

Polarforschung 81 (2), 131 – 135, 2011 (erschienen 2012)

Schüler forschen im Hohen Norden: Untersuchungen in der Region Troms in Nordnorwegen

von Heinz Kiko¹, Torsten Nitsch², Karl-Dieter Meier³ und Dietbert Thannheiser⁴

Auf ungewöhnliche Weise begann für 25 Schülerinnen und Schüler des Heinrich-Heine-Gymnasiums in Dortmund und des Marien-Gymnasiums in Werl das Schuljahr 2011/12. Am 05. September 2011 vormittags startete ein Flieger in Düsseldorf und bereits gegen 17 Uhr am Nachmittag wurden auf dem Campingplatz Tromsdalen in Tromsø in Nordnorwegen Gepäck und Arbeitsgerät zu den Hütten geschleppt. Acht volle Tage mit einem dichten Programm standen nun unter dem Motto *Schüler forschen im Hohen Norden*. Dabei basierten die Schwerpunkte der Untersuchungen auf den Erfahrungen und Fragen einer ersten Forschungsreise in die Region Troms im August 2008 (KIKO & NITSCH 2009).

Die Probenahmen für die Untersuchungen fanden im Rahmen von fünf Exkursionen statt. Zwei ganztägige Bustouren gingen nach Westen, nach Sommarøy/Straumhella und Lyfjord/Skulsfjord. Eine Bootstour mit dem ehemaligen Rettungsschiff „Biskop Hvoslef“ ging in den Tromsø-Sund und in den Balsfjord. Die sicher spektakulärste Exkursion war die Fahrt mit Bus und Fähre zur Nordhälfte der Lyngen-Halbinsel östlich von Tromsø. Die mehrstündige Wanderung an der Nordseite des Strupskardelva über weite Schotterflächen zum Gletschersee Blåvatnet tief unter dem Lenangsbre war der Höhepunkt an diesem Tag. Vier „Forschungsprojekte“ standen bei den Exkursionen im Mittelpunkt.

Pflanzen als Ausreißer (Projekt 1)

Bei pflanzensoziologischen Untersuchungen im Jahr 2008 am Strand von Sommarøy, einer etwa 40 km westlich von Tromsø gelegenen Insel, fanden sich in den Probenquadraten nach der Auswertung der Daten insgesamt sieben Ausreißerpflanzen, die nach den gegebenen Bodenqualitäten eigentlich nicht dort hätten vorkommen sollen.

Fünf der Pflanzenarten wurden im September 2011 erneut gefunden; für eine sechste Art wurde klar, dass 2008 eine Fehlbestimmung erfolgt war. Nun erfolgte die Beprobung der Standorte mit einem Pürckhauer-Erdbohrstock. Eine erste Bewertung der Bodenprofile nach dem Augenschein ließ bereits erkennen, dass keine kleinräumig unterschiedliche Bodenbeschaffenheit die Ursache für die Ausreißer sein konnte. Der Boden der Strandwiese wies ein einfaches Profil auf. Unter der Pflanzendecke fand sich in der Nähe zum



Abb 1: Die Gruppe aus Dortmund und Werl auf der Arktisch-alpinen Windheide an der Nordflanke des Storsteinen oberhalb von Tromsø.

Strand eine sehr dünne Humusschicht, die in 100 m Entfernung zur Strandlinie bis zu 20 cm mächtig wurde. Unter der Humusschicht fand sich an allen Probenorten bis in 1 m Tiefe eine grobkörnige Kalkschicht aus Molluskenschalen und Rotalgenresten. Es war das gleiche Material, das jetzt den offenen Strand bedeckte. Die konkrete Auswertung der Bodenproben in Deutschland bestätigte, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Wuchsort der Ausreißerpflanzen und der Parallelprobe vorlagen. Zwar ergaben sich durchaus Schwankungen im Chlorid-, Nitrat- und Phosphatgehalt, jedoch waren diese Schwankungen zufällig und zeigten keine Korrelation zu den Probenorten oder Pflanzenarten. Die Ursache für das Auftreten der Ausreißer-Pflanzen ist daher wahrscheinlich die Einschleppung durch Vögel oder verursacht durch den Menschen. Im Untersuchungsgebiet fanden sich zahlreiche Spuren eines sehr aktiven Vogel Lebens. Auf „Warten“ – also an erhöhten Gelände-Punkten – waren Spuren der Vögel sehr zahlreich und führten sogar dazu, dass in der nahen Umgebung das Pflanzenwachstum deutlich stärker ausgeprägt war.

Ein unerwartetes Ergebnis brachte später der Vergleich mit Bodenproben von Ackerflächen im heimischen Westfalen. Erwartungsgemäß waren die Gehalte an Nitrat und Phosphat deutlich höher und lagen bei fünf- bis zwanzigfach höheren Werten. Unerwartet jedoch waren deutlich höhere Chlorid-Werte in Westfalen, denn die Probenorte in Sommarøy liegen nicht weiter als 100 m vom offenen Meer entfernt.

¹ Marien-Gymnasium, Am Breilsgraben 2, D-59457 Werl.
² Heinrich-Heine Gymnasium, Dörwerstr. 34, D-44359 Dortmund.
³ Oisontie 1, SF-95989 Ylläsjärvi, Finnland.
⁴ Universität Hamburg, Institut für Geographie, Bundesstr. 55, D-20146 Hamburg.

?Tigriopus brevicornis? – Artbestimmung über DNA-Sequenzierung (Projekt 2)

In Gezeitentümpeln am Strand von Sommarøy und bei Straumhella fanden wir 2008 einen Copepoden, der sich durch eine enorme Salztoleranz auszeichnete. Eine Bestimmung der Art konnte damals nicht sicher durchgeführt werden. Daher galt es neue Proben zu erhalten, die über die Isolierung, Amplifizierung und Sequenzierung der DNA eine exakte Artbestimmung ermöglichen sollte. An beiden Standorten konnten die Copepoden wieder gefunden werden. Für die Probenbearbeitung wurden die Kleinkrebse fixiert und gleich in Tromsø mikroskopisch untersucht, was bestätigte, dass wir erneut die gleiche Art vor uns hatten. Die weitere Aufarbeitung zur DNA geschah zuhause, wo dann die Analyse der DNA-Sequenz zeigte, dass es sich eindeutig um *Tigriopus brevicornis* handelt.

T. brevicornis ist der dominierende Wirbellose in den Felstümpeln am Meer im Nordatlantik und zeigt eine extreme Überlebens-Toleranz in den Temperatur-Grenzen von -17 bis +35 °C und im Salz-Gehalt von 0 bis 30 (PSU) im Umgebungswasser. *Tigriopus*-Arten kommen weltweit vor, von polaren bis tropischen Klimaten, wobei die Verbreitung auf höher gelegene Gezeiten- oder Spritzwasser-Tümpel eingeschränkt ist. Sechs *Tigriopus*-Arten gibt es auf der Nordhalbkugel, jedoch immer nur eine Art an einem Standort (nach DAMGAARD & DAVENPORT 1994, MCALLEN & BLOCK 1997)

Neuere Veröffentlichungen (RAISUDDIN et al. 2007 sowie HANDSCHUMACHER et al. 2010) haben diesen kleinen Krebs zum Thema. Dabei geht es bei Handschumacher um Fragestellungen zur Phylogeographie von *T. brevicornis* im Nord-Atlantik im Vergleich zu Ergebnissen für *T. californicus* an der Westküste Nordamerikas. Vielleicht lassen sich unsere Proben im Rahmen dieser Untersuchungen nutzen, denn die von uns beprobten Standorte stellen die bisher nördlichsten und östlichsten Fundorte im Nord-Atlantik dar. Wahrscheinlich sind die Standorte nicht so zahlreich, wie man denken könnte: Während der weiteren Exkursionen haben wir auf Ringvassøya in der Umgebung von Lyfjord und Skulsfjord sowie auf dem Nordteil der Lyngen-Halbinsel zwischen Svensby und Jægervatnet vergeblich nach weiteren Vorkommen dieser Krebse gesucht.

Tolerante und intolerante Kleinkrebse (Projekt 3)

Neben *Tigriopus* fanden wir 2008 auch Daphnien in einem höher gelegenen Felstümpel auf Sommarøy. Die Salztoleranz-Untersuchung zeigte, dass diese Krebse nur in Süßwasser überleben können. Nun galt es auch Copepoden aus dem freien Meer auf ihre Salztoleranz zu untersuchen. Dazu wurden bei einer Schiffstour Proben mit Planktonnetzen im Balsfjord und vor Straumhella im Tromsø-Sund genommen. In den Proben konnte *Calanus finmarchicus* als dominierende Copepoden-Art bestimmt werden. Die Salztoleranz-Untersuchung dieser Art ergab, dass *C. finmarchicus* nur im normalen Meerwasser-Gehalt überleben kann. Bereits recht geringe Abweichungen lassen die Krebse nach wenigen Minuten absterben.

In der Gesamtschau unserer Untersuchungen zu den Klein-

krebsen zeigen sich nun einfache und doch bemerkenswerte ökologische Tatsachen. Über einen Zeitraum vom Juli 2007 bis zum September 2011, also über fünf Sommer, fanden sich an den genannten Probenorten die Kleinkrebse der Gattungen *Calanus*, *Daphnia* und *Tigriopus*, bei einer räumlichen Distanz der Fundorte von maximal 150 Metern. Die Untersuchungsergebnisse auf die Salztoleranz dieser Kleinstlebewesen sind dabei eindeutig: *Calanus* ist stenohalin für den Salzgehalt von Meerwasser, *Daphnia* stenohalin für Süßwasser und *Tigriopus* extrem eurohalin (mit Toleranzgrenzen von 3 bis 85 (PSU) bei den eigenen Untersuchungen).

Einstämmige und mehrstämmige Fjellbirken als mögliche Klimaindikatoren (Projekt 4)

In Nord-Skandinavien bildet die Moorbirke/Fjellbirke *Betula pubescens* die Waldgrenze. Historische Quellen ab 1901 (ALM 1988) zeigen, dass die systematische Einordnung der Moorbirke/Fjellbirke in der Region Troms unklar ist. So kommt es offensichtlich auch zu Hybriden mit der Zwergbirke *Betula nana*. WEHBERG (2007) bringt Hinweise darauf, dass einstämmige Fjellbirken eher dem ozeanischen Klima, vielstämmige Birken eher dem kontinentalen Klima zuzurechnen sind. Die Ursachen für diese Charakteristik sind allerdings nach WEHBERG (2007) und weiteren Literatur-Recherchen unklar: Gibt es tatsächlich klimabedingte Unterarten, handelt es sich bei den vielstämmigen Birken um Bastarde zwischen der Moorbirke und der Zwergbirke oder sind die verschiedenen Erscheinungsformen lediglich modifikatorische Anpassungen?

Für die Untersuchung wurden bei den Exkursionen an vier Orten mit unterschiedlichem Klimaregime Birkenblätter der verschiedenen Erscheinungsformen von *Betula pubescens* sowie von *Betula nana* gesammelt. Die einzelnen Pflanzen und ihre Blätter wurden fotografiert sowie die Probenorte mit GPS-Daten erfasst. Die Ergebnisse der genetischen Untersuchung (nach CHEN et al. 1999) nach Isolation, Amplifizierung und Sequenzierung der DNA von 24 Proben (8 einstämmige und 9 vielstämmige Fjellbirken, 7 Zwergbirken) sind sehr eindeutig: Im amplifizierten und sequenzierten DNA-Abschnitt (ITS-1 Region mit Teilbereichen der flankierenden codierenden DNA-Abschnitte für ribosomale RNA-Moleküle) mit einer Gesamtlänge von etwa 650 Basen gibt es keine signifikanten oder den Wuchsformen zuzuordnenden Sequenz-Unterschiede. Das überrascht natürlich, denn *B. pubescens* und *B. nana* sollten ja zumindest unterschiedliche Daten liefern, und wir waren uns sicher auch eine hybride Form *B. pubescens x nana* gesammelt zu haben.

Deutlich wird an diesem Beispiel, dass wissenschaftliche Untersuchungen keine voraussagbaren Ergebnisse liefern. Besonders erfreulich war, dass Schüler an diesem Prozess aktiv beteiligt waren, alle Schritte mitgegangen sind und auch die Untersuchungsmethodik funktioniert hat. Alle Birkenproben konnten im ersten Anlauf bis hin zur DNA-Sequenzierung erfolgreich bearbeitet werden. Und das Ergebnis ist eindeutig: Die verschiedenen Formen der Fjellbirke lassen sich mit der genetischen Analyse des gewählten DNA-Abschnittes nicht als Indikatoren für klimabedingte Veränderungen nutzen.

Ergänzend mögen dazu Ergebnisse von Untersuchungen zur Wanderung der Baumgrenze in der Region Abisko in Nordschweden angefügt sein. Konkret zur Fjellbirke berichten HOLMGREN & TJUS 1996 als Schlussfolgerung ihrer Untersuchungen: „The reason is that 50 yr mean anomalies of summer temperatures may be too small to induce significant altitudinal movements“. Sie hatten durch Analyse historischer Daten festgestellt, dass die Wanderung der Waldgrenze trotz einer Erhöhung der Sommer-Durchschnitts-Temperatur von 1,5 °C im Zeitraum vom Ende des 19. Jahrhunderts bis in die dreißiger Jahre des 20. Jahrhunderts überraschend gering geblieben ist.

Moore in der Region Troms

Die Eiszeiten haben in Nord-Scandinavien auf vielfältige Weise ihre Spuren hinterlassen. In der meist noch unberührten Natur bietet sich die Möglichkeit, die formenden Kräfte während der Eiszeiten und den Klimawandel nach der letzten Eiszeit vor 10.000 Jahren anschaulich zu sehen und zu verstehen. Diese Aspekte waren ebenfalls Hauptthemen während der Exkursionen. Dabei war es eine besondere Freude, dass uns mit Dr. Karl-Dieter Meier (Ylläsjärvi, Finnland) und Prof. Dr. Dietbert Thannheiser (Hamburg/Münster) Wissenschaftler direkt vor Ort betreuen und begleiten konnten. Die Exkursionen nach Lyfjord/Skulsfjord auf Ringvassøya und zum Sørleangsbøtn/Nordlyngen wurden mit ihnen geplant und von ihnen geleitet. Moore und Frost-Indikatoren waren wichtige Inhalte bei diesen Exkursionen.

Die Nordwestküste Norwegens wird von Decken-Hochmooren eingenommen. Hierbei handelt es sich um terrainbedeckende Moore, die allenfalls einen schwach aufgewölbten Moorkörper zeigen. Diese ombrogenen Moore sind in der Wasserversorgung auf Niederschläge angewiesen und daher sehr nährstoffarm und sauer. Hochmoore haben sich seit dem Atlantikum in den letzten 5000 Jahren wegen des klimatischen Niederschlagsüberschusses (gegenüber Verdunstung und Oberflächenabfluss) entwickeln können. Regionale Hydrologie, Temperaturen und Geländeformen bestimmen die Oberflächengestalt dieser Küstenmoore.

Die meisten Decken-Hochmoore haben sich auf den flachen Küstenterrassen entwickelt, die während der letzten 10.000 Jahre isostatisch aus dem Meer auftauchten. Es handelt sich um relative kleine Moore von einigen Hektar Größe, aber sie sind zahlreich und oft in Westexposition anzutreffen.

Für die Bildung der Regenmoore sind die Torfmoose (*Sphagnum*-Arten) verantwortlich. Diese Torfmoose können sich mit Wasser voll saugen und geben es dann nur sehr langsam wieder ab; sie wirken wie ein Schwamm. Das Wasser dringt in die Pflanzenzellen ein und wird zwischen den Pflanzen gespeichert. Im Hochmoor stehen Millionen solcher Pflanzen nebeneinander und man kann solch ein Hochmoor als ein großes Moospolster bezeichnen. Da sie am oberen Ende dauernd weiter wachsen, unten aber durch zunehmenden Lichtabschluss absterben und langsam vertorfen, kommt es zu einer Erhöhung der Mooroberfläche. Alle anderen Arten des Hochmoores müssen sich diesem Höhenwachstum anpassen. Die Torf-Bildung und -Ablagerung ist unabhängig von der Grundwasserzufuhr. Mit wachsendem Alter der Torfe wird der

reale Zuwachs der Torfdecke durch Verdichtungs- und Zersetzungsprozesse teilweise kompensiert. Abhängig von den klimatischen Rahmenbedingungen bilden sich schwach bis mäßig zersetzte, je nach Alter bis zu mehrere Meter mächtige Torfe (Abb. 2). Heutzutage kommt es kaum noch zu einem Torfwachstum, da die Torfmoose nicht mehr dominieren und von Seggen und Gräsern abgelöst wurden.

Die Oberfläche der Regenmoore ist meist nicht eben, sondern weist ein mosaikartiges Muster von kleinen Erhebungen, den Bulten, und dazwischen liegenden nassen Einsenkungen, den Schlenken, auf. Diese gehen auf unterschiedliche Feuchtigkeitsansprüche der einzelnen Torfmoosarten zurück. In den wassergesättigten Vertiefungen sind neben den Torfmoosarten auch Wollgräser und Seggen charakteristisch. Blütenpflanzen wachsen auf differenzierten Standorten. Auf den Bulten, die vielfach ebenfalls eine deutliche Mikrostenofolge von unten nach oben aufweisen, gedeihen Moltebeeren, Moosbeeren, Rosmarinheide, und auch einige Zwergsträucher (Rauschbeere und Krähenbeere). Die Spitze der Bulten kann so trocken werden, dass die Torfmoose von Frauenhaarmoos und Flechten abgelöst werden.

Die Decken-Hochmoore im Gebiet von Tromsø zeigen bereits subarktische Merkmale, die durch niedrige Temperaturen verursacht werden. Hierbei handelt es sich um Moortypen mit Torf- oder Erdhügeln. Auf diesen Mooren sind Zwergsträucher wie Zwergbirke, kleine Fjellbirke und Porst sowie Seggen und Gräser weit verbreitet. Die Torfmoose spielen nur eine untergeordnete Rolle.

In der weiteren Umgebung von Tromsø kommen wegen des steilen Reliefs und des starken Niederschlags ombrosoligene Hangmoore vor, die besonders am unteren Ende des Moores unter Mineralbodenwassereinfluss stehen. Die Torf-Bildung und -Ablagerung wird durch die Grundwasserzufuhr beeinflusst. Man kann diese Moortypen als Übergangsmoore bezeichnen, in denen das Torfmoos-Wachstum stark reduziert ist. In der küstenferneren Umgebung von Tromsø werden Strangmoore, sogenannte Aapamoore, angetroffen, die sich durch einen deutlichen Reliefwechsel zwischen trockenen Strängen und nassen Schlenken auszeichnen. Niedermoores sind z.B. auf der Tromsø-Insel in einer Endmoränenlandschaft



Abb 2: Auf einer etwa 2 m mächtigen Torfschicht am Sørleangsbøtn: Prof. D. Thannheiser erläutert Fakten zu den Mooren in der Region Troms.

mit minerotrophen Schwinggrasen anzutreffen. Die Moore in der näheren Umgebung der Siedlungen sind durch anthropogene Entwässerungen gestört. Dadurch vergrößerten sich die Amplitude der Wasserstandsschwankungen und damit die Unterschiede im Mikrolief. Anfang des letzten Jahrhunderts wurde Torf für Brennzwecke sowie für Stallstreu gestochen.

„Frostbeulen“ im Moor bei Lyfjord

Die „Frostbeule“ im Finnviktal bei Lyfjord (Abb. 3 und 4) stellt eine Übergangsform zwischen einer Torfbülte (Finnisch Pounu) und einer Erdbülte (Isländisch Thufa, Plural Thufur) dar. Beide Kleinhügelvarianten sind in Lappland weit verbreitet. Sie erfordern zu ihrer Bildung nur saisonalen Frostboden, während die größeren, bis zu 12 m hohen Palsa-Hügel im kontinentalen Binnenland und an der Küste Ostfinnmarks das Vorhandensein von Dauerfrostboden (Permafrostboden) voraussetzen. Die Pounus entstehen durch biologische und frostdynamische Prozesse, die Thufur allein durch Frosteinwirkung auf den feinkörnigen Mineralboden. Beide Hügelvarianten treten jeweils in enger räumlicher Vergesellschaftung auf. Der Grundriss ist kreisrund, oval oder langgestreckt. Die Pounus werden bis zu 1,5 m hoch, die Thufur maximal 1 m. Im maritimen Küstenbereich besetzen die Pounus vornehmlich die tiefgründigen zentralen Moorbereiche. Bei abnehmender Torfmächtigkeit an den Moorrändern wird der Mineralboden der Moorunterlage bei hinreichender Feinkörnigkeit und damit Frostempfindlichkeit in die Hügelgenese mit einbezogen. Außerhalb der Mooregebiete entstehen reine Erdbülden, auf den feuchten, von feinkörnigen Sedimenten unterlagerten, nach Abschmelzen des pleistozänen Inlandeises isostatisch gehobenen Strandterrassen oft in „idealtypischer“ Ausprägung. Die Bildung erfolgt bei günstigen Voraussetzungen in wenigen Jahrzehnten, zum Ärger der Farmer auch auf den landwirtschaftlich als Weideland genutzten Flächen.

Die Formenentstehung der Pounus ist bisher erst in groben Zügen bekannt. Offenbar wird die Hügelentwicklung in erster Linie durch biologische Vorgänge ausgelöst. Grundlage der Pounubildung ist ein differenziertes Torfwachstum, das ein differenziertes Gefrieren der Torflagen an der Mooroberfläche zur Folge hat. Infolge einer verstärkten Torfbildung, insbesondere durch verschiedene Torfmoos-Arten, wie etwa *Sphagnum fuscum*, entstehen an verschiedenen Stellen im Moor zunächst flache Torfhügel, die dem Wind stärker ausgesetzt sind, im Herbst länger schneefrei bleiben und sich so durch ein schnelleres und tieferes Eindringen des Bodenfrostes auszeichnen als die Torflagen der Hügelumgebung. Dadurch wird die weitere Pounuentwicklung offenbar beschleunigt. Auf welche Weise dies geschieht und welche frostdynamischen Vorgänge dem Pounuwachstum zugrunde liegen, ist bisher ungeklärt. Mit zunehmender Höhe über dem Moorwasserspiegel wird die ursprüngliche, hygrophile Moorvegetation auf der Torfbülte durch eine xerophile Vegetation aus Zwergsträuchern und/oder Gräsern ersetzt. Die größere Torfmächtigkeit im Bereich der Bülden schützt aufgrund ihrer thermisch isolierenden Wirkung den Frostboden im Sommer vor dem raschen Auftauen. In den größten Bülden kann der Frostboden daher bis in den Spätsommer oder Herbst überdauern.

Die Entstehung der beobachteten Hügelformen lässt sich zumeist anhand einer Grabung klären, die Einblick in den



Abb 3: Blick auf das untersuchte Moor am Lyfjord, das nach der jüngsten Eiszeit auf einer isostatisch gehobenen Strandterrasse entstanden ist.



Abb 4: Dr. K.-D. Meier erläutert nach dem Aufgraben einer „Frostbeule“ deren Schichtung und Entstehung im Moor am Lyfjord.

strukturellen und sedimentären Bauplan gewährt (Abb. 4). Die Thufur und die Bülden mit einem minerogenen Kern unter der Torfhülle zeigen im Mineralbodenbereich oft Gefügemerkmale, die Hinweise auf die an der Genese beteiligten frostdynamisch gesteuerten Prozesse liefern – so auch im Falle des von uns auf der gehobenen Meeresterrasse aufgedugenen Hügels. Der kuppelförmige, 60-65 cm hohe Hügel besteht unter der Vegetationsdecke mit Zwergsträuchern, Gräsern und Torfmoosen aus einem im Kronenbereich etwa 30 cm mächtigen Torfmantel, der zu den Hügelflanken hin ausdünt. Er ist mächtiger als die Torflage in der Hügelumgebung. Der vom Torf eingeschlossene Mineralbodenkern setzt sich aus schluffig-sandigen Sedimenten zusammen, deren Lagen nach Ausweis der Verfärbung einen unterschiedlichen Humusgehalt aufweisen. Die aus den hellen Lagen ausgewaschene organische Substanz ist offenbar an der Profilbasis angereichert worden. Die Grenze Torf/Mineralboden verläuft unregelmäßig und „unscharf“. Die minerogenen Sedimentlagen sind stellenweise durch Frosteinwirkung verwürgt oder disloziert. Die Deformationen an den Hügelrändern deuten auf eine Zufuhr von Feinsedimenten aus der Hügelumgebung in den Hügelkern. Diese Merkmale lassen auf eine Morphogenese

schließen, die für die Bildung von Thufur typisch ist. Wie die Grabung zeigt, handelt es sich um eine Aufbeulung der vegetationsbedeckten Bodenoberfläche. Die obersten Torf- und Mineralbodenlagen sind dem Bültenshabitus entsprechend aufgebogen. Diese Aufwölbung klingt in rund 60-70 cm Tiefe im Übergangsbereich zum dunklen Horizont an der Profilbasis ab.

Wie der strukturelle und sedimentäre Bau, die durch Frost verwürgten Substratpartien und die manchmal noch gegen Ende des Sommers im Innern der Hügel anzutreffenden Frostbodenkerne andeuten, resultiert die Aufwölbung der Bodenoberfläche aus frostdynamischen Vorgängen. Da die Aufwölbung der Substratlagen auch nach dem Schwinden des saisonalen Frostbodens Bestand hat, aber in den Hügeln keine Hohlräume zurück bleiben, anhand derer sich die Volumenzunahme erklären ließe, ist davon auszugehen, dass in den Hügeln im Laufe der Bodenfrostperiode eine Zunahme der Feinmaterialmenge erfolgt. Aus der Lageveränderung der Substratpartien, die in Gestalt dislozierter Teile heller Bleichhorizonte im Tiefland besonders deutlich in Erscheinung tritt, ist zu entnehmen, dass die Bodenaufwölbung vornehmlich das Ergebnis einer Materialzufuhr aus der Umgebung ist. Da die verschiedenen Sedimentlagen und Bodenhorizonte im Bültensbereich häufig nicht gleichmäßig aufgewölbt, sondern sehr unregelmäßig verwürgt und teilweise zerrissen erscheinen, ist damit zu rechnen, dass auch seitlich gerichteter kryostatischer Druck eine wichtige Rolle spielt. Eine wichtige Voraussetzung für das Aufpressen von ungefrorenen, stark durchfeuchteten und plastischen Substratpartien durch lateralen kryostatischen Druck ist ein unterschiedlicher Tiefgang der Frostfront, der sich u.a. durch Relief-, Substrat- und Vegetationsunterschiede erklären lässt.

Weitere Aktivitäten

Weitere Aktivitäten vor Ort in Tromsø waren Museumsbesuche im Polaria und Polarmuseum, ein längerer Aufenthalt im nördlichsten Botanischen Garten der Welt und als besondere Höhepunkte Begegnungen mit der Wissenschaft im Norwegischen Polarinstitut und an der Universität. Im Polarinstitut stellte uns Dr. Sebastian Gerland aktuelle Forschungsschwerpunkte vor, während an der Universität mehrere Mitarbeiterinnen und Prof. Dr. Paul Wassmann selbst uns interessante Einblicke in ihre derzeitigen wissenschaftlichen Untersuchungen gewährten.

DANKSAGUNG

Dass diese Reise mit einer großen Schülergruppe möglich wurde, konnte nur Dank großer Unterstützung gelingen. Im Frühsommer 2009 begann die erste Phase dieses Projektes – die Tonnen AG III – ein ökologisches Langzeitprojekt in der Kooperation beider Schulen mit dem HIGHSEA-Schulprojekt am AWI Bremerhaven unter der Leitung von Dr. Susanne Gatti. Diese Kooperation besteht bereits seit 2003. Schon im Frühjahr 2010 mit den ersten konkreten Planungen für die Reise nach Tromsø erfolgte die Zusage der Deutschen Gesellschaft für Polarforschung auf finanzielle Förderung, eine sehr wichtige Basis und Referenz zum Einwerben weiterer Fördermittel. Zwischenzeitlich im Herbst 2010 schien die Forschungsreise wegen der schwierigen finanziellen Frage unmöglich. Hier hat die Stiftung ProFiliis aus Dortmund mit einem entscheidenden Impuls den Weg bereitet.

Professor Dr. Dietbert Thannheiser begleitete die Planungen seit dem Frühsommer 2010 aktiv, war mehrfach vor Ort in Dortmund sowie Werl. Dass er im September 2011 persönlich in Tromsø zusammen mit Dr. Karl-Dieter Meier Exkursionen leiten konnte, war ein glücklicher Umstand. Allen Helfern, Partnern und Förderern während der verschiedenen Projektphasen gilt unser Dank für eine gelungene zweite „Traumreise“ nach Tromsø.

Literatur

- Alm, T. (1988): Floraen i Tromsø by Floristiks slutrapport. Projektet "Planteliv i Tromsø".- Polarfløkken 12 (1): 27-28.
- Chen, Z.-D., Manchester, S. & Sun, H.-Y. (1999): Phylogeography and evolution of the Betulaceae as inferred from DNA sequences, morphology and paleobotany.- Amer. J. Botany 86: 1168-1181.
- Damgaard, R.M. & Davenport J. (1994): Salinity tolerance, salinity preference and temperature tolerance in the high-shore harpacticoid copepod *Tigriopus brevicornis*.- Mar. Biol. 118: 443-449.
- Handschumacher L., Steinarsdóttir, M.B., Edmands, S. & Ingólfsson, A. (2010): Phylogeography of the rock-pool copepod *Tigriopus brevicornis* (Harpacticoida) in the northern North Atlantic and its relationship to other species of the genus.- Mar. Biol. 157: 1357-1366.
- Holmgren, B. & Tjus, M. (1996): Summer air temperatures and tree line dynamics at Abisko.- Ecol. Bull. 45: 159-169.
- Kiko H. & Nitsch T. (2009) Forschen auf 70° Nord – Schüler auf den Spuren des Klimawandels.- Polarforschung 78: 81-82.
- McAllen R. & Block W. (1997): Aspects of the cryobiology of the intertidal harpacticoid copepod *Tigriopus brevicornis*.- Cryobiol. 35: 309-317.
- Raisuddin, S., Kwok, K.W.H., Leung, K.M.Y., Schenk, D. & Lee, J.-S. (2007): The copepod *Tigriopus*: A promising marine model organism for ecotoxicology and environmental genomics.- Aquatic Toxicol. 83: 161-173.
- Wehberg, J. (2007): Der Fjellbirkenwald in Lappland – Eine vegetationsökologische Studie.- Diss. Thesis, Mitteil. Geograph. Ges. Hamburg 99: 1-219.

Polarforschung 78 (1-2), 81 – 82, 2008 (erschienen 2009)

Forschen auf 70° Nord Schüler auf den Spuren des Klimawandels

von Heinz Kiko¹ und Torsten Nitsch²

Auf etwas ungewöhnliche Weise gingen die Sommerferien 2008 für 25 Schülerinnen und Schüler des Heinrich-Heine-Gymnasiums in Dortmund und des Marien-Gymnasiums in Werl zu Ende (Abb. 1). Den schwülen Sommer in NRW tauschten sie gegen zehn Tage nordische Kühle in Tromsø, Nordnorwegen. Kontakte zur Universität sowie zum Norwegischen Polar-Institut, Besuche der Museen und Exkursionen zu unberührten Landschaften am Rande der Arktis waren die Hauptpunkte im dichten Programm. Inhaltlicher Schwerpunkt der eigenen Arbeiten vor Ort war dabei die Auseinandersetzung mit dem Klimawandel der letzten 10.000 Jahre in Nordnorwegen.

Besonderer Schwerpunkt war die Durchführung zweier Feldprojekte: Ermittlung der Zusammensetzung der subarktischen Pflanzengesellschaften sowie Salztoleranzuntersuchungen an Kleinkrebsen, deren Verwandte im arktischen Meereis als bestimmende Glieder dieses Ökosystems vorkommen. Eigentliches Ziel der Arbeiten war es, die Jugendlichen an wissenschaftliches Arbeiten heranzuführen. Dabei sollte das eigene Tun – Vorbereitung, Untersuchung, Auswertung, Dokumentation, Präsentation – im Vordergrund stehen.

Pflanzensoziologische Aufnahmen

An einem karibisch anmutenden Strand auf Sommarøy – einer westlich von Tromsø gelegenen kleinen Insel – wurden pflanzensoziologische Aufnahmen nach Braun-Blanquet durchgeführt. Die detaillierten Pflanzenuntersuchungen in den Probequadraten (Abb. 2) ergaben eine Hochnordische Strandroggen-Gesellschaft mit ihren Folgegesellschaften in der festgestellten Zonierung. Hochgräser – hier der Strandroggen – und Dünenpioniere mit ihren niedrigeren Begleitern festigen den bewegten Sand oberhalb des offenen Sandstrandes. Mit der Bodenentwicklung verläuft gleichsinnig und synchron eine Entwicklung der Vegetation von der Strandroggen-Gesellschaft über Kleinrasengesellschaften zur Zwergstrauchheide-Gesellschaft.

Die beobachtete Zonierung an diesem Strand wird jedoch wahrscheinlich nicht nur durch die Wasserbewegung, den Wind und den damit verbundenen Sandtransport hervorgerufen. Von großer Bedeutung für die festgestellte Zonierung am Strand von Sommarøy, die auch als Stadien der Sukzession verstanden werden kann, wird die isostatische Ausgleichbewegung sein. Ausreißer bei den Pflanzenbestimmungen, die auf Lehm im Boden hinweisen, erscheinen zunächst unverständlich. Sind jedoch im Untergrund und in Vertiefungen im



Abb. 1: Die Schülergruppe aus Werl und Dortmund im botanischen Garten Tromsø, dem nördlichsten botanischen Garten der Welt. Im Vordergrund eine Südbuche, *Nothofagus* sp.



Abb. 2: Eine Arbeitsgruppe bei der pflanzensoziologischen Aufnahme am Strand von Sommarøy.

Grundgestein als Folge ehemaliger Gletschertätigkeit Lehme abgelagert worden, so können sie eben mit der allmählichen Landhebung, die in der Region Tromsø im Millimeterbereich pro Jahr liegt, wieder aufgetaucht sein und nun kleinräumig in Strandnähe mitbestimmend werden. Erstaunlich daran ist die Tatsache, dass sich die festgestellte Zonierung unter anderem auch auf den Klimawandel zurückführen lässt, nur eben den, der sich vor mehr als 10.000 Jahren abgespielt hat und mit seinen Folgen heute noch nachwirkt.

¹ Marien-Gymnasium Werl, Am Breilsgraben 2, 59457 Werl.
² Heinrich-Heine-Gymnasium Dortmund, Dörwerstr. 34, 44359 Dortmund.

Eine große Exkursion führte auf den Hausberg von Tromsø, den Storsteinen. Die pflanzensoziologische Untersuchung der Probenquadrate im Fjell des Storsteinen weist auf die Pflanzengesellschaft der arktisch-alpinen Windheide hin. Die deutsche Bezeichnung Windheiden bringt entscheidende ökologische Züge zum Ausdruck: Die charakteristischen und oft dominierenden Arten gehören zu den Erikagewächsen und den Windflechten. Der Standort wird durch den Wind geprägt; entscheidend ist die Wirkung der Winterstürme, welche die Wuchsorte rasch schneefrei blasen. Charakterart der beobachteten Windheide ist die Alpenazalee *Loiseleuria*, die in zwei Aufnahmeflächen gefunden wurde. Sie ist zwar von der Wuchsform her konkurrenzschwach, zeigt aber im Vergleich zu anderen Erikagewächsen bei niedrigen Temperaturen, einer kurzen Vegetationsperiode und auf den nährstoffarmen Böden die beste Mykorrhizierung. So vermag die Alpenazalee bei stark eingeschränkter Mineralstoffversorgung auszuhalten. Sie ist also bestens an die extremen Klimaverhältnisse an der windexponierten Nordseite des Storsteinen angepasst.

Die arktisch-alpinen Windheiden und ähnliche Pflanzengesellschaften kommen als Eiszeitrelikte in den höher gelegenen Mittelgebirgen Deutschlands (Harz, Bayerischer Wald) und in den Alpen isoliert vor. Sie sind dort Zeugen des eiszeitlichen Klimawandels vor 10.000 Jahren, als die riesigen Gletschermassen über Nordeuropa abschmolzen. Nun haben die arktisch-alpinen Windheiden ihren Verbreitungsschwerpunkt in der Subarktis und den von ihr ausstrahlenden Gebirgszügen des Nordens. Mit ihrem dunkelgrün-blassgelb gefleckten Teppich sind sie typisch für die Fjellregionen der skandinavischen Gebirge.

Salztoleranzen in Strandtümpeln

Auch die Salztoleranzuntersuchungen an Kleinkrebsen brachten Überraschungen (Abb. 3). In den Proben aus zwei Strandtümpeln von Sommarøy fanden sich zwei Kleinkrebsarten. Im niedrig gelegenen Tümpel (etwa 30 cm oberhalb der Wasserlinie zum Zeitpunkt der Probennahme) fand sich massenhaft ein Copepode (cf. *Tigriopus brevicornis*) mit extremer Salztoleranz. Sowohl eine 13-fache Aussüßung wie die dreifache Aufsalzung überlebten die Tiere vier volle Tage lang. Erklärbar wird dies mit der notwendigen Anpassung an die stark variablen Bedingungen in diesen Gezeitentümpeln, die bei Starkregen oder Nipptiden eintreten können. Die eigentliche Überraschung bot aber ein Massenvorkommen von Kleinkrebsen in einem höher gelegenen Strandtümpel (nur 5 m von und nur 2 m über der aktuellen Wasserlinie). Es waren eindeutig Süßwassertiere, die keine Aufsalzung tolerierten und nach kurzer Zeit abstarben. Mikroskopisch wurden sie als Daphnien identifiziert.

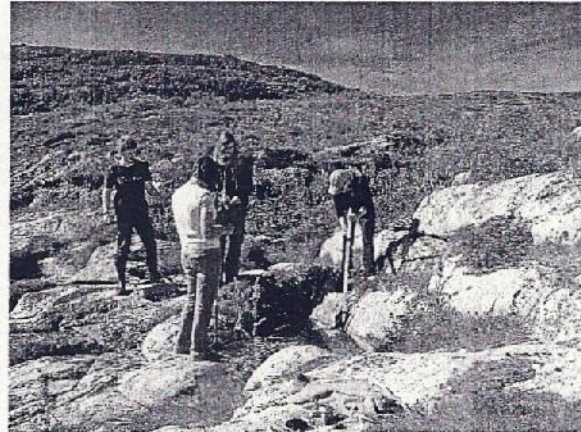


Abb. 3: Arbeitsgruppe bei Feldarbeiten zur Untersuchung von Salztoleranzen in Strandtümpeln.

Eine weitere Exkursion führte über den 70 °N Breitengrad hinaus nach Skjervøy. Ein Bus, zwei Fähren und das Hurtigrutenschiff MS Nordkapp machten eine 14-stündige Begegnung mit der gewaltigen Natur in Nordnorwegen möglich. Auf der Halbinsel Lyngen starteten Untersuchungen im Hochmoor am Jægervatnet an. Gleichzeitig bot der Blick in die umliegende Gletscherwelt die Gelegenheit, deren Landschaft formende Arbeit zu studieren und zu veranschaulichen. Die Wanderung von Skjervøy aus Richtung Norden überraschte mit einer ungeahnten Blütenvielfalt, unter anderem mit Massenvorkommen von *Orchis maculata*. Erst gegen Mitternacht legte das Postschiff bei der Rückkehr in Tromsø an. Zum ersten und einzigen Mal beim Aufenthalt in Tromsø ließ der Wolken verhangene Himmel ein Gefühl von dunkler Nacht aufkommen.

Zahlreiche Helfer in Deutschland und Norwegen haben die Reise nach Tromsø ermöglicht, mit vorbereitet und den Aufenthalt in Tromsø mit gestaltet. Allen gilt unser Dank. Diese ungewöhnliche Fahrt von 25 Schülern und Schülerinnen und zwei Lehrern geht zurück auf die Kooperation beider Schulen mit dem HIGHSEA-Schulprojekt am AWI Bremerhaven, mit Dr. Susanne Gatti und Kerstin von Engeln. Im November 2006 startete ein gemeinsames Projekt, zunächst auf einen Zeitraum von etwa neun Monaten angelegt. Dass daraus eine „Traumreise nach Tromsø“ resultieren sollte, hat damals niemand geahnt. Dank gilt auch der Deutschen Gesellschaft für Polarforschung für finanzielle Hilfe.