Zeitschrift: Mitteilungen / Naturforschende Gesellschaft des Kantons Solothurn
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft des Kantons Solothurn
Band: 42 (2014)

Artikel: Der Klimawandel als Herausforderung für den Wald und die Waldbewirtschaftung
Autor: Bugmann, Harald
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-543337

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: 23.11.2025

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

Der Klimawandel als Herausforderung für den Wald und die Waldbewirtschaftung

Harald Bugmann

Adresse des Autors

Prof. Dr. Harald Bugmann
ETH Zürich
Institut für Terrestrische Ökosysteme
Universitätsstrasse 16
8092 Zürich
harald.bugmann@env.ethz.ch

Inhaltsverzeichnis

1 Vom Menschen verursachter Klimawandel – Fakt oder Fiktion? 123

2 Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald 125

3 Standortkarten, Waldbewirtschaftung und Klimawandel 127

4 Schlussfolgerungen 128

5 Zusammenfassung 128

6 Literatur 128

7 Abkürzungsverzeichnis 129

Der Klimawandel als Herausforderung für den Wald und die Waldbewirtschaftung

Harald Bugmann

1 Vom Menschen verursachter Klimawandel – Fakt oder Fiktion?

Waldstandorte sind keine Naturkonstanten, sondern sie sind – unter anderem – ein Produkt der vorherrschenden Umweltbedingungen. Seit Jahrhunderten hat sich das Klima allerdings nicht mehr so stark verändert, dass dies Auswirkungen auf den Wald gehabt hätte. Dies wird sich in Zukunft mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit ändern, da der Mensch seit einigen Jahrzehnten das Klima stark beeinflusst.

Der Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Treibhausgasen in der Atmosphäre und dem Klima ist seit dem 19. Jahrhundert physikalisch gesichert und wird von niemandem bestritten; zu den wichtigsten Treibhausgasen gehören neben dem Wasserdampf (H_2O) das Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4); auch dies wird von niemandem bestritten, ebensowenig die Tatsache, dass der CO_2-Gehalt der Atmosphäre seit Mitte des 19. Jahrhunderts von etwa 280 ppm auf heute knapp über 400 ppm (+43%) gestiegen ist – die 400er-Marke wurde auf Mauna Loa (Hawaii) am 9. Juni 2013 erstmals übertroffen (vgl. https://scripps.ucsd.edu/news/7992, abgefragt am 12.3.2014).

Seit ungefähr 40 Jahren werden zudem numerische Modelle des Klimas entwickelt, überprüft und verfeinert. Und seit nahezu 25 Jahren erarbeiten Heerscharen von Wissenschaftlern regelmässig Berichte über den Stand der Forschung zum Thema des menschlichen Einflusses auf das Klima, besser bekannt unter dem Kürzel IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), einberufen vom UNO-Umweltprogramm (UNEP) und der World Meteorological Organization (WMO). Der fünfte Zustandsbericht des IPCC erscheint 2013–2014 in drei dicken Bänden.

Trotzdem werden immer wieder Zweifel laut, es könnte doch alles ganz anders sein und die vom Menschen verursachte Klimaveränderung sei bloss eine von grünen Fundamentalisten oder nach Drittmitteln gierenden Wissenschaftlern inszenierte «Hype». Zwei Dinge erscheinen mir in diesem Zusammenhang wichtig:

Erstens sollte man sich vergegenwärtigen, dass – anders als beim Waldsterben – 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 vierten Bericht (IPCC 2007) lagen die Veränderungen im Bereich von +1.1 bis +6.4 Grad. Man mag bedauern, dass der Bereich dieser möglichen Zukunften nicht zu konvergieren scheint, aber das hat zu einem guten Teil damit zu tun, dass das menschliche Handeln, d.h. die Emissionen, eine der am schwierigsten vorhersagbaren Komponenten des Klimawandels ist. Im Fall der anthropogenen Klimaveränderung ist die Botschaft aus der Wissenschaft seit mehr als 20 Jahren also 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.

Zweitens wird nicht nur jeder frühe Wintereinbruch oder kalte Frühling dazu benutzt, darauf hinzuweisen, dass dies ja nichts mit einer Erwärmung zu tun haben könne – hier wird ganz einfach Wetter mit Klima verwechselt; ein scheinbar viel stärkeres Argument sind die vielen groben sachlichen Fehler, welche sich behauptetermassen in den vierten Zustandsbericht (IPCC 2007) eingeschlichen haben. Allerdings reduziert sich dieser «Skandal» auf zwei Dinge, nämlich auf das Fehlen einer Ziffer Null bezüglich des Abschmelzens der Gletscher im Himalaya (da stand irrtümlich 35 Jahre statt deren 350), und dann war jene Fläche von Holland, welche durch die Meeresspiegelerhöhung überflutet werden könnte, strittig – ganz einfach deshalb, weil verschiedene Regierungsstellen in Holland verschiedene Angaben über die heute unter dem Meeresspiegel liegende Landesfläche verwenden. Wenn man berücksichtigt, dass viele Personen bezahlt wurden, um Fehler im mehrere tausend Seiten umfassenden vierten Zustandsbericht des IPCC aufzuspüren, so hat dieser Berg eine ganz winzige Maus geboren und letztlich nichts anderes nachgewiesen als die Solidität der Arbeit des IPCC.

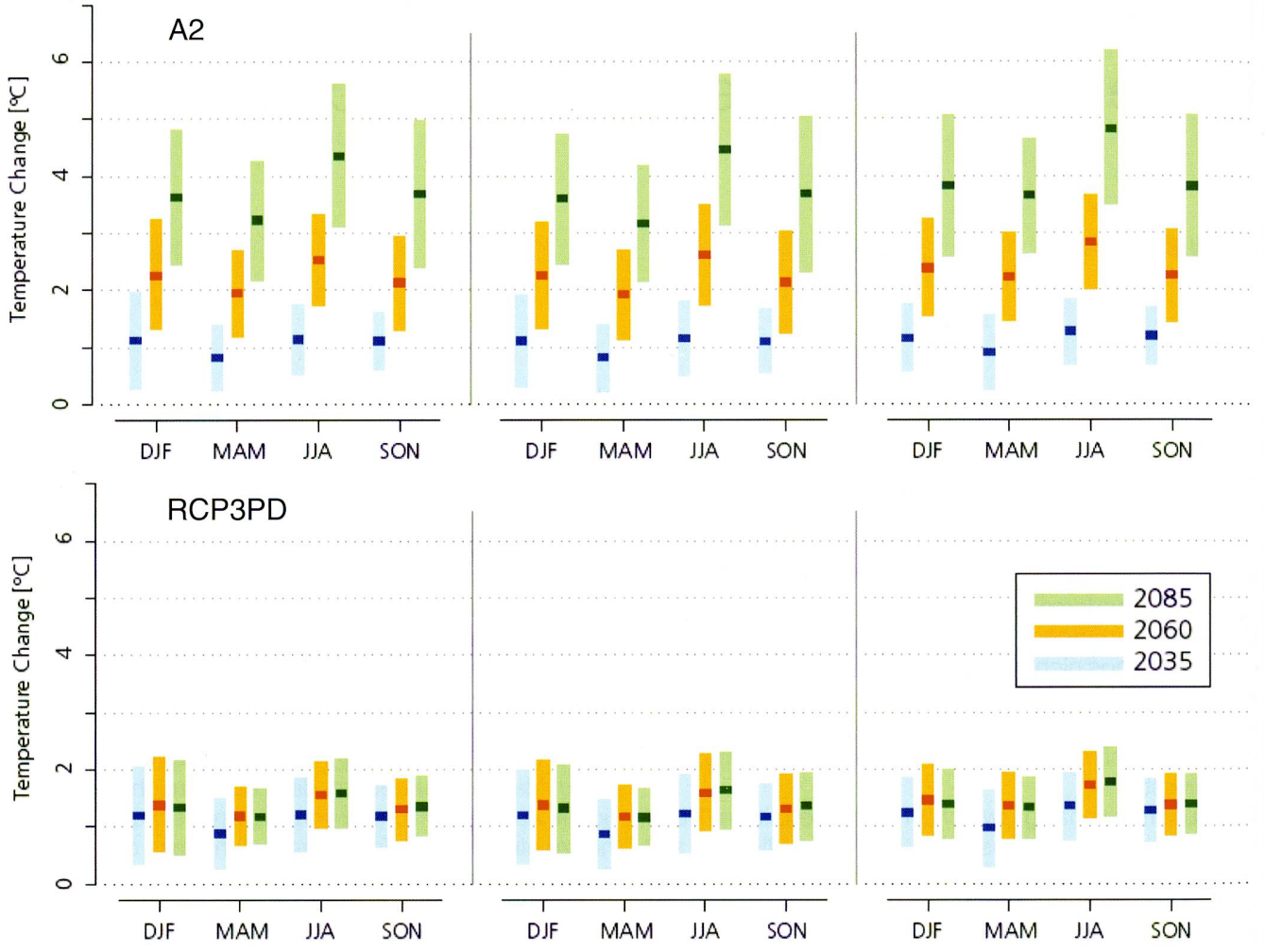

Abbildung 1: Zwei Temperatur-Szenarien aus dem Projekt CH2011 (2011) für die Nordostschweiz (links), die Westschweiz (mitte) und die Südschweiz (rechts). Oben: A2-Szenario gemäss IPCC (2007); unten: 2-Grad-Szenario gemäss der Übereinkunft von Kopenhagen («RCP3PD»). Dargestellt sind Veränderungen der Temperatur relativ zur Referenzperiode 1980–2009, dreissigjährige Mittelwerte um das Jahr 2035 (blau), 2060 (orange) und 2085 (grün). Die Länge der Balken stellt die Unsicherheit in den Abschätzungen dar. DJF = Winter, MAM = Frühling, JJA = Sommer, SON = Herbst (aus CH2011 2011).

Wir können heute deshalb mit 95 % Sicherheit davon ausgehen, dass der grösste Teil der Klimaveränderung der letzten 40 Jahre auf menschliche Aktivitäten, nämlich auf das Verbrennen fossiler Brenn- und Treibstoffe und die Abholzung von Wäldern, und nicht auf natürliche Ursachen wie Sonnenflecken oder Vulkanausbrüche zurückzuführen ist. Dabei verbleibt ungefähr die Hälfte dieser Emissionen in der Atmosphäre, der Rest hingegen wird von den Ozeanen und den Landökosystemen (v.a. Wäldern) wieder aufgenommen.

Was bedeutet der Klimawandel für die Schweiz? Gebirgsregionen weltweit zeichnen sich durch eine besonders starke Erwärmung aus; im Lauf des 20 Jahrhunderts veränderte sich die Mitteltemperatur in der Schweiz um +1.5 Kelvin (OcCC 2007; das Mittel der Veränderung in der gesamten Nordhemisphäre beträgt «lediglich» +0.76 Kelvin). Doch wie geht es weiter? Für die Schweiz wurden Ende 2011 neuste, dem aktuellen Stand der Forschung entsprechende Klima-Szenarien publiziert (Projekt CH2011).

Eines dieser Szenarien geht davon aus, dass es der Staatengemeinschaft gelingen wird, die Emissionen so zu begrenzen, dass die globale Mitteltemperatur um lediglich 2 Kelvin gegenüber vorindustriellen Bedingungen ansteigt (Übereinkunft von Kopenhagen 2009). Selbst unter diesem kaum mehr realistischen 2-Grad-Szenario wäre für die Schweiz bis zum Ende des laufenden Jahrhunderts ein weiterer Anstieg der Temperaturen im Bereich von 1–2 Kelvin zu erwarten (Abbildung 1), mit geringer Differenzierung in den verschiedenen Jahreszeiten.

Unter den – weitaus wahrscheinlicheren – Szenarien eines stärkeren Anstiegs der Emissionen ergäben sich auch stärkere Klimaveränderungs-Signale für die Schweiz (Abbildung 1). Das A2-Szenario reicht dabei bis zu einer Erwärmung von über 6 Grad im Sommer. Bezüglich der Niederschläge (hier nicht dargestellt) ergibt sich eine leichte Erhöhung im Winter, aber eine leichte bis ausgeprägte Reduktion in den Sommermonaten.

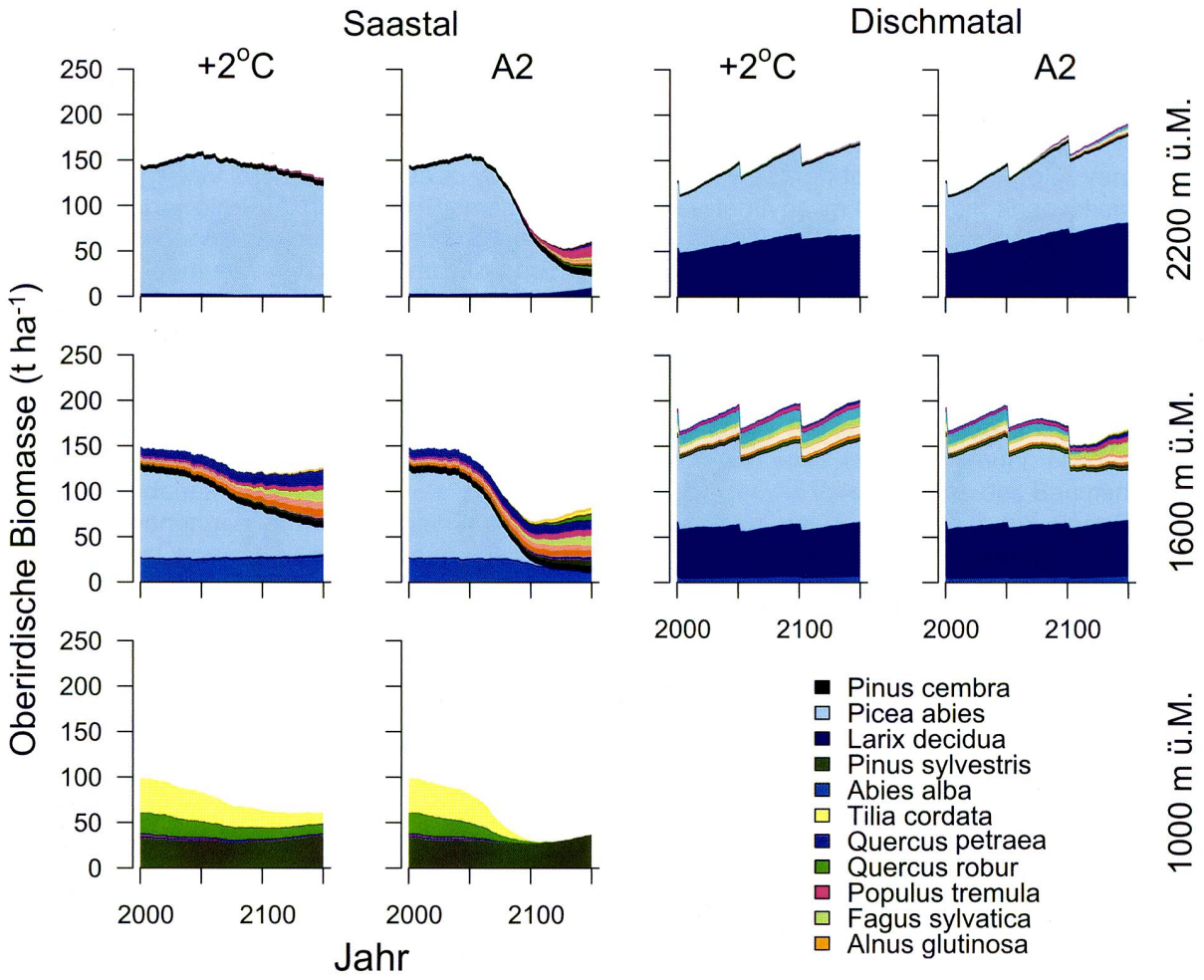

Abbildung 2: Entwicklung von oberirdischer Biomasse und Artenzusammensetzung unter zwei Klimaszenarien im Saastal (links) und im Dischmatal (rechts) für drei Meereshöhen unter dem 2-Grad-Szenario sowie unter dem stärkeren A2-Szenario; vgl. Abbildung 1 für Details zu den Klima-Szenarien (aus Elkin et al. 2013).

2 Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald

Was bedeuten solche Klimaveränderungen für den Wald? Das Klima als eine rechnerische Grösse hat sich schon immer verändert; das bedeutet, dass jede Vegetationsform und damit auch der Wald nicht in seiner Existenz gefährdet ist, solange unser Planet höheres Leben beherbergen kann. Die Vegetation passt sich dem Klima an, in kürzeren Zeiträumen durch Wanderung der einzelnen Arten, langfristig auch durch Evolution. Die anthropogene Klimaveränderung ist deshalb für den Wald an sich unproblematisch, nicht aber für die Menschheit, welche eine Unzahl von Gütern und Dienstleistungen aus dem heute vorhandenen Wald bezieht und an dessen Weiterexistenz interessiert ist.

Ein Beispiel soll dies illustrieren: Wenn der Steinschlag-Schutzwald am Südhang des Weissensteins, des Hausbergs von Solothurn, aufgrund von chronischer Trockenheit abstirbt und danach innert 50 Jahren durch Eichenwald ersetzt wird, so ist das für die Natur kaum ein Problem, für die Besucher des Weissensteins, welche die Bergstrasse benützen, aber sehr wohl. Kostspielige Schutzbauten würden nötig, oder der Berg müsste als Erholungsdestination sogar ganz aufgegeben werden. Wenn wir gewährleisten wollen, dass der Wald auch in Zukunft solche Leistungen erbringen kann, müssen wir also weit im Voraus abschätzen können, wie er sich entwickeln wird, damit wir gegebenenfalls Gegenmassnahmen ergreifen können («adaptives Management»); im Fall des Weissensteins wäre z.B. das frühzeitige Einbringen neuer Baumarten denkbar, damit diese rechtzeitig aufwachsen und die Buchen ersetzen können.

Um die Veränderungen abzuschätzen, welche im Wald zu erwarten sind, gibt es ein breites Spektrum von Methoden, von der Paläoökologie über Analogieschlüsse aus heutigen anderen Vegetationszonen bis hin zu Computermodellen. Das zukünftige Klima dürfte in einigen Aspekten deutlich anders sein als vergangene Klimata oder jene anderer Teile des Globus, weil einerseits die Saisonalität sich verändert, andererseits aber auch die Variabilität steigen dürfte («no analog»-Klimata). Deshalb werden heute in der Klimafolgenforschung in erster Linie «mechanistische» Modelle verwendet,

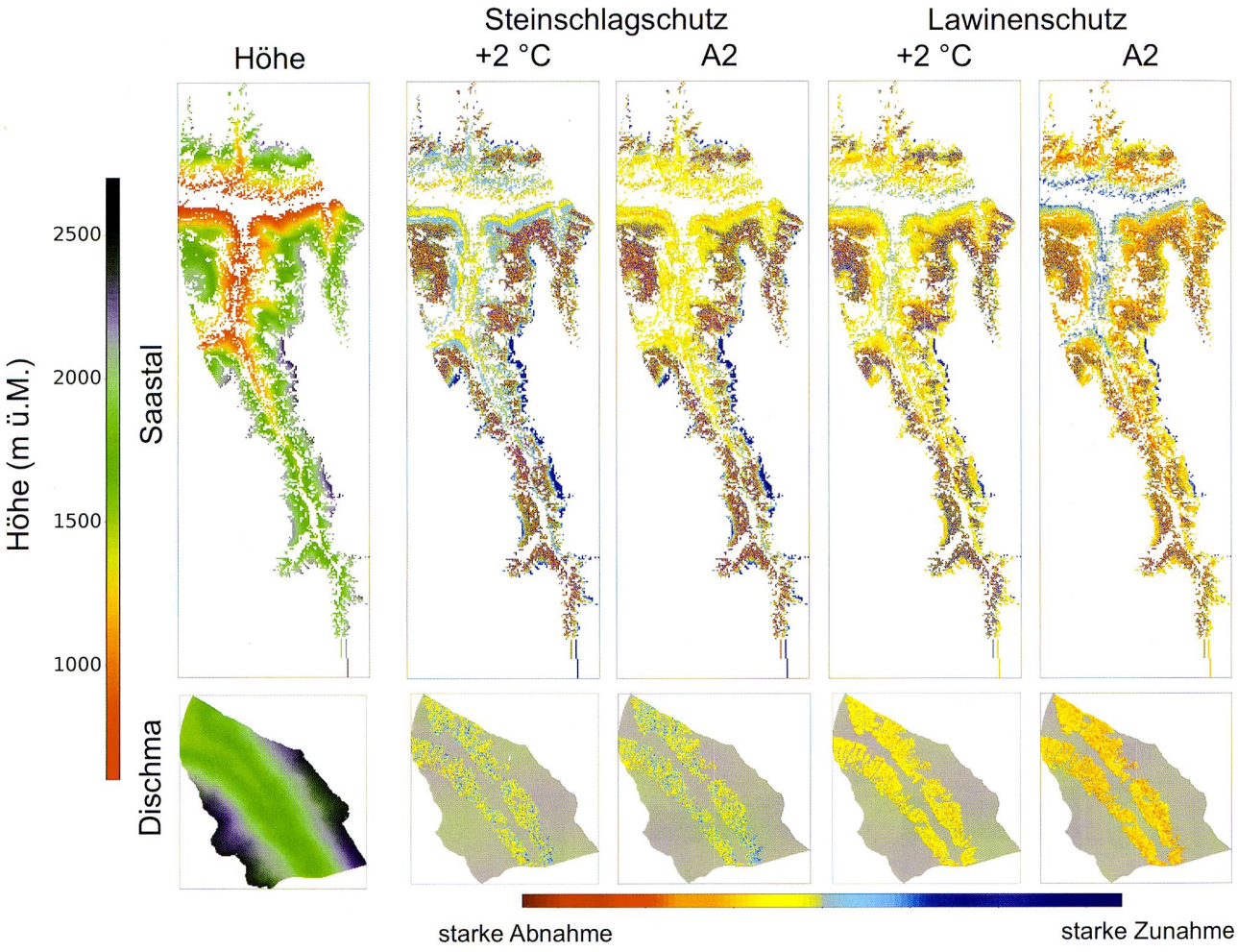

Abbildung 3: Entwicklung der Schutzfunktion vor Steinschlag (2. und 3. Spalte) sowie Lawinenniedergängen (4. und 5. Spalte) im Saas- (oben) und Dischmatal (unten) unter den gleichen Klimaszenarien wie in Abbildung 2. Ganz links ist das digitale Geländemodell der beiden Talschaften wiedergegeben (aus Elkin et al. 2013).

welche die uns bekannten ökologischen Prozesse und ihre Beeinflussung durch Witterungsereignisse in mathematische Gleichungen fassen (Shugart 1998, Bugmann 2001). Weil sie prozessbasiert sind und abiotische sowie biotische Einflussfaktoren berücksichtigen, sind sie mindestens grundsätzlich auch extrapolierbar unter neuen Klimabedingungen, im Gegensatz zu herkömmlichen Regressionsmodellen oder Analogieschlüssen.

Leider gibt es keine Untersuchung der Folgen des Klimawandels für die Wälder im Kanton Solothurn, und die verfügbaren nationalen Abschätzungen (z.B. Zimmermann & Bugmann 2008) sind viel zu grob, als dass sie auf der Ebene von Teilen eines verzweigten Kantons wie Solothurn interpretiert werden könnten. Um die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald zu illustrieren, muss ich deshalb auf Beispiele aus anderen Regionen zurückgreifen. In einer kürzlich publizierten Untersuchung, welche in zwei Gebirgsregionen der Schweiz, nämlich im Saas- und im Dischmatal (VS resp. GR) durchgeführt wurde (Elkin et al. 2013), kamen drei Computermodelle zum Einsatz, mit denen die Auswirkungen von vier Klimaszenarien auf eine Vielzahl von Ökosystemgüter und -leistungen berechnet wurden, von der zukünftigen Waldbiomasse und Artenzusammensetzung (Abbildung 2) über die Holzproduktion und die Diversität bis hin zum Abflussgeschehen und der Schutzfähigkeit der Wälder bezüglich Steinschlag und Lawinen (Abbildung 3). Bezüglich der Bewirtschaftung wurde dabei angenommen, dass die heutige Praxis auch in Zukunft aufrechterhalten würde.

Dabei ergab sich ein äusserst differenziertes Bild, das pauschalisierende Aussagen verunmöglicht: je nachdem, welche Ökosystemleistung, welches Klimaszenario, welcher Zeithorizont und welcher Teil einer Gebirgsregion betrachtet wird, ergeben sich andere Folgerungen. So ist beispielsweise in höheren Lagen des Dischmatals unter allen Klimaszenarien mit einer Verbesserung der Biomassenproduktion und keiner grossen Veränderung der Artenzusammensetzung zu rechnen, weil steigende Temperaturen die Entwicklung dieser Ökosysteme dominieren (Abbildung 2 oben rechts); im Saastal hingegen ist dieser positive Effekt wesentlich schwächer und nur während der ersten Jahrzehnte ersichtlich (Abbildung 2 oben links), weil Trockenheitseffekte die positive Wirkung der Temperaturerhöhung überkompensieren, wobei beim

2-Grad-Szenario nur unwesentliche Änderungen gegenüber heute auftreten, beim A2-Szenario hingegen ist langfristig eine starke Reduktion der Biomasse zu erwarten.
In etwas tieferen Lagen im Saastal (Abbildung 2 Mitte links) scheint sich bezüglich Biomasse und Artenzusammensetzung bis ins Jahr 2050 kaum etwas zu verändern, danach finden aber ein Rückgang der Biomasse und eine Veränderung der Artenzusammensetzung statt, und dies sogar unter dem sehr milden 2-Grad-Szenario. In den tiefsten Lagen schliesslich (die nur für das Saastal simuliert werden konnten, da das Dischmatal nicht tiefer als ca. 1500 m.ü.M. reicht; Abbildung 2 unten) zeigen alle Szenarien negative Effekte auf die Biomasse und ein Verschwinden aller Arten ausser der trockenheitstolerantesten, wobei dieser Prozess recht lange dauert, ganz besonders unter dem 2-Grad-Szenario.
Die obigen Auswertungen berücksichtigten die horizontale Verteilung der Ökosystem-Leistungen im Raum nicht; beim Schutz vor Naturgefahren, welcher sich häufig auf ganz bestimmte Objekte im Raum (z.B. Strassen und Dörfer) bezieht, ist eine explizite räumliche Betrachtung zwingend (Abbildung 3). Diese zeigt wiederum ein äusserst differenziertes Bild, das sich kaum auf einfache, pauschale Aussagen bezüglich der Veränderungen reduzieren lässt. So nimmt beispielsweise der Steinschlagschutz in den höchsten Lagen des Saastals unter beiden in Abbildung 3 dargestellten Szenarien zu, weil die Wälder an der oberen Waldgrenze dichter werden und deshalb besser in der Lage sind, Steine zu stoppen. In den tiefen Lagen des Saastals hingegen ist unter dem 2-Grad-Szenario eine Verbesserung des Steinschlag-Schutzes zu erwarten, unter dem A2-Szenario hingegen eine starke Verschlechterung. Der Lawinenschutz im Dischmatal hingegen weist unter beiden Szenarien in eine negative Tendenz auf, die aber unterschiedlich stark ist.
Insgesamt ergeben sich aus diesen Betrachtungen einige wichtige Folgerungen:

- Die Klimaveränderung betrifft die Wälder auf einem Grossteil der betrachteten Untersuchungsflächen.
- Sie hat an gewissen Standorten positive Auswirkungen, an vielen Standorten aber negative.
- Das Vorzeichen der Auswirkungen und ihre Stärke hängt von der betrachteten Ökosystemleistung ab.
- Bei einigen Kenngrössen (z.B. Artengarnitur, Schutz vor Naturgefahren) sind teilweise drastische Veränderungen zu erwarten.
- Gewisse Veränderungen werden erst nach 50 bis 150 Jahren bemerkbar, d.h. der Beurteilungszeitraum muss über die kommenden Jahrzehnte hinaus gehen.

3 Standortkarten, Waldbewirtschaftung und Klimawandel

Was bedeuten die oben dargelegten Veränderungen im Hinblick auf die (statischen) Standortskarten, die für das heutige Klima in vielen Kantonen erarbeitet wurden? Sie stellen eine wichtige Grundlage für die Herleitung der waldbaulichen Behandlung dar, besonders in Gebirgsregionen – macht der Klimawandel diese ganze Arbeit zunichte, müssen wir in Zukunft alle zehn Jahre neue Standortkarten erarbeiten?
Der (Wald-)Standortstyp kann als Verortung eines Ökosystemtyps im Ökogramm angesehen werden, wobei implizit angenommen wird, dass das Klima konstant ist. Von den beiden Achsen des Ökogramms – Bodenfeuchtigkeit und Säuregrad – ist direkt nur die Feuchtigkeit durch den Klimawandel betroffen (Veränderungen des Niederschlags); der Säuregrad des Bodens ändert sich durch den Klimawandel nicht direkt, sondern nur indirekt über Prozesse wie verstärkte Auswaschung im Winter (bei einer entsprechenden Niederschlagserhöhung) oder die Verschiebung des Baumartenspektrums (vgl. Abbildung 2), welche z.B. bei einer Einwanderung von Laubholz auf heutigen Nadelholzstandorten durch die Veränderungen in der Streuqualität innerhalb von Jahrzehnten zu einer Erhöhung des pH führen dürfte; der umgekehrte Prozess, nämlich eine Versauerung des Bodens aufgrund der Einwanderung von Nadelholz, ist eher unwahrscheinlich, es sei denn, es würden neue Baumarten wie z.B. die Douglasie auf heutigen Laubholzstandorten angepflanzt.
Eine weitere, ökologisch sehr wichtige Achse ist aus den Ökogrammen nicht ersichtlich, nämlich die Temperatur. Sie geht indirekt in die Ökogramme ein, indem wir verschiedene – diskrete – Höhenstufen unterscheiden und dafür je unterschiedliche Ökogramme entwickeln.
Man könnte nun auf die Idee kommen, die Feuchtigkeitsachse der Ökogramme quantitativ festzulegen (z.B. «dürr» = 400 mm Jahresniederschlag, etc.), für die Höhenstufen mittlere Höhen (differenziert nach Standortsregion) festzulegen und diese mit Jahres-Mitteltemperaturen zu assoziieren. Sodann könnte man Klimaszenarien wie jene aus Abbildung 1 benutzen, um auszurechnen, wie weit ein heute obermontaner Standort in Richtung «dürr» und in Richtung «untermontan» wandert, und somit seine eigenen «Prognosen» für die Entwicklung der Waldstandorte zu erarbeiten. Ich würde ausdrücklich davor warnen, dies zu tun. Solche Überlegungen beruhen erstens auf der Annahme, dass das zukünftige Klima an einem Punkt ein Analog im heutigen Klimaraum hat, was nicht der Fall sein muss (vgl. saisonale Differenzierung in Abbildung 1). Zweitens erhalten wir so nur Angaben über die Vegetation im Gleichgewicht mit dem Klima, nicht aber über den zeitlichen Verlauf der Entwicklung (vgl. die Nichtlinearitäten in Abbildung 2). Und drittens wäre die Festlegung quantitativer Achsen für die Ökogrammen mit vielerlei sehr unsicheren Annahmen verbunden.
Trotzdem denke ich, dass die Positionierung der Waldstandortstypen im Ökogramm nützliche Hinweise hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit auf Veränderungen im Feuchtigkeits-Regime liefern kann. Es ist davon auszugehen, dass Trockenheits-Episoden das Potential zu raschen, sehr starken Veränderungen im Wald mit sich bringen (Allen et al. 2010; vgl. auch mittlere und tiefe Lagen im Saastal, Abbildung 2).

Demgegenüber werden Temperaturveränderungen sich eher schleichend und auf längerer Zeitskala auswirken (vgl. hohe Lagen im Dischmatal, Abbildung 2).
Wenn also im Ökogramm in Richtung «trocken» und relativ nah zum betrachteten heutigen Standortstyp andere Standortstypen liegen, die sich bezüglich ihrer ökologischen Eigenschaften und waldbaulichen Anforderungen stark vom betrachteten (heutigen) Standortstyp unterscheiden (vgl. Frehner et al. 2005), so deutet dies darauf hin, dass bereits bei geringen Feuchtigkeitsveränderungen mit grossen Auswirkungen der Klimaveränderung zu rechnen ist. In der Annahme, dass die Veränderungen sich nicht allzu stark von Analogsituationen unterscheiden, könnte man die benachbarten Standortstypen sogar als Leitlinien für einen «Waldumbau» verwenden.
Bezüglich der Temperaturveränderung ist die Situation aber leider noch weniger klar, da einerseits die Persistenz der heutigen Waldvegetation (vgl. Abbildung 2) sich je nach Standort bei gleicher Veränderung der Temperatur stark unterscheiden dürfte; zudem übersteigen Temperaturveränderungen von bis zu 6 Kelvin (vgl. Abbildung 1) unser Vorstellungsvermögen – als Analogieüberlegung entspricht dies einer Verschiebung der Höhenstufen um ca. 1200 m, so dass – gemünzt auf den Kanton Solothurn – der Gipfel des Weissensteins sozusagen am Meeresufer zu liegen käme, d.h. hier gibt es gar keine Möglichkeit, mit Analogieüberlegungen vorzugehen wie bei der Feuchtigkeit. Für geringere Temperaturveränderungen im Bereich von 1–2 Kelvin hingegen könnten Analogieüberlegungen entlang von Höhengradienten durchaus nützlich sein.
Der Standort bleibt somit eine wichtige Grundlage für das Aufzeigen von Entwicklungsszenarien; dies mindestens so lange, wie uns keine besseren Methoden zur Verfügung stehen.

4 Schlussfolgerungen

Ein Grundpfeiler der Standortskartierung, die Konstanz des Klimas, ist ins Wanken gekommen. Um robuste Abschätzungen bezüglich der zukünftigen Entwicklung unserer Wälder zu machen, sind wir meines Erachtens auf dynamische Modelle angewiesen, deren Ergebnisse ich in diesem Kapitel ganz kurz vorgestellt habe. Wir arbeiten derzeit daran, die Schweizer Waldfläche basierend auf den Daten des Landesforstinventars in repräsentative Bestandestypen zu stratifizieren und für jedes dieser Straten unter Annahme verschiedener Klima- und Bewirtschaftungsszenarien die zu erwartenden Entwicklung des Waldes in den nächsten 60–150 Jahren mit einem dynamischen Modell zu simulieren. Die Ergebnisse werden Anfang 2015 vorliegen und sollten der Forstpraxis nützliche Hinweise zur Empfindlichkeit der verschiedenen Bestandestypen (nicht Standortstypen!) auf die Klimaveränderung geben.
Ein grundlegendes Problem im Zusammenhang mit Klimaveränderung und Wald ist und bleibt, dass die Veränderungen in den abiotischen treibenden Kräften um ein Vielfaches schneller ablaufen als die intrinsische Dynamik des Waldes: der Wald kommt auf die Achterbahn. Dementsprechend sind Abschätzungen der Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald immer mit einer grossen Unsicherheit verbunden. Es dürfte somit schwierig bleiben, der Forstpraxis konkrete Handlungsanleitungen zu geben, und das Problem des «denn sie wissen nicht, was sie tun sollen» bleibt uns wohl erhalten.
Noch viel grundlegender ist aber das Problem, dass die Menschheit mit dem Klimawandel ein Experiment von ungeheurer Tragweite begonnen hat, nach dem Motto «denn sie wissen nicht, was sie tun». Bei aller Sorge um die Entwicklung des Waldes dürfen wir die Ursachen des Klimawandels nicht vergessen und sollten sie aktiv bekämpfen – auf allen Ebenen, vom privaten Haushalt bis zur Staatengemeinschaft.

5 Zusammenfassung

Über den vom Menschen verursachten Klimawandel ist schon viel geschrieben worden, doch die öffentliche Debatte über Fakt oder Fiktion des Phänomens geht weiter. Ebenso ist der breiteren Öffentlichkeit wenig bekannt über die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf die Wälder. Der Beitrag skizziert kurz den Kenntnisstand bezüglich Klimaveränderung und gibt einen Überblick über die Auswirkungen auf Waldökosysteme anhand von zwei Fallbeispielen aus dem Alpenraum. Dabei zeigt sich, dass bereits geringe Klimaveränderungen, wie sie für den Fall einer Stabilisierung des Klimas bei +2 Grad gegenüber vorindustriellen Bedingungen zu erwarten sind, teils massive Auswirkungen auf Waldökosystemen haben dürften. Allerdings ist es nicht möglich, diese Erkenntnisse so zu verallgemeinern, dass für jeden beliebigen Waldstandortstyp Aussagen gemacht werden könnten. Schliesslich wird die Standortkartierung im Kontext der Klimaveränderung kritisch diskutiert und aufgezeigt, in welcher Hinsicht Standortkarten nach wie vor eine wichtige Grundlage für den Waldbau darstellen. Jedoch sind die Unsicherheiten gross, denn der Wald befindet sich auf der Achterbahn, weil sich das Klima viel schneller ändert, als Waldökosysteme dies in der Vergangenheit erlebt haben.

6 Literatur

Allen, C.D. et al., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. Forest Ecology and Management 259: 660–684.

Bugmann, H., 2001. A review of forest gap models. Climatic Change 51: 259–305.

CH2011, 2011. Swiss Climate Change Scenarios 2011. Center for Climate Systems Modeling (C2SM), Swiss Meterorological Agency (MeteoSwiss), ETH Zürich, NCCR Climate und OcCC, Zurich.

Elkin, C., Gutierrez, A.G., Lenzinger, S., Manusch, C.,

Temperli, C., Rasche, L., Bugmann, H., 2013. A 2 °C warmer world is not safe for ecosystem services in the European Alps. Global Change Biology 19: 1827–1840.

Kaufmann, G., Kurt, E., Netzer, V., Wasser, B., Burger, T., 2014. Die natürliche Vielfalt der Wälder im Kanton Solothurn. Mitt. Natf. Ges. Kant. Solothurn 42: 11–118

Frehner, M., Wasser, B., Schmitter, R., 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. Climate change 2007: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core writing team, Pachauri, RK and Reisinger, A (Hg.)]. IPCC, Genf.

OcCC, 2007. Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Organ consultatif sur les changements climatiques (OcCC), Bern, 168 S.

Shugart, H.H., 1998. Terrestrial ecosystems in a changing environment. Cambridge University Press, Cambridge, 537 S.

Zimmermann, N.E. & Bugmann, H., 2008. Die Kastanie im Engadin – oder was halten Baumarten von modellierten Potenzialgebieten? Schweiz. Z. Forstwes. 159: 326–334.

7 Abkürzungsverzeichnis

CH2011	Initiative zur Herleitung modernster Klimaszenarien in einem Schweizer Konsortium, http://www.ch2011.ch
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change («Welt-Klimarat»), http://www.ipcc.ch
OcCC	Organ consultatif sur les changements climatiques (beratendes Gremium des schweizerischen Bundesrates), http://www.occc.ch