

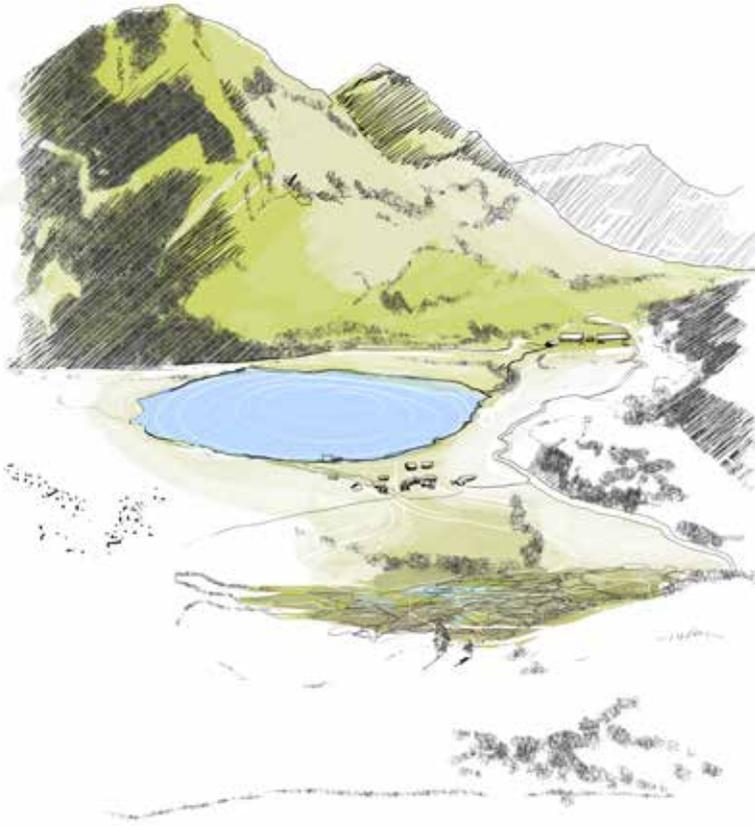
Die Entdeckung **einer** **verborgenen** **Welt**

Ein Naturlehrpfad,
um die Welt der Mikroorganismen
im Pioratal zu entdecken

1. Einleitung	5
Ein Naturlehrpfad, um die Welt der Mikroorganismen zu entdecken	5
Wie kann man Mikroorganismen sehen?	6
Die Landkarte	7
Die Experten	10
2. Willkommen in Piora!	13
Das Pioratal	13
Das Zentrum für Alpine Biologie	15
Was ist ein Mikroorganismus?	16
Bakterien	16
Mikroskopische Pilze	18
Mikroskopische Algen	20
Flechten	21
3. Der Lehrpfad Mikrobiologie	25
Das Zentrum für Alpine Biologie	25
Der Cadagnosee	25
Das Laborgebäude	28
Die Käserei	31
Ausgangspunkt Zentrum für Alpine Biologie	32
Val Fripp	36
Cadagno di Dentro	39
Cadagno di Fuori	43
4. Auf Wiedersehen Piora!	47
5. Nützliche Informationen	48
6. Referenzen	49

1. Einleitung

Ein Naturlehrpfad, um die Welt der Mikroorganismen zu entdecken



Das Pioratal (Val Piora) ist eines der grossartigsten Täler im Tessin und berühmt für seine Artenvielfalt und seine zahlreichen Seen. Seit über 200 Jahren haben Touristen und Wissenschaftler das Tal besucht und erforscht, und aus dieser einmaligen Situation Nutzen gezogen. Damit dieses beispiellose Tal erhalten bleibt, ist es wichtig, die in ihm vorkommenden Lebensgemeinschaften wie auch die Umwelt, in der diese sich entwickeln, zu kennen und zu schützen. Innerhalb dieses Ökosystems leben viele Organismen, die dort eine Schlüsselrolle spielen. Sie sind jedoch meist unbekannt, weil sie für das menschliche Auge nicht sichtbar sind. Diese stillen Hauptfiguren sind die Mikroorganismen.

Mikroskopische Organismen (oder Mikroorganismen) sind überall und in grosser Zahl vorhanden, im Wasser und im Boden, in der Luft, sowie auf der Haut und innerhalb aller Lebewesen. Sie sind die ursprünglichste Form von Leben, das sich auf der Erde vor etwa 3,5 Milliarden Jahren entwickelt hat. Erst durch die Aktivitäten dieser Organismen und deren Auswirkungen auf biogeochemische Kreisläufe war eine Entwicklung aller anderen und höheren Lebensformen möglich. Mikroorganismen sind die vielfältigsten und die am weitesten verbreiteten Lebensformen auf der Erde, weit mehr als alle Pflanzen und Tiere. Wenn es keine Mikroorganismen gäbe, wäre das Leben auf der Erde nicht denkbar! Dieser Naturlehrpfad soll helfen, dass jeder Besucher die versteckte und unbekannteste Welt der Mikroorganismen in dieser fantastischen Umgebung des Pioratals für sich entdecken kann.

Wie kann man Mikroorganismen sehen?

Obwohl einzelne Mikroorganismen von bloßem Auge nicht sichtbar sind, können ihre Auswirkungen oft beobachtet werden. Wie alle lebenden Organismen hat jeder Mikroorganismus einen eigenen Stoffwechsel, ernährt sich von bestimmten Verbindungen in der Natur, atmet und scheidet andere Stoffe aus. Solche Aktivitäten bewirken gewisse sichtbare Phänomene, die in diesem Naturlehrpfad hervorgehoben werden.

Man muss die Umgebung gut beobachten, um solche Hinweise zu finden. Fühlen Sie sich frei, die beschriebene Orte – Gewässer, Bäume oder Felsen – zu erkunden, aber achten Sie darauf, die Natur nicht zu zerstören. Beachten Sie, dass je nach Jahreszeit und Wetterbedingungen einige physikalische und biologische Veränderungen nur beschränkt beobachtet werden können (z. B. Farbänderungen oder Gasblasen je nach Umweltbedingungen).

Mit diesem Leitfaden können Sie einige Mikroorganismen in der Gegend von Piora im Rahmen von vier Etappen entdecken. Entlang der gesamten Strecke werden Sie in dieser Broschüre von drei Wissenschaftlern begleitet, die einen Teil ihres Lebens damit verbracht haben, die Mikroorganismen in dieser Gegend zu studieren. Der Anfang gilt dem Pioratal und der Beschreibung der wichtigsten Gruppen von Mikroorganismen. Anschließend werden Sie durch den Lehrpfad geführt und es wird Ihnen erklärt, welche Organismen an einzelnen Orten zu erwarten sind, wo ihr Vorkommen beobachtet werden kann und welches die Folgen und die Bedeutung der mikrobiellen Aktivitäten in der Natur sind, angereichert mit Geschichten aus der Region.

Die Landkarte

Der mikrobiologische Naturlehrpfad ist ein Rundweg ca. 5 km lang, er kann in beliebiger Richtung und Reihenfolge begangen werden. Die zentrale Informationsstelle befindet sich im Zentrum für Alpine Biologie mit seinen Forschungslabors und einer umfangreichen Dokumentation.

Entlang der Strecke signalisieren Hinweispfähle die Beobachtungsbereiche, in denen Mikroorganismen oder deren Auswirkungen auf die Umwelt sichtbar sein können. An jedem Pfahl befindet sich ein Verweis auf das entsprechende Kapitel in dieser Broschüre.



Solche Pfähle mit Hinweisen sind auf dem Rundgang zu finden. Sie weisen auf die verschiedenen Kapitel in der Broschüre hin.

Gehzeit des Fusswegs:

Ankunft der Seilbahn
Zentrum für Alpine Biologie
1 Std. 30 Min.

Zentrum für Alpine Biologie
Val Fripp
Cadagno di Dentro
20 Min.

Cadagno di Dentro
Cadagno di Fuori
20 Min.

Cadagno di Fuori
Zentrum für Alpine Biologie
20 Min.

Gesamte Strecke
ca. 1 Std.

Schwierigkeitsgrad:

leicht

Erforderliche körperliche

Verfassung:

normal

Zugänglich:

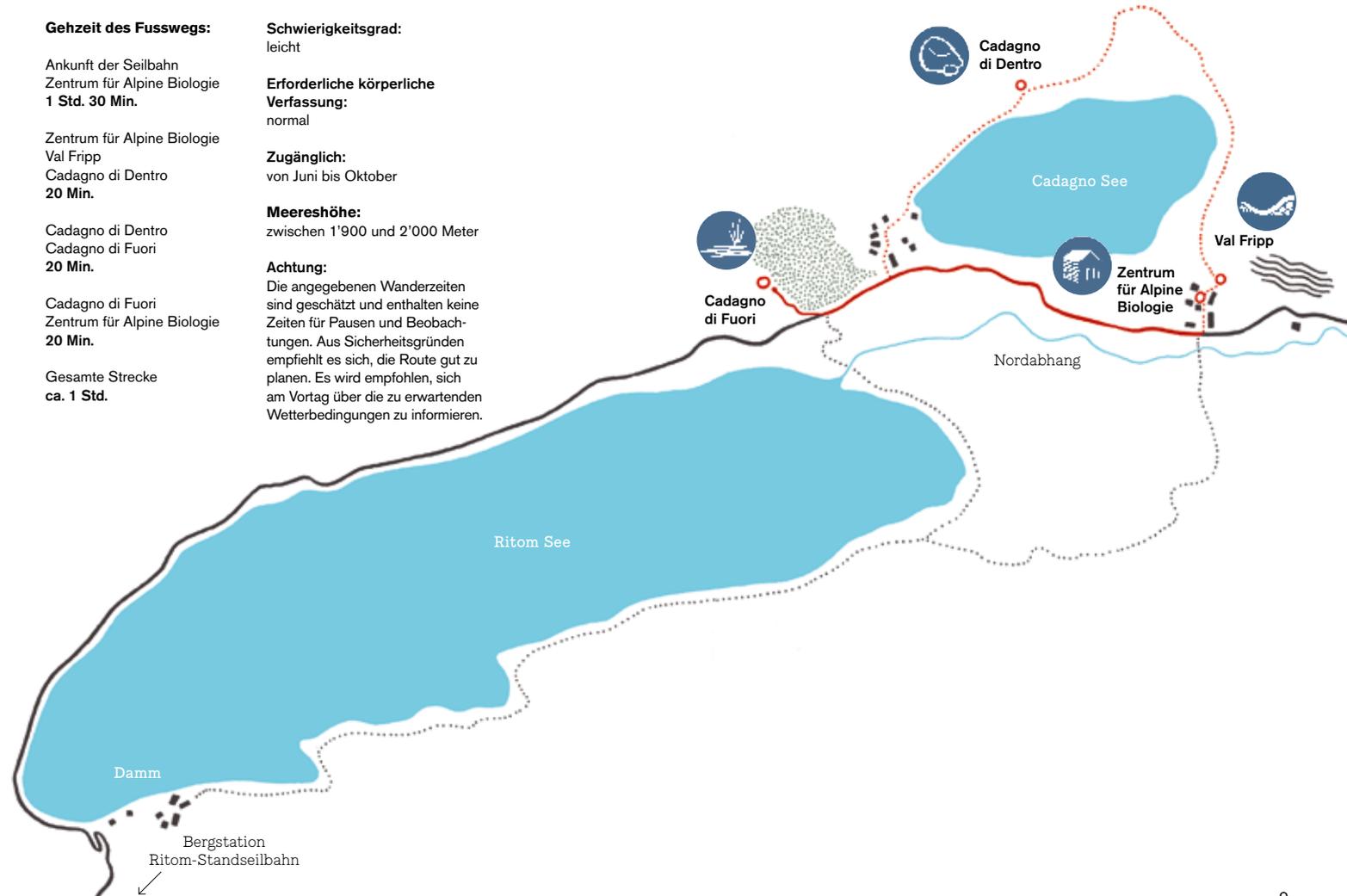
von Juni bis Oktober

Meereshöhe:

zwischen 1'900 und 2'000 Meter

Achtung:

Die angegebenen Wanderzeiten sind geschätzt und enthalten keine Zeiten für Pausen und Beobachtungen. Aus Sicherheitsgründen empfiehlt es sich, die Route gut zu planen. Es wird empfohlen, sich am Vortag über die zu erwartenden Wetterbedingungen zu informieren.





Die Experten

Raffaele Peduzzi, Prof. und Dr. in Biologie, und FAMH-Spezialist in medizinischer Mikrobiologie, sowie Professor für mikrobielle Hydrobiologie an der Universität Genf.

RP Raffaele, ein alteingesessener Airoleser und Ehrenbürger der Gemeinde Quinto im Tessin, ist der führende Experte für die mikrobiologischen Besonderheiten im Pioratal. Raffaele, Primarlehrer und Biologe, war für 30 Jahre Direktor des kantonalen Instituts für Mikrobiologie und ist derzeitiger Präsident der Stiftung "Zentrum für Alpine Biologie" (CBA) in Piora; er ist persönlicher Förderer des Zentrums für Alpine Biologie. In seiner langen akademischen Laufbahn veröffentlichte er mehr als 400 wissenschaftliche Artikel und

lehrte an verschiedenen Universitäten, so zum Beispiel in Genf, Mailand, Varese, Neuchâtel, USI und den zwei eidgenössischen technischen Hochschulen in Lausanne und Zürich.

Mauro Tonolla, PD und Dr. in Biologie

MT Mauro, Primarlehrer und Biologe, ist seit jeher von der mikrobiellen Ökologie begeistert und hat rund 100 wissenschaftliche Publikationen in internationalen Zeitschriften veröffentlicht. Derzeit ist er Leiter des Labors für angewandte Mikrobiologie der Scuola universitaria professionale der italienischen Schweiz (SUPSI – Fachhochschule für Angewandte Wissenschaften) und Lehrbeauftragter an der Universität Genf. Als Spezialist in mikrobieller Hydrobiologie hat Mauro einen grossen Teil seines Lebens dem Studium der Bakteriologie und Mikrobiologie von Piora gewidmet.

Reinhard Bachofen, Prof. em. für Mikrobiologie, Universität Zürich

RB Nach einer Ausbildung zum Primar- und Sekundarlehrer doktorierte er 1960 an der Universität Zürich mit einer limnologischen Arbeit über den Hallwiler- und den Baldeggersee. In einem längeren USA Aufenthalt befasste er sich mit der Stoffwechselfeldvielfalt von anaeroben und phototrophen Bakterien, darunter auch von *Chromatium*, einem dominanten Bakterium im Cadagnosee. Weitere Studien zum Energiehaushalt von Bakterien und Algen führten ihn später zurück in die mikrobielle Ökologie aquatischer Standorte, und damit in Lehre und Forschung auch an den Cadagnosee.



2. Willkommen in Piora!

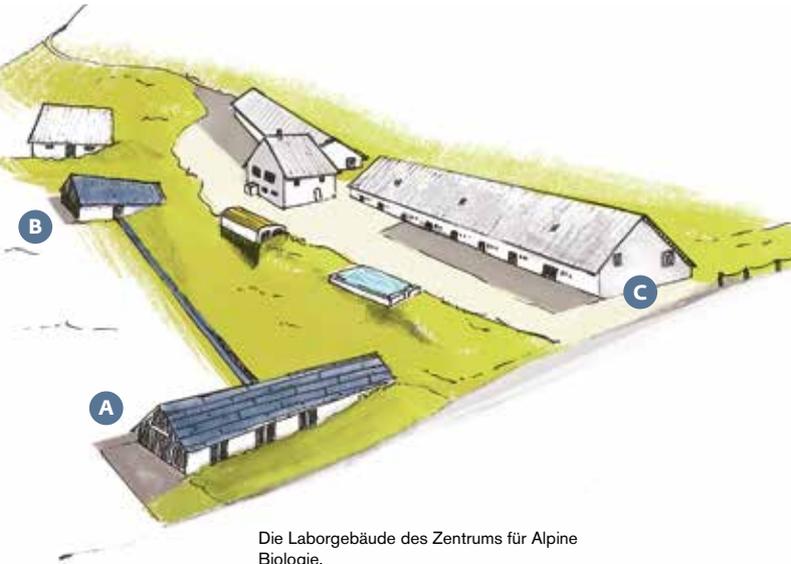
Das Pioratal

RP Das Pioratal ist eine der schönsten alpinen Regionen im Tessin! Es ist ein altes Urstromtal, also ein Tal, das früher vollständig von Gletschern bedeckt war. Besondere Bedingungen in Bezug auf Geologie, Klima und Umwelt, haben zur Entwicklung seiner aussergewöhnlichen Artenvielfalt beigetragen. Die Region ist vor allem bekannt für ihren hydrologischen Reichtum, basierend auf den vielen Seen, Flüssen und Mooren im Tal. Diese Feuchtgebiete sind nicht nur wertvoll, weil sie ideale Voraussetzungen für das Leben vieler Tier- und Pflanzenarten sind, sondern auch weil dort die verborgene Welt der unsichtbaren Mikroorganismen zu finden ist! Zu den wichtigsten Sehenswürdigkeiten des Tals gehören vier auf Bundesebene geschützte Feuchtgebiete, die vom Moor von Cadagno di Dentro, über Cadagno di Fuori und Pinnett-Ritom bis zum Passo dell'Uomo reichen.

MT Die Besiedlung durch den Menschen und die Nutzung durch Weidwirtschaft haben das Tal bis heute als ursprüngliche Alpwirtschaft geprägt und als malerische Gegend erhalten. Hier produzieren lokal ansässige Hirten den berühmten Piora-Käse und pflegen Felder und Wiesen; eine wichtige und von allen Besuchern hoch geschätzte Tätigkeit, um das Tal und die alpinen Landschaften zu bewahren. Das Pioratal ist die grösste Alm im Kanton Tessin. Die Kontrolle der Nutzung obliegt der Vereinigung der Boggesi, einer ursprünglichen, bürgerlichen (borghesi) Gemeinschaft,

deren Nachkommen noch heute das alleinige Recht besitzen, ihr Vieh dort zu weiden.

RP Aus der Geografie können wir die Vielfalt des Gebietes und der menschlichen Tätigkeiten im Tal anhand der Anzahl von Ortsnamen erkennen, die von der lokalen Bevölkerung übernommen wurden: allein in Piora sind es 280 Ortsnamen! So wurden jeder Ebene, Weide und sogar bestimmten Gesteinen Namen gegeben, um die verschiedenen Orte zu identifizieren. Dies lässt uns den Wert erahnen, der diese Umgebung für die Menschen vor Ort besass!



Die Laborgebäude des Zentrums für Alpine Biologie.

Das Zentrum für Alpine Biologie

RP Das Zentrum für Alpine Biologie (CBA) wurde im Jahr 1994 offiziell eröffnet. Seine Mission ist nicht nur die Förderung der universitären Lehre und der wissenschaftlichen Forschung, sondern auch um einer breiten Öffentlichkeit die gewonnenen wissenschaftlichen Kenntnisse weiter zugänglich zu machen. Das Zentrum wurde vom Kanton Tessin in Zusammenarbeit mit den Universitäten Genf und Zürich und seit kurzem mit einem Beitrag der Universität der italienischen Schweiz und der Scuola Professionale Universitaria der italienischen Schweiz geschaffen. Durch diese Partnerschaften gelang es uns, auf einer Höhe von 2000 m üM wissenschaftliche Laboratorien aufzubauen, in denen jeden Sommer Forschungsaktivitäten von bis zu 12 verschiedenen Universitäten stattfinden. Neben diesen Universitätskursen steht das Zentrum auch für Schulen und die interessierte Öffentlichkeit offen. Einmal jährlich findet für die Bevölkerung ein Tag der offenen Tür statt (siehe "Nützliche Informationen").

RB Eine Stiftung ist für die Verwaltung und die Unterstützung des Zentrums verantwortlich. Diese Stiftung besteht aus Mitgliedern der Gründerorganisationen, aus Mitgliedern der Genossenschaft Boggessi di Piora und der Gemeinde von Quinto. Dank der Unterstützung des Kantons Tessin und von Zuschüssen der Eidgenossenschaft und der Universitäten Genf und Zürich wurden die beiden alten Almhütten restauriert. Sie sind historische Zeugen der ländlich-alpinen Welt des sechzehnten Jahrhunderts. Das äussere Bild blieb erhalten, im Innern sind sie jedoch, ideal für wissenschaftliche und pädagogische Aktivitäten, modern ausgebaut.

RP Wussten Sie, dass schon vor 200 Jahren wichtige wissenschaftliche Forschungen im Tal durchgeführt wurden, um dessen natürliche Reichtümer zu studieren? Viele dieser Studien galten vor allem dem Cadagnosee. Dies gab Anlass zur Schaffung eines Zentrums in welchem Wissenschaftler verschiedener akademischer Institutionen gemeinsam arbeiten können.

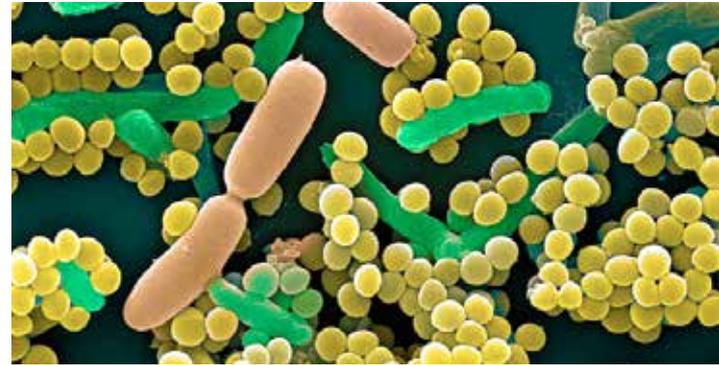
Was ist ein Mikroorganismus?

MT Im Allgemeinen definieren wir als Mikroorganismen alle lebenden Organismen, die nicht ohne Verwendung eines Mikroskops gesehen werden können, sind sie doch 100 bis 10.000 Mal kleiner als ein Sandkorn! Um eine Vorstellung von ihrer Grösse zu bekommen, müssen Sie sich einen Mikroorganismus im Vergleich zum Menschen so wie einen Menschen im Vergleich zur Erde vorstellen. Es ist Ihnen sicher bekannt, dass Mikroorganismen für verschiedene Krankheiten verantwortlich sind, es ist aber wichtig zu wissen, dass diejenigen, die Krankheiten verursachen, nur einen sehr kleinen Anteil im Verhältnis zur Gesamtheit aller Mikroorganismen ausmachen!

Bevor wir unsere kleine Wanderung beginnen, werden wir von den besonderen Gruppen der Mikroorganismen sprechen, die wir entlang des Lehrpfads beobachten können.

Bakterien

RB Bakterien sind Lebewesen, die in der Regel aus einer einzigen Zelle bestehen, die nur wenige Mikrometer misst. Sie weisen unterschiedliche Formen auf: Kokken sind rund, Stäbchen und Bazillen sind länglich und Spirillen sind spiralförmig. Wir finden Bakterien



Bakterien, gesehen im Elektronenmikroskop und 4'500 Mal vergrössert (künstlich gefärbt).

überall, und einige Arten können auch unter für uns Menschen extremen Bedingungen überleben, bei Temperaturen von über 80°C oder in starken Säuren oder Laugen. Menschen und Tiere tragen Bakterien auf der Körperoberfläche und in ihrem Körper, besonders im Darm. Die menschliche Darmflora spielt eine wesentliche Rolle für unseren Stoffwechsel bei der Synthese von bestimmten Vitaminen und hat ausserdem eine wichtige Schutzfunktion bei der Entwicklung des Immunsystems.

RP Einige Bakterien können in der Tat Krankheiten verursachen und wir nennen sie Krankheitserreger. Andere dagegen sind sehr nützlich für die Herstellung von Lebensmitteln wie Käse, Joghurt, Sauerkraut oder Essig. Wichtig ist besonders, dass Bakterien in der Umwelt eine massgebende Rolle im Kreislauf der Elemente haben; sie produzieren Substanzen, die von anderen Organismen verwendet werden, und bauen

totes Material vollständig ab. Alle diese Aktivitäten halten das Gleichgewicht in der gesamten Biosphäre aufrecht.

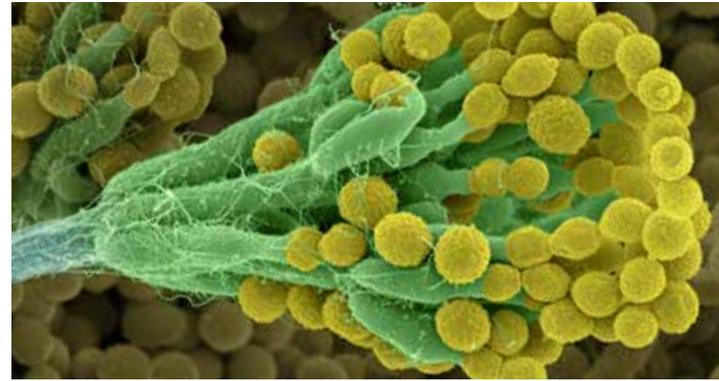
MT Einige Bakterien, wie die Cyanobakterien nutzen Sonnenenergie für ihren Stoffwechsel, so wie es die grünen Pflanzen tun!

Mikroskopische Pilze

KP Die mikroskopischen Pilze weisen ganz unterschiedliche Formen auf, z.B. einzellige Hefen oder fädige Schimmelpilze. Bis vor Kurzem wurden Pilze von den Wissenschaftlern zum Pflanzenreich gezählt; neu werden Pilze als unabhängiges Reich eingestuft, das näher dem Tierreich als dem Pflanzenreich steht!

Die mikroskopisch kleinen Pilze nehmen Stoffe aus ihrer Umgebung auf oder bauen tote Materie ab; sie übernehmen also in verschiedenen Ökosystemen eine wichtige Rolle bei der Zersetzung. Für ihre Fortpflanzung erzeugen einige Pilze eine grosse Menge winziger Sporen, die vom Wind fortgetragen und in der Umgebung verbreitet werden.

MT Gleich den Bakterien finden wir Mikropilze in allen terrestrischen Umgebungen, im Wasser und sogar innerhalb des menschlichen Körpers, so etwa im Mund, im Verdauungsapparat und auf der Haut. Einige Arten sind pathogen und andere sind hingegen von lebenswichtiger Bedeutung für den Menschen. Der Schimmelpilz *Penicillium* bildet das erste je entdeckte Antibiotikum, Penicillin, und andere Pilze viele weitere Antibiotika. Bestimmte Pilze tragen auch zum Reichtum unseres Speisezettels bei; sie geben Käse wie Camembert oder Roquefort den besonderen Geschmack,



Der Schimmelpilz *Penicillium notatum* im Elektronenmikroskop, 600 Mal vergrössert (künstlich gefärbt).

(Copyright Dennis Kunkel Microscopy, Inc.)

andere dagegen sind wichtig für die Herstellung von Bier, Brot und Wein – kurz, sie sind echte Küchenstars!

KP Pilze spielen auch in der Natur eine sehr wichtige Rolle, wo eine überwiegende Mehrheit der Pflanzen in Symbiose mit speziellen Pilzen, den Wurzel- oder Mykorrhiza Pilzen, lebt. Diese vergesellschafteten sich mit den Pflanzenwurzeln, und ermöglichen so eine bessere Verankerung der Pflanze und erleichtern ihr die Aufnahme von Nährstoffen durch Vergrößerung der unterirdischen Oberfläche.

Mikroskopische Algen

RB Algen sind vor allem in Gewässern lebende, ein- oder wenig-zellige Pflanzen, die durch Photosynthese mit Hilfe von Sonnenenergie organische Stoffe erzeugen. Es handelt sich um den gleichen Mechanismus wie bei grünen Pflanzen. Dabei wird Sauerstoff an die Atmosphäre abgegeben, der wiederum von lebenden Organismen in der Zellatmung verwendet wird. Auch Mikroalgen finden sich fast überall, in Ozeanen, Seen und Teichen, aber auch an feuchten Orten wie der Rinde von Baumstämmen, im Boden und auf Steinflächen. Diese mikroskopisch kleinen pflanzlichen Organismen bilden das Phytoplankton der Ozeane, das Grundlage der marinen Nahrungskette ist.



Cyclotella radiosa, eine Diatomee (oder Kieselalge), im Elektronenmikroskop 3'000 Mal vergrößert (künstlich gefärbt).

KP In Entwicklungsländern werden Mikroalgen auch als Nahrungs- oder Nahrungsergänzungsmittel verwendet, um Fehlernährung zu bekämpfen, während sie in den Industrieländern für die Herstellung von medizinisch wichtigen Substanzen und Kosmetika eingesetzt werden. Sie dienen auch der Produktion von Biokraftstoffen oder werden zur Abwasserbehandlung genutzt. Einige Mikroalgen sind empfindlich gegenüber Schadstoffen und eignen sich als biologische Indikatoren und werden z.B. für die Gewässerbeurteilung genutzt.

Flechten

KP Flechten sind symbiontische Lebensgemeinschaften zwischen Pilzen und einem photosynthetischen Organismus. Letzterer ist meist (ca. 85-90 %) eine mikroskopisch kleine Grünalge, seltener ein Cyanobakterium. Die physiologischen Aktivitäten der verschiedenen Organismen ergänzen sich so zum Nutzen aller Beteiligten: mit dem Pilzgeflecht haftet die Flechte am Substrat, einem Stein oder einer Rinde, gibt der Alge eine geschützte, feuchte Umgebung und mobilisiert und speichert die für deren Wachstum nötigen Nährstoffe. Die Alge andererseits liefert den heterotrophen Pilzen bestimmte Zucker, energiereiche Produkte der Photosynthese.

Was wir von der Flechte sehen, wird von den Pilzen bestimmt, es sind die verschiedensten Strukturen. Man unterscheidet Blattflechten, Krustenflechten und Strauchflechten. Die in den Pilzfäden eingebetteten Algen können besonders in Querschnitten wegen ihrer grünen Farbe (Chlorophyll) erkannt werden, manchmal genügt eine Befeuchtung der Oberfläche,

um sie sichtbar zu machen. Einige Algen bilden grosse Mengen an Carotinoiden, die Flechte wird dadurch gelb bis orange gefärbt.

Flechten sind Pionierorganismen und können extremen Umweltbedingungen widerstehen. Sie zählen zu den ersten Organismen, die neue Standorte, wie Steinbrüche oder Gletschervorfelder, besiedeln und können mehrere Hundert Jahre alt werden

RB Auf der Sonne ausgesetzten Steinen oder auf trockenem Mauerwerk ist der Stoffwechsel der Flechte minimal, es fehlt das lebensnotwendige Wasser. Höhere Pflanzen wären unter diesen Bedingungen

längst verdorrt und abgestorben. Bei Regen saugen die Flechten das Wasser auf und die Algen in den Flechten regenerieren innerhalb von wenigen Minuten und zeigen aktive Photosynthese. Da das feine Pilzgewebe nur beschränkt Wasser speichern kann, trocknet die Flechte bei Sonnenschein aber rasch wieder aus. Dies erklärt das langsame Wachstum von oft nur einem Bruchteil von Millimetern pro Jahr.

KB Seit 2-3 Jahrzehnten ist bekannt, dass Flechten gute Bioindikatoren sind, da ihr Wachstum sehr empfindlich gegenüber Luftschadstoffen ist. Dies ist in unzähligen Studien meist aus städtischen Gebieten, die durch Abgase belastet sind, belegt.



Die zierliche Gelbflechte *Xanthoria elegans*.



3. Der Lehrpfad Mikrobiologie

Das Zentrum für Alpine Biologie



Der Cadagnosee

KB Ausser zur atemberaubenden Landschaft beizutragen, ist der Cadagnosee seit langem zu einem wichtigen Anziehungspunkt für nationale und internationale mikrobiologische Forschung geworden.

MT Um die Bedeutung des Cadagnosees zu verstehen, muss man zuerst die Rolle der Bakterien im Ökosystem Erde verstehen. Unser Planet bildete sich vor etwa 4,5 Milliarden Jahren, und die damalige Atmosphäre war für lange Zeit anoxisch, also ohne Sauerstoff. Vor 3,5 bis 3 Milliarden Jahren traten die ersten Organismen auf, die im Vorgang der Photosynthese Lichtenergie in Stoffwechsellenergie umwandeln konnten, die Cyanobakterien. Dabei wird als Nebenprodukt Sauerstoff freigesetzt. Durch die langsame aber konstante Aktivität dieser photosynthetischen Bakterien stieg vor rund 2 Milliarden Jahren der Sauerstoff in unserer Atmosphäre auf das heutige Niveau an (ca. 21% der Luft, die wir atmen). Für eine lange Periode waren damit nur Mikroorganismen in der Lage, sich an diese sauerstoffarmen Lebensbedingungen anzupassen. Der Stammbaum des Lebens belegt dies, sind die überwiegende Mehrheit aller Arten, etwa 99,5%, Mikroorganismen.



Der Cadagnosee ist ein seltenes Beispiel eines natürlichen Phänomens, das als "Meromixis" bezeichnet wird. Dabei liegen im See zwei stabile Wasserschichten übereinander, ohne sich jemals zu mischen. Die untere Schicht wird durch Quellen am Grund des Sees gespeist. Vorher durchströmt das Wasser Dolomitmälen und reichert sich mit Salzen an. Damit wird das Wasser schwerer und bleibt am Seegrund liegen. Diese Schicht dichteren Wassers kommt nicht in Kontakt mit der Seeoberfläche und bleibt anoxisch, frei von Sauerstoff. Die obere Schicht wird im Gegensatz durch Oberflächenwasser aus granitischen Gesteinen gespeist, in denen sich nur geringe Mengen an gelösten Mineralien befinden. Dadurch ist das Wasser leichter und bildet eine Zone, die Kontakt mit der Oberfläche hat und mit Sauerstoff angereichert ist. Dank dieser

besonderen Schichtung zeigen vertikale Seeprofile, als würde man der Evolution der Erde von unten nach oben zeitlich folgen; man findet unten den anaeroben (Abwesenheit von Sauerstoff) und oben den aeroben Stoffwechsel (mit Sauerstoff). Der Cadagnosee stellt daher ein Modell dar, um die zeitliche Entwicklung unseres Planeten besser zu verstehen, was seine Bedeutung für die Forschung noch vergrößert.

KP Der erste Forscher, der 1906 den Cadagnosee beschrieb, war Felix-Ernest Bourcart. Er schrieb, "es wäre sehr interessant, an diesem sonderbaren See eingehende Studien durchzuführen." Bourcart sammelte Proben vom Seegrund und stellte die dunkle Farbe und den anhaltenden Schwefelgeruch fest. Ausserdem beobachtete er schon damals, dass das Bodenwasser im Vergleich zum Wasser der oberen Schichten deutlich unterschiedliche Eigenschaften zeigte. Die Arbeit wurde zwischen 1903 und 1906 ausgeführt und in Genf veröffentlicht; man hoffte bereits damals auf eine genauere Untersuchung der offenen Fragen.

MT Die Beobachtungen von Bourcart sind noch heute aktuell! Der von ihm wahrgenommene Schwefelgeruch entstammt den schwefelhaltigen Quellen am Seeboden, während die unterschiedliche Zusammensetzung des Wassers aus verschiedenen Tiefen auf den Gehalt an gelösten Salzen beruht, In der Folge zeigte die Forschung, wie Bourcart gehofft hatte, ein besonderes Interesse an einem photosynthetischen Bakterium, an *Chromatium okenii*. Dieses Bakterium findet seine idealen Wachstumsbedingungen in einem Bakterienband zwischen den beiden Wasserschichten im anoxischen Bereich. Dieser liegt in der Regel in 11 bis 13 Meter Tiefe und hat im Jahresver-

lauf eine wechselnde Stärke von 70 bis 150 cm. Entnimmt man eine Wasserprobe aus dieser Tiefe, ist das Wasser deutlich purpur bis violett gefärbt. Dies ist bedingt durch die verschiedenen Pigmente der Bakterien. Wichtig ist zudem die ökologische Rolle dieser Bakterienpopulation. Die homogene Schicht am Rand der anoxischen Zone verhindert die Ausbreitung von Schwefelwasserstoff, eine für Leben giftige Verbindung, in die oberen Schichten und in die Atmosphäre. Es ist unglaublich, dieses *Chromatium okenii* gewinnt seine Energie aus Schwefelwasserstoff zusammen mit dem spärlichen Sonnenlicht in dieser Tiefe und entgiftet gleichzeitig seine Umgebung.

RP Wenn Sie die Seeoberfläche betrachten, sehen Sie eine verankerte Plattform im zentralen Bereich. Wissenschaftler, die zum Zentrum für Alpine Biologie kommen, benutzen diese Plattform, um Wasserproben zu entnehmen, die sie dann für ihre Forschungen nutzen.

Das Laborgebäude

RP Auf den Natursteinmauern des Laborgebäudes fallen die rot-orangen attraktiven Flechten von *Xanthoria elegans* auf, die zierliche Gelbflechte. Sie wächst auf Kalk- und Silikatsteinen, besonders in vogelreichen Gebieten. *Xanthoria* liebt stickstoffreiche Standorte, wie sie durch die Exkremente der Vögel gebildet werden. Die orange-rote Farbe wird durch die Carotinoide der Algen bewirkt, Pigmente, die uns von Karotten oder Tomaten gut bekannt sind. Sie helfen bei der Lichtabsorption für die Photosynthese und schützen die Organismen vor der UV Strahlung im Gebirge. Der Flechtenbelag erinnert ein wenig an Rost. Im Laufe der Renovierungsarbeiten am Zentrum Piora rief mich



Die zierliche Gelbflechte *Xanthoria elegans* an den Wänden der Gebäude des Zentrums für Alpine Biologie.

eines Tages eine dort beschäftigte Reinigungsfirma an um mich zu informieren, dass sie die Wand säubern wollten! Zum Glück konnte ich das noch verhindern.

RB Es gibt auch noch andere Mikroorganismen, die in der Nähe des Zentrums entdeckt werden können, zum Beispiel kann *Haematococcus pluvialis*, die Blutregenalge, oft in den hölzernen Trögen in der Nähe des Zentrums gefunden werden. Ihr Merkmal ist die tiefrote Farbe. Es handelt sich um eine Alge, deren besondere Farbe durch Anhäufung eines organischen Pigmentes, Astaxanthin, bedingt ist. Ihr unterschiedliches Aussehen und das unregelmässige Vorkommen ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen, die Lichtmenge, die Anwesenheit bestimmter Nährstoffe und



Massenentwicklung der Mikroalge *Haematococcus pluvialis* nach Regenfällen.

die atmosphärischen Bedingungen. Sie wird allgemein nach Regentagen beobachtet; daher stammt auch der eindrucksvolle Name "Blutregen", der sich auf die intensive rote Farbe bezieht. Industriell werden die Algen in grossem Massstab kultiviert, um daraus die roten Pigmente (Astaxanthin) zu isolieren und zu oxidationshemmenden Medikamenten zu verarbeiten.

Die Käserei

MT Oberhalb des Zentrums wird einem unweigerlich die Molkerei auffallen, wo der berühmte örtliche Alpkäse "Piora" hergestellt wird. Jeden Sommer werden hier um 250 Kühe gesömmert, die auf den über 1'000 Hektar produktiven Weiden grasen. Dank ihrer Milch werden jedes Jahr im Durchschnitt 3'000 Laibe des charakteristischen Käses mit seinem angenehm aromatischen Nachgeschmack produziert. Dieser beruht im Besonderen auf dem Vorkommen verschiedener Kräuter auf den Kuhweiden, die ihre Geruchs- und Geschmacksstoffe auf die Milch übertragen. Zu diesen Kräutern gehören unter anderem die Alpen-Mutterwurz (*Ligusticum mutellina*), der Gold-Pippau (*Crepis aurea*) und der Westalpen-Klee (*Trifolium alpinum*).



Laibe vom berühmten Valpiora Käse. Jedes Jahr werden davon etwa 3'000 Stück produziert.

RP Natürlich sind "l'herbe à beurre" (in Französisch) oder "mutarina" (im Airolo Dialekt) und die Kräuter wichtig, aber vielleicht wissen nicht alle, wie wichtig in erster Linie die Mikroorganismen für die Käseherstellung sind! Einige der bekanntesten Bakterien in diesem Prozess sind *Lactococcus lactis*, *Streptococcus thermophilus* und *Lactobacillus helveticus*. Ihre Wirkung zeigt sich besonders deutlich in der ersten Stufe der Verarbeitung von Milch zu Käse, der Fermentation und der Säurebildung. In Käse aus Rohmilch, wie beim Piora-Käse, verursachen die von der Kuh stammenden Bakterien in der Milch die Fermentation noch bevor Lab zugegeben wird. Wird die Milch hingegen pasteurisiert oder sterilisiert, müssen künstlich gezüchtete Milchsäurebakterien hinzugefügt werden, damit die Gärung stattfindet.

Ausgangspunkt Zentrum für Alpine Biologie

MT Beachten Sie auf dem Weg zu andern Beobachtungspunkten des Lehrpfads die seitlich liegenden Grüppchen kleiner gelber Blumen. Diese Pflanze, *Euphorbia cyparissias* oder Zypressen-Wolfsmilch, zeigt eine weitere, sehr interessante mikrobiologische Besonderheit: kleine schwarze Pünktchen auf der Blattunterseite. Es sind die Sporen eines mikroskopischen Pilzes, der die Pflanze besiedelt und sie steril macht, ohne sie jedoch zu töten. Das Verhalten eines Parasiten, der eine Pflanze am Leben hält (wenn auch nur steril) anstatt sie zu töten, lässt keinen Zweifel an den Vorteilen im Gegensatz zu Parasiten, die einen raschen Tod ihres Wirtes verursachen. Dies ermöglicht eine länger dauernde Vermehrung des Parasiten, was diesem erlaubt sich weiter zu verbreiten.

RP Der hier angesprochene Pilz heisst *Uromyces pisi*. Der Unterschied zwischen einer nicht befallenen und einer befallenen *Euphorbia cyparissias* ist leicht zu erkennen. Gesunde Pflanzen entwickeln Blüten, während befallene Pflanzen keine Blüten besitzen, ihr Stängel ist jedoch zwei bis drei Mal länger als normal. Dies wird durch den Pilz verursacht, der den Abbau des Wachstumshormons verhindert. Die Pflanze erhält also weiterhin ein Wachstumssignal (bedingt durch das Hormon), widmet sich nicht der Blütenentwicklung und wird dadurch steril. Im Laufe der Evolution hat *Uromyces* wahrscheinlich die Fähigkeit entwickelt, diese Verlängerung des Stängels zu bewirken. Der Parasit befindet sich damit auf einer Pflanze, die sich von den anderen abhebt. So können die Sporen durch verschiedene Mechanismen, Wind oder Insekten, über grössere Strecken leichter verbreitet werden und weitere Pflanzen befallen.

RB Mittels Fluoreszenzanalysen kann gezeigt werden, dass in der gesunden Pflanze alle Blätter von unten bis oben eine gleiche und hohe Photosyntheseaktivität aufweisen. Bei der infizierten Pflanze sind nur noch die jüngsten Blätter an der Spitze aktiv, die älteren unteren Blätter sind weitgehend geschädigt.

MT Man sollte nochmals betonen, dass im Allgemeinen zu viele Mikroorganismen als schädlich angesehen werden, obwohl viele davon weder Umwelt noch den Menschen belasten! Ihre Anwesenheit ist vielmehr notwendig, um ein stabiles Gleichgewicht zwischen den Organismen in jedem Ökosystem zu sichern.



Die Pilzsporen des mikroskopischen Parasiten, *Uromyces pisi*, auf der Blattunterseite der Zypressen-Wolfsmilch, *Euphorbia cyparissias*.

RP Hier folgt ein weiteres gutes Beispiel. Wenn man vom Zentrum für Alpine Biologie in Richtung Cadagno di Fuori geht, kann man einen Hügel sehen, der an das linke Ufer der Murinaschia grenzt. Die Erde am Nordhang des Hügels verfügt kaum über Stickstoff, ein wichtiges chemisches Element für jedes Lebewesen. Pflanzen können ihn nur über ihre Wurzeln aufnehmen. Dieser Mangel wird durch die lokale Entwicklung einer Symbiose zwischen Pflanzen und Bakterien beispielhaft gefördert. Es sind besondere, Stickstoff fixierende Bakterien, welche die Fähigkeit haben Luftstickstoff zu binden. Dieser ist als solcher nicht nutzbar, aber seine Fixierung (also seine Umwandlung in eine biologisch zugängliche Form) macht ihn für die lebenswichtigen Bedürfnisse der Pflanze verfügbar. Eines dieser Bakterien ist *Frankia alni*, welches am

Nordhang häufig anzutreffen ist. Sie kolonisieren die Wurzeln junger Erlen und bilden kugelige Strukturen entlang der gesamten Wurzel. In diesen Knöllchen findet *Frankia* eine perfekte Umgebung, um auf Kosten der Pflanze zu wachsen und sich zu vermehren. Die Pflanze wird durch diese Fremdbesiedlung nicht beeinträchtigt, im Gegenteil! Besiedlung der Wurzeln mit *Frankia* führt zu einem stärkerem Wachstum; durch die Fixierung von atmosphärischem Stickstoff durch *Frankia* wird der Stickstoffmangel im Boden kompensiert. Es handelt sich um einen echten Vorteil für die Pflanze.

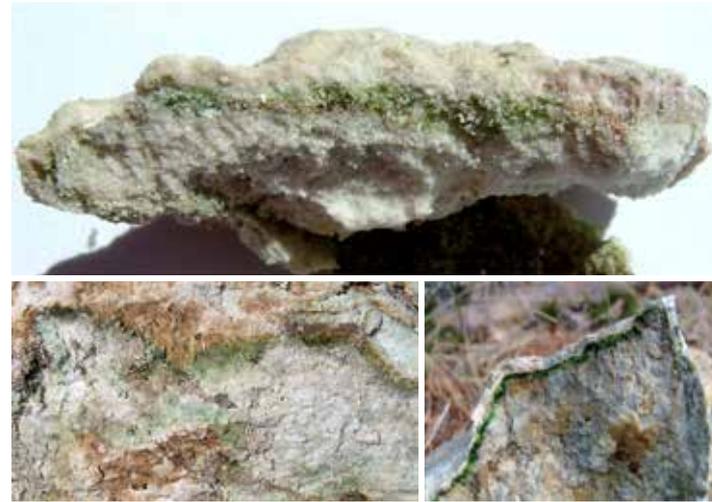


Stickstoff fixierende Bakterien kolonisieren die Wurzeln junger Erlen und bilden Knöllchen (kugelige, klare Strukturen) an den Wurzeln.



RB Wenn man vom Zentrum für Alpine Biologie in Richtung Cadagno di Dentro geht, sieht man rechts, nördlich der Gebäude, eine U-förmige Mulde, das alte Flussbett der Murinascia. Am steilen Hang fallen in den grünen Matten helle, weisse bis gräuliche Felsen auf. Dieses Gestein von poröser Beschaffenheit ähnlich einem Schwamm, ist verwitteter Dolomit oder Rauwacke. Seine poröse Struktur ermöglicht eine leichte Besiedlung durch Mikroorganismen, eine weitere, interessante mikrobielle Lebensgemeinschaft. Es sind endolithische Mikroorganismen, verschiedenste Bakterien und Algen, die wenige Millimeter unter der Felsoberfläche ein eigenes vielfältiges Ökosystem bilden. Zu diesen gehören verschiedene Cyanobakterien, besonders häufig hier sind *Leptolyngbya*, *Nostoc* und *Gloeobacter*. Sie ernähren sich durch Photosynthese. Aus CO_2 und Wasser, die in die Mikro Hohlräume des Gesteins eindringen, werden im Licht organische Stoffe, wie Zucker, gebildet. Die vielen Hohlräume wie auch die feinen Kristallstrukturen des Gesteins ermöglichen, dass das Sonnenlicht einige Millimeter in den Fels eindringt und Photosynthese dort möglich macht. Ausgeschiedene Stoffwechselprodukte der phototrophen Organismen sind schliesslich die Nahrungsgrundlage für die vielen weiteren Bakterienarten in der endolithischen Schicht.

Die Lage dicht unter der Steinoberfläche gibt diesen Organismen die für sie optimalen Vermehrungsbedingungen. Wenige Millimeter tiefer könnte das Licht sie nicht mehr erreichen und Photosynthese wäre nicht mehr möglich. Näher oder auf der Oberfläche wären sie zu stark der alpinen Sonnenstrahlung ausgesetzt.



Drei Beispiele von endolithischer Besiedlung, eine mechanisch erzeugte Bruchfläche zeigt im Querschnitt die grüne Schicht.

Die starke Sonnenstrahlung im Gebirge mit hohem UV-Anteil und die gleichzeitig erhöhten Temperaturen im Stein würden die Organismen massiv schädigen. Zum besseren Überleben auf und in den Steinen bilden Cyanobakterien zuckerähnliche, gel-artige Substanzen (EPS = exopolymere Substanzen). Diese umhüllen die Zellen und ermöglichen, Wasser und Nährstoffe aus der Umgebung der Zellen zu speichern. Im weiteren werden auch Verbindungen gebildet, die als Sonnenschutz das UV filtern, oder schwarze Substanzen, die fast das ganze Lichtspektrum von den Zellen fernhalten.

Um diese Mikroorganismen zu sehen, muss man entweder die relativ weiche Oberfläche des Dolomit abkratzen bis die durch Chlorophyll grün gefärbte Schicht freigelegt ist, oder mit Meißel und Hammer ein Stück der Oberfläche absprengen, wobei ein Querprofil entsteht, wie dies im Bild sichtbar ist. Neben Cyanobakterien kommen auch mikroskopisch kleine Grünalgen und sogar einzellige Tierchen in der Schicht vor, eine richtige in sich geschlossene kleine Lebewelt.

Andere Cyanobakterien leben auf der Oberfläche der Felsen, sie bilden als Sonnenschutz schwarze Pigmente, was als dunkle Flecken oder Streifen auf den hellen Steinen erscheint. An häufig feuchten und steilen Felswänden wird dieser schwarze Bewuchs als Tintenstich bezeichnet.

RP Fels und Schnee sind für das Studium von Mikroorganismen, die unter Grenzbedingungen oder nahe



Nach dem Abschaben der obersten Gesteinsschichten werden die grünen Cyanobakterien und mikroskopischen Algen in der endolithischen Schicht sichtbar.

zu Extrembedingungen leben, besonders interessante Ökosysteme. So können Felsen, die Lebensräume von endolithischen Organismen sind, tagsüber Temperaturen von über 50 °C und in der Nacht den Gefrierpunkt erreichen. Viele andere Mikroorganismen würden unter diesen Bedingungen nicht überleben, daher werden solche Organismen als "Liebhaber extremer Bedingungen" und als damit Extremophile bezeichnet!

Cadagno di Dentro

RP Vor nicht allzu langer Zeit standen auf diesem Gebiet noch mehrere Gebäude, in denen das in der Umgebung gemähte Heu als Tierfutter gelagert wurde. Ich erinnere mich, dass das Heu früher im Winter mit Schlitten über den vereisten Ritomsee nach Altanca transportiert wurde. Heute sind nur diese drei Gebäude erhalten, vor 1951 waren es noch etwa zwanzig.



Mit verschiedenen Flechten bewachsene Fassade eines alten Stalles in Cadagno di Dentro.

Ursache waren die aussergewöhnlichen Bedingungen des Winters 1951, als sich nach starken Schneefällen viele Lawinen lösten, welche die meisten dieser Gebäude zerstörten. Vor kurzem wurde in einer dieser Ruinen ein Fischernetz und ein Fischspieß gefunden, der "Fruscna" genannt wird. Dies zeigt, dass die Menschen hier die Bedeutung von Fisch für ihre Ernährung verstanden hatten, ein für Bergbevölkerungen nicht häufiger Befund!

MT Auf grossen Steinen, die in der Nähe der Gebäuden sind, gibt es eine weitere krustige Flechte von gelblich-grüner Farbe, *Rhizocarpon geographicum*, die Landkartenflechte. Aus etymologischer Sicht



Die Landkartenflechte *Rhizocarpon geographicum*.

deutet der Begriff *geographicum* auf den schwarzen Rand von früheren Landkarten hin. Dieser am Rand des Thallus oder Lagers, des vegetativen Hauptkörpers der Flechte sichtbare schwarze Teil, ist das Prothallium oder Vorlager, es ist der Pilz, der bei einer Gebietseroberung zunächst allein wächst. Die Algen folgen ihm zum Aufbau der Symbiose nach, sobald die Pilzstruktur gross genug ist, sie aufzunehmen. Man erinnere sich daran, dass erst das Vorhandensein der Algen dem Thallus seine typisch grüne Farbe verleiht.

RP Aber wann wurde denn das Dorf gebaut? Die Flechten, insbesondere *Rhizocarpon geographicum*, die das Dach und die Mauern kolonisieren, erlauben eine

Abschätzung, obgleich eine genaue Datierung nicht möglich ist. Nach ungefähr 25 Jahren beginnen die Kolonien zu wachsen und ihr Durchmesser nimmt zeitlich linear zu. Die Wachstumsrate ist in Piora nicht genau bekannt, dürfte erfahrungsgemäss aber bei etwa $\frac{1}{4}$ mm pro Jahr liegen. Wenn man isolierte Einzelkolonien mit einem Durchmesser von 2.5 cm findet, müssten diese dann ungefähr 100 Jahre alt sein. Man kann Kolonien solcher Grösse im nahen Cadagno di Dentro auf Blöcken beobachten. Auf den Dächern von Cadagno di Dentro kann der Durchmesser der einzelnen Kolonien nicht mehr gemessen werden, denn diese berühren und hemmen sich gegenseitig im Wachstum. Bei den ungestörten Kolonien bedeutet dies, dass ihr Wachstum vor der Mitte des 19. Jahrhundert begann.



Das Moor Cadagno di Fuori ist auf Bundesebene geschützt. Einige schöne Farben sind auf die Aktivität von Mikroorganismen zurückzuführen.

Cadagno di Fuori



MT

Das Moor westlich des kleinen Dorfes Cadagno ist ein herausragendes Beispiel dafür, wie eine bakterielle Besiedelung unter besonderen Bedingungen, z. B. in diesem Feuchtgebiet ablaufen kann. Hier begünstigen das im Moor vorhandene organische Material und die Sulfat einspeisenden Quellen die Entwicklung von geschichteten Bakterienmatten, wo verschiedene Populationen von Mikroorganismen horizontal übereinander liegen. Dieses Phänomen ähnelt der Schichtung im Cadagnosee, wenn auch in stark verkleinertem Massstab. Diese Bakterienmatten zeigen eine gelb-braune Oberfläche, dessen Farbe durch Eisenausfällungen und



Querschnitt durch eine Matte, die aus verschiedenen Gemeinschaften, vertikal übereinander liegenden Mikroorganismen geformt ist: Diatomeen (mikroskopische Algen), Cyanobakterien, Purpurbakterien und Sulfat-reduzierenden Bakterien.

besondere Mikroorganismen, Diatomeen oder Kieselalgen, bestimmt wird. Diese gehören zur artenreichen, systematischen Kategorie der Algen. Sie zeigen an ihren Oberflächen faszinierende Mikrostrukturen, die an verzierte Glasgefäße erinnern (siehe Abbildung auf Seite 20). Ihre charakteristische braune Farbe beruht auf besonderen Carotinoiden, die Schutz vor übermässiger Lichteinstrahlung bieten. Wenige Millimeter unterhalb der Diatomeen-Schicht finden wir Schichten von Cyanobakterien und Purpurbakterien, die das Sonnenlicht zur Photosynthese nutzen. Dank spezieller Laborgeräte ist es möglich, die Konzentrationen von Sauerstoff in den verschiedenen Schichten zu messen und so die photosynthetische Aktivität der Mikroorganismen abzuschätzen. Gelegentlich können Purpurbakterien als homogene tiefrote Flecken direkt an der Oberfläche der Matten beobachtet werden. Ganz unten liegt eine Zone mit Sulfat-reduzierenden

Bakterien. Sie nutzen das Sulfat aus den Schwefelquellen für ihren Stoffwechsel; als Endprodukt wird Sulfid freigesetzt. Dieses verschiebt sich zur Oberfläche, wo es bei Kontakt mit Luft zu festem Schwefel oxidiert wird, der als weisse oder gelbe Ablagerungen gut sichtbar ist.

RP An dieser Stelle beobachten wir auch Blasen, die von Zeit zu Zeit an die Oberfläche steigen und deutlich nach Schwefelwasserstoff riechen. Es sind Methanblasen, die durch Methan-bildende Organismen, sogenannte Methanogene, verursacht werden. Diese Organismen werden häufig in Sedimenten und Böden gefunden, in denen eine Zersetzung von organischem Material in Abwesenheit von Sauerstoff stattfindet. Solche methanogenen Mikroorganismen sind auch dominant im Verdauungssystem von Wiederkäuern. Ihnen ist es zu verdanken, dass die Kühe in Piora die Pflanzenteile verdauen können.

RB An der Wasseroberfläche können Sie auch scheinbar ölige Flecken entdecken, die Spuren eines anderen Bakteriums, von *Nevskia ramosa*. Dieses Bakterium bildet verzweigte, rosettenartige Strukturen von wasserabstossenden Kolonien an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft (das heisst, dass diese sich nicht wie Plankton im Wasser verteilen können). Die zum Wachstum nötigen stickstoffhaltigen Substanzen, die im sauren Wasser des Moores fehlen, muss *Nevskia* aus der Luft aufnehmen. Das Bakterium schwimmt daher auf der Oberfläche. Dabei setzt sich das Bakterium starker UV-Strahlung aus, die seine DNA beschädigen und damit zum Tod führen könnte. *Nevskia ramosa* besitzt ein besonders aktives DNA-Reparatursystem, so dass sich dieser Organis-

mus für auch längere Zeit der UV-Strahlung aussetzen kann, ohne dass seine Existenz gefährdet ist. Wie bei den endolithischen Bakterien, von denen wir vorher gesprochen haben, handelt es sich auch hier um einen Mikroorganismus, der unter extremen Umweltbedingungen lebt, hier übermäßige UV-Strahlung, und daher zu Recht der Gruppe der extremophilen Mikroorganismen zuzurechnen ist.



Die Bakterien *Nevskia ramosa* bilden an der Wasseroberfläche ölige Flecken.

4. Auf Wiedersehen Piora!

KB Damit sind wir also am Ende unseres kleinen Abenteuers angelangt! Wir hoffen, Sie konnten selbst feststellen, dass die vielfältige Welt der Mikroorganismen überall um uns herum existiert und keine Mikroskope oder teure Laborgeräte erforderlich sind, um ihren Spuren zu folgen. Es reicht aus, die Augen offen zu halten und neugierig zu sein, um die breite Diversität an Bakterien, Flechten und anderen Mikroorganismen wahrzunehmen, die in der einmaligen Umgebung des Pioratals vorkommen.

RB Es erwartet uns in der Mikrobiologie unserer Umwelt noch eine Menge Arbeit, die wir im Laufe der Jahre fortsetzen werden; sie könnte sehr erleichtert werden, wenn zukünftige Generationen mehr Interesse an der Welt der Mikroorganismen und der sie umgebenden Natur hätten. Wir beginnen erst, an der Oberfläche einer verborgenen Welt zu "kratzen", von der wir uns viele neue Erkenntnisse über die Beziehungen zwischen Umwelt und Mikroorganismen versprechen.

MT Wir hoffen, dass Sie unsere schöne Gegend erneut besuchen werden und nicht vergessen, dass in dieser uns verborgenen Welt erstaunliche Entdeckungen auf diejenigen warten, die wissen, wo sie suchen müssen.

5. Nützliche Informationen

Zufahrt zum Pioratal, Fahrpläne und Preise der Seilbahn, Aktivitäten in der Region:

Funicolare Ritom SA
T +41 (0)91 868 31 51
info@ritom.ch
www.ritom.ch

Aktivitäten des Zentrums für Alpine Biologie der Piorastiftung, Link zum Downloaden der Broschüre, Kalenderdaten für den "Tag der offenen Tür", allgemeine Informationen:

Fondazione Centro
Biologia Alpina
www.cadagno.ch

Informationen und Aktivitäten für Lehrer, Link zum Herunterladen der Lehrpfad-Broschüre:

www.bioutils.ch/ticino

Berghütten und Restaurants, Übernachtungsmöglichkeiten und den Bezug der Lehrpfad-Broschüre:

Öffnungszeiten im Sommer,
von Ende Mai bis Mitte Oktober
(je nach Wetterlage)

Capanna Cadagno
T +41 (0)91 868 13 23
info@capannacadagno.ch
www.capannacadagno.ch

Canvetto Cadagno
T +41 (0) 91 868 16 47
info@canvettocadagno.ch
www.canvettocadagno.ch

Rifugio Ristorante Lago Ritom
T +41 (0)91 868 14 24
contact@lagoritom.ch
www.lagoritom.ch

Sonstige Exkursionen und touristische Aktivitäten in der Region:

www.bellinzoneese-altoticino.ch
www.ticino.ch

Wichtig – für Mobilgeräte: oberhalb des Ritomdammes ist kein Funknetz mehr verfügbar.

6. Referenzen

Weiteres Material über die Mikrobiologie vom Pioratal:

Bachofen R., Brandl H. (2007)
Val Piora – ein mikrobiologischer Feldführer.
In Peduzzi R., Tonolla M. und Bucher-Rodoni R.,
Milieux alpins et changement global. Documenta
Centro Biologia Alpina 4/Vol. 1 : 73-97.

Peduzzi R., Bachofen R. & Tonolla M. (1998)
Lake Cadagno: a meromictic alpine lake.
Documenta Ist. Ital. Idrobiol. 63, 152 pp.

Die Dokumentation kann unter www.cadagno.ch
("Area Documenti") heruntergeladen werden.

Weitere Details über die Natur des Pioratals, zur Fauna, Flora, Ökologie und Geologie der Region:

Peduzzi R., Wildi W. (2015)
Piora – Lago di Cadagno – Ritóm: Guide nature et environnement (de, fr, it).

Link zum Herunterladen:

www.cadagno.ch/
www.unige.ch/forel/fr/services/guide/piora/

Projektgruppe:

Massimo Caine,
Aurélia Weber
(Universität Genf)

Raffaele Peduzzi
(Stiftung "Zentrum für
Alpine Biologie")

Mauro Tonolla
(SUPSI, Stiftung
"Zentrum für Alpine
Biologie" und
Universität Genf)

Reinhard Bachofen
(Universität Zürich)

Cristina Frago-Corti
(SUPSI)

Patrick Linder,
Karl Perron
(Universität Genf)

Danksagungen:

Giovanni Pellegrini
(Ideatorio, USI)

Daniele Sartori
(Büro für Mittelschulen
des Tessins)

Patrick Viollier
(Universität Genf)

Unterstützung der Kommunikation und Design:

Andrea Delucchi,
Giancarlo Gianocca,
Luca Morici und
Giovanni Occhiuzzi
(SUPSI, Laboratorio
cultura visiva)



Das Pioratal (Val Piora) ist eines der grossartigsten Täler im Tessin und berühmt für seine Artenvielfalt und seine zahlreichen Seen. Seit über 200 Jahren haben Touristen und Wissenschaftler das Tal besucht und erforscht, und aus dieser einmaligen Situation Nutzen gezogen. Damit dieses beispiellose Tal erhalten bleibt, ist es wichtig, die in ihm vorkommenden Lebensgemeinschaften wie auch die Umwelt, inder diese sich entwickeln, zu kennen und zu schützen.

