

**Josef G. Knoll-Wissenschaftspreisträger 2002**

**Josef G. Knoll-Science Award Winner 2002**

**Rolf Sommer: "Water and nutrient dynamics in deep soils under shifting cultivation with and without burning in the Eastern Amazon", Universität Göttingen, 2000**

Resümee

Problemstellung

Weltweit leben mindestens 500 Millionen Menschen in Entwicklungsländern in marginalen oder "weniger begünstigten" Gebieten, in denen Hunger und Armut häufig mit der Degradierung und Zerstörung der natürlichen, biotischen und abiotischen Lebensgrundlagen einhergehen. Dabei ließe sich Bodendegradation oft vermeiden und die Bodenfruchtbarkeit durch ein verbessertes Ressourcen-Management darüber hinaus sogar verbessern.

Das östliche Amazonasgebiet von Brasilien ist ein solcher Fall. Auf hochgradig verwitterten und nährstoffarmen Böden betreiben Kleinbauern seit ca. einem Jahrhundert Brandrodungsfeldbau. Lange Brachezeiten gewährleisteten dabei den Erhalt einer moderaten Bodenfruchtbarkeit, so dass ein temporärer, ein- bis zweijähriger Anbau von zumeist Mais, Bohnen und Maniok möglich ist. In jüngster Zeit führt eine wachsende Bevölkerung und der damit einhergehende steigende Landnutzungsdruck jedoch dazu, dass zur Ernährungssicherung einerseits neue Regenwaldflächen gerodet werden und dass andererseits auf bestehenden Anbauflächen die Brachezeit verkürzt und der Anbau intensiviert wird. Letztere Maßnahmen wirken sich aber negativ auf die Vitalität der sich spontan regenerierende, holzige Brachevegetation aus. Die Brachevegetation kann so ihre essentiellen Funktionen innerhalb des Anbausystems nicht mehr erfüllen. Die geringere Biomasse der Vegetation am Ende der Brachezeit bedeutet, dass sich die nach dem Roden und Brennen der Brachevegetation verbleibende Menge Asche verringert und damit die Düngewirkung für die nachfolgenden Kulturpflanzen geschmälert wird. Darüber hinaus haben Untersuchungen gezeigt, dass das Verbrennen der Brachevegetation zu beträchtlichen Austrägen an Stickstoff, Schwefel, Kalium und Phosphat führten; gasförmig oder über Rußpartikel. Im Kontext dessen wurden im Rahmen des bilateralen, deutsch-brasilianischen Forschungsprojekts Studies on Human Impact on Forest and Floodplains in the Tropics (SHIFT) alternative Landnutzungsmethoden entwickelt und erforscht. Ein wesentliches Ziel ist die Vermeidung des Brennens der Brachevegetation durch den Einsatz eines traktorgetriebenen Gehölmähhäckslers, der die Brachevegetation zerkleinert und als Mulchauflage auf der Bodenoberfläche verteilt. Dabei war jedoch zu klären, in welcher Weise die Nährstoffdynamik in diesem Anbausystem im Vergleich zur traditionellen Brandrodung verändert würde, besonders im Hinblick auf eventuelle Verluste von im Sickerwasser gelösten Nährstoffen bedingt durch die großen Mengen an gemulchten Pflanzenmaterial.

Frühere Studien hatten auch gezeigt, dass die natürlich vorkommende Brachevegetation, eine immergrüne Buschvegetation von je nach Alter bis zu 5-7 m Höhe, ein tiefreichendes

Wurzelwerk ausbildet. Die Funktion dieser tiefen Wurzeln im Hinblick auf die Wasserversorgung der Vegetation in der Trockenzeit war bislang ungeklärt. Sollte die Brachevegetation mit ihren tiefen Wurzeln die Fähigkeit haben, Wasser aus tiefen Bodenschichten aufzunehmen, so wäre ebenso eine (Wieder-) Aufnahme von Nährstoffen aus tiefen Bodenschichten wahrscheinlich. Dies würde die Nährstoffbilanz und vor allem die Nährstoffeffizienz dieses Agroökosystems in entscheidender Weise verändern bzw. verbessern.

#### Forschungsfragen

Folglich stellten sich folgende Fragen:

1. Kann durch feuerfreie Flächenvorbereitung, durch Mulchen der Brachevegetation, die Nährstoffbilanz des Anbausystems tatsächlich nachhaltig verbessert werden, oder werden Nährstoffe vermehrt durch Versickerung ausgetragen?
2. Wie wichtig ist der Beitrag der Wasseraufnahme aus tiefen Bodenschichten zur Wasserversorgung der natürlichen, tiefwurzelnden Brachevegetation?

#### Zielsetzung

1. Die Nährstoffbilanz des Mulchansatzes sollte mit dem konventionellen Ansatz des Schlagens und Brennens der Brachevegetation verglichen werden. Dabei sollte speziell die Nährstoffversickerung in tieferen Bodenschichten berücksichtigt werden.
2. Unter besonderer Berücksichtigung der Nutzung des Wasserspeichers tiefer Bodenschichten sollte eine Wasserbilanz für die Brachevegetation erstellt werden.

#### Methodisches Vorgehen

Zur Erstellung der Wasserbilanz und zur Quantifizierung der Wasseraufnahme aus tiefen Bodenschichten wurde eine dreijährige Brachevegetation ausgewählt. Zur Untersuchung des Einflusses der verschiedenen Landnutzungsmethoden auf die Nährstoffdynamik wurden zwei Brachevegetationen im Alter von dreieinhalb bzw. sieben Jahren (im folgenden junge und alte Kulturfläche genannt) untersucht. Die Brachezeit dieser beiden Flächen stellt die minimale bzw. maximale Dauer einer Brache unter momentanen Bedingungen dar. Zu Beginn der landwirtschaftlichen Nutzung im Dezember 1996 wurde die Sekundärvegetation gerodet und auf einer Hälfte jeder Fläche gebrannt. Der jeweils verbliebene Teil wurde mit einem traktorgetriebenen modifizierten Maishäcksler zerkleinert und als Mulch auf diesem Teil der Flächen verteilt.

Im Anschluss an die Flächenvorbereitung wurde im Januar 1997 auf beiden Flächen Mais (*Zea mays*) gesät, Ende Mai folgten Augenbohnen (*Vigna unguiculata*) und Ende Juni Maniok (*Manihot esculenta*). Mais wurde mit 60 kg N ha<sup>-1</sup> (Harnstoff), 26 kg P ha<sup>-1</sup> (Trippelsuperphosphat) und 25 kg K ha<sup>-1</sup> (Kaliumchlorid) gedüngt. Die Bohnen erhielten 10 kg N ha<sup>-1</sup>, 22 kg P ha<sup>-1</sup> und 41 kg K ha<sup>-1</sup> in identischer Düngerform. Mitte Juni 1997 wurde der Mais geerntet, Anfang August 1997 die Bohnen und am Ende der Anbauphase im Juni 1998 die Maniokknollen.

Zur Berechnung der oberirdischen Nährstoffbilanz wurden alle Ein- und Austräge quantifiziert. Dies waren Düngung, atmosphärische Einträge, Volatilisationsverluste, Ernteentzüge sowie Brennholzentnahme. Um die unterirdischen Versickerungsverluste zu bestimmen, wurden die Konzentrationen von gelösten Nährstoffen im Sickerwasser bestimmt, das mit Saugkerzen in vierzehntägigem Turnus entnommen wurde.

Die exakte Bestimmung der Bodenwasserflüsse im Wurzelraum war erst durch die Anwendung eines Bodenwassermodells möglich. Dafür wurde mit Tensiometern die jährliche Dynamik der Saugspannung des Bodens in verschiedenen Tiefen gemessen. Die Bodenwasserflüsse wurden aufbauend auf Labor pF-Kurven und Pedotranferfunktionen mit dem Bodenwassermodell Hydrus-1D modelliert. Die zur Modellierung benötigte potentielle Evapotranspiration (Penman-FAO) sowie der Niederschlag wurde mittels mikrometeorologischer Station kontinuierlich ermittelt. Zudem wurde die aktuelle Verdunstung über der Brachevegetation mittels Bowen-ratio-Energiebilanzmethode und mittels Penman-Monteith-Methode bestimmt und mit den Ergebnissen des Bodenwassermodells zu den Wurzelwasserentzügen verglichen. Alle Messungen wurden im Zeitraum der eineinhalbjährigen Bewirtschaftung durchgeführt.

#### Empirische Grundlagen und Ergebnisse Wasserbilanz

Die aktuelle Verdunstung der dreijährigen Brachevegetation reagierte deutlich auf die ausgeprägte Trockenzeit von September bis Dezember 1997 und belief sich auf 1411 mm a<sup>-1</sup>. Dies waren 141 mm mehr als mit dem Bodenwassermodell ermittelt (1270 mm) und hing offensichtlich mit der frühmorgendlichen Bildung von Tau zusammen, der anschließenden evaporiert nur mikrometeorologisch erfasst wurde, nicht aber im Bodenwassermodell.

Die Versickerung gemäß Bodenwassermodell belief sich in 1997 auf 897 mm, das entspricht 43% des Freilandniederschlags in Höhe von 2104 mm. In 1998 waren dies nur 842 mm aufgrund der intensiven Ausnutzung des Bodenwasserspeichers im Vorjahr, ein Defizit, das trotz höherer Niederschläge (2545 mm) im zweiten Jahr nicht völlig ausgeglichen wurde. Die Kulturpflanzen verdunsteten weniger Wasser, wodurch die Versickerung auf 1190 bis 1279 mm a<sup>-1</sup> anstieg. Sie war damit 348 bis 382 mm höher als die der Brachefläche.

Das tiefreichende Wurzelwerk trug entscheidend zur Wasserversorgung der Brachevegetation bei. Ganze 35,4 % (427 mm) bzw. 33,4 % (400 mm) des transpirierten Wassers von 1997 bzw. 1998 stammten aus 0,9 bis 6 m Tiefe. Selbst wenn also die Brachevegetation während der Trockenzeit unter Wasserstress gerät, sich der Kronendachwiderstand erhöht und die Transpiration verringert, sind die meisten Arten doch dazu in der Lage, ein immergrünes Laubwerk aufrecht zu erhalten, indem sie das Wasser tiefer Bodenschichten ausnutzen. Die Kulturpflanzen hingegen konnten den Bodenwasservorrat unterhalb von 0,9 m Tiefe nur in geringem Maße nutzen.

#### Nährstoffbilanz

Die Brandverluste von C und N aus der oberirdischen Biomasse waren auf beiden Kulturflächen erheblich. Mindestens 93 % der Vorräte wurden volatilisiert, das entspricht 13,8 bzw. 21,5 t C ha<sup>-1</sup> sowie 246 bzw. 372 kg N ha<sup>-1</sup> auf der jungen bzw. alten Kulturfläche. Zusätzlich wurden mehr als 80 % der S-Vorräte (35 bzw. 53 kg ha<sup>-1</sup>), aber auch 45-70 % der weniger volatilisierbaren K-, Ca- und Mg-Vorräte ausgetragen, im letzteren Fall hauptsächlich durch Partikelflug. Auf der jungen Kulturfläche erreichte der Austrag des wachstumslimitierenden Phosphats 90 % der oberirdischen Vorräte. Die Austräge von 8 bzw.

11 kg P ha<sup>-1</sup> wurden jedoch durch die Düngung von 48 kg P ha<sup>-1</sup> mehr als ausgeglichen.

Die Erträge von Mais, Bohnen und Maniok auf den gemulchten Flächen unterschieden sich nicht von denen, die unter gebrannten Bedingungen erzielt wurden. Bedingt durch die moderate NPK-Düngung waren sie um den Faktor 2 bis 3 höher als Erträge wie sie von Kleinbauern in der Region regulär erzielt werden. Im Durchschnitt wurden 2,3 t Mais (Körner), 1,7 t Bohnen und 20,2 t Maniokknollen pro Hektar geerntet. Auf den gemulchten Flächen wurde der größte Teil der Nährstoffe über die Ernteprodukte entzogen, während auf den gebrannten Flächen die Brandverluste am stärksten zubezogen wurden.

Aufgrund der hohen Nährstoffaufnahme durch das Brennen war die gesamte Nährstoffbilanz auf beiden gebrannten Flächen negativ, mit Ausnahme von P, kompensiert durch den Düngereintrag. Die Verluste pro Hektar betragen 292-403 kg N, 69-132 kg K, 155-163 kg Ca, 36-33 kg Mg und 26-32 kg S (junge bzw. alte Kulturfläche).

Wurden die gesamten Nährstoffverluste auf den Nutzungszeitraum (Anbau- und Brachezeit) von 5,5 und 9 Jahren bezogen, so zeigte sich, dass eine Verkürzung der Brachezeit zu erhöhten Nährstoffausträgen führte. Abgesehen davon, dass Brandrodungsfeldbau generell ökologisch nicht nachhaltig ist, bedeutet dies folglich, dass eine zusätzliche Intensivierung durch verkürzte Brachezeiten zu beschleunigter Bodendegradierung führt. Im Gegensatz dazu ist unter gemulchten Bedingungen auch intensiverer Landbau bei nur dreieinhalb Jahre Brache möglich, da selbst dann die Nährstoffbilanz ausgeglichen war.

Die Nährstoffaufnahme durch Versickerung, in 3 m Tiefe gemessen, waren in beiden Behandlungen auf beiden Flächen vergleichsweise gering. Das Mulchen von hohen Mengen an Biomasse erhöhte die Versickerungsverluste also nicht. In 0,9 m Tiefe waren die Nährstoffkonzentration durch die folgenden Bewirtschaftungsmaßnahmen zeitweise erhöht: Flächenvorbereitung, Maissaat und erste Düngung im Januar 1997; Unkrauthackung, Bohnensaat und zweite Düngung im Mai 1997; das Austrocknen und Wiederbefeuchtung des Bodenprofils am Ende der Trockenzeit; Maniokernte Ende Juni 1998. Die Konzentrationen in dieser Tiefe erreichten unter den gemulchten Behandlungen generell nicht die Werte, die unter den gebrannten Varianten gemessen wurden. Die Länge der vorangegangenen Brachezeit hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Konzentrationen.

Die Transportdynamik der gelösten Nährstoffe wurde offensichtlich stark durch die Ionenaustauschkapazität des Bodens beeinflusst. Der Vergleich der Nährstoffflüsse in den Referenziefen 0,9 m, 1,8 m und 3 m Tiefe zeigte, dass alle Nährstoffe, aber auch Natrium und Chlorid während des Perkolierens adsorbiert wurden, im ersten Beobachtungsjahr (1997) wurden auf beiden Flächen in beiden Behandlungen mehr als 80 % des Nitrat und 75 % des Chlorids, das in 0,9 m Tiefe gemessen wurde, im darunterliegenden Bodenprofil zurückgehalten und erreichte 3 m Tiefe nicht. Dies traf auch auf alle wichtigen Kationen zu, wenn auch im geringeren Maße. Auf der gebrannten Behandlung der alten Kulturfläche wurde im gesamten Beobachtungszeitraum von zwei Jahren 67 kg Nitrat, 103 kg Ca, sowie 12 kg K und 24 kg Mg pro Hektar zwischen 0,9 und 3 m Tiefe zurückgehalten.

Dass alle quantitativ wichtigen Ionen adsorbiert wurden, kann durch einfache Austauschprozesse an der Bodenmatrix nicht erklärt werden, da in diesem Falle äquivalente Mengen an ausgetauschten Ionen in der Bodenlösung in 3 m Tiefe hätten gefunden werden müssten, was nicht der Fall war. Wahrscheinlicher scheint eine Erhöhung der Austauscherkapazität zu sein, die durch die erhöhte Äquivalentkonzentration der perkolierenden Bodenlösung ausgelöst werden könnte. Dies würde aber bedeuten, dass die

adsorbierten Nährstoffe wieder freigesetzt würden, wenn die Flächen erst einmal aufgegeben sind und Regenwasser mit geringerer Ionenkonzentration perkoliert und eine Verminderung der Austauschkapazität hin zu "natürlichen" Bedingungen bewirkt. Trifft dies zu, so ist ein schneller Wiederaufwuchs der tiefwurzelnden Brachevegetation für eine effiziente Nährstoffaufnahme aus tiefen Bodenschichten zwingend notwendig. Dies würde eine Verlängerung der Anbauzeiten ausschließen bzw. jedwede Art der Landwirtschaft, welche die Vitalität der Brachevegetation beeinträchtigt.

Für eine intensive aber ökologisch dennoch nachhaltige Landwirtschaft im östlichen Amazonasgebiet von Brasilien erscheint basierend auf den Ergebnissen dieser Studie folgendes entscheidend zu sein:

Der Erhalt der natürlichen, tiefwurzelnden Brachevegetation zur Verringerung von Nährstoffverlusten durch Versickerung, und eine feuerfreie Flächenvorbereitung durch Mulchen, um Nährstoffverluste durch das Brennen zu verhindern und eine ausgeglichene Nährstoffbilanz zu erzielen.

Rolf Sommer: Water and nutrient balance in deep soils under shifting cultivation with and without burning in the Eastern Amazon, Cuvillier Verlag Göttingen, Göttingen, 2000, ISBN: 226 3-89873-059-X