

Alpines Permafrostmilieu in der Lasörlinggruppe/Nördliche Deferegger Alpen (Osttirol)

Von Marianne Rolshoven*

Zusammenfassung: Südlich des Alpenhauptkamms, in den Nördlichen Deferegger Alpen, kommt Permafrost in diskontinuierlicher Ausprägung relief- und klimabedingt zwischen 2500 m und maximalen Kulminationen knapp unter 3200 m vor. Die MAAT-Werte liegen in diesem Höhenintervall zwischen -2°C und -6°C . Die Standortfaktoren, die das Auftreten und das horizontale Verbreitungsmuster der Permafrostsituationen in den beiden Teilbereichen Hochgebirgs- und Mittelrelief steuern, werden diskutiert.

Summary: In the northern Deferegger Alps, south of the main dividing ridge, discontinuous permafrost occurs due to landform and climate from 2500 m to the maximum elevations of just below 3200 m, with MAAT values ranging from -2°C to -6°C . The present paper discusses environmental factors influencing the occurrence and the horizontal patterning of permafrost situations in the two sections of high-alpine and medium reliefs.

1. EINFÜHRUNG

In den südlichen Vorlagen der Venedigergruppe, den Nördlichen Deferegger Alpen zwischen Virgental im Norden und Schwarzach-(Deferegger)-tal im Süden, stellen perennierende Schneeflecken und Blockgletscher innerhalb der Hochgebirgsstufe physiognomisch prägende Landschaftselemente dar. Blockgletscher sind neben „ice-cored moraines“ die einzigen auffallenden Permafrostkörper in Gebirgen der Mittelbreiten, während in höheren Breiten ein weites Spektrum von Formen, die über mehr als ein Jahr Negativtemperaturen aufweisen, vorhanden ist. Intakte Blockgletscher enthalten nicht nur Permafrost, sondern sie gelten wie perennierende Schneeflecken als positive Indikatoren für eine Permafrostsituation in der Umgebung.

Alpiner Permafrost i.S. von BARSCH ist besonders gut aus den Schweizer Alpen dokumentiert (FURRER & FITZE 1970, BARSCH z.B. 1977, HAEBERLI z.B. 1978). Für das Gebiet östlich der Ötztaler Alpen mangelt es noch an Beobachtungen. Dabei häufen sich im zentralen Westabschnitt der Lasörlinggruppe, im Umfeld der Neuen Reichenberger Hütte, oberhalb 2500 m Hinweise auf Permafrost in spezifisch alpinem Milieu.

Hier unterstreichen Grate, Wandstufen, Wände, kleine Hanggletscher und eine Massierung von Gipfeln um 3000 m den Hochgebirgscharakter, während gleichzeitig Mittelrelief im Intervall bis über 2800 m weit ausgedehnt ist (Abb. 1). Das Großrelief wird durch den Wechsel von Schichtkopfseiten mit verstärkter Schuttproduktion und sanft geneigten Schnittflächen, der den geologischen Bau im Übergang der Oberen Tauernschieferhülle zum Altkristallin nachzeichnet, charakterisiert. Aufgrund generellen Südfallens und EW-Streichens der Matreier Zone (Nordteil des kartierten Gebiets) und des Altkristallins (Keeseck 3173 m bis zur Finsterkar Spitze 3028 m) koinzidieren Wandbildung und Schattseiten. Abseits der Wände und der Akkumulationsgebiete im Wandfußbereich erfolgt die Auflösung des alpinen Rasens (i. a. *Caricetum curvulae*, seltener *firmiae*) weniger in der Vertikalen als in der Horizontalen zwischen 2500 und 2850 m. Schneetälchen finden sich auch in tieferen Lagen. Botanisch ist das Gebiet mit der Region der Schneeböden, der infranivalen und der subnivalen Übergangsstufe, geomorphodynamisch mit der oberen Stufe gesteigerter Frostschuttproduktion außerhalb von Gletschern identisch. Die Periglazialerscheinungen dieses Areal zeigen optimale Formendichte, Einzelformen- und Vergesellschaftungsvarianz (ROLSHOVEN

* Dr. Marianne Rolshoven, Lehrstuhl für Physische Geographie der Kath. Universität, Ostenstr. 26—28, 8078 Eichstätt.

1977). Die Schneegrenze liegt heute in Nordexposition bei 2900 m. Eine klassische Schneefleckenlandschaft ist besonders in den glazigen überformten, wohl jungtertiären Verflachungsbereichen der Senten Böden entwickelt (Abb. 1, Fotos bei BERGER 1967).

Aktive Blockgletscher im Wandfußbereich vergesellschaftet mit Schneeflecken, die Schneefleckenlandschaft im Bereich der Verflachungen sowie Gipfelhöhen bis zu 300 m oberhalb der Schneegrenze lassen nach den Erfahrungen aus anderen Alpentteilen auf die Existenz von zumindest diskontinuierlichem Permafrost sowohl im Hochgebirgsrelief der Wände und Wandfußbereiche als im Mittelrelief auch abseits von eigentlichen Permafrostkörpern, wie Blockgletschern, amorph im Untergrund schließen.

2. NACHWEIS UND VERBREITUNG VON PERMAFROST

Um eine Vorstellung vom räumlichen Verbreitungsmuster zu gewinnen, wurden Zeigerphänomene, Blockgletscher und perennierende Schneeflecken, auf ihre Beziehung zu Permafrost untersucht. Dazu kamen lokal Messungen von Boden- und Wasser-(Quell-)temperaturen, Grabungen und Bohrungen.

Die Blockgletscher im Kartenausschnitt (Abb. 1) liegen unterhalb von nordexponierten Wänden mit Vertikalerstreckungen zwischen 150 und 300 m im Bereich des Altkristallin von Panargenkamm und Finsterkar und im Serpentin der Oberen Schieferhülle (Gösleswand P. 2912). Im Gegensatz zu den Blockgletschern der Südauslagen außerhalb des hier abgebildeten Kartenausschnitts besteht kein unmittelbarer Zusammenhang mit heutigen oder älteren Gletschern. Hier ist die Blockgletscherentwicklung ausschließlich an Sturzhalden gebunden. Die Formen kommen überwiegend vergesellschaftet vor. Neigung und Ausdehnung der Akkumulationsbasis am Wandfuß bestimmen das Längen-Breitenverhältnis.

Die sehr deutlichen Fluidalstrukturen werden durch perennierende oder lang konservierte Schneesreste hervorgehoben. Die Blockgletscher sind insgesamt aktiv. Bewegungsmessungen am Blockgletscher Fin

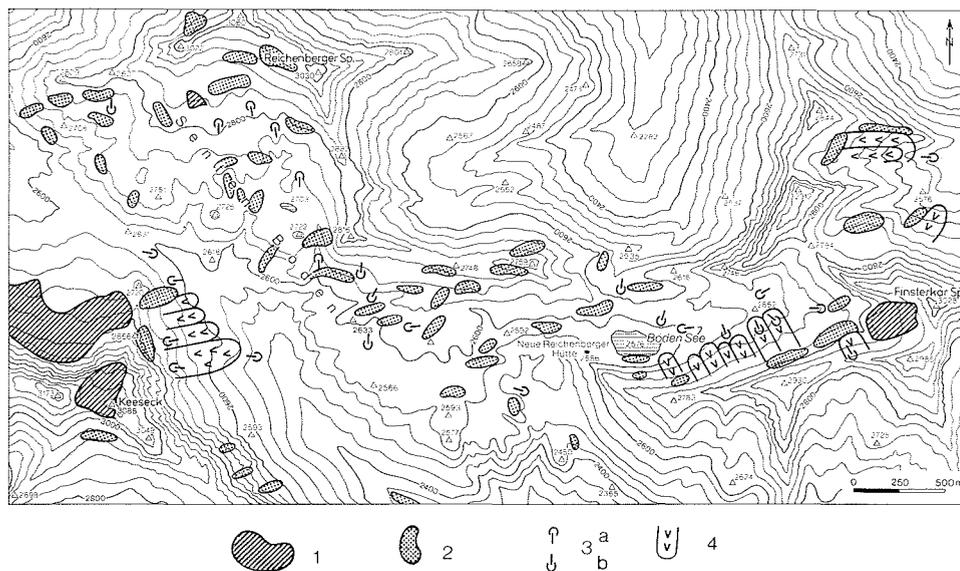


Abb. 1: Blockgletscher, Schneeflecken und Wassertemperaturen in den Nördlichen Deferegger Alpen. 1: Gletscher, 2: Schneeflecken, mittlere Ausdehnung Anfang September 1970—1981, 3: (Lage der Signatur bezogen auf das Oberflächengefälle) Wassertemperaturen i. a. von Quellen (a) 0—1 °C (b) > 1 °C, 4: Blockgletscher.

Fig. 1: Rock glaciers, snow banks and water temperatures in the northern Deferegger Alps. 1: glaciers, 2: snow banks, average area early September 1970—1981, 3: water temperatures generally of sources (a) 0—1 °C (b) > 1 °C, 4: rock glaciers.

sterkar (nördlich P. 2930) mittels farbiger Steinreihen haben zwischen 1973 und 1977 Hinweise auf eine jährliche Bewegungsrate gegeben, die im dm-Bereich angesiedelt ist. Dabei können durchaus, wie beim Blockgletscher Gamsköpfl (SE P. 2720), weniger aktive Partien überfahren werden. Weitere Kriterien für Aktivität sind scharfe Konturen trotz labiler Lagerung des Schutts, Feinmaterialanreicherung in den Randpartien und entsprechend den Reliefgegebenheiten ein erkennbarer Übergang zu Sturzschutt oder — weitaus häufiger — ein deutliches Absetzen zur Umgebung. Am Blockgletscher Gamsköpfl wurde in randlichen Partien Eisenlagerung zwischen 1970 und 1981 immer wieder sichtbar. Entsprechendes wurde bei den übrigen Loben nicht gefunden.

Auf die Existenz von Permafrost deutet sicht- und hörbar oberflächennah abfließendes Wasser, häufig Schmelzwasser aus den Firnflecken und Lawinenschneeresten oberhalb der Blockansammlungen, hin. Quellen im Stirnbereich sind in Abb. 1 nicht aufgeführt, da sie in den Zeiträumen der Beobachtung, i. a. in der ersten Septemberhälfte, fallweise Ende Juli bis Mitte Oktober, anscheinend witterungsabhängig episodisch, dann aber mit geringer Schüttungsmenge und ausgesprochener Tagesperiodik flossen. Temperaturmessungen ergaben im Finsterkar und im Gamsköpfbereich Temperaturen zwischen 0,3 und 1,8 °C, also immer unter 2 °C. Der Stirnwulst des Blockgletschers Gösleswand wird in den meisten Sommern nicht schneefrei, fließendes Wasser wurde in der Front nicht beobachtet.

Die aktiven Blockgletscher geben die Minimalverbreitung von Permafrost auf den Schattseiten an. Im allgemeinen ist im Gebiet der Neuen Reichenberger Hütte unterhalb der Blockgletscher kein Permafrost zu erwarten, wenn man die gravitative Bewegungskomponente der Loben in Rechnung stellt.

Das Auftreten von zahlreichen perennierenden Schneeresten im unmittelbaren Einzugsgebiet, in den Sturzhaldenakkumulationen, weist auf größere Ausdehnung von Permafrost hin. So wurde 1980 beim Schaffen eines künstlichen Aufschlusses in einer aktiven Sturzhalde über dem Blockgletscher Gamsköpfl in 2740 m Eis sichtbar. Die Sturzhalde war in sich und am Fels noch nach Mittag festgefroren. Da die Rückwände oberhalb der Blockgletscher in den Sommermonaten täglich beobachtbar Frostschutt liefern, sind für Wandpartien v. a. mit wachsender Höhenlage negative Temperaturen im tieferen Fels zu postulieren. Diese Annahme deckt sich mit der Existenz eines Bergschrunds im Steilbereich des westlichen Daber Keeses, nördlich des Keeseck (P. 3173) und nur noch am westlichen Kartenrand peripher erfaßt. Für Permafrost in höheren Lagen bildet mountain top detritus (grat- und gipfelnaher Frostschutt) im Bereich dieses Gipfels einen Anhaltspunkt. (Zur Zeigerfunktion von mountain top detritus vgl. HAEBERLI 1975).

Gebietsspezifisch eher unbedeutend sind zwei weitere eng begrenzte Permafrostsituationen innerhalb des Teilbereichs der Gipfel und nordexponierten Wände. Am windexponierten Rotermann Törl (2997 m) westlich des in der Abb. 1 erfaßten Gebiets, wo die Winterschneedecke stark verblasen wird, wie die große Wächte südlich des Jochs zeigt, wurde Permafrost in der ersten Septemberhälfte 1978 bei 70 cm Tiefe erbohrt. Auf der Bodenoberfläche hatte sich Kammeis gebildet. Im rezent, um 1920, eisfrei gewordenen Gletschervorfeld des Daber Keeses kommen in einer Höhe um 2420 m isolierte Makrostrukturbodenformen eisunterlagert oder mit Steinkern vor. Temperaturmessungen der Steine ergaben Werte zwischen -2 °C und $-3,4\text{ °C}$. Grabungen in der Moräne abseits der Sortierungsformen ergaben in der entsprechenden Tiefenlage und tiefer keinen Hinweis auf Dauerfrost. Es ist anzunehmen, daß diese Steine, die 20 bis 30 cm unter der Moränenoberfläche liegen, eine derzeitige punktuelle Untergrenze eines Auftaubodens über einem Toteisrest markieren.

Auf den nordexponierten Seiten ist im Kartierungsgebiet in Lockermaterialakkumulationen bei Einzugsgebietshöhen, die in die Frostschuttstufe reichen, oberhalb 2530 m mit Permafrost zu rechnen. Die reliefbedingte Obergrenze der Schutt- und Lawinenschneeansammlungen am Wandfuß, die als Gunstfaktoren für Permafrostkonservierung und -bildung anzusehen sind, bildet keine Obergrenze von Permafrost in Lockermaterial. Im gletscherfreien Gipfelbereich bis knapp 3200 m kann mountain top detritus auftreten. Im Areal der Felswände und -grate, dem Liefergebiet von Frostschutt für die Schuttmassentransport-

systeme unterhalb, ist Permafrost möglich, im Raum des Keeseck wahrscheinlich.

Sind auf den nordexponierten Seiten Blockgletscher Leitformen des Permafrostbereichs, übernehmen in der zentralen, nach SE offenen Ausraumzone der Senten Böden und im Finsterkar perennierende Schneeflecken eine Zeigerfunktion. Schneeflecken wurden im Zeitraum 1970—1981 jeweils in der ersten Septemberhälfte im Maßstab 1:10000 kartiert (Abb. 1). Bei großer Lagekonstanz in lockermaterialerfüllten Nivationsnischen, Mulden und Wannen zeigten sich witterungsabhängige Varianzen der Ausdehnung und der Schneemächtigkeit.

Kontrollgänge in den Oktobermonaten der Jahre 1970, 1977, 1979 und 1981 machten deutlich, daß v. a. Schneesreste unterhalb 2600 m bei Zunahme von Tagen mit Strahlungswetter in der zweiten Septemberhälfte wegtauen können. Oberhalb 2600 m finden sich perennierende Schneeflecken mit dem charakteristischen Eisabschluß zur Bodenoberfläche. In manchen Jahren reduziert sich im Endsommer/Frühherbst die Mächtigkeit des Profils auf diese Grenzschicht, unter der das Wasser während der Tauperiode flächenhaft abfließt. Die Beziehung solcher Schneesreste zu Permafrost ist häufig beschrieben worden (FURRER & FITZE 1970, HAEBERLI 1975) und wurde hier durch Grabungen unter zwei Vorkommen perennierenden Schnees (2750 m, 2840 m) bestätigt. Die Mächtigkeit der Auftauschicht war in beiden Fällen unter Eis geringer als 20 cm, sie nahm mit Entfernung vom Schnee rasch zu.

Charakteristisch für solche Situationen ist das Auftreten großer Felder der Bodenmusterung und -sortierung im Schutt mit arktischen Formen, die in den Alpen nicht oder kaum bekannt sind (ELSASSER 1968, STINGL 1974, Abb. 2). Makrostrukturbodenfelder und Spaltenböden treten in den wannenartigen Vertiefungen der Senten Böden in großem Ausmaß ab und um 2700 m auf. Die starke Wasserdurchdrängung in den Strukturbodenfeldern erschwert und verfälscht Temperaturmessungen in der Lockermaterialschicht. Auch die Grabungen werden durch rinnendes Wasser behindert. Nach den Ergebnissen aus Bohrungen und Grabungen lag der Permafrostspiegel Ende September 1977 und 1979 unter

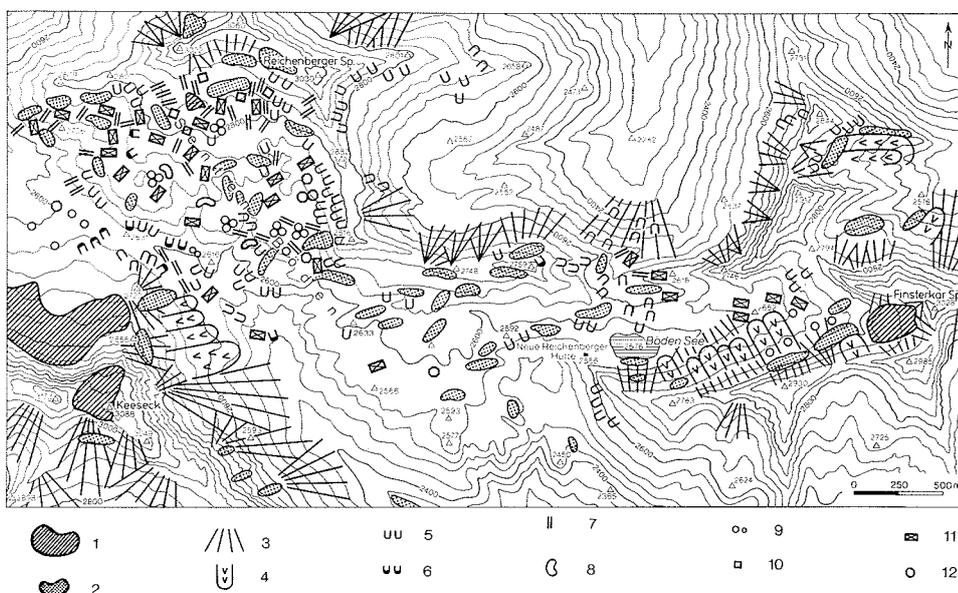


Abb. 2: Periglazialerscheinungen im Fels-Schutt-Bereich der Nördlichen Deferegger Alpen. 1: Gletscher, 2: Schneeflecken, mittlere Ausdehnung Anfang September 1970—1981, 3: Sturzhalden, 4: Blockgletscher, 5: Schuttloben, 6: Schuttloben, sortiert, 7: Steinstreifen, 8: Mäanderstreifen, Kometschweife, 9: Steinringe, 10: Steinrosetten, 11: Pflasterböden, 12: Spaltenböden.

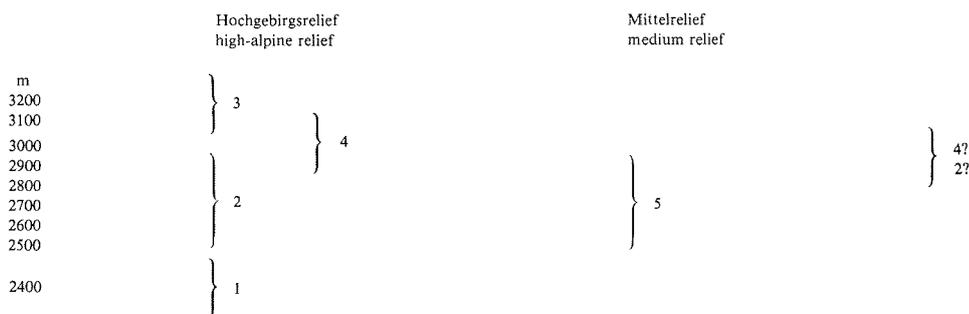
Fig. 2: Periglacial features in the high-altitude belt of the northern Deferegger Alps. 1: Glaciers, 2: snow banks, average area early September 1970—1981, 3: taluses, 4: rock glaciers, 5: gelifluction lobes, 6: gelifluction lobes, sorted, 7: sorted stripes, 8: stone pits, 9: sorted circles, polygons, 10: stone packings, sorted, 11: packed stone „dallages“, 12: nonsorted polygons.

den perennierenden Schneeflecken mit Eisunterseite in 2750 und 2840 m Höhe zwischen 1,10 m und 1,30 m tief, unter Makrosteinnetzen in 2680, 2700 und 2886 m Höhe immer tiefer als 1,30 m mit einer durch die Durchfeuchtung bedingten möglichen Fehlerquote bis 20 cm. Die Mächtigkeit der Auftauschicht variiert Ende September bei ähnlichen Lagebedingungen, unterhalb von perennierenden Schneeflecken, Hangneigungen weniger als 6° und Entwicklung einer ausreichend mächtigen Lockermaterialauflage, in der Horizontalen kaum. Die Makrostrukturbodenfelder über mächtiger saisonaler Auftauschicht der ebenfalls tief reichenden Verwitterungsdecke zeugen von einem Kältereservoir in der Tiefe mit der dazugehörigen Morphodynamik und können innerhalb der Schneefleckenlandschaft als Indikatoren für Permafrost herangezogen werden (FURRER 1955, ELSASSER 1968, VORNDRAN 1972, HAEBERLI 1975).

Die Minimalverbreitung von Permafrost im Kleinrelief der Senten Böden ist durch das Auftreten von perennierenden Schneeflecken, von Makrosteinringen und Spaltenböden über größere Areale oberhalb 2600 m charakterisiert. Im höchsten Höhenstockwerk des Mittelreliefs, um 2850 m, finden sich die typischen Mulden der tieferen Stufen nicht. Trotz zunehmender Grobmaterialanreicherung, in der Steinrosetten, „stone packings“ und Pflasterböden ausgebildet sind, fließt Wasser bei mittleren Hangneigungen bis 11° flächenhaft ab. Das Wasser kommt aus schwachen Quellen am Fuß der solifluidal überformten, mäßig aktiven Schutthaldensäume zwischen Reichenberger (P. 3030) und Rosen Spitze (P. 3022) und zu einem großen Teil aus den Schneefeldern der höchsten Verflachung. Gefrorener Untergrund fungiert auch als Wasserstauer in einer übertiefen abflußlosen Wanne (2700 m), die ebenfalls im „rezenten Schutt“ (Geologische Karte 1:25000 Defereger Alpen) angelegt ist. Hier bildet sich mit Beginn der Aperzeit ein See, dessen Spiegel teilweise über ein Strukturbodenvorkommen reicht. Mitte bis Ende August, mit dem Absinken der Auftaufont, entleert sich der See durch langsames Versickern. Etwa 2 m tiefer tritt das Wasser diffus aus dem Grobschutt der östlichen Randbegrenzung der Mulde aus. Die durchwegs kalten Wassertemperaturen sowohl der schwachen Schuttquellen als auch des Schneeschmelzwassers bleiben nach einer Laufstrecke von 500 m unter 2° (Abb. 1). In Höhenlagen zwischen 2600 und 2900 m erscheinen diese Werte bei wolkenfreiem Himmel am frühen Nachmittag und nach Laufstrecken von mehreren 100 m zu gering und gehen sicherlich auf den unterkühlenden Effekt von Permafrost im Untergrund oder im Ursprungsgebiet zurück. Wenn das flächig rinnende Wasser die Sammelstränge des Abflusses in den süd- und südostexponierten Hanglagen erreicht, erfolgt dagegen sehr rasch Erwärmung. Im Oktober 1981 setzte nach einer tagelangen Kälteperiode das Fließen des Wassers aus, die Schuttquellen versiegten, während die tiefer gelegenen wärmeren Quellen am Rudolf-Tham-Weg Eisbildungen bei andauernder Schüttung aufwiesen.

Mit großer Wahrscheinlichkeit ist Permafrost außerhalb der Strukturbodenmulden besonders im obersten Höhenbereich des Mittelreliefs nicht nur punktuell, sondern lokal verbreitet. In den süd- und südostexponierten Schutthalden und Wandarealen zwischen Reichenberger und Rosen Spitze (zwischen P. 3030 und P. 3022) ist Permafrost im Detritus möglich, im Anstehenden nicht wahrscheinlich. Einen Hinweis auf Frostwechseldynamik geben die kleinen Murschübe, die bei hoher Tageserwärmung noch Mitte September über die Schutthalden ab- und in Schneefelder hineinfahren. Eine Gleitschicht bildet die jeweilige Untergrenze des Auftauens, doch kann vermutlich Dauerfrostnis ausgeschlossen werden. Unterhalb 2600 m kommt Permafrost im Areal des Mittelreliefs auch in Schneetälchen diskontinuierlich nicht vor. Auch bei einer Grabung für die Wasserversorgung der Neuen Reichenberger Hütte im Jahr 1970 westlich des Bödensees auf 2580 m Höhe wurden bis 3,50 Tiefe keine Hinweise auf Dauerfrostboden gefunden. Dasselbe gilt für die Ausschachtungsarbeiten anlässlich der Hüttenerweiterung vor drei Jahren.

Permafrost tritt im Fels-Schutt-Bereich der Senten Böden ab 2650 m auf. Die Obergrenze der potentiellen Verbreitung im Lockermaterial ist reliefabhängig bei 2900 m anzusetzen. In den kleinen Wänden oberhalb mit Gipfelhöhen um 3000 m ist Permafrost dem Anschein nach nicht vorhanden, obgleich sicher auch hier ein wärmemindernder Einzelgipfeffekt die Temperaturgunst der Südexposition teilweise kompensiert. Die Übersicht (Tab. 1) stellt die potentielle Vertikalverbreitung für die beiden Teilbereiche Hochgebirgs- und Mittelrelief zusammenfassend gegenüber. Die Obergrenze ist mit der maximalen Ge-



Tab. 1: Potentielle Permafrostverbreitung in der Lasörlinggruppe in Abhängigkeit von Höhenlage und Relief. 1 = Gletschervorfeld, 2 = Blockgletscher, Sturzhalden, 3 = Gipfel, Jöcher, 4 = Wände, 5 = Mittelrelief.

Tab. 1: Potential hypsometric distribution of permafrost in the Lasörlinggruppe depending on elevation and relief. 1 = pre-snow morainic area, 2 = rock glacier, talus, 3 = summits, cols, 4 = walls, 5 = medium relief.

biethöhe identisch, die Untergrenze allgemein von Temperaturgang und Temperaturwerten sowie von speziellen strahlungsmindernden Standortfaktoren abhängig.

3. RAHMENBEDINGUNGEN

Diskontinuierlicher Permafrost kommt in der Hochgebirgsregion der Lasörlinggruppe in enger räumlicher Verbindung zu aktiven frostwechseldynamischen Prozeßformen vor. Wie bei diesen ist die Verteilung der Permafrostvorkommen im untersuchten Raum Abbild dominanter Standortfaktoren, die das horizontale Verbreitungsmuster steuern (dazu auch IVES 1976). Die Art der Permafrostsituation, Permafrostausprägung als Blockgletscher oder amorph als Eisanreicherung bzw. als „dry permafrost“ mit langfristig negativer Temperaturtendenz im Untergrund, ist Ausdruck des Reliefs und der hydrologischen Gegebenheiten, eine Folge der Existenz und Verteilung von Verflachungen mit Akkumulation und freiem Fels mit Abtrag. Den Zusammenhang Relief—Formenausprägung oder nicht verdeutlicht Tab. 1. Die unterschiedliche Ausprägung des Permafrosts mit der Höhe illustriert hier keine klimaabhängige Vertikalgliederung des diskontinuierlichen Permafrostbereichs, sondern sie folgt aus der Reliefkonfiguration.

Grundvoraussetzung für Permafrost in den Mittelbreiten ist Reduktion der breitenlageabhängigen Wärmestrahlungssummen auf Werte, die denen im zonalen Permafrostbereich korrespondieren. Minimumfaktor für die Existenz von Permafrost außerhalb der hohen Breiten ist eine lokal oder regional ganzjährig im Mittel defizitiäre Bilanz des Temperaturverhaltens. Diese hängt vom Temperaturklima in der entsprechenden Höhenlage, von der Minderung der astronomisch möglichen Sonnenscheinintensität und -dauer und — in bezug auf die diffuse Strahlung — von den Neigungswinkeln der Relieffacetten ab.

Sonn- und Schattseitengegensätze sind in WE-Tälern im Hochgebirge der Mittelbreiten besonders stark. Im Untersuchungsgebiet bewirkt die Koinzidenz von Nordexposition und Schichtkopfseite das im Vergleich zu Südexpositionen nicht an Gletscher gebundene 400 m tiefere Auftreten von Permafrost in Form von Blockgletschern. Die Konstruktion von Beschattungsprofilen für den Tageshöchststand der Sonne jeweils am 21. 12., 21. 3./23. 9. und 21. 7. ergab, daß die Blockgletscher vom Frühsommer bis zum Herbst in der Mittagszeit der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind. Auf den Oberflächen von Muskovit- und Helglimmerschiefern des Lobus Gamsköpfl wurde Anfang September bei wolkenfreiem Himmel zwischen 15.00 und 16.00 Uhr Temperaturen zwischen 31 °C und 34 °C gemessen, Werte, die um den 21. 7. noch übertroffen werden dürften. Auf das System Wand-Schnee-Blockgletscher wirken sich diese kurzperiodischen Oberflächentemperaturerhöhungen sicher nicht aus. Die Kaltluftventilation innerhalb der großen Blöcke im Wandfußbereich eliminiert, stabile Verhältnisse vorausgesetzt, solche kurzfristigen Tagesphasen rasch.

Eine entscheidende Rolle für die Ausprägung der Blockgletscher spielt vor dem Materialfaktor die Lage-situation. Zwar ist die Mehrzahl der Blockgletscher im grobblockig zerfallenden Material des Altkristal-lin (Schiefergneise, Zweiglimmerschiefer im Finsterkarrahen, Muskovit- und Hellglimmerschiefer im Panargenkamm) und der Matreier Zone der Oberen Schieferhülle (Serpentin der Gösleswand) besser ent-wickelt als die Formen im feinstückigen Detritus der Matreier Glanzschiefer und der Kalkglimmerschie-fer, doch die Blockgletscherausbildung ist auf den Schattseiten nur dann optimal, wenn die Form quer zur Längsachse eines engen, dreiseitig überhöhten Tals fließt. Der Blockgletscher Gamsköpfl wird im Westen und Norden vom steilen Südhang der Senten Böden überhöht. Die Loben im Finsterkar und der Blockgletscher Gösleswand werden von Osten und Norden eingerahmt. Da die Schnee- und Firnflecken in Ost-, West- und Nordexposition die nächtliche Ausstrahlungsintensität erhöhen, wirkt sich bei Verzäh-nung von Tal- und Hangwindzirkulation die relative Temperaturerniedrigung infolge des Talendeffekts zusätzlich zur Schattseitenlage kühlend auf das Blockgletschermilieu aus.

Alle Blockgletscher tragen Flechtenspuren auf den Rücken, Hinweis auf — windverursachte — Schnee-freiheit einiger Partien, die in der kalten Jahreszeit besonders tiefe Frosteindringung gestattet, während die perennierenden oder lang konservierten Schneeflecken auf dem Blockgletscher und in seinem Ein-zugsbereich im Sommerhalbjahr die Einstrahlung herabsetzen und den Wasser-Eis-Haushalt beeinflus-sen. Schneedecken- und Aperlereiche wirken saisonal komplementär.

Die Überhöhung der weiträumigen Senten Böden wirkt sich während der morphodynamisch aktiven Zeit der oberen Verwitterungsschicht in den tiefegelegenen südlichen Partien kaum, in den höheren nördlichen gar nicht aus, wie die Beschattungsprofile für die Mittagszeit und Stichproben mit dem Horizontoskop nach Tonne bestätigen.

Die untersten Hinweise auf Permafrost zeigen sich im Vergleich zur Schattseite nur ca. 100 m höher, im Vergleich mit den aktiven Blockgletschern in Karen der Panargensüdseite mindestens 300 m tiefer. Dies gilt allerdings nicht generell für den ganzen Höhenbereich, sondern für die Mulden mit perennierendem Schnee und Makrostrukturböden über mächtiger Verwitterungsdecke. Die fast geschlossenen Hohlfor-men liegen im Durchschnitt 2 bis 5 m unter dem Niveau der Umgebung. Innerhalb dieser Wannen zeich-net das Ausaperungsmuster des lang konservierten und des perennierenden Schnees vorwiegend nieren-bis bohnenförmig im Lee der Nord-, Süd- oder Westränder die Beschattungsverhältnisse im Kleinrelief nach. Zur weiteren Verstärkung der frostbodenklimatischen Verhältnisse in den Mulden trägt deren Funktion als Sammelbecken für Kaltluft bei, sei sie autochthon als Ergebnis der nächtlich über den Schneeresten der Mulden intensivierten Ausstrahlung, sei sie allochthon als Ergebnis des Kaltluftflusses aus den höheren Gebieten des Mittelreliefs und der Gipfelumrahmung.

Die Facetten des Reliefs sind, wie deren Einzelaufnahme 1970 ergeben hat, generell ost- bis südost-exponiert. Die intensive und langfristige Durchfeuchtung und die Ebenheit der Standorte relativiert die Temperaturgunst dieser Auslagen, die optimal bei Hangneigungen über 20° und unter 30° zum Tragen kommt. Südlich der Reichenberger Spitze reicht Bewuchs inselhaft an Hängen mit Neigungswinkeln im Spektrum von 31° bis 34° und in Süd- bzw. Südostexposition bis 2800 m. Bereits aufgrund der Existenz von alpinem Rasen, der auch Produkt des bodennahen Klimas ist (LÜTSCHG-LÖSCHER 1947), ist Permafrost in solchen Positionen auszuschließen. In den nahezu ebenen Innenbereichen der Hohlformen mit dem geringst möglichen Strahlungsgenuß der Facetten dieser Expositionen geht als Folge eines Selbstver-stärkungseffekts hohe Feuchtigkeit einerseits auf den Wasserstauer, Permafrost, zurück, andererseits wirkt diese über die Temperaturbeeinflussung (Verdunstungskälte) der bodennahen Luft auf die Boden-temperatur und somit permafrostbegünstigend.

Die Rolle der Schneedecke für Permafrost ist ambivalent (dazu VORNDRAN 1972, HAEBERLI 1973, HARRIS 1981). Eine lange Schneedeckendauer wirkt generell dann permafrostgünstig, wenn die Winter-schneedecke eine kritische Höhe, bei der Frosteindringung noch möglich ist, d. h. i. a. maximal 100 cm nicht überschreitet. Zu große Mächtigkeit wirkt isolierend gegen hochwinterlichen Kältefluß zur Bodeno-

berfläche und daher zumindest für Neubildung von Permafrost ungünstig. Im untersuchten Gebiet werden diese Abhängigkeiten im Verteilungsmuster des Permafrosts deutlich. Die Blockgletscher sind, wie Permafrostindizien und Flechtenbewuchs beweisen, partiell wenig schneebedeckt. Die Mulden der Senten Böden sind je nach Witterungsablauf wenigstens teilweise zwischen 6 und 12 Wochen frei von Winterschnee. Die minimale Aperzeit, angezeigt durch *Anthelia juratzkana*, beträgt einen Monat. Auch in diesen Teilbereichen kann — gemessen an der Verbreitung des relativ oberflächennahen Permafrosts — die Schneedeckenmächtigkeit allgemein nicht sehr groß sein. Dies wurde von Lokalkennern bestätigt und läßt sich durch die Windverhältnisse erklären. Bei Dominanz von winterlichen NW-Winden und der Öffnung der Senten Böden nach SE wird die Schneedecke stark verblasen, und nur lokal ist mit größeren Schneetiefen, bei Wächten, zu rechnen. So wurde südwestlich P.2882, wo im Luv eines in Osten und Westen vorgelagerten Rückens auf eine hohe Winterschneemächtigkeit zu schließen ist, kein Permafrost gefunden, während bei identischen Neigungs-, Höhen- und Substratverhältnissen außerhalb des wächtenbeeinflußten Gebiets Permafrost auftritt. Eine entsprechende Abhängigkeit zwischen Schneedeckendauer und -mächtigkeit hat sich auch für die Periglazialerscheinungen des Untersuchungsgebiets herausgestellt (ROLSHOVEN 1971). Das Muster der Permafrostverbreitung korrespondiert mit dem Pattern der Periglazialerscheinungen der Muldenlagen (Abb. 2).

Wenn Pflasterböden genetisch als Formen der Schuttglättung durch Schneedruck erklärt werden dürfen, wird man unter diesen Formen mit Permafrost dann nicht rechnen können, wenn der Druck durch Mächtigkeit der Schneedecke besonders im Winter ausgeübt wird. Im allgemeinen wird in der Praxis die Wirkung einer mächtigen Winterschneedecke nicht von der der feuchten Frühjahrs- und Sommerschneedecke zu trennen sein.

Die Verbreitung des Permafrosts wird in der Horizontalen von den lokalen Standortfaktorenbündeln bestimmt. Mit Annäherung an und oberhalb der Schneegrenze tritt die Bedeutung von strahlungsreduzierenden Standortfaktoren zurück, alleiniger Minimumfaktor ist das Temperaturklima in meso- und makroklimatischer Dimension. Dies deutet sich trotz vergleichsweise niedriger Höhenlage der Nördlichen Deferegger Alpen für die höchsten Gipfel und Grate an.

Das Klima der Hochregion weist im Jahresgang zwei für das Luft- und Bodentemperaturverhalten wesentliche Phasen auf: Die Zeit des sommerlichen Temperaturmaximums fällt mit dem des Niederschlags zusammen (Abb. 3, Klimadiagramm nach WALTHER/LIETH). Starke Bewölkung mit gedämpfter Temperatur ist häufig. In dieser Phase bis Mitte September ist mit Niederschlag in fester Form und mit einer Schneedeckendauer, die von Stunden zu Tagen reichen kann, und mit dessen Einfluß auf das Ein-

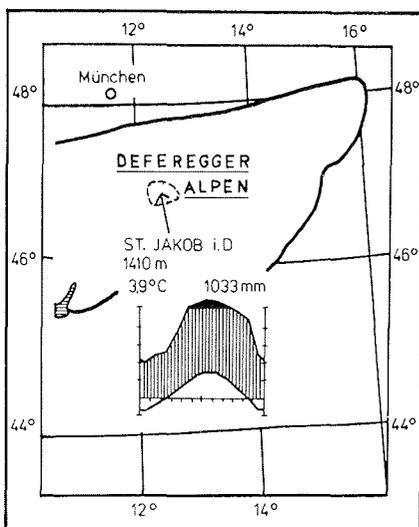


Abb. 3: Nördliche Deferegger Alpen — Lageskizze und Klimadiagramm.

Fig. 3: Northern Deferegger Alps — location map and climate diagram.

| m | | MAAT/ °C (aufgerundet) | z. Vgl. Schweizer Alpen bei MAAT: kontinuierlich: (-8,5 °C HAEBERLI 1978, -2,0 °C FURRER & FITZE 1970) | |
|------|------------------------|---------------------------|---|--|
| 3200 | (kontinuierlich) | -6 | | |
| 3100 | | -5,5 | | |
| 3000 | } diskontinuierlich | Schneegrenzbereich | | |
| 2900 | | | -4,4 | |
| 2800 | | | | |
| 2700 | | | -3,2 | |
| 2600 | | | | |
| 2500 | | | diskontinuierlich: -1 °C HAEBERLI 1975 | |
| 2400 | | -2 | -1 °C FURRER & FITZE 1970 | |
| 2300 | | -1 | -2 °C BARSCH 1977 | |
| 2200 | | -0,4 | | |
| 2100 | Waldgrenzsaum | -0,2 | | |

Tab. 2: MAAT für Höhenstufen der Lasörlinggruppe errechnet aus Daten der Station St. Jakob i. D. 1410 m, 46°55' N, vertikal. Temperaturgradient 0,57 °C.

Tab. 2: MAAT for altitude belts of the Lasörlinggruppe calculated on the basis of data from St. Jakob i. D. 1410 m, 46°55' N, vertical temperature gradient 0,57 °C.

und Ausstrahlungsverhalten (Albedo, Feuchtigkeit) zu rechnen. Die Periode der Temperaturabsenkung bei geringerer Sonnenhöhe trifft mit der Zunahme von herbstlichem Strahlungswetter zusammen, so daß während der regionalen Minimalverbreitung von Schnee, d. h. zur Zeit des Ausaperungsmaximums, die Auskühlung des Bodens vor dem endgültigen Einschneien in Abhängigkeit von den edaphischen Verhältnissen schneller oder langsamer, tiefer oder seichter erfolgt.

In der Hochgebirgsstufe der Lasörlinggruppe existiert keine Klimastation. Deshalb wurden, um Temperatureckdaten für das Höhenintervall der potentiellen Permafrostverbreitung (Tab. 1) zu gewinnen, die Temperaturwerte der Station St. Jakob i. D. 1410 m, MAAT (Jahresmitteltemperatur der Luft) 3,9 °C mit einem vertikalen Temperaturgradienten von 0,57 °C nach LAUSCHER (1981) extrapoliert. Die Datenreihe ist nicht homogen, da die Station innerhalb der letzten 10 Jahre verlegt wurde. Rechnerisch verlief die Isotherme der ZAA (Nullgradjahresisotherme der Luft) im Mittel der Jahre 1946—1979 zwischen 2100 m und 2200 m. Im Höhenintervall mit Permafrost zwischen 2500 m und 3200 m betragen die Jahresmitteltemperaturen der Luft zwischen -2 °C und -6 °C. Unter Berücksichtigung des Gipfelphänomens sind die tatsächlichen Temperaturen in den höchsten isolierten Herausragungen noch niedriger anzusetzen, so daß hypothetisch mit der Existenz von kontinuierlichem Dauerfrost gerechnet werden kann. Die für den Permafrostbereich ermittelten MAAT stimmen gut mit den Werten anderer Autoren aus den Schweizer Alpen überein (Tab. 2). Die Werte stellen brauchbare Größenordnungen dar, um das Auftreten von Permafrost beschreibend zu vergleichen. Die Höhenlage von Permafrost differiert in den Nördlichen Deferegger Alpen nicht wesentlich von den Höhenangaben aus den Zentralalpen, wenn man die Reliefabhängigkeit einer Permafrostuntergrenze, die aus Blockgletschern ermittelt wird, und die geringeren maximalen Höhenlagen in Rechnung stellt. Ein Vergleich mit einem Gebiet südlich des Alpenhauptkammes war wegen Mangels an Daten nicht möglich.

Zwar lassen sich aus den Luftfrostverhältnissen Rückschlüsse auf das Temperaturverhalten im Boden ziehen (VORNDRAN 1972, BARSCH 1977: Formel von TERZAGHI), doch differieren in der Umgebung der Neuen Reichenberger Hütte die aus der Tallage extrapolierten Werte von den wahren Werten in Abhängigkeit vom kleinräumigen Wechsel des Geländeklimas. Eine Berechnung der thermischen Grenzen im Boden aus den Daten der MAAT für die verschiedenen Höhenlagen ist daher für den begrenzten Untersuchungsraum nicht sinnvoll. Die horizontale Verteilung der Permafrostvorkommen wird hier im wesentlichen von geländeklimatischen Standortfaktoren gesteuert. Wichtig wären kontinuierliche Luft- und Bodentemperaturmessungen über eine längere Periode innerhalb der Permafrostlokalitäten besonders des Mittelreliefs.

4. AUSBLICK

Zwischen 1970 und 1981 sind die kleinen schattseitigen Gletscher im untersuchten Gebiet gewachsen. Sie reagierten damit schnell auf die in den Ostalpen allgemeine Zunahme der Frühjahrsniederschläge (LAUSCHER 1981), die in der Hochregion zu dieser Zeit in fester Form fallen, und auf die Abnahme der Lufttemperatur in einer für den Massenhaushalt von Gletschern wichtigen Zeit, im September. Es stellt sich die Frage, ob bei anhaltenden Temperatur- und Niederschlagstendenzen in Korrelation zum Gletscherverhalten nicht eine Reaktivierung der inaktiven (nicht fossilen), permafrosthaltigen Blockgletscher auf den Südhängen der Lasörlinggruppe erfolgen wird.

L i t e r a t u r

- B a r s c h, D. (1977): Alpiner Permafrost — ein Beitrag zur Verbreitung, zum Charakter und zur Ökologie am Beispiel der Schweizer Alpen. — In: H. Poser, Hrsg., Formen, Formengesellschaften und Untergrenzen in den heutigen periglazialen Höhenstufen der Hochgebirge Europas und Afrikas zwischen Arktis und Äquator, Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Physik. Kl. 3 (31): 118—141, Göttingen.
- B e r g e r, H. (1967): Vorgänge und Formen der Nivation in den Alpen. — Buchreihe Landesmuseum Kärnten 12:9—89, Klagenfurt.
- E l s a s s e r, H. (1968): Der Strukturboden auf der Fuorcla da Fäll. — Die Alpen 1.
- F u r r e r, G. (1955): Die Strukturbodenformen der Alpen. — Geogr. Helvetica 4: 193—213.
- F u r r e r, G. & P. F i t z e (1970): Beitrag zum Permafrostproblem in den Alpen. — Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich 115 (3): 353—368.
- H a e b e r l i, W. (1973): Die Basis-Temperatur der winterlichen Schneedecke als möglicher Indikator für die Verbreitung von Permafrost in den Alpen. — Z. Gletscherkde. Glazialgeol. 9 (1—2): 221—227.
- H a e b e r l i, W. (1975): Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialetsch (Graubünden). — Mitt. VAW ETH Zürich 17:7-221, Zürich
- H a e b e r l i, W. (1978): Special aspects of high mountain permafrost methodology and zonation in the Alps. — In: 3rd Int. Conf. on Permafrost, Proceedings 1:378—384, Edmonton.
- H a r r i s, S. A. (1981): Climatic relationships of permafrost zones in areas of low winter snow-cover. — Arctic 34 (1): 64—70.
- I v e s, J. D. (1976): Permafrost and its relationship to other environmental parameters in a midlatitude, high-altitude setting. — In: 2nd Int. Conf. on Permafrost, North American Contribution: 121—125, Washington.
- L a u s c h e r, A. & E. L a u s c h e r (1981): Vom Schneeklima der Ostalpen. — Jahresber. des Sonnblick-Vereines für die Jahre 1978—1980: 1—23 u. Tabellenanhang, Wien.
- L ü t s c h g - L o e s c h e r, O. (1947): Beitrag zur Kenntnis des Wärmehaushalts der obersten Bodenschicht der Schweizer Alpen. — Denkschr. Schweizer. Naturf. Ges. 77 (2): 83—167.
- R o l s h o v e n, M. (1971): Verbreitung und Vergesellschaftung rezenter Periglazialerscheinungen im Gebiet der Neuen Reichenberger Hütte (Nördl. Deferegger Alpen). — Unveröff. Examensarb., Köln
- R o l s h o v e n, M. (1977): Aktualgeomorphologische Höhenstufen — ein Vergleich aus Ost- und Westalpen. — Mitt. Geogr. Ges. München 62: 103—111, München.
- S t i n g l, H. (1974): Zur Genese und Entwicklung von Strukturbodenformen. — In: H. Poser, Hrsg., Geomorphologische Prozesse und Prozeßkombinationen in der Gegenwart unter verschiedenen Klimabedingungen, Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Physik. Kl. 3 (29): 249—262, Göttingen.
- V o r n d r a n, G. (1972): Kryopedologische Untersuchungen mit Hilfe von Bodentemperaturmessungen (an einem zonalen Strukturbodenvorkommen in der Silvrettagruppe). — Münchener Geogr. Abh. 6:1—70, München.

K a r t e n

Österr. Karte 1:25000 177/2 St. Jakob i. Deferegggen

Geologische Karte der westlichen Deferegger Alpen, Osttirol 1:25000