

Zur Differenzierung des periglazialen Formenschatzes nach ökologischen Standortfaktoren im Piffkar (Hohe Tauern)

Michael Klinge & Frank Lehmkuhl

Eingelangt am 30.01.1998

1 Zusammenfassung

Im zeitlich-räumlichen Wechselspiel der landschaftsformenden Kräfte, die sich im Untersuchungsgebiet des Piffkares durch die Verlagerungen der periglazialen, nivalen und glazialen Formungsstockwerke abzeichnen, lassen sich verschiedene rezente und vorzeitliche Erosions- und Akkumulationsformen erkennen. Für die verschiedenen Solifluktionserscheinungen kann gezeigt werden, wie letztendlich das Ausgangsgestein Einfluß auf die jeweils auftretende Form nimmt, während der klimatische Impuls in Abhängigkeit vom Relief verantwortlich für das Prozeßgefüge ist.

Anhand geomorphologischer Detailstudien im nördlich des Tauernhauptkammes gelegenen Piffkar werden exemplarisch Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Periglazialerscheinungen verschiedener Standorte aufgezeigt, wie sie für die Schieferhülle des Tauernfensters typisch sind. Unter besonderer Berücksichtigung steht dabei die Verknüpfung von hangformenden Prozessen mit Faktoren der Gesteinsverwitterung, Bodenentwicklung und Vegetationsbedeckung.

Im Piffkar konnten aktive Formen der gebundenen Solifluktion in Höhen von 1850 m bis 2450 m und Formen der ungebundenen Solifluktion in Schutthalden und Hangschutt oberhalb 2450 m Höhe kartiert werden. Neben kleineren Girlanden und Loben sind auch große Erd- und Blockströme entwickelt. Als maßgeblicher Prozeß kann hierfür Bodenfließen nachgewiesen werden. In den Karrückwänden fungieren u.a. Schnee-Einlagerungen in Nivationshohlformen als Ausgangspunkte für Lawinen und für kleinere Murbahnen. Die Schneedeckenverteilung, die durch das vorgegebene Relief und durch Lawinenschneeakkumulationen beeinflusst wird, steuert u.a. wiederum den Deckungsgrad der Vegetation und teilweise auch die Verbreitung und Art der Solifluktionsformen.

2 Summary

On the differentiation of the periglacial variety of forms due to ecological factors of various sites in the Piffkar (Hohe Tauern, Salzburg, Austria)

Modern and fossil landforms of the periglacial, nival and glacial environment are described for a detailed study area in the central part of the eastern Alps (Piffkar, Fuschertal, Hohe Tauern). The landforms are determined by the time scale, the different bedrock, and debris geology. It can be shown, that the bedrock determines the different forms of solifluction while the climatic impact in combination with the relief is responsible for the process.

The detailed geomorphological studies show variance and parallelism of periglacial landforms due to different localities, which are typical for the regional area of the slate mountains in the Hohe Tauern. Slope and weathering processes, soil development and degree of vegetation cover are of main interest.

Active solifluction lobes can be mapped in the alpine meadows between 1850 m to 2450 m in elevation and in debris cones and slope debris above 2450 m in elevation. Besides smaller solifluction terraces and lobes, larger scale "Erd- und Blockströme" (slow earthflows) occur. The main process is the downslope process of slow moving slides. In the steeper slopes snow accumulation in nivation hollows are the starting points for small avalanches and debris flows. The distribution of snow and the accumulation of avalanches as a result of the landscape affects the distribution of vegetation and also the distribution, size and kind of the solifluction.

3 Keywords

Hohe Tauern National Park, periglacial geomorphology, solifluction, gelifluction, nivation

Die Kleinformen der periglazialen Höhenstufe (Periglazialstufe) haben ihre Hauptverbreitung in den Alpen zwischen der Waldgrenze und der Gletscherregion und nehmen somit die Bereiche der alpinen Matten und der Frostschuttzone ein. Für die verschiedenen morphologischen Formen sind unterschiedliche geoökologische Faktoren verantwortlich (vgl. HÖLLERMANN 1985). Die kryogenen, fluvialen und nivalen Prozesse und Prozeßkombinationen, die hier hauptsächlich durch Eis und Frost (Bodengefrorenis, Frostwechsel), Schnee und (Schmelz-)Wasser determiniert sind, variieren mit dem Substrat, bzw. dem Ausgangsgestein sowie der entsprechenden Bodenfeuchte und der zeitlichen Dimension der Prozesse. Diese Faktoren nehmen wiederum Einfluß auf die Art und die Verteilungsmuster von Vegetation und Bodenbildung. Zudem können Mensch und Tier durch Nutzungen, wie beispielsweise Skitourismus, Wanderwege, Viehtritt und Bioturbation, die Prozesse initiieren, die Bodenbildung beeinflussen oder die Bodenerosion in der Periglazialstufe verstärken.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die im Untersuchungsgebiet auftretenden Periglazialformen in ihrer flächenhaften Verbreitung zu erfassen, ihre geoökologischen Rahmenbedingungen und die Prozeßdynamik sowie die zeitliche Dimension der Formenbildung herauszuarbeiten. Dabei ist es wichtig, zwischen aktiven Formen, die unter rezenten Bedingungen auftreten, und inaktiven Reliktformen, sogenannten Vorzeitformen, zu unterscheiden. Letztere entstammen kälteren, zumeist auch feuchteren Klimaperioden des Holozäns.

5 Material und Methoden

Die Geländearbeiten wurden von den Autoren in den Jahren 1994 bis 1997 durchgeführt. Die Grundlage bildet eine geomorphologische Formenansprache und Kartierung im Rahmen einer Diplomarbeit (KLINGE 1995). Die Gliederung der Periglazialerscheinungen nach morphologisch-landschaftsökologischen Kriterien erfolgt in Anlehnung an die Literatur (u.a. HÖLLERMANN 1967, 1985, KARTE 1979, STINGL 1969). Für die lagegetreue Darstellung der verschiedenen Formen in einer Karte konnte eine freundlicherweise von der Nationalparkverwaltung in Zell am See zur Verfügung gestellte Infrarot-Ortholuftbildkarte des Nationalparks Hohe Tauern im Maßstab 1:10000 (LUFTBILDKARTE, NATIONALPARK HOHE TAUERN 1983) verwendet werden. Außerdem erfolgten bodenkundliche Profilaufnahmen (nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung: ARBEITSGRUPPE BODEN 1994) und Analysen (u.a. Bestimmung der Korngrößen, des Kalk- und Humusgehaltes; siehe LESER 1977), wobei aus zwei fossilen Humushorizonten ¹⁴C-Altersbestimmungen der Huminsäuren im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (Prof. Dr. M.A. GEYH) durchgeführt wurden (siehe GEYH 1983). In den Winterhalbjahren 1995/1996 und 1997/1998 wurden an verschiedenen Standorten im Umkreis der Edelweißspitze Bodentemperaturmessungen in unterschiedlichen Tiefen und mit stündlicher Auflösung mittels Dataloggern registriert.

6 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt in den mittleren Hohen Tauern unmittelbar nördlich des Tauernkammes in der nordöstlichen Glocknergruppe. Die Detailstudien konzentrierten sich auf das nach Nordwesten geöffnete Piffkar am Fuß der Edelweißspitze im Talschluß des Fuschertales. Dieses Gebiet nahe der Großglockner Hochalpenstraße ist seit 1981 Bestandteil des Nationalparks Hohe Tauern (Salzburger Teil) und unterliegt als Sonderschutzgebiet strengeren Schutzbestimmungen.

Der mehrfach gestufte Karboden des Piffkares endet 1000 m über dem Trogtal des Fuschertales mit einer 200 m hohen Steilstufe bei etwa 2150 m und steigt in Treppen nach Osten hin auf 2350 m an. Die Gipfelumrahmung bilden der Baumgartlkopf (2621 m) im Norden, die Gipfelfläche des Kendlkopfes (2587 m) im Osten und die Edelweißspitze (2572 m) im Süden. Das Roßkarl (2420 m) im Norden unterhalb des Baumgartlkopfes leitet mit einem eiszeitlichen Transfluenzpaß (2470 m) zum benachbarten Seidlwinkltal im Osten über (siehe Abb. 1 und 2).

Geologisch befindet sich das Untersuchungsgebiet im Tauernfenster, wo durch die Überschiebung der ostalpinen Decken metamorphisierte Gesteine an die Oberfläche treten, die sich in einzelne regionale Serien gliedern lassen (CORNELIUS & CLAR 1939, EXNER 1952, FRANK 1969).

Die Seidlwinkldecke bildet hier eine nordvergente, tropfenförmige Falte, worin, bedingt durch eine Querdepression zwischen den Zentralgneiskernen der Granatspitze im Westen und des Sonnblicks im Osten, nord-süd-gerichtete Sattel- und Muldenstrukturen auftreten. Als Bestandteil der karbonatischen Gesteinsserien der Seidlwinkldecke liegt hier ein Sonderfall innerhalb der oberen Schieferhülle der Großglocknerdecke vor, da ansonsten silikatische Gesteinsserien mit Quarziten, Schiefen und Phylliten in der Umgebung dominieren.

Eine geologische Übersicht über die Verbreitung der wichtigsten Gesteinsarten gibt Abbildung 1. Der Dolomit und die zellig verwitternde Rauhwaacke sind flächenhaft im Karboden und an den Hängen vertreten. Der bankige Kalkmarmor bildet Felswände im Osten des Piffkars, während der Gips punktuell verbreitet ist. Die Kuppen und Flanken werden durch die phyllitischen und quarzitischen Gesteine der Brennkogelfazies eingenommen. Innerhalb des Karbodens treten diese silikatischen Gesteine nur in den Moränenablagerungen des Piffkares auf (siehe Abb. 2) und stehen sonst erst wieder unterhalb der Karstufe an.

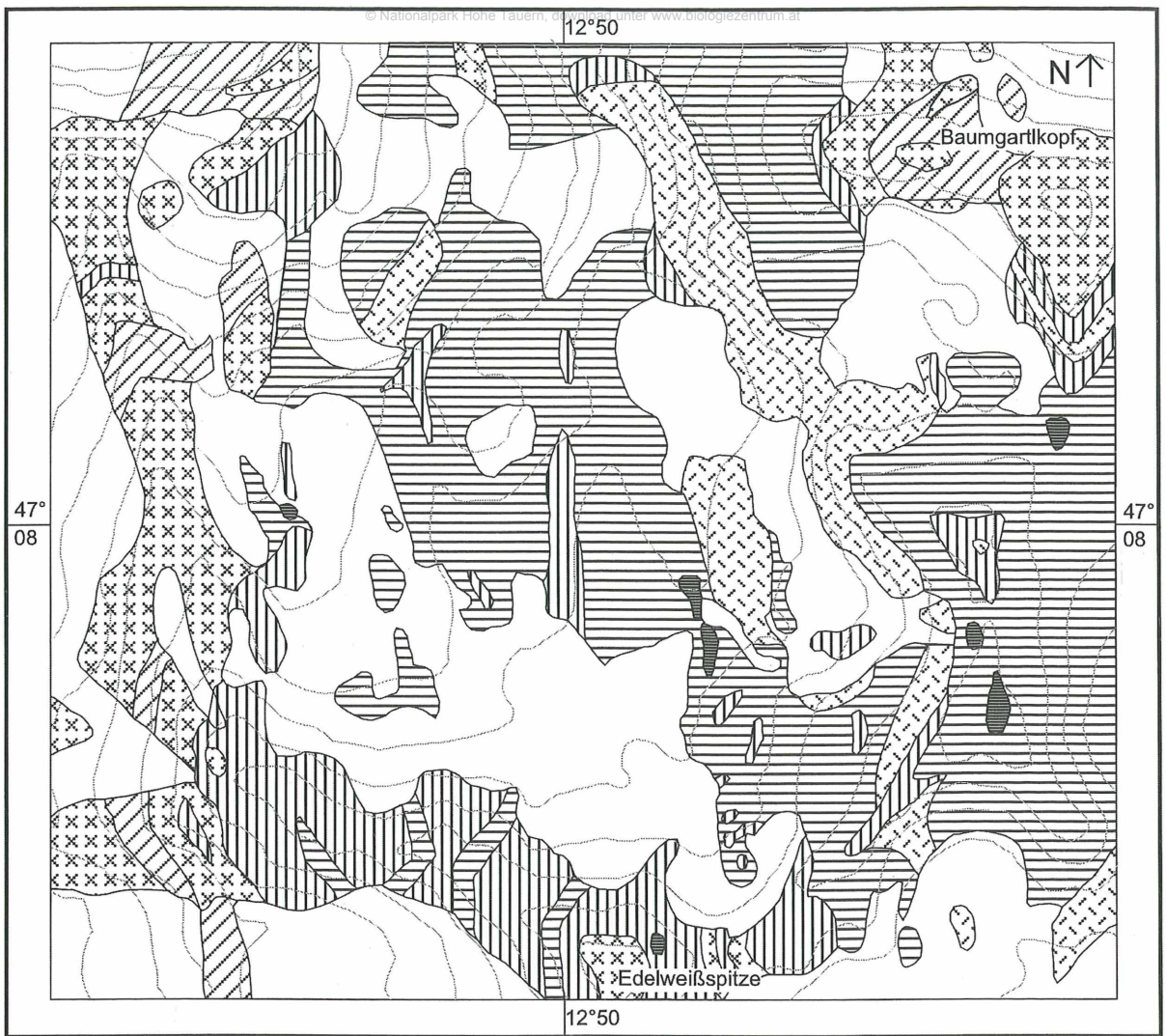
Die Stufen im unteren Karboden sind an sattelförmig ausstreichende Dolomitvorkommen gebunden. Im oberen Karbereich werden die Schichtflächen des meist horizontal lagernden Marmors herausgearbeitet. Im Norden liegen zwei glazial übertiefte Sedimentationsbecken, in denen das eingetragene Oberflächenwasser unterirdisch abgeführt wird.

Die starke, korrosiv erweiterte Zerklüftung und Verkarstung der Karbonatgesteine, die sich an der Oberfläche durch zahlreiche Dolinen und Karren zu erkennen gibt, verhindert innerhalb des Kares einen zusammenhängenden Oberflächenabfluß. Eine starke Quellschüttung setzt erst mit den liegenden, wasserstauenden Silikatgesteinen bei etwa 2000 m Höhe ein. Ein periodisch oder episodisch starker Oberflächenabfluß zur Zeit der Schneeschmelze sorgt im südlichen Abschnitt des Karbodens für die Bildung tiefer, vegetationsfreier Erosionsrinnen, die den von Moränenablagerungen eingefassten, sandig-grusigen Rauhwaackendetritus rückschreitend aufzehren.

Das während der Kaltzeiten des Pleistozäns gebildete Piffkar lehnt sich an ältere, mutmaßlich tertiäre Flächenreste des sogenannten Flachkarniveaus an (siehe BÜDEL 1969, SPÄTH 1969). Im Zuge des Gletscherrückzuges im Spätglazial kam es auch zu erneuten Gletschervorstößen, die sich auch im Piffkar in Form ausgeprägter End- und Seitenmoränen nachweisen lassen (siehe Abb. 2). Die zeitliche Einordnung dieser im Karboden auftretenden spätglazialen Moränenakkumulationen wurde von CORNELIUS & CLAR (1939) übernommen. Diese morphostratigraphische Einordnung ist jedoch bislang nicht chronostratigraphisch abgesichert.

Für die Jahresmitteltemperaturen in verschiedenen Höhenstufen der Großglocknergruppe gibt TOLLNER (1969) in 1500 m Höhe 3,5 °C, in 2000 m 0,8 °C und in 2500 m -2,4 °C an. Die "Nullgrad"-Jahresisotherme liegt in 2100 m Höhe. Am Hochtorn südlich der Edelweißspitze wurden 1550 mm Jahresniederschlag gemessen. Die mittlere Höhenlage der Gleichgewichtslinie (GWL) auf Gletschern ("Gletscher-Schneegrenze") variiert laut GROSS (1983) im Großglocknergebiet zwischen 2700 m in Nord- und 2964 m in Südexposition und wird somit aktuell im Untersuchungsgebiet nicht erreicht. KERSCHNER (1985) bestimmte für die Nordabdachung der Hohen Tauern im Niveau der GWL (2640 m) eine Jahresmitteltemperatur von -2,7°C. LIEB & SLUPETZKY (1993) nahmen anhand von aktiven Blockgletschern als Untergrenze des diskontinuierlichen Permafrostes auf der Nordseite des Tauernhauptkammes eine mittlere Höhe von 2409 m an.

Der montane bis subalpine Nadelwald (dominierend Fichten, Lärchen und Arven; vgl. SCHIECHTL & STERN 1985) reicht im Bestand bis etwa 1900 m. Die natürliche subalpine Stufe mit überwiegend Zwergsträuchern ist infolge der seit Jahrhunderten andauernden Almwirtschaft nur schwach ausgeprägt. Im Karboden ist eine dichte alpine Mattenvegetation vertreten, die an den Hängen ab ca. 2400 m Höhe von Polstervegetation abgelöst wird. In Gipfel- und exponierten Kuppenlagen geht die



Legende:

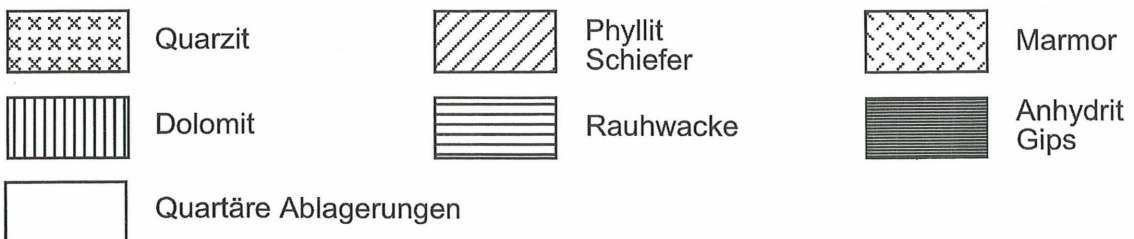
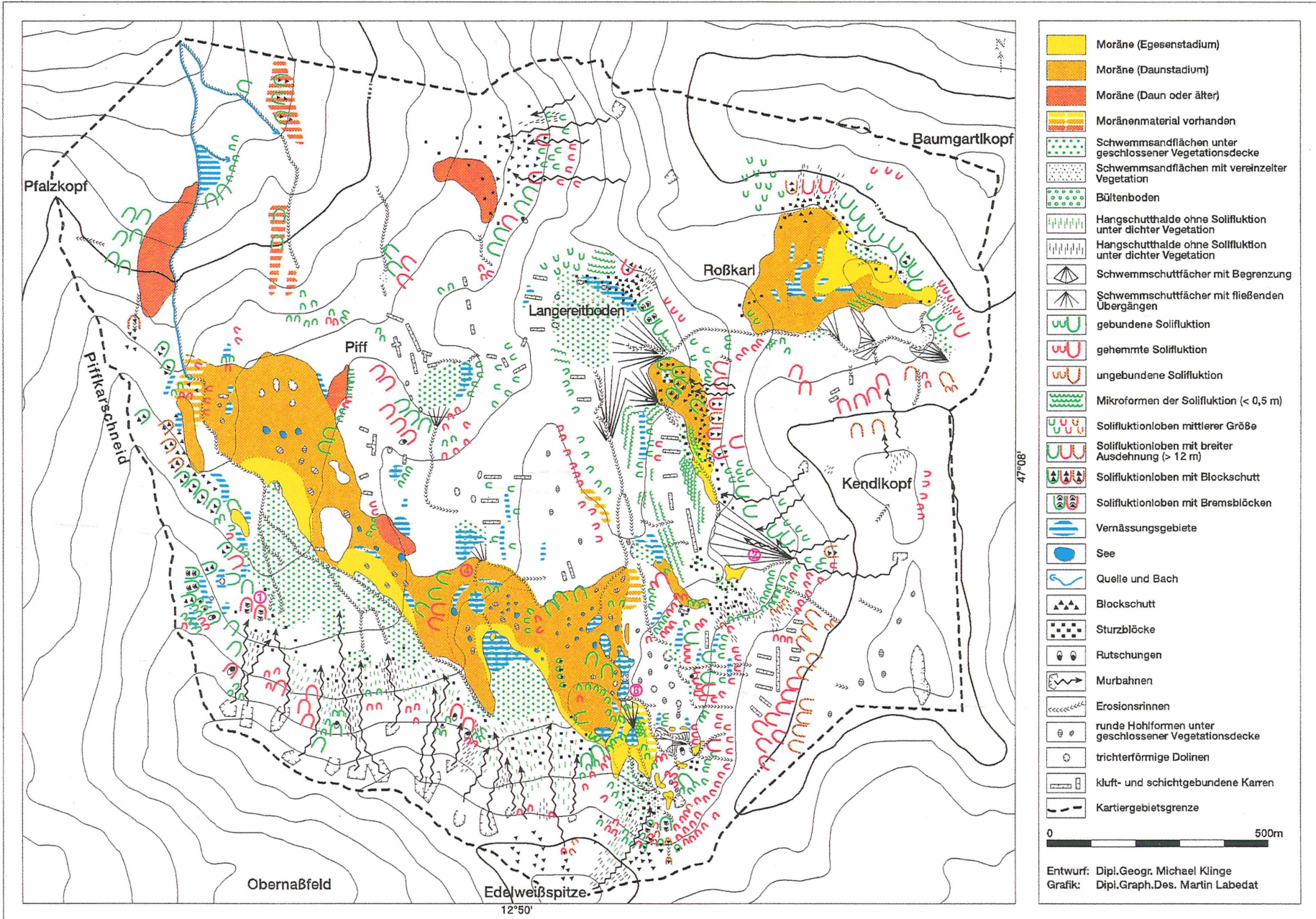


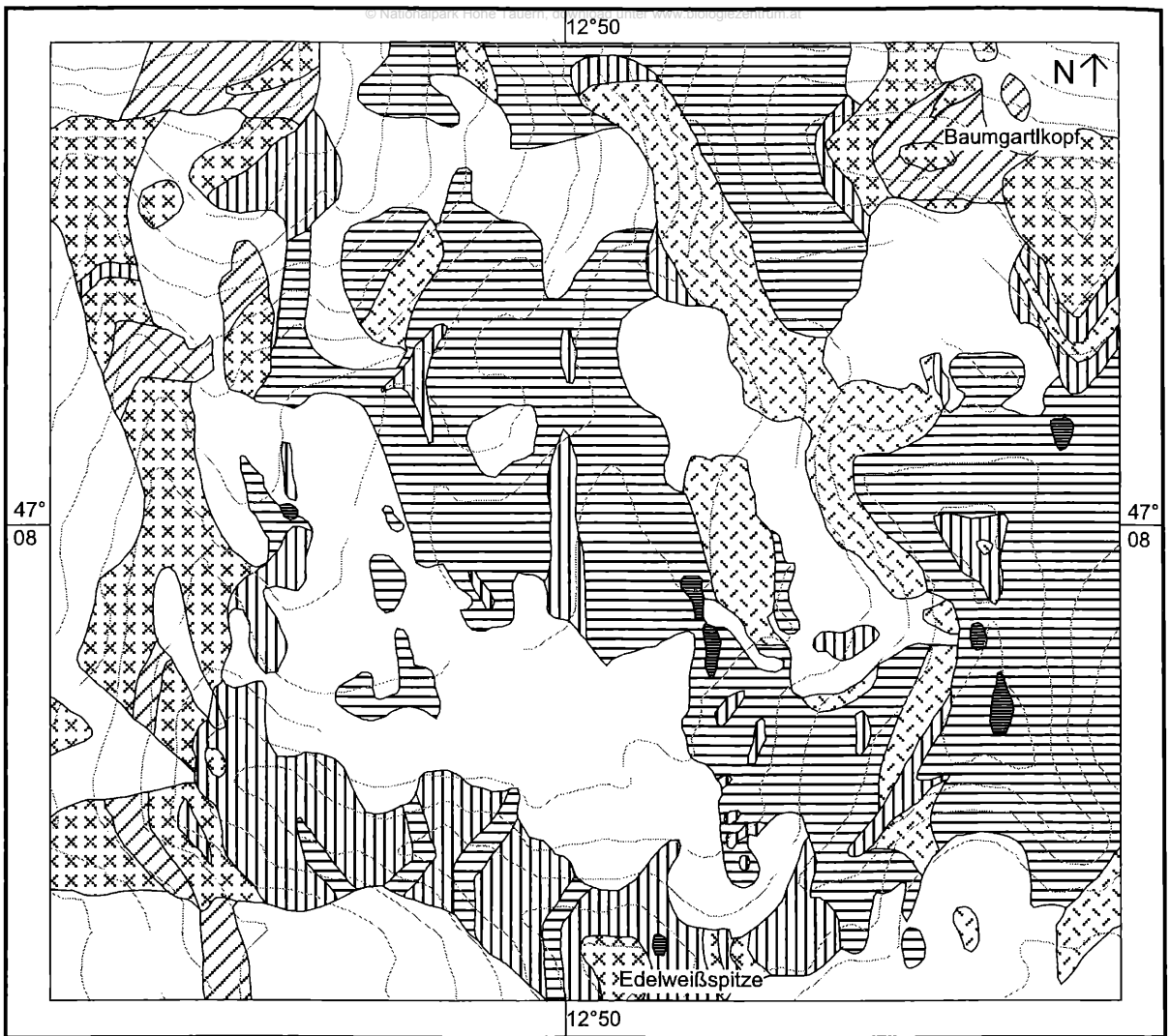
Abb. 1: Geologische Karte des Pifflkars. Eigene Kartierung in Anlehnung an CORNELIUS & CLAR (1939)

Fig. 1: Geological map of the Pifflkar region according to CORNELIUS & CLAR (1939)

Abb. 2: Geomorphologische Detailkarte des Pifflkars. Die roten Zahlen markieren die Ortslage der Bodenprofile in Abbildung 5. Die zeitliche Einordnung der Moränenakkumulationen (Grund-, Seiten- und Endmoränen) erfolgte in Anlehnung an CORNELIUS & CLAR (1939).

Fig. 2: Geomorphological map of the Pifflkar region. The red numbers mark the position of the soil profiles (see fig. 5). The different moraine stages are mapped according to CORNELIUS & CLAR (1939).





Legende:

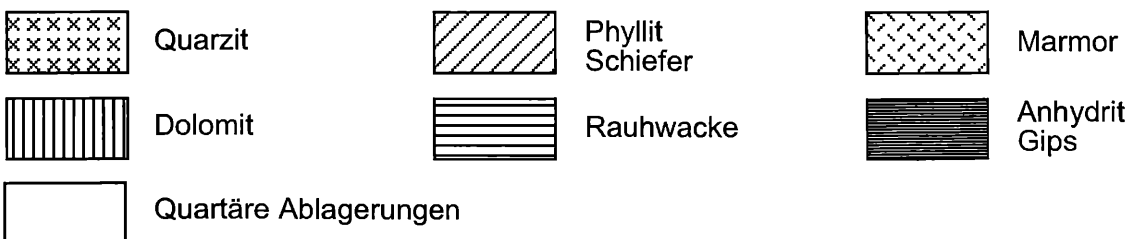


Abb. 1: Geologische Karte des Pifflkars. Eigene Kartierung in Anlehnung an CORNELIUS & CLAR (1939)

Fig. 1: Geological map of the Pifflkar region according to CORNELIUS & CLAR (1939)

Abb. 2: Geomorphologische Detailkarte des Pifflkars. Die roten Zahlen markieren die Ortslage der Bodenprofile in Abbildung 5. Die zeitliche Einordnung der Moränenakkumulationen (Grund-, Seiten- und Endmoränen) erfolgte in Anlehnung an CORNELIUS & CLAR (1939).

Fig. 2: Geomorphological map of the Pifflkar region. The red numbers mark the position of the soil profiles (see fig. 5). The different moraine stages are mapped according to CORNELIUS & CLAR (1939).

Vegetation fast ganz zurück. Das zur Zeit noch mit Jungkühen und Ziegen bestoßene Kar ist an den Unterhängen von zahlreichen Viehgangeln durchzogen.

Die Böden im Piffkar wurden von PEER (1993) entlang eines Transektes untersucht. Als Bodentypen dominieren über der Rauhwacke Rendzinen und Pararendzinen, über Silikatgestein podsolige Braunerden, alpine Rasenbraunerden und alpine Pseudogleye. Inwieweit die Bodenentwicklung durch den äolischen Eintrag von kalkreichen Stäuben beeinflusst wurde, läßt sich anhand von Deflametermessungen abschätzen, die GRUBER (1980) u.a. südlich der Edelweißspitze durchführte. Auf der Ostseite des Fuschertales in Höhen zwischen 1760 m und 2490 m wurden Flugstaubakkumulationen zwischen 12,8 und 271,8 g/m² festgestellt. Die hohen Eintragswerte von 1138 kg/ha CaCO₃ pro Jahr, was einem Karbonatgehalt des Flugstaubes von 40 % entspricht, werden von GRUBER (1980) durch eine primäre Umlagerung von lokalem Erosionsmaterial im Raum der Edelweißspitze erklärt.

7 Periglaziale Prozesse und Formen

7.1 Periglaziale Prozesse

Der periglaziale Raum im Umkreis der Gletschergebiete ist durch Vegetationsarmut und Frostklima geprägt. Er bildet einerseits einen flächenhaften Saum um die Polargebiete, andererseits ist er als Höhenstockwerk in den Gebirgen der mittleren und niederen Breiten vertreten. Infolge des steilen Reliefs dominieren im Gebirge die periglazialen Prozesse (= periglaziär im Sinne von KARTE 1979) der denudativen Hangabtragung.

Der Prozeß der frostinduzierten Bodenbewegung ist für die Entstehung von Solifluktionsformen entscheidend (WASHBURN 1979). Bei der Nivation hingegen sind, neben der Ausbreitung des Schuttes durch Frostverwitterung und Frostwechsel an den Rändern der Schneeflecken, auch die Schneeschmelzwässer mit flächen- und linienhaften Spülprozessen an der Hangabtragung beteiligt (LEHM-KUHL 1989). Dies geschieht durch die Ausaperung von Schneeflecken, die besonders am Hangfuß auftreten, und auch durch Muren, die als Suspensions- oder Schlammstrom mit schwallartigem, intensiv einschneidendem Abfluß von auftauenden Schneefeldern im Gipfelbereich kommen. Je nach Dimension des Murenabgangs treten die Akkumulationskegel auch als Fremdlingsformen in tieferen Formungsregionen auf.

Bei Solifluktionsprozessen werden zwei verschiedene Bewegungsarten, das Frostkriechen und die Gelifluktion, unterschieden (siehe u.a. WASHBURN 1979). Der Prozeß des Frostkriechens, dem auch die Kammeissolifluktion zugeordnet wird, läuft über das Gefrieren und das Ausdehnen des Bodens senkrecht zum Hang und über das vertikale Setzen beim Auftauen ab. Die Aktivität ist mit der Häufigkeit von Frostwechseln und einer geringen bis fehlenden Schneedecke verknüpft. Bei der Gelifluktion, dem Erdfließen vom durchtränkten Oberboden über den noch gefrorenen Untergrund, ist das frühe Tieffrieren des Bodens vor der isolierenden Schneebedeckung von Bedeutung. Somit ist der Wärme- und Wasserhaushalt des Bodens entscheidend für Art und Ausbildung von Solifluktionsformen.

7.2 Periglaziale Formen

Die Leitformen der Periglazialstufe sind die verschiedenen Formen der Solifluktion, für die HÖLLER-MANN (1967) eine gute Systematik nach anschaulichen Kriterien der Geländebeobachtung gibt. Dabei unterscheidet er nach dem Habitus Formen mit horizontaler Stufe (Terrassen), die im Untersuchungsgebiet nicht auftreten, von denen mit halbkreisförmig durchgebogener Stufe und entsprechenden Übergängen. Die lobenartigen Solifluktionsformen werden weiterhin unterteilt nach den kleinen, meist flachen und nur durch ihren Lobus hervortretenden Formen (Girlanden) und den großen Erd- und Blockströmen mit meterhoher Stirn und langer vertikaler Erstreckung. Während unter flächenhaft gleichmäßigen edaphischen Bedingungen eher eine undifferenzierte Wanderschuttdecke zu erwarten ist, entstehen bei kleinräumig wechselndem Substrat- und Feuchtigkeitsangebot lobenartige Formen, die durch unterschiedliches Fließverhalten des Solums hervorgerufen werden.

Des weiteren nimmt man eine „Untergliederung“ der Solifluktförmlichkeiten nach dem zunehmenden Deckungsgrad der Vegetation in freie (ungebundene), gehemmte und gebundene Solifluktion vor (u.a. TROLL 1944, HÖLLERMANN 1967). Die mit den Termini „gehemmte und gebundene Solifluktion“ angedeutete Auffassung, daß die Vegetation das Bodenfließen unterdrückt, ist nur in einem gewissen Umfang bei geschlossener Grasnarbe mit dichtem Wurzelfilz in den oberen Bodenhorizonten gegeben. Für die Anpassung der Pflanzen an die Bodenmobilität gibt ELLENBERG (1996) verschiedene Beispiele. Ein zur Falllinie des Hanges gerichtetes Wurzelwachstum kann zudem auch als Indikator für aktive Bodenbewegung herangezogen werden.

Als heutige Untergrenze der periglazialen Höhenstufe (Vorherrschen von Formen der gebundenen Solifluktion) in der östlichen Glocknergruppe gibt STINGL (1969) für das hintere Fuschertal 2200 m an. LEHMKUHL (1989) unterscheidet in den Alpen ein unteres periglaziales Stockwerk im Bereich der alpinen Matten von einem darüber liegenden, nivalen Stockwerk, das zu den Gletscherregionen überleitet. Neben aktiven Schutthalden und Solifluktförmlichkeiten dominieren in der nivalen Höhenstufe Schneefelder, Schneeleisten und Nivationstrichter, die ein prononcierteres Relief schaffen. In der Glocknergruppe liegt die nivale Untergrenze im Mittel aller Expositionen bei 2500m. Für die periglaziale (bzw. nivale) Untergrenze lassen sich dabei anhand der Klimastationen Jahresniederschläge von 1426 (1524) mm und Jahresmitteltemperaturen von $-0,4$ ($-2,2$)°C ableiten (LEHMKUHL 1989: 78, LEHMKUHL et al. 1992).

8 Ergebnisse

Die räumliche Verbreitung der periglazialen Formen im Piffkar zeigt die geomorphologische Detailkartierung in Abbildung 2, der auch weitere, ökologisch relevante Formen wie Karsterscheinungen, Staunässe und Seenbildung zu entnehmen sind. Im folgenden werden die Untersuchungsergebnisse über die Ausprägung der Solifluktförmlichkeiten in Abhängigkeit von unterschiedlichen geoökologischen Parametern dargelegt.

8.1 Differenzierung der Solifluktförmlichkeiten nach der Vegetationsbedeckung

Im Untersuchungsgebiet können unterhalb der Karstufe in 1850 m Höhe große Erdströme in alpiner Matte als Einzelformen der gebundenen Solifluktion beobachtet werden. Durch ihre über 1 m hohe, eingewölbte Spitze sind sie als aktiv zu diagnostizieren, obwohl sie auf ihren Rücken auch Zwergsträucher (*Vaccinium* sp.) und Latschenkiefern (*Pinus mugo*) tragen. Die Hangabwärtsbewegung kann dabei schätzungsweise einige Zentimeter pro Jahr betragen, wie an dem Hakenschlagen von benachbarten Lärchen zu erkennen ist.

In Solifluktförmlichkeiten aus gleichem Substrat und mit gleichem Habitus kann jedoch selbst bei dicht benachbarten Loben ein unterschiedlicher Vegetationsbedeckungsgrad beobachtet werden (z.B. Erdströme mit Quarziten unterhalb der Piffkarschneid, Loben aus Rauhwanke unterhalb des Kendlkopfes und Blockströme in Marmorschutt; Abb. 2).

Die Kleinformen der gebundenen Solifluktion, zumeist Solifluktiongirlanden, treten im Piffkar besonders an den Moränenablagerungen im Karboden, an den flacheren Unterhängen und in klimatisch begünstigten Expositionen oberhalb ca. 2200 m auf. Der relativ hohe Deckungsgrad der Vegetation ist dabei unabhängig vom Ausgangsgestein, jedoch weist das Bodensubstrat immer einen hohen Feinmaterialanteil auf.

Die meisten Variationen zeigen die Formen der gehemmten Solifluktion vor allem in Höhen zwischen 2350 m und 2500 m. In grobschuttreichen Loben aus Marmor und Quarzit bildet die Vegetation einen Kranz in den Vertiefungen um die Zungen herum. Hierin äußert sich ein besseres Feuchtigkeits- und Feinsubstratangebot gegenüber den exponierten Rückenlagen.

Bei Solifluktförmlichkeiten aus feinmaterialreichem Rauhwanke detritus im Bereich der Karrückwände ist der höchste Deckungsgrad der Vegetation auf den zentralen Rückenbereichen zu beobachten. In den

Vegetation fast ganz zurück. Das zur Zeit noch mit Jungkühen und Ziegen bestoßene Kar ist an den Unterhängen von zahlreichen Viehgangeln durchzogen.

Die Böden im Piffkar wurden von PEER (1993) entlang eines Transektes untersucht. Als Bodentypen dominieren über der Rauhwacke Rendzinen und Pararendzinen, über Silikatgestein podsolige Braunerden, alpine Rasenbraunerden und alpine Pseudogleye. Inwieweit die Bodenentwicklung durch den äolischen Eintrag von kalkreichen Stäuben beeinflusst wurde, läßt sich anhand von Deflametermessungen abschätzen, die GRUBER (1980) u.a. südlich der Edelweißspitze durchführte. Auf der Ostseite des Fuschertales in Höhen zwischen 1760 m und 2490 m wurden Flugstaubakkumulationen zwischen 12,8 und 271,8 g/m² festgestellt. Die hohen Eintragswerte von 1138 kg/ha CaCO₃ pro Jahr, was einem Karbonatgehalt des Flugstaubes von 40 % entspricht, werden von GRUBER (1980) durch eine primäre Umlagerung von lokalem Erosionsmaterial im Raum der Edelweißspitze erklärt.

7 Periglaziale Prozesse und Formen

7.1 Periglaziale Prozesse

Der periglaziale Raum im Umkreis der Gletschergebiete ist durch Vegetationsarmut und Frostklima geprägt. Er bildet einerseits einen flächenhaften Saum um die Polargebiete, andererseits ist er als Höhenstockwerk in den Gebirgen der mittleren und niederen Breiten vertreten. Infolge des steilen Reliefs dominieren im Gebirge die periglazialen Prozesse (= periglaziär im Sinne von KARTE 1979) der denudativen Hangabtragung.

Der Prozeß der frostinduzierten Bodenbewegung ist für die Entstehung von Solifluktiionsformen entscheidend (WASHBURN 1979). Bei der Nivation hingegen sind, neben der Ausbreitung des Schuttes durch Frostverwitterung und Frostwechsel an den Rändern der Schneeflecken, auch die Schneeschmelzwässer mit flächen- und linienhaften Spülprozessen an der Hangabtragung beteiligt (LEHMKUHL 1989). Dies geschieht durch die Ausaperung von Schneeflecken, die besonders am Hangfuß auftreten, und auch durch Muren, die als Suspensions- oder Schlammstrom mit schwallartigem, intensiv einschneidendem Abfluß von auftauenden Schneefeldern im Gipfelbereich kommen. Je nach Dimension des Murenabgangs treten die Akkumulationskegel auch als Fremdlingsformen in tieferen Formungsregionen auf.

Bei Solifluktiionsprozessen werden zwei verschiedene Bewegungsarten, das Frostkriechen und die Gelifluktion, unterschieden (siehe u.a. WASHBURN 1979). Der Prozeß des Frostkriechens, dem auch die Kammeissolifluktion zugeordnet wird, läuft über das Gefrieren und das Ausdehnen des Bodens senkrecht zum Hang und über das vertikale Setzen beim Auftauen ab. Die Aktivität ist mit der Häufigkeit von Frostwechseln und einer geringen bis fehlenden Schneedecke verknüpft. Bei der Gelifluktion, dem Erdfließen vom durchtränkten Oberboden über den noch gefrorenen Untergrund, ist das frühe Tieffrieren des Bodens vor der isolierenden Schneebedeckung von Bedeutung. Somit ist der Wärme- und Wasserhaushalt des Bodens entscheidend für Art und Ausbildung von Solifluktiionsformen.

7.2 Periglaziale Formen

Die Leitformen der Periglazialstufe sind die verschiedenen Formen der Solifluktion, für die HÖLLERMANN (1967) eine gute Systematik nach anschaulichen Kriterien der Geländebeobachtung gibt. Dabei unterscheidet er nach dem Habitus Formen mit horizontaler Stufe (Terrassen), die im Untersuchungsgebiet nicht auftreten, von denen mit halbkreisförmig durchgebogener Stufe und entsprechenden Übergängen. Die lobenartigen Solifluktiionsformen werden weiterhin unterteilt nach den kleinen, meist flachen und nur durch ihren Lobus hervortretenden Formen (Girlanden) und den großen Erd- und Blockströmen mit meterhoher Stirn und langer vertikaler Erstreckung. Während unter flächenhaft gleichmäßigen edaphischen Bedingungen eher eine undifferenzierte Wanderschuttdecke zu erwarten ist, entstehen bei kleinräumig wechselndem Substrat- und Feuchtigkeitsangebot lobenartige Formen, die durch unterschiedliches Fließverhalten des Solums hervorgerufen werden.

Des weiteren nimmt man eine Untergliederung der Solifluktförmlichkeiten nach dem zunehmenden Deckungsgrad der Vegetation in freie (ungebundene), gehemmte und gebundene Solifluktion vor (u.a. TROLL 1944, HÖLLERMANN 1967). Die mit den Termini „gehemmte und gebundene Solifluktion“ angedeutete Auffassung, daß die Vegetation das Bodenfließen unterdrückt, ist nur in einem gewissen Umfang bei geschlossener Grasnarbe mit dichtem Wurzelfilz in den oberen Bodenhorizonten gegeben. Für die Anpassung der Pflanzen an die Bodenmobilität gibt ELLENBERG (1996) verschiedene Beispiele. Ein zur Falllinie des Hanges gerichtetes Wurzelwachstum kann zudem auch als Indikator für aktive Bodenbewegung herangezogen werden.

Als heutige Untergrenze der periglazialen Höhenstufe (Vorherrschen von Formen der gebundenen Solifluktion) in der östlichen Glocknergruppe gibt STINGL (1969) für das hintere Fuschertal 2200 m an. LEHMKUHL (1989) unterscheidet in den Alpen ein unteres periglaziales Stockwerk im Bereich der alpinen Matten von einem darüber liegenden, nivalem Stockwerk, das zu den Gletscherregionen überleitet. Neben aktiven Schutthalden und Solifluktförmlichkeiten dominieren in der nivalem Höhenstufe Schneefelder, Schneeleisten und Nivationstrichter, die ein prononcierteres Relief schaffen. In der Glocknergruppe liegt die nivale Untergrenze im Mittel aller Expositionen bei 2500m. Für die periglaziale (bzw. nivale) Untergrenze lassen sich dabei anhand der Klimastationen Jahresniederschläge von 1426 (1524) mm und Jahresmitteltemperaturen von $-0,4$ ($-2,2$)°C ableiten (LEHMKUHL 1989: 78, LEHMKUHL et al. 1992).

8 Ergebnisse

Die räumliche Verbreitung der periglazialen Formen im Piffkar zeigt die geomorphologische Detailkartierung in Abbildung 2, der auch weitere, ökologisch relevante Formen wie Karsterscheinungen, Staunässe und Seenbildung zu entnehmen sind. Im folgenden werden die Untersuchungsergebnisse über die Ausprägung der Solifluktförmlichkeiten in Abhängigkeit von unterschiedlichen geökologischen Parametern dargelegt.

8.1 Differenzierung der Solifluktförmlichkeiten nach der Vegetationsbedeckung

Im Untersuchungsgebiet können unterhalb der Karstufe in 1850 m Höhe große Erdströme in alpiner Matte als Einzelförmlichkeiten der gebundenen Solifluktion beobachtet werden. Durch ihre über 1 m hohe, eingewölbte Spitze sind sie als aktiv zu diagnostizieren, obwohl sie auf ihren Rücken auch Zwergsträucher (*Vaccinium* sp.) und Latschenkiefern (*Pinus mugo*) tragen. Die Hangabwärtsbewegung kann dabei schätzungsweise einige Zentimeter pro Jahr betragen, wie an dem Hakenschlagen von benachbarten Lärchen zu erkennen ist.

In Solifluktförmlichkeiten aus gleichem Substrat und mit gleichem Habitus kann jedoch selbst bei dicht benachbarten Förmlichkeiten ein unterschiedlicher Vegetationsbedeckungsgrad beobachtet werden (z.B. Erdströme mit Quarziten unterhalb der Piffkarschneid, Förmlichkeiten aus Rauhwanke unterhalb des Kendlkopfes und Blockströme in Marmorschutt; Abb. 2).

Die Kleinformen der gebundenen Solifluktion, zumeist Solifluktiongirlanden, treten im Piffkar besonders an den Moränenablagerungen im Karboden, an den flacheren Unterhängen und in klimatisch begünstigten Expositionen oberhalb ca. 2200 m auf. Der relativ hohe Deckungsgrad der Vegetation ist dabei unabhängig vom Ausgangsgestein, jedoch weist das Bodensubstrat immer einen hohen Feinmaterialanteil auf.

Die meisten Variationen zeigen die Formen der gehemmten Solifluktion vor allem in Höhen zwischen 2350 m und 2500 m. In grobschuttreichen Förmlichkeiten aus Marmor und Quarzit bildet die Vegetation einen Kranz in den Vertiefungen um die Zungen herum. Hierin äußert sich ein besseres Feuchtigkeits- und Feinsubstratangebot gegenüber den exponierten Rückenlagen.

Bei Solifluktförmlichkeiten aus feinmaterialreichem Rauhwanke detritus im Bereich der Karrückwände ist der höchste Deckungsgrad der Vegetation auf den zentralen Rückenbereichen zu beobachten. In den

peripheren Rinnen und besonders unterhalb der Zungen tritt die Vegetation gänzlich zurück. Dies wird durch den in den Vertiefungen spät ausapernden Schnee hervorgerufen, der vom Wind umgelagert und vor allem durch Lawinen im Unterhang angereichert wird.

Bei Solifluktsloben an windexponierten Lagen innerhalb des Karbodens, wie z.B. an Stufen und Kanten im Relief oder auf Moränenrücken, ist die Grasnarbe in einzelne horizontale, leicht durchgebogene Streifen zerlegt. Dazwischen tritt gröberes Gestein als Deflationspflaster auf. Im Mittelhangbereich tragen vor allem Solifluktsloben aus Rauhwacken-Dolomitschutt gleichmäßig verteilte Inseln aus Polsterpflanzen. Dazwischen liegt verbrauchtes Feinmaterial und stellenweise Blockschutt, der dann oft in Form von Bremsblöcken in Erscheinung tritt, was darauf hindeutet, daß die Bodenbewegung nur noch das Feinmaterial erfaßt, nicht aber das grobe Bodenskelett. Eine anthropozoogene Sonderform der gehemnten Solifluktion tritt dort auf, wo die Grasnarbe durch Viehtritt mit Gangeln stark zerlegt wird und nacktes Bodenmaterial eine größere oberflächliche Verbreitung gewinnt.

Formen der freien Solifluktion treten im Piffkar meist in blockreichem Hangschutt aus Marmor und Quarziten auf, wo kein Feinmaterial oberflächlich zur Bodenbildung vorhanden ist und Schnee und Eis tief in die Hohlräume eindringen können. In den oberen Hanglagen in 2450 m Höhe am Kendlkopf ist freie Solifluktion in Nord- und Westexposition auch in feinmaterialreichem Dolomit-Rauhwackenschutt vertreten. Hier wird die expositionsbedingte Mattenobergrenze erreicht. In Südexposition kommen in gleicher Höhenlage noch gebundene Solifluktsformen vor.

Frostmusterböden in Form von Feinerdeknospen in Dolomitgestein können am Transfluenzpaß zum Seidlwinkltal in 2470 m Höhe beobachtet werden. Schmale vertikale Vegetationsstreifen sind in Nordexposition unterhalb des Kendlkopfes in Gipsstein und unterhalb des Baumgartlkopfes an einem nordwestexponierten Glatthang, der in verschiedenen Gesteinen aus Quarzit, Dolomit und Marmor angelegt ist, vertreten. Büldenböden als anthropozoogene Sonderform treten stark durch Viehtritt gefördert in den intensiv durchfeuchteten Schwemmsandflächen im Karboden auf.



Abb. 3: Südexponierter Hang im Obernaßfeld mit fossilen Nivationstrichtern im Oberhang (exemplarisch durch Sterne markiert) und Schuttkegeln im Unterhang. Links im Bild eine kleine subrezente Murbahn (Pfeil).

Fig. 3: Southern slope in the Obernaßfeld, south of the Piffkar. Fossil nivation hollows in the upper part of the slope (marked by white stars) and debris cones in the lower part of the slope. On the left a small recent debris flow (arrow).

8.2 Differenzierung der Solifluktsformen nach der Exposition²¹

Ein besonders expositionsbedingter Unterschied der periglazialen Hangformung zeigt sich am Kamm im Süden des Piffkars zwischen Piffkarschneid und Edelweißspitze, der gänzlich aus Dolomit und Rauhwanke aufgebaut wird:

An der Südseite, im Obernaßfeld, wird der Hang aus vorzeitlich gebildeten Nivationstrichtern und den darunter folgenden Schuttkegeln aufgebaut, wobei die geologischen Schichtstrukturen als Rippen herauspräpariert werden (Abb. 3). In diesen Nivationshohlformen liegen heute im Winter Schneefelder, von denen aus Lawinenbahnen in den Tiefenlinien zwischen den Schuttkegeln nach Osten schwenkend herunterziehen und am Hangfuß einen neuen Schutfächer bilden. In diesen Akkumulationskörpern befinden sich mehrere überschüttete Bodenbildungshorizonte. Auf den inaktiven Schuttkegeln zeichnen sich zahlreiche aktive Solifluktsloben unter dichter, aber mit Viehgängen durchzogener Vegetationsdecke ab.



Abb. 4: Nordexponierter Hang im Piffkar mit aktiven Murbahnen und Formen der gehemmten Solifluktion. Der Pfeil kennzeichnet die Position des Bodenprofils P1.

Fig. 4: Northern slope of the Piffkar including debris flows and solifluction. The arrow marks the position of the soil profile P1.

An der Nordseite, im Piffkar, treten Solifluktsloben am Mittelhang im Übergangsbereich zwischen anstehendem Fels und unstrukturierter Hangschutthalde auf, die von episodisch abgehenden Muren überarbeitet wird (Abb. 4). Im Oberhangbereich wird der Schuttkörper bis 0,5 m tief eingeschnitten, wobei die Fließrinne von zwei Wällen aus grobem Schutt begleitet wird. Im Unterhang verästelt sich die Rinne und immer feineres Material wird abgelagert, ohne die Vegetationsdecke wesentlich zu zerstören. Hier versickert das Schmelzwasser in dem grobporigen, grusigen Rauhwanke-Dolomit-Detritus, der als Schwemmsandfläche bezeichnet werden kann und von den Moränenakkumulationen bogenförmig umfaßt wird. Weiter hangabwärts tritt das Wasser in Erosionsrinnen wieder aus, wo es durch rückschreitende Erosion wieder morphologisch wirksam wird.

In einem 150 cm tiefen Bodenprofil (Abb. 5: P1) konnten hier mehr als 20 überschüttete, 0,5-3 cm mächtige Humushorizonte an einer Erosionsrinne aufgenommen werden. Die dunkelhumosen Bänder

lassen sich entlang der Rinne in kryoturbar ungestörter Lagerung, stellenweise konvergierend verfolgen. Es handelt sich hier um einen Wechsel von längeren Bodenbildungsphasen mit raschen Akkumulationsereignissen. In dem kalkhaltigen Substrat entwickelt sich nach einer morphoaktiven Phase rasch wieder eine Vegetationsdecke mit einer alpinen Pararendzina. Eine ^{14}C -Datierung der Huminsäuren aus dem untersten ergrabenen, gut entwickelten fossilen Boden ergab hier ein Alter von 2220 ± 150 BP (cal BC 400-50; Hv20319).

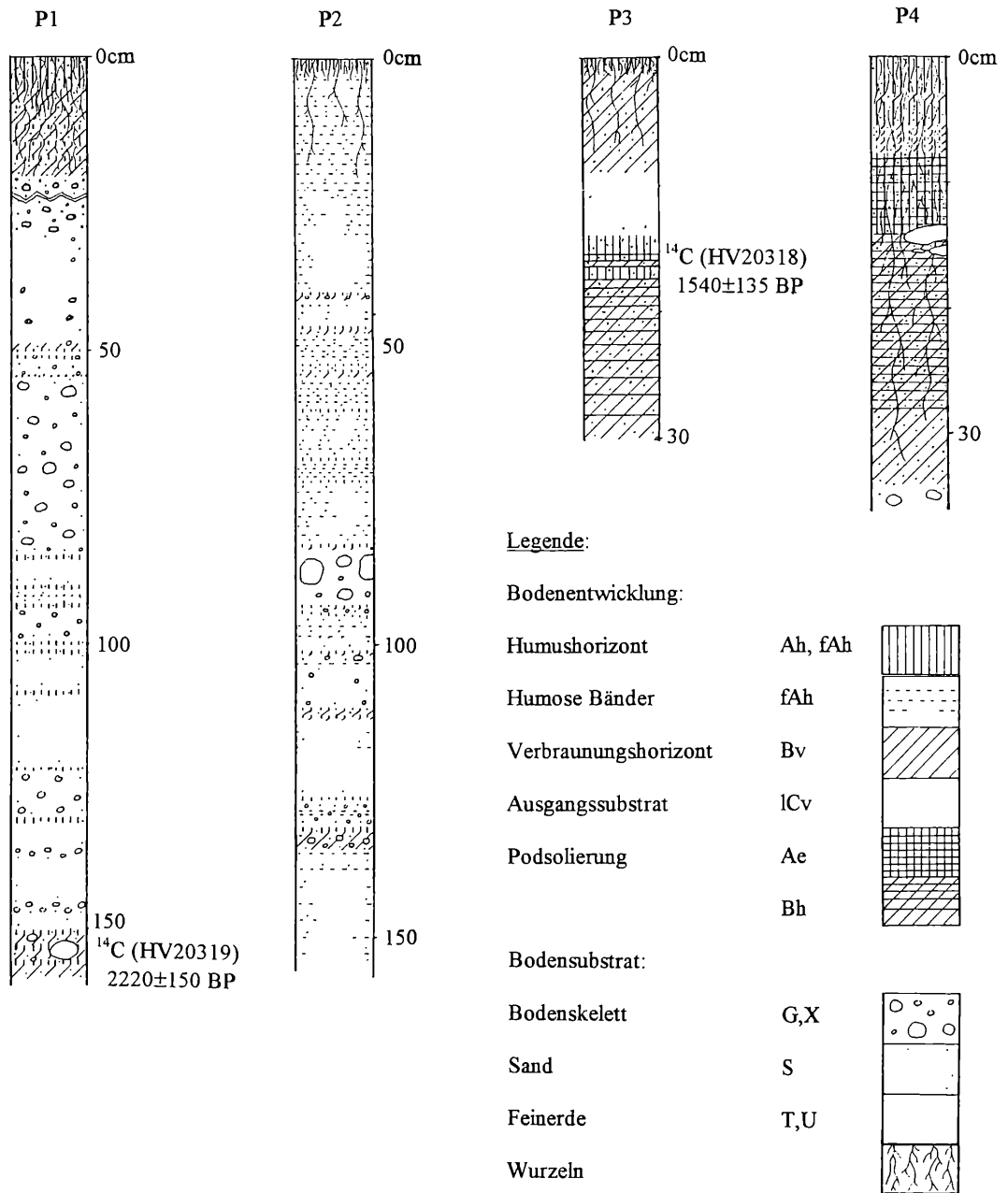


Abb. 5: Ausgewählte Bodenprofile im Piffkar. Die roten Nummern in Abbildung 2 markieren die Ortsslage der Bodenprofile.

Fig. 5: Soil profiles in the Piffkar. The location of the profiles is shown by the red numbers in figure 2.

Dort wo zwischen Hangschutthalde und Schwemmsandflächen keine Rundhöcker aus anstehender Rauhwaacke zwischengeschaltet sind, zeichnen sich flache, aber mehrere Meter breite Loben ab. Größere Blöcke, die nicht die allgemeine solifluidale Hangabwärtsbewegung mitmachen und an deren

hangaufwärts gerichteter Seite infolgedessen Bodenmaterial aufläuft, zeugen als Bremsblöcke von einer rezenten Bodenmobilität, die nur das Feinsubstrat erfaßt.

In einigen der rezent inaktiven, heute eingeschnittenen Schwemmfächer des Piffkares konnte eine vergleichbar intensive Bänderung des stark kalkhaltigen Substrates festgestellt werden (Abb. 5: P2). Daraus wird deutlich, daß es sich hierbei gegenüber der Solifluktion um einen flächenhaften Spülprozeß handelt, der sich fächerartig über die Vegetationsdecke ergießt. Während von den abtauenden Firnfeldern im Oberhang bei entsprechender Durchfeuchtung des Substrats episodische, kleinere Murenabgänge ausgehen, ist für die Hangspülung und Gelifluktion ein kontinuierliches Schmelzwasserangebot der Schneefelder des Unterhanges ausschlaggebend.

8.3 Differenzierung der Solifluktionsformen nach dem Substrat und dem Ausgangsgestein

An der Rückwand des Piffkares unterhalb der Edelweißspitze, wo auf engem Raum Dolomite und Rauhacken mit Quarziten und Schiefer wechseln, lassen sich exemplarisch die unterschiedlichen Ausprägungen der Solifluktionsformen nach dem Ausgangsgestein zeigen (Abb. 6).

Der Hang im Osten wird aus Rauhackendetritus aufgebaut. Die Oberfläche des rein karbonatischen Feinmaterials ist durch zahlreiche Solifluktionsloben mit kleinem, flachem Habitus und einzelnen Polsterinseln strukturiert. Im Westen, direkt unter der Edelweißspitze, zeichnen sich am Mittelhang in der Vegetationsdecke zwischen den Sturzblöcken schwache girlandenartige Strukturen ab. Eine Murrinne setzt ohne Ursprungsmulde nahe dem Gipfel ein und wird offenbar durch die Schneeanreicherung im Oberhang gespeist, welche von Schneefräsen verursacht wird, mit denen der Gipfelparkplatz an der Edelweißspitze geräumt wird.

In der Gipfelfurche zwischen den beiden Hängen tritt Silikatgestein in Form von Quarziten und grauen Glimmerschiefern auf. Der grobe Schutt unterhalb der Felswände wird zunächst blocklobenartig verlagert. Der Bewegungsmechanismus in den an der Oberfläche feinmaterialarmen Blockloben erfolgt durch Eis und Schnee, welche tief in die Hohlräume eindringen, und so die plastische Matrix bilden, die das Gestein in breiten Loben hangabwärts bewegt.

Im Unterhang kommt es zur Mischung der verschiedenen Verwitterungssubstrate. Hier liegt ein großer Erdstrom, der rezent als Ganzes nicht mehr bewegt wird, was an seiner vegetationsfreien, auflösenden Zunge zu erkennen ist. Die an der Oberfläche auftauchenden Quarzitblöcke werden jedoch noch von der lehmigen Bodenmatrix überfahren. Die Mobilität des Feinmaterials ist durch das hangaufwärts gerichtete Wurzelwachstum der vereinzelt den Erdstrom bedeckenden Polsterpflanzen nachweisbar.

Ein Mischsubstrat mit wechselndem Karbonat- und Silikatgesteinsanteil ist ebenfalls in den Moränenablagerungen im Karboden vorhanden. Im Gegensatz zum Hangschutt ging hier eine glazigene Aufbereitung des Materials voraus, was außer zu einer Kompaktion zu einer Erhöhung des Ton- und Schluffanteils sowie zu einer Abreicherung des Kalkgehaltes führte. Im Moränenmaterial ist unter einer meist dichten Grasnarbe eine tiefe Verbraunung mit ausgeprägtem Bv-Horizont bis hin zur Podsolierung vorhanden (Abb. 5: P4). Hier sind weniger humose Horizonte als im reinen Rauhackendetritus in den Oberboden eingearbeitet. Diese zeigen jedoch nicht nur schmale Humusbänder, sondern eine fortgeschrittenere Bodenbildung unter einer dichten Mattenvegetationsdecke an. Innerhalb eines spätglazialen Moränenbogens konnte in 15-17,5 cm Tiefe ein zweigliedriger, tief verbraunter fossiler Bodenhorizont im Moränenmaterial freigelegt werden. Eine Huminsäurebestimmung ergab ein ¹⁴C-Alter von 1540±35 BP (AD 400-655; Hv 20318; siehe Abb. 5: P3). Nach dieser morphologischen Stabilitätsphase, die durch die Bodenbildung belegt ist, kam es zu einer Aktivitätsphase mit einer solifluidalen Überschüttung. Anschließend herrschte hier bis heute wieder Formungsruhe, so daß sich in diesem Zeitraum in dem Solifluktionsmaterial wieder eine ausgeprägte alpine Braunerde entwickeln konnte. Eine lobenartige Oberflächenstruktur tritt an dieser Stelle aktuell nicht auf. Es zeigt sich gegenüber dem Hangschutt eine andersartige, mikroklimatisch induzierte Morphodynamik, die sich aus den unterschiedlichen Schnee- und Substratverhältnissen an den jeweiligen Standorten ergibt.



Abb. 6: Hang unterhalb der Edelweißspitze (2572 m) mit Formen der gehemmten und gebundenen Solifluktion in Westexposition in der linken Bildhälfte. In der Mitte ein großer Erdstrom, rechts im Bild Formen der ungebundenen und gehemmten Solifluktion in Nordexposition.

Fig. 6: Slope below the Edelweißspitze (2572 m) with solifluction features on a western slope on the left. In the middle a large “Erdstrom” (earth flow) and on the right, in northerly exposition, different forms of solifluction depending on the vegetation cover.

Für die reinen Blockströme, die in karbonatischem Marmorgestein genauso auftreten wie in silikatischem Quarzitgestein, ist allein durch den jährlich eingetragenen Schnee genügend Wasser für eine stetige periodische Bewegungsaktivität vorhanden. Bei Erdströmen bildet das Feinmaterial die Matrix für die darin schwimmenden Blöcke, so daß die solifluidale Mobilität nunmehr vom Bodenwasserhaushalt gesteuert wird.

An Teilen der östlichen Karwand und besonders innerhalb des moränenfreien Karbodens läßt sich erkennen, daß gerade dort Solifluktiionsloben auftreten, wo kluftgeleitetes Zuschußwasser am Hang austritt. In vielen Bereichen des Karbodens verhindert die karstbedingte Drainage des Oberflächenwassers die solifluidale Formung. Bei vorhandener Auflage von Moränenmaterial aus allochthonem Silikatgesteinen der Gipfelregionen ist die unterirdische Entwässerung durch das ton- und schluffreichere Substrat jedoch unterbunden. Es kommt zur Bildung von Stau nässe mit Büldenböden, Pseudovergleyung und Seenbildung, die auch durch Viehtritt mit Bodenverdichtung gefördert wird.

Während die solifluidale Mobilisierung des Moränenmaterials im Karboden durch autochthon eingetragenes Schmelz- und Regenwasser erfolgt, haben an den Karhängen zusätzlich allochthone Faktoren wie Kluft- und Hangzugwasser eine bedeutende Steuerungsfunktion für die solifluidalen Prozesse.

9 Diskussion

9.1 Klimatische und witterungsbedingte Einflüsse auf Formen und Prozesse der Solifluktion

Anhand der Messungen und Beobachtungen von Solifluktiionsbewegungen im Alpenraum (FURRER 1977, GAMPER 1987, 1991, STOCKER 1984, 1989, VEIT et al. 1995), kann hier der Teilprozeß des Bodenfließens über den noch gefrorenen Untergrund (Gelifluktion) als der dominante Faktor angesehen werden. Die durch Frostwechsel hervorgerufene Kriechbewegung als Teilprozeß der Solifluktion, wie er auch für andere Regionen der Erde nachgewiesen wurde (WASHBURN 1979 und KARTE 1979 sowie die dort zitierte Literatur), spielt im Untersuchungsgebiet wegen der wärmeisolierenden und dämpfenden Wirkung der jährlich auftretenden geschlossenen Schneedecke unter den derzeitigen Klimabedingungen keine wesentliche Rolle. Zur Gelifluktion kommt es nur, wenn im Herbst der Frost in den Boden eindringen kann, um im Frühjahr die stauende Schicht unter dem fließenden Auftauboden zu bilden.

Durch die räumlich-zeitlichen Verteilungsmuster des Schnees und das unterschiedliche Ausapern von Schneeflecken sowie durch die zeitlichen Variationen zwischen Bodenfrost und Einschneitermin werden sowohl die Verbreitung verschiedener Solifluktiionsformen als auch die Intensität und Andauer der Prozesse der Solifluktion gesteuert. GAMPER (1987) und VEIT et al. (1995) konnten zeigen, daß das Verteilungsmuster der winterlichen Schneedecke als übergeordneter Faktor gleichermaßen das Auftreten von Vegetation und Solifluktiionsformen steuert.

Bei einem frühen Einschneitermin verhindert die isolierende Schneedecke das Eindringen des Frostes in den Boden, so daß zur Zeit der Schneeschmelze das Wasser oberflächlich verspült und im grobporigen, grusigen Substrat, welches aus der Rauhackenverwitterung hervorgeht und an den Unterhängen im Piffkar weit verbreitet ist, schnell versickert. Dringt der Frost jedoch in den Boden ein bevor eine geschlossene Schneedecke auftritt, bleibt dieser bis zum Ausapern ebenfalls wegen der thermisch isolierenden Wirkung der Schneedecke erhalten. Der tauwasserdurchtränkte Auftauboden beginnt über dem liegenden Eiskern zu fließen. Erste Auswertungen von Bodentemperaturmessungen im Umkreis der Edelweißspitze in den Jahren 1995 und 1996/97 zeigen, daß trotz der vielen Frostwechsel in der Luft der Boden nicht durchgefroren war und sich die Amplituden im Tagesgang der Lufttemperatur bei dämpfender Schneedecke nicht im Boden abzeichneten.

Für eine mikroklimatische Interpretation von Solifluktiionsphasen bekommt somit der Schnee als Wasserreservoir und Abflußpender in seinem zeitlichen und räumlichen Auftreten eine übergeordnete Bedeutung gegenüber dem im Bodeneis gespeicherten Wasser. Nivale Formungstendenzen durch Schnee-Einlagerung in Steilhängen und durch Schneefelder am Hangfuß sind besonders bei mikrokli-

| Ausgangsgestein - Verwitterungsart | Periglaziale Formen, Ba, V und B in Hangschutt | Periglaziale Formen, Ba, V und B in Moränenmaterial | Fluviale Erosions- und Akkumulationsformen |
|--|--|---|---|
| Quarzite, Gneise - zerfällt blockartig entlang von Klüften und Schichtstrukturen | Blockschuttloben und Blockströme Ba: Grober Blockschutt mit wenig Feinkorn V: in Gunstbereichen (marginal, Hohlformen) B: Rohboden | Blockgletscher, Blockschuttloben, Miniaturloben Ba: Moränenmaterial mit Blockschutt und viel Feinkorn V: gute Vegetationsbedingungen zwischen dem oberflächlichen Blockschutt B: intensive Bodenbildung: Ranker bis Podsol, stellenweise Pseudovergleyung | Schutfächer und -kegel - grobe Schotter, schluffige Ablagerungen durch Wildbäche mit periodischem Abfluß |
| Schiefer, Phyllite - zerfällt dünnplattig entlang von Schieferungsfugen, Sedimentstrukturen und Klüften | Solifluktionsloben und Erdströme Ba: Schuttdecke aus Mittel- und Feinkorn V: meist dichte Vegetationsdecke B: Bodenbildungen vom Ranker bis zur sauren alpinen Braunerde | Erdströme Ba: Moränenmaterial mit allen Kornfraktionen und hohem Feinstkornanteil V: bis auf exponierte Standorte dichte Vegetationsdecke B: tiefe Bodenbildung, saure alpine Braunerde bis Podsol oder Pseudovergleyung | Schwemmschutfächer, Murfächer - Kiese und lehmige Sedimente durch Wildbäche mit periodisch starkem Abfluß und durch episodische Murabgänge |
| Marmor - zerfällt blockartig entlang von Klüften, Lösungsverwitterung | Blockströme, Miniaturloben Ba: Grober Blockschutt, oberflächlich ohne Feinmaterial V: nur in marginalen Gunstbereichen B: Rohboden | Blockströme Ba: Blockschutt, oberflächlich ohne Feinmaterial V: lockere Vegetationsdecke B: Rohboden | Erosionsrinnen entlang von Kluftsystemen - Lösungsabtrag, Karstentwässerung und kein perennierender Oberflächenabfluß - Akkumulation von Residualton in Mulden |
| Dolomite, Rauhacken - zerfallen blockartig entlang von Kluftstrukturen und grusig entlang von Störungszonen, Lösungsverwitterung | Solifluktionsloben, Erdströme, Rutschungen Ba: Schuttdecke aus sandig-kiesigem Material mit Sturzblöcken V: Vegetationsdichte nach Standortbedingungen wechselnd B: Pararendzina, extensive Bodenbildung | Solifluktionsloben Ba: Moränenmaterial oberflächlich stark erodiert, im Untergrund als Kies und Grobschutt V: bis auf exponierte Standorte dichte Vegetationsdecke B: mäßige Bodenbildung von Pararendzina bis schwache Braunerde | Erosionsrinnen entlang von Kluft- und Schichtstrukturen, Murbahnen und -kegel - Lösungsabtrag, Sand u. Schluff, grusige Verwitterungsresiduen in situ - kein durchgehendes oberirdisches Abflußsystem, subkutane Entwässerung - Einschneidung der Schuttkörper von oben her durch Muren, von unten durch rückschreitende Erosion |

Tab. 1: Der geomorphologische Kleinformenschatz und die ökologischen Begleiterscheinungen in Abhängigkeit vom Ausgangsgestein im Piffkar und an der Edelweißspitze. Ba = oberflächennaher Untergrund, V = Vegetation, B = Bodenbildung

Table 1: The distribution of periglacial and fluvial landforms in relation to bedrock geology in the Piffkar and at the Edelweißspitze

matischen Gunstpositionen in Nordexposition in tieferen Karlagen vertreten. Von den Schneefeldern im Oberhang gehen Lawinen und kleinere Murbahnen aus.

9.2 Lithologische Einflüsse auf Formen und Prozesse der Solifluktion

In Tabelle 1 sind zusammenfassend die Solifluktionsformen mit ihrer typischen Boden- und Vegetationsvergesellschaftung systematisch nach dem Ausgangsgestein gruppiert dargestellt. Es zeigt sich eine deutliche Beziehung zwischen der Art der Verwitterung des Ausgangssubstrates und seiner periglazialen Überarbeitung.

Blockartig zerfallende Gesteine wie Quarzite, Gneise und Marmore werden im wesentlichen durch Schnee-Einlagerung in den Hohlräumen zwischen den Blöcken mobilisiert, indem das daraus entwickelte Eis die plastische Matrix bildet. Bei den rasch zu Feinmaterial verwitternden Gesteinen und bei glazigen aufbereiteten Massengesteinen bildet das Feinmaterial im Boden die plastische Matrix, wobei die dazu notwendige Feuchtigkeit aus benachbarten Schneeflecken oder aus kluftgebundenen Sickerwasser zugeführt wird.

Während bei silikatischen Massengesteinen, vor allem nach glazigener Aufbereitung auch viel Feinmaterial auftreten kann, bleibt beim Marmor infolge der Lösungsverwitterung nur grobes Material erhalten, sodaß hier keine Bodenentwicklung stattfinden kann.

9.3 Zeitliche Abfolge morphologischer Prozesse im Piffkar

Seit Beginn des Holozäns werden die Hänge in dieser Höhenstufe unter kalt-humiden Klimabedingungen durch verschiedene gravitative, denudative und erosive Prozesse überformt. Kleinere Klimaschwankungen während des Holozäns sind nicht nur durch Gletscherschwankungen zu rekonstruieren (u.a. PATZELT 1977) sondern lassen sich in der periglazialen Höhenstufe auch durch morphologische Stabilitätsphasen mit Bodenbildung und Aktivitätsphasen mit verstärkter Solifluktion (GAMPER 1993, VEIT 1993) nachweisen. Eigene ¹⁴C-Datierungen fossiler Humushorizonte von 2200±150 BP und 1540±135 BP decken sich mit Bodenbildungsphasen der Ostalpen (VEIT 1993) und der Westalpen (GAMPER 1993). Daß sich aus fossilen Böden nur Mindestalter bestimmen lassen, ist bekannt (vgl. GAMPER 1985: 10f). Mögliche Datierungsfehler, besonders bei gut entwickelten Böden, erschweren eine exakte zeitliche Einordnung beispielsweise von Solifluktionsphasen (MATTHEWS 1993). Da die Bildungsdauer dieser Böden jedoch relativ kurz war - es handelt sich lediglich um geringmächtige, fossile Ah-Horizonte -, weicht das absolute Bodentalter hier wahrscheinlich nur wenig vom ¹⁴C-Alter ab (vgl. LUEDERS et al. 1970).

10 Ausblick

Eine geomorphologische Bestandsaufnahme der periglazialen Prozeßdynamik mit begleitenden mehrjährigen klimatologischen Messungen, insbesondere der Bodentemperatur und -feuchte, könnte als eine Art "Monitoring", wie es im biologischen Wissenschaftsbereich im Nationalpark schon vorgenommen wird, zur standortökologischen und mikroklimatischen Bewertung herangezogen werden.

Nachdem im Piffkar eine Beweidung in Zukunft ausgeschlossen werden soll, kann hier anhand eines Vergleiches der Einfluß der Beweidung auf den oberflächennahen Untergrund und die Solifluktionsformen studiert werden. Weitere geplante Forschungen zum periglazialen Formenschatz sollen sich, neben Bodentemperaturmessungen an unterschiedlichen Standorten, zunächst auf die Wasserscheide zwischen dem Fuschertal und dem Seidlwinkltal konzentrieren. Hier sollte die Abhängigkeit der morphologischen Formen und rezenter Prozesse von unterschiedlichen Expositionen und von der Gesteinsvariabilität der Schieferhülle der Hohen Tauern ausgehend von der vorgelegten Detailkartierung im Piffkar Gegenstand der Untersuchungen sein.

Wir danken der Nationalparkverwaltung Hohe Tauern in Neukirchen für die Unterstützung und für die freundliche Genehmigung der Forschungsarbeiten im Sonderschutzgebiet Piffkar. Für die zukommende Bereitstellung einer Unterkunft in der Eduard-Paul-Tratz-Forschungsstation sowie für die logistische Unterstützung danken wir dem Nationalparkinstitut des Hauses der Natur, Salzburg, und besonders Herrn Dr. N. WINDING. Die ¹⁴C-Datierungen wurden freundlicherweise von Herrn Prof. Dr. M.A. GEYH (Hannover) durchgeführt. Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes möchten wir uns bei Herrn Univ.Prof. Dr. H. SLUPETZKY und Herrn Univ.DoZ. Dr. E. STOCKER bedanken.

12 Literatur

- ARBEITSGRUPPE BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. verb. u. erw. Aufl. - Hannover, 392pp.
- BÜDEL, J. (1969): Der Werdegang der Alpen, Europa und die Wissenschaft. - Neue Forschungen im Umkreis der Glocknergruppe. Wiss. Alpenvereinshefte 21: 13-45.
- CORNELIUS, H.P. & CLAR, E. (1939): Geologie des Großglocknergebietes, Teil I. - Abh. d. Reichsstelle f. Bodenforschung, Zweigst. Wien, 25, I, 306pp.
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 5.Aufl. - Stuttgart, 1095pp.
- EXNER, CH. (1952): Geologische Probleme in den Hohen Tauern. - Veröff. d. Geolog. B.A. Wien, Sonderheft C: 86-95.
- FRANK, W. (1969): Geologie der Glocknergruppe. - Neue Forschungen im Umkreis der Glocknergruppe. Wiss. Alpenvereinshefte 21: 95-112.
- FURRER, G. (1977): Klimaschwankungen im Postglazial im Spiegel fossiler Böden. In FRENZEL, B. (Hrsg.): Dendrochronologische und postglaziale Klimaschwankungen. Erdwiss. Forschungen 13: 267-270.
- GAMPER, M. (1985): Morphochronologische Untersuchungen an Solifluktioniszungen, Moränen und Schwemmkegeln in den Schweizer Alpen. - Phys. Geogr. 17, Zürich, 115pp.
- GAMPER, M. (1987): Mikroklima und Solifluktion: Resultate von Messungen im schweizerischen Nationalpark in den Jahren 1975-1985. - Göttinger Geogr. Abh. 84: 31-44.
- GAMPER, M. (1991): Solifluktionsphasen im Holozän der Alpen. - Paläoklimaforschung 1: 79-85.
- GAMPER, M. (1993): Holocene solifluction in the Swiss Alps: dating and climatic implications. - Paläoklimaforschung 11: 1-9.
- GEYH, M.A. (1983): Physikalische und chemische Datierungsmethoden in der Quartär-Forschung. - Clausthaler Tektonische Hefte 19, Clausthal-Zellerfeld, 163pp.
- GROSS, G. (1983): Die Schneegrenze und die Altschneelinie in den österreichischen Alpen. - Innsbrucker Geogr. Studien 8: 59-75.
- GRUBER, F. (1980): Die Verstaubung der Hochgebirgsböden im Glocknergebiet. Veröff. österr. Maß-Hochgeb.-Progr. 3: 69-90.
- HÖLLERMANN, P. (1967): Zur Verbreitung rezenter periglazialer Kleinformen in den Pyrenäen und Ostalpen. Göttinger Geogr. Abh. 40, Göttingen, 188pp.
- HÖLLERMANN, P. (1985): The periglacial belt of mid-latitude mountains from a geocological point of view. Erdkunde 39: 259-270.
- KARTE, J. (1979): Räumliche Abgrenzung und regionale Differenzierung des Periglaziärs. Bochumer Geogr. Arb. 35, Paderborn, 211pp.
- KERSCHNER, H. (1985): Quantitative palaeoclimatic inferences from lateglacial snowline, timberline and rock glacier data, Tyrolean Alps, Austria. - Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol. 21: 363-369.
- KLINGE, M. (1995): Der morphologische Kleinformenschatz der periglazialen Höhenstufe im Piffkar (Hohe Tauern). - Unveröff. Diplomarb., Geographisches Institut, Universität Göttingen, 73pp.

- LEHMKUHL, F. (1989): Geomorphologische Höhenstufen in den Alpen unter besonderer Berücksichtigung des nivalen Formenschatzes. - Göttinger Geogr. Abh. 88, Göttingen, 113pp.
- LEHMKUHL, F., BÖHNER, J. & ROST, K.T. (1992): Die nivale Höhenstufe und ein Versuch ihrer klimatischen Abgrenzung anhand ausgewählter Gebiete der Alpen und Skandinaviens. - Erdkunde 46: 3-13.
- LESER, H. (1977): Feld- und Labormethoden der Geomorphologie. - Berlin, 446pp.
- LIEB, G. K. & SLUPETZKY, H. (1993): Der Tauernfleck-Blockgletscher im Hollersbachtal (Venedigergruppe, Salzburg, Österreich). - Wiss. Mitt. Nationalpark Hohe Tauern, Bd. 1: 138-146.
- LUEDERS, R., BENZLER, J., ROESCHMANN, G. & SCHNEEKLOTH, H. (1970): Möglichkeiten und Grenzen der Radiocarbon-Altersbestimmung von Böden: II. Probleme der bodengenetischen Auswertung. - Mitt. d. Deutschen Bodenkundlichen Ges. 10: 242-245.
- LUFTBILDKARTE, NATIONALPARK HOHE TAUERN (1983): Luftbildaufnahmen im Maßstab 1:10000, hergestellt im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit und Umweltschutz vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen und dem Österreichischem Bundesinstitut für Gesundheitswesen, Wien.
- MATTHEWS, J.A. (1993): Radiocarbon dating of buried soils with particular reference to Holocene solifluction. - In: FRENZEL, B. (Hrsg.): Solifluction and climatic variation in the Holocene. Paläoklimaforschung 11: 309-324.
- PATZELT, G. (1977): Der zeitliche Ablauf und das Ausmaß postglazialer Klimaschwankungen in den Alpen. - In: FRENZEL, B. (Hrsg.): Dendrochronologie und postglaziale Klimaschwankungen in Europa. Erdwiss. Forschungen 13: 248-259.
- PEER, T. (1993): Die Bodenformen im Sonderschutzgebiet Piffkar. Wiss. Mitt. Nationalpark Hohe Tauern, Bd. 1: 34-42.
- SCHIECHTL, H.M. & STERN, R. (1985): Die aktuelle Vegetation der Hohen Tauern. Matrei in Osttirol und Großglockner: Vegetationskarten 1:25000 mit Erläuterungen. Nationalpark Hohe Tauern, Wissenschaftliche Schriften, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, 64pp.
- SPÄTH, H. (1969): Die Großformen im Glocknergebiet. Neue Forschungen im Umkreis der Glocknergruppe. Wiss. Alpenvereinshefte 21: 117-141.
- STINGL, H. (1969): Ein periglazialmorphologisches Nord-Süd-Profil durch die Ostalpen. - Göttinger Geogr. Abh. 49, Göttingen, 120pp.
- STOCKER, E. (1984): Ergebnisse elfjähriger Messungen der Bodenbewegung in der alpinen Stufe der Kreuzeckgruppe. - Wiener Geogr. Schriften 59/60: 27-35.
- STOCKER, E. (1989): Strukturen des Mikroreliefs in der subalpin-alpinen Höhenstufe in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen. - Bayreuther Geowiss. Abh. 14: 47-57.
- TOLLNER, H. (1969): Klima, Witterung und Wetter in der Großglocknergruppe. - Neue Forschungen im Umkreis der Glocknergruppe. Wiss. Alpenvereinshefte 21: 83-94.
- TROLL, C. (1944): Strukturböden, Solifluktion und Frostklimate der Erde. - Geol. Rundschau 44: 545-694.
- VEIT, H. (1993): Holocene solifluction in the Austrian and southern Tyrolean Alps: dating and climatic implications. - Paläoklimaforschung 11: 23-32.
- VEIT, H., STINGL, H., EMMERICH, K.-H. & JOHN, B. (1995): Zeitliche und räumliche Variabilität solifluidaler Prozesse und ihre Ursachen. - Zeit. f. Geomorph. N.F. Suppl. 99: 107-122.
- WASHBURN, A. L. (1979): Geocryology. - London, 406pp.

Adresse der Autoren

Dipl.Geogr. Michael Klinge
 Privatdozent Dr. Frank Lehmkühl
 Geographisches Institut der Universität Göttingen
 Goldschmidtstraße 5
 D-37077 Göttingen