



Luftiger Arbeitsplatz im Tieflandregenwald von Panama: Der Baukran des Smithsonian Tropical Research Institute bringt Wissenschaftler bis in die Baumkronen.

An airy workplace deep in the lowland rainforest of Panama. The Smithsonian Tropical Research Institute uses a crane to raise scientists to the treetops. Colonise.



Die Wüste im Regenwald

The Desert in the Rainforest

Gerhard Zotz

Sie haben auf faszinierende Weise die Baumkronen erobert: Epiphyten, sogenannte „Aufsitzerpflanzen“. In den Wipfeln des tropischen Regenwaldes widerstehen sie extremer Trockenheit – und bieten Krebstieren, Asseln und Libellenlarven Lebensraum. Doch die Aussichten für die einfallsreichen Pflanzen und ihre Bewohner sind nicht gut.

Epiphytes are plants that grow on other plants, and they have colonised the treetops in a fascinating way. Living in the canopies of tropical rainforests, they can survive extremely arid conditions and provide a habitat for crustaceans, woodlice and dragonfly larvae. However the future does not look promising for these resourceful plants and their inhabitants.

Regenwald und Tropenwaldzerstörung: Das sind Themen, die die Medien über Jahre ins Bewusstsein der deutschen Öffentlichkeit gerückt haben. Die wiederholte Beschreibung dessen, was wir mit den jährlich abgeholzten zehn Millionen Hektar Tropenwald an biologischen Schätzen verlieren, hat dazu geführt, dass inzwischen jeder Laie über die Artenfülle dieser Ökosysteme weiß. Es ist eine Artenfülle, die fasziniert: So kann man in einem Hektar amazonischen Tieflandwaldes mehr Baumarten finden als in ganz Europa, und ein einziger Urwaldriese beherbergt mehr Ameisenarten als ganz Großbritannien.

Neben der ungeheuren Artenfülle gibt es in den Tropen eine ganze Reihe pflanzlicher Wuchsformen, die in unseren Breiten selten sind oder sogar ganz fehlen. Dazu zählen baumförmige Farne, baumwürgende Feigen, kletternde Lianen oder

Feuchtbiotope in den Baumkronen.

sogenannte „Epiphyten“, wörtlich übersetzt „Aufsitzerpflanzen“. Gerade diese letzte Pflanzengruppe ist überaus artenreich: Zu den Epiphyten zählen weltweit fast zehn Prozent aller Blütenpflanzenarten, darunter mehr als zehntausend Orchideen, tausende von Farnen, aber auch mehr als eintausend Ananasgewächse.

Der gegenwärtige Artenrekord dokumentiert diese lokale Vielfalt eindrucksvoll: Auf einem einzigen Baum in einem Bergregenwald in Costa Rica wurden mehr als 100 solcher Epiphytenarten erfasst. Besonders die Gruppe der Gefäßepiphyten untersuchen wir in meiner Arbeitsgruppe „Funktionelle Ökologie der Pflanzen“. Regelmäßig reisen wir für Freilandforschungen in die Tropen, vor allem nach Panama, wo die Forschungsstationen des Smithsonian Tropical Research Institutes ideale Bedingungen für Wissenschaftler bieten.

Unsere Untersuchungen decken ein sehr breites Spektrum ab: von der vergleichenden physiologischen Analyse über die Dokumentation der Dynamik ganzer Epiphytengemeinschaften bis hin zur jahrzehntelangen Beobachtung mithilfe eines im Regenwald aufgestellten Baukrans. Die Möglichkeit, Pflanzen vor Ort auch zu sammeln und zu exportieren, erlaubt detaillierte physiologische Experimente in den Oldenburger Klimakammern. Es sind Experimente, die zum Beispiel Antworten auf die Frage liefern können, wie gut Epiphyten mit den vorausgesagten Umweltbedingungen des Jahres 2100 zurecht kommen werden – bei dann wesentlich höheren Temperaturen und CO₂-Gehalten.

Obwohl man als Mitteleuropäer bei tropischen Wäldern eher an permanente schwüle Feuchte denkt, sind die in den Baumkronen wachsenden Epiphyten paradoxerweise eher von Trockenstress bedroht. Da sie ja ohne „Boden“ in den Baumkronen direkt auf der Borke oder in Moospolstern wachsen, bedeutet schon weniger als ein Tag ohne Regen bei Temperaturen um die 30 Grad Celsius enorme Wasserknappheit.

Um dieser Trockenheit zu begegnen, haben die Pflanzen eine Vielzahl von Anpassungen entwickelt. Neben dicken, fleischigen Blättern unter anderem die Ausbildung einer Zisterne, die oft auch Tank genannt wird. Die Tankbromelien bilden durch überlappende Blattbasen gewissermaßen ihren eigenen „Blumentopf“, in dem Wasser und Erde gesammelt

werden, womit sie leicht einige Tage ohne Regen überdauern können. Im Extremfall kann ein einziger Tank bis zu 20 Liter Wasser speichern.

Diese Tanks stellen regelrechte Feuchtbiotope der Baumkronen dar und dienen ihrerseits wieder vielen Tieren als Lebensraum. Am spektakulärsten sind sicher die Baumsteigerfrösche, die ihre Kaulquappen in diesen kleinen „Tümpeln“ ablegen. Doch man findet auch viele andere Tiere, die man nicht unbedingt in einer Baumkrone vermuten würde, von Libellenlarven, Asseln, über Krebstieren bis hin zu Regenwürmern.

Die beschriebenen Tanks kommen jedoch – mit wenigen Ausnahmen – nur bei Bromelien vor; sie sind also keineswegs typisch für die vielen anderen Epiphyten. Manche der Epiphyten, die keinen Tank besitzen, haben interne Wasserspeicher. Viele Orchideen besitzen zum Beispiel sogenannte Pseudobulben, also verdickte Stängel, die wie die externen Speicher vieler Bromelien die unzuverlässige Versorgung mit Wasser ausgleichen können.

Mindestens so wichtig wie die effiziente Aufnahme und Speicherung ist aber auch die sparsame Verwendung der Ressource Wasser. Im Extremfall werfen manche Arten einfach die Blätter vorübergehend ab, ähnlich vieler Pflanzenarten, die wir aus Gebieten mit lang andauernder Trockenheit kennen, etwa den Ländern um das Mittelmeer. Was vor allem dann sinnvoll ist, wenn Wälder eine regelmäßige regenarme Jahreszeit haben, wie in vielen Ländern Zentralamerikas.

Schließlich nützt ein Großteil der Epiphyten einen besonderen Photosyntheseweg, den Crassulaceensäurestoffwechsel (CAM). Dieser wassersparende Photosyntheseweg wurde ursprünglich für sukkulente Pflanzen der Halbwüsten beschrieben, für Säulenkakteen, Opuntien, Agaven oder Aloebäume – weshalb die ersten Berichte über das Vorkommen von CAM in den sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts noch als Ausnahmebeobachtungen abgetan wurden. Inzwischen ist CAM aber so häufig bei Epiphyten nachgewiesen worden, dass es scheint,



Legt seine Kaulquappen in Tankbromelien ab: Baumsteigerfrosch.

The poison dart frog deposits its tadpoles in tank bromeliads.

The rainforests and the destruction of tropical forests are issues that through years of media reporting have become firmly lodged in the minds of the German public. The repeated descriptions of the biological treasures that we are losing with the ten million hectares of rain forest that are cleared each

Wet biotopes in the treetops.

year have ensured that everyone knows about the incredible diversity of species in these ecosystems. This biodiversity is indeed a source of wonder: a single hectare of Amazonian lowland forest is home to more types of trees than the whole of Europe, and just one giant tropical tree hosts more ant species than the whole of Britain.

Aside from the formidable profusion of species, there are a whole series of plant growth forms in the tropics which are either rare or entirely absent in this part of the world. These include tree ferns, strangler figs, climbing vines and "epiphytes", so called because they grow on other plants. Epiphytes are a particularly vast plant group, accounting for almost ten percent of the world's flowering plants, including over 10,000 orchids, thousands of ferns and more than a thousand plants of the pineapple family.

Current species records provide an impressive document of local diversity: more than 100 epiphytic species were recorded on a single tree in a Costa Rican mountain rainforest. The particular focus of my work group, "The Functional Ecology of Plants", is the group of vascular epiphytes. We travel regularly to the tropics to conduct field research, and to Panama in particular, where the research stations of the Smithsonian Tropical Research Institute provide ideal conditions for scientists.

Our research covers a very broad spectrum, from comparative physiological analysis to the documentation of the dynamics of whole epiphyte communities, and decade-long observation with the help of a construction crane that has been erected in the rainforest. This gives us the opportunity to collect plants on site and send them back to Oldenburg for detailed physiological experiments in environmental chambers. These experiments can provide answers to such questions as how well epiphytes will cope with the climate conditions predicted for the year 2100 – by

which time temperatures and CO₂ levels will presumably be significantly higher.

Although Central Europeans tend to associate tropical forests with permanent humidity, paradoxically the epiphytes that grow in the tops of these trees are more likely to be exposed to drought stress. Since they have no roots in the earth and grow directly on the bark or the moss cushions in the forest canopy, even less than 24 hours without rain at temperatures of around 30 degrees celsius mean extreme water scarcity.

The plants have developed many adaptations for coping with these arid conditions, including thick, fleshy leaves and the formation of water-storing cavities or "tanks". The "tank bromeliads" form their own "flowerpots", so to speak, from overlapping leaf bases where water and earth collect, allowing them to survive without rain for several days at a time. In extreme cases a single tank can store up to 20 liters of water. These tanks in turn become aqueous environments in their own right in the forest canopies, providing a habitat for all sorts of creatures. The most spectacular of these are undoubtedly the poison dart frogs, whose tadpoles grow in these little "ponds". The tanks are also home to a host of other fauna that one would not necessarily associate with treetop-living, from dragonfly larvae and woodlice to crustaceans and earthworms.

With a few exceptions, these tanks are found only in bromeliads; they are certainly not typical of the many other epiphyte varieties. Some non-tank epiphytes have internal water-storage systems. Many orchids, for example, develop so-called pseudobulbs, thickened stems which, like the external reservoirs of many bromeliads, can compensate for irregular rainfall.

Economical use of the water resource is, however, just as important as its efficient absorption and storage. In extreme cases some species simply shed their leaves temporarily, like many species of plant found in areas subject to long periods of drought, for example the countries surrounding the Mediterranean. This makes sense particularly in forests that have a regular dry season, as is the case in many Central American countries. Lastly, a high percentage of epiphytes use a particular method of photosynthesis known as crassulacean acid metabolism (CAM). This water-saving photosynthesis method was originally observed in the succulent plants found in semi-deserts such as columnar growth cacti, paddle cacti, agaves and aloes – which is why early descriptions of CAM in tropical epiphytes from the 1960s were dismissed as isolated cases. By now, CAM has been verified in so many epiphytes that it seems likely that, globally speaking, the majority of CAM species grow epiphytically on trees.

Our research has demonstrated the need to replace the outdated image of the "typical" CAM plant as a terrestrial cactus – with that of a thick-leaved orchid growing on a giant rainforest tree. So what is the trick of the CAM plants? Normal plants have to keep the pores of their leaves, or "stomata", wide open in daylight hours in order to absorb the carbon dioxide (CO₂) in the air and, with the help of sun's energy, convert it into sugar in the process of photosynthesis. This process is fundamental to plant life and thus forms the basis of all life on this planet. The downside to opening leaf pores is that plants inevitably lose a





Epiphytenforscher Gerhard Zotz: „Welche Zukunft haben die an Trockenheit angepassten Pflanzen?“
 Epiphyte researcher Gerhard Zotz: "What does the future hold for these plants that have adapted to extremely arid conditions?"

als wüchse weltweit gesehen die Mehrzahl aller CAM-Arten epiphytisch auf Bäumen.

Durch unsere Forschungen konnten wir zeigen, dass wir wohl unser bisheriges Bild der „typischen“ CAM-Pflanze, einer terrestrischen Kaktee, ersetzen müssen: durch das einer dickblättrigen Orchidee, die auf einem tropischen Urwaldriesen wächst. Was ist nun der Trick bei CAM-Pflanzen? Normale Pflanzen müssen ihre Blattoffenungen, die „Spaltöffnungen“, tagsüber weit offen halten, um das in der Luft vorhandene Kohlendioxid (CO₂) aufnehmen zu können, welches in dem Prozess der Photosynthese mithilfe von Sonnenenergie in Zucker umgewandelt wird. Dieser Prozess ist fundamental für pflanzliches Leben und damit auch Grundlage allen anderen Lebens auf unserer Erde. Die Öffnung der Blattoffenungen hat allerdings auch einen Preis: Die Pflanzen verlieren unweigerlich viel Wasser. Wasserverlust könnte natürlich vermieden werden, wenn die Blattoffenungen geschlossen blieben. Dann aber könnte sich die Pflanzen nicht ernähren. Es geht also um die wenig attraktiven Alternativen „Verhungern“ oder „Verdursten“.

CAM-Pflanzen haben nun dieses Dilemma der Pflanzen regenarmer Standorte elegant gelöst. Sie öffnen ihre Poren nachts, wenn wegen der höheren Luftfeuchte wesentlich weniger Wasser verloren geht, speichern CO₂ in Form einer

Besonderer Photosyntheseweg der Epiphyten.

organischen Säure, und nutzen diesen Speicher dann tagsüber, um trotz geschlossener Poren ganz normal Photosynthese betreiben zu können. Dies verringert den Wasserverlust um den Faktor 10 bis 100 gegenüber normalen Pflanzen – eine von vielen Anpassungen an Trockenheit, die allein schon die Bezeichnung von der „Wüste im Regenwald“ rechtfertigt.

Welche Zukunft haben nun diese an regelmäßige Trockenheit angepassten Pflanzen in einer immer mehr vom Menschen dominierten Welt? Trotz fortschreitender Tropenwaldzerstörung können wir hoffen, dass sich auch in Zukunft ausgedehnte Waldgebiete erhalten lassen. Bieten diese aber auch den

geeigneten Lebensraum? Dies ist leider keineswegs sicher, da der Klimawandel dafür sorgt, dass zum Beispiel selbst in den entferntesten Winkeln der Erde Wetterextreme zunehmen.

Für weniger gut an Trockenheit angepasste Arten könnte aber schon eine außergewöhnliche Dürre wie die 2010 im Amazonasgebiet beobachtete das Aus bedeuten. Ob dies eventuell schon passiert ist, weiß jedoch niemand, da entsprechende Langzeituntersuchungen fehlen. Angesichts der großflächigen Umwandlung von Primärwäldern in Agrarflächen stellt sich auch der Wissenschaft immer mehr die Frage, was mit Flora und Fauna in der Sekundärvegetation passiert, also in spontan aufkommenden neuen Wäldern, Baumplantagen oder einzelstehenden Bäumen, die (noch) zahlreich auf den Weiden Lateinamerikas zu finden sind. Lockere Sekundärwälder und, noch ausgeprägter, einzelstehende Bäume bieten wesentlich trockenere Wuchsbedingungen für Epiphyten als natürliche Wälder.

Eine Reihe von Untersuchungen meiner Arbeitsgruppe wie auch von Kollegen aus der ganzen Welt hat nun gezeigt, dass sich die Epiphytengemeinschaften dort deutlich von denen im ungestörten Wald unterscheiden. So zeigen die Ergebnisse einer vor wenigen Jahren im Tiefland Panamas durchgeführten Diplomarbeit, dass Arten, die an eher feuchten Stellen des Waldes vorkommen, weitgehend ausfallen, während sich normalerweise exponiert wachsende Arten teilweise sogar besser entwickeln als im natürlichen Habitat. Dies gilt in besonderem Maße für die Arten mit CAM. Insgesamt kommt es jedoch zu einer teilweise drastischen Reduzierung des Artenreichtums. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass sich diese mit der Zeit noch verschlimmert.

Ob dies wirklich so ist, wird im Moment in Oldenburg in einer vom DAAD geförderten Dissertation untersucht. Angesichts dessen, dass ein bedeutender Teil der in den Baumkronen lebenden Fauna von diesen Epiphyten abhängt, sollte schon der jetzige Verlust kaskadenartig zu entsprechenden Verlusten in der Tierwelt führen. Keine guten Aussichten also für die Bewohner der „Wüste im Regenwald“.

lot of water – something that could be avoided, of course, if the pores remained closed. But that would mean the plants were unable to feed themselves. So they are left with the unappealing options of dying either of “hunger” or “thirst”.

CAM plants, however, have found an elegant solution to the dilemma of plants in areas of low precipitation. They open their pores at night when humidity levels are higher, meaning that substantially less water is lost; they store CO₂ in the form of an organic acid, and use this reservoir in the daytime so that they can continue photosynthesing even with their pores closed. This reduces water loss by a factor of between 10 and 100 compared with normal plants – one of many adaptations to aridity, which in itself justifies the designation “desert in the rainforest”.

In a world increasingly dominated by human beings, what does the future hold for these plants that have adapted to regular dry periods? In spite of the ongoing destruction of the tropical forests we can hope that large stretches of forest areas will remain intact. But will these provide a suitable habitat? Sadly, this is by no means certain because climate change means that the weather is becoming more extreme even in the furthest corners of the Earth.

For species less well-adapted to dry periods, an extraordinary drought like the one observed in the Amazon region in 2010 can mean extinction. To what extent this has already happened no one knows because of the lack of applicable long-term studies. In view of the large-scale shift from primary forest to agricultural land use, science is also increasingly looking at what is happening to flora and fauna in secondary vegetation, the term used for the spontaneously emerging woods and tree

plantations as well as isolated trees that are (still) common in grazing areas across Latin America. The growing conditions

The epiphytes' unique photosynthetic pathway.

for epiphytes in these loosely-formed secondary forests and, more particularly, in isolated trees, are much more arid than in natural forests.

A series of studies carried out by my working group and colleagues around the world has now shown that epiphyte communities in such places are clearly distinguishable from those in undisturbed forests. The results of research for a



Urwaldriese: Auf einem einzigen Baum können sich mehr als 100 Epiphytenarten tummeln.
Jungle giant: a single tree can accommodate more than 100 epiphyte species.

dissertation carried out a few years ago in the lowlands of Panama show that species normally found in the damp areas of a forest are largely absent, whereas species which normally grow exposed to the light in some cases develop better there than in their normal habitat. This applies in particular to species with CAM. Generally speaking, however, biodiversity is reduced – sometimes drastically – and it is not improbable that this negative trend will become more pronounced over time. A DAAD-funded dissertation currently underway in Oldenburg is examining whether this is actually the case. In view of the fact that a significant amount of the fauna living in the forest canopy is dependent on these epiphytes, even losses at the current rate are likely to have a cascade effect on the animal world. So this is not good news for the inhabitants of the “desert in the rainforest”.

Der Autor The author



Prof. Dr. Gerhard Zotz ist seit 2006 Hochschullehrer für „Funktionelle Ökologie“ in Oldenburg. Er studierte Biologie in Würzburg, wo er 1993 promovierte. Nach Forschungsaufenthalten am Smithsonian Tropical Research Institute in Panama und an der State University of Vermont, Burlington, USA, habilitierte er sich 1998 in Würzburg. Derzeit fasst Zotz die Ergebnisse seiner über 20-jährigen Forschungen zu Epiphyten in einer großen Monographie zusammen.

Prof. Dr. Gerhard Zotz has taught “Functional Ecology” in Oldenburg since 2006. He studied biology in Würzburg, where he obtained his PhD in 1993. After research periods at the Smithsonian Tropical Research Institute in Panama and at the State University of Vermont, Burlington, USA, he earned his habilitation in Würzburg. Zotz is currently compiling the results of more than two decades of research on epiphytes into an extensive monograph.