

Waldveränderungen als Folge der Klimaerwärmung

Einleitung

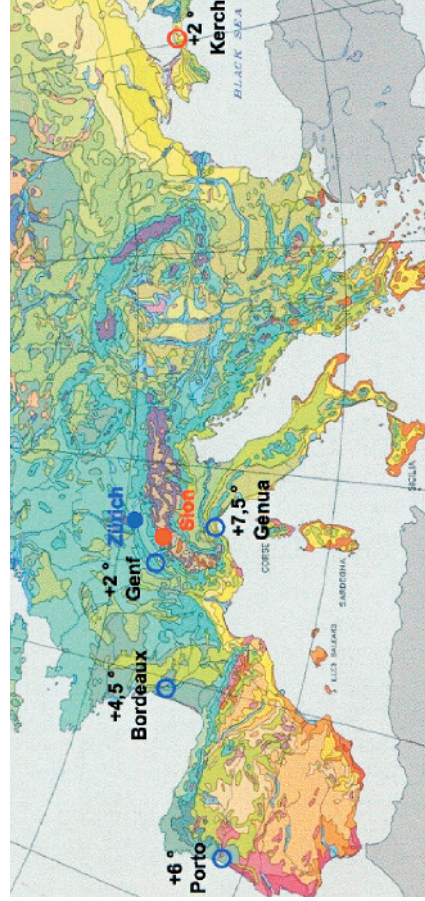
Weltweit und langfristig hängen die Lufttemperaturen stark mit dem CO₂-Gehalt in der Atmosphäre zusammen. Als Folge des Verbrennens fossiler Brennstoffe steigt der CO₂-Gehalt global stetig an, und entsprechend steigen die mittleren Lufttemperaturen ebenfalls. Angesichts des weltweit noch wachsenden Energieverbrauchs sind die Aussichten auf eine rasche CO₂-Reduktion schlecht, weshalb Experten den weltweiten Anstieg der mittleren Temperaturen bis ins Jahr 2100 mit 1,4 bis 5,8 °C beziffern (IPCC, 2001). Neueren Untersuchungen zu Folge könnten diese Schätzungen für Europa gar zu niedrig sein (Schar et al. 2004). Für das Jahr 2080 könnten die Sommertemperaturen bis zu 8 °C wärmer als heute sein. Von welchen Grössenordnungen ist hier eigentlich die Rede? Es handelt sich bei diesen Annahmen tatsächlich um Temperaturanstiege, die seit der letzten Eiszeit vielleicht einmal oder gar noch nie in derart kurzer Zeit stattgefunden haben.

Der beträchtliche Temperaturanstieg, der seit der kleinen Eiszeit bis heute gemessen wurde, beträgt etwa 1 bis 2 °C und erscheint im Vergleich zur erwarteten Klimaerwärmung gering. Doch gemessen am Rückgang aller Gletscher während der letzten 150 Jahre sind die Folgen einer derart «kleinen» Veränderung doch sehr deutlich erkennbar. Es drängt sich deshalb die Frage auf, in welcher Weise sich die Erwärmung in den langlebigen Wäldern abzeichnet hat und wie rasch eine Vegetationsveränderung in den kommenden, höchstwahrscheinlich wärmeren 100 Jahren zu erwarten ist. Dieser Bericht zeigt verschiedene Wege zur Suche nach Antworten auf, mit dem Ziel, die Dynamik der möglichen Waldentwicklungen als Folge der aktuellen Klimaerwärmung abzuschätzen.

Analogieschlüsse

Mit Analogieschlüssen lässt sich die Vegetation unter veränderten klimatischen Bedingungen einfach abschätzen. Ein eindrückli-

Abbildung 1: Karte der natürlichen Vegetation Europas und Lokalisierung von Orten mit wärmeren Jahrestemperaturen gegenüber Zürich (blau) und Sion (rot), bei grober Beibehaltung der Niederschlagsmengen und deren jährlicher Verteilung (www.globalclimatics.org). (Bild: Bohm et al. 2003; BfN-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag, D-48084 Münster, www.liv-h.de/bfn)

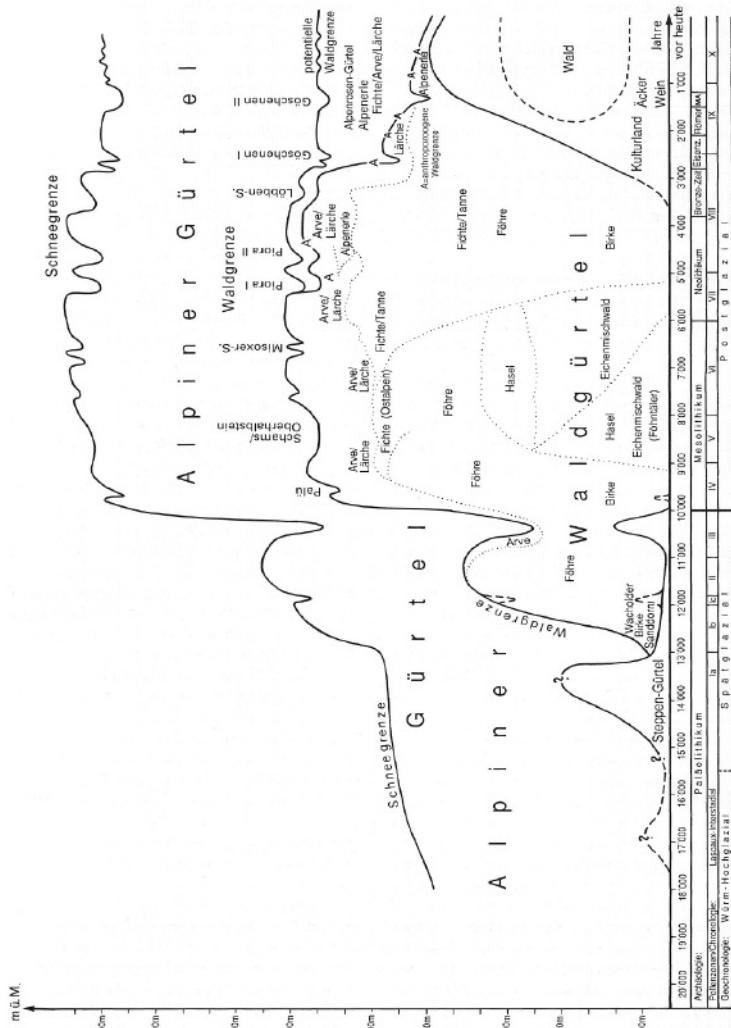


ches Beispiel hierfür ist die Kombination der Vegetationskarte von Europa (Bohn et al. 2003) und weltweit verfügbare Klimadiagramme, zum Beispiel www.globalclimatics.org (Abbildung 1). Als geographischen Ausgangspunkt unseres Analogieschlusses nehmen wir die Stadt Zürich mit einer jährlichen Mitteltemperatur von 8,5 °C und mit etwa 1080 Millimeter Niederschlag pro Jahr (1961–1990). Gesucht sind nun Orte mit wärmeren, aber ähnlich verteilten jährlichen Mitteltemperaturen sowie mit gleichem Niederschlagssummen mit ähnlichem Jahresverlauf; also wärmere, atlantisch gefärbte Klimata. Unsere Suche führt

uns nach Genf (+1,4 °C), nach Bordeaux (+4,5 °C), nach Porto (+6 °C) oder nach Genua (+7,5 °C). In natürlicher Vegetation wachsen an diesen Orten Eichen und Hagebuchen (Genf), Stieleichen und Seestrandkiefer (Bordeaux), Stiel-, Kork- und Steineichen (Porto) und immergrüne Steineichen (Genua).

Wäre also genügend Zeit vorhanden für die Einwanderung von Baumarten und für die Einstellung eines Konkurrenzgleichgewichts, dann wären die Wälder um Zürich bei wärmerem Klima von Eichen, ja von immergrünen Eichen besiedelt. Im Vergleich zu Zürich hat Sion ein ausgeprägt kontinentales Kli-

Abbildung 2: Veränderung der Vegetation als Folge von Klimawandel und Besiedlung durch den Menschen. Entwicklung des zentralalpiner Waldgürtels in Mittelbünden seit der Späteiszeit.
(Bild: © Burga 1996; aus Burga und Perret 1998, S. 666).



ma. Ein um 2 °C wärmeres Klima in Sion mit ähnlichen Jahresniederschlägen entspricht dem heutigen Klima in Kerch auf der Krimhalbinsel am Schwarzen Meer. Die natürliche Vegetation dort ist eine Federgassteppe. Bei diesem Beispiel wird deutlich, dass eine wesentlich geringere Temperaturerhöhung zu einem Wechsel von Wald- zu Grasvegetation (Biomwechsel) führt, dies natürlich wieder mit Ausblendung des Zeitraums, der für die Einstellung des neuen Vegetationsgleichgewichts nötig wäre.

Solche Analogieschlüsse zeigen, dass Prognosen von Temperaturerwärmungen immer im Zusammenhang mit Niederschlagsmengen zu sehen sind. In atlantisch geprägten Regionen können viele Baumarten dank stetigen und reichlich fallenden Niederschlags auch bei höheren Temperaturen überleben beziehungsweise Wälder bilden – das belegt die Waldvegetation an den entsprechenden Orten. Anders bei kontinental geprägten Regionen: Hier stellt sich die Frage, ob und welche trockenresistente Baumarten einem wärmeren kontinentalen Klima trotzen können.

Das hier aufgezeigte, ganz einfache Vorgehen dient in verfeinerter Form der räumlichen Berechnung von Vegetationsveränderungen. Mit solchen statischen Modellen werden je nach Klimaszenario für die nächsten 100 Jahre dramatische Verschiebungen der Baumartenvorkommen berechnet (Zimmermann et al. 2006).

Obschon die dargestellten Zusammenhänge eindrücklich sind, greifen Analogieschlüsse zu kurz, weil sich zum Beispiel bei einer Klimaerwärmung die Verteilung der Niederschlagsverhältnisse innerhalb des Jahres (Saisonalität) stark ändern dürfte, was zu Klimata führen kann, die es heute in Europa kaum gibt, oder weil schwer vorhersehbare Begrenzungen durch extreme Naturer-

eignisse und durch Interaktionen mit anderen Organismen gänzlich unberücksichtigt bleiben.

Nacheiszeitliche Waldveränderungen

Im Verlauf der letzten 15 000 Jahre schwanken die Temperaturen zum Teil deutlich. Indikatoren hierfür sind Pollendiagramme aus Torfschichten oder Seesedimenten, welche Aufschluss über die zu verschiedenen Zeiten herrschende und wechselnde Vegetation geben. Eine Synthese von vielen Pollendiagrammen ist in Abbildung 2 für das Gebiet Mittelbünden dargestellt (Burga & Perret, 1998). Es zeigt, dass sowohl das Klima als auch die Besiedlung durch den Menschen die wichtigsten Gründe für rasche Vegetationsveränderungen waren. Der Übergang von der Späteiszeit zur Nacheiszeit wird mit einem abrupten Anstieg der mittleren Jahrestemperaturen um etwa 3 bis 4 °C während weniger Jahrzehnte definiert. Als Folge davon stiegen die Vegetationsgürtel um 600 bis 800 Meter höher. Durch Alpbewirtschaftung wurde die Waldgrenze um 300 bis 400 Meter tiefer verschoben.

Was Blütenpollen für einst dominante Pflanzenarten sind, das sind Sauerstoffisotope für früher herrschende Temperaturen. In Eisbohrkernen aus verschiedenen Gletschern ergeben die Anteile von Sauerstoffisotopen in den verschiedenen Schichten ein Mass für das Klima vor mehreren tausend Jahren. Durch die Kombination von Pollenhäufigkeiten und Isotopenanteilen kann die Wirkung von starken klimatischen Veränderungen besser abgeschätzt werden. Eine rasche Abkühlung von etwa 1,5 bis 2 °C während des nacheiszeitlichen Wärmeoptimums vor 8200 Jahren führte zum Beispiel zum Rückzug der Hasel im Mittelland und zum Beginn des Buchenstadiums (Tinner & Lotter, 2006). Der Übergang von der Hasel- zur Buchen-

dominanz zog sich im nördlichen Alpenvorland über mehrere hundert Jahre hin. Viele weitere Resultate aus der Paläoökologie belegen, dass sowohl (Wald-) Pflanzen als auch andere Organismen mit kürzeren Lebenszyklen (Zuckmücken, Käfer, Krebse) innerhalb weniger Jahre oder Jahrzehnte auf grosse Klimaveränderungen reagieren (Amann et al. 2000).

Szenarien der Waldentwicklung in naher Zukunft

Die Entwicklung der Baumartenzusammensetzung an einem beliebigen Standort lässt sich anhand von Kennzahlen der verschiedenen Baumarten berechnen. Auf diese Weise werden mittels dynamischer Sukzessionsmodelle seit rund 20 Jahren Beispiele von Waldveränderungen als Folge von möglichen Klimaentwicklungen untersucht (Bugmann, 1997). Als Grundlagen für die Modellierung dienen Informationen zur Verjüngung, zum Wachstum und zur Mortalität der einzelnen Baumarten in ihrem Verbreitungsareal. Als Modellierereinheit dient ein Bestand der Grösse einiger hundert Quadratmetern – ein so genanntes « gap » (engl. Lücke; für die Lücke, die ein grosser umgestürzter Baum in einem geschlossenen Wald hinterlässt). Aus den Brusthöhendurchmessern aller Bäume im Bestand einer solchen Fläche werden die Biomassen pro Hektar und Baumart berechnet.

Informationen über die Wachstumseigenschaften stammen von verschiedenen Untersuchungen in der Schweiz und im Ausland. Eine wichtige Erkenntnis aus den verschiedenen Modellierungen war, dass nicht alle Wälder gleich empfindlich gegenüber dem Klima sind (Bugmann, 1997, Lischke et al. 1998). Berechnungen mit dem Waldmodell FORCLIM ergaben für eine sofortige Klima-

erwärmung um rund 2 °C mit dadurch verschärfter Trockenheit und einem später konstant wärmeren Klima folgende Resultate: wenig Veränderungen in Buchenwäldern des Mittellandes (Bern), starke Veränderungen der Artenzusammensetzung im Oberengadin (Bever) und ein rasches Auflösen des Waldes im Talboden des Wallis (Sion). Bei einer starken, während aller Monate gleicher Temperaturerhöhung von +4,7 °C im Sommer und +3,7 °C im Winter von heute bis ins Jahr 2100 (Abbildung 3) wurden ähnliche (Bern) oder stark von der aktuellen Zusammensetzung abweichende (Bever, Davos, Airolo) Baumartenzusammensetzungen gefunden. An einigen Standorten ergab sich eine starke Bewaldung (Gotthard bewaldet durch Anstieg der Waldgrenze; nicht dargestellt) oder starke Entwaldung (Sion). Bei der Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, dass die errechneten zukünftigen Baumartenkombinationen in vielen Fällen wenig mit den Mischungen der Wälder von heute zu tun haben.

Im Gegensatz zu den soeben dargestellten Ansätzen, welche jeden Waldbestand isoliert betrachten, berechnen neuere Vegetationsmodelle sowohl die zeitliche Entwicklung als auch die räumlichen Muster der Vegetation, inkl. der Verbreitung von Arten an Orte, an denen sie heute nicht vorkommen. In diesen Modellen sind die Baumarteneigenschaften auf eine Weise erweitert worden, dass Reaktionen auf extreme Naturereignisse wie Windwurf oder Waldbrand und die Ausbreitung und Etablierung berechenbar sind (zum Beispiel Schumacher & Bugmann, 2006). Die Resultate aus diesen Modellen für das Dischmatal zeigen für den Fall einer starken Erwärmung (rund 4 °C wärmer als heute) und weniger Niederschlag bis ins Jahr 2100, dass Trockenheitsperioden häufiger auftreten. Sommerdürren

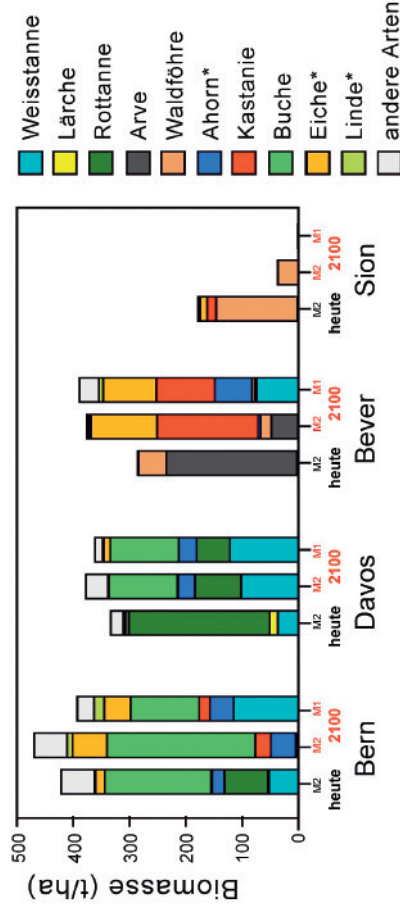


Abbildung 3: Simulierte Artenzusammensetzungen und oberirdische Biomassen (analog zum Vorrat) im Gleichgewicht mit dem heutigen Klima («heute») und im langfristigen Gleichgewicht nach einer Temperaturerhöhung (+4,7 °C im Sommer und +3,7 °C im Winter), wie sie für das Jahr 2100 an einer Standort in der Schweiz zu erwarten wäre. Die Berechnungen erfolgten mit den Versionen 2.4 (M1) und 2.9 (M2) des Sukzessionsmodells FORCLIM. Baumarten mit *: keine Unterscheidung innerhalb der Gattung (verändert nach Bugmann 1999, S. 279). (Bild: Thomas Wohlgemuth)

haben einerseits einen direkten Einfluss auf die Zusammensetzung und den Vorrat von Gebirgswäldern: über veränderte Etablierungs-, Wachstums- und Mortalitätsraten einzelner Arten. Andererseits haben Dürren indirekte Folgen, indem zum Beispiel Waldbrände häufiger auftreten (Schumacher & Bugmann, 2006).

Interessanterweise spielen bei einem solchen, immer wahrscheinlicher werdenden Szenario sowohl Windwürfe als auch die Waldnutzung (innerhalb plausibler Grenzen) eine vergleichsweise untergeordnete Rolle für die Waldsukzession. Eine grosse Unbekannte in den gegenwärtigen Simulations-Szenarien ist das Verhalten von nicht einheimischen Baumarten. Mit statischen Modellen wurde für die Jahre 2070 bis 2100 ein Aufkommen der immergrünen Eichen in grossen Teilen Mitteleuropas, möglicherweise bis Skandinavien berechnet (Overpeck et al. 2003). Die Schweiz wäre als eine der ersten Regionen von der Besiedlung durch

immergrüne Baumarten betroffen, kommen doch Steineichen bereits vereinzelt in den wärmsten Lagen der Südschweiz vor. Dynamische Modelle ermöglichen es, die Tragheit von Waldgesellschaften auf verschiedenen Standorten bezüglich Klimaveränderungen zu simulieren. Eine weitere Ausbaustufe dieser Modelle betrifft die Erweiterung mit süd-europäischen und anderen nicht einheimischen Baumarten, die heute bereits in der Schweiz angepflanzt werden.

Folgerungen

Welche Effekte könnte eine Klimaerwärmung in der Grössenordnung von 2 bis 4 oder gar 6 °C in den nächsten 100 Jahren auf die Waldvegetation in der Schweiz haben? Generell werden die klimatischen Bedingungen an der Waldgrenze sicher besser, womit mindestens theoretisch Bäume und Waldvegetation in höhere Regionen als heute vordringen dürften. Die Weiterentwicklung zu Wäldern wird aber infolge kürzerer Vegeta-

tionszeit lange dauern und vor allem durch den Alpdruck (Beweidung) verzögert bleiben. Wälder in atlantisch beeinflussten Klimaregionen wie dem Mittelland und den Nordalpen dürften bei ungestörter Entwicklung recht lange höheren Temperaturen trotzen. Sollten Baumarten ausfallen, dann würden sie durch andere ersetzt. In Regionen mit kontinentalem Klimacharakter werden die Veränderungen markanter ausfallen. Ausgeprägte Dürren als Folge immer wärmerer Sommertemperaturen werden in Tallagen mit kontinentalem Klimacharakter zu physiologischen Wachstums Einschränkungen führen.

In Walliser Tallagen haben die warmen Sommer des letzten Jahrzehnts bereits zu einer grösseren Föhrenmortalität und einem verstärkten Vordringen der Flaumeiche geführt (Rigling et al. 2006). Noch wärmere und trockenere Sommer werden in tiefsten Lagern zum Übergang von Wald zu Steppe führen. Im klimatisch und botanisch mit dem Wallis verwandten Churer Rheintal dürften ähnliche Prozesse etwas später ebenfalls eintreten. Der stärkste unmittelbare Effekt auf die Wälder wird durch Störungen, sowohl extreme Naturereignisse als auch Waldnutzungen, ausgeübt (Wohlgemuth et al. 2002). Wenn in Zukunft vermehrt Winterstürme auftreten sollten – als Folge der globalen «Wärmekraftmaschine» (Münchner Rück, 2001) – und auch auf der Alpennordseite vermehrt Waldbrände stattfinden werden (Fuhrer et al. 2006), dann sind nicht nur häufiger grossflächige Waldschäden wie nach «Lothar» oder wie nach dem Waldbrand von Leuk zu erwarten, sondern der Befall durch Borkenkäfer dürfte ebenfalls markant zunehmen (Wermelinger & Seifert, 1999). Der An- und Aufwuchs von Baumarten dürfte somit von ganz verschiedenen Faktoren abhängen, zum Beispiel von der

lokal herrschenden Witterung, dem lokal unterschiedlichen Samenangebot sowie dem Tempo der Besiedlung durch andere Pflanzen. Abrupte Vegetationsveränderungen sind als Folge von Bestandeszusammenbrüchen durch Trockenheit, Windwurf oder Waldbrand zu erwarten. Gemächliche Veränderungen dürften dagegen in ungestörten Waldbeständen ablaufen.

Literatur

Alle Literaturnachweise sind enthalten in: Wohlgemuth T., Bugmann H., Lischke H., Tinner W. (2006) Wie rasch ändert sich die Waldvegetation als Folge von raschen Klimaveränderungen? Forum für Wissen 2006, 7–16. (www.wsl.ch/forum/pdf/Forum_06_7_16.pdf).

Dr. Thomas Wohlgemuth



wohlgemuth@wsl.ch

Eidg. Forschungsanstalt WSL

Zürcherstr. 111, 8903 Birmensdorf

Prof. Dr. Harald Bugmann



harald.bugmann@env.ethz.ch

Institut für terrestrische Ökologie

Universitätsstr. 16, 8092 Zürich

PD Dr. Willy Tinner



willy.tinner@env.ethz.ch

Institut für terrestrische Ökologie

Universitätsstr. 16, 8092 Zürich