

Macquarie Island — eine vom Wind geprägte Naturlandschaft in der Sub-Antarktis

Von Ernst Löffler*

Zusammenfassung: Die zwei beherrschenden Klimatelemente auf Macquarie Island sind die gleichmäßig niedrigen Temperaturen mit häufigen Frostwechseln und die konstant hohen Windgeschwindigkeiten. Während die niedrige Temperatur den generell limitierenden Faktor für den Pflanzenwuchs darstellt, bestimmt die Exposition zum Wind die räumliche Verteilung der Vegetationsformationen und der geomorphologischen Kleinformen.

Die Hartpolsterformation nimmt alle windexponierten Standorte des Plateaus ein. Bei geringerer Windexposition wird sie je nach Höhe des Grundwasserspiegels durch Staudenfluren, Moore und Sümpfe ersetzt. Die Küstengebiete, die im Vergleich zum Plateau weniger stark windausgesetzt sind, werden von *Poa foliosa*-Grasland eingenommen.

Während das Großrelief der Insel stark glazial überformt ist, wird das Kleinrelief der Hänge von rezenten und vorzeitlichen periglazialen Vorgängen und deren Zusammenhang mit der Vegetationsdynamik bestimmt. Windexponierte Hanglagen weisen einen hohen Grad an Mobilität auf, während leeseitige sich durch Stabilität und auffallende Hangterrassierungen auszeichnen. Diese Terrassen werden als reliktsche unter Permafrostbedingungen entstandene Solifluktionsterrassen angesehen, und das Überdauern der Terrassen ist durch die stabilisierende Wirkung der *Azorella*-Polster, die sich im relativen Windschutz der Terrassenstürnen entwickeln konnten, gewährleistet. Windexponierte Hänge dagegen werden durch seichte Solifluktion geglättet. Schrägterrassen stellen Zwischenformen dar und zeigen, daß es alle Übergänge von einer aktiven rezenten Hangdynamik in Gebieten starker Windexposition bis zu geringer Hangdynamik mit relikten Formen in Gebieten geringerer Windexposition gibt.

Summary: The two dominant environmental factors on Macquarie Island are the constantly low temperatures and the high wind velocities. The low temperatures are the overall limiting factors for the vegetation as a whole while the exposure to wind determines the distribution of the vegetation types and of small scale geomorphological features. The hard cushion formation (feldmark) occupies most of the wind exposed plateau area. With decreasing wind exposure the hard cushions are replaced by herbfields, bogs or fens depending on the height of the ground water table. The coastal areas which are generally less wind exposed are covered by *Poa foliosa* grassland.

While the macro relief of the island is largely glacial in origin the micro relief of the slopes is caused by past and recent periglacial solifluction and its interrelationship with vegetation development. While wind exposed slopes exhibit a high degree of slope mobility the lee slopes are much more stable and are characterized by large stable terraces. These terraces are considered to be relict features formed when permafrost conditions prevailed. On the windward slopes such terraces if they had existed could not have survived because neither the risers nor the terrace surface gave protection from the wind exposure and the shallow solifluction movements caused smoothing of the slopes. Oblique terraces occur on slopes that have neither a clear leeward nor windward aspect and are transitional forms between the unterraced windward slopes and the terraced lee slopes.

1. EINFÜHRUNG

Macquarie Island ist eine kleine Insel im Südpazifischen Ozean rund 1500 km südöstlich von Tasmanien bei 54°55' S und 158°55' E; sie ist rund 35 km lang und 3—5 km breit und erstreckt sich in ihrer Längsachse in Richtung Nordnordost (Abb. 1). Die Insel wurde im Jahre 1810 entdeckt und daraufhin von Robbenfängern regelmäßig aufgesucht. Obwohl die begehrten antarktischen Pelzrobben innerhalb von 10 Jahren ausgerottet und die See-Elefanten in starkem Maße dezimiert waren, wurden bis Anfang dieses Jahrhunderts See-Elefanten und Pinguine zur Ölgewinnung geschlachtet. Es war vor allem dem Einsatz des australischen Südpolarforschers D. Mawson zu verdanken, daß die Insel 1933 zum Naturschutzgebiet erklärt wurde und vor weiterer Ausbeutung verschont blieb. Inzwischen hat sich die Tierwelt wieder erholt, und selbst Pelzrobben sind wieder in kleiner Zahl zur Insel zurückgekehrt. Die Zahl der Pinguine wird heute auf mehrere Millionen geschätzt, die der See-Elefanten (*Mirounga leonina*) auf über 100 000 und die der Pelzrobben (*Arctocephalus forsteri*) auf etwa 1 000 (NATIONAL PARKS & WILDLIFE SERVICE 1980). Geblieben sind jedoch auch eine Anzahl lebender „Andenken“ an die Zeit der wirtschaftlichen Ausbeutung wie Kaninchen, Katzen, Ratten und Mäuse, die dieses kleine und einmalige Ökosystem erheblich belasten.

Durch die Australian National Antarctic Research Expeditions (ANARE) wurde im Jahre 1948 eine dauernd besetzte Station auf der Insel eingerichtet, die vor allem meteorologische und geophysikalische Beobachtungen sammelt, aber auch als Stützpunkt für andere Untersuchungen dient. Die Insel ist für Geo-

* Prof. Dr. Ernst Löffler, Institut für Geographie der Universität, Kochstr. 4, 8520 Erlangen.

graphen, vor allem für deutsche Geographen, durch die Arbeiten von TROLL (1944, 1947, 1948) und TROLL & PAFFEN (1964) ein Begriff geworden und als ein Musterbeispiel für ein extrem einheitliches, nahezu isothermes, ozeanisch-maritimes Klima bekannt. Allerdings wurde bisher wenig über die Geoökologie der Insel berichtet, wenn auch einige Publikationen zur Vegetation, Flora, Böden und Wachstumsbedingungen einzelner Pflanzenarten vorhanden sind (TAYLOR 1955a, JENKIN 1972, 1975, JENKIN & ASHTON 1970, HNATJUK 1978). Im folgenden sollen daher ein Überblick über die geoökologischen Grundlagen dieser Insel gegeben und anschließend die Prozesse der Hangdynamik diskutiert werden, die hier als Zusammenspiel von Wind, Pflanzenwuchs und Solifluktion erscheinen. Verf. stützt sich dabei auf eigene Beobachtungen während zweier kurzer Aufenthalte auf der Insel sowie die angeführten Publikationen. Die Klimadaten wurden freundlicherweise vom Australian Bureau of Meteorology und der ANARE zur Verfügung gestellt.

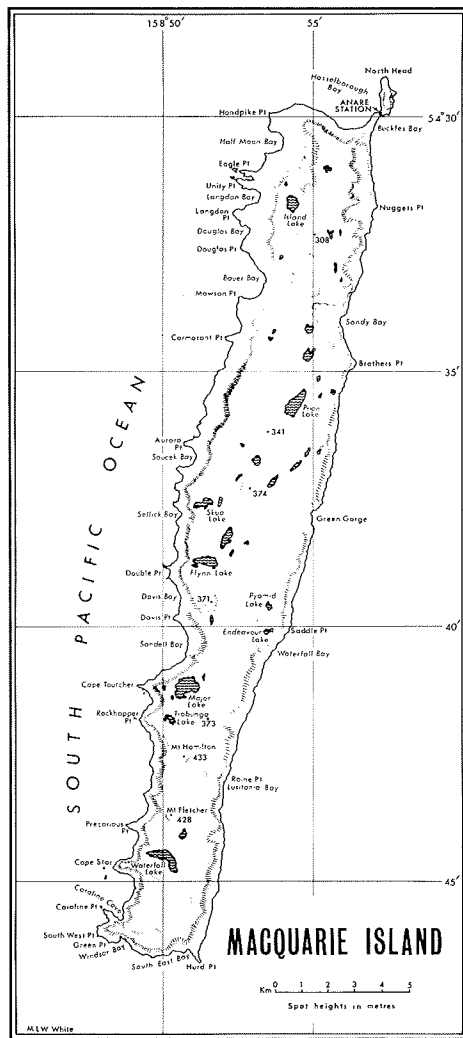


Abb. 1: Übersichtskarte von Macquarie Island.

Fig. 1: General map of Macquarie Island.

2. KLIMA

Das Klima auf Macquarie Island zeichnet sich durch einen sehr ausgeglichenen Temperaturgang aus, wie bereits von TROLL (1947) herausgestellt wurde. Das von ihm entworfene Thermoisoplethendiagramm ist schlechthin zum Standardbeispiel für ein isothermes ozeanisch subantarktisches Klima geworden. Inzwischen konnte mit Hilfe einer längeren Meßreihe ein etwas exakteres Diagramm entworfen werden (JENKIN 1975), aber im Prinzip hat sich daran wenig geändert (Abb. 2). Das Thermoisoplethendiagramm vermittelt allerdings einen übertriebenen Eindruck von der Einheitlichkeit des täglichen Temperaturgangs, da es auf gemittelten Stundentemperaturen aufgebaut ist. Die mittleren täglichen Temperaturschwankungen, aus der Differenz zwischen mittleren monatlichen Maxima und Minima berechnet, betragen $3,5^{\circ}\text{C}$, und die Schwankungen um diesen Mittelwert sind beträchtlich, wobei Tagesschwankungen von 10°C durchaus vorkommen können. Das absolute Maximum wurde mit $12,6^{\circ}\text{C}$, das absolute Minimum mit $-8,9^{\circ}\text{C}$ gemessen. Frost kann in allen Monaten auftreten mit Ausnahme von Januar und Februar, ist aber natürlich in den Wintermonaten mit durchschnittlich 8–9 Frosttagen häufiger als in den anderen Monaten (Tab. 1). Frost wird an durchschnittlich 51 Tagen pro Jahr erreicht, wobei die Zahl der Frosttage innerhalb des Meßzeitraums (1949–78) zwischen 27 und 77 schwankte. Eigentliche Eistage, d. h. Tage, an denen die Temperaturen nicht über den Gefrierpunkt steigen, gibt es auf Macquarie Island praktisch nicht.

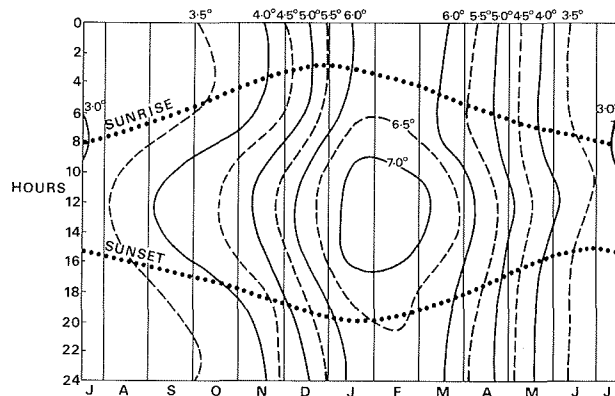


Abb. 2: Thermoisoplethendiagramm, ANARE Station, Macquarie Island.

Fig. 2: Thermoisopleth diagram, ANARE Station, Macquarie Island.

Aber nicht nur die Temperaturen sind einheitlich, sondern auch alle anderen Klimaelemente (Tab. 1). Die Niederschläge liegen bei 893 mm im Jahr, wobei der März mit 91 mm den höchsten, der August mit 60 mm den niedrigsten Niederschlag aufweist. Niederschläge fallen an rund 320 Tagen im Jahr und zwar hauptsächlich in Form von anhaltenden Regen, aber auch Hagel und Schnee kommen vor. Schnee kann praktisch zu allen Jahreszeiten fallen, bleibt jedoch selten länger als ein paar Tage liegen, und selbst den höchsten Abschnitten des Plateaus fehlt eine winterliche Schneedecke. Die maximale Schneehöhe liegt bei rund 20 cm. Die Luftfeuchtigkeit beträgt durchweg etwa 90% und die Windgeschwindigkeiten liegen im Durchschnitt bei 8–9 m/sec (30 km/h) und zeigen im langjährigen Durchschnitt ebenfalls keine nennenswerten jahreszeitlichen Schwankungen (Tab. 1) im Gegensatz zu anderen subantarktischen Gebieten, die deutliche Sommermaxima aufweisen (WEISCHET 1978). Die Monate September und Oktober sind mit durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten von 9,4 bzw. 9,2 m/sec allerdings etwas stürmischer als die

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Lufttemperatur (1948–78) °C													
(durchschnittl. monatliche Mittelwerte)													
Minimum	5,1	5,1	4,5	3,4	2,4	1,4	1,5	1,5	1,3	1,8	2,6	4,3	2,9
Maximum	8,5	8,4	7,8	6,7	5,7	4,9	4,8	5,0	5,3	5,5	6,4	7,8	6,4
Mittel	6,8	6,8	6,2	5,1	4,2	3,3	3,2	3,3	3,3	3,7	4,5	6,1	4,7
Anzahl der Tage mit Frost; Mittel	0	0	0	2	5	9	9	8	8	6	3	0	51
Anzahl der Tage mit Frost; Maximum	0	1	3	5	16	17	19	16	17	13	10	5	
Anzahl der Tage mit Bodenfrost*	1	1	3	6	11	14	14	13	14	13	7	2	99
Durchschnittliches Minimum der Bodenoberfläche °C (1956–78)*	4,2	4	3,4	2,2	1,3	0,4	0,3	0,6	0,4	0,8	1,8	3,4	1,9
Bodentemperaturen (9.00 Uhr, 1965–78)													
10 cm	9	8	7	5	4	3	3	3	3	4	6	8	5,25
20 cm	9	8	7	5	4	3	3	3	3	4	6	8	5,25
50 cm	9	9	7	6	5	3	3	3	3	4	6	8	5,5
100 cm	8	8	8	7	5	4	3	3	4	4	6	7	5,4
Windgeschwindigkeiten m/sec (1950–78)													
Durchschnitt	8,1	8,3	8,9	8,9	8,1	8,3	8,1	8,2	9,4	9,2	7,8	7,2	8,3
Höchster monatlicher Durchschnitt	14,7	10,5	11,1	10,5	10,5	10,8	9,7	11,9	15	16,9	13	10,3	
Niedr. monatlicher Durchschnitt	6,1	6,7	5,8	7,2	6,1	6,1	5,3	6,1	4,7	7,2	5,6	4,4	
Niederschlag mm													
	76,2	79,6	91,4	87,6	76,6	71,7	65,9	60,2	69,9	69,5	67,0	72,6	893
Relative Luftfeuchtigkeit %													
	90	89	90	89	91	90	90	90	89	87	86	88	89

* Für die Erfassung der Anzahl der Bodenfrosttage und des Minimums der Bodenfläche wurde das Meßjahr 1963 nicht verwendet, da die Angaben äußerst unwahrscheinlich sind. So liegt z. B. die Zahl der Tage mit Bodenfrost mit 232 um mehr als das Doppelte über dem Durchschnitt, die Bodenminima sogar für Mai bis August um 5–6° unter dem durchschnittlichen Minimum, während für alle anderen Jahre die Werte nur um $\pm 1^\circ$ schwanken, und die Minima der Lufttemperaturen dagegen völlig innerhalb der zu erwartenden Variabilität liegen.

Tab. 1: Klimadaten für ANARE Station, 54° 30' S, 158° 57' E, 6,1 m ü. NN

Tab. 1: Climatic data for ANARE Station at 54° 30' S, 158° 57' E., 6,1 m a. s. l.

übrigen Monate und weisen auch mit 15 bzw. fast 17 m/sec die höchsten gemessenen Monatswerte auf.

Da die ANARE Station in der etwas geschützten Hasselborough Bay liegt (Abb. 1), sind die Klimadaten streng genommen nicht für die ganze Insel repräsentativ, insbesondere nicht für das Plateau, das praktisch 90% der Insel ausmacht: Windgeschwindigkeiten und Niederschläge sind auf dem Plateau höher, Temperaturen niedriger. Nach TAYLOR (1955a) und JENKIN (1972, 1975) beträgt der Temperaturgradient rund 1 °C pro 100 Höhenmeter, d. h. auf dem Plateau, das zwischen 150 und 350 m Höhe liegt, kann man mit einer wesentlich größeren Anzahl von Frösten rechnen. Eigene kurzfristige Temperaturmessungen zeigten, daß dieser hohe Temperaturgradient sich auch klar in den Bodentemperaturen widerspiegelt: auch hier beträgt der Temperaturabfall mit erstaunlicher Regelmäßigkeit 1 °C pro 100 Höhenmeter für entsprechende Bodentiefen. Windgeschwindigkeiten sind ebenfalls wesentlich höher, was jedem bewußt wird, der einmal den Anstieg von der relativ windgeschützten Ostküste her auf das Plateau durchgeführt hat. Die Windböen auf dem Plateau sind oft so stark, daß ein Vorwärtskommen gegen den Wind nur unter äußerster Anstrengung oder gar ganz unmöglich ist, wie Verf. es in den Oktobertagen 1980 erlebte. JENKIN (1972) schätzt, daß die Windgeschwindigkeiten auf dem Plateau mindestens 25% höher sind als auf der Station, und in besonders exponierten Lagen rechnet Verf. nach eigenen kurzfristigen Messungen mit handgehaltenen Anemometern mit Windgeschwindigkeiten, die das Doppelte und mehr betragen. Nach den Angaben von JENKIN (1972) zeigte eine dreißigtägige Meßreihe an einer windexponierten Stelle auf dem Plateau durchschnittliche Windgeschwindigkeiten von 17 m/sec (60 km/h) an, und an einem der Tage sank die Windgeschwindigkeit nicht unter 28 m/sec (100 km/h).

Das Auftreten von Bodenfrost ist für den Pflanzenwuchs und die geomorphologischen Prozesse in diesem Gebiet von besonderer Bedeutung. Im Durchschnitt liegt die Zahl der Tage mit Bodenfrost bei etwa 100 (Tab. 1), wobei dieser in allen Monaten auftreten kann, wenn auch ein deutliches Wintermaximum vorhanden ist. Der Bodenfrost dringt jedoch kaum in den Boden ein: nur eine oberflächliche Schicht von maximal 10 cm ist betroffen. Diese Eindringtiefe erscheint in Anbetracht der kurzfristigen und relativ geringen Frosttemperaturen zwar recht hoch, konnte aber während der Geländeuntersuchungen bestätigt werden. Es kommt dabei zu weit verbreitetem Kammeis. Ab 10 cm Bodentiefe steigt die Temperatur schnell an und gleicht der mittleren Lufttemperatur (Tab. 1). Da es an Eistagen fehlt, dürfte die Zahl der Tage mit Bodenfrost identisch mit der Zahl der Frostwechseltage im Boden sein. Überträgt man die Messungen der Station auf die wahrscheinlichen Verhältnisse auf dem Plateau, so muß man zwar mit einem deutlichen Ansteigen der Zahl der Frostwechsel rechnen; aber auch hier wird der Bodenfrost nicht tief in den Boden eindringen. In 200 m Höhe dürfte die Zahl der Tage mit Bodenfrost bei 170 liegen, wenn man die Tage, an denen die Bodentemperaturen 2 °C und weniger betragen, als einen ungefähren Maßstab annimmt. Hier wird der Bodenfrost ebenfalls nur oberflächlich wirken, wie aus der Tabelle der Bodentemperaturen hervorgeht (Tab. 1).

3. GEOMORPHOLOGIE

Macquarie Island liegt auf einem weitgespannten submarinen Rücken, dem Macquarie Rücken, der sich bis Neuseeland erstreckt und eine Zone des „sea floor spreading“ darstellt (VARNE & RUBENBACH 1972). Die den Rücken aufbauenden basischen und ultrabasischen Gesteine stammen aus dem Miozän und Pliozän. Tektonische Aktivität während des Pliozäns führte zur Hebung des Rückens und zur Heraushebung der kleinen Insel, die strukturell eine Serie von gehobenen Bruchschollen darstellt. Geomorphologisch gesehen besteht die Insel aus einem allseits von Steilabfällen umgebenen Plateau, wobei das Plateau selbst eine niedrige, hügelige Mittelgebirgslandschaft bildet (Abb. 3). Die Steilabfälle führen z. T. direkt ins Meer, zum Teil laufen sie auf einer breiten Abrasionsplattform aus, die vor allem im Westen gut ausgebildet ist. Das Plateau weist deutliche Spuren einer eiszeitlichen Vergletscherung auf, was sich besonders in den zahlreichen, über die gesamte Insel verteilten Glazialseen manifestiert (Abb. 1). Die genaue Ausdehnung dieser Vergletscherung ist umstritten. BLAKE (in MAWSON 1944) vertrat die An-

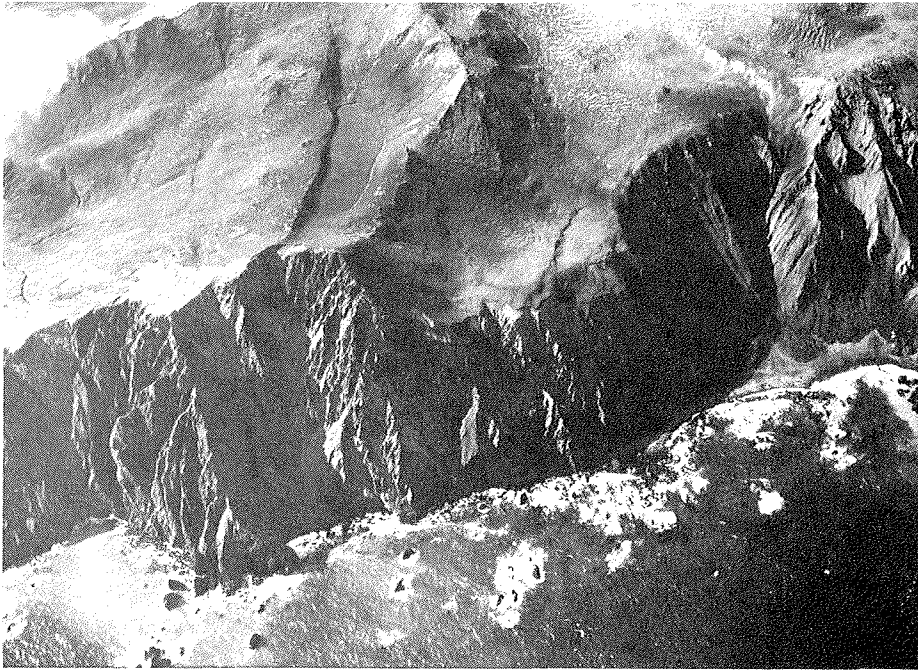


Abb. 3: Luftaufnahme vom südlichen Macquarie Island nahe Hurd Point etwas südlich von Mt. Ainsworth (363 m). Die glaziale Überformung des Plateaus ist anhand des übertiefen Seebeckens, der breiten Talung und der glatten Hangformen zu erkennen. Auffallend auch das unterschiedliche Kleinrelief der Hänge mit ausgeprägter Terrassierung in Leeauslage (oben rechts) und relativ glatten, teilweise vegetationsfreien Hängen in Luvauslage. Die Plateaukante ist durch Rutschungen und Rutschenspülung gekennzeichnet, die die ehemals vorhandenen glazialen Spuren beseitigte. Westen im Bild links. (Aufnahme: J. Hosel, Antarctic Division, Dept. of Science and the Environment, 1976)

Fig. 3: Aerial photograph of the southern margin of Macquarie Island near Hurd Point just south of Mt. Ainsworth (363 m). The overdeepened lake basin, the broad valley forms and the smooth overall slopes indicate the glacial origin of the landscape. The difference in slope micro relief between relatively smooth largely unterraced windward slopes that are void of vegetation in positions of extreme wind exposure and terraced lee slopes (upper right) is also obvious. The plateau margin is characterized by land slides and extreme gully erosion that have obliterated all traces of glacial action along the escarpment. (Photograph: J. Hosel, Antarctic Division, Dept. of Science and the Environment, 1976)

sicht, daß die gesamte Insel einschließlich des vorgelagerten Schelfs vergletschert war, dieser Schelf im Westen ehemals höher lag und als Nährgebiet eines ausgedehnten Gletschers, der die Insel in östlicher Richtung überfuhr, diente. COLHOUN & GOEDE (1974) hingegen sind der Auffassung, daß nur etwa 40% der heutigen Insel vergletschert waren und diese Vergletscherung weitgehend auf die östlichen Abschnitte der Insel beschränkt gewesen sei. Dieser Auffassung schloß sich auch PETERSON (1975) an, der den glazialen Ursprung einiger Seen im Südwesten der Insel aufgrund der geringen Tiefen bezweifelte. Er legte jedoch keine alternative Erklärung für diese Seebecken vor, die immerhin bis 15 m Tiefe reichen und unverkennbare Karseemorphologie aufweisen. Die Hauptargumente für eine relativ begrenzte Eisbedeckung sind fehlende Moränenablagerungen, das Auftreten von Felsburgen und das Vorkommen von starken westlichen Winden, die die Akkumulation von Schnee nur in Leelage erlaubt haben sollen. LÖFFLER & SULLIVAN (1980), denen erstmals Luftbilder zur Verfügung standen, konnten dagegen feststellen, daß zumindest der nördliche Abschnitt der Insel — nur dafür war eine vollständige vertikale Überdeckung von Luftbildern vorhanden — fast gänzlich eisbedeckt gewesen sein muß, wenn auch die Eisbedeckung keine große Mächtigkeit aufgewiesen haben dürfte. Der glaziale Formenschatz ist in der Regel bescheiden, aber das Auftreten von übertiefen Becken, Riegeln, hängenden Tälern und breiten U-Tälern muß als positiver Nachweis für eine pleistozäne Vereisung gelten. Der Mangel an gut gerundetem Moränenmaterial und das weitgehende Fehlen von Gletscherschliffen liegt wahrscheinlich an dem leicht verwitterbaren anstehenden Gestein, und die geringe Tiefe der Glazialseen ist in Anbetracht der kleinen Einzugsgebiete und der geringen Gletschermächtigkeiten nicht erstaunlich. Die Felsburgen, die von COL-

HOUN & GOEDE (1974) als Indiz für eine fehlende Eisbedeckung angesehen wurden, können auch umgekehrt als ehemalige Rundhöcker gedeutet werden. Die Rundhöckerform ist oft im Gesamtbild noch zu erkennen, wenn auch die genauere Untersuchung keine Schriffe oder sonstigen Hinweise auf glaziale Schürfung erkennen läßt.

Inzwischen erhaltene Schrägaufnahmen vom südlichen Teil der Insel zeigen, daß auch dort wahrscheinlich das gesamte Plateau glazial überformt wurde (Abb. 3); eigene Geländebeobachtungen während der zweiten Reise bestätigen dies. Lediglich die steilen Ränder des Plateaus waren ebenso wie der größte Teil des vorgelagerten und zur Zeit des Glazials trockenliegenden Schelfs eisfrei. Hinweise auf eine Überfahung der Insel von Westen her, wie sie sich BLAKE (in MAWSON 1944) vorgestellt hatte, sind jedoch nicht vorhanden; vor allem sprechen die westexponierten Kare und das Fehlen einer deutlichen glazialen Überformung der Kammlagen dagegen. Das Nährgebiet des Eises war die Insel selbst, und vor allem die höher gelegenen Abschnitte des Plateaus, von denen aus die Gletscher nach Westen und Osten zur Küste vorstießen. Diese Gletscher waren wegen der bevorzugten Ablagerung von Schnee in Leeauslage im Osten mächtiger und überformten die Landschaft deutlicher als im Westen. Schnee- und eisfrei blieben lediglich die extrem windexponierten Kammlagen.

4. VEGETATION

Die niedrigen Temperaturen, die hohen Windstärken und das Vorkommen von Bodenfrösten in nahezu allen Monaten verhindern das Ansiedeln von Holzpflanzen, und Versuche, Bäume in der Nähe der ANARE Station anzupflanzen, schlugen fehl (TAYLOR 1955a). Die Vegetation auf Macquarie Island wird daher von Gräsern, Stauden, Polsterpflanzen und Moosen bestimmt. Dabei weisen die bestandsbildenden Pflanzen ganz charakteristische Wuchsformen auf, wie das auch auf anderen subantarktischen Inseln der Fall ist (RAUH 1978, SCHWEINFURTH 1978), d. h. wir finden hier Horstgräser (Tussockgräser), Rosettenstauden und Radialvollkugelpolster. Die Verteilung der Vegetation und die Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften werden von mehreren Faktoren bestimmt, unter denen Windexposition, Meereshöhe, Hangneigung und Drainage die wichtigsten sind. TAYLOR (1955a) unterscheidet 5 Hauptformationen: Grasland, Staudenfluren und Spalierasen (herbfields), Sümpfe und Niedermoore (fens), Moore (bogs) und Hartpolsterformationen (feldmark). Unter diesen sind vor allem das Grasland, die Staudenfluren und die Hartpolsterformationen weit verbreitet. Niedermoore und Moore sind nur lokal von Bedeutung und zwar hauptsächlich auf der breiten, flachen Abrasionsplattform im Westen der Insel.

Das Grasland ist an einen windgeschützten Standort und gut drainierte Böden gebunden und nimmt nahezu alle steilen, küstennahen Hügel ein, dazu die vor allem im Westen auftretenden Strandwälle und Küstendünen. Der Begriff Windschutz muß allerdings als relativ angesehen werden, da auch die Grasländer den starken Westwinden ausgesetzt sind, besonders an der Westküste, aber es fehlen hier in den tieferen Lagen die extrem hohen Windgeschwindigkeiten.

Im Grasland dominiert das mächtige Horstgras *Poa foliosa*, das meist 1—1,5 m hoch wird, oft 2 m erreicht, wenn es pilzartig auf einem Torfsockel steht. *Poa foliosa* bildet oft reine Bestände (Abb. 4) vor allem auf den besser entwässerten steilen Hängen, kann aber auch mit dem Macquarie Island-Kohl (*Stilbocarpa polaris*) vergesellschaftet sein. Dieser Macquarie-Kohl ist ein Hemikryptophyt mit großen, rundlichen, fleischigen Blättern von 20—40 cm Durchmesser und wurde früher wie der Kerguelen-Kohl (*Pringlea antiscorbutica*), der auf Macquarie allerdings nicht vorkommt, von den Robbenfängern gegessen, um Scorbut zu verhindern. Der Macquarie-Kohl kann örtlich, wo Bergstürze und Rutschungen zur Freilegung des Bodens geführt haben, die *Poa*-Horste ganz verdrängen.

Andere mit dem *Poa foliosa*-Grasland verbundene Arten sind das ebenfalls horstbildende Gras *Poa hamiltoni* sowie die Rosettenstaude *Pleurophyllum hookeri*. Letztere zeigt bereits den Übergang zu den Staudenfluren an.

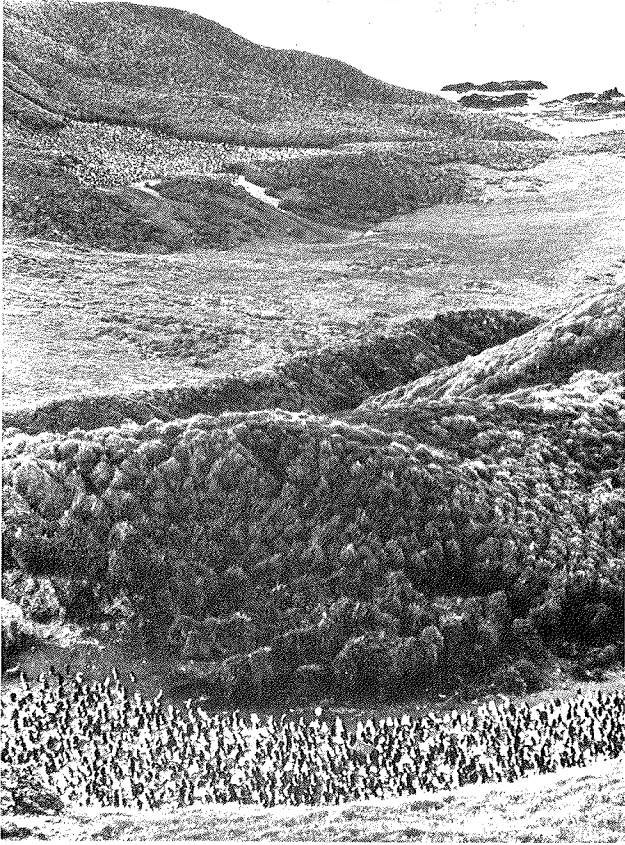


Abb. 4: Sandy Bay-Gebiet auf der Ostabdachung der Insel. Alle steileren und gut entwässerten Hanglagen werden von *Poa foliosa*-Grasland eingenommen (Vordergrund und Hintergrund), während auf den flacheren Talböden mit relativ hohem Grundwasserspiegel Staudenfluren vorherrschen. Die für Macquarie Island endemischen Königspinguine (*Eudyptes chrysotophus schlegeli*) brüten in großer Zahl innerhalb des *Poa*-Graslands.

Fig. 4: Sandy Bay area on the eastern slopes of the island. All steeper and better drained slopes are covered by *Poa foliosa* grassland while the flatter valley floors with high ground water table are covered with herbfields. The endemic Royal Penguins (*Eudyptes chrysotophus schlegeli*) breed in large numbers within the grassland.

Staudenfluren finden sich in allen Höhenlagen und sind an einen relativ hohen, jedoch nicht an die Oberfläche tretenden Grundwasserspiegel gebunden. Sie treten hauptsächlich in flachem Gelände auf, wie den breiten Talböden der glazial überformten Täler, auf höher gelegenen Küstenterrassen und auf flachen windgeschützten Standorten auf dem Plateau. Dominant ist die Rosettenstaude *Pleurophyllum hookeri* eine Composite mit olivgrünen länglichen Blättern, die an günstigen Standorten riesige Rosetten bilden kann. Die Größe der Blätter nimmt stark mit größerer Windexposition und Höhenlage ab. *Pleurophyllum* ist oft mit dem Macquarie-Kohl, Gräsern, Seggen und besonders dem Zwergstrauch *Acaena* vergesellschaftet. *Acaena ascendens* und *A. anserifolia* treten oft bestandsbildend auf, wenn der Grundwasserspiegel hoch und der Windschutz gut ist. Diese Formation wird auch als Sparlierrasen bezeichnet (Abb. 5). Niedermoore und Sümpfe sind hauptsächlich an der Küstenebene im Westen zu finden, auf dem Plateau sind sie nur an den tiefsten Stellen der glazial überformten Becken und Talböden anzutreffen. Oft nehmen sie dort auch eine schmale Übergangszone zwischen Glazialseen und Staudenfluren ein. An ihrem Aufbau ist vor allem die Segge *Juncus scheuchzeroides* beteiligt.

Moore sind ebenfalls in allen Höhenlagen anzutreffen, an einen hohen Grundwasserspiegel gebunden und treten an ähnlichen Standorten wie die Sümpfe auf, oftmals in deren unmittelbarer Nachbarschaft. Für die Moorbildung sind vor allem Moose wie *Breutelia pendula* und *Sphagnum falcatula* wichtig sowie *Colobanthus muscoides*, eine Blütenpflanze, die eine moosähnliche Wuchsform aufweist.



Abb. 5: Spalierasen mit *Acaena ascendens* (Vordergrund) tritt auf dem Plateau in Gebieten mit gutem Windschutz auf. Glazialsee (Tulloch Lake) und Mt. Tulloch (292 m) im Hintergrund. Der westexponierte Hang ist in seinen höheren Abschnitten stark windexponiert und zeigt die typisch glatte Hangform mit Rasentreppen und kahlem Solifluktionsschutt. Rutschungen wie am Steilhang links kommen ebenfalls vereinzelt vor.

Fig. 5: Herbfields with *Acaena ascendens* (foreground) occupy areas on the plateau which have relatively good protection from wind exposure. Glacial lake (Tulloch Lake) and Mt. Tulloch (292 m) in the background. The upper parts of the westerly exposed slope of Mt. Tulloch are wind exposed and exhibit the typical pattern of turf terraces and bare solifluction scree. Some landsliding occurs on the steep lower sections of the slope.

Die Hartpolsterformationen sind am weitesten verbreitet und verleihen der Insel ihren besonderen Charakter. Bestandsbestimmend ist das Radialvollkugelpolster *Azorella selago*, eine Umbellifere, die runde, harte, kissenförmige Polster bildet, die bis 1 m Durchmesser aufweisen können. Die Hartpolsterformation wird auch als feldmark (TAYLOR 1955, JENKIN 1975) oder antarktische Tundra (SCHMITHÜSEN 1961) bezeichnet, aber da diese Begriffe stark mit nordhemisphärischen Pflanzen und Klimabedingungen verbunden sind, ist ein neutraler Ausdruck wie Hartpolsterformation vorzuziehen.

Die Hartpolsterformation auf Macquarie Island nimmt die windausgesetzten gut drainierten Böden ein und ist auf das Plateau beschränkt. *Azorella* bildet je nach Grad der Windexposition ausgedehnte Matten oder nur vereinzelte kleine Polster, die von unbewachsenem Schutt umgeben sind. Vergesellschaftet mit den *Azorella*-Polstern sind Gräser (*Festuca erecta*), Seggen (*Luzula campestris*, *Juncus scheuchzeroides*, *Scirpus aucklandicus*, *Carex trifida*), die Rosettenstaude *Pleurophyllum hookeri* und Moose (Abb. 6). Die Moose bilden ähnliche Polster wie *Azorella* und treten auch dort noch auf, wo diese aufgrund extremer Windexposition nicht mehr lebensfähig ist. Die Gräser und Seggen wachsen entweder auf den *Azorella*-Polstern, wobei sie in deren Torf wurzeln, oder aber in Vertiefungen zwischen benachbarten Polstern. Alle mit *Azorella* vergesellschafteten Pflanzen zeigen im Vergleich zu anderen windgeschützteren Standorten eine deutlich geringere Wuchsgröße (Abb. 6).

5. HANGDYNAMIK

Die Prozesse, die die Insel heute gestalten, sind Massenbewegungen in Form von Bergstürzen und Rut-

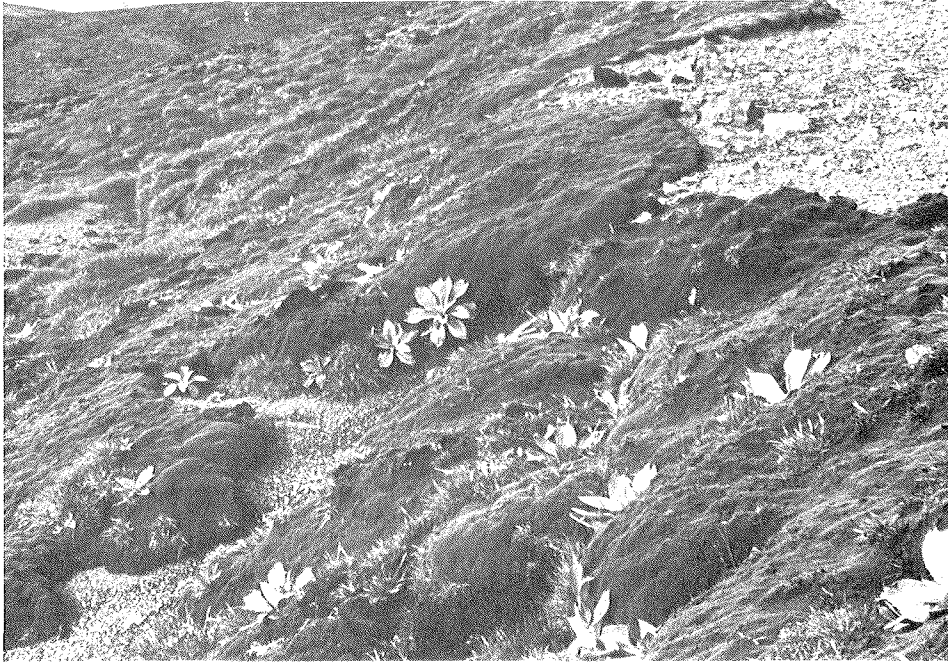


Abb. 6: *Azorella selago*-Polster an der Stirn einer etwa 2 m hohen Terrasse. Die Polster sind mit der Rosettenstaude *Pleurophyllum hookeri* und Gräsern und Seggen vergesellschaftet, die hier im Vergleich zu windgeschützteren Standorten geringe Wuchshöhe aufweisen.

Fig. 6: *Azorella selago* cushion along front of large terrace. Associated with *Azorella* are *Pleurophyllum hookeri* and several grasses and sedges which all show a clear reduction in size compared with more sheltered positions.

schungen, Abspülung, Runsenspülung und Solifluktion. Massenbewegungen und Runsenspülung sind auf die steilen Hänge des Plateaurandes beschränkt, während die solifluidalen Prozesse ausschließlich auf dem Plateau stattfinden. Die Steilheit der Plateauränder, der relativ mächtige Schuttmantel und die hohe, ständig vorhandene Feuchtigkeit stellen günstige Voraussetzungen für Massenbewegungen entlang der Plateaukante dar. Dies wird durch eine relativ hohe Erdbebenhäufigkeit noch erhöht. Die Narben alter Bergstürze überziehen die Steilwände und sind auf Luftbildern deutlich zu erkennen. Zur Bergsturztätigkeit kommt noch die Runsenspülung, die die Kanten des Plateaus oft in ein sägeblattartiges Muster von kurzen, steilen Riegeln auflöst (Abb. 3). Es sind jedoch weniger diese Prozesse, die der Insel heute ihren besonderen Charakter verleihen, als vielmehr die auf dem Plateau ablaufenden periglazialen Prozesse und deren Beziehungen zur Vegetation.

Der periglaziale Formenschatz auf Macquarie Island wurde erstmals von LÖFFLER et al. (1983) ausführlicher dargestellt. Das Vorhandensein von Periglazialerscheinungen wurde bereits von TROLL (1944) aufgrund der klimatischen Verhältnisse vermutet, und TAYLOR (1955a,b) beschrieb die meisten Formen, ohne sie allerdings mit periglazialen Prozessen in Verbindung zu bringen. In diesem Beitrag soll vor allem auf die Wechselwirkungen zwischen Hangdynamik, Vegetation und Windexposition eingegangen werden, die vom geoökologischen Standpunkt aus besonders interessant sind.

Das eindrucksvollste Phänomen auf dem Plateau ist der Gegensatz in den Kleinformen der Hanggestaltung zwischen Luv und Lee. Während Luvhänge weitgehend glatt und nur durch Rasentreppen gekennzeichnet sind, werden die Leehänge von großen, hohen Terrassen in eindrucksvoller Regelmäßigkeit gegliedert (Abb. 7). Die Terrassen bilden oft eine regelrechte Treppenflur und bestehen aus steilen, etwa 1—2 m hohen, örtlich sogar bis 6 m hohen Terrassenstirnen, die von dichten *Azorella*-Polstern bedeckt



Abb. 7: Die ausgeprägte Regelmäßigkeit der Terrassen in Leeauslage ist hier nach Schneefällen deutlich zu erkennen. Der Schnee ist auf den etwas stärker windexponierten Terrassenflächen bereits weitgehend verschwunden (besonders im Mittelgrund), an den Stirnen hält er sich länger. Die Windwirkung ist an der unmittelbaren Terrassenkante besonders stark, daher gelingt es auch den *Azorella*-Polstern nicht, die Terrassenfläche einzunehmen.

Fig. 7: The great regularity of leeward terraces is particularly obvious after snow falls. The snow is removed rather rapidly from the more wind exposed terrace surfaces, whereas the wind exposure is most pronounced along the front of the terrace surface. This prevents extension of the *Azorella* cushion from the risers onto the terrace surface. Wind direction from top right.

sind (Abb. 6). Die nur wenig geneigten, 3—6 m breiten Terrassenoberflächen sind entweder kahl oder von wenigen Moospolstern bewachsen (Abb. 6). Auf der Terrassenoberfläche liegt meist eine Lage von größeren Steinen, die den undifferenzierten Hangschutt überlagert. Der oberflächliche Schutt ist leicht sortiert, wobei das Material von der Front zum hinteren Abschnitt der Terrasse an Größe abnimmt. Außerdem zeigt der Schutt häufig eine Sortierung in kleine Steinpolygone und — bei etwas Neigung — Streifen. Auf den Luvhängen sind dagegen Streifenböden sowie undifferenzierter Hangschutt weit verbreitet (Abb. 8). Die Streifenböden beeindrucken durch ihre Regelmäßigkeit. Es handelt sich hierbei eindeutig um solifluidale Formen und nicht etwa um Auffrierformen des Kammeises, wie sie von HALL (1979) auf Marion Island beschrieben wurden, oder gar um Abspülformen, wie sie von TAYLOR (1955b) gedeutet wurden. Die Stein- und dazwischenliegenden Feinerdestreifen führen nämlich oft in schönen parallelen Bögen um größere Hindernisse herum, wie das weder bei von Kammeis und Wind verursachten Formen noch bei Abspülungserscheinungen der Fall sein könnte.

Kammeis ist allerdings ähnlich wie auf den Kerguelen (AUBERT 1959, zit. nach TROLL 1973) und Stewart Island (SCHWEINFURTH 1978) auch auf Macquarie Island von größter Bedeutung, indem es den Boden ständig lockert und das Ansiedeln von Pflanzen erschwert. Geländebeobachtungen nach Frostnächten am 29. 10. und 30. 10. 1980 (Temp. auf der Station $-1,1^{\circ}$ und $-3,7^{\circ}\text{C}$) zeigten, daß auf den vegetationsfreien Hängen der oberste 1—2 cm mächtige Schutthorizont von 2,5—3,5 cm mächtigem Kammeis unterlagert war. Die offensichtliche Mobilität des undifferenzierten vegetationsfreien Hangschutts beruht sicherlich auf der Wirkung des Kammeises. Aber auch bei der Formung der Rasentreppen, die ebenfalls fast ausschließlich in Luvlage auftreten, ist das Kammeis wesentlich beteiligt. Es lockert den Boden und legt die Wurzeln frei, die damit dem Wind ausgesetzt werden (vgl. TROLL 1973). Die Rasentreppen bestehen aus *Azorella*-Polstern mit Moosen, Gräsern und Seggen. Die Dichte dieser Matten hängt vom Ausmaß der Windexposition ab (Abb. 8).

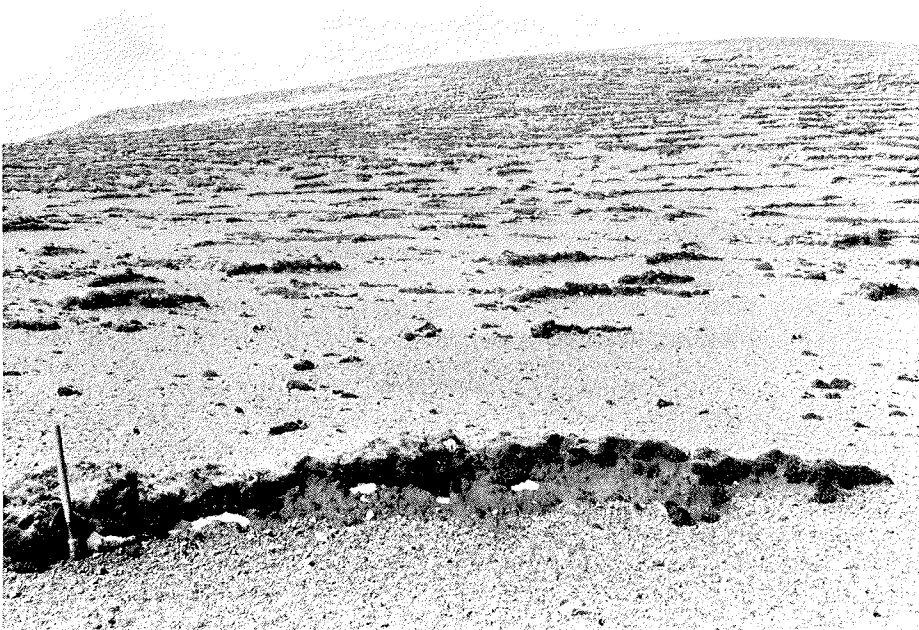


Abb. 8: Stark windexponierter Hang westlich North Mt. mit undifferenziertem Hangschutt und Rasentreppen, die deutlich die durch Wind und Kammeis verursachte Abtragung an der windzugewandten Seite erkennen lassen. Windrichtung ist hangauf.

Fig. 8: Wind exposed slope west of North Mt. with undifferentiated solifluction rubble and turf terraces whose upslope retreat due to turf exfoliation is clearly visible. Wind direction is upslope.

Die Rasentreppen, von TAYLOR (1955b) als „windward terraces“ bezeichnet, werden in der Regel durch das Vegetationspolster und die dazugehörige Wurzel- und Torfschicht gebildet, wobei die Polster an ihrer unteren, d. h. hangabwärts gerichteten Seite mächtiger sind als an ihrem oberen Rand. Die Terrassenform setzt sich nicht oder nur wenig in den unterlagernden Schutt fort (Abb. 8). Der Verlust an Material durch Winderosion und Kammeisbildung an der windzugewandten unteren Seite wird durch hangaufwärts gerichtetes Wachstum der Polster ausgeglichen, eine Beobachtung, die auch ASHTON & GILL (1965) in ihrer Studie über das Wachstum der *Azorella*-Polster machten. Es ist daher erstaunlich, wenn ZINDEREN BAKKER (1978) von Marion Island berichtet, daß dort die *Azorella*-Polster vornehmlich in den Wind wachsen sollen. Ein derartiges Wachstum ist auf Macquarie Island selten festzustellen.

Außer diesen eindeutig luv- oder leeausgerichteten Hangkleinformen, die vor allem im nördlichen Abschnitt der Insel vorherrschen, sind im südlichen und stärker zergliederten Teil der Insel häufig Kleinformen zu finden, die eine Terrassierung etwa schräg zum Hang anzeigen. Diese Schräg- oder Diagonalterrassen treten an Hängen auf, die weder deutliche Luv- noch Leelage aufweisen. Die Ausrichtung der Terrassen bzw. der damit verbundenen *Azorella*-Streifen ist jedoch immer etwa parallel zur vorherrschenden Windrichtung, die hier allerdings wegen topographischer Hindernisse von der generellen Westrichtung abweichen kann. Gewisse Ähnlichkeiten weisen diese Formen mit den von HÖLLERMANN (1967) aus den Alpen und Pyrenäen beschriebenen Diagonalterrassen auf; sie sind dort jedoch stärker bewachsen und nicht in einer so regelmäßigen Ausbildung vorhanden. Die Schrägterrassen auf Macquarie Island sind sicherlich Formen, die in enger Beziehung zur Windwirkung stehen. Wie sind diese unterschiedlichen Hangkleinformen zu erklären, und vor allem: wie kommt es zu diesen auffallenden Unterschieden von Luv- und Leehängen?

Die großen Terrassen wurden von TAYLOR (1955b) als „leeward terraces“ bezeichnet und als das Er-

gebnis des Staus von Hangschutt durch die *Azorella*-Polster gedeutet. Der Wind soll dabei eine entscheidende Rolle spielen, indem er das hangabwärtige Wachsen der Polster verhindern und lediglich das seitliche höhenlinienparallele Zusammenwachsen erlauben soll. Diese Erklärung ist m. E. in sich selbst widersprüchlich, müßte man doch bei den starken westlichen Winden eher ein streifenförmiges, parallel zur Windrichtung orientiertes Zusammenwachsen der Polster erwarten, wie dies z. B. auch bei den Schrägterrassen der Fall ist. Die Terrassen sind ferner zu groß und hoch, um einfach durch den Stau von Hangschutt ohne Mitwirkung von Solifluktion entstanden zu sein, wobei auch unklar ist, welchen Mechanismus TAYLOR (1955b) für die Verlagerungsvorgänge im Auge hat. Eine Massenbewegung aufgrund der Schwerkraft ist in Anbetracht der Gefällsverhältnisse auszuschließen.

Die Rasentreppen an den windzugewandten Hängen, die „windward terraces“, erklärt TAYLOR (1955b) in ähnlicher Weise, wobei jedoch wegen der starken Windwirkung keine seitliche Verbindung möglich sein soll. Auch dies ist unbefriedigend, denn die Rasentreppen stellen keine aus Hangschutt bestehenden Terrassen dar.

Die Terrassen auf den Leehängen gleichen in Aussehen und Größe Solifluktionsterrassen, die in den feuchten fuego-patagonischen Anden in der periglazialen Höhenstufe vorkommen und dort von GARLEFF (1978) beschrieben wurden. Kleinere Formen treten in japanischen Hochgebirgen auf (ELLENBERG 1976). Ferner ähneln sie Solifluktionsterrassen in arktischen Gebieten (z. B. PRIESNITZ 1981, Abb. 10), allerdings sind diese dort selten in regelmäßigen Terrassentreppen ausgebildet, sondern weisen eher girlandenartige Fließformen auf, die auf Macquarie weitgehend fehlen. Erstaunlicherweise wurden derartige leeseitig orientierte Terrassen aus anderen subantarktischen Inseln bisher noch nicht beschrieben; HALL (1981) berichtet lediglich von großen vegetationsfreien Steingirlanden auf Marion Island.



Abb. 9: Steinnetze auf flachem Gelände östlich Flynn Lake in 200 m Höhe. Strukturböden dieser Regelmäßigkeit sind auf Macquarie Island relativ selten. Sie bestehen hier aus Polygonen aus größerem Gesteinsschutt, von Moospolstern überdeckt, und einem leicht erhabenen Kern aus Feinmaterial, welcher von feinerem Gesteinsschutt oberflächlich überdeckt ist. Die Tiefe der Sortierung beträgt 10 cm. Durchmesser der Polygone 20 cm.

Fig. 9: Stone polygons 20 cm in diameter in shallow glacial basin east of Flynn Lake at 200 m a. s. l. The polygons consist of an outer ring of coarse stones and a slightly raised core of fine sandy clay overlain by small stones. The rings of coarse stones are covered with mosses.

Die Entstehung von Terrassen in der Größenordnung, wie sie auf Macquarie auftreten, setzt eine tiefgründige Mobilität des Hangschuttes voraus, wie sie nur unter Permafrostbedingungen oder tiefgründigem jahreszeitlichem Frost gegeben ist. Diese Bedingungen sind in den arktischen Gebieten und auch in alpinen Gebirgen vorhanden, herrschen jedoch auf Macquarie Island heute nicht mehr vor, wie ein Blick auf die Klimadaten zeigt (Tab. 1). Die Angaben über die Bodentemperaturen zeigen gleichzeitig, daß eine allgemeine kaltzeitliche Temperaturabsenkung um 3—4 °C, wie man sie für dieses Gebiet sicher annehmen darf, die Insel, vor allem aber das Plateaugebiet (hier liegen die Temperaturen um 1,5—3 °C tiefer) in Permafrost oder tiefgründigen jahreszeitlichen Frost überführen würde; aufgrund der nahezu isothermen Verhältnisse genügt hier eine relativ geringe Temperaturabsenkung. Die großen Terrassen sind daher als vorzeitliche Solifluktionsterrassen zu deuten, die am Ende der letzten Kaltzeit nach Rückzug des Eises zunächst als vegetationsfreie Terrassen entstanden. Die Terrassenstirnen wurden erst allmählich mit der langsamen „Erwärmung“ von *Azorella* besiedelt, wobei die Pflanzen die etwas windgeschütztere Lage an der Terrassenstirn ausnützten, die dem Wind stärker ausgesetzten Terrassenoberflächen blieben dagegen unbewachsen. Die *Azorella*-Polster sind also nicht die Ursache der Terrassenbildung, sondern deren Folge. Ihre Ansiedlung wurde erst durch die Terrassierung des Hanges und die damit gegebene kleinklimatische Differenzierung ermöglicht. Die Polster tragen allerdings heute wesentlich zur Stabilisierung der Terrassen bei, indem sie die Glättung der Hänge durch seichte tageszeitliche Solifluktion verhindert. Die Erklärung der Formen an den Luvhängen liegt nahe: das vollständige Fehlen von großen Terrassen an Luvhängen wurde vom Verf. zunächst als das Ergebnis unterschiedlicher Bodenfeuchte angesehen, denn aufgrund der starken westlichen Winde sind — und waren vor allem früher — Leelagen für die Ablagerung von Schnee bevorzugt. Sie verfügten über größere Mengen von freiem Bodenwasser, was eine Voraussetzung für tiefgründige Solifluktion darstellt (WASHBURN 1973). Derartige Expositionsunterschiede und bevorzugtes Auftreten von Solifluktionsterrassen an feuchteren Leehängen wurde auch von HÖLLERMANN (1960) in den Alpen und BENEDICT (1972) in den alpinen Gebirgen von Colorado festgestellt. Die Beobachtungen während des letzten Aufenthaltes im südlichen Abschnitt der Insel zeigten jedoch, daß diese einfache Erklärung nicht ausreicht, da die Formen der Diagonalterrassen nicht berücksichtigt werden und auch der unterschiedlichen rezenten Morphodynamik und Vegetationsdynamik auf Luv- und Leehängen nicht genug Rechnung getragen wird.

Die Auffassung, wonach die großen Terrassen auf den Leehängen Vorzeitformen sind, ist sicher richtig. Das Fehlen derartiger Terrassen auf Luvhängen dürfte jedoch weniger mit der unterschiedlichen Feuchtigkeit, sondern vielmehr mit der rezenten Dynamik dieser Hanglagen zusammenhängen. An windexponierten Hängen kann es selbst bei einer möglichen ehemals vorhandenen Terrassierung nicht zu einem Überdauern dieser Formen kommen, da wegen der Luvexposition des Hanges Terrassenstirn und Terrassenoberflächen gleichermaßen windexponiert wären. Die rezenten flachgründigen Solifluktionsprozesse bewirken hier eine Glättung der Hänge und die sich ansiedelnden *Azorella*-Polster werden durch Kamm- und Windgebläse kontinuierlich hangaufwärts verlagert: die Luvhänge sind heute Hanglagen maximaler Morphodynamik und Vegetationsdynamik, während sich die Leehänge durch relative Stabilität auszeichnen. Diese Verhältnisse herrschen seit der postglazialen Erwärmung und Wiederbesiedlung des Plateaus mit Hartpolsterfluren, für die ein Alter von etwa 10 000 Jahren vor heute anzunehmen ist (SELKIRK & SELKIRK 1981).

Hänge, die weder deutliche Luv- noch Leeauslage aufweisen, sind durch relativ stark geneigte, wenig hohe Schrägterrassen gekennzeichnet, die zwischen den Leeterrassen und den praktisch untarrassierten Luvhängen vermitteln. Die Terrassierung bzw. die Ausrichtung der *Azorella*-Polster an den Stirnseiten ist immer parallel zu den vorherrschenden Winden. Das häufige Übergreifen von Hangschutt von höheren auf tiefer gelegene Terrassen und das Durchbrechen und Überschütten von *Azorella*-Polstern zeigt, daß es sich hier um aktive Formen handelt und jene Prozesse der solifluidalen Hangglättung, die der Hangstabilisierung durch Vegetation, überwiegen. Inwieweit es sich in manchen Fällen um modifizierte ehemalige Solifluktionsterrassen handelt, ist schwer abzuschätzen.



Abb. 10: Schrägterrassen sind an Hängen zu finden, die weder deutliche Luv- noch Leeauslagen aufweisen wie hier an einem etwa südostexponierten Hang des Mt. Martin (373 m) im südlichen Teil der Insel. Der Hangabschnitt im Vordergrund ist noch deutlich leeseitig exponiert und zeigt daher auch eine geschlossene Schneedecke (Aufnahme während eines Scheesturms) und regelmäßige Terrassen. Ab etwa Bildmitte ist der Übergang von Leeterrassen zu Schrägterrassen zu erkennen, wobei die *Azorella*-Polster streifenförmig in Windrichtung verlaufen. Im Bildhintergrund verlaufen die Streifen fast senkrecht zum Hang.

Fig. 10: Oblique terraces on the south-east facing slope of Mt. Martin (373 m) in the southern part of the island. In the foreground large leeward terraces with relatively thick snow cover. In the middle of the picture transition to oblique terraces which are more irregular and more wind exposed than the leeward terraces which is clearly visible because of the thinner snow cover. *Azorella* cushions grow approximately parallel to the prevailing winds. In the background the oblique terraces run almost vertically upslope.

ZUSAMMENSCHAU

Die Naturlandschaft auf Macquarie Island zeigt sich als eine echte Kampfzone zwischen Vegetation auf der einen und Wind und Solifluktion auf der anderen Seite. Hierbei schafft der Wind zwar keine Formen direkt, sieht man einmal von den Strandwällen und Dünen entlang der Westküste und einigen äolischen, wahrscheinlich vorzeitlichen Ablagerungen in höher gelegenen Windgassen ab; aber das Ausmaß der Windexposition drückt sich ganz entscheidend in der Vegetation und der räumlichen Verteilung der Hangkleinformen aus. In Bereichen deutlichen Windschutzes ist die Vegetationsdecke fast geschlossen und die aktive Hangdynamik gering. Mit stärkerer Windexposition ändert sich die Art der Vegetation, ihre Dichte nimmt ab, die Hangdynamik zu. Die mit der Höhe ebenfalls zunehmende Frosthäufigkeit spielt sicherlich auch eine gewisse Rolle.

Auf dem stark windexponierten Plateau kommt es zu einer weiteren Differenzierung je nach Exposition zu den vorherrschenden Westwinden. In deutlicher Leeauslage herrschen Terrassentreppen vor, die zu Zeiten tiefgründiger Frostdynamik geschaffen wurden, während auf Hängen in klarer Luvauslage aktive Formen der periglazialen Solifluktion wie Steinstreifen und Rasentreppen dominieren und Kammeisbildung weit verbreitet ist. Diese Leehänge sind Bereiche stärkster rezenter Morphodynamik. Es fehlt hier interessanterweise eine Differenzierung zwischen einer Solifluktions- und Strukturbodenzone, wie dies auch für innertropische Gebirge und hochozeanische Gebiete typisch ist (GRAF 1971, HÖLLERMANN 1974, HÖLLERMANN & POSER 1977, FURRER & GRAF 1978). Hänge, die weder deutliche Luv- noch Leeauslage aufweisen, sind durch relativ stark geneigte, wenig hohe Schrägterrassen gekennzeichnet.

net, die zwischen den Leiterrassen und den praktischen unterrassierten Luvhängen vermitteln.

Die Hangdynamik auf Macquarie Island ist als eine Funktion der vorherrschenden Windrichtung, der davon betroffenen Vegetation und der rezenten und vorzeitlichen Frostdynamik zu verstehen. Es handelt sich um geökologische Prozesse, die zwischen den beiden Extremen einer starken rezenten Aktivität und Dynamik in Gebieten starker Windexposition bis hin zu einer relativ geringen Aktivität mit teilweise vererbten Formen in Gebieten geringerer Windexposition wechseln, wobei alle Übergänge zu beachten sind.

Der Verf. dankt der Antarctic Division, Australian Department of Science and the Environment, für die Möglichkeit an zwei Reisen (März und Oktober 1980) nach Macquarie Island teilnehmen, und dem National Parks and Wildlife Service von Tasmanien für die Erlaubnis, auf der Insel arbeiten zu dürfen. Herrn Dr. Gillison wird gedankt für Begleitung und wissenschaftliche Diskussionen während der zweiten Reise und Herrn Prof. Dr. Garleff und Herrn Prof. Dr. Schweinfurth für die kritische Durchsicht eines Manuskriptentwurfs.

Literatur

- Ash ton, D. H. & A. M. Gill (1965): Pattern and processes in a Macquarie Island feldmark. — Roy. Soc. Vic. Proc. 79: 235—245.
- Ben dict, J. B. (1970): Downslope movement in a Colorado Alpine Region: rates, processes, and climatic significance. — Arctic & Alpine Res. 2: 165—226.
- Colhoun, E. A. & A. Goede (1974): A reconnaissance survey of the glaciation of Macquarie Island.—Papers and Proceedings, Royal Soc. Tasmania 108: 1—19.
- Ellenberg, L. (1976): Zur Periglazialmorphologie von Ura Nippon, der schneereichen Seite Japans. — Geogr. Helv. 31: 139—151.
- Furrer, G. & K. Graf (1978): Die subnivale Höhenstufe am Kilimanjaro und in den Anden Boliviens und Ecuadors. — In: C. Troll & W. Lauer Hrsg., Geocological relations between the southern temperate zone and the tropical mountains, Erdwiss. Forschung 11: 441—457, Wiesbaden.
- Garleff, K. (1978): Formenschatz, Vegetation und Klima der Periglazialstufe in den argentinischen Anden. — In: C. Troll & W. Lauer, Hrsg., Geocological relations between the southern temperate zone and the tropical mountains, Erdwiss. Forschung 11: 344—364, Wiesbaden.
- Hall, K. J. (1979): Sorted stripes oriented by wind action: some observations from Sub-Antarctic Marion Island. — Earth Surface Processes 4: 281—289.
- Hall, J. J. (1981): Observations on stone-banked lobes of Marion Island. — South African J. Sci. 77: 129—131.
- Hnatjuk, R. J. (1978): The growth of tussock grasses on the equatorial high mountains and two subantarctic islands. — In: C. Troll & W. Lauer, Hrsg., Geocological relations between the southern temperate zone and the tropical mountains, Erdwiss. Forschung 11: 159—190, Wiesbaden.
- Höller mann, P. W. (1960): Rezone Verwitterung, Abtragung und Formenbildung im oberen Suldenal (Ortlergruppe, Südtirol). — Z. Geomorph. N. F., Suppl. Bd. 4: 1—257.
- Höller mann, P. W. (1967): Zur Verbreitung rezenter periglazialer Kleinformen in den Pyrenäen und Ostalpen. — Göttinger Geogr. Abh. 40, Göttingen.
- Höller mann, P. W. & H. Poser (1977): Grundzüge der räumlichen Ordnung in der heutigen periglazialen Höhenstufe der Gebirge Europas und Afrikas. Rückblick und Ausblick. — 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.-Phys. Kl. 3 (31): 330—354, Göttingen.
- Jenkin, K. F. (1972): Studies in plant growth in a subantarctic environment. — Ph. D. thesis, University of Melbourne.
- Jenkin, K. F. (1975): Macquarie Island, Subantarctic. — In: Function of Tundra Ecosystems, Ecol. Bull. (Stockholm) 20: 375—397.
- Jenkin, K. F. & D. H. Ash ton (1970): Productivity studies on Macquarie Island vegetation. — In: M. W. Holdgate, Hrsg., Antarctic Ecology 851—863, London.
- Löffler, E. & M. E. Sullivan (1980): The extent of glaciation on Macquarie Island. — Search 11: 246—247.
- Löffler, E., Sullivan, M. E. & A. N. Gillison (1982): Periglacial landforms on Macquarie Island, Subantarctic. — Z. Geomorph. N. F. 27: 223—236.
- Mawson, D. (1943): The geography and geology of Macquarie Island. — Australian Antarctic Expedition Reports, Ser. A, 5.
- National Parks and Wildlife Service (1980): Macquarie Island Nature Reserve, information to visitors and expeditioners. — Melbourne.
- Peterson, J. A. (1975): The morphology of Major Lake, Macquarie Island. — Austr. Soc. Limnology Bull. 6: 17—26.
- Poser, H., Hrsg. (1977): Formen, Formengesellschaften und Untergrenzen der heutigen periglazialen Höhenstufen der Hochgebirge Europas und Afrikas zwischen Arktis und Äquator. — Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. 3 (31), Göttingen.
- Priesnitz, K. (1981): Fußflächen und Täler in der Arktis NW-Kanadas und Alaskas. — Polarforschung 51(2): 145—159.
- Rauh, W. (1978): Die Wuchs- und Lebensformen tropischer Hochgebirgsregionen und der Subantarktis — ein Vergleich. — In: C. Troll & Lauer, W., Hrsg., Geocological relations between the southern temperate zone and the tropical mountains, Erdwiss. Forschung 11: 255—280, Wiesbaden.
- Schmithüsen, J. (1961): Allgemeine Vegetationsgeographie. — Berlin.
- Schweinfurth, U. (1978): Stewart Island — Neuseeland: Natur und Lebensraum in den „roaring fourties“. — In: C. Troll & W. Lauer, Hrsg., Geocological relations between the southern temperate zone and the tropical mountains, Erdwiss. Forschung 11: 516—530, Wiesbaden.

- Selkirk, D. R. & P. M. Selkirk (1981): Preliminary report on some peats from Macquarie Island. — Unveröff. Manuskri., Melbourne.
- Taylor, B. W. (1955a): The flora, vegetation and soils of Macquarie Island. — ANARE (Australian National Antarctic Res. Expeditions) Rpts. B (2), Melbourne.
- Taylor, B. W. (1955b): Terrace formation on Macquarie Island. — *J. Ecol.* 43: 133—137.
- Troll, C. (1944): Strukturböden, Solifluktion und Frostklimata der Erde. — *Geol. Rdsh.* 34: 546—694.
- Troll, C. (1947): Die Formen der Solifluktion und die periglaziale Bodenabtragung. — *Erdkunde* 1: 162—175.
- Troll, C. (1948): Der asymmetrische Vegetations- und Landschaftsaufbau der Nord- und Südhalbkugel. — *Göttinger Geogr. Abh.* 1: 11—27, Göttingen.
- Troll, C. (1973): Rasenabschälung (Turf exfoliation) als periglaziales Phänomen der subpolaren Zonen und der Hochgebirge. — *Z. Geomorph. N. F., Suppl. Bd.* 17: 1—32.
- Troll, C. & K. H. Paffen (1964): Karte der Jahreszeitenklimata der Erde. — *Erdkunde* 18: 5—28.
- Varne, R. & M. J. Rubenach (1972): Geology of Macquarie Island and its relationship to oceanic crust. — *Antarctic Res. Ser. Am. Geophys. Union* 19: 251—266.
- Washburn, A. L. (1973): Periglacial processes and environment. — London.
- Weisheit, W. (1978): Die ökologisch wichtigen Charakteristika der kühl gemäßigten Zone Südamerikas mit einigen vergleichenden Anmerkungen zu den tropischen Hochgebirgen. — In: C. Troll & W. Lauer, Hrsg., *Geocological relations between the southern temperate zone and the tropical mountains*, *Erdwiss. Forschung* 11: 255—280, Wiesbaden.
- Zinderen Bakker, sr., E. M. (1978): Geocology of Marion Island and Prince Edward Islands. — In: C. Troll & W. Lauer, Hrsg., *Geocological relations between the southern temperate zone and the tropical mountains*, *Erdwiss. Forschung* 11: 495—515, Wiesbaden.