

**DIE KOMBINATION VON TERRESTRISCHEN UND FERNERKUN-
DUNGS-AUFNAHMEN, GEZEIGT AM BEISPIEL DER GEOLOGI-
SCHEN KARTE DES TIRICH MIR-GEBIETES
(HINDUKUSCH/PAKISTAN)**

Manfred BUCHROITHNER und Robert KOSTKA, Graz*

INHALT

1.	Einleitung	138
2.	Arbeitsablauf der Kartenherstellung	139
3.	Topographische Karte	140
3.1.	Vorhandene topographische Unterlagen	140
3.2.	Grundlagen für die photogrammetrische Überarbeitung der Referenzkarte und die photogrammetrische Auswertung	141
4.	Geologische Kartierung	142
4.1.	Vorhandene Unterlagen	142
4.2.	Gewinnung geologischer Informationen aus Fernerkundungsdaten arider Hochgebirge	143
4.3.	Luft- und Satellitenbildauswertung	144
5.	Ergebnis	144
6.	Literaturverzeichnis	145
7.	Summary	146

1. EINLEITUNG

Mit ganz wenigen Ausnahmen existieren auf heutigen Landkarten keine weißen Flecken mehr. Wohl ist es aber bei größermaßstäbigen Karten häufig so, daß die Genauigkeit der Informationen zu wünschen übrig läßt oder daß es an aktuellen Aussagen mangelt. Durch eine Kombination von vorhandenen topographischen Karten mit Auswertungen von Luftbild und/oder Satellitendaten bietet sich ein Verfahren an, das in vielen Fällen erlaubt, zweckorientierte thematische Karten mittleren Maßstabes herzustellen und damit das Wis-

* Univ.-Doz. Dipl.geol. Dr.phil. Manfred F. Buchroithner, Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik, Forschungsgesellschaft Joanneum, A-8010 Graz, Wastiangasse 6; Dipl.-Ing. Dr.techn. Robert Kostka, Institut für Angewandte Geodäsie und Photogrammetrie, Technische Universität, A-8010 Graz, Rechbauerstraße 12

sen über die Erde auf rasche Weise zu verbessern. Im folgenden wird beschrieben, wie durch eine derartige Kombination eine großmaßstäbige geologische Karte hergestellt werden konnte. Voraussetzung dafür war die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen einem Geologen und einem Geodäten. Der erstere beherrscht aufgrund seiner terrestrischen Aufnahmen die geologische Problematik und ist auch mit den Methoden der geologischen Auswertung von Satellitenbildern vertraut, letzterer verfügt über die entsprechenden geodätisch-photogrammetrischen Fachkenntnisse.

Trotz einer Vielfalt von überregionalen kartenmäßigen Darstellungen des Karakorum-Hindukusch-Systems gab es bisher vom dargestellten Gebiet noch keine publizierten geologischen Karten in mittleren Maßstäben. Die einzigen verfügbaren Quellen waren eine Kammverlaufskizze im ungefähren Maßstab 1: 300 000 mit übersichtsmäßigen geologischen Kartierungsergebnissen, zusammengestellt von K. und H. DIEMBERGER und M.A. SIRONI-DIEMBERGER, welche ungefähr den Blattbereich der gegenständlichen Karte abdeckt (DIEMBERGER 1968), und eine im Eigenverlag (Privatdruck) von H. GAMERITH (1979) herausgegebene dreifarbige geologische Karte 1: 250 000 des nordwestlichen Karakorum, Hinduraj und Osthindukusch.

Die hier in ihrer Entstehung beschriebene Karte erfaßt bei einer West-Ost-Erstreckung von 33 Kilometer und einer Nord-Süd-Distanz von 20 Kilometer einen Bereich von 616 Quadratkilometer mit Höhenunterschieden von über 6000 Meter um den Tirich Mir. Der Hauptgipfel dieses Bergmassivs ist mit 7706 Meter die höchste Erhebung des Hindukusch, der westlichsten der großen asiatischen Gebirgsketten, und liegt in der im Nordwesten Pakistans gelegenen Provinz Chitral, ca. 15 Kilometer von der afghanischen Grenze entfernt. Die Lage des Kartengebietes kann aus den Lageskizzen auf dem beigelegten Kartenblatt ersehen werden.

Weder der geologische noch der topographische Informationsgehalt der Inselkarte, auch nicht deren Gestaltung sollen das Thema dieses Artikels sein. Diesbezüglich wird auf den Beitrag von BUCHROITHNER und GAMERITH (1985) im Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt Wien verwiesen. Ziel dieser Darstellung soll es vielmehr sein, beispielhaft auf die Problematik der Herstellung des topographischen Kartengrundes und auf die Erarbeitung der thematischen Aussage aus verschiedenen Quellen sowie deren Zuordnung hinzuweisen.

Die Herstellung der Karte erfolgte mit Unterstützung des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Österreich, Projekt Nr. 4669, und der Geologischen Bundesanstalt Wien. Die Karte ist beigelegt. Ihr Nachdruck erfolgte mit freundlicher Genehmigung der Geologischen Bundesanstalt.

2. ARBEITSABLAUF DER KARTENHERSTELLUNG

Der Arbeitsablauf gliedert sich in folgende zwei Haupteinheiten:

1. Herstellung einer topographischen Grundlagenkarte 1: 50 000 durch Kombination von Kartenblättern des Survey of Pakistan 1: 250 000 mit photometrischen Luftauf-

nahmen mit einem mittleren Bildmaßstab 1: 32 000 und mit Satellitenaufnahmen (Landsat).

2. Herstellung einer thematischen Karte zur Geologie des erfaßten Gebietes auf der Basis der topographischen Karte 1: 50 000 durch Kombination der vorhandenen terrestrischen geologischen Aufnahmen und der geologischen Auswertung von Satellitenbildern.

3. TOPOGRAPHISCHE KARTE

3.1. Vorhandene topographische Unterlagen

Es standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

1. Kartenblätter des Survey of Pakistan

Die Region um den Tirich Mir ist in den Kartenblättern 1: 250 000 Sheet Nr. 37 P - Zebak und Sheet Nr. 42 D - Mastuj des Survey of Pakistan abgebildet. Die mehrfarbige Karte ist aus der Quarter-Inch-Karte abgeleitet, ursprünglich 1928/1929 vermessen und mit einzelnen Nachträgen versehen worden. Entsprechend dem Aufnahmeverfahren mit dem Meßtisch ist die Qualität der Karte in Talbereichen mit gut, in der Hochgebirgsregion aber unterschiedlich zu beurteilen. Fels- und Gletschergrenzen sind nicht oder nur schlecht zu erkennen, andere Situationsdetails sind im Hochgebirge nicht eingezeichnet. Der Meßtisch als Aufnahmeinstrument war übrigens von dem vormaligen österreichischen Offizier Anton Ferdinand TROYER aus dem Sudetenland während seiner Lehrtätigkeit bei der Madras-Armee 1803-1815 in Indien eingeführt worden (KICK 1959). Höhenpunkte und Höhenlinien sind in Fuß (0,3048 m) angegeben, wobei für letztere eine Äquidistanz von 250 Fuß (76,2 m) (Zähllinien in 1 000 Fuß) gewählt wurde. Da die Linien durch Felssignatur unterbrochen sind, läßt sich eine Höhenangabe nicht in allen Fällen daraus ableiten. Neben der Angabe von geographischer Breite und Länge sind die Blätter mit einem Yard-Netz (Grid 1) mit einer Maschenweite von 10 000 Yard (9.144 km) versehen. Angaben über Bezugsfläche und Abbildung sind nicht zu entnehmen.

2. Luftaufnahmen

45 Weitwinkel-Meßbilder aus 5 Flugstreifen vom Format 23 x 23 cm² und mit einer Kammerkonstante von 153,0 mm überdecken den Kartenbereich. Es handelt sich um Schwarz-Weißpapierkopien einer am 29. September 1969 durchgeführten Befliegung, für die ein mittlerer Bildmaßstab von 1: 32 000 angegeben wird.

3. Landsat-Daten

Für die topographischen Ergänzungen wurde die Landsat-1-Szene NASA ERTS E-1354-05233, Band 7, vom 12. Juli 1973 als Schwarzweiß-Filmdiapositiv herangezogen. Zur Unterstützung der thematischen Aussage fand des weiteren ein Filmdiapositiv einer Farbkomposite der Bänder 4, 5 und 7 derselben Landsat-Szene Verwendung. Zur näheren Infor-

mation über Aufnahmeparameter, Informationsgehalt, Auflösung und Genauigkeit dieser Satellitendaten kann auf reichhaltige Literatur, vor allem auf das Landsat Data Users Handbook (U.S. Geological Survey, 1979), verwiesen werden.

3.2. Grundlagen für die photogrammetrische Überarbeitung der Referenzkarte und die photogrammetrische Auswertung

Die Darstellung des Detailbereiches 1: 50 000 basiert auf einer Vergrößerung der entsprechenden Ausschnitte der Referenzkarten 1: 250 000. Als Bezugsfläche wurde das Everest-Ellipsoid mit den Parametern $a = 6\,377\,276,345$ m und $b = 6\,356\,075,413$ m der Aufnahme aus den Jahren 1928/1929 beibehalten. Die Netzpunkte der Kartenausschnitte wurden unter Verwendung der geographischen Koordinaten in ein konformes UTM-System abgebildet, für das der 72. Längengrad östlich von Greenwich als Bezugsmeridian herangezogen wurde. Da Zahlenangaben für die Netzlinien vorliegen, konnten durch Koordinatenmessung und anschließende Helmert-Transformation Genauigkeitswerte für diesen Vorgang abgeleitet werden. Die Klaffen zwischen den errechneten und den aus den Karten abgeleiteten Werten liegen im Mittel bei 36 m, liefern also mit 0,7 mm für den Maßstab 1: 50 000 ein brauchbares Ergebnis. Dies wurde im Rahmen einer Seminararbeit am Institut für Angewandte Geodäsie und Photogrammetrie der Technischen Universität Graz, der umfangreiche Messungen zugrunde lagen, festgestellt (MAREICH 1981).

Im Karteninhalt der Referenzkarten konnten - über den ganzen Bereich verteilt - 77 Punkte, die auch in den Meßbildern zu erkennen waren, identifiziert werden. Es waren dies in erster Linie Einmündungen von Bächen, Erosionsrinnen und Schluchten in die Flüsse der Haupttäler, aber auch ausgeprägte Bergspitzen wie Kegel und Hörner auf kantigen Rücken, Sättel und Bergfüße im Gletscherbereich. Die Arbeit unter dem Spiegelstereoskop erleichterte das Auffinden dieser Punkte in den Meßbildern beträchtlich. Mit Hilfe der in Kapitel 3.1 erwähnten Landsat-Aufnahmen erfolgte anlagenungebunden eine Ergänzung und Klärung unübersichtlicher Karteninformation, wodurch in der ausgesprochenen Hochgebirgsregion die Zuordnung Karte - Meßbilder in vielen Fällen erst ermöglicht wurde. Die Kartierung dieser Punkte erfolgte im Maßstab 1: 50 000. Die Genauigkeit, die sich auf das graphische Ausgangsprodukt bezieht, kann mit 1 - 2 mm abgeschätzt werden. Dies entspricht einer Lageunsicherheit von 50 - 100 m in der Natur, wobei allerdings über die ursprüngliche Genauigkeit des Informationsgehaltes der Referenzkarte keine Aussage möglich ist.

Die photogrammetrische Auswertung der 40 Stereomodelle erfolgte im großen und ganzen nach dem üblichen Verfahren an einem Analogauswertegerät. Bei einem mittleren Bildmaßstab von 1: 32 000 - die Extrema lagen bei 1: 17 000 und 1: 42 000 - mußte ein Modellmaßstab von 1: 50 000 bzw. 1: 25 000 gewählt werden, der im letzten Fall für die graphische Darstellung auf 1: 50 000 zu einer Verkleinerung führte. Bei der Manipulation mit den Papierbildern mußten die Schwierigkeiten geringerer Kontrastunterschiede und größerer Meßunsicherheiten gegenüber Diapositiven in Kauf genommen werden.

Da für den Großteil des Auswertebereichs genügend Paßpunkte aus dem Karteninhalt entnommen werden konnten, erfolgte kein Blockausgleich des Bildverbandes; dies aber auch

zufolge der oft schlechten Qualität der Bilder in den Randbereichen und deshalb, weil die Längsüberdeckung in den höchsten Fällen sogar unter 50 % betrug. In diesen Fällen erfolgte eine näherungsweise Orientierung der Modelle, die nach der Auswertung in Form eines Modellmosaiks in die bestehende Referenzunterlage eingepaßt wurde.

Im ersten Fall der Auswertung konnten in bezug auf die Referenzpunkte wiederum Klaffen angegeben werden, die, wie bereits von KOSTKA, 1978 untersucht, ihrer Größe nach der graphischen Ausgangskarte entsprechen und durch ihre unsystematischen Orientierungswerte auf eine gute Einpassung schließen lassen. Die Größenordnung der Höhenabweichungen kann auch bei gut definierten Punkten mit etwa 20 m abgeschätzt werden. Für den zweiten Fall der Auswertung können keine Genauigkeitsangaben mitgeteilt werden. Der Vorgang der Modellbildung war aber erforderlich, um bei extremen Höhenunterschieden eine Zuordnung zwischen Bildinhalt und Referenzkarte herbeiführen zu können.

Im Hinblick auf die thematischen Aussagen einer geologischen Karte wurde die topographische Information auf einige wenige Darstellungselemente beschränkt. Dies aber auch deshalb, weil keine Begehung zur Ergänzung und Überarbeitung der photogrammetrischen Auswertung möglich war. Bei der Situationsdarstellung wurde nur besonderer Wert auf das Gewässernetz gelegt und Details wie Flüsse, Bäche, Erosionsrinnen und Seen angegeben. Die Abgrenzung der Felsgebiete sowie Detailangaben in Gletscherbereichen unterblieben. Siedlungen sind nur zur Orientierung schematisch angegeben und wurden aus den Grundlagenkarten übertragen. Die Geländeinformation wurde auf Höhenlinien mit einer Äquidistanz von 200 m und Zähllinien bei allen 1000 m sowie einige markante Höhenangaben bei Gipfel und Pässen beschränkt. Zur Veranschaulichung des extremen Geländereiefs wäre die Verwendung einer Schummerung, auch im Fall einer geologischen Karte, eines Versuches wert gewesen, mußte aber im vorliegenden Fall aus Zeit- und Kostengründen unterbleiben.

4. GEOLOGISCHE KARTIERUNG

4.1. Vorhandene Unterlagen

Der Plan, eine geologische Karte des Tirich Mir-Massivs zu erstellen, liegt bereits etliche Jahre zurück und resultiert aus der Tatsache, daß einerseits Luftaufnahmen dieses Gebietes verfügbar waren und andererseits in den Jahren vor den letzten großen politischen Veränderungen in Afghanistan verschiedene geowissenschaftlich geschulte und interessierte Kollegen der Verfasser dieses Beitrages in dem fraglichen Gebirgsareal alpinistisch tätig waren und einer der Mitverfasser der Erläuterungen zur geologischen Karte des Tirich Mir, H. GAMERITH, im Mastuj- und Arkari-Tal als Geologe arbeitete (BUCHROITHNER, GAMERITH 1985). Seine und die Geländekenntnisse seines Fachkollegen D. BRIEGLEB, Mittersill, Land Salzburg, die in Form von internen Feldnotizen und unpublizierten Karten vorlagen, waren wesentliche Voraussetzungen für die photogeologischen Arbeiten. Geologisch aussagekräftige Fotos bzw. Farbdias aus verschiedenen Teilen des untersuchten Gebietes wurden von K. DIEMBERGER (Salzburg), R. PISCHINGER (Graz) und G. GRUBER (Frankfurt am Main) zur Verfügung gestellt. Fachgespräche, vor allem mit letzterem Kollegen, erbrachten wertvolle, zum Teil notwendige Hilfen für die

Luft- und Satellitenbilddatenauswertung. Eine Sichtung des am Salzburger "Haus der Natur" noch vorhandenen Probenmaterials der Expedition von K. DIEMBERGER, welches zum Teil in die Arbeiten von VOGELTANZ und SIRONI-DIEMBERGER 1968 und VOGELTANZ 1969 Eingang fand, erwies sich ebenfalls als recht aufschlußreich.

Ein Anführen der vorliegenden geologischen Übersichtsliteratur würde den hier gegebenen Rahmen sprengen. Diesbezüglich wird auf den Artikel von M. BUCHROITHNER und H. GAMERITH (1985) verwiesen.

4.2. Gewinnung geologischer Informationen aus Fernerkundungsdaten arider Hochgebirge

Seit der Aufnahme der ersten Photographien während der bemannten Weltraummissionen der 60er Jahre hat sich zu den konventionellen Schwarz-Weiß-Luftbildern eine weitere Quelle thematischer Daten mit der Farbe als zusätzlicher Informationsdimension gesellt. Bei ersteren, in den meisten Fällen nichtvertikalen Aufnahmen, konnte zwar die synoptische Erfassung überregionaler (struktur-)geologischer Zusammenhänge bereits hervorragend durchgeführt, jedoch noch kein Detail studiert werden. 1972 kam zur panchromatischen Bildinformation mit den Landsat-Aufnahmen noch der Informationsgewinn durch multispektrale (MSS-)Daten hinzu. Gegenüber den ersten Landsat-Bildern mit rund 80 m Bodenauflösung, 2 Bändern im sichtbaren und 2 im nahen Infrarotbereich sind heute jene des Landsat-Thematic Mapper-Sensors (TM) mit 30 m nomineller Auflösung, 3 Bändern im sichtbaren, 3 im nahen und einem Band im thermalen Infrarotbereich des elektromagnetischen Wellenspektrums verfügbar. Deren Aussagekraft erlaubt es, großflächige geologische Kartierungen mit großer Genauigkeit in Verbindung mit vergleichsweise nur wenigen gezielten Geländeuntersuchungen durchzuführen. Eine kombinierte Auswertung von Luftbildern und multispektralen Satellitenbilddaten ist als ideal anzusehen. Trotz bereits seit längerem aus der Literatur bekannten Beispielen über die hohe Effizienz derartiger Methoden, speziell für die geologische Datengewinnung in Hochgebirgen, muß festgestellt werden, daß sie bei Kartierungsaktivitäten in solchen Gebieten bisher nur sehr bedingt zum Einsatz gekommen sind; eine Tatsache, die sicherlich sowohl im Mangel an verfügbaren Luft- und/oder Satellitenbildern als auch in der Unkenntnis des Potentials dieser Fernerkundungsdaten und ihrer Auswerteverfahren begründet ist.

Stellt die Fernerkundung für die geologische Kartierung von Hochgebirgen im allgemeinen bereits ein hervorragendes Hilfsmittel dar, so gilt dies im besonderen für jene, die in semiariden oder gar ariden Gebieten gelegen sind. Die weit(est)gehend fehlende Vegetationsbedeckung ermöglicht es dort auch in den tieferen Regionen, die lithologischen Einheiten (ohne indirekten Schluß über das verhüllende Pflanzenkleid) auswerten zu können. So diene im gegenständlichen Fall die Fernerkundung nicht nur der Kartierung von durch tektonische Strukturen bedingten Lineamenten, sondern auch in höchstem Maß der Ausscheidung von Gesteinseinheiten.

Es würde den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen, die zur Zeit (semi-)operationellen Einsatzmöglichkeiten, die Verteilung des weltweiten geowissenschaftlichen Informationsbedarfs und die tatsächlich von internationalen Organisationen und/oder von lokalen Institutionen bzw. Behörden durchgeführten Anwendungen zu durchleuchten; die Literatur

ist vielfältig. Bemerkenswert sei nur, daß die Menge der von Satellitensensoren aufgenommenen Daten enorm ist und ständig zunimmt (RAJAN, NINAN 1986) und für den Großteil der heute anfallenden Fragestellungen auch ausreichend sein dürfte. Daß ab einem gewissen Detailliertheitsgrad an geforderter Information in vielen Fällen auch die Integration von Fernerkundungsdaten mit hoher räumlicher Auflösung wie zum Beispiel Luftbildern wünschenswert wäre bzw. unabdingbar ist, leuchtet ein. Die Notwendigkeit, Sinnhaftigkeit und auch Problematik der Verquickung von verschiedenen existierenden topographischen und/oder thematischen Unterlagen mit der aus den Fernerkundungsdaten gewonnenen Informationen ist ebenfalls einsichtig und soll im folgenden Kapitel kurz angerissen werden.

4.3. Luft- und Satellitenbilddauswertung

Die Analyse der Schwarz-Weiß-Luftaufnahmen erfolgte nach der traditionellen Weise mittels eines Spiegelstereoskops mit 1-, 3- und 8-fach vergrößernder Optik. Diese Okulare wurden interaktiv wechselweise verwendet (vgl. BUCHROITHNER 1984), um Detailauswertung und Synopsis gezielt einzusetzen. Ähnlich wie bei der photogrammetrischen Auswertung mußten in Bereichen mit extremen Höhenunterschieden auf kurzen Distanzen wegen zu großer, visuell nicht erfaßbarer Parallaxen Neuorientierungen der Modelle durchgeführt werden. Die Auswertung der Flugzeugaufnahmen ging konform mit der visuellen Interpretation der in Kapitel 3.1. angeführten Filme von Landsat-Aufnahmen, wobei geologische Informationen erwartungsgemäß in erster Linie der Falschfarbenkomposite zu entnehmen waren. Auf den Einsatz eines optischen Umzeicheninstruments zur Registrierung von Satelliten- und Luftbilddauswertungsergebnissen konnten wegen der guten homologen Merkmale verzichtet werden.

Die lithologisch und bruchtektonisch ausgewertete thematische Information erbrachte 17 verschiedene Gesteinsunterscheidungen sowie 14 unterschiedliche Typen geologisch junger Oberflächenbedeckungen (einschließlich der Gletscher). Die Eintragung erfolgte für die einzelnen Luftbildmodelle auf dünne Plastiktransparentfolien und wurde nach der in Kapitel 3.2. beschriebenen Weise durch Analogauswertung in die photogrammetrische Grundrißdarstellung integriert.

5. ERGEBNIS

Die geologische Karte des Tirich Mir Gebietes stellt hinsichtlich Maßstab und Informationsgehalt eine Kombination von heterogenen Datenträgern dar (KOSTKA 1980). Insbesondere konnte eine Vervollständigung und Verbesserung der vorhandenen Unterlagen durch Satellitenbilddaten erzielt werden. Als besonders günstig erwies sich der Umstand, daß auch "niedrig" geflogene Luftbilder mit den Satellitenaufnahmen deckungsgleich kombiniert werden konnten. Die geometrische Genauigkeit der erstellten geologischen Karte ist durch die vorliegende Referenzkarte vorgegeben. Diese lieferte die für die Orientierung der Fernerkundungsdaten notwendigen Parameter. Genauigkeitswerte hierfür können durch die Angaben von Klaffen aber nur relativ mitgeteilt werden. Aus den verfügbaren Kartenmaterial konnte eine Höhenliniendarstellung mit einer Äquidistanz von 40 m abgeleitet werden.

Für die geologische Karte des Tirich Mir wurde die thematische Information durch lithologische Abgrenzungen und Angabe von Störungen aus dem zur Verfügung stehenden Bildmaterial abgeleitet und über Modellbildung dem topographischen Kartengrund zugeordnet. Die Paßpunkte der Referenzkarte liefern das geometrische Gerippe, in die die Detailinformation der Topographie und der thematische Inhalt transformiert wurden.

Die Vorteile der Überarbeitung eines Kartenblattes liegen gegenüber einer Neuherstellung, sofern diese aus anderen als technischen Gründen überhaupt möglich ist, nicht zuletzt in den geringen Kosten durch die Verwendung von bereits vorhandenen Unterlagen. So kann durch die Einarbeitung problembezogener topographischer Darstellungselemente die Aussage der Referenzkarte wesentlich verbessert und/oder in Form einer thematischen Karte nutzbar gemacht werden. Die eingeschlagene Methode ist in ariden Hochgebirgen wegen des weitgehenden Fehlens einer Pflanzendecke besonders effektiv und liefert für viele Studien- und Planungszwecke wichtige Informationen.

Kartendaten

Titel: Geological Map of the Tirich Mir (Hindu Kush - Pakistan)

Maßstab: 1: 50 000

Projektion: Universal Transverse Mercator (UTM)

Format 82 x 58 cm²

Geologie: M.F. BUCHROITHNER (Graz) unter Verwendung von Unterlagen von H. GAMERITH (Linz)

Topographie: R. KOSTKA unter Mitarbeit von G. CHRISTON und M. MAREICH (alle Graz)

Höhenlinien: 200 m Äquidistanz

Namen und Transkription: N. SCHOLZ (Wien)

Layout und Kartengraphik: M. LEDOLTER und G. STANY (Wien)

Reproduktionstechnik: A. JILKA (Wien)

Druck: Lithopress (Wien), Vierfarbendruck.

6. LITERATURVERZEICHNIS

BUCHROITHNER M F, GAMERITH H (1985), On the Geology of the Tirich Mir Area, Central Hindu Kush (Pakistan). In: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, Bd. 128, Heft 3-4, S. 367-381. Wien.

BUCHROITHNER M F (1984), Geological Mapping of Remote Mountainous Regions Using Metric Camera Imagery. Initial Experiences with Photogrammetric Space Images. In: Mitteilungen österreichische geologische Gesellschaft, Bd. 77, S. 155-169. Wien.

DIEMBERGER K (1968), Ein Apfel auf dem Tirich Mir. Österreichische Hindukusch-Kundfahrt 1967. 3. Geologische Ergebnisse. In: Jahrbuch des Österreichischen und Deutschen Alpenvereins, Bd. 93, S. 143-147. Innsbruck.

KICK W (1959), Phillimore R.H.: Historical Records of the Survey of India (Buchbesprechung). In: Zeitschrift für Vermessung, Nr. 2, S. 103-104. Stuttgart.

KOSTKA R (1980), Zur Applikationsmodifizierung topographischer Karten (im Gebirge). Dissertation Technische Universität Graz, Graz. 284 S.

- MAREICH M (1981), Erstellung eines Konzeptes für eine geologische Karte in Nordwestpakistan (Hindukush). Unveröffentlichte Seminararbeit am Institut für Angewandte Geodäsie und Photogrammetrie, Technische Universität Graz, Graz. 14 S.
- RAJAN Y S, NINAN J (1986), Remote Sensing - International Status and Trends. In: CRACKNELL A, HAYES L (Hrsg.), Remote Sensing Yearbook 1986, S. 39-60. Taylor & Francis, London und Philadelphia.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY (1979), Landsat Data Users Handbook. Revised Edition. Arlington, Virginia. 199 S.
- VOGELTANZ R (1969), *Receptaculites neptuni* DEFR. 1927 from Devonian of Owir An, Chitral, West Pakistan. In: Records Geological Survey of Pakistan, Vol. 19. Quetta.
- VOGELTANZ R, SIRONI-DIEMBERGER M A (1968), *Receptaculites neptuni* DEFRANCE aus dem Devon des Hindukusch. In: Anzeiger Österreichische Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Jahrgang 1968, Nr. 5, S. 100-101. Wien.

7. SUMMARY

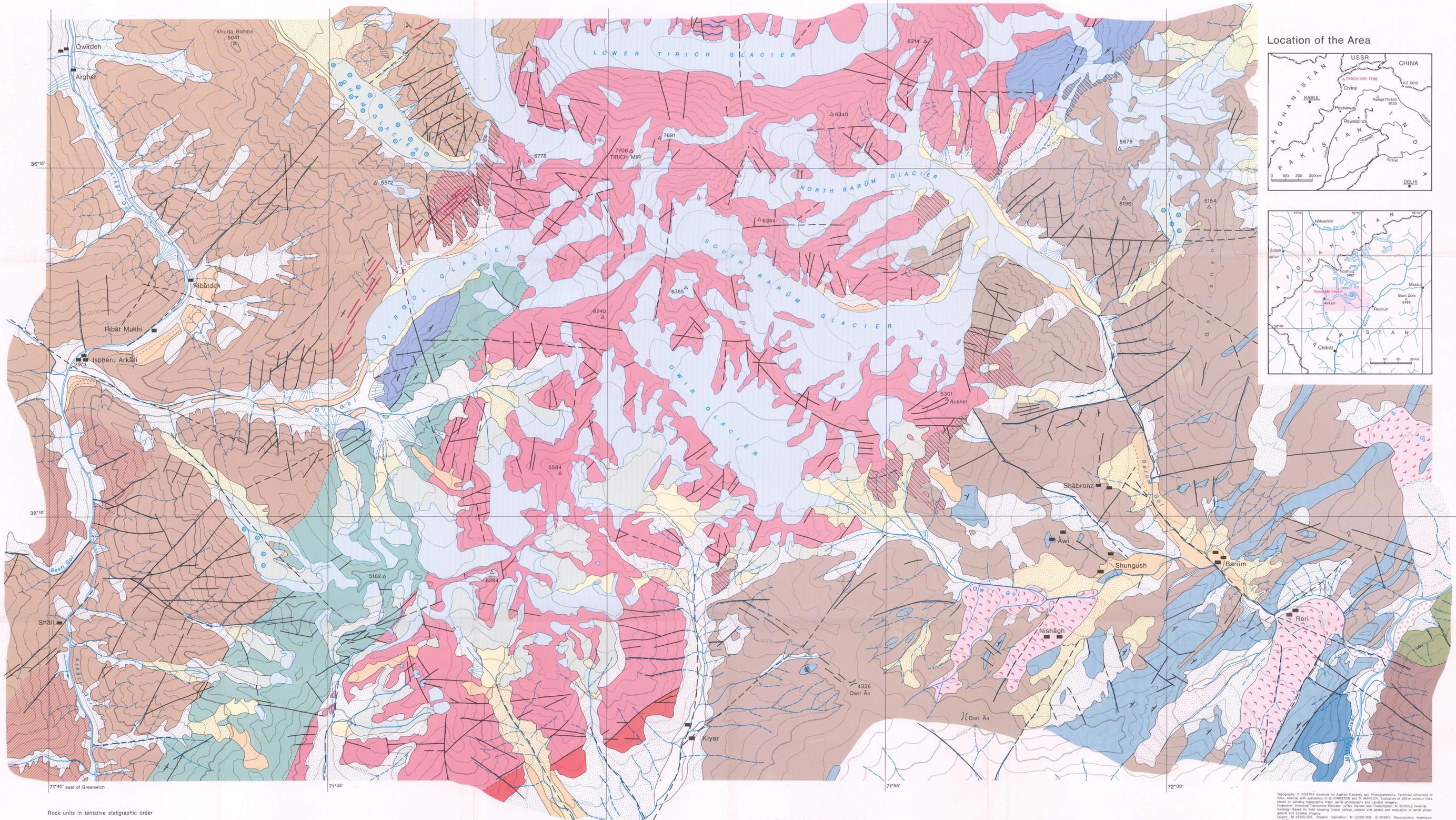
Manfred Buchroithner und Robert Kostka: On the Compilation of topographic and thematic map of the Tirich Mir-Area (Hindu Kush) as an example

Existing maps of remote regions of the world are often too out of date or too lacking in information to permit their use in more than general or regional scientific studies or land use planning. By integrating data from space- and airborne sensor systems, existing maps can be modified and updated to meet specific thematic requirements and applications without the need for extensive field mapping and data collection.

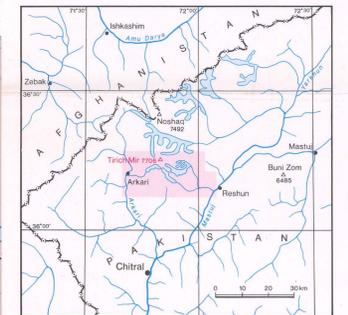
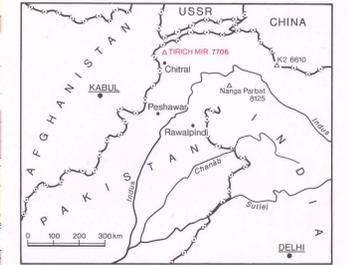
Using the geological map of the Tirich Mir Area 1: 50 000 in Pakistan as an example, a procedure is described that allows the compilation and revision of existing reference maps by means of satellite and aerial imagery to obtain the desired topographic and thematic information. By this method the topographical thematic maps for the remote mountainous regions of Hindu Kush and Himalaya can be compiled to meet the information requirements of the various scientific and planning communities.

Geological Map of the Tirich Mir (Hindu Kush – Pakistan)

Prepared by M.F. BUCHROITHNER 1984



Location of the Area



Rock units in tentative stratigraphic order

- Glaciers, ice couloirs, perennial snow cover
- Glaciers with thick cover of moraine material and/or scree
- Recent fluvial material of major river beds
- Alluvial terraces, plains and banks
- Talus and alluvial material
- Talus, thick scree cover
- Prominent talus fan
- Mud flow features
- Ancient mud flows
- Talus with alluvial and moraine material
- Talus and moraine material
- Moraines
- Ancient moraines
- Various stages of ancient moraines
- Tirich Mir Granite (to Granodiorite): Axial Hindu Kush Batholite (Upper Oligocene to Pliocene)
- Prominent aplitic veins in Tirich Mir Granite
- Transition (injection) zone of Tirich Mir Granite
- Momi Gneiss: granite gneiss
- Ultrabasic rocks: gabbro-amphibolite and serpentinite
- Reshun Formation: limestones (Cretaceous)
- Reshun Formation: conglomerates and coarse sandstones (Cretaceous)
- Chitral Slates: dark phyllites, slates and siltstones with quartzites
- Atak Series: limestones, dolomites, calcareous schists and marbles with thin intercalations of slates (?Palaeozoic)
- Transition zone of Atak Series
- Series of Owir: slates and phyllites with intercalations of quartzite and calcareous schist (Upper Palaeozoic)
- Series of Owir: limestones, dolomites, marbles, calcareous schists
- Wakhan Formation: dark grey slates and siltstones (Upper Palaeozoic)
- Conspicuously light-toned slates of Wakhan Formation
- Conspicuously dark-toned slates of Wakhan Formation
- Phyllitic zones within Wakhan Formation
- Quartzite layers within Wakhan Formation

Symbols

- Lithological boundary
- Vague or transitional lithological boundary
- Dip of bedding or foliation plane
- gentle medium steep ±vertical
- Steep-dipping fault/fracture
- Inferred steep-dipping fault/fracture
- Fossil location
- Prominent cryoconite holes (symbol stands for more than one feature)
- Minor drainage with intermittent water flow
- Prominent drainage with ±perennial water flow
- Major river
- Lake
- Settlement
- 2573 Elevation point
- Pass

Topography: R. KOSTKA (Institute for Applied Geodesy and Photogrammetry, Technical University of Graz, Austria) with assistance of G. CHRISTON and M. MARECH. Evaluation of 200 m contour lines based on various topographic maps, aerial photography and satellite imagery.

Geology: Based on field mapping (major faults, masses and transition zones) by SCHLÖZL (University of Innsbruck, Austria) and M. BUCHROITHNER (University of Vienna, Austria). Geological interpretation and cartographic realization: M. LEDOLTER, G. STANI. Reproduction technique: A. BUCK.

Printed by: Lithopress, Vienna.

