ROLAND PSENNER

ist Professor für Limnologie und Dekan der Fakultät für Biologie an der Universität Innsbruck. Seine Forschung fokussiert auf biogeochemischen Stoffkreisläufen, vor allem in Zusammenhang mit Versauerung, Nährstoffbelastung und globaler Erwärmung von Gewässern. Sein Schwerpunkt liegt in den Hochgebirgsseen – seit 1990 im Rahmen von EU-Projekten – sowie bei den Leistungen von Mikroorganismen in extremen Lebensräumen. Er ist Präsident des Internationalen Komitees für Alpenforschung (ISCAR) und leitet seit 2006 die Forschungsplattform Alpiner Raum – Mensch & Umwelt (Universität Innsbruck). Gesellschaftliche und wirtschaftliche Probleme des Alpenraums spielen eine immer größer werdende Rolle für seine Untersuchungen.

10

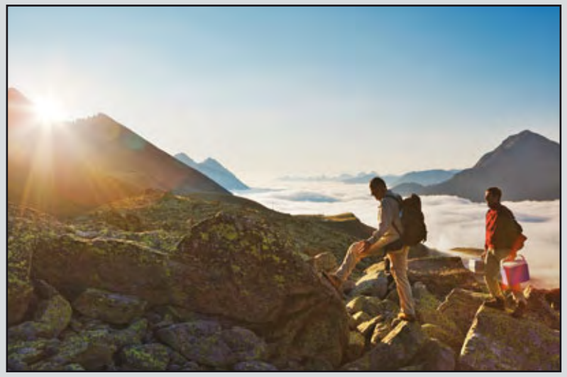
CYCLOPS

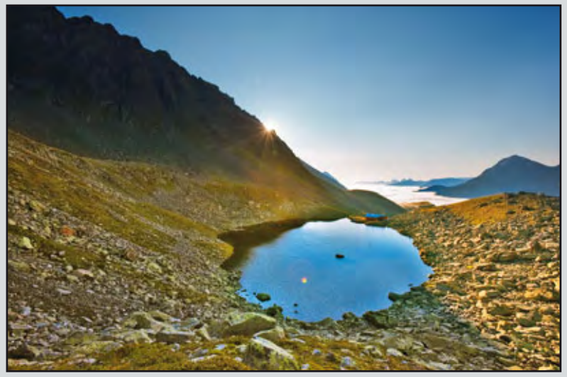
Die Langzeitforschung im UNESCO Biosphärenpark Gossenköllesee ist kein Projekt im klassischen Sinne, bei dem eine Frage im Laufe von zwei bis drei Jahren untersucht wird, sondern ein Forschungsprogramm, das sich mit allen Facetten der Entwicklung von Hochgebirgsökosystemen befasst. In dieser Studie werden Fragestellungen bearbeitet, die meist einen globalen Hintergrund haben, wie zum Beispiel die Niederschlagsversauerung, die Ablagerungen von Schadstoffen, Biodiversitätsänderungen und die Folgen des Klimawandels aber auch die Charakteristika extremer Lebensgemeinschaften in einem Hochgebirgssee.

Gefördert durch: ÖAW, FWF, EU

DANK | Ruben Sommaruga, Birgit Sattler, Hansjörg Thies, Ulrike Nickus, Jakob Pernthaler, Albin Alfreider, Maite Perez, Karin Koinig, Barbara Tartarotti, Josef Franzoi, Rüdiger Kaufmann, Anton Wille, Bettina Sonntag, Cornelia Schütz, Leo Füreder, Eugen Rott

Roland Psenner: „Der ein Millimeter große Ruderfußkrebs Cyclops abyssorum tatricus schützt sich vor der starken UV-Strahlung im Gossenköllesee durch - für's menschliche Auge unsichtbare - mycosporin-ähnliche Aminosäuren, die er über die Nahrung vom Phytoplankton bezieht. Vor weiteren Folgen der UV-Strahlung schützen ihn Karotine, die ihm die orange Färbung verleihen."





Herr Psenner, wir befinden uns am Gossenköllesee in etwa 2.500 Meter Seehöhe. Es ist ein wunderbarer Morgen, wir sind durch die Nebeldecke hindurchgewandert um hier herauf zu kommen. Wir haben fotografiert, um Ihre Arbeit festzuhalten und dann haben wir uns in die Limnologische Station der Universität Innsbruck zurückgezogen, um unseren Frühstückskaffee nachzuholen. Bei der Frage, ob ich für den Kaffee Wasser aus dem See holen soll, haben Sie gesagt, nein, lieber nicht, möglicherweise ist es hygienisch zu belastet, um es ungefiltert zu trinken. Es ist für einen Laien absolut unvorstellbar, dass ein See, der so unfassbar klar und schön wie ein Juwel ausschaut, nicht Trinkwasserqualität haben sollte.

A| Das mit der Trinkwasserqualiät ist eher eine Konvention. Also Tiroler, Österreicher trinken kein Oberflächenwasser. Die trinken Quellwasser oder trinken Grundwasser. Das Wasser ist wirklich extrem klar und transparent, nicht nur fürs sichtbare Licht, sondern auch für die UV-Strahlung, die in einem sehr hohen Prozentsatz sogar den Grund in zehn Metern Tiefe erreicht. Dieser Hochgebirgssee ist ebenso transparent wie das Wasser mitten im Atlantik. Das hat mein Kollege Ruben Sommaruga in langen Messreihen genau dokumentiert.

F| Warum ist das Wasser so transparent?

A| Weil wir hier fast keine Huminsubstanzen haben, die in den See eingeschwemmt werden können. Huminsubstanzen sind Abbauprodukte aus Holz. Wir sind hier auch oberhalb der historischen Baumgrenze. Auch in der Warmzeit, vor 6.000 – 9.000 Jahren gab es hier sicher keinen Wald. Hier oben, weit über der Baumgrenze, macht der Bewuchs vielleicht 15 Prozent aus, vor allem alpine Grasheide, aber sicher kein Holz. Der organische Gehalt im Wasser liegt weit unter einem Milligramm pro Liter und gehört zu den niedrigsten im weltweiten Gewässervergleich, und es sind keine Huminstoffe dabei, welche die UV-Strahlung blockieren würden. Das hat zur Folge, dass es für im See lebende Organismen im Prinzip keinen Schutz vor der UV-Strahlung gibt.

F| Können in einem See weit über der Baumgrenze, der vermutlich viele Monate im Jahr zugefroren ist, überhaupt Organismen leben?

A| Selbstverständlich, und zwar in überraschend großer Zahl. Da sind zuerst einmal Viren und Bakterien, Phytoplankton, es gibt Insekten und Insektenlarven, die im Seeboden leben, und dann einen kleinen Ruderfußkrebs namens Cyclpos abyssorum tatricus, der uns, im Zusammenhang mit den hier vorkommenden Forellen, besonders interessiert.

F| Wie kommen Forellen in einen Hochgebirgssee?

A| Kaiser Maximilian I, ein begeisterter Fischer, ließ um das Jahr 1500 Saiblinge und Bachforellen aus Salzkammergutseen in Tiroler Hochgebirgsseen aussetzen. Roland Pechlaner, der 500 Jahre später die mageren und ausgezehrten Fische untersuchte, vermutete anfangs, es handle sich dabei um die Folgen einer Degeneration, konnte aber nachweisen, dass Forellen aus dem Gossenköllesee, sobald man sie in nährstoffreiche Seen verpflanzte, zur normalen Form heranwuchsen. Im Jahr 2001 erkannten Steven Weiss und Mitarbeiter, dass die Forellen aus dem Gossenköllesee vom danubischen Typus waren, das heißt eindeutig aus dem Donau-Einzugsgebiet stammten, während in allen anderen untersuchten österreichischen Gewässern – mit Ausnahme eines kleinen Hochgebirgssees in Osttirol – nur Bachforellen vom atlantischen Typ oder Mischformen gefunden wurden. In einer soeben fertig gestellten Arbeit konnten nun Sanja Baric und Mitarbeiterinnen durch die Untersuchung einer großen Zahl von DNA-Abschnitten nachweisen, dass im Gossenköllesee eine Population rein danubischer Bachforellen lebt, die heute für den Besatz nachgezüchtet werden.

F| Ist das Aussetzen von Fischen in einem See, in dem sie nie von Natur aus gelebt haben, nicht ein schwerer Fehler?

A| Nun, meine erste Reaktion war eigentlich – und das ist gängiges Dogma – dass der größte Schaden, den wir dem Ökosystem Hochgebirgssee zufügen können, das Einbringen einer „alien species" ist, also einer Spezies, die im Tiefland heimisch ist und die in einem Jahr große und seltene Zooplankter (Wasserflöhe oder Daphnien) ausrottet, um dann 500 Jahre zu hungern. Wenn wir die Forellen hier betrachten, sehen wir, dass die Hunger leiden. Sie sind unterernährt, sie sind dünn, manche sind fast schlangenförmig. Durch die genetischen Untersuchungen hat sich unsere Sichtweise über das „Biomanipulationsexperiment" Kaiser Maximilians radikal geändert. Während wir früher – und im Prinzip gilt das auch heute für alle fischlosen Seen – Fischbesatz als massive Störung des Nahrungsnetzes mit gravierenden ökologischen Folgen betrachteten, kann man diesen ersten direkten Eingriff in das Ökosystem rückblickend als „Artenschutzprogramm" interpretieren: Ohne die Begeisterung Kaiser Maximilians für Jagd und Fischerei hätten wir heute keine danubischen Bachforellen.

WIR ERFORSCHEN DAS WECHSELSPIEL GLOBALER KRÄFTE UND DIE AUSWIRKUNGEN AUF DIE ALPINE UMWELT. HIER OBEN WIRD VON DEN REGENTROPFEN BIS ZUM STAUB AUS DER SAHARA ALLES UNTERSUCHT UND GEMESSEN.

F| Wie überleben die Forellen seit über 500 Jahren unter den extremen Bedingungen des Hochgebirgssees?

A| Die Forelle überlebt im Sommer durch so genannten Anflug (flugfähige Insekten), durch die im Sediment lebenden Insektenlarven und durch Zooplankton, dem schon erwähnten winzigen Ruderfußkrebs Cyclops abyssorum tatricus. Und dieser überlebt die intensive UV-Srahlung durch einen sehr komplexen Trick, der hier entschlüsselt wurde: Cyclops abyssorum tatricus ist etwa einen Millimeter groß und mit Karotin leuchtend orange gefärbt. Karotin dient unter anderem dazu, durch UV-Strahlung induzierte schädliche Sauerstoffverbindungen zu neutralisieren. Seit den Untersuchungen von Ruben Sommaruga wissen wir auch, dass Cyclops eine weitere, unsichtbare Schutzsubstanz in sich trägt, nämlich die MAAs, die so genannten Mycosporin-ähnlichen Aminosäuren, die UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von etwa 330 Nanometer absorbieren, ein Effekt, der vor

Der größte Teil des Seebodens besteht aus Steinen, weiche Sedimente machen nur etwa 10% der Fläche aus. Da das Lichtklima auch in 10 Meter Tiefe für die Primärproduktion ausreicht, spielt der Aufwuchs in transparenten Gewässern eine große Rolle.

der Untersuchung im Gossenköllesee nur für einige marine Organismen bekannt war. Das ist eine raffinierte Strategie von Cyclops, sich durch die MAAs und auch durch die Karotine gegen die Auswirkungen des UV-Lichts zu schützen. Dass die Untersuchung dieses Hochgebirgssees ein neues Kapitel der Photobiologie im Süßwasser eröffnete, ist eine der vielen Überraschungen, die uns dieser kleine See beschert hat. Die leuchtend roten Krebse sieht man, obwohl sie winzig sind, aber sie werden auch von den Fischen gesehen und natürlich gefressen. Die Krebsweibchen tragen die Eier am Körperende in kleinen Säckchen bei sich, die Tiere selbst werden von den Fischen verdaut, aber die Eier gehen unverdaut durch den Fischdarm durch.

> HOCHGEBIRGSSEEN SIND NICHT NUR EMPFINDLICHE DETEKTOREN DES WELTWEITEN TRANSPORTS VON SCHADSTOFFEN, SONDERN HABEN AUCH ANDERE ÜBERRASCHUNGEN ZU BIETEN.

Die Fische und die Krebse können hier also gemeinsam überleben, während die Wasserflöhe, die es hier früher gegeben hat – wir finden ja noch die Dauerstadien im Sediment – von den eingesetzten Fischen ausgerottet worden sind.

FI Das sind ja geradezu sensationelle Erkenntnisse aus diesem so harmlos vor uns liegenden See. Was wird hier noch untersucht?

AI Was wir hier machen, ist Biodiversitätsforschung, aber vor allem erforschen wir den globalen Wandel ohne direkten menschlichen Einfluss. Dazu werden Gewässer untersucht, die nicht direkt vom Menschen beeinflusst sind. Das heißt die Gewässer werden ausschließlich über die Atmosphäre beeinflusst: über den Regen, über die Stäube, aber sonstige Niederschläge und natürlich auch über die Temperaturerhöhung, also über die Klimaerwärmung. Wir erforschen im Prinzip das Wechselspiel globaler Kräfte und die Auswirkungen auf unsere Umwelt – und zwar auf die alpine Umwelt. Hier oben wird von den Regentropfen bis zum Staub aus der Sahara, der hier fällt, praktisch alles untersucht und gemessen, zum Beispiel die Hydrologie. An zwei Hangwasseraustritten werden die Wassermengen gemessen und regelmäßig beprobt, sodass wir wissen, welche Substanzen oder Ionen aus den Quellen in den See gelangen. Natürlich werden grundsätzliche Daten wie Temperatur, Feuchtigkeit, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Luftdruck und so weiter registriert. Mitten im See und am Seeufer stehen die bekannten WADOS – wet and dry only sampler – Sammelgefäße für atmosphärische Ablagerungen. Diese werden von Ulrike Nickus, einer Meteorologin und Hansjörg Thies, einem Limnologen, betreut. Hier wird gemessen, welche Mengen von welchen Stoffen in und damit durch den See gelangen und wie lange es dauert, bis das Seewasser einmal erneuert wird – keine leichte Aufgabe bei einem See, der keinen oberirdischen Zufluss und Abfluss hat. Diese meteorologischen Basisuntersuchungen am Gossenköllesee tragen wesentlich zu unserem Verständnis von Hochgebirgsseen bei. Weitergeführt werden diese Untersuchungen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern Ruben Sommarugas, die sich mit dem Transport von Mikroorganismen mit und auf Staubpartikeln aus der Sahara befassen, im Augenblick ein heißes Thema sowohl für die Wissenschaft, in der es um die Frage der mikrobiellen Biogeographie geht, als auch für die Praxis: Werden doch mit diesen Stäuben möglicherweise auch pathogene Mikroorganismen verbreitet. Eine sehr wichtige Fragestellung betraf die Akkumulation von schwer abbaubaren organischen Giften, zum Beispiel PCBs (polychlorierte Biphenyle). Dabei fand Joan Grimalt mit seinem Team heraus, dass Hochgebirgsseen – obwohl sie keinen direkten menschlichen Eingriffen ausgesetzt sind – durch Ferntransport von Schadstoffen massiv beeinträchtig sein können. So reichern sich zum Beispiel bestimmte PCBs – die wegen ihrer hormonähnlichen Wirkung gefürchtet sind – in Fischen von hochgelegenen, das heißt kalten Seen an. Ein Rückgang der mittleren Lufttemperatur von 9° Celsius auf -1° Celsius bewirkte eine hundertfache Anreicherung bestimmter PCBs, ein Effekt, den man in erster Linie auf die globale Destillation dieser Verbindungen zurückführen kann, die dann in Kühlfallen – das sind die Polargebiete und die Hochgebirge – festgehalten werden. Während es also für die meisten Luftschadstoffe eine Abnahme mit der Höhe gibt und Hochgebirgsseen deshalb sehr reine Gewässer darstellen, ist es bei Substanzen mittlerer Flüchtigkeit (DDT, bestimmte PCBs) umgekehrt. Dass man inzwischen auch Spuren bromierter Kohlenwasserstoffe (aus Flammschutzmitteln) findet, ist ein weiterer Hinweis darauf, dass wir hier zwar weit weg von direkten menschlichen Eingriffen sind, aber die Atmosphäre alle volatilen Substanzen über die Welt verbreitet.

FI Das ist ja eine Fülle von Stoffen, die hier in der „unberührten Natur" auf den See und die Umgebung niedergeht. Ist das alles?

AI Nein, das ist nicht alles. Es gibt auch einen sehr deutlichen Stickstoffeintrag aus der Atmosphäre.

FI Heißt das, der See ist stickstoffverseucht?

AI Nein, stickstoffverseucht ist der See nicht. Das ist eine Frage der Definition und der Grenzwerte. Es gibt Grenzwerte für Nitrate im Trinkwasser. Und die werden zum Beispiel in Ostösterreich, im Marchfeld, an vielen Stellen überschritten, weil dort massiv gedüngt wird. Wir sind hier in der Belastung des Sees noch eine Größenordnung von den Konzentrationen im Marchfeld entfernt, aber wir sind in der Konzentration auch eine Größenordnung über dem, was natürlicherweise der atmosphärische Eintrag wäre. Zweifellos war, was die landwirtschaftliche Produktion und damit die Ernährung der Weltbevölkerung betrifft, das Haber-Bosch-Verfahren eine der wichtigsten Erfindungen der Menschheit. Durch dieses Verfahren ist es ja gelungen, den Stickstoff aus der Luft, wo er in fast unendlichen Mengen zur Verfügung steht, in eine Form – nämlich Dünger – zu verwandeln, die von Organismen aufgenommen werden kann. Durch das Haber-Bosch-Verfahren wurde der Durchfluss von Stickstoff durch die gesamte Biosphäre weltweit verdoppelt, das heißt wir haben dadurch weltweit zweimal so viel Nitrat- und Ammoniumstickstoff zur Verfügung. Wir haben durch die Landwirtschaft, durch die Industrie, durch den Verkehr, generell durch unsere Lebensweise, die Umwelt verändert. Österreich war bei der Reduktion von SO_2 beispielhaft. In 10 Jahren hat Österreich die SO_2-Emissionen um 90 Prozent reduziert. Und so ist SO_2-saurer Regen heute bei uns kein großes Problem mehr. Die Säure im Regen ist inzwischen Ammonium und Nitrat. Ammonium deshalb, weil es als Säure wirkt und Nitrat, weil es das Anion der Salpetersäure ist.

FI Gibt es weitere interessante Ergebnisse?

AI Hochgebirgsseen sind natürlich nicht nur empfindliche Detektoren des weltweiten Transports von Schadstoffen, sondern haben auch andere Überraschungen zu bieten. Eine solche Entdeckung gelang zum Beispiel Jordi Catalan, Marisol Felip und Birgit Sattler bei der Untersuchung der Winterdecke des Gossenköllesees, die sich als temporärer Ökoton herausstellte, das heißt als ein Bereich, in dem aquatische, terrestrische und atmosphärische Elemente und Organismen ein neues „Interface" (Lebensraum, Habitat) bilden. Die Winterdecke besteht aus wenigen Zentimetern Klareis, das sich im November bildet und das bis zum Mai, in dem die Winterdecke ihre maximale Dicke von etwa zwei Metern und etwa 40 Prozent des Seevolumens erreicht, mit vielen Schichten von Schneematsch, Wasser, Trübeis und Schnee überlagert wird. In dieser Sandwich-Struktur, die am unteren Rand nur mehr 0,1 Prozent des einfallenden Lichtes erhält, finden sich hauptsächlich Mikroorganismen, die aus dem See, aus den Böden des Einzugsgebietes oder, wie Albin Alfreider herausfand, aus der Luft und den Niederschlägen stammen. Diese Mikroorganismen bilden für mehrere Monate einen ganz eigenen Lebensraum, der unter anderem auch von Stäuben aus der Sahara mit Nährstoffen versorgt wird. Dass die mikrobielle Leistung dieses kalten Habitats (es hat eine konstante Temperatur von 0° Celsius) beträchtlich höher ist als die des 3° bis 4° Celsius warmen Sees, war ein weiterer überraschender Befund. Hochgebirgsseen sind also nicht – zumindest nicht in jeder Beziehung – einfachere Ökosysteme als Tieflandseen, sondern bestehen über viele Monate des Jahres aus stark strukturierten und gänzlich unterschiedlichen Einheiten.

FI Ich nehme an, der Gossenköllesee ist auf Grund der Forschungsstation einer der wichtigsten heimischen Hochgebirgsseen.

AI Er ist einer der am besten beobachteten, weil er leicht zugängig ist und gute Infrastruktur bietet, nämlich eine emissionsfreie Forschungsstation. Wir haben hier den großen Vorteil, dass wir von der Universität Innsbruck in zirka einer Stunde hier sein können und wissen, dass es noch ein unberührtes Gebiet ist. Und ein weiterer Vorteil ist, dass man den See auch im Winter jeder Zeit mit Skiern erreichen kann. Man braucht nicht einmal eine Tourenausrüstung. Wenn man sich nicht in riskante Hänge begibt, dann ist man auch nicht durch Lawinen gefährdet. Der See ist nie von einer Lawine berührt worden. Wenn Sie Ökosysteme solcher Seen vergleichen wollen, dann können Sie nicht einen See wie den Bodensee oder den Gardasee nehmen, sondern Sie müssen Seen nehmen, die Sie in dieser Charakteristik weltweit vorfinden. Und das sind die alpinen Seen. Der große Vorteil ist, dass wir hier keine unmittelbaren menschlichen Einflüsse haben. Wir würden also nicht einen See nehmen, wo eine Schutzhütte im Einzugsgebiet steht oder wo eine Straße vorbeiführt. Dort würden direkte Störungen durch den Menschen das Einzugsgebiet des Sees betreffen und das Ökosystem beeinträchtigen.

FI Aus diesen Gründen eignet sich der See ob seiner Unberührtheit also besonders für Ihre wissenschaftliche Arbeit. Noch dazu liegt er in einem UNESCO-Biosphärenpark, ist also besonders geschützt?

AI Nach der neuen Sevilla-Strategie ist das Gebiet eigentlich zu klein für einen Biosphärenpark. Das Gebiet hier könnte die innere Kernzone sein, die absolut geschützt ist, umgeben von einer Entwicklungszone, die viel größer sein müsste. In einer Entwicklungszone, werden charakteristische Wirtschafts- und Lebensweisen der Menschen erforscht, mit ihrer Auswirkung auf die Umwelt, wo auch die sozialen und wirtschaftlichen Aspekte zum Tragen kommen. Wenn wir uns mit Biosphärenparks in zum Beispiel Grönland vergleichen, dann sind diese um fünf Größenordnungen größer. Man muss das ja alles auch im geschichtlichen Kontext sehen. Unsere Forschungsstation lag ursprünglich auf der gegenüberliegenden Talseite, bei den großen Finstertalerseen. Seit 1954 haben die Wissenschaftler Steinböck und Pechlaner bereits eine Forschungsstation betrieben. Rückwirkend betrachtet, wäre dort bis heute eine einmalige Messserie entstanden. Dann wurden aber, im Zuge eines Staudammbaus die Seen überstaut, und unsere Forschungsstation wurde hierher zum Gossenköllesee verlegt. Um uns langfristiges Forschen zu garantieren, wurde damals zwischen Land Tirol und UNESCO-Kommission, unter der Patronanz der ÖAW ausgehandelt, dass hier im Biosphärenreservat hochalpine Lebensräume erforscht werden sollten. Die Akademie der Wissenschaften ist also unsere eigentliche Schutzherrin, damit wir hier in Ruhe arbeiten können.

FI Brauchen Sie diesen Schutz, diese schützende Hand?

AI Wir brauchen diesen Schutz. Wenn wir hier nur zehn Meter zum Rand der Moräne gehen und das Schigebiet Kühtai unter uns sehen, dann wird schnell klar, dass wir diesen Schutz brauchen. Das Schigebiet berührt uns bisher nicht und hoffentlich auch in Zukunft nicht, aber die Lifte waren weit unten und kommen doch immer näher. Es war sogar schon geplant, über unser Forschungsgebiet hinaus Liftanlagen zu bauen, was ein weiteres Arbeiten hier unmöglich gemacht hätte. Dank der entschiedenen Proteste und des Einsatzes der Akademie der Wissenschaften konnte das verhindert werden.

> SEIT 10.000 JAHREN HABEN SICH DIE GLETSCHER MASSIV ZURÜCKGEZOGEN, MIT KURZEN VORSTÖSSEN DAZWISCHEN.

FI Eine weitere Untersuchung behandelt die Entstehung und Besiedelungsdynamik von Böden, nachdem der Gletscher den nackten Fels freigegeben hat.

AI Ja, das war ein interessantes Forschungsprojekt, das Gewässerforscher mit der Arbeitsgruppe von Rüdiger Kaufmann im inneren Ötztal zusammengebracht hat. Die Fragestellung war: Was passiert, wenn sich die Gletscher zurückziehen und nackte Felsen oder kahles Geröll freigeben? Seit 10.000 Jahren haben sich die Gletscher massiv zurückgezogen, mit kurzen Vorstößen dazwischen. Um 1600 sind zum Beispiel die Stollen des Goldabbaus um den Sonnblick vom Gletscher zugeschüttet worden, und erst seit wenigen Jahren sind sie, durch den Gletscherrückgang, wieder zugänglich. Im Jahre 1850 war im hier benachbarten Rotmoostal der maximale Gletschervorstoß in historischer Zeit. Seit 1850 steht uns eine schöne Chronosequenz der Bodenentwicklung für die Dauer von 150 Jahren zur Verfügung. Wir haben also eine Reihe vor uns, wo wir an einem Ende – dort wo der Gletscher 1850 war – einen 150 Jahre alten Boden finden und am anderen Ende – dort wo letztes Jahr noch der Gletscher war – einen einjährigen Boden finden, also praktisch zerriebenes Gestein. Rüdiger Kaufmann hat vor allem die Evertebraten, die wirbellosen Tiere, ihr Vorkommen, die Häufigkeiten und Besiedelungsdynamik untersucht. Er wollte klären, welche Gruppen von wirbellosen Tieren auf diesen rohen Böden zuerst ankommen, und mit Erstaunen hat er festgestellt, dass die Räuber relativ schnell da sind, während die Tiere, die den typischen Boden bewohnen, die also gewachsenen, entwickelten Boden brauchen, erwartungsgemäß spät mit der Besiedelung der Böden beginnen. Überspitzt formuliert, wandern die räuberischen Tiere vor den Beutetieren in neu zu besiedelnde Bereiche. In der Folge wurde dann versucht, möglichst umfassend die

Biodiversität dieser Lebewesen im Rotmoostal zu beschreiben. Und wir wollten eben nicht nur die wirbellosen Tiere oder die Pflanzen beschreiben, beides Arbeitsgebiete von Rüdiger Kaufmann und Brigitta Erschbamer, sondern mit molekularbiologischen Methoden auch die Bakterien, die Archaeen, die Aufwuchsalgen in den kleinen Bächen, die Ciliaten, die Flagellaten, die Rädertiere und so weiter. Für diese Forschungsvorgabe war das Rotmoostal ein sehr interessanter Bereich, weil man da ein Nebeneinander von Feuchtgebieten, von trüben Gletscherbächen, von Klarwasserbächen findet. Man findet auch sehr dicke Böden, die seit der letzten Eiszeit entstanden sind. Und man findet eben diese Bereiche, die zwischen null und 150 Jahren eisfrei sind. Die Diversität ist überraschend und überwältigend groß. Es sind viele hundert Arten beschrieben worden und zum ersten Mal auch die Einzeller, die in dieser Frage meistens nicht berücksichtigt werden. Es war ein ganz wichtiger Schritt in der Biodiversitätsforschung, neben den üblichen Pflanzen, Insekten und wirbellosen Tieren auch die Mikroorganismen in die Untersuchungen miteinzubeziehen. Damit hat dieses Projekt der Akademie der Wissenschaften Grundlagen für weitere Studien geschaffen, auf die wir aufbauen können und die viel Neues und vor allem Überraschendes bereithalten. Und das ist das Schöne an der Ökologie und an der Wissenschaft: Dass sie Überraschungen bergen und dass wir Wissenschaftler uns auf Unerwartetes gefasst machen können.

> BIODIVERSITÄTSFORSCHUNG IST JA AUSSICHTSLOS. UND ZWAR IN DEM SINNE, DASS MAN NIE ZU EINEM ENDE KOMMT, WEIL ES SO VIELE ARTEN GIBT.

F| Birgt auch der Gossenköllesee für die Wissenschaft Neues? Ist in einem so extremen Klima überhaupt mit besonders vielen Arten zu rechnen oder überwiegt die Monotonie an Lebensformen?

A| Biodiversität kann eine große Anzahl von verschiedenen Arten bedeuten, man kann Biodiversität aber auch als Biodiversität von Lebensräumen auffassen, und wenn wir uns hier umsehen, dann finden wir eine unglaubliche Anzahl an diversen „Mini-Lebensräumen": Offene Gewässer, Feuchtstellen in Hängen, ebene Feuchtwiesen, Trockenrasen, Felsplatten und Schutthalden sind kleinsträumig verteilt und haben natürlich eine entsprechende Artenvielfalt zur Folge. Wir wollten in unseren Projekten möglichst beide Aspekte der Biodiversität beleuchten, die Vielfalt der Arten und die Vielfalt der Lebensräume. Insbesondere der See erwies sich als sehr artenreich, nämlich reich an Bakterien: Die Bakterien des Gossenköllesees waren Objekte intensiver Studien, wobei der Begriff „Art" bei Einzellern wie Bakterien nur bedingt anzuwenden ist. Immerhin etwa 100 Millionen bis eine Milliarde dieser Organismen sind pro Liter zu finden und damit die häufigsten Organismen der Erde, die den Kreislauf aller wichtigen Elemente, wie zum Beispiel des Kohlenstoffs und des Stickstoffs, bestimmen. Durch die Analyse der ribosomalen RNA, die für die Eiweißsynthese aller Organismen entscheidend ist und deshalb vom Bakterium bis zum Menschen in jeder Zelle in mehrfacher Kopie vorliegt, konnten von Jakob Pernthaler und Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen mehrere Bakterien-Linien im Gossenköllesee bestimmt werden. Durch die Anwendung einer zur ribosomalen RNA komplementären, mit einem Fluoreszenzfarbstoff markierten Sonde können diese Zellen detektiert und ihr Wachsen und Verschwinden im Jahreslauf verfolgt werden: Damit wurde eine Populationsstudie möglich, im Prinzip nicht viel anders, als man sie bisher nur bei größeren und morphologisch eindeutig identifizierbaren Arten wie Bachforellen oder Cyclops unternehmen konnte.

F| Das klingt nach sehr komplizierter Arbeit und aufwendiger Technik.

A| Die DNA eines Lebewesens zu extrahieren und zu sequenzieren, um damit eine Art zu bestimmen, ist heutzutage keine große Kunst mehr. Das kann man sehr schnell lernen. Auf der anderen Seite gibt es immer weniger Wissenschaftler, die taxonomisch, das heißt in der Systematik der Lebewesen arbeiten. Gräser, Spinnen, Insekten anhand morphologischer Merkmale zu beschreiben und einzuordnen, wird von immer weniger Wissenschaftlern beherrscht. Die Kunst würde darin bestehen, diese beiden Aspekte zusammenzubringen, das Aussehen – also den Phänotyp – und die genetische Konstitution – also den Genotyp.

F| Ich nehme an, dass Sie, nachdem Sie die Problematik erkannt haben, an Ihrem Institut genau das tun.

A| An meinem Institut geschieht das. Bakterien kann man natürlich im Mikroskop anschauen, aber die sehen alle mehr oder weniger gleich aus. Das sind kleine Kugeln, kleine Stäbchen, manchmal sind sie etwas fädig, manchmal ein bisschen gebogen. Aber wenn man mit Bakterien arbeitet, musste man sie immer schon genetisch differenzieren, das heißt wir mussten die ribosomale RNA analysieren. Die Chancen stehen sehr gut, dass diese Verbindung zwischen der phänotypischen Art der Taxierung, die eher an die klassische Feldforschung seit Linné erinnert, und der genetischen Taxation mit Hilfe der DNA-Analyse funktioniert. Und das ist klar: Durch die Kenntnisse der DNA sind natürlich die Stammbäume wieder umgestellt worden. Was gleich ausschaut, hat oft eine ganz andere Geschichte.

F| Ist das nicht ein unendliches Arbeitsfeld, gibt es nicht unendlich viele Bakterien-„Arten"?

A| In gewisser Weise ist Biodiversitätsforschung ja aussichtslos. Und zwar in dem Sinne, dass man nie zu einem Ende kommt, nie alle „Arten" erforschen kann, weil es so viele gibt und ständig welche verschwinden und neue entstehen. Denken wir zum Beispiel an Insekten: Wie viele sind denn bis jetzt beschrieben? Zirka 750.000.

F| Und wie viele gibt es potentiell?

F| Wenn wir die Ergebnisse von Untersuchungen der Arten im Blätterdach einzelner Bäume im Regenwald des Amazonas hochrechnen mit der Anzahl der Baumarten in diesem Gebiet, kommen wir auf einige, vielleicht zwanzig Millionen Arten von Insekten. Entsprechend explodiert die Biodiversität der Bakterien und Viren, auch wenn wir einen vergleichsweise sehr kleinen und unwirtlichen Lebensraum wie unseren See betrachten. In jedem Liter Wasser aus dem See finden wir rund eine halbe Milliarde Bakterien, und ich würde sagen wahrscheinlich zehn Milliarden Viren, Bakterienviren vor allem, also keine humanpathogenen Viren. Aber Bakterien vermehren sich ja im Prinzip nicht sexuell. Die teilen sich, allerdings tauschen sie ihr Genmaterial untereinander aus, aber auch mit anderen Arten. Das heißt, der Artbegriff zerfließt uns unter den Händen und das ist die eigentliche Schwierigkeit, hier von „Arten" zu sprechen. Es ist eigentlich ein dichtes, engmaschiges Netzwerk, und statt Stammbaum im Sinne des Artenbegriffs würde ich fast den Begriff „Buschwerk" verwenden. Stammbaum funktioniert da nicht mehr. Diesen Begriff können wir nur bei den höheren Organismen anwenden, aber im Bereich der Bakterien und Viren ist das vergleichbar mit einem Netz, in dem neben dem klassischen Genfluss (von der „Mutter" zur „Tochter" – was übrigens von einigen aquatischen Rädertieren strikt eingehalten wird: sie sind parthenogenetisch) ein lateraler Genfluss existiert. „Art" ist ein Begriff, der für Vielzeller gilt, deren genetisches Auseinanderdriften immer wieder durch die Sexualität rückgestellt wird. Und noch ein Aspekt spielt hier eine wichtige Rolle: Je feiner die wissenschaftlichen Methoden werden, umso mehr Arten werden gefunden. Die Verbesserung der Mikroskope, der Filter, der Färbestoffe und die Entwicklungen in der Genetik brachten eine enorme Steigerung der Anzahl an bekannten Arten.

F| Das heißt, je besser die Technik und die Methoden werden, umso mehr Lebewesen gibt es?

A| Im übertragenen Sinn, ja. Umso mehr Lebewesen sind uns bekannt. Aber je mehr wir wissen umso mehr wird uns klar, wieviel wir noch zu erforschen haben. Es gibt einen guten Spruch – und jetzt kommen wir in die Wissenschaftsphilosophie – von Donald Rumsfeld: „Das Problem ist nicht, dass wir etwas nicht wissen, sondern das Problem ist, dass wir nicht wissen, was wir nicht wissen." Ein weiser Spruch für einen Politiker, der den Irakkrieg vom Zaun gebrochen hat. Sehr oft stoßen wir im Zuge der Forschung auf Themen, von welchen wir vorher gar nicht wussten, dass sie zum Erforschen anstehen, und wir stolpern quasi über einen neuen, lohnenden Bereich.

Wenn man Ökosysteme weltweit vergleichen will, bleiben nur jene der alpinen Zone: Sie erstrecken sich von 70° südlicher bis 80° nördlicher Breite.

F| Goethe hat einen sinngemäßen Satz gesagt: „Man sieht nur, was man weiß, und wer mehr weiß, sieht mehr." So gesehen, haben Sie mit dieser großen Zahl an Projekten viel gesehen, wissen jetzt viel, viel mehr und wissen jetzt auch, wo Sie weiterforschen müssen?

A| Unser wichtigstes Ziel war es, zu demonstrieren und zu sehen, dass die Biodiversität zu eng gefasst ist, wenn man nur Pflanzen und Tiere in die Untersuchungen einbezieht. Die Biodiversität ist wesentlich höher. Und ich glaube, es ist uns gelungen, das zu zeigen. Der nächste Schritt ist ein Folgeprojekt über das System der funktionellen Zusammenhänge in Lebensräumen. Das ist die Frage, die die Biologie noch sehr lange beschäftigen wird. Die Technik, die Feinheit, die Auflösung, die Genauigkeit, mit der wir die Untersuchungen machen können, wird besser werden, und dadurch werden wir auf neue Fragen stoßen. Wie diese lauten werden, darüber können wir höchstens spekulieren. •••