

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse  
**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein  
**Band:** 142 (1991)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Simulationsmodelle in der Forstwirtschaft : Spielerei oder Chance?  
**Autor:** Lemm, Renato / Erni, Vinzenz  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-766498>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Simulationsmodelle in der Forstwirtschaft – Spielerei oder Chance?

Von Renato Lemm und Vinzenz Erni

FDK: 6:DK: 519.68

## 1. Auf der Suche nach neuen Wegen ...

Zunehmend tauchen in forstlichen Fachzeitschriften Aufsätze wie «Durchforsten am Bildschirm» (*Eckmüller* 1990) oder «Computersimulation für Eingriff-Harvester» (*Hoss, Quentin* 1990) auf (*Abbildung 1*). Es handelt sich dabei um Versuche, computergestützte Simulationsmodelle als Hilfsmittel in der Forstwirtschaft einzusetzen, in diesem Fall zum Beispiel in der Ausbildung.

Wachsende Anforderungen an die Wohlfahrtsleistungen des Waldes und ein allgemein steigendes Interesse weiter Bevölkerungskreise am Wald bewirken zunehmend Druck auf die gesamte Forstwirtschaft. Den Urteilen von Fachleuten stehen die Öffentlichkeit und ganz besonders die Interessenverbände wie Naturschutz, Tourismus, Jäger, Autolobby sehr kritisch gegenüber. Vermehrte Aufklärung und Transparenz werden verlangt. Massnahmen und ihre Auswirkungen müssen plausibel dargelegt werden. Um die Auswirkungen darzustellen, sollte man in die Zukunft schauen können. Die

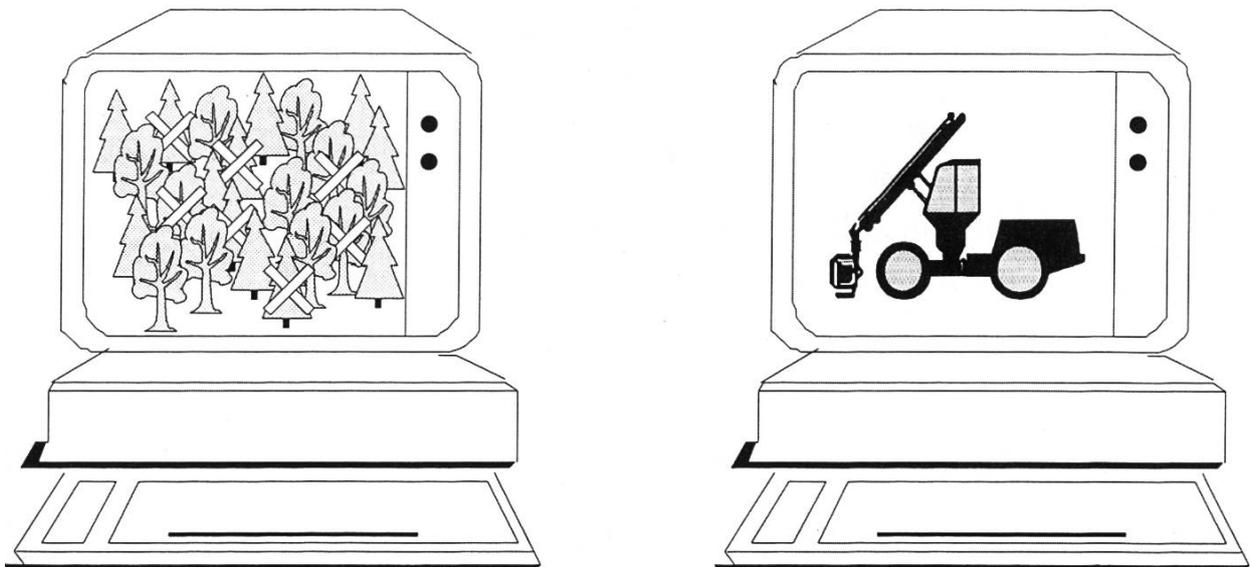


Abbildung 1. Simulationsmodelle in der Forstwirtschaft – Spielerei oder Chance?

meisten Abläufe in der Forstwirtschaft sind zudem sehr langfristig und stark vernetzt. Als Beispiel seien hier die neuartigen Waldschäden erwähnt, bei denen sich die Ursachenforschung äusserst schwierig gestaltet. Selbst Fachleute können die Folgen von Handlungen oft nur schwer oder überhaupt nicht abschätzen.

Wir brauchen somit dringend neue Hilfsmittel, die es uns ermöglichen, die Wechselwirkungen der Vorgänge besser zu verstehen, die Auswirkungen von Massnahmen fundiert abzuschätzen und Entscheidungen und ihre Folgen auch für Forstlaien transparent zu machen. In diesem Zusammenhang wird immer häufiger der Einsatz EDV-gestützter Simulationsmodelle diskutiert.

## **2. Was ist unter "Modell" und "Simulation" zu verstehen?**

Bevor man an die Lösung von Problemen geht, müssen Vorgänge, die sich in der Wirklichkeit abspielen, zuerst gedanklich erfasst werden. Dabei wird versucht, die Problemstellung abzugrenzen und nur die wichtigsten Aspekte und ihre gegenseitige Beeinflussung herauszugreifen. Das heisst, man macht sich ein Bild, eine Vorstellung oder eben ein Modell der Wirklichkeit. Diese Vorstellung über das darzustellende reale System kann allein aus verbalen Beschreibungen bestehen. Sie kann aber auch einem materiellen, massstäblich nachgebauten Modell entsprechen oder dann als mathematisches Modell oder eben Simulationsmodell durch Formeln, Gleichungen und Ablaufregeln definiert sein. Bei einem Simulationsmodell werden die Beziehungen zwischen den Elementen als berechenbare Anweisungen formuliert, beim mathematischen Modell sind es dagegen in der Regel analytisch lösbare Funktionen (zum Beispiel Gleichungssysteme, lineare Optimierung). Das Simulationsmodell liefert immer nur das Ergebnis eines Berechnungsexperimentes für bestimmte Modellannahmen. Es führt nicht zwangsläufig zu optimalen Ergebnissen, liefert aber rasch brauchbare erste Näherungen auch für nichtlineare oder analytisch nicht lösbare Probleme. Simulationsmodelle sind zudem leichter verständlich als mathematische Modelle. Simulation ist nicht zwangsläufig an einen Computer gebunden. Bei umfangreicheren Aufgaben ist er jedoch unentbehrlich. Unter «Simulation» können somit ganz allgemein Methoden verstanden werden, die das Verhalten von komplexen Systemen nachzubilden versuchen.

## **3. Wie wird ein Simulationsmodell entwickelt?**

Simulationsmodelle sind stark mit einer ganzheitlichen Denkweise und somit mit der Systemtheorie (vgl. *Daenzer* 1976) verknüpft. Was aber ist ein

System? «Ein System ist ein dynamisches Ganzes, das als solches bestimmte Eigenschaften und Verhaltensweisen besitzt. Es besteht aus Teilen, die so miteinander verknüpft sind, dass kein Teil unabhängig ist von anderen Teilen und das Verhalten des Ganzen beeinflusst wird vom Zusammenwirken aller Teile.» (Ulrich und Probst 1988 S. 30).

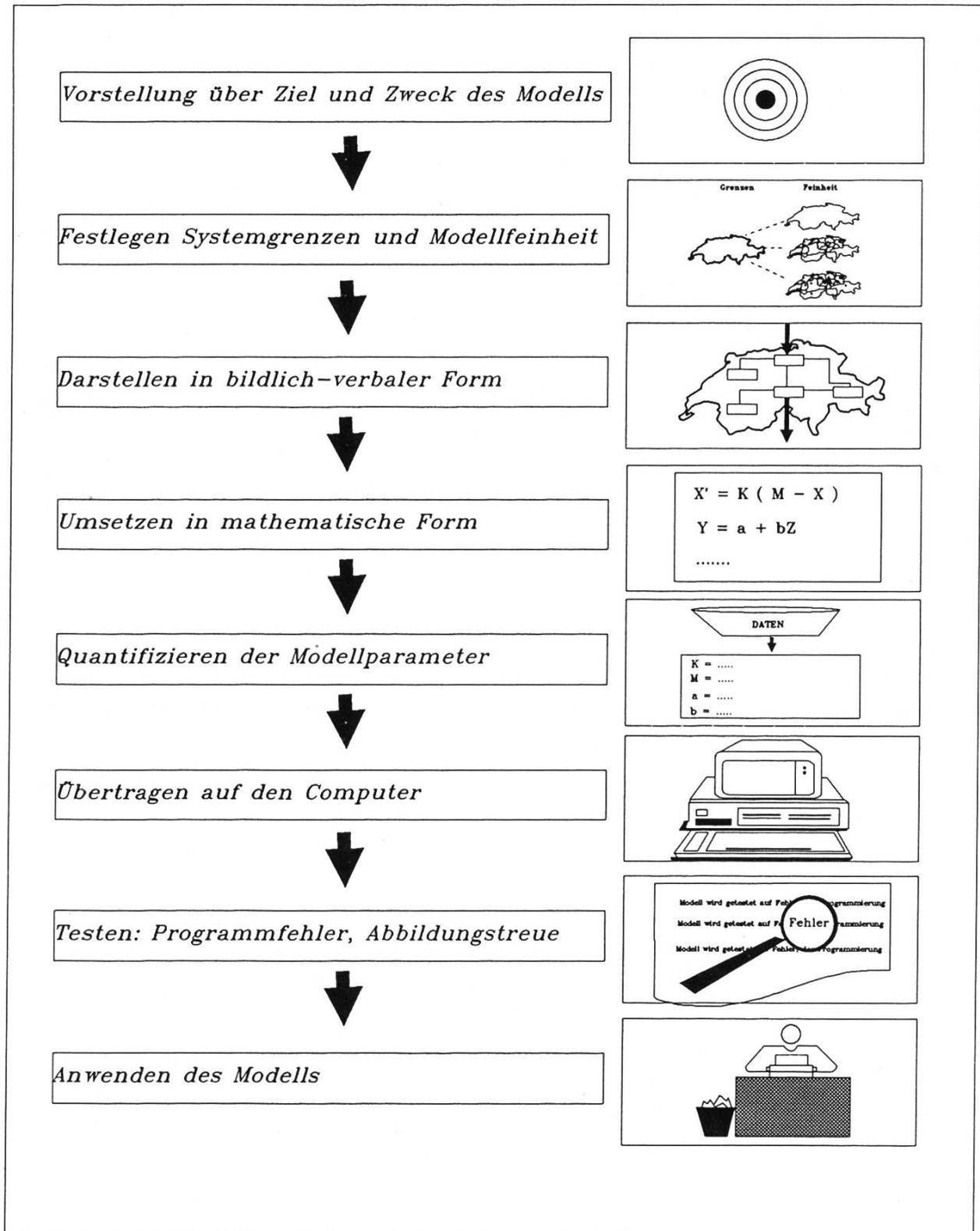


Abbildung 2. Phasen bei der Modellerstellung.

Soll die Entwicklung eines Simulationsmodells erfolgreich verlaufen, müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein. Der Modellentwickler oder das Modellentwicklungsteam müssen ein vertieftes Fachwissen auf dem Gebiet aufweisen, aus dem das Simulationsproblem stammt. Ebenso sind Kenntnisse in Systemtheorie, Modellierung, Statistik, Mathematik und EDV erforderlich.

Die Entstehung eines Simulationsmodells durchläuft verschiedene Phasen, die in *Abbildung 2* schematisch dargestellt sind und nachfolgend erläutert werden.

### *Ziel und Zweck des Modells*

Eine klare Vorstellung über Ziel und Zweck des Modells ist unentbehrliche Voraussetzung für das Gelingen des Vorhabens und dient während der ganzen Entwicklung als Leitplanke und Orientierungshilfe.

### *Festlegen der Systemgrenzen und der Modellfeinheit*

Ein System tauscht in der Regel mit seiner Umwelt Materie, Energie und/oder Informationen aus. Ein solches System, das Beziehungen zu seiner Umwelt aufweist, wird als offenes System bezeichnet. Die Verbindungen zur Umwelt werden dabei durch Ein- und Ausgangsvariablen beschrieben. Aus dem Modellziel und -zweck ist abzuleiten, wo das darzustellende System gegenüber seiner Umgebung sinnvoll abgegrenzt werden kann und welche Aspekte mit welchem Auflösungsgrad aus der Wirklichkeit übernommen werden sollen. Systemgrenzen sind nicht etwas Gegebenes, sondern müssen gedanklich konstruiert werden.

Es ist oft zweckmässig, das Innenleben eines Systems unberücksichtigt zu lassen und nur das Eingangs- und das Ausgangsverhalten des realen Systems zu betrachten. Es interessiert also nur, welche Wirkung vom System ausgeht und nicht, wie diese zustandekommt. In diesem Fall wird das System als «Black-Box» bezeichnet. Diese «Black-Box» kann geöffnet werden, indem die innere Struktur und das Verhalten der einzelnen Elemente, welche die beobachtete Wirkung erzielen, ins Modell aufgenommen werden. Diese Betrachtungsweise wird als strukturbezogene Darstellung bezeichnet. Falls dabei Struktur und Verhalten jedes einzelnen Elementes bekannt sind, so spricht man von einer «White-Box» (*Fischlin* 1988). Bei der Systembetrachtung kommen beide Methoden abwechslungsweise zur Anwendung. Der Forstbetrieb kann zum Beispiel aufgeteilt werden in Bestände, diese in Einzelbäume, diese weiter in Wurzel, Stamm und Krone, letztere in Äste und Blätter usw. bis man zum Schluss bei den einzelnen Zellen anlangt. Das Öffnen der Black-Box erfolgt nur soweit, bis der gewünschte Auflösungsgrad den gestellten Anforderungen genügt. Die Zahl der Elemente im realen System muss reduziert werden, ohne dabei Grössen, die das Verhalten des Systems entscheidend beeinflussen, wegzulassen. Verschiedene Elemente des

realen Systems können aber auch in einer stellvertretenden Grösse zusammengefasst werden. Das Modell soll nur jene Komponenten enthalten, die notwendig sind, um das vorgegebene Ziel zu erreichen. Um eine komplizierte Sachlage einfach und prägnant darzustellen, genügt oft schon eine grobe Karikatur, welche die wichtigsten Eigenschaften festhält (*Abbildung 3*).

#### *Darstellen des Modells in bildlich-verbaler Form*

Die im vorhergehenden Schritt gewonnenen Erkenntnisse gilt es nun in einem Flussdiagramm oder Wirkungsdiagramm darzustellen, aus dem der Material-, Energie- oder Informationsfluss hervorgeht. Die Interaktionen der Modellgrössen untereinander und mit der Umwelt müssen festgelegt werden.

#### *Umsetzen in eine mathematische Form*

Aus dem bildlich-verbale Modell wird ein mathematisches Modell erstellt. Dabei müssen die Zusammenhänge zwischen den Modellgrössen als mathematische Gleichungen, Funktionen, Transformationsmatrizen oder Tabellen festgehalten werden. Die funktionalen Grundbeziehungen können dabei rein statistischen Charakter haben oder als direkte Ursache-Wirkungsbeziehungen in Form von Differential- oder Differenzgleichungen beschrieben werden. Weiter werden die Relationen durch das Zeitverhalten und die Determiniertheit charakterisiert.

#### *Quantifizieren der Modellparameter*

Die Modellfunktionen oder zumindest ihre Parameter müssen anhand von geeignetem Datenmaterial bestimmt werden. Das Quantifizieren der Modellfunktionen erfordert eine grosse Menge von Daten mit genügender



*Abbildung 3.* Ein gutes Modell ist wie eine gelungene Karikatur, welche die Wesenszüge des Vorbildes mit wenigen, gut gesetzten Strichen festhält (*Pflug 1986, S. 227*).

DIE SCHWEIZ

Qualität. Diese stehen jedoch selten in der gewünschten Form und Qualität zur Verfügung, so dass man sich vielfach mit dem begnügen muss, was vorhanden ist. Das Modell ist in jedem Fall nur in dem Bereich gültig, für den das Datenmaterial repräsentativ ist.

### *Übertragen des mathematischen Modells auf den Computer*

Das Übertragen des Modells auf den Computer geschieht mit Hilfe einer höheren Programmiersprache oder eines Simulations-Programmsystems.

### *Testen des Simulationsmodells*

Der Testphase eines Simulationsmodells kommt entscheidende Bedeutung zu. Hier wird das Verhalten des Simulationsexperimentes unter verschiedenen Bedingungen verfolgt. Das Modell wird auf formale und logische Programmierfehler untersucht, die Abbildungstreue oder Vorhersagegenauigkeit zwischen Modell und Realität wird geprüft, und man muss mit dem Modell «spielen», um Eigenschaften des modellierten Systems kennenzulernen.

### *Anwenden des Modells*

Das Endziel der Modellierung besteht darin, das Modell anzuwenden. Es sollte dabei stets beachtet werden, dass das Modell nur für den Zweck eingesetzt wird, für den es entwickelt wurde. Die Modellresultate gelten primär nur für diejenigen Aspekte des Originals, die im Modell gebührend berücksichtigt wurden. Extrapolationen auf weitere Anwendungsgebiete und Daten sind sehr sorgfältig zu prüfen.

Damit ein Simulationsmodell Prognosen liefert, braucht es Eingangsdaten, mit denen es «gefüttert» wird. Welche Daten werden benötigt oder sind vorhanden? Woher bekommt man die notwendigen Informationen? Mit welchem Aufwand können sie beschafft werden? Wie werden die Daten mit dem Modell gekoppelt und wie ins Modell eingegeben? Solche und ähnliche Fragen müssen im voraus geklärt werden. Die Benutzerfreundlichkeit der Dateneingabe entscheidet, ob ein Modell eingesetzt wird oder nicht.

Die Ausgangsdaten sind in der Regel mengenmässig um ein Vielfaches grösser als die Eingangsdaten, weil für jeden Prognoseschritt neue Ausgangsdaten produziert werden. Diese grosse Datenmenge stellt aber auch ein Problem dar. Will man nicht nur «Zahlenfriedhöfe» generieren, so muss es Ziel jedes Simulationsmodells sein, die Ausgangsdaten anschaulich zu präsentieren. Es können dies Zeitreihen von Grafiken oder dann Filmsequenzen sein, welche die Dynamik aufzeichnen. Das automatisierte Umsetzen der nackten Zahlen in aussagekräftige Bilder ist zwar aufwendig, aber lohnend. Werden zum Beispiel die Bewegungen eines Steins in einem Steinschlagmodell in Zahlen dargestellt, so reicht die Vorstellungskraft nicht aus, die Bewegungen des Steins vor Augen zu führen. Das Aufzeichnen des Bahnverlaufs hat eine

ganz andere Aussagekraft. Analoges gilt zum Beispiel bei Kriechbewegungen der Schneeoberfläche oder Deformationen von Gegenständen.

#### 4. Der historische Weg zu EDV-gestützten Simulationsmodellen (Abbildung 4)

Die Wurzeln von forstlichen Waldentwicklungsmodellen reichen über die Ertragstafeln zurück bis zu den ersten Bemühungen, den Vorrat von Bäumen und Beständen zu schätzen. So wurde in China bereits im 17. Jh. versucht, den Vorrat abhängig vom Alter eines Bestandes zu beschreiben (Vuokila 1966).

Ende des 18. Jh. entstanden auch im deutschsprachigen Raum erste, sogenannte «Erfahrungstabellen» (vgl. Kramer 1988) mit Angaben zu Volumen- und Sortimentsanfall bei Nutzungen. Im 19. Jahrhundert wurden verschiedene Verfahren zur Konstruktion von Ertragstafeln entwickelt und zahlreiche regionale Ertragstafeln erarbeitet. Mit Dauerversuchsflächen begann man, das Wachstum einzelner Bestände in Zeitreihen zu verfolgen. Diese Flächen bildeten schliesslich die Grundlage unserer heutigen Ertragstafeln.

Das 20. Jahrhundert war geprägt durch die Entwicklung von breit anwendbaren statistischen Methoden, gepaart mit immer leistungsfähigeren EDV-Anlagen. Dies erlaubte, zunehmend detailliertere Informationen in komplexeren Zusammenhängen zu verarbeiten. In der Herleitung von Ertragstafeln wurden manuell-grafische Ausgleiche bald abgelöst durch statistische Ausgleichsverfahren und schliesslich durch dynamische Simulations-

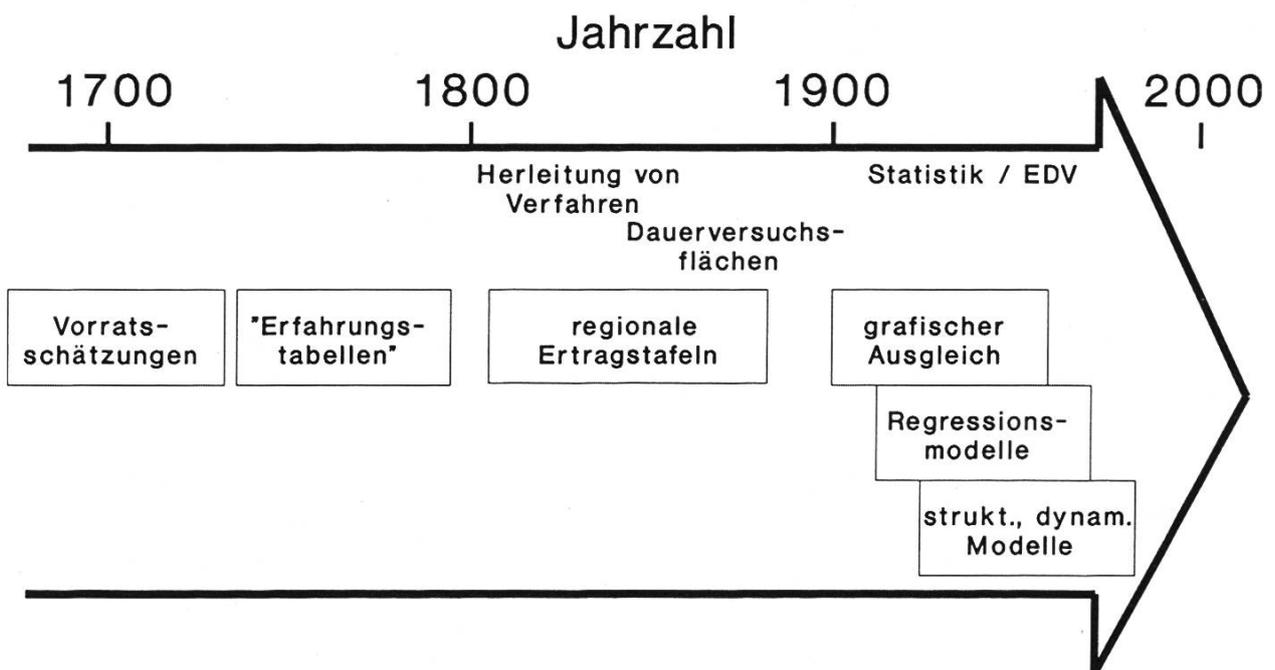


Abbildung 4. Historische Entwicklung von Modellen in der Forstwirtschaft.

modelle. Sie werden als nicht strukturierte «Black-Box» oder dann als strukturierte, prozessorientierte «White-Box» konzipiert (vgl. Kapitel 3).

## 5. Wo das Experiment an Grenzen stösst, beginnt die Simulation

In zahlreichen nichtforstlichen Bereichen werden schon seit längerer Zeit EDV-gestützte Simulationsmodelle eingesetzt. Sie kommen besonders dort zur Anwendung, wo Versuche und Experimente

- zu risikoreich
  - zu aufwendig oder
  - unmöglich
- sind.

So werden Simulationsmodelle heute zum Beispiel verwendet, um:

- Piloten auszubilden (Flugsimulatoren),
  - Reaktorunfälle und deren Auswirkungen abzuschätzen,
  - Bevölkerungsentwicklungen und
  - Smogperioden zu untersuchen,
- oder, wie zum Beispiel in der Stadt Zürich,
- den Verkehrsfluss zu analysieren und zu steuern (*Jucker 1991*).

Simulation ermöglicht allgemein, Modellexperimente unter günstigeren äusseren Bedingungen durchzuführen. Es treten keine Messfehler auf. Die Einflussgrössen können einzeln und wohldosiert verändert werden. Der Zeitraffereffekt ermöglicht, auch sehr langfristige Prozesse zu bearbeiten. Der Computereinsatz erlaubt, mehrere Varianten durchzurechnen und miteinander zu vergleichen. Insbesondere bei Fragen aus dem Bereich Natur, Umwelt, Ökologie stossen Experimente (Schadstoffbelastungen; Puffer- und Kippeffekte bei Ökosystemen) bald an Grenzen, so dass die Simulation auch als eigentlicher Schlüssel zu den Umweltwissenschaften betrachtet wird. Simulation wird neben Theorie und Experiment gar zum «dritten Pfeiler» der Wissenschaft (*Abbildung 5*).

Im forstlichen Bereich sind Untersuchungen oft sehr aufwendig, weil die Vorgänge extrem langfristig ablaufen, so zum Beispiel das Baumwachstum. Wegen der Vielfalt der Wechselwirkungen im Ökosystem Wald und wegen der vielen positiven und negativen Rückkoppelungen ist die Aussagekraft von Beobachtungen im Freiland stark eingeschränkt. Es können nicht Ursache-Wirkung-Beziehungen, sondern nur Korrelationen festgestellt werden. Als Beispiel seien Nadelverlust und neuartige Waldschäden genannt.

Aus diesen Gründen eröffnen sich auch in der Forstwirtschaft zahlreiche Einsatzgebiete für EDV-gestützte Simulationsmodelle, sei's in Fragen des

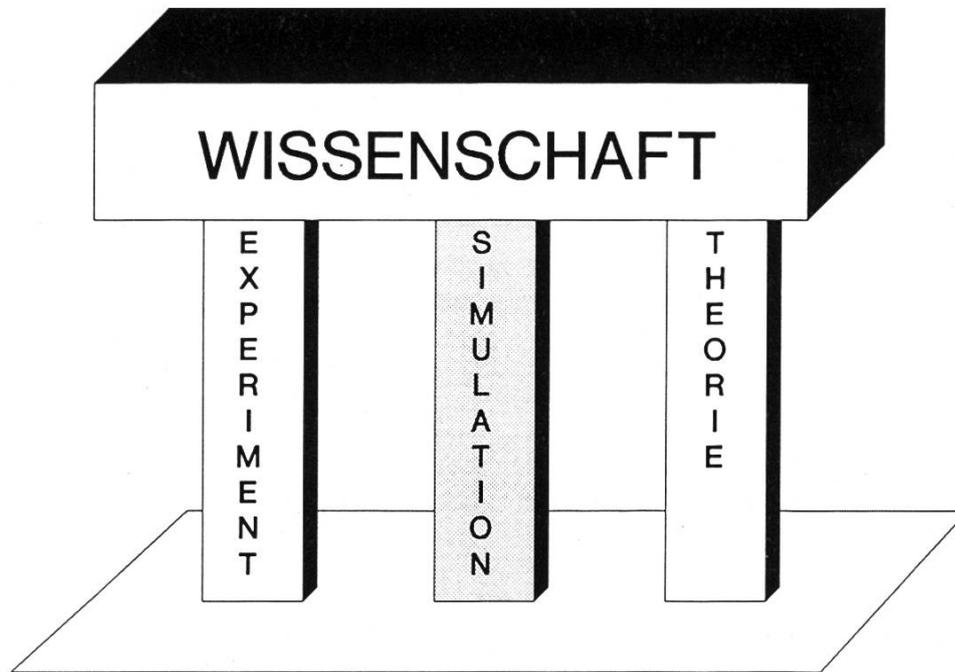


Abbildung 5. Simulation als dritte Säule der Wissenschaft.

Baum- und Bestandeswachstums, der Waldwertschätzung, der neuartigen Waldschäden, in Zusammenhang mit Risikoanalysen, zu Ausbildungszwecken oder für die Planung im Betrieb. In *Tabelle 1* sind einige Einsatzbereiche mit ausgewählten Beispielen zusammengestellt. Übersichten über Wachstums- und Ertragsmodelle sind bei *Lemm (1991)* zu finden.

Simulationsmodelle werden stets für einen ganz bestimmten Zweck entwickelt. So sind auch die Anforderungen ganz verschieden, je nachdem ob die Photosynthese in einem Blatt, das Wachstum eines Baumes im Tagesablauf, die Entwicklung eines Bestandes, die Holzernte oder anderes mehr nachgebildet werden soll. Zudem ist die Gültigkeit von Simulationsmodellen oft auch regional beschränkt, vor allem weil die Grundlagen oder die nachgebildeten Abläufe nur regional gültig sind. Als umfangreichere Modelle für den Forstbetrieb sind in der Schweiz vor allem das Bestandesmodell FORSIM 2 (*Pleines 1988*) und das Mittel- und Langfristprognose-Modell von *Schmid et al. (1984)* bekannt. An der WSL wird zur Zeit an einem neuen Forstbetriebssimulationsmodell gearbeitet, das Bestandeswachstum, Bewirtschaftung, Sortimentierung, Bewertung und Schädigung integrieren wird und unter anderem für Planungs-, Entschädigungs- und Waldwertschätzungsfragen eingesetzt werden kann (*Lemm 1991; Erni und Lemm 1990, Lemm und Hegetschweiler 1989*). Damit sind Mittel- und Langfristprognosen verschiedener Grössen eines Betriebes möglich. *Abbildung 6* zeigt als Beispiel eine Prognose anfallender Sortimente in einem Testbetrieb über einen Zeitraum von 10 mal 10 Jahren.

Tabelle 1. Einsatzbeispiele für Simulationsmodelle in der Forstwirtschaft.

<i>Bereich</i>	<i>Beispiele</i>	<i>Anwendungsgebiet</i>	<i>Literatur</i>
Baum-/ Bestandes- Wachstum	SIMBEL		<i>Riebeling und Weimann 1984</i>
	FORSIM 2		<i>Pleines 1988</i> <i>Schneider und Kreysa 1981</i> <i>Sloboda und Pfreundt 1985</i>
Holzernte		Holzrücken und Materialfluss auf einem Holzhof	<i>Lehnhausen 1982</i>
Wegebau und -unterhalt Waldwertschätzung Waldschäden	Roading Timber RAM	Optimierung von Wegebau und Unterhalt	<i>Navon 1980</i>
	ACIWS		<i>Ehrentreich 1987</i> <i>Möhring 1986</i> <i>Schneider et al. 1987</i>
Risiko/Gefahren Ausbildung		Steinschlag Harvester-Einsatz	<i>Basler und Partner 1986</i> <i>Hoss und Quentin 1990</i>
	WASIM	Durchforstung am Bildschirm	<i>Eckmüller 1990</i>
Planung/Betrieb		Langfristprognose im Betrieb	<i>Schmid et al. 1984</i>
	FOBSI		<i>Jöbstl 1978</i>

## 6. Und wie sieht die Zukunft aus?

Die Simulation wird in Zukunft einen immer grösseren Stellenwert bekommen, insbesondere auch im forstlichen Bereich. Bei Untersuchungen von komplexen Systemen (zum Beispiel Waldsterben) muss die lineare, auf einzelne Teile gerichtete Denkweise durch ein ganzheitliches Denken abgelöst werden. Immer mehr Elemente sind mit ihren Beziehungen in Modellen zu berücksichtigen. Dazu müssen bestehende Informationslücken geschlossen, die entsprechenden Grundlagen erforscht und Messdaten in genügender Qualität beschafft werden.

Parallel dazu ist es notwendig, die Erstellung von Simulationsmodellen zu vereinfachen. Dafür müssen die entsprechenden Hilfsmittel weiterentwickelt und verbessert werden. Sie ermöglichen dann eine einheitlichere und transparentere Dokumentation. Mit ihrer Hilfe können die Modellstruktur zunehmend modular gestaltet und die einzelnen Komponenten mit flexiblen, benutzerfreundlichen Schnittstellen für Ein-, Ausgabe und Ablaufsteuerung versehen werden. Expertensysteme sollen die Entscheidungsfindung unterstützen und Geografische und Forstliche Informationssysteme die Inputdaten liefern und den Output aufbereiten.

An die Stelle höherer Programmier- und Simulationssprachen treten allmählich eigentliche Simulationssysteme. Sie bieten dem Anwender durch eine Reihe von Systembausteinen Hilfen bei der Modellentwicklung. Modellbildung und Implementation auf dem Computer erfolgen quasi parallel. Die

## LANGHOLZ-SORTIMENTE GESUND/AUSSCHIEDEND TESTBETRIEB

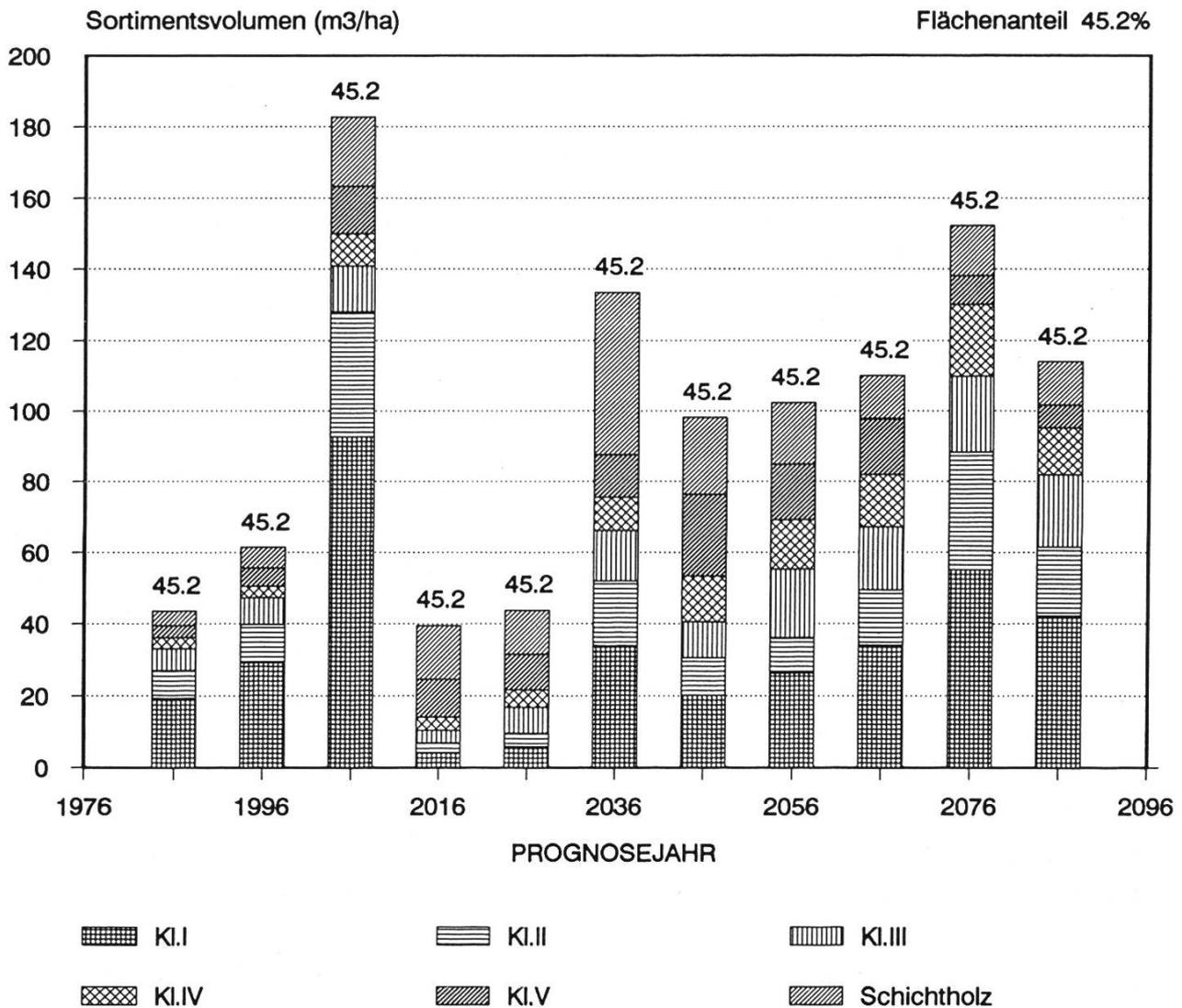


Abbildung 6. Langfristprognosen des Sortimentsanfalles, berechnet mit einem Simulationsmodell.

Ablaufsteuerung ist vorprogrammiert. Zweckdienliche Modulbibliotheken, zum Beispiel mit numerischen Integrations- oder Interpolationsprozeduren und Zufallszahlengeneratoren werden zur Verfügung gestellt. Die Gestaltung von Input und Output wird erleichtert. Zustandsvariablen und Modellparameter sind einfach zu implementieren und verschiedene Untersysteme können miteinander verbunden werden.

Bisher entwickelte Simulationssysteme sind zum Beispiel Model Works (Fischlin und Ulrich 1988), DYSS (Frees 1985), FPU (Maier und Schaufelberger 1989), STELLA (Richmond 1985), INTERSIM (Lappus 1989).

Für spezielle Bereiche ist denkbar, dass allmählich ganze Modellpakete, ähnlich heutigen Statistikpaketen entwickelt werden. Über ein solches Pro-

jekt zur Erarbeitung eines Mehrzweckmodells für die Forstwirtschaft informieren zum Beispiel *Pretzsch* und *Bossel* (1988).

## 7. Schlussfolgerungen

Bereits heute existieren unzählige Simulationsmodelle für die verschiedensten Anwendungsbereiche in der Forstwirtschaft. Ihre Zahl wird weiter massiv zunehmen. Künftige Hilfsmittel werden einerseits die Transparenz und damit auch die Akzeptanz und andererseits die Praxistauglichkeit von Simulationsmodellen stark verbessern.

Schon bei der Entwicklung von Simulationsmodellen kann der Nutzen sehr gross sein. Wie das Kind beim Bau einer Sandburg mit Materialeigenschaften des Sandes (nass, trocken), Fragen der Statik usw. vertraut wird, lernen wir durch die Analyse eines Systems dessen Aufbau und Wirkungsweise verstehen. Wir erkennen Mängel und Gefahren besser und finden heraus, wo wir bedeutende Wissenslücken haben und über ungenügende Grundlagen verfügen.

Die Nachbildung des Verhaltens von realen Systemen in Simulationsmodellen hilft, uns von linearen Wirkungsketten zu lösen und zunehmend in Rückkopplungen, Kreisläufen und Spiralstrukturen zu denken. Simulationsmodelle sind eine entscheidende Hilfe, komplexe, vernetzte Zusammenhänge zu erfassen, zu verstehen und in ihren Wirkungen darzustellen.

Das Potential an Anwendungsmöglichkeiten und neuen Erkenntnissen ist sehr gross. Demgegenüber befinden sich weite Bereiche der Forstwirtschaft in Erkenntnis- und Argumentationsnotständen (Waldschäden, Waldwert-schätzungen, Finanzlage von Betrieben), so dass im vertieften Verständnis forstlicher Systeme und im plausiblen Aufzeigen von Zusammenhängen und Wirkungsweisen eine grosse Chance liegt.

Die Beschäftigung mit Simulationsmodellen hat somit ganz allgemein und für die Forstwirtschaft im Speziellen einerseits spielerischen Charakter, andererseits eröffnen sich ungeahnte Möglichkeiten und Chancen. Wir können Simulationsmodelle in der Forstwirtschaft deshalb als «spielerische Chance» für einen Ausweg aus manchen Problemen der Gegenwart sehen.

## Résumé

### Les modèles de simulation dans l'économie forestière sont-ils un jeu ou une chance?

Face aux nombreux processus souvent longs, complexes et difficiles à maîtriser, l'économie forestière doit trouver de nouveaux moyens afin de surmonter les tâches qui lui incombent. Les modèles de simulation lui offrent cette chance, surtout dans les endroits où des essais seraient trop risqués, trop onéreux ou simplement irréalisables. Le développement des modèles de simulation exige de bonnes connaissances en matière de technique, théorie du système, modélisation, statistique, mathématiques et informatique. L'usage des modèles, ceux d'accroissement en particulier, est pratiqué dans l'économie forestière depuis près de 300 ans déjà. Il existe aujourd'hui toute une gamme de modèles de simulation destinés à répondre aux besoins de régions forestières les plus diverses. Développés dans un but déterminé, des modèles ne sont utilisables que dans le cadre de certaines limites.

La mise sur pied d'un modèle de simulation passe par les phases suivantes:

- Formulation du but et de la fonction à remplir
- Détermination des limites du système et des particularités du modèle
- Présentation du modèle dans un langage imagé
- Conversion sous forme mathématique
- Quantification des paramètres du modèle
- Transmission du modèle mathématique sur ordinateur
- Tests du modèle de simulation
- Utilisation du modèle

Un tel développement représente un travail de longue haleine. Mais nombreux sont les efforts déployés afin de faciliter la construction et l'utilisation des modèles de simulation.

Traduction: *Monique Dousse*

### Literatur

- Basler & Partner, E.* (1986): Zur quantitativen Beurteilung des Einflusses von Waldbeständen auf den Steinschlag, Sanasilva 8 – Teilbericht, 25 S., unveröffentlicht.
- Daenzer, W.F.* (1976): Systems Engineering – Leitfaden zur methodischen Durchführung umfangreicher Planungsvorhaben. Peter Hanstein Verlag GmbH, Köln, Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 288 S.
- Eckmüller, O.* (1990): Durchforsten am Bildschirm. Österr. Forstztg 101, 4: 64-65
- Ehrentreich, H. P.* (1987): ACIWS – ein computergestütztes Waldwertrechnungssystem. Mitt. forstl. Vers.- u. ForschAnst. Baden-Württemberg Nr. 131, Freiburg i.B., 105 S.
- Erni, V., Lemm, R.* (1990): Einsatz eines Simulationsmodells auf PC als Planungs- und Bewertungsinstrument im Forstbetrieb, 16 S. In: Die Verflechtung von Betriebswirtschaft und Forsteinrichtungenplanung im Forstbetrieb. Tharandt, 146–161.
- Fischlin, A.* (1988): Allgemeine Systemtheorie. Grundbegriffe und allgemeine Systeme. Vorlesungsunterlage, ETH Zürich, 63 S.
- Fischlin, A., Ulrich, M.* (1988): Model Works Manual. Projektzentrum IDA, ETH Zürich, Zürich.
- Frees, W.* (1985): DYSS (Dynamic System Simulation). Fachberichte Mathematik, Universität Kassel, Kassel.

- Hoss, Chr., Quentin, A. (1990): Computersimulation für Eingriff-Harvester. Allg. Forstz., 45, 40-41: 1034/1037
- Jöbstl, H. A. (1978): Unternehmensplanung in der Forstwirtschaft. Österr. Agrarverlag, Wien.
- Jucker, Th. (1991): Weltweit einzigartiges Computermodell. Tages-Anzeiger vom 8.1.1991: 15, Zürich
- Kramer, H. (1988): Waldwachstumslehre. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 374 S.
- Lappus, G. (1989): INTERSIM Bedienungsanleitung. Technische Universität München, München.
- Lehnhausen, H. (1982): Computerunterstützte zeitliche und räumliche Simulation forstlicher Systeme an den Beispielen Holzrückeprozess und Materialfluss auf einem Holzhof. Diss. Universität Göttingen. Göttingen.
- Lemm, R. (1991): Ein dynamisches Forstbetriebs-Simulationsmodell – Prognosen von betriebs-spezifischen Waldentwicklungen, Waldschäden und deren monetäre Bewertung unter variablen Einflussgrößen. Diss. Nr. 9369, ETH Zürich, Publikation in Vorbereitung.
- Lemm, R., Hegetschweiler, Th. (1989): Betriebsspezifische Bewertung von Waldschäden anhand eines Simulationsmodelles, 11 S. In: Ökonomische Bewertung von Waldschäden. Österr. Agrarverlag, Wien, 179-189
- Maier, G. E., Schaufelberger, W. (1989): Simulation and implementation of discrete-time control systems on IBM-compatible PCs by FPU. Vorlesungsunterlage, ETH Zürich.
- Möhring, B. (1986): Dynamische Betriebsklassensimulation. Ein Hilfsmittel für die Waldschadensbewertung und Entscheidungsfindung im Forstbetrieb. Forschungszentrum Waldökosysteme/Waldsterben, Bd. 20; Diss. Göttingen, Göttingen, 268 S.
- Navon, D. I. (1980): Roding Timber RAM User's Manual. USDA Forest and Range Experiment Station, Berkeley, California, 72 S.
- Pflug, G. (1986): Stochastische Modelle in der Informatik. Verlag B. G. Teubner, Stuttgart, 272 S.
- Pleines, W. E. (1988): FORSIM 2. Schlussbericht NFP12. Unveröffentlicht.
- Pretzsch, H., Bossel, H. (1988): Rahmenbedingungen für die Konstruktion forstlicher Wachstumsmodelle und Simulationsprogramme. Allg. Forstz. 43, 43: 615–617.
- Richmond, B. (1985): STELLA User's Guide. 2. Ausgabe, Dartmouth College, Lyme, New Hampshire. 115 S.
- Riebeling, R., Weimann, H.-J. (1984): Simulation langfristiger Entwicklung und Ertragsleistung der Buche im Schelderwald. Forst- und Holzwirt 39, 14/15: 354–361.
- Schmid, P., Keller, W., Gadola, C. (1984): Integrale Planung im Forstbetrieb. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. 226. Birmensdorf, 116 S.
- Schneider, T. W., Kreysa, J. (1981): Dynamische Wachstums- und Ertragsmodelle für die Douglasie und die Kiefer. Mitt. BundForschAnst. Forst- u. Holzw. Hamburg Nr. 135, Kommissionsverlag Wiedebusch, Hamburg, 137 S.
- Schneider, T. W., Lorenz, M., Poker, J. (1987): Abschätzung der ertraglichen Folgen der neuartigen Waldschäden im Bereich der Landesforstverwaltung Hamburg mit Hilfe dynamischer Wachstumsmodelle. Mitt. BundForschAnst. Forst- und Holzw. Hamburg Nr. 155, Kommissionsverlag Wiedebusch, Hamburg, 137 S.
- Sloboda, B., Pfreundt, J. (1985): Ein einzelbaumorientiertes Wachstumsmodell für Fichtenbestände. Exkursionsführer des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben. Universität Göttingen, S. 58–59.
- Ulrich, H., Probst, G. J. B. (1988): Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln. Verlag Paul Haupt, Bern und Stuttgart, 301 S.
- Vuokila, Y. (1966): Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plot. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, 60, 4:1-86.

Verfasser: Dr. Renato Lemm und Vinzenz Erni, dipl. Forsting. ETH, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.