

WOLFGANG WERNER

# Der Nährstoffkreislauf im tropischen Regenwald

Die Erforschung der ökologischen Zusammenhänge in tropischen Regenwäldern hat große Fortschritte gemacht. Dennoch ist noch vieles unbekannt, unklar – und die Zeit rennt uns davon! Die Wälder werden schneller zerstört, als wir sie erforschen können. Neue Forschungen ergaben, dass die üppige Vegetation des Regenwaldes mit den Nährstoffen sehr sparsam umgehen muss und diese in einem beständigen Kreislauf hält. Und mit dem Wald verschwinden auch die Nährstoffe.

**G**rundzüge des Nährstoffkreislaufes im tropischen Regenwald und seine Besonderheiten sind inzwischen weit bekannt. Schon in Kinder- und Jugendbüchern kann man sie finden, was eine erfreuliche Tatsache ist. So wissen heute schon viele Schüler, dass der Boden der Regenwälder unfruchtbar ist. Dennoch bringt er üppiges Leben hervor, weil die Nährstoffe in der obersten Bodenschicht von ca. 30 cm sofort umgearbeitet und wieder verfügbar gemacht werden. Dieses Wissen wird weiter gegeben, in Texten und Abbildungen übernommen. Aber so setzen sich auch Fehler und Missverständnisse fort, denn im Detail betrachtet stellt sich das Phänomen komplexer dar. In den nächsten Abschnitten werden einige Aspekte des Nährstoffkreislaufes genauer betrachtet.

## Geringe Fruchtbarkeit tropischer Böden

Der Lehrsatz von der Unfruchtbarkeit der tropischen Regenwaldböden stimmt meist, aber nicht immer. Ging man in der westlichen Welt seit Alexander von Humboldt zunächst von einer unglaublichen Fruchtbarkeit der tropischen Regenwaldböden aus, lehrte die Kolonisation des Amazonasbeckens nach dem Zweiten Weltkrieg bald das Gegenteil: In

den meisten Tropenböden sind die Nährstoffe ausgewaschen. Sie sind unfruchtbar. Dies gilt jedoch nicht für alle Böden der tropischen Regenwälder. Es gibt auch fruchtbare Auen- und Kalkböden. Doch wurden diese meist schon längst vom Menschen landwirtschaftlich genutzt.

## Blattfall und Nährstoffkreislauf

Denken wir an die Unmengen an Laub, die jeden Herbst aus unseren Bäumen zu Boden fallen, ist es nahe liegend, hier auch einen Hauptbestandteil des Nährstoffkreislaufes im tropischen Regenwald zu sehen. Doch Vorsicht! Im immergrünen Regenwald ohne Jahreszeiten werden die Blätter nicht regelmäßig und jährlich abgeworfen. Die Blätter bleiben drei bis fünf Jahre am Baum. Deshalb müssen sie auch sehr robust sein – keine zarten Blättchen, sondern mit derber, ledriger Struktur. Doch nach einigen Jahren haben sich zu viele Stoffwechselprodukte in den Blättern angesammelt. Pflanzen haben weder Nieren noch Leber, und nur teilweise funktioniert der Stofftransport aus den Blättern in die Holzteile und Wurzeln. Außerdem werden die Blätter oft von Algen und Pilzen überzogen. Gegen Fraß durch verschiedenste Tiere „wehren“ sich die Blätter durch Giftstoffe. Nach einigen Jahren wirft nun ein Regenwaldbaum alle Blätter eines Zweiges



Epiphytische Farne (in der Mitte: Hirschgeweihfarn *Platynerium*) in Thailand



*Rhipsalis baccata* als Epiphyt auf einem Regenwald-Baum in Sri Lanka

lizenziiert für Christian Riesenbeck am 01.09.2016

Fotos: W. Werner

## DAS THEMA IM UNTERRICHT

### Planung und Zeitrahmen

<b>Klassenstufe:</b>	Sekundarstufe II
<b>Zeitbedarf:</b>	2 Unterrichtsstunden (und eventuelle Freiland-Arbeiten zum Laubfall)
<b>Lehrplanbezüge:</b>	Tropischer Regenwald (im Rahmen der Klimazonen der Erde)

Die Schülerinnen und Schüler sollen erfahren, dass der Stoffkreislauf im tropischen Regenwald dem jedes Wald-Ökosystems ähnlich ist, aber Besonderheiten aufweist. Dazu gehören vor allem die Nährstoffarmut des Bodens und die schnelle Umsetzung, auch wenn der Zerfall der ledrigen Blätter weniger einfach vonstattengeht, als in unseren Wäldern. Eine Besonderheit bilden die Epiphyten, die keine Nährstoffe vom Waldboden erhalten können. Ein wichtiger Aspekt ist die Gefährdung des Ökosystems durch Klimawandel und

Holzeinschlag. Als Einstieg bietet sich ein Aktivieren des Vorwissens zu Fruchtbarkeit des tropischen Regenwaldes an.

Die Arbeit der Regenwaldforscher kann auch bei uns nachempfunden werden, wenn wir in einem Park oder Waldstück, eventuell sogar im Schulgelände, unter Bäumen eine Auffangvorrichtung mit vermessener Öffnung (z. B. 1m<sup>2</sup>) auslegen. Es muss nur sichergestellt werden, dass die Fangvorrichtung (Korb, Tonne, Beutel mit Metallrahmen) nicht von Unbefugten manipuliert wird. Dann kann nach einem festgelegten Zeitraum (1, 2 oder 4 Wochen) der Inhalt entnommen und analysiert werden: Gewicht der Blätter nach dem Trocknen (Zweige oder Baumfrüchte), Baumarten (wenn mehrere Arten im Bereich stehen). Die Oberfläche der Fangvorrichtung kann auf einen Hektar Waldboden hochgerechnet werden, um so einen Eindruck von der Blattmasse des herbstlichen Laubfalles zu erhalten. Diese Menge soll mit den Mengen in der Graphik (M1) verglichen werden, die in einem tropischen Regenwald anfallen.

oder des gesamten Kronendaches ab, steht also ganz oder teilweise kahl da. Danach sprießen schnell neue Blätter; denn es gibt ja keine blattlose Jahreszeit. Daraus folgt, dass der Blattfall im tropischen Regenwald recht sparsam ist. Messungen in einem Regenwald in Queensland (Australien) ergaben, dass nur etwas mehr als die Hälfte der fallenden Biomasse aus Blättern bestand, etwa ein Drittel aus Holzteilen (Äste und Zweige) und der Rest aus Blütenteilen und Früchten bzw. Samen. Wichtig in Bewegung kommt der Kreislauf, wenn besondere Ereignisse geschehen: Ein alter Baumriese stürzt um, ein großer Ast bricht unter der Last der Epiphyten oder durch Windbruch herab, ein Gewittersturm reißt Zweige mitsamt den Blättern aus den Kronen.

Weitere Bestandteile des Kreislaufes sind herabfallende Insektenkörper oder Ausscheidungen der Tiere in Kronendach und Stammraum. Hinzu kommt, was mit dem Regenwasser aus dem Kronendach oder an den Stämmen herabfließt. Es werden Nährstoffe aus den Blättern ausgewaschen. Der Regen selbst enthält kleine Bestandteile von Nährstoffen. Blitze wandeln neutralen Luft-Stickstoff in Nitrat um. Dies sind zwar nur kleine Mengen, aber in einem Kreislauf, in dem die Zufuhr von Nährstoffen kostbar ist, kommt es auch darauf an. Gelegentlich werden auch Nährstoffe durch Sand- und Staubstürme über große Entfernungen herangeweht. Bekannt ist, dass in Amazonien Saharastaub für einen Nährstoffeintrag sorgen kann. In Asien können diese Staubstürme aus China sein. Messungen liegen aber bisher nicht vor.

Verluste im Kreislauf sind durch die Entnahme von Holz und anderen Waldprodukten gegeben. Entnahme von Biomasse bedeutet, abgesehen von der Nettoproduktion von Kohlehydraten durch die Photosynthese, stets einen Verlust von Nährstoffen aus dem Kreislauf.

### Epiphyten im Nährstoffkreislauf

Pflanzen, die auf der Rinde von Bäumen sitzen, um so dem Sonnenlicht näher zu sein, werden Epiphyten oder „Rindenhocker“ genannt. Große Nestfarne, Orchideen oder amerika-

nische Bromelien sind Beispiele hierfür. Da sie im Gegensatz zu Schmarotzern (wie Mistelgewächsen) keine Nährstoffe aus den Ästen oder Stämmen ziehen, auf denen sie sitzen, haben sie auch keine indirekte Verbindung zum Waldboden. So ist es für diese Pflanzen schwierig, am Nährstoff-Kreislauf teilzuhaben. Sie sind echte „Hungerkünstler“! Bromelien oder Farne können von oben herabfallende Blätter oder andere Pflanzenteile verwerten, wenn diese auf ihnen verrotten. Oder die Haftwurzeln entziehen Nährstoffe von der Rindenoberfläche, auf denen wiederum Moose und Algen wachsen.

### Fazit

So reich an Biomasse und Artenzahl der Lebensraum Regenwald auch sein mag, herrscht doch ein beständiger Kampf ums Überleben! Wenn auch Wärme und Regenwasser normalerweise reichlich vorhanden sind, bestehen ein Mangel an Licht unterhalb der Baumkronen und vor allem ein Mangel an Nährstoffen. Doch ist die Lebensgemeinschaft Regenwald in der Lage, tote Biomasse schnell zu verarbeiten und dem Kreislauf zur Verfügung zu stellen.

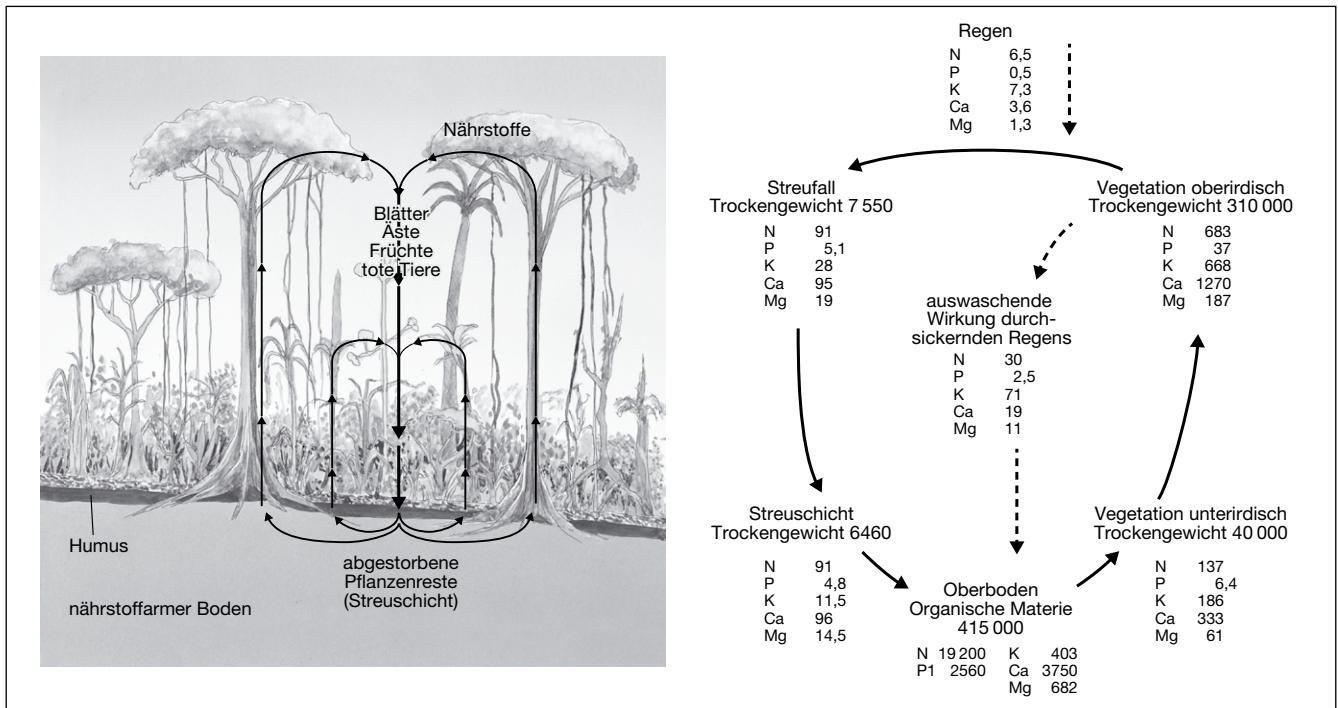
### LITERATUR

- Edwards, P. J.: Studies of Mineral Cycling in a Montane Rain Forest in New Guinea: V. Rates of Cycling in Throughfall and Litter Fall. *Journal of Ecology* 70 (1982) No. 3, pp. 807-827
- Werner, W. L.: Toasted Forests - Evergreen Rain Forests of Tropical Asia under Drought Stress. ZEF - Discussion Papers On Development Policy No. 76, Center for Development Research, Bonn 2003

### TIPP

Animation zum Stoffkreislauf in „Planet-Schule“  
[www.planet-schule.de/sf/multimedia-interaktive-animationen-detail.php?projekt=regenwald](http://www.planet-schule.de/sf/multimedia-interaktive-animationen-detail.php?projekt=regenwald)

**M | 1 Der geschlossene Nährstoffkreislauf des tropischen Regenwaldes**



Angaben beziehen sich auf kg pro Hektar und Jahr in einem Bergregenwald in Neuguinea

© westermann (Angaben: Edwards, P. J.: Studies of Mineral Cycling in a Montane Rain Forest in New Guinea: V. Rates of Cycling in Throughfall and Litter Fall. Journal of Ecology 3/1982, p. 825)

**M | 2 Fruchtbarkeit tropischer Böden**

Ging man in der westlichen Welt seit Alexander von Humboldt (Forschungsreise in Südamerika 1799–1804) zunächst von einer unglaublichen Fruchtbarkeit der tropischen Regenwaldböden aus, lehrte die Kolonisation des Amazonasbeckens nach dem Zweiten Weltkrieg bald das Gegenteil: In den meisten Tropenböden sind die Nährstoffe ausgewaschen. Sie sind unfruchtbar. Dies gilt jedoch nicht für alle Böden der tropischen Regenwälder. Es gibt auch einige fruchtbare Auen- und Kalkböden. Doch wurden diese meist schon längst vom Menschen landwirtschaftlich genutzt. Die tropischen Regenwälder beziehen also ihre Nährstoffe nicht aus dem Boden, sondern über einen geschlossenen Nährstoffkreislauf, der auch als Nährstoffrecycling bezeichnet werden kann. Bei diesem Kreislauf werden über das nur oberflächlich ausgeprägte Wurzelsystem die freigesetzten Nährstoffe (N Stickstoff, P Phosphor, K Kalium, Ca Calcium, Mg Magnesium) aus zersetzter Biomasse sofort wieder aufgenommen und somit den Pflanzen wieder zugeführt (vgl. M1).

**M | 3 Methodik der Messungen**

Die Vorgänge im Nährstoffkreislauf des tropischen Regenwaldes sind inzwischen recht gut bekannt. Seit den 1980er Jahren wurden in verschiedenen Tropenwäldern grundlegende quantitative Arbeiten durchgeführt. Fallendes Laub und kleine Zweige werden in Laubfallen (litter traps) aus Drahtkörben oder trichterförmigen Tüchern gesammelt. So kann alle ein bis zwei Monate geprüft werden, aus welchen Blättern und mit welchem Gewicht sich der Laubfall zusammensetzt. Durch Analysen im Labor werden die Nährstoffmengen aus der Blattstreu gemessen. Komplizierter ist die Messung der „stehenden“ Biomasse. Hierzu wurden ganze Regenwaldbäume gefällt und das Wurzelsystem ausgegraben. Aus solchen umfangreichen Messungen und folgenden Hochrechnungen auf eine Fläche von einem Hektar Wald entstanden dann die quantitativen Fließdiagramme, die uns eine Vorstellung von Verteilung und Fluss von Biomasse und Nährstoffen geben. Bekannt ist vor allem eine Darstellung von Edwards aus seinen Forschungen mit dem Kollegen Grubb in Neuguinea im Journal of Ecology 1982 (vgl. M1).

**AUFGABEN**

1. Beschreiben Sie den tropischen Regenwald als Kreislaufsystem.
2. Erläutern Sie, woher die Vegetation des tropischen Regenwaldes ihre Nährstoffe bezieht. Vergleichen Sie dabei mit einem Laubwald der mittleren Breiten.
3. Erläutern Sie, warum man heute den Regenwald anders als zu Humboldts Zeiten sieht.



## M | 4 Die Vegetation im tropischen Regenwald

Im immergrünen Regenwald ohne Jahreszeiten werden die Blätter nicht regelmäßig und jährlich abgeworfen. Die Blätter bleiben drei bis fünf Jahre am Baum. Deshalb müssen sie auch sehr robust sein. Um starke Regenfälle, Strahlung und Insektenfraß besser überstehen zu können, sind Blätter von Regenwaldbäumen oft ledrig dick und an der Oberseite glänzend glatt. So kann das Wasser schneller ablaufen. Diese schweren und harten Blätter zersetzen sich am Waldboden nur langsam, obwohl tropische Temperaturen, Pilze und Bodeninsekten den Zerfall beschleunigen.

Nach einigen Jahren wirft nun ein Regenwaldbaum alle Blätter eines Zweiges oder des gesamten Kronendaches ab, steht also ganz oder teilweise kahl da. Danach sprießen schnell neue Blätter, denn es gibt ja keine blattlose Jahreszeit.



Blätter von *Nageia wallichiana*, einem „Nadelbaum“ (Koniferen) aus einem Regenwald im Süden Thailands



Zweig des Zimtbaumes (*Cinnamomum verum*) aus Sri Lanka

Fotos: W. Werner

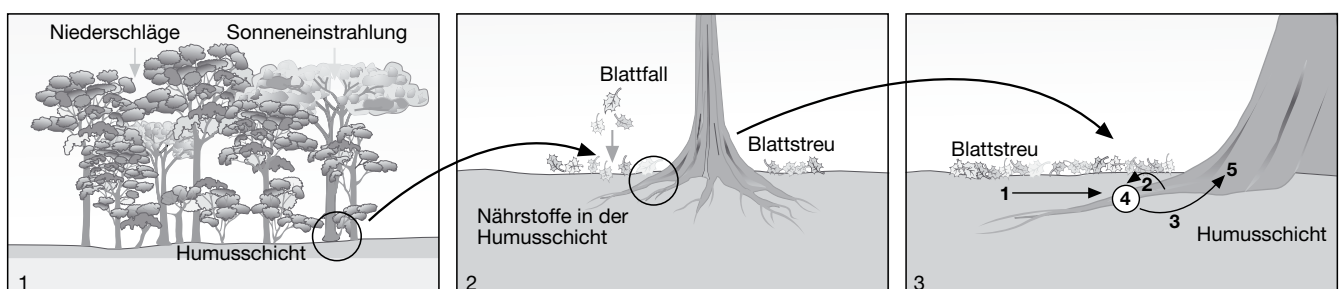
## M | 5 Nährstoffrecycling

Totholz, Laubstreu, Tierkadaver und Ausscheidungen werden im tropischen Regenwald schnell zersetzt. Für die Verarbeitung des Holzes sind vor allem die Termiten zuständig. Für das Zerkleinern und Zersetzen aller anderen Bestandteile stehen unzählige Insekten, Würmer, Pilze und Bakterien zur Verfügung. Feuchtigkeit steht im Regenwald üblicherweise ausreichend zur Verfügung. Und in Verbindung mit hoher Luft- und Bodentemperatur laufen chemische Vorgänge umso schneller ab. Dies hat zur Folge, dass in tropischen Regenwäldern die Streuschicht nur dünn sein kann, im Gegensatz zu trockenen laubwerfenden Wäldern oder solchen der temperierten oder gar borealen Zone. Daraus wird auch die logische Konsequenz klar, warum Regenwälder schlecht regenerieren oder neu aufgeforstet werden können: Wenn der Wald gefällt ist, verschwindet mit ihm schnell die dünne und biologisch aktive Streuschicht.

## M | 6 Mykorrhiza

Eine Symbiose zwischen Pflanzenwurzeln und Pilzgeflechten ist schon lange als Mykorrhiza bekannt und existiert schon seit 400 Millionen Jahren. Die Pilze versorgen die Wurzeln mit Nährstoffen aus der Umgebung und erhalten dafür Stoffwechselprodukte der Pflanzen, vor allem Kohlehydrate. Doch erst in den vergangenen Jahrzehnten wurde die Bedeutung dieser Mykorrhiza für Regenwaldbäume, aber auch andere Pflanzen, deutlich. Aufforstungsversuche mit Regenwaldbäumen können nur gelingen, wenn den Setzlingen die entsprechenden Mykorrhiza-Pilze in der Pflanz Erde mitgegeben werden. Ähnliches wird in der Gärtnerei längst bei Erd-Orchideen praktiziert, die sonst auch nicht gedeihen. Außer der Erforschung der Bedeutung von Mykorrhiza-Gemeinschaften hat der Blick in den Wurzelraum weitere Überraschungen ergeben. Baumindividuen können durch ihre Wurzeln miteinander verbunden sein und Nährstoffe untereinander austauschen. Hierbei ist wiederum die Mykorrhiza behilflich.

## M | 7 Zusammenspiel von Mykorrhiza und Nährstoffrecycling



- 1 Aufnahme von Nährstoffen aus der Humusschicht (P-,N-,Ca- etc. Verbindungen) durch den Mykorrhiza-Pilz
- 2 Fotosyntheseprodukte gehen vom Baum/Wirt an den Pilz zu dessen Ernährung
- 3 Nährstoffabgabe des Pilzes (4) an die Wurzeln des Wirtes (5)

## AUFGABEN

4. Erklären Sie anhand der beiden Fotos (M 4), wie die Blätter tropischer Bäume an die Bedingungen angepasst sind und welche Auswirkungen das hat.
5. Erklären Sie, warum eine großflächige Abholzung dem Ökosystem des tropischen Regenwaldes kaum zu behebende Schäden zufügt (M 5–M 7).