der Expeditionen im Sommer 2009 und 2011 wurden im Bereich des Global Change Observatoriums, des unteren Merzbacher Sees bis hin zum oberen See geophysikalische, geologische und geomorphologische Untersuchungen durchgeführt. In der vorliegenden Arbeit wird jedoch nur ein Teil dieser Untersuchungen, nämlich eine Zeitreihenanalyse des nördlichen Inylchek Gletschers bzw. oberen Sees, näher erläutert. Die Methodik dieser Zeitreihenanalyse beschränkt sich ausschließlich auf die Bearbeitung und Interpretation von historischen Fotoaufnahmen, Luftbildern und Aufnahmen von Satellitensensoren (siehe 4.2 Bereich oberer See). Die Referenzierung, Entzerrung und weitere Bearbeitung der Luftbilder und Satellitenaufnahmen wurde mit der Software ArcGis 9.3 der Firma ESRI² durchgeführt und die exportierten Abbildungen teilweise mittels Foto-/Grafikbearbeitungssoftware modifiziert.

² Environmental Systems Research Institute

4. Datengrundlagen

In diesem Kapitel werden die verwendeten Kartenmaterialien, historischen Fotoaufnahmen und Fernerkundungsdaten (siehe Anhang II Datengrundlagen) beschrieben, welche im Arbeitsgebiet „oberer See“ im Rahmen dieser Arbeit zur Anwendung kamen. Bei den Fernerkundungsdaten werden jedoch nur die verwendeten Sensoren und deren für die Arbeit relevanten Spezifikationen kurz erläutert. Für eine nähere Beschreibung der Datenspezifikationen sei auf die jeweiligen Distributoren und die einschlägige Literatur verwiesen.

4.1 Westliches Inylchek-Tal – Gripkov

Auf Grund der Problemstellungen im Arbeitsgebiet westliches Inylchek-Tal kommen in diesem Bereich hauptsächlich Satellitendaten mit hoher räumlicher Auflösung zur Anwendung. Für den östlichen Bereich stand dem Autor eine temporäre Satellitenszene des Satelliten Ikonos im Rahmen der „World Imagery“ (ESRI) zur Verfügung. Die Szene wurde am 15. Februar 2007 mit einer räumlichen Auflösung von 1 m aufgenommen. Da der westliche Bereich des Untersuchungsgebietes nicht von dieser Szene abgedeckt ist, wurde dafür eine Szene des Satelliten RapidEye ausgewählt. Somit kann dieser Bereich mit einer räumlichen Auflösung von 5 m vom 4. Juli 2011 bearbeitet werden.

Satellitendaten der Satelliten Landsat und Aster standen dem Autor zur Verfügung, wurden großteils auch bearbeitet, sind jedoch auf Grund der geringeren Bodenauflösung für die vorliegenden Problemstellungen und Zielsetzungen in diesem Arbeitsgebiet nicht weiter hilfreich und werden daher in diesem Bereich nicht näher erläutert.

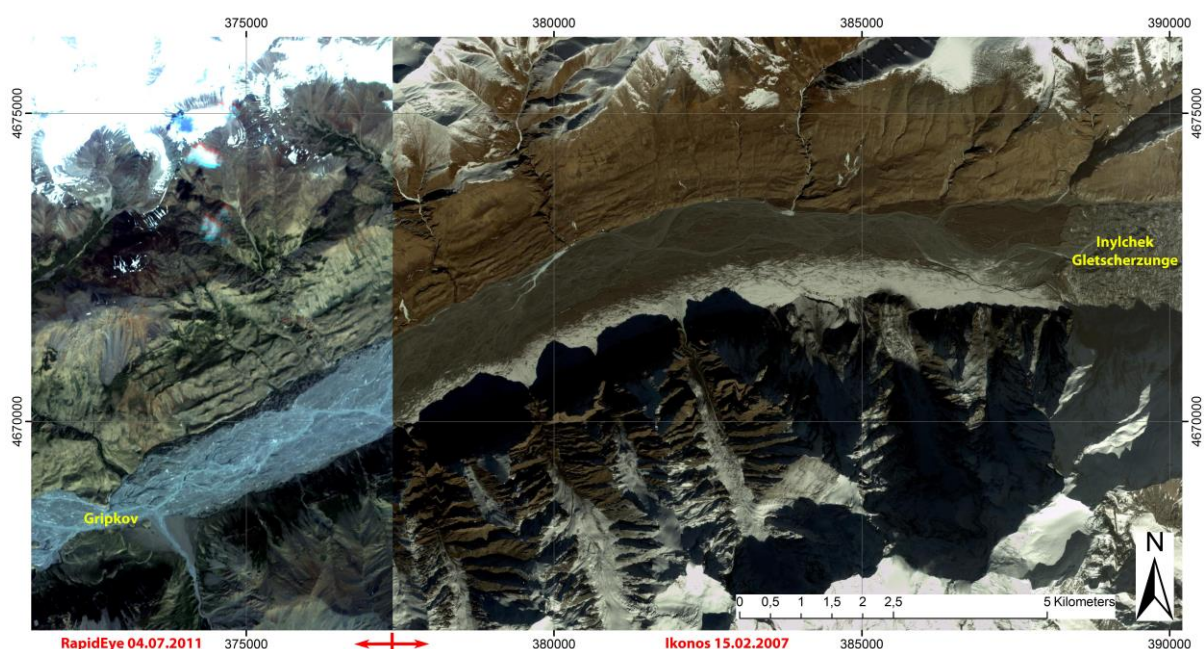


Abbildung 11: verwendete Satellitendaten im Arbeitsgebiet „westliches Inylchek-Tal – Gripkov“. Datengrundlagen: RapidEye und Ikonos.

4.1.1 Ikonos – Daten

IKONOS wurde am 24. September 1999 von der Vandenberg Air Force Base in Kalifornien gestartet und ist ein kommerzieller Erdbeobachtungssatellit der Firma GeoEye mit einem hochauflösenden, multispektralen Scanner. Das optische Teleskop sammelt Aufnahmen zwischen 11 und 13 km breiten Streifen der Erdoberfläche und spiegelt diese auf die Sensoren für die digitale Bildaufnahme. Der Satellit befindet sich auf einer Bahnhöhe von nur 680 km, womit eine deutliche Verbesserung der Bildauflösung gegenüber allen vorherigen kommerziellen Fernerkundungssatellitensystemen erzielt werden konnte. Mittels des panchromatischen Sensors können Aufnahmen mit einer Bodenauflösung bis zu 0,82 m, abhängig von der Bahnhöhe, aufgenommen werden. Außerdem verfügt der Satellit über einen multispektralen Sensor mit einer Bodenauflösung von 4 m mit drei Kanälen im sichtbaren Wellenbereich und einem kürzerwelligeren Infrarotkanal.

Spectral resolution (µm)	Spatial resolution (m)	Scan-width (km)	Revisit period	Orbital altitude	Operation periode
Panchromatic: 0,45 - 0,90	1x1	13	~3 days	681 km, near polar, sunsynchronous	since 24/09/1999
channel 1: 0,45 - 0,50	4x4				
channel 2: 0,52 - 0,60					
channel 3: 0,63 - 0,69					
channel 4: 0,76 - 0,90					

Tabelle 1: Technische Spezifikationen der Ikonos-Sensoren (nach ESA – European Space Agency: Ikonos).

Der verwendete Datensatz des Satelliten Ikonos stand dem Autor nur in temporärer Form durch die Verwendung der „World Imagery“ (ESRI) zur Verfügung. Die darin enthaltene höchstaflösende Satellitenszene von IKONOS im Untersuchungsgebiet wurde am 15. Februar 2007 aufgenommen. Die angegebene Bodenauflösung beträgt 1 m bei einer Lagegenauigkeit von 25,4 m.

4.1.2 RapidEye – Daten

Die RapidEye Satellitendaten stammen von der RapidEye Konstellation, ein Netzwerk bestehend aus fünf hochauflösenden Erdbeobachtungssatelliten der RapidEye AG. Die fünf Satelliten wurden gemeinsam am 29. August 2008 auf eine sonnensynchrone Umlaufbahn in ca. 630 km Höhe gebracht. Seitdem wird jedes Gebiet der Erde innerhalb von weniger als

fünf Tagen überflogen. Außerdem können die Satelliten quer zur Flugrichtung schwenken, wodurch jeder Punkt der Erde an jedem Tag aufgenommen werden kann. Dadurch können Aufnahmen aus verschiedenen Sichtwinkeln durchgeführt werden. Mit Hilfe dieser stereoskopischen Aufnahmen ist es möglich digitale Höhenmodelle zu generieren.

Das optische System der Satelliten besteht aus fünf Zeilenscannern und liefert damit multispektrale Bilder mit einer Bodenauflösung von 6,5 m (siehe Tabelle 2)

Spectral resolution (μm)	Spatial resolution (m)	Scan-width (km)	Revisit period	Orbital altitude	Operation periode
channel 1 (blue): 0,44 - 0,51	6,5 GSD 5,0 ortho rectified	77 km (Length of image take 1500 km)	~5 - 1 days	~630 km, 15 orbits/satellit/day, one near polar sunsynchronous orbit	7 years
channel 2 (green): 0,52 - 0,59					
channel 3 (red): 0,63 - 0,685					
channel 4 (red edge): 0,69 - 0,73					
channel 5 (NIR): 0,76 – 0,85					

Tabelle 2: Technische Spezifikationen der 5 RapidEye Satelliten (nach RapidEye AG).

Der verwendete Datensatz des RapidEye Satelliten beinhaltet die Bänder 3 (rot), 2 (grün), 1 (blau) und wurde als Kartenmaterial vom Kooperationspartner „Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 1.4 Fernerkundung“ mit einer Bodenauflösung von 5 m zur Verfügung gestellt. Die Satellitenszene des RapidEye Satelliten 1 wurde am 4. Juli 2011 mit einer Lagegenauigkeit von mindestens 50 m aufgenommen.

4.2 Bereich oberer See

4.2.1 Historische Fotoaufnahmen

Die ersten historischen Aufnahmen des Untersuchungsgebietes entstanden 1903 im Zuge einer Forschungsreise von Gottfried Merzbacher (Merzbacher, 1906). Die zweite wesentliche Fotoaufnahme, welche dem Autor für das Untersuchungsgebiet zur Verfügung stand, wurde 1998 von Gleb E. Glazirin (Universität Usbekistan) im Zuge eines Hubschrauberfluges aufgenommen.

4.2.2 Luftbilder

Dem Autor standen Kopien von Luftbildern ab dem Jahr 1943 zur Verfügung. Sämtliche dieser Aufnahmen wurden von flugzeuggetragenen Fotokameras der UdSSR aufgenommen. Eine korrekte Entzerrung dieser Aufnahmen durch fotogrammetrische Verfahren war nicht möglich, da die Kamerakonstanten dieser Kameras nicht ausfindig gemacht werden konnten und es sich bei den vorhandenen Aufnahmen um Graustufen-Kopien der Originale handelt, wodurch es zu einer weiteren Verzerrung der Luftbilder gekommen ist. Um einen besseren Vergleich der Luftbilder mit den anderen zur Verfügung stehenden Fernerkundungsdaten und somit eine Bearbeitung und Analyse der Aufnahmen zu ermöglichen, wurden die Luftbilder mittels Passpunkten referenziert. Als Passpunkte wurden vorwiegend markante und fixe Bereiche, wie zum Beispiel größere Felsen, Geländekanten, Geländeverschnitte und Gipfel herangezogen. Die Verteilung der Passpunkte konzentriert sich auf die unteren Talflanken, also auf den Seitenbereich des Gletschers und der Seen, um vor allem eine mögliche zeitliche Veränderung des oberen Inylchek Gletschers sowie des oberen Merzbacher Sees auswerten zu können. Passpunkte in Bereichen mit möglicher Lagenveränderung (Gletscherbereiche, Flüsse, Schuttbereiche, etc.) wurden vermieden. Als Referenzaufnahme wurde vorwiegend die Szene des Quickbird 2 Satelliten vom 11. September 2005 verwendet. Teilweise wurde dazu auch die RapidEye Satellitenszene vom 4. Juli 2011 und im östlichen Bereich die Basemaps - World Imagery der ArcGIS Online Map Services (ESRI) herangezogen.

Die Bodenauflösung der Luftbilder, welche 1943 aufgenommen wurden, beträgt ungefähr 5 m. Bei den späteren Aufnahmen wurde die Bodenauflösung kontinuierlich besser, wobei die jüngste verwendete Luftbildaufnahme von 1990 eine Bodenauflösung von ungefähr 1 m aufweist.

4.2.3 Topografische Karten

Im Zuge der Recherchen konnten drei verschiedene topografische Karten ausfindig gemacht werden. Sämtliche dieser Karten wurden von den Autoren vorwiegend aus Luftbildern und Satellitendaten generiert und sind daher eine Ableitung der restlichen, in dieser Arbeit

beschrieben Datengrundlagen. Trotzdem seien die Karten der Vollständigkeit halber hier erwähnt.

Die erste russische, topografische Karte im Maßstab 1:50.000 wurde vorwiegend, soweit dem Autor bekannt, aus den Luftbildern von 1943 generiert. Nach der zweiten russischen Befliegung des Inylchek Gebietes im Jahre 1956 wurde 1963 eine weitere russische topografische Karte im selben Maßstab herausgegeben.

Die aktuellste topografische Karte des östlichen Inylchek Gebietes mit Stand 2007, wurde als 1. Auflage und Trekkingkarte im Jahr 2011 vom Deutschen Alpenverein im Maßstab 1:100.000 veröffentlicht. Als Kartengrundlage dienten amtliche Karten von Kirgistan und wurden zusätzlich durch SRTM-Daten des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt³, sowie ASTER-Daten der NASA⁴ ergänzt.

4.2.4 Keyhole Satelliten Daten

Im Zeitraum von 1960 – 1974 wurde das Untersuchungsgebiet unter anderem von verschiedenen US-amerikanischen optischen Spionagesatellitensystemen im Rahmen der „Keyhole“ Missionen (abgekürzt „KH“) aufgenommen. 1995 wurden die Bilder für die Öffentlichkeit freigegeben, nachdem diese kein Risiko mehr für die nationale Sicherheit der USA waren. Die Bilder wurden auf herkömmlichen Filmen aufgenommen und mittels Wiedereintrittskapseln, die am Fallschirm hängend noch in der Luft von einem Flugzeug abgefangen wurden, zurück zur Erde gebracht.

Bei den ersten Missionen mit den Bezeichnungen KH-1 bis KH-4B wurde das Satelliten-System „Corona“ verwendet und lieferte Aufnahmen mit einer Bodenauflösung von anfangs 40 Fuß (~12 m) bis später 6 Fuß (~1,8 m). Der Großteil der im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Aufnahmen wurde im Zuge der Missionen KH-4A und KH-4B aufgenommen. Die erste Aufnahme des Untersuchungsgebietes stammt von den Missionen mit der Bezeichnung KH-2.

Vom Satellitensystem „Argon“ mit den Missionsbezeichnungen KH-5 wurden größere Bereiche aufgenommen, jedoch mit einer geringeren Bodenauflösung von 460 Fuß (~140 m).

Sämtliche Satelliten verwendeten eine Vielzahl an verschiedenen, optischen Kamerasystemen. Die ersten Missionen (KH-1, KH-2, KH-3 und KH-6) waren mit Panoramakameras oder Einzelbildkameras (KH-5) ausgestattet. Die späteren Missionssysteme (KH-4, KH-4A, und KH-4B) trugen zwei Panoramakameras mit einem versetzten Aufnahmewinkel von 30°, vorwärts und rückwärts blickend.

³ Digitales Höhenmodell, welches im Jahr 2000 im Rahmen einer Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit einer vertikalen, relativen Genauigkeit von +/- 6 m aufgezeichnet wurde.

⁴ National Aeronautics and Space Administration

System	KH-1-4*	KH-4A	KH-4B	KH-5	KH-6
Camera Type	Panoramic	Panoramic	Panoramic	Frame	Panoramic
Film width	70 mm	70 mm	70 mm	5 in	5 in
Approx. Frame Format (in. x in.)	2.18 x 29.8	2.18 x 29.8	2.18 x 29.8	4.5 x 4.5	4.5 x 25.
Focal Length (inches)	24	24	24	3	66
Best Resolution of Film (approximate) (lines/mm)	50-100	120	160	30	160
Enlargement Capability	Less than 10 times	16 times	16 times	8 times	16 times
Best Ground Resolution (approx.)	25 ft.	9 ft.	6 ft.	460 ft.	6 ft.
Nominal System Altitude (nautical miles)	90-250	100	81	174	93
Nominal Photo Scale on Film	1:275,000 to 1:760,000	1:305,000	1:247,500	1:4,250,000	1:100,000
Nominal Ground Coverage/ Image Frame (miles)	9.5 x 130 to 26 x 360	10.6 x 144	8.6 x 117	300 x 300	7.5 x 40
Nominal Ground Sample Distance of Browse Image (feet/ pixel)	530	530	430	4000	180

Abbildung 12: Kamera, Film und Bild Parameter der US-amerikanischen Spionagesatelliten "Keyhole" (USGS).

4.2.5 Landsat – Daten

Bolch (2006, S. 32f.) fasst die Satelliten der Landsat Serie wie folgt zusammen:

„Der erste Satellit der Landsat-Serie, im Jahr 1972 zunächst mit ETRS-1 bezeichnet, wurde vor dem Start des zweiten Satelliten dieser Serie in ‚Landsat‘ umbenannt. Der folgerichtig mit Landsat 2 bezeichnete Satellit erreichte seine Umlaufbahn Anfang 1975. Weitere Satelliten dieser Serie folgten 1978 (Landsat 3), 1982 (Landsat 4), 1984 (Landsat 5), 1993 (Landsat 6, der jedoch kurz nach dem Start abstürzte) und zuletzt 1999 der Landsat 7. Alle Landsat-Satelliten bewegen sich in einem wiederholenden, sonnensynchronen, polnahen Orbit und decken einen Bereich zwischen 81°N und 81°S ab. An Bord von Landsat 1 – 5 befand bzw. befindet sich der Multispektral Scanner (MSS), der in vier Spektralkanälen im Bereich des sichtbaren Lichtes und des nahen Infrarotes mit einer Auflösung von ca. 80 m aufnimmt. Landsat 1 – 3 bewegten sich auf einer Umlaufbahn in ca. 900 km Höhe und besaßen eine Aufnahmewiederholrate von 18 Tagen. Landsat 4 & 5, deren Umlaufbahnhöhe 705 km und deren Wiederholrate 16 Tagen beträgt, haben zusätzlich den Thematic Mapper (TM) mit an Bord. Dieser nimmt bei einer räumlichen Auflösung von 30 m

in sieben Kanälen vom sichtbaren Licht über das nahe und mittlere Infrarot auch im thermalen Infrarot auf. Letzteres allerdings mit einer Auflösung von 120 m. Landsat 7 schließlich besitzt mit dem Enhanced Thematic Mapper (ETM+) zusätzlich einen panchromatischen Kanal mit 15 m Auflösung; der thermale Infrarotkanal liefert eine verbesserte Auflösung von 60 m. Seit Juli 2003 tritt jedoch ein Fehler beim Scan-Line-Corrector auf. Dies hat zur Folge, dass die Szenen nur noch im zentralen Bereich problemlos interpretierbar sind. Die Betreiber bieten nun sog. SLC-off-Produkte an, bei denen soweit möglich die fehlenden Daten durch eine andere Szene ergänzt wurden (NASA_01). [...] Die Aufnahmestreifen decken bei allen Sensoren jeweils einen Bereich von ca. 180 x 180 km ab. Nachfolgende Tabelle 3 gibt einen Überblick zu den Landsat-Missionen und den Sensoren. [...]

Sensor	Mission	Zeitraum	Kanal	Spektralbereich	Bezeichnung	Räuml. Auflösung
MSS	1 – 3 4, 5	1972 - 1983 1982 - 1992	Band 4 (1)	0,50 – 0,60 μ	VIS (sichtbares Licht: blau-grün)	ca. 80 m
			Band 5 (2)	0,60 – 0,70 μ	VIS (sichtbares Licht: grün-rot)	ca. 80 m
			Band 6 (3)	0,70 – 0,80 μ	NIR (nahes Infrarot)	ca. 80 m
			Band 7 (4)	0,80 – 1,10 μ	NIR (nahes Infrarot)	ca. 80 m
TM	4, 5	seit 1982	Band 1	0,45 – 0,52 μ	VIS (sichtbares Licht: blau)	ca. 30 m
			Band 2	0,52 – 0,60 μ	VIS (sichtbares Licht: grün)	ca. 30 m
			Band 3	0,63 – 0,69 μ	VIS (sichtbares Licht: rot)	ca. 30 m
			Band 4	0,76 – 0,90 μ	NIR (nahes Infrarot)	ca. 30 m
			Band 5	1,55 – 1,75 μ	SWIR (kurzwelliges Infrarot)	ca. 30 m
			Band 6	10,4 – 12,5 μ	TIR (thermales Infrarot)	ca. 120 m
			Band 7	2,08 – 2,35 μ	SWIR (kurzwelliges Infrarot)	ca. 30 m
ETM+	7	seit 1999	Band 1	0,45 – 0,52 μ	VIS (sichtbares Licht: blau)	ca. 30 m
			Band 2	0,52 – 0,61 μ	VIS (sichtbares Licht: grün)	ca. 30 m
			Band 3	0,63 – 0,69 μ	VIS (sichtbares Licht: rot)	ca. 30 m
			Band 4	0,78 – 0,90 μ	NIR (nahes Infrarot)	ca. 30 m
			Band 5	1,55 – 1,75 μ	SWIR (kurzwelliges Infrarot)	ca. 30 m
			Band 6	10,4 – 12,5 μ	TIR (thermales Infrarot)	ca. 60 m
			Band 7	2,09 – 2,35 μ	SWIR (kurzwelliges Infrarot)	ca. 30 m
			Band 8	0,52 – 0,90 μ	PAN (sichtbares Licht)	ca. 15 m

Tabelle 3: Daten und Sensoren der Landsat-Missionen. (Bolch, 2006).

Damit die aufgenommenen Daten konsistent und möglichst fehlerfrei sind, werden diese von den Betreibern der Satellitendaten vorprozessiert, bevor sie vertrieben werden. Dies umfasst im Wesentlichen die Kalibrierung der Radiometrie, Korrektur der geometrischen Verzerrung, Entfernung des Sensorrauschens und abschließend die Formatierung in ein Standardformat [...]"

4.2.6 SPOT – Daten

Das Satellitensystem SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre) wurde von der CNES⁵ in Zusammenarbeit mit Belgien und Schweden entwickelt. Von den insgesamt sieben Sensoren sind derzeit vier in Betrieb (SPOT 4 – 7). Im Zuge dieser Arbeit wurden Aufnahmen des SPOT 3 Sensors verwendet. Dieser ca. 1800 kg schwere Satellit wurde am 26. September 1993 gestartet und umkreiste die Erde in einer Höhe von 822 km auf einer quasipolaren, sonnensynchronen Umlaufbahn. Die Umlaufbahn ist 98,7° gegen die Erdachse geneigt, wobei der Satellit in 101,4 Minuten die Erde einmal vollständig umkreiste. Alle 26 Tage wurde das gleiche Gebiet standardmäßig aufgenommen. Der Satellit konnte die Aufnahmerichtung des Sensors um $\pm 27^\circ$ verändern, wodurch die Erstellung von stereoskopischen Aufnahmen möglich war und außerdem das Aufnahmeintervall für gleiche Gebiete verringert werden konnte (1 – 3 Tage). Der SPOT 3 Sensor war auf Grund einer Störung des Stabilisierungssystems nur bis 14. November 1996 aktiv.

Der SPOT 3 Satellit hatte zwei identische HRV (High Resolution Visible) Sensoren an Bord, wobei einer im XS-Modus (multispektral) betrieben wurde und der zweite Sensor im P-Modus (panchromatisch). Im panchromatischen Modus wurde ein Wellenbereich von 0,5 – 0,73 μm bei einer Bodenauflösung von 10 m abgedeckt. Die verwendeten SPOT Szenen wurden in diesem Modus aufgenommen (nach CRISP).

Satellit / Sensor	Modus / Kanal	Bodenauflösung [m]	Wellenlängenbereich [μm]
SPOT 1 SPOT 2 SPOT 3	Panchromatisch	10 x 10	0,50 - 0,73
	B1: grün	20 x 20	0,50 - 0,59
	B2: rot	20 x 20	0,61 - 0,68
	B3: nahes Infrarot	20 x 20	0,78 - 0,89

Tabelle 4: SPOT 1 - 3, Aufnahmemodi und Auflösungen.

Die im Rahmen dieser Arbeit bearbeiteten SPOT 3 Satellitenszenen wurden am 12. September 1996 und 7. Oktober 1996 aufgenommen, also kurz vor dem endgültigen Ausfall des Sensors, und käuflich erworben.

Das verwendete Satellitenszenen-Mosaik von Google Earth (Google Inc., 2012) besteht vorwiegend aus SPOT Aufnahmen. Vermutlich wurden diese vom SPOT 5 Sensor im Jahr 2005 aufgenommen.

⁵ Centre national d'études spatiales - Französische Raumfahrtagentur

4.2.7 Jers-1 – Daten

Der Erdbeobachtungssatellit JERS-1⁶, beziehungsweise auch Fuyo-1 genannt, wurde am 11. Februar 1992 im Auftrag der NASDA⁷ mit einer Startmasse von 1340 kg gestartet. Der Satellit bewegte sich in einer sonnensynchronen, „sub-recurrent“ Umlaufbahn, bei einer Umlaufzeit von 96 Minuten und einer Höhe von 568 km. Die beobachteten Gebiete wurden in einem Aufnahmezyklus von 44 Tagen überflogen, wobei die Breite des Aufnahmestreifens 75 km betrug. Am 11. Oktober 1998 musste der Betrieb des Satelliten auf Grund technischer Schwierigkeiten eingestellt werden und er verglühte 2001 beim Wiedereintritt in die Atmosphäre.

JERS-1 beförderte sowohl SAR⁸ als auch optische Sensoren. Zweitere bestanden aus zwei voneinander unabhängigen, hochauflösenden Instrumenten, dem VNIR⁹ und SWIR¹⁰ Radiometern. Bei einer Bodenauflösung von 18,3 m (cross-track) x 24,2 m (along-track) wurde das reflektierende Sonnenlicht in acht Spektralbereichen (Bändern) aufgenommen. Band 4 wurde vorwärts 15,33° in Flugrichtung aufgezeichnet. Daher bilden Band 3 und 4 ein Stereopaar, aus welchem digitale Höhenmodelle generiert werden können.

Band No	Spectral range	General application
1	0.52 - 0.60 µm VIS (green)	Vegetation surveys, land use, water monitoring
2	0.63 - 0.69 µm VIS (red)	Chlorophyll absorption for vegetation differentiation
3	0.76 - 0.86 µm NIR	Biomass surveys (nadir viewing)
4	0.76 - 0.86 µm NIR	Biomass surveys (forward looking, at 15.3° to give stereo coverage with band 3)
5	1.60 - 1.71 µm (SWIR)	Vegetation moisture
6	2.01 - 2.12 µm (SWIR)	Hydrothermal mapping (eg. soils; geology)
7	2.13 - 2.25 µm (SWIR)	Hydrothermal mapping (eg. soils; geology)
8	2.27 - 2.40 µm (SWIR)	Hydrothermal mapping (eg. soils; geology)

Tabelle 5: Die acht Bänder des Optischen Sensors von JERS-1 und deren Spezifikationen (nach EO – Sharing Earth Observation Resources).

⁶ Japanese Earth Resources Satellite

⁷ NASDA (National Space Development Agency of Japan), heutige JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency)

⁸ Synthetic Aperture Radar

⁹ sichtbarer und infrarotnaher Spektralbereich

¹⁰ kurzwelliger Infrarotbereich

Die im Rahmen der Untersuchungen verwendete Szene des JERS-1 Satelliten wurde am 8. Jänner 1996 aufgenommen, käuflich erworben und beinhaltet die Bänder 1-4 (VNIR).

4.2.8 IRS-1C – Daten

Der IRS-1C Satellit wurde am 19. Mai 1995 in Kasachstan gestartet und war der Vierte der „Indian Remote Sensing“-Satellitenserie. Der Satellit operierte in einer polarnahen, sonnensynchronen Umlaufbahn und einer Höhe von 817 km. Ausgestattet war IRS-1C mit drei Sensoren.

Die hochauflösende, panchromatische Kamera (PAN) lieferte Daten mit einer Bodenauflösung von 5,8 m. Neben der Aufnahmerichtung Nadir, konnte die Kamera auch 26° nach oben geschwenkt werden. Dadurch ließen sich Stereo-Bilder aufnehmen und ein Aufnahmeintervall gleicher Gebiete von bis zu 5 Tagen erreichen. Außerdem transportierte der Satellit einen „Linear Imaging Self-scanning Sensor“ (LISS-III) welcher in vier multispektralen Bereichen Aufnahmen generierte. Der sichtbare Spektralbereich wurde in Band 1 und 2 gespeichert, der nahe Infrarotbereich in Band 3 und der kurzwellige Infrarotbereich in Band 4. Der dritte Sensor war der „Wide Field Sensor“ (WiFS), welcher in 2 Spektralbereichen Gebiete mit 774 km Streifenbreite und einer Bodenauflösung von 188 m aufnahm.

Sensor	Spektraler Wellenlängenbereich (µm)	Bodenauflösung	Aufnahmebreite	Aufnahmeintervall gleicher Gebiete (am Äquator)
PAN	0.5 - 0.75	5.8 m	70 km	24 days
LISS-II				
Green	0.52 - 0.59	23 m	142 km	24 days
Red	0.62 - 0.68	23 m	142 km	24 days
Near IR	0.77 - 0.86	23 m	142 km	24 days
Shortwave IR	1.55 - 1.70	70 m	148 km	24 days
WiFS				
Red	0.62 - 0.68	188 m	774 km	5 days
Near IR	0.77 - 0.86	188 m	774 km	5 days

Tabelle 6: Sensoren des IRS-1C Satelliten und deren Charakteristika (nach Natural Resources Canada).

Der Satellit war mit seinen drei Sensoren bis 1998 aktiv. Die im Rahmen dieser Arbeit bearbeitete und käuflich erworbene Satellitenszene des IRS-1C wurde am 6. Juli 1996 aufgenommen und beinhaltet das panchromatische Band.

4.2.9 Aster – Daten

Bolch (2006, S. 34) fasst die Aster Daten wie folgt zusammen:

„ASTER ist ein auf dem EOS-TERRA-Satelliten installierter, hochauflösender, multispektral aufnehmender Scanner, der im sichtbaren, infraroten und thermalen Spektralbereich arbeitet und dessen Daten seit 2000 erhältlich sind. Der Trägersatellit fliegt eine sonnensynchrone Umlaufbahn in einer Höhe von 705 km. Die Wiederholrate ist nicht konstant und liegt zwischen vier und 16 Tagen. Die Auswahl der bei der jeweiligen Umrundung aufgenommenen Szenen ist abhängig von den Anfragen der Nutzer. Eine ASTER-Szene deckt dabei die Fläche von 61,5 x 63 km ab. ASTER enthält 14 spektrale Kanäle, getrennt in drei Subsysteme mit jeweils unterschiedlicher räumlicher Auflösung (siehe Tabelle 7): Drei Kanäle im sichtbaren und nahinfraroten Bereich (VNIR, 0.5-1.0 μm) mit einer Auflösung von 15 m, sechs Kanäle im kurzwelligen Infrarotbereich (SWIR, 1.0-2.5 μm) mit einer Auflösung von 30 m und fünf Kanäle im thermalen Infrarot (TIR, 8-12 μm) mit 90 m Auflösung (ABRAMS 2000). Während ein Band im nahen Infrarotbereich (Band 3N) in Nadirrichtung aufnimmt, detektiert Band 3B um 27,7° rückwärtsgerichtet und ca. 60 Sek. zeitverzögert. Das Basisverhältnis von 0.6 ermöglicht eine Stereoauswertung in Flugrichtung (ABRAMS 2000, TOUTIN & CHENG 2001). Auch die ASTER-Daten werden wie die Landsat-Daten in verschiedenen Prozessierungslevels angeboten [...]“

Kanal	Spektralbereich(e)	Bezeichnung	Räuml. Auflösung
Band 1	0,52 – 0,60 μ	VIS (sichtbares Licht: grün)	ca. 15 m
Band 2	0,63 – 0,69 μ	VIS (sichtbares Licht: rot)	ca. 15 m
Band 3N	0,78 – 0,86 μ	NIR (nahes Infrarot)	ca. 15 m
Band 3B	0,78 – 0,86 μ	NIR (nahes Infrarot)	ca. 15 m
Band 4	1,60 – 1,70 μ	SWIR (kurzwelliges Infrarot)	ca. 30 m
Bänder 5 – 9	2,145 – 2,430 μ	SWIR (kurzwelliges Infrarot)	ca. 30 m
Bänder 10 - 14	8,125 – 11,65 μ	TIR (thermales Infrarot)	ca. 90 m

Tabelle 7: Die Kanäle des ASTER-Sensors (Bolch, 2006).

4.2.10 Quickbird – Daten

QuickBird 2 ist ein kommerzieller Satellit des Unternehmens DigitalGlobe. Er wurde am 18. Oktober 2001 von der Vandenberg Air Force Base in Kalifornien gestartet und befindet sich seitdem in einer sonnensynchronen, polarnahen Umlaufbahn. Zum Zeitpunkt seines Starts war er der Satellit mit der höchsten Auflösung aller in Betrieb befindlichen kommerziellen Satelliten.

Sensor / Band	Spektraler Wellenlängenbereich (µm)	Bodenauflösung	Aufnahmebreite	Aufnahmeintervall gleicher Gebiete
panchromatisch	0,45 - 0,90	0,7 m	16,5 km	1 – 3,5 Tage
multispektral	0,45 - 0,52	2,8 m		
	0,52 - 0,60			
	0,63 - 0,69			
	0,76 - 0,90			

Tabelle 8: QuickBird 2 Satellit mit seinen Spezifikationen in seiner ursprünglichen Umlaufbahn bis April 2011.

QuickBird umkreiste den Globus zum Zeitpunkt der verwendeten Satellitenszenen auf einer Höhe von 450 km bzw. derzeit auf 482 km über der Erde, während der QuickBird Sensor während der Tageslichtstunden Aufnahmen von der Erdoberfläche macht. Das System nimmt panchromatische Daten mit einer Bodenauflösung von 61 cm und multispektralstereoskopische Daten mit 2,5 m auf (nach ESA - European Space Agency). Im April 2011 wurde die Umlaufbahn des Satelliten verändert, um eine längere Lebensdauer gewährleisten zu können.

Die bearbeiteten Mosaiks von Satellitenaufnahmen aus Google Earth (Google Inc., 2012) setzen sich teilweise aus Aufnahmen des QuickBird 2 Satelliten zusammen und wurden vermutlich 2005 aufgenommen.

4.2.11 Ikonos – Daten

Für die nähere Beschreibung des Satelliten sei auf Kapitel 4.1.1 Ikonos – Daten verwiesen.

4.2.12 RapidEye – Daten

Für die nähere Beschreibung des Satelliten sei auf Kapitel 4.1.2 RapidEye – Daten verwiesen.

5. Bearbeitung westliches Inylchek-Tal – Gripkov

5.1 Geologisch – (glazial)geomorphologische Kartierung

Wie in Kapitel 1 bereits beschrieben, wurden die Geländeaufnahmen im Bereich des westlichen Inylchek-Tales im Rahmen von zwei Expeditionen durchgeführt. Im Zuge der ersten Expedition wurde im Zeitraum vom 13. – 14. August 2009 entlang der orografisch linken Seite kartiert. Die orografisch rechte Seite, respektive die Terrassen-Strukturen, konnten im Rahmen der zweiten Expedition im Zeitraum vom 9. – 15. August 2011 vor Ort näher untersucht werden. Wie in Kapitel 2.1 erwähnt, galt das Hauptaugenmerk im Rahmen der Geländearbeiten dem Landschaftsinventar für geologisch-(glazial)geomorphologische Fragestellungen. Außerdem war ein Ziel der Kartierungsarbeiten die Rekonstruktion der Paläogeographie und wie sich während der Untersuchungen herausstellte, der Entstehung der fluviatilen/fluvioglazialen Terrassen und deren Prozesse.

5.1.1 Orografisch linke Seite (Expedition 2009)

Das Inylchek-Tal östlich der Basis „Gripkov“ besteht aus gefalteten paläozoischen Formationen (siehe Abbildung 4). Der südliche Talhang weist Meter bis Zehnermeter dicke, gebankte, karbonatische Formationen auf (siehe Abbildung 13). Die Faltenachsen verlaufen im Allgemeinen parallel zum Inylchek-Tal, wodurch die Schichtflächen der paläozoischen, karbonatischen Formationen mit dem Talhang verschneiden. Die daraus resultierenden, parallel verlaufenden Bergrücken und „Pseudo-Terrassen“ sind charakteristisch für die Geomorphologie des südlichen Talhanges. Die Basis der dick gebankten, steil nach Norden einfallenden Karbonate ist teilweise stark durch den früheren, talwärts fließenden Gletscherstrom bzw. dessen Moränenmaterial gekritzelt.

Im Bereich der in das Haupttal einmündenden Seitentäler wurden an den paläozoischen Gesteinen Strömungen in zwei rechtwinkelig zueinanderstehenden Richtungen beobachtet. Die Entstehung dieser zwei Bewegungsrichtungen dürfte auf den Gletscherabrieb des nach Westen fließenden Inylchek Gletschers und der nach Norden fließenden kleineren Gletscher der Seitentäler rückzuführen sein (siehe Abbildung 13, C).



Abbildung 13: Der südliche Steilhang des Inylchek-Tales zeigt gefaltete, dick gebankte, paläozoische Karbonate (A; Blick von der gegenüberliegenden, nördlichen Talseite Richtung Süden). Gekritzte Karbonate der orografisch linken Talseite auf Grund des Gletscherabriebes (B, C). Eigene Aufnahmen 2009/2011.

5.1.2 Orografisch rechte Seite (Expedition 2011)

Das Basement des nördlichen Hanges des Inylchek-Tales setzt sich nordöstlich von Gripkov vorwiegend aus paläozoischen, gefalteten bis hin zu stark gefalteten Formationen zusammen (siehe Abbildung 14). Die Karbonate dieser paläozoischen Formationen sind gebankt, stark isoklinal verfaultet beziehungsweise teilweise auch stark tektonisch gestört und werden dem Ordovizium bis Karbon zugeordnet. Die Faltenachsen und Kluftflächen sind in kleinen Seitengraben teilweise gut aufgeschlossen und verlaufen im Allgemeinen talparallel beziehungsweise die Störungsflächen orthogonal dazu (siehe Abbildung 16). Westlich vom Seitental „Dës“ sind diese Karbonate von kleinen Zuflüssen erodiert worden (siehe Abbildung 15, A-C). Überlagert wird das paläozoische Grundgebirge teilweise von quartären Sedimenten. Unter anderem sollen die Herkunft sowie die Ablagerungsprozesse dieser Sedimente in den folgenden Beschreibungen der angetroffenen geologischen Aufschlüsse näher erläutert werden.



Abbildung 14: Verfaltete, paläozoische Formationen als Basement des nördlichen Hanges des Inylchek-Tales nordöstlich von Gripkov (Blickrichtung Nord; A), und in östlicher Richtung (Gebirgszug Sary-Džaz; B). Eigene Aufnahmen 2011.



Abbildung 15: Paläozoische Karbonate westlich von Dës-Valley erodiert von kleinen Zuflüssen (A). Gebankte, stark isoklinal verfaltete und gestörte Karbonate (B). talparallele Faltenachsen in kleinen Seitengraben (C). Eigene Aufnahmen 2011.

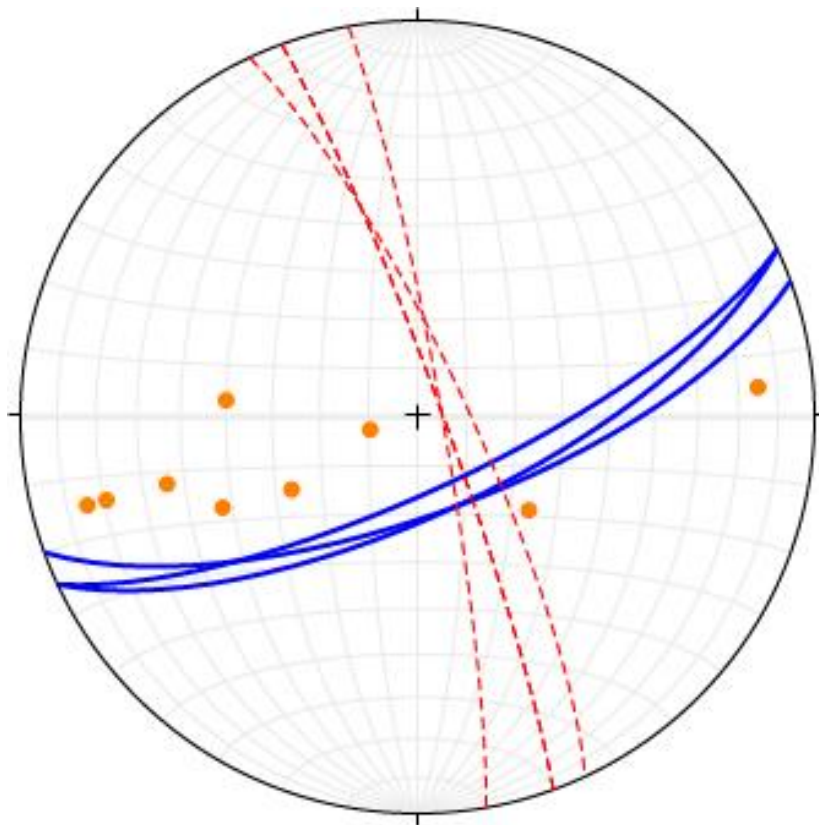


Abbildung 16: genordeter, stereographischer Plot (flächentreu) der gemessenen talparallelen Faltenachsen (b-Achsen, orange), Klufflächen (blau) und orthogonalen Störungsflächen (rot) in den Seitengraben des nördlichen Hanges des Inylchek-Tales.

Ein Großteil der auffälligen, multiplen Rücken ist gut aufgeschlossen und zeigt gefaltete, paläozoische Formationen, welche von quartären, fluviatilen und fluvioglazialen Sedimenten überlagert werden. Daraus lässt sich schließen, dass die Basis des südlichen Inylchek Gletschers erodiert, geglättet und zu Rundhöckern¹¹ geformt wurde. Darüber lagerten sich fluviatile oder fluvioglaziale Sedimente. Nach der Freilegung dieser Hügel wurden die resultierenden Terrassen durch Seitenzuflüsse, wie zum Beispiel dem „Dës“-Zufluss eingeschnitten und die Rücken erodiert (siehe Abbildung 17). Die Terrassen zeigen jedoch abgesehen von diesen Erosionseinschnitten eine ebene Oberfläche mit sortierten, geschichteten Sedimenten. Ein Teil der Terrassen wird daher vorerst als Kameterrassen angesprochen¹² und soll in den folgenden Seiten von diesem Standpunkt näher betrachtet werden.

Zum besseren Verständnis wurden sämtliche Terrassen gemäß ihrer zeitlichen sowie geologischen Entstehung nachträglich benannt (siehe Kapitel 5.2).

¹¹ (französisch *Roches moutonnées*) Detersion und Detraktion verwandeln Erhebungen des Felsuntergrundes in Rundhöcker. Dies sind asymmetrische Felsbuckel mit stromlinienförmig gerundeter, abgeflachter Stoßseite und kantiger, von Klufflächen begrenzter Leeseite (Ahnert, 1999: S. 335)

¹² Vergl. Definition Kameterrassen in Kapitel 1.4.2

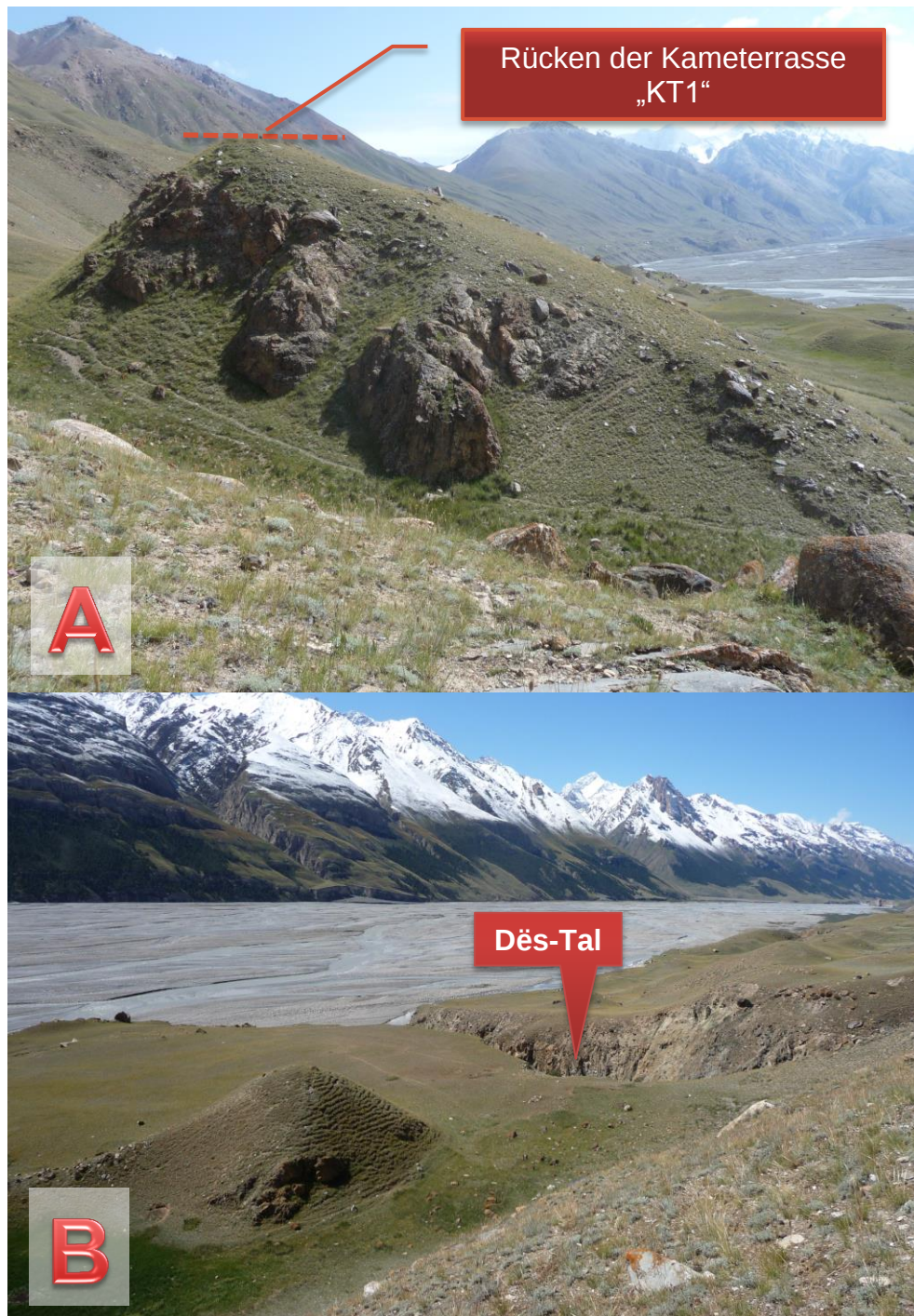


Abbildung 17: Ein durch den Gletscher erodierter Rundhöcker mit gefaltetem, paläozoischem Gestein an der Basis und darüber abgelagerten fluviatilen Sedimenten (A, Kameterrasse „KT1“). Durch Zuflüsse eingeschnittene Terrasse (B). Eigene Aufnahmen 2011.

Im Anschnitt der Terrassen finden sich im Dës-Tal bis zu Zehnermeter dicke fluvioglaziale Sedimente, welche diskordant das stark gefaltete, geglättete und erodierte paläozoische Gestein überlagern. Der Anschnitt der Kameterrasse „KT3“ zeigt schlecht sortierte Sedimente einer Moräne des früheren südlichen Inylchek Gletschers, überlagert von geschichteten, fluviatilen Sedimenten (siehe Abbildung 18).

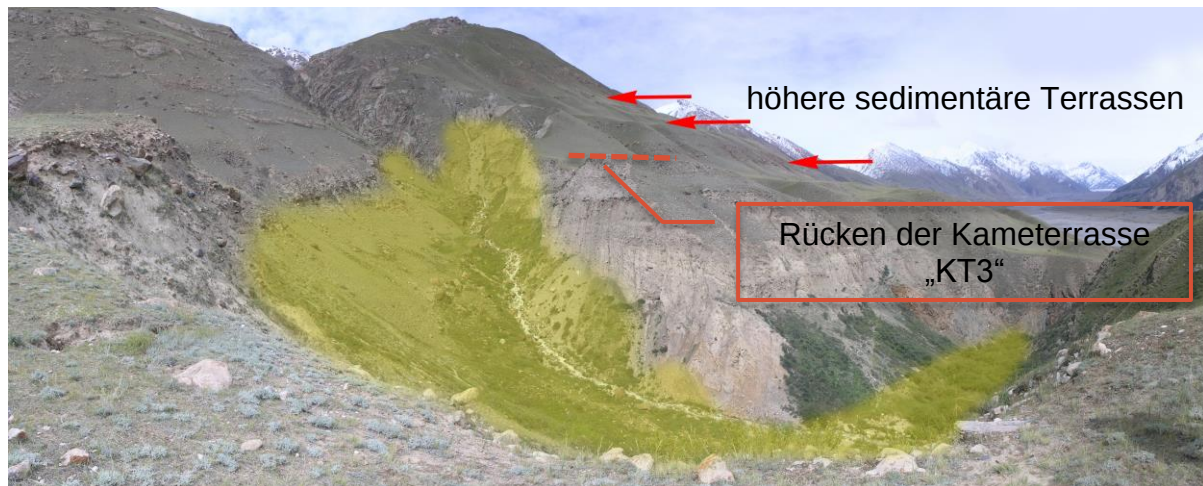


Abbildung 18: Panoramabild des Dës-Tales mit fluvio-glazialen Sedimenten diskordant über das paläozoische Gestein gelagert. Der Anschnitt der Kameterrasse „KT3“ zeigt geschichtete, fluviale Sedimente über schlecht sortiertem Moränenmaterial. Im Hintergrund sind einige kleinere, höhere sedimentäre Terrassen sichtbar (rote Pfeile). Eigene Aufnahmen 2011.



Abbildung 19: Blick von der Kameterrasse KT3b auf das paläozoische Gestein. Eigene Aufnahmen 2011.



Abbildung 20: Blick auf die Kameterrassen „KT2“ und „KT3a“. Die Terrassen sind teilweise auf Grund von lateraler Erosion durch kleine Täler eingeschnitten. Eigene Aufnahmen 2011.

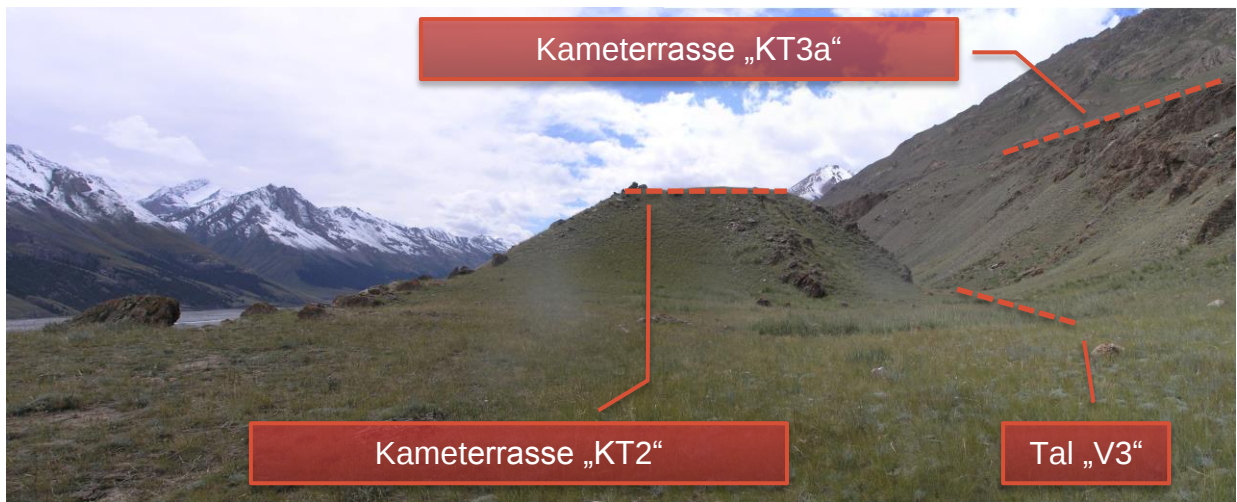


Abbildung 21: Blick auf die Terrassen "KT3a" und "KT2". Unter der fluvioglazialen Bedeckung (gerundeter Kies und Steine) befindet sich das paläozoische Grundgebirge. Beides wurde teilweise erodiert (V3). Eigene Aufnahmen 2011.

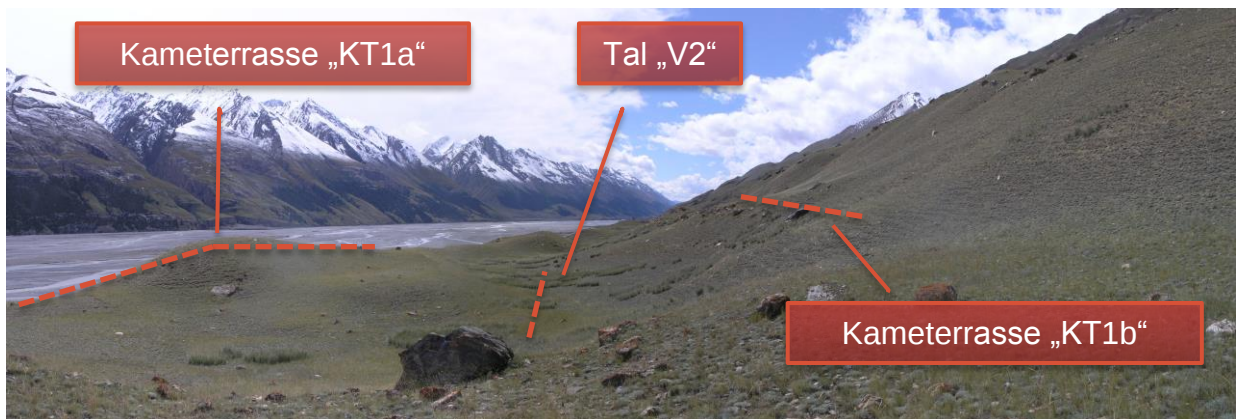


Abbildung 22: Blick auf die Kameterrassen "KT1a" und "KT1b" eingeschnitten durch Tal "V2". Eigene Aufnahmen 2011.

Im Gegensatz zu den beschriebenen fluvioglazial gebildeten Kameterrassen, befinden sich im unteren Teil des nördlichen Hanges mehrere kleinere Terrassen, welche großteils aus fluviatilen Sedimenten bestehen. Diese fluviatilen Terrassen wurden vom Gletscherabfluss postglazial gebildet, während sich die rückziehende Gletscherzunge bereits weiter östlich befand. Im Bereich der Einmündung des Dës-Tales in das Inylchek-Tal wurde ein circa 5 m mächtiger Schwemmfächer durch den Dës-Fluss abgelagert. Das matrixgestützte Sediment mit schlecht bis gut gerundeten Granitblöcken zeigt, dass das genannte Material vom paläo-Dës-Fluss abgelagert wurde. Die Granitsteine und Blöcke haben einen Durchmesser von Zentimetern bis hin zu Metern. Der Schwemmfächer des paläo-Dës-Flusses verschneidet mit der fluviatilen Terrasse „FT1“, wodurch die Wechsellagerung aus gut gerundetem und schlecht gerundetem Sediment erklärt werden kann. (siehe Abbildung 23, B und C sowie Abbildung 24).

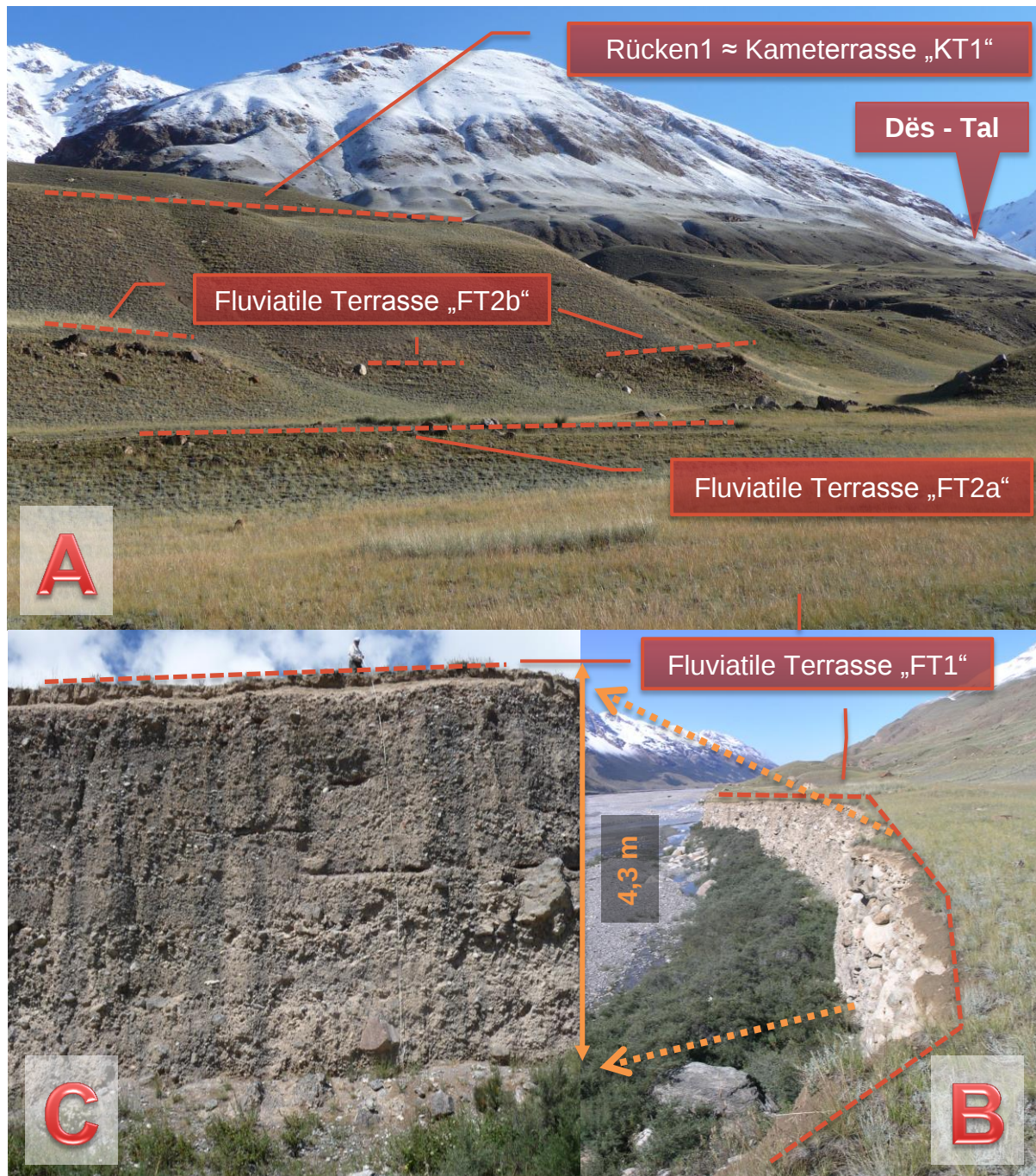


Abbildung 23: Kameterrasse "KT1" mit den niedriger gelegenen postglazial, fluviatil gebildeten Terrassen FT1, 2a und 2b (A); fluviatile Terrasse "FT1" mit 4,3 m Mächtigkeit, teilweise fluvioglaziale Zwischenlagen des Dës Seitenflusses (B, C). Eigene Aufnahmen 2011.



Abbildung 24: Schwemmfächer abgelagert/erodiert von Dës-Fluss und verschnitten mit der fluviatilen Terrasse "FT1" (A) bestehend aus (schlecht) gerundeten Granit Steinen und Blöcken (B). Eigene Aufnahmen 2011.

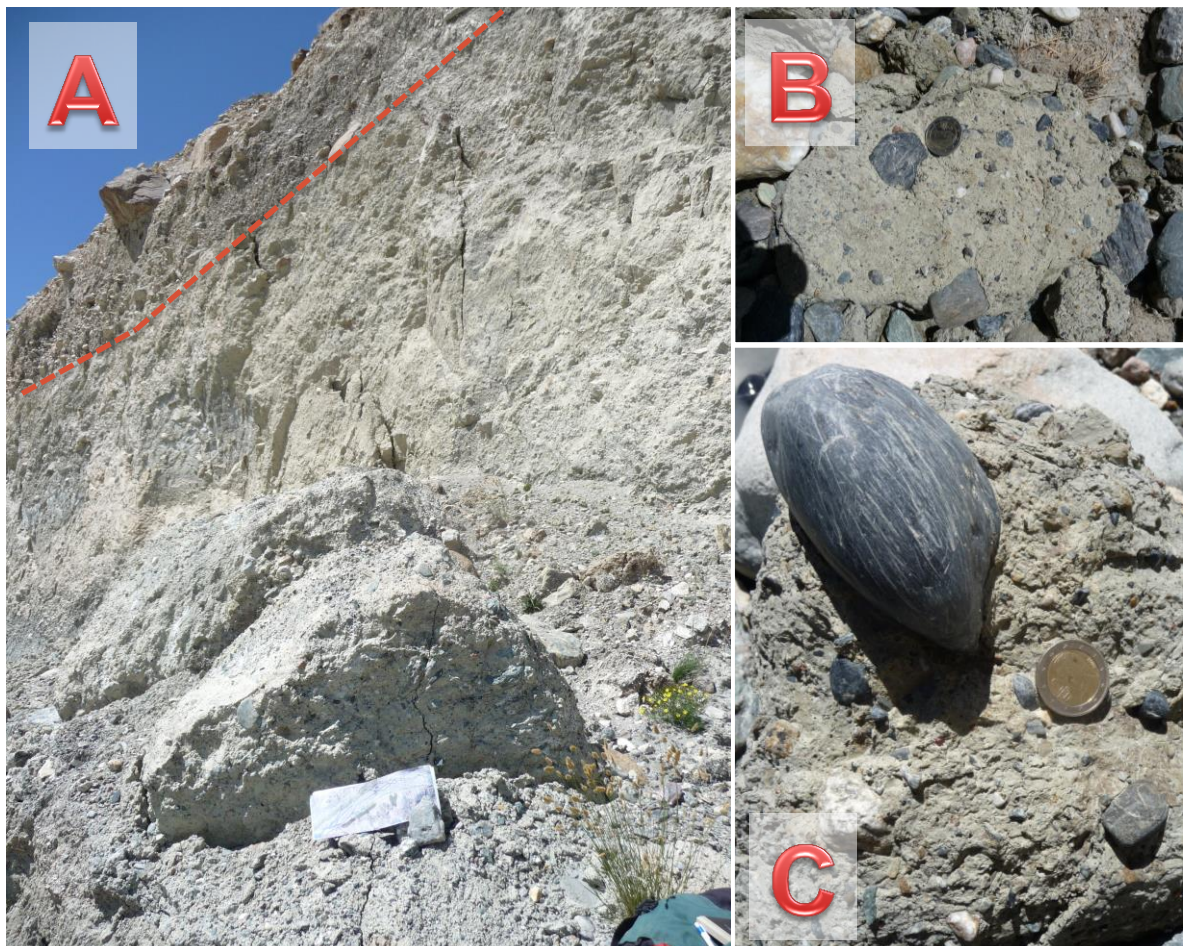


Abbildung 25: Matrixgestützte Moräne mit einer Mächtigkeit von ungefähr 10 m überlagert von 2 m fluviatilen Sedimenten aus vorwiegend gut gerundeten Steinen und Blöcken (oberhalb der roten Linie) östlich der Talmündung Dës/Inylchek (A). In den Moränenablagerungen sind häufig gekritzte Steine (C) und gekritzte Geschiebe in Debris (B) zu finden. Eigene Aufnahmen 2011.

Östlich des Mündungsbereiches Dës-Tal/Inylchek-Tal ist eine ungefähr 10 m mächtige, matrixgestützte, ungeschichtete und schlecht sortierte Seitenmoräne bzw. Grundmoräne mit

gekrizten Geschieben aufgeschlossen, welche auf den Inylchek Gletscher zurückzuführen ist. Über den ungefähr 10 m mächtigen Moränensedimenten wurden 2 m fluviatile Sedimente mit gut gerundeten Komponenten abgelagert (siehe Abbildung 25). Als wahrscheinliche Herkunft ist wiederum der Dës-Fluss zu nennen.

Im direkten, östlichen Mündungsbereich der beiden Täler erodierte der Dës-Fluss einen Großteil der Moräne. Ähnlich der beschriebenen Wechsellagerung auf der westlichen Seite (Verschnitt Dës-Sedimente mit „FT1“) sind auch hier Zwischenlagen des paläo-Dës-Flusses, bestehend aus Dezimeter bis Meter großen Komponenten zu beobachten. Die oberste Schicht dieser Abfolge bilden die Sedimente des paläo-Dës-Flusses (siehe Abbildung 26).



Abbildung 26: Östlicher Bereich der Einmündung des Dës-Tales in das Inylchek-Tal. Heller Bereich zeigt eine matrixgestützte, ungeschichtete Moräne mit einer Wechsellagerung (rot markiert) aus fluviatilen Sedimenten. Eigene Aufnahmen 2011.

Zum besseren Verständnis und zur Klassifikation der Terrassen wurde südwestlich des Dës-Tales ein senkrecht zu den Terrassen verlaufendes Profil mittels Neigungswinkelmesser, Maßband, Kompass und GPS eingemessen und daraus ein grobes Höhenprofil generiert (siehe Abbildung 27 und Abbildung 32). Weiters wurde an zwei Stellen die Neigung der Terrassen vermessen, wobei sich ein Gefälle von 1,5 - 2,0° nach Südwesten ermitteln ließ (siehe Abbildung 27).

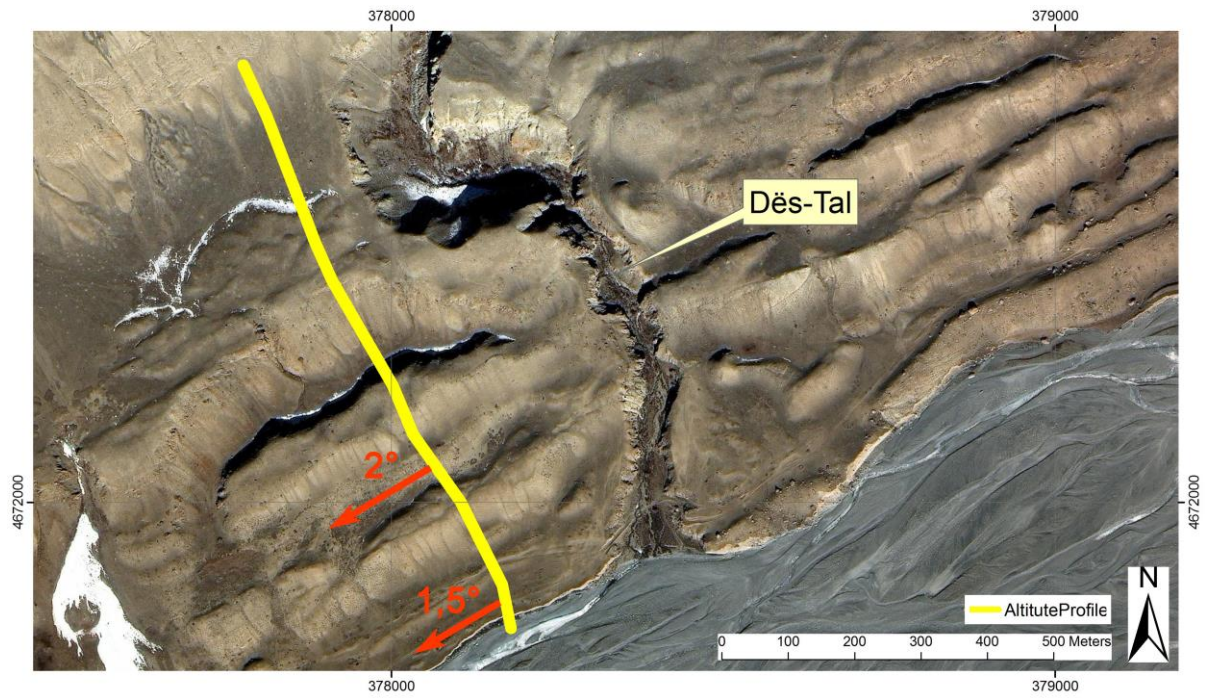


Abbildung 27: Lage des mittels GPS, Neigungswinkelmesser, Kompass und Maßband gemessenen Höhenprofiles in Gelb markiert (vergl. Abbildung 32). Gefälle des Geländes nach Südwesten, parallel zu den Terrassen in Orange markiert. Datengrundlage: Google Inc. (2012), Aufnahme des Satelliten Ikonos vom 15.2.2007.

5.2 Zusammenfassung und Interpretation der Geländeaufnahmen

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die Morphologie der orografisch linken und rechten Talhänge signifikant voneinander unterscheidet (siehe Abbildung 28). Die dick gebankten Karbonate bilden einen steil einfallenden südlichen Talhang, wodurch sich Seitenmoränen und fluvioglaziale Sedimente kaum ablagern konnten oder erodiert wurden und dadurch schlecht erhalten sind. Im Gegensatz dazu setzt sich das Grundgebirge des nördlichen Talhanges aus dünn gebankten, paläozoischen Karbonaten zusammen und bildet eine sanft verlaufende Morphologie. Dadurch konnten sich fluvioglaziale und fluviatile Sedimente verschiedener Sedimentationsstadien ablagern und sind rezent gut erhalten. Eine Ausnahme bildet zum Beispiel der Bereich um das Camp „Majda-Adyr“, wo in den paläozoischen Karbonaten auch paläozoische Granit-Intrusionen anzutreffen sind. In diesem Sektor zeigt sich die sanfte Morphologie sowohl an der orografisch rechten, als auch linken Talseite. Dadurch konnten hier an beiden Seiten fluvioglaziale Sedimente abgelagert werden.

Die eigentliche Fragestellung in diesem Arbeitsgebiet war die Entstehung und Entwicklung der multiplen Terrassen am nördlichen Hang des Inylchek-Tales. Dazu standen schon im Vorhinein einige Möglichkeiten zur Diskussion (siehe Kapitel 2.1).

Nach der reinen Analyse der Fernerkundungsdaten entsteht rasch der Eindruck, dass die multiplen Terrassen tektonischen Ursprungs seien. Im Zuge des Geländeaufenthaltes wurden strukturgeologische und sedimentologische Untersuchungen durchgeführt, sowie ein neuer Eindruck im Zuge der Befliegungen mittels Hubschrauber gewonnen. Wirft man einen Blick in die Seitentäler, bekommt man einen Eindruck vom starken Einfluss der fluviatilen und vor allem fluvioglazialen Prozesse bei der Entstehung dieser Terrassen-Strukturen.

Wie die Geländeaufnahmen der Expeditionen 2011 zeigen, lässt sich das Landschaftsinventar der orografisch rechten Seite des Inylchek-Tales wie folgt zusammenfassen:

- Das Grundgebirge des Hanges besteht aus paläozoischen Formationen.
- Die paläozoischen Karbonate fallen steil und talparallel ein und sind stark gefaltet (siehe Abbildung 16).
- Diese gefalteten, paläozoischen Formationen wurden durch den Inylchek Gletscher geomorphologisch geprägt und sub-, sowie postglazial von fluvioglazialen, quartären Sedimenten bedeckt.
- Im oberen Bereich des Hanges entstanden dadurch Kameterrassen.
- Im unteren Bereich wurden nach dem Gletscherrückzug postglaziale, fluviatile Terrassen vom Gletscherabfluss gebildet.
- Im Bereich von Mündungen der Seitentäler/Zuflüsse in das Inylchek-Tal kommt es zu Wechsellagerungen und Einschaltungen der fluviatilen, schlecht gerundeten

Sedimente der Zuflüsse in den fluviatilen Terrassen und teilweise Moränen des Inylchek-Tales.

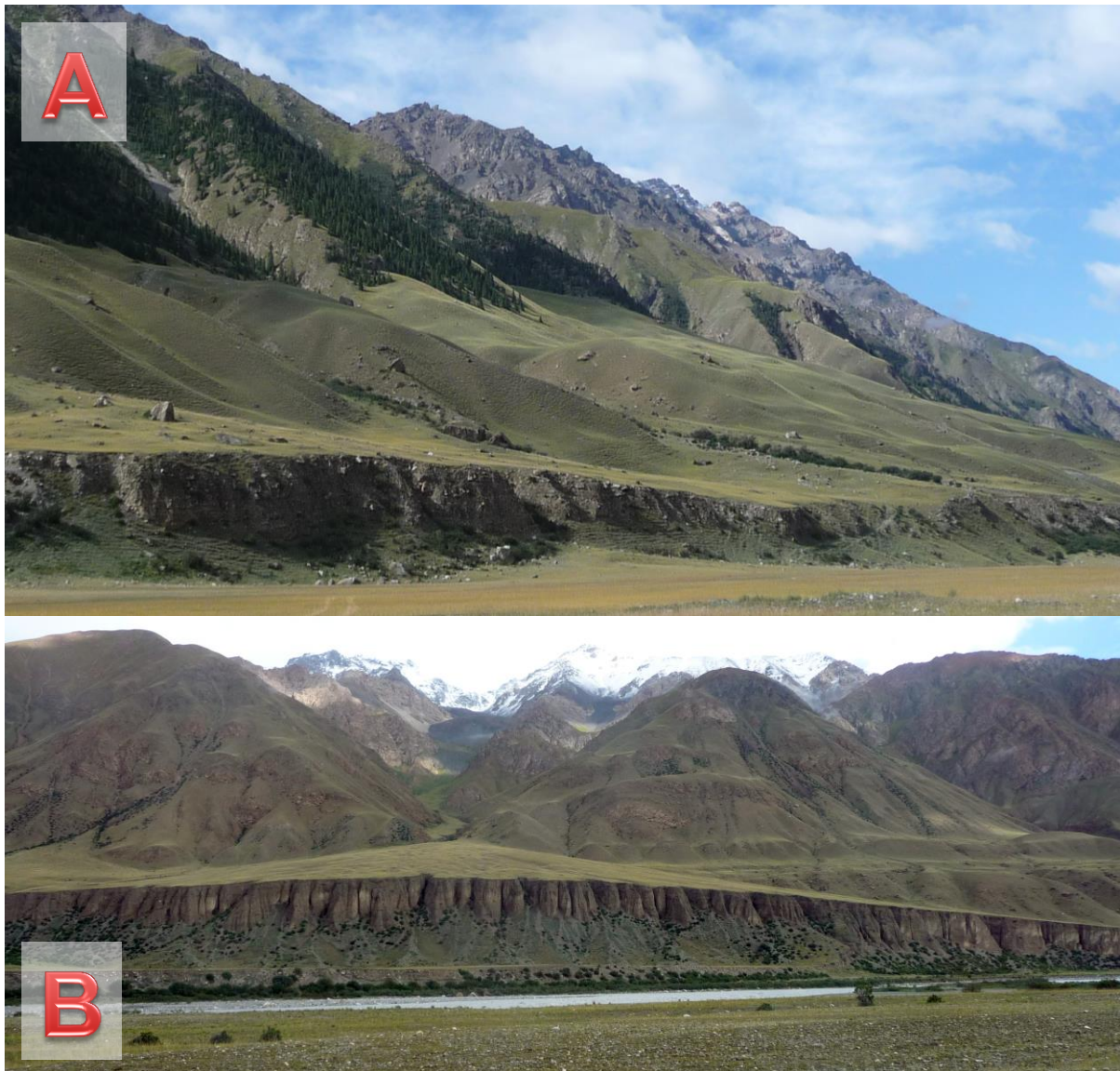


Abbildung 28: Nord- und Südhang des Inylchek-Tales sind nahe der Basis „Majda-Adyr“ von fluvioglazialen Sedimenten bedeckt. Bild A zeigt erhaltene Seitenmoränen und fluvioglaziale Sedimente mit darauf abgelagerten Blöcken von Felsstürzen. Abbildung B verdeutlicht hingegen die für die nördliche Talseite typische Stufenlandschaft aus fluvioglazialen Rücken und Terrassen, welche von markanten Schwemmfächern der Seitenzuflüsse eingeschnitten werden. Eigene Aufnahmen 2009.

Abbildung 18 zeigt im Anschnitt durch den Dës-Fluss die obersten quartären Sedimente als Terrassen abgelagert. Weiters zeigt der Aufschluss, dass die stark talparallel gefalteten paläozoischen Karbonate von geschichteten fluvioglazialen Sedimenten bedeckt werden. Alle beschriebenen Aufschlüsse und Beobachtungen auf der orografisch rechten Seite des Inylchek-Tales zusammenfassend, lassen sich folgende Schlussfolgerungen treffen:

- Die Entstehung der multiplen, talparallelen Stufen unterschiedlicher Höhe ist nicht auf neotektonische Prozesse zurückzuführen.
- Es wurden keine Hinweise für gravitative Massenbewegungen gefunden.

- Die Terrassen-Strukturen wurden im Bereich der paläozoischen Formationen durch die morphologische Prägung des Gletschers (Erosion) in Kombination mit den starken talparallelen Verfaltungen gebildet.
- Im Bereich der quartären, fluvioglazialen Sedimente kann von Kameterrassen gesprochen werden, welche auf die verschiedenen Stadien des Abschmelzens und des Rückzugs des Gletschers rückzuführen sind (siehe Abbildung 29, Abbildung 30 und Abbildung 31).
- Die Terrassen mit quartären fluvialen Sedimenten werden bis heute durch den Gletscherabfluss gebildet.

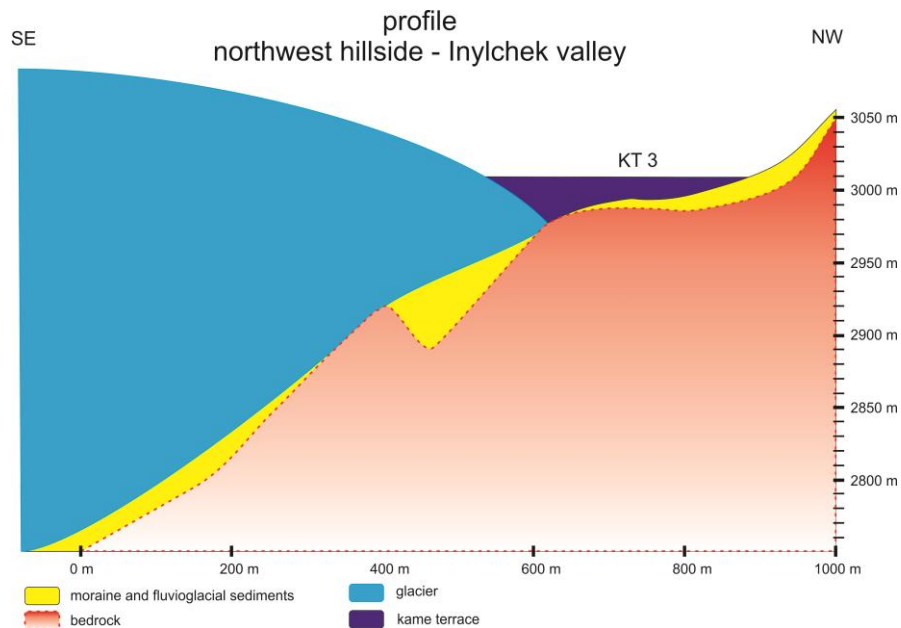


Abbildung 29: Schematisches Profil des nördlichen Hanges des Inylchek-Tales und Rekonstruktion des fluvioglazialen Prozesses welcher zur Entstehung der Kameterrasse "KT3" führte.

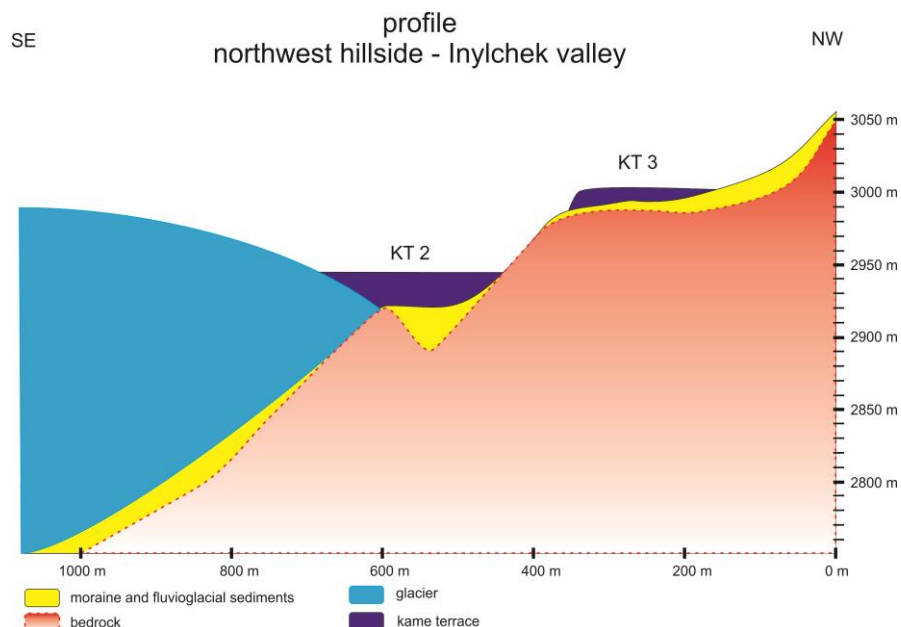


Abbildung 30: Schematisches Profil des nördlichen Hanges des Inylchek-Tales und Rekonstruktion des fluvioglazialen Prozesses welcher zur Entstehung der Kameterrasse "KT2" führte.

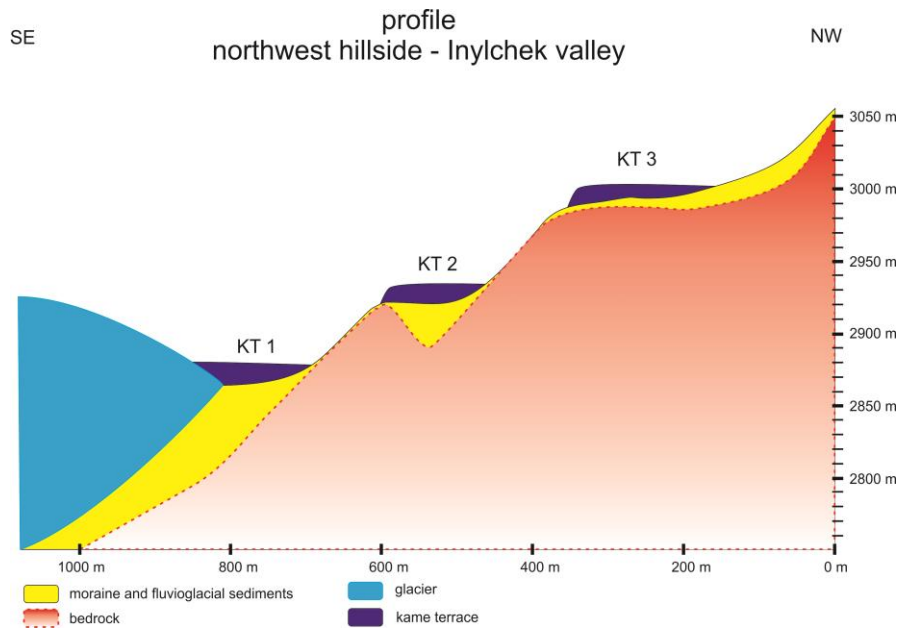


Abbildung 31: Schematisches Profil des nördlichen Hanges des Inylchek-Tales und Rekonstruktion des fluvioglazialen Prozesses welcher zur Entstehung der Kameterrasse "KT1" führte.

Wie in Kapitel 5.1.2 bereits erwähnt, wurde ein senkrecht zu den Terrassen verlaufendes Höhenprofil südwestlich des Dës-Tales vermessen und generiert. Die einzelnen Terrassen wurden nummeriert, wobei zwischen den Kameterrassen (KT), den dazwischenliegenden kleineren Tälern (V) und den fluviatil gebildeten Terrassen (FT) unterschieden wurde. „V1“ entspricht dem rezenten Niveau des „braided river“ Systems des Gletscherabflusses (siehe Abbildung 32).

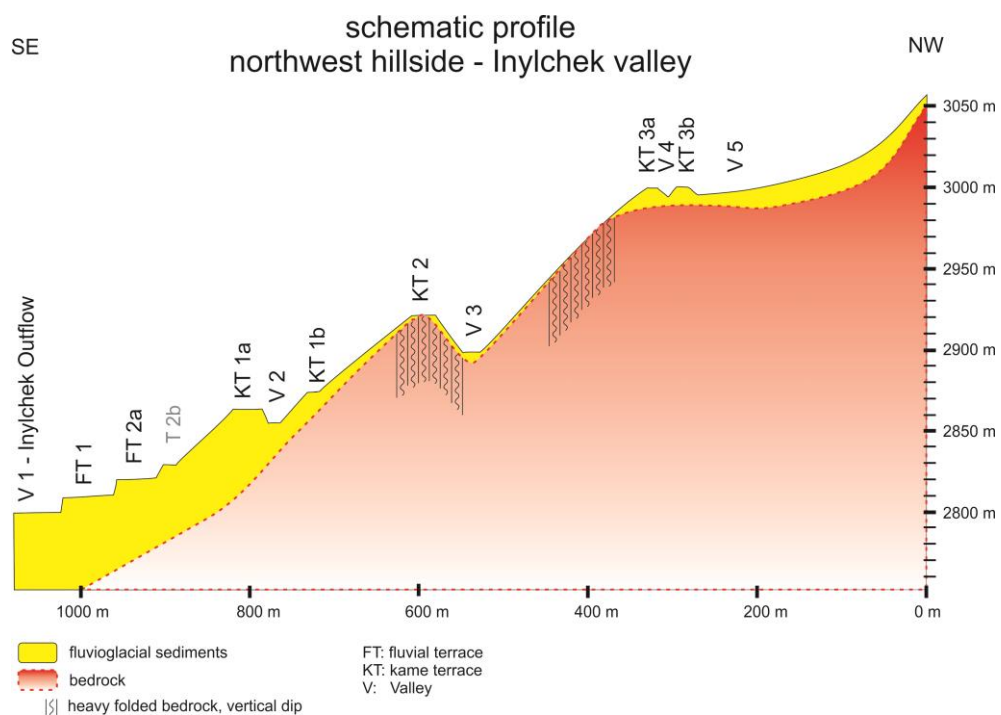


Abbildung 32: Schematisches Höhenprofil des nördlichen Hanges des Inylchek-Tales westlich des Dës-Tales. Bei den beschriebenen multiplen Terrassen wurden fluviatile Terrassen (FT) und Kameterrassen (KT) unterschieden und nummeriert.

5.1 Kombination mit fernerkundungsbasierten Daten

Die dem Autor zur Verfügung stehenden Satellitendaten von RapidEye und Ikonos Satelliten (siehe Kapitel 4) wurden zu Beginn der Untersuchungen im Rahmen der Expedition 2011 vorwiegend als Kartengrundlage für die geologisch-(glazial)geomorphologische Kartierung (siehe Kapitel 5.1) verwendet.

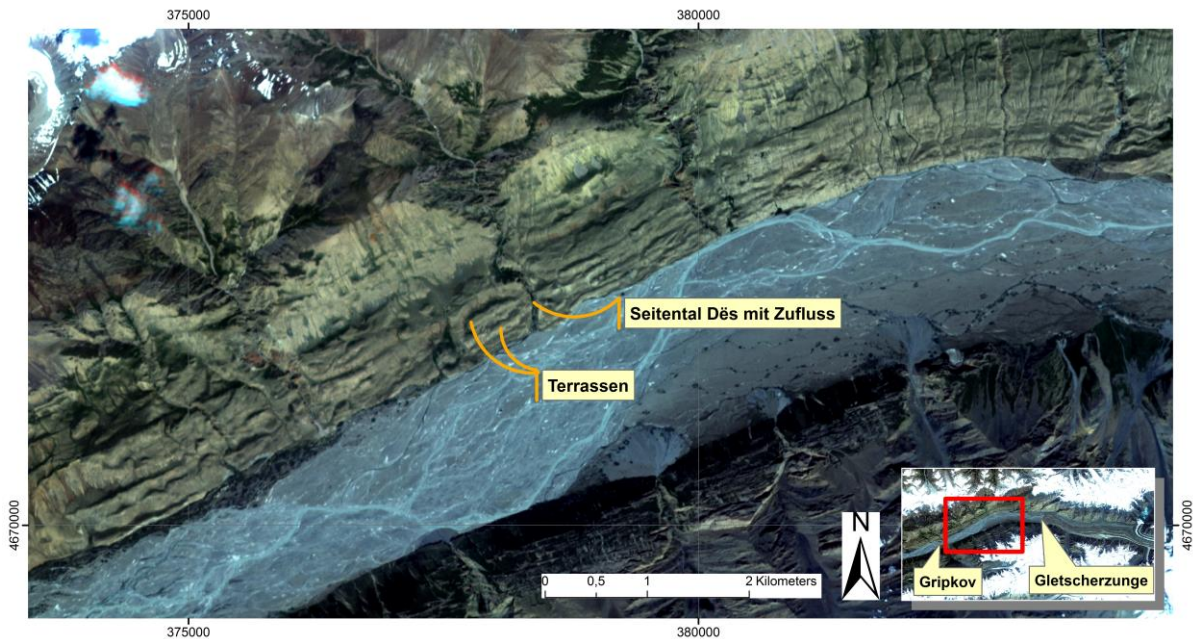


Abbildung 33: RapidEye Satellitenaufnahme vom 4. Juli 2011 (UTM, WGS84) zeigt die parallel verlaufenden, multiplen Terrassen entlang des Nordhanges des Inylchek-Tales.

In Kapitel 5.1 wurde beschrieben, wie im Rahmen der Geländearbeiten den Entstehungsprozessen der multiplen Terrassen nachgegangen wurde sowie das Landschaftsinventar besser beschrieben werden konnte. Die daraus resultierende Unterscheidung der Terrassen und Benennung gemäß Abbildung 32 wurde vorerst im Bereich des Dës-Tales in die vorhandene Kartengrundlage übertragen. Auf Grund dessen, dass die beschriebenen Terrassen im gesamten Bereich des nördlichen Talhanges durchgehend und parallel verlaufen, wurden anschließend die gewonnenen Geländeinformationen in einen kleineren Maßstab übertragen und somit ein größeres Gebiet von circa 10 km abgedeckt (siehe Abbildung 34).

Im Zuge dieser Kombination mit den fernerkundungsbasierten Daten wurde sichtbar, dass ein Gefälleunterschied zwischen Inylchek-Abfluss und den kartierten Terrassen besteht. Auf Grund des Verschnittes dieser zwei unterschiedlichen Gefälle, lassen sich die fluviatil gebildeten Terrassen südwestlich des Dës-Tales nicht weiterverfolgen, wohingegen nordöstlich des Dës-Tales neue Terrassen erscheinen. Aus den interpretierten Fernerkundungsdaten lässt sich ein Gefälleunterschied von $0,5^\circ$ – $1,5^\circ$ zwischen Gefälle Inylchek-Abfluss und Gefälle der Terrassen ableiten.

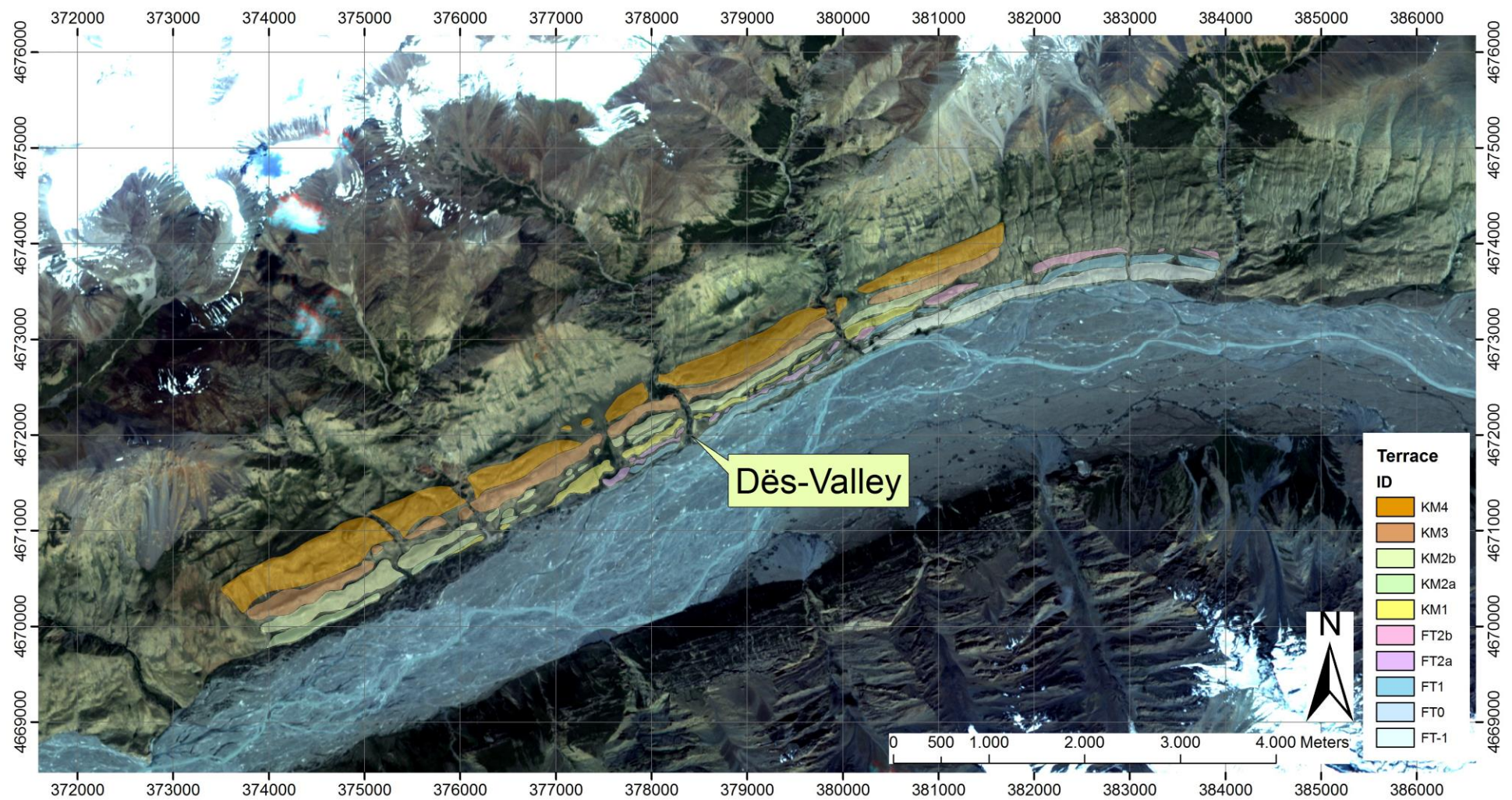


Abbildung 34: Die durchgehenden, multiplen Terrassen am nördlichen Hang des Inylchek-Tales. Datengrundlage: RapidEye Satellitenaufnahme vom 4. Juli 2011.

6. Bearbeitung Bereich oberer See

6.1 Bearbeitung/Analyse der fernerkundungsbasierten Daten

In diesem Kapitel werden sämtliche dem Autor zur Verfügung stehenden Fotokameraaufnahmen und fernerkundungsbasierten Daten, welche im Arbeitsgebiet „oberer See“ im Rahmen dieser Arbeit verwendet wurden (siehe Anhang II Datengrundlagen) näher analysiert. Die Bearbeitung fokussiert dabei vorwiegend auf historische, glaziologische und geomorphologische Veränderungen seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts im genannten Arbeits- und Untersuchungsgebiet. Ziel der Bearbeitung ist eine Zeitreihenanalyse im Untersuchungsgebiet „oberer See“ im 20. Jahrhundert.

1903

Die erste historische Aufnahme des Untersuchungsgebietes aus dem Jahr 1903 (Merzbacher, 1906) zeigt den Bereich südwestlich des heutigen, unteren Merzbacher Sees, in den der südliche Inylchek Gletscher abbiegt und in das Tal des nördlichen Inylchek Gletschers fließt. Der westliche Teil des südlichen Inylchek Gletschers ist zum damaligen Zeitpunkt, wie auch rezent, inaktiv.

Gottfried Merzbacher fotografierte lediglich den Bereich westlich des nach ihm benannten „Merzbacher Sees“, beschreibt diesen aber wie folgt:

„Dort standen wir plötzlich vor einer weiten Senkung, ausgefüllt von einem riesigen Eissee, aus dessen tiefblauen Fluten Tausende kleiner, mannigfaltig geformter Eisberge und Schollen herausragten. Ein prachtvoller Anblick!

Der See breitet sich auf etwa 1 ¼ km bis hinüber zum anderen Ufer aus, wo ein ungemein kühn geformter Gipfel das herrliche Bild abschließt. Die Bewunderung machte indes bald der Enttäuschung Platz. Die von Eisklippen tausendfältig durchsetzte Wasserfläche tritt an beiden Seiten bis dicht an die prallen Uferwände heran und läßt dort keinen Fuß breit Boden frei. Versuche, die Wände zu durchklettern und so den See zu umgehen, wurden sowohl am Nord- wie am Südufer gemacht, schlugen jedoch fehl. Etwa 4 km weit dehnt sich der See in das am Beginn ungefähr 1 ½ km breite Gletschertal hinein, wo dann das Eis anscheinend der Überschreitung keine bedeutenden Hindernisse mehr geboten hätte.“ (Merzbacher, 1906, S. 147f.)

Diese Beschreibung des unteren Merzbacher Sees gleicht dem rezenten Zustand. Die Ursache für die Entstehung des Sees formuliert G. Merzbacher folgendermaßen:

„Der See scheint einer besonderen Vertiefung des Gletscherbodens seine Entstehung zu verdanken, hervorgerufen dadurch, daß infolge der konvergierenden Tätigkeit der zwei großen Eisströme die Unterlage hier stärker korradiert [sic!] wurde, und dadurch, daß die

Stauwirkung der Eismannen am Ende des Felszugs einen Einbruch der Decker bewirkt hat, während zugleich von den nach Süden gewendeten hohen Wänden der Umrandung massenhaft abfließende Schmelzwasser das Eis des Gletscherbodens unterspülten.“ (Merzbacher, 1906, S. 147)

Die Bayerische Akademie der Wissenschaften publizierte 1928 eine topografische Karte zu Gottfried Merzbachers Tien Shan-Reisen 1902/03 und 1907/08 im Maßstab 1:500.000. Die Karte zeigt den von Gottfried Merzbacher bezeichneten „Eis-See“ in derselben Position und Ausdehnung wie der rezente untere Merzbacher See (siehe Abbildung 35). Ebenso entspricht die von Gottfried Merzbacher beschriebene Ausdehnung des unteren Merzbacher Sees von 4 km der derzeitigen Größe.

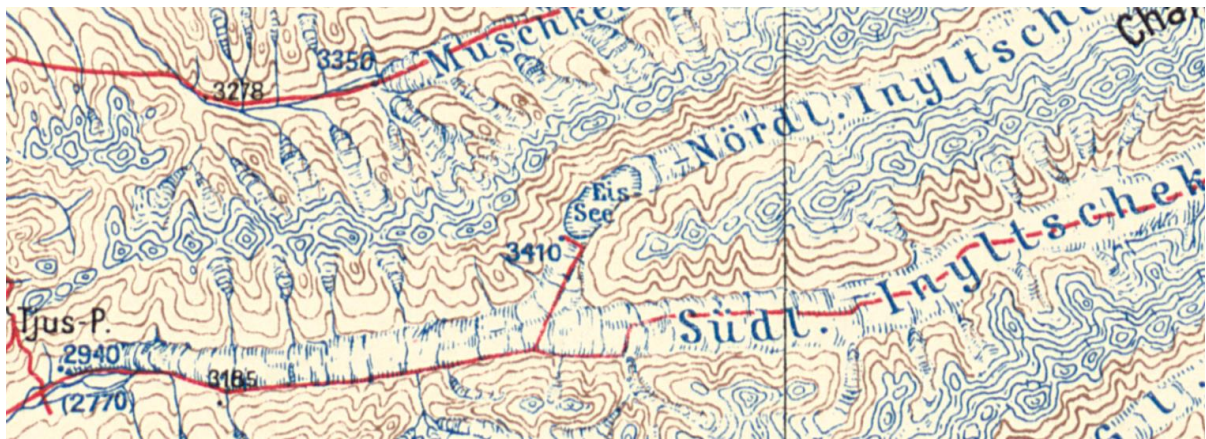


Abbildung 35: Karte zu Gottfried Merzbachers Tien Shan-Reisen 1902/03 und 1907/08, Blatt 5 im Maßstab 1:500.000 (Bayerische Akademie der Wissenschaften, 1928). Der "Eis-See" entspricht dem rezenten unteren Merzbacher See. Der obere See existiert zu dieser Zeit nicht.

Der rezent existierende „obere See“ nordöstlich des stabilen Bereiches wurde von G. Merzbacher nicht beschrieben bzw. kartiert und dürfte daher noch nicht existiert haben. Vom Aufnahmepunkt des historischen Fotos von 1903 hätte G. Merzbacher den oberen See zumindest in größerer Ausdehnung sehen müssen.



Abbildung 36: Foto von 1903 zeigt den Bereich südwestlich des heutigen unteren Merzbacher Sees. Aufnahme: G. Merzbacher.

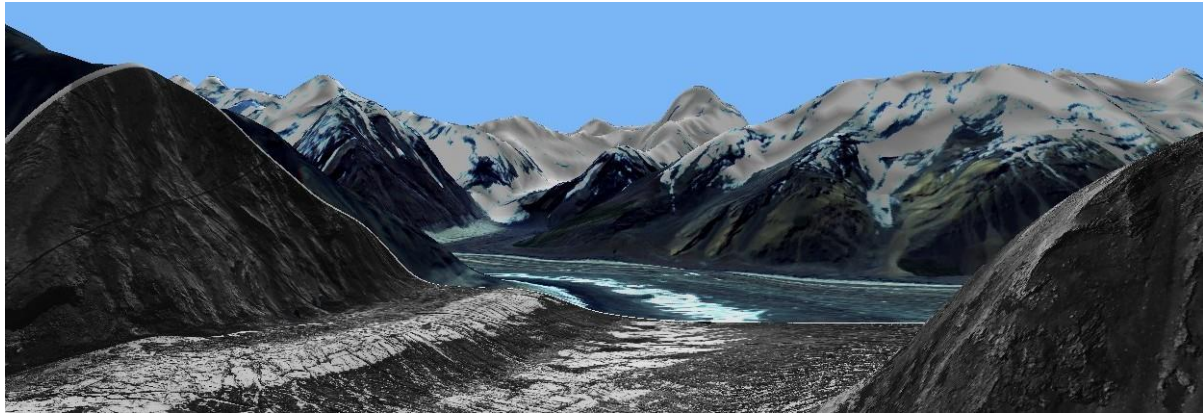


Abbildung 37: Ähnlicher Bereich und Aufnahmeperspektive wie am Foto von G. Merzbacher 1903, jedoch mit Luftbild vom 20.7.1990 und im Hintergrund RapidEye Satellitenszene vom 4.7.2011. Perspektivisch dargestellt.

Ein Vergleich des historischen Fotos von 1903 mit dem Luftbild vom 20. Juli 1990 und einer RapidEye Satellitenszene vom 4. Juli 2011 zeigt keinen wesentlichen Unterschied des Hauptgletschers im Aufnahmebereich (siehe Abbildung 37)

1943 – 1960

Die ersten fernerkundungsbasierten Aufnahmen des Untersuchungsgebietes wurden allen Recherchen nach am 7. April und 18. August 1943 von flugzeuggetragenen Kameras aufgenommen.

Im April ist der untere Merzbacher See mit Treibeis bedeckt, eine Wasserfüllung ist schwer erkennbar. Der Geländeverschnitt Eis-/Wasserniveau mit Seitenflanken des Tales zeigt jedoch ein ähnliches Niveau wie am 18. August 1943.

Im August dieses Jahres ist der untere Merzbacher See vollständig gefüllt, was auf einen späten Ausbruch in diesem Jahr hinweist. Auffällig ist das extrem hohe Wasserniveau, verglichen mit späteren Aufnahmen mit vollständiger Füllung des Sees (zum Beispiel RapidEye Satellitenszene vom 4. Juli 2011). Das Seeniveau zeigt im Geländeverschnitt ein um mindestens 20 m höheres Niveau als im Jahr 2011.

Der nördliche Inylchek Gletscher weist seine maximale Ausdehnung bis zum stabilen Zwischenbereich auf. Jedoch zeigt sich bereits die Bildung eines kleinen Gletschersees im Stirnbereich des Gletschers, im Folgenden als „Oberer See“ bezeichnet. Dieser weist eine Ausdehnung von circa 250 m x 500 m auf und hat somit eine Gesamtfläche von ungefähr 0,14 km².

Das Seeniveau des unteren Merzbacher Sees und des oberen Sees ist auf dem Luftbild vom 18. August 1943 ident und durch den eigentlichen Hauptabfluss des nördlichen Inylchek Gletschers im stabilen Zwischenbereich verbunden.

Weiters sind etliche supraglaziale Schmelzseen zu beobachten (siehe Abbildung 39).

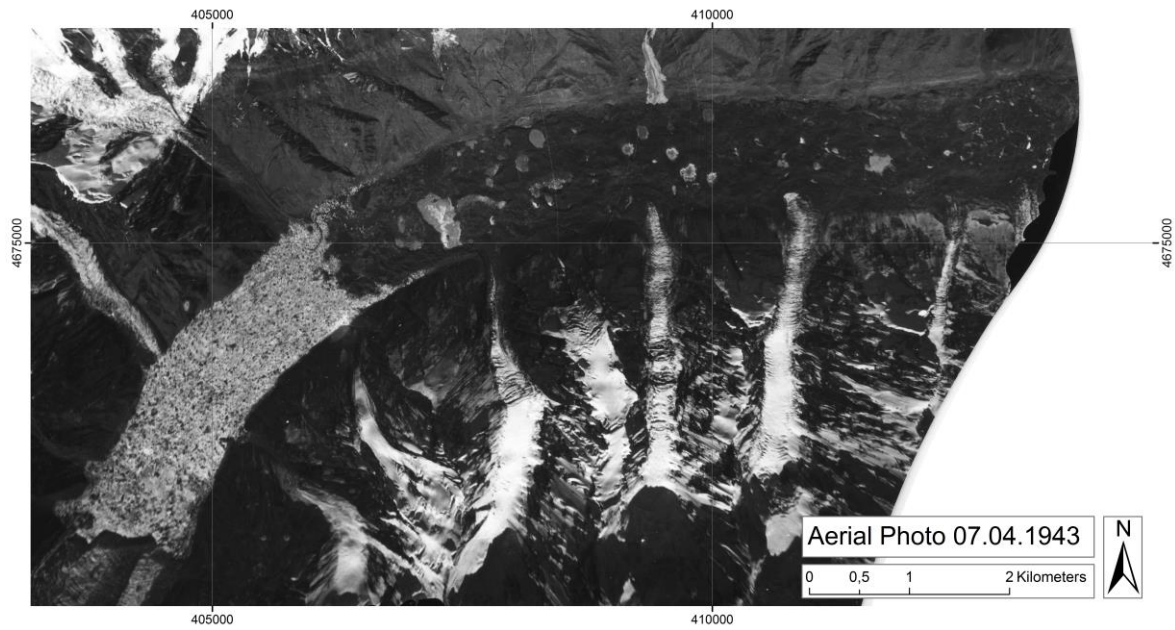


Abbildung 38: Luftbild, aufgenommen am 7.4.1943, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

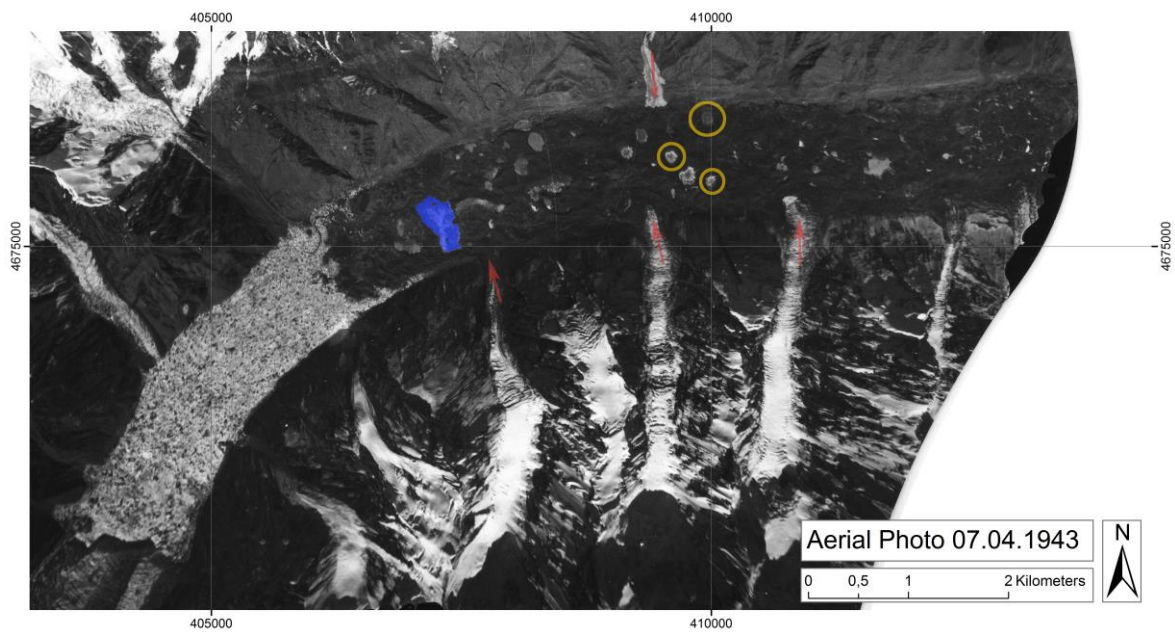


Abbildung 39: Luftbild, aufgenommen am 7.4.1943, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise markieren supraglaziale Seen, oberer See ist blau markiert.

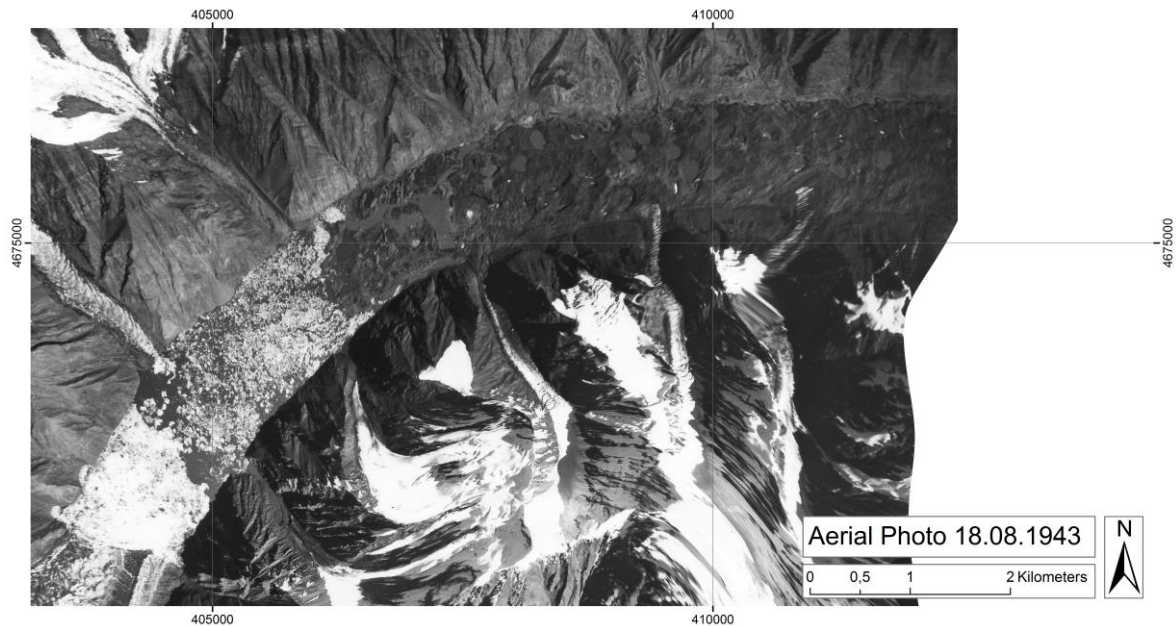


Abbildung 40: Luftbild, aufgenommen am 18.8.1943, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

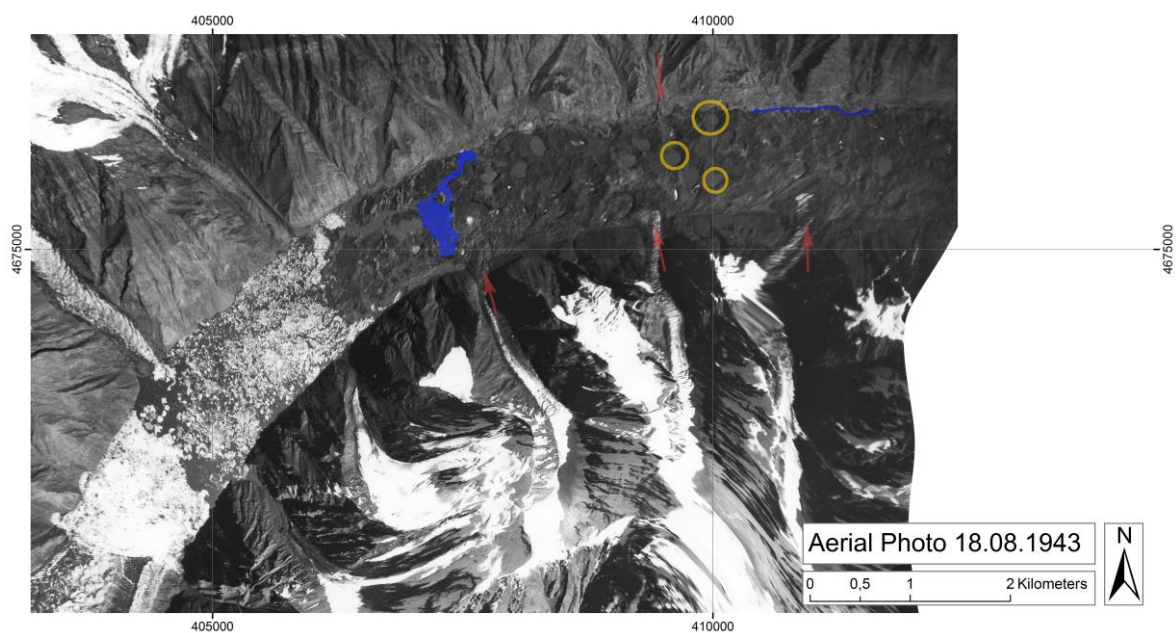


Abbildung 41: Luftbild, aufgenommen am 18.8.1943, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise markieren supraglaziale Seen, blaue Fläche zeigt den oberen See, die blaue Linie das Gletscherniveau.

Nach der ersten Befliegung und Aufnahme des Untersuchungsgebietes im Jahr 1943 wurde aus den stereoskopischen Luftbildaufnahmen die erste topografische Karte im Maßstab 1:50.000 erstellt (siehe Abbildung 42).

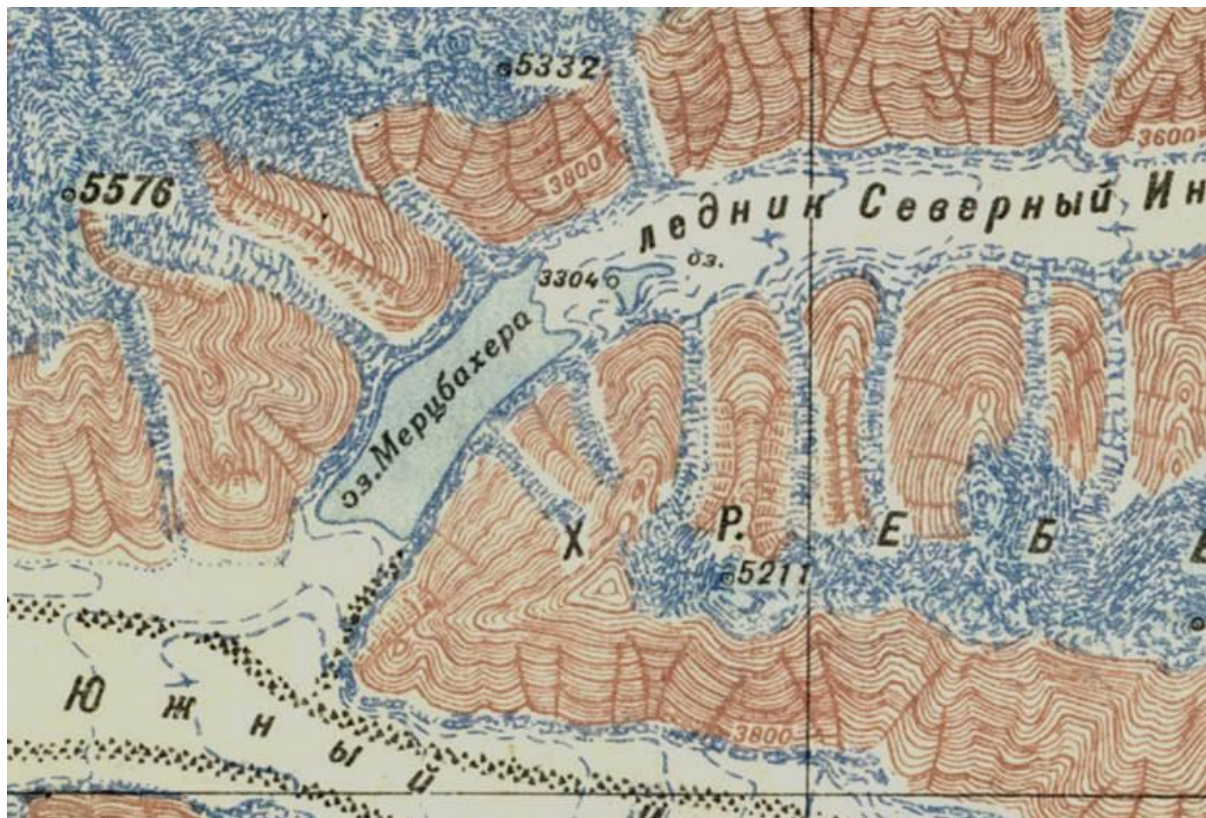


Abbildung 42: Russische topografische Karte 1:50 000 generiert aus den Luftbildern von 1943.

Die nächste bekannte Aufnahme des Untersuchungsgebietes ist eine Luftbildaufnahme aus dem Jahr 1956. Der genaue Aufnahmezeitpunkt in diesem Jahr ist nicht bekannt. Der untere Merzbacher See ist jedoch gefüllt, mit wiederum sehr hohem Seeniveau, wie bereits im Jahr 1943 beschrieben. Dies deutet darauf hin, dass das Luftbild im späten Frühling bis frühen Sommer aufgenommen wurde.

Der obere See ist zwischen 1943 und 1956 deutlich größer geworden und die Stirn des oberen Inylchek Gletschers hat sich um ungefähr 1,3 km zurückgezogen. Dies entspricht also im Durchschnitt einem täglichen Rückzug von ungefähr 0,28 m, wodurch sich die Gesamtfläche des oberen Sees auf circa 1,0 km² vergrößert hat.

Im Geländeverschnitt des Gletschers mit den Talflanken zeigt sich in manchen Bereichen ein leichtes vertikales Abschmelzen des Gletschers (downwasting). Auf Grund der ungenauen Lage der Luftbilder, Verzerrungen und unterschiedlichen Aufnahmewinkel ist jedoch eine genauere diesbezügliche Aussage nicht möglich.

Die in den Luftbildern 1943 beobachteten supraglazialen Seen sind auch 1956 noch deutlich erkennbar. Vergleicht man jedoch die Lage markanter supraglazialer Seen, zeigt sich eine Bewegung des Gletschers von ungefähr 100 m talwärts, zwischen 1943 und 1956.

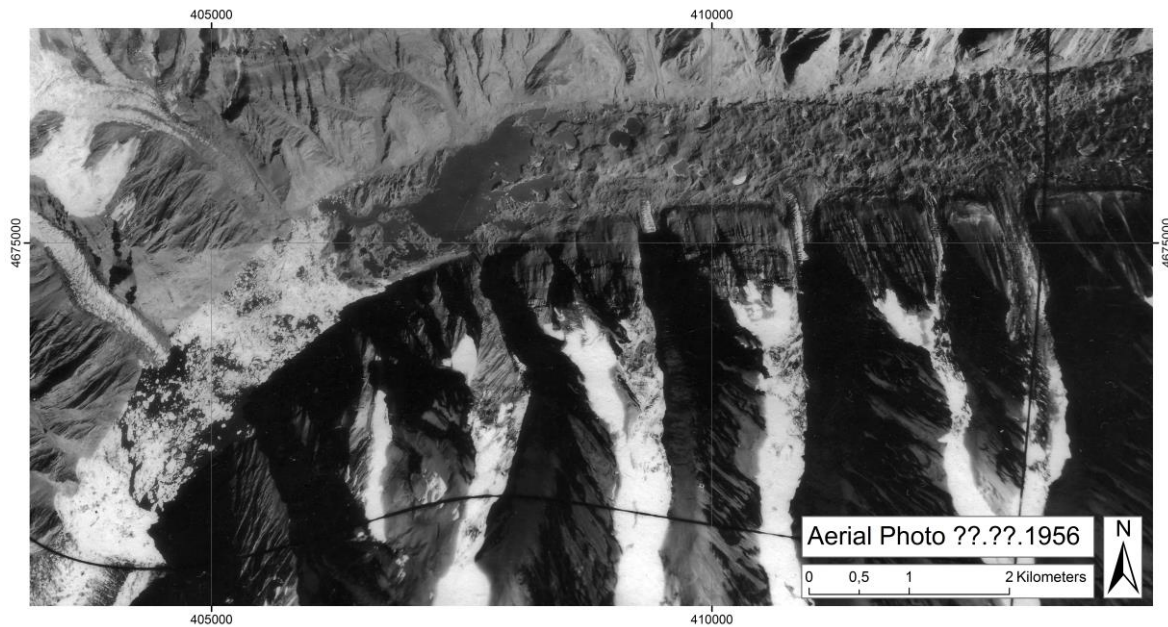


Abbildung 43: Luftbild, aufgenommen im Jahr 1956, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

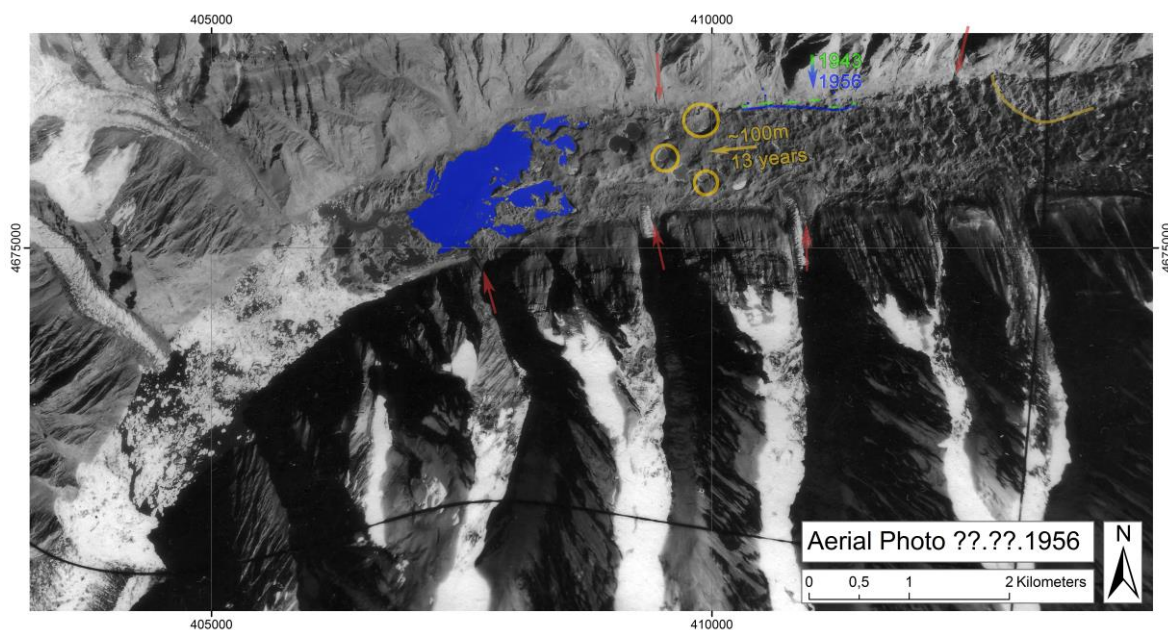


Abbildung 44: Luftbild, aufgenommen im Jahr 1956, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See, blaue/grüne Linien zeigen Veränderung des Gletschniveaus.

Die erste Satellitenaufnahme des Untersuchungsgebietes wurde vom Corona Spionagesatelliten KH2 am 7. Dezember 1960 aufgenommen. Typisch für die Jahreszeit ist der untere Merzbacher See nur leicht gefüllt und mit Eis bedeckt. Im Bereich der Gletscherstirn kommt es vor allem an der orografisch rechten, sonnenzugewandten Talseite zu leichtem Rückzug des Gletschers. Ein weiterer Grund für den langsameren Rückzug im Bereich der orografisch linken Talseite dürfte außerdem der Zufluss des Seitengletschers sein, welcher in diesem Bereich den Hauptstrom zusätzlich nährt.

Eine markante Veränderung der Gletscherstirn seit 1956 ist nicht zu verzeichnen und der obere See zeigt somit kaum eine Zunahme seiner Ausdehnung. Die markanten supraglazialen Seen weisen auf keine Bewegung des Gletschers seit 1956 hin beziehungsweise liegt diese Veränderung in einem Bereich unter der Lagegenauigkeit der Luftbilder und Satellitenszenen.

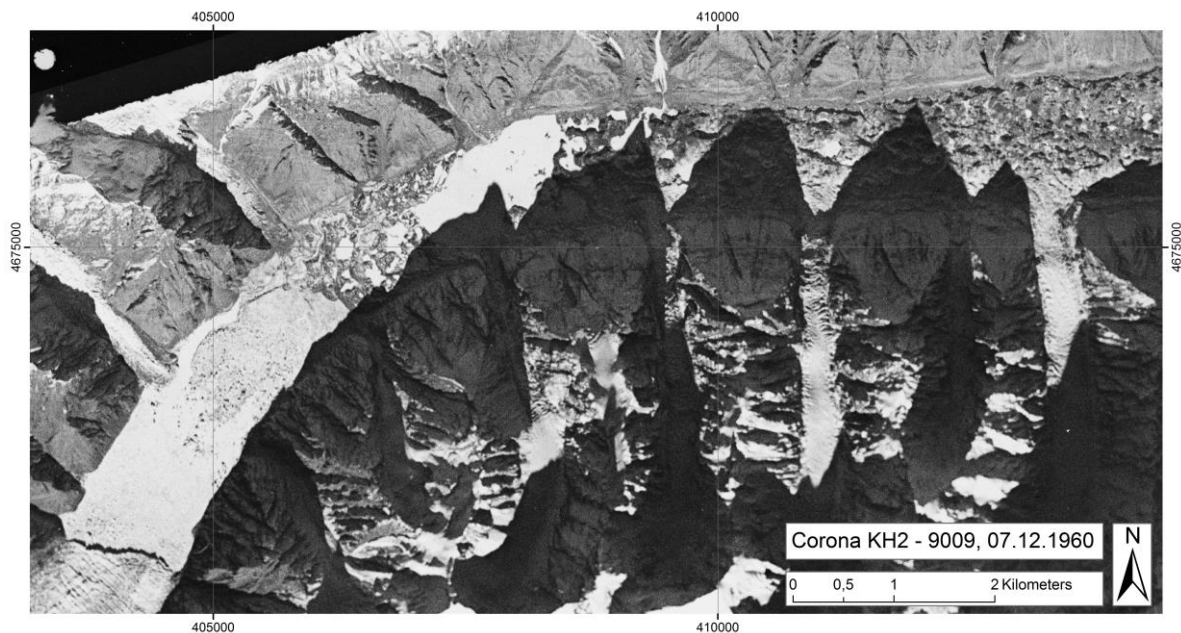


Abbildung 45: Aufnahme des Corona Satelliten KH2, aufgenommen am 7.12.1960, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

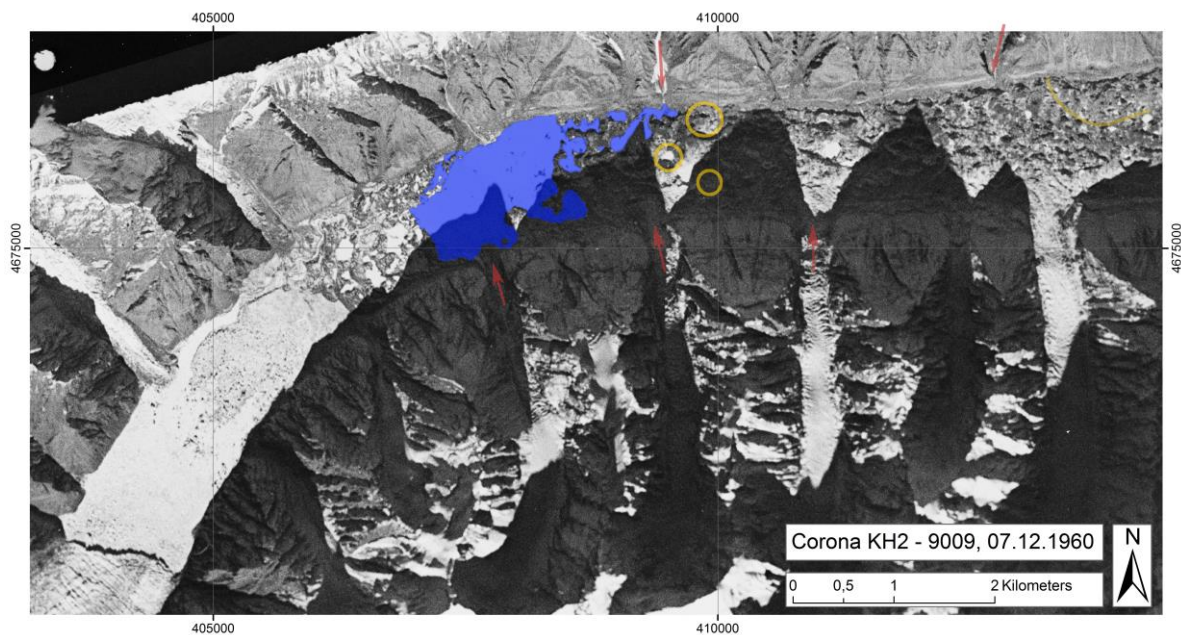


Abbildung 46: Aufnahme des Corona Satelliten KH2, aufgenommen am 7.12.1960, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.

Der obere See weist 1960 eine Länge von ungefähr 1,5 km bei einer Breite von circa 700m auf. Ein weiterer Kilometer im Übergangsbereich zwischen See und Gletscher besteht aus vorwiegend kleinen, teilweise zusammenhängenden Seen im nördlichen, sonnenzugewandten Bereich. Diese kleinen Seen vereinen sich später zum größeren oberen See.

Der obere See weist zu dieser Zeit eine Gesamtfläche von ungefähr 1,1 km² auf. Die Gesamtfläche des zusammenhängenden oberen Seebereiches ist somit innerhalb der vorhergehenden sieben Jahre zwischen 1943 und 1960 um circa 1 km² gewachsen. Dies entspricht einem durchschnittlichen Wachstum von knappen 60 000 m² / Jahr. Die Gletscherstirn hat sich bis 1960 um ca. 1,3 – 1,4 km zurückgezogen.

1961 – 1989

Aus dem Jahr 1963 existiert eine Aufnahme des Argon Spionagesatelliten KH5, welche das Untersuchungsgebiet am 29. August abbildet. Auf Grund der geringen Bodenauflösung sind die markanten supraglazialen Seen nicht zu erkennen. Veränderungen im Bereich der Gletscherstirn sind ebenso nicht zu beobachten.

Im oberen, nördlichen Flankenbereich des Gletschers ist sowohl in der Luftbildaufnahme vom 7. Dezember 1960 sowie in der KH5 Aufnahme vom 29. August 1963 ein hellerer „Strom“ zu erkennen. Dieser lässt sich bis in das Nährgebiet des Gletschers zurückverfolgen. Die Ursache für die farbliche Unterscheidung ist auf eine andere Zusammensetzung des Gletschers in diesem Bereich zurückzuführen. Entweder ist dieser Bereich weniger mit Gesteinsschutt bedeckt und daher teilweise das Gletschereis sichtbar oder es sind hier lithologische Unterschiede des Gesteinsschuttes zu sehen. Die Stirn des beschriebenen helleren Gletscherstroms weist jedoch in beiden Aufnahmen eine ähnliche Position auf. Ein nennenswerter Vorstoß des nördlichen Inylchek Gletschers ist daher auch in den Jahren 1960 – 1963 auszuschließen.

Außerdem wurde 1963 die erste topografische Karte im Maßstab 1:50 000 veröffentlicht. Die Höheninformationen wurden vermutlich vorwiegend aus den stereoskopischen russischen Luftbildaufnahmen generiert. Über die glaziologische Entwicklung können kaum Informationen aus dieser topografischen Karte gewonnen werden, der Vollständigkeit halber soll diese jedoch hier angeführt sein. Die Ausdehnung beider Seen ist mit den vorhandenen Fernerkundungsdaten des Jahres 1960 – 1963 nahezu ident.

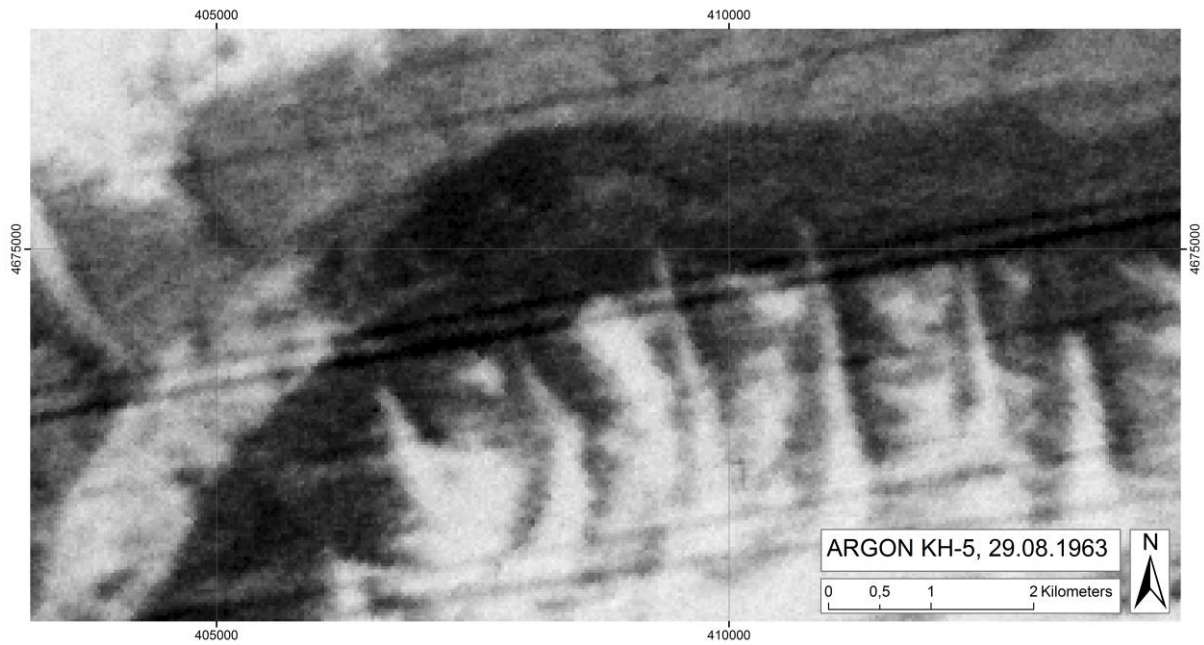


Abbildung 47: Aufnahme des Argon Satelliten KH5, aufgenommen am 29.8.1963, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

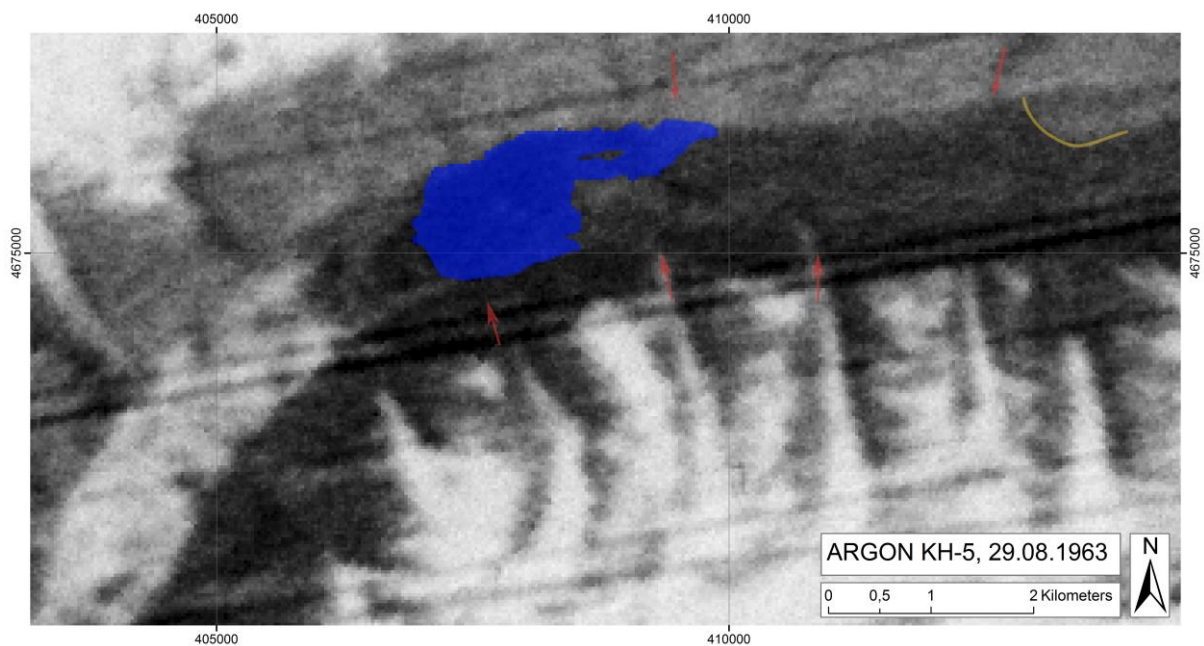


Abbildung 48: Aufnahme des Argon Satelliten KH5, aufgenommen am 29.8.1963, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Linie zeigt markanten Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.

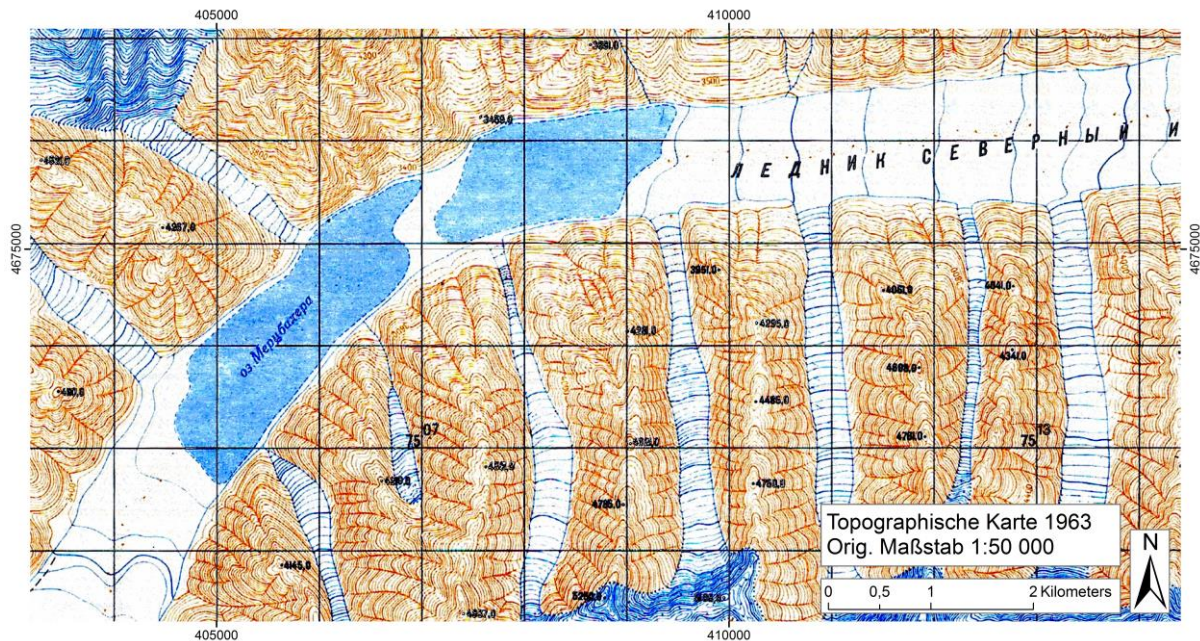


Abbildung 49: Topografische Karte 1:50 000, herausgegeben im Jahr 1963, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

Die Aufnahme des Corona Satelliten KH-4A vom 10. Juli 1965 zeigt, dass sich der nördliche Inylchek Gletscher in den vergangenen zwei bis fünf Jahren um weitere rund 600 m zurückgezogen hat. Der untere Merzbacher See ist, typisch für diesen Monat, fast vollständig gefüllt und der jährliche Ausbruch steht noch bevor. Sämtliche markante, bereits beschriebene Gletschermarker zeigen seit der Aufnahme von 1956 keine Veränderung.

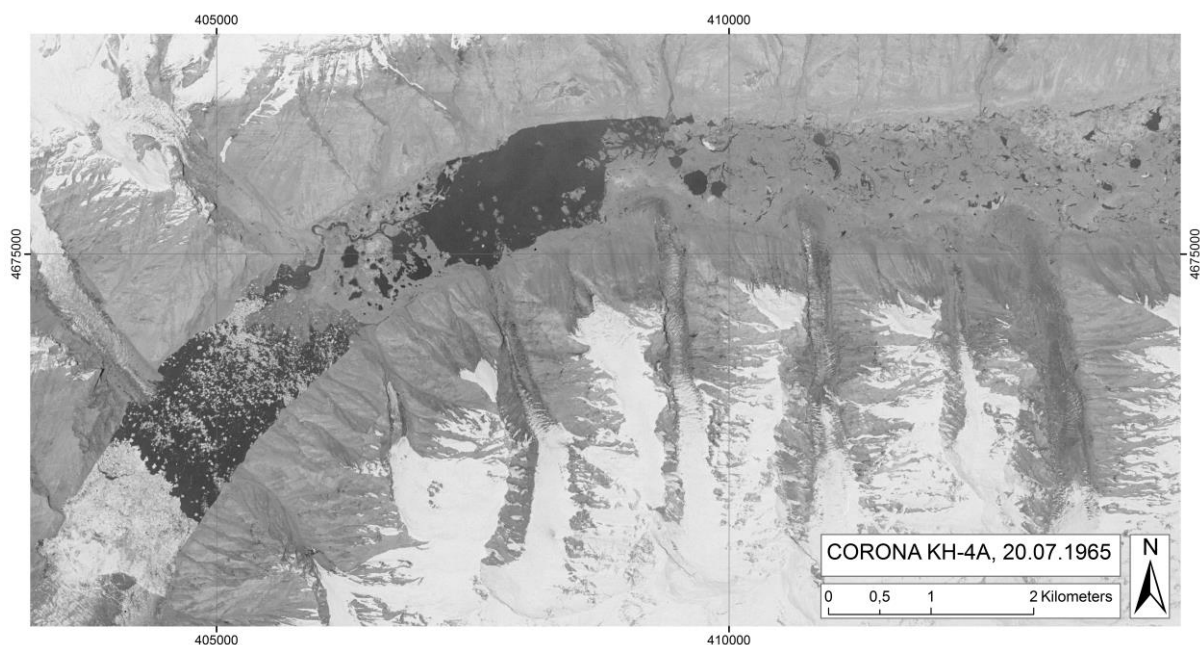


Abbildung 50: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 20.7.1965, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

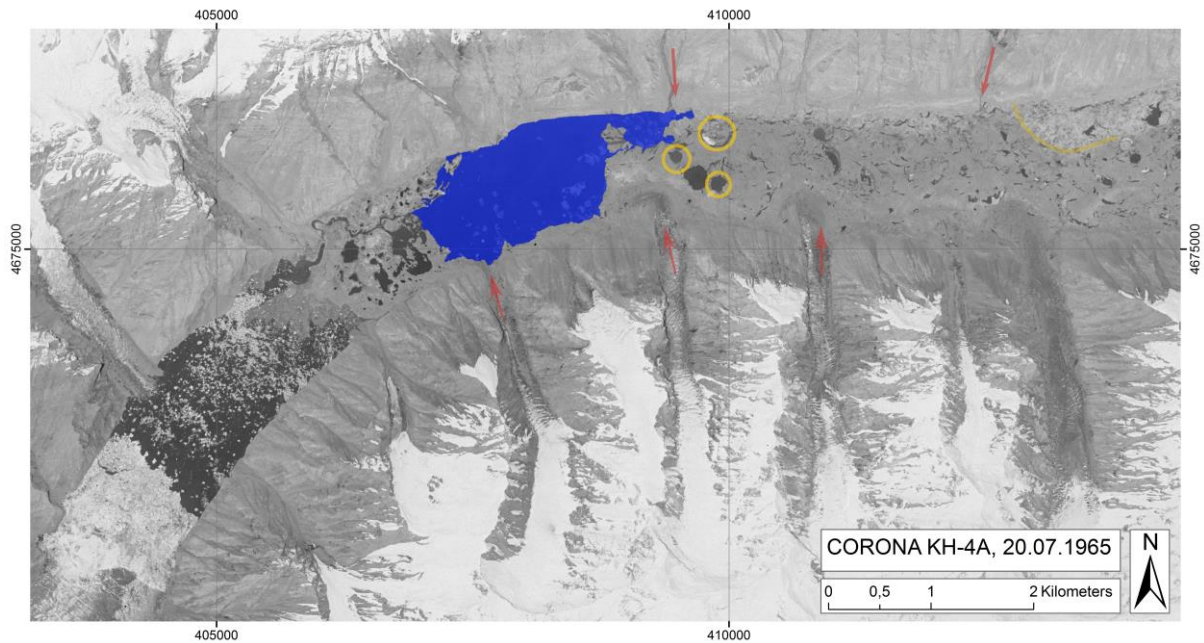


Abbildung 51: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 20.7.1965, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.

Die folgenden fünf Satellitenszenen wurden von Corona KH-4A am 11. Februar, 21. September und 14. November des Jahres 1966 sowie am 8. August 1967 und 26. September 1968 aufgenommen. In all diesen Szenen ist ein kontinuierliches Abschmelzen der vorwiegend orografisch rechten Gletscherhälfte zu verzeichnen. Die orografisch linke Gletscherhälfte ist durch den Zufluss eines Seitengletschers der südlichen Talflanke und somit einer Nahrung des Gletschers in diesem südlichen Bereich charakterisiert. Außerdem zeigen sämtliche Fernerkundungsdaten, dass der Abfluss des Gletschers sowie der einmündenden Seitentäler vorwiegend am nördlichen, sonnenzugewandten Seitenbereich stattfindet.

Sämtliche beschriebene Gletschermarker sind in ihrer Position weiterhin unverändert und der nördliche Inylchek Gletscher zeigt keine Bewegung.

Der untere Merzbacher See ist in sämtlichen dieser fünf Satellitenszenen zyklustypisch nach dem jährlichen Ausbruch (gewöhnlich August) bis Winterende leer und füllt sich dazwischen wieder an. Die Satellitenszene vom 8. August 1967 zeigt, wie bereits 1943 beschrieben, ein verhältnismäßig hohes Seeniveau des gefüllten unteren Merzbacher Sees, verglichen mit jüngeren Aufnahmen wie zum Beispiel aus dem Jahr 2011.

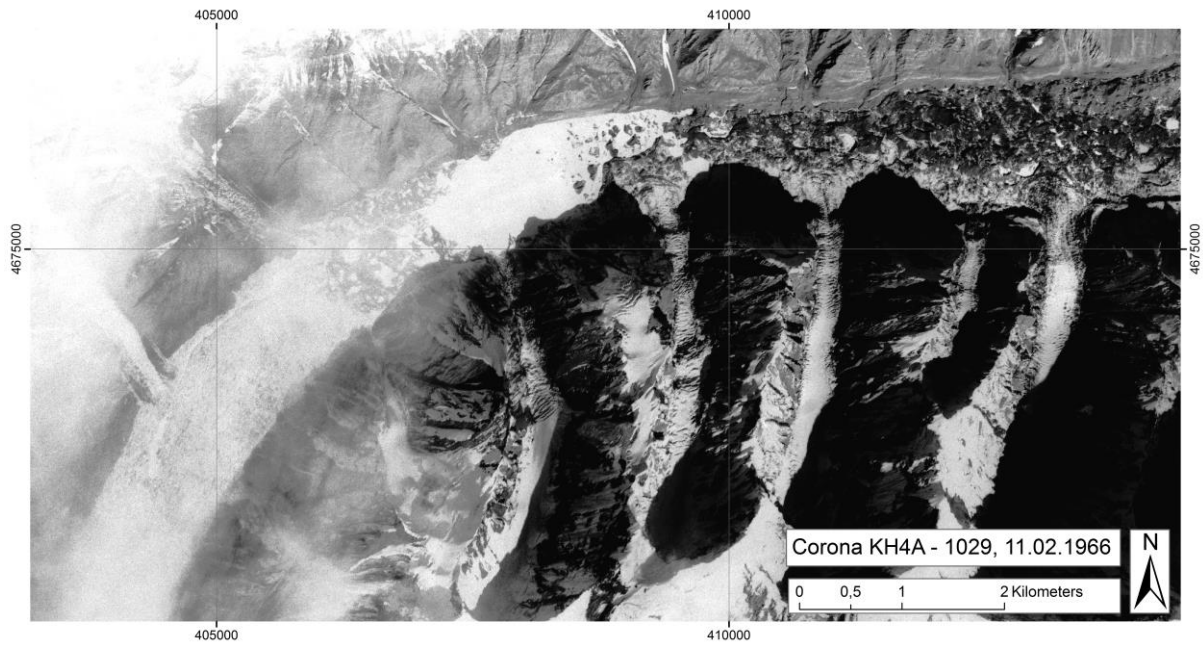


Abbildung 52: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 11.2.1966, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

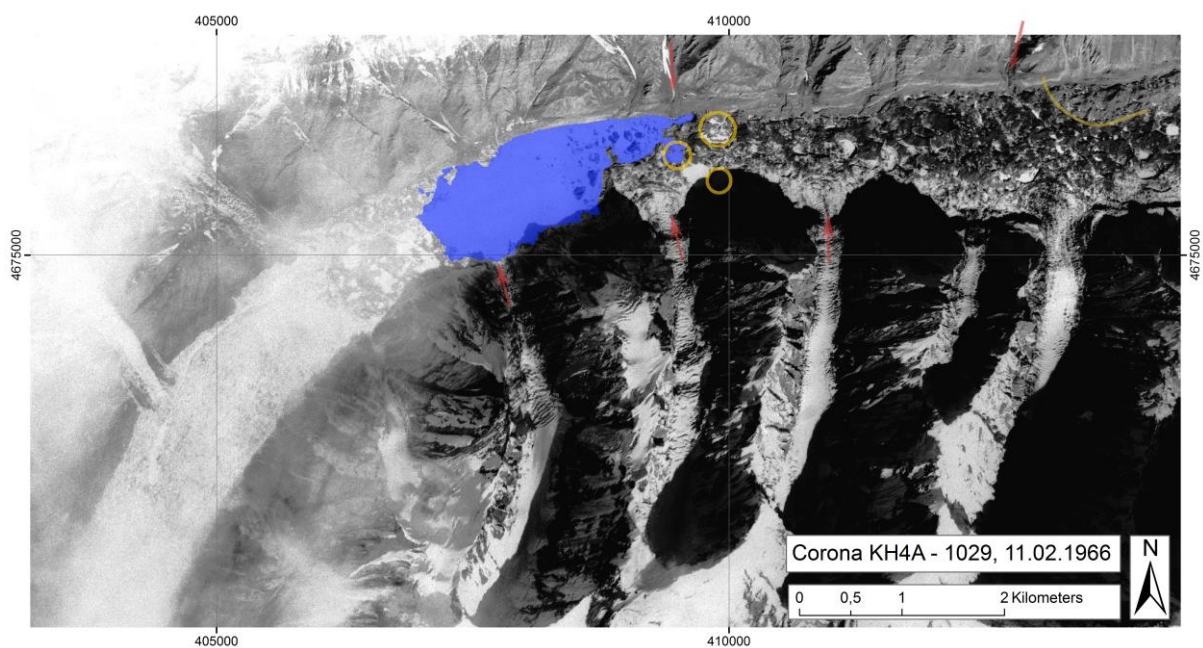


Abbildung 53: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 11.2.1966, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.

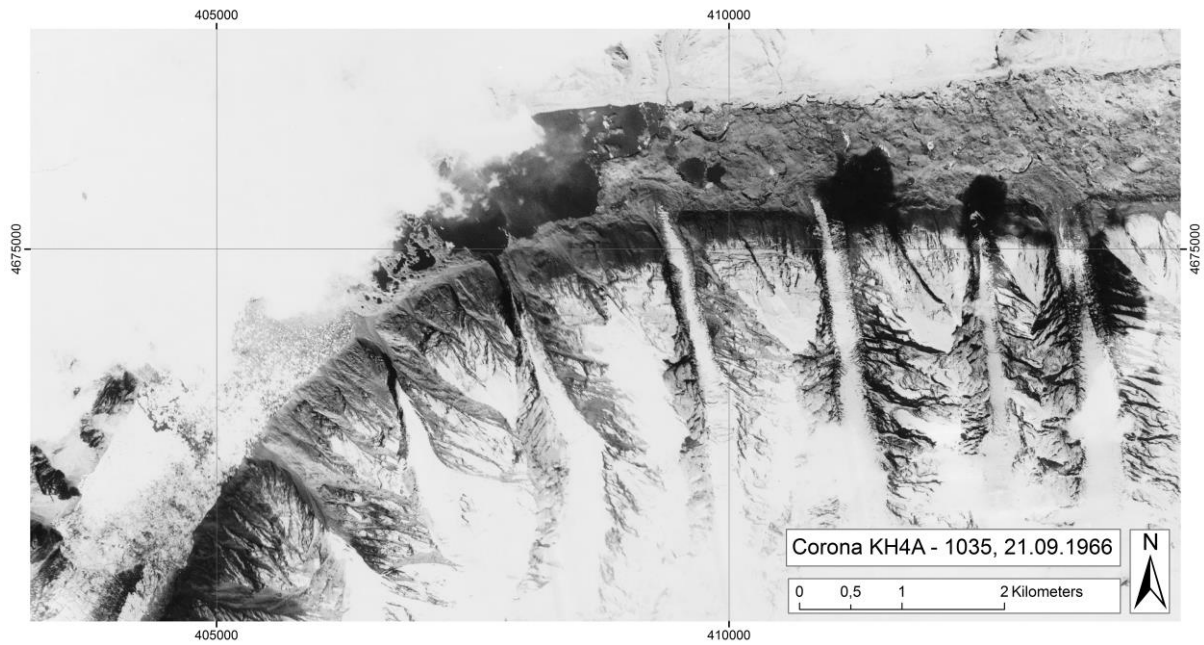


Abbildung 54: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 21.9.1966, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

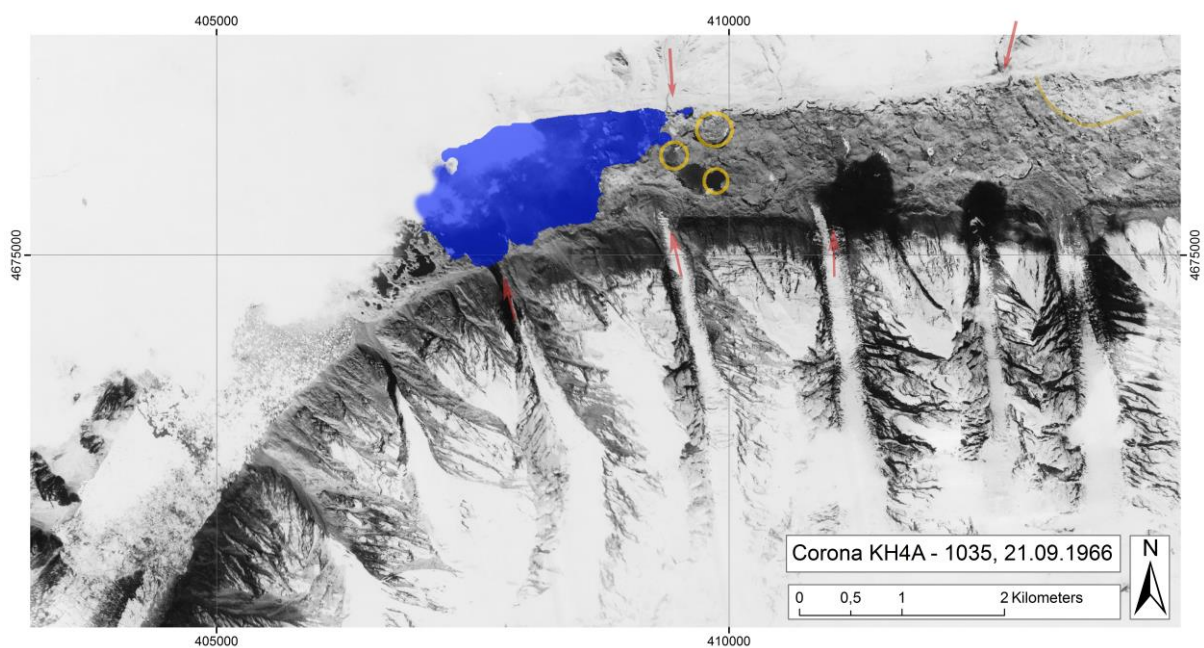


Abbildung 55: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 21.9.1966, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.

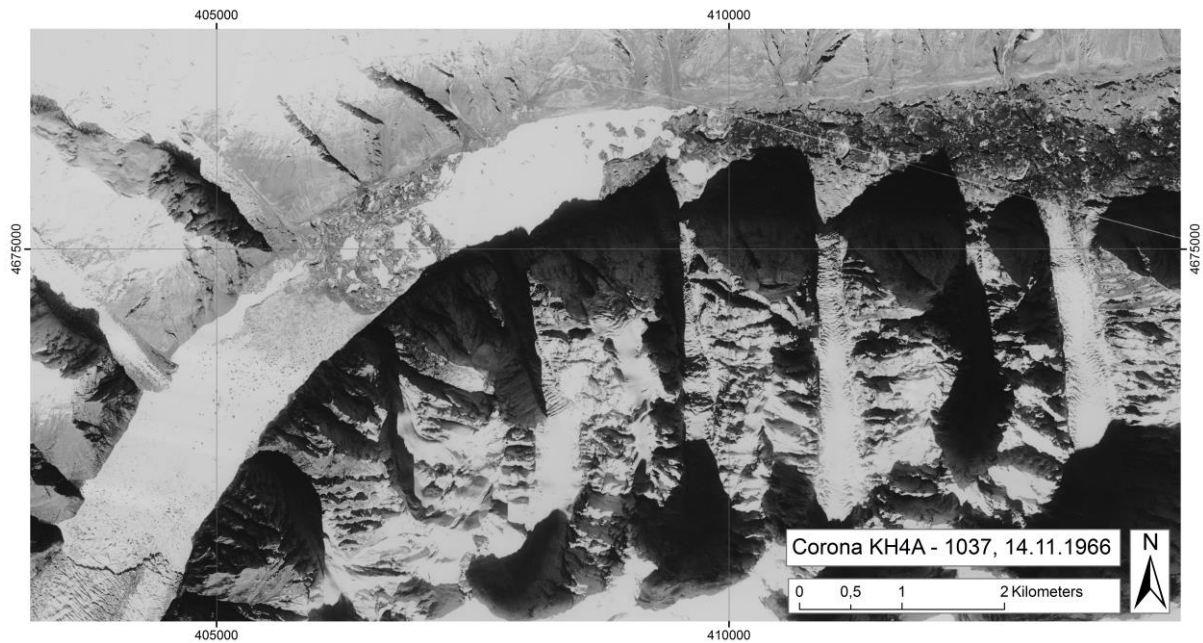


Abbildung 56: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 14.11.1966, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

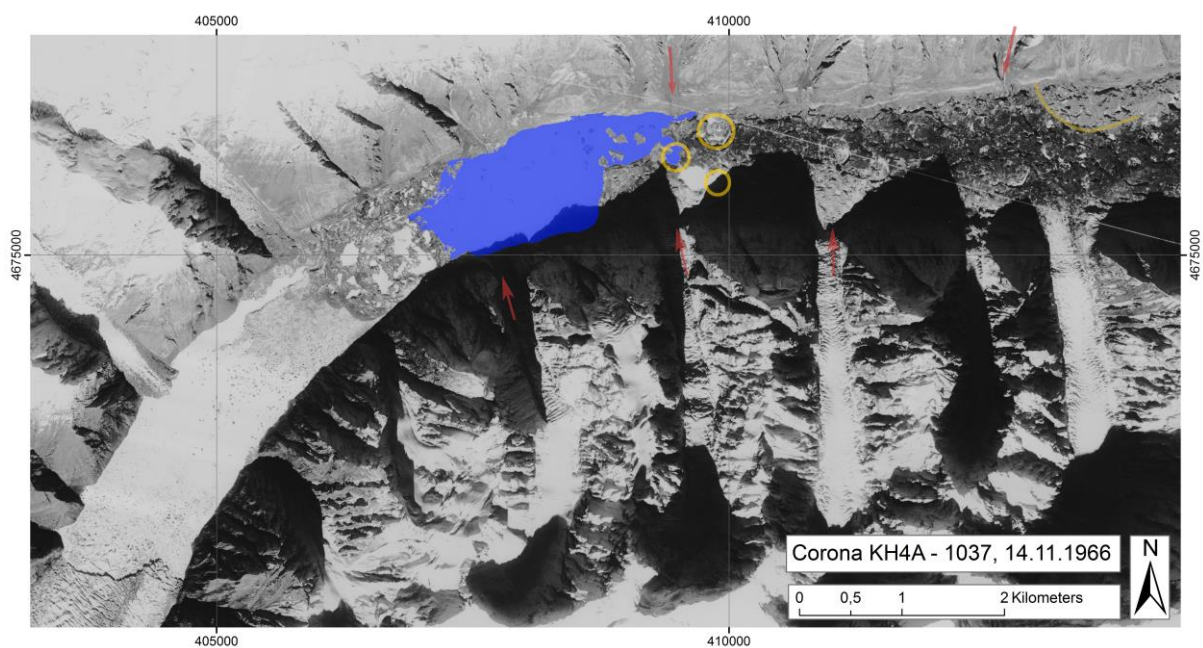


Abbildung 57: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 14.11.1966, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.

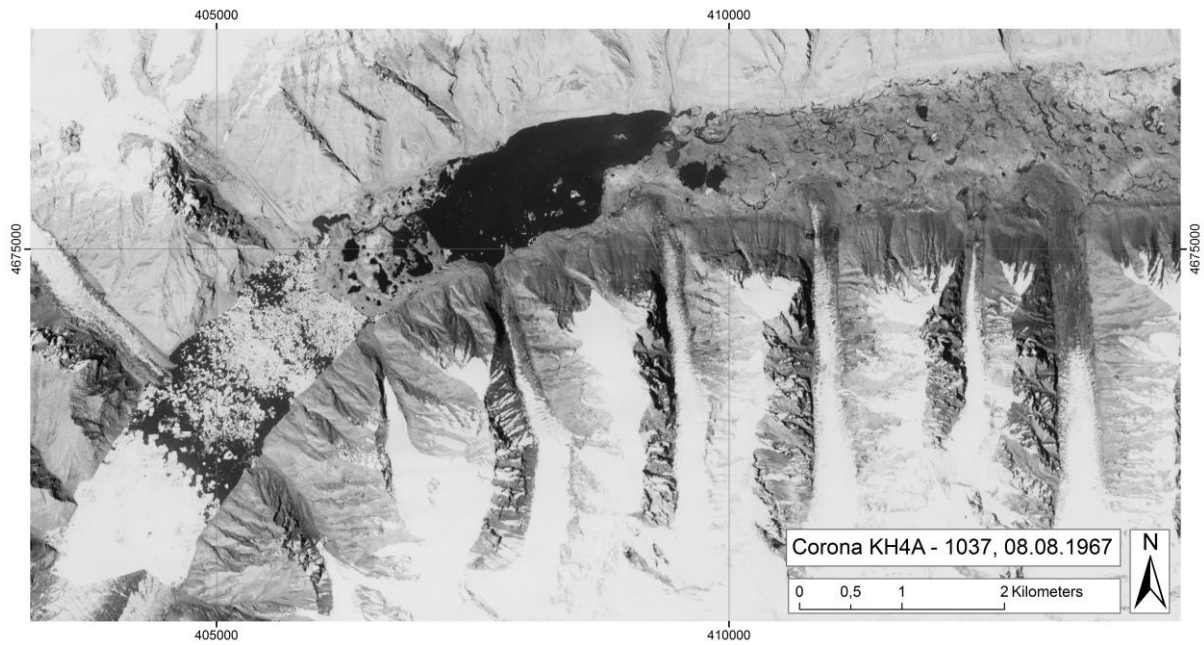


Abbildung 58: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 8.8.1967, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

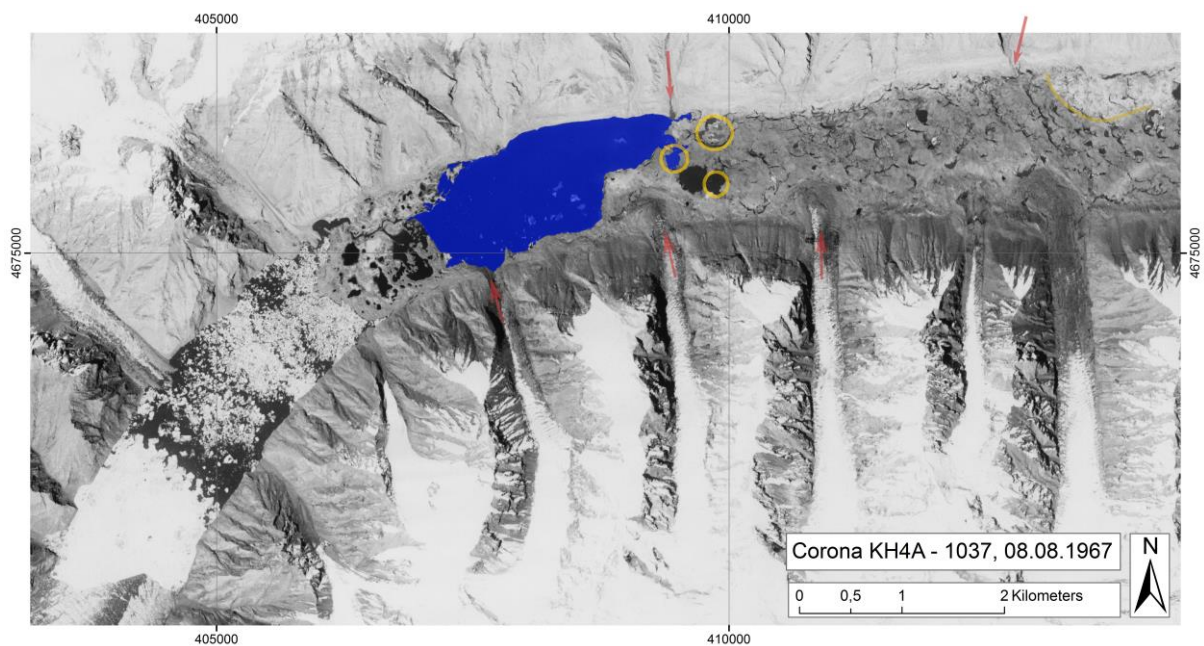


Abbildung 59: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 8.8.1967, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.

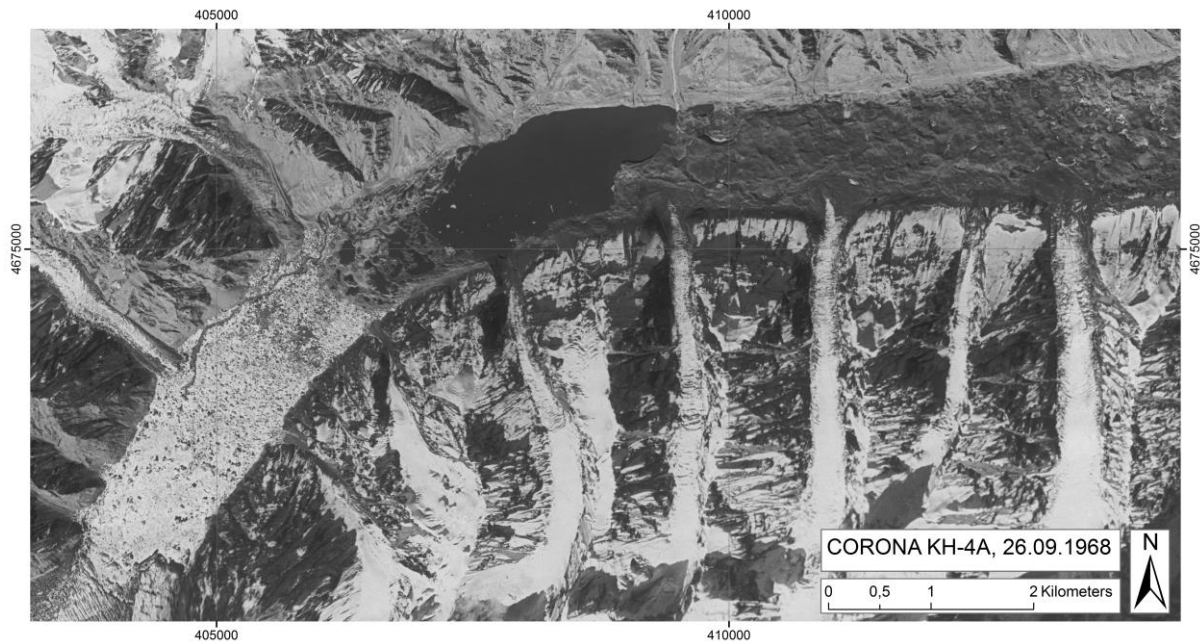


Abbildung 60: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 26.9.1968, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

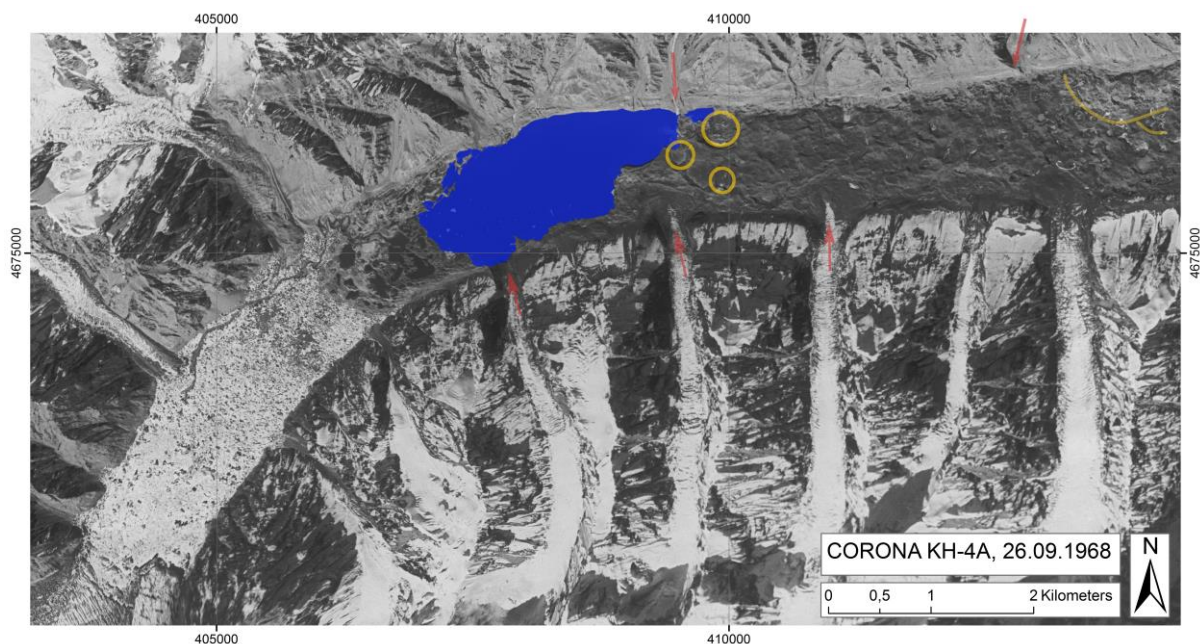


Abbildung 61: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 26.9.1968, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.

Von 1969 – 1974 standen im Rahmen dieser Untersuchungen vier Satellitenszenen der Missionen KH-4B und KH-9 zur Verfügung. Der nördliche Inylchek Gletscher zieht sich in diesem Zeitraum kontinuierlich um insgesamt ca. 250 m zurück, der obere See vergrößert sich stetig. Durchschnittlich bewegt sich die Gletscherstirn in einer Größenordnung von 0,1 - 0,3 m/Tag zurück. Die markanten supraglazialen Seen, deren Positionen als Bewegungsindikatoren herangezogen wurden, befinden sich nun im Stirnbereich und vereinen sich langsam mit dem oberen See. Dennoch zeigen die restlichen

Gletschermarker, dass es zu keiner Bewegung des Gletschers kommt. Auch die Gletscherstirn des zufließenden Seitengletschers im Stirnbereich des nördlichen Inylchek Gletschers beginnt sich zurückzuziehen.

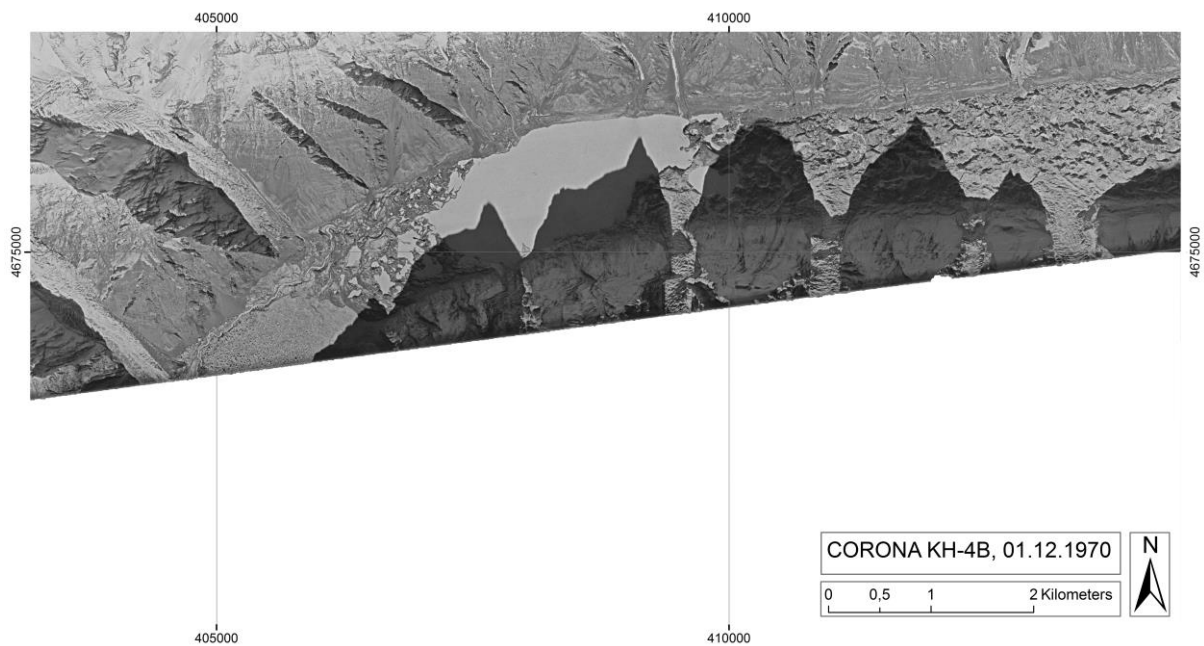


Abbildung 62: Aufnahme des Corona Satelliten KH4B, aufgenommen am 1.12.1970, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

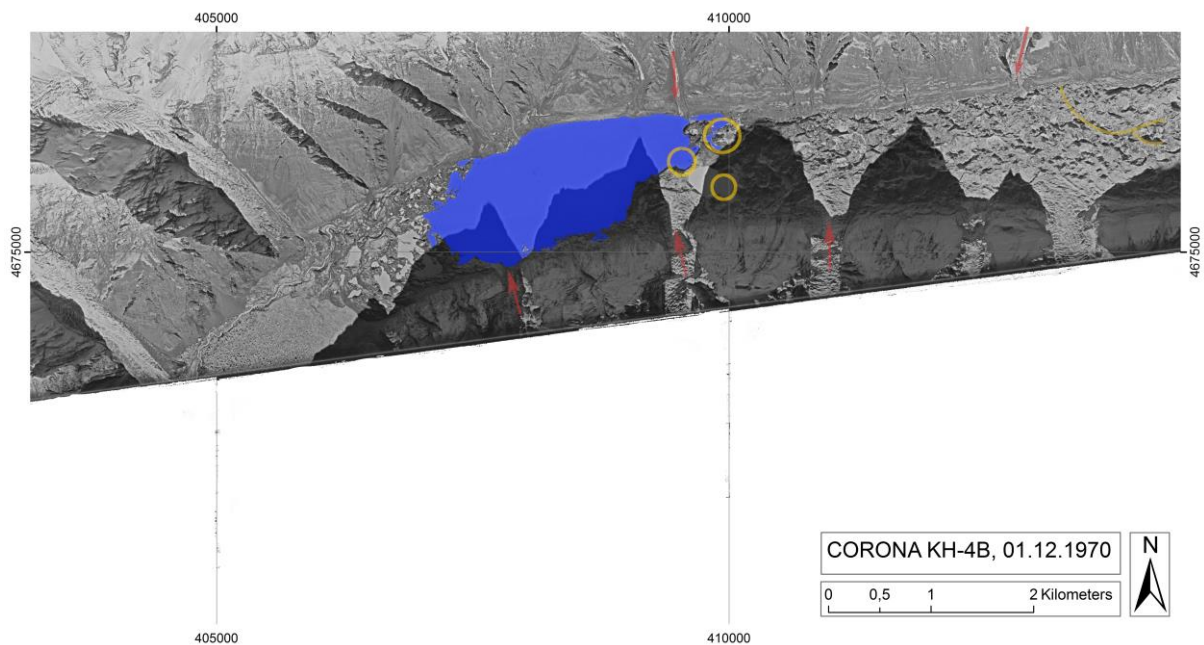


Abbildung 63: Aufnahme des Corona Satelliten KH4B, aufgenommen am 1.12.1970, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.



Abbildung 64: Historische Fotoaufnahme des unteren Merzbacher Sees und oberen Sees vom 13. August 1971, Foto: [k.A.], © Скиталец, http://www.skitalets.ru/mountain/2009/tianshan71_malin/21.jpg (Abgerufen: 3.11.2013).

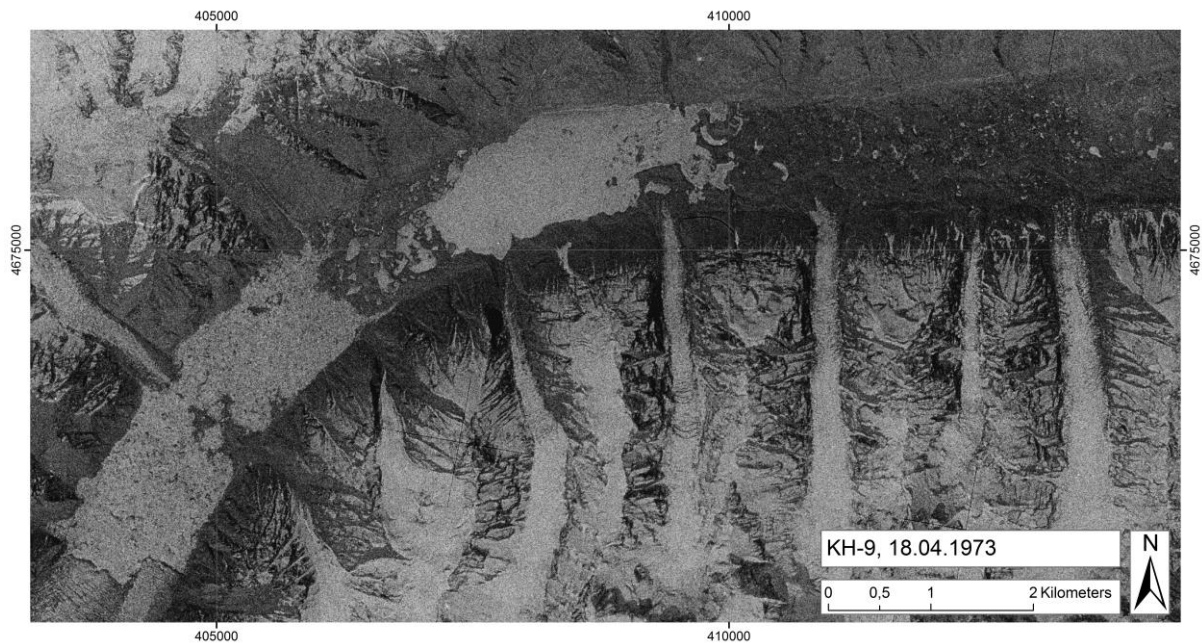


Abbildung 65: Aufnahme des Hexagon Satelliten KH9, aufgenommen am 18.4.1973, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

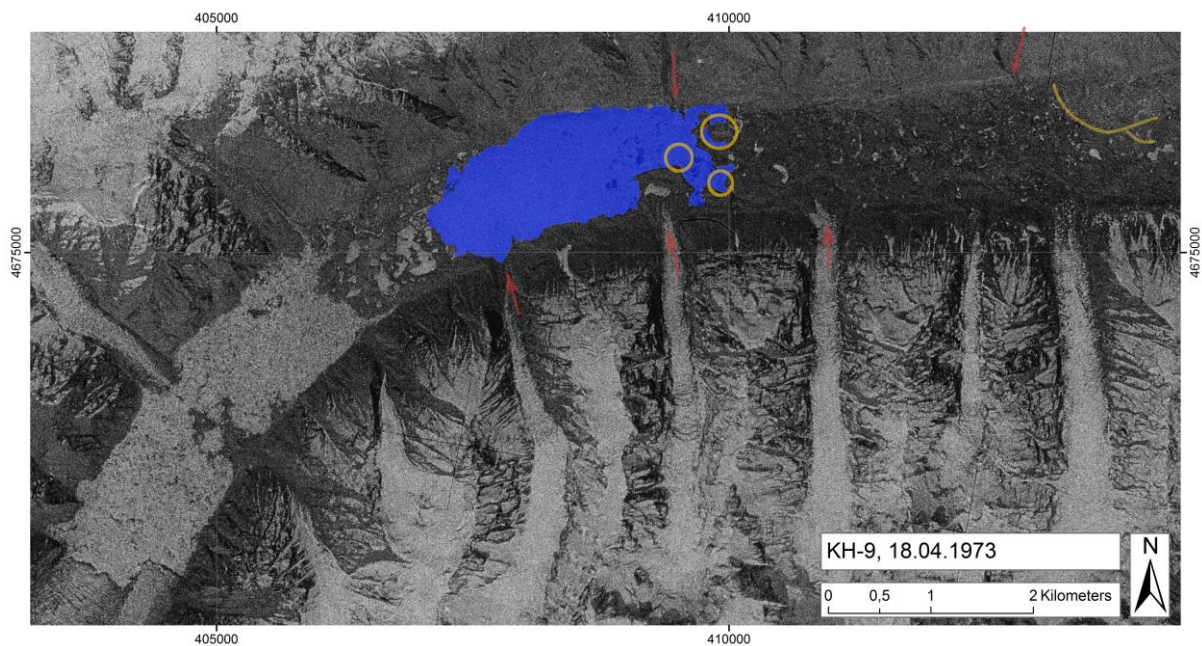


Abbildung 66: Aufnahme des Hexagon Satelliten KH9, aufgenommen am 18.4.1973, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.

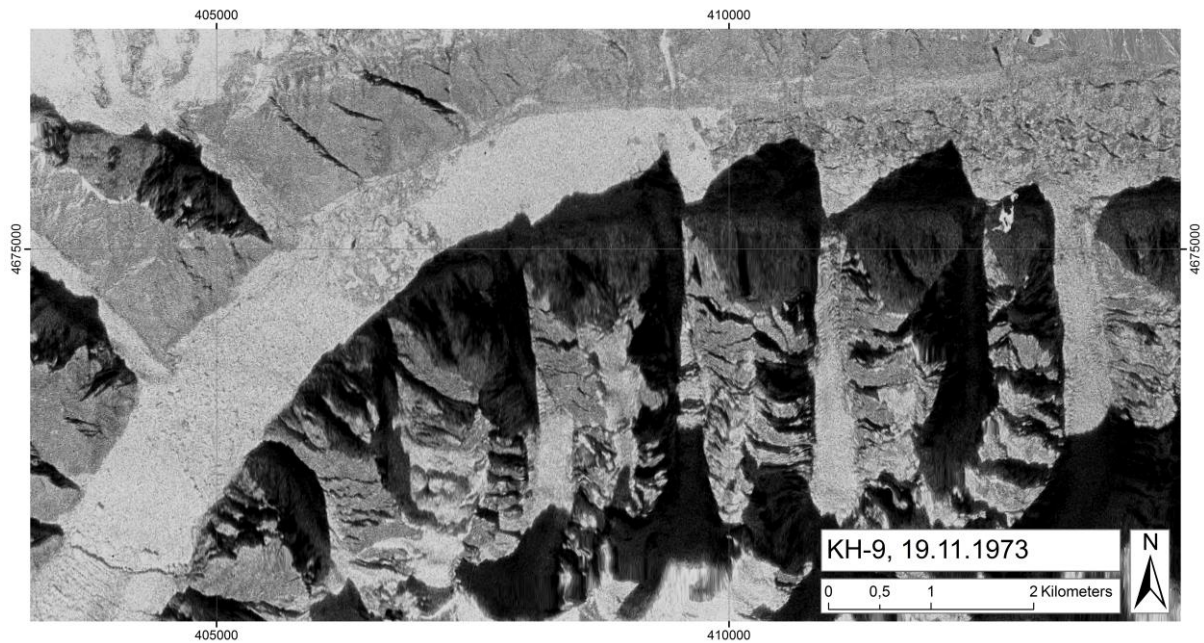


Abbildung 67: Aufnahme des Hexagon Satelliten KH9, aufgenommen am 19.11.1973, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

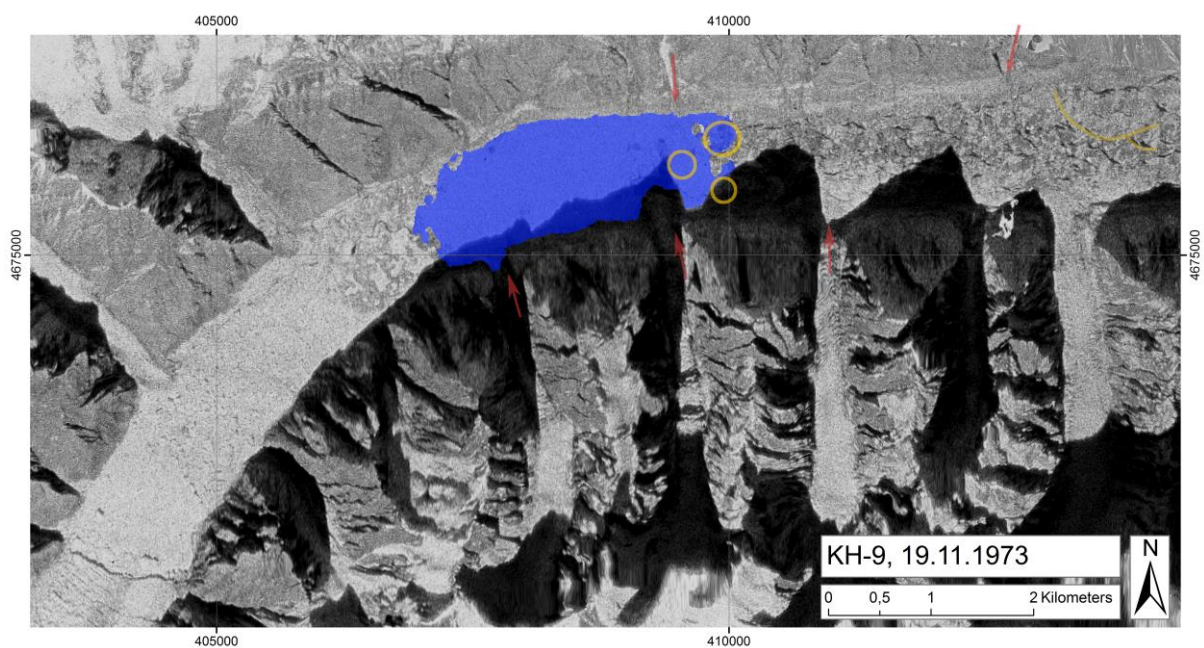


Abbildung 68: Aufnahme des Hexagon Satelliten KH9, aufgenommen am 19.11.1973, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.

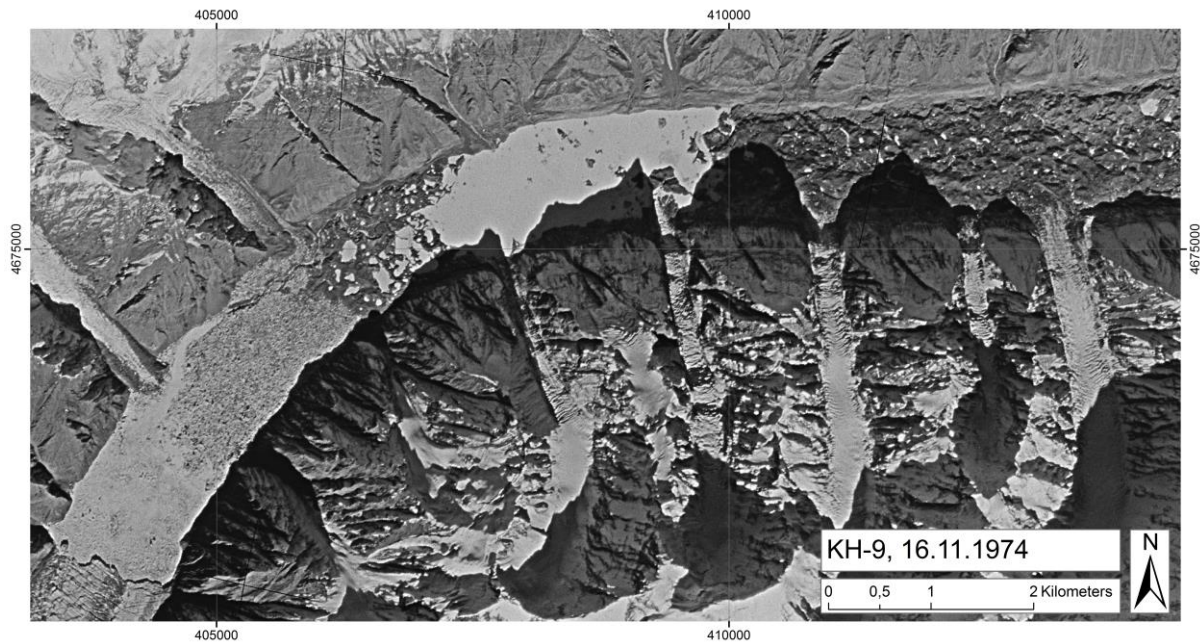


Abbildung 69: Aufnahme des Hexagon Satelliten KH9, aufgenommen am 16.11.1974, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

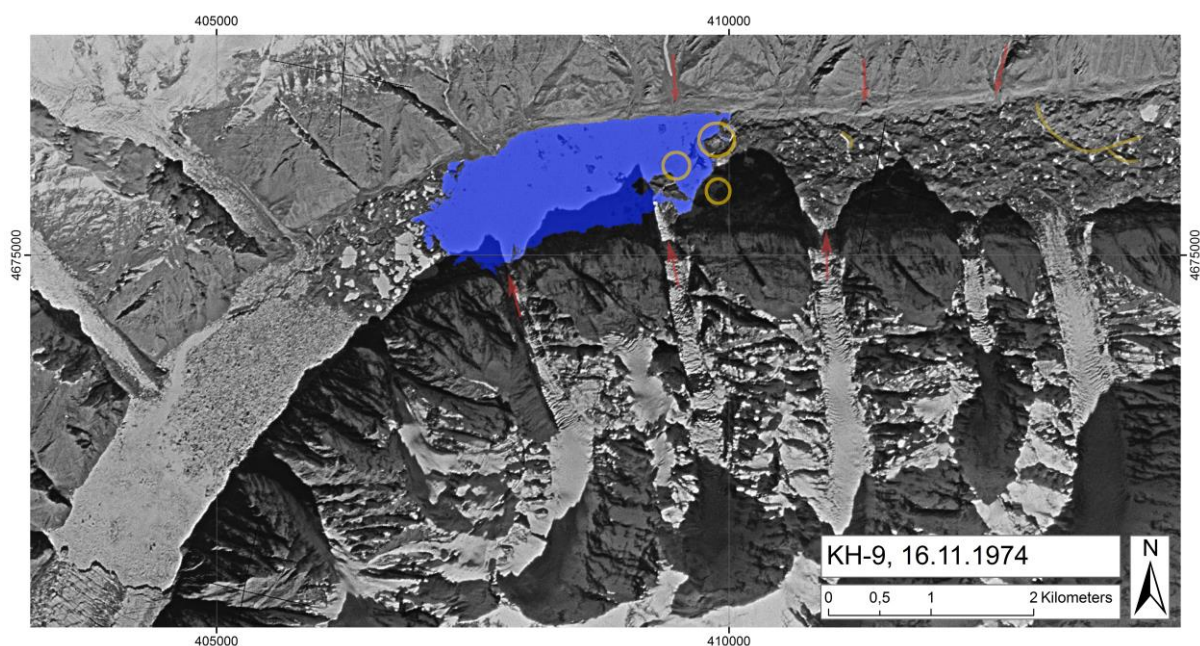


Abbildung 70: Aufnahme des Hexagon Satelliten KH9, aufgenommen am 16.11.1974, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.

Aus dem Jahr 1977 steht die erste Szene des Untersuchungsgebietes zur Verfügung, welche vom Satelliten Landsat MMS aufgenommen wurde. Die Aufnahme vom 20. Mai zeigt nun eine klar abgrenzbare Gletscherstirn des nördlichen Inylchek Gletschers und einen zusammenhängenden großen oberen See. Der beschriebene südliche Seitengletscher im Seebereich hat sich entweder vollständig bis zum Talverschnitt zurückgezogen oder fließt unter dem Seeniveau in den oberen See.

Der obere See hat nun eine Ausdehnung von circa 3,0 km x 1,0 km, bei einer Gesamtfläche von ungefähr 3,0 km². Dies entspricht einem Zuwachs des oberen Sees seit 1967 um rund 71 000 m²/Jahr.

Die Marker des nördlichen Inylchek Gletschers zeigen weiterhin keine wesentliche Bewegung.

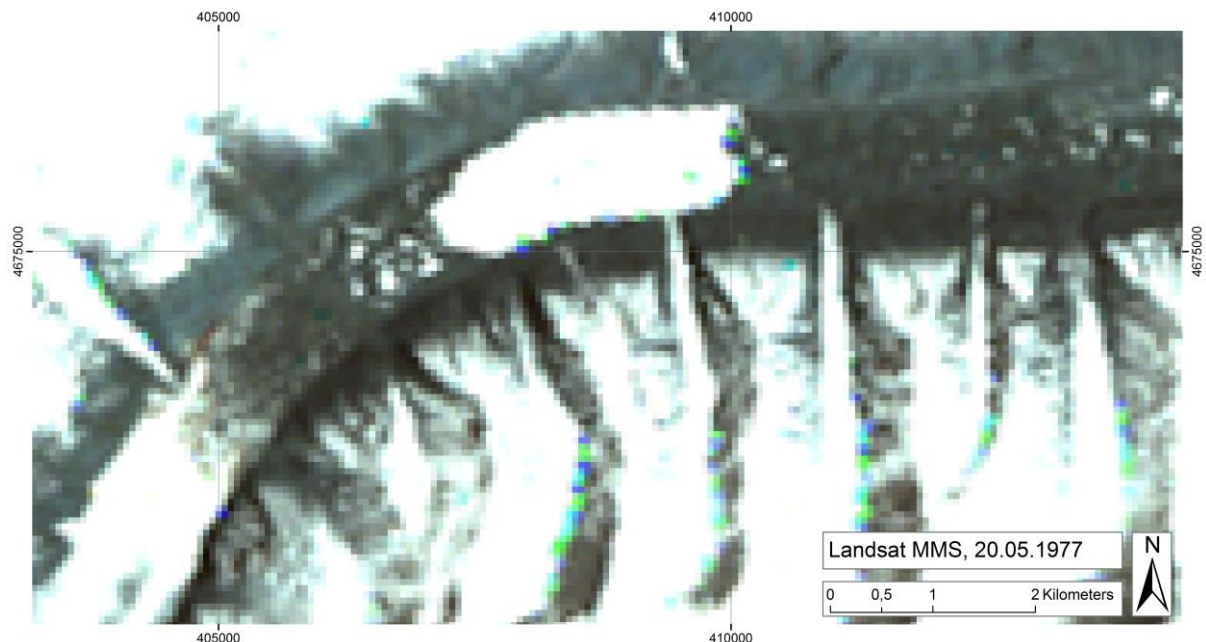


Abbildung 71: Aufnahme eines Landsat MMS Satelliten, aufgenommen am 20.5.1977, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

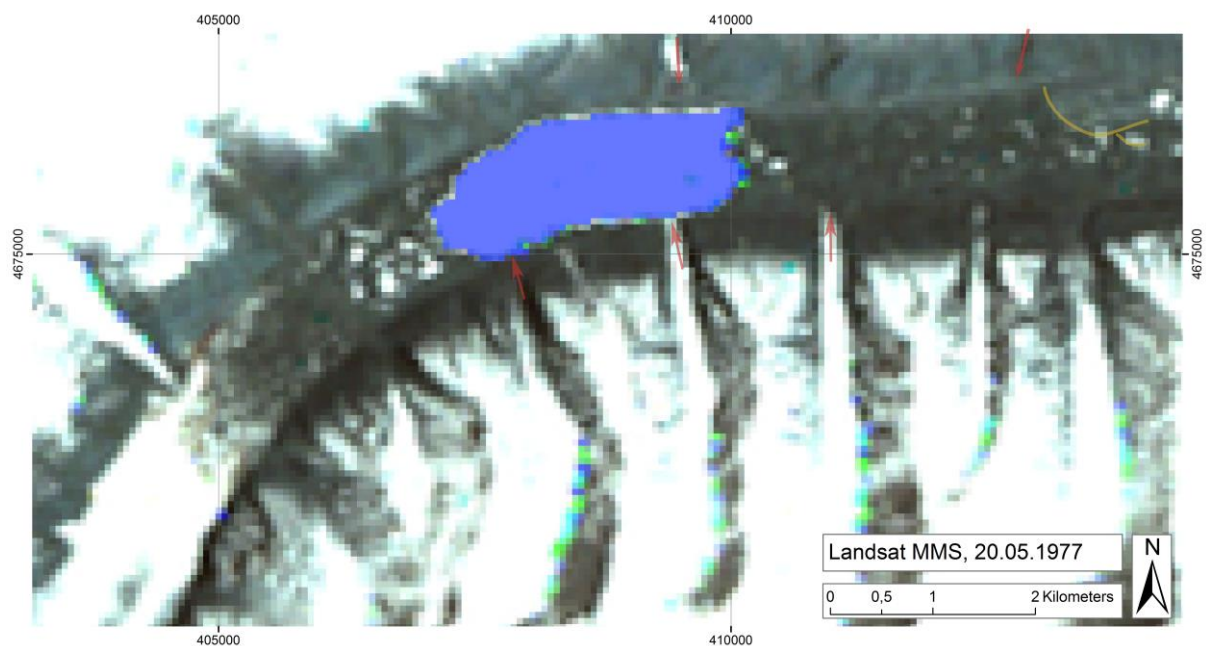


Abbildung 72: Aufnahme eines Landsat MMS Satelliten, aufgenommen am 20.5.1977, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.

Aus dem Jahre 1981 existiert eine Luftbildaufnahme vom 20. Juli. Diese zeigt weiterhin einen Rückzug des nördlichen Inylchek Gletschers. Die Gletscherstirn hat sich gegenüber 1977 um ungefähr 400 m zurückgezogen und den oberen See um circa 350 000 km² vergrößert. Damit zeigt sich eine gleichbleibende, durchschnittliche Vergrößerung zwischen Mai 1977–Juli 1981 verglichen mit den Jahren 1967–1977.

Der Vergleich mit der Satellitenszene von 1974 zeigt keine wesentliche Veränderung der Position der Gletschermarker.

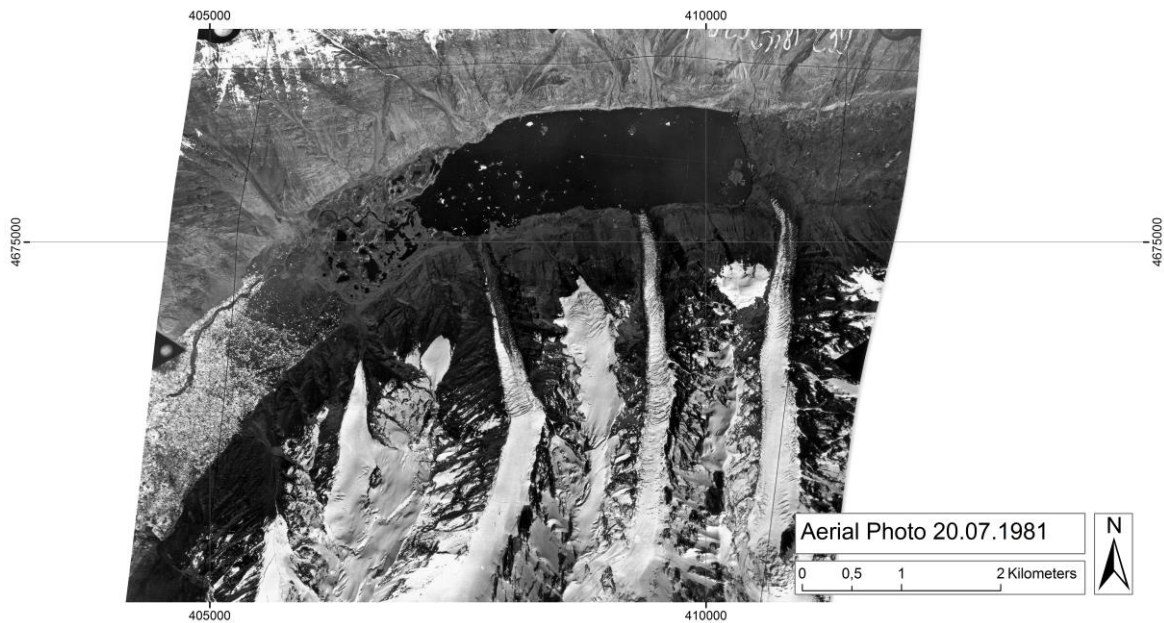


Abbildung 73: Luftbildaufnahme vom 20.7.1981, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

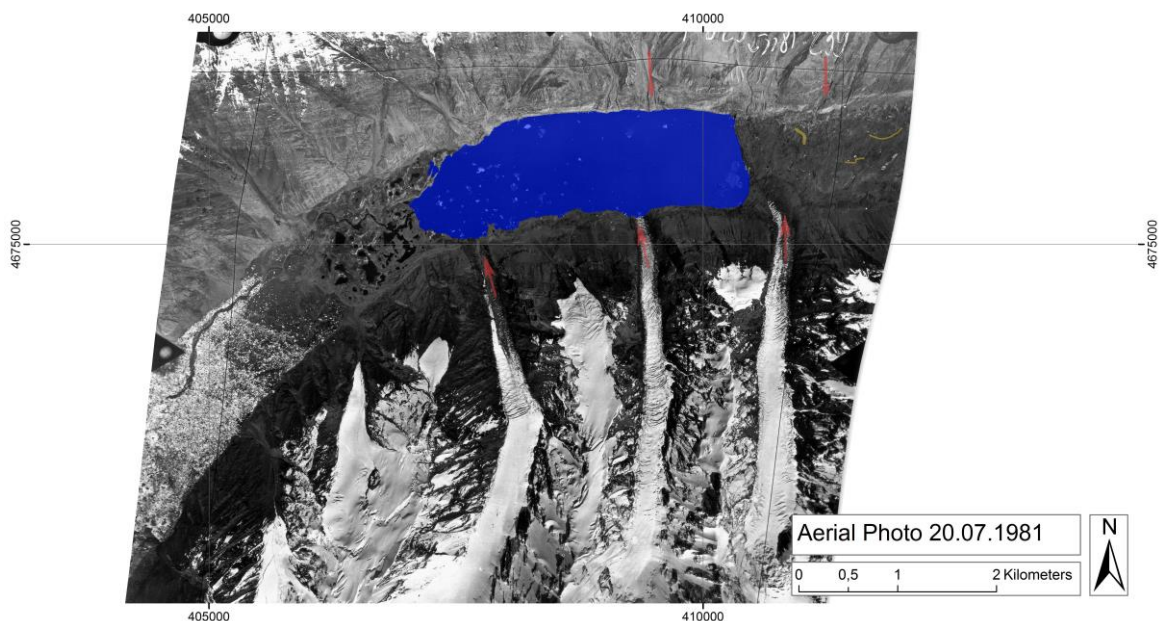


Abbildung 74: Luftbildaufnahme vom 20.7.1981, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees.

Die nächste Aufnahme des Untersuchungsgebietes war im Rahmen dieser Untersuchungen aus dem Jahr 1989 vorhanden. Die Szene des Landsat TM Sensors wurde am 18. Jänner 1989 aufgezeichnet. Wie in den vergangenen Jahren lässt sich auch hier der weitere Rückzug des nördlichen Inylchek Gletschers um ca. 550 m im Vergleich mit dem Luftbild von 1981 erkennen. In diesem Zeitraum vergrößert sich die Seefläche um insgesamt 0,6 km². Die durchschnittliche Rückzugsrate hat sich somit gegenüber dem Zeitabschnitt Juli 1981 bis Jänner 1989 kaum verändert.

Gletschermarker sind auf Grund der schlechten Bodenauflösung nicht zu erkennen, weshalb mit dieser Methodik keine Erkenntnisse bezüglich Gletscherbewegungen gewonnen werden können.

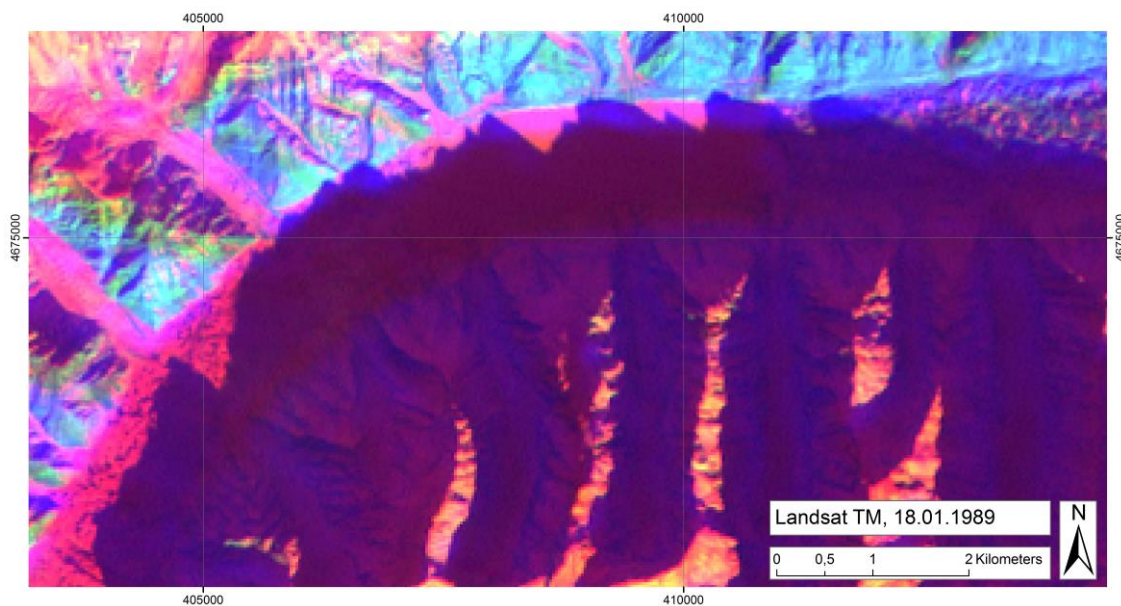


Abbildung 75: Aufnahme eines Landsat TM Satelliten vom 18.1.1989, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

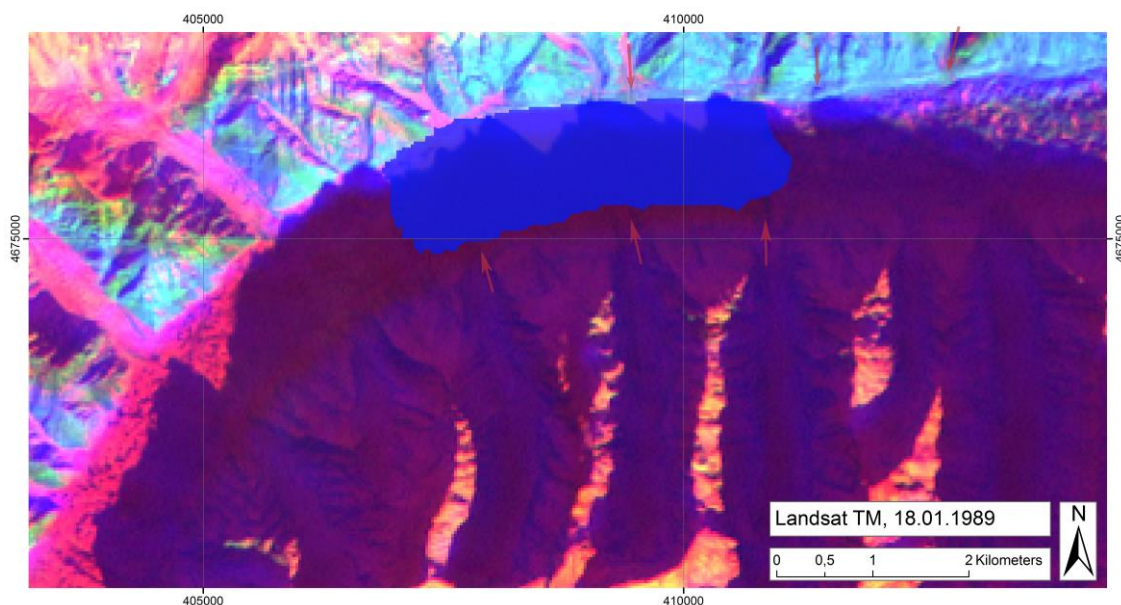


Abbildung 76: Aufnahme eines Landsat TM Satelliten vom 18.1.1989, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die blaue Fläche zeigt die Ausdehnung des oberen Sees.

1990 – 1999

Im Jahr 1990 wurde wieder eine Reihe an russischen Luftbildern im Bereich des Inylchek Gletschers erstellt, wobei das Untersuchungsgebiet am 20. Juli 1990 überflogen und aufgenommen wurde. Außerdem erstellte der Landsat TM Sensor am 10. September 1990 eine Satellitenszene vom Untersuchungsgebiet.

Im Vergleich zum Satellitenbild vom Jänner 1989 zeigt sich weiterhin ein Rückzug der Gletscherstirn des nördlichen Inylchek Gletschers um rund 100 m.

In den beiden Luftbildern von 1981 und 1990 lassen sich markante, vergleichbare Kanten und morphologische Strukturen von Gletscherspalten und Ähnlichem erkennen, welche sich in den neun Jahren um ungefähr 100 m talwärts bewegt haben könnten. Eine genaue und vor allem sichere diesbezügliche Aussage ist auf Grund der hohen Verzerrung und Lageungenauigkeit der Luftbilder nicht möglich. Jedoch ist auch in der Landsat TM Szene von 1990 eine Bewegung des beschriebenen nördlichen Gletscherstromes, welcher sich in der spektralen Signatur unterscheidet, in einer ähnlichen Größenordnung wie der oben angeführten Marker zu beobachten. Auf Grund fehlender Fernerkundungsdaten zwischen 1981 und 1990 lässt sich jedoch keine genauere zeitliche Eingrenzung des Beginns der Talwärtsbewegung des Gletschers erstellen.

Wie für den Zeitraum vor dem jährlichen Ausbruch gewöhnlich, ist der untere Merzbacher See auch im Juli 1990 vollständig gefüllt. Auffallend sowohl im Luftbild, als auch in den Fotos vom Juli 1990 ist, dass das Seeniveau beider Seen nahezu ident ist. Es ist daher naheliegend, dass es in den Monaten davor zu vermehrtem Abschmelzen und Abfluss des nördlichen Inylchek Gletschers gekommen ist.

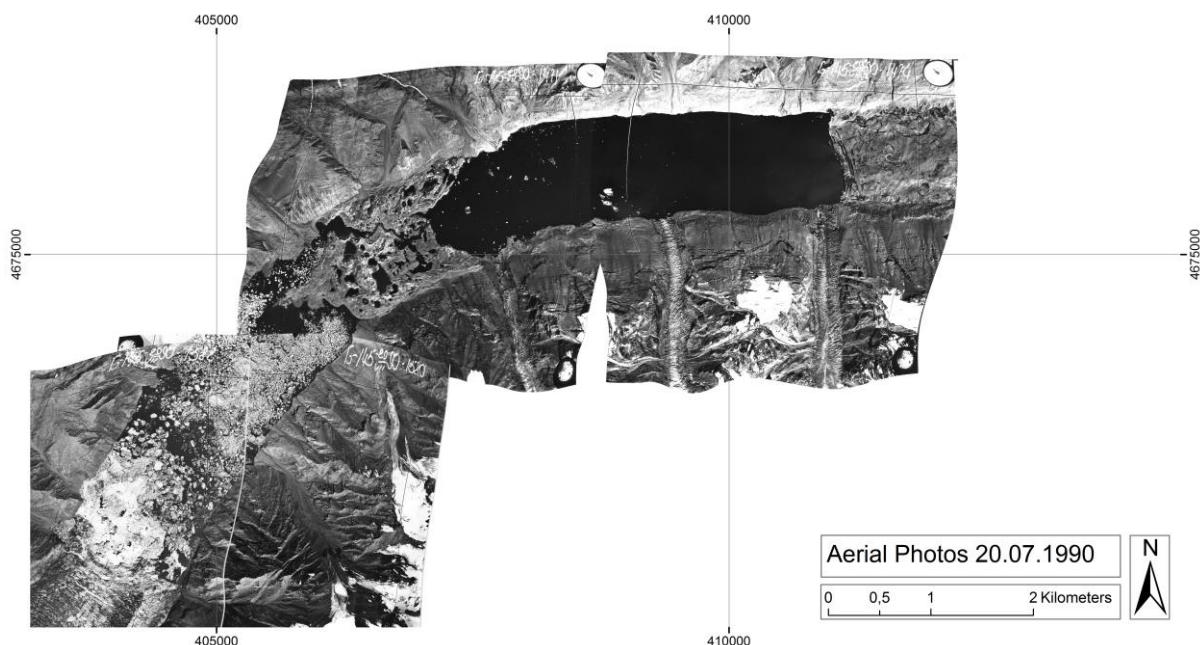


Abbildung 77: Luftbildaufnahme vom 20.7.1990, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

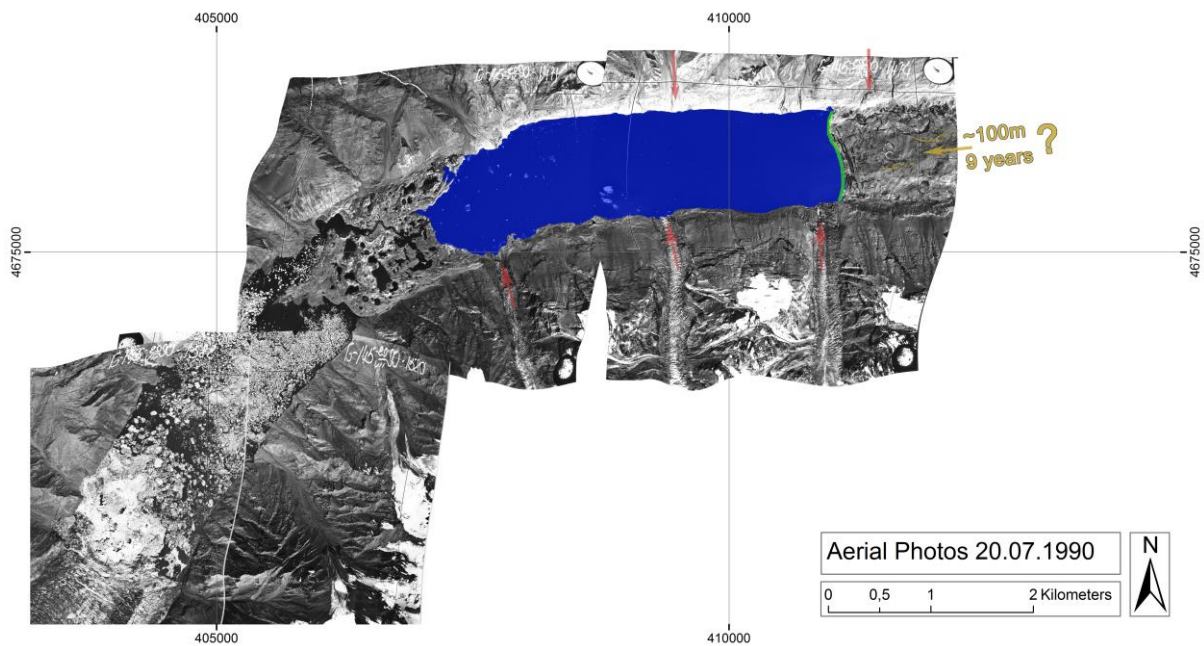


Abbildung 78: Luftbildaufnahme vom 20.7.1990, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees und die grüne Linie die Position der Gletscherstirn.



Abbildung 79: Foto des nördlichen Inylchek Gletschers mit vorgelagertem "oberen See", aufgenommen im Juli 1990 (Fischer, 2010).



Abbildung 80: Foto des unteren Merzbacher Sees und oberen Sees, aufgenommen im Juli 1990 (Fischer, 2010).

Der obere See erreicht im Jahr 1990 seine maximale Ausdehnung im 20. Jahrhundert mit circa 4 km x 1 km und einer Gesamtfläche von 3,8 km². Der untere Merzbacher See weist in diesem Jahr vollgefüllt ebenso eine Gesamtfläche von 3,8 km² auf.

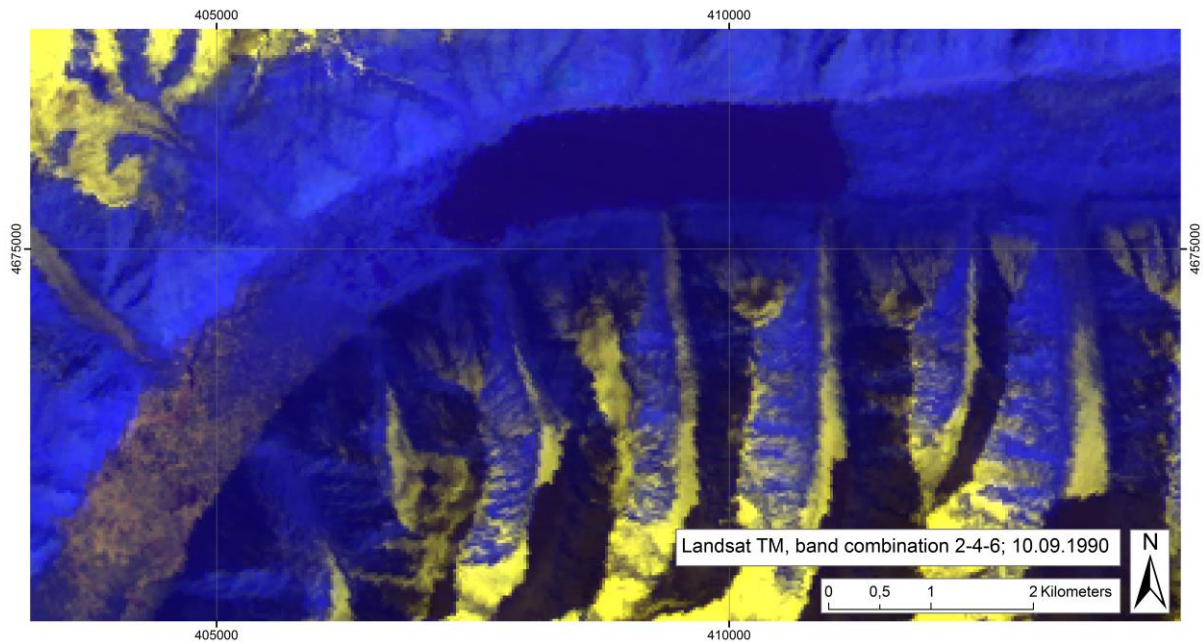


Abbildung 81: Aufnahme eines Landsat TM Satelliten vom 10.9.1990, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

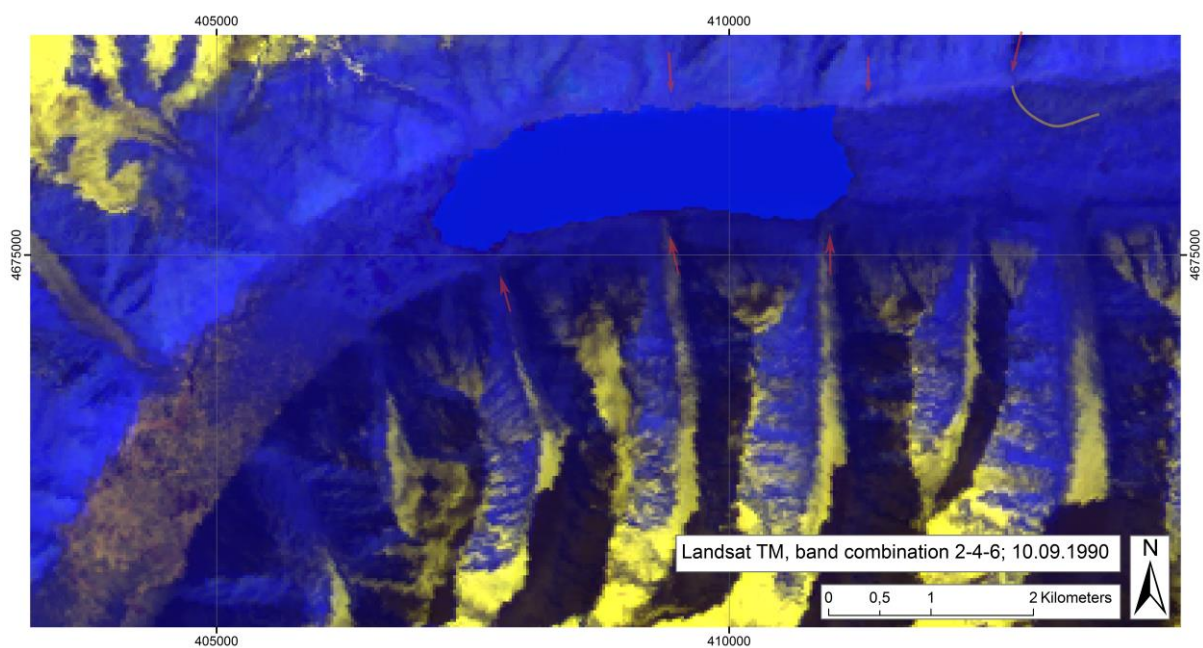


Abbildung 82: Aufnahme eines Landsat TM Satelliten vom 10.9.1990, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen markanten Gletschermarker, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees.



Abbildung 83: Aufnahme des oberen Sees im Rahmen einer Expedition im Jahre 1991 (Todorovich, 1991).

Im September 1996 zeigt eine Aufnahme des SPOT 3 Sensors, dass sich die Position der Gletscherstirn des nördlichen Inylchek Gletschers kaum verändert hat. Der obere See behält somit seine größte Ausdehnung wie im Jahr 1990.

Ungewöhnlich für den oberen See ist, dass sich dieser im September 1996 offensichtlich geleert haben dürfte. Der Verschnitt des Seeniveaus mit den Talflanken zeigt eine Absenkung.

Außerdem ist im direkten Bereich vor der Gletscherzunge des nördlichen Inylchek ein großes Paket aus vermutlich Sedimenten und/oder Gestein zu erkennen. Darauf lagert vereinzelt Treibeis des Sees. Die Herkunft dieses Materials von den Seitenwänden des Tales kann ausgeschlossen werden, da sich in diesem Bereich keine Hinweise für eine Massenbewegung, im Speziellen einen Felssturz, finden lassen. Als mögliche Ursache für die Entstehung dieses Materials scheint das starke Abschmelzen des Gletschers in den vergangenen Jahren und somit die Steigerung der vom Gletscherabfluss transportierten und in diesem Bereich abgelagerten Sedimentfracht zu sein. Freigelegt und somit erst 1996 sichtbar wurden diese Sedimente durch die Leerung des oberen Sees. Im Luftbild von 1990 ist der Suspensionsaustrag des Gletschers im südlichen Gletscherstirnbereich des oberen Sees zu erkennen. Auf Grund der höheren Strömungsgeschwindigkeiten in diesem Bereich und dem daraus resultierenden, weiteren Transportweg wurde der Hauptteil dieser turbiditischen Sedimente außerhalb dieses Bereiches abgelagert (siehe Vergleich Abbildung 86 und Abbildung 87).

Weiters zeigt sich in der Satellitenszene vom September 1996, dass der beschriebene hellere Gletscherstrom in der nördlichen Hälfte gegenüber 1990 sich um 400 m talwärts bewegt hat.

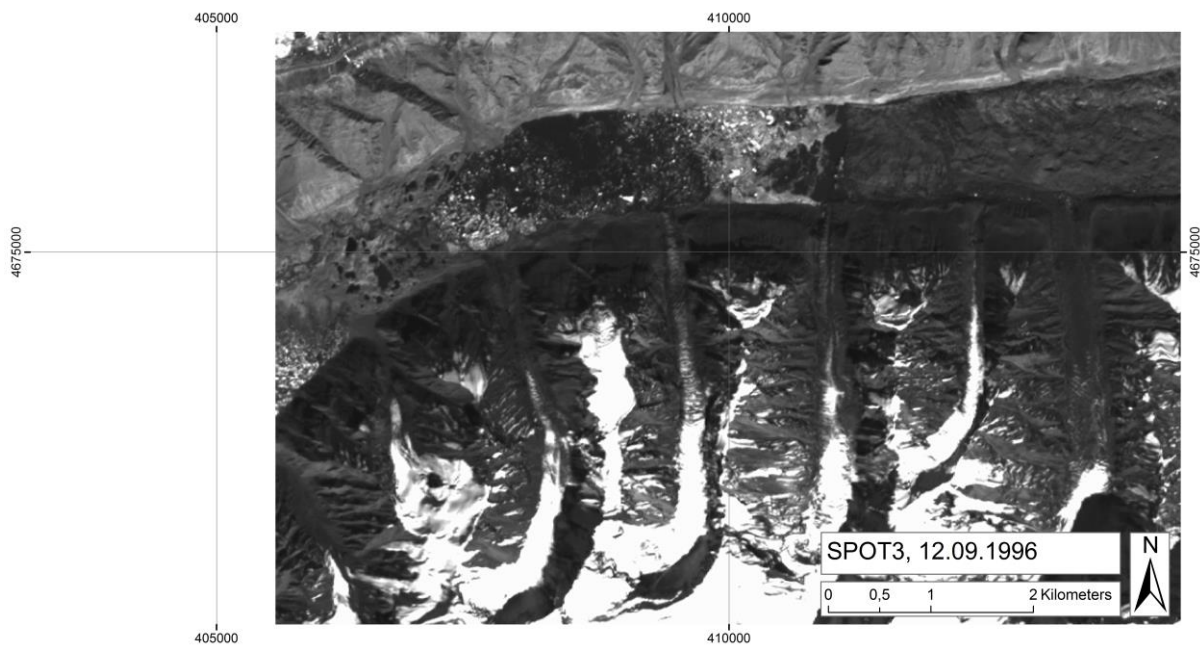


Abbildung 84: Aufnahme des SPOT 3 Satelliten vom 12.9.1996, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

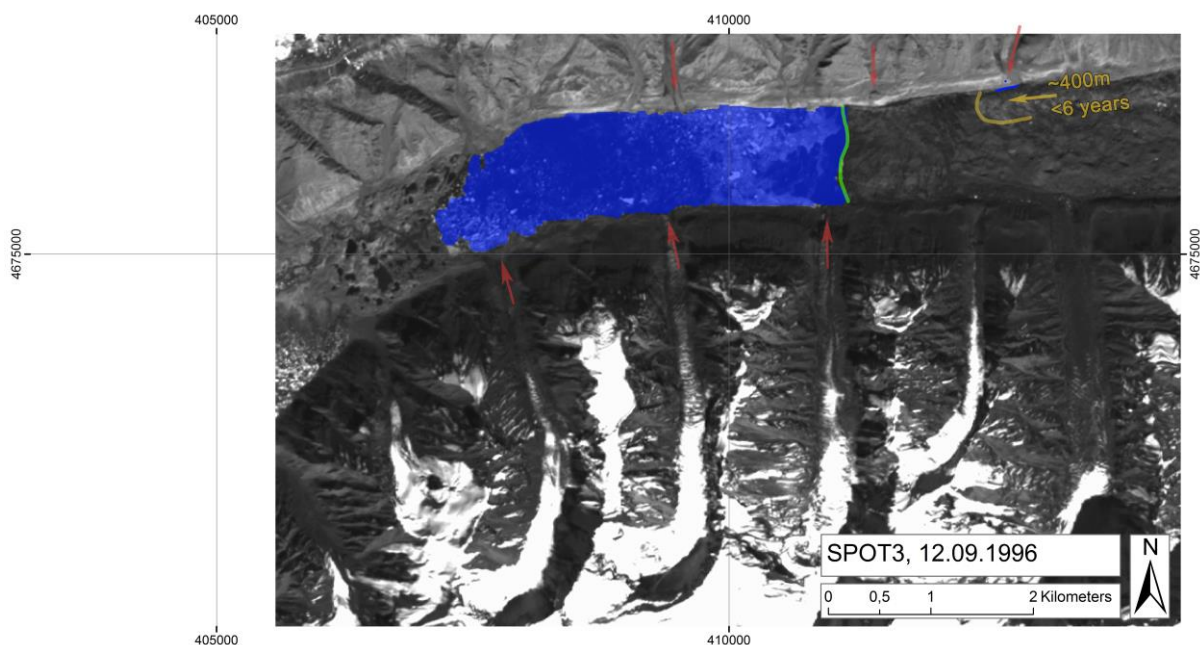


Abbildung 85: Aufnahme des SPOT 3 Satelliten vom 12.9.1996, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen markanten Gletschermarker, die blaue Linie das Gletscherniveau, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees und die grüne Linie die Position der Gletscherstirn.

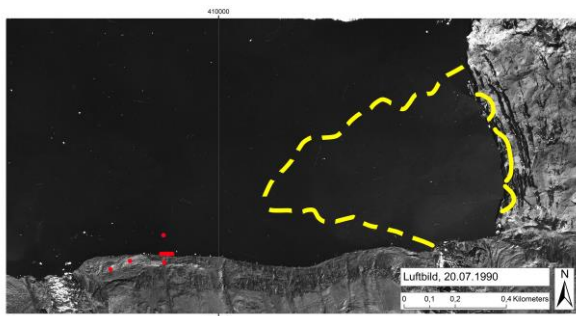


Abbildung 86: Luftbildaufnahme vom 20.7.1990, Detailbereich der Gletscherstirn des nördlichen Inylchek Gletschers; die gelbe Markierung zeigt den Bereich mit Suspensionsströmen, die rote Markierung die Referenzpunkte.

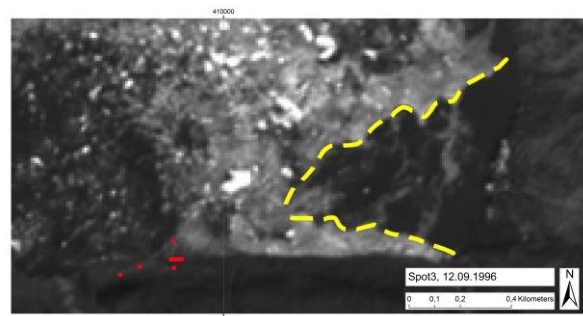


Abbildung 87: Aufnahme des SPOT 3 Sensors vom 12.9.1996, Detailbereich der Gletscherstirn des nördlichen Inylchek Gletschers mit vorgelagerten Sedimenten; die gelbe Markierung zeigt den ehemaligen Bereich der Suspensionsströme von 1990, die rote Markierung die Referenzpunkte.

Bereits 25 Tage nach der beschriebenen ersten SPOT-Szene vom September 1996 überfliegt der SPOT 3 Sensor erneut das Untersuchungsgebiet. Innerhalb dieser kurzen Zeit bewegt sich der helle, nördlichgelegene Gletscherstrom des nördlichen Inylchek um 250 m und damit durchschnittlich 10 m/Tag talwärts. Die Gletscherstirn beginnt nun ebenfalls sich talwärts zu bewegen und befindet sich circa 100 m westlich der Position vom September dieses Jahres. Es kommt zu einer Stauung des Gletschers und die Oberfläche hebt sich. Der Verschnitt zwischen steilen Seitenwänden des Tales und der Gletscheroberfläche zeigt eine horizontale Distanz von 40 m im vorderen Gletscherbereich, circa 30 m im 2 km entfernten östlichen Bereich und nimmt in Richtung Nährgebiet zunehmend ab. Bei einer angenommenen Steigung der Seitenwand von 60°/133% würden 40 m Horizontaldistanz einem Höhenunterschied von ~70 m entsprechen.

Das Wasserniveau des oberen See ist schwer zu erkennen, er dürfte jedoch wieder etwas gefüllt sein.

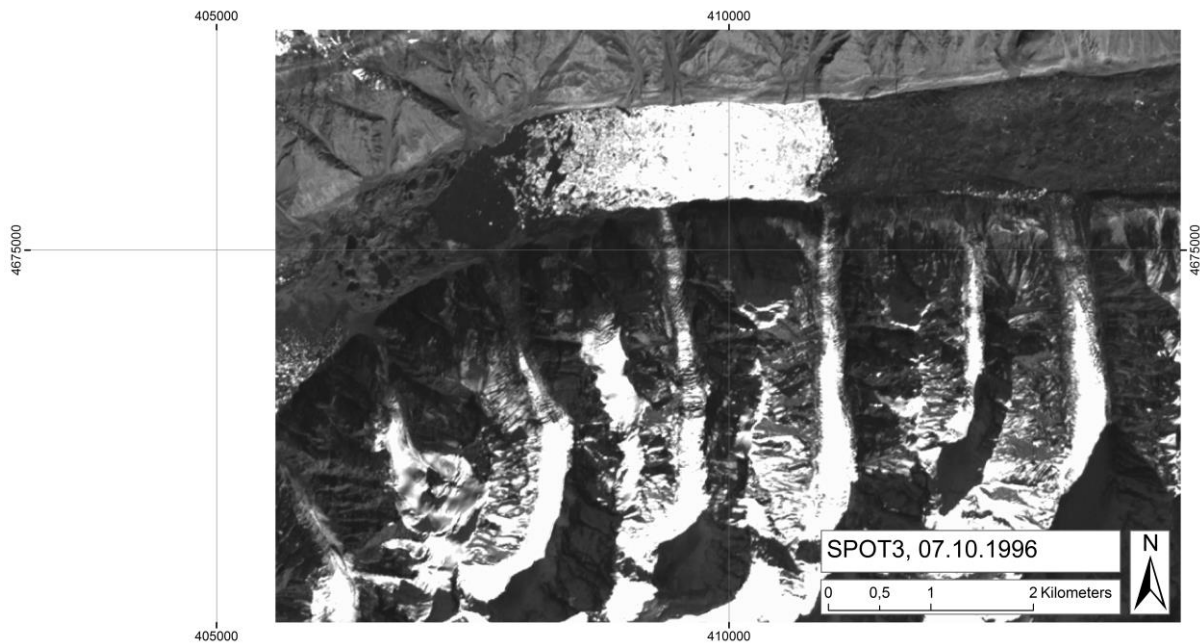


Abbildung 88: Aufnahme des SPOT 3 Satelliten vom 7.10.1996, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

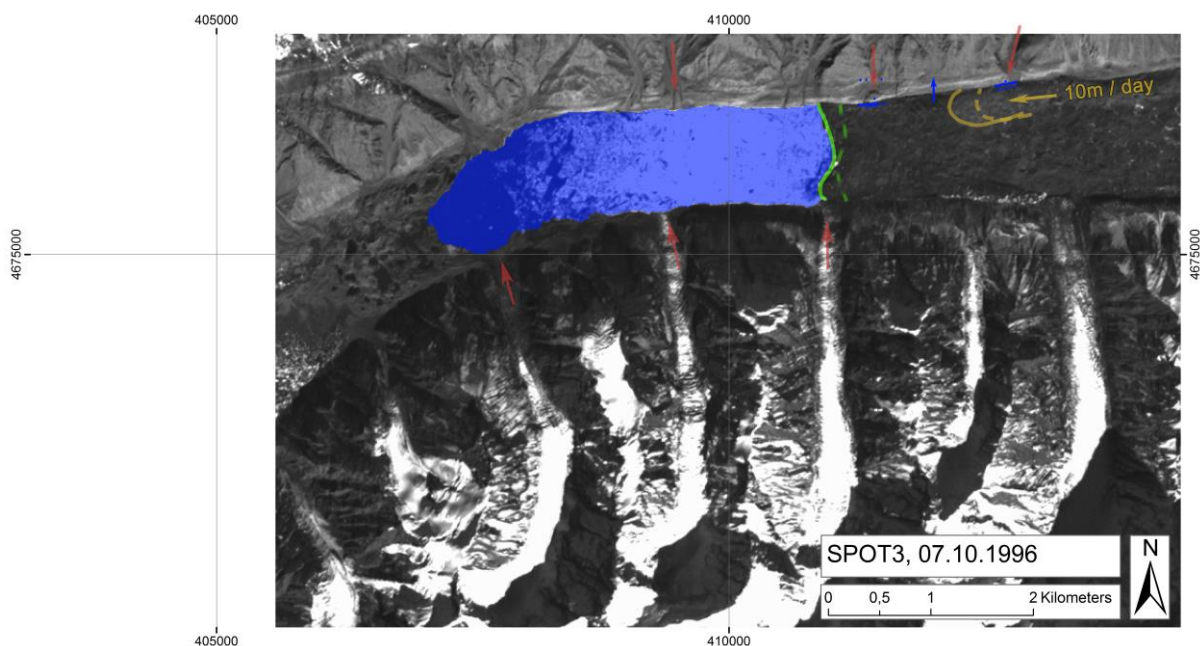


Abbildung 89: Aufnahme des SPOT 3 Satelliten vom 7.10.1996, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen markanten Gletschermarker, die blaue Linie die Veränderung des Gletscherniveaus, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees und die grüne Linie die veränderte Position der Gletscherstirn.

Ein weiteres Monat später zeichnet der japanische Satellit JERS-1 am 8. November 1996 das Untersuchungsgebiet auf. Die Bewegungsrate sowohl der Gletscherstirn, als auch der Gletschermarker steigt auf rund 50 m/Tag. Ein Niveauanstieg der Gletscheroberfläche ist ebenfalls zu erkennen. Genaue Distanzen sind auf Grund der schlechteren Bodenauflösung des JERS-1 Sensors nicht messbar, scheinen jedoch ebenfalls gegenüber dem vorigen Monat gestiegen zu sein.

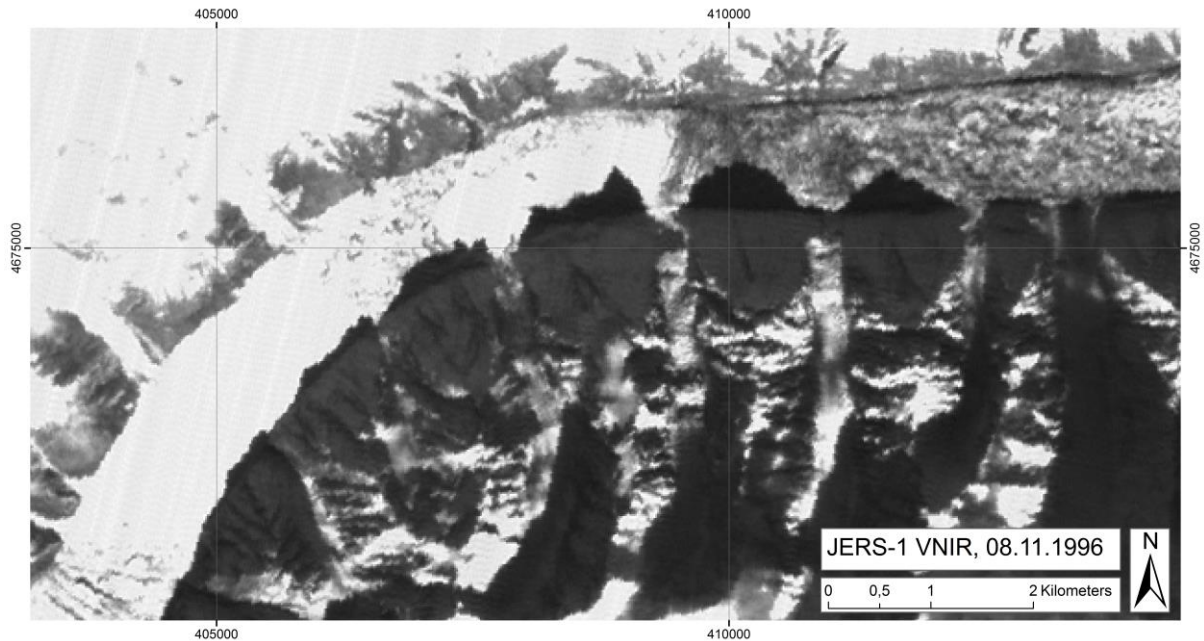


Abbildung 90: Aufnahme des Jers-1 Satelliten vom 8.11.1996, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

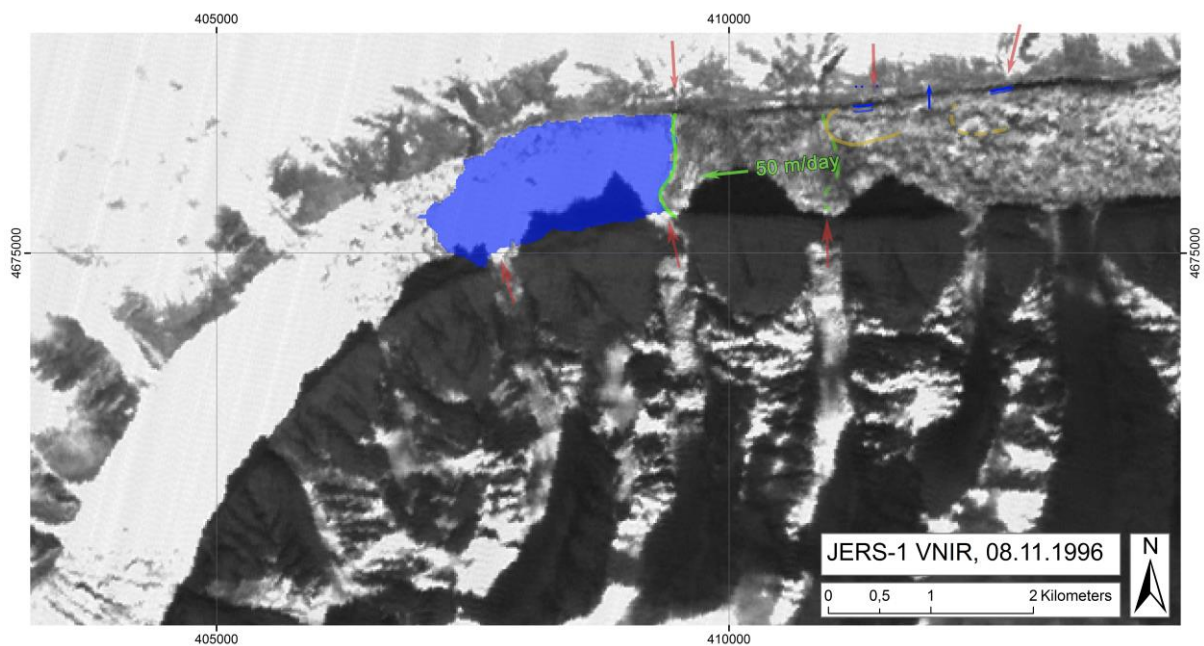


Abbildung 91: Aufnahme des Jers-1 Satelliten vom 8.11.1996, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen markanten Gletschermarker, die blaue Linie das veränderte Gletscherniveau, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees und die grüne Linie die veränderte Position der Gletscherstirn.

Die nächste Aufnahme des Untersuchungsgebietes erfolgte allen Recherchen nach erst wieder am 6. Juli 1997, also sieben Monate später. In diesem Zeitraum ist der nördliche Inylchek Gletschers vollständig bis zum stabilen Moränenbereich vorgestoßen und hat den oberen See fast zur Gänze verdrängt. Dies entspricht einer Distanz von rund 2 km. Eine nähere zeitliche Abgrenzung des Vorstoßes ist auf Grund der zur Verfügung stehenden Daten nicht möglich. Geht man aber davon aus, dass sich die durchschnittliche Vorstoßrate

von 50 m/Tag nach dem 8. November 1996 fortgesetzt hat, hätte der Gletscher in der zweiten Dezemberhälfte seine neue, vollständige Ausdehnung nach rund drei Monaten aktivem Vorstoß erreicht.

Im Stirnbereich des Gletschers lagerte sich das vor sich hergeschobene Material als Mischung aus vermutlich Eis, Moränenmaterial und Seesedimenten ab (siehe Abbildung 94 und Abbildung 95).

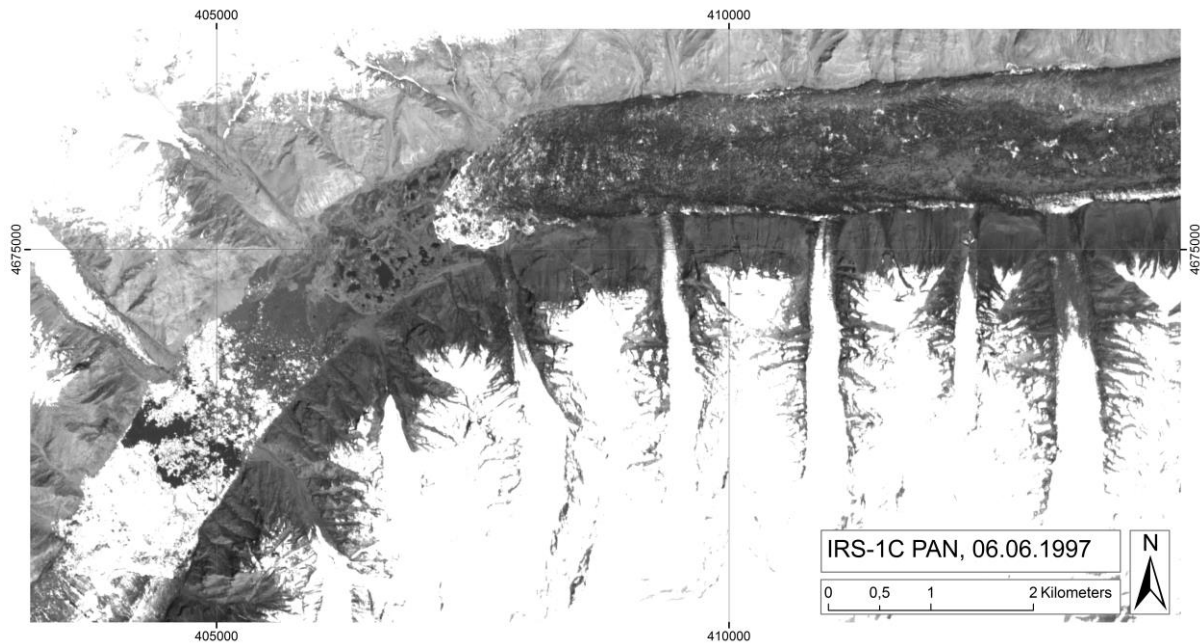


Abbildung 92: panchromatische Aufnahme des IRS-1C Satelliten vom 6.6.1997, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

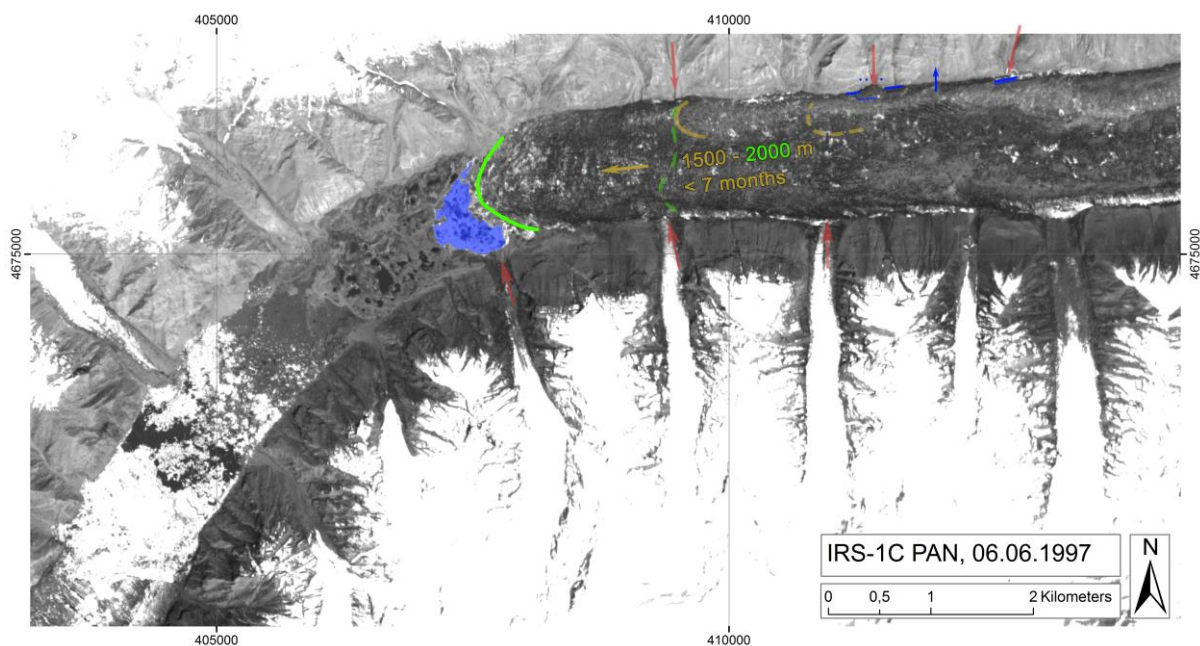


Abbildung 93: panchromatische Aufnahme des IRS-1C Satelliten vom 6.6.1997, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen markanten Gletschermarker, die blaue Linie das veränderte Gletscherniveau, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees und die grüne Linie die veränderte Position der Gletscherstirn.



Abbildung 94: oberer See, aufgenommen im Sommer 1997 oder 1998 (Quelle unbekannt).



Abbildung 95: Foto vom August 1998, Bereich Gletschernase des nördlichen Inylchek Gletschers. Aufnahme: G. Glazirin, mit freundlicher Genehmigung von Gleb Glazirin.

Wie die Aufnahme des Landsat 7 Satelliten vom 9. Juli 1999 zeigt, beginnt nach 1998 der genannte, dem nördlichen Inylchek vorgelagerte Bereich abzuschmelzen. Der obere See erreicht eine Ausdehnung von circa 600 m x 700 m bei einer Gesamtfläche von 350 000 m². Markante, vergleichbare Gletscherbereiche zeigen keine Veränderung ihrer Position und somit keinen Vorstoß des Gletschers.

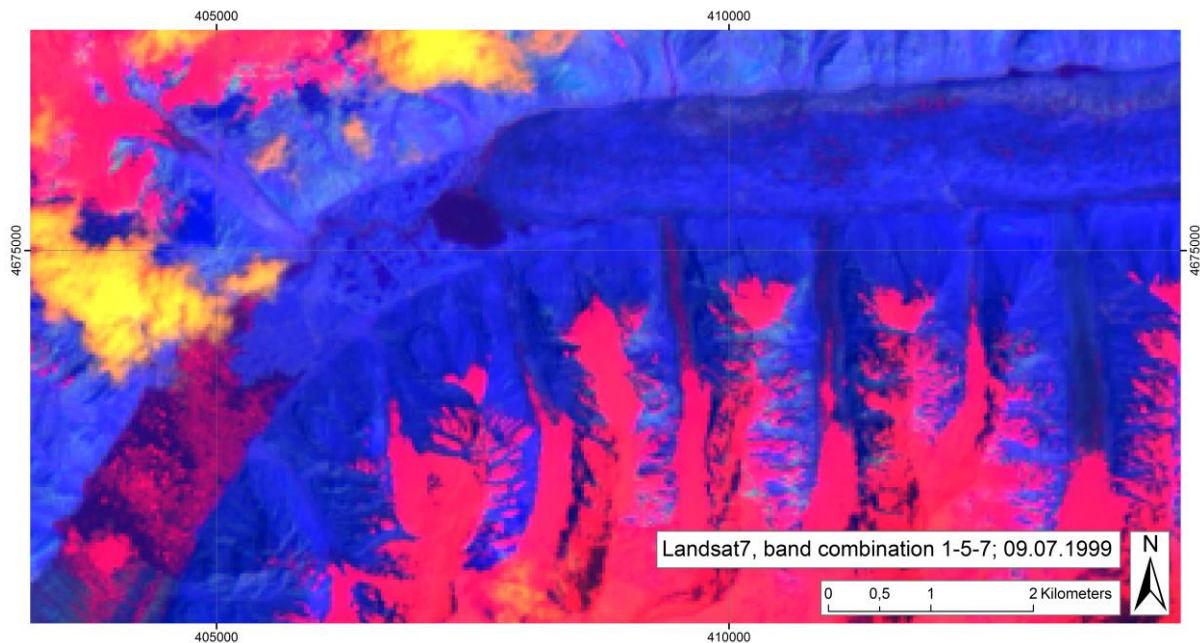


Abbildung 96: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 9.7.1999, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

2000

Sämtliche aus dem Jahr 2000 verfügbaren und brauchbaren Landsat 7 Satellitenszenen wurden für die Analyse hinsichtlich der jahreszeitlichen bzw. monatlichen Veränderungen im Untersuchungsbereich herangezogen. Insgesamt stehen aus dem Jahr 2000 acht Landsat 7 Satellitenszenen zu Verfügung, welche eine geringe Wolkenbedeckung aufweisen und daher Aussagen über Veränderungen im Untersuchungsbereich zulassen.

Die Landsat 7 Satellitenszenen weisen im Jahresgang 2000 eine für den unteren Merzbacher See typische Entwicklung auf. Es kommt zu einer kontinuierlichen Füllung vom Frühjahr bis in den Sommer mit anschließender Entleerung. Am oberen See sind im Gegensatz zum unteren Merzbacher See keine jahreszeitlichen Schwankungen zu verzeichnen und es sind keine Veränderungen in diesem Bereich zu beobachten. Sowohl der nördliche Inylchek, als auch der obere See zeigen im Jahr 2000 keine nennenswerte Veränderung hinsichtlich ihrer Entwicklung (siehe Abbildung 97 bis Abbildung 112).

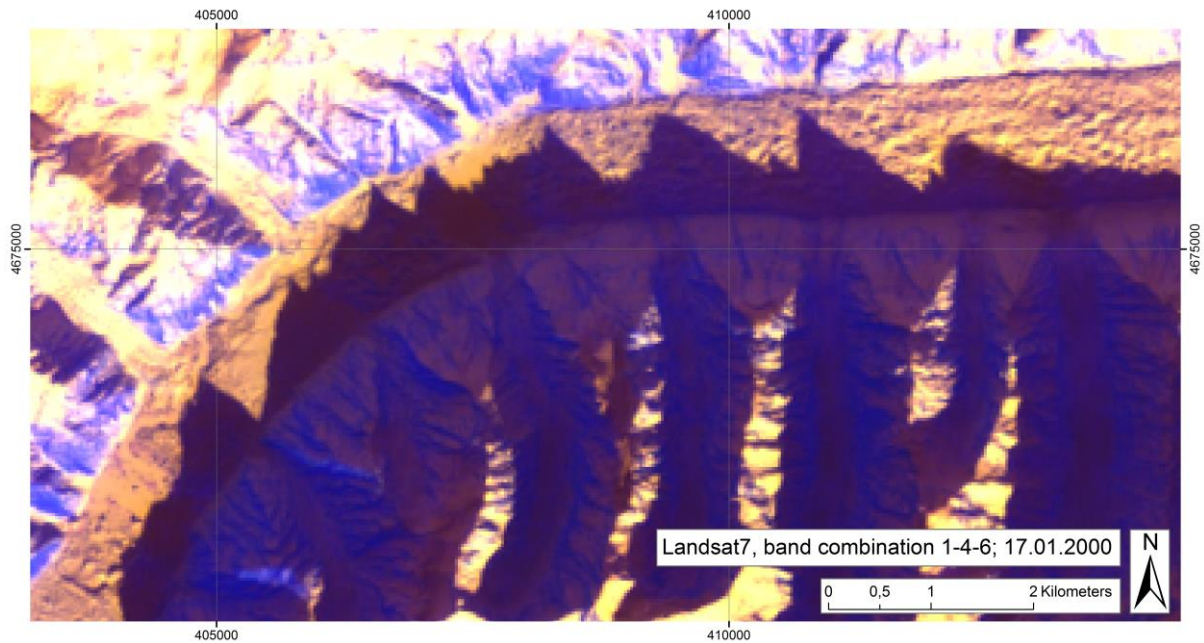


Abbildung 97: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 17.1.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

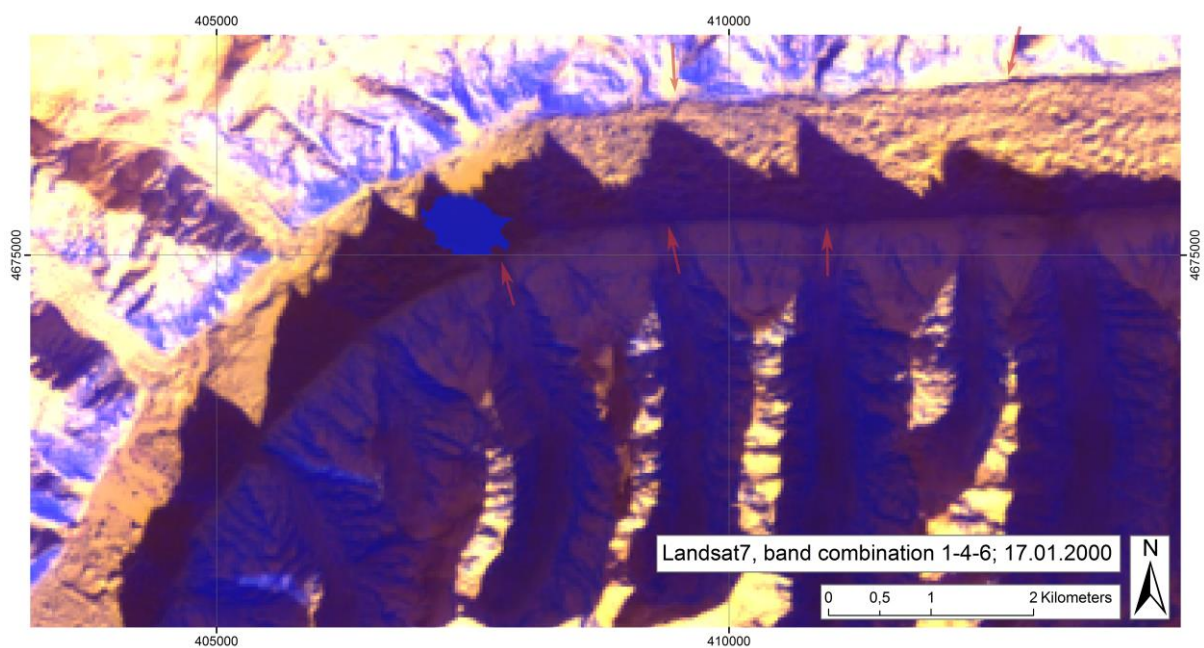


Abbildung 98: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 17.1.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die blaue Fläche zeigt die Ausdehnung des oberen Sees.

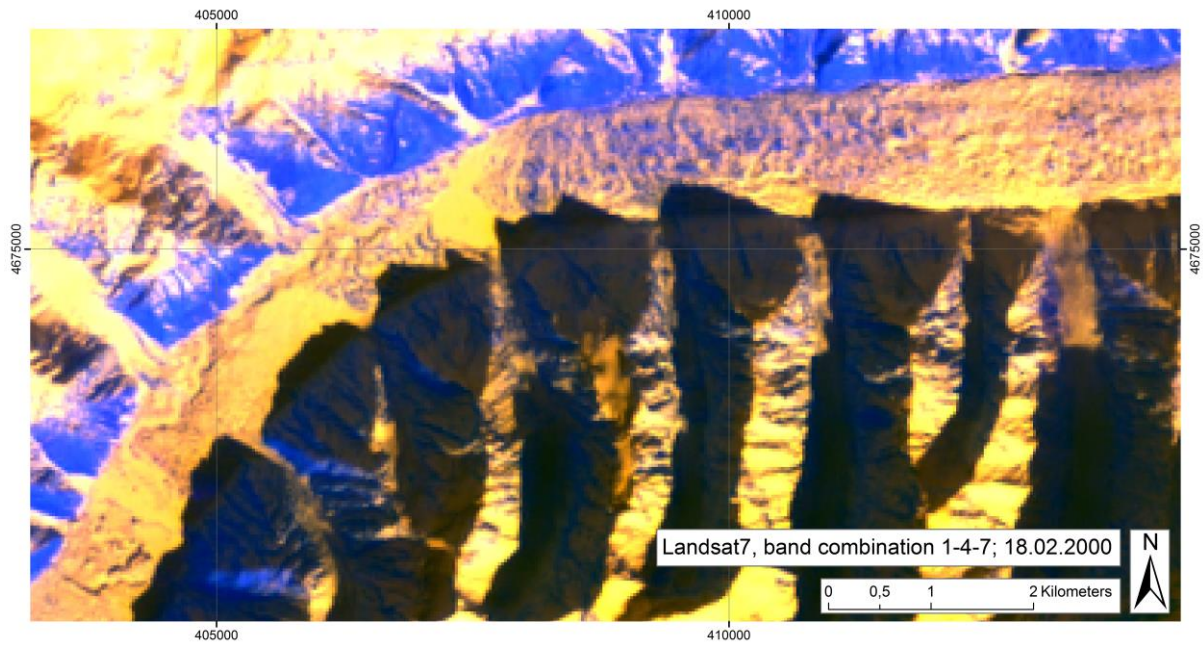


Abbildung 99: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 18.2.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

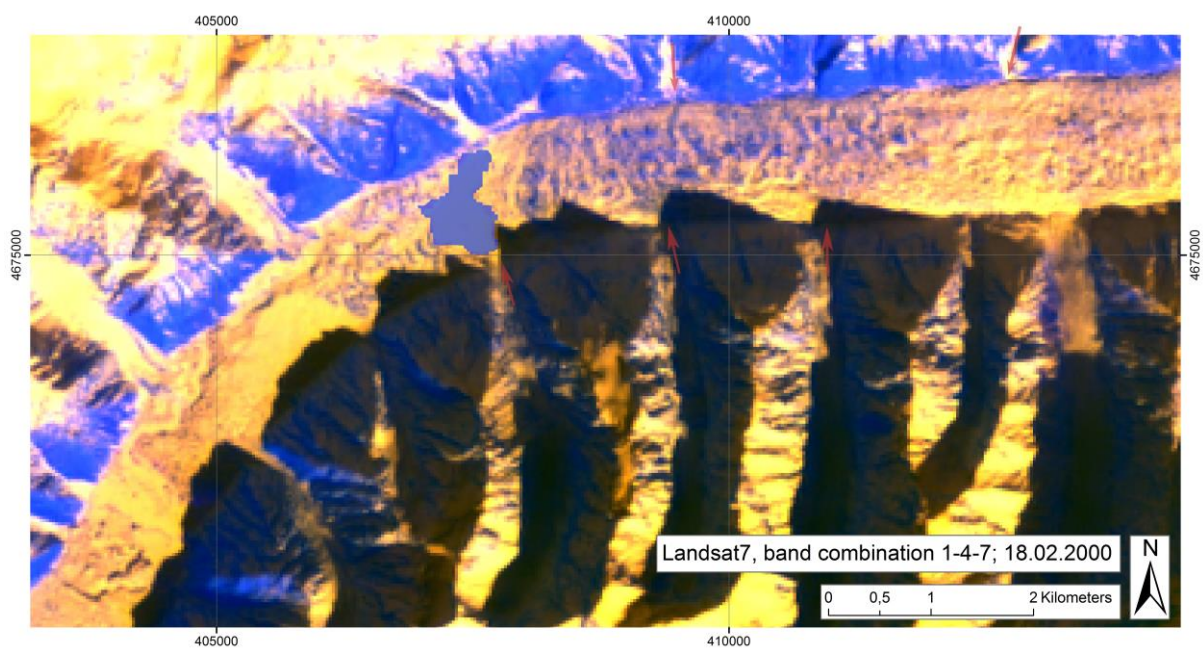


Abbildung 100: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 18.2.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die blaue Fläche zeigt die Ausdehnung des oberen Sees.

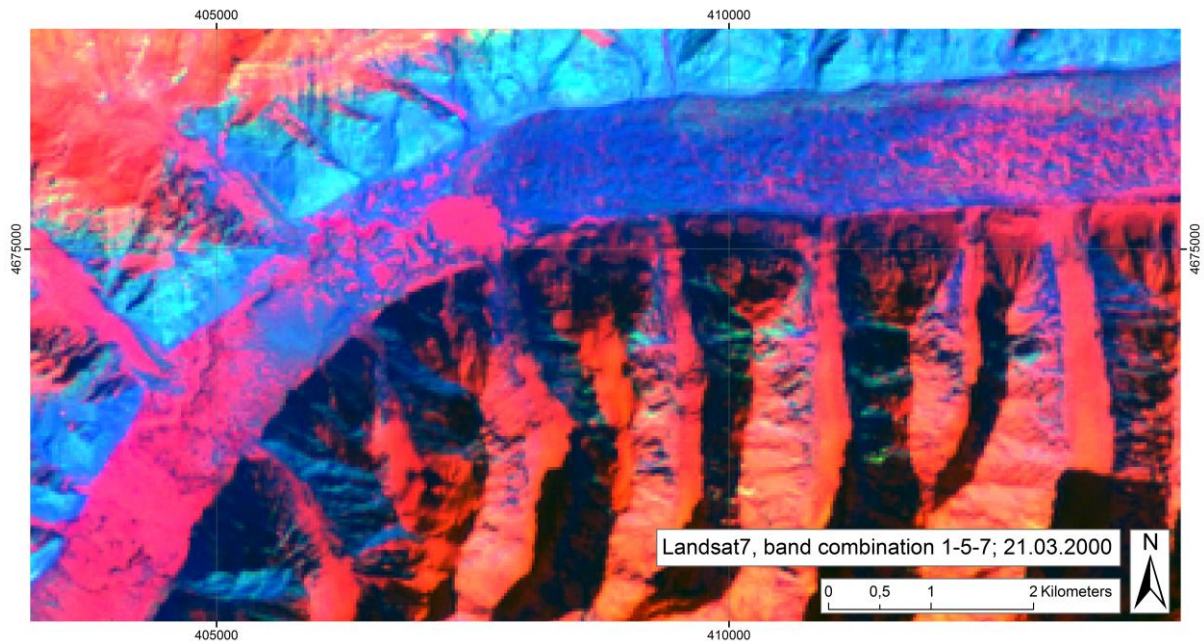


Abbildung 101: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 21.3.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

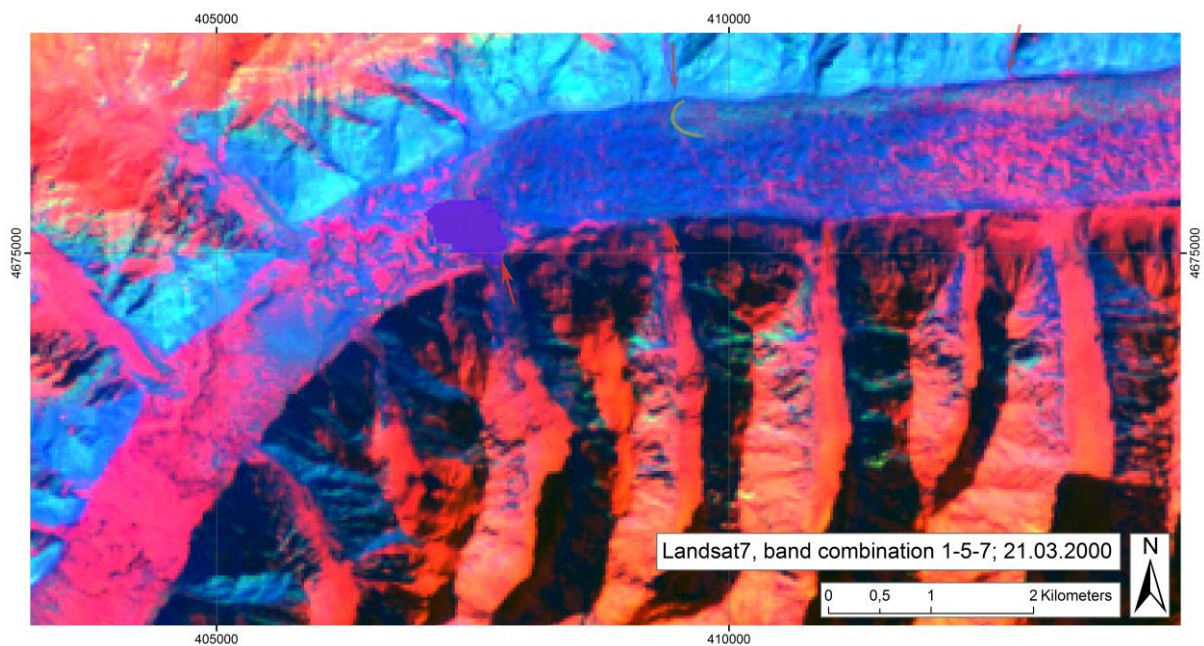


Abbildung 102: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 21.3.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie einen Gletschermarker, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees.

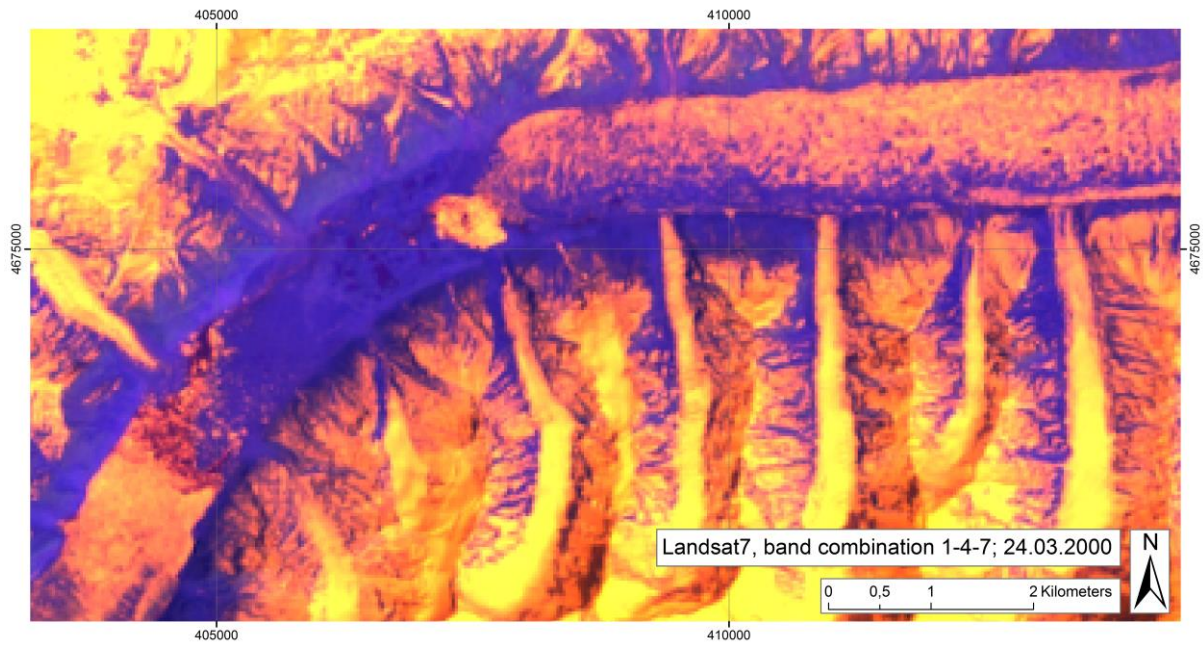


Abbildung 103: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 24.3.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

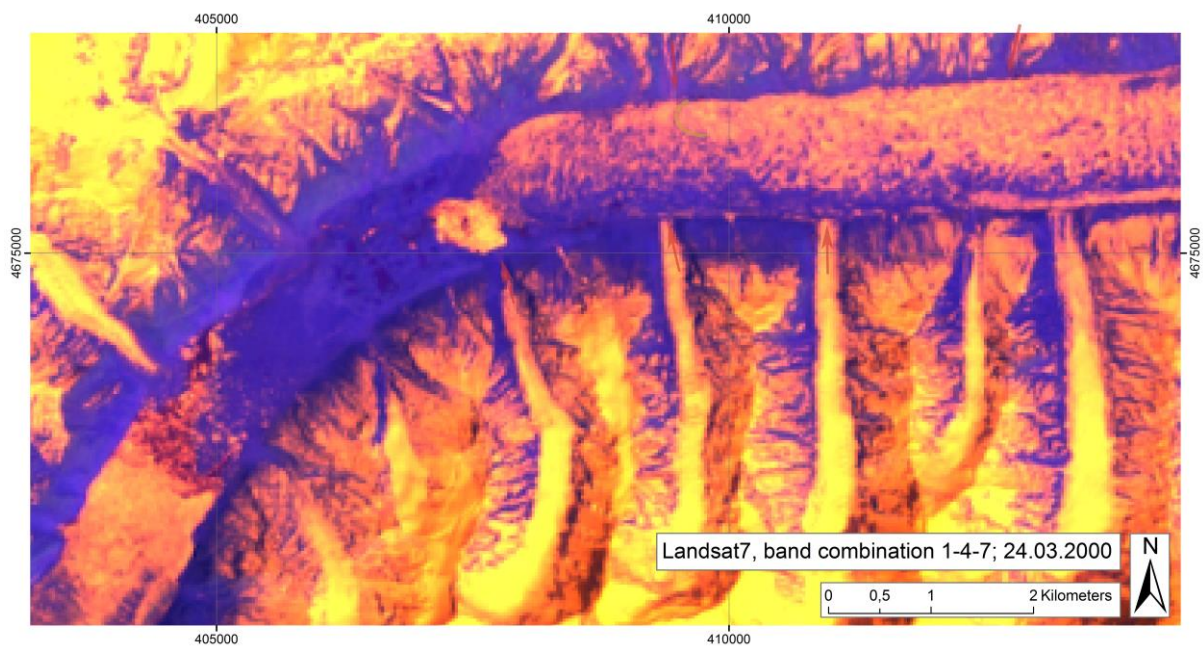


Abbildung 104: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 24.3.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz.

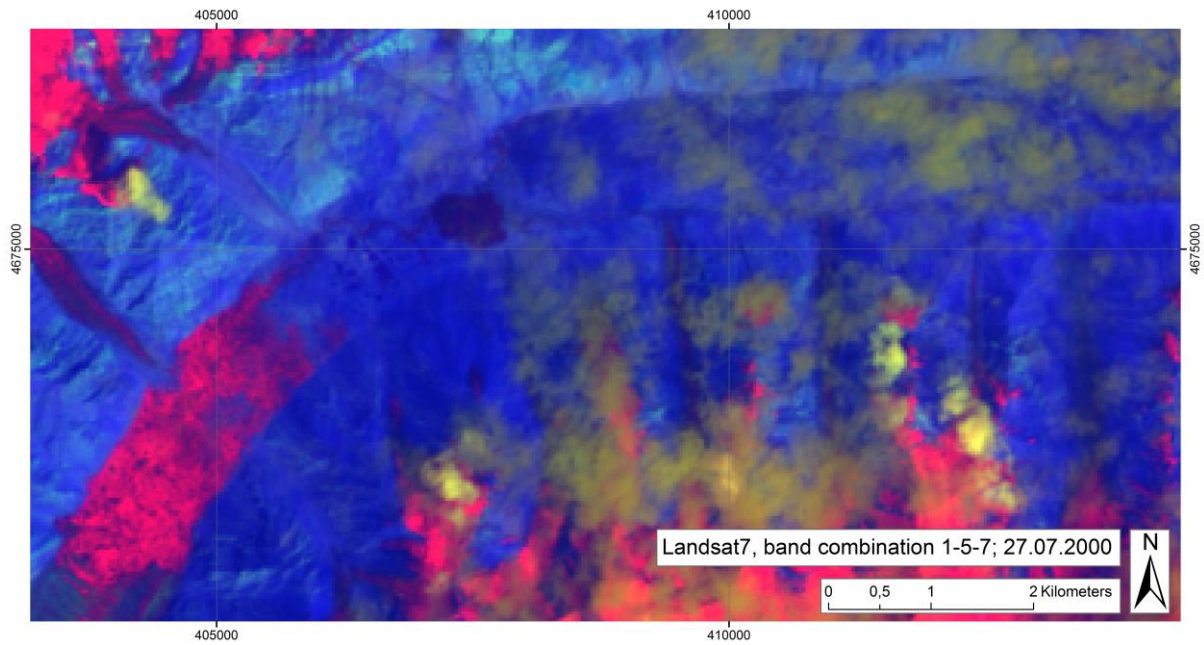


Abbildung 105: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 27.7.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

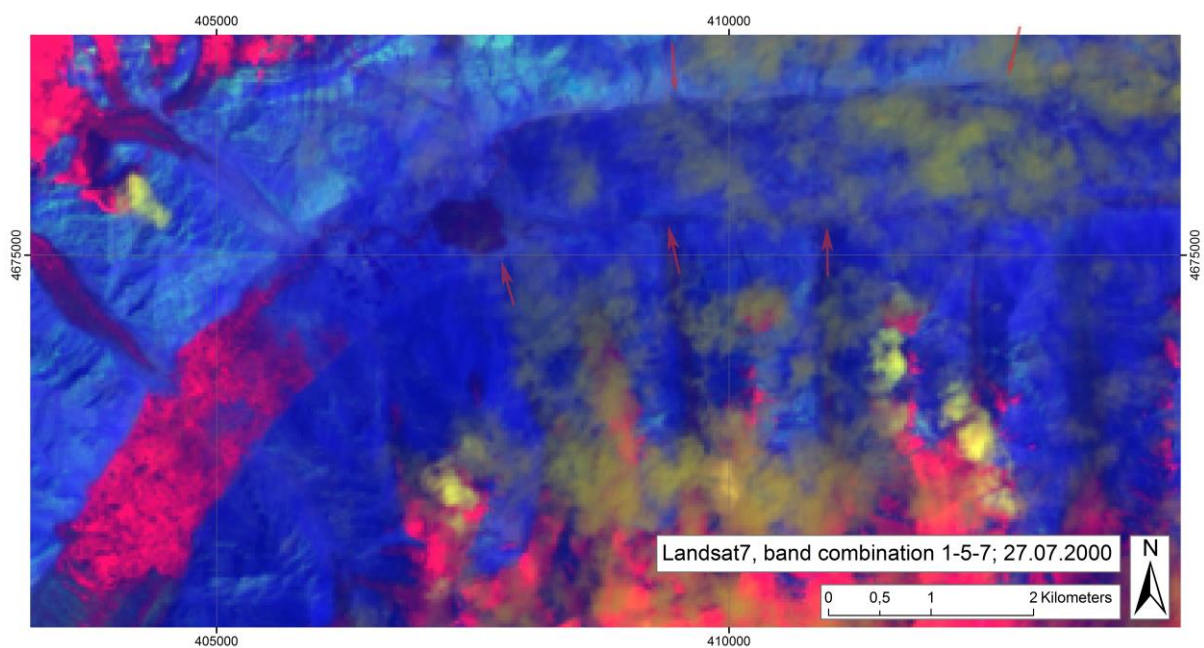


Abbildung 106: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 27.7.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz.

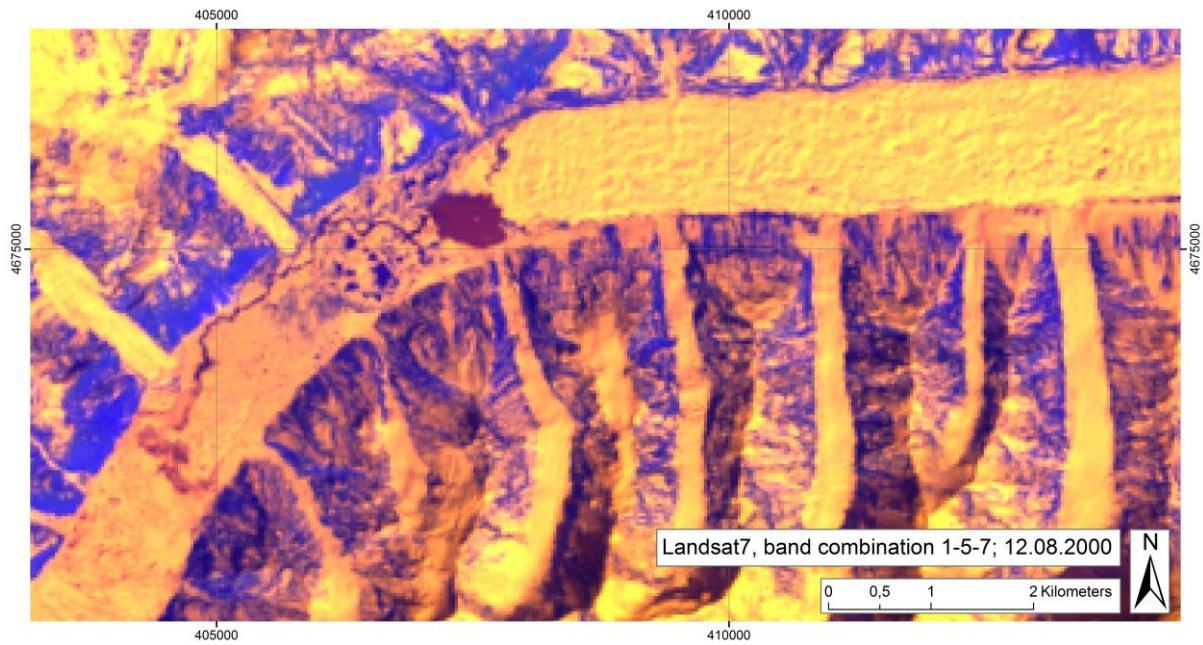


Abbildung 107: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 12.8.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

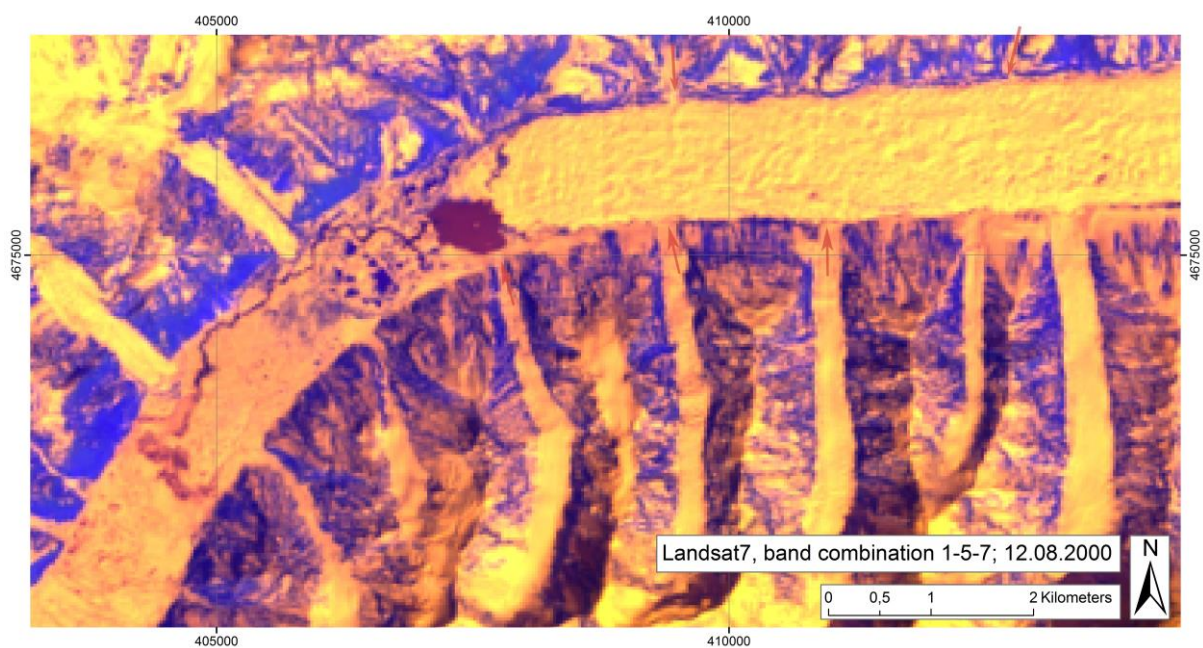


Abbildung 108: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 12.8.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz.

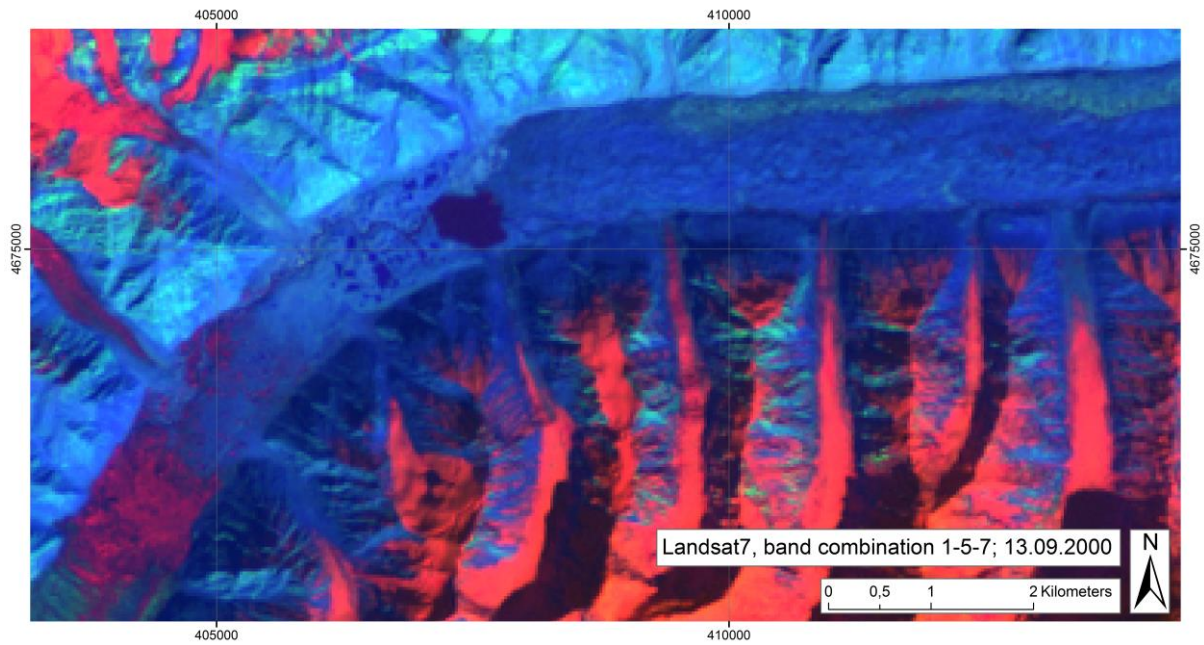


Abbildung 109: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 13.9.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

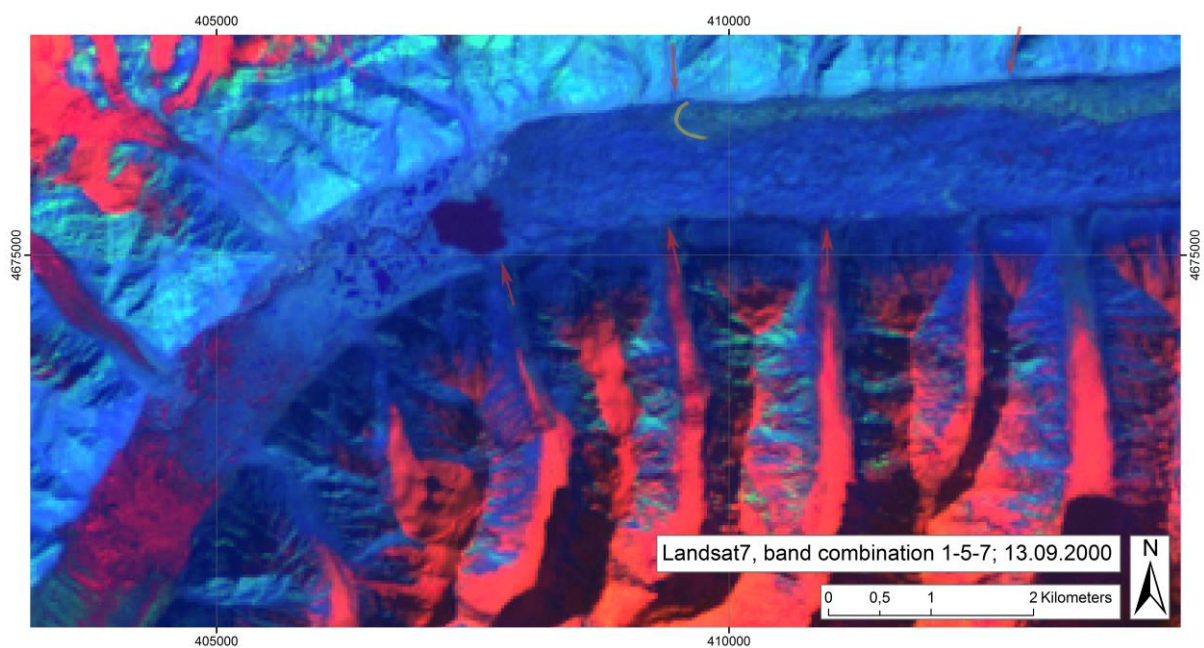


Abbildung 110: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 13.9.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker.

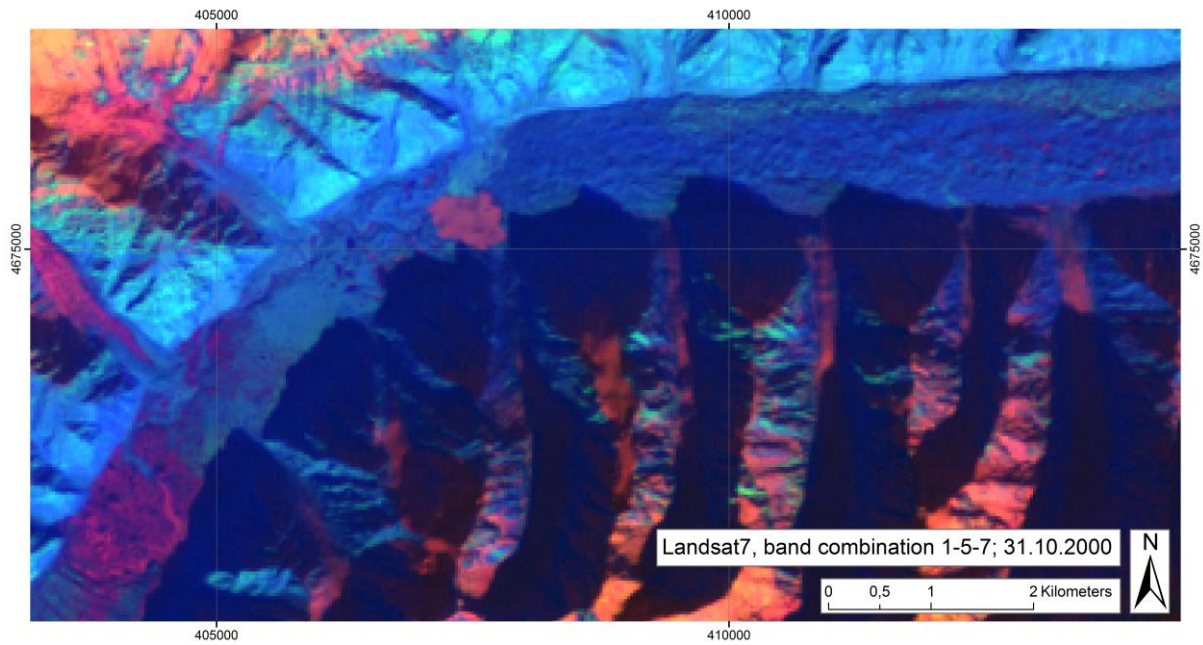


Abbildung 111: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 31.10.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

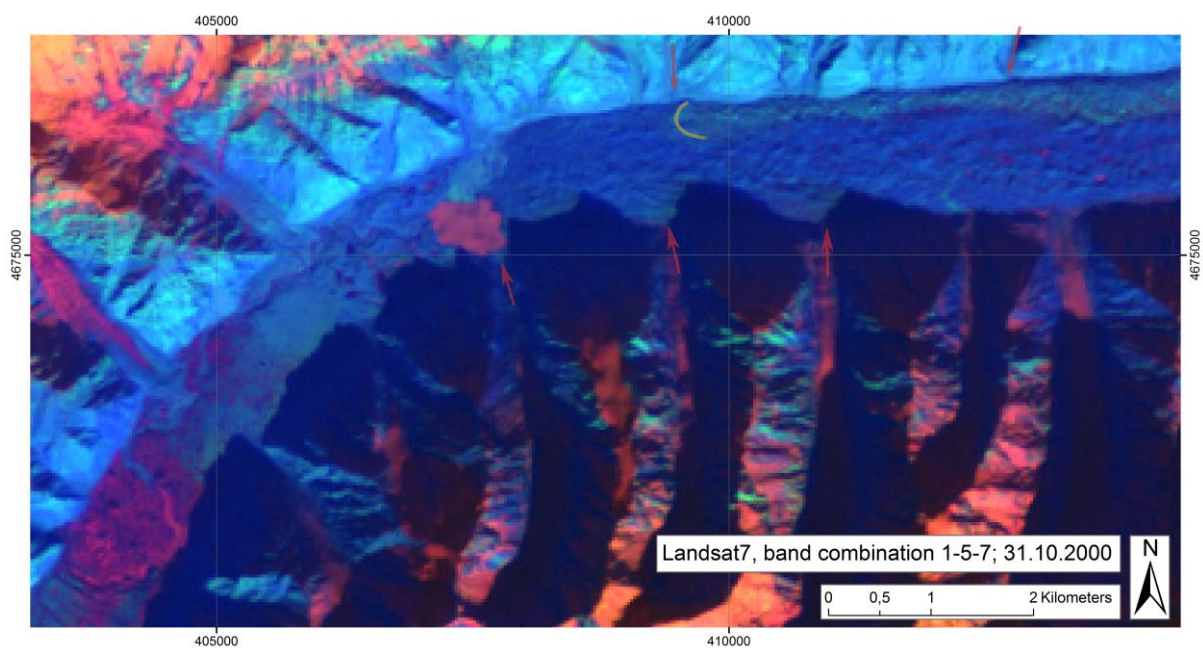


Abbildung 112: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 31.10.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker.

2001 – 2011

Die nächste, für die Bearbeitung herangezogene Satellitenszene wurde am 18. August 2002 vom Landsat 7 Satelliten aufgezeichnet. Diese Aufnahme zeigt, dass nun das abgelagerte bzw. das vom nördlichen Inylchek Gletscher vor sich hergeschobene Material aus Eis und Moränensedimenten vollständig abgeschmolzen ist und sich der obere See bis zur eigentlichen Gletscherstirn leicht vergrößert hat. Der nördliche Inylchek Gletscher zeigt keine Bewegung.

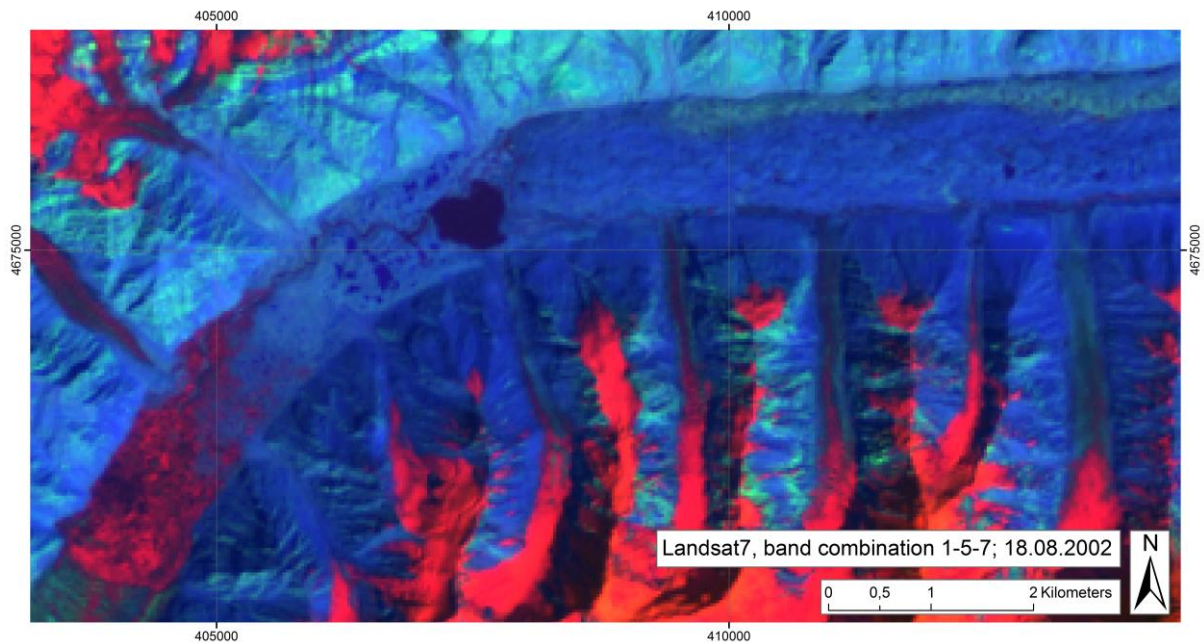


Abbildung 113: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 18.8.2002, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

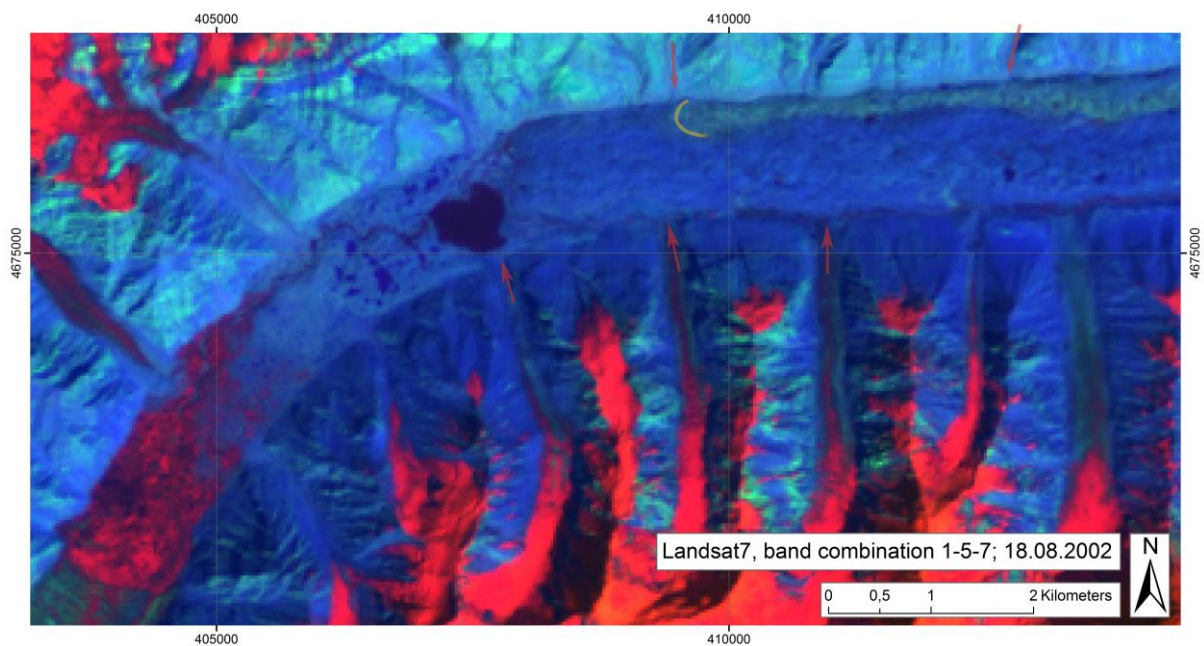


Abbildung 114: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 18.8.2002, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker.

Die folgenden Satellitenszenen der Terra (Aster Radiometer), Quickbird und Landsat Satelliten zeigen bis ca. 2005 eine stabile Stirn des nördlichen Inylchek Gletschers. Anschließend zeigt sich bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes von 2011 ein leichter, kontinuierlicher Rückzug der Gletscherstirn von insgesamt ca. 200 m. Der Gletscherstrom zeigt seit dem rasanten Vorstoß von 1996 keine Bewegung mehr. Auffallend ist jedoch die starke, kontinuierliche Bildung an supraglazialen Seen am nördlichen Inylchek Gletscher.

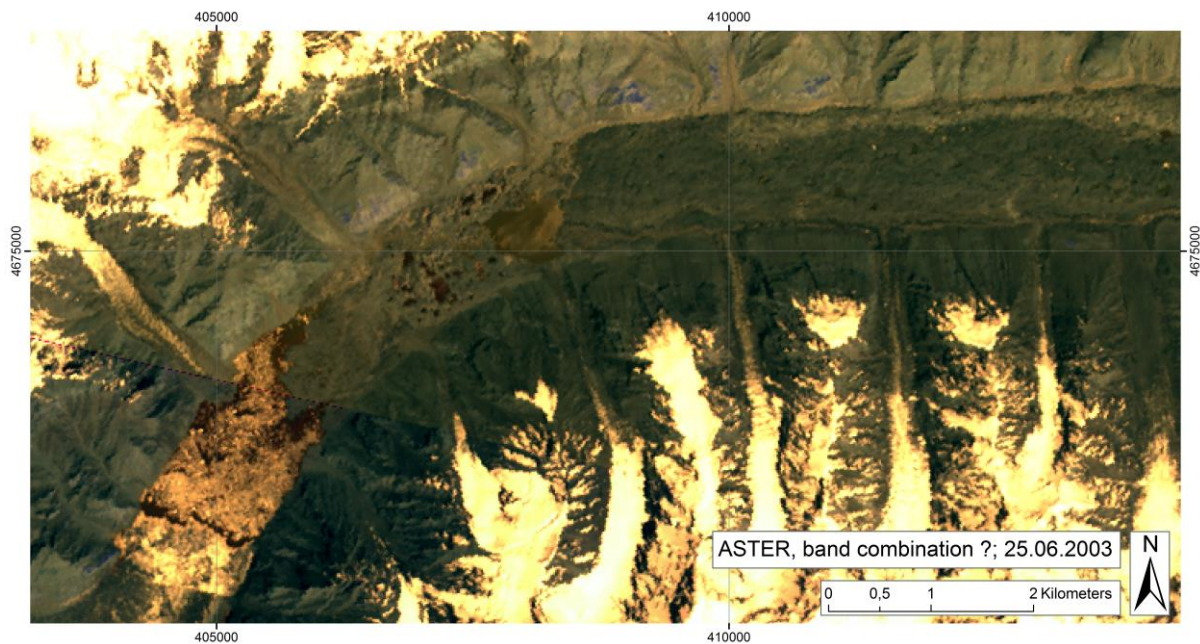


Abbildung 115: Aufnahme des Terra Satelliten (Aster Radiometer) vom 25.6.2003, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

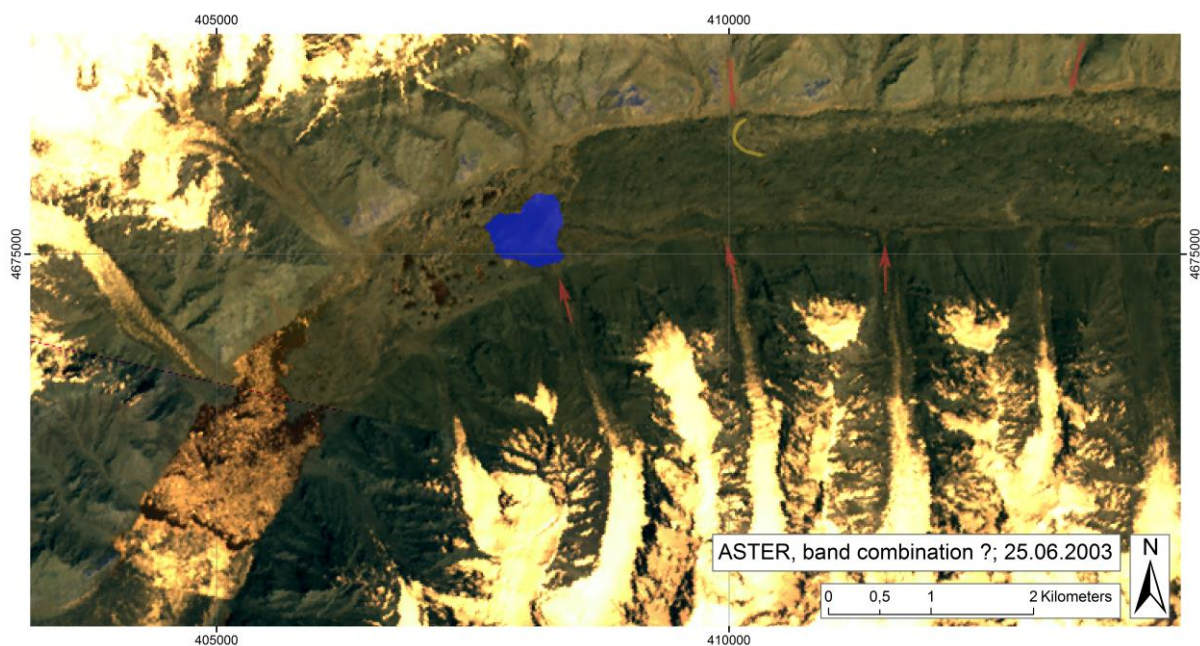


Abbildung 116: Aufnahme des Terra Satelliten (Aster Radiometer) vom 25.6.2003, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees.

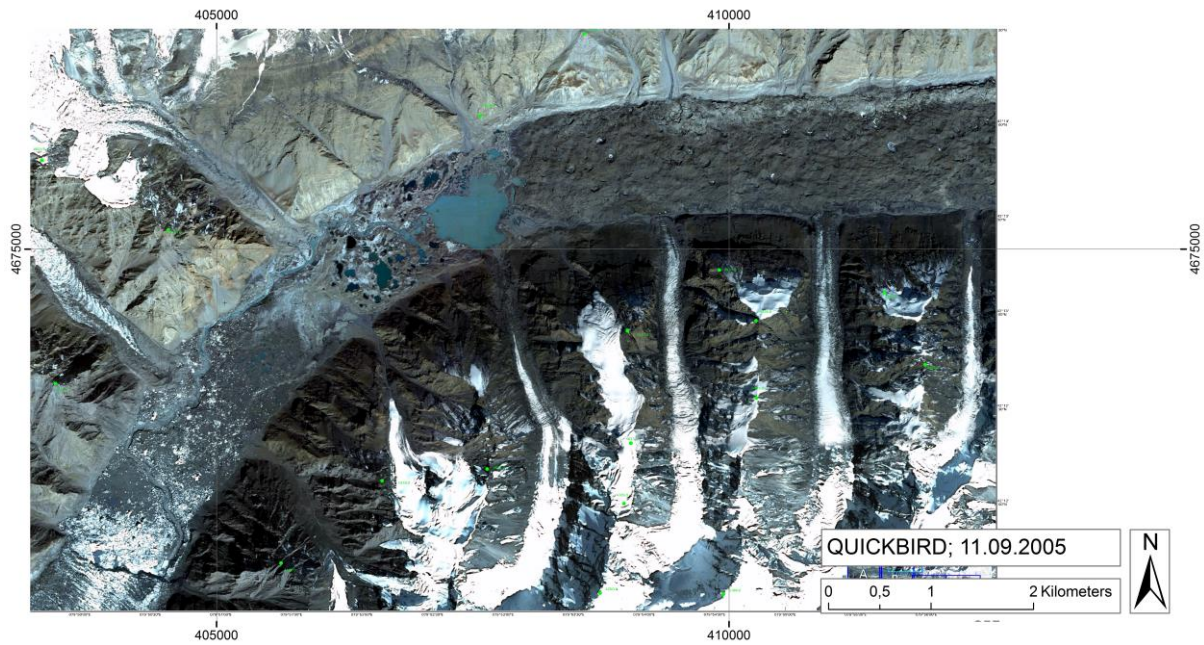


Abbildung 117: Aufnahme des Quickbird 2 Satelliten vom 11.9.2005, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

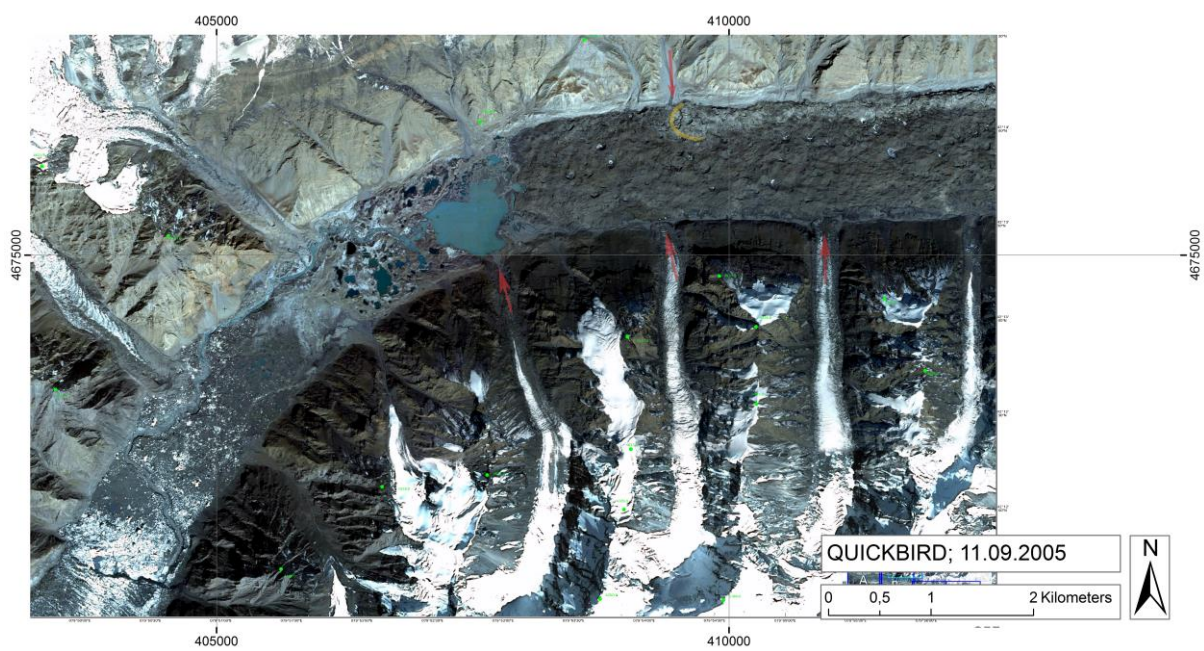


Abbildung 118: Aufnahme des Quickbird 2 Satelliten vom 11.9.2005, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker.

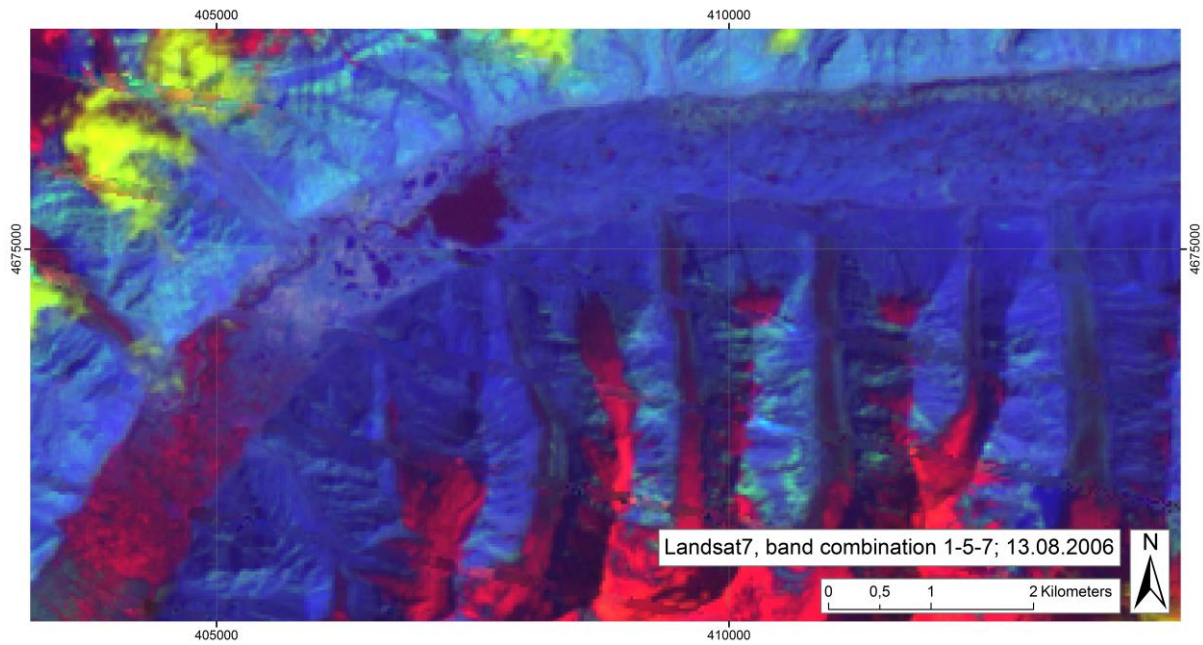


Abbildung 119: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 13.8.2006, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

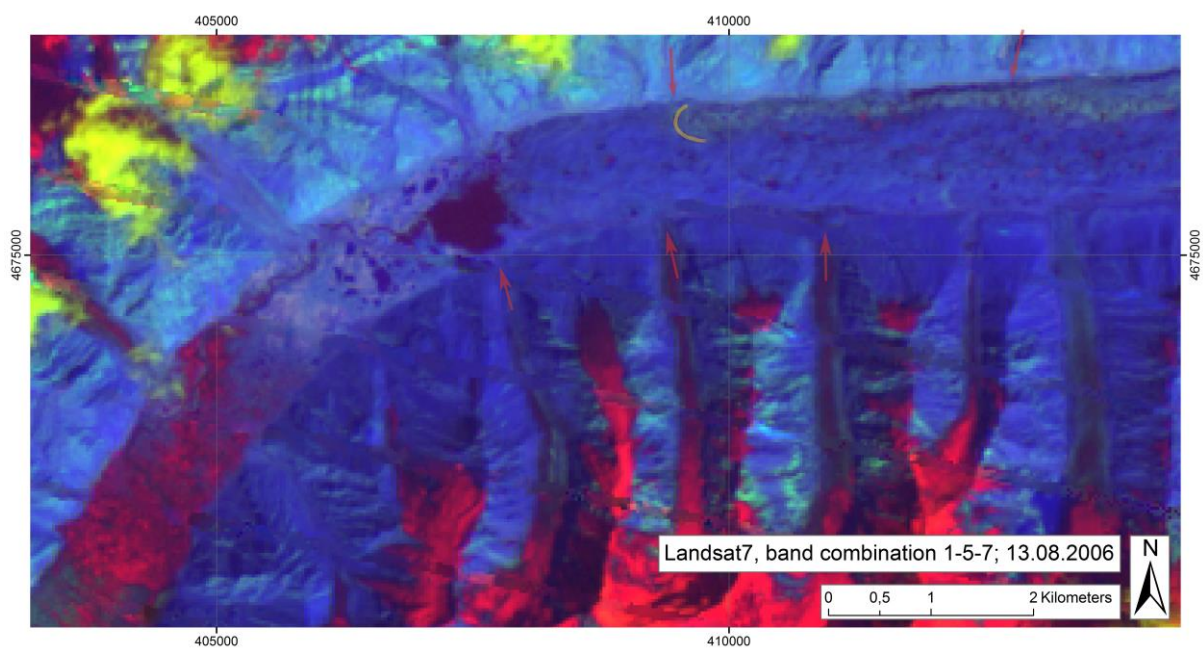


Abbildung 120: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 13.8.2006, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker.

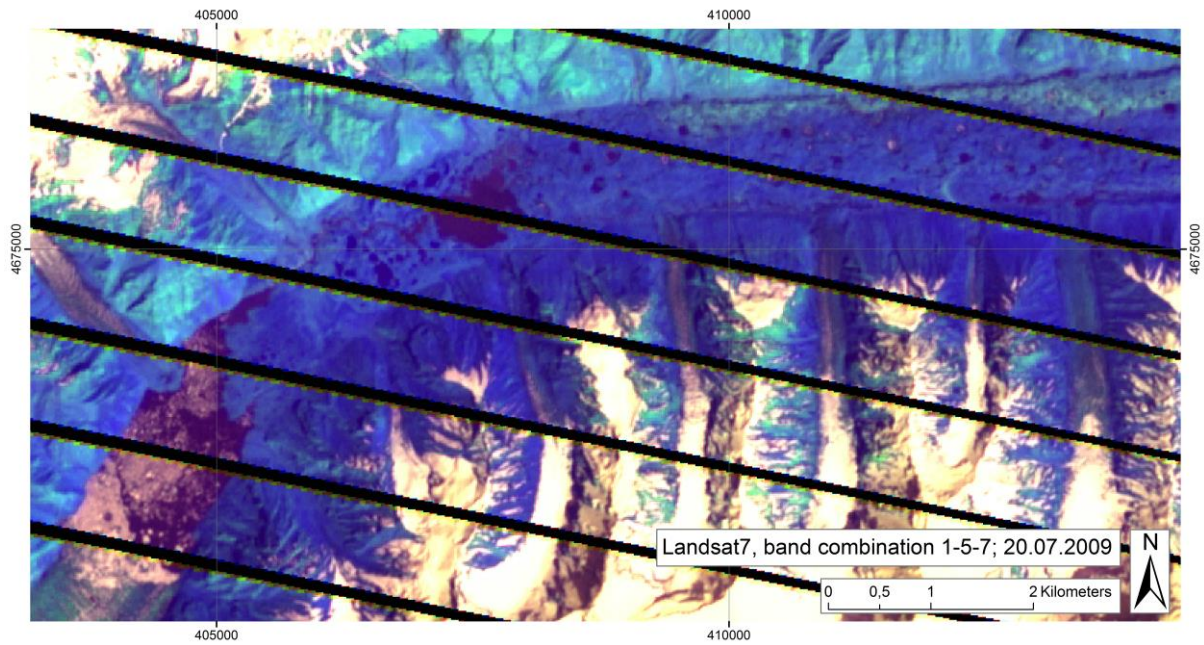


Abbildung 121: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten (SLC Error) vom 20.7.2009, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

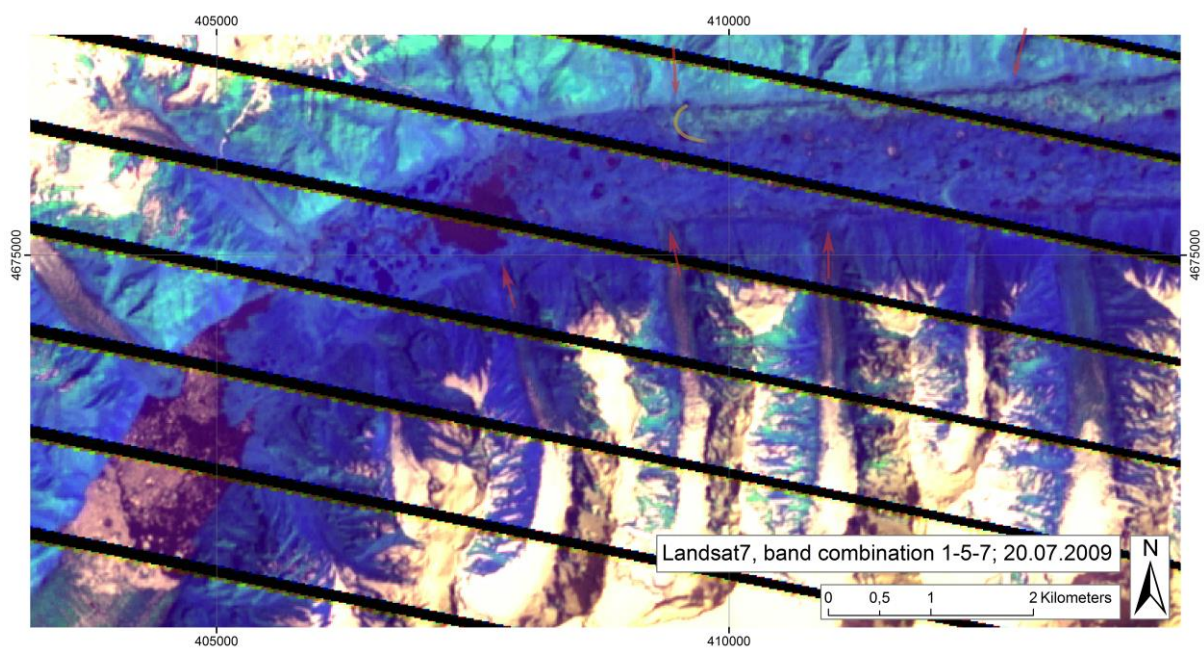


Abbildung 122: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 20.7.2009, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker.

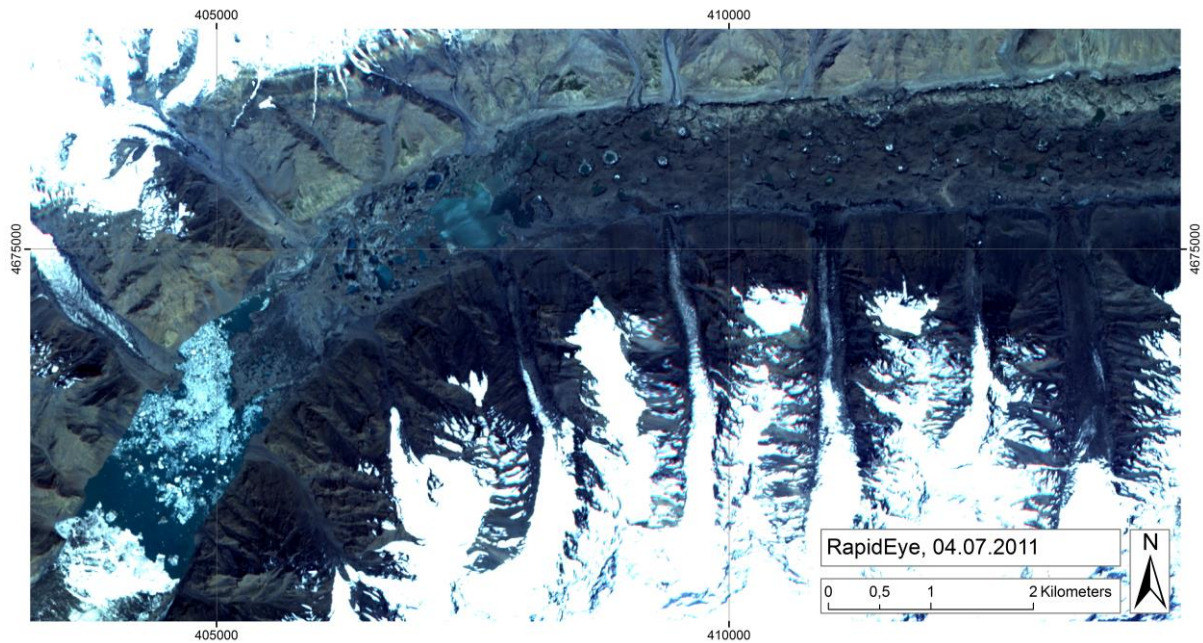


Abbildung 123: Aufnahme eines Satelliten der RapidEye Constellation vom 4.7.2011, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.

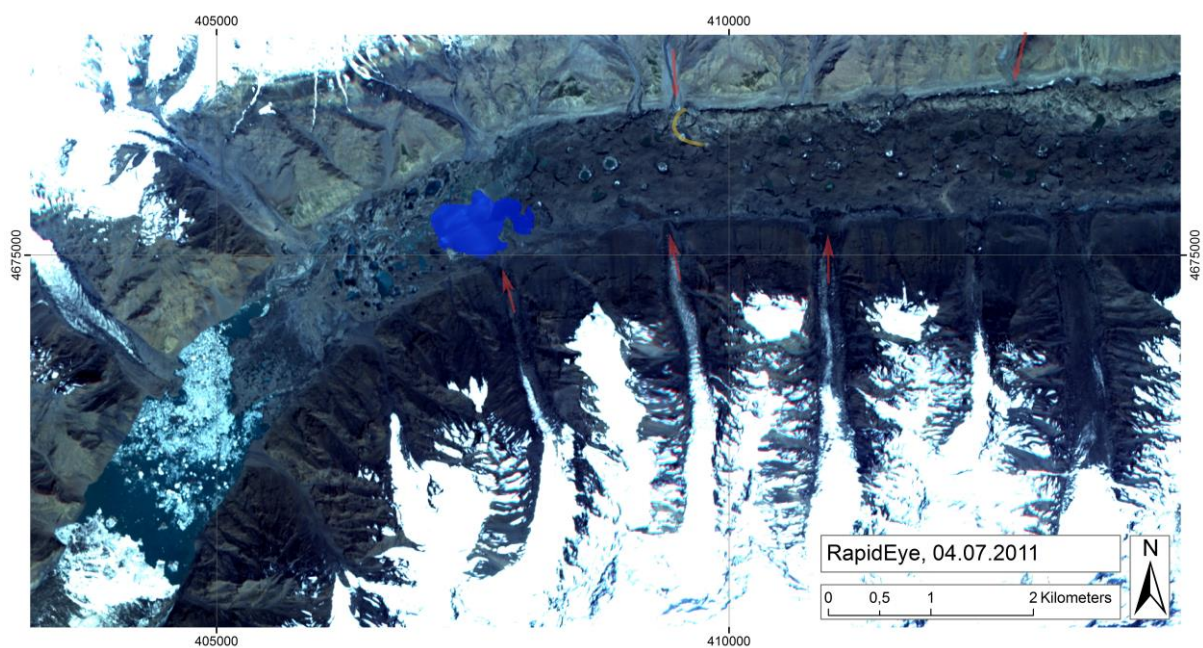


Abbildung 124: Aufnahme eines Satelliten der RapidEye Constellation vom 4.7.2011, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees.

6.2 Zusammenfassung und Diskussion der Zeitreihenanalyse „oberer See“

Die in Kapitel 6.1 bearbeiteten, analysierten und beschriebenen historischen und fernerkundungsbasierten Daten weisen eine ausreichende Datendichte und Datenqualität auf, um Aussagen über die Entwicklung des nördlichen Inylchek Gletschers und des damit verbundenen oberen Sees treffen zu können.

Zu beachten ist jedoch, dass sämtliche Interpretationen lediglich auf Basis der vorhandenen, in Kapitel 4.2 beschriebenen Datengrundlage getroffen wurden. Aussagen über Veränderungen im Untersuchungsgebiet, im Speziellen Gletscherfluktuationen, welche nicht aus dem Vergleich zweier zeitlich aufeinanderfolgender Daten ersichtlich sind, können daher nicht getroffen werden.

Darüber hinaus sind sämtliche Datensätze mit einer jeweiligen absoluten wie auch relativen Lageungenauigkeit behaftet. Die größten relativen Lageungenauigkeiten weisen die Datensätze der Luftbilder mit bis zu +/- 50 m im Gletscherbereich auf. Vor allem die angegebenen Fluktuationsraten sind daher als Orientierung zu verstehen.

Die ermittelten kartierten Gletscherstände des nördlichen Inylchek Gletschers bzw. die Positionen der Gletscherstirn, sind für den Zeitraum von 1943 bis 12. September 1996 in Abbildung 125 und vom 12. September 1996 – 2011 in Abbildung 126 ersichtlich.

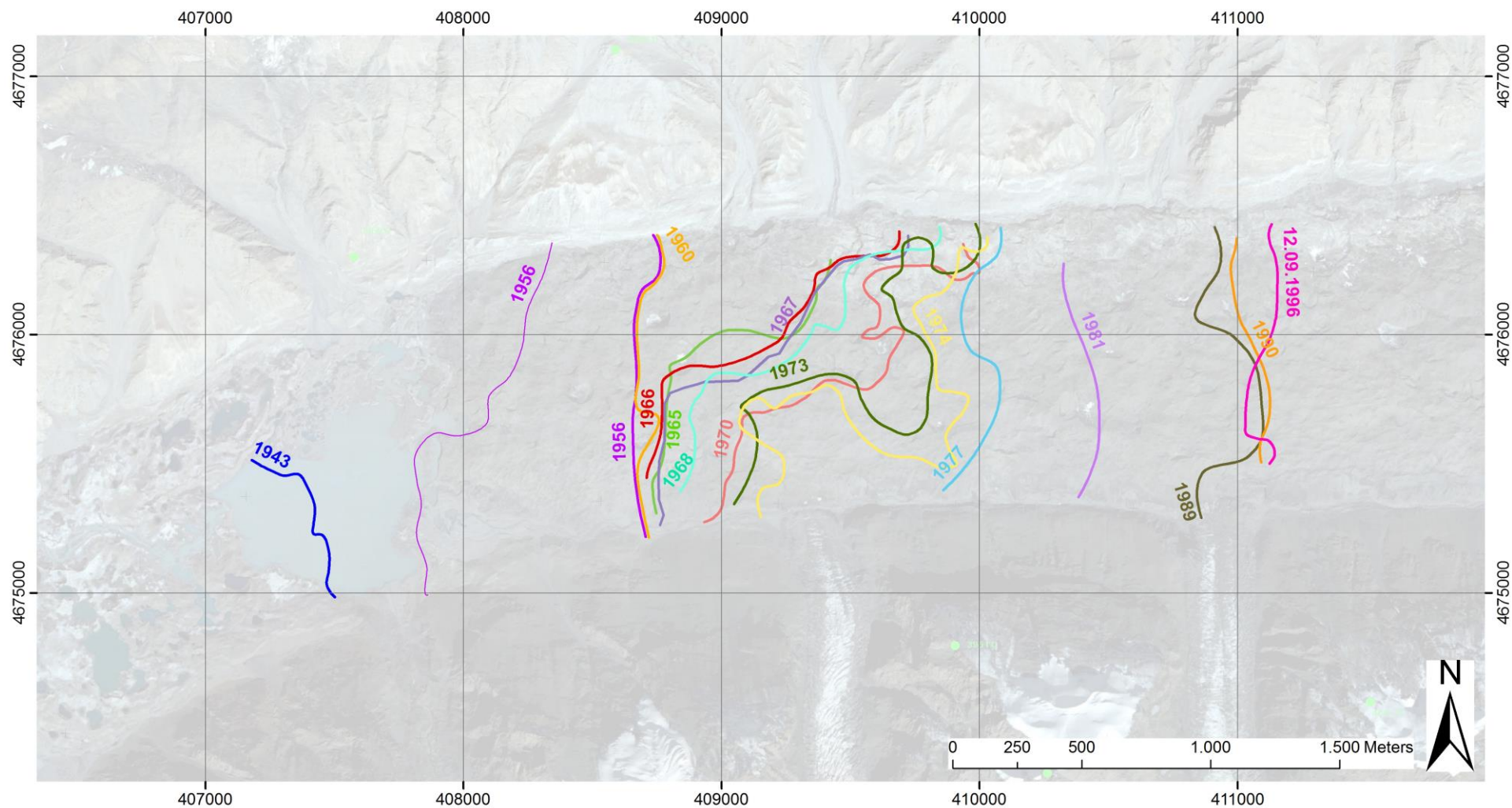


Abbildung 125: Aus den fernerkundungsbasierten Datensätzen kartierte Gletscherstände des nördlichen Inylchek Gletschers von 1943 bis 12. September 1996. Datengrundlage: Quickbird (Google Inc., 2012) aufgenommen am 11.9.2005.

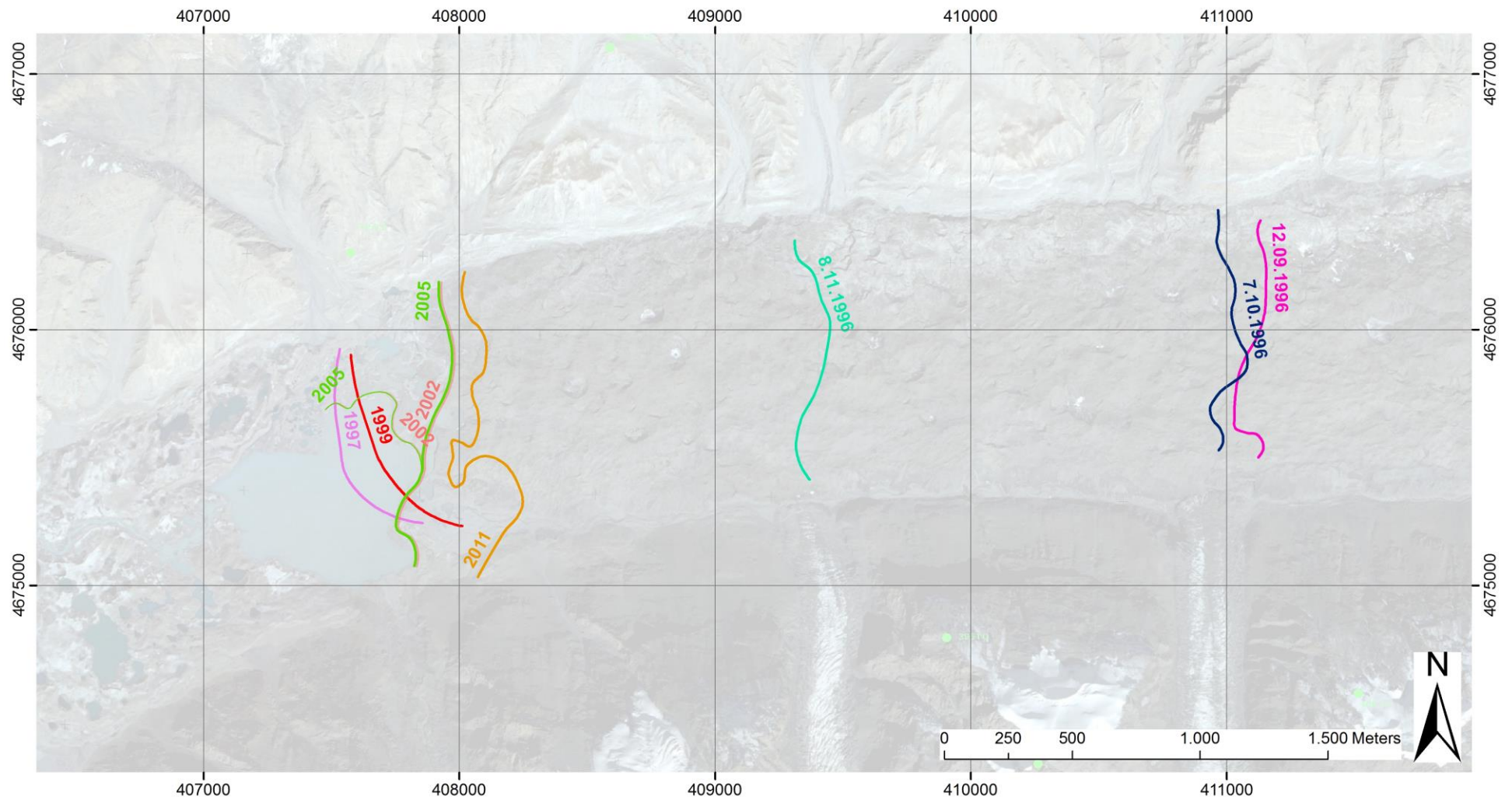


Abbildung 126: Aus den fernerkundungsbasierten Datensätzen kartierte Gletscherstände des nördlichen Inylchek Gletschers vom 12. September 1996 bis 2011. Datengrundlage: Quickbird (Google Inc., 2012) aufgenommen am 11.9.2005.

Beobachtungs- datum A	Beobachtungs- datum B	Beobachtungs- zeitraum [Tage]	Veränderung der Gletscherstirn [m/Beobachtungszeitraum] wobei >0 = Vorstoß <0 = Rückzug	Veränderung der Gletscherstirn [m/Tag] wobei >0 = Vorstoß <0 = Rückzug	Veränderung der Gletschermarker [m/Beobachtungszeitraum] wobei >0 = Vorstoß <0 = Rückzug	Veränderung der Gletschermarker [m/Tag] wobei >0 = Vorstoß <0 = Rückzug
18.08.1943	01.06.1956	4671	-1300	-0,28	100	0,02
01.06.1956	07.12.1960	1650	-50	-0,03	0	0,00
07.12.1960	20.07.1965	1686	-600	-0,36	0	0,00
20.07.1965	11.02.1966	206	-10	-0,05	0	0,00
11.02.1966	08.08.1967	543	-20	-0,04	0	0,00
08.08.1967	26.09.1968	415	-150	-0,36	0	0,00
26.09.1968	01.12.1970	796	-150	-0,19	0	0,00
01.12.1970	19.11.1973	1084	-80	-0,07	0	0,00
19.11.1973	16.11.1974	362	-100	-0,28	0	0,00
16.11.1974	20.05.1977	916	-150	-0,16	0	0,00
20.05.1977	20.07.1981	1522	-400	-0,26	0	0,00
20.07.1981	18.01.1989	2739	-550	-0,20	? 0	0,00
18.01.1989	20.07.1990	548	-100	-0,18	? 100	0,18
20.07.1990	12.09.1996	2246	-50	-0,02	400	0,18
12.09.1996	07.10.1996	25	100	4,00	250	10,00
07.10.1996	08.11.1996	32	1600	50,00	?	
08.11.1996	06.06.1997	210	1900	9,05	?	
06.06.1997	09.07.1999	763	-130	-0,17	0	0
09.07.1999	18.08.2002	1136	-200	-0,18	0	0
18.08.2002	11.09.2005	1120	0	0,00	0	0
11.09.2005	04.07.2011	2122	-200	-0,09	0	0

Tabelle 9: Die Fluktuationen der Gletscherstirn des nördlichen Inylchek Gletschers. Die Veränderungen der Gletscherstirn wurden aus den Fernerkundungsdaten ermittelt.

Um nähere Aussagen die Gletscherfluktuationen betreffend tätigen zu können, wurden die gemittelten Gletscherstände in Abbildung 125 und Abbildung 126 vermessen. Die daraus resultierenden Fluktuationen zwischen jeweils zwei Beobachtungsdaten sind in Tabelle 9 angeführt.

Auf Basis dieser Bearbeitungen und Analysen lässt sich die Entwicklung des nördlichen Inylchek Gletschers sowie des mit ihm zusammenhängenden oberen Sees wie folgt zusammenfassen:

Von 1943 – 1990 ist ein kontinuierlicher Rückzug des nördlichen Inylchek Gletschers von insgesamt 3,6 – 3,7 km zu verzeichnen. Die gemittelten kartierten Gletscherstände zeigen Rückzugsraten, welche zwischen 0,03 – 0,36 m/Tag variieren. Ebenso ist aus diesen Rückzugsraten ein leicht abnehmender Trend im Gletscherrückzug von ca. 0,23 zu 0,15 m/Tag im Zeitraum 1943 – 1990 abzuleiten.

Gletschermarker zeigen von 1943 – 1956 ein Talwärtsfließen des Gletschers von insgesamt 100 m. Der daraus errechnete Mittelwert beträgt ca. 2 cm/Tag. Von 1956 - 1981 ist keine Bewegung bzw. kein Talwärtsfließen im Bereich des Gletscherstromes zu verzeichnen. Im Zeitraum zwischen 1981 – 1990 kam es jedoch wieder zu einem Talwärtsfließen des Gletscherstromes um ungefähr 100 m.

Im Jahr 1990 hat der obere See seine maximale Ausdehnung im 20. Jahrhundert erreicht. Das Seeniveau entspricht zum Aufnahmezeitpunkt dem des topografisch tieferliegenden unteren Merzbacher Sees.

Von 1990 bis am 12. September 1996 kommt es zu keinem nennenswerten Rückzug der Gletscherstirn mehr, jedoch bewegt sich der Gletscherstrom um 400 m talwärts. Der obere See ist im September 1996 erstmals im Untersuchungszeitraum fast leer und es zeigen sich Sedimentpakete im östlichen Seebereich.

Im Zeitraum vom 12. September bis 7. Oktober 1996 steigern sich weiterhin die Raten des Gletschervorstoßes. Die Gletschermarker zeigen ein Talwärtsfließen von 250 m, das gemittelt 10 m/Tag entspricht. Die Gletscherstirn beginnt nun ebenfalls wieder vorzustößen und bewegt sich 100 m talwärts. Außerdem kommt es zu einer Aufstauung der Gletschermassen und damit zu einer Hebung des Gletscherniveaus von 70 m vertikaler Distanz im Stirnbereich. Grund für die Stauung könnten die vor dem Gletscher abgelagerten Sedimente sein, welche auch in der Aufnahme vom 12. September 1996 zu beobachten sind und als Widerlager gedient haben dürften.

Vom 7. Oktober bis 8. November 1996 kommt es endgültig zu einem rasanten Vorstoß des Gletschers. Sowohl die Gletschermarker als auch die Gletscherstirn zeigen im Mittelwert eine Vorstoßrate von rund 50 m/Tag. Ebenso kommt es weiterhin zu einer Hebung des Gletscherniveaus, jedoch können auf Grund der Bodenauflösung des Satelliten keine Höhenangaben abgeleitet werden.

Rückzug des nördlichen Inylchek Gletschers 1943 - September 1996

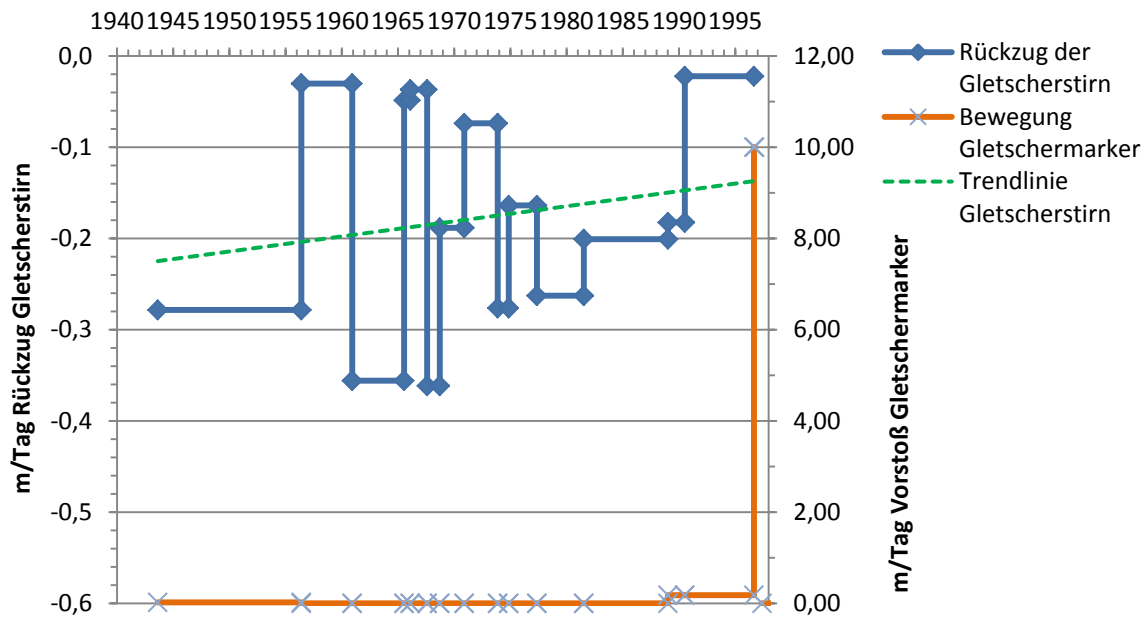


Abbildung 127: Die in Tabelle 9 ermittelten Veränderungen der Gletscherstirn und Gletschermarker (Mittelwerte) zeigen im Zeitraum von 1943 - September 1996 leicht variierende Rückzugsraten der Gletscherstirn und eine Talwärtsbewegung der Gletschermarker ab ca. 1989.

Bis zum 6. Juli 1997 kommt es zum endgültigen Vorstoß von insgesamt 2 km bis zum stabilen vorgelagerten Moränenbereich. Eine nähere zeitliche Eingrenzung ist auf Grund der Datengrundlage nicht möglich. Geht man jedoch davon aus, dass die Vorstoßrate von 50 m/Tag (vergl. 7. Oktober – 8. November 1996) auch nach dem 8. November 1996 nicht abgenommen hat, dann dürfte der Vorstoß bis zum stabilen Moränenbereich bereits in der 2. Monatshälfte des Dezembers 1996 abgeschlossen worden sein. Der Stirnbereich des nördlichen, nun vorgestoßenen Gletschers setzte sich im Sommer 1997 aus einer Mischung aus Eis, Moränenmaterial und Seesedimenten zusammen.

Dieses vom Gletscher vor sich her geschobene Material kam bis 2002 vermehrt zum Abschmelzen. Die daraus entstandene neue Gletscherstirn blieb bis 2005 stabil. Anschließend kam es bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes 2011 zu einem leichten Rückzug der Gletscherstirn mit durchschnittlich circa 0,1 m/Tag. Der Gletscherstrom hingegen zeigt seit dem rasanten Vorstoß keine Bewegung, wohingegen ein starkes, kontinuierliches Wachsen von supraglazialen Seen zu beobachten ist.

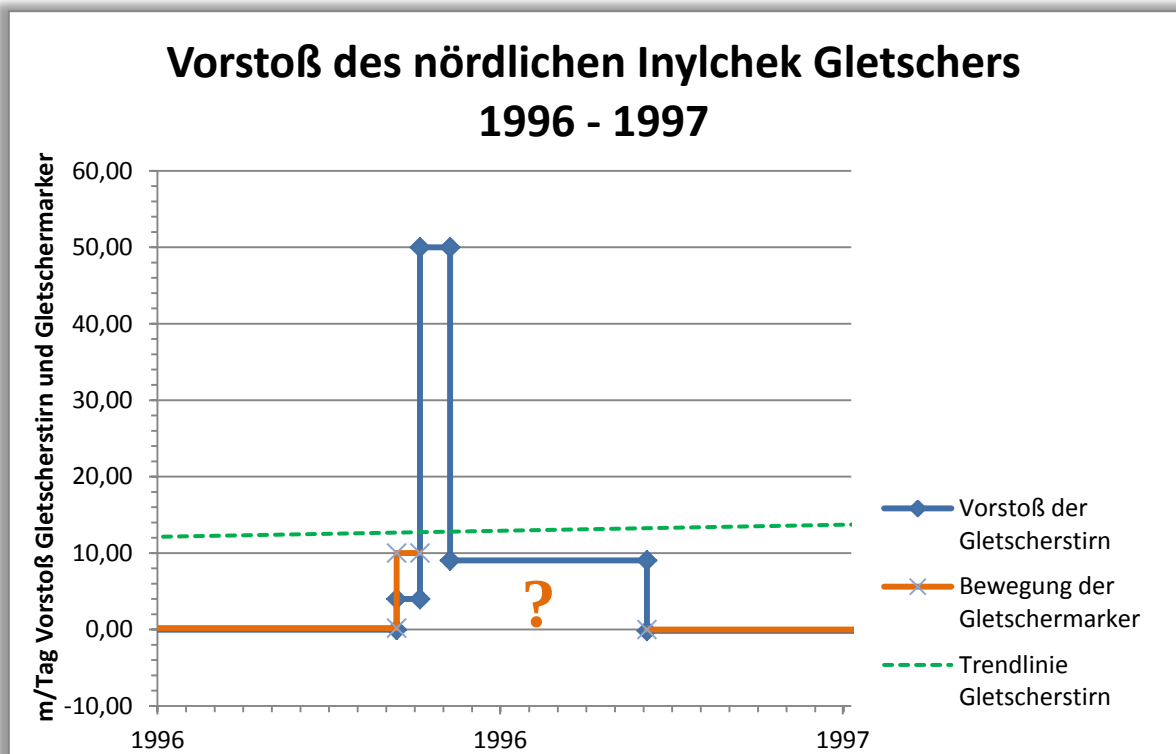


Abbildung 128: Die in Tabelle 9 ermittelten Veränderungen der Gletscherstirn und Gletschermarker (Mittelwerte) zeigen im Zeitraum von September 1996 - Juni 1997 einen rasanten Vorstoß des Gletschers mit bis zu ~50 m/Tag.

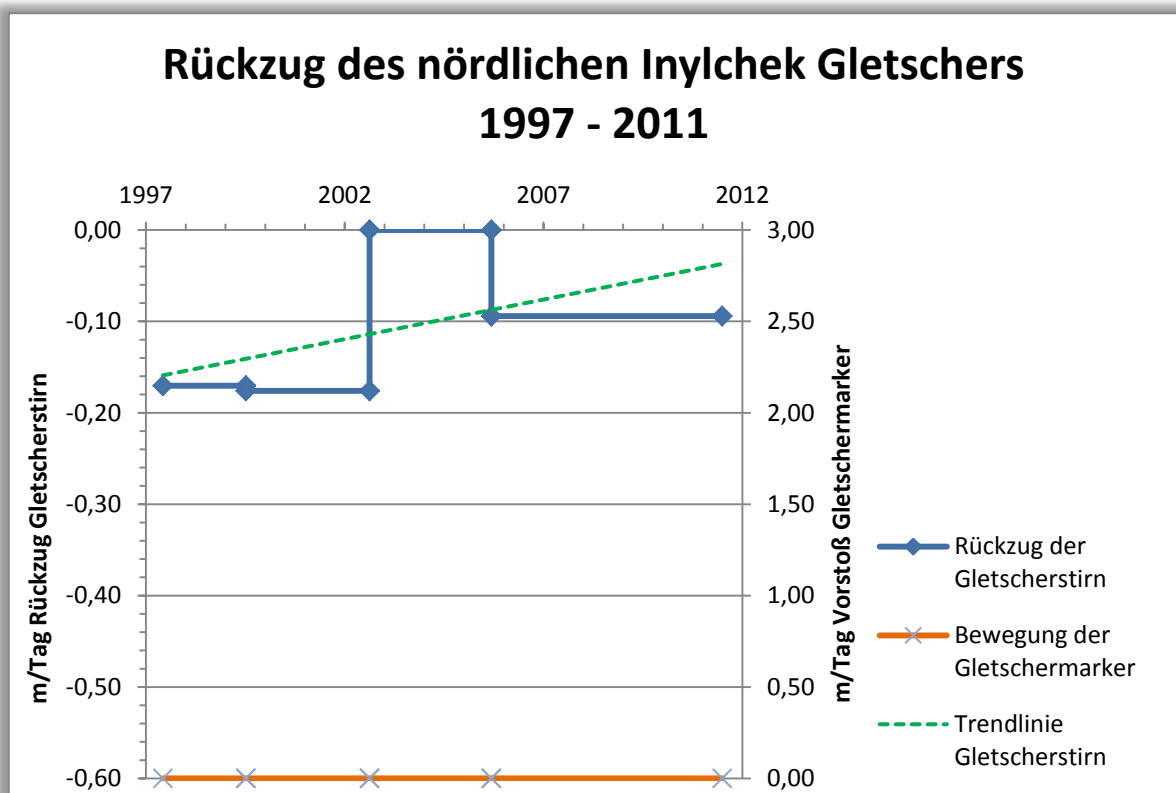


Abbildung 129: Die in Tabelle 9 ermittelten Veränderungen der Gletscherstirn und Gletschermarker (Mittelwerte) zeigen nach dem rasanten Vorstoß im Zeitraum von 1997 - 2011 einen leichten Rückzug der Gletscherstirn und keine Veränderungen der Gletschermarker.

Stark zusammengefasst zeigt sich also zu Beginn des Untersuchungszeitraumes 1943 ein sehr ähnliches Bild des nördlichen Inylchek Gletschers wie am Ende des Untersuchungszeitraumes 2011. Der nördliche Inylchek zeigt sowohl 1943/1956 als auch 2011 fast seine größte Ausdehnung und damit einen eher kleinen oberen See. Zwischen 1943 und 1990 kommt es jedoch zu einem kontinuierlichen Rückzug des nördlichen Inylchek Gletschers, begleitet von teilweise downwasting. Der Gletscherstrom selbst zeigt in diesem Zeitraum kaum eine Bewegung, beginnt jedoch um 1990 talwärts zu fließen, wohingegen die Gletscherstirn bis in den Sommer 1996 noch keine Veränderung zeigt. In der zweiten Hälfte des Jahres 1996 bewegt sich der gesamte Gletscher mit ungefähr 50 m/Tag talwärts und schiebt vor sich eine Mischung aus Gletschereis, Moränensedimenten und Seesedimenten her. Nach diesem rasanten Vorstoß bildet sich wieder ein kleiner oberer See und viele supraglaziale Seen.

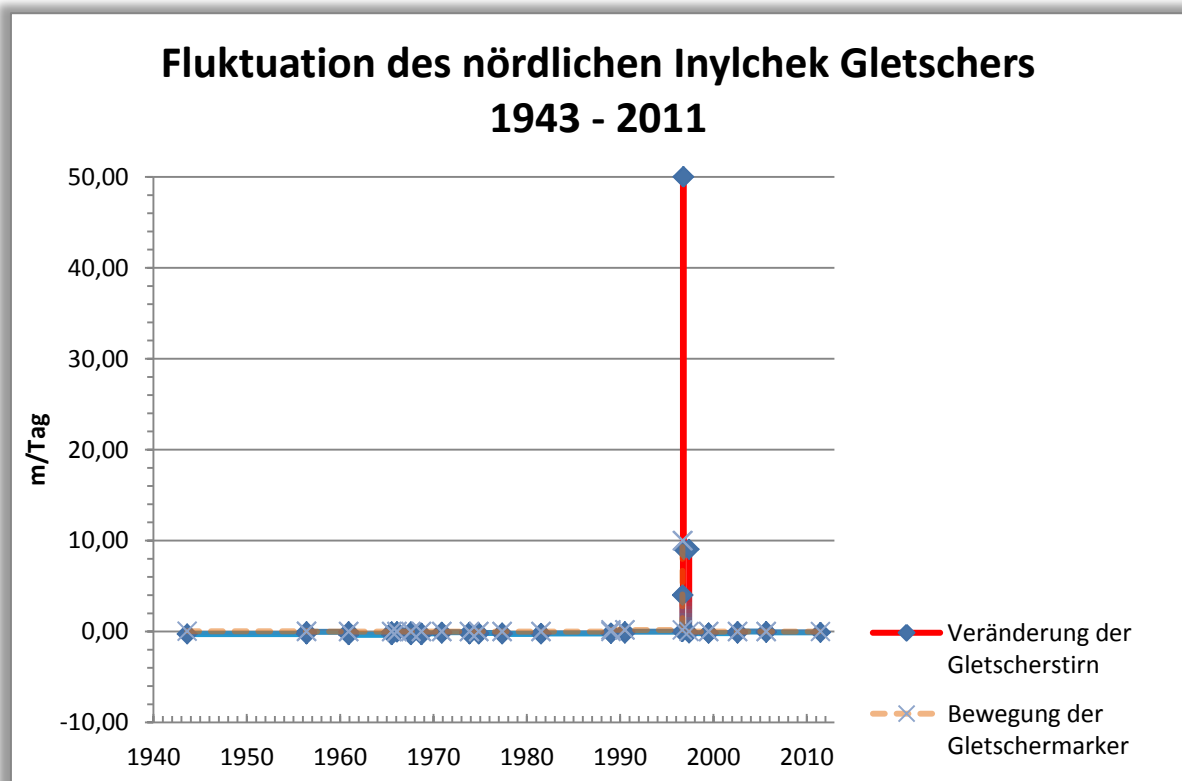


Abbildung 130: Die in Tabelle 9 ermittelten Veränderungen der Gletscherstirn und Gletschermarker (Mittelwerte) über den gesamten Untersuchungszeitraum von 1943 - 2011.

Die markanteste Veränderung des nördlichen Inylchek Gletschers verbunden mit dessen oberem See begann daher um 1990 bis zum Höhepunkt im Jahr 1996.

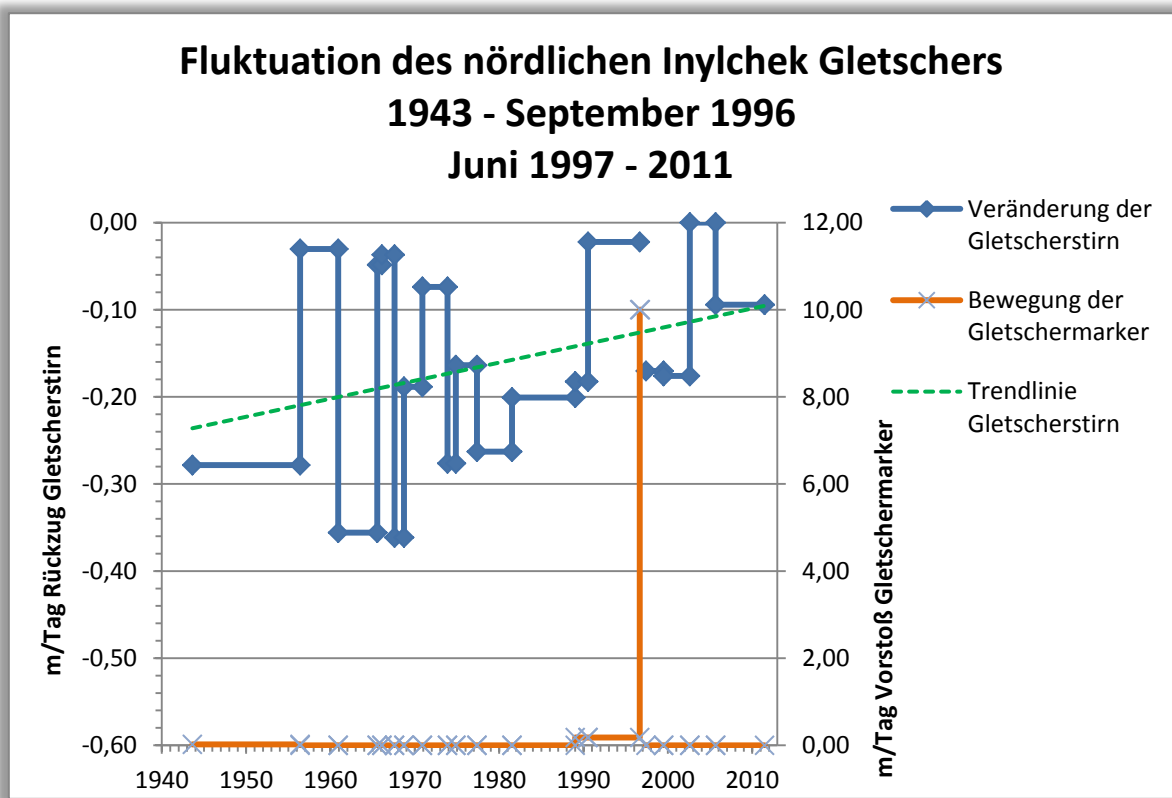


Abbildung 131: Die in Tabelle 9 ermittelten Veränderungen der Gletscherstirn (Mittelwerte) zeigen im gesamten Untersuchungszeitraum mit Ausnahme des rasanten Vorstoßes von 1996 - 1997 einen kontinuierlichen, leicht schwankenden Gletscherrückzug. Die ermittelten Fluktuationsdaten zeigen außerdem einen abnehmenden Trend des Gletscherrückzuges.

Speed-Up oder Surge?

Definitionsgemäß wird als Gletscher – „Surge“ der Wechsel an Phasen von schnellem und langsamem Gletscherfluss im Zeitraum von einigen Jahren bis Jahrzehnten bezeichnet. Surges sind zyklische Phänomene, welche jedoch nicht durch externe Ereignisse¹³ ausgelöst werden. Jedoch resultieren Surges aus schwankenden Veränderungen im Bereich des Gletscherbetts. Ein ausschließlich rasanter und/oder extern ausgelöster Vorstoß des Gletschers ist jedoch nicht als Surge zu bezeichnen (vergl. Meier & Post, 1969; Sharp, 1988; Benn & Evans, 2010).

Geht man davon aus, dass es sich bei dem rasanten Vorstoß um einen Gletschersurge handelt, wäre der Untersuchungszeitraum zwischen ungefähr 1990 und Frühjahr/Sommer 1997 als aktive Phase zu bezeichnen. Im restlichen Untersuchungszeitraum zeigt sich keine, bis in den Normalbereich fallende Bewegung des Gletschers. Dieser Zeitraum kann daher als Ruhephase beschrieben werden. In der Ruhephase müsste es zu einem Anstieg der Gletschermasse im oberen Bereich (Nährgebiet) kommen und zu einem Massenverlust im unteren Bereich der Gletscherzunge (vergl. Benn & Evans, 2010, S. 187). Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen können jedoch keine Aussagen betreffend den

¹³ Als externes Ereignis sind zum Beispiel Erdbeben zu nennen.

oberen Gletscherbereich getroffen werden, da sich die relevanten Datengrundlagen auf die Gletscherstirn und das Zehrgebiet des Gletschers beschränken.

Markant, wenn auch nicht bindend, für einen Gletscher-Surge sind außerdem diverse strukturelle Prägungen wie zum Beispiel „looped medial moraines“ (vergl. Benn & Evans, 2010, S. 189f.). Diese tropfenförmigen Gebilde der zufließenden Seitengletscher sind jedoch in den Satellitenszenen von 1996 und 1997 nicht zu beobachten. Dies lässt sich dadurch begründen, dass in diversen Satellitenszenen nur geringe Zuflussraten der Seitengletscher zu beobachten sind und eventuell nicht für die Bildung dieser Strukturen ausreichen.

Die für Gletscher-Surges typischen Veränderungen der Gletscherspaltenstrukturen im unteren Gletscherbereich sind auf Grund der unzureichenden Bodenauflösung der Satellitenszenen nicht beobachtbar.

Innerhalb des Untersuchungszeitraumes von 1903 – 2011 handelt es sich bei dem rasanten Vorstoß um ein einmaliges und nicht zyklisches Ereignis. Die geringen Niederschlagsraten (vergl. Kapitel 0) entsprechen jedoch größeren Surge-Intervallen, wodurch eine zyklische Gletscherentwicklung über den genannten Untersuchungszeitraum hinaus nicht auszuschließen ist.

Auf Basis der vorliegenden Untersuchungen kann daher die Entwicklung des nördlichen Inylchek Gletschers um 1996 zusammenfassend vorerst nur als Speed-Up beschrieben werden, wobei ein Gletscher-Surge nicht ausgeschlossen werden kann.

7. Ausblick

7.1 Bereich westliches Inylchek-Tal – Gripkov

Wie in Kapitel 5.2 beschrieben, ist bei den untersuchten multiplen, talparallelen Terrassen zwischen den höhersituierten Kameterrassen und den tiefergelegenen postglazialen, fluviatilen Sediment-Terrassen zu unterscheiden. Die unterschiedlichen Kameterrassen sind auf die verschiedenen Stadien des Abschmelzens und des Rückzugs des Gletschers rückzuführen. Durch Datierungen dieser Terrassen und Sedimentpakete könnte daher die paläo-Entwicklung des Inylchek Gletschers während der letzten Eiszeit präzisiert und näher belegt werden. Außerdem könnte dadurch die Unterscheidung zwischen den Kameterrassen und den postglazial gebildeten Sediment-Terrassen näher belegt werden.

Weiters ergeben sich folgende Fragestellungen bezüglich der multiplen Terrassen:

- Wie verläuft das Relief der paläozoischen, stark verfalteten Formationen im Liegenden der quartären Terrassensedimente.
- Wie stark ist das heutige Terrassen-Relief durch die quartären Sedimente geprägt.

Für die Kartierung des Reliefs der paläozoischen Formationen und der variierenden Mächtigkeit der quartären Sedimente wären geophysikalische Untersuchungen zielführend. Für die oberflächennahe Kartierung könnte eine elektrische Widerstandstomographie¹⁴ zielführend sein. Um die Entstehung der Terrassen durch neotektonische Prozesse weiters auszuschließen, wären seismische Untersuchungen hinsichtlich etwaiger Störungsflächen sinnvoll.

Im Zuge der Kartierung der Terrassen in den Satellitenszenen zeigte sich ein Gefälleunterschied und damit Verschnitt zwischen den multiplen Terrassen und dem rezenten Tal- bzw. Gletscherabfluss (siehe Abbildung 34). Dadurch treten im höher gelegenen, östlichen Bereich die Terrassen FT0 und FT-1 zu Tage, welche gegen Westen mit dem rezenten Talgefälle verschneiden. Die Ursache für den Gefälleunterschied zwischen dem paläo-Gletscher und dem heutigen Talgefälle wurde nicht näher betrachtet und wäre im Zuge weiterführender Untersuchungen noch zu klären.

¹⁴ (ERT) - Gleichstromgeoelektrik

7.2 Bereich oberer See

Kirgisien ist aufgrund seiner geotektonischen und klimatischen Position besonders von endogen und exogen gesteuerten Naturgefahren betroffen. Hinsichtlich des Speed-Up des nördlichen Inylchek Gletschers um 1996 konnten jedoch keine Hinweise auf eine externe Auslösung gefunden werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde jedoch keine Recherche der Erdbebenaktivität im Zeitraum 1990 – 1996 durchgeführt bzw. standen diese Aufzeichnungen dem Autor nicht zur Verfügung.

Das Untersuchungsgebiet beschränkt sich im Zuge dieser Arbeit auf den Stirnbereich des nördlichen Inylchek Gletschers bzw. den oberen See und ca. 6 km von dieser Position Richtung Osten. Für die nähere Untersuchung des beschriebenen Speed-Up von 1996 wäre jedoch die Betrachtung des Nährgebietes des nördlichen Inylchek Gletschers wesentlich. Diesbezüglich wären die beiden SPOT 3 und die Jers-1 Satellitenszenen von der 2. Jahreshälfte 1996 erforderlich und käuflich zu erwerben.

8. Danksagung

Ein großer Dank ergeht an alle Initiatoren, Geldgeber und Projektbeteiligten des FP7 ERA-NET Projektes „EURAS-CLIMPACT“, in dessen Rahmen diese Arbeit entstanden ist und das sämtliche Kosten für die Geländeaufenthalte bis hin zu Fernerkundungsdaten trug. In Zusammenhang damit möchte ich mich vor allem bei Ao. Univ. - Prof. Dr. Hermann Häusler und Dr. Diethard Leber für die Projekteinreichung und Durchführung, sowie die fachliche Betreuung und anregenden Diskussionen im Gelände bedanken. Weiters bedanke ich mich beim Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung für die Projektfinanzierung BMWF-37.590/0001-II/4/2010 und bei den Projektpartnern des Geoforschungszentrums Potsdam, Prof. Dr. Helmut Echtler und Dr. Hans-Ulrich Wetzl.

Mein größter Dank gilt meinem Betreuer Ao. Univ. - Prof. Dr. Hermann Häusler für die vielen fachlichen, bereichernden und spannenden Diskussionen, die mich immer wieder motiviert haben. Besonders bedanke ich mich aber für seine Geduld, die das Verfassen dieser Arbeit neben meiner beruflichen Tätigkeit ermöglicht hat.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Freundin und Lebensgefährtin MMag. Gundula Wilscher für die mühevollen Lektoratsarbeit und ihr großes Verständnis für mein Vorhaben, dem viele gemeinsame Wochenenden zum Opfer gefallen sind.

Literaturverzeichnis

- ABRAMS, M. (2000): The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. In: International Journal of Remote Sensing 21/5, S. 847-859.
- AHNERT, F. (1999): Einführung in die Geomorphologie. 2. Auflage, Stuttgart: Ulmer (1996), 440 S.
- AIZEN, V. (2006): Glaciological investigations in Central Tien Shan, from Merzbacher Lake to Khan Tengri Peak. "Gottfried Merzbacher (1843-1926) als Wissenschaftler und Alpinist" Tagungsband, Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München, S.16f.
- ARROWSMITH, J. R., CROSBY, C. J., KORJENKOV, A. M., MAMYROV, E., POVOLOTSKAYA, I. E (2004): Surface rupture along the Chon Aksu and Aksu (eastern) segments of the 1911 Kebin (Chon-Kemin) earthquake, Tien Shan, Kyrgyzstan. American Geophysical Union, Fall Meeting 2004, abstract #T14C-02.
- BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (1928): Karte zu Gottfried Merzbachers' Tien Shan-Reisen 1902/03 und 1907/08, Blatt 5 im Massstab 1:500.000
- BENN, D. I. & EVANS, D. J. A. (2010): Glaciers & Glaciation. 2nd edition, London: Hodder Education, 802 S.
- BOLCH, T. (2006): GIS- und fernerkundungsgestützte Analyse und Visualisierung von Klima- und Gletscheränderungen im nördlichen Tien Shan (Kasachstan/Kyrgyzstan) mit einem Vergleich zur Bernina-Gruppe/Alpen, Veröffentlichte Dissertation der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 210 S., 142 fig., 46 tab., 7 app., DVD.
- CRISP - Centre for Remote Imaging, Sensing & Processing: SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre), France.
<http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/spot.htm> (Abgerufen: 14.2.2013).
- EO – Sharing Earth Observation Resources: JERS-1 (Japan Earth Resources Satellite).
http://www.eoportal.org/directory/pres_JERS1JapanEarthResourcesSatellite.html (Abgerufen: 14.2.2013).
- ESA - European Space Agency: Quick Bird.
http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_DE/SEMCGVWRA0G_0.html (Abgerufen: 17.2.2013).
- IKONOS: <http://esamultimedia.esa.int/docs/eduspace/IKONOS.pdf> (Abgerufen: 17.2.2013).
- ESRI - Environmental Systems Research Institute, Inc.: ArcGis world imagery.
http://goto.arcgisonline.com/maps/World_Imagery (Abgerufen: 5.9.2013).
- FISCHER, H. (2010): Inylček-Gletscher und Merzbachersee (Zentraler Tian Shan). In: Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft, 152. Jg. (Jahresband), Wien, S. 163-182.
- GEODZ.COM - Das Lexikon der Erde: Kamesterrasse.
<http://www.geodz.com/deu/d/Kamesterrasse> (Abgerufen: 22.3.2013).
- GLAZIRIN, G. E. (2010): A century of investigations on outbursts of the icedammed lake merzbacher (central Tien Shan). In: Austrian Journal of Earth Sciences, Volume 103/2, Wien, S. 171-179.
- GOOGLE INC. (2012): Google Earth. Version 6.1.0.5001.

- HÄUSLER, H., SCHEIBZ, J., LEBER, D., KOPECNY, A., ECHTLER, H., WETZEL, H.-U. & MOLDOBEKOV, B. (2011): Results of the 2009 geoscientific expedition to the Inylchek Glacier, Central Tien Shan (Kyrgyzstan). In: Austrian Journal of Earth Sciences, Volume 104/2, Wien, S. 47-57.
- KARGEL, J.S., ABRAMS, M.J., BISHOP, M.P., BUSH, A., HAMILTON, G., JISKOOT, H., KÄÄB, A., KIEFFER, H.H., LEE, E.M., PAUL, F., RAU, F., RAUP, B., SHRODER, J.F., SOLTESZ, D., STAINFORTH, D., STEARNS, L. & WESSELS, R. (2005): Multispectral imaging contributions to global land ice measurements from space. In: Remote Sensing of Environment, Volume 99, Issues 1-2, S. 187-219.
- KHROMOVA, T., DYURGEROV, M. & BARRY, R. (2003): Late-twentieth century changes in glacier extent in the Ak-shirak Range, Central Asia, determined from historical data and ASTER imagery. In: Geophysical Research Letters, Volume 30, Issue 16, 1863, <http://dx.doi.org/10.1029/2003GL017233>.
- KORJENKOV, A., MICHAJLJOW, W., WETZEL, H.-U., ABDYBASHAEV, U. & POVOLOTSKAYA, I., (2006): Field Excursions Guidebook. International Training Course "Seismology and Seismic Hazard Assessment", Bishkek-Potsdam, 111 S.
- KUZMICHENOK, V. A. (1983): Stereophotogrammetric size determination technology of occasionally disgorging glacial lakes (by the example of Merzbacher Lake). In: Information sheet about scientific and technical achievement, No. 32-83, UDC 77.058.I:681.3.06-52, Series 50.53 (in russischer Sprache).
- LEITENBERGER, B.: Satelliten. <http://www.bernd-leitenberger.de/satelliten.shtml> (Abgerufen: 17.1.2013).
- MAVLYUDOV, B. R. (1997): Drainage of the ice-dammed Merzbacher Lake, Tien Shan. In: Материалы гляциологических исследований [Data Of Glaciological Studies], Volume 81, Moskau, S. 61-65.
- MEIER, M. F. & POST, A. (1969): What are glacier surges?. In: Canadian Journal of Earth Sciences, Volume 6, Issue 4, doi: 10.1139/e69-081, S. 807-817.
- MEISSNER, H. (2010): Karte: Zentralasien (politisch), Version: 19.4.2010, Lizenz: Creative Commons by-sa 2.0 de., In: Wikipedia – Die Freie Enzyklopädie, http://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Zentralasien_politisch_2010.jpg&oldid=69557342 (Abgerufen: 7.3.2013).
- MERZBACHER, G. (1906): Der Tian-Schan oder das Himmelsgebirge. Skizze von einer in den Jahren 1902 und 1903 ausgeführten Forschungsreise in den zentralen Tian-Schan. In: Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins, Band XXXVI, München, S. 121-151.
- MIKOLAICHUK, A. V., APAYAROV, F., CHERNAVSKAJA, Z., SKRINNIK, L., GHES, M., NEYEVIN, A., & CHARIMOV, T. (2008): Geological map of Khan-Tengri Massif. Explanatory Note (ISTC Project No. KR-920), Bishkek, S. 127. http://www.kyrgyzstan.ethz.ch/fileadmin/download/kr920/explanatory_note_kr920.pdf (Abgerufen: 1.1.2014).
- MIKOLAICHUK, A. V. & BUCHROITHNER, M. (2008): Geological Maps of Khan Tengri Massif (ISTC Project KR-920) Scale 1:200 000. Kyrgyz-Russian Slavic University ISTC (Hg.) <http://geomap.flameweb.org/?zoom=2&lat=42.17739&lon=79.49064&layers=B000000FFF> (Abgerufen: 10.3.2013).
- MIKOLAICHUK, A. V., BUCHROITHNER, M. & DOLGUSHEV, V. (2006): Digital Geological Maps as a Basis for the Evaluation of Geological Hazard and Risk Mapping - the

- Example of Kyrgyzstan. In: Int. Assoc. for Mathematical Geology (Hg.): XI International Congress Universität de Liège, September 3 - 8th 2006, Liège, Belgien, S. 9-20.
- MIKOLAICHUK, A. V., BURG, J.-P. & APAYAROV, F. (2004): Digital geological map of the Kyrgyz Range and Chu Basin transitional zone. - Kartographische Bausteine. In: Proceedings of the 7 international symposium on High-Mountain Remote Sensing Cartography (HMRSC VII), held in Bishkek, Kyrgyzstan July 15-26, 2002, Band 28, Dresden, S. 185.
- NARAMA, C., KÄÄB, A., SEVERSKIY, I. & ABDRAKHMAT, K. (2008): Remote-sensing based analysis of glacier lake hazards in the Tien Shan mountains associated with recent glacier shrinkage. In: Geophysical Research Abstracts, Volume 10, EGU2008-A-04525, Wien.
- NATURAL RESOURCES CANADA: Land Observation Satellites/Sensors, <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geography-boundary/remote-sensing/fundamentals/2042> (Abgerufen: 17.2.2013).
- NIEDERER, P., BILENKO, V., ERSHOVA, N., HURNI, H., YEROKHIN, S. & MASELLI, D. (2008): Tracing glacier wastage in the Northern Tien Shan (Kyrgystan/Central Asia) over the last 40 years. In: Climatic Change, Volume 86, Issue 1-2, S. 227-234.
- RAPIDEYE AG: Satellite Imagery Product Specifications Version 4.1. http://www.rapideye.com/upload/RE_Product_Specifications_ENG.pdf (Abgerufen: 10.9.2012).
- SHARP, M. (1988): Surging glaciers: geomorphic effects. In: Progress in Physical Geography, Volume 12, No. 4, doi: 10.1177/030913338801200403, S. 533-559.
- SOLOMINA, O., BARRY, R. & BODNYA, M. (2004): The retreat of Tien Shan glaciers (Kyrgyzstan) since the Little Ice Age estimated from aerial photography, lichenometric and historical data. In: Geografiska Annaler, Volume 86, Issue 2, S. 205-215.
- SPOT IMAGE SA: Spot Image - Resolutions and spectral modes. http://www2.astrum-geo.com/files/pmedia/public/r451_9_resolutionspectralmodes_uk_sept2010.pdf (Abgerufen: 14.2.2013).
- WIKIPEDIA, Die freie Enzyklopädie: TIAN SHAN. Bearbeitungsstand: 7.8.2012, http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Tian_Shan&oldid=122984972 (Abgerufen: 28.8.2012).
- TODOROVICH, M. (1991): Foto Oberer See. © Mirza Todorovich, http://www.alpiner.net/FUN/Mountains/KHAN-TENGRI-EXPEDITION-1991/4890962_7hvfWN#i=291945435&k=F4GFS26 (Abgerufen: 2.10.2013).
- TOUTIN, T. & CHENG, P. (2001): DEM generation with ASTER stereo data. In: Earth Observation Magazine 10/6, S. 10-13.
- USGS: Declassified Satellite Imagery - 1. https://lta.cr.usgs.gov/declass_1 (Abgerufen: 6.2.2013).
- Declassified Satellite Imagery - 1 Guide. <http://eros.usgs.gov/#/Guides/disp1> (Abgerufen: 6.2.2013).
- Declassified satellite imagery - 2. https://lta.cr.usgs.gov/declass_2 (Abgerufen: 6.2.2013).
- ZAKHAROV, I. L. (1988). Compilation of the legend to the geological maps of the Terskei Ala-Too ridge. *Volume 1*, 320. Bishkek: Archives of the State Geological Agency of the Kyrgyz Republic (in russian language).

- ZAKHAROV, I. L. & MOZOLEV, L. N. (1971): Geological map of the USSR at a scale 1:200.000. Northern Tien-Shan series. Sheet K-44-X1V. Bishkek: Archives of the State Geological Agency of the Kyrgyz Republic (in russian language).
- ZUBOVICH, A. V., WANG, X., SCHERBA, Y. G., SCHELOCHKOV, G. G., REILINGER, R., REIGBER, C., MOSIENKO, O. I., MOLNAR, P., MICHAJLJOW, W., MAKAROV, V. I., LI, J., KUZIKOV, S. I., HERRING, T. A., HAMBURGER, M. W., HAGER, B. H., DANG, Y., BRAGIN, V. D. & BEISENBAEV, R. T. (2010). GPS velocity field for the Tien Shan and surrounding regions. A. G. Union (Hg.), In: Tectonics, Vol.29, Issue 6, TC6014, <http://dx.doi.org/10.1029/2010TC002772>.

Abbildungsverzeichnis

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden ersuche ich um Meldung bei mir.

Abbildung 1: Arbeitsgebiete der vorliegenden Masterarbeit; Satellitenbild: RapidEye, Aufnahmedatum 4.7.2011.....	3
Abbildung 2: Politische Übersichtskarte von Zentral-asien. Im Bereich des Dreiländereckes Kasachstan, Kirgistan und China liegen die Arbeitsgebiete. Karte: Meissner, H. (2010).....	4
Abbildung 3: Topografische Übersichtskarte mit Lage und Einteilung des Tien Shan (nach Bolch, 2006, S. 5). Der Untersuchungsbereich ist rot markiert.	4
Abbildung 4: Bearbeiteter Ausschnitt der "Geological Maps of Khan Tengri Massif (ISTC Project #KR-920)", (Mikolaichuk & Buchroithner, 2008) Kartenmaßstab 1:200 000; rote strichlierte Linie markiert den Schnitt des geologischen Profiles (siehe Abbildung 5); Legende siehe Anhang III.....	9
Abbildung 5: Geologisches Profil (Mikolaichuk & Buchroithner, 2008), Lage des Schnittes siehe Abbildung 4, erweiterte Legende siehe Anhang III.	9
Abbildung 6: Inylchek Gletscher, unterer Merzbacher See und oberer See (Verkhnee) mit Lage der Querschnitte in Abbildung 7 (Mavlyudov, 1997).....	11
Abbildung 7: Querschnitte des südlichen Inylchek Gletschers und unteren Merzbacher Sees (Mavlyudov, 1997). Lage der Schnitte siehe Abbildung 6.	11
Abbildung 8: Höhenmodell des leeren Merzbacher Sees (Kuzmichenok, 1983).....	12
Abbildung 9: Topografische Karte des Merzbacher Seebodens. Höhenlinien wurden im 10 m Intervall gezeichnet. 1-Gletscherspalten; 2-Gletscher Grenzen; 3-Hochwasserstand des unteren Merzbacher Sees im Jahr 1985; 4-permanenter See; 5-Abflussmessstation (Mavlyudov, 1997).....	12
Abbildung 10: Kameterrasse; Entstehung von Kames und Kameterrassen, Oser und Grundmoräne nach dem Abtauen des Eises (GeoDZ.com - Das Lexikon der Erde).	13
Abbildung 11: verwendete Satellitendaten im Arbeitsgebiet „westliches Inylchek-Tal – Gripkov“. Datengrundlagen: RapidEye und Ikonos.	17
Abbildung 12: Kamera, Film und Bild Parameter der US-amerikanischen Spionagesatelliten "Keyhole" (USGS).....	22
Abbildung 13: Der südliche Steilhang des Inylchek-Tales zeigt gefaltete, dick gebankte, paläozoische Karbonate (A; Blick von der gegenüberliegenden, nördlichen Talseite Richtung Süden). Gekritzte Karbonate der orografisch linken Talseite auf Grund des Gletscherabriebes (B, C). Eigene Aufnahmen 2009/2011.....	30
Abbildung 14: Verfaltete, paläozoische Formationen als Basement des nördlichen Hanges des Inylchek-Tales nordöstlich von Gripkov (Blickrichtung Nord; A), und in östlicher Richtung (Gebirgszug Sary-Džaz; B). Eigene Aufnahmen 2011.....	31
Abbildung 15: Paläozoische Karbonate westlich von Dës-Valley erodiert von kleinen Zuflüssen (A). Gebankte, stark isoklinal verfaltete und gestörte Karbonate (B). talparallele Faltenachsen in kleinen Seitengraben (C). Eigene Aufnahmen 2011.....	31
Abbildung 16: genordeter, stereographischer Plot (flächentreu) der gemessenen talparallelen Faltenachsen (b-Achsen, orange), Kluftflächen (blau) und orthogonalen Störungsflächen (rot) in den Seitengraben des nördlichen Hanges des Inylchek-Tales.	32

Abbildung 17: Ein durch den Gletscher erodierter Rundhöcker mit gefaltetem, paläozoischem Gestein an der Basis und darüber abgelagerten fluviatilen Sedimenten (A, Kameterrasse „KT1“). Durch Zuflüsse eingeschnittene Terrasse (B). Eigene Aufnahmen 2011.....	33
Abbildung 18: Panoramabild des Dës-Tales mit fluvioglazialen Sedimenten diskordant über das paläozoische Gestein gelagert. Der Anschnitt der Kameterrasse „KT3“ zeigt geschichtete, fluviatile Sedimente über schlecht sortiertem Moränenmaterial. Im Hintergrund sind einige kleinere, höhere sedimentäre Terrassen sichtbar (rote Pfeile). Eigene Aufnahmen 2011.....	34
Abbildung 19: Blick von der Kameterrasse KT3b auf das paläozoische Gestein. Eigene Aufnahmen 2011.....	34
Abbildung 20: Blick auf die Kameterrassen "KT2" und KT3a". Die Terrassen sind teilweise auf Grund von lateraler Erosion durch kleine Täler eingeschnitten. Eigene Aufnahmen 2011.....	34
Abbildung 21: Blick auf die Terrassen "KT3a" und "KT2". Unter der fluvioglazialen Bedeckung (gerundeter Kies und Steine) befindet sich das paläozoische Grundgebirge. Beides wurde teilweise erodiert (V3). Eigene Aufnahmen 2011.	35
Abbildung 22: Blick auf die Kameterrassen "KT1a" und "KT1b" eingeschnitten durch Tal "V2". Eigene Aufnahmen 2011.	35
Abbildung 23: Kameterrasse "KT1" mit den niedriger gelegenen postglazial, fluviatil gebildeten Terrassen FT1, 2a und 2b (A); fluviatile Terrasse "FT1" mit 4,3 m Mächtigkeit, teilweise fluvioglaziale Zwischenlagen des Dës Seitenflusses (B, C). Eigene Aufnahmen 2011.....	36
Abbildung 24: Schwemmfächer abgelagert/erodiert von Dës-Fluss und verschnitten mit der fluviatilen Terrasse "FT1" (A) bestehend aus (schlecht) gerundeten Granit Steinen und Blöcken (B). Eigene Aufnahmen 2011.	37
Abbildung 25: Matrixgestützte Moräne mit einer Mächtigkeit von ungefähr 10 m überlagert von 2 m fluviatilen Sedimenten aus vorwiegend gut gerundeten Steinen und Blöcken (oberhalb der roten Linie) östlich der Talmündung Dës/Inylchek (A). In den Moränenablagerungen sind häufig gekritzte Steine (C) und gekritzte Geschiebe in Debris (B) zu finden. Eigene Aufnahmen 2011.	37
Abbildung 26: Östlicher Bereich der Einmündung des Dës-Tales in das Inylchek-Tal. Heller Bereich zeigt eine matrixgestützte, ungeschichtete Moräne mit einer Wechsellagerung (rot markiert) aus fluviatilen Sedimenten. Eigene Aufnahmen 2011.	38
Abbildung 27: Lage des mittels GPS, Neigungswinkelmesser, Kompass und Maßband gemessenen Höhenprofils in Gelb markiert (vergl. Abbildung 32). Gefälle des Geländes nach Südwesten, parallel zu den Terrassen in Orange markiert. Datengrundlage: Google Inc. (2012), Aufnahme des Satelliten Ikonos vom 15.2.2007.	39
Abbildung 28: Nord- und Südhang des Inylchek-Tales sind nahe der Basis „Majda-Adyr“ von fluvioglazialen Sedimenten bedeckt. Bild A zeigt erhaltene Seitenmoränen und fluvioglaziale Sedimente mit darauf abgelagerten Blöcken von Felsstürzen. Abbildung B verdeutlicht hingegen die für die nördliche Talseite typische Stufenlandschaft aus fluvioglazialen Rücken und Terrassen, welche von markanten Schwemmfächern der Seitenzuflüsse eingeschnitten werden. Eigene Aufnahmen 2009.....	41
Abbildung 29: Schematisches Profil des nördlichen Hanges des Inylchek-Tales und Rekonstruktion des fluvioglazialen Prozesses welcher zur Entstehung der Kameterrasse "KT3" führte.	42
Abbildung 30: Schematisches Profil des nördlichen Hanges des Inylchek-Tales und Rekonstruktion des fluvioglazialen Prozesses welcher zur Entstehung der Kameterrasse "KT2" führte.	42
Abbildung 31: Schematisches Profil des nördlichen Hanges des Inylchek-Tales und Rekonstruktion des fluvioglazialen Prozesses welcher zur Entstehung der Kameterrasse "KT1" führte.	43

Abbildung 32: Schematisches Höhenprofil des nördlichen Hanges des Inylchek-Tales westlich des Dës-Tales. Bei den beschriebenen multiplen Terrassen wurden fluviatile Terrassen (FT) und Kameterrassen (KT) unterschieden und nummeriert.	43
Abbildung 33: RapidEye Satellitenaufnahme vom 4. Juli 2011 (UTM, WGS84) zeigt die parallel verlaufenden, multiplen Terrassen entlang des Nordhanges des Inylchek-Tales.....	44
Abbildung 34: Die durchgehenden, multiplen Terrassen am nördlichen Hang des Inylchek-Tales. Datengrundlage: RapidEye Satellitenaufnahme vom 4. Juli 2011.....	45
Abbildung 35: Karte zu Gottfried Merzbachers Tien Shan-Reisen 1902/03 und 1907/08, Blatt 5 im Maßstab 1:500.000 (Bayerische Akademie der Wissenschaften, 1928). Der "Eis-See" entspricht dem rezenten unteren Merzbacher See. Der obere See existiert zu dieser Zeit nicht.	47
Abbildung 36: Foto von 1903 zeigt den Bereich südwestlich des heutigen unteren Merzbacher Sees. Aufnahme: G. Merzbacher.....	47
Abbildung 37: Ähnlicher Bereich und Aufnahmeperspektive wie am Foto von G. Merzbacher 1903, jedoch mit Luftbild vom 20.7.1990 und im Hintergrund RapidEye Satellitenszene vom 4.7.2011. Perspektivisch dargestellt.....	48
Abbildung 38: Luftbild, aufgenommen am 7.4.1943, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	49
Abbildung 39: Luftbild, aufgenommen am 7.4.1943, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise markieren supraglaziale Seen, oberer See ist blau markiert.....	49
Abbildung 40: Luftbild, aufgenommen am 18.8.1943, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	50
Abbildung 41: Luftbild, aufgenommen am 18.8.1943, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise markieren supraglaziale Seen, blaue Fläche zeigt den oberen See, die blaue Linie das Gletscherniveau.	50
Abbildung 42: Russische topografische Karte 1:50 000 generiert aus den Luftbildern von 1943.	51
Abbildung 43: Luftbild, aufgenommen im Jahr 1956, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	52
Abbildung 44: Luftbild, aufgenommen im Jahr 1956, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See, blaue/grüne Linien zeigen Veränderung des Gletscherniveaus.	52
Abbildung 45: Aufnahme des Corona Satelliten KH2, aufgenommen am 7.12.1960, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.....	53
Abbildung 46: Aufnahme des Corona Satelliten KH2, aufgenommen am 7.12.1960, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.	53
Abbildung 47: Aufnahme des Argon Satelliten KH5, aufgenommen am 29.8.1963, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.....	55
Abbildung 48: Aufnahme des Argon Satelliten KH5, aufgenommen am 29.8.1963, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Linie zeigt markanten Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.	55
Abbildung 49: Topografische Karte 1:50 000, herausgegeben im Jahr 1963, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	56
Abbildung 50: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 20.7.1965, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.....	56
Abbildung 51: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 20.7.1965, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile	

zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.	57
Abbildung 52: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 11.2.1966, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	58
Abbildung 53: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 11.2.1966, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.	58
Abbildung 54: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 21.9.1966, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	59
Abbildung 55: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 21.9.1966, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.	59
Abbildung 56: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 14.11.1966, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	60
Abbildung 57: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 14.11.1966, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.	60
Abbildung 58: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 8.8.1967, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	61
Abbildung 59: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 8.8.1967, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.	61
Abbildung 60: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 26.9.1968, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	62
Abbildung 61: Aufnahme des Corona Satelliten KH4A, aufgenommen am 26.9.1968, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.	62
Abbildung 62: Aufnahme des Corona Satelliten KH4B, aufgenommen am 1.12.1970, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	63
Abbildung 63: Aufnahme des Corona Satelliten KH4B, aufgenommen am 1.12.1970, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.	63
Abbildung 64: Historische Fotoaufnahme des unteren Merzbacher Sees und oberen Sees vom 13. August 1971, Foto: [k.A.], © Скиталец, http://www.skitalets.ru/mountain/2009/tianshan71_malin/21.jpg (Abgerufen: 3.11.2013).	64
Abbildung 65: Aufnahme des Hexagon Satelliten KH9, aufgenommen am 18.4.1973, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	64
Abbildung 66: Aufnahme des Hexagon Satelliten KH9, aufgenommen am 18.4.1973, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.	64
Abbildung 67: Aufnahme des Hexagon Satelliten KH9, aufgenommen am 19.11.1973, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	65
Abbildung 68: Aufnahme des Hexagon Satelliten KH9, aufgenommen am 19.11.1973, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.	65

Abbildung 69: Aufnahme des Hexagon Satelliten KH9, aufgenommen am 16.11.1974, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.....	66
Abbildung 70: Aufnahme des Hexagon Satelliten KH9, aufgenommen am 16.11.1974, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.	66
Abbildung 71: Aufnahme eines Landsat MMS Satelliten, aufgenommen am 20.5.1977, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.....	67
Abbildung 72: Aufnahme eines Landsat MMS Satelliten, aufgenommen am 20.5.1977, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile zeigen Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche zeigt den oberen See.	67
Abbildung 73: Luftbildaufnahme vom 20.7.1981, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.....	68
Abbildung 74: Luftbildaufnahme vom 20.7.1981, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees.....	68
Abbildung 75: Aufnahme eines Landsat TM Satelliten vom 18.1.1989, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	69
Abbildung 76: Aufnahme eines Landsat TM Satelliten vom 18.1.1989, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die blaue Fläche zeigt die Ausdehnung des oberen Sees.....	69
Abbildung 77: Luftbildaufnahme vom 20.7.1990, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.....	70
Abbildung 78: Luftbildaufnahme vom 20.7.1990, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, gelbe Kreise/Linien zeigen markante Gletschermarker, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees und die grüne Linie die Position der Gletscherstirn.	71
Abbildung 79: Foto des nördlichen Inylchek Gletschers mit vorgelagertem "oberen See", aufgenommen im Juli 1990 (Fischer, 2010).	71
Abbildung 80: Foto des unteren Merzbacher Sees und oberen Sees, aufgenommen im Juli 1990 (Fischer, 2010).....	71
Abbildung 81: Aufnahme eines Landsat TM Satelliten vom 10.9.1990, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	72
Abbildung 82: Aufnahme eines Landsat TM Satelliten vom 10.9.1990, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen markanten Gletschermarker, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees.	72
Abbildung 83: Aufnahme des oberen Sees im Rahmen einer Expedition im Jahre 1991 (Todorovich, 1991).....	73
Abbildung 84: Aufnahme des SPOT 3 Satelliten vom 12.9.1996, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	74
Abbildung 85: Aufnahme des SPOT 3 Satelliten vom 12.9.1996, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen markanten Gletschermarker, die blaue Linie das Gletscherniveau, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees und die grüne Linie die Position der Gletscherstirn.....	74
Abbildung 86: Luftbildaufnahme vom 20.7.1990, Detailbereich der Gletscherstirn des nördlichen Inylchek Gletschers; die gelbe Markierung zeigt den Bereich mit Suspensionsströmen, die rote Markierung die Referenzpunkte.....	75

Abbildung 87: Aufnahme des SPOT 3 Sensors vom 12.9.1996, Detailbereich der Gletscherstirn des nördlichen Inylchek Gletschers mit vorgelagerten Sedimenten; die gelbe Markierung zeigt den ehemaligen Bereich der Suspensionsströme von 1990, die rote Markierung die Referenzpunkte.	75
Abbildung 88: Aufnahme des SPOT 3 Satelliten vom 7.10.1996, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	76
Abbildung 89: Aufnahme des SPOT 3 Satelliten vom 7.10.1996, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen markanten Gletschermarker, die blaue Linie die Veränderung des Gletscherniveaus, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees und die grüne Linie die veränderte Position der Gletscherstirn.	76
Abbildung 90: Aufnahme des Jers-1 Satelliten vom 8.11.1996, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	77
Abbildung 91: Aufnahme des Jers-1 Satelliten vom 8.11.1996, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen markanten Gletschermarker, die blaue Linie das veränderte Gletscherniveau, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees und die grüne Linie die veränderte Position der Gletscherstirn.	77
Abbildung 92: panchromatische Aufnahme des IRS-1C Satelliten vom 6.6.1997, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	78
Abbildung 93: panchromatische Aufnahme des IRS-1C Satelliten vom 6.6.1997, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen markanten Gletschermarker, die blaue Linie das veränderte Gletscherniveau, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees und die grüne Linie die veränderte Position der Gletscherstirn.	78
Abbildung 94: oberer See, aufgenommen im Sommer 1997 oder 1998 (Quelle unbekannt).	79
Abbildung 95: Foto vom August 1998, Bereich Gletschernase des nördlichen Inylchek Gletschers. Aufnahme: G. Glazirin, mit freundlicher Genehmigung von Gleb Glazirin.	79
Abbildung 96: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 9.7.1999, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	80
Abbildung 97: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 17.1.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	81
Abbildung 98: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 17.1.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die blaue Fläche zeigt die Ausdehnung des oberen Sees.	81
Abbildung 99: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 18.2.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	82
Abbildung 100: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 18.2.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die blaue Fläche zeigt die Ausdehnung des oberen Sees.	82
Abbildung 101: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 21.3.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	83
Abbildung 102: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 21.3.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie einen Gletschermarker, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees.	83
Abbildung 103: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 24.3.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	84

Abbildung 104: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 24.3.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz.....	84
Abbildung 105: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 27.7.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	85
Abbildung 106: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 27.7.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz.....	85
Abbildung 107: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 12.8.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	86
Abbildung 108: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 12.8.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz.....	86
Abbildung 109: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 13.9.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	87
Abbildung 110: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 13.9.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker.	87
Abbildung 111: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 31.10.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	88
Abbildung 112: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 31.10.2000, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker.	88
Abbildung 113: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 18.8.2002, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	89
Abbildung 114: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 18.8.2002, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker.	89
Abbildung 115: Aufnahme des Terra Satelliten (Aster Radiometer) vom 25.6.2003, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.....	90
Abbildung 116: Aufnahme des Terra Satelliten (Aster Radiometer) vom 25.6.2003, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees.	90
Abbildung 117: Aufnahme des Quickbird 2 Satelliten vom 11.9.2005, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	91
Abbildung 118: Aufnahme des Quickbird 2 Satelliten vom 11.9.2005, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker.	91
Abbildung 119: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 13.8.2006, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.	92
Abbildung 120: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 13.8.2006, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker.	92
Abbildung 121: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten (SLC Error) vom 20.7.2009, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.....	93
Abbildung 122: Aufnahme eines Landsat 7 Satelliten vom 20.7.2009, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker.	93
Abbildung 123: Aufnahme eines Satelliten der RapidEye Constellation vom 4.7.2011, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher.....	94

Abbildung 124: Aufnahme eines Satelliten der RapidEye Constellation vom 4.7.2011, Bereich unterer Merzbacher See - oberer See - Nördlicher Inylchek Gletscher; rote Pfeile markieren Seitentäler als Referenz, die gelbe Linie zeigt einen Gletschermarker, die blaue Fläche die Ausdehnung des oberen Sees.	94
Abbildung 125: Aus den fernerkundungsbasierten Datensätzen kartierte Gletscherstände des nördlichen Inylchek Gletschers von 1943 bis 12. September 1996. Datengrundlage: Quickbird (Google Inc., 2012) aufgenommen am 11.9.2005.....	96
Abbildung 126: Aus den fernerkundungsbasierten Datensätzen kartierte Gletscherstände des nördlichen Inylchek Gletschers vom 12. September 1996 bis 2011. Datengrundlage: Quickbird (Google Inc., 2012) aufgenommen am 11.9.2005.....	97
Abbildung 127: Die in Tabelle 9 ermittelten Veränderungen der Gletscherstirn und Gletschermarker (Mittelwerte) zeigen im Zeitraum von 1943 - September 1996 leicht variierende Rückzugsraten der Gletscherstirn und eine Talwärtsbewegung der Gletschermarker ab ca. 1989.	100
Abbildung 128: Die in Tabelle 9 ermittelten Veränderungen der Gletscherstirn und Gletschermarker (Mittelwerte) zeigen im Zeitraum von September 1996 - Juni 1997 einen rasanten Vorstoß des Gletschers mit bis zu ~50 m/Tag.....	101
Abbildung 129: Die in Tabelle 9 ermittelten Veränderungen der Gletscherstirn und Gletschermarker (Mittelwerte) zeigen nach dem rasanten Vorstoß im Zeitraum von 1997 - 2011 einen leichten Rückzug der Gletscherstirn und keine Veränderungen der Gletschermarker.	101
Abbildung 130: Die in Tabelle 9 ermittelten Veränderungen der Gletscherstirn und Gletschermarker (Mittelwerte) über den gesamten Untersuchungszeitraum von 1943 - 2011.	102
Abbildung 131: Die in Tabelle 9 ermittelten Veränderungen der Gletscherstirn (Mittelwerte) zeigen im gesamten Untersuchungszeitraum mit Ausnahme des rasanten Vorstoßes von 1996 - 1997 einen kontinuierlichen, leicht schwankenden Gletscherrückzug. Die ermittelten Fluktuationsdaten zeigen außerdem einen abnehmenden Trend des Gletscherrückzuges.....	103

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Spezifikationen der Ikonos-Sensoren (nach ESA – European Space Agency: Ikonos).	18
Tabelle 2: Technische Spezifikationen der 5 RapidEye Satelliten (nach RapidEye AG).....	19
Tabelle 3: Daten und Sensoren der Landsat-Missionen. (Bolch, 2006).....	23
Tabelle 4: SPOT 1 - 3, Aufnahmemodi und Auflösungen.	24
Tabelle 5: Die acht Bänder des Optischen Sensors von JERS-1 und deren Spezifikationen (nach EO – Sharing Earth Observation Resources).....	25
Tabelle 6: Sensoren des IRS-1C Satelliten und deren Charakteristika (nach Natural Resources Canada).	26
Tabelle 7: Die Kanäle des ASTER-Sensors (Bolch, 2006).	27
Tabelle 8: QuickBird 2 Satellit mit seinen Spezifikationen in seiner ursprünglichen Umlaufbahn bis April 2011.	28
Tabelle 9: Die Fluktuationen der Gletscherstirn des nördlichen Inylchek Gletschers. Die Veränderungen der Gletscherstirn wurden aus den Fernerkundungsdaten ermittelt.	98

Anhang

- I. Zusammenfassung
- II. Datengrundlagen
- III. Legende der geologischen Karte
- IV. Lebenslauf

I. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit behandelt zwei Arbeitsgebiete im Bereich des Inylchek Gletschers in Kirgistan (Zentralasien).

Das erste Arbeitsgebiet befindet sich im westlichen Inylchek-Tal und die Untersuchungen befassen sich vorwiegend mit der Entstehung von talparallelen, multiplen Terrassen am orografisch rechten Talhang. Im Rahmen von strukturgeologischen und sedimentologischen Geländearbeiten wurden die Terrassen und vor allem auch die Seitentäler näher untersucht. Dabei zeigten sich stark isoklinal verfaltete paläozoische Formationen, welche vom Gletscherstrom morphologisch intensiv überprägt wurden. Darüber kam es sub- sowie postglazial zur Ablagerung von fluvioglazialen Sedimenten. Dadurch entstanden im oberen Bereich Kameterrassen, welche den verschiedenen Stadien des Gletschers zuzuordnen sind. Im unteren Bereich sind die Terrassen hingegen postglazial und fluviatil vom Gletscherabfluss gebildet. In den Bereichen der Seitentäler und Zuflüsse kommt es zu Wechsellagerungen und Einschaltungen der schlecht gerundeten, fluviatilen Sedimente der Zuflüsse und den fluviatilen Terrassen und teilweise Moränen des Inylchek-Tales.

Die von manchen Kollegen vermutete neotektonische Entstehung der Terrassen konnte nicht belegt werden.

Die verschiedenen Terrassen wurden nummeriert und anschließend ein schematisches Hangprofil erstellt. Die Untersuchungsergebnisse wurden durch die Bearbeitung von Fernerkundungsdaten in einen kleinen Maßstab übertragen, somit konnten die verschiedenen Terrassen in einer SW-SO Ausdehnung von ca. 10 km kartiert werden.

Im zweiten Arbeitsgebiet wurde die Entwicklung des nördlichen Inylchek Gletschers und damit des oberen Sees zwischen 1903 und 2011 analysiert. Es wurden sämtliche in diesem Bereich und Zeitraum zur Verfügung stehenden Fernerkundungsdaten (Satellitenszenen, Luftbilder, etc.) und historische Aufnahmen erhoben. Davon wurde ein Teil für die Durchführung einer Zeitreihenanalyse definiert. Nach der Datenaufbereitung und Analyse der Datensätze lässt sich die Entwicklung des nördlichen Inylchek Gletschers im Untersuchungszeitraum wie folgt zusammenfassen:

Ab 1943 beginnt sich der nördliche Inylchek Gletscher zurückzuziehen und es bildet sich der „obere See“. Der Gletscher zieht sich begleitet von teilweisem „downwasting“ bis ca. 1990 um insgesamt ca. 3,7 km kontinuierlich zurück und der obere See erreicht somit seine maximale Ausdehnung. Markante Punkte des Gletscherstromes zeigen in diesem Zeitraum kaum eine Bewegung. In der zweiten Hälfte des Jahres 1996 bewegt sich der gesamte Gletscher rasant mit ungefähr 50 m/Tag talwärts bis der obere See komplett verdrängt ist. Nach diesem Ereignis zieht sich der Gletscher bis 2011 teilweise wieder leicht zurück, der obere See vergrößert sich kontinuierlich und es ist die starke Bildung von neuerlichen, supraglazialen Seen zu verzeichnen. Marker des Gletscherstromes zeigen seit dem Ereignis

von 1996 keine Bewegung. Auf Basis der vorliegenden Untersuchungen wird der rasante Vorstoß des Gletschers um 1996 als Speed-Up beschrieben, auch wenn ein Gletscher-Surge nicht ausgeschlossen werden kann.

II. Datengrundlagen

Fernerkundungsdaten Gebiet Inylchek / Kirgistan

Satellite/Camera	Acquisition date	Ground Resolution
Luftbild	07.04.1943	ca. 5m
Luftbild	18.08.1943	ca. 5m
Luftbild	1956	ca. 4m
KH-2	07.12.1960	7.5m
KH-5	29.08.1963	
Topokarte	1963	
KH-4A	20.07.1965	2.75m
KH-4A	20.07.1965	2.75m
KH-4A	20.07.1965	2.75m
KH-4A	11.02.1966	2.75m
KH-4A	21.09.1966	2.75m
KH-4A	14.11.1966	7.5m
KH-4A	08.08.1967	7.5m
KH-4A	26.09.1968	3,5 m
KH-4B	01.12.1970	1.8m
KH-4B	01.12.1970	1.8m
KH-9	18.04.1973	6-9m
KH-9	19.11.1973	6-9m
KH-9	16.11.1974	6-9m
Landsat MMS	26.04.1975	79m
Landsat MMS	12.08.1975	79m
Landsat MMS	05.10.1975	79m
Landsat MMS	13.06.1976	79m
Landsat MMS	16.10.1976	79m
Landsat MMS	27.12.1976	79m
Landsat MMS	01.02.1977	79m
Landsat MMS	19.02.1977	79m
Landsat MMS	20.05.1977	79m
Landsat MMS	18.08.1977	79m
Landsat MMS	23.09.1977	79m
Landsat MMS	24.09.1977	79m
Luftbild	20.07.1981	ca. 3m
Landsat TM	18.01.1989	30m
Luftbild	20.07.1990	ca. 1m
Landsat TM	10.09.1990	30m
SPOT 3	12.09.1996	10m
SPOT 3	07.10.1996	10m
JERS-1, VNIR	08.11.1996	18m

IRS-1C PAN	06.06.1997	5m
Landsat 7 SLC-on	09.07.1999	15m
Landsat 7 SLC-on	17.01.2000	15m
Landsat 7 SLC-on	18.02.2000	15m
Landsat 7 SLC-on	21.03.2000	15m
Landsat 7 SLC-on	24.03.2000	15m
Landsat 7 SLC-on	27.07.2000	15m
Landsat 7 SLC-on	12.08.2000	15m
Landsat 7 SLC-on	13.09.2000	15m
Landsat 7 SLC-on	31.10.2000	15m
Landsat 7 SLC-on	18.08.2002	15m
Aster	25.06.2003	15m
Google Earth mosaic Quickbird	11.09.2005	0,65m
Google Earth mosaic vorw. SPOT, teilw. Quickbird	2005?	~ 5m
Landsat 7 SLC-off	13.08.2006	15m
Landsat 7 SLC-off	20.07.2009	15m
RapidEye	22.10.2009	5m
Landsat 7 SLC-off	05.04.2011	15m
Landsat 7 SLC-off	21.04.2011	15m
Landsat 7 SLC-off	23.05.2011	15m
Landsat 7 SLC-off	24.06.2011	15m
RapidEye	04.07.2011	5m
Landsat 7 SLC-off	10.07.2011	15m
Landsat 7 SLC-off	12.09.2011	15m
DEM	1943 - 2011	20m

III. Legende der geologischen Karte

(MIKOLAICHUK & BUCHROITHNER, 2008)

- MESOZOIC AND CENOZOIC COMPLEXES OF THE CENTRAL TIEN SHAN
- Sharpyldak Group, Upper Pliocene– Lower Pleistocene (N₂–Q₁ šr). Grey conglomerates, gritstones, sandstones
 - Chu Group, Lower Pliocene (N₁₋₂ ču). Motley mudstone, and grey sandstones, gritstones
 - Kyrgyz Redstone Supergroup, Upper Cretaceous –Miocene (K₂–N₁ kg). Interbedding of carbonate, clay, sandstones and conglomerates
 - Group of Lower Jurassic deposits (J1)
- PERMIAN – TRIASSIC POST-COLLISION COMPLEX OF THE CENTRAL TIEN SHAN
- Achiktash Formation, Permian (γP a). Granites, leucocratic granites, granite–porphyry
 - Adyrtor Formation, Permian (γξlyPa). Granosyenites leucocratic granites, alaskites
 - Surteke Formation, Early Permian (ξPis). Syenite, quartz syenite
 - Inylchek Formation, phase 2, Early Permian (lyzPiī). Granite, leucocratic granite
 - Inylchek Formation, phase 1, Early Permian (γiPiī). Porphyric granite, xenoliths of quartz diorite and quartz monzonite
 - Akshiyarak Formation, phase 4, Early Permian (ely4Piā). Leucocratic amphibole–biotite, subalkaline granite, granite–porphyry
 - Akshiyarak Formation, phase 3, Early Permian (ey3Piā). Amphibole–biotite subalkaline granite
 - Akshiyarak Formation, phase 2, Early Permian (γξzPiā). Subalkaline granite, granosyenite with rapakivi structure
 - Akshiyarak Formation, phase 1, Early Permian (γδiPiā). Gneissic granodiorite
 - Terekty Formation, phase phase 3, Early Permian (γ3 P1t). Granites fine–crystalline
 - Terekty Formation, phase phase 2, Early Permian (γδz P1t). Granodiorites, granites, leucocratic, granites
 - Terekty Formation, phase phase 1, Early Permian (δ,qδi P1t). Diorites, quartz–diorites
 - Eastsonkul Formation undivided, Early Permian (γξPies). Monzogabbro, monzonite, granosyenite
 - Eastsonkul Formation, phase 3, Early Permian (γ3Pies). Granosyenites, granites, granite–porphyries
 - Eastsonkul Formation, phase 1, Early Permian (μiPies) Monzogabbro, monzonite, granosyenites
 - Differentiated Sills Formation, Early Permian (vPi). Pyroxenite, gabbro, gabbro–dolerite
- SOUTH TIEN SHAN GEOLOGICAL PROVINCE
- PALEOZOIC STRUCTURAL COMPLEX
- Sauktor Formation, Early Permian (Pisk). Calcareous siltstone, sandstone, gritstone, conglomerate
 - Kipchak Formation, Late Carboniferous–Early Permian (C2–P1kp). Clayey shale, sandstone, siltstone, limestone interlayers
 - Atbashi Formation, Early–Late Carboniferous (g C1–2 at). Crystalline schist, gneiss
 - Jangart Group, Devonian–Early Permian (D– P1 jn). Limestone, dolomite with interlayers of marl, gypsum, siltstone and sandstone
 - Jetkait Formation, Late part, Late Carboniferous–Early Permian (C2–P1dtz). Limestone with interlayers of siltstone, sandstone, marl, gypsum
 - Jetkait Formation, Early part, Late Carboniferous–Early Permian (C2–P1dti). Dolomite, limestone, rhyolite tuff
 - Uchchat Formation. Early–Late Carboniferous (C1–2uč). Limestone, dolomite, shale, calcareous siltstone, sandstone
 - Kumar Formation, Late Carboniferous (C2km). Limestone with interlayers of clayey shale, sandstone, siltstone
 - Kattaashutor Formation, Early Carboniferous (C1 ktt) Limestone, carbonaceous limestone, siltstone, slate
 - Oblaitor Formation, Late part, Devonian–Early Carboniferous (D–C1 obz). Limestone
 - Oblaitor Formation , Early part, Devonian–Early Carboniferous (D–C1 obi). Dolomite, limestone with interlayers of quartz sandstone
 - Kaichi Formation, Late Devonian–Early Carboniferous (D3–C1kč). Shale, siltstone, sandstone
 - Maibulak Formation, Middle Devonian–Early Carboniferous (D2 – C1mb). Shale, quartz sandstone, siltstone, horizons of calcarenite
 - Airytor Formation, Late–Middle Devonian (D2–3at). Calcareous siltstone, shale, siltstone, sandstone
 - Jamansu Formation, Late Silurian – Early Devonian (S2–D1 jm). Sandstone, gritstone, conglomerate, limestone, trachyrhyolite and tuff
 - Atjailau Group, Early Silurian–Early Carboniferous (S1–C1at). Light marble limestone
 - Chirmash Formation , Early–Middle Devonian (D1–2čr). Tentakulite calcarenite, clayey limestone
 - Kargantash Formation, Late Silurian –Early Devonian (S2–D1krq). Crinoid and coral limestone
 - Belkarasu Formation, Late–Early Silurian (S1–2bl). Coral and crinoid–detrital limestone, clayey and calcareous shale
 - Shirikty Formation, Late Silurian–Early Devonian (S2–D1šr). Shale, limestone, interlayers of sandstone, siltstone
 - Kaindy Group, Late Silurian–Early Carboniferous (S2–C1kn). Basalt, hyaloclastite, andesite, chert, shale, siltstone
 - Dolerite Group, Early Paleozoic (γβ,β PZ1st). Metabasalt, spilite, gabbro–dolerite, dolerite
 - Ultrabasite–Gabbro Group, Early Paleozoic (Σ,γ PZ1 st). Serpentinite, peridotite, gabbro, norite, troctolite
- MIDDLE TIEN SHAN GEOLOGICAL PROVINCE
- LATE ORDOVICIAN STRUCTURAL COMPLEX
- Tez Formation, Late Ordovician (O3 tz). Conglomerates, gritstones, sandstones, siltstones, limestones
- SYNIY – MIDDLE ORDOVICIAN STRUCTURAL COMPLEX
- Eastaryjaz Formation, Early–Middle Ordovician (O1–2 es). Grading sandstones, siltstones, shales
 - Oljobai Formation, Early Ordovician (O1 ol). Cherts, shales, siltstones, limestone lenses
 - Shortor Group, Cambrian– Early Ordovician (E–O1šr). Siltstones, shales, carbonaceous– graphitic–siliceous shales, phtanites cherts, limestones, marls
 - Jakbolot Formation, Vendian (V jb). Shales, tillite–lake conglomerates, sandstones, siltstones, limestone
 - Jetymtau Formation, Vendian (V jt). Diamictites вмето Tillite–lake conglomerates, gritstone, sandstones, siltstones
 - Jetym Formation, Late part, Vendian (V dğ2). Conglomerates, trachybasalts, tuffs, lenses of magnetite–hematite ores
 - Kichitaldysu Formation, Late Riphean–Vendian (R3 kt). Arkos siltstones, gritstones, diamictite conglomerates, trachybasalt, tuff

IV. Lebenslauf

K O P E C N Y A L E X A N D E R , B a k k . r e r . n a t .

SCHULISCHE AUSBILDUNG

Volksschule 2443 Deutsch Brodersdorf / NÖ	1990 - 1994
Don Bosco – Gymnasium (AHS) 2442 Unterwaltersorf / NÖ	1994 - 1998
BORG für Studierende der Musik Neustiftgasse 95 – 99, 1070 Wien	1998 – 2000
BORG mit musikischem Schwerpunkt (HIB) Boerhaavegasse 15, 1030 Wien	2000 – 2003 (Abschluss mit bestandener Reifeprüfung am 12. Juni 2003)

BERUFSAUSBILDUNG

Bakkalaureatsstudium Erdwissenschaften, Schwerpunktfach Geologie an der Universität Wien	2003 – 2010
2 Bakkalaureatsarbeiten über das Thema <i>Isotopenhydrogeologische Untersuchungen und Interpretationen von Grundwasseraustritten im Bereich Purbach/Bgld.</i> Betreuer: Univ. Prof. Dr. Hermann Häusler, Prof. Dr. Dieter Rank	Dez. 2006
Masterstudium Erdwissenschaften, Schwerpunkt Umweltgeowissenschaften an der Universität Wien	seit 2010
Teilnahme an diversen geologisch/petrologischen Exkursionen im Rahmen des Studiums Erdwissenschaften Unter anderem nach Griechenland (Kykladen), Teneriffa/La Palma, Spitzbergen, Zentral- und Ostalpen, Italien.	seit 2004
Teilnahme (Abschluss) eines Steinschlagsimulationungskurses mit Bemessungsgrundlage im Rahmen einer Exkursion bei Dr. Diethard Leber	Frühjahr 2008
Teilnahme an zwei Expeditionen in den Tien Shan, Inylchek- Gletscher, Global Change Observatorium Gottfried Merzbacher	2009 und 2011

BERUFSERFAHRUNG

Hornbach Baumarkt GmbH (Kassier) IZ.NÖ-Süd, Straße 3, Obj. 64, A-2355 Wiener Neudorf	02.08.2003 – 04.10.2003
---	-------------------------

Schindler Aufzüge und Fahrtreppen AG (Ferialarbeit) Wienerbergstraße 21 – 25, A-1100 Wien	02.08.2004 – 31.08.2004
Competence Call Center AG (Call Center Agent) Spengergasse 37, A-1050 Wien	07.2005 – 10.2005
Mitarbeit bei geophysikalischen Untersuchungen (Geoelektrik) im Bereich Lackenbach (Bgld.)	10.04.2006 – 14.04.2006
Mitarbeit bei geophysikalischen Untersuchungen (Geoelektrik) im Bereich Zicksee (Bgld.)	Sommer 2006
Mitarbeit bei geophysikalischen Untersuchungen (Seismik, Georadar, Gravimetrie, Geoelektrik) in Schützen a. Geb. (Bgld)	2006
Mitarbeit bei geophysikalischen Untersuchungen der Uni Wien im Rahmen einer Wildbachverbauung (Trattenbach) des ZT Büros Geoexpert	Nov. 2007
Im Rahmen des Zivildienstes an der Geologischen Bundesanstalt:	Juni 2007 – Februar 2008
▪ Mitarbeit bei div. Bohrungen ▪ Aufnahme von Bohrkernen im Bohrkernlager Erzberg ▪ Mitarbeit in der Bibliothek der GBA	
Terra Umwelttechnik GmbH Oberlaaerstraße 272, 1230 Wien Mitarbeit bei diversen geologisch/geotechnischen Projekten im In- und Ausland (Rumänien)	2008 – Oktober 2009
Universität Wien/Department für Umweltgeowissenschaften Anstellung als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Arbeitsgruppe „Applied Geology and Remote Sensing“ (Leiter: Ao. Prof. Dr. Hermann Häusler)	Dez. 2008 – Februar 2009
Terra Umwelttechnik GmbH Großmarktstraße 7C, 1230 Wien Projektleiter (Bohrbetreuung, Probennahme, Projektanwicklung/-management, kaufm. Abwicklung) hauptsächlich im Bereich Erkundung, Abgrenzung und Sanierung von Umweltschadstoffen	seit November 2009
Universität Wien/Department für Umweltgeowissenschaften Anstellung als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Arbeitsgruppe „Applied Geology and Remote Sensing“ (Leiter: Ao. Prof. Dr. Hermann Häusler)	März 2011 – März 2013

COMPUTERKENNTNISSE

- MS-Office Kenntnisse
- div. Grafik-Programme Adobe Photo-Shop, Corel Draw, Corel Photo-Paint etc.
- ArcGis, Grapher, Erdas Imagine, Auto Cad, Auer Success, GeoDin, GeoTom, Res2Dinv
(Auswertung Geoelektrik), Auer Bausoftware
- Netzwerk Kenntnisse

Englisch in Wort und Schrift

WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN

- Kopecny, A. (2006): Isotopenhydrogeologische Untersuchungen im Südwestabschnitt des Leithagebirges (Nördliches Burgenland). Bakkalaureatsarbeit, Universität Wien, (Wien 2006).
- Kopecny, A.; Heischmann, J.; Rank, D.; Häusler, H.; Papesch, W.; Putzlager, K. (2008): Different types of karstified aquifer systems along the Leithagebirge (Northern Burgenland, Austria). *Pangeo* 2008, S. 56 (Wien 2008).
- Scheibz, J.; Kardeis, G.; Heischmann, J.; Kopecny, A. (2008): The Schützen "hot spot": 3D-modelling of a shallow aquifer (Northern Burgenland, Austria). *Pangeo* 2008, S. 93 (Wien 2008).
- Häusler, H.; Leber, D.; Kopecny, A.; Wetzel, H.-U.; Echlter, H.; Moldobekov, B. (2009): Development of the Central Inylchek Glacier System since the Little Ice Age (LIA), Eastern TienShan, Kirgыз Republic. Northern Eurasia High Mountain Ecosystems - NEESPI-HE International Workshop 2009 (Bishkek 2009).
- Leber, D.; Kopecny, A.; Häusler, H.; Wetzel, H.-U. (2009): Ground Check for the Remote Sensing based monitoring of the central Inylchek Glacier System (Kyrgyz Republic). Northern Eurasia High Mountain Ecosystems - NEESPI-HE International Workshop 2009 (Bishkek 2009).
- Leber, D.; Kopecny, A.; Häusler, H.; Wetzel, H.-U. (2009): Ground Check for the Remote Sensing based monitoring of the central Inylchek Glacier System (Kyrgyz Republic). International Conference on Mitigation of Natural Hazards in Mountain Areas (Bishkek, Kyrgyzstan 2009).
- Leber, D.; Kopecny, A.; Häusler, H.; Wetzel, H.-U. (2009): Ground Check for the Remote Sensing based monitoring of the central Inylchek Glacier System (Kyrgyz Republic). Glacier Hazard Workshop 2009 (Vienna 2009).
- Scheibz, J.; Häusler, H.; Leber, D.; Kopecny, A.; Wetzel, H.-U. (2009): Near Surface Geophysical Measurements in the Vicinity of Lake Merzbacher – First Results from the 2009 Inylchek Expedition (Kyrgyz Republic). Northern Eurasia High Mountain Ecosystems - NEESPI-HE International Workshop 2009 (Bishkek 2009).
- Scheibz, J.; Häusler, H.; Leber, D.; Kopecny, A.; Wetzel, H.-U. (2009): Near Surface Geophysical Measurements in the Vicinity of Lake Merzbacher – First Results from the 2009 Inylchek Expedition (Kyrgyz Republic). International Conference on Mitigation of Natural Hazards in Mountain Areas (Bishkek, Kyrgyzstan 2009).
- Scheibz, J.; Häusler, H.; Leber, D.; Kopecny, A.; Wetzel, H.-U. (2009): Near Surface Geophysical Measurements in the Vicinity of Lake Merzbacher – First Results from the 2009 Inylchek Expedition (Kyrgyz Republic). Glacier Hazard Workshop 2009 (Vienna 2009).
- Häusler, H.; Leber, D.; Scheibz, J.; Kopecny, A.; Wetzel, H.-U.; Echlter, H.; Moldobekov, B. (2010): Results from the 2009 Investigations at the Global Change Observatory. General Assembly European Geosciences Union (Vienna 2010).
- Häusler, H.; Scheibz, J.; Leber, D.; Kopecny, A.; Echlter, H.; Wetzel, H.-U.; Moldobekov, B. (2011): Results from the 2009 geoscientific expedition to the Inylchek Glacier, central Tien Shan (Kyrgyzstan). *Austrian Journal of Earth Sciences*; 104 (2011), S.47-57 (Vienna 2011).
- Häusler, H.; Kopecny, A.; Leber, D. (2012): Are the stair case terraces in the Inylchek Valley (Central Tien Shan, Kyrgyzstan) of neotectonic or sedimentary origin? General Assembly European Geosciences Union 2012, GRA - Volume 14 (2012) (Vienna 2012).
- Häusler, H.; Leber, D.; Kopecny, A. (2012): Is Upper Lake Merzbacher (Central Tien Shan, Kyrgyzstan) the result of a fluctuating glacier? General Assembly European Geosciences Union 2012, GRA - Volume 14 (2012) (Vienna 2012).
- Häusler, H., Kopecny, A. & Leber, D. (2012): Recent fluctuations of the Northern Inylchek Glacier (Central Tien Shan, Kyrgyzstan).- In: I. V. SEVERSKIY (ed.): Cryosphere of Eurasian Mountains.- Abstracts of the International Conference devoted to the opening of the Central Asian Regional Glaciological Centre as a Category 2 Centre under the auspices of UNESCO.- 9-10, (Institute of Geography) (Almaty/Kazakhstan 2012).