

Vorboten des Klimawandels:  
natürlich verjüngte Kirschbäume  
auf einem Tannen-Fichtenwald-  
standort bei Tiefencastel

BAFU/WSL-Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel»

# Wälder der «Klimazukunft»

Es wird wärmer und im Sommer trockener in der Schweiz. Auswirkungen auf unseren Wald sind gewiss. Was wird sich aber ändern und wie schnell? Der zweite Beitrag aus dem Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» zeigt: Die Auswirkungen sind sowohl vom Waldstandort als auch von der gegenwärtigen Bestockung abhängig.

Von Kathrin Streit, Barbara Allgaier Leuch, Sabine Augustin, Peter Brang.

Der Klimawandel wird von uns Menschen verursacht. Sein zukünftiger Verlauf hängt davon ab, inwieweit wir die Treibhausgasemissionen drosseln. Denn diese bestimmen, in welchem Ausmass die Temperatur zunimmt und die Niederschläge im

Sommer abnehmen. Dies haben wir in unserem letzten Beitrag erläutert («Ursachen des Klimawandels»; *Wald und Holz* 9/2016).

In diesem Beitrag geht es nun um die Auswirkungen dieser klimatischen Veränderungen auf den Wald. Wir gehen dabei vom sog. A1B-Szenario aus, einem mitt-

leren Szenario in Bezug auf die Entwicklung der Treibhausgasemissionen.

Die Klimamodellierer arbeiten mit unterschiedlichen regionalen Modellen. Wir haben zwei davon ausgewählt, die für das A1B-Szenario die Bandbreite der möglichen klimatischen Entwicklungen aufzeigen.

Den unteren Rand des Bandes bildet das «RegCM3»-Modell, welches im Schweizer Durchschnitt im Sommerhalbjahr (April bis September) bis Ende des Jahrhunderts zwei Prozent weniger Niederschlag und eine Erwärmung um 3,1 Grad Celsius prognostiziert.

Den oberen Rand bildet das «CLM»-Modell mit einer Niederschlagsabnahme um 19% und einem Temperaturanstieg um 4,3 Grad Celsius (Remund et al. 2016). Welche «Klimazukunft» der tatsächlichen Klimaentwicklung näher kommt, ist ungewiss.

## Weniger Wasser während der Vegetationszeit

Bei beiden «Klimazukünften» steht den Bäumen bis Ende des Jahrhunderts während der Vegetationszeit weniger Wasser zur Verfügung, dann also, wenn sie am meisten Wasser benötigen.

Dazu trägt neben dem Rückgang der Sommerniederschläge auch die steigende Verdunstung im Zuge der Klimaerwärmung bei.

Ein Mass für die Wasserverfügbarkeit ist das Verhältnis von aktueller zu potenzieller Evapotranspiration (ETA/ETp-Verhältnis). Die Evapotranspiration ist wiederum die Summe aus Evaporation (Wasserverdunstung von unbewachsenen Flächen) und Transpiration (Wasserverdunstung über die Blätter von Pflanzen).

Das ETA/ETp-Verhältnis bezieht neben dem Bodenwasser auch die Temperatur und die Strahlung in die Berechnung ein. Es zeigt an, ob die Bäume das für die Transpiration benötigte Wasser tatsächlich aus dem Boden bekommen.

Ist dies nicht der Fall, sparen sie Wasser, indem sie die Spaltöffnungen der Blätter schliessen. Sie können dann aber auch keine Fotosynthese mehr betreiben.

Fällt das ETA/ETp-Verhältnis unter 0,8, ist zunehmend mit trockenheitsbedingten Beeinträchtigungen zu rechnen.

In den meisten Regionen liegt das ETA/ETp-Verhältnis im Durchschnitt der Vegetationszeit heute noch über 0,8, doch der Trend ist abnehmend, und bis zum Ende des Jahrhunderts dürfte sich die Situation je nach Region und «Klimazukunft» zum Teil deutlich verschlechtern (Abb. 1; Remund et al. 2016). Von Wassermangel dürften in Zukunft also nicht

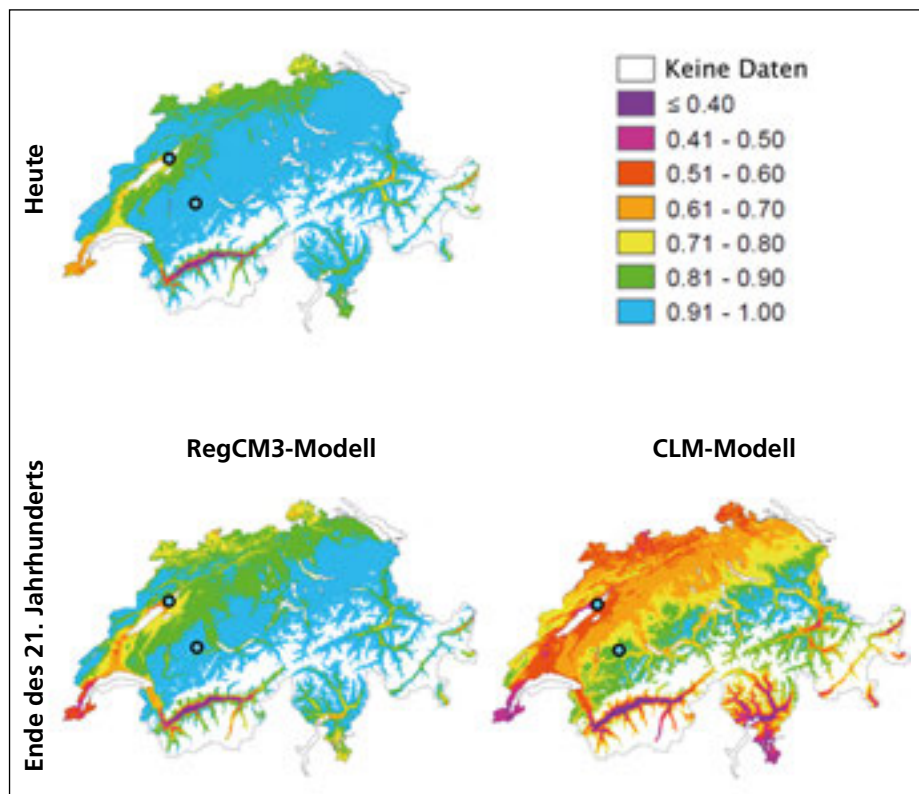


Abb. 1:  $ETa/ETp$ -Verhältnis während der Vegetationszeit (April–August) heute (oben; Durchschnitt 1981–2010) und Ende des Jahrhunderts (unten; 2070–2099), modelliert mit dem RegCM3-Modell (links) und dem CLM-Modell (rechts) für das A1B-Emissionsszenario. Hellblaue Punkte: Lage der im Artikel erwähnten Standorte. Quelle: Remund et al. (2016)

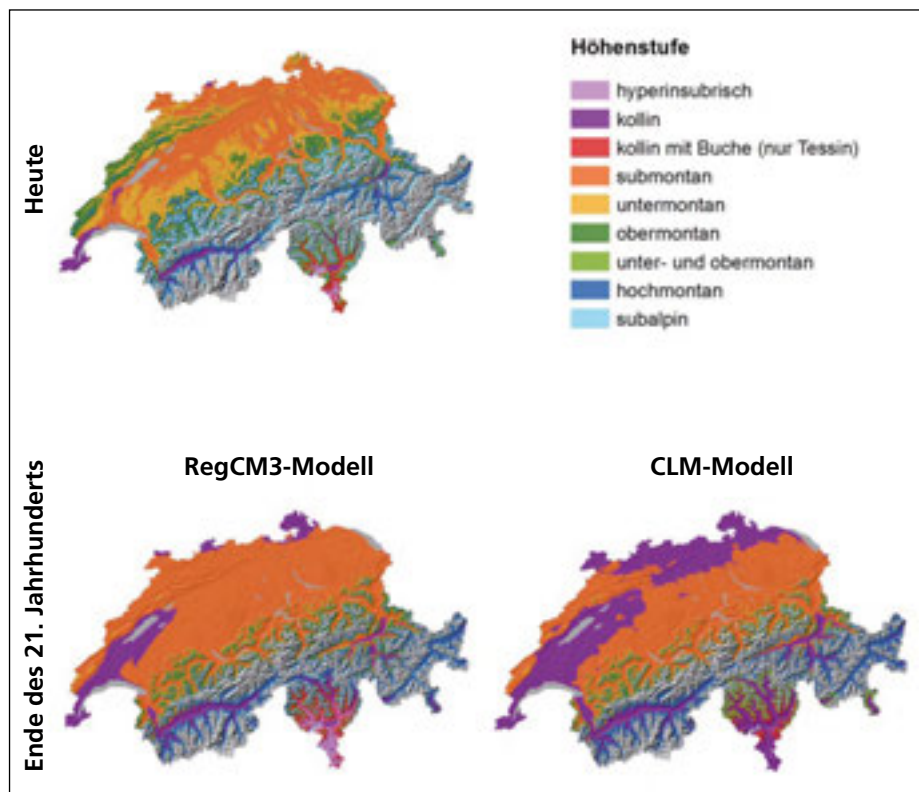


Abb. 2: Verteilung der Vegetationshöhenstufen heute (oben; 1980–2010) und Ende des 21. Jahrhunderts (unten; 2070–2099) in der Schweiz, modelliert mit dem RegCM3-Modell (links) und dem CLM-Modell (rechts) für das A1B-Emissionsszenario innerhalb des heutigen Waldareals. Quelle: Frehner et al. (in Erarbeitung)

nur die bereits heute als trocken bekannten Lagen im Wallis oder im Genferseegebiet betroffen sein, sondern auch das Tessin und das Schweizer Mittelland.

### Auswirkungen auf Wachstum und Mortalität

Grundsätzlich wachsen Bäume schneller, wenn es wärmer wird – aber nur, solange es genügend feucht bleibt. Durch die sinkende Wasserverfügbarkeit (Abb. 1) wird das Baumwachstum in den tieferen Lagen der Schweiz zunehmend eingeschränkt. Das bedeutet, dass Zuwächse und Vorräte längerfristig zurückgehen dürften.

In den höheren Lagen dürfte das Baumwachstum hingegen zulegen, weil die Wasserverfügbarkeit meist gut bleibt. Ein solch gegenläufiges Verhalten war bereits im «Jahrhundertsommer» 2003 feststellbar (Dobbertin 2005).

Ausgeprägte Trockenheit kann auch zum Baumtod führen. Bislang wurde für die meisten Baumarten eine geringe trockenheitsbedingte Mortalität festgestellt – Ausnahmen sind die Edelkastanie im Tessin und die Waldföhre in den Walliser und Bündner Trockentälern (Etzold et al. 2016).

In Zukunft ist von zunehmender Mortalität auszugehen, weil «Jahrhundertsommer» wie derjenige von 2003 gehäuft und mehrmals hintereinander auftreten dürften (C2SM 2011). Auch Schadorganismen tragen zur Mortalität bei. So begünstigen hohe Temperaturen die Borkenkäfervermehrung, während Trockenheit die Fichten für den Borkenkäferbefall anfälliger macht (Jakoby et al. 2016).

### Auswirkungen auf die Baumartenzusammensetzung

Wie Bäume auf steigende Temperaturen und zunehmende Trockenheit reagieren, ist artspezifisch. «Verlierer» unter den Baumarten wachsen langsamer oder sterben gar ab, «Gewinner» profitieren. Langfristig ändert sich so die Baumartenzusammensetzung.

Fichten und Buchen, die zwei häufigsten Baumarten im Schweizer Wald, zeigen bereits heute in den tieferen Lagen ein rückläufiges Bestandeswachstum (Bircher et al. 2016). Die weitere Entwicklung des  $ETa/ETp$ -Verhältnisses lässt vermuten, dass ihr Wachstum dort auch in Zukunft zurückgehen wird. Dies konnte bereits im «Jahrhundertsommer» 2003 beobachtet werden (Braun et al. 2015).

Hinzu kommen Verjüngungsprobleme in tieferen Lagen (Wohlgemuth et al. 2016). Andere, weniger trockenheitsempfindliche Arten wie zum Beispiel die Eichen

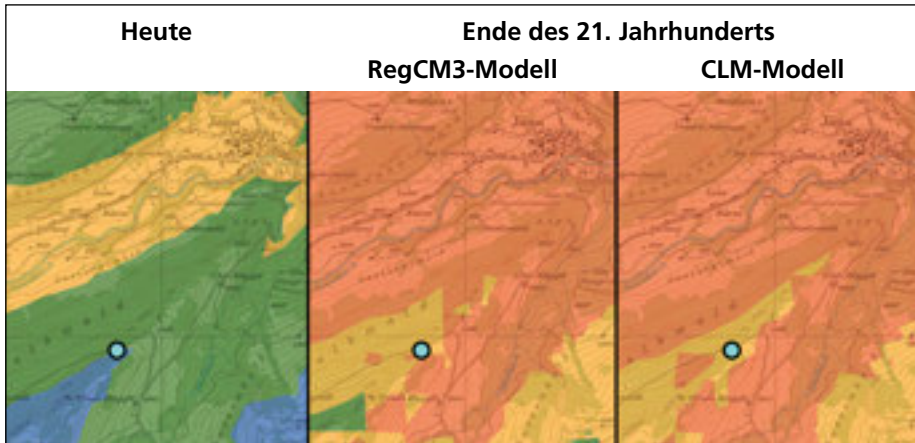


Abb. 3: Standort im Raum Jaun (FR), jeweils mit einem hellblauen Punkt hervorgehoben (ca. 1400 m ü. M.). Vegetationshöhenstufen heute (links; 1980–2009) und Ende des Jahrhunderts (2070–2099), modelliert mit dem RegCM3-Modell (Mitte) und dem CLM-Modell (rechts) für das A1B-Emissionsszenario. Legende vgl. Abb. 2., Seite 28.

Quelle: Frehner et al., (in Erarbeitung)

Fotos: Geri Kaufmann



Abb. 4: Waldhabitus für den heutigen (50f) und den künftigen Waldstandorttyp (8S) im Beispiel 1 (Jaun, FR)

werden sich dafür ausbreiten können (Zimmermann et al. 2016). Zudem können wärmeliebende Baumarten – z.B. Eichen oder Kirschbäume – bei ansteigenden Temperaturen in grössere Höhen vorstossen (vgl. Kasten «Vorboten des Klimawandels»).

Artverbreitungsmodelle lassen erwarten, dass sich im Zuge des Klimawandels das Verbreitungsgebiet montaner (z.B. Buche, Tanne) und subalpiner Arten (z.B. Fichte) verringert, dasjenige kolliner Arten (z.B. Eiche) jedoch vergrössert.

### Vorboten des Klimawandels

Wo lassen sich die Auswirkungen des Klimawandels bereits heute erahnen? Dr. Monika Frehner (Forstingenieurin mit Spezialgebiet Waldstandortkunde) erzählt auf unsere Anfrage, dass sie im Taminatal (SG) auf einer Vivian-Sturmfläche im obermontanen Tannen-Buchenwald (900–1000 m ü. M.) bereits vor einigen Jahren Kirschbäume entdeckt hat. Dies ist überraschend, denn Kirschbäume tauchen in den kantonalen waldbaulichen Empfehlungen nur bis in eine Höhe von ca. 700 m ü. M. auf – in der kollinen und in der submontanen Stufe. «Vor 20 Jahren ist man noch davon ausgegangen, dass Kirschbäume mitten im Wald in der obermontanen Stufe keine Chance hätten und dass ihre Förderung mit einem viel zu hohen Pflegeaufwand verbunden wäre. Heute bin ich der Meinung, dass es sich durchaus lohnen würde, Samenbäume an Standorten einzubringen, die wegen des Klimawandels in Zukunft für Kirschbäume geeignet sein könnten», so Frehner.

### Baumarteneignung in einem sich ändernden Klima

Wie lässt sich die Verschiebung der Verbreitungsgebiete unserer Baumarten im Zuge des Klimawandels fassen? Als Hilfsmittel verwenden wir die Vegetationshöhenstufen aus der Wegleitung «Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald» (NaiS; Frehner et al. 2005/09).

Eine Modellierung der Vegetationshöhenstufen unter heutigem und künftigen Klima zeigt auf einzelnen Höhenstufen grosse Verschiebungen (Abb. 2, Seite 28). Doch was bedeutet diese Höhenstufenverschiebung für den Waldbau an einem spezifischen Waldstandort? Beispiele liefern Hinweise dazu.

### Beispiel feuchter Fichten-Tannenwald bei Jaun (FR)

Dieser Standort befindet sich in den nördlichen Randalpen oberhalb von Jaun (FR). Er liegt heute in der hochmontanen Stufe (Abb. 3, links, hellblauer Punkt), wobei es sich um einen «Alpendost-Fichten-Tannenwald mit gelbem Eisenhut» handelt (50f). Der Waldbestand setzt sich zusammen aus Fichten (75%), Tannen (25%) und wenigen Laubbäumen (Abb. 4, links).

Gegen Ende des 21. Jahrhunderts wird für diesen Standort ein Klima prognostiziert, wie es heute in der untermontanen Stufe anzutreffen ist (Abb. 3, Mitte und rechts). Dort kommt unter vergleichbaren Bodenbedingungen ein «feuchter Waldhirschen-Buchenwald» vor (Abb. 4, rechts).

Dies bedeutet, dass im Zuge des Klimawandels die Buchen am hochmontanen Standort in Jaun an Konkurrenzkraft gewinnen dürften. Die vorhandenen Fichten und Tannen dürften aber nicht nur weiterhin gedeihen, sondern dank den höheren Temperaturen und der weiterhin guten Wasserverfügbarkeit in diesem Gebiet (Abb. 1, Seite 28) gar ihr Wachstum steigern. Allerdings dürfte sich auch das Risiko für Borkenkäferbefall erhöhen. Längerfristig sollte daher eine risikoärmere Baumartenmischung angestrebt werden – die heutigen kantonalen Empfehlungen raten zu einem Laubholzanteil von mindestens 50% für den Standorttyp 8S (Mittelwert aus neun kantonalen Empfehlungen).

### Beispiel trockener Buchenwald auf dem Jolimont

Die Auswirkungen des Klimawandels dürften beim in der submontanen Stufe liegenden Standort auf dem Jolimont, im Kanton Bern, deutlich stärker sein. Heute ist der «Seggen-Buchenwald mit Berg-

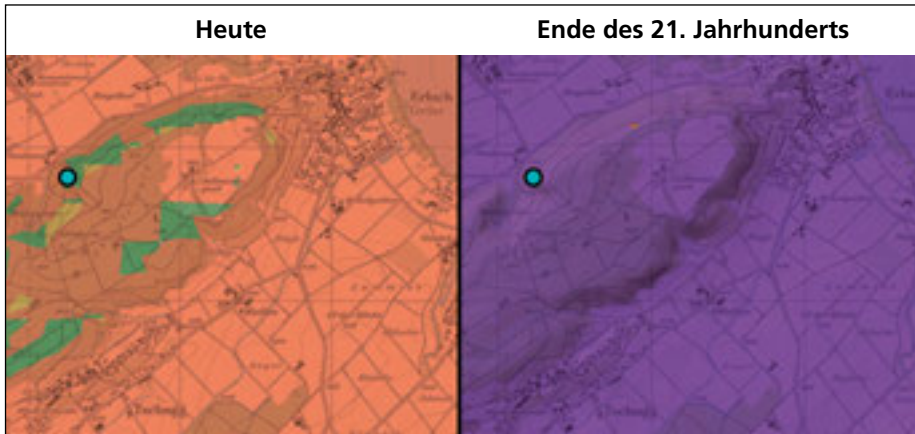


Abb. 5: Auf dem Jolimont (BE). Der Standort ist jeweils durch einen hellblauen Punkt gekennzeichnet, er liegt auf 550 m ü. M. Vegetationshöhenstufen heute (links; 1980–2009) und Ende des Jahrhunderts (rechts; 2070–2099), modelliert mit dem RegCM3-Modell resp. dem CLM-Modell für das A1B-Emissionsszenario (gleiches Ergebnis für beide Modelle). Legende vgl. Abb. 2., Seite 28. Quelle: Frehner et al (in Erarbeitung)

Foto: Barbara Allgaier Leuch



Foto: Geri Kaufmann

Abb. 6: Waldhabitus für den heutigen Waldstandorttyp (Seggen-Buchenwald mit Bergsegge, 15) und den künftigen (Platterbsen-Eichenmischwald, 41)

segge» (Nr. 15) mit Buchen (60%), Waldföhren (25%) und Traubeneichen (15%) bestockt (Abb. 6, links). Für die Zukunft wird ein kollines Klima prognostiziert (Abb. 5, rechts). In der kollinen Stufe steht auf vergleichbarem Boden ein «Platterbsen-Eichenmischwald» (Nr. 41; Abb. 6, rechts). Die heute vorhandenen Baumarten dürften auf diesem Standort auch in Zukunft gedeihen. Durch die abnehmende Wasserverfügbarkeit dürfte die Buche aber deutlich an Konkurrenzkraft verlieren, und grundsätzlich geht das Bestandeswachstum zurück. Der Bestand wird lückiger und die Bäume dürften nur noch eine Höhe von etwa 10 bis 15 m erreichen (heute: 15 bis 25 m).

### Fazit

Wie sich der Klimawandel auf den Wald auswirkt, hängt sowohl vom Waldstandort als auch von der gegenwärtigen Be-

stockung ab. Die Wanderung der Baumarten wird der klimatischen Entwicklung hinterherhinken, denn Bäume können auch noch lange auf Standorten ausharren, auf denen sie sich nicht mehr verjüngen können, und die spontane Besiedlung neuen Terrains braucht Zeit.

Störungen werden den Wechsel beschleunigen, und Extremereignisse wie zum Beispiel sommerliche Hitzewellen dürften dabei eine grosse Rolle spielen.

Wichtig ist, dass die Bewirtschafter und Bewirtschafterinnen die mit dem Klimawandel verbundenen Risiken erkennen und rechtzeitig eingreifen, um grössere Ausfälle zu verhindern und die Baumartenzusammensetzung sanft und sukzessive anzupassen.

**Infos**  
www.wsl.ch

### Literatur

Bircher N, Cailleret M, Zingg A, Bugmann H (2016): Potenzielle Grundflächenveränderungen auf Bestandesebene im Klimawandel. In: Pluess AR, Augustin S, Brang P, Red. Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bern: Haupt. pp. 156–175.

Braun S, Remund J, Rihm B (2015): Indikatoren zur Schätzung des Trockenheitsrisikos in Buchen- und Fichtenwäldern. Schweiz Z Forstwes 166: 361–371.

C2SM (2011): Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Zürich: C2SM. 88 p.

Dobbertin M (2005): Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. Eur J For Res 124: 319–333.

Etzold S, Wunder J, Braun S, Rohner B, Bigler C, Abegg M, Rigling A (2016): Mortalität von Waldbäumen: Ursachen und Trends. In: Pluess AR, Augustin S, Brang P, Red. Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bern: Haupt. pp. 176–197.

Frehner M, Wasser B, Schwitler R (2005/09): Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern: Bundesamt für Umwelt.

Frehner M, Huber B, Zraggen L, Zischg A, van Wijnkoop P, Braun S, Scherler M, Carraro G, Burnand J (in Bearbeitung): Adaptierte standortkundliche Grundlagen. Projekt im Rahmen des Forschungsprogramms «Wald und Klimawandel». Zwischenergebnisse, präsentiert an den Waldtests 2016 in den Kantonen Bern und Freiburg.

Jakoby O, Stadelmann G, Lischke H, Wermelinger B (2016): Borkenkäfer und Befallsdisposition der Fichte im Klimawandel. In: Pluess AR, Augustin S, Brang P, Red. Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bern: Haupt. pp. 246–265.

Remund J, Rihm B, Huguenin-Landl B (2016): Klimadaten für die Waldmodellierung für das 20. und 21. Jahrhundert: Schlussbericht. Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel». Birmensdorf: Eidgenöss. Forschungsanstalt WSL. 39 p.

Wohlgemuth T, Gallien L, Zimmermann NE (2016): Verjüngung von Buche und Fichte im Klimawandel. In: Pluess AR, Augustin S, Brang P, Red. Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bern: Haupt. pp. 114–135.

Zimmermann NE, Schmatz DR, Gallien L, Körner C, Huber B, Frehner M, Küchler M, Psoomas A (2016): Baumartenverbreitung und Standortteignung. In: Pluess AR, Augustin S, Brang P, Red. Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bern: Haupt. pp. 198–221.

### Die Autoren

Dr. Sabine Augustin von der Abteilung Wald des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und Dr. Peter Brang von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) leiten das Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel». Barbara Allgaier Leuch und Dr. Kathrin Streit arbeiten an der WSL für das Programm.