

# Folgen von Holznutzung in tropischen Regenwäldern – Untersuchungen mit FORMIX3

Andreas Huth und Thomas Ditzer

## Synopsis

### Impact of logging on tropical rain forest – investigations with FORMIX3

The ongoing destruction of tropical rain forests has intensified the discussion about criteria for a sustainable wood use. In this context simulation models for growth of tropical forest can be a useful tool to investigate some long-term impacts of logging. In this paper the rain forest growth model FORMIX3 is used for such a study.

As main processes the FORMIX3 model includes tree growth, mortality, regeneration and competition. The calculation of tree growth is based on a carbon balance. Trees compete for light and space. Dying large trees fall down and create gaps in the forest. Tree species are grouped into functional groups. The model does not include the influence of nutrient limitations and animals. Based on literature data and field measurements a parametrization for Dipterocarp low land forest at Deramakot (Malaysia) was developed.

Different logging scenarios for an initially undisturbed forest stand at Deramakot were simulated. Two different logging methods (conventional and low impact logging) in combination with different cutting cycles (from 20 to 100 years) were investigated. Three types of impacts on the forest were investigated: yield continuity, species composition, and canopy opening. Our simulation results indicate that too short logging cycles (< 40 years) overuse the forest. The corresponding yields are highly fluctuating, the species composition is highly disturbed. For conservation of species composition and minimizing erosion risk logging cycles of 80 or 100 years in combination with low impact methods are recommended. These results base on optimistic assumptions for seedling regeneration, nutrient balance and animal diversity. A modification of these assumptions will presumably result in even more restrictive recommendations.

*Wachstumsmodell, Simulation, tropischer Regenwald, Holzernte, Management*

*Growth model, simulation, tropical rain forest, logging, management*

## 1 Einleitung

Die fortschreitende Reduzierung und Degradierung tropischer Regenwälder hat mittlerweile zu einer intensiven Diskussion über angepaßte Nutzungsformen geführt. In den letzten Jahren sind die Bemühungen gestiegen, nachhaltige Nutzungskonzepte für tropischen Regenwald zu entwickeln und zu realisieren (SCHULTE & SCHÖNE 1996, PANAYOTOU & ASHTON 1993). In diese Richtung zielt auch die Zertifizierung von Tropenholz. Tropenholz, welches aus einer nachhaltigen Bewirtschaftung stammt, soll mit einer Art »Umweltengel« versehen werden (BOOT & GULLISON 1995). Verständlicherweise gibt es einen Streit darüber, anhand welcher Kriterien man eine nachhaltige Nutzung erkennen kann (PUTZ & VIANA 1996, RICE & al. 1997, ONG & al. 1996, WEIDELT 1996, BRUENIG 1996). Aus ökologischer Sicht wäre es wünschenswert, wenn möglichst viele Wälder unter ein vollständiges Nutzungsverbot gestellt würden (WHITMORE AND SAYER 1992). Da sich aber oft eine Nutzung nicht vermeiden läßt, bleibt dennoch die Frage, welche Kriterien eine nachhaltige Nutzung erfüllen müßte.

In diesem Zusammenhang können Waldsimulationsmodelle ein wichtiges Hilfsmittel sein. Mit solchen Modellen lassen sich verschiedene Nutzungsszenarien simulieren und ein Teil der ökologischen Folgen auf den Wald abschätzen. Solche Modelle können natürlich nur die ökologischen Wechselbeziehungen berücksichtigen, die derzeit ausreichend verstanden sind. Viele der ökologischen Beziehungen in Regenwäldern sind aber noch nicht umfassend erforscht (WHITMORE 1995, HUBBELL 1995). Daher beschränken sich solche Modelle derzeit auf eine Beschreibung des Baumwachstums und der Konkurrenz zwischen den Bäumen.

Nachdem zunächst nur sehr einfache Modelle für sehr grobe Ertragsprognosen in der Forstwirtschaft benutzt wurden, sind in den letzten Jahren einige Modelle entwickelt worden, die versuchen, insbesondere die Licht- und Raumkonkurrenz zwischen den Bäumen detailliert zu beschreiben (ALDER 1995, VAN-CLAY 1994, KOHYAMA 1993, KÜRPICK & al. 1997, ONG & KLEINE 1996). Das für diese Studie benutzte Regenwaldmodell FORMIX3 gehört zu dieser Gruppe von Modellen. Die erste Fassung von FORMIX wurde

von Bossel und Krieger entwickelt (BOSSSEL & KRIEGER 1991, 1994), die Weiterentwicklung zu FORMIX3 wurde von Huth und Ditzer durchgeführt (HUTH & al. 1996, 1998, DITZER & al. 1996, 1998).

Ziel der vorgestellten Untersuchungen ist es aufzuzeigen, welche Folgen von Holznutzungen sich derzeit mit einem Simulationsmodell untersuchen lassen (hier FORMIX3). Die Untersuchungen beziehen sich auf Dipterocarpaceen-Tiefland-Regenwald in Malaysia (Deramakot, Sabah). Für diesen Waldtyp steht bereits eine überprüfte Parametrisierung des Modells zur Verfügung.

## 2 Beschreibung des Modells

Im folgenden wollen wir eine kurze Beschreibung der wichtigsten Komponenten des Regenwaldmodells FORMIX3 vorstellen. Ausführlichere Beschreibungen des Modells finden sich in DITZER & al. 1996, HUTH & al. 1996 und BOSSSEL & KRIEGER 1991.

1. *Baumwachstum*: In Abhängigkeit des Lichtklimas wird die von den Blättern durch Photosynthese produzierte Assimilate bestimmt. Ein Teil der Assimilate wird respiriert, der andere Teil umgelagert in Biomasse. Die umgelagerte Biomasse führt zum Wachstum des Baumes (Wachstum von Stammdurchmesser, Stammhöhe, Krone und Blattfläche).
2. *Mortalität*: Bäume sterben natürlich ab, die Mortalitätsrate hängt vom aktuellen Durchmesserzuwachs des Baumes und der Konkurrenzsituation ab. Große absterbende Bäume können umfallen und Lücken im Bestand schlagen.
3. *Regeneration*: Die Bäume werfen Samen, die insbesondere in Abhängigkeit vom Lichteinfall zum Teil keimen und schließlich den Jungwuchs bilden.
4. *Konkurrenz*: Bäume konkurrieren um Licht und um Raum. Große Bäume beschatten kleinere Bäume. Hierdurch produzieren die kleinen Bäume weniger Biomasse und wachsen langsamer. Stehen die Bäume zu dicht, so steigt die Mortalität.
5. *Baumartengruppen*: Die Baumarten werden zu derzeit 5 funktionellen Gruppen zusammengefaßt. Jede Baumartengruppe hat einen typischen Wuchshöhenbereich und ein typisches Lichtbedürfnis. Zur Artengruppe 1 und 2 gehören überwiegend schattenliebende Dipterocarpaceen Arten, zur Artengruppe 3 lichtliebende Pionierarten wie *Macaranga* spp. Die Baumarten der verschiedenen Artengruppen haben verschiedene Endhöhen (Artengruppe 1: über 35 m, Artengruppen 2: zwischen 25 und 36 m, Artengruppe 3: zwischen 15 und 25, Artengruppe 4 und 5: kleiner als 15 m).
6. *Simulationsgebiet*: Simuliert wird ein Waldgebiet von einem Hektar.

Das Modell wurde parametrisiert mit Hilfe von Feldmessungen und Literaturdaten (HUTH & al. 1996). Gemessen wurden die Photosyntheseproduktion der Blätter für verschiedene Baumarten (ESCHENBACH 1998) und die Struktur des Lichtklimas in verschiedenen Beständen (SCHLENSOG 1997). Die Parameter zur Regeneration wurden durch iterative Schätzung bestimmt (»fitting«).

## 3 Testen des Modells

Zum Testen des Modells wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt für Dipterocarpaceen Regenwald in Malaysia (HUTH & al. 1996). Es wurden zahlreiche Vergleiche mit Felddaten und umfangreiche Sensitivitätsuntersuchungen realisiert. Es konnte gezeigt werden, daß das Modell in realistischer Weise oberirdische Biomasse, Stammgrundfläche, Blattflächenindex, Lückenanteil, Artengruppenzusammensetzung, Baumgrößenverteilung in ausgewachsenen Wäldern beschreibt. Auch die Nettoprimärproduktion und Durchmesserzuwächse entsprechen typischen Literaturwerten.

Neben solchen Vergleichen der Waldstruktur ist es auch möglich, das Wachstum eines Einzelbaumes mit Felddaten zu vergleichen. Abb. 1 zeigt Felddaten für drei Dipterocarpaceen-Arten in Plantagen (ZUHAIIDI & al. 1994). Diese Felddaten sind eine Beson-

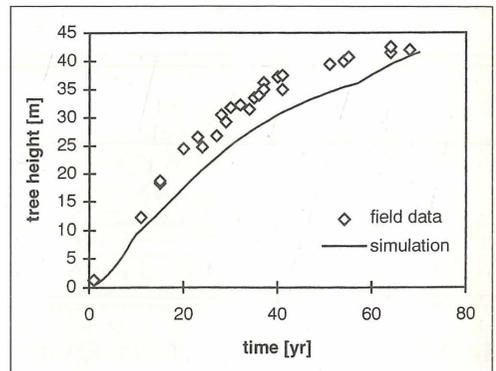


Abb. 1

Zur Überprüfung des FORMIX3-Modells. Vergleich des im Feld gemessenen Einzelbaumwachstum von drei Dipterocarpaceen-Arten (Datenpunkte, Daten aus ZUHAIIDI & al. 1994) mit dem simulierten Wachstum von einem Dipterocarpaceen-Baum (durchgezogene Linie).

Fig. 1

Example for testing the FORMIX3-Model. Shown is the height growth of single Dipterocarp tree over 70 years. Comparison of field data (data from ZUHAIIDI & al. 1994) and simulation results.

derheit, da sie das Höhenwachstum der Bäume über eine Zeitspanne von 70 Jahren dokumentieren. Abb. 1 zeigt auch das simulierte Wachstum eines solchen Dipterocarpaceen-Baumes mit FORMIX3 (Wachstum ohne Licht- und Raumkonkurrenz, also optimale Bedingungen, welches in etwa der Situation in der Plantage entspricht). Es zeigt sich, daß FORMIX3 das Baumwachstum etwas unterschätzt, aber insgesamt recht ähnlich zu den Felddaten wiedergibt. Die Abweichungen sind vermutlich durch Unsicherheiten bei den verwendeten Respirationsdaten verursacht.

Wie jedes Modell hat FORMIX3 auch seine Anwendungsgrenzen. Das Modell berücksichtigt derzeit nicht den Einfluß von Nährstoffen und Tieren auf das Baumwachstum. Die benutzten Regenerationsraten für die sich neu etablierenden Bäume sind optimistisch und gelten nur für wenig gestörte bzw. ungestörte Wälder. Für die Simulation einer großflächigen Holznutzung müßten die Regenerationsannahmen verändert werden.

#### 4 Untersuchung der Folgen von Holznutzung

Im folgenden wollen wir nun verschiedene Holznutzungsszenarien untersuchen. Hierzu unterscheiden wir verschiedene Nutzungszyklen und Nutzungsmethoden.

Der *Nutzungszyklus* bezeichnet den zeitlichen Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Nutzungen. Wir haben Nutzungszyklen von 20, 40, 60, 80 und 100 Jahren untersucht. Derzeit wird ein Nutzungszyklus von etwa 30 Jahren offiziell in Malaysia angewandt.

Bei der *Nutzungsmethode* haben wir zwei Extremfälle untersucht: konventionelle Nutzung mit Traktoren, welche zu hohen Schäden im Wald führt, und sanfte Nutzung mit einem Seilbahnsystem, wodurch deutlich geringere Schäden im Wald hinterlassen werden. Die Schäden werden vereinfacht durch Anteile von abgestorbenen Bäumen am Gesamtbestand angegeben. So wurden für die konventionelle Nutzung folgende Schadensanteile gewählt: 40%–70% je nach Baumgröße, bei der sanften Nutzung: 20%–40%. Die größeren Bäume werden stärker geschädigt. Die angenommenen Werte decken den Bereich der Werte ab, die sich in der Literatur finden (WHITMORE 1990, NICHOLSON 1979, HENDRISON 1990, JONKERS 1987, PINARD & PUTZ 1996, WEIDELT 1996).

Bei einer Nutzung werden alle großen Dipterocarpaceen-Bäume dem Wald entnommen (Bäume mit einem Stammdurchmesser in Brusthöhe größer als 60 cm).

Weiterhin benutzen wir folgende vereinfachende Annahmen:

1. Die Nutzungen verändern nur wenig die Diasporverbreitung und die Etablierung des Jungwuchses der Bäume.
2. Die Nährstoffverluste bedingt durch die Nutzung sind gering. Für Borneo gibt es Untersuchungen, die eine solche Annahme rechtfertigen (RUHIYAT 1989).

Die Ergebnisse der folgenden Nutzungsszenarien gehen somit von optimistischen Annahmen für die Regenerationsfähigkeit des Waldes aus.

Die Folgen der Waldnutzung wollen wir anhand von drei Kriterien untersuchen: Holzertrag pro Nutzung, Veränderung der Artenzusammensetzung und Veränderung des Öffnungsgrades des Waldes. Der Gesamtholzertrag über einen gewissen Zeitraum als weiteres Kriterium wurde bereits in DITZER & al. 1996 untersucht und diskutiert.

Abb. 2 zeigt die Erträge pro Nutzung für die insgesamt 10 Nutzungsszenarien. Je kürzer die Nutzungszyklen, um so mehr schwanken die Erträge pro Nutzung. So zeigt der 20 jährige Nutzungszyklus bei jeder 2. und 3. Nutzung nur sehr geringe Erträge. Dies ist ein deutlicher Hinweis, daß hier der Wald übernutzt wird. Der Ertrag der ersten Nutzung (Zeitpunkt 0) ist sehr hoch, da wir zu Beginn der Simulationen einen ausgewachsenen, bisher ungenutzten Wald vorausgesetzt haben. Nur lange Nutzungszyklen von 80 und 100 Jahren zeigen kaum Schwankungen in den Holzerträgen. Dieses Ergebnis findet sich in etwas abgeschwächter Form auch bei den Szenarien mit sanften Nutzungsmethoden.

Als nächstes wollen wir untersuchen, wie sich die Baumartenzusammensetzung durch Nutzungen verändert. Abb. 3 faßt die Ergebnisse hierzu zusammen. In unberührten Wäldern beträgt die Artengruppenzusammensetzung typischerweise 70% für Gruppe 1 (Dipterocarpaceen-Arten mit Endhöhe über 36 m), 20% für Gruppe 2 (Dipterocarpaceen-Arten mit Endhöhe unter 36 m) und 5% für Gruppe 3 (Macaranga-Arten) (HUTH & al. 1996 nach Daten von SCHLENSOG 1997). Bei konventioneller Nutzung und kurzen Nutzungszyklen kommt es zu deutlichen Verschiebungen der mittleren Artenzusammensetzung. Der mittlere Anteil der hochwüchsigen Dipterocarpaceen (Gruppe 1) sinkt ab von 68% auf 48%, der Pionierartenanteil (Gruppe 3, Macaranga) steigt von 7% auf 17% beim Nutzungszyklus von 20 Jahren. Dies sind deutliche Hinweise, daß die Nutzungen drastische Folgen für die Baumartenzusammensetzung haben. Ursache hierfür ist vor allem, daß bei den kurzen Nutzungszyklen durch die starke Öffnung des Waldes die lichtliebenden Baumarten (Gruppe 3) sehr günstige Wachstumsbedingungen haben.

Bei der sanften Nutzung ist die Verschiebung der Artenzusammensetzung weniger ausgeprägt. Der

Abb. 2  
 Ergebnisse der Simulation von verschiedenen Holznutzungsszenarien für Dipterocarpaceen-Wald in Malaysia. Dargestellt ist das geerntete Holzvolumen pro Nutzung zum Zeitpunkt der Entnahme. Untersucht wurden verschiedene Nutzungszyklen (20 bis 100 Jahre) und verschiedene Nutzungsmethoden (konventionelle und sanfte Nutzung).

Fig. 2  
 Simulation results for different logging scenarios. Logged volume obtained per cut at time of extraction for different cutting cycles and logging methods.

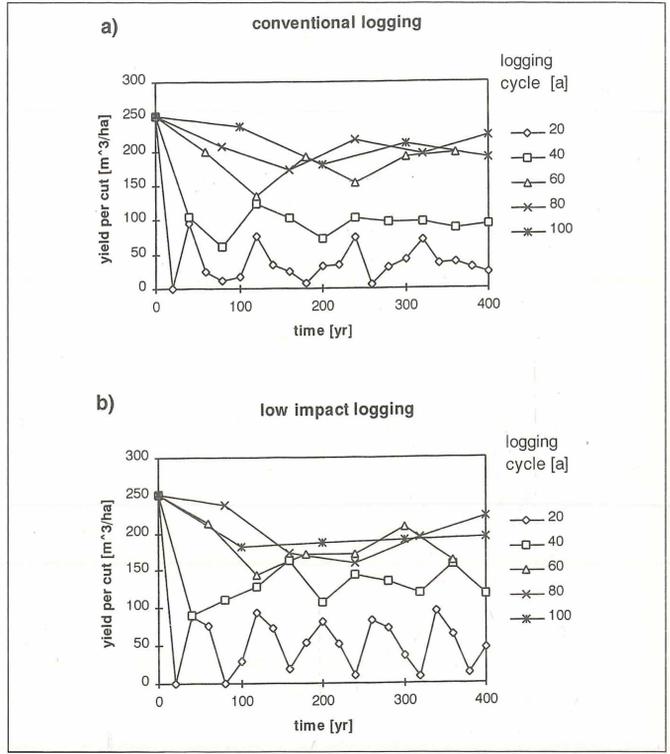
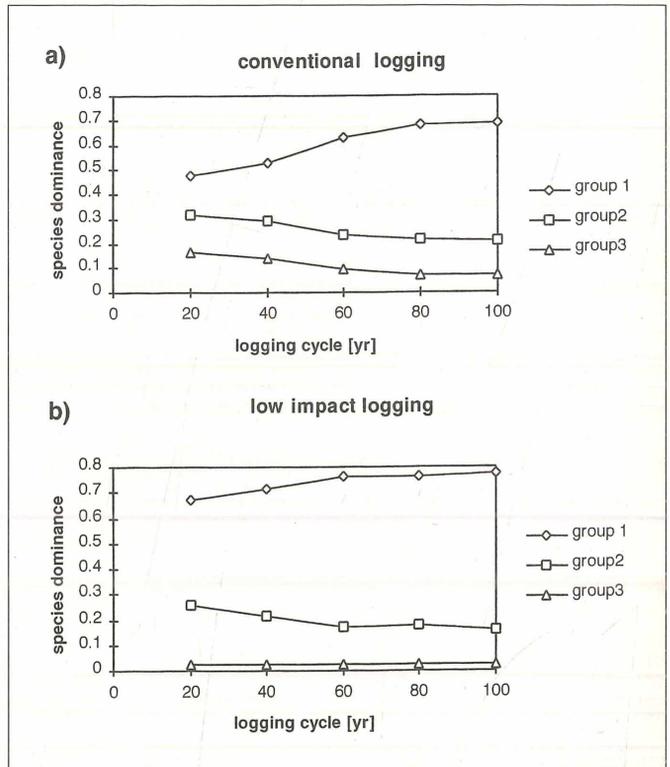


Abb. 3  
 Ergebnisse der Simulation von verschiedenen Holznutzungsszenarien. Dargestellt ist die mittlere Artenzusammensetzung in Form der Holzvolumenanteile der einzelnen Artengruppen am Gesamtvolumen. Zu Artengruppe 1 und 2 gehören überwiegend Dipterocarpaceen-Arten, zu Artengruppe 3 Macaranga-Arten. Die angegebenen Artenanteile sind Mittelwerte über 400 Jahre Simulation.

Fig. 3  
 Results for the simulation of different logging scenarios. Mean species group dominance for different cutting cycles and logging methods. The species group dominance is calculated as the share of a species group in the stem volume of the whole forest. Tree species group 1 and 2 include mainly Dipterocarp species, species group 3 Macaranga species. Each value represents a mean value over 400 years for 5 simulation runs.



Anteil der Pionierarten (Gruppe 3) bleibt auch bei kürzeren Nutzungszyklen gleich. Das Verhältnis von Artengruppe 1 zu 2 verändert sich aber deutlich. Will man die Artenzusammensetzung möglichst wenig verändern, so sind lange Nutzungszyklen zu wählen (80 oder 100 Jahren). Bei kürzeren Nutzungszyklen lassen sich durch sanfte Nutzungsmethoden Verschiebungen in der Artenzusammensetzung reduzieren (im Vergleich zur konventionellen Nutzung).

In Abb. 4 sind Untersuchungen dokumentiert, wie sich der Öffnungsgrad des Waldes verändert in Abhängigkeit von verschiedenen Nutzungsszenarien. Der Öffnungsgrad bezeichnet hierbei den Anteil der Waldfläche, der nur mit kleinen Bäumen besiedelt ist (Baumhöhe kleiner 36 m). Ein hoher Öffnungsgrad gibt Hinweise auf eine erhöhte Erosionsgefährdung des Waldes, insbesondere bei Hanglage des Waldes und starker Bodenschädigung.

Sowohl bei der konventionellen als auch der sanften Nutzung zeigt sich eine starke Abhängigkeit des mittleren Öffnungsgrades von den praktizierten Nutzungszyklen. Sehr kurze Nutzungszyklen führen zu einer starken Öffnung des Waldes (75–80%). Der geringste Öffnungsgrad (55%) wird bei dem längsten Nutzungszyklus von 100 Jahren erzielt. Eine möglichst geringe Erosionsgefährdung läßt sich also nur bei langen Nutzungszyklen erreichen.

## 5 Diskussion

Die hier vorgestellten Ergebnisse geben erste Hinweise, daß kurze Nutzungszyklen von 20 bis 40 Jahren die Waldstruktur stark verändern und zu einer Übernutzung des Waldes führen. Eine Erhaltung der Baumartenzusammensetzung und eine Reduzierung der Erosionsgefährdung kann vermutlich nur durch sehr lange Nutzungszyklen erreicht werden (80 und 100 Jahre, Abb. 3 und 4). Bei kürzeren Nutzungszyklen lassen sich durch sanfte Nutzungsmethoden (Seilbahnsysteme) Verschiebungen in der Artenzusammensetzung reduzieren. Die Untersuchungen zeigen auch, daß eine Änderung des Nutzungszyklus einen größeren Einfluß auf den Waldzustand hat als die Änderung der Nutzungsmethode (Abb. 3).

Wir möchten betonen, daß die hier vorgestellten Nutzungsszenarien von optimistischen Annahmen für die Waldregeneration ausgehen. Eine Nutzung führt in der Simulation zu kurzfristigen Schäden im Wald, hat aber keine direkten langfristigen Folgen.

In einem pessimistischen Szenario wäre es denkbar, daß der Teil der Fläche, der als Rückeweg benutzt wurde, derart stark in seinen Bodeneigenschaften verändert wurde, daß dort über viele Jahre sich keine Bäume ansiedeln können (PINARD & al. 1996).

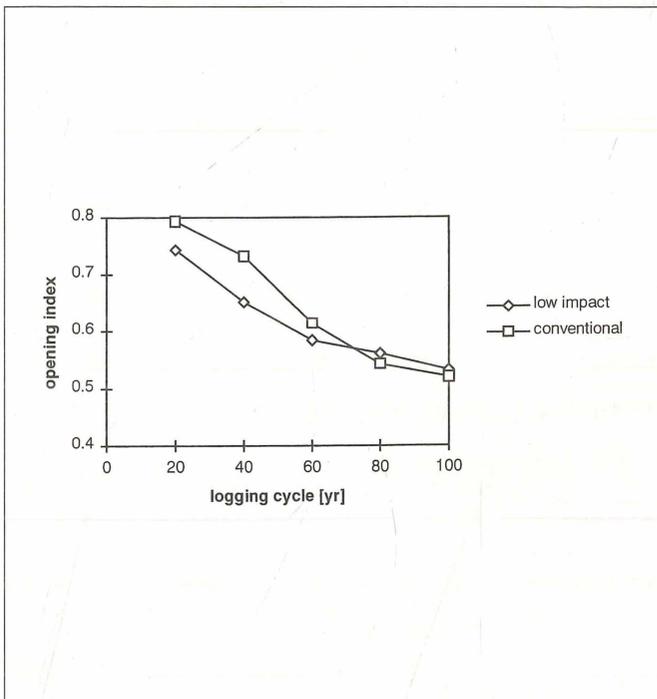


Abb. 4

Ergebnisse der Simulation von verschiedenen Holznutzungsszenarien. Dargestellt ist der mittlere Kronenöffnungsgrad für verschiedene Nutzungszyklen und -methoden. Der Kronenöffnungsgrad kann als Hinweis für eine mögliche Erosionsgefährdung des Bodens verwendet werden. Die angegebenen Öffnungsgrade sind Mittelwerte über 400 Jahre Simulation.

Fig. 4

Simulation results for different logging scenarios. Degree of canopy opening for different cutting cycles and logging methods. The opening index is defined as the fraction of the stand area without big trees (no trees higher than 36 m). The opening of the canopy can be used as an indicator for the risk of soil erosion. Each value is an average of 5 simulations over 400 years.

Weiterhin wurde in den dargestellten Simulationen vorausgesetzt, daß das untersuchte Waldstück sich innerhalb eines größeren intakten Waldes befindet. Ist dies nicht der Fall, so ist zu erwarten, daß die Nutzungen mittelfristig einen starken Einfluß auf den Nachwuchs von jungen Bäumen haben. Es fehlen dann sicherlich ausreichend Mutterbäume, die Samen werfen, besonders bei den Dipterocarpaceen-Arten. In diesem Fall sind noch drastischere Veränderungen in der Baumartenzusammensetzung durch die Nutzungen zu erwarten. Diese Veränderungen werden sogar irreversibel sein.

Ähnliche Folgen hätte die Berücksichtigung des Austrags von Nährstoffen durch die Entnahme von Holz. Wir haben dies hier vernachlässigt, da auf Borneo über den Luftweg ein großer Teil der Nährstoffverluste ausglich werden kann (RUHIYAT 1989). Bei sehr intensiven Nutzungen wird aber dieser Eintrag den Austrag vermutlich nicht mehr decken. In diesem Fall kommt es zu einem kontinuierlichen oder abrupten Abfall der Erträge durch Nährstoffverarmung.

Aus Gründen der Komplexität können mit derartigen Simulationsrechnungen die Auswirkungen auf die Tierbestände nicht erfaßt werden. Von vielen Tierarten ist bekannt, daß sie eine wichtige Rolle für die Befruchtung der Bäume und die Verbreitung von Baumsamen spielen (WHITMORE 1990, RICHARDS 1996). Auch die Tierpopulationen werden durch die Nutzungen gestört, was somit wiederum Auswirkung auf den Jungwuchs von verschiedenen Baumarten hat (TERBORGH 1995).

Insgesamt bleiben also bei diesen ersten Untersuchungen zu Folgen von Nutzungsszenarien noch viele Fragen ungeklärt. Hier sind weitere Arbeiten notwendig. Im Zusammenhang mit der Zertifizierung von tropischem Regenwaldholz wird die Bedeutung solcher Untersuchungen mit Simulationsmodellen sicher zunehmen (BOOT & GULLISON 1995). Es wäre wünschenswert, wenn sich hieraus auch ein Entwicklungsschub für die Regenwaldmodellierung ergibt.

### Danksagung

Für die Unterstützung bei der Entwicklung von FORMIX3 möchten wir danken: H. Bossel, R. Glauner (!), C. Eschenbach, B. Hahn-Schilling, B. von der Heyde, L. Kappen, M. Kleine, M. Schlenso, dem ›Forest Department of Sabah‹ in Sandakan/Malaysia, dem ›Forest Research Center‹ in Sandakan, dem ›Malaysian-German Sustainable Forest Management Project‹ in Sandakan, der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit in Eschborn (GTZ) und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung in Bonn (BMBF).

### Literatur

- ALDER, D., 1995: Growth Modelling for Mixed Tropical Forests. – Oxford Forestry Institute, Nr. 30, Oxford.
- BOOT, R.G.A. & R.E. GULLISON, 1995: Approaches to developing sustainable extraction systems for tropical forest products. – *Ecol. Appl.*, 5.
- BOSSSEL, H. & H. KRIEGER, 1991: Simulation model of natural tropical forest dynamics. – *Ecol. Model.*, 59: 37–71.
- BOSSSEL, H. & H. KRIEGER, 1994: Simulation of multi-species tropical forest dynamics using a vertically and horizontally structured model. – *For. Ecol. Manage.*, 69: 123–144.
- BRUENIG, E.F., 1996: Conservation and Management of Tropical Rainforests: an Integrated Approach to Sustainability. – CAB International, Wellington: 339 S.
- DITZER, T., A. HUTH & H. BOSSSEL, 1996: Simulation des Wachstums von Dipterocarpaceen-Regenwald in Malaysia zur Bewertung von Nutzungsverfahren. – *Ver. Ges. Ökol.*, 26: 425–434.
- DITZER, T., A. HUTH & H. BOSSSEL, 1998: Modelling growth dynamics of tropical rain forest and its disturbance based on functional groups of tree species. – *Ecology*: submitted.
- ESCHENBACH, C., R. GLAUNER, M. KLEINE & L. KAPPEN, 1998: Photosynthesis rates of selected tree species in lowland Dipterocarp rain forests of Sabah, Malaysia. *Trees*, 12: 356–365.
- HENDRISON, J., 1990: Damage-controlled logging in managed rain forest in Suriname. – Agricultural University Wageningen, Netherlands.
- HUBBELL, S.P., 1995: Toward a global research strategy on the ecology of natural tropical forests to meet conservation and management needs. In: A.E. LUGO & C. LOWE (ed), *Tropical Forests: Management and Ecology*. – Springer: 423–437.
- HUTH, A., T. DITZER, & H. BOSSSEL, 1996: Simulation of the growth of tropical rain forest. Final report to GTZ. – Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Nr.: P9602, Kassel: S. 180.
- HUTH, A., T. DITZER & H. BOSSSEL, 1998: Simulation of the growth of tropical rain forests – FORMIX3. – *Ecol. Model.*: submitted.
- JONKERS, W.B.J., 1987: Vegetation structure, logging damage and silviculture in tropical rain forest in Suriname. – Agricultural University Wageningen, Netherlands: 170 S.
- KOHYAMA, T., 1993: Size-structured tree populations in gap-dynamic forest. The forest architecture hypothesis for the stable coexistence of species. – *J. Eol.*, 81: 131–143.
- KÜRPICK, P., U. KÜRPICK & A. HUTH, 1997: The influence of logging on a Malaysian Dipterocarp

- rain forest: a study using a forest gap model. – *J. theo. Biol.*, 185: 47–54.
- NICHOLSON, D.I., 1979: The effects of logging and treatment on the mixed dipterocarp forests of South East Asia. – FAO, Rome.
- ONG, R.C. & M. KLEINE, 1996: DIPSIM: Dipterocarp forest growth simulation model – a tool for forest-level management planning. In: A. SCHULTE & D. SCHÖNE (ed), *Dipterocarp Forest Ecosystems – Towards Sustainable Management*. – World Scientific Press, Singapore: 228–246.
- ONG, R.C., P.M. LAGAN, R. GLAUNER, M. KLEINE, & K. UEBELHÖR, 1996: Examples of sustainability criteria for dipterocarp forest management. In: A. SCHULTE & D. SCHÖNE (ed), *Dipterocarp Forest Ecosystems: Towards Sustainable Management*. – World Scientific Press, Singapore: 274–292.
- PANAYOTOU, T. & P.S. ASHTON, 1993: *Not by Timber Alone: Economics and Ecology for Sustaining Tropical Forests*. – Island Press, Washington D.C.
- PINARD, M., B. HOWLETT & D. DAVIDSON, 1996: Site conditions limit pioneer tree recruitment. – *Biotropica*, 28/1: 2–12.
- PINARD, M.A. & F.E. PUTZ, 1996: Retaining forest biomass by reducing logging damage. – *Biotropica*, 28: 278–295.
- PUTZ, F.E. & V. VIANA, 1996: Biological challenges for certification of tropical timber. – *Biotropica*, 28: 323–330.
- RICE, R.E., R.E. GULLISON & J.W. REID, 1997: Can sustainable management save tropical forests. – *Sci. Amer.*: 34–39.
- RICHARDS, P.W., 1996: *The tropical rain forest*. – Cambridge University Press, Cambridge. 575 S.
- RUHIYAT, D., 1989: Die Entwicklung der standörtlichen Nährstoffvorräte bei naturnaher Waldbewirtschaftung und im Plantagenbetrieb, Ostkalimantan, Indonesien. – *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen*, 35. Goltze, Göttingen: S. 208.
- SCHLENSOG, M., 1997: Experimentelle Untersuchungen des Lichtklimas in Urwaldparzellen Nordborneos. – *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen*, 117. Goltze, Göttingen: 151 S.
- SCHULTE, A. & D. SCHÖNE (ed), 1996: *Dipterocarp forest ecosystems – towards sustainable management*. – World Scientific Press, Singapore.
- TERBORGH, J., 1995: Wildlife in managed tropical forests: a neotropical perspective. In: A.E. LUGO & C. LOWE (ed), *Tropical Forests: Management and Ecology*. – Springer, New York: 397–407.
- VANCLAY, J.K., 1994: *Modelling forest growth and yield: Applications to Mixed Tropical Forests*. – CAB International, Wallingford: 312 S.
- WEIDELT, H.-J., 1996: Sustainable management of dipterocarp forests – opportunities and constraints. In: A. SCHULTE & D. SCHÖNE (ed), *Dipterocarp Forest Ecosystems: Towards Sustainable Management*. – World Scientific Press, Singapore: 249–273.
- WHITMORE, T.C., 1990: *Tropical Rain Forest*. – Clarendon Press, Oxford: 226 S.
- WHITMORE, T.C., 1995: Perspectives in tropical rain forest research. In: A.E. LUGO & C. LOWE (ed), *Tropical Forests: Management and Ecology*. – Springer, New York: 397–407.
- WHITMORE, T.C. & J.A. SAYER (ed), 1992: *Tropical Deforestation and Species Extinction*. – Chapman & Hall, London: 153 S.
- ZUHAI, A., G. WEINLAND & W. KOLLERT, 1994: Growth performance of three Dipterocarp plantation stands. In: Y. KONOHIRA (ed), *Growth and Yield of Tropical Forests*. – International Union of Forestry Research Organization, Fuchu, Tokyo, Japan: 136–151.

#### Adresse

Andreas Huth und Thomas Ditzer  
Wissenschaftliches Zentrum  
für Umweltsystemforschung  
Universität Kassel  
D-34109 Kassel

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [28\\_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Huth Andreas, Ditzer Thomas

Artikel/Article: [Folgen von Holznutzung in tropischen Regenwäldern - Untersuchungen mit FORMIX3 183-189](#)