

Wie funktioniert ein Ökosystem?



© Prof. Dr. Erwin Beck

Alfredo Martinez schlägt einen Pfad durch den Adlerfarn. Der ecuadorianische Doktorand betritt eine aufgegebene Weide.

Dieses Vorhaben ist anders. "Ein Pilotprojekt, wohin man auch schaut", bringt es der Sprecher der Forschergruppe Prof. Dr. Erwin Beck auf den Punkt. Bei der Ökosystemanalyse betreten die Wissenschaftler Neuland und nähern sich den komplexen Zusammenhängen von den verschiedensten Seiten: So arbeiten nicht nur Boden- und Vegetationskundler, Mykologen, Tier- und

Der tropische Bergregenwald Ecuadors ist einer der artenreichsten Flecken der Erde. Durch den gängigen Landbau der wachsenden Bevölkerung wird er jedoch mehr und mehr gerodet. Die größte Forschergruppe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) untersucht daher, wie dieser Bergregenwald als Ökosystem funktioniert. Darauf aufbauend will die Gruppe in Kooperation mit Einheimischen nachhaltige Nutzungsstrategien entwickeln. Spektrum stellt das Gesamtprojekt vor und sprach mit den sieben beteiligten Bayreuther Projektleitern.

Pflanzenökologen zusammen, sondern auch Bodenphysiker, Biogeographen, Forst- und Klimawissenschaftler.

Im Ecuadorianischen Regenwald wollen die Forscher die wichtigsten Fragen aus dem Blickwinkel ihres Fachgebietes klären. Doch nicht nur das. Beispielsweise untersuchen die Systematiker neben den Bäumen ihres Interessensschwerpunktes auch solche, die für andere Arbeitsgruppen wichtig sind (siehe Interview mit Prof. Liede).

Schwieriges System

Das Besondere: Fast alle 29 Teilprojekte werden auf denselben Flächen durchgeführt. Somit sei es erstmals möglich, die Ergebnisse direkt aufeinander zu beziehen, sagt Beck. Das ist gut, denn "das Ökosystem, das wir uns da ausgesucht haben, ist sicherlich eines der schwierigsten". Bislang würden nicht selten Daten aus verschiedenen Ländern kombiniert, was natürlich problematisch sei. Auch das Interpretieren der Ergebnisse ist leichter. So können

Botaniker allein nicht aufklären, warum sie in einem Jahr fertile und im anderen keimunfähige Baumsamen ernteten (siehe Interview mit Prof. Beck). Durch die Zusammenarbeit mit den Klimatologen kann nun analysiert werden, ob vielleicht der Witterungsverlauf dafür verantwortlich war.

Datenbank statt Datenfriedhof

Die Wissenschaftler kooperieren noch weitergehend: "Wir wollen ein besonderes Informationssystem aufbauen", sagt Beck. Damit "die Datenbank nicht zum Datenfriedhof wird", sollen die Forschungsergebnisse so aufbereitet werden, dass fachfremde Forscher sie nutzen können. Um die Ursache für die unfruchtbaren Baumsamen zu finden, sollen beispielsweise die Wetteraufzeichnungen in der Form an die Datenbank weitergegeben werden, dass die Botaniker damit etwas anfangen können. Auch diese intensive Kooperation habe es seines Wissens in einer Forschergruppe noch nicht gegeben, hebt Beck hervor.

[Die Autorin Dr. Esther Schwarz-Weig ist Dipl. Biologin und Fachzeitschriftenredakteurin. Sie arbeitet als freie Medizin- und Wissenschaftsjournalistin.]



© Prof. Dr. Klaus Müller-Hohenstein

Im Untersuchungsgebiet der Forschergruppe liegt der Primärwald (auf den Bergen im Hintergrund) den Viehweiden (im Vordergrund) direkt gegenüber.

Andere Gesetze

Er ist sich ferner bewusst, dass die DFG mit der Finanzierung dieses Projektes auch ein Risiko eingegangen sei, da sie erstmals eine Forschergruppe im Ausland fördere, wo andere Gesetze gelten, Wechselkurse schwanken und die Wissenschaftler sich die Akzeptanz für ihre Vorhaben erst erwerben müssen.

Gegründet wurde die Forschergruppe mit dem Titel: "Funktionalität in einem tropischen Bergregenwald Südecuadors: Diversität, dynamische Prozesse und Nutzungspotentiale unter öko-

Lernen vom natürlichen System

Spektrum sprach mit Prof. Dr. Christof Engels und Dipl.-Ing. agr. Nathalie Soethe von der Abteilung Agrarökologie über Wurzelarchitektur und Schraubenzieher

Herr Professor Engels, was treibt einen Agrarökologen in den Regenwald, um dort Baumwurzeln anzuschauen, die nicht landwirtschaftlich genutzt werden?

Engels: Langfristig möchten wir Nutzungsstrategien entwickeln, die wesentliche Elemente des Ökosystems erhalten, wie beispielsweise Nährstoffkreisläufe. Das können wir aber nur, wenn wir wissen, wie das System funktioniert, solange es ungenutzt ist. Insofern muss ein Agrarökologe zuerst analysieren, wie ein natürlicher Wald aussieht, denn wir gehen davon aus, dass sich dort Wurzelsysteme ausbildeten, die besonders günstig waren und davon wollen wir lernen.

Frau Soethe, für Ihre Doktorarbeit graben Sie Baumwurzeln aus. Dauert das lange, weil Sie wie Archäologen mit einem Pinsel arbeiten?

Soethe: Nein, ich benutze meist einen Schraubenzieher. Wenn ich einen repräsentativen Teil der Grobwurzeln eines ganz bestimmten Baumes ausschachte, brauche ich zwei Tage und für das Vermessen noch mal zwei bis vier Tage. Diese Einzelbaumanalysen interessieren uns in Bezug auf die Wurzelarchitektur. Wenn wir jedoch die Feinwurzelbiomasse des Bestandes messen wollen, stechen wir Bodenzylinder aus. **Wozu sind die Wurzeln wichtig?**

Engels: Sie spielen eine wesentliche Rolle für die Stabilität der Wälder, deren Versorgung mit Wasser und Nährstoffen und für die Zirkulation von Nährstoffen im Ökosystem.

Es geht also auch darum, wie viel Nährstoffe können die Bäume im System festhalten?

Engels: Richtig. Uns interessiert, wie verändert sich die

Nährstoffaufnahme-fähigkeit mit zunehmender Bodentiefe. Das ist wichtig, um zu wissen, wie viel Bodenvolumen steht für die Nährstoffversorgung zur Verfügung und ab welcher Bodentiefe werden die Nährstoffe nicht mehr von den Bäumen aufgenommen, sondern nach unten ausgewaschen.

Soethe: Dazu bestimmen wir einerseits die kritische Wurzeldichte, also die Feinwurzeldichte, die vorhanden sein muss, damit keine wesentlichen Nährstoffauswaschungen stattfinden. Und zum anderen messen wir direkt die Nährstoffaufnahme-fähigkeit mit schwerem Stickstoff, also einem Nährstoff der Bäume, dem natürlichen Isotop ^{15}N .

Was schätzen Sie an dieser Arbeit?

Engels: Mir macht gerade als Agrarökologe dieses Projekt viel Spaß, weil ich mit ganz neuen Fragestellungen konfrontiert werde. Außerdem komme ich mit Kollegen anderer Fachgebiete zusammen und lerne deren Blickrichtung und Arbeitsweisen näher kennen. Das ist besonders schön. ■



© Nathalie Soethe

Auf 3100 m Höhe markiert ein Mitarbeiter der Station die Wurzeln des Styrax- und des Weinmannia-Baumes mit Farbe, um die Wurzelarchitektur zu ermitteln. Der feuchte Boden verschlammte manchmal die Wurzeln und macht die Finger klamm.



Regenwaldbewohner: Epidendron-Orchidee

systemaren Gesichtspunkten" im Jahr 2000. 17 Forschungsprojekte waren es in der ersten Phase, nun, nach zwei Jahren, sind es 24, von denen manche unterteilt sind: Es resultieren 29 Einzelprojekte. Dieser Umfang einer DFG-Forschergruppe sei neu, sagt Beck.

Meist, erklärt Dr. Roswitha Schönwitz, eine Programmdirektorin der DFG "sind bis zu acht Projekte vereint". Die Größe dieser Forschergruppe sei vor allem auf die Komplexität des Themas zurückzuführen. Trotz der Vielfalt bedauert Beck das Fehlen von

Bodenmikrobiologen oder weiterer Entomologen. "Wir hätten gerne doppelt so viele Disziplinen."

Steilhänge, Erdrutsche und Biodiversität

Doch warum interessiert die Forscher gerade ein Regenwald Südecuadors, wo sie mit Steilhängen und Tropenklima konfrontiert sind und wo die Forschungsstation oft tagelang unerreichbar ist, weil die Wege durch Erdrutsche verschüttet sind? Zum einen sind Bergregenwälder noch weitgehend unerforscht im Gegensatz zu tropischen Tieflandregenwäldern. Zum anderen suchten sich die Wissenschaftler einen "hotspot" aus. "Hotspots sind diejenigen Gegenden unseres Planeten mit besonders hoher Biodiversität", erklärt Beck. Und die südecuadorianischen Anden zählen zu den artenreichsten Flecken der Erde, wie es die Weltkarte der Biodiversität zeigt (siehe [www-Link](#)) und wie es die Ergebnisse von Professor Fiedlers Mitarbeitern bestätigen (siehe Interview).

Mehr als 90% verloren

Doch gerade dieses Ökosystem wird zunehmend zerstört. Zwar ist das Bewusstsein der Menschen über die ernstesten Konsequenzen der Regenwaldzerstörung gewachsen. Das hat sich bislang jedoch kaum ausgewirkt, schließlich muss sich die stetig wachsende Bevölkerung ernähren. Da Ecuador zu den dicht besiedelten Andenstaaten zählt, ist der Regenwald dort viel stärker bedroht als beispielsweise die Wälder Amazoniens. Mehr als 90% des nordandinen Regenwaldes sind bereits verloren, als Folge der gängigen Wirtschaftsweise.

Unkraut gewinnt

Neue Felder und Weiden gewinnen die Bauern durch Brandroden. Zwischen den verkohlten Baum-

Der Inhalt des Regens

Spektrum sprach mit PD Dr. Wolfgang Wilcke über Nährstoffbilanzen und die Wege des Wassers

Herr Dr. Wilcke, Sie weilen Dank eines Heisenbergstipendiums an der TU Berlin und leiten Ihr Ecuador-Projekt zusammen mit Prof. Dr. Wolfgang Zech vom Lehrstuhl Bodenkunde. Seit 1997 untersuchen Sie kontinuierlich den Boden. Reicht es nicht, die Parameter nur einmal zu bestimmen?

Nein, denn bislang gibt es keine langfristigen Untersuchungen über die Dynamik tropischer Waldökosysteme. Wir wissen unter anderem nicht, wie sich Klimaschwankungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt auswirken. El Niño entfacht beispielsweise regelmäßig Waldbrände im Amazonasbecken, deren Emissionen mit dem Wind in den von uns untersuchten Bergwald eingetragen werden.

Und Sie schauen was im Wald in Ecuador ankommt?

Neben anderem. Wir untersuchen den Ökosystemhaushalt von etwa 10 Hektar großen Wassereinzugsgebieten. Dazu messen wir die Inhaltstoffe des Regens und des Niederschlages, des im Boden fließenden Wassers des Bachwassers und quantifizieren ihre Flüsse. Außerdem erfassen wir die räumliche Verteilung der chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften.

Welche Aussagen sind damit möglich?

Die Wasser- und Stoffflüsse eines Ökosystems reagieren empfindlich auf Veränderungen und zeigen eine Störung bereits an, lange bevor sie sich auf die Vegetation oder den Boden auswirken. Wir wollen feststellen ob die wenigen Bergwaldreste bereits anthropogen beeinflusst sind und außerdem die wichtigsten Funktionen dieses Ökosystems verstehen.

Dazu erstellen Sie auch Nährstoffbilanzen. Wir untersuchen alle Ein- und Austräge

kleiner Wassereinzugsgebiete. In diese Einzugsgebiete gelangen Stoffe über Regen, Staubdeposition oder Nebel. Stoffe gehen über Bodenerosion oder Oberflächenabfluss verloren. Wir können dann beurteilen, in welchem Zustand sich das Ökosystem befindet. Ein Naturökosystem weist kaum Differenzen zwischen Ein- und Austrägen auf. Nährstoffanreicherungen oder -verluste können dagegen zu Veränderungen der Vegetation und letztendlich zum Verlust wichtiger Funktionen des Bergwaldes führen.

Zur Wasserflussanalyse sammeln Sie Regenwasser, messen den Wassergehalt des Bodens und den Pegelstand im Bach. Was können Sie aus diesen Ergebnissen schlussfolgern?

Der von uns untersuchte Bergregenwald weist eine hohe "Interzeptionsverdunstung" auf, das heißt Regenwasser wird von der Waldkrone aufgefangen und verdunstet wieder, bevor es auf den Boden gelangt. Würde der Wald gerodet, würde mehr Wasser auf den Boden gelangen, wodurch die Bodenerosion verstärkt wird. ■



Mit dem "Rutschpark" sammeln Bodenkundler den Bestandsniederschlag. Durch den Vergleich mit Proben aus Einzelsammlern können sie herausfinden, welche der beiden Methoden repräsentative Werte liefert.



Das Aquarell von Dr. Gunnar Brehm zeigt *Anischnopteris chryses*, einen der über 1000 Spannerarten (Geometridae), die die Forscher auf nur einem Berg im ecuadorianischen Regenwald fanden.

stämmen ziehen sie Bohnen oder Mais und immer wieder legen sie Feuer bis die umgehauenen Stämme schließlich zerfallen. Nach nur ein oder zwei Ernten pflanzen die Einheimischen ein mit Hirse verwandtes Gras, das schon nach einem Jahr beweidet werden kann. Die Haustiere fressen jedoch nur die zarten Blattspitzen. Damit rasch neues Weidegrün nachwächst, wird das Gras immer wieder abgebrannt. Dadurch gewinnt ein aggressives Unkraut zunehmend die Oberhand: Der Adlerfarn. Er verbreitet sich mit seinen Ausläufern schnell im abgebrannten Terrain und schießt schneller als das Gras in die Höhe, dessen Vitalität durch das wiederholte Brennen mehr und mehr schwindet. Schließlich geben die Viehhalter die mit Adlerfarn überwucherten Weiden auf. Das nächste Waldstück fällt den Flammen anheim.

"Eine tolle Möglichkeit"

Um die einzigartige Biodiversität der Wälder zu erhalten, wollen die Wissenschaftler daher nachhaltige Nutzungsstrategien entwickeln. Doch dazu muss zunächst das Ökosystem verstanden und mit anthropogen beeinflussten Flächen verglichen werden (siehe Interview Prof. Engels und Dipl.-Ing. Soethe). Die Forschergruppe wählte dazu das steile Tal des Rio San Francisco zwischen den Provinz-

Herr Professor Fiedler, gibt es im ecuadorianischen Regenwald mehr Nachtfalter als in Deutschland?

Herr Dr. Brehm hat für seine Dissertation nur die Spanner, das sind Nachtschmetterlinge der Familie Geometridae, erfasst und fand im Untersuchungsgebiet mehr als 1000 verschiedene Arten. Auf diesem einen Berg kamen damit 100 Spannerarten mehr als in ganz Europa vor! Eine solche Artenvielfalt ist weltrekordverdächtig. Für die Spanner sind diese Bergwälder mit ihrem unfreundlichen, kühlen Klima eindeutig ein Paradies.

Es gibt also nirgendwo eine ähnliche Artenvielfalt?

Unser Untersuchungsgebiet ist bezüglich der Spanner der "hottest hotspot", den man bislang fand; es gibt nirgends auf vergleichbar kleiner Fläche genauso viele Arten. Aber nicht allein die Artenzahl, sondern auch wissenschaftliche Diversitätsindizes hatten eine Größenordnung, die man bislang nicht einmal von tropischen Tieflandwäldern - beispielsweise der Insel Borneo - kannte.

Waren alle diese Arten schon bekannt?

Nein. Es war außerordentlich mühsam, die fast 14.000 gesammelten Spanner zu sortieren und zu bestimmen, da es kein aktuelles Buch über die Nachtfalter Ecuadors gibt. Und so musste mein Doktorand mit Hilfe großer Referenzsammlungen der Museen in München, London und in den USA sowie durch intensive Literaturrecherche versuchen, die Tiere soweit wie möglich zu klassifizieren. Das allein hat fast 2 Jahre gedauert! Schließlich gelang es ihm, bei etwa 700 der insgesamt mehr als 1000 Arten den wissenschaftlichen Namen herauszufinden.

Heißt das, die restlichen sind bislang unbekannt?

Ja, sie sind als morphologisch eindeutige Arten charakterisierbar und sind nach unserem jetzigen Wissensstand noch nicht beschrieben. Somit sind 300 Arten und damit fast ein Drittel der Spanner im ecuadorianischen Bergwald für die Wissenschaft wahrscheinlich neu!

300 neue Nachtfalter

Spektrum sprach mit Prof. Dr. Konrad Fiedler vom Lehrstuhl Tierökologie über einen Weltrekord und die Bedeutung der Biodiversität

Wie wichtig ist der Erhalt dieser enormen Artenvielfalt?

Ich möchte gerne provokant antworten: Aus ökonomischer Sicht ist es wahrscheinlich überhaupt nicht wichtig, ob in diesem Gebiet 1000, 500 oder nur 100 Spannerarten vorkommen, weil sie wohl keinen direkten Nutzen für die Menschen bringen. Für mich als Grundlagenforscher ist es aber primär wichtig zu fragen, warum ausgerechnet dort so viele Arten vorkommen und warum die Falter dort alle gemeinsam existieren können.

Hat die Artenfülle dann überhaupt eine Bedeutung?

Es gibt zwei Gründe, warum Artenvielfalt wichtig ist. Wir können erstens nicht prognostizieren, ab welchem Artenverlust ein Ökosystem zusammenbricht. Organismen sind die Funktionsträger in Ökosystemen. Wenn Sie eine oder fünf Arten herausnehmen, funktioniert das System wohl noch, aber wir wissen nicht, wo die Grenze liegt, ab wann es nicht mehr funktioniert. Als Evolutionsbiologe macht mir auch der zweite Grund Sorgen: Wo viele verschiedene Arten leben, kann ein Ökosystem auf Veränderungen der Umwelt reagieren, weil einige der Arten besser darauf reagieren können als andere und deshalb überleben, mitsamt den Funktionen, die sie im Ökosystem haben. So ist die Evolution seit Jahrmillionen abgelaufen. Wenn wir aber eine Vielzahl der Arten für immer und in bisher nie dagewesener Geschwindigkeit ausradieren, womit wir deren Genome irreversibel verlieren, nimmt auch das Entwicklungspotential und die Regenerationsfähigkeit eines Ökosystems ab. ■



Um die Nachtfalter zu fangen und deren Diversität zu ergründen, locken die Forscher sie mit Lichtfallen aus dem Dunkel des nächtlichen Regenwaldes.

© Dr. Dirk Süßenbach

Dringt der bräunliche Adlerfarn in die saftig grünen Weideflächen ein, müssen sie bald aufgegeben werden. Links und rechts am Hang sind frisch gebrannte Flächen. Schon zwei bis drei Wochen nach dem Abfackeln kann sich ein geschlossenes Adlerfarn-Dach ("Canopy") bilden.



hauptstädten Loja und Zamora aus. Während dessen Südflanke weitgehend Naturwald trägt, der sich über 2000 m Höhe erstreckt, wird die Nordflanke seit Jahren von den "Colonos", eingewanderten Kleinbauern, genutzt. "Eine tolle Möglichkeit für die Ökosystemforschung" so Beck, sei nicht nur das Gegenüber nativen Waldes und genutzter Flächen, sondern auch das Logistische

Zentrum der Forschergruppe, die Forschungsstation "Estación Científica San Francisco" (ECSF). Sie wurde von "Nature and Culture International" (NCI, San Diego, USA) aufgebaut und beherbergt 33 Arbeits- und Schlafplätze. NCI ist die Stiftung des Amerikaners Ivan Gayler, eines betuchten Geschäftsmannes, der das Land kaufte, die Station errichtete und den Forschern anbot, dort zu arbeiten.

Frühaufsteher

Spektrum sprach mit Prof. Dr. Klaus Müller-Hohenstein (emerit.) vom Lehrstuhl Biogeographie über Schluchtwälder und Baumläufer

Herr Professor Müller-Hohenstein, wieso gehen Ihre Mitarbeiter und Sie mittags ins Bett, wenn sie auf der ECSF-Station arbeiten?

Das liegt an unserer Fragestellung. Wir wollen wissen, welche Beziehung zwischen den Vegetationsstrukturen und den Vogelgemeinschaften bestehen. Und wer mit Vögeln arbeitet, muss sehr früh aufstehen.

Wann denn?

Mein Doktorand ist immer um 3 Uhr losgezogen, um bereits mit den ersten Sonnenstrahlen an derjenigen Stelle im Wald zu sein, wo er die Vögel am Gesang erkennen oder mit Netzen fangen wollte. Wenn er mittags wieder zurückkam, hat er erst mal geschlafen und abends seine Ergebnisse ausgewertet.

Um die Beziehungen der Vögel zu den Pflanzen beschreiben zu können, haben Sie in vorangegangenen Arbeiten zunächst die einzelnen Vegetationstypen klassifiziert.

Wie sehen diese aus?

Wir fanden native Wälder, die wir beispielsweise als mehrstöckigen Schluchtwald oder als Gratwald bezeichneten. Ein Schluchtwald hat sehr viele einzelne Vegetationsetagen und liegt in den tiefen Kerb-Tälern, wo es sehr viel feuchter und schattiger ist, als in einem Gratwald, der oben auf dem Kamm eines Berges entlangläuft. Dort ist die Sonneneinstrahlung

nämlich viel intensiver. Wir haben aber auch die Vegetationsstrukturen bis in die Agrarlandschaft hinein

untersucht. In der Kulturlandschaft gibt es beispielsweise Weiden mit Einzelbäumen oder Täler mit Buschreuten sowie Hausgärten mit Blumen und Gemüsepflanzen.

Und dann haben Sie analysiert, welche Vögel dort vorkommen?

Ja, wir haben die Vogelgemeinschaften vom Wald bis auf die Wiesen und Gärten verfolgt, vom Kolibri, über Baumläufer bis hin zu den Tukanen.

Was haben Sie und Ihre Mitarbeiter herausgefunden?

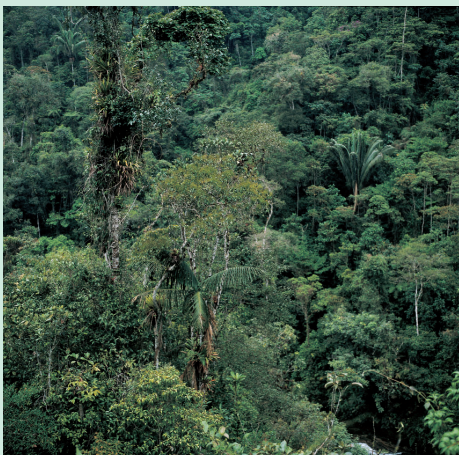
Wir haben unsere Hypothese bestätigen können, dass in den vom Menschen "gestörten Wäldern" - und dazu gehören nach unserer Definition auch die Hausgärten - die Vogelgemeinschaften in gleichem Maße wie die Waldgesellschaften verarmen.

Welches Ziel möchten Sie mit Ihren Forschungen erreichen?

Wir wollen gute Argumente finden für den Schutz der Primärwälder, um das Votum der Politiker zu bekommen. Man muss den Leuten zeigen, was sie durch ihre Bewirtschaftungsweise unwiederbringlich verlieren.

Reicht das?

Nein, wir sind zwar auch auf Schutzgebiete aus, aber man kann auch versuchen den Ecuadorianern, die von den Wäldern leben müssen, einen zweiten Weg in die Hand zu geben, nämlich diese Ressource sinnvoller zu nutzen. Das heißt die Nutzung auf Nachhaltigkeit anzulegen. ■



Wird der Primärwald (links) mit epiphytischem Baumbewuchs gerodet, erodiert das Land und die Biodiversität (rechts).

© (beide) Prof. Dr. Klaus Müller-Hohenstein



Um den Duft der Blüten zu analysieren, saugt eine Blütenduftkonzentrierungsapparatur die umgebende Luft ab.

Der Duft der Lianen

Spektrum sprach mit Prof. Dr. Sigrid Liede vom Lehrstuhl Pflanzensystematik über pflanzliche Konkurrenz und Kooperation

Frau Professor Liede, Sie analysieren die Reproduktionsbiologie der Pflanzen. Warum?

So können wir zum Verständnis des gesamten Ökosystems beitragen. Es interessiert uns vorrangig, wie Pflanzen und Tiere zusammen leben - oder genauer - welche Tiere bestäuben welche Pflanzen und sichern damit ihren Fortbestand?

Zum Beispiel?

Wir haben einen Baum namens *Isertia laevis* untersucht, der eigentlich typische Nachtfalter-Blüten hat, weil sie weiß sind, eine lange Röhre haben und erst abends anfangen zu duften. Zu unserer Überraschung kamen nur wenige Nachtfalter aber dafür viele tagaktive Kolibris. Beide Tiere tragen nun gleich viel zum Samenansatz bei, woraus zu schließen ist, dass hier Nachtschwärmer effektivere Bestäuber sind als Kolibris.

Wie finden Sie heraus, wann eine Blüte duftet?

Wir haben eine ganz neue Methode entwickelt. Mit sehr kleinen Kapillaren saugen wir die Luft, die um die Blüte ist, zwei Minuten lang mit einer Pumpe ab und untersuchen dann die absorbierten Moleküle gaschromatographisch und massenspektrometrisch. Wenn wir das mehrmals machen, können wir den Duftrythmus einer Einzelpflanze und einer ganzen Population erschließen.

Duftrythmus?

Ja, es gibt beispielsweise Pflanzen, die fangen immer abends Punkt acht Uhr an zu duften. Und es ist besonders spannend zu analysieren, ob die Rhythmen von Pflanzen derselben Art übereinstimmen oder nicht. Für eine Pflanze ist es ja vorteilhaft, wenn sie zum Befruchten solche Bestäuber anlocken kann, die Pollen der eigenen Art mitbringen und nicht die artfremder Blüten.

Das heißt, Sie interessiert auch das Zusammenleben der Pflanzen untereinander,



© Prof. Dr. Sigrid Liede

also wer kooperiert mit wem und wer konkurriert mit wem. Dazu legen Sie so genannte Phänologiepfade an. Was ist das?

Um die Phänologie zu beschreiben, also wann Pflanzen blühen, fruchten, Blätter bilden oder abwerfen, suchen wir uns Individuen aus, markieren sie und protokollieren in einer Langzeitstudie deren Verhalten. Der Pfad mit den Pflanzen wird alle 14 Tage abgegangen. So können wir beispielsweise erkennen, welche Arten gleichzeitig blühen und somit um Bestäuber konkurrieren.

Welche Pflanzen sind das?

Wir haben zuerst Lianen und Winder, also auffällige Regenwaldpflanzen, und dann Vertreter der Rötengewächse untersucht. Aktuell analysieren wir, was im Unterwuchs passiert, also der Flora, die maximal drei Meter groß wird und mit wenig Licht auskommen muss. Außerdem charakterisieren wir noch die Blütenökologie von *Graffenrieda immarginata*, einem forstwirtschaftlich zu nutzenden Baum, dessen Wurzeln von Prof. Engels untersucht werden. Oder die Reproduktionsbiologie von *Purdiaea nutans*, einem kleinen Baum, der in manchen Wäldern 90 % des Bewuchses ausmacht und ausschließlich im Untersuchungsgebiet und nirgendwo sonst in Ecuador vorkommt.

Was fasziniert Sie am meisten an Ihrer Arbeit?

Die Diversität ist phantastisch! In jedem Tal sitzen andere Arten! Als Pflanzensystematikerin beschreibe ich alle Vertreter einer Pflanzenfamilie, der Asclepiadaceen, für ein mehrbändiges Werk über die Flora Ecuadors. Ich kann die neuen Arten gar nicht so schnell beschreiben, wie ich sie finde. Ich seh' mich schon bis zu meiner Pensionierung, also noch 20 Jahre, daran sitzen! ■

Das Geflecht ergründen

Doch wie ist das unüberschaubare Geflecht von Materie, Kleinstlebewesen, Pflanzen und Tieren zu ergründen? Der Forschungsansatz, der das Ökosystem vom Organismus bis hin zur ganzen Landschaft untersucht, ist vierstufig: Zuerst werden die Bestandteile charakterisiert, wie Relief, Klima, die Wege des Wassers und der Nährstoffe (siehe Interviews PD Wilcke und Prof. Huwe), die Struktur der Vegetation sowie Vorkommen und Vielfalt der Schlüsselorganismen. Die Forscher beschreiben so abiotische und biotische "Kompartimente" des Ökosystems.

Als zweites werden die Funktionen dieser Kompartimente studiert. Die Forscher messen Stoffumsätze, Massen- und Energieflüsse zwischen Bio- und Geosphäre sowie Interaktionen der Lebewesen (siehe Interview Prof. Müller-Hohenstein). Verstehen wollen sie beispielsweise die Bedeutung der Mykorrhizapilze für die Pflanzen oder die Rolle der Tiere als Bestäuber, Samenverbreiter und Streuabbauer.

Zu den Interaktionen zwischen Tieren und Pflanzen zählt nicht nur, "wer frisst wen im Regenwald" sondern auch Symbiosen. Hier bestäubt ein Kolibri die Blüte einer Verbenaceae und sichert damit deren Fortbestand.



© Doris Wolff

Alles fließt

Spektrum sprach mit Prof. Dr. Bernd Huwe, Leiter der Abteilung Bodenphysik, über räumliche Variabilität und blauen Boden

Herr Professor Huwe, Sie erforschen seit drei Jahren die Bewegung des Wassers im Boden. Was hat Sie beeindruckt?

Immer wieder überraschend ist die große Heterogenität der Böden. Interessant ist zum Beispiel, wie Steine das Fließen des Wassers beeinflussen. So können sowohl bevorzugte Fließsysteme als auch Stagnationszonen entstehen.

Was möchten Sie herausfinden?

Die wissenschaftliche Kernfrage, die wir erstmals beantworten wollen ist: Was bedeutet diese räumliche Heterogenität für den Stoffhaushalt des Ökosystems?

Sie verfolgen dies in zwei Teilprojekten. Mit welchen Zielen?

Im ersten Projekt analysieren wir die räumliche Variabilität der hydrologischen Bodeneigenschaften. Daraus erstellen wir Karten mit Verfahren der räumlichen Statistik. Und im zweiten Teilprojekt interessiert uns, wie sich das Wasser und darin gelöste Stoffe bewegen und wie sich forstliche Pflegeeingriffe unterschiedlicher Intensität auf das Porensystem und damit auf die Fließpfade, aber auch auf die Verweilzeiten des Bodenwassers im Einzugsgebiet, auswirken.

Wie untersuchen Sie die Fließpfade?

Im Einzugsgebiet werden Tracer, also Markierungsstoffe, über Applikationsbrunnen ausgebracht und deren Ankunft am Messwehr verfolgt. An den Intensiv-Messplots werden sie flächig appliziert. Zur Auswertung muss der Boden dann aufgegraben, fotografiert und beprobt werden.

Als Tracer verwenden Sie u.a. den Lebensmittelfarbstoff Brilliant Blue. Wird dann der Boden ganz blau oder sind nur dünne, aderartige Linien zu erkennen?

Genau das möchten wir herausfinden. Wenn der Boden richtig blau wird, erfolgt die Infiltration der Bodenmatrix eher gleichmäßig und es gibt nur wenige bevorzugte Fließwege. Treten dagegen nur dünne Linien auf, wird das Wasser überwiegend in schnellen Fließpfaden transportiert und die Bodenmatrix sieht von diesen Flüssen wenig. Die Form der Fließbewegung hat Konsequenzen für Abflussspitzen aber auch für die Auswaschung von Nährstoffen.

Ihr Projekt trägt im Titel den Begriff "bodenhydrologische Materialfunktion". Was kann man sich darunter vorstellen?

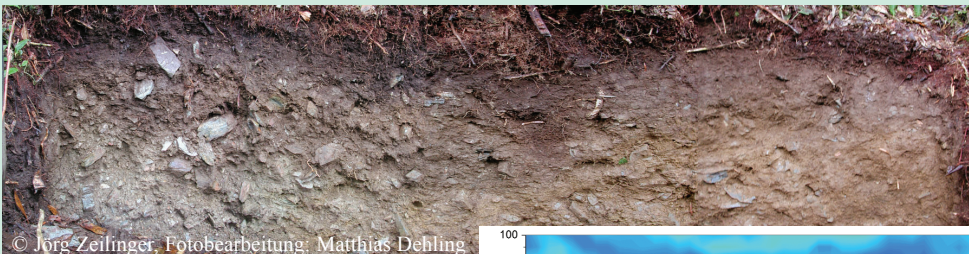
Bodenhydrologische Materialfunktionen beschreiben die Veränderungen der Bindungsenergie des Bodenwassers und der hydraulischen Leitfähigkeiten des Bodens als Funktion des Bodenwassergehalts.

In beiden Projekten möchten Sie Modellierungen durchführen. Welche Probleme können Sie damit lösen?

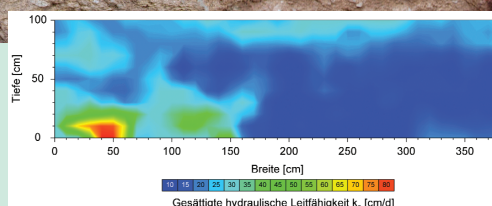
Simulationsmodelle sind Werkzeuge mit deren Hilfe wir überprüfen, ob wir die wesentlichen Eigenschaften des Systems verstanden haben.

Arbeiten Sie gerne auf der Forschungsstation?

Die Abgeschiedenheit auf der ECSF finde ich persönlich sehr angenehm, so ohne Telefon und e-mail. ■



Kleinräumige Heterogenität eines 4 m breiten und 1,5 m tiefen Bodenprofils unter dem Regenwald (oben). In diesem kleinen Ausschnitt treten Differenzen im Steingehalt, den Korngrößen sowie der Leitfähigkeit zutage (unten). Ein hoher k_s -Wert belegt eine große Wasserleitfähigkeit.



Biologische und kulturelle Vielfalt erhalten

Im dritten Schritt soll ein mathematisches Modell gebildet werden, in das alle Komponenten des Ökosystems einfließen. Das Modell wird im letzten Analyseschritt herangezogen, Managementempfehlungen für eine nachhaltige Nutzung, Erhaltung und - soweit möglich - Regeneration des Regenwaldes durchzuspielen. Ethnoökologen untersuchen dazu auch, welche Bedeutung die traditionell verwendeten Wild- und Kulturpflanzen der Einheimischen für den Erhalt der biologischen und kulturellen Vielfalt haben.

Ecuadorianer werden aber nicht nur befragt, sondern auch direkt einbezogen. Beispielsweise arbeiten einige Projektleiter mit den Wissenschaftlern der Herbarien von Quito oder den beiden Universitäten von Loja zusammen. Nur die ecuadorianischen Kollegen können das soziale und kulturelle Wissen einbringen, das für zukünftige Nutzungsstrategien notwendig ist. Ferner ist die Forschergruppe auf die Mitarbeit südamerikanischer Hilfswissenschaftler angewiesen und bieten ecuadorianischen Studenten Qualifikationsarbeiten an.

Lernen, was Forschung bedeutet

Auch die Wissenschaftler des Andenstaates profitieren von der Kooperation, wie der Direktor der "Universidad Técnica Particular de Loja" Dr. Luis Romero bekräftigt. Denn die Universitäten Ecuadors seien bislang vor allem auf Lehre und kaum auf Forschung ausgerichtet. "Wir versuchen, die Wissenschaft praktisch aus dem Nichts zu entwickeln". Durch das Mitmachen können die Mitarbeiter seiner Universität am besten erlernen, "was Forschung bedeutet".

Mit 1000 Pflänzchen ist nichts zu machen

Spektrum sprach mit Prof. Dr. Erwin Beck vom Lehrstuhl Pflanzenphysiologie über Aufforstungsprojekte und die Herausforderungen angewandter Forschung

Herr Professor Beck, Sie möchten die abgeholzten Flächen wieder aufforsten. Wird das nicht bereits praktiziert?

Ja, es gibt bereits Wiederaufforstungsversuche, aber es werden Eukalyptus-, Kiefern- oder Zypressenarten verwendet, die in Ecuador nicht heimisch sind. Nach meiner Beobachtung ist das kaum als Dauerforstwirtschaft zu betreiben, da die Bäume nur wenige Jahre gut wachsen und dann ungewöhnliche Wuchsformen zeigen oder ganz absterben.

Und was wollen Sie anders machen?

Wir möchten einheimische Bäume verwenden. Wir haben uns zehn schnellwüchsige Pionierarten ausgewählt, die auch von der Bevölkerung genutzt werden. Allerdings gibt es - mit einer Ausnahme - bislang keine Methode, um die Bäume des Bergwaldes zu kultivieren. Prinzipiell können sie über Samen vermehrt werden, was biologisch wertvoller ist, da man die genetische Vielfalt erhält, oder über Stecklinge, wobei immer dasselbe Genmaterial genutzt wird. Beide Verfahren sind schwierig.

Warum?

Wir hatten beispielsweise ein Jahr, in dem wir Tausende von Samen mehrerer Individuen aussäten und keiner keimte! Im Labor fanden wir dann den Grund: Alle Samen hatten unvollständig entwickelte Embryos; erst die Samen des folgenden Jahres waren fertil und keimten. Außerdem brauchen manche Keimlinge bestimmte Mykorrhiza-Pilze im Boden, damit sie weiter wachsen, normales Pflanzsubstrat aus der Gärtnerei ist also nicht verwendbar.

Haben Sie inzwischen kleine Bäumchen?

Ja, wir haben von allen ausgewählten Arten jeweils etwa 100 Jungpflanzen und die ersten wurden versuchsweise eingepflanzt. Allerdings brauchen wir viele Tausende. Denn wenn ich mir die riesigen Flächen vorstelle, die es dort wiederaufzuforsten gilt, ist klar, dass mit 1000 Pflänzchen nichts zu machen ist!

Welche Größe müssen die Bäume vor dem Auspflanzen haben?

Sie müssen mindestens 1-2 Meter hoch sein, um sich gegen

Anzuchtsgewächshaus der Estación Científica San Francisco. Die Trinkhalme in den Blumentöpfen dienen der Belüftung des Pflanzsubstrates.



© Prof. Dr. Erwin Beck

das Adlerfarngestrüpp durchsetzen zu können, das alle gerodeten Flächen überwuchert hat. Nur so kann der Farn verdrängt werden, weil er Schatten nicht verträgt.

Und die Vermehrung über Stecklinge?

Die klappt leider bisher nur sporadisch. Wir müssen erst wieder in die Grundlagenforschung einsteigen, um dort weiterzukommen.

Die Grundlagenforschung ist Ihr eigentliches Metier.

Arbeiten Sie lieber als Grundlagenforscher oder mit angewandten Fragestellungen?

Die Grundlagenforschung ist insofern einfacher, weil ich mir die Objekte und Versuchsbedingungen je nach Fragestellung auswählen kann. Bei einem angewandten Projekt in der Natur muss ich es nehmen, wie es ist. Angewandte Forschung ist in der Regel durch unkontrollierbare Faktoren viel schwieriger und deshalb eine größere Herausforderung. Wenn wir in einem angewandten Projekt jedoch etwas erreichen, habe ich aber das Gefühl, etwas getan zu haben, das der Nachwelt vielleicht unmittelbar und deshalb mehr nützt, als wenn ich im Labor etwas Pfiffiges herausgefunden habe. ■

"Man streift nicht durch den Wald"

Und das heißt auch, die Wurzeln der Bäume auszugraben oder die Phänologiepfade für die Grundlagenforschung abzuklappen (siehe Interview Prof. Liede). Auch das ist ungewöhnlich, denn "wenn man in Ecuador etwas Besseres ist, streift man nicht durch den Wald und wenn man schon durch den Wald

streift, bearbeitet man zumindest ein Thema der angewandten Forschung", beschreibt es Prof. Liede. In diesem vielschichtigen Umweltprojekt ist also sowohl für die Mitglieder der Forschergruppe als

auch für Ecuadorianer vieles ungewöhnlich und neu, eben anders. Und Romero bestätigt: "Für die Entwicklung der Forschung in Südamerika ist die Kooperation ebenfalls ein Pilotprojekt". ■

Websites:

DFG-Forschergruppe: www.bergregenwald.de

Projekte der DFG-Forschergruppe: www.bergregenwald.de/pages/22Projekte.html

ECSF-Forschungsstation in Ecuador: www.natureandculture.org/ECSF.asp

Barthlott's Weltkarte der Biodiversität: www.giub.uni-bonn.de/erdkunde/1996/biodiv.html

Alle DFG-Forschergruppen: www.dfg.de/forschungsfoerderung/koordinierte_programme/forschergruppen/forschergruppen_kompaktdarstellung.html