

**FRANKFURTER
GEOWISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN**

Serie D · Physische Geographie

Band 25

Geomorphologie und Paläoökologie

**Festschrift für Wolfgang Andres
zum 60. Geburtstag**

herausgegeben

von

Andreas Dittmann und Jürgen Wunderlich

Sonderdruck

Herausgegeben vom Fachbereich Geowissenschaften
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main 1999

Vorstudien zu geomorphologischen Arbeiten im Permafrostgebiet des North Slope (Nord-Alaska).

Johannes Preuß, Mainz

mit 2 Abb. und 5 Fotos

1 Einleitung

Mit zunehmender Häufigkeit ihres Auftretens ist die feste Phase des Wassers von zunehmender geomorphologischer Bedeutung. Winterliche Schnee- und Eisbedeckung des Festlandes und von Wasserflächen, die Bildung und Erhaltung von Gletschern, von Aufeis oder Permafrost sind Ausdruck der Speicherung von Wasser als Eis, wobei die Bilanz aus Rücklage und Aufbrauch temporär oder auf Dauer zugunsten des Speichers verschoben ist. Der Vorgang an sich gehört in den Bereich der Hydrologie und Klimatologie. Die Hydrosphäre enthält das Verbreitungsgebiet des Schnees (Chionosphäre) ebenso wie des Eises (Kryosphäre) (REINWARTH & STÄBLEIN 1972). Der naheliegenden Definition eines Begriffes für die geowissenschaftliche Erforschung frostbedingter geowissenschaftlicher Phänomene (Geokryologie) steht entgegen, daß dieser Begriff schon früher, z. B. von FYODOROV & IVANOV (1974) in einem weiteren Sinne verstanden wurde. So beschränkt WASHBURN (1979) ihn auf die Verwendung für saisonal bis permanent gefrorene Gebiete (seasonal frozen ground, permafrost). Viel besser als andere bekannte Begriffe (z. B. Periglazialmorphologie) verweist "Geokryologie" auf den im Mittelpunkt stehenden physikalischen Prozeß und das Erfordernis einer raum-zeitlich differenzierten, prozeßorientierten hydrologischen Betrachtung von Rücklage und Aufbrauch. Diese kann gedanklich in den Rahmen eines Prozeßkorrelations-Systemmodells gestellt werden (LESER & DETTWILER & DÖBELI 1992).

2 Zielsetzung

Die Planung eines Forschungsprojektes zur räumlichen geomorphologischen Bedeutung

frostbedingter Prozesse setzt eine Vorstudie voraus, in deren Verlauf Beobachtungen zu Art und Verbreitung von Formen und Vorgängen zu sammeln und Aussagen zu ihrer Bedeutung zu treffen sind. Sie soll repräsentative "Elementarlandschaften mit den Grundelementen der geökologischen Raumstruktur" im Sinne von LESER (1992: 408) ermitteln, die nach ihrer Größe in der topischen Dimension bearbeitbar und nach ihrer Lage erreichbar sind.

Da die Mehrzahl neuerer deutscher Studien in polaren und subpolaren Regionen in ehemals vergletscherten Gebieten erarbeitet wurde, lag es nahe, für dieses geomorphologisch-geokryologische Arbeitsvorhaben einen Raum zu wählen, der seit langem unvergletschert ist und in dieser Zeit sehr wahrscheinlich kontinuierlich Permafrost aufwies.

Um an spezielle geomorphologische Erfahrungen aus Mitteleuropa vergleichend anknüpfen zu können, wurde bei der Auswahl des Gebietes besonders auf vergleichbare petrographische Beschaffenheit und die Lagerungsverhältnisse geachtet (Schichtstufen, Schichttafeln) (ANDRES & PREUSS 1983; PREUSS 1983). Ferner sollte die Relieffhöhe (Basisdistanz) sowie die Rolle fluvialer Prozesse vergleichbar sein. Unvergleichbar bleibt in jedem Falle die geographische Lage, der klimatische und paläoklimatische Rahmen sowie die Intensität und Dauer der kryogenen Prozesse. Ziel ist daher nicht ein aktualistischer Vergleich, sondern die Betrachtung geokryologisch und hydrologisch gesteuerter geomorphologischer Prozesse unter ähnlichen Gesteins- und Reliefverhältnissen.

3 Gebiet der Vorerkundung

Als Untersuchungsgebiet wurde der North Slope im Norden Alaskas und Kanadas, zwischen Kap Barrow und dem Mackenzie-Delta, ausgewählt. Südlich davon bilden die Höhen der Brooks Range (Gipfelhöhen zwischen 1800 - 2800 m ü. M.) eine natürliche Grenze. Das nördlich anschließende Gebiet des arktischen Küstentieflandes (Arctic Coastal Plain) leitet nach der Durchquerung der Arctic Foothills zur Küste der Beaufortsee über. Dieses Gebiet ist auf der Länge von Barrow (ca. 156° W) etwa 250 km breit. Nach Osten wird es zunehmend schmaler und erreicht seine geringste Breite von 10 km wenig östlich der US-amerikanisch/kanadischen Grenze bei Komakuk Beach (140,1° W). Die West-Ost-Er Streckung dieses Teils des arktischen Küstentieflandes beträgt etwa 1000 km. Dieses Gebiet ist ausschnittsweise im Rahmen der "Fourth International Conference on Permafrost" (1983) in mehreren Publikationen beschrieben worden (WALKER 1983; BROWN & KREIG [Hrsg.] 1983; FRENCH & HEGINBOTTOM [Hrsg.] 1983; RAWLINSON [Hrsg.] 1983). Dadurch ist die gesamte Literatur, aber auch bis dahin unveröffentlichtes Material, gut erschlossen worden.

Die Entwässerung der Brooks Range erfolgt über den Colville River bzw. von der Wasserscheide zwischen Itkillik River und Kuparuk River (ca. 148,5° W) nach Osten direkt zum Nordpolarmeer. Nördlich des Colville River liegt eine Wasserscheide (ca. 450-200 m ü. M.). Sie trennt eine, durch zahllose kleine und wenige große Seen und Buchten sowie mäandrierende Flüsse gekennzeichnete, breite Tieflandszone hydrologisch von den Einflüssen des Gebirges (AERONAUTICAL CHART 1992).

Geologisch wird das arktische Küstentiefland durch kretazische sowie marine tertiäre und marine quartäre Ablagerungen geprägt. Ferner sind fluviale Terrassen und äolische Schluff- und Sandablagerungen weit verbreitet. Hervorzuheben sind mächtige holozäne organische Auflagehorizonte (Torfe). Die Brooks Range ist aus wesentlich älteren paläozoischen Gesteinen aufgebaut (U.S. GEOLOGICAL SURVEY 1965).

Im Rahmen der Erkundung, Erschließung und Ausbeutung von Erdöllagerstätten sind im Bereich des North Slope ab 1944 umfangreiche geologische Kartierungen vorgenommen worden, so daß die geologischen Verhältnisse detailliert bekannt sind (BROSGÉ & WHITTINGTON 1966). Im Rahmen dieser Arbeiten wurden vor mehr als 50 Jahren auch die ersten Luftbilder aufgenommen (Senkrecht- und Schrägbilder. Insgesamt liegen beim U.S. GEOLOGICAL SURVEY fünf Schwarz-Weiß und drei Farb-Infrarot-Befliegungen der Jahre 1955, 1977, 1978, 1979 und 1980 vor. Ältere Aufnahmen befinden sich noch bei der U.S. NAVY). Neuere Ergebnisse zur Vergletscherung der Brooks Range und ihres nördlichen Vorlandes wurden von HAMILTON & REED & THORSON (1986) vorgelegt. Daraus wird deutlich, daß glaziale Ablagerungen nördlich der Brooks Range in ihrer weitesten Ausdehnung den Colville River nicht erreicht haben.

Schotterterrassen als korrelierte Ablagerungen der Vergletscherung wurden für die Gunsight Mountain Drift am Colville River und einige aus dem Gebirge kommende Nebenflüsse nachgewiesen (HAMILTON 1986: 15-17). Sie liegen zwischen 55 m (im Westen) und 85 - 100 m (im Osten) über dem heutigen Talboden, bei einer Horizontaldistanz (Luftlinie) von ca. 200 km. Diese Eintiefungsbeträge und die heutige Talbreite legen nahe, daß das Gebiet nördlich des Colville River seit mehreren hunderttausend Jahren unvergletschert gewesen ist.

Der North Slope ist mit baumloser Tundravegetation bedeckt. Lediglich in Schutzlagen der Flußtäler treten Weidengebüsche, an den Hängen auch Zwergbirken und Erlen auf. Das Klima wird durch Jahresmitteltemperaturen zwischen -12°C und -9°C und Jahresmittel der Niederschläge zwischen 110 und 240 mm gekennzeichnet. Die mittlere Juli-Temperatur erreicht an der Küste 4 - 5°C, im begünstigten Mackenzie-Delta 14°C. Sie läßt dort Nadelbäume zu. Die langfristigen Januar-Temperaturen dieses zwischen 68° und 71°

nördlicher Breite gelegenen Raumes erreichen Mittelwerte zwischen -29°C und -26°C (MÜLLER 1979).

4 Durchführung der Vorerkundung

Die nachfolgenden Beobachtungen wurden im Verlauf von fünf Reisen gewonnen (s. Abb. 1). Die erste (1984) führte von Howard Pass (Brooks Range, ca. 1500 m ü. M.) über den Etivluk- und Nigu-River zum Colville River bis in dessen Delta. Die zweite Reise (1987) begann in Norman Wells am Mackenzie und endete in Arctic Red River, an der Landstraße, über die Inuvik erreicht werden kann. Von dort schloß sich ein Flug zur Küste, nach Tuktoyaktuk, an. Die dritte Reise (1994) folgte der Küste der Beaufortsee von Prudhoe Bay bis Barrow. Die vierte (1996) führte erneut nach Umiat am Colville-River und endete in Nuigsut, auf der Westseite des Colville-Deltas. Die fünfte (1997) begann in Arctic Red River, am Endpunkt der Reise auf dem Mackenzie von 1987. Sie führte durch dessen Delta, dann entlang der Nordküste des Yukon-Territoriums zur Herschel Insel und weiter bis

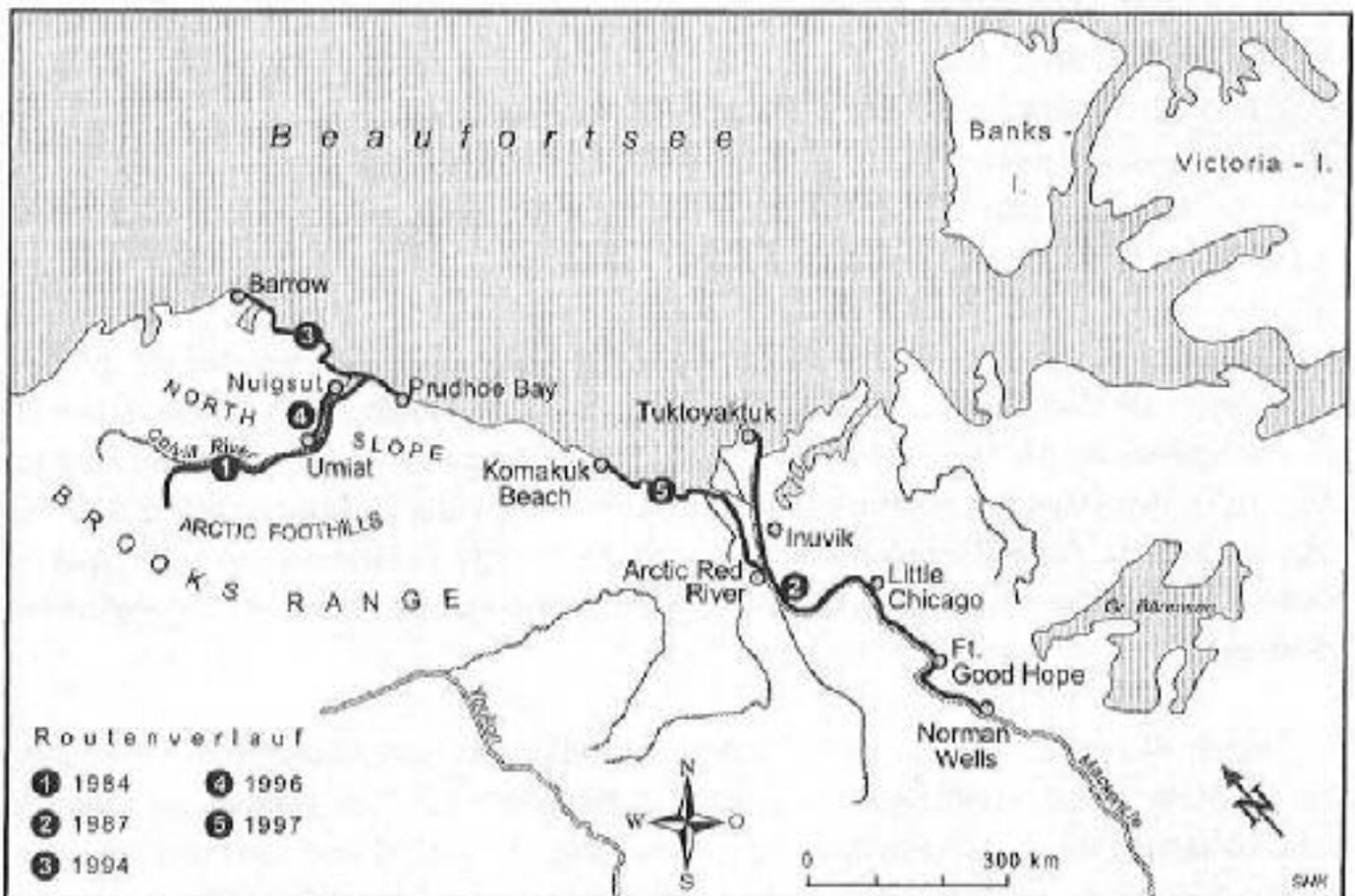


Abb. 1 Untersuchungsgebiet an der Nordküste Alaskas und Kanadas

Quelle: SCHULZE (1982: 80)

nach Komakuk Beach, 20 km östlich der Grenze zu Alaska. Bei dieser Reise wurden Teile des ehemals vergletscherten Gebietes durchquert und das pleistozäne Periglazialgebiet erreicht. Weitere Reisen an die Nordküste Norwegens (1993, 1998) waren mit geomorphologisch-bodenkundlichen Kartierungen verbunden und rundeten das Bild kryogener Formung ab.

Als Transportmittel wurde zumeist ein faltboot verwendet, das durch die maximal mögliche Zuladung Geländeaufenthalte auf eine Dauer von 5 - 6 Wochen begrenzt. Da pro Reise, mit Ausnahme der vierten, etwa 500 km zurückgelegt wurden, waren die erforderlichen Fahrstrecken leicht zu bewältigen, selbst wenn an manchen Tagen wegen starker Wellen oder ungünstiger Witterungsbedingungen die Weiterfahrt nicht möglich war. Die Zeit reichte aus, das Hinterland der Küste oder des Flußufers bis zu einer Tiefe von etwa 10 km zu begehen. Die Flüge zu den Ausgangs- und Endpunkten der Reisen boten den Überblick über die Reliefformen und das geomorphologische Gefüge. Wertvolle Ergänzungen lieferten die Auswertung von Literatur, von Karten sowie von Luft- und Satellitenbildern. (faltboot oder Schlauchboot sind für den Lufttransport sehr gut geeignet und können kostengünstig als Reisegepäck befördert werden.)

5 Ergebnisse

Die im Rahmen der Erkundung mit einem Boot gewonnenen Beobachtungen sind entlang von Fahrtrouten gemacht worden, die, im Gegensatz zu Straßen oder Flugrouten, mit geomorphologischen Prozeßräumen korrelieren. Entlang dieser Linien wirkt die fluviale oder marine Erosion und verschafft damit Einblicke, die in der Tundra sonst oft fehlen. Gleichzeitig wird der Beobachter mit einer extremen Morphodynamik konfrontiert, die im Gegensatz zur geringen Dynamik geomorphologischer und bodenkundlicher Prozesse im Hinterland steht. Es liegt daher nahe, für diesen durch tiefgründigen Permafrost gekennzeichneten Raum, von zwei unterschiedlichen geomorphologischen Systemen zu sprechen.

- Flächenhaft vorherrschend ist ein quasi-stabiles, durch periodische Permafrostdegradations- und -aggradationsprozesse gekennzeichnetes System, das durch die klimatischen Vorgänge angetrieben und durch veränderliche Eigenschaften der Erdoberfläche beeinflusst wird.
- Linienhaft ist an Flüssen, an fast der gesamten Meeresküste und manchen Seeufnern ein labiles System entwickelt, das zur irreversiblen Degradation des Permafrostes führt. Es wird durch die Thermoerosion des Wassers angetrieben.

Typisch für das labile System sind die horizontal in Vorsprünge und Buchten gegliederten Steilufer der Flüsse. Sie treten unabhängig von Höhe und Material der Ufer in auffällig regelmäßiger Ausbildung auf. Die zurückspringenden oberen Hangteile sind häufig halbtichterförmig entwickelt und weisen runsenartige Kleinformen auf. Die vorspringenden Teile sind anfangs tonnenförmig, später werden sie zu dreieckigen Formen des Mittelhangs reduziert. BÜDEL (1977: 73) beschreibt verwandte Formen aus Spitzbergen (dreiteiliger Frosthang). Die geomorphologischen Prozesse scheinen sich aber zu unterscheiden. Am Hangfuß wird das korrelierte Sediment der Abtragung kegelförmig aufgeschüttet. Am Colville River können solche Hänge bis zu 180 m hoch sein. In den zurückspringenden Trichtern findet sich nicht selten Winterschnee. Für ihre Entstehung sind die folgenden Prozesse verantwortlich.

Geht man von einem durch das Frühjahrshochwasser frisch zurückverlegten Steilufer aus, so bildet sich zuerst eine Vernässung im Oberhang (s. Foto 1, Ishukpak Bluff, 69°47' N, 151°32' W). Es handelt sich dabei um Schmelzwasser aus der Auftauschicht (Active Layer). Beziehungen zu Eiskeilnetzen müssen nicht bestehen, obwohl sie die Regelmäßigkeit der Abfolge von Vorsprüngen und Buchten erklären könnten. Am Ishukpak Bluff (69°47' N, 151°32' W) wurde im Sommer 1996 an einem wohl im gleichen Jahr abgestürzten 60 m hohen Steilufer mehr als 6 m mächtiges Ground Ice (Eisrinde) beobachtet. Die Durchfeuchtung der Oberhänge könnte dabei ganz generell aus dem Aufbrauch des Bodeneises stammen. Dafür sprechen auch Beobachtungen am Shivugak Bluff (69°26' N, 151°40' W) (s. Abb. 2), wo die nach Süden exponierte Kante der bei ca. 200 m ü. M. gelegenen Hochfläche, am Übergang zum Steilufer des Colville River, im Sommer auftaut (s. Foto 2). Wasserübersättigtes Material des Active Layer bewegt sich dann in den trichterförmigen Buchten des Oberhangs abwärts. Die von der Ferne als Runsen erscheinenden Kleinformen sind daher überwiegend rinnenartige Hohlformen von Murenbahnen, die seitlich von Wülsten begleitet werden. Die Akkumulationen am Hangfuß sind demnach Murkegel.

Abb. 2 zeigt die Umgebung des Shivugak Bluffs am Colville River (Bildmitte). Der Mittelwasserspiegel in der Flußbiegung erreicht etwa 60 m ü. M. Die regelmäßig überschwemmten Schotterplatten in der Flußaue liegen bei ca. 64 m ü. M. Südlich schließt eine Niederterrasse mit Höhen von bis zu 68 m ü. M. an. Sie wird von einem Terrassenniveau in ca. 100 - 110 m ü. M. begrenzt, in das der bohnenförmige See am unteren Bildrand und der östlich folgende, teils verlandete See ca. 25 m eingetieft sind (GOK ca. 83 m ü. M.). Weiter nach Süden steigt das Relief bis zum Niveau der "High-level terrace" auf über 150 m ü. M. an. Das Gebiet nördlich des Colville River steigt auf Höhen bis zu 240 m ü. M. an. Für den Shivugak Bluff können aus der topographischen Karte relative Höhen von 140 - 170 m abgelesen werden (U.S. GEOLOGICAL SURVEY 1955). Der Kulminationspunkt wird mit 240 m ü. M. in ca. 2,5 km Entfernung vom Fluß gemessen. Das

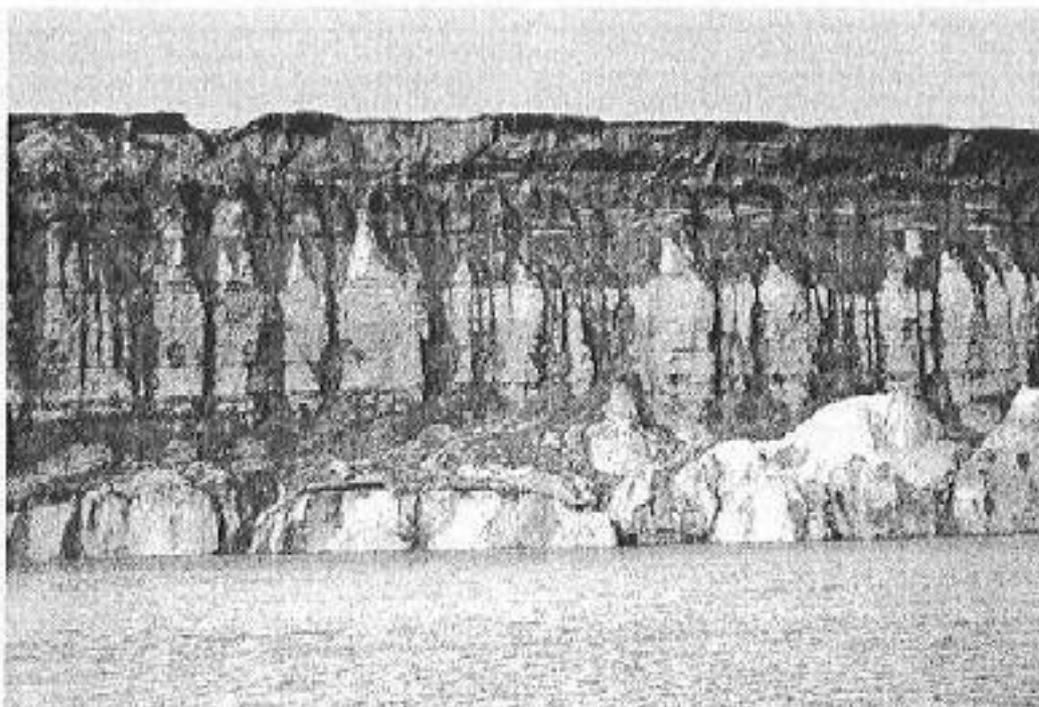


Foto 1 Ishupak Bluff (69°47' N, 151°32' W)

Im Frühjahr 1996 abgestürztes, ca. 60 m hohes Flußufer. 1984 war der Mittel- und Oberhang stark überhängend. Im oberen Abschnitt ist ca. 6 m mächtiges Ground Ice aufgeschlossen.

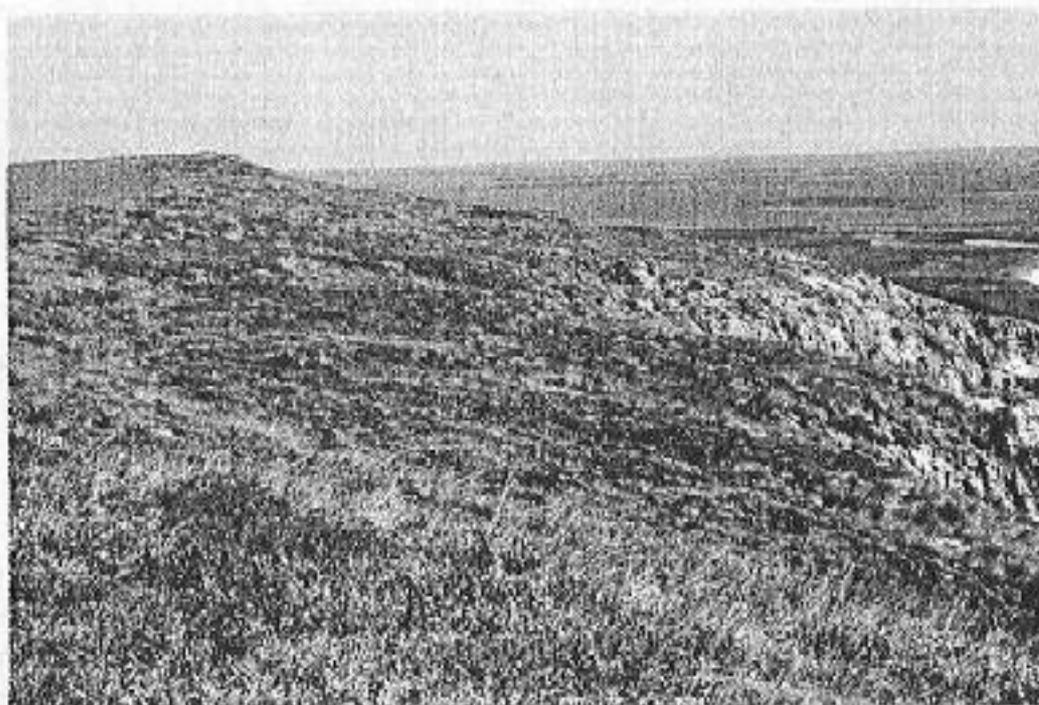


Foto 2 Shivugak Bluff (69°26' N, 151°40' W)

Die nach Süden exponierte, bei ca. 200 m ü. M. gelegene Kante, ist walmartig abgeflacht. Der Boden ist tiefgründig aufgeweicht und nicht begehbar. Der Stufenbildner ist freigelegt. Das Material des Active Layer fließt murartig ab.

Schichtstufenrelief wird von kretazischen Gesteinen gebildet. Stufenbildner sind feinkörnige Sandsteine mit zwischengelagerten Ton-, Schluff- und Kohleschichten (Kogosukruk tongue, Prince Creek Formation). Der Stufensockel besteht aus Schieferton und tonigem Sandstein der Schrader Bluff Formation (Sentinel Hill Member).

Die Regelmäßigkeit der Formen am Hang wirft die Frage nach ihrer Entstehung auf. Zusammenhänge mit Eiskeilnetzen waren nur bei Steilufern mit geringen Höhen nachweisbar. Die kilometerlangen hohen Bluffs am Colville River gehen aber, wie das Beispiel des Ishukpak Bluffs zeigt, eher auf kryogene Prozesse zurück (Aufbrauch der Rücklage durch Abschmelzen). Der extreme Wassergehalt des Ground Ice führt zur Bildung von Schlammströmen. Die Regelmäßigkeit geht möglicherweise darauf zurück, daß durch den initialen Abfluß zuerst hydrologische Trichter entstehen, die sich solange und so weit ausdehnen, bis sie von anderen, gleichzeitig entstehenden Trichtern begrenzt werden. Für eine mo-



Foto 3 Stufenbucht nördlich des Shivugak Bluffs

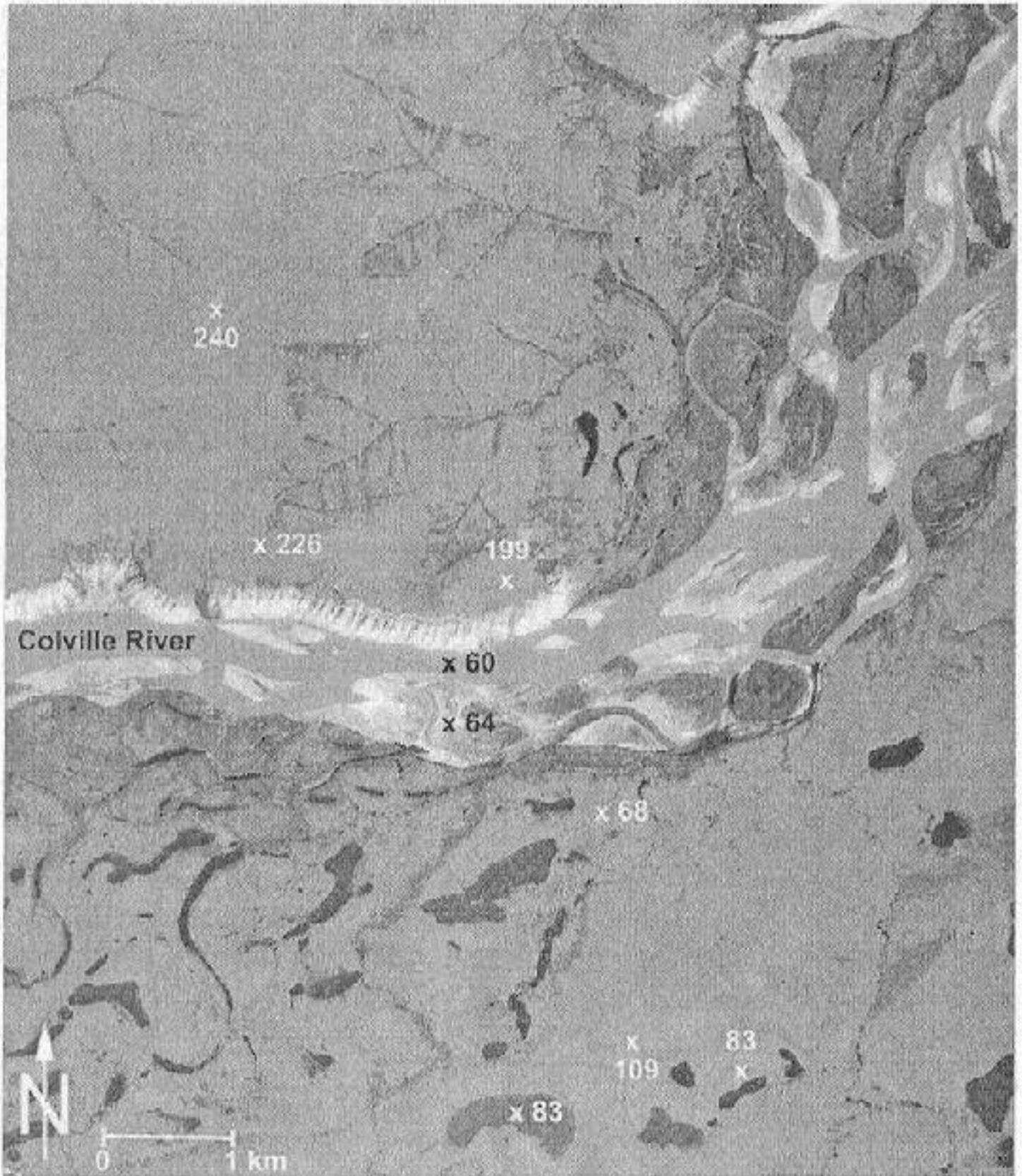


Abb. 2 Colville River und Shivaguk Bluff (69°26' N, 151°40' W)

Quelle: 5580 / 02787 ALK 120 B/W JUL 79, U. S. GEOLOGICAL SURVEY

dellhafte Prüfung dieser komplexen Vorgänge wäre besonders der Shivugak Bluff geeignet (s. Foto 4). Dieser Ausläufer einer zerlappten Schichtstufe (s. Foto 3) weist ferner einen nach Norden exponierten, pedimentartigen Hang auf. An seiner nach Osten gerichteten Flanke, die heute nicht vom Colville River unterschritten wird, ist eine Niederterrasse erhalten.

Das Panorama (Foto 3) zeigt die Stufenbucht nördlich des Shivugak Bluffs bis zu einer Tiefe von ca. 5 km. Unterhalb der Plateaukante treten Schneeflecken in Nivationsnischen und Weidengebüsche auf. Das Schmelzwasser fließt in Rinnen und flachen, die Hänge gliedernden Mulden ab. Die Hänge des Stufensockels sind mäßig geneigt.

Neben den speziellen Fragen des Eisauf- und -abbaus bieten sich hier gute Möglichkeiten für eine geomorphologische Detailkartierung (M 1:5 000 - M 1:25 000, Schichtstufen- und Schichttafelrelief, fluviale Terrassen, kryogener Formenschatz). Die Entfernung zum Flugplatz Umiat beträgt 20 km, ein Schlauchboot mit Motor wäre für den Materialtransport zum Arbeitsgebiet erforderlich, da nur Winterstraßen vorhanden sind.

Ein weiteres potentiell kartierbares Gebiet befindet sich in der Mündung des Kikiakrorak River (69°58' N, 151°38' W). Schon von der Mündung des Kogosukruk River (69°57' N, 151°36' W) können vom Colville River aus ehemalige und noch bestehende Auftauseen untersucht werden. Eine leicht zugängliche Flußterrasse mit Holz und Mammut-Resten bildet ein interessantes Gegenstück zu den von HAMILTON (1988) beschriebenen hohen fluvialen Niveaus. In dieser Region treten pleistozäne äolische Sedimente auf. Aus der breiten Flußbaue wird aber auch aktuell Sand und Staub ausgeweht.

In der Mündung des Kikiakrorak River ist auf kleinem Raum eine Abfolge von Flußterrassen erhalten, die auf den Colville River eingestellt waren. Von den jüngsten zu den ältesten fortschreitend sind unterschiedliche kryogene Kleinformen auf den Terrassenflächen entwickelt, so daß hier modellhaft die jüngeren Terrassenniveaus studiert werden können.

Vom Kikiakrorak River kann mit einem Boot leicht Nuigsut mit seinem Linienflugplatz erreicht werden.

Ferner wurde 1994 im Rahmen der Vorerkundung östlich von Lonely Air Port (70°51' N, 152°24' W) ein von der Küste aus leicht zugängliches Gebiet mit Alas-artigen orientierten Seen ermittelt (WASHBURN 1979: 272). Es weist einen extrem eisreichen Untergrund auf. Das besondere dieser Küste sind ungewöhnlich große Rückverlegungsbeträge, die durch den hohen Gehalt an Bodeneis bedingt sind.

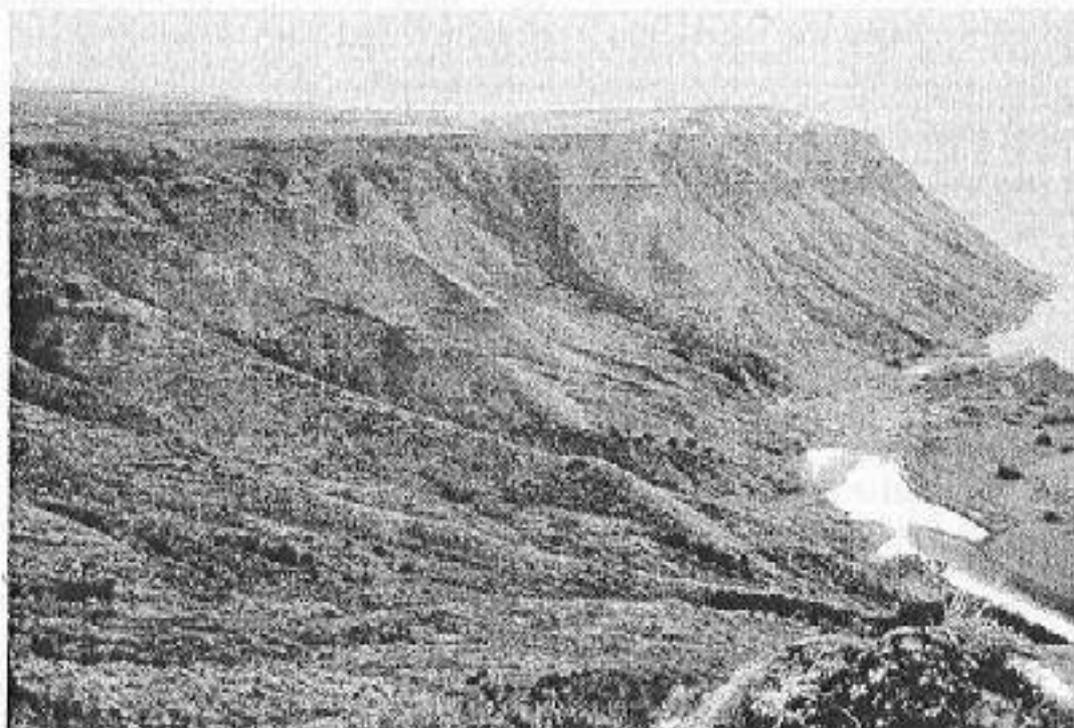


Foto 4 Shivugak Bluff (69°26' N, 151°40' W)

Überblick über das 140 m hohe Steilufer des Colville River. Die Hänge der buchtartigen Erweiterung im Vordergrund werden durch abgehende Muren zerriedelt.

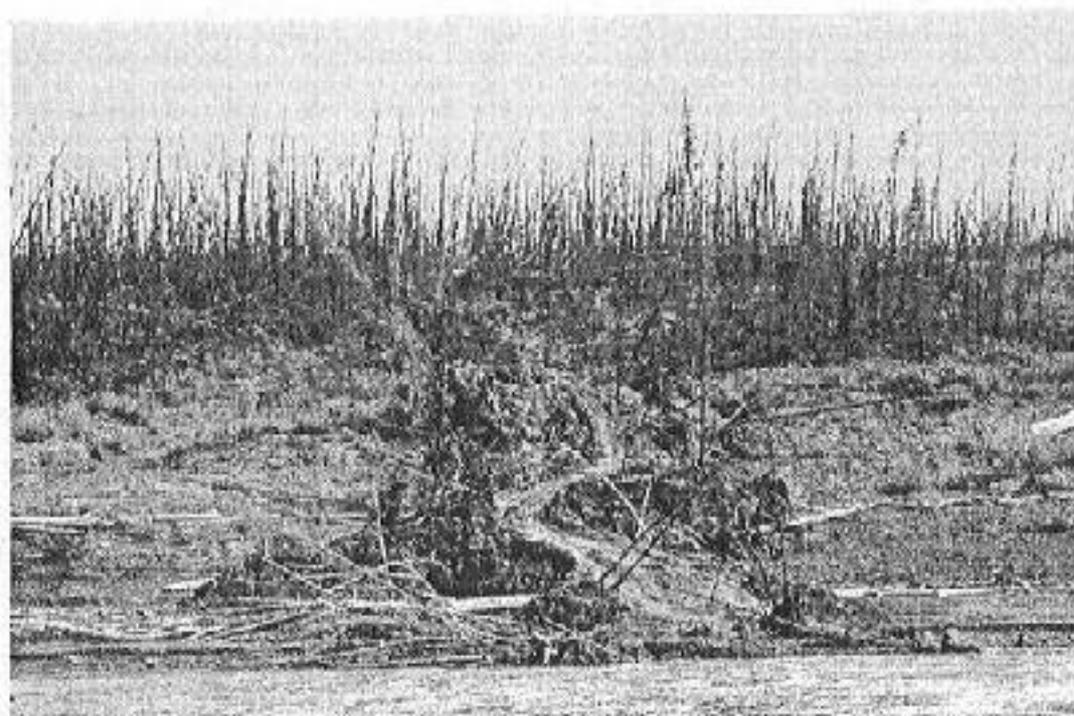


Foto 5 Durch Waldbrand verursachte Muren am Mackenzie zwischen Fort Good Hope und Little Chicago

Im Sommer 1987 traten am Mackenzie zwischen Fort Good Hope und Little Chicago, einem bewaldeten Permafrostgebiet, als Folge von Waldbränden hunderte derartiger Muren auf.

- Eine Zwischenstellung nehmen quasi-stabile waldbedeckte Permafrostgebiete im kontinentalen Bereich ein, die Bränden ausgesetzt waren.

Wenn die isolierenden organischen Auflagehorizonte verbrannt sind, kann es zum Aufschmelzen des Permafrostes und zur Bildung von Suspensionen und Schlammströmen kommen. Solche Vorgänge wurden am Mackenzie zwischen Fort Good Hope und Little Chicago vielfach beobachtet. Sie führen zu erheblichen Veränderungen der Erdoberfläche (s. Foto 5).

6 Zusammenfassung

Insgesamt erweist sich das Gebiet des North Slope, soweit der Untergrund eisreich ist, als sehr anfällig für thermisch gesteuerte kryogene Prozesse. Die in langen Zeiträumen gebildeten Rücklagen wirken, bildlich gesprochen, wie eine gespannte Schußfeder. Geringe Änderungen des Wärmehaushaltes können irreversible Abbauvorgänge einleiten, wie z. B. die schnelle Rückverlegung von Flußufern und Küsten. Dabei werden gleichzeitig den Flüssen und den küstenparallelen Strömungen erhebliche Feinmaterialfrachten geliefert. Damit es zu diesen Prozessen kommen kann, muß aber das Schmelzwasser abfließen können, d. h., es müssen geeignete Reliefverhältnisse vorliegen.

Ein ideales Gebiet für geomorphologisch-geokryologische Forschungen wurde mit dem Shivugak Bluff bei Umiat am Colville River ermittelt. Hier könnte Fragen des Eisauf- und Eisabbaus unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen nachgegangen werden. Die Grundlage dazu bildet die geomorphologische Detailkartierung einer Fläche von 4 x 12 km, entsprechend 12 Blättern der GMK 5 auf Luftbildkarte im Maßstab 1:5 000. Vorbereitend ist das umfangreiche Luft- und Satellitenbildmaterial sowie das digitale Höhenmodell auszuwerten und mit der vorliegenden Geologischen Karte im Maßstab 1:125 000 (BROSGÉ & WHITTINGTON 1966) zu verschneiden. Detailkartierungen dieses Maßstabes und mit der im Rahmen des GMK-Projektes entwickelten Methodik (LESER & STÄBLEIN 1975; PREUSS 1987) liegen vom North Slope bisher nicht vor. Die ausgewählte "Schlüsselstelle" quert das Tal des kleinsten der acht großen arktischen Flüsse, die in das Nordpolarmeer münden und erfaßt alle bekannten fluvialen Niveaus, die auf ihnen entwickelten kryogenen Formen und die randlich anschließende Schichtstufenlandschaft.

Literatur

- ANDRES, W. & PREUSS, J. (1983): Erläuterungen zur geomorphologischen Karte 1:25 000 der Bundesrepublik Deutschland, GMK 25/Blatt 11/6013 Bingen. - 69 S.; Berlin.
- BROSGÉ, W. P. & WHITTINGTON, C. L. (1966): Geology of the Umiat - Maybe Creek Region, Alaska. Exploration of Naval Petroleum Reserve n° 4 and adjacent Areas, Northern Alaska, 1944-53. Part 3, Areal Geology. - U. S. Geological Survey Professional Paper, 303-H: 501-598; Washington D.C.
- BROWN, J. & KREIG, R. A. [Hrsg.] (1983): Guidebook to Permafrost and related Features along the Elliott and Dalton Highways, Fox To Prudhoe Bay, Alaska. - 230 S.; Fairbanks.
- BÜDEL, J. (1977): Klima-Geomorphologie. - 304 S.; Berlin, Stuttgart.
- FRENCH, H. M. & HEGINBOTTOM, J. A. [Hrsg.] (1983): Guidebook to Permafrost and related Features of the Northern Yukon Territory and Mackenzie Delta, Canada. - 186 S.; Fairbanks.
- FYODOROV, J. S. & IVANOV, N. S. [Hrsg.] (1974): English-Russian Geocryological dictionary. - 127 S.; Yakutsk.
- HAMILTON, T. D. (1986): Late cenozoic glaciation of the central Brooks Range. - In: HAMILTON, T. D. & REED, K. M. & THORSON, R. M.: Glaciation in Alaska - the geologic record: 9-49; Anchorage (Alaska Geol. Soc.).
- HAMILTON, T. D. & REED, K. M. & THORSON, R. M. (1986): Glaciation in Alaska - the geologic record. - 265 S.; Anchorage (Alaska Geol. Soc.).
- LESER, H. (1992): Methodische und ökologische Aspekte im SPE-Projekt: Idee und Wirklichkeit. - In: BLÜMEL, W. D. [Hrsg.]: Geowissenschaftliche Spitzbergen-Expedition 1990 und 1991 "Stofftransporte Land-Meer in polaren Geosystemen". - Stuttgarter Geogr. Stud., 117: 401-416; Stuttgart.
- LESER, H. & DETTWILER, K. & DÖBELI, C. (1992): Geoökosystemforschung in der Elementarlandschaft des Kvikkaa-Einzugsgebietes (Liefdefjorden, Nordwestspitzbergen). - In: BLÜMEL, W. D. [Hrsg.]: Geowissenschaftliche Spitzbergen-Expedition 1990 und 1991 "Stofftransporte Land-Meer in polaren Geosystemen". - Stuttgarter Geogr. Stud., 117: 105-122; Stuttgart.
- LESER, H. & STÄBLEIN, G. (1975): Geomorphologische Kartierung. - Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Karten 1 : 25 000. - 2. veränd. Aufl., Berliner Geogr. Abh., Sonderh.: 39 S.; Berlin.
- MÜLLER, M. J. (1979): Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. - 346 S.; Trier.

- PREUSS, J. (1983): Pleistozäne und postpleistozäne Geomorphodynamik an der nord-westlichen Randstufe des Rheinhessischen Tafellandes. - Marburger Geogr. Schr., 93: 175 S.; Marburg/Lahn.
- PREUSS, J. (1987): Großmaßstäbige geomorphologische Kartierung auf Blatt 4 - 9672 L Asel (TK 25: 4819 Fürstenberg, Nord-Hessen). - Berliner Geogr. Abh., 42: 17-23; Berlin.
- RAWLINSON, S. E. [Hrsg.] (1983): Guidebook to Permafrost and related Features Prudhoe Bay, Alaska. - 177 S.; Fairbanks.
- REINWARTH, O. & STÄBLEIN, G. (1972): Die Kryosphäre - das Eis der Erde und seine Unterscheidung. - Würzburger Geogr. Arb., 36: 72 S.; Würzburg.
- SCHULZE, H. [Hrsg.] (1982): Alexander Weltatlas - Neue Gesamtausgabe. - 1. Aufl.: 226 S.; Stuttgart.
- SECTIONAL AERONAUTICAL CHART (1984): Blatt Point Barrow, Scale 1:500 000; Washington D.C.
- U. S. GEOLOGICAL SURVEY (1955): Blatt Umiat (B-3), Alaska, 1:63 360 Series (topographic), N6915-W15112/15x36. - Washington D.C.
- U. S. GEOLOGICAL SURVEY (1965): Geological Map of North America, Scale 1:5 000 000. - Washington D.C.
- VFR NAVIGATION CHART (1993): Blatt Mackenzie Delta, Scale 1:500 000; Ottawa.
- WALKER, H. J. (1983): Guidebook to Permafrost and related Features of the Colville River Delta, Alaska. - 34 S.; Fairbanks.
- WASHBURN, A. L. (1979): Geocryology - A survey of periglacial processes and environments. - 406 S.; London.