

Modelle? Brauche ich nicht. Modellieren? Tue ich nicht – oder vielleicht doch?

Esther Thürig
Harald Bugmann

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)*
Professur Waldökologie, ETH Zürich (CH)

Modelle? Brauche ich nicht. Modellieren? Tue ich nicht – oder vielleicht doch?

Die wenigsten Menschen würden sich spontan als Modellierer bezeichnen. Modelle werden oft als überaus kompliziert, wenig nützlich und nicht praxisnah eingeschätzt. Wir stellen diese (Vor-)Urteile auf den Prüfstand und zeigen auf, dass Modelle in unserem Alltag unentbehrlich sind und es uns ermöglichen, Entscheide zeitnah zu fällen, ohne überaus lange brüten zu müssen. Anhand einer einfachen Entscheidung erklären wir den typischen Ablauf bei der Modellbildung. Sind Modelle schon im täglichen Leben unverzichtbar, so ist dies in der Forstwirtschaft und in der Waldforschung noch stärker der Fall. Seit je bilden Waldmodelle wie der Normalwald oder die Ertragstafeln das Rückgrat nachhaltiger Eingriffe. Globale Trends und klimatische Veränderungen der letzten 50 bis 70 Jahre verlangen nach dynamischen, klimasensitiven Waldmodellen, um Fragen zur zukünftigen Entwicklung von Wäldern, Baumarten, Kohlenstoffsenken, Holznutzungspotenzialen, Schäden und Gefahren zu beantworten und Handlungsoptionen zu analysieren. Jede dieser Fragen bedarf aber eines spezifischen Modells oder einer spezifischen Modellgruppe. Wir stellen anhand von sechs spezifischen Fragestellungen in der Schweiz verfügbare Waldmodelle vor, die zur Beantwortung dieser Fragen geeignet sind.

Keywords: modeling, decision support, models in everyday life, dynamic forest models
doi: 10.3188/szf.2020.0110

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail esther.thuerig@wsl.ch

Schauplatz Hallenbad. Ich möchte ein paar Längen schwimmen. Für welche Bahn soll ich mich entscheiden? Viele Informationen und Prozesse beeinflussen meine Wahl (Abbildung 1). Wie viele Bahnen gibt es insgesamt? Sind die Bahnen speziell beschriftet? Wie viele Personen sind schon am Schwimmen, wie schnell schwimmen sie, Kraul, Brust oder Rücken? Welche Schwimmstile beherrsche ich, wie fühle ich mich heute, wie schnell will ich schwimmen? Ich will das Geschehen nicht eine halbe Stunde lang beobachten, bevor ich einen Entscheid fälle. Vielmehr betrachte ich die Situation nur kurz und werfe mich dann in einer Bahn ins Wasser. Andere Informationen, zum Beispiel welche Farbe die Badekappen der bereits schwimmenden Personen haben, ob im danebenliegenden, abgetrennten Becken Kinder vom Sprungbrett hüpfen oder ob es draussen regnet oder schneit, haben keinen Einfluss auf meine Wahl der Bahn.

Das ist die Essenz des Modellierens: Ich will eine Frage beantworten oder einen Entscheid treffen (welche Bahn?), habe nur beschränkte Informationen (den Blick auf das Geschehen und vielleicht ein

paar Sekunden Beobachtung) und ignoriere sehr viele Dinge, die zweifellos auch zur Realität gehören, für meinen Entscheid aber vollständig irrelevant sind (Wetter, Sprungbrett, Badekappenfarbe). Ich fälle also den Entscheid und beginne zu schwimmen.

Nach den ersten paar Runden kann ich den Entscheid bereits überprüfen und das Modell bei Bedarf überarbeiten: 1) Problemloses Aneinander vorbei, freundliche Gesichter? Ich habe eine gute Wahl getroffen, das Modell war hilfreich, es «hat gestimmt», ich schwimme weiter. 2) Zusammenstöße, ständig ein Fuss im Gesicht oder ruppige Überholmanöver? Ich überarbeite das Modell, indem ich die relevanten Informationen und deren Zusammenhänge überprüfe, ich revidiere meinen Entscheid und wähle eine andere Bahn aus.

Modelle sind also Teil unseres Alltags, obwohl sich die wenigsten Leser/innen der Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen (SZF) als «Modellierer/innen» bezeichnen würden. Aber wir alle modellieren tatsächlich ständig. Wann ist es in Ordnung, den Fussgängerstreifen zu überqueren, obwohl ein Auto herannaht? Bei welcher Schlange vor der Kasse im

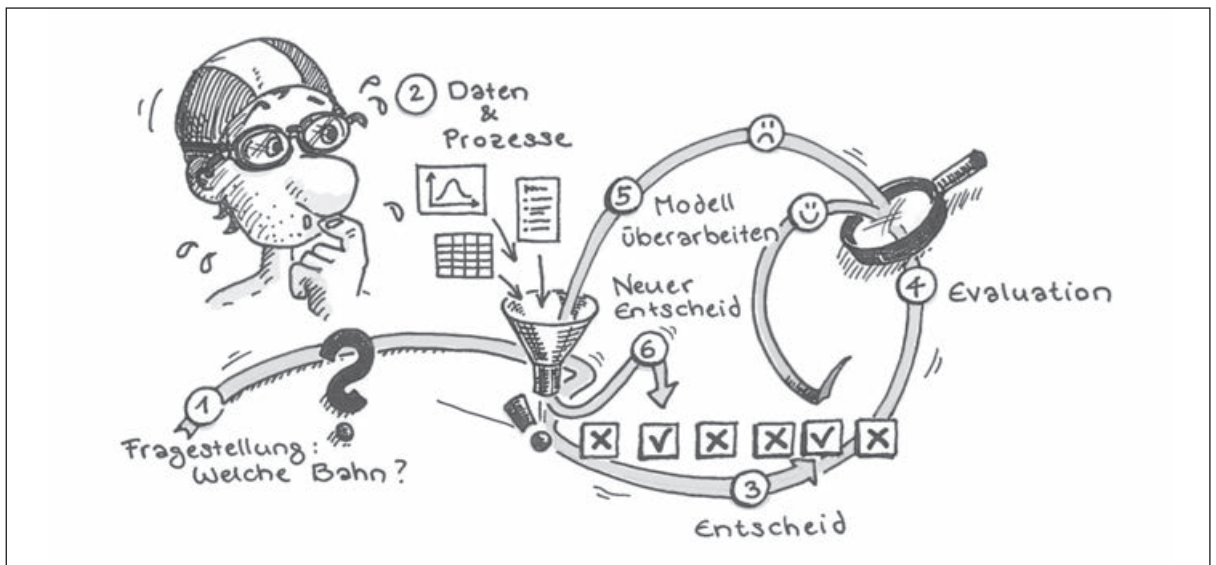


Abb 1 Flussdiagramm zur Modellbildung.
Cartoon: Astrid Björnsen

Supermarkt stehe ich an, damit ich möglichst schnell nach Hause komme? Wenn wir bei solchen Entscheidungen hundertprozentige Sicherheit haben wollten, würden wir handlungsunfähig, denn wir würden die Strasse, die Kassen oder die Schwimmbahnen stundenlang beobachten, ohne zu unserem Ziel zu kommen (nämlich die Strasse zu überqueren, unsere Einkäufe zu bezahlen bzw. zu schwimmen). Wir wären wie Kindergartenkinder, denen wir einschärfen, dass sie den Fussgängerstreifen erst dann überqueren dürfen, wenn das Auto angehalten hat, d.h., wenn es keine Unsicherheit mehr gibt. Das Leben ist unsicher, und Entscheiden unter Unsicherheit heisst Modellieren: Jede(r) macht Modelle, also kann auch jede(r) modellieren!

Jedes Modell ist aber auch falsch: Das Modell für die Wahl der Bahn im Hallenbad hat zwar geholfen, den richtigen Bahnentscheid zu fällen. Es liefert aber keine brauchbare Beschreibung der gesamthaften Realität des Hallenbads, denn das meiste, was im Hallenbad abgeht, habe ich ja ignoriert. Die Frage ist also nicht, ob ein Modell «richtig» ist oder ob es die Realität vollständig wiedergibt. Ein Modell ist immer eine immense Abstraktion und wird deshalb der Realität mit Sicherheit nie gerecht. Die Frage ist vielmehr, ob das Modell hilfreich beim Fällen eines Entscheides ist. «Alle Modelle sind falsch, aber einige Modelle sind nützlich», hat der Statistiker Box (1976) sehr treffend geschrieben.

Die erwähnten Beispiele zeigen auch, dass Modelle stets spezifische Fragestellungen beantworten. Das Schwimmbadmodell ist absolut untauglich bei der Wahl der Kasse zum Bezahlen der Einkäufe. Zudem ist jedes Modell nur so gut wie die Informationen, die ihm zugrunde liegen. Wenn die im Schwimmbad eingangs gestellten Fragen zu Anzahl und Geschwindigkeit der Schwimmenden nicht richtig beantwortet oder weitere relevante Informationen nicht miteinbezogen werden, ist das Modell und damit auch die aus ihm folgende Entscheidung falsch.

Ein gutes Modell basiert also immer auf einer konkreten Fragestellung, nützlichen und sinnvollen Informationen sowie plausiblen Annahmen über deren Zusammenhänge. Und schliesslich ist jedes Modell nur so gut wie seine Überprüfung (Evaluation). Es braucht also eine stetige Überprüfung der Modellgüte und des Modellzwecks und bei Bedarf eine Überarbeitung des Modells. Mit Evaluation kann aber nicht gemeint sein, dass man die Korrektheit eines Modells beweist, denn wir wissen ja a priori, dass jedes Modell falsch ist (siehe Box 1976). Ein positiv evaluiertes («valides») Modell ist also nicht ein korrektes Modell, sondern eines, das eine hinreichend genaue Antwort auf eine klar spezifizierte Fragestellung liefert.

Dynamische Waldmodelle

Wenn Modelle überall in unserem Leben unverzichtbar sind, so gilt dies noch viel stärker für die Waldforschung und die Forstwirtschaft. Es ist nicht verwunderlich, dass die ältesten forstlichen Modelle, nämlich das Normalwaldmodell und die Ertragstafeln, bereits rund 200 bzw. über 100 Jahre alt sind. Eine Prognose über den zukünftigen Holztertrag ist ohne quantitative Modelle nicht möglich, eine nachhaltige Holznutzung erst recht nicht. Diese besonders grosse und frühe Bedeutung quantitativer Modelle in der Forstwirtschaft, im Unterschied beispielsweise zur Landwirtschaft, begründet sich in der Langsamkeit vieler Waldprozesse wie des Wachstums oder der Verjüngung. Zudem sind diese Prozesse komplex und weisen viele Interaktionen auf. Andere Prozesse wie die Mortalität sind ausserdem zeitlich extrem variabel und deshalb schwierig zu erfassen. Weil die Prozesse Verjüngung und Wachstum bei vielen Baumarten mehrere Dekaden in Anspruch nehmen, benötigt die Entwicklung eines Waldbestandes zwischen 50 und 200 Jahren. Andere

relevante Prozesse wie Störungen durch Feuer, Wind, Käfer oder die Holznutzung laufen schnell ab, in Tagen, Wochen oder einem Jahr, ihre Auswirkungen hingegen erstrecken sich wiederum über Jahrzehnte. Lediglich aufgrund von Beobachtungen oder gar nur aufgrund von kurzzeitigen Experimenten lassen sich in der Forstwirtschaft deshalb keine allgemeingültigen Aussagen gewinnen. Vielmehr braucht es explizite, quantitative Modelle, die die sehr dynamischen Prozesse im Wald abbilden und auf der Zeitachse fortschreiben können.

Waldmodelle, die die zeitliche und teilweise auch die räumliche Dynamik der Entwicklung von Arten und Beständen beschreiben, nennt man «dynamische Waldmodelle». Mithilfe zukünftiger Klimaänderungs- und Landnutzungsszenarien kann mit solchen Modellen die Waldentwicklung der kommenden 50 bis 200 Jahre abgebildet werden. Umweltbedingungen, Waldstrukturen und Standortbedingungen werden dabei während der Simulation laufend, zum Beispiel alle 1 bis 10 Jahre (Zeitschritt), aktualisiert, und die aktualisierten Bedingungen beeinflussen die weitere Entwicklung. Im Gegensatz dazu arbeiteten zum Beispiel Zimmermann et al (2016) mit statischen Waldmodellen, in denen die Zeit nicht explizit vorkommt. Jene Modelle gehen davon aus, dass das heutige Vorkommen einer Baumart und die in diesem Gebiet beobachteten klimatischen Bedingungen ein hinreichendes Indiz dafür sind, wo die Art in Zukunft vorkommen wird: Sie nehmen also an, dass ein Gleichgewicht zwischen den Standortbedingungen und den Eigenschaften des Waldes (wie den Verbreitungsgebieten der Baumarten) besteht. Aus Präsenz-/Absenzdaten werden statisch-statistisch sogenannte «Klimahüllen» berechnet. Diese geben Aufschluss darüber, wie unter bestimmten Klimaszenarien die zukünftigen Verbreitungsgebiete der Baumarten ausschauen könnten. Zwischen lokalem Aussterben und dem Erreichen neuer Potenzialgebiete können jedoch etliche Jahrzehnte bis viele Jahrhunderte vergehen (Zimmermann et al 2016). Damit Wälder nachhaltig und kontinuierlich soziale, ökologische und ökonomische Leistungen erbringen können, ist jedoch der zeitliche und teilweise auch der räumliche Ablauf der Waldentwicklung der nächsten 50 bis 200 Jahre entscheidend. Deshalb konzentriert sich die vorliegende Schwerpunktstrecke der SZF auf dynamische Waldmodelle.

Globale Trends der letzten 50 bis 70 Jahre wie die anthropogene Klimaveränderung, die erhöhte Stickstoffdeposition oder die chronisch zunehmende CO₂-Konzentration vergrössern die Bedeutung dynamischer Waldmodelle weiter. Veränderte abiotische und biotische Bedingungen für die Bäume treffen auf höhere Anforderungen der menschlichen Gesellschaft an unsere Wälder, beispielsweise im Bereich der Energiepolitik und der Dekarbonisierung. Mit dynamischen Modellen können wir Fragen zur

Entwicklung von Wäldern, Baumarten, Kohlenstoffsenken, Holznutzungspotenzialen, Schäden und Gefahren beantworten und Handlungsoptionen analysieren. Jede Frage bedarf aber eines speziell dafür konstruierten Modells, wobei sich verwandte Fragen oft anhand des gleichen Modells oder Varianten desselben Modells beantworten lassen. Es gibt aber mit Sicherheit keine «eierlegende Wollmilchsau» unter den Modellen, also kein «Global Everything Model». Beispielsweise lässt sich die Frage nach der Gefahr von Borkenkäferschäden in einem bestimmten Bestand kaum mit dem gleichen Modell beantworten wie jene nach dem schweizweiten Potenzial der Wälder, Kohlenstoff zu speichern.

Dynamische Modelle sind auch «Zeitmaschinen». Sie haben einen «Schnellvorlauf-Knopf» und können uns aufzeigen, wie der Wald zu einem späteren Zeitpunkt aussehen wird. Umgekehrt können wir auch den «Schnellrücklauf-Knopf» drücken und Modelle verwenden, um eine beobachtete vergangene Walddynamik abzubilden, beispielsweise auf ertragskundlichen Versuchsflächen. Sofern die Daten jener Flächen nicht verwendet worden sind, um das Modell zu entwickeln oder seine Parameterwerte zu schätzen, ist dies ein Paradebeispiel einer Evaluation, denn eine Evaluation benötigt lange Zeitreihen unabhängiger Daten. Diese sind rar, weshalb ein sorgsamer Umgang mit den Daten angezeigt ist. Da jedes Modell nur so gut ist wie die Informationen, anhand derer es entwickelt worden ist, und nur so viel taugt, wie die Evaluation hergibt, sind wir selbstverständlich weiterhin auf Feldexperimente wie die Testpflanzungen, auf repräsentative Erhebungen wie das Landesforstinventar (LFI) und auf das Monitoring von Waldbeständen in der Ertragskunde, in Naturwaldreservaten, in der Langfristigen Waldforschung (LWF) oder im Rahmen der Sanasilva-Inventuren angewiesen. Weitere wichtige und nützliche Datenreihen für die Entwicklung und Überprüfung von Modellen sind zum Beispiel auch Regionalinventuren, wie sie in gewissen Kantonen durchgeführt werden.

Mit Modellen lassen sich also «Wenn-dann»-Fragen zur Waldentwicklung nachbilden, sofern genügend gute Kenntnisse über die zugrundeliegenden Zusammenhänge und genügend gute Daten vorliegen, ohne dass grossflächige, langfristige Experimente oder Beobachtungskampagnen durchgeführt werden müssen.

Wie komplex soll ein Modell sein?

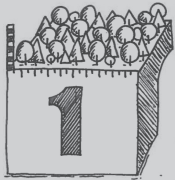
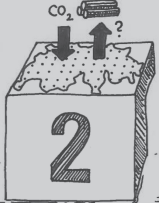



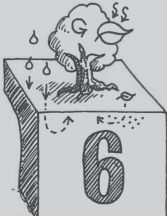
Am Beispiel des Waldwachstums lässt sich veranschaulichen, dass ganz verschiedene Modelle denkbar sind für die Beantwortung ein und derselben Fragestellung. Am einen Ende des Spektrums könnte man die Fotosynthese in jedem einzelnen Chloroplasten eines Baumes anhand von mathe-

matischen Gleichungen wiedergeben. Am anderen Ende des Spektrums könnte man ein einfaches statistisches Modell des jährlichen Bestandeszuwachses als Funktion zum Beispiel der Jahresmitteltemperatur und der Jahresniederschlagssumme formulieren. Wie beim eingangs erwähnten Hallenbadmodell ist man bemüht, das einfachste Modell zu verwenden, das noch alle Kriterien der Fragestellung erfüllt. Damit sollte das Modell bezüglich der benötigten Inputdaten und seiner Struktur nur gerade so viele Details enthalten, wie auch für die Beantwortung der Frage benötigt werden. Für die Berechnung der jährlichen Volumenproduktion pro Hektar braucht es nicht unbedingt ein detailliertes Einzelbaummodell mit einem täglichen Zeitschritt und ganz sicher nicht die Betrachtung jedes einzelnen Chloroplasten. Komplexere Modelle benötigen viel mehr Inputdaten, mehr Parameter und letztlich auch längere Berechnungszeiten für den Computer als einfache Modelle. Komplexe Modelle bergen zudem die Gefahr, dass sich kleine, unvermeidbare Fehler addieren und in der Summe zu grossen Fehlern führen. Rechnet ein Modell zum Beispiel in Tagesschritten und mit Einzelbäumen, können kleinste Abweichungen bei den Tageswerten zu grossen Ab-

weichungen bei den jährlich aggregierten Bestandeskennzahlen führen. Meist ist es deshalb besser, mit einem Modell «ungefähr die richtige» Antwort zu bestimmen als «exakt die falsche».

Einsatzgebiete verschiedener Waldmodelle

In der Schweiz werden derzeit verschiedene Typen von dynamischen Waldmodellen verwendet, die von der Ebene des Einzelbaums über diejenige des Bestands und der Landschaft bis zur nationalen Ebene reichen. In der vorliegenden Schwerpunkstrecke werden sechs spezifische Fragestellungen aufgeworfen und anhand von sechs ausgewählten dynamischen Modellen beantwortet. Es stehen also nicht die Modelle im Vordergrund, sondern ihre Eignung für die jeweilige Fragestellung. Die Darstellung eines Modells losgelöst von einer Fragestellung wäre gar nicht sinnvoll, da die Eignung eines Modells, wie oben dargestellt, von der Fragestellung abhängt. Typische Fragestellungen und die Grundeigenschaften der gewählten sechs Modelle sind in Tabelle 1 dargestellt. Neben diesen Modellen werden in der Schweiz auch

Merkmal	SwissStandSim	Massimo	ForClim	LandClim	TreeMig	3-PG
Typische Fragestellung	Wie lassen sich Eingriffe zur Erzielung gewünschter Bestandesentwicklungen planen?	Wie schauen zukünftige Holzernte- und C-Senken-Potenziale der Schweiz aus?	Wie entwickeln sich typische Mischwälder unter dem Klimawandel?	Wie beeinflussen natürliche und anthropogene Störungen die Walddynamik?	Wie migrieren Bäume unter dem Klimawandel?	Wie lässt sich die Dynamik von Kohlenstoff, Stickstoff und Wasser auf die Bestandesentwicklung bilanzieren?
Modelltyp	Empirisch-statistisch	Empirisch-statistisch	Gap-Modell	Räumlich explizite Gaps	Räumlich explizite Gaps	Ökophysiologisch
Einsatzgebiet	Forschung, Applikation für Praxis in Erarbeitung	Praxis/Forschung	Forschung/Praxis	Forschung	Forschung	Forschung/Praxis
Räumlicher Bezug	Bestand	Region/Nation	Bestand	Landschaft	Landschaft bis Kontinent	Bestand
Typischer Simulationszeitraum	10–100 Jahre	10–100 Jahre	50–10000 Jahre	100–10000 Jahre	100–10000 Jahre	10–100 Jahre
Zeitschritt	5 Jahre	10 Jahre	Jährlich	10 Jahre	Jährlich	Monatlich
Kleinste modellierte Einheit	Einzelbaum (BHD)	Einzelbaum (BHD)	Einzelbaum (BHD)	Einzelbaum (Biomasse)	Höhenklassen, ca. 4 m	Repräsentativer Baum im Bestand (Blattmasse und C-Pools)
Klimasensitivität	Teilweise ja	Teilweise ja	Ja	Ja	Ja	Ja
						

Tab 1 Charakterisierung der vorgestellten Modelle.

andere dynamische Waldmodelle entwickelt und angewendet, zum Beispiel SiWaWa (Rosset et al 2013).

Viele Fragestellungen und somit auch Modellanwendungen beziehen sich auf die Ebene von einzelnen Beständen, der klassischen forstlichen Eingriffseinheit. Wir stellen in dieser Schwerpunktnummer drei Bestandesmodelle vor: SwissStandSim (Zell et al 2020), 3-PG (Forrester et al 2020) und ForClim (Bugmann & Huber 2020).

Am Beispiel von SwissStandSim (Zell et al 2020) präsentieren wir ein rein empirisch-statistisches Modell, dessen Funktionen (z.B. Zuwachs, Mortalität) anhand von Versuchsflächendaten mittels statistischer Methoden «gefittet» werden. Ziel dieser Modelle ist eine möglichst hohe lokale Präzision der Aussagen. Solche Modelle sind damit potenzielle Kandidaten für die Anwendung in der Betriebsplanung oder in einem «Decision Support System». Mit SwissStandSim wird derzeit ein solches System entwickelt. Die Funktionen sind gefittet, und eine Applikation für die Praxis wurde in Angriff genommen. Von zentraler Bedeutung bei empirisch-statistischen Modellen ist die Frage, ob sie ausserhalb der verwendeten Daten und unter veränderten klimatischen Bedingungen angewendet werden können.

Das zweite Bestandesmodell in dieser Punktstrecke ist 3-PG (Physiological Principles Predict Growth; Forrester et al 2020). Dieses Modell ist ein Beispiel eines ökophysiologicalen Modells, das auf grundlegenden ökologischen Prozessen wie Photosynthese, Atmung oder Effizienz der Strahlungsausnutzung beruht. Mit einem solchen Modell lassen sich Forschungsfragen zur Dynamik von Kohlenstoff, Stickstoff und Wasser in der Bestandesentwicklung analysieren. 3-PG ist vor allem im angelsächsischen Raum ein wichtiges Werkzeug für die waldbauliche Planung geworden und wird von vielen grossen Forstbetrieben routinemässig verwendet. Ökophysiological Modelle haben einen grossen allgemeinen Gültigkeitsbereich, da sich die Grundprinzipien zum Beispiel von einem Standort zum anderen nicht unterscheiden. Allerdings ist die Parameterschätzung dieser Modelle oft schwierig, da nicht für viele Arten genügend detaillierte Informationen vorliegen. Dies macht sich tendenziell durch eine geringere lokale Präzision bemerkbar. Mittlerweile sind neue, sogenannte inverse Kalibrierungsmethoden (basierend auf Bayes-Statistik) verfügbar, die dieses Problem zumindest teilweise lösen (z.B. Cailleret et al 2020).

Als drittes Bestandesmodell präsentieren wir ForClim (Bugmann & Huber 2020). ForClim basiert sowohl auf empirischen Zusammenhängen als auch auf ökologischen (nicht aber physiologischen) Prinzipien. Es ist ein sogenanntes «Gap-Modell», das heisst, alle Prozesse der Waldentwicklung werden auf unabhängigen kleinen Kreisflächen (Gaps) simuliert, die etwa die Grösse eines ausgewachsenen Baumes haben. ForClim gehört zur grossen Familie der

Sukzessionsmodelle, die in der Regel einfach für viele Arten parametrisiert werden können. Sie sind geeignet, um langfristige Aussagen über die Entwicklung von Beständen mit vielen Arten zu machen. Mit ForClim können beispielsweise Fragen aus der Praxis bezüglich der Entwicklung typischer Bestände unter dem Klimawandel untersucht werden (Thrippleton et al 2020).

Forstingenieure und Forstingenieurinnen sind auch Landschaftsmanager. Das Denken kann nicht am Bestandesrand aufhören. Bestände sind miteinander verbunden, und das Mosaik von Wald und Nichtwald muss ebenfalls berücksichtigt werden, wenn es zum Beispiel um die Ausbreitung von Borkenkäferkalamitäten oder die Migration von Baumarten geht. Um ein überaus komplexes Modell der Landschaftsdynamik zu vermeiden, ist eine Vereinfachung in der Betrachtung der Bestandesdynamik notwendig, die auf verschiedene Arten bewerkstelligt werden kann. Als Beispiel für solche Landschaftsmodelle präsentieren wir LandClim (Temperli & Bugmann 2020) und TreeMig (Lischke 2020). Beide Modelle sind im Grundsatz räumlich explizite Gap-Modelle. Die Lage der einzelnen Gaps bildet ein regelmässiges Raster von Zellen im geografischen Raum. Zudem tauschen die Gaps Informationen aus. Bei LandClim ist dies zum Beispiel die Stärke des Borkenkäferbefalls, bei TreeMig sind es die Art und die Anzahl der samenproduzierenden Mutterbäume. TreeMig modelliert keine einzelnen Bäume oder deren Biomasse, sondern verfolgt die Art und die Anzahl der Bäume über deren Grösse, eingeteilt in Höhenklassen mit einer Breite von etwa 4 m. Mit LandClim lassen sich Forschungsfragen zum Einfluss von natürlichen wie auch anthropogenen Störungen auf die Walddynamik untersuchen. Mit TreeMig können Forschungsfragen zum Einfluss des Klimawandels auf die Migrationsgeschwindigkeit von Bäumen im Klimawandel beantwortet werden.

Auf der Ebene eines ganzen Staates wie der Schweiz interessieren Fragen zur Verfügbarkeit der Ressource Holz, zur Bedeutung der Wälder für die nationale Kohlenstoffbilanz oder zu anderen Ökosystemleistungen. Es ist aber nicht praktikabel, sämtliche Waldbestände oder Waldlandschaften der Schweiz explizit zu modellieren. Wie man auf der nationalen Ebene basierend auf dem Landesforstinventar Aussagen über die zukünftige Entwicklung der Ressource Holz machen kann, zeigen Stadelmann et al (2020) mit dem empirisch-statistischen Modell Massimo.

Fazit

Wir hoffen, dass wir mit dieser Punktstrecke und den darin vorgestellten Fragestellungen und Modellen dazu beitragen können, die Rolle und die Bedeutung dynamischer Modelle in der Forst-

praxis oder zumindest praxisrelevante Ergebnisse aus der Wissenschaft besser verständlich zu machen. «Es ist ja nur ein Modell» oder «ich glaube Modellen nicht» sind Aussagen, die nicht selten zu hören sind, die aber mehr von einem unzureichenden Verständnis von Modellen als von Problemen der Modelle selber zeugen; wobei solche Missverständnisse auch innerhalb der Wissenschaft vorzufinden sind. «Ich bin kein Modellierer, ich benutze Modelle als Werkzeug» ist eine paradoxe Aussage, die vor nicht allzu langer Zeit in einer wissenschaftlichen Diskussion gefallen ist. Es ist nicht so, dass die «Modellierer» an die Modelle «glauben» und die «Nichtmodellierer» zu Recht «skeptisch» sind. Nein, wir alle sind Modellierer, auf die eine oder andere Art, und wir alle müssen gegenüber Modellen sehr skeptisch sein: Inwiefern sind sie nützlich? Wenn wir mit dieser Frage sorgfältig umgehen, können uns Modelle sehr stark unterstützen – sowohl bei der Wahl der Bahn im Schwimmbad als auch bei der Festlegung geeigneter Strategien der Waldbewirtschaftung im Klimawandel. Modelle sind toll – bleiben wir kritisch! ■

Eingereicht: 2. Februar 2020, akzeptiert (mit Review): 30. März 2020

Literatur

- BOX GEP (1976)** Science and statistics. *J Am Stat Assoc* 71: 791–799.
- BUGMANN H, HUBER N (2020)** Entwicklung von Mischbeständen mit komplexer Struktur im Klimawandel. *Schweiz Z Forstwes* 171: 133–141. doi: 10.3188/szf.2020.0133

Des modèles? Je n'en ai pas besoin. Modélisation? Je n'en fais pas – ou peut-être que si?

Très peu de gens se décrivent spontanément comme des modélisateurs. Les modèles sont souvent considérés comme extrêmement compliqués, peu utiles et peu pratiques. Nous mettons ces préjugés à l'épreuve et montrons que les modèles sont indispensables dans notre vie quotidienne et nous permettent de prendre des décisions rapidement sans trop y réfléchir. Sur la base d'une simple décision, nous expliquons le processus typique de construction d'un modèle. Si les modèles sont indispensables dans la vie quotidienne, cela est encore plus vrai dans la gestion et la recherche forestières. Les modèles forestiers tels que la forêt normale ou les tables de production ont toujours constitué l'épine dorsale des interventions durables. Les tendances mondiales et les changements climatiques des 50 à 70 dernières années exigent des modèles forestiers dynamiques et intégrant les variations climatiques pour répondre aux questions sur le développement futur des forêts, les espèces d'arbres, les puits de carbone, le potentiel d'exploitation de bois, les dégâts et les dangers et pour analyser les options d'action. Toutefois, chacune de ces questions nécessite un modèle ou un groupe de modèles spécifiques. Sur la base de six questions spécifiques, nous présentons des modèles forestiers disponibles en Suisse qui permettent de répondre à ces questions.

CAILLERET M, BIRCHER N, HARTIG F, HÜLSMANN L, BUGMANN H (2020) Bayesian calibration of a growth-dependent tree mortality model to simulate the dynamics of European temperate forests. *Ecol Appl* 30: e02021.

FORRESTER DI, TROTSIUK V, MATHYS AS (2020) 3-PG: ein physiologisches Waldwachstumsmodell. *Schweiz Z Forstwes* 171: 158–164. doi: 10.3188/szf.2020.0158

LISCHKE H (2020) Simulation der Baumartenmigration im Klimawandel. *Schweiz Z Forstwes* 171: 151–157. doi: 10.3188/szf.0151

ROSSET C, SCHÜTZ JP, LANZ A, MENK J, GOLLUT C ET AL (2013) SiWaWa: Waldwachstumssimulationsmodell der neuen Generation. Das Waldwachstum für den Praktiker leicht gemacht. Zollikofen: Hochschule Agrar- Forst- Lebensmittelwissenschaften. 56 p.

STADELMANN G (2020) Quantifizierung der Waldbiomasse und des Holznutzungspotenzials in der Schweiz. *Schweiz Z Forstwes* 171: 124–132. doi: 10.3188/szf.2020.0124

TEMPERLI C, BUGMANN H (2020) Borkenkäferdynamik im Klimawandel: die Bedeutung der Landschaftsebene. *Schweiz Z Forstwes* 171: 142–150. doi: 10.3188/szf.2020.0142

THRIPPLETON T, LÜSCHER F, BUGMANN H (2020) Climate change impacts across a large forest enterprise in the Northern Pre-Alps: dynamic forest modelling as a tool for decision support. *Eur J For Res*. doi: 10.1007/s10342-020-01263-x

ZELL J, NITZSCHE J, STADELMANN G, THÜRIG E (2020) Swiss-StandSim: ein klimasensitives, einzelbaumbasiertes Waldwachstumsmodell. *Schweiz Z Forstwes* 171: 116–123. doi: 10.3188/szf.2020.0116

ZIMMERMANN NE, SCHMATZ DR, GALLIEN L, KÖRNER C, HUBER B ET AL (2016) Baumartenverbreitung und Standorteignung. In: Pluess AR, Augustin S, Brang P, editors. *Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien*. Bern: Haupt. pp. 199–221.

Models? I don't need models. Modeling? I don't – or maybe I do?

Very few people would spontaneously describe themselves as modelers. Often, models are seen as extremely complicated, not very useful and not practical. We put these (pre-)judgments to the test and show that models are indispensable in our everyday life and enable us to make decisions promptly without pondering over them for too long. Based on a simple decision, we explain the typical process of model building. If models are already indispensable in everyday life, this is even more the case in the forest management and in forest research. Forest models such as the normal forest or the yield tables have always formed the backbone of sustainable interventions. Global trends and climatic changes of the last 50 to 70 years require dynamic, climate-sensitive forest models to answer questions about the future development of forests, tree species, carbon sinks, wood use potentials, damages and dangers and to analyze options for action. However, each of these questions requires a specific model or model group. Based on six specific questions, we present forest models available in Switzerland that are suitable for answering these questions.