

Abschätzung der Entwicklung von Gebirgswäldern bis 2057?

Einleitung

Aussagen darüber, welche Entwicklung Waldbestände nehmen und welche Leistungen in Zukunft von diesen Beständen erwartet werden können, sind so alt wie die Forstwirtschaft. Gebirgswälder erbringen sehr vielfältige Leistungen, und von ihrem guten Zustand hängt u. a. die Wohnbarkeit vieler Alpentäler ab. Aus diesem Grund ist die Frage besonders wichtig, welche Faktoren für die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung von Gebirgswäldern von zentraler Bedeutung sind (vgl. Bugmann 2001). In diesem Beitrag gehe ich von der These aus, dass das Klima (physikalische Umwelt) und die Bewirtschaftung (sozio-ökonomische Umwelt) eine grössere Bedeutung haben werden als Faktoren wie die CO₂-Düngung und die Stickstoff-Deposition (chemische Umwelt) oder politische Rahmenbedingungen wie das Kyoto-Protokoll (politische Umwelt).

Stand der Kenntnisse zur Klimaveränderung

Im Jahr 2007 wurde resp. wird der vierte Zustandsbericht des «Intergovernmental Panel on Climate Change» (IPCC) veröffentlicht. Es ist interessant festzustellen, dass die Aussagen des IPCC seit der Publikation des ersten Zustandsberichtes im Jahr 1990 nicht nur an Aussagekraft gewonnen haben, sondern tendenziell sogar schärfer geworden sind. Am Beispiel der am häufigsten zitierten Variablen, der globalen Mitteltemperatur, lässt sich dies eindrücklich verfolgen: während im ersten Zustandsbericht von einer erwarteten Veränderung von +1.5 bis +4.5 Grad die Rede war, erhöhte sich diese Angabe im dritten Zustandsbericht auf +1.4 bis +5.8 Grad, und im neusten Bericht liegen die Veränderungen im Bereich von +1.1 bis +6.4 Grad (vgl. Abb. 1). Im Fall der anthropoge-

nen Klimaveränderung ist die Botschaft der Wissenschaft seit nunmehr 17 Jahren unverändert: wir sind mit einem von uns selber verursachten Problem konfrontiert, welches das Wohlergehen von Natur und Mensch in einem von der menschlichen Zivilisation noch nie erfahrenen Ausmass bedroht.

Klimaveränderung nur in der Zukunft?

Wenn wir die Auswirkungen der anthropogenen Klimaveränderung betrachten wollen, so brauchen wir nicht alleine auf Modelle abzustellen. Die in den letzten Jahrzehnten zu beobachtende starke Verschiebung der phänologischen Ereignisse (z. B. früheres Austreiben resp. Blühen vieler Pflanzenarten, Verlängerung der Vegetationsperiode, etc.), das verstärkte Auftreten von dürrebedingtem, flächenhaftem Absterben von Waldbeständen (z. B. in den westlichen USA seit Anfang dieses Jahrhunderts, vgl. Abb. 2) oder die derzeitigen Insekten-Kalamitäten in vielen Gebirgswäldern können zwar nicht eindeutig als erste Folgen der vom Menschen verursachten Klimaveränderung interpretiert werden, aber sie stellen Ereignisse dar, die nach dem derzeitigen Stand der wissenschaftlichen Kenntnisse in einem variableren, wärmeren und im Inneren der meisten Kontinente sommertrockeneren Klima mit einer grösseren Häufigkeit zu erwarten wären. Gerade bei der Frage der Insekten-Kalamitäten wirken zudem zwei Faktoren gleichzeitig: die Klimaveränderung und die mit dem Bestandesalter tendenziell steigende Anfälligkeit der Bestände. Allerdings ist anzumerken, dass solche Veränderungen nicht durchwegs negative Konsequenzen haben; es dürfte Regionen auf dem Globus geben, die von der Klimaveränderung unter dem Strich profitieren werden. Und auch bei uns gibt es vermutlich positive Auswirkungen in gewissen Landesteilen:



Abbildung 2 : Flächenhaftes Absterben von Koniferen in den westlichen USA als Folge der mehrjährigen Trockenheit in den vergangenen Jahren. Bis ins Jahr 2003 wurden dadurch über 6 Millionen Hektaren Wald vernichtet.

(Bild zur Verfügung gestellt von Dr. Craig Allen, USGS, Los Alamos)

es sei hier an das Trockenjahr 2003 erinnert, das für die Landwirtschaft im schweizerischen Mittelland sehr schwierig war; die Ökosysteme in den höheren Lagen profitierten aber in erster Linie von den höheren Temperaturen, da die Niederschlagssumme immer noch ausreichend war; so konnten die Bauern in der montanen Stufe von einer besonders guten Heuernte profitieren und den Kollegen im Mittelland aus helfen. Auch die Jahrringe zeigten in den höheren Lagen ein positives Signal, d. h. das Baumwachstum war dort im Jahr 2003 besonders gut.

Aufgaben der Forschung

Zu den zentralen Aufgaben der heutigen Waldforschung gehört es meiner Ansicht nach, Kenntnisse zu erarbeiten und zur Verfügung zu stellen, welche eine nachhaltige Bewirtschaftung unserer Wälder im Kontext von sich ständig und gleichzeitig ändernden gesellschaftlichen, ökonomischen und abiotischen Rahmenbedingungen ermöglichen. Ich bin überzeugt, dass die folgenden drei Themenbereiche im Zusammenhang mit Gebirgswäldern und der anthropogenen Klimaveränderung von zentraler Bedeutung sind: zum Ersten die Entwicklung der Bestandesstruktur in Schutzwäldern; zum Zweiten die Frage, ob Gebirgswälder als Kohlenstoff-Senken genutzt werden sollen und wie gross die zu erwartenden Effekte wären; und schliesslich Veränderungen in den «Störungs»-Regimes wie Windwurf, Insekten-Kalamitäten und Waldbrand, die nicht nur direkte ökonomische Verluste nach sich ziehen, sondern ebenfalls hinsichtlich der Schutzfunktion, der Landschaftsästhetik und einer Reihe weiterer Waldeleistungen von grosser Bedeutung sind.

Strukturdynamik von Schutzwäldern – Die Forschung ist mittlerweile in der Lage, anhand von Waldwachstumsmodellen (z. B. SILVA) oder Waldsukzessionsmodellen (z. B. FORCLIM) recht präzise Aussagen über die zu erwartende Strukturdynamik von Gebirgswäldern zu machen; Wehrli et al. (2007, vgl. Abb. 3) haben ein derartiges Modell für das Fallbeispiel des Stotzigwaldes (Gurtellen UR) angewendet um abzuschätzen, wie die Struktur dieses Waldes unter verschiedenen Szenarien (Bewirtschaftung, Wildverbiss) in 60 Jahren aussehen würde. Sie glichen die Ergebnisse mit den Anforderungsprofilen aus NaiS (Frehner et al. 2005) ab und stellten fest, dass der Wald in vielen Fällen die Schutzfunktion

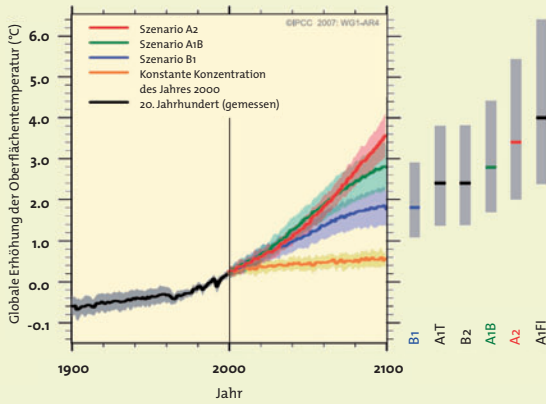


Abbildung 1: Gemessene Veränderung der mittleren Oberflächentemperatur der Erde 1900–2000 und erwartete Veränderungen für das 21. Jahrhundert basierend auf verschiedenen Emissions-Szenarien. Die Linien zeigen die wahrscheinlichsten Veränderungen; die grauen Balken auf der rechten Seite geben den Unsicherheitsbereich der verschiedenen Szenarien wieder. (Aus IPCC 2007)

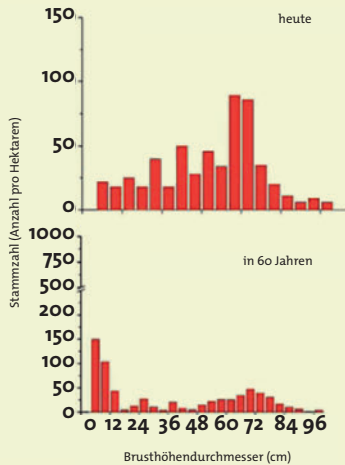


Abbildung 3: BHD-Verteilung einer Versuchsfläche im Stotzigwald (Kt. Uri) heute (oben) und nach 60 Simulationsjahren unter der Annahme von weiterhin hohem Wildverbiss (unten). Solche Simulationsergebnisse können mit den Anforderungsprofilen aus NaIS (Frehner et al. 2005) verglichen werden. Aus Wehrli et al. (2007)

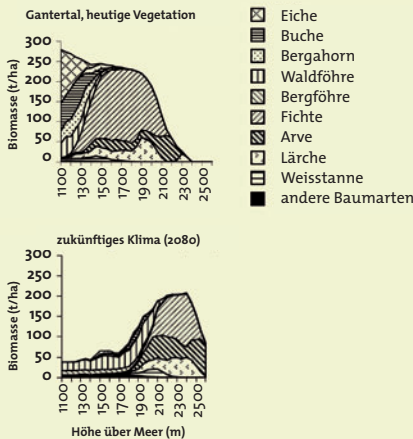


Abbildung 4: Simulierte Artenverteilung und Biomasse (proportional zum Vorrat) im Gantertal (Kt. VS) im Gleichgewicht mit dem heutigen Klima (oben) und einem Klimaszenario für das Jahr 2080 (unten). Die Vorherrschaft von Föhrenwäldern bis auf über 1700 m ü. M. mit einem Vorrat von ca. 100 m³/ha (Biomasse von ca. 50 t/ha) ist besonders auffällig und von Bedeutung für die Schutzfunktion (aus Schumacher & Bugmann 2006). Sie resultiert nicht als direkte Folge der erhöhten Bodentrockenheit, sondern in erster Linie aufgrund eines stark veränderten Waldbrand-Regimes.

gegen Steinschlag nur noch ungenügend gewährleisten würde. Wir arbeiten derzeit in der Professur an einer neuen Generation dieses Modells, um präzisere Abschätzungen und die Anwendbarkeit des Modells für weitere Standorte zu ermöglichen.

Neue Waldleistung: biotische Kohlenstoff-Senke? – Die terrestrische Biosphäre und besonders die Wälder sind von grosser Bedeutung für die globale Kohlenstoffbilanz und damit die atmosphärische CO₂-Konzentration. Dies führt zur Frage, ob Wälder als Kohlenstoffsenken verwendet werden könnten (Klimaschutz) und evtl. im Rahmen des Kyoto-Protokolls angerechnet werden könnten für die Emissionsreduktion. Allerdings ist unklar, wie gross das Senkenpotential der Gebirgswälder ist, ob längerfristig aufgrund direkter klimatischer Einwirkungen (z. B. Erhöhung der Atmung in einem wärmeren Klima) oder aufgrund von Störungsereignissen wie Insektenkalamitäten, Windwurf oder Waldbrand (siehe auch weiter unten) diese Senken wieder zerstört werden könnten. Wir haben in den vergangenen Jahren einige modellbasierende Abschätzungen der Senkenwirkung (z. B. Schmid et al. 2006, Zierl & Bugmann 2007) von Wäldern und Landschaften in der Schweiz gemacht. Daraus ergibt sich, dass die Senkenwirkung ca. Mitte des 21. Jahrhunderts nachlässt und spätestens gegen das Jahr 2100 verschwindet, unabhängig vom Bewirtschaftungs-Szenario. Ausserdem dürfte die Klimaveränderung (verstärkte Trockenheit im Sommer, erhöhte Atmung) dazu führen, dass die Senkenleistung zusätzlich abgeschwächt wird. Es ist aus unserer Sicht deshalb fraglich, ob man für einen Effekt, der einige Jahrzehnte dauert, das langfristige Risiko der Senkenzerstörung durch Windwurf, Insekten oder Waldbrand wirklich in Kauf nehmen will – zumal eine

spätere Kohlenstoff-Quelle mit Sicherheit kostenpflichtig wäre.

«Störungen»: *in der Zukunft die Regel?* – Das Bewusstsein, dass sog. «Störungen» eine bedeutende Rolle in der Walddynamik spielen, ist in Mitteleuropa spätestens mit der Insektenkalamität im Nationalpark Bayerischer Wald oder den Windwürfen Vivian/Wiebke und Lothar klar geworden. Da die Szenarien für das zukünftige Klima nicht nur eine Veränderung der Mittelwerte der Klimavariablen, sondern typischerweise eine Vergrösserung der Varianz (Variabilität) enthalten, ist zu erwarten, dass extreme Witterungsereignisse in Zukunft häufiger werden dürften. Damit stellt sich die Frage, welche Veränderungen in den Störungsregimes auftreten werden. Wir bearbeiten verschiedene Projekte in diesem Zusammenhang, u. a. ein Projekt zur Waldbrandgefährdung in den schweizerischen Gebirgswäldern (vgl. Abb. 4); die ersten Ergebnisse zeigen, dass viele unserer Wälder in Zukunft ein ganz anderes Waldbrand-Regime erleben dürften, mit entsprechenden Konsequenzen für die Schutzfunktion dieser Wälder. Laufende Forschungsarbeiten in der Professur haben zum Ziel, diese ersten, teils erschreckenden Ergebnisse auf ihre Robustheit zu überprüfen und die zugrunde liegenden Modelle zu verbessern.

Grenzen der Forschung

Man kann ein zur Hälfte gefülltes Trinkglas bekanntlich als halb voll oder als halb leer bezeichnen. Je nach Standpunkt kann die Forschung viel, oder sie kann auch nur ganz wenig. Was die Forschung mit Sicherheit nicht kann, ist die zukünftige Entwicklung der Gebirgswälder zu prognostizieren; dies aus drei ganz verschiedenen Gründen (vgl. Bugmann 2003): Erstens ist die Entwicklung des zukünftigen Klimas abhängig von den

Zitierte Literatur

- Bugmann, H., 2001. Vom Kleinen zum Grossen in der langfristigen Walddynamik: Die Bedeutung verschiedener Massstabebenen. *Schweiz. Z. Forstwes.* **152**: 193–198.
- Bugmann, H., 2003. Predicting the ecosystem effects of climate change. In: Canham, C.D., Lauenroth, W.K. & Cole, J.S. (eds.), *Models in ecosystem science*. Princeton University Press, 385–409.
- Frehner, M., Wasser, B. & Schwitter, R., 2005. *Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion*. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC/WMO, Genf (<http://www.ipcc.ch>)
- Schmid, S., Thürig, E., Kaufmann, E., Lischke, H. & Bugmann, H., 2006. Effect of forest management on future carbon pools and fluxes: A model comparison. *Forest Ecology and Management* **237**: 65–82.
- Schumacher, S. & Bugmann, H., 2006. The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. *Global Change Biology* **12**: 1435–1450.
- Wehrli, A., Weisberg, P.J., Schönenberger, W., Brang, P. & Bugmann, H., 2007. Improving the establishment submodel of a forest patch model to assess the long-term protective effect of mountain forests. *European Journal of Forest Research* **126**: 131–145.
- Zierl, B. & Bugmann, H., 2007. Sensitivity of carbon cycling in the European Alps to changes of climate and land cover. *Climatic Change*, im Druck.

CO₂-Emissionen, der Veränderung der Landoberfläche etc.; das menschliche Handeln über Jahrzehnte vorherzusagen, ist nicht möglich, da Menschen keine Maschinen sind.

Zweitens ist das wissenschaftliche Verständnis des Klimasystems nicht perfekt, wie wir aufgrund des gelegentlichen Versagens der Wetter-«Prognose» bestens wissen. Selbst bei perfekten Kenntnissen über den zukünftigen Treibhausgas-Gehalt der Atmosphäre wäre es weiterhin nicht möglich, die regionalen oder gar lokalen Auswirkungen der globalen Klimaveränderung zweifelsfrei zu berechnen.

Drittens wäre selbst bei einer perfekten Prognose des Klimas für einen bestimmten Standort (wie z. B. den Stotzigwald oder das Gantertal, Abb. 3 & 4) die Vorhersage der Reaktion ganzer Waldbestände resp. Landschaften nicht möglich, da – ähnlich zum Klimasystem – unsere Kenntnisse über die exakten Zusammenhänge und Abläufe im Ökosystem Wald nicht hinreichend gut sind. Ist das Glas darum vielleicht sogar weniger als halb voll? Ich denke nicht. Klimaszenarien und die daraus ableitbaren Veränderungen in Gebirgswäldern stellen plausible Entwicklungspfade dar, anhand derer die Bewirtschaftung der Wälder möglichst gut

ausgestaltet werden kann, um mögliche negative Wirkungen zu verhindern und Risiken zu minimieren. Die Wissenschaft kann den Verantwortlichen in der «Praxis» keine Entscheide abnehmen, sondern nur Entscheidungsunterstützung bieten. Wissenschaftliche Aussagen zu den Auswirkungen der Klimaveränderung stellen eine notwendige, aber keine hinreichende Basis dar, um Entscheide zur Bewirtschaftung von Gebirgswäldern zu fällen. Eine enge Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis ist nötig,

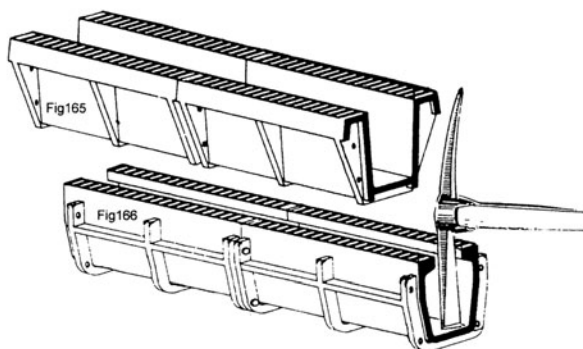
damit (1) die Wissenschaft die richtige Art von Information liefert und (2) diese Information von der Praxis korrekt interpretiert und umgesetzt werden kann.

Harald Bugmann



Eidgenössische Technische Hochschule
CH-8092 Zürich
harald.bugmann@env.ethz.ch

ANZEIGE



Querrinne für Wald- und Güterwege

Neubau

- optimale Verankerung
- flexible Längen Anpassung
- bewährter Werkstoff

Unterhalt

- problemlose Reinigung mit Pickel
- keine losen Verschleiss-teile wie Roste, Balken usw.

Ausführliche technische Unterlagen:



Giesserei Chur AG

7000 Chur Pulvermühlestrasse 56

Tel. 081 286 90 50

Fax 081 286 90 59