2.9 Wald

Die Reaktion der Schweizer Wälder auf schleichende Klimaänderungen und Extremereignisse hängt stark davon ab, in welcher Höhenlage sich der Wald befindet. So wird sich der Wald in den höheren Lagen ausdehnen und besser wachsen, während er in den tiefen Lagen vor allem unter der Trockenheit leiden wird. Zusammen mit Änderungen in der Landnutzung, mit Windwurf, Waldbrand sowie Insekten- und Pilzbefall ergeben sich komplexe Wirkungsgefüge, welche die vielfältigen Ökosystemleistungen des Waldes stark beeinflussen werden.

Andreas Rigling (WSL), Harald Bugmann (ETH Zürich), Martine Rebetez (Universität Neuenburg und WSL), Christian Körner (Universität Basel)

Globale und nationale Situation

Der Wald ist eine bedeutende Ressource und erbringt wichtige Leistungen. Während global die Produktion von Holz, Fasern und Brennmaterial sowie die Kohlenstoffspeicherung und die ausgleichenden Effekte des Waldes auf das Klima im Vordergrund stehen, sind in der Schweiz neben der Holzproduktion vor allem der Schutz vor Naturgefahren, die Biodiversität, die Filterung des Trinkwassers und die Erholungsleistung zentral (Rigling & Schaffer 2015). Diese Waldleistungen geraten durch den Klimawandel unter Druck. Viele Baumarten sind zwar in der Lage, einmalige kurzfristige Ereignisse wie zum Beispiel einen trockenen Sommer zu überstehen, sie sind aber empfindlich, wenn diese Extremereignisse wiederholt auftreten. Zudem können sich auch schleichende Klimaänderungen langfristig nachteilig auf die Waldleistungen auswirken.

Reaktion auf Klimawandel ist abhängig vom Standort

Der Klimawandel wird die Wälder global wie regional verändern. Die Auswirkungen werden räumlich sehr unterschiedlich sein, denn je nach Standort wirken veränderte klimatische Bedingungen stimulierend oder hemmend auf die ökologischen Prozesse (IPCC 2014/WGII). In der Schweiz werden die Wälder im Bereich der oberen Waldgrenze von den wärmeren Bedingungen profitieren (Körner 2012), hingegen wird das Wachstum auf den heute schon warmen und trockenen Standorten zurückgehen (Bugmann et al. 2014; Elkin et al. 2013). Auf Standorten mit guter Wasserversorgung werden viele Baumarten früher austreiben, während auf Trockenstandorten das Wachstum früher in der Vegetationszeit abgeschlossen sein wird. Auch bei unveränderten Niederschlagsverhältnissen wird die Belastung durch Trockenheit zunehmen. Grund dafür sind die höheren Temperaturen und Verdunstung.

Neben den direkten Wirkungen des Klimawandels werden auch indirekte Effekte die Walddynamik weltweit und auch in der Schweiz verändern. Zu den indirekten Effekten gehören zum Beispiel ein höheres Waldbrand-Risiko und häufigere Massenvermehrungen von Borkenkäfern (Temperli et al. 2013).

Verletzlichkeit der Wälder

Schleichende Veränderungen

Die potenziellen Verbreitungsgebiete der Baumarten in der Schweiz werden sich langfristig verändern, doch bestehen nach wie vor grosse Unsicherheiten in der Abschätzung der Veränderungen (Abb. 2.14) (Bugmann et al. 2014; Bircher et al. 2015; WSL 2015). Die tatsächlichen Veränderungen werden langsam ablaufen und mit Verzögerung eintreten, denn auch unter ungünstigen Bedingungen können Baumbestände bei verringerter Produktivität lange überdauern (Elkin et al. 2013).

In der montanen Stufe der Alpen gibt es Hinweise, dass Laubbäume wie Eiche, Buche, Ahorn und Linde deutlich oberhalb der bisherigen Verbreitungsgrenze durch reichlichen Jungwuchs vertreten sind (Vitasse et al. 2012). Falls sich die Jungbäume langfristig behaupten, könnte dies eine Reaktion auf die Erwärmung des Klimasystems sein, die in der Schweiz mit rund 1,5 Grad Celsius seit den 1970er-Jahren weit über dem globalen Durchschnitt von 0,7 Grad Celsius liegt.

Die wärmeren Bedingungen führen auch dazu, dass in höheren Lagen die Bäume besser wachsen und der Wald sich gegen oben ausbreitet. Dieses klimabedingte Höherwandern von Baumarten findet aber nur langsam statt: Die Änderung der Landnutzung durch den Rückzug der Menschen aus der Alpwirtschaft wirkt sich derzeit noch stärker auf die Wälder aus als die Klimaänderung (Gehrig-Fasel et al. 2007; Küchler et al. 2014). Markanter Ausdruck dieser sozioökonomischen Entwicklung ist die vielerorts

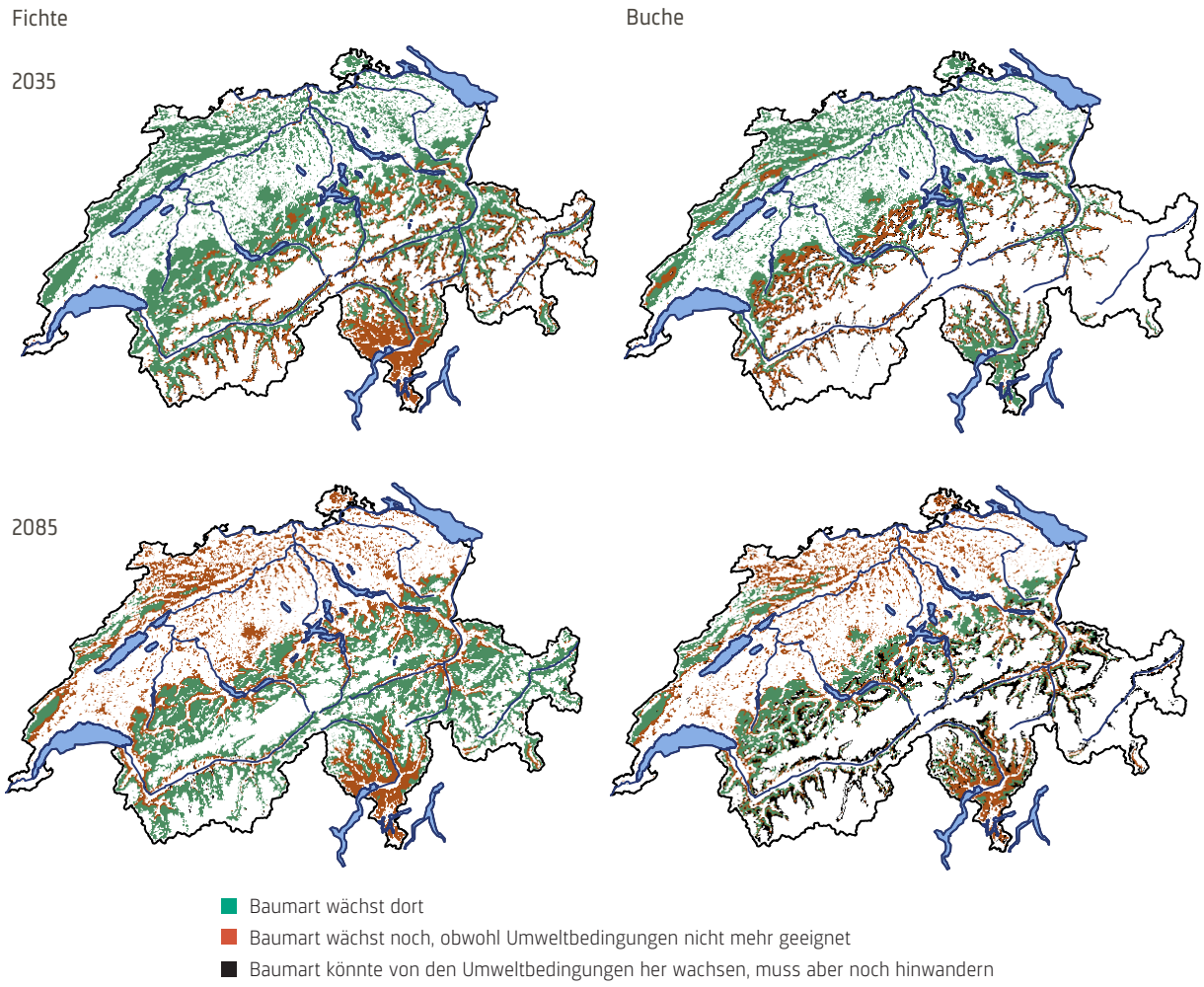


Abbildung 2.14: Vergleich der zukünftigen Eignung der beiden in der Schweiz häufigsten Baumarten Fichte *(Picea abies)* und Buche *(Fagus sylvatica)*. Die Karten zeigen Simulationen aufgrund von empirischen Artverbreitungsmodellen (SDMs) und dem Model TreeMig, das Samenverbreitung und Konkurrenzprozesse mitberücksichtigt. Grüne Flächen zeigen Gebiete, in denen die Arten noch wachsen werden. Rote Flächen zeigen, wo die Baumart noch vorkommt, die Umweltbedingungen aber nicht mehr geeignet sind. Schwarze Flächen markieren Gebiete, in denen die Baumart wachsen könnte, diese aber noch nicht hingewandert ist. (Quelle: Angepasst von Bugmann et al. 2014)

zu beobachtende Verbuschung auf ehemaligem Weideland im Alpenraum (zwischen 1400 und 2200 Metern Höhe), vornehmlich durch Grünerlen, in höheren Lagen auch durch Zwergsträucher (Bühlmann et al. 2014). Diese Verbuschung verzögert die natürliche Wiederbewaldung dieser im Mittelalter gerodeten Flächen.

Natürlich reagieren nicht nur die Bäume auf die schleichenden Veränderungen, sondern sämtliche biotischen Elemente der Ökosysteme, so auch die Insekten (vgl. Bugmann et al. 2014). Zeitpunkt und Art der Reaktion sind aber artspezifisch – die Arten reagieren früher oder später, langsam oder schnell, linear oder erst nach Überschreiten von Schwellenwerten. Davon betroffen sind nicht nur die einheimischen Arten, sondern auch die vermehrt einwandernden Tiere und Pflanzen. Da diese oft aus wärmeren Gebieten stammen, steigen nun ihre Überlebenschancen und sie können sich vermehrt in unseren Ökosystemen behaupten (Rigling & Schaffer 2015).

Extremereignisse

Ein weiterer Grund für die Verzögerungen des klimatisch bedingten Ansteigens der alpinen Waldgrenze ist, dass die Verjüngung der Waldbäume in hohen Lagen eine Sequenz von klimatisch besonders günstigen Jahren benötigt (z. B. Hagedorn et al. 2014). Extremjahre wie zum Beispiel der

Hitzesommer 2003 (ProClim 2005; Rebetez et al. 2006) hatten in den Hochlagen einen stimulierenden Effekt auf das Baumwachstum, während im Mittelland viele Wälder deutliche Wachstumseinbussen verzeichneten (Jolly et al. 2005). Die Auswirkung extremer Trockenjahre variiert also je nach Standort und wirkt auch unterschiedlich auf die Baumarten. So zeigen Befunde aus Trockenregionen wie zum Beispiel den südwestlichen USA, dem Mittelmeerraum und inneralpinen Trockentälern, dass wiederholte Trockenjahre zu Baumsterben führen, was die Artenzusammensetzung langfristig verändern kann. In der Schweiz leidet die Waldföhre auf den Trockenstandorten im Wallis zunehmend unter der Trockenheit, während sich die Flaumeiche dort robust zeigt und sich ausbreitet (Rigling et al. 2013; Mina et al. 2016). Auch in tiefen ausseralpinen Lagen zeigt sich, dass Eichen mit Trockenperioden besser zurechtkommen als Rotbuche, Hagebuche, Kirsche und Linde (Leuzinger et al. 2005; Scherrer et al. 2011).

Die Fichte – der Brotbaum der schweizerischen Waldwirtschaft und gegenwärtig der wichtigste Rohstoff für die holzverarbeitende Industrie – wird aufgrund der Erfahrungen der letzten Jahre in tieferen Lagen noch stärker unter Druck geraten (Lévesque et al. 2014). Dies nicht nur wegen ihrer Empfindlichkeit auf extreme Trockenheit, sondern auch wegen der zu erwartenden Zunahme der Borkenkäferaktivität; Borkenkäfer und andere potenzielle Schadinsekten können von den wärmeren Bedingungen und einem vermehrten Auftreten von Stürmen profitieren und sich stark vermehren (Bugmann et al. 2014). Stürme führen einerseits zu einer Schwächung der Bestände und andererseits zu mehr Brutmaterial für Schadinsekten.

Bei der Abschätzung, wie sich unsere Wälder im Klimawandel entwickeln werden, gilt es also nicht nur klimatische Risiken wie schleichende Veränderungen und Extremjahre zu berücksichtigen, sondern auch die sich verändernde Anfälligkeit auf Störungen wie Windwurf, Waldbrand, Insekten- und Pilzbefall.

Anpassung an den Klimawandel

Für die Anpassung des Waldes an den Klimawandel gibt es verschiedene Ansätze (vgl. Brang et al. 2014; Rigling & Schaffer 2015):

Einerseits ist die Widerstandsfähigkeit der Wälder gegenüber Klimaextremen und biotischen Risiken wie beispielsweise den Borkenkäfern zu erhalten respektive zu erhöhen. Dies verringert das Risiko von grossflächigen Zusammenbrüchen der Wälder und trägt zur Sicherung der wichtigen Waldleistungen bei. Es gilt daher, störungsresistente, tiefwurzelnde und dem Standort angepasste Baumarten zu fördern und die Vitalität und Stabilität der Einzelbäume zu verbessern. Dazu eignen sich zielgerichtete Durchforstungen, um die Baumartenmischung zu regulieren und den verbleibenden Bäumen mehr Ressourcen wie Wasser, Nährstoffe und Licht zur Verfügung zu stellen.

Andererseits gilt es, die Anpassungsfähigkeit der Wälder zu fördern, indem ihre genetische Vielfalt erhöht, die Vielfalt an Baumarten vergrössert und standortgerechte Baumarten – darunter auch heute seltene Baumarten – gefördert werden. Generell sollte Baumverjüngung bevorzugt werden, die zu einem Baumbestand führt, der mit den zu erwartenden Umweltbedingungen zurechtkommt.

Wald als Kohlenstoffspeicher

Eine Möglichkeit zur Minderung des Klimawandels ist, die Wirkung der Wälder als Kohlenstoffspeicher zu op-

Bäume im urbanen Raum

Bäume sind wichtige Elemente der Grünflächen im urbanen Raum nicht nur wegen ihrer Ästhetik, sondern auch wegen ihrem kühlenden Effekt während der heissen Sommermonate (s. a. Kap. 2.13 Urbaner Raum, S. 126, Kap. 3.8 Urbane Strategien zum Klimawandel, S. 186). Bäume können dazu beitragen, den sogenannten Wärmeinseleffekt in Städten und Agglomerationen zu mindern, wie Messungen in Basel am 16. Juli 2004 gezeigt haben. An diesem heissen Sommertag war die Oberflächentemperatur der Baumvegetation in Alleen und Pärken 7 bis 16 Grad Celsius kühler als diejenige von Strassen ohne Baumbestand und sogar bis 26 Grad Celsius kühler als die Temperaturen auf Dächern (Leuzinger et al. 2010). Der kühlende Effekt der Beschattung durch Bäume zeigt sich eindrücklich beim Vergleich von Wäldern und Wiesenflächen: Je wärmer es auf offenen Flächen ist, desto stärker ist der kühlende Effekt von Wäldern, insbesondere derjenige von Laub- und Mischwäldern. So konnte während der 11-tägigen Hitzeperiode im August 2003 in Wäldern im Durchschnitt eine bis 5,5 Grad Celsius tiefere Lufttemperatur nachgewiesen werden als auf offenen Flächen (Renaud & Rebetez 2009). Bäume könnten also einen wichtigen Beitrag leisten für eine Stadtentwicklung, die dem Klimawandel angepasst ist, aber auch die Lebensraumqualität verbessern und die biologische Vielfalt fördern kann.
In der Schweiz laufen aktuell zwei Pilotprojekte in Bern und in Sitten, die den Zusammenhang zwischen Klimawandel und Baumvegetation in Städten untersuchen und Möglichkeiten sowie Grenzen der Bewirtschaftung von Bäumen für eine klimaangepasste Stadtentwicklung aufzeigen (BAFU 2014).

Waldpolitik 2020

Mit der Waldpolitik 2020 stimmt der Bund die ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Ansprüche an den Wald aufeinander ab. Er stellt eine nachhaltige Bewirtschaftung sicher und schafft günstige Rahmenbedingungen für eine effiziente und innovative Wald- und Holzwirtschaft. Die Waldpolitik 2020 legt insgesamt elf Ziele fest. Diese betreffen das Holznutzungspotenzial, den Klimawandel, die Schutzwaldleistung, die Biodiversität, die Waldfläche, die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der Waldwirtschaft, den Waldboden (inkl. Trinkwasser und Baumvitalität), den Schutz vor Schadorganismen, das Gleichgewicht von Wald und Wild, die Freizeit- und Erholungsnutzung sowie die Bildung und Forschung (inkl. Wissenstransfer). Für jedes Ziel formuliert die Waldpolitik 2020 mehrere strategische Stossrichtungen sowie verschiedene Massnahmen. Mit den Massnahmen ist in erster Linie der Bund in der Pflicht, es werden jedoch auch die Rolle der Kantone sowie weiterer Akteure angesprochen (Waldeigentümer, Bewirtschafter, Waldfachleute, Verbände etc.). Schliesslich werden auch die rechtlichen und finanziellen Auswirkungen der Waldpolitik 2020 aufgezeigt (BAFU 2015).

timieren und zu erhöhen (IPCC 2014/WGII). Dazu kann entweder die Waldfläche vergrössert oder der Kohlenstoffvorrat pro Fläche erhöht werden. Dies sind jedoch einmalige Massnahmen, die nicht wiederholt werden können.

In der Schweiz wächst zurzeit mit grosser Geschwindigkeit Wald in Weideflächen im Berggebiet ein. Dadurch wird der Kohlenstoffspeicher im Wald dauerhaft erhöht. Diese zusätzlichen Speicher sind aber gemessen an den fossilen Emissionen der Schweiz marginal und zudem bald erschöpft. Ein höherer Kohlenstoffvorrat pro Waldfläche geht zudem einher mit mehr, älteren und höheren Bäumen. Dies erhöht das Risiko von Windwurf bei Sturmextremen markant, womit die Nettoemissionen ansteigen und der Kohlenstoffspeicher im Wald in unregelmässigen Abständen stark reduziert wird, was zu einer Kohlenstoff-Quelle führt. Es ist daher nicht sinnvoll, den Flächenvorrat gesamtschweizerisch zu erhöhen, zumal die Schweiz bereits heute den europaweit höchsten Flächenvorrat an Holz im Wald aufweist.

Eine nachhaltige und effektive Strategie ist, die verschiedenen Kohlenstoffminderungseffekte von Wald und Holz zu kombinieren. Dies ist dann der Fall, wenn die CO_2-Einlagerung im Wald durch gezielte Bewirtschaftung hoch gehalten und fortwährend Holz für die Verarbeitung zu langlebigen Holzprodukten verwendet wird. Mit dem Verbauen von Holz beispielsweise in Häusern geht der im Holz eingelagerte Kohlenstoff in einen langfristigen Speicher über, was gleichzeitig auch die Substitution von CO_2-intensiven Baustoffen erlaubt.

Herausforderungen für die Schweiz

Wälder sind langlebig und entwickeln sich sehr langsam. Im Verlaufe ihres Lebens, vom Sämling bis zum Altbaum, sind Bäume somit wiederholt vielfältigen Risiken ausgesetzt, beispielsweise extremer Trockenheit, Sturm und Krankheiten. Wälder gelten daher als empfindlich gegenüber Veränderungen ihrer Umweltbedingungen wie zum Beispiel dem Klimawandel (s. a. Kap. 2.2 Das neue IPCC-Risikokonzept, S. 77). Hinzu kommen sich ändernde ökonomische Rahmenbedingungen und sich rasch wandelnde gesellschaftliche Ansprüche an den Wald. Diese Faktoren können sich negativ auf die Bereitstellung der in der Schweiz besonders vielfältigen Waldleistungen auswirken. Ein grundlegendes Prinzip, mit solchen Unsicherheiten umzugehen, ist die Risikoverteilung und -minderung. Risikoverteilung bedeutet hier Förderung der Vielfalt bei Baumarten, Waldstrukturen und genetischen Ressourcen, während eine standortsangepasste Bewirtschaftung und ein allenfalls verkürztes Maximalalter der Wirtschaftswälder das Risiko von grossflächigen Waldschäden vermindern können (Rigling & Schaffer 2015). Dies erfordert aber zwangsläufig Kompromisse hinsichtlich der verschiedenen Waldleistungen. Speziell in Wirtschaftswäldern würde dies einen Paradigmenwechsel voraussetzen, indem die langfristige Minderung der Risiken prioritär gewichtet und kurzfristige Einbussen in der Holzproduktion in Kauf genommen werden müssten. Dies steht wiederum im Konflikt mit der aktuell schwierigen Finanzlage vieler Forstbetriebe und Waldbesitzer, die kurz- und mittelfristig auf Einkünfte aus dem Holzverkauf angewiesen sind.

Referenzen

BAFU (2014) **Pilotprojekte zur Anpassung an den Klimawandel: Cluster «Klimaangepasste Stadt- und Siedlungsentwicklung»**. www.bafu.admin.ch/klimaanpassung

BAFU (2015) **Waldpolitik 2020**. www.bafu.admin.ch/wald

Bircher N, Cailleret M, Bugmann H (2015) **The agony of choice: different empirical mortality models lead to sharply different future forest dynamics**. Ecological Applications 25: 1303–1318.

Brang P, Spathelf P, Larson JB, Boncina A, Chauvin C, Drössler L, Garcia-Güemes C, Heiri C, Kerr G, Lexer MJ, Mason B, Mohren F, Mühlethaler U, Nocentini S, Svoboda M (2014) **Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change**. Forestry 87: 492–503.

Bugmann H, Brang P, Elkin C, Henne P, Jakoby O, Lévesque M, Lischke H, Psomas A, Rigling A, Wermelinger B, Zimmermann NE (2014) **Climate change impacts on tree species, forest properties, and ecosystem services**. In: CH2014-Impacts, Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland. OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland: 79–88.

Bühlmann T, Hiltbrunner E, Körner C (2014) **Alnus viridis expansion contributes to excess reactive nitrogen release, reduces biodiversity and constrains forest succession**. Alpine Botany 124: 187–191.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Elkin C, Gutierrez AG, Leuzinger 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.

Gehrig-Fasel J, Guisan A, Zimmermann NE (2007) **Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment?** Journal of Vegetation Science 18: 571–582.

Hagedorn F, Shiyatov FG, Mazepa VS, Devi NM, Grygoriev AA, Bartyish AA, Fomin V, Kapralov D, Terentiev M, Bugman H, Rigling A, Moiseev PA (2014) **Treeline advances along the Urals mountain range – driven by improved winter conditions?** Global Change Biology 20: 3530–3543.

Jolly WM, Dobbertin M, Zimmermann NE, Reichstein M (2005) **Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps**. Geophysical Research Letters 32: L18409.

Körner C (2012) **Alpine treelines**. Springer, Basel.

Küchler M, Küchler H, Bedolla A, Wohlgemuth T (2014) **Response of Swiss forests to management and climate change in the last 60 years**. Annals of Forest Science 72: 311–320.

Leuzinger S, Zotz G, Asshoff R, Körner C (2005) **Responses of deciduous forest trees to severe drought in Central Europe**. Tree Physiology 25: 641–650.

Leuzinger S, Vogt R, Körner C (2010) **Tree surface temperature in an urban environment**. Agricultural and Forest Meteorology 150: 56–62.

Lévesque M, Rigling A, Bugmann H, Weber P, Brang P (2014) **Growth response of five co-occuring conifers to drought across a wide climatic gradient in Central Europe**. Agricultural and Forest Meteorology 197: 1–12.

Mina M, Martin-Benito D, Bugmann H, Cailleret M (2016) **Forward modeling of tree-ring width improves simulation of forest growth responses to drought**. Agricultural and Forest Meteorology 221: 13–33.

ProClim (ed.) (2005) **Hitzesommer 2003**. Synthesebericht. Bern, 28 pp.

Rebetez M, Mayer H, Dupont O, Schindler D, Gartner K, Kropp J, Menzel A, (2006) **Heat and drought 2003 in Europe: a climate synthesis**. Annals of Forest Science 63: 569–577.

Renaud V, Rebetez M (2009) **Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland during the exceptionally hot summer 2003**. Agricultural and Forest Meteorology 149: 873–880.

Rigling A, Bigler C, Eilmann B, Mayer P, Ginzler C, Vacchiano G, Weber P, Wohlgemuth T, Zweifel R, Dobbertin M (2013) **Driving factors of a vegetation shift from Scots pine to pubescent oak in dry Alpine forests**. Global Change Biology 19: 229–240.

Rigling A, Schaffer HP (eds.) (2015) **Forest Report 2015. Condition and Use of Swiss Forests**. Federal Office for the Environment (FOEN), Bern, Swiss Federal Research Institute for Forest, Snow and Landscape (WSL), Birmensdorf, 143 pp.

Scherrer D, Bader MKF, Körner C (2011) **Drought-sensitivity ranking of deciduous tree species based on thermal imaging of forest canopies**. Agricultural and Forest Meteorology 151: 1632–1640.

Temperli C, Bugmann H, Elkin C (2013) **Cross-scale interactions among bark beetles, climate change, and wind disturbances: a landscape modeling approach**. Ecological Monographs 83: 383–402.

Vitasse Y, Hoch G, Randin CF, Lenz A, Kollas C, Körner C (2012) **Tree recruitment of Europen tree species at their current upper elevational limits in the Swiss Alps**. Journal of Biogeography 39: 1439–1449.

WSL (2015) **PorTree – A portrait of Central European tree species for Switzerland**. www.wsl.ch/lud/portree