

## Die Arktis als Feldlabor zur Beobachtung des Klimawandels

Karl REITER, Michael GOTTFRIED, Harald PAULI, Michaela PANZENBÖCK & Wolfram RICHTER

Die mehr als hundert Jahre zurückliegende Entdeckung des nördlichsten Archipels – Franz-Josef-Land – durch die österreichisch-ungarische Expedition bildet den Beginn der österreichischen Forschungsinteressen im arktischen Raum. Die Forschungsarbeiten der Führer dieser Expedition von Julius Payer und Karl WEYPRECHT fußten auf ihren Erfahrungen, die sie in den Alpen machten. Die Finanzierung einer Forschungsstation durch das Ministerium für Wissenschaft und Forschung in den 1990-iger Jahren auf der Ziegler Insel in Franz-Josef-Land eröffnete neue Möglichkeiten der Forschung in unterschiedlichen Arbeitsgebieten der Ökologie und der Geowissenschaften – vor allem boten sich Forschungsansätze an, die direkte Vergleiche mit den Alpen zuließen. Im Sommer 1996 wurden vor allem Projekte der Universität Wien mit Focus auf die Ökologie der polaren Kältewüsten unter dem Einfluss des globalen Klimawandels durchgeführt. Danach wurde durch die russische Regierung jede weitere Forschung in Franz-Josef-Land untersagt. Die folgenden Ausführungen beschreiben die Forschungsregion in Franz-Josef-Land, aber auch die Perspektiven für zukünftige Arktisforschung, die sich für österreichische Forschungsinitiativen in Nordost-Grönland in der Region Zackenberg bieten.

REITER K., GOTTFRIED M., PAULI H., PANZENBÖCK M. & RICHTER W., 2008: **The Arctic as a field laboratory for the observation of the climate change.**

More than hundred years ago the discovery of the northern most archipelago Franz-Josef-Land by an Austrian-Hungarian expedition marked the begin of Austrians scientific interests in the high arctic region. The leaders of this expedition (Julius Payer and Karl WEYPRECHT) established their research work in the Arctic region by examinations in the European Alps. The installation of a research station on Ziegler Island in Franz-Josef-Land by the Austrian Ministry of Science added possibilities to different fields of ecology and geo-science; it enables intensive studies in an area similar to the High Alps. In summer 1996 projects by the University of Vienna were carried out concerning research into the ecology of polar deserts with special interest on the influence of Climate Change. Unfortunately, in the following years the Russian approvals prohibited further research work in Franz-Josef-Land. The paper describes the former research area Franz-Josef-Land and describes the perspective of new Austrian research activities in Zackenberg – North-East Greenland.

**Keywords:** Arctic, Franz-Josef-Land, Ecology, Greenland, Global Change, International Polar Year.

### Einleitung

Als am 13. Juni 1872 eine Österreichisch-Ungarische Expedition von Bremerhaven zur Erforschung der lang gesuchten Nord-Ost-Passage aufbrach, war sich wohl niemand darüber im Klaren, dass mehr als hundert Jahre später österreichische Wissenschaftler den Spuren dieser Männer folgen werden. An Bord des 75 PS starken Motorseglers Admiral Tegetthoff begaben sich unter Führung der beiden k.u.k. Offiziere Julius Payer und Karl WEYPRECHT 24 Mann Besatzung auf eine Reise in eine weiße Region – weiß nicht nur im Hinblick auf das von Eis und Schnee geprägte Erscheinungsbild, sondern auch aufgrund des noch weißen Fleckes auf der damaligen Landkarte. Wenn diese Expedition auch den Weg durch die Nord-Ost Passage nicht fand und mit dem Verlust des Schiffes Tegetthoff endete, so wurde durch diese Expedition das Archipel Franz-Josef-Land entdeckt. Für



Abb. 1: Der 75.000 PS starke Atomeisbrecher Jamal, der Touristen und ForscherInnen zum Nordpol bringt. – Fig. 1: The nuclear-powered icebreaker Jamal carries tourists and scientists to the North Pole.



Abb. 2: Kleiner Eisberg in der Barents-See. – Fig. 2: Small iceberg in the Barents-Sea.

heutige Begriffe unvorstellbar sind die Entbehrungen und die Anstrengungen der Mannschaft, die sie während der fast dreijährigen Reise auf sich nehmen mussten.

Heute sind es Helikopter oder mehrere tausend PS starke Atomeisbrecher (Abb. 1), die Wissenschaftler, Militärs, aber auch Touristen, die es sich finanziell leisten können, „schnell einmal“ zum Nordpol zu fahren, in diese Region bringen. Wenn auch heutige Arktisreisen nicht mehr vergleichbar sind mit den Expeditionen der Entdecker, so ist das Leben als Forscher in der Arktis noch immer eine Herausforderung an das eigene Leistungsvermögen.

Zu entdecken galt es damals und gilt es heute noch ein Land, das geprägt ist von Landschaften und Formationen aus Schnee, Eis (Abb. 2) und Stein, aber auch von einer Vielfalt an Leben. Es ist ein Land, das einen gefangen nimmt. Hat man einmal die Mitternachts-sonne auf Franz-Josef-Land erlebt, will man immer wieder dorthin zurück.

Das Zurück ist für österreichische WissenschaftlerInnen seit nun 10 Jahren nicht mehr möglich, nach dem zuvor bei drei Expeditionen (1994, 1995, 1996) wichtige Beiträge zu den Geo- und Biowissenschaften geliefert wurden. Seit 1997 werden Wissenschaftler von den Verantwortlichen der russischen Föderation aus Franz-Josef-Land ausgesperrt. Seit 2007 gibt es nun für österreichische WissenschaftlerInnen die Möglichkeit, Forschungsfragen, die auf arktische Lebensräume fokussiert sind, in Grönland auf der Forschungsstation Zackenberg nachzugehen.

Die folgenden Ausführungen basieren auf den Arbeiten der Autoren und den Arbeiten von ALEKSANDROVA V. D., (1983, 1988), SAFRONOVA I. N., (1986), BARR S. (1995) und der dreiteiligen Universum Dokumentation „Arktis Nordost“ des ORF (1993, 1994).

## **Die Payer-WEYPRECHT-Gesellschaft**

Wenn österreichische Forscher in Skandinavien, Kanada, Russland oder Alaska auftreten, um über Aspekte der Arktisforschung zu sprechen, werden sie zuerst meist als Exoten betrachtet. Warum forschen also Wissenschaftler eines Alpenlandes, das keinen Anteil an der Arktis hat, in dieser Region? Im Juni 1996 wurde an der Universität Wien die Gründungsversammlung der „Payer-WEYPRECHT-Gesellschaft – Vereinigung zur Förderung der österreichischen Polarforschung“ abgehalten. Diese Gesellschaft verfolgt das Ziel, österreichische Forschungsaktivitäten in den Polarregionen, zunächst in der Arktis aber auch in der Antarktis, zu fördern und zu koordinieren und die fachübergreifende Zusammenarbeit aller wissenschaftlichen Disziplinen, vor allem der Bio- und Geowissenschaften, zu unterstützen. Seit dem Jahr 1993 gibt es verstärkt Interessen, österreichische Forschungsaktivitäten im arktischen Raum wiederzubeleben. Zwar gab es immer schon eine Reihe von österreichischen Wissenschaftlern, die sich aktiv und zum Teil an prominenter Stelle an der Arktis- und Antarktisforschung beteiligten, doch waren dies durchwegs Einzelaktivitäten, die in Zusammenarbeit mit potenten ausländischen Organisationen erfolgten. Die Gründe, warum Österreich überhaupt Arktisforschung betreiben sollte, sind vielfältig. Zunächst ist hier der historische Bezug zu nennen, nämlich die Entdeckung des Franz-Josef-Landes durch die österreichische Payer-WEYPRECHT-Expedition im 19. Jahrhundert, und das im Anschluss daran von Carl WEYPRECHT initiierte erste internationale Polarjahr 1882/83, mit dem die Polarforschung auf eine völlig neue Basis gestellt wurde. Waren bis zu diesem Zeitpunkt die wichtigsten Ziele der Polarforschung, die letzten weißen Flecken auf der Landkarte zu erreichen, neue Seewege zu erschließen und rein geographische Forschung zur arktischen Topographie zu betreiben, so rückten

nun die naturwissenschaftlichen Fragen dieses Raumes, insbesondere zur Meteorologie und Geophysik, in den Vordergrund, denen unter Einbindung der gesamten „scientific community“ Lösungen zugeführt wurden. In diesem Geiste wurde seither Polarforschung betrieben, wobei heute der Schwerpunkt auf der Untersuchung der Steuerung des globalen Umweltsystems liegt, beeinflusst durch Vorgänge in den Polarregionen.

Als der Österreichische Rundfunk beschloss, eine große Dokumentation den historischen Ereignissen rund um Franz-Josef-Land zu widmen, war dies auch gleichzeitig der Start der österreichischen Forschungsaktivitäten. Das Basislager des ORF wurde nach dem Ende der Dreharbeiten vom Ministerium für Wissenschaft und Verkehr angekauft, und so steht heute ein Forschungscamp auf der Ziegler Insel (Abb. 3 u. 4).

Eines der wichtigsten Probleme am Beginn des dritten Jahrtausend ist zweifellos die immer deutlicher werdende Beeinflussung der Erde durch unseren bedenkenlosen Umgang mit der Umwelt. Diese Einflüsse sind in den sensiblen Bereichen extremer Klimate besonders deutlich nachweisbar. Somit kann die Polarforschung durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse Grundlagen zur Vermeidung von Beeinträchtigungen der Umwelt liefern. Dies wurde von den wichtigen Industrienationen schon vor Jahren erkannt und umfangreiche interdisziplinäre Forschungsprojekte zum Thema „global change“ wurden und werden durchgeführt. Österreich hat einen wesentlichen Anteil an der ökologischen und klimatologischen Erforschung des alpinen Raumes, der ein exemplarisches Beispiel einer solchen sensiblen Region darstellt. In den vergangenen Jahren wurden hier unter dem Eindruck der vieldiskutierten globalen Erwärmung wichtige Erkenntnisse im Bereich der Biowissenschaften und der Geowissenschaften gewonnen. Diese Erfahrungen in die Arktisforschung einzubringen, legitimiert uns zusätzlich, einen Neubeginn der österreichischen Arktisforschung zu wagen. An der Erforschung polarer Räume teilzu-



Abb. 3: Das Forschungslager auf der Zieglerinsel im Archipel Franz Josef Land aus dem Jahre 1996. – Fig. 3: Researcher's camp at Ziegler Island, Franz Josef Land archipelago, in 1996.



Abb. 4: Einfache, jedoch effiziente Arbeitsbedingungen prägen den ForscherInnenalltag im Laborzelt.  
– Fig. 4: Daily routine: Simple but effective working conditions in the laboratory tent.

nehmen, bedeutet für uns aber auch einen weiteren Schritt in die Internationalisierung unserer Forschung und sichert uns auf lange Sicht verstärkt Einflussmöglichkeit auf die so wichtigen Fragen der Menschheit.

### **Das internationale Polarjahr 2007/2008**

Schon alleine durch den Initiator des ersten internationalen Polarjahrs – Carl WEYPRECHT – hat sich das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung sehr stark für Aktivitäten österreichischer WissenschaftlerInnen im Zusammenhang mit dem IPY (International Polar Year) engagiert. Die Initiative zum vierten internationalen Polarjahr ging von vielen wichtigen internationalen Forschungsorganisationen, internationalen Organisationen und der Politik aus. Das Internationale Council for Science (ICSU) übernahm die Koordination des Programms und definierte sechs Forschungsbereiche, von denen die folgenden Schlüsselfunktionen haben:

- Bestimmung des gegenwärtigen Zustandes der Umwelt in den Polargebieten
- Quantifizierung von Umweltveränderungen und sozialen Veränderungen in Gegenwart und Vergangenheit
- Verbesserung der Vorhersagefähigkeit über zukünftige Änderungen in den Polargebieten
- Erweiterung des Verständnisses der Koppelungen und Rückkoppelungen zwischen den Polargebieten und dem Rest der Erde und den zugrunde liegenden Prozessen.

So wurde als Beitrag zum Internationalen Polarjahr IPY 2007/2008 von österreichischen Wissenschaftlern das multidisziplinäre Forschungsprogramm FERMAP entwickelt.

FERMAP ist eine Forschungsinitiative, die einen wesentlichen Beitrag zur Bestimmung des gegenwärtigen Zustandes der Umwelt in der Arktis leisten soll, wobei insbesondere die Lücke, die Franz-Josef-Land auf der heutigen „Forschungslandkarte“ darstellt, geschlossen werden sollte. Wie bereits eingangs dargestellt, wurde diese Initiative durch den Einspruch der zuständigen Stellen der russischen Föderation erneut verhindert. Viele der Zielsetzungen von FERMAP sind jedoch nicht an Franz-Josef-Land gebunden. So konnten die geplanten Forschungsarbeiten für den Sommer 2007 nach Nordost-Grönland in die Region Daneborg–Zackenbergl verlegt werden.

Im Anschluss zu den Ausführungen über die Geographie, Klima, Flora und Fauna von Franz-Josef-Land erfolgt noch eine kurze Darstellung der Aktivitäten und der Lokalität in Zackenberg in Nordost-Grönland. Ob österreichische WissenschaftlerInnen wieder nach Franz-Josef-Land zurückkehren können und vor allem dürfen, wird uns die nahe Zukunft zeigen.

### Geographie von Franz-Josef-Land

Nicht ganz ohne Koketterie antwortet mancher der Franz-Josef-Land-Reisenden auf die Frage, wo dieses Archipel eigentlich liegt, mit dem Satz „Gleich unter dem Nordpol“. So ganz stimmt dies dann doch nicht. Das Archipel ist ca. 800 km vom Festland und ca. 600 km vom Nordpol entfernt – liegt also auf halbem Weg vom Norden Russlands zum Nordpol. Franz-Josef-Land besteht aus 184 (manchmal werden auch 191 genannt) relativ kleinen Inseln mit einer Gesamtfläche von rund 16.000 km<sup>2</sup>, die zwischen 44° 50' und 65° 20' östlicher Länge und 79° 55' und 81° 51' nördlicher Breite liegen. Die Nord-Süd Erstreckung beträgt 233 km vom Kap Fligely auf der Rudolf Insel bis zur Insel Lamont und in der Ost-West Erstreckung 366 km vom Kap Mary Harmsworth im Westen bis Kap

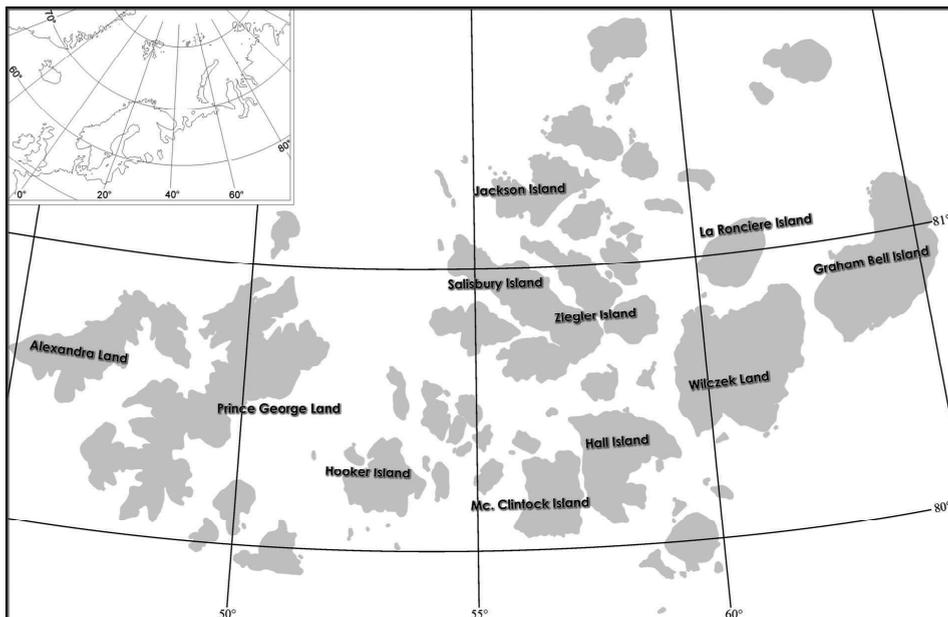


Abb. 5: Lage und Geographie von Franz-Josef-Land. – Fig. 5: Situation and geography of Franz-Josef-Land.

Olney im Osten. Die größten Inseln sind Georgs Land mit 2.700 km<sup>2</sup>, Wilczek Land mit 2.100 km<sup>2</sup> und Graham Bell mit 1.100 km<sup>2</sup>. Die Entfernung zum eurasischen Kontinent beträgt 800 km bis nach Dikson bzw. 1.300 km bis nach Murmansk (Abb. 5).

Es gibt mehrere Inseln in dieser Region der Barents See, wie z. B. die Victora Insel, die von manchen Autoren zum Archipel gezählt werden, jedoch durch tiefe Gräben von Franz-Josef-Land getrennt sind.

Mehr als 85% der Landoberfläche und auch 60 % der 4.460 km langen Küstenzone dieses hocharktischen Archipels sind vergletschert. Im Gegensatz zu anderen vergleichbaren Inselgruppen besteht Franz-Josef-Land aus einer größeren Anzahl von Inseln, die jedoch bezogen auf die Fläche eher klein sind.

## Die Arktis – polare Kältewüsten

Stellt man sich als Forscher einem bestimmten Thema, so steht meist am Anfang die Beschäftigung mit den grundlegenden Informationen zum Gegenstand der Untersuchung. Das ist bei der Arktisforschung natürlich der Begriff Arktis – und der ist gar nicht so einfach zu beschreiben, wie man glaubt.

Der Geograph bevorzugt in der Regel klare, leicht erkennbare Grenzen wie z. B. den Polarkreis, der einen parallelen Breitenkreis darstellt. Dieser ergibt sich aus dem Winkel zwischen der Erdachse und der Ebene des Orbits der Erde zur Sonne. So befindet sich der Polarkreis auf 66°32' nördlicher Breite. Klimatische Grenzen sind z. B. die 10°-Juli-Isotherme, die auf Land und auf den Meeren ziemlich übereinstimmt und weitgehend mit der Baumgrenze zusammenfällt. Natürlich ist dabei zu bedenken, dass jede Baumart ihre spezifische Baumgrenze hat. Grundsätzlich folgt auf die Baumgrenze die baumlose Tundra. Als Subarktis wird von den meisten Autoren jener Bereich benannt, der als Waldtundra bzw. als Übergangszone zwischen Wald- und Baumgrenze bezeichnet wird. Daran schließt die eigentliche baumfreie, zwergstrauchreiche Tundra an, die in die Kältewüsten übergeht.

In den arktischen Regionen überschreitet die Sonne niemals einen Einfallswinkel von mehr als 45° und weist dadurch ein sehr geringes Energiepotential auf. Bei einem Einfallswinkel unter 17° verliert die Sonne jeglichen wärmenden Effekt, zusätzlich „kühlend“ wirkt die in den arktischen Regionen starke Reflexion, die bei 90% der eintreffenden Strahlung liegt.

Flora und Fauna sind oft von einer hohen Individuendichte – jedoch geringer Artenzahl – gekennzeichnet. So weist der gesamte zirkumpolare Raum mit seiner Erstreckung von über 24 Breitengraden eine Anzahl von 1.700 Blütenpflanzen, 750 Moosen und 1.200 Flechten auf.

## Polare Kältewüsten

Der Begriff „polar desert“, der erstmals von PASSARGE 1920 in der Fachliteratur verwendet wurde, charakterisiert jene Bereiche der hohen geographischen Breiten, in denen der Großteil des Landes und des Meeres von Schnee und Eis bedeckt ist, die jährliche Sonneneinstrahlung ca. 10 kcal/cm<sup>2</sup> nicht überschreitet, und die Durchschnittstemperatur im wärmsten Monat des Jahres über 2°C nicht hinausgeht. Der Terminus „Wüste“ wurde vor allem auf Grund der Tatsache gewählt, dass in den eisfreien Regionen nur ein gering entwickeltes Pflanzenkleid anzutreffen ist und auch das nur in Form eher offener Be-

stände. Das Muster dieser Vegetation ist meist von länglicher, fragmentarischer Struktur zwischen steinigen Flächen. Die Vegetation besteht zum größten Teil aus Flechten und Moosen und nur zu einem geringen Anteil aus kleinwüchsigen Blütenpflanzen. Wenn man als Biowissenschaftler in derartig extremen Regionen arbeitet – wie es nun einmal die Arktis ist – wird man oft gefragt „Und zwischen all dem Eis und Gesteinsgeröll gibt es auch noch Vegetation?“ Aber gerade die geologische Formenvielfalt ist dafür verantwortlich, dass Landschaften entstehen, die in geschützten Nischen eine reichhaltige (biodiverse) Vegetationsdecke entstehen lassen bzw. für eine Vielzahl von Tieren Lebensraum bilden.

Aus bodenkundlicher Sicht ist der Wüstenbegriff etwas zu relativieren bzw. zu ergänzen. Denn die Eisschicht des Permafrost im Untergrund wirkt stauend und bedingt eine Wasserübersättigung in der Auftauschicht. Dass die sommerliche Stoffumsetzung arktischer Ökosysteme so stark gehemmt ist, liegt nicht so sehr in der Temperatur, sondern in diesem nassen, sauerstoffarmen Milieu begründet. Durch eine Erwärmung wird die stauende Eisschicht im Boden tiefer gelegt und die Verdunstung erhöht. Beides begünstigt die Austrocknung des Oberbodens, wodurch sich die Umsatzraten drastisch erhöhen und attraktive Wuchsorte für höhere Pflanzen entstehen können.

## Geologie

Die Inselgruppe ist Teil des breiten, dem sibirischen Festland vorgelagerten Schelfbereiches und besteht geologisch gesehen aus einer mächtigen Sequenz von mesozoischen (Trias, Jura) Sedimenten, die an der Jura-Kreide Grenze im Zuge einer intensiven magmatischen Aktivität von zahlreichen Basaltdecken, überlagert wurde. Die Basaltdecken erreichen eine maximale Gesamtmächtigkeit von ca. 400 m, wobei die einzelnen Lagen zwischen 6 und > 50 m mächtig werden können. Basalte gehören zu den häufigsten Gesteinen der Erde und sind durch hohe Gehalte von Eisen, Calcium und Magnesium gekennzeichnet. Basaltformationen, wie sie auf Franz-Josef-Land auftreten, sind häufig im kontinentalen Bereich anzutreffen und werden als kontinentale Plateau-, Decken- oder Flutbasalte bezeichnet. Ihre wissenschaftliche Bedeutung liegt in der Tatsache, dass sie eine der wichtigsten Informationsquellen für die Natur und den Zustand des oberen Erdmantels darstellen. Auch das Initialstadium des Auseinanderbrechens von Kontinentalmassen im Zuge plattentektonischer Vorgänge ist häufig mit der Entstehung von Plateaubasalten verbunden. So markieren etwa die Parana Basalte in Brasilien und die Etendeka Basalte in Namibia den Beginn der Öffnung des Südatlantik. Die Franz-Josef-Land Basalte sind wahrscheinlich gemeinsam mit den Basalten von Kong Karls Land (Svalbard), den Basalten der Axel Heiberg Insel (Kanadische Arktis) und anderen Vorkommen Teile einer ausgedehnten Plateaubasalt-Provinz, die mit der Öffnung des arktischen Ozeans ausgehend vom Alpha Ridge (einer tektonischen Hauptstörung) in Verbindung zu bringen ist (NTAFLOS & RICHTER 2003).

## Die arktischen Böden

Die bodenbildenden Prozesse in den arktischen Regionen sind infolge niedriger Temperaturen und einer kurzen Vegetationsperiode mit geringer biologischer Aktivität stark reduziert und lassen sich am ehesten mit Bodenentwicklungen in hochalpinen Lagen vergleichen. Nur in Bereichen, wo skelettreiche Böden vorliegen, kann sich Vegetation in den polaren Kältewüsten etablieren. Die Böden erscheinen meist als steinige Ablage-

rungen als Folge der Auswaschung durch Hangwasser und Flussablagerung mit einer Sortierungsfolge von relativ großen Blöcken bis hin zu Schottern. Bereiche mit lehmigen Moränen und marinen Sedimenten bilden gewöhnlich eine Mischung aus Schottern, Steinen und Kiesablagerungen. Der steinige Boden ist ein Charakteristikum der polaren Kältewüsten und wird durch die physikalische Verwitterung und der durch den Permafrost verbundenen Fraktionierung, d.h. Sortierung des Materials nach Größe, bewirkt. Chemische und auch biochemische Verwitterung spielen infolge der geringen Temperaturen nur eine sehr untergeordnete Rolle. Da die Inseln von Franz-Josef-Land Plateaucharakter haben und großteils mit Eis bedeckt sind, konzentriert sich reifere Bodenbildung überwiegend auf die eisfreien Küstenzonen.

Wesentlich für viele biologische Phänomene in der Hocharktis ist die Tatsache, dass unter einem sehr geringmächtigen Boden bzw. unter dem Schotter ein oft bis zu 60 m dicker Permafrostbereich liegt. Dabei handelt es sich um Bodenschichten, die das ganze Jahr über permanent gefroren sind. Die Permafrostschicht beginnt in den Sommermonaten in einer Bodentiefe von 6–34 cm und ist teilweise vom stark durchfeuchteten Bodenkörper scharf abgegrenzt. Mit abnehmender Hangneigung nimmt der Gehalt an Bodenwasser zu, sodass an Verebnungen und flachen Mulden Böden entstehen, die sehr feucht sind und überwiegend Moosvegetation tragen.

Auf den ersten Blick könnte man diese Regionen für Moore halten. Die Entstehung von Mooren ist jedoch in diesen Regionen auf Grund der Klimabedingungen nicht mehr möglich. Unter Wasserstau kommt es zur Bildung von Gleyböden, in denen durch Verwitterung von basaltischem Gestein Tonminerale neu gebildet werden.

Durch Frosteinwirkung haben sich auf vegetationslosen Flächen Frostmusterböden unterschiedlicher Ausprägung entwickelt. Der Polygonboden ist die bekannteste dieser Formationen. Verantwortlich für die Bildung dieses Bodentyps ist die Inhomogenität bei den Auftau- und Eisbildungsprozessen in den Bodenflächen. Die Eisbildungszentren wirken wasserabziehend auf die sie umgebenden Bereiche – dehnen sich daher aus und heben so ihre Oberfläche empor. Die dabei herausgewitterten Steine gleiten zur Seite. Zwischen den polygonartig angeordneten Steinen sammelt sich Erde bzw. feines Sediment und ermöglicht Pflanzenwachstum.

## Klima

Die Faktoren nördliche Breite, Wind, Entfernung von kontinentalen Landmassen und die enormen Gletschermassen sind für die Ausbildung der klimatischen Situation auf Franz-Josef-Land verantwortlich. In dieser Region gibt es prinzipiell zwei Saisonen – einen 9 Monate andauernden Winter von September bis Mai und ein Frühjahr welches im Juni beginnt und eigentlich nie wirklich in einen Zeitabschnitt übergeht, der als sommerlich zu charakterisieren wäre.

Der letztendlich entscheidende Faktor für die Ausbildung des Klimas in dieser Region ist die extreme nördliche Breite. Der Sonnenstand erreicht niemals mehr als 33° über dem Horizont. Die polare Nacht umfasst 123 Tage, der polare Tag 140 Tage. Die restlichen Tage zeigen einen Wechsel von Tag und Nacht. Bei der Beschreibung des arktischen Klimas muss eine Unterscheidung in drei Klima-Provinzen vorgenommen werden. Von Ost nach West verlaufend sind das die Sibirische Provinz, die Barentsprovinz mit Franz-Josef-Land und die kanadische Provinz. Das klimatische Geschehen auf Franz-Josef-Land wird aber auch von atmosphärischen Zirkulationen und Meeresströmungen ganz wesentlich

beeinflusst. Ein nördlicher Ast des Golfstroms zeigt seine Wirkung auf Franz-Josef-Land in der Form, dass nahezu an 90% aller Tage zumindest zeitweise Nebel anzutreffen ist, und dass die Wolkendecke in der Regel extrem dicht ist. Der Einfluss des Golfstroms nimmt natürlich vom Westen nach Osten ab. So können auf Franz-Josef-Land Niederschlagsmengen um die 300 mm gemessen werden und auch die Höhe der Schneedecke erreicht 40–60 cm. Die klimatische Situation in der nach Osten anschließenden Sibirischen Provinz ist durch eine stärkere kontinentale Klimasituation mit größeren Niederschlagsmengen gekennzeichnet. Völlig andere Klimasituation zeigen die cryo-ariden Klimate, die nur in der kanadischen Provinz anzutreffen sind. Hier übersteigen die Niederschlagsmengen 30–40 mm pro Jahr nicht.

Der Wind gilt als ein weiterer, wesentlicher Einflussfaktor. Die kalten und feuchten ozeanischen Südostwinde treiben die Eismassen gegen die Küsten bzw. streichen über die Gletscher und erfahren eine weitere Abkühlung. Diese Windsituation wird auch in der Verteilung der Gletscher wiedergegeben. So sind die südöstlichen Bereiche des Archipels stärker vergletschert als die anderen Bereiche des Archipels.

Aber auch Föhn ist in Regionen, wo die Geomorphologie der Landschaft die Ausbildung derartiger Winde erlaubt, ein nicht zu unterschätzender Faktor bei der Ausbildung einer für die Arktis eher untypischen (azonalen) Vegetation. Diese Oasen – für Franz-Josef-Land ist bis jetzt noch keine beschrieben – sind gekennzeichnet durch Zwergsträucher wie auf Wrangel oder durch Tundren Vegetation mit Vorherrschen der Polarbirke auf Sewernaja Semlja.

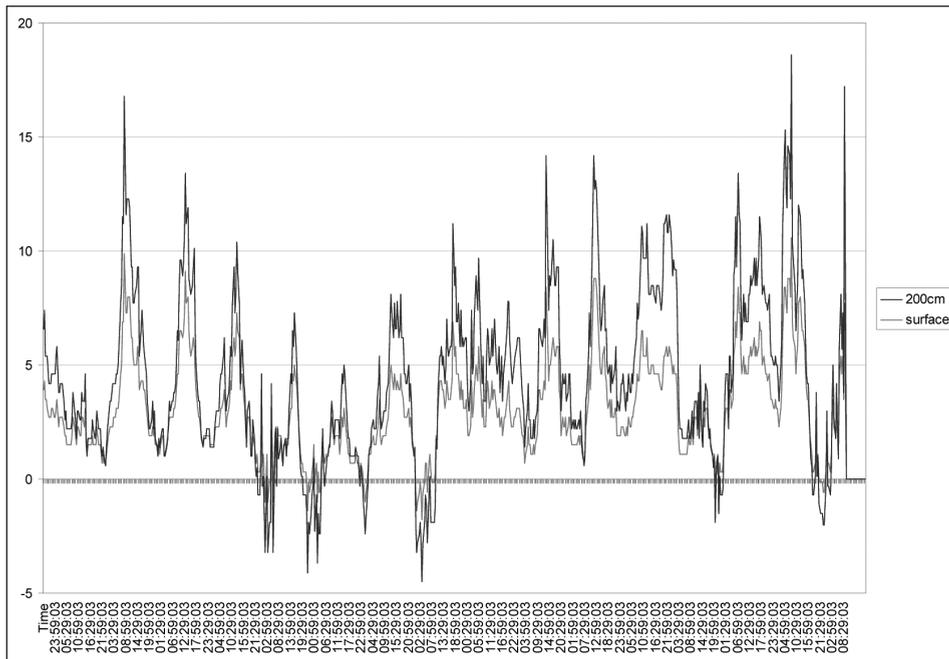


Abb. 6: Verlauf von zwei Temperaturkurven (Bodenoberfläche und 2 Meter über Boden) vom 12. 7.–28. 7. 1996, gemessen im Forschungslager Ziegler Insel in Franz-Josef-Land. – Fig. 6: Characteristics of two temperature courses (surface and 2 meters above surface) in the time of 12. 7.–28. 7. 1996 measured in the camp of the Ziegler Island (Franz-Josef-Land).

Das Fehlen warmer Luftmassen und die Abnahme der Windaktivität sind verantwortlich für die extrem tiefen Temperaturen und die enorme Sicht bzw. Klarheit der Luft in den Monaten März und April. In diesen Monaten liegt die Minimaltemperatur noch bei  $-25^{\circ}\text{C}$ . In den Sommermonaten liegen die Tagestemperaturen bei durchschnittlich  $0^{\circ}\text{C}$ , können aber vereinzelt Werte von bis  $+12^{\circ}\text{C}$  erreichen.

Während des Forschungsaufenthalts 1996 wurden umfangreiche Klimamessungen durchgeführt (Abb. 6). Die Klimawerte in Bodennähe zeigen ein eher ausgeglichenes Bild. Selten werden Temperaturen unter  $0^{\circ}\text{C}$  erreicht. Der Mittelwert ( $2,7^{\circ}\text{C}$ ) der Messungen am Boden widerspiegelt die für diese Region beschriebenen Durchschnittstemperaturen von ca.  $2^{\circ}\text{C}$  im Juli.

## Gletscher

Die große Bedeutung der Gletscher für das Leben im Franz-Josef-Land Archipel erklärt sich aus der Tatsache, dass 85% der Gesamtfläche vergletschert sind. In diesen durchschnittlich 180 Meter mächtigen Gletschern sind ca.  $2.500\text{ km}^3$  Süßwasser gebunden. Ein plötzliches Schmelzen dieser Eismassen würde zu einem Anstieg des Wasserspiegels von 6 mm auf den Ozeanen führen. Bei den Gletschern werden im Archipel drei Typen unterschieden. Dies sind einerseits die großen Eiskappen bzw. Plateaugletscher, die mit ihrer konvexen Form oft weite Bereiche bedecken; des Weiteren findet man noch Talgletscher und kleinere Gletscher, die oft nur mehr die Reste ehemals großer, zusammenhängender Gletschermassen sind.

Gletscher gelten heute oft als Archive für die Rekonstruktion der Klimaentwicklung bzw. für die Änderungen in der Atmosphäre in den letzten Jahrtausenden. Aus einer Reihe von Untersuchungen geht hervor, dass die Arktis mit ihren empfindlichen Ökosystemen einer wachsenden Belastung durch den Eintrag anthropogener, atmosphärischer Spurenstoffe ausgesetzt ist. Die chemische Analyse von Eiskernen in Grönland ergab zum Beispiel eine Zunahme des Eintrags an Nitrat seit den 1950er Jahren um 30%, während jener von Sulfat im gleichen Zeitraum sogar um den Faktor 3 anstieg.

## Die Tierwelt

Die Tierwelt auf Franz-Josef-Land wird von Säugetieren und Vögeln dominiert. Insekten sind selten, am häufigsten sind Urinsekten mit den Springschwänzen (*Collembola*) vertreten.

Seit seiner Entdeckung wurden auf Franz-Josef-Land 37 Vogelarten nachgewiesen, 14 davon brüten hier. So findet sich beispielsweise die größte Brutkolonie von Elfenbeinmöwen (*Pagophila eburnea*) des gesamten Gebiets der ehemaligen UdSSR auf Franz-Josef-Land. Schätzungen zufolge nisten hier ebenfalls 500.000 Krabbentaucher (*Alle alle*) und insgesamt etwa 30.000 Gryllsteisen (*Cephus grylle*) und Dreizehenmöwen (*Rissa tridactyla*). Auch Küstenseeschwalben, die dafür bekannt sind, dass sie von Pol zu Pol fliegen, um jeweils den Sommer in Arktis und Antarktis zu verbringen, ziehen hier ihre Jungen auf, die vor zu nahe kommenden Eindringlingen aggressiv verteidigt werden. In diesem Verhalten gleichen sie den Schmarotzerraubmöwen (*Stercorarius parasiticus*), deren Name von ihrem Nahrungserwerb abgeleitet wird: sie berauben zumeist im Flug andere Seevögel ihrer Beute.

Die arktische Vogelfauna spielt eine wichtige Rolle für den Nährstoffkreislauf im Küstenbereich und ist daher maßgeblich für die Stabilität dieses empfindlichen Ökosystems. Da sich die meisten Vögel von Meerestieren ernähren und an der Küste nisten, erfolgt damit ein Transport von organischem Material vom Meer zum Land. Es kommt in der Nähe von Vogelfelsen (Abb. 7) zu einem relativ hohen Grad an Eutrophierung der Tundra, was sich wiederum in der typischen Begleitflora widerspiegelt.

Neun Säugetierarten kommen auf und um Franz-Josef-Land vor: Beluga oder Weißwal (*Delphinapterus leucas*) und Narwal (*Monodon monoceros*), Grönlandwal (*Balaena mysteticus*), Atlantisches Walross (*Odobenus rosmarus rosmarus*), Ringelrobbe (*Phoca hispida*), Bartrobbe (*Erignathus barbatus*), Grönlandrobbe (*Phoca groenlandica*), Eisbär (*Ursus maritimus*) und Polarfuchs (*Alopex lagopus*).

Während die meisten wasserlebenden Arten aufgrund ihrer Lebensweise selten zu sehen sind, scheinen Eisbären auf Franz-Josef-Land allgegenwärtig, nicht zuletzt aufgrund ihres ausgezeichneten Geruchsinnes, der sie in die Nähe von Menschen lockt (Abb. 8). Eisbärenweibchen können ein Gewicht von 300 kg, Männchen sogar 500 kg erreichen, ihre Körperlänge beträgt zwischen 180 und 250 cm, Standhöhen von 160 cm sind nicht selten. Ihr weißes, stark isolierendes Fell dient als Tarnung beim Beutefang; bevorzugt jagen sie Ringelrobben, weshalb sie sich vorwiegend am Eis aufhalten. Eisbären ernähren sich jedoch nicht ausschließlich karnivor (fleischfressend), sondern fressen auch Beeren und Meeresalgen. Sie sind ausgezeichnete Schwimmer, ihre Füße besitzen gleichzeitig die Funktion von Paddeln (durch Schwimmhäute) sowie von Schneeschuhen (durch die Behaarung mit Ausnahme der Sohlen- und Zehenballen). Eisbären leben als Einzelgänger und in Mutterfamilien. Die zumeist zwei Jungen kommen während der Winterruhe der Mutter zur Welt und haben bei der Geburt ein



Abb. 7: Blick auf Vogelfelsen unweit des Lagers auf der Zieglerinsel. – Fig. 7: Bird cliffs near the camp at Ziegler Island.



Abb. 8: Junger Eisbär im Forscherlager auf der Ziegler Insel in Franz Josef Land. – Fig. 8: Young polar bear in the researcher's camp at Ziegler Island, Franz Josef Land.

Gewicht von unter 1 kg. Die jungen Bären bleiben bis zu 2½ Jahren bei der Mutter und werden selbst im zweiten Sommer noch gesäugt, wie wir beobachten konnten. Kannibalismus bei Eisbären scheint nicht selten, eine Mutter mit Jungen vermeidet in der Regel das Zusammentreffen mit einem Männchen. Die oft berichtete Gefährlichkeit des Eisbären für den Menschen resultiert einerseits aus der Tatsache, dass er keine natürlichen Feinde hat und daher sehr neugierig auf alles Unbekannte reagiert, andererseits aus dem geringen Ausdrucksvermögen seiner Gefühlslage (Angriffslust, Furcht) aufgrund seiner schwach entwickelten Gesichtsmuskulatur. Während Eisbären in N-Amerika und Skandinavien kontrolliert bejagt werden, stehen sie in Russland bereits vollkommen unter Schutz.

Von den zwei beschriebenen Walross Subspezies kommt das kleinere Atlantische Walross (*Odobenus rosmarus*) auf Franz-Josef-Land vor. Männchen des Atlantischen Walrosses können 900 kg, Weibchen 600 kg wiegen und bis zu 3,5 m lang werden. Das Junge kommt mit etwa 50 kg zur Welt und bleibt dann zwei Jahre bei der Mutter. Obwohl Walrösser gesellig sind, leben die Bullen und die Muttertierkolonie mit den Jungen außerhalb der Paarungszeit getrennt. Charakteristisch für das Walross sind die steifen Bartborsten zum Aufspüren der vorwiegend aus Weichtieren und Stachelhäutern bestehenden Nahrung. Weitere Merkmale sind das Fehlen äußerer Ohren und die zu Hauern verlängerten oberen Eckzähne. Diese wachsen zeitlebens (bis 50 cm lang) und kommen bei beiden Geschlechtern vor. Sie dienen vermutlich bei Bullen der innerartlichen Auseinandersetzung und somit der Rangordnungsherstellung. Ihre Verwendung als Werkzeug und zur Fortbewegung gab dem Walross den Namen (*Odobenus* = Zahn-gänger).



Abb. 9: Erhebung der Vegetation mit einem Frequenzrahmen zur Dokumentation von Dauerbeobachtungsflächen im Rahmen des Projektes ITEX. – Fig. 9: Vegetation sampling with frequency frame for long-term monitoring within the ITEX programme.

## Vegetation

Die Urväter der österreichischen Arktisforschung, an deren Spitze Carl WEYPRECHT steht, hatten meist ihre wissenschaftliche Basis in der Erforschung der Alpen. Auch die Beschreibung der Vegetation im Rahmen der gegenwärtigen Forschungsinteressen in der Arktis beginnt bei den Autoren eigentlich in den Alpen. Ausgangspunkt für diese Untersuchungen sind die seit 1992 intensiv durchgeführten Studien der oberen alpinen und nivalen Vegetation in den schweizerischen und österreichischen Alpen und auch in den Hochgebirgsökosystemen der Erde im Rahmen des weltweit agierenden Forschungsprogramms „GLORIA“. Ein genereller Trend des Höhersteigens von Gebirgspflanzen konnte dabei nachgewiesen werden. Dies hat wohl zweifellos seinen Ursprung in einer durch den Menschen bedingten globalen Klimaerwärmung. Die optimal angepasste Vegetation extremer Klimate reagiert als erste auf derartige Veränderung. So ist die Beobachtung der Veränderungen der Vegetation in den Alpen und in der Arktis (Abb. 9) ein „ideales“ System, das es uns erlaubt, sehr früh die Auswirkungen globaler Klimaveränderungen zu erkennen. Ist es in den Alpen die Seehöhe, die für die Ausbildung unterschiedlicher Vegetationsformen verantwortlich ist, so ist es in der Arktis die geographische Breite, die zu unterschiedlichen Vegetationsmustern führt.

In der hocharktischen Region werden ca. 5–10% der Grundfläche von Vegetation bedeckt. Nur unter ganz besonderen Umständen, wie z. B. unter Vogelfelsen, kann die Vegetationsdecke nahezu 100% des Bodens bedecken. Dabei handelt es sich dann aber nahezu ausschließlich um Moospolster. Ein deutlicher Unterschied der „polar-desert“-Vegetation auf Franz-Josef-Land hinsichtlich der Alpen besteht im Verhältnis zwischen



Abb. 10: Ausgedehnte, feuchte Plateaufläche mit reichhaltiger Moosvegetation. – Fig. 10: Large moist plateau with diverse moss vegetation.



Abb. 11: Alpen-Fuchsschwanz (*Alopecurus alpinus*). – Fig. 11: Polar Foxtail (*Alopecurus alpinus*).



Abb. 12: Polarfingerkraut (*Potentilla hyparctica*) mit zirkumpolarer Verbreitung und auch Vorkommen in Gebirgen der temperierten Regionen. – Fig. 12: The Arctic Cinquefoil (*Potentilla hyparctica*) is distributed circumpolar, and growing also in high mountains of the temperate regions.

Gefäßpflanzen und Kryptogamen. Überwiegen in den Alpen die Gefäßpflanzen in Artenzahl und Deckung über Moose und Flechten (mit Ausnahme bestimmter Situationen in der Nivalzone), ist das Bild in den polaren Kältewüsten umgekehrt. ALEKSANDROVA (1983, 1988) nennt von Franz-Josef-Land 115 Taxa an Flechten, 102 Laubmoose, 55 Lebermoose und 57 Gefäßpflanzen. Vor allem in der hohen Kryptogamendeckung und im weitgehenden Fehlen intra- und interspezifischer Konkurrenz bei den Blütenpflanzen zeigen sich auch deutliche Unterschiede zur geschlossenen arktischen Tundra, wo konkurrenzstarke Gräser und Zwergsträucher dominieren.

Eine höhenbedingte Vegetationszonierung kann auf Franz-Josef-Land nur teilweise festgestellt werden. Von 0–130 m Seehöhe herrscht eine gras- u. moosreiche Vegetation vor (Abb. 10), ab 130–200 m findet man Vegetationstypen, die von Moosen und Flechten dominiert werden. In höheren Bereichen trifft man in der Regel nur mehr auf Flechten.

Die Flechten prägen wesentlich das Vegetationsbild im Archipel. Die sehr spärliche Vegetation wird hauptsächlich von Krusten- und Laubflechten gebildet, während Strauchflechten viel seltener sind. Die Anzahl unterschiedlicher Flechten kann nur geschätzt werden. Aber es dürften sicher mehr als 150 Arten sein. Die auffallendsten Vertreter sind Arten der Gattungen *Cladonia*, *Stereocaulon* oder *Umbilicaria*.

Auf tiefer liegenden, feuchten Flächen oder in Senken können sich Moosgesellschaften oft weit ausdehnen. Auffallend sind die olivgrünen, seidigglänzenden Decken von *Rhacomitrium lanuginosum*. Es finden sich auch z. B. Vertreter der Gattungen *Tomenthyp-*

num, *Dicranum*, *Aulacomnium*, *Drepanocladus* oder *Polytrichum*. An Moosen wurden 72 verschiedene Arten (davon 13 Lebermoose) gefunden.

An Stellen, wo sich Feinerde angesammelt hat, gedeihen auch einige Gefäßpflanzen („Blütenpflanzen“). Viele der großen Gefäßpflanzenfamilien unserer Breiten sind auch auf Franz-Josef-Land mit einer oder mehreren Arten vertreten. Zu den faszinierenden, jedoch ganz seltenen Anblicken auf Franz-Josef-Land zählt die Polarweide (*Salix polaris*), deren Zweige sich flach an den Boden anschmiegen. Der Polarmohn (*Papaver polaris*) ist die wohl dominierende Gefäßpflanze. Vor allem treten auch Steinbrecharten (Saxifragaceae), Vertreter der Nelkengewächse (z. B. *Cerastium arcticum* = arktisches Hornkraut) oder einige Arten der Gattung *Draba* (= Hungerblümchen) aus der Familie der Kreuzblütler auf. Auch Gräser sind nicht selten anzutreffen. An erster Stelle sind eine Fuchsschwanzart (*Alopecurus alpinus*, Abb. 11) und das Bergschneegrass (*Phippsia algida*) zu nennen.

Für das Untersuchungsgebiet auf der Ziegler Insel konnten 31 Arten an Gefäßpflanzen (von 57 im Archipel angegeben, s. Tabelle 1), 59 Moose, 13 Lebermoose und ca. 40 unterschiedliche Flechten nachgewiesen werden. Das bedeutet, dass nahezu 2/3 der gesamten von ALEXANDROVA (1983, 1988) genannten Flora des Archipels, beschrieben werden konnte. Gründe für die hohe Artendiversität in diesem Bereich sind die zentrale Lage innerhalb des Archipels, das Vorhandensein aller Expositionssituationen auf engstem Raum und die unterschiedlichsten geomorphologischen Positionen wie z. B. weite Plateaus, Vogelfelsen oder nahezu abgeschlossene, geschützte „Täler“.

Alpen und Arktis werden oft für Vergleiche herangezogen. Diese Vergleichbarkeit resultiert aus der Tatsache, dass beide Regionen sehr sensible bzw. leicht verwundbare Ökosysteme beherbergen bzw. darstellen. Aber es bestehen auch ganz wesentliche Unterschiede, von denen an erster Stelle natürlich die extrem unterschiedlichen Lichtver-

Tab. 1: Liste der Taxa an Gefäßpflanzen auf der Ziegler Insel, 1996 (h=häufig, z=zerstreut, s=selten). – Table 1: List of the vascular plants on the Ziegler Island, 1996 (h=frequent, s=scattered, s=rare).

<i>Alopecurus alpinus</i> Sm.	h	( <i>P. dahlianum</i> Nordh.)	h
<i>Androsace triflora</i> Adams	s	<i>Phippsia algida</i> (Solander) R.Br.	h
<i>Cardamine bellidifolia</i> L.	h	<i>Poa abbreviata</i> R.Br.	z
<i>Cerastium arcticum</i> Lange	h	<i>Poa arctica</i> R. Br. s.str.	
<i>Cerastium regelii</i> Ostenf.	h	(incl. var. <i>vivipara</i> (Malmg.)Schol.)	h
<i>Cochlearia groenlandica</i> L.	h	<i>Potentilla hyperarctica</i> Malte (Abb. 12)	z
<i>Draba lactea</i> Adams	z	<i>Puccinellia angustata</i> (R.Br.) Rand & Redf.	
<i>Draba macrocarpa</i> Adams	s-z	ssp. <i>angustata</i>	s
<i>Draba micropetala</i> Hook.		<i>Ranunculus sulphureus</i> Solander	h
( <i>D. oblongata</i> R. Br. ?)	h	<i>Saxifraga cernua</i> L.	h
<i>Draba subcapitata</i> Simmons	h	<i>Saxifraga cespitosa</i> L.	h
<i>Juncus biglumis</i> L.	s	<i>Saxifraga flagellaris</i> Willd.	
<i>Luzula arctica</i> Blytt		ssp. <i>platysepala</i> (Trautv.)Pors.	s
( <i>L. nivalis</i> (Laest.)Beurl.)	z	<i>Saxifraga hyperborea</i> R. Br.	z-h
<i>Luzula confusa</i> Lindeb.		<i>Saxifraga nivalis</i> L.	z-h
( <i>L. arcuata</i> ssp. <i>confusa</i> (Lindeb.))	z	<i>Saxifraga oppositifolia</i> L.	h
<i>Minuartia rubella</i> Wahlenb.)Hiern	s	<i>Saxifraga rivularis</i> L.	z
<i>Oxyria digyna</i> (L.)Hill	s	<i>Stellaria edwardsii</i> R. Br.	h
<i>Papaver polare</i> (Tolm.)Perf.			

hältnisse zu nennen sind. Betrachtet man die Vegetation, so zeigt sich ein wesentlicher Unterschied zwischen Franz-Josef-Land und Alpen im Verhältnis zwischen Gefäßpflanzen und Kryptogamen (Flechten und Moose).

## Vegetation und Klimaerwärmung

In den europäischen Alpen hat sich die jährliche Durchschnittstemperatur seit dem 19. Jahrhundert um  $1,1^{\circ}\text{C}$ – $1,3^{\circ}\text{C}$  erhöht. (BÖHM et al. 2001). Ein weiterer Anstieg der jährlichen Durchschnittstemperatur in den Alpen kann lokal den Artenreichtum erhöhen, aber langfristig gesehen werden die kälteangepassten Arten abnehmen und auch verschwinden bzw. verdrängt werden, wodurch es zu einer Abnahme der Biodiversität kommen wird (GRABHERR et al. 1995, McCARTY 2001, THEURILLAT & GUISAN 2001, LESICA & McCUNE 2004). Im aktuellen IPCC-Report vom 2. 2. 2007 werden die ursprünglichen Annahmen des zu erwartenden Temperaturanstiegs für das 21. Jahrhundert sogar noch übertroffen (zwischen  $1,8^{\circ}\text{C}/4^{\circ}\text{C}$ ).

Ganz besonders wird in diesem Report der überproportionale Temperaturanstieg in borealen und arktischen Ökosystemen hervorgehoben. Bedeutende Änderungen betreffen den Rückgang der Eisdecke und das Auftauen der Permafrostböden. Bereits vor 17 Jahren wurde für die hohen nördlichen Breiten eine besonders intensive Temperaturzunahme vorhergesagt (MITCHELL et al. 1990). CALLAGHAN (1993) nennt positive Rückkoppelungseffekte (Veränderung der Albedo, Entgasung auftauender Permafrostbereiche etc.) als besonders wirkungsvoll. Reaktionen der nördlichen Biosphäre konnten bereits seit Jahrzehnten beobachtet werden, etwa in der Verschiebung der arktischen Baumgrenze nordwärts (BALL 1986). Besonders für die Ökosysteme der Arktis werden massive Auswirkungen infolge der Erwärmung als sehr wahrscheinlich bezeichnet. Dies wird mit den durchschnittlichen Sommertemperaturen knapp über  $0^{\circ}\text{C}$  und den Jahresmitteltemperaturen großer Bodenbereiche deutlich unter dem Gefrierpunkt begründet. Wenige Grade an Temperaturanstieg können dadurch extreme Veränderungen im Gefrier- bzw. Auftauregime herbeiführen (OECHEL 1993). In den nächsten dreißig Jahren kann es nach dem IPCC-Report zu einer globalen Erwärmung von  $0,6^{\circ}\text{C}$  kommen, wobei dieser Anstieg in der Arktis und den Alpen doppelt so hoch sein soll. Diese Tatsache lässt für diese beiden von Kälte geprägten Lebensräume tiefgreifende Veränderungen erwarten.

Im Lichte des nun unzweifelhaft bestehenden globalen Temperaturanstieges treten die Verbreitungs- und Lebensraumgrenzen von Arten, Artengemeinschaften und Ökosystemen auch in den Fokus angewandter Forschung in Form von Monitoring-Untersuchungen zur Dokumentation der Auswirkungen globaler Klimaveränderungen. Die Ökosysteme der borealen und arktischen Zone einerseits (HENRY 1997, ARFT et al. 1999) und jene der Hochgebirge andererseits, werden als die empfindlichsten Indikatoren für diese Veränderungen angesehen (OZENDA & BOREL 1991, MARKHAM et al. 1993, GRABHERR et al. 1995). Sowohl für die Alpen als auch für die boreale Zone wurden temperaturinduzierte Veränderungen in der Vegetationsverteilung bereits nachgewiesen (WALTHER et al. 2002, WALTHER 2003, MOISEEV & SHIYATOV 2003, PAULI et al. 2007). Für den extrem hocharktischen Bereich ( $>80^{\circ}$  nördlicher Breite) sind standardisierte Vergleichsdaten zu den Alpen noch immer ausständig – Franz-Josef-Land wäre im Rahmen des Forschungsprogramms ITEX der nördlichste Punkte dieses Projektes gewesen. Die Arbeitsgruppe Hochgebirgsforschung des Departments für Naturschutzbiologie, Vegetations- und Landschaftsökologie der Universität Wien hat bereits 1996 die Basiserhebungen für dieses Forschungspro-

gramm durchgeführt – durch die militärische Sperre dieses Gebietes in den Folgejahren konnten jedoch für ITEX keine Beiträge mehr geleistet werden. Im Prinzip ruht nun ein bedeutsamer Schatz an Basiswissen, der durch eine Wiederholungsuntersuchung extrem wichtige Belege zu den Auswirkungen des globalen Klimawandels leisten könnte

### **Das Leben in Seen und Bächen**

Denkt man an das Leben in Gewässern, so verbindet man damit meist Fische und Krebse. Aber der Großteil an Leben in den arktischen Süßgewässern wird von niederen Organismen wie Bakterien, Algen und Einzellern gebildet (PANZENBÖCK et al. 2000).

Neben den arktischen Land-Ökosystemen und deren Organismen, die bezüglich ihrer Überlebensstrategien an das raue Klima angepasst sind und den kurzen arktischen Sommer zur Fortpflanzung und Verbreitung nützen, sind auch die Lebensgemeinschaften in den hocharktischen Gewässern in extremem Ausmaß von den stark wechselnden Licht- und Temperaturbedingungen im Jahresverlauf abhängig. Nur während der Sommermonate Juli und August bilden sich auf Franz-Josef-Land kurzlebige Bäche, kleine Tümpel und Seen, die häufig – ebenso wie das Meer – nur zum Teil schnee- und eisfrei werden. Auf Grund des kurzen arktischen Sommers und dem damit verbundenen Abschmelzen der Eisdecke ist das zur Photosynthese notwendige Licht für die Algen, die als Produzenten am Beginn der Nahrungskette stehen, nur wenige Wochen verfügbar. In weiterer Folge sind tierische Organismen ebenfalls an eine sehr kurze Zeitspanne aktiven Lebens gebunden, nicht zuletzt können Insektenlarven erst schlüpfen, wenn die Eisdecke nicht mehr geschlossen ist. Mikroorganismen und ihre Tätigkeit als Recycler von Nährstoffen beeinflussen in vermutlich weitaus größerem Ausmaß als bisher angenommen die Funktionsfähigkeit dieser höchst sensiblen Ökosysteme. Erhöhter Nährstoffeintrag infolge prognostizierter Klimaerwärmung bzw. die direkten Folgen höherer Temperatur auf die biologischen Prozesse in diesen aquatischen Systems stehen immer im Brennpunkt der Grundlagenforschung in polaren Regionen.

### **Die Zukunft in Grönland**

Am Montag, 6. August 2007, brach eine sechsköpfige österreichische Expedition nach Grönland auf, um in der dänischen Forschungsstation Zackenberg Untersuchungen zum besseren Verständnis globaler Erderwärmung durchzuführen. Neben Andreas FRITZ von der Universität Innsbruck, Dr. Wolfgang SCHÖNER und Mag. Bernhard HYNEK von der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) waren drei WissenschaftlerInnen der Universität Wien bei dieser Forschungsreise dabei: Ao. Univ.-Prof. Dr. Andreas RICHTER vom Department für Chemische Ökologie und Ökosystemforschung, Ass.-Prof. Mag. Dr. Karl REITER vom Department für Naturschutzbiologie, Vegetations- und Landschaftsökologie und Mag. Michaela PANZENBÖCK, Lektorin am Department für Limnologie und Hydrobotanik. Die Expedition dauert etwas mehr als zwei Wochen und war auch als Initialisierung weiterer, umfangreicher und vor allem langfristiger Forschungsvorhaben in dieser Region gedacht.

Asi Aq, die Inuit-Göttin des Windes und des Wetters, hat es mit dem Forscherteam gut gemeint – hervorragende Wetterbedingungen erlaubten umfangreiche Forschungsarbeiten in dieser kurzen Zeit.

Es waren vier Forschungsschwerpunkte, die im Mittelpunkt der ersten österreichischen Expedition auf die Forschungsstation Zackenberg standen. Ein Team beschäftigte sich

mit der Frage, welche Auswirkungen höhere Temperaturen und geänderte hydrologische Verhältnisse auf die Quantität und die Abbaubarkeit gelöster organischer Kohlenstoffverbindungen (DOC, dissolved organic carbon) haben. Die vegetationsökologische Forschung hat sich mit der Einrichtung von Monitoringflächen beschäftigt, um Vegetationsveränderungen im Lichte des globalen Klimawandels nach standardisierten Erhebungsverfahren, die im Rahmen des weltweit agierenden Beobachtungsnetzwerk „GLORIA“ ([www.gloria.ac.at](http://www.gloria.ac.at)) entwickelt wurden, zu beobachten. Von Seite der Glaziologen wurden Informationen über die Schmelzwasserbildung von den Gletschern und die chemischen Zusammensetzung der Schneedecke und des Gletschereises geliefert und damit der Input für die Ökosysteme im unvergletscherten Bereich erfasst. Daneben wird von den Glaziologen die Massenbilanz eines Gletschers auf der Südseite des Tyroler Fjordes gemessen, der bereits in den 1930er Jahren von schwedischen Wissenschaftlern untersucht wurde. Die Innsbrucker Ökologen untersuchten Ökosysteme im Bereich der Gletscher, wobei insbesondere der Kryokonit (das ist die meist „schmutzig-schwarze“ Sediment- bzw. Staubschicht an der Gletscheroberfläche) im Interesse der Forscher steht.

### Die Forschungsstation Zackenberg

Die Forschungsstation Zackenberg liegt auf  $74^{\circ}30'$  N Breite und  $21^{\circ}30'$  westlicher Länge in Nordost-Grönland (Abb. 13) 25 km nordöstlich der Siedlung Daneborg. Diese Siedlung ist im Wesentlichen eine Militärstation, auf der die berühmte Sirius Truppe stationiert ist. Es handelt sich dabei um eine Truppe, die mit ihren Hundeschlitten im Winter auf einer Länge von mehr als 3000 km Grönland durchquert.

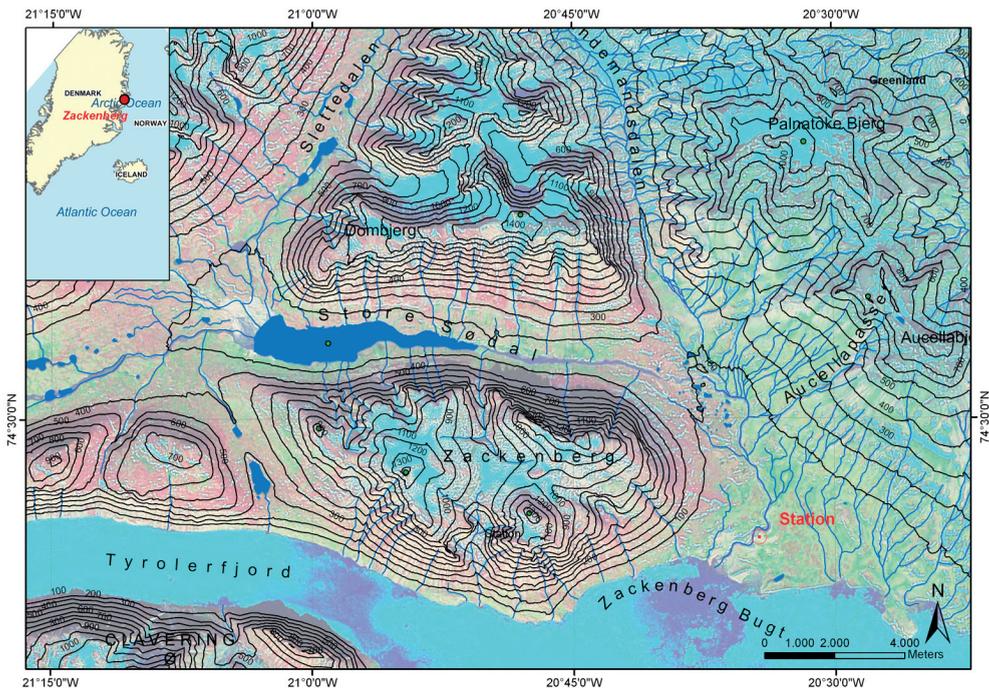


Abb. 13: E-Grönland mit dem Zackenberg und dem Tyrolerfjord. – Fig. 13: E-Greenland with Zackenberg and Tyrolerfjord.

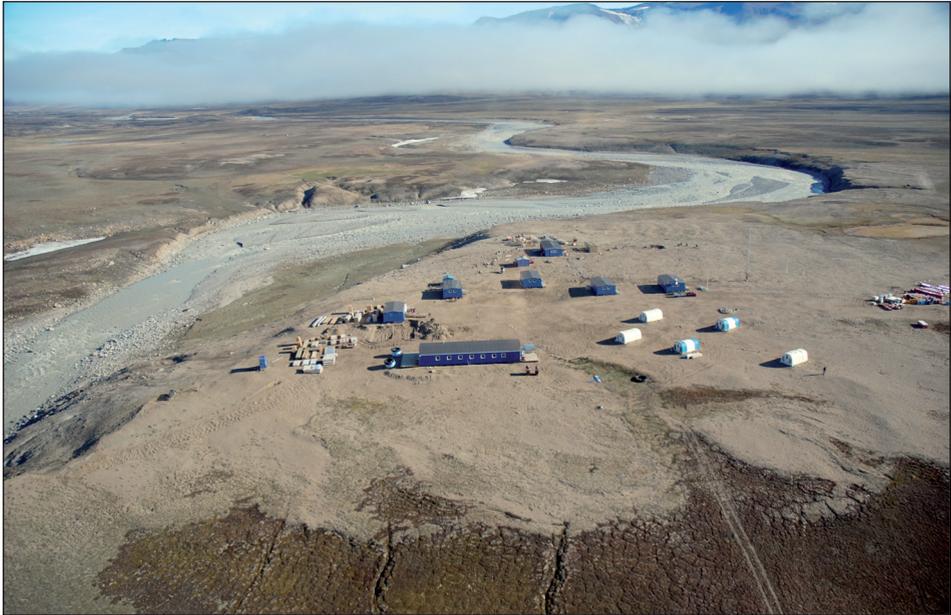


Abb. 14: Forschungsstation Zackenberg in Ost-Grönland; sie liegt auf 74°30' N-Breite und 20°30' W-Länge an der Nordseite des Young Sund-Tyrolerfjord. – Fig 14: Zackenberg Research Station is located on the north side of the Young Sund-Tyrolerfjord, at 74°30' N latitude and 20°30' W longitude in E-Greenland.



Abb. 15: Blick über den Tyrolerfjord zur größten Insel Ost-Grönlands – die Insel Clavering mit dem Freya-Gletscher, der von österreichischen Glaziologen beforscht wird. – Fig 15: View over the Tyrolerfjord to Clavering, the biggest island in E-Greenland. There, the Freya glacier is located, on which Austrian glaciologists do research.

Die Forschungsstation befindet sich im Besitz der Grönländischen Regierung (Greenland Home Rule) und wird vom Danish Polar Center betrieben. Die Forschungsstation Zackenberg besteht aus neun blau gestrichenen Häusern und liegt in der Mitte des Tyroler Fjords, umgeben von bis 1.300 Metern hohen, schneebedeckten Bergen. Der markanteste Berg in der Region der Forschungsstation ist der namensgebende Zackenberg (Abb. 14 u. 15). Bis zum gewaltigen Inlandeis sind es noch rund 100 Kilometer. Blickt man aus dem Fenster des Aufenthaltsraums, so leuchten auch um Mitternacht noch die Gletscher im „nächtlichen“ Sonnenlicht des hier 24 Stunden umfassenden arktischen Tages. Für Österreich sehr interessant ist auch der historische Hintergrund der Zackenberg-Region. Im Rahmen der zweiten deutschen Nordpolarexpedition unter Karl Koldewey hat Julius Payer bereits vor seiner Franz-Josef-Land-Expedition umfangreiche kartographische Aufnahmen der Zackenberg-Region gemacht und Österreich mit vielen Namen dort verewigt. So heißt der Fjord, in dem Zackenberg liegt, Tyroler Fjord, und ein Gletscher ganz am Fjordende nennt sich Pasterzegletscher.

Auf der Station und in der Region herrschen sehr strenge Umweltvorschriften. Der Grund dafür ist die Tatsache, dass Nordostgrönland ein Nationalpark ist – sogar der größte Nationalpark weltweit. So wird etwa der gesamte Müll mit Ausnahme von Papier ausgeflogen. Aber auch für die Wissenschaft sind die Vorgaben des Nationalparks sehr streng. Die Entnahme von Boden- oder Pflanzenproben bedarf einer vorhergehenden Genehmigung durch die Nationalparkbehörde.

## Vegetation und Landschaft in der Region des Zackenbergs

Für die gesamte Region um die Forschungsstation in Zackenberg sind ca. 140 Gefäßpflanzen beschrieben. Davon kommen aber nur 40 häufig bzw. sehr häufig vor. Nur ganz wenige machen jedoch den Großteil der Biomasse aus – es sind dies die arktische Weide (*Salix arctica*), die Silberwurz (*Dryas octopetala* bzw. *Dryas integrifolia*), die für den arktischen Raum ganz typische Cassiope (*Cassiope tetragona*), die Nebelbeere (*Vaccinium uliginosum*), verschiedene Süßgräser wie z. B. der Alpenfuchsschwanz (*Alopecurus alpinus*), Sauergräser (verschiedene Seggen, zwei Vertreter der Gattung *Eriophorum* = Wollgras) und viele Moose.

Rund 30 Prozent der hier anzutreffenden Arten sind auch in unseren Breiten bekannt. Betrachtet man die Vegetation nur auf der Ebene der Pflanzengattungen, so ist festzustellen, dass es hier nur ganz wenige Pflanzengattungen gibt, die wir aus den Alpen nicht kennen. Nicht umsonst spricht man vom sogenannten arktisch-alpinen Florenelement. Während der letzten Eiszeit wurden Arten aus dem arktischen Raum und von den vergletscherten Alpen in die eisfreie Zone im Zentrum des Kontinents gedrängt, die damals vom floristischen Erscheinungsbild der Zwergstrauchtundra entsprach. So fand ein floristischer Austausch zwischen den Alpen und der Arktis statt.

Bis jetzt wurden folgende Vegetationstypen dokumentiert (Abb. 16): Moore, Grasflächen, Salzmarschen und Zwergstrauchheiden, die entweder von der Cassiope, der Nebelbeere oder der Silberwurz dominiert werden. Flächen, die durch lange Schneebedeckung charakterisiert sind, werden von der arktischen Weide bestimmt. Sehr interessant sind auch extrem vegetationsarme Flächen, die während des Winters durch Verwehungen fast schneefrei sind. Schlussendlich trifft man in Lagen ab 400 m – manchmal auch darunter – auf die Geröllhalden, die nur auf den ersten Blick fast vegetationsfrei wirken. Schaut



Abb. 16: Photographische Dokumentation der Dauerbeobachtungsflächen eines „Quadratclusters“ im Rahmen des weltweit agierenden Forschungsprogramms „GLORIA“. – Fig. 16: Field work at a “quadrat cluster” site of “GLORIA”, a globally operating long-term monitoring network.

man jedoch etwas genauer auf den Boden, dann finden sich auch hier noch zahlreiche Pflanzenarten.

### Naturschutz und Umweltschutz in der Arktis

Unterschiedliche Interessen haben den Menschen in die entlegenen Regionen unserer Erde vordringen lassen. Die Arktis und die Antarktis sind zwei Regionen, auf denen heute enorme wirtschaftliche und militärische Interessen lasten. Aber gerade in Zeiten, wo globale Umweltprobleme überall beobachtet werden, sind solche Naturökosysteme (Abb. 17, 18 u. 19) wichtige Indikatoren, die es erlauben, Effekte des Klimawandels oder atmosphärischer Immissionen zu beobachten und zu untersuchen. So können diese Ökosysteme als hervorragende „ökologische Messgeräte“ herangezogen werden. Überall jedoch finden wir Spuren menschlichen Handels. So ist es eine Tatsache, dass auch in den sensiblen Ökosystemen der Alpen, der Arktis und Antarktis der Mensch „Störfelder“ hinterlässt, die auf die Umwelt wirken. Jedes Handeln sollte vom Gedanken getragen sein, dass man immer eine Wirkung auf die Umwelt ausübt bzw. hinterlässt.



Abb. 17: Arktisches Weidenröschen (*Chamaenerion latifolium*; Nachtkerzengewächs) – die Nationalblume Grönlands mit zirkumpolarer Verbreitung. – Fig. 17: The Broad-leaved Willow Herb or Arctic Fireweed *Chamaenerion latifolium* (Onagraceae, family of fireweed) is the national flower of Greenland; its distribution is circumpolar.



Abb. 18: Boreale Jakobsleiter (*Polemonium boreale*) aus der Familie der Polemoniaceae – kommt in Grönland nur in einem kleinen Gebiet an der Ostküste vor. – Fig. 18: Boreal Jacob's Ladder (*Polemonium boreale*, Polemoniaceae family) grows in Greenland only in a small area on the East side.



Abb. 19: Moschusochsen – aus der Unterfamilie der Ziegenartigen – nahe der Station Zackenberg, die in dieser Region im August in großen Herden anzutreffen sind. – Fig. 19: Muskoxen – subfamily Caprinae of the family Bovidae – near Zackenberg Station. Muskoxen usually live in herds of around 10–20 animals, and are common in this region.

### Schlussbemerkung

Im Heeresgeschichtlichen Museum in Wien hängt ein Bild mit dem Titel „*Niemals zurück*“, auf dem WEYPRECHT seine Männer beschwört, weiter gegen Eis, Schnee und Kälte zu kämpfen, um das Festland wieder zu erreichen. Für die Franz-Josef-Land-Forschung soll dieses Motto noch immer nicht gelten und man wird weiter darum kämpfen, doch dorthin „*Wieder zurück*“ zu kommen. Aber die Forschung in Zackenberg gibt der österreichischen Polarforschung jedenfalls eine neue Perspektive. Dann werden auch wir unseren Beitrag dazu leisten können, die Bedeutung der faszinierenden arktischen Lebensräume für das globale Klima besser zu verstehen.

### Literatur

- ALEKSANDROVA V. D., 1983: Rastitelnost poliarnykh pustyn SSSR. Nauka, Leningrad 1983.
- ALEKSANDROVA V. D., 1988: Vegetation of the Soviet polar deserts. Cambridge University Press. Cambridge 1988.
- BALL T. F., 1986: Historical evidence and climatic implications of a shift in the boreal forest tundra transition in central Canada. *Clim. Change* 8, 121–134.
- BARR S., 1995: Franz Josef Land. Norsk Polarinstitut, p. 175.
- GRABHERR G., GOTTFRIED M. & GRUBER A., 1995: Patterns and current changes in alpine plant diversity. In: CHAPIN F. S. & KÖRNER CH. (Eds.), *Arctic and Alpine Biodiversity: Patterns, Causes and Ecosystem Consequences*. Ecological Studies, Vol. 113, 167–181. Springer, Berlin.

- LESICA P. & McCUNE B., 2004: Decline of arctic-alpine plants at the southern margin of their range following a decade of climatic warming. *Journal of Vegetation Science* 15, 679–690.
- MARKHAM S., DUDLEY N. & STOLTON S., 1993: Some like it hot. WWF International, Gland.
- MCCARTY J. P., 2001: Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology* 15, 320–331.
- MITCHELL J. F. B., MANABE S., TOKIOKA T. & MELESHKO V., 1990: Equilibrium climate change. In: HOUGHTON J. T., JENKINS G. J. & EPHRAUMS, J. J. (Eds.), *Climate change: the IPCC scientific assessment*, 131–172. Cambridge University Press, Cambridge.
- MOISEEV P. A. & SHIYATOV S. G., 2003: Vegetation dynamics at the treeline ecotone in the Ural highlands, Russia. In: NAGY L., GRABHERR G., KÖRNER C. & THOMPSON D.B.A. (Eds.), *Alpine Biodiversity in Europe – A Europe-wide Assessment of Biological Richness and Change. Ecological Studies*, Vol. 167, 423–435. Springer, Berlin.
- NTAFLOS TH. & RICHTER W., 2003: Geochemical constraints on the origin of the Continental Flood Basalt magmatism in Franz Josef Land, Arctic Russia. *European Jour. Min.* 15, 649–663.
- OECHE L. W. C., 1993: Understanding the impacts of climatic change on northern ecosystems. In: HOLTEN J.I. ET AL. (Eds.), *Impacts of climatic change on natural ecosystems*. NINA, Trondheim 1993.
- OZEND A. P. & BOREL J.L., 1991: Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen in den Alpen. CIPRA – Kleine Schriften 8, 1991.
- PANZENBÖCK M., MÖBES-HANSEN B., ALBERT R. & HERNDL G.J., 2000: Dynamics of phyto- and bacterioplankton in a high Arctic lake on Franz-Joseph-Land archipelago. *Aquatic Microbial Ecology* 21, 265–273.
- PASSARGE S., 1920: *Die Grundlage der Landschaftskunde*. Hamburg.
- PAULI H., GOTTFRIED M., REITER, K., KLETTNER C. & GRABHERR G., 2007: Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994–2004) at the GLO-RIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Global Change Biology* 13, 147–156.
- SAFRONOVA I. N., 1986: The vegetation of Mabel and Hooker Islands (Franz-Josef-Land archipelago). In: *Prirodnnye komplekсы Arktiki i voprosy ikh okhrany*. Gidrometeoizdat, 51–63. Leningrad.
- THEURILLAT J-P. & GUISAN A., 2001: Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. *Climatic Change* 50, 77–109.
- WALTHER G. R., 2003: Plants in a warmer world. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* 6, 169–185.
- WALTHER G. R., POST E., CONVEY, P. ET AL., 2002: Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416, 389–395.

### **Anschrift:**

Ass.-Prof. Dr. Karl REITER, Dr. Michael GOTTFRIED, Dr. Harald PAULI, Department für Naturschutzbiologie, Vegetations- und Landschaftsökologie, Universität Wien, Rennweg 14, 1030 Wien.

Mag. Michaela PANZENBÖCK, Department für Limnologie und Hydrobotanik, Universität Wien, Althanstraße 14, 1040 Wien.

Univ.-Prof. Wolfram RICHTER, Department für Lithosphärenforschung, Althanstraße 14, 1090 Wien.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: [142\\_146](#)

Autor(en)/Author(s): Richter Wolfram, Gottfried Michael, Pauli Harald, Panzenböck Michaela, Richter Wolfgang

Artikel/Article: [Die Arktis als Feldlabor zur Beobachtung des Klimawandels. 17-42](#)