

Untersuchungen zur Dynamisierung des prozessorientierten Waldwachstumsmodells FORMIX 3-Q für den Einsatz in der forstbetrieblichen Planung im tropischen Feuchtwald

**Dargestellt am Beispiel der Modell-Parametrisierung für die
Deramakot Forstreserve in Sabah (Ost-Malaysia)**

Zusammenfassung

Zur Erfüllung der vielfältigen Waldfunktionen in den Tropen gewinnen die genutzten Feuchtwälder zunehmend an Bedeutung. Viele diese Flächen sind durch exploitative Nutzungen degradiert und unterliegen einem starken Umwandlungsdruck in Nutzungsformen, die eine kurzfristige Gewinnmaximierung versprechen. Die zeitnahe Inwertsetzung und dauerhafte Bewirtschaftung der degradierten Waldflächen gilt daher in den Tropen als eine der größten Herausforderungen für die Forstwirtschaft. Die dazu erforderliche Einführung eines Planungs- und Bewirtschaftungssystems bereitet in der forstbetrieblichen Praxis trotz bekannter konzeptioneller Grundlagen erhebliche Schwierigkeiten, da im Bereich der Ertrags- und Produktionsregelung grundlegende Informationen und längerfristige Erfahrungen zu Wachstum, Struktur und Dynamik der Bestände fehlen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird für Situationen mangelnder Eingangsdaten in den forstlichen Planungsprozess der Einsatz von prozessorientierten Waldwachstumsmodellen als Instrument zur Unterstützung der waldbaulichen Entscheidungsfindung ("*decision support system*") empfohlen. Prozessorientierte Waldwachstumsmodelle simulieren das Wachstum der Wälder auf Basis ökophysiologischer Prozesse und sind nicht wie viele andere Planungsinstrumente, auf empirische Wachstumsdaten aus Dauerversuchsflächen angewiesen. Aufgrund ihrer Komplexität werden die prozessorientierten Modelle üblicherweise den Anwendungsbereichen der Forschung und Lehre zugeordnet, während ihre Eignung für den Einsatz im forstbetrieblichen Planungsprozess oft in Frage gestellt wird.

Am Beispiel des Regenwaldmodells FORMIX 3-Q werden Optionen aufgezeigt, anhand derer sich ein prozessorientiertes Waldwachstumsmodell für den Einsatz in der tropenforstlichen Betriebsplanung dynamisieren lässt, um so mit dem Modell eine Vielzahl von Waldentwicklungspfaden praxisnah und plausibel simulieren zu können.

Die Erarbeitung der Dynamisierungsoptionen bezieht sich auf drei forstlich relevante Teilprozesse des Waldwachstums:

1. Modellhafte Abbildung der Verjüngungsprozesse,
2. Berücksichtigung physiographischer Faktoren in der Standort-Leistung-Beziehung,
3. Erarbeitung eines Modellansatzes zur Abbildung von Durchforstungseingriffen.

In Anlehnung an das Verfahren des "*pattern-oriented modeling*" werden die einzelnen Teilprozesse anhand von Literatur- und Datenauswertungen auf zeitliche und räumliche Muster untersucht, die musterbildenden Parameter und deterministischen Gesetzmäßigkeiten analysiert und in funktionale Relationen erfasst. Dieser Ansatz ermöglicht es, die forstlich relevanten Teilprozesse des Wachstums auf einer makroskaligen Hierarchieebene zusammenzufassen und für die Modellentwicklung verfügbar zu machen, ohne dass die

physiologischen Größen und Mechanismen auf den niedrigeren Systemhierarchieebenen vollständig bekannt und erforscht sein müssen.

Die Analyse der Wachstumsprozesse basiert auf Felddaten, die im Zeitraum von 1989 bis 2000 in der Deramakot Forstreserve in Sabah (Ost-Malaysia) im Rahmen des "*Malaysian-German Sustainable Forest Management Projects*" erhoben wurden. Für diesen Forstbetrieb ist das Modell FORMIX 3-Q bereits umfassend parametrisiert und erfolgreich validiert. In der Parametrisierung für die Dipterocarpaceenwälder der Deramakot Forstreserve dient das Modell als Ausgangspunkt der Untersuchungen in dieser Arbeit.

In der aktuellen Modellversion bildet FORMIX 3-Q die Verjüngungsprozesse im Dipterocarpaceenwald in der einfachsten Form über ein Einwuchsmodell ab. Dabei wird dem Baumkollektiv jährlich eine konstante Anzahl an Jungpflanzen hinzugefügt. Zeitliche und räumliche Muster in den Verjüngungsprozessen im Dipterocarpaceenwald bleiben dabei unberücksichtigt. Darunter leidet die Qualität der Wachstums- und Ertragsprognosen. Es wird daher empfohlen, den Einwuchs in das Modell empirisch-dynamisch zu simulieren. Dies geschieht durch die Einbeziehung der musterbildenden funktionalen Beziehung von Einwuchsrate und Bestandesstruktur in das Einwuchsmodell. Dabei ist zu beachten, dass sich die funktionalen Beziehungen je nach Artengruppe und ontogenetischer Entwicklungsstufe der Verjüngung voneinander unterscheiden können. Vereinfachte Annahmen können dabei für das Vorkommen der Sämlinge der Klimax- und Pionierbaumarten gemacht werden. Die aus der Literatur bekannten Angaben zum Vorhandensein einer strukturunabhängigen Sämlingsbank der Klimaxbaumarten sowie einer Samenbank der Pionierbaumarten können durch die Ergebnisse der Datenauswertung bestätigt werden. Der musterbildende Einfluss der räumlichen Konstellation der Mutterbäume, der auch Gegenstand bekannter Theorien zur Baumartenvielfalt im Tropenwald ist (z.B. das *Janzen-Connell-Modell*), konnte anhand der Datenauswertung nicht geklärt werden. Offen bleibt, ob die identifizierten Muster pantropisch gültig sind und damit in einem Einwuchsmodell universell eingesetzt werden könnten. Dies sollte in weiterführenden Untersuchungen geprüft werden.

Ein Großteil der Waldflächen Südostasiens, die für eine dauerhafte Bewirtschaftung vorgesehen sind, befindet sich in Gebieten mit hoher Reliefenergie. Die Untersuchungen der Höhenkuren von Bäumen in verschiedenen Hanglagen haben sowohl auf Ebene funktionaler Artengruppen als auch auf Ebene ausgewählter Kennbaumarten Unterschiede im Höhenwachstum aufgedeckt. Die daraus resultierenden Unterschiede im Holzernteertrag weisen anhand von Simulationen mit FORMIX 3-Q einen statistisch signifikanten Unterschied auf. Die Unterschiede betragen bis zu 25% des potentiell erntefähigen Bruttovolumens. Die Empfehlung für die Praxis lautet dementsprechend, die Hanglage als standörtlichen Faktor bei der Nutzungsplanung und Ertragsprognose zu berücksichtigen.

Dem Modell FORMIX 3-Q fehlt in der bisherigen Version ein Teilmodell zur Abbildung von Durchforstungseingriffen. Dadurch ist das Modell als Hilfsinstrument der forstbetrieblichen Planung in seinem Potential stark eingeschränkt. Eine Vielzahl an Entwicklungspfaden, die in der Praxis denkbar und möglich sind, lassen sich aufgrund dieser Einschränkung im Modell nicht nachbilden. Darunter leidet auch die Eignung des Modells für Fragestellungen aus der waldbaulichen und ertragskundlichen Forschung. In dieser Arbeit wird ein Durchforstungsmodell für FORMIX 3-Q vorgeschlagen, verifiziert und validiert. Die

vorgeschlagenen Algorithmen lassen sich als analytisch, distanzunabhängig und deterministisch klassifizieren. Mit 400 verschiedenen Durchforstungsszenarien konnte das Durchforstungsmodell in über 10.000 Simulationsläufen erfolgreich verifiziert werden. Dabei ließen sich sowohl einmalige und mehrmalige Durchforstungseingriffe als auch schematische und situative Durchforstungseingriffe entsprechend der Vorgaben durchführen. Die Validierung des Durchforstungsmodells erfolgte nach dem Verfahren der *pattern-oriented modeling*. Das Modell zeigt sich dabei in der Lage, die aus der Literatur bekannten Zuwachsmuster im Wachstum infolge einer Durchforstung plausibel zu replizieren. Bei der Simulation identischer Szenarien kann FORMIX 3-Q im direkten Vergleich mit dem empirischen Regenwaldmodell SYMFOR die Stärken des prozessorientierten Modellansatzes in Situationen unzureichender Informationen unterstreichen.

Die Simulationsergebnisse liefern wichtige Informationen zum kontrovers diskutierten Thema der Durchforstung im polyzyklisch bewirtschafteten tropischen Feuchtwald. So lässt sich zwar das Wachstum der Bäume gemäß der theoretischen Erwartungen durch eine Durchforstung stark anregen, doch nur unter bestimmten Konstellationen führt dieser Wachstumsschub auch zu einem Ertragsgewinn auf Bestandesebene. Nach den Ergebnissen der Durchforstungssimulationen beträgt dieser Zuwachsgewinn bis zu 10% des normalen Holzernteertrages und lässt sich durch eine gezielte Förderung der Wirtschaftsbaumarten potentiell auf bis zu 20% steigern. Zudem zeigen die Ergebnisse, dass sich im Fall einer durchforstungsbedingten Ertragssteigerung von 10% die Umlaufzeit im Gegenzug von 40 auf 35 Jahre verkürzen lässt, ohne dass der Ertrag gegenüber der undurchforsteten Kontrollfläche geringer ausfällt. Eine ökonomische und ökologische Bewertung der Durchforstungsmaßnahmen findet in dieser Arbeit nicht statt, ist aber zur Weiterentwicklung des Durchforstungsmodells und zur Abrundung der Diskussion unbedingt erforderlich.

Die in dieser Arbeit entwickelten Vorschläge zur Dynamisierung von FORMIX 3-Q lassen sich grundsätzlich auch auf andere prozessorientierte Waldwachstumsmodelle übertragen und dienen damit der allgemeinen Verbesserung der Prognosegenauigkeit und der Einsatzmöglichkeiten der Modelle. Unter Berücksichtigung einer bedienerfreundlichen Umsetzung der Vorschläge lässt sich ein prozessorientiertes Waldwachstumsmodell so zu einem praxisgerechten Hilfsmittel der forstbetrieblichen Planung entwickeln, mit dem sich verschiedene Entwicklungspfade zeit- und kostengünstig überprüfen lassen. Dies versetzt den Forstplaner in die Lage, die potentielle Inwertsetzung der Waldbestände und die langfristige ökonomische Konkurrenzfähigkeit der Waldbewirtschaftung gegenüber anderen Nutzungsformen bereits in der Planungsphase zu belegen. Auch im Rahmen der Programme zur Reduktion von Emissionen aus Entwaldung und Walddegradationen (REDD) kann die Höhe der Kohlenstoffbindung bewirtschafteter Wälder mit Hilfe prozessorientierter Waldwachstumsmodelle dokumentiert werden. Damit kann der Einsatz prozessorientierter Waldwachstumsmodelle dazu beigetragen, die degradierten Waldflächen vor der Umwandlung zu bewahren und als wertvollen Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Menschen zu erhalten.