

Schlussbericht des Projekts

ADAPT

Adaptive Variation bei Schweizer Fichten, Tannen und Buchen:

Inwieweit sind heutige Populationen an das zukünftige Klima angepasst?

im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel»

Caroline Heiri, Aline Frank, Christoph Sperisen und Peter Brang



Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf

Januar 2017

Autoren

Caroline Heiri, Aline Frank, Christoph Sperisen, Peter Brang

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf

Ein Projekt-Schlussbericht aus dem Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» von BAFU und WSL (www.wsl.ch/wald_klima)

Projektlaufzeit: September 2009 bis Juli 2016.

Zitierung

Heiri C., Frank A., Sperisen C., Brang P. 2017. Adaptive Variation bei Schweizer Fichten, Tannen und Buchen: Inwieweit sind heutige Populationen an das zukünftige Klima angepasst? Schlussbericht des Projektes ADAPT im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel». Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL; 38 S. + Anhang 255 S.

Im pdf-Format zu beziehen über www.wsl.ch/wald_klima

Dank

Wir bedanken uns beim Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und der Eidg. Forschungsanstalt WSL für die Finanzierung dieses Projekts. Die Klimadaten wurden im Rahmen des Forschungsprogramms durch J. Remund (Meteotest) zur Verfügung gestellt. Wir danken zudem L. Walthert und Team sowie P. Weber für Bodenbeprobungen und bodenkundliche Laboranalysen, und A. Burkart und Team für die Unterstützung bei der Samenernte, Aufzucht und Pflanzung der Sämlinge sowie dem Flächenunterhalt. Das Programm LWF der WSL hat uns Bodendaten zu Verfügung gestellt und viel zum Aufbau und Unterhalt der beiden Meteostationen beigetragen. Beim LFI der WSL bedanken wir uns für Daten zur Schweizer Verbreitung von Fichte, Tanne und Buche. Wir danken A.R. Pluess, J. Wunder, J. Zell, G.T. Howe (Oregon State University, USA), J.B. St.Clair (USDA Forest Service, USA) sowie dem Seminar für Statistik der ETH Zürich für die Beratung bei der Datenauswertung. Ein besonderer Dank geht an die Familien Büttler, Steiner und Zemp für ihre Unterstützung der Feldarbeit am Versuchsort Matzendorf sowie an die zahlreichen Feldmitarbeitenden, Zivildienstleistenden und PraktikantInnen, welche für Samenernte, Bodenansprachen, Erfassung der Sämlingsmerkmale und Flächenunterhalt unermüdlich im Einsatz waren.

Titelbild: Mischwald mit Fichte, Tanne und Buche bei Montreux sowie Sämlinge der drei Baumarten im ADAPT-Feldexperiment (v.l.n.r. Fichte, Tanne, Buche). Bilder: P. Brang, C. Heiri und A. Frank.

Inhalt

Zusammenfassung	4
1. Einleitung	6
1.1. Berichtstruktur	9
2. Material und Methoden	10
2.1. Auswahl der Populationen und Anzucht im Pflanzgarten	10
2.2. Sämlingsexperiment	10
2.3. Sämlingsmerkmale	10
2.4. Umweltparameter	13
2.5. Quantitative Genetik und genökologische Modellierung	16
3. Resultate	18
3.1. Unterschiedliche Populationsdifferenzierung je nach Merkmal und Baumart	18
3.2. Merkmalsvariation kann teilweise mit dem Klima am Herkunftsort erklärt werden	19
3.3. Evaluation der für die Risikoabschätzung verwendeten Klimavariablen und deren Veränderungen über die Zeit	22
3.4. Relatives Risiko schlechter Anpassung an den Klimawandel – «relative risk of maladaptation»	23
3.5. Viele Samenerntebestände liegen in Gebieten mit erhöhtem Risiko schlechter Anpassung	26
3.6. Heutige Samenerntebestände liefern nur bedingt genetisch angepasstes Vermehrungsgut für Gebiete mit hohem Risiko	26
3.7. Saatguttransfer entlang Höhengradient	29
4. Diskussion	30
4.1. Fichte, Tanne und Buche unterscheiden sich in ihren Anpassungsstrategien	30
4.2. Unterschiedliche Risiken schlechter Anpassung an den Klimawandel	31
4.3. Limitierungen	32
4.4. Handlungsoptionen für das Waldmanagement	34
5. Fazit	35
6. Literatur	36
7. Anhang	39

Zusammenfassung

Ausgangslage: Waldbaumpopulationen sind oft als Folge von Selektion an lokale klimatische Bedingungen angepasst. Inwieweit sie aber an das vorausgesagte wärmere und trockenere Klima angepasst sind oder sich anpassen können, ist ungewiss und erst bei wenigen Baumarten untersucht. Ziel dieses Projektes war es, für Fichte (*Picea abies*), Tanne (*Abies alba*) und Buche (*Fagus sylvatica*) – die drei häufigsten Baumarten der Schweiz – quantitativ-genetische Muster zu untersuchen und auf dieser Basis das Risiko schlechter Anpassung heutiger Populationen an das zukünftige Klima abzuschätzen.

Methode: Das Projekt basierte auf einem genökologischen Ansatz, bei welchem die quantitativ-genetische Variation autochthoner Populationen untersucht und mit der lokalen Umwelt ihrer Herkunftsorte in Beziehung gebracht wird. Daraus werden Anpassungsmuster an das vergangene und zukünftige Klima abgeleitet. Wir verwendeten für alle drei Baumarten die Nachkommenschaften (Sämlinge) von rund 90 systematisch über die ganze Schweiz beprobten Populationen. Diese wurden an einem (Fichte und Tanne) bzw. an zwei (Buche) Versuchsorten hinsichtlich ihrer Phänologie und ihres Wachstums untersucht. Aus diesen Daten – rund 4000 Beobachtungen pro Merkmal, Baumart und Versuchsort – berechneten wir die quantitativ-genetische Differenzierung zwischen Populationen. Wir entwickelten einfache und multivariate genökologische Modelle, um die Variation zwischen Populationen mit Klima- und Bodenvariablen am Herkunftsort der Sämlinge zu beschreiben und zu erklären. Anhand dieser Modelle konnten wir adaptive Merkmale identifizieren und für verschiedene Klimaszenarien deren zukünftige optimale Ausprägung modellieren. Aus der Abweichung zwischen den heutigen und vorausgesagten Merkmalsausprägungen schätzten wir für jedes Merkmal das relative Risiko schlechter Anpassung an das zukünftige Klima ab. Dieses wurde für das heutige Fichten-, Tannen- und Buchenareal der Schweiz kartographisch dargestellt, um regionale Vergleiche zu ermöglichen. Unter Berücksichtigung der quantitativ-genetischen Kennzahlen, der genökologischen Modelle und der Risikoabschätzung verglichen wir die drei Baumarten Fichte, Tanne und Buche hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit und Angepasstheit an die zu erwartenden Klimaveränderungen.

Resultate: Alle drei Baumarten zeigten quantitativ-genetische Variation in den untersuchten Wachstums- und Phänologiemerkmalen. Die Differenzierung zwischen Populationen war am stärksten bei der Fichte mit hohen Q_{st} -Werten von 0.46 bis 0.53 im Höhenwachstum und im Johannistrieb, hingegen am geringsten bei der Tanne mit maximalem Q_{st} von 0.22 für die Sämlingshöhe. Die Buche wies im Vergleich eine mittlere Populationsdifferenzierung auf mit höchsten Q_{st} -Werten von 0.26 bis 0.28 für das Blattalter, die Blattverfärbung und die Johannistriebbildung. Im Gegensatz zur Buche waren Fichte und Tanne im Wachstum stärker differenziert als in der Phänologie. Für die Fichte zeigten unsere genökologischen Modelle einen starken Zusammenhang von Höhenwachstum und Johannistriebbildung mit Temperatur und Höhenlage der Herkunftsorte; die Sämlinge aus Tieflagen wuchsen stärker als diejenigen aus Hochlagen. Für Tanne und Buchen waren die Assoziationen des Höhenwachstums resp. der Phänologie mit diesen Faktoren schwächer, die statistischen Modelle schlossen dafür aber mehr Variablen zur Wasserverfügbarkeit mit ein. Die erhobenen Bodenparameter trugen in allen drei Baumarten nur wenig zur Erklärung der Variation zwischen Populationen bei. Basierend auf unseren Resultaten identifizieren wir Höhenwachstumsmerkmale als adaptiv für Fichte und Tanne, die Johannistriebbildung als adaptiv für Fichte und Buche, und die vegetative Knospen- und Blattphänologie als adaptiv für die Buche.

Die Berechnung des Risikos für schlechte Anpassung ergab für alle drei Baumarten ein relativ geringes Risiko bis 2021–2050, d.h. heutige Populationen aller drei Baumarten scheinen an das Klima der *näheren* Zukunft ausreichend angepasst zu sein. Für die Fichte und Buche stieg das Risiko bis 2061–2090 stark an, während es für die Tanne konstant tief blieb. Fichte und Buche scheinen also in der *fernen* Zukunft z.T. einem hohen Risiko für schlechte Anpassung ausgesetzt zu sein. Regional fanden sich besonders hohe Risiken für Fichten an tiefergelegenen Standorten und für Buchen in bereits heute trockenen Gebieten. Für die Tanne wurde einzig im Tessin für die Periode 2061–2090 ein erhöhtes Risiko identifiziert.

Schlussfolgerungen: Der generelle Anstieg im relativen Risiko für schlechte Anpassung an den erwarteten Klimawandel gegen Ende des Jahrhunderts für die Fichte und die Buche machen deutlich, dass diese Baumarten – je nach Höhenlage und Region – in Zukunft unter unzureichender genetischer Anpassung leiden könnten. Die für die Tanne konstant tiefen Risikowerte von heute bis in die ferne Zukunft in den meisten Regionen zeigen hingegen, dass diese Baumart in Zukunft unter dem Klimawandel vermutlich weniger stark von lokal unzureichender genetischer Anpassung betroffen sein wird. Die Tanne könnte also möglicherweise in den Tieflagen, wo die Fichte besonders gefährdet erscheint, künftig als Ersatzbaumart für die Fichte dienen – passende Standortbedingungen und eine verträgliche Verbissbelastung vorausgesetzt.

Mit angepasstem Management kann der Waldbewirtschafter die Anpassungsfähigkeit heutiger Bestände an den Klimawandel unterstützen, damit der Wald seine Leistungen für unsere Gesellschaft weiterhin erbringen kann. Ein solches Management könnte z.B. wieder vermehrt Pflanzungen mit einschliessen, um kritische Bestände mit besser angepasstem Pflanzenmaterial für die Zukunft zu ergänzen («assisted gene flow»). Die vorliegende Studie lässt Folgerungen für das Waldmanagement im Klimawandel zu, insbesondere bezüglich Handlungsoptionen zur Erhaltung forstlicher Genressourcen und zum Umgang mit forstlichem Vermehrungsgut. Wir schlagen die folgenden vier Handlungsfelder vor: 1) Priorisierung der Baumarten bei Massnahmen zur Erhaltung forstlicher Genressourcen: Fichte vor Buche und Tanne, 2) fundierte Überprüfung der NKS-Bestände hinsichtlich ihrer Gefährdung und Verwendung im Klimawandel, 3) Auswahl von neuen NKS-Beständen an heute bereits ökologisch marginalen Standorten (trocken, warm) und 4) Überprüfung heutiger Richtlinien zum Transfer und Mischen von Saatgut.

Abstract

Heiri C., Frank A., Sperisen C., Brang P. 2017. Adaptive variation of Norway spruce, silver fir and European beech in Switzerland: Are today's populations adapted to future climates? Final report of the research project ADAPT within the research program "forest and climate change". Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL. 38 pages + appendices 255 p.

Background: Due to long-term selection processes, tree populations often show adaptations to their local environments. However, the degree to which they are adapted to the future – presumably warmer and drier – climate and to which they may still adapt to these new environmental conditions is largely unknown and only investigated for a few species. The aim of this project was to assess patterns of quantitative genetic variation and estimate relative risk of maladaptation to future climates for three major tree species in Switzerland, Norway spruce (*Picea abies*), silver fir (*Abies alba*), and European beech (*Fagus sylvatica*).

Methods: We used a genecological approach, which is useful to investigate quantitative genetic variation of native tree populations and to relate the observed population differences to seed source environments. Thereby, patterns of adaptation to past and future climates can be inferred. Our experiment included seedlings of 77 to 90 populations of each species, which had systematically been sampled across Switzerland. We measured several growth and phenology traits on these seedlings at one (spruce and fir) and two (beech) experimental sites, respectively. Altogether, approximately 4,000 observations were collected per trait, tree species, and site, based on which we calculated the quantitative genetic population differentiation (Q_{st}). We developed simple and multivariate genecological models to describe and explain population differentiation with climate and soil parameters at seed sources. Based on these models, we were able to identify adaptive traits, and to predict their optimal characteristics under different future climates. The divergences between current and future trait characteristics were used to estimate trait-specific relative risk of maladaptation to future climates. Mapping these risk estimates for the species' current distribution areas in Switzerland allowed us to identify regional differences in relative risk. Ultimately, we compared spruce, fir and beech with regard to their adaptedness and adaptive potential to future climates, taking into account the quantitative genetic parameters, genecological models, and risk of maladaptation.

Results: All three species showed quantitative genetic variation in the investigated traits. Population differentiation was largest for spruce featuring high Q_{st} -values of 0.46–0.53 in height growth and second flushing, whereas least differentiation was found for fir with a maximum Q_{st} of 0.22 in seedling height. In comparison, beech showed intermediate population differentiation with highest Q_{st} -values in leaf duration, leaf senescence, and second flushing (0.26–0.28). Growth showed stronger population differentiation than phenology for spruce and fir, whereas for beech, phenology showed the stronger differentiation. Our models for spruce revealed strong correlations of height growth and second flushing with temperature and elevation of seed origin: seedlings originating from low elevations grew taller than those from high elevations. Fir and beech showed weaker associations of height growth and phenology with these variables. In contrast to spruce, the statistical models for fir and beech also included variables representing water availability. However, the soil parameters used in this study explained hardly any of the population

differentiation for all three species. We identified height growth traits as being adaptive for spruce and fir, second flushing as adaptive for spruce and beech, and vegetative bud- and leaf-phenology as adaptive traits for beech.

For the three investigated future climate scenarios, relative risk of maladaptation increased for spruce and beech over the investigated time period until 2090, but remained generally low for fir. Regionally, maladaptation to future climates was particularly high for spruce at low elevations, for beech in drought-prone regions, and for fir in the southern Alps.

Conclusions: Current populations of all three species appeared to be sufficiently adapted to the climate of the near future (until mid-century). By the end of the century, however, spruce and beech will likely suffer from significant genetic maladaptation and potentially decreasing fitness, whereas fir might largely remain unaffected by climate change. Thus, fir has the potential to perhaps act as substitute tree species for spruce in the lowlands, where spruce will be most strongly affected by climate change – given that local site conditions and browsing pressure by wild ungulates will allow for sufficient fir regeneration and vitality.

By means of adapted forest management, foresters can enhance our forests' potential to adapt to future climates, and can thereby contribute to the continuous provision of forest goods and services to society. Management strategies to promote climate change adaptation might include planting potentially better adapted progenies as admixtures in particularly endangered forest stands ("assisted gene flow"). Based on this study, we propose the following four spheres of action with respect to the conservation of forest genetic resources and the handling of forest reproductive material: 1) Prioritize tree species when considering actions for conserving forest genetic resources: first spruce, followed by beech and fir, 2) reappraise the NKS seed stands with respect to their endangerment by climate change and their appropriateness for future use, 3) select new NKS seed stands at sites which are already ecologically marginal (dry, warm), and 4) reevaluate today's guidelines for transferring and mixing of forest reproductive materials.

1. Einleitung

Waldbaumpopulationen haben grundsätzlich vier Möglichkeiten, auf ein sich veränderndes Klima zu reagieren: 1) Anpassung durch phänotypische Plastizität, 2) evolutive Anpassung, 3) Migration in neue Habitate und 4) lokales Aussterben (St.Clair & Howe 2007, Aitken et al. 2008). Die meisten Klimawandelszenarien betrachten einen Zeitraum von 100 Jahren oder weniger. Im Gegensatz zu Organismen mit kurzen Generationszeiten, welche in den kommenden 100 Jahren ausreichend Zeit haben dürften, neue Habitate zu besiedeln oder sich lokal evolutiv an neue Umweltbedingungen anzupassen, ist dies für Waldbäume wenig wahrscheinlich (Rehfeldt et al. 2001, Rehfeldt et al. 2002, Savolainen et al. 2004). Der Wald im Jahre 2100 wird zu einem grossen Teil aus Bäumen bestehen, die heute bereits als Jungwuchs im Wald stehen. Für das Wachstum und die Stabilität der Wälder wird deshalb nicht nur entscheidend sein, wie gross ihr Anpassungspotenzial ist, sondern inwieweit heutige Populationen bereits an das zukünftige Klima angepasst sind.

Die Angewandtheit und Anpassungsfähigkeit von Populationen an ihre Umwelt kann mit genökologischen Methoden untersucht werden. Wichtige Ziele genökologischer Studien sind die Identifizierung potentiell adaptiver Merkmale und der Umweltvariablen, welche starken Selektionsdruck auf natürliche Populationen ausüben (Aitken 2004). Genökologische Studien werden mit Nachkommenschaften von natürlichen (d.h. autochthonen) Populationen durchgeführt, dies entweder als langfristig angelegter Versuch unter Feldbedingungen (z.B. Rehfeldt et al. 1999), oder als Sämlingsexperiment im Pflanzgarten (z.B. Campbell 1979). Dabei entscheidet die Wahl des experimentellen Designs, welche Fragen beantwortet werden können: Für Aussagen zur phänotypischen Plastizität einer Art braucht es mehrere Populationen, welche idealerweise an *vielen Versuchsorten* ausgepflanzt werden. Pflanzungen mit *vielen Populationen* an einem oder einigen wenigen Versuchsorten eignen sich zur Identifizierung von adaptiven Merkmalen und selektiven Umweltfaktoren. Bei diesem zweiten Ansatz kann dank der grossen Anzahl untersuchter Populationen die optimale Merkmalsausprägung für ein zukünftiges Klima vorausgesagt und durch Vergleich mit der aktuellen Merkmalsausprägung das Risiko für schlechte Anpassung (d.h. lokal unzureichende genetische Anpassung) abgeschätzt werden (St.Clair & Howe 2007).

Für Schweizer Waldbaumpopulationen liegt nur wenig Information zu adaptiver Variation vor, obwohl eine der ersten genökologischen Studien überhaupt in der Schweiz durchgeführt wurde (Engler 1905). In Pflanzungsexperimenten beobachtete Unterschiede in Wachstum und Morphologie liessen Engler vermuten, dass sich Populationen der weitverbreiteten Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) genetisch an ihre Umwelt angepasst haben müssen. Bei der Tanne (*Abies alba* Mill.) fand er hingegen keine solchen Hinweise. Neuere Studien mit ausländischen Populationen bestätigen, dass die Fichte in adaptiven Merkmalen stark differenziert ist (z.B. Holzer 1993), während sich Tannenpopulationen genetisch nur wenig voneinander unterscheiden (Vitasse et al. 2009). Andere mit Schweizer Waldbaumpopulationen durchgeführte Studien beschränkten sich auf eine bestimmte Region (Bossel 1983, Fouvy & Jeantet 1997) oder auf einige wenige Populationen, welche in internationalen Herkunftsversuchen integriert wurden (z.B. Commarmot 2003).

Im Projekt ADAPT stand folgende Frage im Vordergrund: Inwieweit sind die heutigen einheimischen Populationen der drei häufigsten Baumarten der Schweiz an zukünftige Klimabedingungen angepasst? Zur Beantwortung dieser Frage verwendeten wir einen genökologischen Ansatz, um für Schweizer Populationen von Fichte, Tanne und Buche (*Fagus sylvatica* L.) die artspezifische genetische Variation zu beschreiben und diejenigen

Umweltvariablen zu identifizieren, welche am stärksten mit der Variation in adaptiven Sämlingsmerkmalen zusammenhängen. Konkret untersuchten wir folgende Forschungsfragen:

- (1) Wie gross ist die Variation, d.h. die quantitativ-genetische Differenzierung zwischen Schweizer Fichten-, Tannen- und Buchenpopulationen hinsichtlich Wachstumsmerkmalen und Phänologie?
- (2) Kann die beobachtete Variation zwischen Populationen mit der Umwelt am Herkunftsort in Beziehung gebracht werden? Welche Merkmale zeigen adaptive Eigenschaften, und welche Umweltfaktoren haben zu lokaler Anpassung beigetragen?
- (3) Wie gross ist das Risiko heutiger Populationen, an das zukünftige Klima schlecht angepasst zu sein? Welche Baumarten und Regionen scheinen besonders gefährdet resp. resistent zu sein hinsichtlich der zu erwartenden Klimaveränderungen?
- (4) Besteht Handlungsbedarf für die Praxis, z.B. durch gezielte Verwendung potentiell besser angepasster Provenienzen? Eignen sich hierfür die heutigen Bestände des Nationalen Katasters für Samenerntebestände (NKS)?

1.1. Berichtstruktur

Im vorliegenden Bericht werden die vier Teile des Projekts ADAPT kurz beschrieben. (1) Das Vorgehen hinsichtlich Populationsauswahl, Anzucht, experimentellem Design und Merkmalserfassung, (2) die Untersuchung der heute vorhandenen genetischen Variation, (3) das Abschätzen des Risikos schlechter Anpassung an das erwartete zukünftige Klima für die drei Baumarten und (4) das Skizzieren von Managementempfehlungen. Der Bericht hält sich dabei bewusst kurz, da bereits verschiedene – oft sehr detaillierte – Projektberichte und wissenschaftliche Publikationen zu diversen Aspekten des Projektes erschienen sind bzw. in Kürze erscheinen werden (Tab. 1). Ausserdem hat das Projektteam zum Kapitel 3.2 im Synthesebuch des Forschungsprogramms «Wald und Klimawandel» beigetragen, und darin seine Erkenntnisse dargestellt und mit den Resultaten aus anderen Projekten innerhalb und ausserhalb des Programms verglichen (Gugerli et al. 2016).

Tabelle 1. Übersicht zu bereits verfassten und kommenden Publikationen aus dem Projekt ADAPT. Projektberichte sind im Anhang des Schlussberichtes zusammengefasst.

Projekt-Teil	Projektberichte und wissenschaftliche Publikationen
(1) Versuchsaufbau	Arnold et al. (2010), Boner et al. (2011), Frank et al. (2012), Heiri et al. (2012a), Heiri et al. (2012b), Leisibach et al. (2012), Frank et al. (2013), Nussbaumer et al. (2013), Keller et al. (2014)
(2) Genetische Variation von Fichte, Tanne und Buche	Frank (2016, Kap. 1 & 2); Frank et al. (2017); Frank et al. (in Überarbeitung); Gugerli et al. (2016)
(3) Risikoabschätzung für Fichte, Tanne und Buche	Frank (2016, Kap. 3); Frank et al. (in Vorbereitung)
(4) Managementempfehlungen	Sperisen et al. (2016)

2. Material und Methoden

Die Arbeiten im Projekt ADAPT begannen im Sommer 2009 mit der Auswahl der Populationen und der Samenernte, gefolgt von der Anzucht der Sämlinge im Pflanzgarten, dem Entwickeln des Merkmalskataloges für die Ansprache der Sämlinge, dem Auspflanzen auf den zwei Versuchsflächen, der Merkmalerfassung und der anschliessenden Datenauswertung (s. Anhang 1, Tab. 6 für detaillierten Projektablauf). Im Folgenden wird das methodische Vorgehen zusammengefasst. Für detaillierte Beschreibungen verweisen wir auf die technischen Projektberichte im Anhang (Arnold et al. 2010, Boner et al. 2011, Frank et al. 2012, Heiri et al. 2012a, Heiri et al. 2012b, Leisibach et al. 2012, Frank et al. 2013, Nussbaumer et al. 2013, Keller et al. 2014) sowie auf die wissenschaftlichen Publikationen (Frank 2016, Frank et al. 2017, Frank et al. in Überarbeitung, Frank et al. in Vorbereitung).

2.1. Auswahl der Populationen und Anzucht im Pflanzgarten

Bei der Auswahl der Populationen wurde für alle drei Baumarten Wert gelegt auf eine gute räumliche und klimatische Abdeckung der Schweiz sowie auf die Autochthonie der Populationen (Arnold et al. 2010). 2009 wurden alle drei Baumarten parallel beerntet, wobei jeweils drei Mutterbäume pro Population für Einzelbaumabsaaten berücksichtigt wurden. Bei der Fichte wurden diese Einzelbaumabsaaten mit 20 bereits vorhandenen Bestandesabsaaten ergänzt (vgl. Arnold et al. 2010). Im Frühjahr 2010 erfolgte die Aussaat im Versuchsgarten der WSL für Tanne und Fichte, 2011 für Buche. Die Anzucht von Fichte und Tanne im Saatbeet verlief erfolgreich, bei der Buche keimten jedoch nur wenige Herkünfte (Heiri et al. 2012b). Die Buchenpopulationen wurde daher im Herbst 2011 erneut beerntet (Boner et al. 2011) und im Januar 2012 ohne vorgängige Stratifizierung direkt als Wintersaat ausgesät, was im April 2012 zu einer erfolgreichen Keimung führte.

Insgesamt konnten für das Sämlingsexperiment die Nachkommen aus 92 Fichten, 91 Tannen und 88 Buchenpopulationen verwendet werden (ausgepflanzte Populationen, s. Kap. 2.2). Davon waren 99 Populationen im NKS erfasst und 18 stammten aus dem Projekt Weber & Walthert (Weber et al. 2015). Einzelne Populationen standen uns aus Flächen der Langfristigen Waldökosystemforschung (LWF) und aus dem Projekt TroLiFa (Moser & Wohlgemuth 2013) zur Verfügung. Bei der Buche stammten 10 Populationen aus dem Projekt BuKlim (Arend et al. 2015) und 12 weitere aus einem Buchensaatprojekt der HAFL (Mühlethaler 2011). Letztere wurden aus dem finalen Datensatz ausgeschlossen, da sie als einzige Populationen bereits bei der ersten Aussaat gekeimt hatten, dadurch aber ein Jahr älter waren als die restlichen Buchensämlinge und so mit diesen nicht vergleichbar.

2.2. Sämlingsexperiment

An zwei klimatisch und standörtlich unterschiedlichen Versuchsorten (Birmensdorf 550 m ü.M. und Matzendorf 1100 m ü.M.) wurde für alle drei Baumarten ein Sämlingsexperiment eingerichtet. Das experimentelle Design war ein Blockversuch mit 16 Wiederholungen pro Versuchsort und Baumart (Abb. 1).

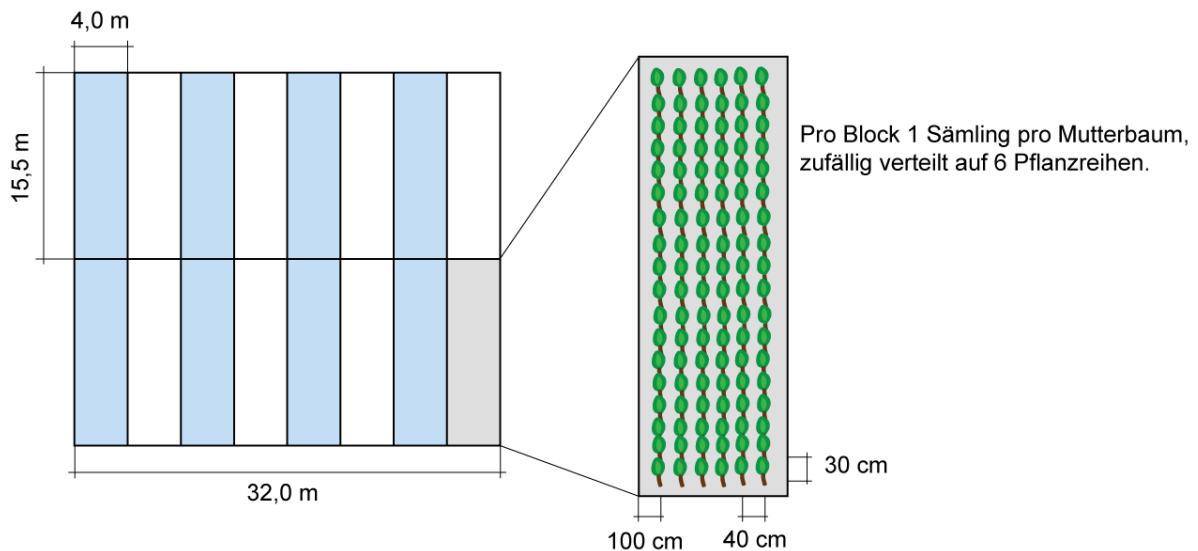


Abbildung 1. Experimentelles Design mit 16 Blöcken für einen Versuchsort und eine Baumart. Die Pufferzone zwischen den Blöcken (nicht dargestellt) war 2 m breit.

Jeder Block enthielt je nach Anzuchterfolg der Art 240 bis 270 Pflanzen, jeweils ein Sämling von jedem Mutterbaum. Innerhalb eines Blockes waren die Pflanzen zufällig verteilt. Für die Fichte und die Tanne wurden Sämlinge von 92 bzw. 91 Populationen im Frühjahr 2012 ausgepflanzt, für die Buche Sämlinge von 88 Populationen im Frühjahr 2013 gepflanzt (Frank et al. 2012, Nussbaumer et al. 2013). Insgesamt wurden pro Baumart und Versuchsort rund 4000 Sämlinge verwendet. Die Durchführung des Experimentes an zwei klimatisch und pedologisch unterschiedlichen Versuchsorten sollte dazu dienen, die Ergebnisse besser abzusichern und das Risiko von biotischen oder abiotischen Schäden auf zwei Versuchsorte zu verteilen. Dieses Vorgehen hat sich auszubezahlt, denn die Mortalität der Fichten und Tannen war am Versuchsort Birmensdorf so hoch, dass wir diesen Teil des Experiments im Frühjahr 2013 aufgeben mussten (Nussbaumer et al. 2013 und Anhang 1 Tab. 6). Die Buche war hingegen an beiden Versuchsorten gleichermassen vital, so dass wir für diese Baumart zwei Versuchsgärten zur Verfügung hatten.

2.3. Sämlingsmerkmale

Die erfassten Sämlingsmerkmale umfassten das Wachstum (Höhe, Höhenzuwachs und Stammdurchmesser) und die Phänologie (v.a. Knospen- und Blattphänologie; Tab. 2). Der phänologische Merkmalskatalog war 2011 mittels Literaturrecherche hergeleitet und anschliessend im Versuchsgarten der WSL auf seine Anwendbarkeit und Zweckmässigkeit an je 20 Fichten, Tannen und Buchen unterschiedlicher Populationen getestet und entsprechend optimiert worden (Heiri et al. 2012a). Ziel war es, aussagekräftige und eindeutig erkennbare phänologische Merkmale zu definieren. Der aus dieser Vorstudie hervorgegangene optimierte Merkmalskatalog wurde im darauffolgenden Frühjahr in einer weiteren Teststudie im WSL Versuchsgarten an je 50 Fichten und Tannen sowie 30 Buchen unterschiedlicher Populationen geprüft und nach Bedarf weiter verbessert. Das Resultat war eine präzise Aufnahmeanleitung inkl. Fotodokumentation der zu erfassenden phänologischen Phasen für die drei untersuchten Baumarten (Anhang 2).

Tabelle 2. Zusammenstellung der im Feld erfassten Sämlingsmerkmale sowie der daraus abgeleiteten Parameter. Aufgelistet sind nur die für die weiteren Analysen verwendeten Merkmale, der gesamte Merkmalskatalog kann in Nussbaumer et al. (2013) sowie Keller et al. (2014) nachgelesen werden. JD: Julian Date als fortlaufende Tageszählung beginnend mit dem 1. Januar.

Merkmal	Beschreibung	Abkürzung	Einheit
Gemessene und beobachtete Parameter			
Wachstum			
Höhe	Sämlingshöhe, gemessen vom Boden bis zur obersten Nadelspitze (Fichte) bzw. bis zum Knospenansatz (Tanne, Buche).	H0 ¹ , H ²	mm
Stammdurchmesser	Stammdurchmesser gemessen an der Markierung 2 cm über Boden.	D0 ¹ , D ²	mm
Johannistrieb	Auftreten von Johannistriebbildung (zweiter Austrieb) irgendwo am Sämling (Fichte) resp. am Endtrieb (Buche) ³ .	SecFlush ³	1, 0
Höhenwachstum	Erfasst mittels wiederholter Messung der Sämlingshöhe (analog Höhe) während der gesamten Wachstumsperiode, d.h. vom Knospenaufbruch terminal bis zum Stopp des Höhenwachstums		mm
Phänologie			
Knospenaufbruch terminal	Datum, an dem die Terminalknospe aufgebrochen ist. <i>Tanne</i> : Nadelspitzen sichtbar, Knospenhülle gesprengt; <i>Fichte</i> : Nadeln an Knospenspitze durch (mind.) kreisrund aufgebrochene Knospenschuppen sichtbar; <i>Buche</i> : Blätter zu mind. 50% sichtbar im Vergleich zu den Knospenschuppen, aber noch gefaltet.	BudBreakT4 ³ , BudBreakT5 ⁴ (Fichte und Tanne), Budbreak ³ (Buche)	JD
Knospenaufbruch lateral	Datum, an dem mind. eine der endständigen Lateralknospen aufgebrochen ist (Fichte und Tanne). Beschreibung: siehe Knospenaufbruch terminal.	BudBreakL4 ³	JD
Endknospenbildung im Sommer	Datum, an dem an der Spitze des ersten Jahrestriebs eine neue Endknospe sichtbar ist (Buche).	BudSet ³	JD
Blattverfärbung	Datum, an dem mehr als 50% der Blätter gelb oder braun verfärbt ist (Buche).	LeafSen ³	JD
Abgeleitete Parameter			
Wachstum			
Höhenzuwachs	<i>Fichte und Tanne</i> : H minus H0; <i>Buche</i> : Länge des gesamten Jahreszuwachses direkt gemessen am Endtrieb.	HIncr	mm
Durchmesserzuwachs	D minus D0.	DIncr	mm
Höhenwachstumsrate	Mittlere erste Ableitung (= Steigung) der Höhenwachstumskurve, hergeleitet aus kontinuierlichen Höhenzuwachsmessungen ³ für Fichte und Tanne.	GrowthRate	mm/d
Höhenwachstumsperiode	Zeit zwischen Knospenaufbruch terminal und Höhenwachstumstopp ³ (Fichte und Tanne).	GrowthDur	d
Schlankheitsgrad	Verhältnis von H zu D.	H/D	cm/mm
Phänologie			
Höhenwachstumstopp	Datum, an dem der Haupttrieb 95% seines Höhenzuwachses erreicht hat (abgeleitet aus den Höhenwachstumskurven, basierend auf den kontinuierlichen Höhenzuwachsmessungen ³).	GrowthCess	d
Blattalter	Zeit zwischen Knospenaufbruch terminal und Blattverfärbung ³ (Buche).	LeafDur	d

¹Gemessen nach der dritten Wachstumsperiode für Fichte und Tanne (Winter 12/13) resp. nach der zweiten Wachstumsperiode für Buche (Winter 13/14).

²Gemessen nach der vierten Wachstumsperiode für Fichte und Tanne (Herbst 14) resp. nach der dritten Wachstumsperiode für Buche (Winter 14/Herbst 15).

³Erfasst in der vierten Wachstumsperiode für Fichte und Tanne (2013) resp. in der dritten Wachstumsperiode (2014) für Buche.

⁴Erfasst in der fünften Wachstumsperiode für Fichte und Tanne (2014).

Die Merkmalsaufnahmen an den Sämlingen fanden zwischen April bis August 2013 (Fichte/Tanne), April bis August 2014 (Fichte/Tanne) und April bis Oktober 2014 (Buche) statt. Für das Erfassen der Knospenphänologie im Frühjahr wurden die Fichten und Tannen 2013 zweimal wöchentlich angesprochen. Aufgrund statistischer Analysen der 2013 erfassten Sämlingsmerkmale konnte die phänologische Ansprache 2014 für Fichte und Tanne auf eine einzige Entwicklungsphase reduziert werden, denn die Abfolge der ursprünglich drei beobachteten Phänologiephasen erwies sich als hochkorreliert (s. Nussbaumer et al. 2013). Die Buche wurde nur während einer Saison (2014) einmal wöchentlich beobachtet, um die Knospenphänologie im Frühjahr zu erfassen, dafür an beiden Versuchsorten (Details s. Nussbaumer et al. 2013, Keller et al. 2014). Ähnlich wie bei Fichte und Tanne wurden auch bei Buche im Verlauf des Sommers periodisch das Vorkommen von Johannistrieben sowie zusätzlich im Herbst zwei Stadien der Blattverfärbung beobachtet.

Für die statistischen Analysen wurden unterschiedliche Merkmalsets benutzt, einerseits eine umfassende Liste an Einzelmerkmalen für die einfachen genökologischen Modelle (Korrelationen und lineare Regressionen, vgl. Kap. 2.5 und Tab. 2), andererseits ein reduziertes Set von drei Schlüsselmerkmalen pro Baumart und zwei kombinierten Merkmalen, die den gesamten Phänotyp der Sämlinge repräsentierten (Trait1 und Trait2). Trait1 und Trait2 wurden mithilfe einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) ermittelt, basierend auf 10 bis 12 Merkmalen pro Baumart (für Details siehe Frank 2016, Kap. 3). Für Fichte korrelierte Trait1 sowohl mit Wachstums- wie auch Phänologiemerkmalen, Trait2 war hingegen klar am stärksten mit der Knospenphänologie assoziiert. Für Tanne und Buche (an beiden Versuchsorten) korrelierte Trait1 am stärksten mit den Wachstumsmerkmalen, Trait2 mit den Phänologiemerkmalen.

2.4. Umweltparameter

Wir verwendeten ein breites Spektrum an Umweltparametern für die genökologischen Modellierungen, darunter Variablen zur Geographie und Topographie, zu physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften, zu Temperatur, Niederschlag und Bodenwasserhaushalt sowie zur Schönwetterstrahlung (Tab. 3). Alle 23 Parameter wurden an den 259 Herkunftsorten, d.h. Populationsstandorten, entweder gemessen oder für diese Standorte interpoliert. Ein Subset der Parameter – Klimavariablen, für die Projektionen in die Zukunft vorhanden waren – wurde dann für die Risikoabschätzung verwendet (vgl. Kap. 2.5).

Die Datengrundlage für die Bodenvariablen bildeten Bodenprofile, die für jede Population vor Ort gegraben und detailliert analysiert wurden (Leisibach et al. 2012). Daraus wurde die lokale Wasserspeicherkapazität abgeschätzt (AWC: Available Waterholding Capacity nach Teepe et al. 2003). Diese wurde bisher in genökologischen Studien nicht beachtet, sie ist aber in Kombination mit dem Niederschlag und der Evapotranspiration für die Abschätzung der Trockenstresstoleranz von grosser Bedeutung (Grier & Running 1977). Wir verwendeten die im Projekt ermittelten AWC-Werte zur möglichst präzisen Ermittlung der Site Water Balance (SWB) jedes Populationsstandorts. Für die genökologische Modellierung über die ganze Schweiz wurden Werte aus einer grossräumigen AWC-Karte verwendet (Remund & Augustin 2015).

Die Beschreibung des *vergangenen* und *heutigen* Klimas basiert auf Messreihen des Messnetzes von MeteoSchweiz, welche punktgenau für unsere Populationsstandorte räumlich interpoliert wurden (für Details zu den Algorithmen siehe Remund et al. 2011). Als Zeitperiode zur Charakterisierung des *vergangenen* Klimas wählten wir 1931–1960, d.h. die

im Rahmen des Forschungsprogramms «Wald und Klimawandel» früheste verfügbare 30-Jahre-Periode von interpolierten Klimadaten. In dieser Zeit befanden sich die meisten der von uns beernteten Bäume im Jungwuchs- bis Stangenholzstadium; somit war das Klima dieser Periode massgeblich für den damals ausgeübten Selektionsdruck. Als Zeitperiode für das *heutige* Klima wählten wir 1981–2000, da diese Zeitspanne gleichzeitig als Referenzperiode für die Modellierung des zukünftigen Klimas verwendet wurde (Remund et al. 2014). Für beide Zeitperioden verwendeten wir zudem das in gleicher Art erstellte Set räumlich interpolierter Klimadaten für die 13'581 Waldstandorte des Schweizerischen Landesforstinventars (LFI; Daten der Projekte Wermelinger und Zimmermann; Remund et al. 2014). Diese Datenpunkte auf einem 1 km-Netz bilden die gesamte Schweizer Waldfläche ab und erlaubten uns, die klimatischen Änderungen für den Schweizer Wald abzuschätzen sowie die ökologischen Modelle gesamtschweizerisch anzuwenden. Weil die Anzahl Klimamessstationen in der Schweiz zwischen 1931 und 2000 stark zunahm (Remund et al. 2011), befürchteten wir, dass die Genauigkeit der Interpolation für das heutige Klima viel besser sein würde als für das vergangene Klima. Dies hätte einen direkten Vergleich des vergangenen mit dem heutigen resp. zukünftigen Klima verunmöglicht. Daher liessen wir die Interpolationsunterschiede im Rahmen eines Zusatzberichts durch Jan Remund (2016) abklären. Es zeigte sich, dass die Interpolation für das heutige Klima tatsächlich besser ist als für das vergangene Klima. Die Unterschiede waren jedoch innerhalb eines tolerierbaren Rahmens (für Details siehe Frank 2016, Kap. 3).

Für das *zukünftige* Klima verwendeten wir Klimaprojektionen basierend auf der Referenzperiode 1981–2000, dem intermediären globalen Emissionsszenario A1B und dem globalen Zirkulationsmodell ECHAM5 (Remund et al. 2014). Es standen uns die Outputs der drei regionalen Klimamodelle CLM, RCA und RegCM3 bis ins Jahr 2090¹ zur Verfügung. Die drei regionalen Klimamodelle waren vorgängig im Rahmen des Forschungsprogramms evaluiert und ausgewählt worden (Remund et al. 2014). Die Zukunftsklimadaten wurden sowohl für unsere Populationsstandorte modelliert wie auch für die Schweizer Waldfläche gemäss LFI. Zum Vergleich der Klimaentwicklung in Zukunft verwendeten wir bei der Berechnung der Klimavariablen zwei Zeitperioden, 2021–2050 und 2061–2090. Details zur Herleitung aller Klimavariablen inkl. SWB können der Dissertation von A. Frank entnommen werden (Frank 2016).

Zur Beschreibung der Umwelt an den beiden Versuchsorten wurden während der Versuchsdauer mittels einer Meteostation Temperatur, Luftfeuchte, Globalstrahlung und Niederschlag gemessen. Zudem wurden pro Versuchsort und Baumart elektronische und manuelle Bodensensoren zur Erfassung des volumetrischen Bodenwassergehaltes (EC-5 Sensoren) und der Saugspannung (MPS-2 Sensoren und Tensiometer) installiert, was uns erlaubte, die Wasserverfügbarkeit für die Sämlinge während den Beobachtungsperioden zu erfassen sowie die Unterschiede zwischen den Versuchsorten hinsichtlich Wasserverfügbarkeit zu quantifizieren (für Details zur Instrumentierung der Versuchsflächen s. Frank et al. 2013).

¹Wir verwendeten die Klimaprojektionen bis 2090 – und nicht wie geplant bis 2100 – aufgrund fehlender Werte für das Klimamodell RegCM3. Für dieses Modell endet die Datenreihe am 30.11.2099.

Tabelle 3. Zusammenstellung aller für die genökologische Modellierung verwendeten Umweltparameter.

Code	Einheit	Beschrieb	Verwendung [§]
1) Geografie, Topografie			
LAT	m	Breitengrad basierend auf dem Schweizer Koordinatensystem	d,e
LONG	m	Längengrad basierend auf dem Schweizer Koordinatensystem	d,e
ELEV	m a.s.l.	Höhenlage	e
SLOPE	%	Hangneigung	d,e
ASP	Gon	Exposition	d,e
2) Physikalische und chemische Bodeneigenschaften			
CLAY	%	Tongehalt im Unterboden (ca. 45–55 cm)	b,c,d,e
C/N	-	Verhältnis von organischem C und gesamthaftem N des Oberbodens (ca. 5–15 cm)	b,c,d,e
pH	-	pH des Oberbodens (ca. 5–15 cm)	b,c,d,e
AWC	mm	Pflanzenverfügbare Wasserkapazität berechnet für 1 m Bodentiefe (Teepe et al. 2003)	e
3) Temperatur*†			
MAT	°C	mittlere Jahrestemperatur	e
MTwarm	°C	mittlere Temperatur des wärmsten Monats	e
MTcold	°C	mittlere Temperatur des kältesten Monats	e
MTsp	°C	mittlere Frühjahrstemperatur#	a,b,d,e
DTasp	°C	maximale tägliche Temperaturamplitude im Frühjahr#	e
MATvar	°C	Varianz der mittleren Jahrestemperatur zwischen Jahren (1931–1960)	a,b,d,e
CONT	°C	Kontinentalität (mittlere Temperaturvarianz innerhalb Jahren basierend auf täglichen Werten)	a,b,d,e
4) Wasserverfügbarkeit*†			
PRCan	mm	Jährliche Niederschlagssumme	a,b,d,e
PRCsu	mm	Sommerniederschlag	e
PRCwi	mm	Winterniederschlag	e
PRCPETveg‡	mm	Klimatische Wasserbilanz (Niederschlag minus potentielle Evapotranspiration) während Vegetationsperiode#	e
DRYPsu	d	Maximale Länge der Trockenperiode im Sommer (Niederschlag ≤ 1 mm)#	a,b,d,e
RHmin	%	Minimale relative Feuchtigkeit im Juli und August	a,b,d,e
5) Bodenwasserhaushalt*†			
SWBmin	mm	Minimale Standortswasserbilanz (Site Water Balance SWB, Grier & Running 1977)	a,b,d,e
6) Strahlung*†			
RADveg	W/m ²	Durchschnittliche Schönwetterstrahlung während der Vegetationsperiode	e

*Werte berechnet pro Jahr und gemittelt über die angegebene Zeitperiode, falls nicht anders vermerkt.

†Berechnungen basieren auf täglichen Daten 1931-1960, falls nicht anders vermerkt.

‡Berechnungen basieren auf monatlichen Daten 1931-1960.

#Frühjahr bezieht sich auf März-Mai, Sommer auf Juni-August, Vegetationsperiode auf März-November.

§Variablen verwendet für die «Klimamodelle» (a), die «Klima- und Bodenmodelle» (b), die «Bodenmodelle» (c), die «kompletten Modelle» (d) und für spezifische Phänotyp-Umwelt-Korrelationen (e) (Frank 2016, Kap. 1 & 2).

2.5. Quantitative Genetik und genökologische Modellierung

Die Variation in den phänotypischen Merkmalen innerhalb und zwischen Populationen wurde mittels Varianzanalysen quantifiziert (linear mixed-effects models; s. Frank 2016, Kap. 1 & 3). Basierend auf diesen Varianzkomponenten wurden quantitativ-genetische Kennzahlen berechnet, insbesondere die Populationsdifferenzierung Q_{st} als Wert zwischen 0 (keine Differenzierung) und 1 (komplette Differenzierung; Spitze 1993): $Q_{st} = \sigma_p^2 / (\sigma_p^2 + 2\sigma_{a(p)}^2)$. Dabei beinhaltet σ_p^2 den Anteil Variation, der durch die Populationen erklärt wird, und $\sigma_{a(p)}^2$ die additive genetische Variation innerhalb von Populationen, die berechnet wird aus den Anteilen Variation zwischen Familien: $\sigma_{a(p)}^2 = 3\sigma_{f(p)}^2$ (Campbell 1979).

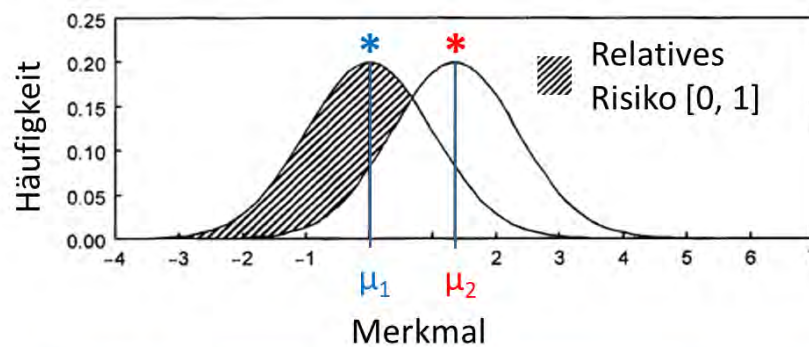
Aus der Varianzanalyse wurden zudem die Populationseffekte abgeleitet. Diese stellen die Abweichung jeder einzelnen Population vom Modellmittelwert (model intercept) dar und eignen sich sehr gut, um die relativen Unterschiede zwischen Populationen darzustellen und zu untersuchen. Sie haben den Vorteil, dass andere erklärende Faktoren wie der Effekt der Samenfamilie und des Blocks im gemischten Modell bereits herausgerechnet wurden. Damit repräsentieren Populationseffekte die „reinen“ Effekte der Populationen. Falls erwünscht können absolute Werte pro Population einfach berechnet werden, indem der jeweilige Populationseffekt zum Modellmittelwert dazu addiert wird.

Zur Untersuchung der Phänotyp-Umwelt-Assoziationen wurden mithilfe der Populationseffekte genökologische Modelle berechnet, sowohl einfache Modelle – Korrelationen und einfache lineare Regressionen – als auch multivariate Modelle. Damit wurden die Populationseffekte mit Umweltfaktoren in Beziehung gesetzt, welche Standortseigenschaften und das vergangene Klima an den Herkunftsorten charakterisieren (Frank 2016). Zeigte sich in der Varianzanalyse eine deutliche Differenzierung zwischen Populationen und korrelierte diese mit Umweltfaktoren am Herkunftsort, erlaubte dies die Identifizierung potentiell adaptiver Merkmale und für lokale Anpassung relevanter Umweltfaktoren (St.Clair et al. 2005).

2.6. Relatives Risiko für schlechte Anpassung

Die oben hergeleiteten multivariaten genökologischen Modelle erlaubten es nun auch, den Phänotyp einer Population für einen anderen (Stand-)Ort oder ein anderes Klima vorauszusagen. Die erste Situation tritt bspw. beim Transfer von forstlichem Vermehrungsgut ein, die zweite bei einem sich ändernden Klima (Klimawandel). Wir beschränkten uns nun nicht mehr nur auf die Populationsstandorte, die für die Herleitung der genökologischen Modelle verwendet wurden (siehe oben), sondern wendeten die multivariaten Modelle auf alle LFI Stichprobenpunkte an, auf welchen heute Fichte, Tanne oder Buche vorkommt (heutiges Verbreitungsgebiet der Baumarten im Wald). Dies ermöglichte es uns, das relative Risiko schlechter Anpassung für die drei Baumarten in der ganzen Schweiz abzuschätzen, und zwar für die verschiedenen einzelnen und kombinierten Merkmale anhand des «relative risk index» von Campbell (1986). Detaillierte Ausführungen zu diesen Berechnungen finden sich in Frank (2016, Kap. 3). Kurz zusammengefasst kann das relative Risiko schlechter Anpassung («relative risk of maladaptation») für ein quantitatives Merkmal beschrieben werden als Anteil der Nicht-Überlappung zweier Normalverteilungen, relativ zu einer der beiden Verteilungen (s. Abb. 2). Die eine Verteilung repräsentiert dabei die aktuelle Merkmalsverteilung einer Population, die andere die optimale Merkmalsausprägung derselben Population unter anderen Klimabedingungen, z.B. an einem anderen Ort (vgl. TransRisk) oder in Zukunft

am selben Standort aber unter Einfluss des Klimawandels (vgl. FutRisk1 und FutRisk2). Eine grosse Überlappung der Merkmalsvariation beider Populationen wird als kleines Risiko interpretiert, eine geringe oder gar fehlende Überlappung als grosses Risiko (Abb. 2). Die beiden Populationseffekte, die die Mittelwerte der Normalverteilungen bilden, werden mit den zuvor erwähnten ökologischen Modellen ermittelt und die Varianz wird durch die mittels Varianzanalyse abgeschätzte additive genetische Variation bestimmt (St.Clair & Howe 2007). Mit diesem Ansatz berechneten wir für die drei Baumarten folgende relativen Risiken für schlechte Anpassung: Das Risiko aufgrund des heute üblichen Saatguttransfers (TransRisk), aufgrund des potenziellen Klimaunterschieds zwischen der Periode 1931–1960 und 1981–2000 (CurrRisk) und aufgrund des zu erwartenden zukünftigen Klimawandels zwischen 1981–2000 und 2021–2050 (FutRisk1), resp. 1981–2000 und 2061–2090 (FutRisk2). Die Risiken wurden in einem Rasterdatensatz für jeden LFI Stichprobenpunkt berechnet, an dem die entsprechende Baumart laut LFI3 präsent ist. Die Werte wurden anschliessend pro Baumart, Klimaszenario (für FutRisk1 und FutRisk2) und Merkmal gemittelt. Zusätzlich wurden für Trait1 und Trait2 die Werte für FutRisk2 unter dem Klimamodell CLM als Karten dargestellt.



μ_1 und μ_2 = modellierte Populationseffekte
 Varianz = additive genetische Variation

* Heutige Population

* Für die Zukunft optimal angepasste Population

Abbildung 2. Berechnung des relativen Risikos für schlechte Anpassung. Die beiden Normalverteilungen repräsentieren die Verteilung eines adaptiven Merkmals in zwei Populationen unter unterschiedlichen Bedingungen, z.B. unter heutigem und zukünftigem Klima. Die Varianz der Verteilungen ist gegeben durch die additive genetische Variation innerhalb Populationen. Das relative Risiko als Wert zwischen 0 und 1 stellt den Anteil Nicht-Überlappung der Normalverteilung der heutigen Population dar, wenn diese mit der Normalverteilung einer künftigen optimal angepassten Population verglichen wird. Abbildung adaptiert nach St.Clair & Howe (2007).

3. Resultate

3.1. Unterschiedliche Populationsdifferenzierung je nach Merkmal & Baumart

Für alle drei Baumarten fanden wir quantitativ-genetische Variation in den untersuchten Wachstums- und Phänologiemerkmalen, sowohl innerhalb wie auch zwischen Populationen. Die genetischen Unterschiede zwischen Populationen, berechnet als Q_{st} -Werte (0 = Populationen sind genetisch identisch, 1 = Populationen sind genetisch komplett verschieden), waren dabei – je nach Merkmal und Baumart – unterschiedlich stark ausgeprägt (Abb. 3, Anhang 1 Abb. 11). Die Fichte und die Tanne zeigten ihre stärkste Differenzierung im Höhenwachstum, die Buche hingegen in der Phänologie.

Generell am stärksten differenziert war die Fichte mit Q_{st} -Werten von 0.46 bis 0.53 für die Höhe (H), den Höhenzuwachs (HIncr) und den Johannistrieb (SecFlush). Diese grossen Wachstumsunterschiede zwischen den Populationen im Jugendstadium deuten darauf hin, dass sich in der Schweiz über die Zeit unterschiedliche Genotypen der Fichte ausgebildet haben. Die Johannistriebbildung scheint dabei ein massgeblicher Faktor zu sein, fanden wir doch eine hohe genetische Korrelation zwischen Johannistriebbildung und Sämlingshöhe ($r_a = 0.82$; Frank 2016, Kap. 1).

Eine vergleichsweise tiefe Populationsdifferenzierung in allen erfassten Merkmalen zeigte die Tanne mit einem maximalen Q_{st} -Wert von 0.22 für die Sämlingshöhe (H). Diese Baumart weist also im Jugendstadium schweizweit ähnliche Phänotypen auf, d.h. sie besitzt – trotz Vorkommen in ähnlichen Habitaten wie die Fichte – deutlich geringere genetische Unterschiede zwischen Populationen als die Fichte.

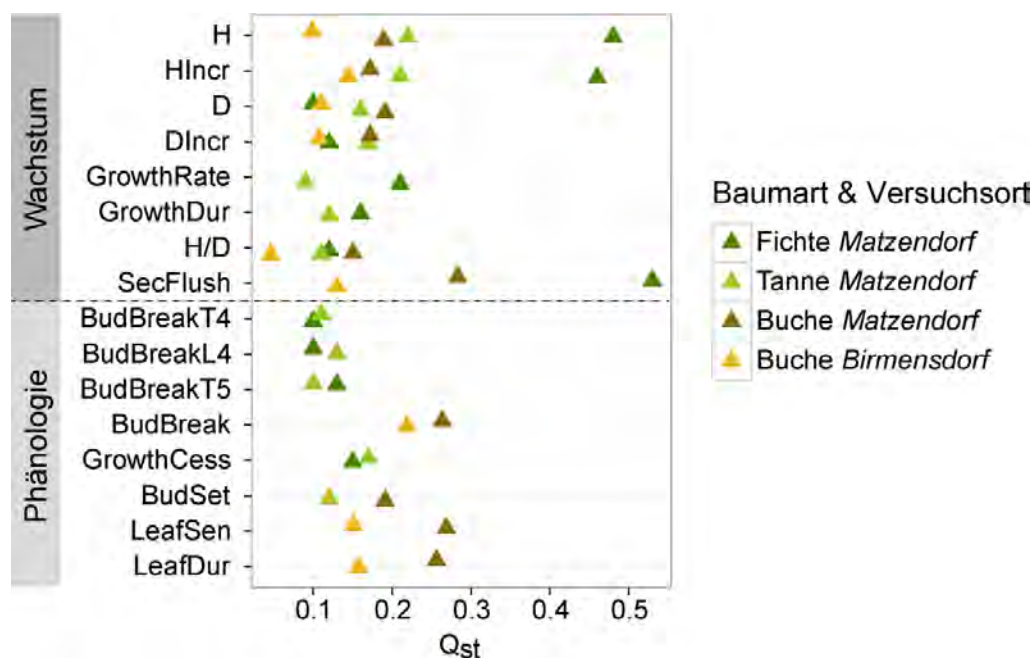


Abbildung 3. Quantitativ-genetische Differenzierung (Q_{st}) von 92 Fichten-, 90 Tannen- und 77 Buchenpopulationen aus der gesamten Schweiz. Q_{st} nimmt Werte an zwischen 0 (Populationen sind genetisch identisch) bis 1 (Populationen sind genetisch komplett verschieden). Die Wachstums- und Phänologiemerkmale (Tab. 2) wurden an vierjährigen Nachkommen der Fichten und Tannen resp. dreijährigen Nachkommen der Buchen erfasst. Alle drei Baumarten wurden am Versuchsort Matzendorf untersucht, Buche zusätzlich auch in Birmensdorf. Johannistriebe (SecFlush) bildeten nur die Fichte und Buche, bei der Tanne wurde kein zweiter Austrieb innerhalb einer Saison beobachtet.

Im Vergleich zur Fichte und zur Tanne zeigte die Buche einen mittleren Grad an Populationsdifferenzierung mit höchsten Q_{st} -Werten von 0.26–0.28 für das Blattalter, die Blattverfärbung und die Johannistriebbildung. Die Differenzierung war bei dieser Baumart generell höher in der Phänologie als im Wachstum, insb. in Knospenaufbruch, Blattverfärbung und Blattalter. Dabei traten die Populationsunterschiede in Matzendorf stärker hervor als in Birmensdorf, was sich in generell höheren Q_{st} -Werten in Matzendorf äusserte. Dies liegt vermutlich daran, dass der Versuchsort Matzendorf im Vergleich zu Birmensdorf die extremere Umwelt repräsentierte – deutlich trockener im Sommer und kälter im Winter (vgl. Frank et al. in Überarbeitung) – und damit die Populationsunterschiede bei der Buche stärker zum Vorschein brachte.

3.2. Merkmalsvariation teilweise mit dem Klima am Herkunftsort erklärbar

Die stärksten Korrelationen zwischen den Sämlingsmerkmalen und Umweltvariablen der Herkunftsorte, d.h. Populationsstandorte, fanden wir für die Fichte, insbesondere zwischen deren Wachstumsmerkmalen und verschiedenen Temperaturvariablen sowie der Höhenlage (ELEV; Tab. 4). Die Wasserverfügbarkeit konnte die Merkmalsvariation der Fichte nur zu einem geringen Teil erklären, auch wenn der Winterniederschlag (PRCwi) und die maximale Sommertrockenheitsdauer (DRYPsu) signifikant mit dem Höhenwachstum und dem Johannistrieb korrelierten, die minimale relative Luftfeuchte (RHmin) zusätzlich auch mit der Wachstumsdauer und -rate. Interessanterweise waren mehrere Merkmale signifikant mit dem Breitengrad (LAT) korreliert. Wir gehen davon aus, dass dieser Zusammenhang indirekt von der eigentlichen Korrelation der Merkmale mit ELEV kam; in der Schweiz nimmt die Höhe über Meer generell von Nord nach Süd zu, was zu einer Korrelation von LAT mit ELEV führte. Für die Tanne und die Buche fanden wir deutlich weniger signifikante Phänotyp-Umwelt-Korrelationen als für die Fichte (Tab. 4). Die stärksten Zusammenhänge waren für die Tanne jene zwischen Wachstumsvariablen und der Höhenlage, der täglichen Temperaturamplitude im Frühjahr (DTAsp), DRYPsu und RHmin. Auch hier fanden wir einen starken Zusammenhang von LAT und ELEV, was zu signifikanten Korrelationen zwischen Wachstumsmerkmalen und LAT führte. Für die Buche waren die Phänotyp-Umwelt-Korrelationen ausgeprägter in Matzendorf als in Birmensdorf. Die stärksten Zusammenhänge fanden sich am Versuchsort Matzendorf zwischen dem Schlankheitsgrad, der Blattverfärbung und dem Johannistrieb mit ELEV und verschiedenen Temperaturparametern.

Der Zusammenhang von Populationsvariation und Höhenlage der Samenherkünfte, d.h. deren Temperaturregime, wurde separat anhand einfacher linearer Regressionen für die Populationseffekte am Versuchsort Matzendorf geprüft (Abb. 4). Es zeigte sich ein signifikanter negativer Zusammenhang zwischen Höhenlage und Höhenzuwachs für alle drei Baumarten – sehr deutlich für die Fichte ($R^2 = 0.60$), weniger deutlich für die Tanne ($R^2 = 0.26$) und die Buche ($R^2 = 0.10$). Hochlagenfichten wachsen demnach in der Jugend deutlich langsamer als Fichten von Tieflagenstandorten, auch wenn sie in derselben Umwelt wachsen, weshalb dieses Phänomen genetisch gesteuert sein muss. Die Beziehung zwischen terminalem Knospenaufbruch und der Höhenlage war hingegen nur für die Buche signifikant ($R^2 = 0.15$).

Tabelle 4. Korrelationen von Populationseffekten und Umweltparameter für 92 Fichten-, 90 Tannen- und 77 Buchenpopulationen. Signifikante Korrelationen ($P_{\text{Bonf}} < 0.05$) sind kursiv, hoch signifikante Korrelationen ($P_{\text{Bonf}} < 0.001$) fett kursiv hervorgehoben. Ein Farbgradient von Hellgrau ($r = |0.20| - |0.39|$) zu Grau ($r = |0.40| - |0.59|$), Dunkelgrau ($r = |0.60| - |0.79|$) und sehr dunklem Grau ($r \geq |0.80|$) unterstützt das Lesen. Die Merkmale und Umweltvariablen sind beschrieben in Tab. 2 und 3.

Umweltvariablen		Generelle Standortfaktoren					Boden			Temperatur					Wasserverfügbarkeit					Strahlung				
Merkmale	LAT	LONG	ELEV	SLOPE	ASP	CLAY	C/N	pH	AWC	MAT	MTwarm	MTcold	MTsp	DTasp	MATvar	CONT	PRcan	PRcsu	PRcwi	PRCPTveg	DRYpsu	RHmin	SWBmin	RADveg
Fichte Matzendorf																								
H	0.42	-0.18	-0.78	-0.30	0.11	0.40	-0.22	0.03	0.16	0.74	0.76	0.62	0.76	0.61	-0.25	0.46	-0.27	-0.08	-0.47	-0.25	0.42	0.63	-0.11	-0.10
Hincr	0.44	-0.15	-0.77	-0.31	0.11	0.40	-0.24	0.03	0.16	0.72	0.74	0.60	0.75	0.63	-0.23	0.47	-0.27	-0.08	-0.48	-0.25	0.43	0.62	-0.10	-0.10
D	0.00	-0.02	-0.19	0.09	0.12	0.13	0.01	0.06	-0.01	0.23	0.25	0.21	0.24	0.14	-0.07	0.12	-0.04	0.00	-0.11	-0.06	0.07	0.15	-0.07	-0.18
Dincr	0.04	-0.09	-0.36	0.09	0.17	0.23	-0.07	0.08	0.03	0.41	0.43	0.37	0.42	0.28	-0.09	0.21	-0.20	-0.12	-0.28	-0.22	0.15	0.26	-0.21	-0.21
GrowthRate	0.28	-0.08	-0.58	-0.14	0.12	0.30	-0.14	0.01	0.11	0.56	0.58	0.46	0.58	0.51	-0.20	0.40	-0.18	-0.04	-0.35	-0.17	0.27	0.42	-0.10	-0.16
GrowthDur	0.59	0.02	-0.62	-0.32	0.19	0.27	-0.22	0.00	0.13	0.50	0.53	0.40	0.54	0.42	-0.23	0.40	-0.14	0.06	-0.31	-0.11	0.38	0.59	0.02	-0.05
H/D	0.32	-0.14	-0.55	-0.29	0.05	0.20	-0.18	-0.03	0.26	0.48	0.49	0.41	0.50	0.46	-0.15	0.31	-0.18	-0.07	-0.30	-0.17	0.34	0.39	-0.03	0.00
SecFlush	0.31	-0.24	-0.80	-0.25	0.01	0.41	-0.16	0.14	0.13	0.79	0.80	0.69	0.81	0.59	-0.26	0.38	-0.31	-0.15	-0.47	-0.32	0.43	0.59	-0.24	-0.23
BudBreakT4	-0.44	-0.16	0.10	0.24	-0.21	-0.01	0.12	0.16	-0.10	-0.01	-0.02	0.05	-0.03	-0.14	-0.04	-0.24	0.07	-0.04	0.12	0.02	-0.22	-0.15	-0.08	-0.19
BudBreakL4	-0.38	-0.13	0.10	0.18	-0.20	0.02	0.13	0.16	-0.13	-0.03	-0.05	0.02	-0.05	-0.10	-0.07	-0.22	0.15	0.04	0.17	0.10	-0.25	-0.15	0.00	-0.10
BudBreakT5	-0.31	-0.22	-0.09	0.17	-0.19	0.12	0.06	0.21	-0.12	0.18	0.16	0.21	0.16	0.00	-0.13	-0.14	0.06	-0.01	0.06	0.00	-0.13	-0.01	-0.10	-0.21
GrowthCess	-0.07	-0.11	-0.30	-0.02	-0.14	0.22	0.00	0.13	-0.05	0.30	0.31	0.28	0.31	0.16	-0.26	0.07	-0.01	0.03	-0.11	-0.03	-0.05	0.22	-0.07	-0.14
Tanne Matzendorf																								
H	0.63	-0.16	-0.49	-0.34	0.02	0.34	-0.28	0.07	-0.09	0.37	0.39	0.28	0.39	0.47	0.10	0.30	-0.25	-0.14	-0.25	-0.17	0.53	0.47	0.01	0.21
Hincr	0.64	-0.15	-0.51	-0.34	0.02	0.34	-0.30	0.06	-0.08	0.37	0.39	0.27	0.40	0.49	0.08	0.31	-0.24	-0.12	-0.26	-0.15	0.52	0.48	0.05	0.22
D	0.49	-0.11	-0.22	-0.19	-0.01	0.36	-0.30	0.16	-0.10	0.10	0.11	0.05	0.11	0.32	0.16	0.17	-0.01	0.03	0.02	0.05	0.38	0.28	0.22	0.28
Dincr	0.53	-0.16	-0.39	-0.28	0.02	0.38	-0.26	0.09	-0.05	0.25	0.27	0.18	0.27	0.43	0.01	0.24	-0.10	0.00	-0.13	-0.01	0.45	0.43	0.20	0.30
GrowthRate	0.43	0.03	-0.25	-0.17	0.02	0.17	-0.17	0.02	-0.08	0.13	0.16	0.06	0.16	0.31	0.03	0.23	0.01	0.09	-0.06	0.07	0.20	0.22	0.21	0.18
GrowthDur	0.17	-0.14	-0.14	-0.11	-0.15	0.23	-0.05	0.17	-0.05	0.15	0.16	0.14	0.15	0.00	0.26	0.07	-0.40	-0.41	-0.28	-0.39	0.38	0.17	-0.31	0.07
H/D	-0.30	0.05	0.04	0.06	0.01	-0.26	0.20	-0.14	0.05	0.07	0.06	0.08	0.07	-0.16	-0.14	-0.05	-0.13	-0.13	-0.16	-0.18	-0.21	-0.13	-0.33	-0.25
BudBreakT4	-0.01	0.13	-0.03	0.00	0.06	-0.07	-0.12	-0.19	0.19	-0.03	-0.02	-0.06	-0.01	0.13	-0.31	0.04	0.33	0.38	0.17	0.35	-0.28	-0.01	0.38	-0.08
BudBreakL4	-0.16	0.10	0.09	0.12	0.06	-0.11	-0.03	-0.19	0.13	-0.06	-0.05	-0.04	-0.05	0.03	-0.31	-0.09	0.27	0.31	0.15	0.27	-0.38	-0.01	0.29	-0.06
BudBreakT5	-0.03	0.06	0.07	-0.02	0.19	0.01	-0.18	-0.11	-0.05	-0.10	-0.09	-0.11	-0.09	0.07	-0.28	0.02	0.31	0.34	0.21	0.33	-0.18	-0.03	0.29	0.01
GrowthCess	0.21	-0.04	-0.37	-0.17	-0.02	0.15	-0.27	-0.07	0.18	0.34	0.36	0.26	0.37	0.21	-0.21	0.20	-0.24	-0.16	-0.32	-0.22	0.15	0.27	-0.13	-0.09
Buche Matzendorf																								
H	-0.17	0.16	-0.24	0.09	-0.23	-0.13	-0.08	-0.08	0.10	0.29	0.29	0.26	0.30	-0.11	-0.10	0.13	-0.20	-0.10	-0.30	-0.26	-0.19	-0.02	-0.29	-0.32
Hincr	-0.16	0.15	-0.31	0.10	-0.27	-0.07	-0.12	0.01	0.05	0.37	0.37	0.36	0.37	-0.08	-0.14	0.09	-0.25	-0.15	-0.35	-0.33	-0.17	-0.01	-0.33	-0.30
D	-0.25	0.21	0.23	0.21	-0.25	-0.15	0.04	0.02	0.01	-0.22	-0.20	-0.24	-0.19	-0.29	-0.08	0.00	0.17	0.21	0.12	0.12	-0.41	-0.37	-0.06	0.03
Dincr	-0.13	0.30	-0.06	0.16	-0.29	-0.17	-0.08	0.09	-0.08	0.10	0.12	0.06	0.13	-0.21	-0.07	0.12	-0.05	0.05	-0.15	-0.12	-0.29	-0.24	-0.25	-0.09
H/D	0.14	0.06	-0.58	-0.09	0.02	0.04	-0.18	0.07	0.00	0.60	0.58	0.58	0.59	0.21	-0.06	0.15	-0.41	-0.31	-0.50	-0.45	0.21	0.31	-0.30	-0.34
SecFlush	0.00	0.10	-0.40	-0.04	-0.20	-0.24	0.04	-0.16	0.01	0.43	0.41	0.43	0.42	-0.08	0.11	0.08	-0.21	-0.16	-0.35	-0.25	0.14	0.10	-0.32	-0.18
BudBreak	0.00	0.26	-0.38	-0.06	-0.04	0.02	-0.15	0.12	0.21	0.39	0.41	0.29	0.43	0.11	0.07	0.37	-0.34	-0.19	-0.40	-0.43	-0.17	0.01	-0.30	-0.40
BudSet	0.19	0.19	-0.17	-0.13	0.24	0.21	-0.10	-0.05	0.30	0.11	0.13	0.01	0.15	0.22	-0.04	0.33	-0.15	0.00	-0.14	-0.15	-0.17	0.13	0.13	-0.15
LeafSen	0.05	0.11	-0.53	-0.04	-0.16	-0.17	-0.11	-0.04	0.06	0.58	0.57	0.59	0.57	0.05	-0.10	0.08	-0.27	-0.20	-0.44	-0.33	0.16	0.19	-0.26	-0.33
LeafDur	0.12	-0.01	-0.37	-0.01	-0.17	-0.16	-0.02	-0.08	-0.06	0.40	0.39	0.46	0.38	0.05	0.00	-0.06	-0.11	-0.09	-0.26	-0.11	0.33	0.21	-0.12	-0.08
Buche Birmsendorf																								
H	-0.33	-0.01	0.27	0.36	-0.02	-0.17	0.01	0.03	-0.05	-0.20	-0.21	-0.12	-0.22	-0.32	-0.12	-0.28	0.16	0.11	0.19	0.12	-0.30	-0.22	-0.01	-0.06
Hincr	-0.29	0.05	0.26	0.38	-0.03	-0.09	0.01	0.11	-0.11	-0.18	-0.19	-0.12	-0.20	-0.27	-0.06	-0.22	0.11	0.09	0.17	0.05	-0.35	-0.25	-0.07	-0.09
D	-0.36	-0.08	0.45	0.32	-0.10	-0.04	0.03	0.09	-0.17	-0.37	-0.38	-0.30	-0.38	-0.34	-0.08	-0.30	0.21	0.12	0.30	0.17	-0.31	-0.34	-0.03	0.11
Dincr	-0.16	-0.12	0.23	0.21	0.00	0.04	-0.02	0.12	-0.19	-0.16	-0.17	-0.09	-0.18	-0.14	-0.01	-0.23	0.05	-0.03	0.14	0.04	-0.05	-0.08	-0.08	0.06
H/D	0.03	0.10	-0.26	0.18	0.07	-0.10	-0.02	0.01	0.08	0.28	0.29	0.29	0.27	0.04	0.02	0.06	-0.17	-0.10	-0.21	-0.21	-0.01	0.16	-0.10	-0.27
SecFlush	0.00	-0.10	-0.34	0.00	0.06	-0.05	-0.10	0.05	0.09	0.39	0.38	0.41	0.36	0.03	0.11	0.01	-0.30	-0.31	-0.34	-0.31	0.26	0.19	-0.29	-0.09
BudBreak	-0.03	0.25	-0.34	0.02	-0.02	-0.10	-0.08	0.02	0.27	0.34	0.35	0.23	0.37	0.05	-0.04	0.35	-0.31	-0.16	-0.37	-0.39	-0.20	-0.03	-0.23	-0.38
BudSet	0.13	0.23	-0.33	-0.25	0.18	0.00	0.03	-0.28	0.25	-0.12	-0.13	-0.20	-0.08	0.13	-0.06	0.20	0.09	0.19	0.03	0.13	-0.25	0.07	0.32	-0.16
LeafSen	-0.04	0.08	-0.37	0.07	-0.04	-0.07	-0.09	-0.03	-0.08	0.47	0.45	0.49	0.45	-0.02	0.09	0.04	-0.26	-0.18	-0.40	-0.31	0.08	0.11	-0.34	-0.23
LeafDur	-0.01	-0.22	0.11	0.08	-0.05	0.00	0.03	-0.01	-0.28	-0.06	-0.08	0.07	-0.10	-0.05	0.00	-0.39	0.16	0.06	0.16	0.21	0.23	0.14	0.07	0.22

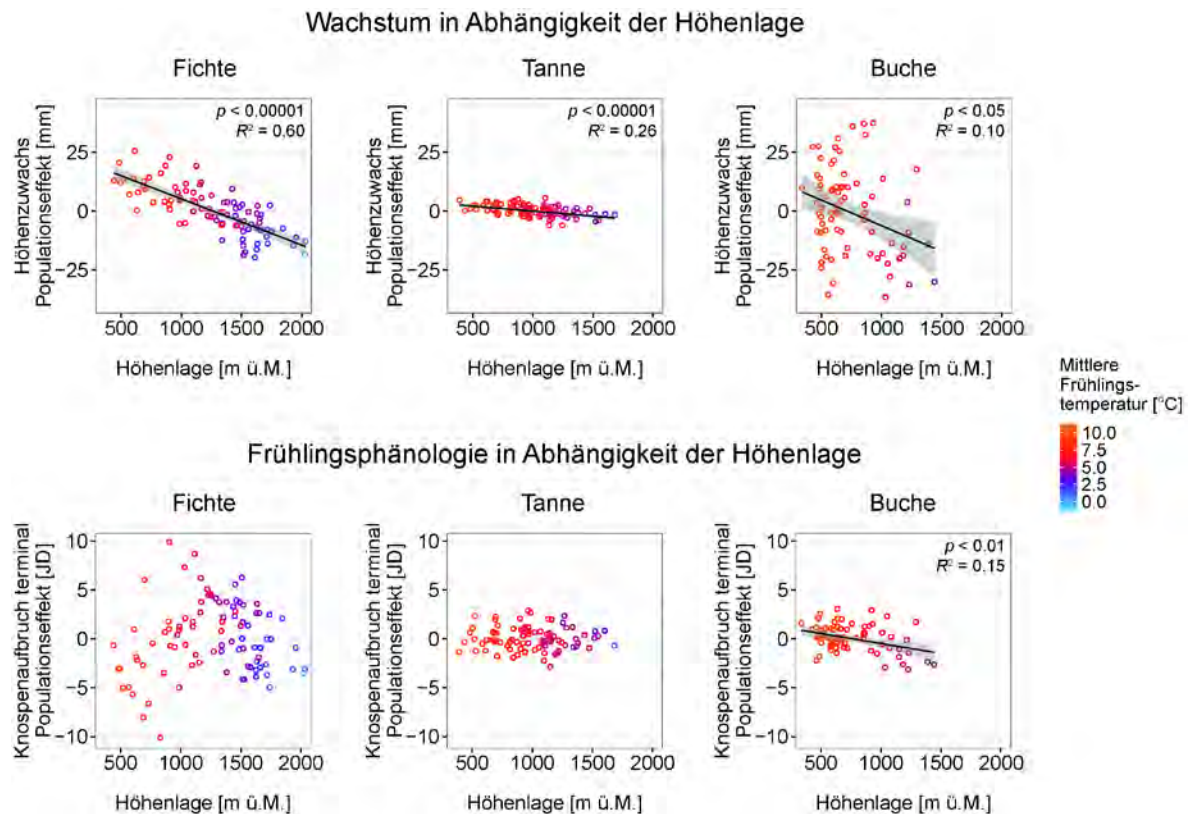


Abbildung 4. Zwei Beispiele von Baumarten-spezifischen Zusammenhängen der Populationsvariation im jährlichen Höhenzuwachs (Wachstumsmerkmal) und im Knospenaufbruch (Phänologiemerkmal) mit der Höhenlage bzw. Temperatur von 77–92 Herkunftstandorten (je nach Baumart). Gemessen wurden vierjährige Fichten und Tannen sowie dreijährige Buchen, die im Versuchsgarten Matzendorf während 2013 (Fichte und Tanne) und 2014 (Buche) untersucht wurden. P -Werte und R^2 geben die Güte der signifikanten linearen Modelle an, JD (Julian Day) den Tag des Jahres ab 1. Januar. Der Populationseffekt stellt die Abweichung des Populationenwertes vom Modellmittelwert dar, wobei ein positiver Wert für einen überdurchschnittlichen Phänotyp, negative Werte für einen unterdurchschnittlichen stehen (Werte sind um 0 gruppiert).

Tabelle 5. Multivariate genökologische Klima-Modelle für Fichte, Tanne am Versuchsort Matzendorf, für Buche an den Versuchsorten Matzendorf und Birmensdorf. Alle Modelle sind hoch signifikant ($P_{\text{Bonf}} < 0.01$). Kürzel für Merkmale und Klimavariablen sind in Tab. 2 und 3 erklärt. R^2_{adj} gibt die Güte der Modelle wieder.

Merkm.	R^2_{adj}	Modell
Fichte Matzendorf		
H	0.68	$Y = -88.4 + 4.425 \text{ MTwarm} + 0.007 \text{ CONT}^2 + 0.032 \text{ SWBmin}$
BudBreakT4	0.21	$Y = -67.82 + 10.069 \text{ MTwarm} - 0.334 \text{ MTwarm}^2 - 0.002 \text{ CONT}^2$
GrowthCess	0.36	$Y = -64.22 + 7.938 \text{ MTwarm} - 0.243 \text{ MTwarm}^2 + 0.00001 \text{ PRCwi}^2$
Trait1	0.39	$Y = 14.32 - 1.785 \text{ MTwarm} + 0.054 \text{ MTwarm}^2$
Trait2	0.36	$Y = 5.38 - 1.009 \text{ MTwarm} + 0.037 \text{ MTwarm}^2 + 0.00045 \text{ CONT}^2$
Tanne Matzendorf		
H	0.46	$Y = -146.33 + 3.898 \text{ CONT} - 0.029 \text{ CONT}^2 - 0.000023 \text{ PRCsu}^2 + 0.037 \text{ PRCwi} + 0.005 \text{ RHmin} + 0.000075 \text{ SWBmin}$
BudBreakT4	0.24	$Y = 55.11 - 0.12 \text{ CONT} + 0.013 \text{ PRCsu} + 0.04 \text{ PRCwi} - 0.000091 \text{ PRCwi}^2 - 2.186 \text{ RHmin} + 0.021 \text{ RHmin}^2$
GrowthCess	0.14	$Y = -0.71 + 0.099 \text{ MTsp} + 0.000014 \text{ SWBmin}^2$
Trait1	0.37	$Y = -23.79 + 0.662 \text{ CONT} - 0.005 \text{ CONT}^2 - 0.0000032 \text{ PRCsu}^2 + 0.006 \text{ PRCwi} + 0.001 \text{ RHmin}^2$
Trait2	0.26	$Y = 17.03 - 0.036 \text{ CONT} + 0.004 \text{ PRCsu} + 0.014 \text{ PRCwi} - 0.000031 \text{ PRCwi}^2 - 0.685 \text{ RHmin} + 0.006 \text{ RHmin}^2$
Buche Matzendorf		
H	0.27	$Y = -1115.11 - 0.557 \text{ PRCsu} + 0.001 \text{ PRCsu}^2 - 0.001 \text{ PRCwi}^2 + 47.572 \text{ RHmin} - 0.454 \text{ RHmin}^2 + 0.001 \text{ SWBmin}^2$
BudBreak	0.34	$Y = -63.8 + 0.75 \text{ MTsp} + 0.097 \text{ CONT} + 2.119 \text{ RHmin} - 0.021 \text{ RHmin}^2 + 0.000085 \text{ SWBmin}^2$
LeafSen	0.47	$Y = 167.46 + 9.328 \text{ MTsp} - 0.503 \text{ MTsp}^2 - 6.305 \text{ CONT} + 0.054 \text{ CONT}^2 - 0.112 \text{ PRCwi} + 0.00023 \text{ PRCwi}^2 - 0.201 \text{ RHmin}$
Trait1	0.39	$Y = -18.22 + 0.158 \text{ MTsp} - 0.00032 \text{ CONT}^2 + 0.000002 \text{ PRCsu} - 0.005 \text{ PRCwi} + 0.765 \text{ RHmin} - 0.008 \text{ RHmin}^2 + 0.000026 \text{ SWBmin}$
Trait2	0.17	$Y = -2.46 - 0.01 \text{ MTsp}^2 + 0.054 \text{ CONT}$
Buche Birmensdorf		
H	0.20	$Y = 76.52 - 1.475 \text{ CONT} + 0.001 \text{ SWBmin}^2$
BudBreak	0.27	$Y = -9.90 + 3.164 \text{ MTsp} - 0.165 \text{ MTsp}^2 - 0.002 \text{ RHmin}^2 + 0.00008 \text{ SWBmin}^2$
LeafSen	0.35	$Y = 7.52 + 0.397 \text{ MTsp} - 0.102 \text{ CONT} - 0.02 \text{ PRCwi} + 0.00003 \text{ PRCwi}^2 - 0.042 \text{ RHmin} + 0.00003 \text{ SWBmin}^2$
Trait1	0.12	$Y = 0.51 - 0.00017 \text{ CONT}^2 + 0.00001 \text{ SWBmin}^2$
Trait2	0.24	$Y = 12.56 - 0.388 \text{ MTsp} + 0.024 \text{ MTsp}^2 - 0.0003 \text{ CONT}^2 - 0.405 \text{ RHmin} + 0.004 \text{ RHmin}^2 - 0.00001$

Die multivariaten genökologischen Modelle (Tab. 5) zeigten für die drei Baumarten ein ähnliches Muster wie die oben beschriebenen einzelnen Merkmals-Umwelt-Assoziationen: Die Modelle waren generell besser für die Fichte (R^2_{adj} bis zu 0.68) als für Tanne und Buche. Für Fichte und Tanne waren die Modelle für Wachstumsmerkmale stärker als jene für die Phänologie, repräsentiert bspw. durch Sämlingshöhe (H) vs. Knospenaufbruch (BudBreakT4) und Wachstumsstopp (GrowthCess). Für die Buche waren hingegen die Modelle für Knospenaufbruch (BudBreak) und Blattverfärbung (LeafSen), also für phänologische Merkmale, stärker als für H (repräsentativ für das Wachstum). Wie bei den einzelnen Korrelationen waren auch die genökologischen Modelle für Buche am Versuchsort Matzendorf stärker, d.h. wiesen höhere Werte auf für R^2_{adj} , als in Birmensdorf. Bei der Fichte waren zur Erklärung der Merkmalsvariation primär Temperaturvariablen ausschlaggebend, bei der Tanne und Buche jedoch sowohl Temperatur- wie auch Wasserverfügbarkeitsvariablen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die in dieser Studie präsentierten genökologischen Modelle (Tab. 4, Abb. 4, Tab. 5) für alle drei Arten einen Zusammenhang zwischen der genetischen Variation zwischen Populationen und dem lokalen Klima zeigten. Die untersuchten physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften der Populationsstandorte trugen jedoch kaum zur Modellverbesserung bei. Basierend auf unseren Resultaten identifizieren wir Höhenwachstumsmerkmale als adaptiv für Fichte und Tanne, die Johannistriebbildung als adaptiv für Fichte und Buche, und die vegetative Knospen- und Blattphänologie als adaptiv für die Buche. Bei der Fichte scheint primär die Temperatur als selektiver Faktor an der beobachteten Populationsdifferenzierung beteiligt gewesen zu sein, während bei Tanne und Buche offenbar auch die Wasserverfügbarkeit ein wichtiger selektiver Faktor ist.

3.3. Evaluation der für die Risikoabschätzung verwendeten Klimavariablen und deren Veränderungen über die Zeit

Zwischen den beiden Perioden 1931–1960 (Vergangenheit) und 1981–2000 (heute) zeigten die sieben in der Risikoabschätzung verwendeten Klimavariablen im Mittel über die gesamte Schweizer Waldfläche nur geringe Veränderungen (Abb. 5). Am stärksten veränderten sich die Kontinentalität (CONT; durchschnittlicher Rückgang um 4.2°C) und die minimale relative Luftfeuchte im Juli und August (RHmin; durchschnittliche Zunahme um 4.3%). Die drei für die Modellierung des künftigen Klimas verwendeten Modelle zeigten – wiederum gemittelt über die gesamte Schweizer Waldfläche – nur geringe Änderungen zwischen heute und der Periode 2021–2050 (nahe Zukunft), allerdings eine erhebliche Erwärmung und erhöhte Trockenheit bis zur Periode 2061–2090 (ferne Zukunft) in allen Variablen ausser Winterniederschlag. Die mittlere Temperatur des wärmsten Monats (MTwarm), zum Beispiel, zeigte als Durchschnitt über alle drei Klimamodelle (CLM, RCA und RegCM3) eine Zunahme um 1°C bis 2021–2050, aber eine Zunahme um 4°C bis 2061–2090. Für den Sommerniederschlag (PRCsu) zeigten die Klimamodelle im Mittel einen Rückgang um 31 mm bis 2021–2050, und einen Rückgang um 96 mm bis 2061–2090. Von den drei verwendeten Klimamodellen zeigte das Modell CLM generell die stärksten Klimaveränderungen. Diese bis Mitte des 21. Jahrhunderts moderate, bis 2090 dann deutlich stärkeren prognostizierten Klimaveränderungen decken sich mit anderen etablierten Szenarien der künftigen Klimaänderung in der Schweiz (CH2011).

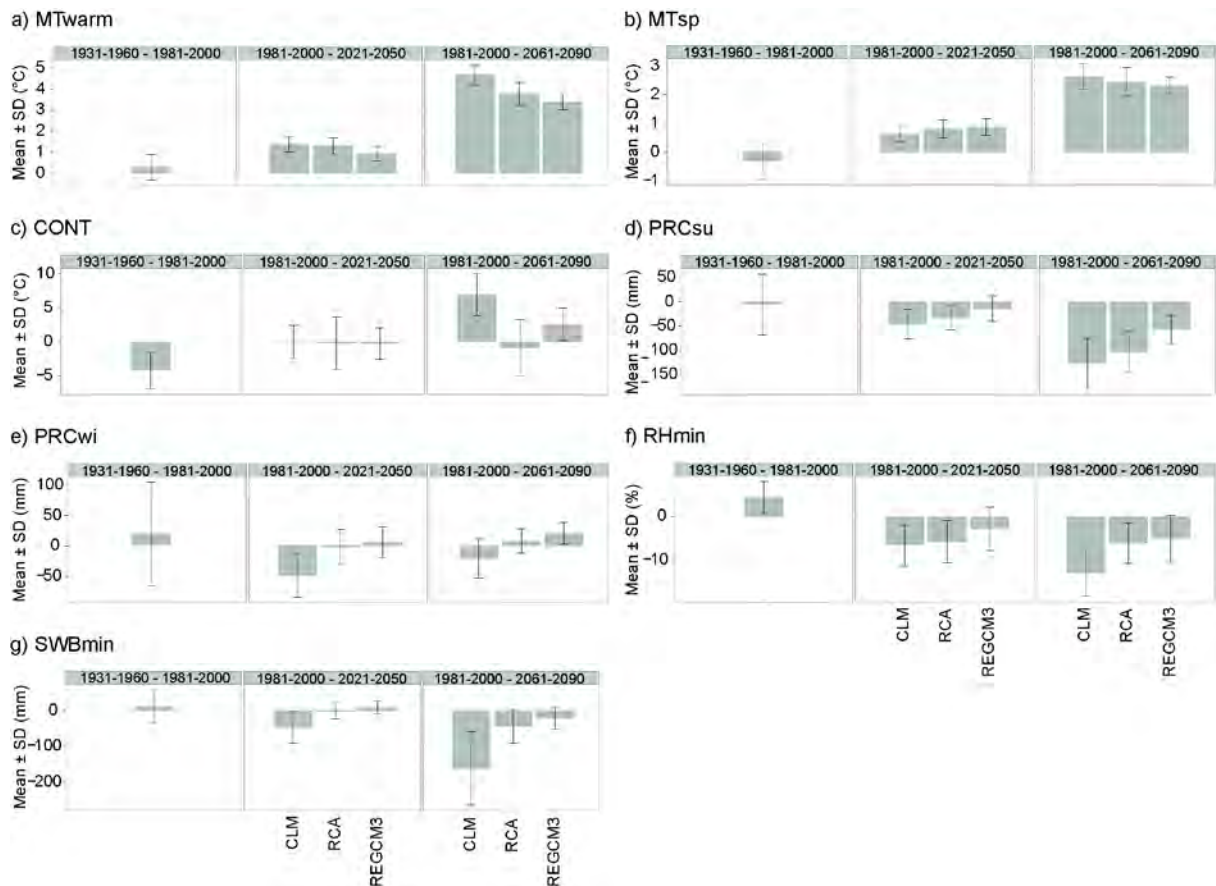


Abbildung 5. Vergangene und zukünftige Klimaveränderungen für die Variablen a) MTwarm, b) MTsp, c) CONT, d) PRCsu, e) PRCwi, f) RHmin und g) SWBmin (Tab. 3) berechnet für die Schweizer Waldfläche. Die vergangenen Veränderungen vergleichen mittlere gemessene Werte für 1931–1960 mit 1981–2000. Die zukünftigen Veränderungen vergleichen mittlere gemessene Werte für 1981–2000 mit mittleren projizierten Werten für 2021–2050 und 2061–2090. Die Klimaprojektionen basieren auf dem IPCC A1B Szenario, dem generellen Zirkulationsmodell ECHAM5 und den drei regionalen Klimamodellen CLM, RCA und RegCM3.

3.4. Relatives Risiko schlechter Anpassung an den Klimawandel – «relative risk of maladaptation»

Um das relative Risiko einer Baumart für schlechte Anpassung an den erwarteten Klimawandel einschätzen zu können, verwendeten wir als Vergleichswert das relative Risiko für schlechte Anpassung, das heute bereits durch den Transfer von forstlichem Vermehrungsgut entsteht (TransRisk). Dabei gingen wir davon aus, dass für diesen Transfer innerhalb der Schweiz dieselben Grundsätze angewandt werden, wie sie für das Mischen von Saatgut in der *Schweizerischen Verordnung über forstliches Vermehrungsgut* definiert sind: Transfer nur innerhalb einer Forstregion² und innerhalb definierter Höhenbänder (EDI 1994, Frank 2016, Kap. 3). Dieses Risiko wird in der heutigen Forstpraxis als akzeptabel betrachtet und betrug im Durchschnitt 0.07 für Fichte, Tanne und Buche in Birmensdorf resp. 0.12 für Buche

²Die Produktions- (*sensu* LFI) bzw. Forstregionen (*sensu* BFS) haben sich über die Zeit laufend leicht verändert, tlw. nach unklaren Kriterien. Für die vorliegende Arbeit haben wir anstelle von Forstregionen (gem. Verordnung) die biogeografischen Regionen nach Gonseth et al. (2001) verwendet. Diese wurden auf Wunsch des BUWAL nach einem rein statistischen Gliederungsansatz auf der Basis von floristischen und faunistischen Verbreitungsmustern ausgeschieden und auf die Gemeindegrenzen aggregiert. Die biogeografischen Regionen sind die seit 2001 vorgegebene Basis für alle gesamtschweizerischen Projekte im Bereich Naturschutz. Im Groben sind die verschiedenen regionalen Einteilungen aber durchaus vergleichbar.

in Matzendorf (Abb. 6). Als weiteren Vergleichswert verwendeten wir das potenzielle Risiko schlechter Anpassung, das auf der zwischen den Perioden 1931–1960 und 1981–2000 bereits erlebten Klimaveränderung beruht (CurrRisk). Diese Werte lagen pro Baumart durchschnittlich zwischen 0.07 (Fichte) und 0.25 (Buche in Matzendorf). Sie waren konstant tief für alle Merkmale der Fichte (0.04–0.11), während für einige Merkmale der Tanne und Buche auch höhere Werte resultierten (>0.25). Allerdings lagen auch diese Werte noch innerhalb des in den USA akzeptierten Risikos von ≤ 0.3 (z.B. Sorensen 1994).

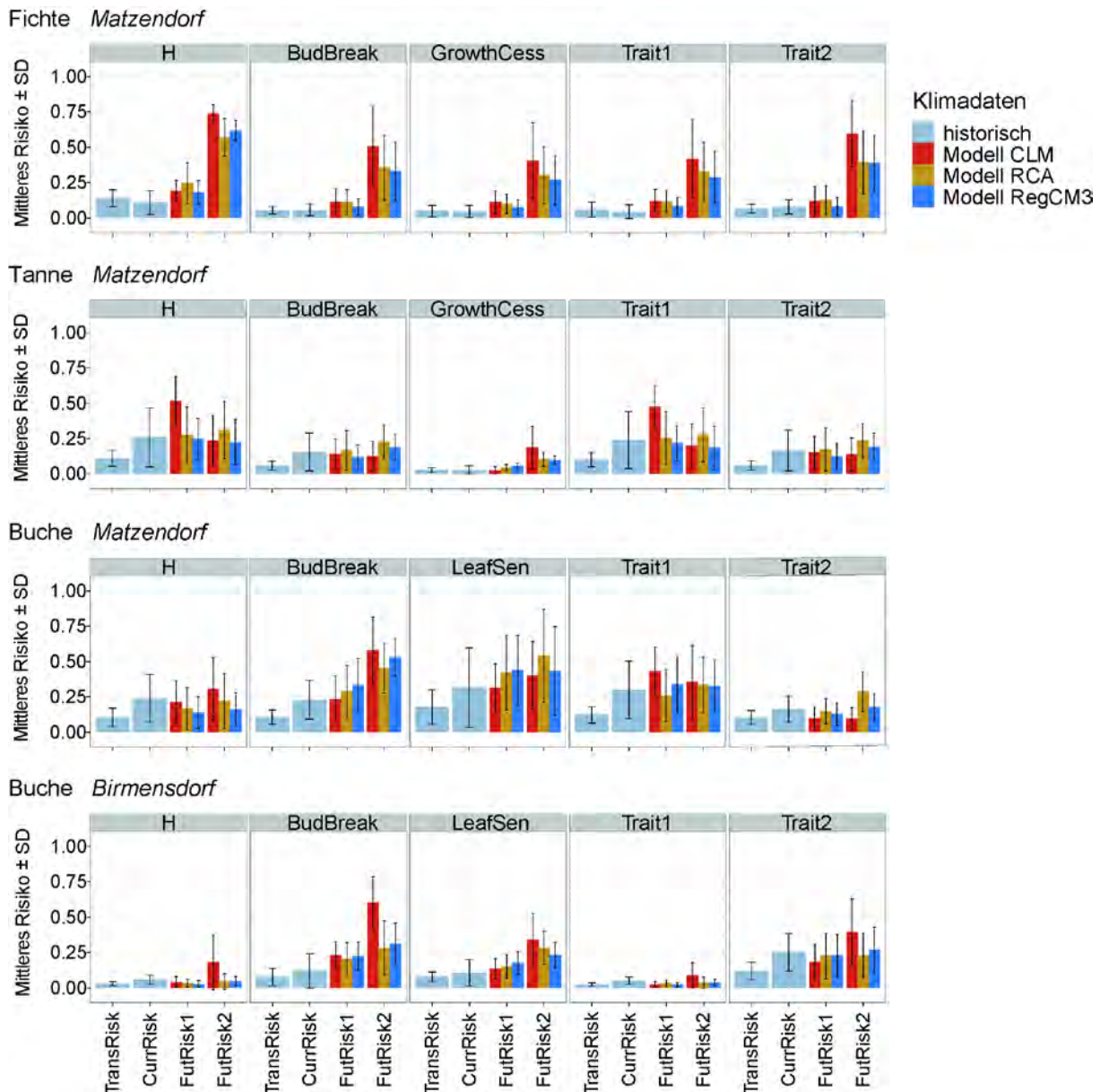


Abbildung 6. Relatives Risiko für schlechte Anpassung für Fichte, Tanne und Buche. Balken repräsentieren mittlere Risiken \pm Standardabweichung (SD) aufgrund des heute üblichen Saatguttransfers (TransRisk), vergangenen Klimawandels zwischen 1931–1960 und 1981–2000 (CurrRisk) und zukünftigen Klimawandels zwischen 1981–2000 und 2021–2050 (FutRisk1), resp. 1981–2000 und 2061–2090 (FutRisk2). Das vergangene und gegenwärtige Klima basiert auf gemessenen, historischen Daten; das zukünftige Klima wurde modelliert basierend auf dem IPCC A1B Szenario, dem generellen Zirkulationsmodell ECHAM5 und den drei regionalen Klimamodellen CLM, RCA und RegCM3.

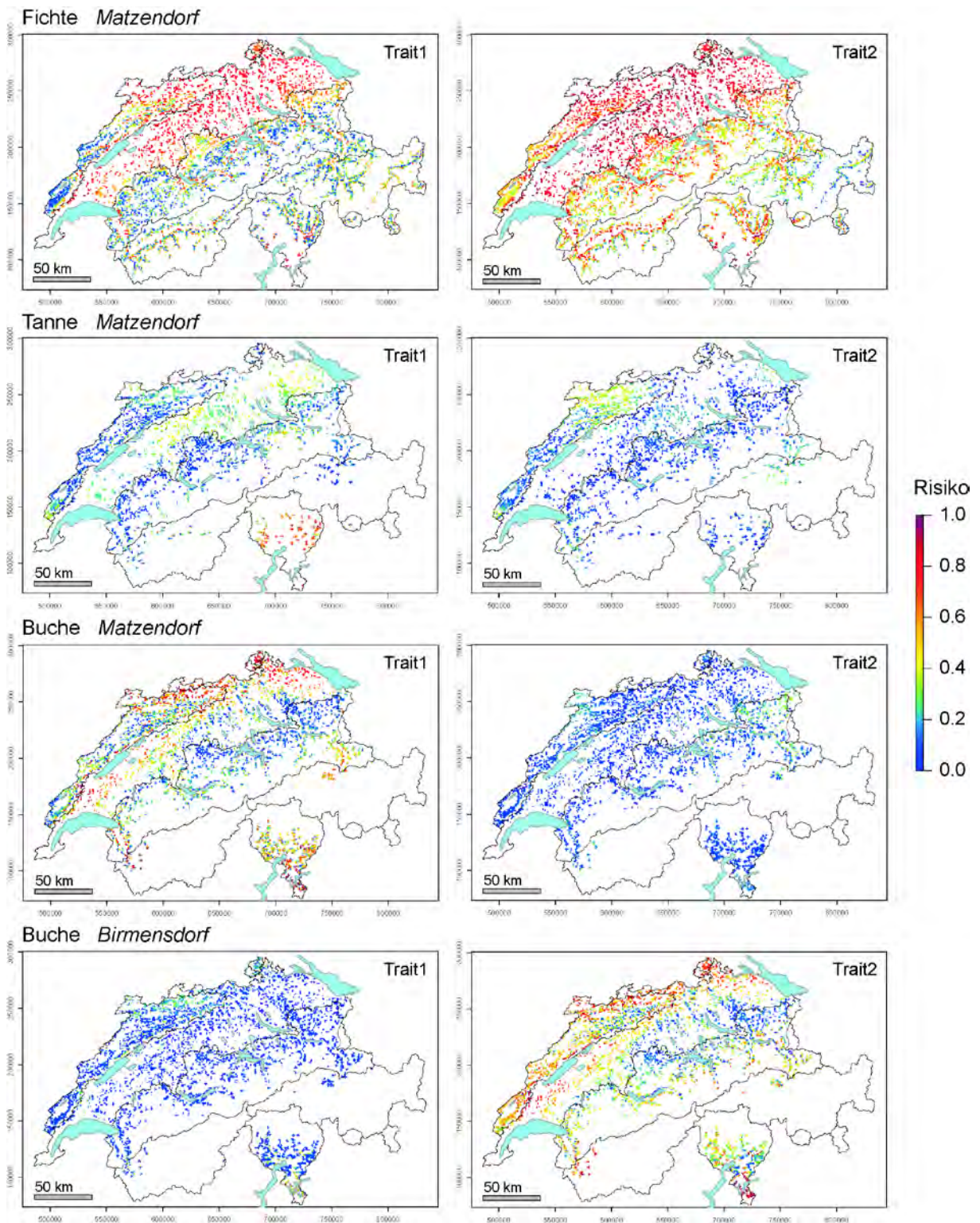


Abbildung 7. Zukünftige relative Risiken für schlechte Anpassung an den Klimawandel für Fichte, Tanne und Buche zwischen 1981–2000 und 2061–2090 (FutRisk2) für den gesamten Sämlingsphänotyp (Trait1 und Trait2) als Merkmal, basierend auf dem IPCC A1B Szenario, dem generellen Zirkulationsmodell ECHAM5 und dem regionalen Klimamodell CLM. Graue Linien sind die Grenzen der 6 biogeografischen Regionen der Schweiz nach Gonseth et al. (2001). Zur korrekten Interpretation sollten immer Trait1 und Trait2 gemeinsam betrachtet werden.

Gemittelt über die gesamte Schweizer Waldfläche zeigten unsere Risikoberechnungen für die Periode zwischen 1981–2000 und 2021–2050 für alle Baumarten und die meisten Klimamodelle ein vergleichbar geringes Risiko (FutRisk1; Abb. 6). Das Risiko schlechter Anpassung liegt somit bis in die nahe Zukunft im Rahmen, wie dies bereits mit TransRisk und CurrRisk in Kauf genommen wird (Ausnahme: Ausreisser in FutRisk1 für Tanne unter dem CLM-Klimamodell bedingt durch den starken prognostizierten Rückgang im Winterniederschlag, Abb. 5). Das Risiko steigt jedoch für die Periode zwischen 1981–2000 und 2061–2090 insbesondere für die Fichte und Buche markant an (FutRisk2). Dieser Anstieg war am stärksten für die Fichte mit Risikowerten, die fünf- bis achtmal so hoch waren wie TransRisk und als höchsten Mittelwert über die drei Klimamodelle 0.64 für die Sämlingshöhe (H) aufwiesen. Die höchsten erwarteten Risiken für schlechte Anpassung an den Klimawandel ergeben sich bis zum Ende des Jahrhunderts (zwischen 1981–2000 und 2061–2090) unter dem drastischsten Klimamodell CLM. Allerdings variierte die Höhe des Risikos – berechnet für die Sämlingsphänotypen (Trait1 und Trait2) – nicht nur zwischen Baumarten, sondern auch zwischen Regionen (Abb. 7). Sehr hohe Risiken fanden wir für die Fichte im Mittelland und generell in den Tieflagen, für die Tanne im Tessin und für die Buche in mehreren Regionen, die bereits heute zu den trockensten Gebieten der Schweiz gehören (inneralpine Täler, Teile der Nord- und Westschweiz sowie des Tessins).

3.5. Viele Samenerntebestände liegen in Gebieten mit erhöhtem Risiko schlechter Anpassung

Der Nationale Kataster der Samenerntebestände (NKS) bildet die Grundlage für die Gewinnung von Saatgut zur künstlichen Verjüngung von Schweizer Waldbaumpopulationen (BAFU 2013). Die Bestände des NKS waren ursprünglich hinsichtlich Autochthonie und forstwirtschaftlichen Qualitäten ausgewählt worden (EDI 1994, Sperisen et al. 2016), nicht aber hinsichtlich ihrer Eignung im Klimawandel. Es stellt sich also die Frage, ob die heute verwendeten NKS-Samenerntebestände sich für die Verwendung unter lokal veränderten Klimabedingungen (wärmeres, trockeneres Klima) eignen werden. Diese Studie erlaubt es, generelle Herausforderungen hinsichtlich Verwendung der NKS-Bestände aufzuzeigen, liefert jedoch keine detaillierte Risikoabschätzung für einzelne Bestände. Dazu ist die räumliche Auflösung der verwendeten Umweltvariablen zu schwach (interpoliert auf LFI-Raster).

Die Darstellungen der NKS-Bestände auf den Risikokarten für die Schweizer Waldfläche – exemplarisch erstellt für das kombinierte Sämlingsmerkmal Trait1 (Abb. 8 und im Anhang 1 Abb. 12 und 13) – zeigen, dass sowohl für Fichte wie auch für Buche mehrere NKS-Bestände an Orten mit hohem Risiko liegen (rote Flächen). Diese Bestände könnten in Zukunft aufgrund unzureichender Anpassung in ihrer Vitalität reduziert werden, in ihrer Reproduktion gestört und langfristig schwierig zu erhalten sein.

3.6. Heutige Samenerntebestände liefern nur bedingt genetisch angepasstes Vermehrungsgut für Gebiete mit hohem Risiko

Zudem scheinen die heutigen NKS-Bestände für Gebiete mit hohem Risiko nicht das Pflanzenmaterial zu liefern, das dort unter dem zukünftigen Klima optimal angepasst wäre. Wir leiten diese Aussage ab vom Vergleich der modellierten Populationseffekte für heute (1981–2000) mit denjenigen für 2061–2090 unter dem Klimamodell CLM (Abb. 9). Um in Regionen mit hohem Risiko für schlechte Anpassung (zum Beispiel Ort Y, lokalisiert in einem roten Gebiet in Abb. 7 und 8) besser angepasstes Saatgut einzusetzen, müssten NKS-

Bestände gefunden werden, die heute einen ähnlichen Phänotyp zeigen wie künftig im gefährdeten Gebiet (Ort Y). Suchen wir also auf der Karte der modellierten Populationseffekte (Abb. 9) NKS-Bestände, die heute denselben Phänotyp (gleiche Farbe) aufweisen wie am Ort Y in Zukunft, d.h. auf der Karte rot eingezeichnet sind. Solche NKS-Bestände finden wir aber nicht. Es gibt allerdings potentielle Populationen im Tessin, die den gesuchten (roten) Phänotyp aufweisen, aber (noch) nicht im NKS erfasst sind.

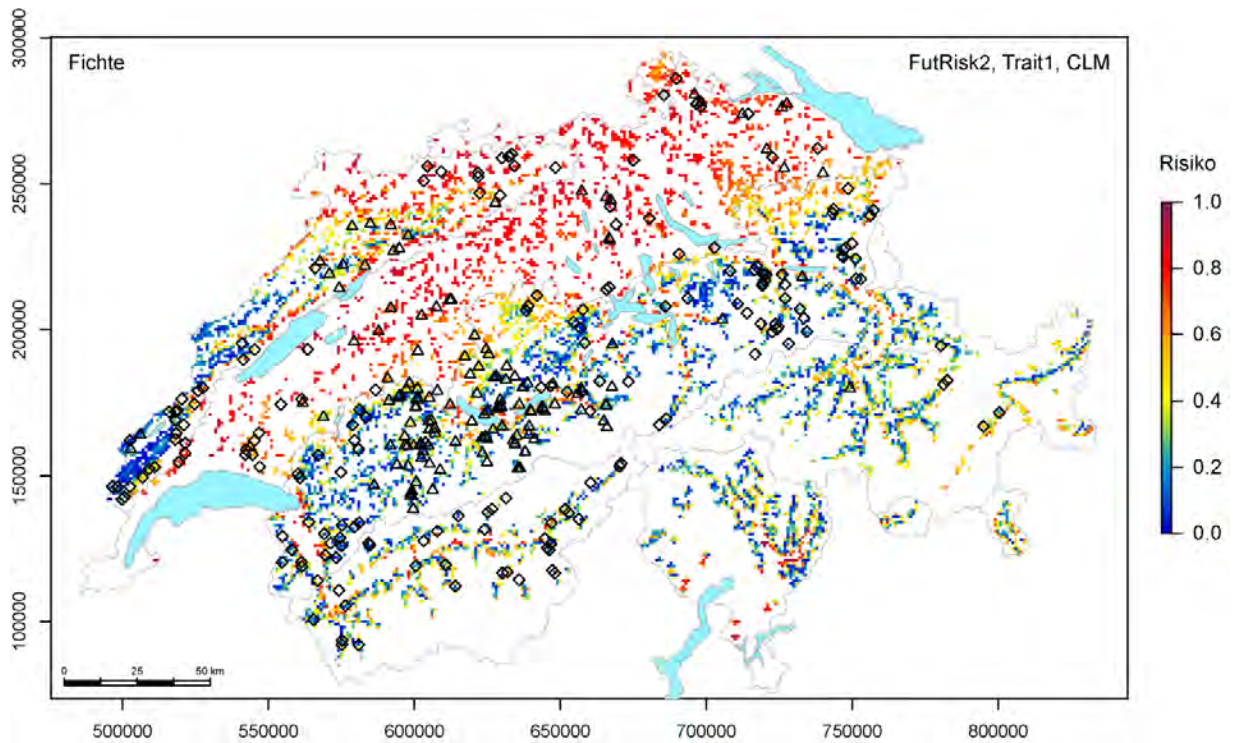


Abbildung 8. NKS-Bestände der Fichte (Dreiecke: ausgewählte Samenerntebestände, Rhomben: quellengesicherte Samenerntebestände) und zukünftige Risiken für schlechte Anpassung an den Klimawandel zwischen 1981–2000 und 2061–2090 (FutRisk2) in Trait1 für die Fichte basierend auf dem IPCC A1B Szenario, dem generellen Zirkulationsmodell ECHAM5 und dem regionalen Klimamodell CLM.

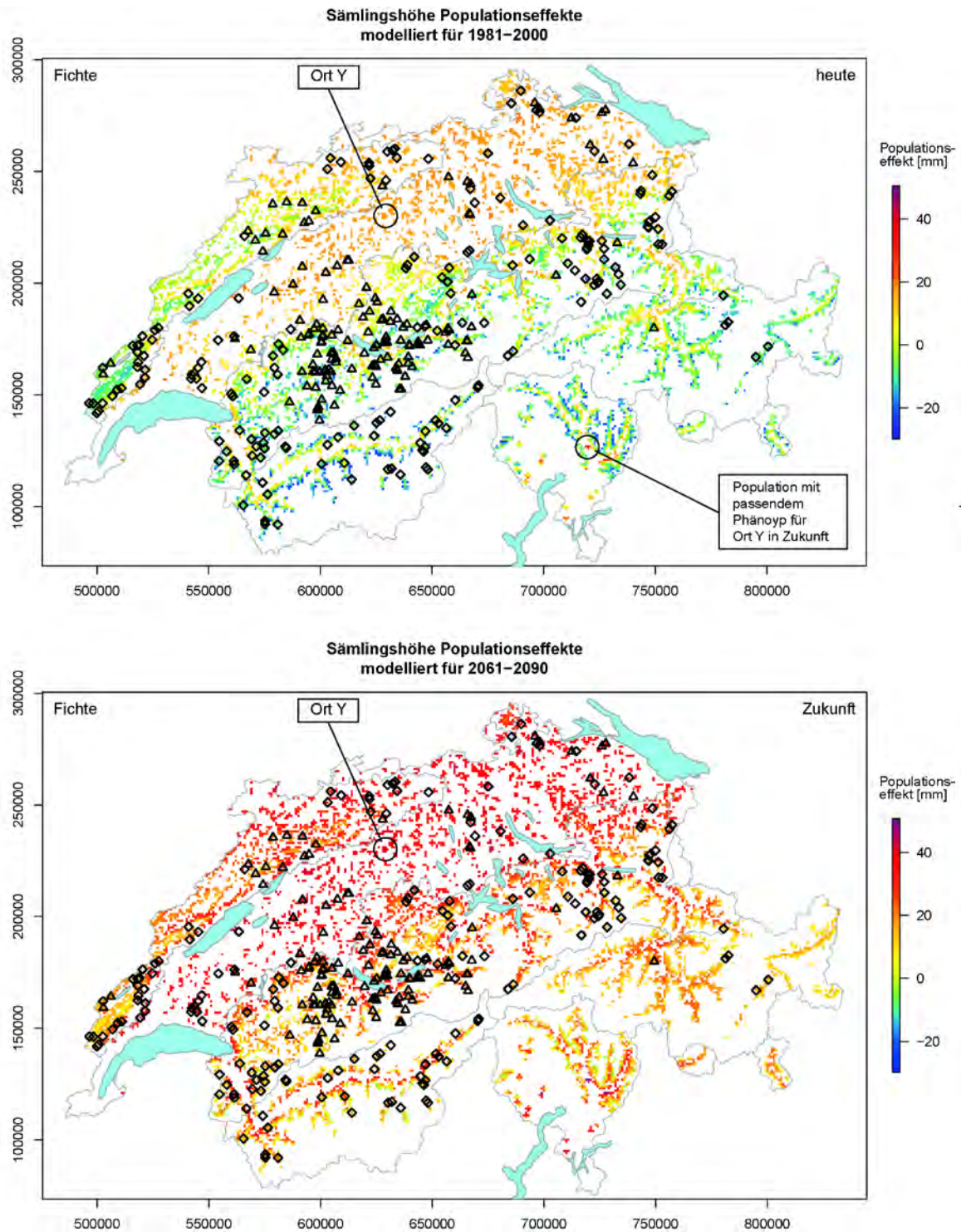


Abbildung 9. Beispiel für die Suche nach passendem Saatgut aus NKS-Beständen für die Beimischung in Beständen mit hohem Risiko für schlechte Anpassung. Die Grafik zeigt die Populationseffekte für die Sämlingshöhe der Fichte modelliert für heute (1981–2000) und für die ferne Zukunft (2061–2090) unter dem Klimamodell CLM. Die NKS-Bestände sind als Dreiecke (ausgewählte Bestände) und Rhomben (quellengesicherte Bestände) eingezeichnet. Passendes Saatgut für den Ort Y würden NKS-Bestände liefern, die heute denselben Phänotyp, d.h. die gleiche Farbe aufweisen wie der Ort Y in Zukunft (rot). Solche NKS-Bestände gibt es heute jedoch nicht, allerdings einige passende (d.h. rote) nicht-NKS-Bestände im Tessin.

3.7. Saatguttransfer entlang Höhengradient

Die Fichte zeigte in ihrem Wachstum eine starke Abhängigkeit von der Höhenlage bzw. vom Temperaturregime ihrer Herkunftsorte. Entsprechend könnte sich der Saatguttransfer entlang von Höhengradienten hangaufwärts für diese Baumart als geeignetes Mittel erweisen, um lokale Bestände mit dem Klimawandel Schritt halten zu lassen. Soll an einem bestimmten Standort für die Klimaerwärmung vorgesorgt werden, könnten Jungpflanzen oder Saatgut aus tieferen Lagen in höheren Lagen verwendet werden. Abbildung 10 zeigt die gemessenen und modellierten Populationseffekte für die Sämlingshöhe heute (schwarze und blaue Punkte), sowie die modellierten Effekte für die Sämlingshöhe in Zukunft (orange: 2021–2050; rot: 2061–2090) unter dem extremsten Klimamodell CLM in Abhängigkeit der Höhenlage der Samenherkünfte. Einerseits lesen wir aus dieser Abbildung, dass unser genökologisches Modell die Populationseffekte für dieses Merkmal gut wiedergibt, da sich hell- und dunkelbaue Punkte weitgehend überlappen. Andererseits können wir den für eine zukünftig optimal angepasste Population nötigen Höhentransfer ablesen. Beispielsweise werden gemäss unserem Modell an einen Standort auf 1500 m ü.M. zum Ende des Jahrhunderts (2061–2090) optimal angepasste Sämlinge einen Populationseffekt von rund 13 mm aufweisen. Populationen mit dieser Eigenschaft findet man heute auf rund 650 m ü.M. Der Transfer von Pflanzenmaterial hangaufwärts um mehrere hundert Meter – hier im Beispiel um 800 m – ist aber auch mit dem Risiko von vermehrten Frostschäden behaftet. Es ist zurzeit nicht klar, welcher Höhentransfer maximal tolerierbar ist. Geht man von der Verordnung über forstliches Vermehrungsgut aus (EDI 1994), so wird beim Mischen von Saatgut ein Höhentransfer von ± 200 m toleriert an Standorten unterhalb 1200 m ü.M., resp. von ± 100 m an Standorten auf 1200 m ü.M. und höher. Der im Beispiel berechnete Höhentransfer um 800 m wäre somit weit ausserhalb des aktuell zulässigen Bereichs. Eine weitere Herausforderung ergibt sich an tief gelegenen Standorten. Für diese Orte finden sich in der Schweiz keine geeigneten Bestände mehr, da keine tiefer gelegenen Wälder vorhanden sind. Für Tieflagenherkünfte müssten also andere Lösungen gefunden werden, z.B. der weitgehende Verzicht auf die risikoreiche Baumart Fichte oder die Verwendung von Herkünften aus tiefer gelegenen Gebieten in Deutschland oder Österreich, falls vorhanden. Hierzu sind weiterführende Studien notwendig.

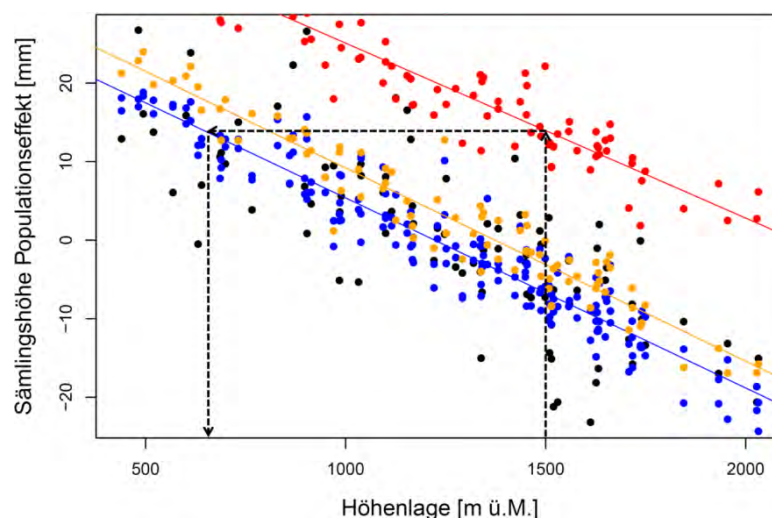


Abbildung 10. Sämlingshöhe der Fichte in Abhängigkeit der Höhenlage für 92 Populationen. Die dargestellten Populationseffekte wurden aus gemessenen Werten ermittelt (schwarz), basierend auf dem Klima 1931–1960 modelliert (blau) sowie für das unter dem regionalen Klimamodell CLM erwarteten Klima 2021–2050 (orange) und 2061–2090 (rot) modelliert. Die Pfeile zeigen, dass man für einen Standort auf 1500 m ü.M. für die Zukunft (2061–2090) optimal angepasstes Pflanzenmaterial heute auf ca. 650 m ü.M. findet.

4. Diskussion

Das Projekt ADAPT stellt die erste systematische Untersuchung adaptiver quantitativ-genetischer Variation bei den drei Schweizer Hauptbaumarten – Fichte, Tanne und Buche – dar. Die Resultate tragen nicht nur zu einem besseren Verständnis der Genökologie der drei Baumarten bei, sondern auch zur Abschätzung ihrer genetischen Anfälligkeit gegenüber den erwarteten Klimaveränderungen. Die Ergebnisse dieser Studie bilden somit eine Grundlage zur Entwicklung waldbaulicher Strategien, welche die Klimafitness unserer Wälder erhöhen sollen, indem die artspezifische und regional unterschiedliche Angepasstheit der drei Hauptbaumarten an das zukünftige Klima bei Bewirtschaftungsentscheiden mitberücksichtigt wird.

4.1. Fichte, Tanne und Buche unterscheiden sich in ihren Anpassungsstrategien

Die Resultate dieses Projektes weisen bei allen drei Baumarten auf lokale Anpassung hin, wobei sich die Stärke der Populationsdifferenzierung und der genökologischen Modelle zwischen den Arten deutlich unterschied, wie dies auch bei anderen Baumarten beobachtet wurde (zusammengefasst in Alberto et al. (2013) und Bussotti et al. (2015)). Die grössten Populationsunterschiede wurden bei der Fichte gefunden, dies beim Höhenwachstum und der Ausbildung des Johannistriebs. Phänologische Merkmale waren vergleichsweise schwach differenziert. Bei der Tanne zeigten sowohl Wachstumsmerkmale wie auch phänologische Merkmale eine relativ tiefe Populationsdifferenzierung. Bei der Buche wurden die grössten Populationsunterschiede bei phänologischen Merkmalen identifiziert. Trotz dieser Unterschiede waren bei allen drei Baumarten die Differenzierungswerte der gemessenen Merkmale (Q_{st} -Werte) deutlich höher als diejenigen von neutralen genetischen Markern (F_{st} -Werte; Finkeldey et al. 2000 und Pluess et al. 2016b), ein Resultat, welches stark auf natürliche Selektion hinweist (siehe Frank 2016, Kap. 1 & 2). Die genökologischen Modelle waren für die Fichte generell besser als für die Tanne und die Buche.

Aus der Stärke der Populationsdifferenzierung und der genökologischen Modelle schliessen wir, dass die Fichte ein «adaptiver Spezialist» ist (vgl. Rehfeldt 1994). Die Tanne, mit ihren schwachen Differenzierungswerten und Phänotyp-Umwelt-Beziehungen, kann als «adaptiver Generalist» bezeichnet werden. Die Buche nimmt im Vergleich dazu eine intermediäre Stellung ein. Für Fichte und Tanne wies bereits Engler (1905) auf Unterschiede in deren Sämlingswachstum hin. Er spekulierte über lokale genetische Anpassung bei der Fichte und Abwesenheit solcher Anpassung bei der Tanne. Die Resultate unserer Studie unterstützen diese Hypothese und ermöglichen Einblicke in die genetische Basis der Ökologie der drei untersuchten Baumarten.

Die Buche und Tanne sind typische schattentolerante Baumarten. Auch die Fichte gilt als schattentolerant, kann aber nach Störungen in Bestandeslücken die Lichtverhältnisse nutzen und dort rasch aufkommen (Ellenberg 2009). Ein schnelles Höhenwachstum der Jungpflanzen, wie wir es in unserer Studie beobachtet haben, ist dabei gegenüber anderen Baumarten vorteilhaft. Allerdings wird dieses kompetitive Wachstum an kalten Standorten durch Frostereignisse limitiert, d.h. nur Jungpflanzen mit einem optimal auf den Standort abgestimmten Wachstumszyklus werden überleben und es besteht ein «trade-off» zwischen einer langen Wachstumsperiode und dem Vermeiden von Frostschäden. Die Fähigkeit zur Johannistriebbildung und das damit verbundene kompetitive Höhenwachstum, bei gleichzeitiger Abstimmung des Wachstumszyklus an die lokalen Temperaturverhältnisse, muss also bei der Fichte zu einer starken Populationsdifferenzierung geführt haben, wobei

Johannistriebe und ein starkes Höhenwachstum vor allem bei Fichten aus tiefen Lagen beobachtet wurden. Inwieweit diese Merkmale auch bei adulten Bäumen ausgeprägt sind, ist nicht klar. Ökologisch entscheidend dürfte das schnelle Höhenwachstum aber ohnehin vor allem in der Jugendphase – von An-/Aufwuchs bis ins Stangenholz – sein.

Die Tanne ist im Vergleich zur Fichte durch ein eher langsames Jugendwachstum charakterisiert und bildet keine Johannistriebe. Ausserdem zeigte sie einen deutlich kürzeren Wachstumszyklus: Die jungen Tannen trieben zwar leicht früher aus, stoppten ihr Wachstum aber auch deutlich früher als die Fichten. Die Tanne zeigt jedoch – anders als die Fichte – nur geringe Differenzierung im Höhenwachstum, was auf einen geringeren (genetischen) Selektionsdruck in diesem Merkmal hinweist. Als typische Schattenbaumart sind offenbar andere Eigenschaften als das Höhenwachstum für das Überleben entscheidender. Es ist unklar, ob die Wachstumsunterschiede der Tanne mit dem Alter der Bäume doch noch zunehmen könnten, denn diese zeigen erst ab einem Alter von sieben bis zehn Jahren ein beschleunigtes Wachstum (Engler 1905).

Im Vergleich zu den beiden Nadelbaumarten zeigte die Buche im Knospenaufbruch eine relativ hohe Populationsdifferenzierung, und dies an beiden Versuchsorten. Knospenaufbruch scheint somit für Buche ein wichtiges Merkmal zu sein. Möglicherweise ist die vergleichsweise hohe Differenzierung charakteristisch für Laubbaumarten und könnte mit einer erhöhten (Frost)Empfindlichkeit der jungen Laubbaumtriebe bzw. der frisch aufgebrochenen Knospen zusammenhängen. Wie die Fichte besitzt auch die Buche die Fähigkeit, Johannistriebe zu bilden, allerdings zeigt sie eine deutlich geringere Populationsdifferenzierung in diesem Merkmal an beiden Versuchsorten. Die Johannistriebbildung unterliegt somit bei der Buche einer schwächeren diversifizierenden Selektion als bei der Fichte. Interessanterweise zeigt dieses Merkmal an den zwei Versuchsorten eine sehr unterschiedlich starke Populationsdifferenzierung, was auf phänotypische Plastizität schliessen lässt (d.h. die Merkmalsausprägung wird durch die Umwelt mitbestimmt). Während die Populationsdifferenzierung der Johannistriebbildung am Versuchsort Matzendorf hoch war, waren die Werte in Birmensdorf relativ tief und vergleichbar mit anderen Wachstums- und Phänologiemerkmalen. Offenbar tragen die extremeren Umweltbedingungen am marginaleren Versuchsort zu einer stärker sichtbaren Differenzierung in diesem Merkmal bei.

4.2. Unterschiedliche Risiken schlechter Anpassung an den Klimawandel

Die relativen Risiken schlechter Anpassung für heute, d.h. für den Vergleich des Klimas zwischen 1931–1960 und 1981–2000, waren bei allen drei Baumarten ähnlich tief wie die Risiken, die durch aktuell praktizierten Saatguttransfer innerhalb biogeografischer Regionen und Höhenbändern entstehen. Bis zur Periode 2021–2050 blieb das Risiko schlechter Anpassung bei allen drei Baumarten relativ gering, d.h. heutige Populationen aller drei Baumarten scheinen an das Klima der *näheren* Zukunft ausreichend angepasst zu sein. Für die Fichte und Buche stieg das Risiko mit allen drei Klimamodellen bis 2061–2090 stark an, während es für die Tanne konstant tief blieb. Fichte und Buche scheinen also in der *fernen* Zukunft z.T. einem hohen Risiko für schlechte Anpassung ausgesetzt zu sein. Die höchsten Risiken traten beim Höhenwachstum der Fichte und der Phänologie der Buche auf. Besonders hohe Risiken wurden für Fichten an tiefgelegenen Standorten und für Buchen in bereits heute trockenen Gebieten aufgezeigt. Für die Tanne wurde einzig im Tessin für die Periode 2061–2090 ein erhöhtes Risiko identifiziert, dies vermutlich bedingt durch den in

den Modellen prognostizierten starken Rückgang im Sommerniederschlag in den südlichen Alpen.

Der generelle Anstieg im relativen Risiko für schlechte Anpassung an den erwarteten Klimawandel gegen Ende des Jahrhunderts für die Fichte und die Buche machen deutlich, dass diese Baumarten – je nach Höhenlage und Region – in Zukunft unter unzureichender genetischer Anpassung leiden könnten (Abb. 6 & 7). Die für die Tanne konstant tiefen Risikowerte von heute bis in die ferne Zukunft in den meisten Regionen zeigen hingegen, dass diese Baumart in Zukunft unter dem Klimawandel vermutlich weniger stark von lokal unzureichender genetischer Anpassung betroffen sein wird. Die Tanne könnte also möglicherweise in den Tieflagen, wo die Fichte besonders gefährdet erscheint, künftig als Ersatzbaumart für die Fichte dienen. Dies würde jedoch voraussetzen, dass standörtliche Gegebenheiten und der Verbissdruck durch Schalenwild das Aufkommen einer vitalen und ausreichenden Tannenverjüngung zulassen, was aktuell mancherorts nicht der Fall ist.

4.3. Limitierungen

In unserer Studie haben wir Sämlinge verschiedener Herkunft während ein bis zwei Jahren in einem Feldexperiment beobachtet. Die Untersuchung von Sämlingen, also jungen Bäumen, erlaubte es uns, deutlich mehr Herkunft zu verwenden, zahlreichere Merkmale zu erfassen, und dies in höherer Präzision, als wenn wir mit adulten Bäumen gearbeitet hätten. Allerdings ist nur schlecht untersucht, inwieweit sich die Merkmalsausprägung im Laufe der Entwicklung eines Baumindividuums verändert. Die verfügbare Information weist darauf hin, dass sich bestimmte Merkmale tatsächlich mit dem Baumalter verändern können. Engler (1905) beschreibt beispielsweise ein zunehmendes Höhenwachstum der Tanne ab 7 bis 10 Jahren. Unserer Methode zielte allerdings nicht primär darauf ab, die Merkmale *per se* zu untersuchen, sondern genetische Unterschiede zwischen Herkunft und deren Korrelationen mit der Umwelt am Herkunftsort zu identifizieren. Die so gefundenen Muster adaptiver genetischer Variation verändern sich nicht mit der Zeit, auch wenn mit dem Alter eines Baumes andere Merkmale massgebend werden. Zudem ist das Sämlingsstadium eine sehr sensitive Phase im Leben eines Baumes, während der – wie auch im Keimlingsstadium – die natürliche Selektion am stärksten wirkt. Daher eignen sich Sämlinge gut, um Fragen der Walderhaltung zu untersuchen. Schlüsse auf Merkmale wie Holzqualität oder Wuchsform der adulten Bäume sind basierend auf unseren Sämlingsmerkmalen selbstredend nicht möglich.

Um die Ausprägung eines Merkmals eines bestimmten Genotyps zu erfassen, wird in genökologischen Studien von Waldbäumen angestrebt, Merkmale über mehrere Jahre zu erfassen. Die Ausprägung eines quantitativen Merkmals wird sowohl durch genetische als auch durch Umweltfaktoren sowie deren Interaktion bestimmt ($P = G \times E$, wobei P = phänotypischer Wert, G = genotypischer Wert, E = Abweichung verursacht durch die Umwelt). In unserer Studie wurden das Wachstum und der Zeitpunkt des Knospenausbruchs bei Fichte und Tanne während zwei Jahren erfasst, was für einen Baum als kurze Beobachtungsdauer gelten darf. Die Ausprägung dieser Merkmale (die gefundenen Muster) war zwischen den Beobachtungsjahren allerdings sehr ähnlich, obschon das Wetter in diesen zwei Jahren einen sehr unterschiedlichen Verlauf nahm. Die Methode bzw. die gefundenen Variationsmuster kann deshalb als robust bezeichnet werden. Die hohe Korrelation der Variationsmuster für Fichte und Tanne zwischen den zwei Jahren erlaubte uns auch die Reduktion der Aufnahme der Buchenmerkmale auf ein Jahr.

Die in dieser Studie geschätzten Risiken schlechter Anpassung an den Klimawandel basieren auf ökologischen Modellen, für welche quantitative Merkmale an einem oder im Falle der Buche an zwei Versuchsorten erfasst wurden. Daraus wird klar, dass Aussagen über phänotypische Plastizität der Fichte und Tanne nicht möglich sind und für diejenige der Buche auch nur beschränkt Aussagen gemacht werden können (Frank et al. in Überarbeitung). Eine gut abgestützte Abschätzung der phänotypischen Plastizität bedingt mehrere Versuchsorte, idealerweise in einem reziproken Transplantationsdesign angeordnet. Bei der Buche weisen unsere Resultate deutlich auf phänotypische Plastizität hin und lassen vermuten, dass die beobachtete phänotypische Plastizität ebenfalls Selektion unterliegt (siehe Frank 2016, Kap. 2).

Unser Versuchsdesign schränkte auch Aussagen zur Vererbbarkeit der gemessenen Merkmale ein. Auch hier müssten die Merkmale idealerweise in verschiedenen Umwelten erfasst werden. Die Abschätzung der Vererbbarkeit von Merkmalen ist wichtig, da Selektion nur dann eine Wirkung ausüben kann, wenn die Merkmale auch genetisch determiniert sind und mit hoher Wahrscheinlichkeit an die nächste Generation weitergegeben werden. Unsere Resultate weisen darauf hin, dass die erfassten Merkmale unterschiedlich stark vererbt werden. Die Johannistriebbildung der Fichte beispielsweise zeigte eine vergleichsweise geringe Vererbbarkeit (s. Frank 2016, Kapitel 1 & 2).

Zudem wurde in unserer Studie nur eine beschränkte Anzahl von Merkmalen erfasst. Wertvoll zu untersuchen wären natürlich auch Merkmale, welche direkt mit der Reaktion auf Trockenheit assoziiert sind, wie zum Beispiel das Wurzel-Spross Verhältnis oder physiologische Parameter. Das primäre Ziel unserer Studie war eine möglichst genaue schweizweite Erfassung der genetischen Variation der drei Baumarten anhand relativ einfach messbarer Merkmale, um basierend darauf Arten und Regionen mit zukünftig erhöhtem Risiko schlechter Anpassung identifizieren zu können. Dafür waren die berücksichtigten Merkmale ausreichend. Auf die Erfassung zusätzlicher Merkmale wurde darum verzichtet.

Generell wird angenommen, dass sich Waldbäume aufgrund ihrer langen Lebensdauer und langen Generationszeit nur mit einer zeitlichen Verzögerung an das sich verändernde Klima anpassen können. Mathematische Modelle zeigen, dass bei einer sich kontinuierlich verändernden Umwelt das Risiko des Absterbens einer Population besonders dann hoch ist, wenn ein Minimum an Anpassung nicht mehr erreicht werden kann (Aitken et al. 2008). Die Anpassungsfähigkeit einer Population wird durch verschiedene genetische Parameter bestimmt, insbesondere durch die vorhandene genetische Variation und die Vererbbarkeit der Merkmale. Aber auch demographische Parameter bestimmen mit, ob sich eine Population schnell genug anpassen kann. Dazu gehören die Populationsgrösse und das Populationswachstum. Auf Bäume übersetzt bedeutet dies, dass vor allem kleine Populationen mit einer geringen genetischen Variation und einer spärlichen Verjüngung gefährdet sind. Unsere Resultate weisen darauf hin, dass für Fichte, Tanne und Buche die genetische Variation innerhalb Populationen in vielen Merkmalen relativ hoch ist, insbesondere in der Phänologie (siehe Frank 2016, Kap. 1 & 2). Allerdings ist diese Variation offenbar nicht gross genug, fanden wir doch z.T. hohe Risiken für schlechte Anpassung trotz Integration der additiven genetischen Variation in unseren Risikoanalysen. Es bleibt zu untersuchen, ob und in welchem Ausmass die Parameter Populationsgrösse, Verjüngung und Genfluss das Risiko für schlechte Anpassung an den Klimawandel vermindern könnten.

Schliesslich muss als Limitierung berücksichtigt werden, dass unsere Risikoabschätzungen nur auf autochthone Populationen angewendet werden dürfen, nicht aber auf gepflanzte

Bestände, z.B. Fichtenaufforstungen im Mittelland. Diese Populationen hatten (noch) nicht die Möglichkeit, sich genetisch an diese neuen Standorte anzupassen – für sie ist die Annahme der «optimalen Anpassung», auf der die Risikoabschätzung beruht, nicht gegeben. Möchte man das Risiko für schlechte Anpassung eines gepflanzten Bestandes abschätzen, müsste man den Herkunftsort des Pflanzmaterials und dessen spezifisches Klimaregime in der Vergangenheit und Zukunft berücksichtigen.

4.4. Handlungsoptionen für das Waldmanagement

Trotz der oben diskutierten Einschränkungen lassen unsere Resultate wichtige Folgerungen für das Waldmanagement im Klimawandel zu, insbesondere bezüglich Handlungsoptionen zur Erhaltung forstlicher Genressourcen und zum Umgang mit forstlichem Vermehrungsgut. Wir sehen folgende wichtige Handlungsfelder und empfehlen, bei diesen weitere Schritte zu prüfen:

1. **Priorisierung der Baumarten bei Massnahmen zur Erhaltung forstlicher Genressourcen: Fichte vor Buche und Tanne.** Populationsgrössen sollen erhalten und die Verjüngung gefördert werden. Dies gilt insbesondere für Generhaltungsgebiete, da hier der Bund auf das Management Einfluss nehmen kann.
2. **Fundierte Überprüfung der NKS-Bestände hinsichtlich ihrer Gefährdung und Verwendung im Klimawandel.** Dies sollte nicht nur auf dem Risiko für schlechte Anpassung und modellierten Populationseffekten basieren (diese Studie), sondern weitere Informationsquellen berücksichtigen. Für die Abschätzung der geeigneten Standorte zur Verwendung des Saatgutes eines NKS-Bestandes könnten z.B. auch die «adaptierte Ökogramme» aus dem gleichnamigen Projekt von Monika Frehner im Rahmen des Forschungsprogrammes «Wald und Klimawandel» miteinbezogen werden. Siehe auch Huber et al. (2015) und Pluess et al. (2016a) für den grösseren Kontext.
3. **Auswahl von neuen NKS-Beständen an heute bereits ökologisch marginalen Standorten (trocken, warm).** Saatgut solcher Bestände könnte eine wertvolle Ressource sein für Standorte, die in Zukunft vermutlich zu marginalen Standorten werden. Die Schwierigkeit hierbei wird sein, sicherzustellen, dass solche neuen NKS-Bestände an heute bereits ökologisch grenzwertigen Standorten unter dem sich verändernden Klima überleben und vitale Samen produzieren können.
4. **Heutige Richtlinien zum Transfer und Mischen von Saatgut überprüfen und gegebenenfalls ergänzen,** insbesondere bezüglich Transfer zwischen Forstregionen und Höhenbändern und auch über die Landesgrenzen hinweg. Heute bestehen lediglich Richtlinien für das Mischen von Saatgut (EDI 1994), nicht aber für den Transfer von forstlichem Vermehrungsgut.

5. Fazit

Im Schweizer Wald wird heute grundsätzlich mit Naturverjüngung gearbeitet, Pflanzungen sind in den letzten Jahrzehnten immer seltener geworden (Sperisen et al. 2016). Arten mit hoher genetischer Variation zwischen Populationen und enger Korrelation dieser Variation mit der lokalen Umwelt – wie wir dies in dieser Studie bei der Fichte beobachten konnten – sind heute zwar gut an ihren Standort angepasst, besitzen dafür ein erhöhtes Risiko, an das zukünftige lokale Klima schlecht angepasst zu sein. Solche sogenannten «adaptiven Spezialisten» sind auf ausreichenden Genfluss angewiesen, um mit den kommenden starken Klimaveränderungen mithalten zu können. Angepasste Managementstrategien, welche bspw. auch das Einbringen geeigneten Saatgutes in einen Bestand mittels Pflanzungen berücksichtigen, könnten für das lokale Überleben solcher Baumarten ein erfolgsversprechender Ansatz sein («assisted gene flow», Aitken & Whitlock 2013).

Beim Umgang mit forstlichem Vermehrungsgut in der Schweiz besteht jedoch Handlungsbedarf, was auch von anderen Autoren konstatiert wurde (Rudow et al. 2013, Sperisen et al. 2016). Aus diesem Grund ist kürzlich ein Pilotprojekt des Forschungsprogramms «Wald und Klimawandel» gestartet, welches sich dem Umgang mit forstlichem Vermehrungsgut im Kontext des Klimawandels widmet (FoVeKlim). Die Ziele dieses Pilotprojekts sind 1) den Status quo beim Umgang mit forstlichem Vermehrungsgut in der Schweiz und im angrenzenden Ausland (Deutschland, Frankreich, Österreich, Italien) zu erfassen, 2) die Anforderungen an einen sachgerechten Umgang mit forstlichem Vermehrungsgut in einem sich wandelnden Klima aufgrund des Kenntnisstandes in der Wissenschaft zu beschreiben sowie diesbezüglich relevante Wissenslücken zu identifizieren und 3) den Handlungsbedarf und konkrete Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen und dabei auch die Rollenverteilung der Akteure mit einzubeziehen. Die Methoden umfassen Literaturrecherche, Experteninterviews in der Schweiz und im benachbarten Ausland, Umfragen sowie Workshops mit Forstpraktikern und Baumschulisten. Im Rahmen von FoVeKlim sollen auch obige Ideen vertieft geprüft und Empfehlungen abgegeben werden, welche Ideen weiter verfolgt werden sollen bzw. welche sich aus wissenschaftlichen oder praktischen Gründen nicht umsetzen lassen.

6. Literatur

- Aitken, S. N. 2004. Genetics and Genetic Resources: Genecology and Adaptation of Forest Trees. Seiten 197-204 in J. Burley, Editor. Encyclopedia of Forest Sciences. Elsevier, Oxford.
- Aitken, S. N., S. Yeaman, J. A. Holliday, T. Wang & S. Curtis-McLane. 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications* 1:95-111.
- Alberto, F. J., S. N. Aitken, R. Alía, S. C. González-Martínez, H. Hänninen, A. Kremer, F. Lefèvre, T. Lenormand, S. Yeaman, R. Whetten & O. Savolainen. 2013. Potential for evolutionary responses to climate change – evidence from tree populations. *Global Change Biology* 19:1645-1661.
- Arend, M., A. Gessler & M. Schaub. 2015. The influence of the soil on spring and autumn phenology in European beech. *Tree Physiology* doi:10.1093/treephys/tpv087.
- Arnold, C., M. Dicht, C. Sperisen, A. Burkart, A. Boner, C. Heiri, U. Mühlethaler, D. Schmatz, L. Walthert, P. Weber & P. Brang. 2010. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Samenernte und -behandlung. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL; Zollikofen, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL. 44 S.
- BAFU. 2013. Nationaler Kataster der Samenerntebestände NKS. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Access on January 18 2013. www.nks.admin.ch. Bundesamt für Umwelt.
- Boner, A., C. Heiri, C. Sperisen, C. Metzler, P. Hengartner & O. Leisibach. 2011. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der zweiten Bucheckern-Ernte und der Behandlung der Eckern im Jahr 2011. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 19 S.
- Bossel, F. 1983. Tests comparatifs de provenances vaudoises d'épicéa. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 134:339-360.
- Bussotti, F., M. Pollastrini, V. Holland & W. Brüggemann. 2015. Functional traits and adaptive capacity of European forests to climate change. *Environmental and Experimental Botany* 111:91-113.
- Campbell, R. K. 1979. Genecology of Douglas-fir in a watershed in the Oregon Cascades. *Ecology* 60:1036-1050.
- Campbell, R. K. 1986. Mapped genetic variation of Douglas-fir to guide seed transfer in southwest Oregon. *Silvae Genetica* 35:85-96.
- CH2011. 2011. Swiss Climate Change Scenarios CH2011. C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland. 88 S.
- Commarmot, B. 2003. Unterschiedliche Disposition von Weisstannen-Provenienzen (*Abies alba* Mill.) für die Gefährliche Weisstannentrieblaus. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz 50:179-188.
- EDI. 1994. Verordnung über forstliches Vermehrungsgut. Schweizerische Eidgenossenschaft, Departement des Innern (EDI). Website aufgerufen am 5. Mai 2016. www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19940363/index.html.
- Ellenberg, H. 2009. Coniferous woodland and mixed woods dominated by conifers. Seiten 191-242 *Vegetation ecology of Central Europe*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Engler, A. 1905. Einfluss der Provenienz des Samens auf die Eigenschaften der forstlichen Holzgewächse. Erste Mitteilung. Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft 8(2):81-236.
- Finkeldey, R., G. Mátyás, C. Sperisen & P. Bonfils. 2000. Strategien zur Auswahl forstlicher Genreservate in der Schweiz. *Forest Snow and Landscape Research* 75:137–152.
- Fouvy, P. & G. Jeantet. 1997. Provenances vaudoises d'épicéa: Bilan de 30 ans de tests comparatifs. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 148:103-130.
- Frank, A. 2016. Genecology of Norway spruce, silver fir, and European beech in Switzerland: Are current populations adapted to future climates? ETH Dissertation Nr. 23644. ETH, Zürich. Verfügbar unter <http://e-collection.library.ethz.ch> ab Mai 2017.

- Frank, A., C. Heiri & A. Burkart. 2012. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Tannen- und Fichtenpflanzung im Frühling 2012. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 26 S.
- Frank, A., G. T. Howe, C. Sperisen, P. Brang, B. St.Clair, D. R. Schmatz & C. Heiri. in Vorbereitung. Risk of genetic maladaptation due to climate change in three major European tree species.
- Frank, A., A. R. Pluess, G. T. Howe, C. Sperisen & C. Heiri. in Überarbeitung. Quantitative genetic differentiation and phenotypic plasticity of European beech in a heterogeneous landscape: indications for past climate adaptation. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* (PPEES).
- Frank, A., G. Schneiter, P. Waldner, L. Walthert & C. Heiri. 2013. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Feldinstallationen 2012: Bodenfeuchtesensoren und Meteostationen. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 24 S.
- Frank, A., C. Sperisen, G. T. Howe, P. Brang, L. Walthert, B. St.Clair & C. Heiri. 2017. Distinct genecological patterns in seedlings of Norway spruce and silver fir from a mountainous landscape. *Ecology* 98:211-227.
- Gonseth, Y., T. Wohlgemuth, B. Sansonnens & A. Buttler. 2001. Die biogeographischen Regionen der Schweiz. Erläuterungen und Einteilungsstandard. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, Schweiz. 49 S.
- Gugerli, F., A. Frank, C. Rellstab, A. R. Pluess, B. Moser, M. Arend, C. Sperisen, T. Wohlgemuth & C. Heiri. 2016. Genetische Variation und lokale Anpassung bei Waldbaumarten im Zeichen des Klimawandels. Seiten 92-113 in A. R. Pluess, S. Augustin & P. Brang, Editoren. *Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien*. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien.
- Heiri, C., C. Sperisen & P. Brang. 2012a. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Pilotstudie zur Sämlingsphänologie im Jahr 2011. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 31 S.
- Heiri, C., C. Sperisen, P. Brang, A. Frank & A. Burkart. 2012b. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Sämlingsanzucht im Versuchsgarten der WSL 2010-2011. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 13 S.
- Holzer, K. 1993. The evolution of alpine Norway spruce during immigration into high altitudes and its consequences. Seiten 68-78 in *Proceedings of the IUFRO (S2.2-11) Symposium, Latvia*.
- Huber, B., A. Zischg, M. Frehner, G. Carraro & J. Burnand. 2015. Neu entwickelte Klimakarten für den Wald im Klimawandel. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 166:432-434.
- Keller, N., A. Fretz, A. Frank & C. Heiri. 2014. Forschungsprojekt adaptive genetische Variation von Fichte, Tanne und Buche (ADAPT). Dokumentation der Feldarbeiten 2014. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 18 S.
- Leisibach, O., C. Heiri, P. Hengartner & L. Walthert. 2012. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Bodenansprache zur Bestimmung der Bodenwasserspeicherkapazität der beernteten Fichten- und Tannenbestände. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 13 S.
- Moser, B. & T. Wohlgemuth. 2013. Trockenheit als limitierender Faktor für den Anwuchs von Fichte und Waldföhre in den alpinen Trockentälern von Rhone und Rhein (TroLiFa). Schlussbericht zuhanden des Forschungsprogramms Wald und Klimawandel. Eidg. Forschungsanstalt WSL und Bundesamt für Umwelt, und des Amtes für Wald, Kanton Graubünden. 21 S.
- Mühlethaler, U. 2011. Buchen im Klimatest. *Le hêtre à l'épreuve du climat*. SHL-Info 09/11:14-15.
- Nussbaumer, A., A. Frank & C. Heiri. 2013. Forschungsprojekt adaptive genetische Variation von Fichte, Tanne und Buche (ADAPT). Dokumentation der Feldarbeiten 2013. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 40 S.
- Pluess, A. R., S. Augustin & P. Brang, Editoren. 2016a. *Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien*. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien.

- Pluess, A. R., A. Frank, C. Heiri, H. Lalagüe, G. G. Vendramin & S. Oddou-Muratorio. 2016b. Genomic-environment association study suggests local adaptation to climate at regional scale in *Fagus sylvatica*. *New Phytologist* 210:589-601.
- Rehfeldt, G. E. 1994. Evolutionary genetics, the biological species, and the ecology of the interior cedar-hemlock forests. Seiten 91-100 in D. M. Baumgartner, J. E. Lotan & J. R. Tonn, Editoren. *Proceedings of the interior cedar-hemlock-white pine forests: ecology and management*, Spokane, WA. Washington State University Extension, Pullman, WA, USA.
- Rehfeldt, G. E., N. M. Tchebokova, Y. I. Parfenova, W. R. Xykoff, N. A. Kuzmina & L. I. Milyutin. 2002. Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris*. *Global Change Biology* 8:912-929.
- Rehfeldt, G. E., C. C. Ying, D. L. Spittlehouse & D. A. Hamilton. 1999. Genetic responses to climate in *Pinus contorta*: Niche breadth, climate change, and reforestation. *Ecological Monographs* 69:375-407.
- Rehfeldt, G. E., C. C. Ying & W. Wykoff. 2001. Physiologic plasticity, evolution, and impacts of a changing climate on *Pinus contorta*. *Climatic Change* 50:355-376.
- Remund, J. 2016. Meteodaten für Forschungsprojekt WSL. Langjährige Zeitreihen und Analyse basierend auf gleichbleibenden Wetterstationen. Meteotest, Bern, Switzerland. 12 S.
- Remund, J. & S. Augustin. 2015. Zustand und Entwicklung der Trockenheit in Schweizer Wäldern. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 166:352-360.
- Remund, J., M. Frehner, L. Walthert, M. Kägi & B. Rihm. 2011. Schätzung standortspezifischer Trockenstressrisiken in Schweizer Wäldern. Schlussbericht Version 2.3. Meteotest, Bern, Switzerland. 56 S.
- Remund, J., B. Rihm & B. Huguenin-Landl. 2014. Klimadaten für die Waldmodellierung für das 20. und 21. Jahrhundert. Meteotest, Bern, Switzerland. 38 S.
- Rudow, A., P. Rotach, C. Küchli, C. Dür, S. Schmid & M. Bolliger. 2013. The state of the world's forest genetic resources. FAO country report Switzerland 2012. Online: www.fao.org/3/a-i3825e/i3825e3867.pdf
- Savolainen, O., F. Bokma, R. Garcia-Gil, P. Komulainen & T. Repo. 2004. Genetic variation in cessation of growth and frost hardiness and consequences for adaptation of *Pinus sylvestris* to climatic changes *Forest Ecology and Management* 197:79-89.
- Sorensen, F. C. 1994. Genetic variation and seed transfer guidelines for ponderosa pine in central Oregon. Res. Pap. PNW-RP-472. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR, USA.
- Sperisen, C., A. R. Pluess, P. Brang, F. Gugerli & C. Heiri. 2016. Erhaltung genetischer Ressourcen im Schweizer Wald – heutige Situation und Handlungsbedarf angesichts des Klimawandels. Seiten 366-383 in A. R. Pluess, S. Augustin & P. Brang, Editoren. *Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien*. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien.
- Spitze, K. 1993. Population structure in *Daphnia obtusa*: quantitative genetic and allozymic variation. *Genetics* 135:367-374.
- St.Clair, J. B. & G. T. Howe. 2007. Genetic maladaptation of coastal Douglas-fir seedlings to future climates. *Global Change Biology* 13:1441-1454.
- St.Clair, J. B., N. L. Mandel & K. W. Vance-Borland. 2005. Genecology of Douglas Fir in Western Oregon and Washington. *Annals of Botany* 96:1199-1214.
- Vitasse, Y., S. Delzon, C. C. Bresson, R. Michalet & A. Kremer. 2009. Altitudinal differentiation in growth and phenology among populations of temperate-zone tree species growing in a common garden. *Canadian Journal of Forest Research* 39:1259-1269.
- Weber, P., C. Heiri, M. Lévesque, T. Sanders, V. Trotsiuk & L. Walthert. 2015. Zuwachs und Klimasensitivität von Baumarten im Ökogramm der kollinen und submontanen Stufe. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 166:380-388.

7. Anhang

Anhang 1

PROJEKTABLAUF

ERGÄNZENDE RESULTATE

Projektablauf

Tabelle 6. Zusammenstellung des Projektablaufes 2009–2016. Änderungen gegenüber Projektplan sind mittels * gekennzeichnet und in den nachfolgenden Erläuterungen erklärt.

Jahr	Quartal	Tätigkeit
2009	3	Auswahl der Populationen für Fichte, Tanne und Buche; Beginn Samenernte für Tanne
	4	Samenernte Fichte, Tanne und Buche; Beginn Klängen
2010	1	Samenernte Fichte; Klängen; Bestimmen des Tausendkorngewichtes; Abmessen der Saatmenge
	2	Aussaat Fichte und Tanne; Erfassen des Keimzustandes
	3	Zweite Erfassung des Keimzustandes
	4	
2011	1	Aussaat Buche; Pilotstudie Sämlingsphänologie, Herleiten des Merkmalskataloges
	2	Bodenprofilansprachen; Pilotstudie Sämlingsphänologie, Herleiten des Merkmalskataloges
	3	Feststellen eines fast gänzlichen Totalausfalles hinsichtlich Keimung der Buche, Entscheid einer zweiten Samenernte im Herbst 2011, da eine Halbmast festgestellt wurde; Bodenprofilansprachen
	4	Zweite Bucheckernernte*; Pflügen der Versuchsflächen Birmensdorf und Matzendorf (Fichten- und Tannenflächen); Bodenprofilansprachen
2012	1	Zweite Aussaat Buche* (Direktsaat); Analyse der Bodenproben im Labor, Berechnung der Wasserspeicherkapazität; Testaufnahmen mit Phäno-Katalog, verfeinern der Merkmalsdefinitionen; Erstellen des Wildschutzzaunes in Matzendorf
	2	Testaufnahmen mit Phäno-Katalog, verfeinern der Merkmalsdefinitionen; Verpflanzen der Fichten und Tannen auf die zwei Versuchsflächen; Erstellen der Pflanzpläne
	3	Installation der Meteostation und Bodensensoren auf beiden Flächen; Flächenunterhalt
	4	Installation der Meteostation und Bodensensoren auf beiden Flächen; Pflügen der Versuchsflächen Birmensdorf und Matzendorf (Buchenflächen); Erstellen des definitiven Merkmalskataloges für Phäno-Merkmale sowie Entwickeln der Methode für zuverlässige Durchmesser- und Höhenmessungen; Feststellen des schlechten Vitalitätszustandes der Fichten und Tannen in Birmensdorf
2013	1	Rekrutierung Feldteam 2013 (8 Personen); Entnahme der Buchen aus dem Saatbeet, Sortieren für Verpflanzen in Experiment; Detailliertere Untersuchungen zum Vitalitätszustand der Fichten und Tannen in Birmensdorf (physiologische Ansprache der Knospen, Gutachten durch M. Goerg, M. Arend und A. Burkart)
	2	Erweitern des Wildschutzzaunes in Matzendorf; Auspflanzen der Buchen auf den beiden Versuchsflächen; Entscheid Merkmalserfassung in Matzendorf statt Birmensdorf durchzuführen*; Logistik für Feldsaison in Matzendorf organisieren; Setzen der Markierungen für Durchmesser- und Höhenmessungen; Merkmalserfassungen an Fichten und Tannen in Matzendorf (Grundmessungen [H, D] auch in Birmensdorf durchgeführt); Flächenunterhalt
	3	Merkmalserfassungen an Fichten und Tannen; Flächenunterhalt
	4	Aufenthalt von A. Frank bei B. St.Clair und G. Howe in Corvallis, USA, für Einführung in genökologische Datenanalyse und Modellierung; Erste Datenbereinigung
2014	1	Rekrutierung Feldteam (6 Personen); Grundmessungen Birmensdorf; Mortalitätsansprache; Vitalitätsbeurteilung der Fichten und Tannen in Birmensdorf;

Jahr	Quartal	Tätigkeit
2014	2	Entscheid Fichten- und Tannenflächen in Birmensdorf aufgrund der hohen Ausfallsrate und schlechtem Allgemeinzustand definitiv aufzugeben*; Grundmessungen Matzendorf; Flächenunterhalt; Merkmalserfassung an Fichten, Tannen (nur Matzendorf) und Buchen (beide Versuchsorte);
	3	Merkmalserfassung an Buchen (beide Versuchsorte); Flächenunterhalt; Aufbereiten Klimadaten; Datenbereinigung Fichte und Tanne (zweite Messungen)
	4	Merkmalserfassung (Blattseneszenz) an Buchen (beide Versuchsorte); Abschliessende Grundmessung [H, D] in Matzendorf und für Buche auch in Birmensdorf
2015	1	Aufbereiten Klimadaten; Analyse der genetischen Variation und Merkmals-Umwelt-Korrelationen für Fichte und Tanne
	2	Analyse der genetischen Variation und Merkmals-Umwelt-Korrelationen für Fichte und Tanne; Verfassen des ersten Manuskriptes für Fachpublikation; Mitwirkung am Kapitel 3.2 der Synthese zum Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» (Gugerli et al. 2016)
	3	Beginn Datenbereinigung und Analyse der gen. Variation bei Buche; Präsentation erster (vorläufiger) Resultate zur genetischen Variation bei Buche an IUFRO Konferenz
	4	Einreichen des Manuskriptes zur gen. Variation von Fichte und Tanne bei JEcology; Verfeinern der Analysen zur gen. Variation der Buche, Berücksichtigen der zwei Versuchsorte und Untersuchung zur phänotypischer Plastizität; Verfassen des Manuskriptes zur Buche
2016	1	Überarbeiten des Fi-Ta Manuskriptes für Neueinreichung bei Ecology; Fertigstellen des Manuskriptes zur Buche, Einreichen bei PPEES; Beginn Konzept für Berechnung des «risk of maladaptation»; Suche nach passenden flächendeckenden Klimadaten für kartographische Darstellung des Risikos
	2	Fertigstellen Manuskript zur Risikoabschätzung von Fichte, Tanne und Buche; Einreichen der Dissertation von A. Frank und Verteidigung am 1. Juli; Fertigstellen des Schlussberichtes ADAPT z.Hd. der Programmleitung

*Die grössten Änderungen gegenüber dem Proposal sind in den jeweiligen Meilensteinberichten detailliert beschrieben. Kurz zusammengefasst mussten wir folgende Anpassungen zum ursprünglichen Projektplan vornehmen:

- Die Keimung der 2009 gesammelten Buchen war leider ein fast vollständiger Misserfolg. Das erneute Mastjahr 2011 wurde genutzt, um das Ernten von Bucheneckern zu wiederholen und so doch noch wie bei Tanne und Fichte Sämlingspopulationen von Buchen aus der ganzen Schweiz testen zu können. Eine Folge davon ist, dass das Experiment 2012 nur für Tanne und Fichte starten konnte, für Buche erst 2013.
- In den Populationen wurden die Waldgesellschaft und die Bestandesstruktur nicht erfasst
- Eine Wahl der gleichen Versuchsorte für das Sämlingsexperiment wie in den Projekten TroLiFa und Gastbaumarten war nicht durchführbar.
- Das Design des Sämlingsexperimentes in der 2. Programmphase wurde in 2 Punkten wesentlich geändert:
 - 1) Statt in 3 Blöcken mit je 15 Sämlingen pro Mutterbaum, gruppiert nach Populationen, wurden die Sämlinge in 16 Blöcken mit 1 Sämling pro Mutterbaum, nicht nach Populationen gruppiert, gepflanzt.
 - 2) Die Trockenstressbehandlung (nicht im Rahmen des FP «Wald und Klimawandel» finanziert), welche für die Hälfte der Blöcke vorgesehen war, wurde aus Kostengründen und wegen des erheblichen logistischen Aufwandes nicht durchgeführt. Der erwartete Erkenntnisgewinn rechtfertigt aus Sicht des Projektteams den Aufwand und die Kosten zurzeit nicht.
- Im Frühjahr 2013 musste im Projekt ADAPT kurzfristig die Merkmalserfassung (intensives Monitoring) von der Versuchsfläche in Birmensdorf zu jener in Matzendorf verlegt werden. Grund dafür war der sehr schlechte Zustand der Sämlinge (Vitalität) in Birmensdorf, welcher aus

wissenschaftlicher Sicht eine aussagekräftige Wachstums- und Phänologiebeobachtung in Frage stellte. Die Sämlinge auf der Versuchsfläche in Matzendorf waren in einem sehr guten Zustand. Diese Umstellung verursachte jedoch neben einem grossen logistischen auch einen erheblichen finanziellen Mehraufwand.

- Aufgrund der höheren Ausgaben für die Felderhebungen in Matzendorf (s. oben), war es nötig, das Felddesign im Frühjahr 2014 für die zweite Aufnahmesaison hinsichtlich Arbeitseffizienz (und somit hinsichtlich Kosteneffizienz) zu überarbeiten. Aufgrund statistischer Analysen der erfassten Sämlingsmerkmale von 2013 konnte die phänologische Ansprache für Fichte und Tanne auf eine einzige Entwicklungsphase reduziert werden (Abfolge der ursprünglich 3 beobachteten Phänophasen ist hochkorreliert). Dies hatte zur Folge, dass die Ansprache deutlich einfacher war und auch innerhalb kürzerer Zeit abgeschlossen werden konnte, wodurch wir weniger Feldpersonal benötigten, ohne dass die Aussagekraft der erfassten Merkmale hinsichtlich Projektziel geschmälert worden wäre.
- Für die Buchen war vorgesehen, analog zu Fichte und Tanne, die Phänologie und das Wachstum in zwei aufeinanderfolgenden Vegetationsperioden an einem Versuchsort (Matzendorf) zu erfassen. Da – im Gegensatz zu den Nadelbaumarten – die Buchen in Birmensdorf im Frühjahr 2014 vital und kräftig waren, entschieden wir, die Buchen zeitgleich an beiden Versuchsorten zu beobachten, und dafür auf eine zweite Aufnahmesaison 2015 zu verzichten. Mittels dieses «space-for-time» Ansatzes lassen sich dieselben Aussagen treffen, wie wenn während zwei Jahren an einem Versuchsort Erhebungen durchgeführt würden. Es liessen sich sogar gewisse Tendenzen hinsichtlich phänotypischer Plastizität ableiten, was mit der Beobachtung an einem einzigen Versuchsort nicht möglich gewesen wäre.

Ergänzende Resultate

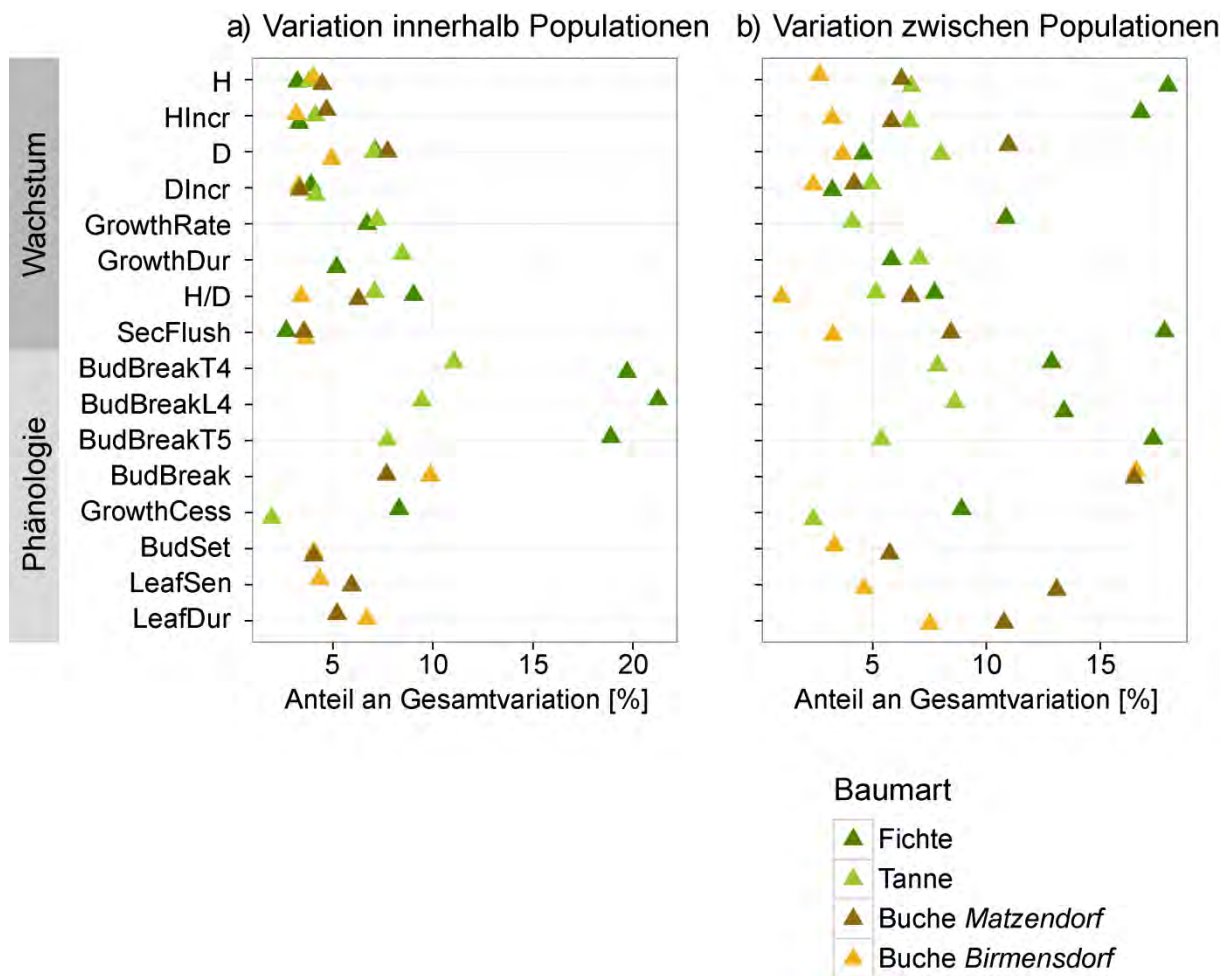


Abbildung 11. Genetische Variation innerhalb (a) und zwischen (b) 92 Fichten-, 90 Tannen- und 77 Buchenpopulationen aus der gesamten Schweiz. Wachstums- und Phänologiemerkmale (Tab. 2) wurden an vierjährigen Nachkommen der Fichten und Tannen resp. dreijährigen Nachkommen der Buchen erfasst. Alle drei Baumarten wurden am Versuchsort Matzendorf untersucht, Buche zusätzlich am Versuchsort Birmensdorf. Johannistriebe (SecFlush) bildeten nur die Fichte und Buche, bei der Tanne wurde kein zweiter Austrieb innerhalb einer Saison beobachtet.

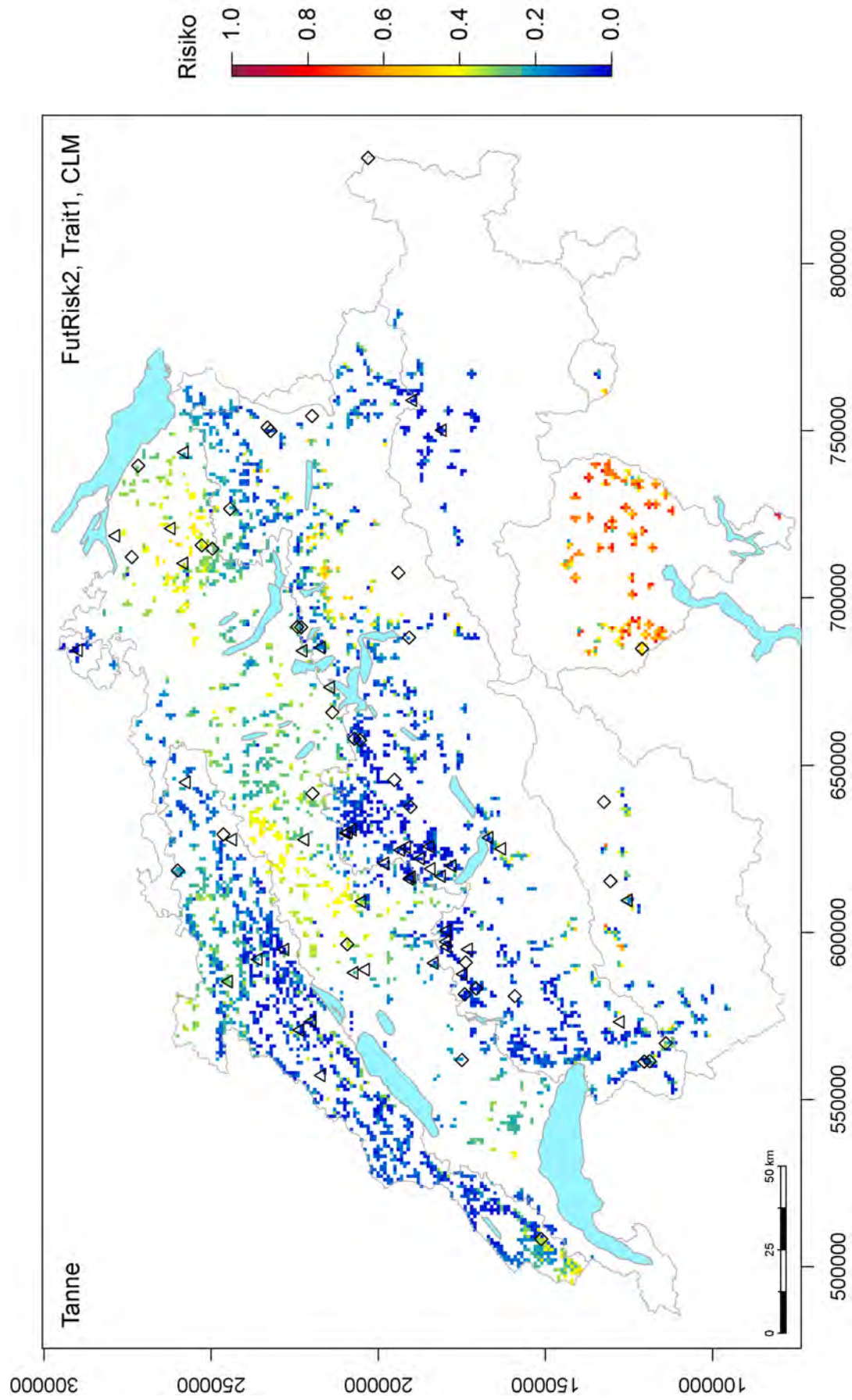


Abbildung 12. NKS-Bestände der Tanne (Dreieck: ausgewählte Samenerntebestände, Rhombus: quellengesicherte Samenerntebestände) und zukünftige Risiken für schlechte Anpassung an den Klimawandel zwischen 1981–2000 und 2061–2090 (FutRisk2) in Trait1 für die Tanne basierend auf dem IPCC A1B Szenario, dem generellen Zirkulationsmodell ECHAM5 und dem regionalen Klimamodell CLM.

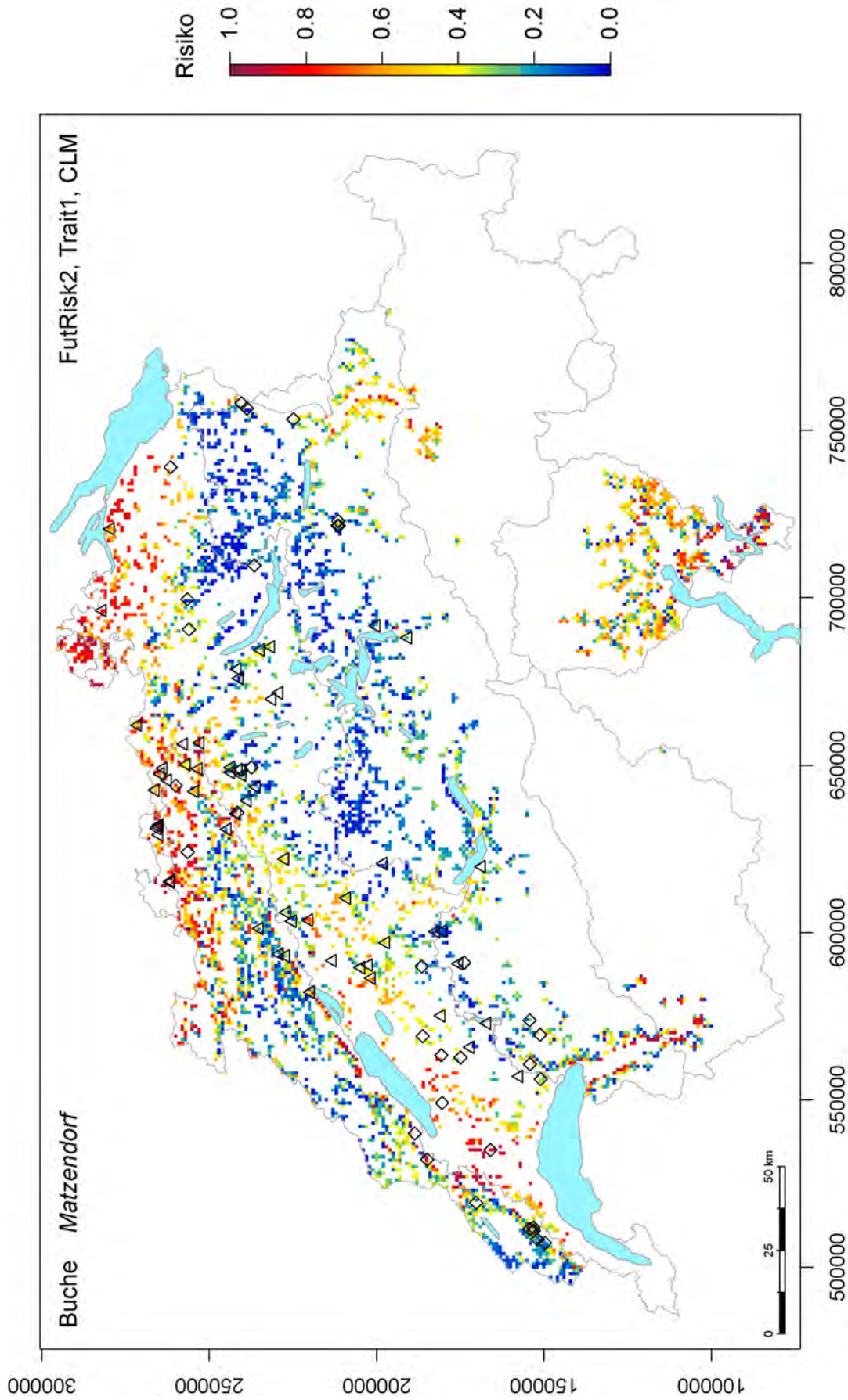


Abbildung 13. NKS-Bestände der Buche (Dreieck: ausgewählte Samenerntebestände, Rhombus: quellengesicherte Samenerntebestände) und zukünftige Risiken für schlechte Anpassung an den Klimawandel zwischen 1981–2000 und 2061–2090 (FutRisk2) in Trait1 für die Buche in Matzendorf basierend auf dem IPCC A1B Szenario, dem generellen Zirkulationsmodell ECHAM5 und dem regionalen Klimamodell CLM.

Anhang 2

AUFNAHMEANLEITUNGEN FORSCHUNGSPROJEKT ADAPT

ADAPT 2013. Merkblatt Phänologie Fichte und Tanne. 2 S.	S. 1
ADAPT 2014a. Merkblatt Phänologie Buche. 1 S.	S. 3
ADAPT 2014b. Aufnahme Endknospenbildung an Buchen 2014. 2 S.	S. 4
ADAPT 2014c. Phänokatalog 2014. Ansprache der Blattseneszenz bei Buche. Version 1.0. Birmensdorf, 9 S.	S. 6

Fichte

PHASE 1

Knospe geschwollen,
"Spitzigkeit" verloren
(evtl. mit Fingerkuppe testen).



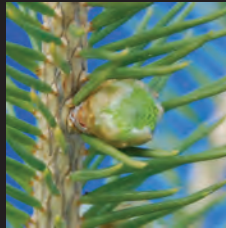
JA



noch nicht

PHASE 2

Knospe aufgebrochen, Nadelspitzen
sichtbar.
WICHTIG: Knospenschuppen am Ende
mindestens "kreisrund" aufgebrochen.



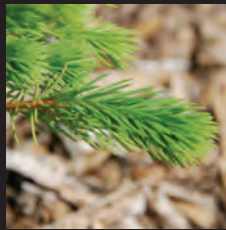
JA



noch nicht

PHASE 3

Trieb durch die Nadeln sichtbar
(ggf. leicht gegen Wuchsrichtung über
Nadeln streifen).



Tanne

PHASE 1

Knospe geschwollen, mind. 50% der Knospe aus weisslichem Vlies bestehend; in späterem Stadium durchsichtig und Nadeln darunter sichtbar.

PHASE 2

Knospe aufgebrochen, Nadelspitzen sichtbar, Knospenhülle gesprengt.

PHASE 3

Trieb sichtbar, grün.



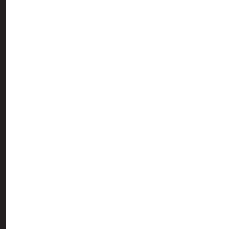
JA



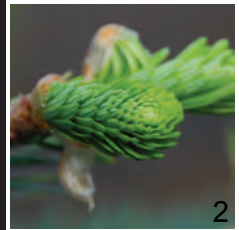
noch nicht



JA



noch nicht



Phase 1

Erste grüne Spitzen der neuen Blätter treten sichtbar zwischen den braunen Knospenschuppen hervor.



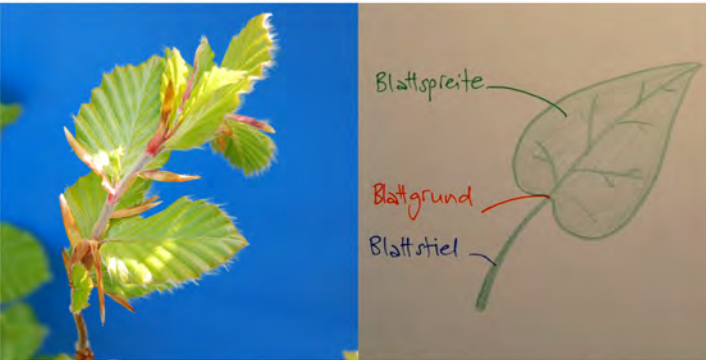
Phase 2

Der Anteil Grün im Vergleich zum Braun der Knospenschuppen beträgt 50% oder mehr. Alle Blätter sind noch gefaltet.



Phase 3

Mindestens 1 Blatt am neuen Endtrieb ist entfaltet. Die ganze Blattfläche und der Spreitengrund sind sichtbar.



Phase 4

Alle Blätter am neuen Endtrieb sind entfaltet. Die ganze Blattfläche und der Spreitengrund sind sichtbar.



Aufnahme Endknospenbildung (bud set) an Buchen 2014

Adapt 2014

Wir beobachten die **Bildung der neuen Terminalknospe** und nehmen den **Julian Day (JD) X** auf, an dem zum ersten Mal der Knospenansatz sichtbar ist (vgl. Bilder auf der Rückseite).

Knospenansatz = kleiner „Knubel“ in Form einer Knospe (oval und leicht spitzig)

Aus diesen Endknospen(ansätzen) findet dann entweder ein erneuter Austrieb statt (Johannistrieb), oder aber die Knospe bildet sich voll aus und tritt in ein Ruhestadium ein, das bis zum nächsten Frühjahr dauert (vgl. Bilder auf der Rückseite).

Die Beobachtungen der Endknospenbildung finden zusammen mit den restlichen Phänologiebeobachtungen **wöchentlich** statt.

Im Zweifelsfall wird das Merkmal „bud set“ noch nicht vergeben, sondern eine Woche zugewartet (hier gilt also „**im Zweifelsfall NEIN**“).

⇒ **Wichtig:** Falls sich dann am nächsten JD $X+1$ Woche herausstellt, dass die Endknospenbildung verpasst wurde, weil in der Woche dazwischen der neue Austrieb stattgefunden hat, wird JD X als Messwert eingegeben.

Alle aufgenommenen neuen Endknospen werden erneut am Ansatz mit **Tipp-Ex** markiert. Dies ermöglicht das nachträgliche Messen des ersten Zuwachses der Saison (erster Trieb) in Vergleich zum totalen saisonalen Zuwachs.

Fotobeispiele

Hier entwickelt sich der neue Knospenansatz zu einem Johannistrieb:



Hier entwickelt sich der neue Knospenansatz zu einer richtigen Endknospe für die kommende Saison:



Phänokatalog 2014

Ansprache der Blattseneszenz bei Buchen

Version 1.0



Forschungsprojekt ADAPT

Birmensdorf, 18.9.2014

Auftrag „Erfassung der Blattseneszenz bei Buche“

Erfasse, wie viele Prozent der Blätter eines Bäumchens nicht mehr funktional sind, d.h. verfärbt und/oder abgefallen sind.

„verfärbt“ = Blatt ist nicht mehr Grün sondern Gelb, rötlich, Herbstbraun (s. Fotos)

Ein Blatt wird als nicht mehr funktional betrachtet, wenn $< 50\%$ der Blattfläche noch grün ist. Oder anders formuliert, wenn mindestens 50% der Blattfläche die Farben Gelb oder Braun aufweisen.

Unterschieden werden zwei Phasen:

Phase S1: mind. 10% der Blätter werden als „nicht mehr funktional“ eingestuft, inkl. Berücksichtigung der bereits abgefallenen Blätter (s. unten und Abb. 6)

Phase S2: mehr als 50% der Blätter werden als nicht mehr funktional eingestuft, inkl. Berücksichtigung der bereits abgefallenen Blätter (s. unten und Abb. 6)



Abb. 1. Idealisierte Farbabfolge für die herbstliche Blattverfärbung der Buche. Als „verfärbt“ gelten erst die beiden Blätter rechts (Gelb und Rotbraun).

Hinweise zur Blattansprache:

Das Total aller Blätter schliesst auch die abgefallenen Blätter mit ein, sofern noch ersichtlich. Das tatsächliche Total muss geschätzt werden (s. Abb. 6). Nur die noch am Baum verbleibenden Blätter stellen nicht in jedem Fall 100 % dar!

Allenfalls ist es einfacher für die Schätzung, wenn der Fokus für die Einschätzung auf dem Anteil an „grün“ liegt, und nicht auf den farbigen Blättern (gibt Verwirrung, da viele verschiedene Farben). Frage Dich also: Wie viele Prozent der Blätter sind noch grün? Dann nehme die Differenz zu 100%.

Beispiele für Blattverfärbungen:



Abb. 2. *Verschiedene Stufen der Verfärbung inmitten grüner Buchen. "Gelbe" Blätter hat hier nur der Baum links im Bild, die beiden anderen sind noch nicht genügend verfärbt.*



Abb. 3. *Links: trotz unterschiedlichen Farbtönen zeigt diese Buche noch nicht genügend Verfärbung (ist noch Grün); rechts: dieses Gelb (und Braun) suchen wir!*



Abb. 4. Ein Blick auf die Blattunterseite hilft, wenn Du unsicher bist, ob dieses 'noch grün' oder 'schon gelb' ist: Gelbe Blätter sind auch auf der Blattunterseite gelb (rechtes Beispiel), wenn sie noch grünlich sind (links), dann klassieren sie sich nicht als "verfärbt" in unserem Sinne.



Abb. 5. Dies ist keine herbstliche Braunfärbung, dieser Baum ist tot. Achtung, am Stammfuss treiben oft wieder die weggeschnittenen "Zwillinge" aus (unten links im Bild). Diese Zweige/Blätter dürfen für die Ansprache nicht berücksichtigt, und dürfen gerne weggeschnitten werden.



Abb. 6. *Fehlende Blätter: liegen braune Blätter am Boden und hat die Pflanze nicht mehr alle Blätter, so müssen die abgefallenen Blätter zur Schätzung des Anteils verfärbter Blätter berücksichtigt werden. Grundsätzlich sitzt bei jeder Knospe auch ein Blatt. Die Knospen können also als Schätzer für die fehlenden Blätter herangezogen werden.*

Achtung Johannistriebe



Abb. 7. Die hellen Blätter aussen an dieser Pflanze zeigen nicht etwa erste Anzeichen der Herbstverfärbung, sondern dies sind noch junge Blätter von später ausgetriebenen Johannistrieben. Die Blätter sind also noch im frühlingshaften Hellgrün und konnten noch nicht ganz ausdunkeln, und sind nicht etwa "schon" in einem herbstlichen Grüngelb!

Abb. 8.



Abb. 9.



Abb. 8 und 9. Noch junge Blätter von Johannistrieben können hell grünlichgelb sein (Abb. 8) oder auch einen rötlichen Rand aufweisen (Abb. 9) —> keine Herbstverfärbung!

Achtung Frassschäden vom Buchenspringgrüssler



Abb. 10. Als Reaktion auf Frassschäden durch den Buchenspringgrüssler (Löcher) haben sich die Blätter teilweise braun verfärbt und weisen oft einen rötlichbraunen “Schleier” auf. Diese Verfärbung ist keine Herbstverfärbung! Hier muss unbedingt auf Gelb geachtet werden, Braun alleine genügt nicht.



Abb. 11. Der klassische Verlauf der Blattverfärbung erfolgt von Aussen nach Innen, d.h. ein Blatt wird zuerst am Blattrand und zwischen den Blattnerven Gelb und das Grün zieht sich zum Hauptnerv zurück, dasselbe bei der Verfärbung von Gelb zu Braun; das Braun tritt zuerst am Rand auf und verbreitert sich nach Innen (vgl. Abb. 3). Im Bild ist das Braun entlang des Hauptnerves konzentriert, was darauf hinweist, dass dies nicht aufgrund der Herbstverfärbung geschah sondern andere (pathogene) Ursachen hatte .



Abb. 12. Ein weiteres Beispiel von verfärbten Blättern aufgrund von Frassschäden: Löcher und rötlichbraune "Schleierartige" Verfärbung der Blattoberflächen.

Anhang 3

TECHNISCHE BERICHTE ADAPT (in chronologischer Reihenfolge)

- Arnold, C., M. Dicht, C. Sperisen, A. Burkart, A. Boner, C. Heiri, U. Mühlethaler, D. Schmatz, L. Walthert, P. Weber, and P. Brang. 2010. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. **Dokumentation der Samenernte und -behandlung.** Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL; Zollikofen, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL.
- Boner, A., C. Heiri, C. Sperisen, C. Metzler, P. Hengartner, and O. Leisibach. 2011. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. **Dokumentation der zweiten Bucheckern-Ernte und der Behandlung der Eckern im Jahr 2011.** Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- Heiri, C., C. Sperisen, P. Brang, A. Frank, and A. Burkart. 2012b. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. **Dokumentation der Sämlingsanzucht im Versuchsgarten der WSL 2010-2011.** Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- Heiri, C., C. Sperisen, and P. Brang. 2012a. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. **Dokumentation der Pilotstudie zur Sämlingsphänologie im Jahr 2011.** Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- Frank, A., C. Heiri, and A. Burkart. 2012. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. **Dokumentation der Tannen- und Fichtenpflanzung im Frühling 2012.** Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- Frank, A., G. Schneiter, P. Waldner, L. Walthert, and C. Heiri. 2013. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. **Dokumentation der Feldinstallationen 2012: Bodenfeuchtesensoren und Meteostationen.** Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- Leisibach, O., C. Heiri, P. Hengartner, and L. Walthert. 2012. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. **Dokumentation der Bodenansprache zur Bestimmung der Bodenwasserspeicherkapazität der beernteten Fichten- und Tannenbestände.** Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- Nussbaumer, A., A. Frank, and C. Heiri. 2013. Forschungsprojekt adaptive genetische Variation von Fichte, Tanne und Buche (ADAPT). **Dokumentation der Feldarbeiten 2013.** Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- Keller, N., A. Fretz, A. Frank, and C. Heiri. 2014. Forschungsprojekt adaptive genetische Variation von Fichte, Tanne und Buche (ADAPT). **Dokumentation der Feldarbeiten 2014.** Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.

Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte

Dokumentation der Samenernte und -behandlung

Christine Arnold, Michael Dicht, Christoph Sperisen, Anton Burkart,
Andreas Boner, Caroline Heiri, Urs Mühlethaler, Dirk Schmatz,
Lorenz Walther, Pascale Weber, Peter Brang



Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee
und Landschaft WSL



Berner Fachhochschule
Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL

Birmensdorf und Zollikofen, Juni 2010

Autoren: Christine Arnold¹, Michael Dicht¹, Christoph Sperisen¹, Anton Burkart¹, Andreas Boner¹, Caroline Heiri¹, Urs Mühlethaler², Dirk Schmatz¹, Lorenz Walthert¹, Pascale Weber¹, Peter Brang¹

1 Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

2 Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, Länggasse 85, 3052 Zollikofen.

Ein Bericht aus dem Projekt «Adaptive genetische Variation»
(http://www.wsl.ch/forschung/forschungsprojekte/wsl_genetische_variation)

Zitierung: Arnold, C., Dicht, M., Sperisen, C., Burkart, A., Boner, A., Mühlethaler, U., Schmatz, D., Walthert, L., Weber, P., Brang, P. 2010. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Samenernte und -behandlung. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL; Zollikofen, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, 44 S. unveröff.

Wir danken folgenden Personen für die Mithilfe bei der Samenernte und Klengung: Marc Audeoud und Team, Regina Brücker, Tobias Brütsch, Hans Bärtschi, Claudio Cattaneo, Janina Fuchs, Jürg und Juri Gees, Jörg Hirt und Team, Frank Hirtreiter, Urs Kamm, LWF-Team der WSL, Werner Läuchli, Sylvain Meier, Josef Nussbaumer, Toni Schmidlin und Team, Peter Suter, Giuseppe Tettamanti und Team, Galina Wüthrich sowie Kari Wüthrich.

Ein besonderer Dank geht auch an jene, die uns bei der Auswahl und Beurteilung einzelner Populationen unterstützt haben: Siegfried Bellwald, Max Büchel, Ueli Bühler, Flurin Cathomas, Ivo Ceschi, Brigitte Commarmot, Martin Flury, Ernst Fürst, Francis Girardin, Wendelin Hürlimann, Christian Pernstich, Andreas Rigling, Giuseppe Tettamanti, Jürg Walcher, Klemens Winzeler, Andreas Zingg und Kurt Zumbrunn. Thomas Wohlgemuth und Barbara Moser danken wir für das Überlassen von Samen aus ihrem Forschungsprojekt. Falls jemand vergessen wurde, bitten wir um Entschuldigung dafür.

Ein grosser Dank geht auch an das Bundesamt für Umwelt, welches dieses Forschungsprojekt im Rahmen des Forschungsprogramms «Wald und Klimawandel» grosszügig unterstützt.

Titelbild: Tannensamen bei der Klengung (Photo Peter Brang)

Die Dateien, aus denen die Abbildungen in diesem Bericht stammen, sind in der Word-Datei «Dokumentation Adapt 2009 V10.docx» als ausgeblendeter Text dargestellt.

©Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf, 2010

Abstract

Arnold, C., Dicht, M., Sperisen, C., Burkart, A., Boner, A., Heiri, C., Mühlethaler, U., Schmatz, D., Walthert, L., Weber, P., Brang, P. 2010. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Samenernte und -behandlung. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL; Zollikofen, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, 44 S. unveröff.

Das Ziel des Forschungsprojekts «Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte» ist es, aus Sämlingsexperimenten genökologische Modelle herzuleiten und mit Hilfe der Modelle das Risiko schlechter Anpassung an das zukünftige Klima für heutige Populationen der drei Baumarten abzuschätzen. Dieser interne Bericht dokumentiert die Auswahl der Populationen, die Samenernte und die Klengung und damit die erste Projektphase von August 2009 bis März 2010.

Die gleichzeitigen Spreng- bis Halbmasten von Tanne, Buche und Fichte in der Schweiz waren für dieses Projekt ein seltener Glücksfall. Ziel war, je drei Bäume von ca. 80 Populationen pro Baumart zu beernten. Die Populationen wurden aufgrund folgender Kriterien ausgewählt: Autochthonie, gute Abdeckung der natürlichen Vorkommen der Baumarten in der Schweiz bezüglich räumlicher Verteilung, Klima und Höhenlage sowie der Bodentypen, gute Zugänglichkeit, minimale Populationsgrösse, Nutzung in anderen Forschungsprojekten und Auflistung im Nationalen Kataster der Samenerntebestände (NKS). Insgesamt wurden 223 Populationen neu beerntet: 74 bei Buche, 90 bei Tanne und 59 bei Fichte. Dazu kommen in anderen Projekten oder früher beerntete Populationen (6 bei der Buche, 3 bei der Tanne, 39 bei Fi).

Die Auswahl und Beerntung der Populationen stellten eine grosse organisatorische und logistische Herausforderung dar. An der Auswahl waren ca. 10 Fachleute der WSL und ca. 15 externe Fachleute beteiligt, an der Samenernte in der ganzen Schweiz ca. 15 Kletterer (Fichte und Tanne) und 10 Helfer (Buche). Die Tanne wurde vom 31.8. bis 1.10.2009 beerntet, die Buche vom 5.10. bis 20.11.2009, die Fichte vom 14.10.2009 bis 3.3.2010.

Der Bericht beschreibt auch die Markierung der beernteten Bäume und die Behandlung der geernteten Zapfen bzw. Bucheckern: Ihre Verpackung, den Transport an die WSL, die weitere Lagerung, die Trocknung, die Klengung sowie das Abwägen und Verpacken der Samen für die Aussaat bzw. ihre Einlagerung. Im Weiteren beschreibt der Bericht die Dokumentation der beernteten Populationen und Einzelbäume.

Inhalt

Abstract	3
1 Einleitung	5
2 Auswahl der Populationen und Einzelbäume	5
2.1 Anzahl Populationen und Bäume pro Population	5
2.2 Auswahlkriterien für Populationen	5
2.3 Vorgehen bei der Auswahl der Populationen.....	9
2.4 Besonderheiten der Auswahl der Tannenpopulationen.....	9
2.5 Besonderheiten der Auswahl der Buchenpopulationen.....	11
2.6 Besonderheiten der Auswahl der Fichtenpopulationen CS	12
2.7 Auswahl der Einzelbäume.....	16
3 Samenernte	16
3.1 Vorbereitungsarbeiten.....	16
3.2 Auswahl und Markierung der beernteten Bäume	17
3.3 Bei der Beerntung erhobene Daten	18
3.4 Dokumentation der Lage der beernteten Populationen	19
3.5 Zeitaufwand und zeitlicher Ablauf der Samenernte	19
4 Samenaufbereitung	19
4.1 Lagerung	19
4.2 Klengung und Tausendkorngewicht.....	21
4.2.1 Tanne	21
4.2.2 Buche	23
4.2.3 Fichte	24
4.3 Abwägen der Saatmengen.....	24
4.4 Zeitlicher Ablauf der Samenaufbereitung.....	25
5 Einschätzung der beernteten Populationen	25
5.1 Allgemeine Einschätzung.....	25
5.2 Tanne	26
5.3 Buche	27
5.4 Fichte.....	28
6 Literatur	30
7 Anhang	31
7.1 Dokumentation der Arbeiten und Datenmanagement	31
7.2 Abkürzungen.....	33
7.2.1 Namenskürzel	33
7.2.2 Weitere Abkürzungen	34
7.3 Begründung der Auswahl der Populationen	34
7.4 Anleitungen für die Samenernteteams.....	42
7.4.1 Version für Tanne und Fichte	42
7.4.2 Version für Buche	43

1 EINLEITUNG

Das Ziel des Forschungsprojekts «Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte» ist es, aus Sämlingsexperimenten ökologische Modelle herzuleiten und mit Hilfe der Modelle das Risiko schlechter Anpassung an das zukünftige Klima für heutige Populationen der drei in der Schweiz häufigsten Baumarten Fichte (*Picea abies*), Tanne (*Abies alba*) und Buche (*Fagus sylvatica*) abzuschätzen. Details zu den Zielen, zum methodischen Ansatz und zum Hintergrund können dem Full Proposal entnommen werden (Brang et al. 2009). Dieser interne Bericht dokumentiert die Auswahl der Populationen, die Samenernte und die Klengung. Die weitere Behandlung des Saatgutes und die Aussaat ist nicht Thema dieses Berichtes.

2 AUSWAHL DER POPULATIONEN UND EINZELBÄUME

2.1 Anzahl Populationen und Bäume pro Population

Im Full Proposal (Brang et al. 2009) wurde vorgeschlagen, in 50 Populationen¹ je 5 Bäume pro Baumart zu beernten. Aufgrund des starken Reliefs der Schweiz wäre das natürliche Verbreitungsgebiet von Fichte, Tanne und Buche in der Schweiz jedoch mit 50 Populationen nur mit grossen Lücken abdeckbar, besonders wenn auch Vorkommen an den ökologischen Grenzen bezüglich Temperatur und Niederschlag berücksichtigt werden sollen. St.Clair et al. (2005, 2007) haben in einer ähnlichen Studie im Westen der USA mit 1048 Populationen der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) nur einen Baum pro Population beerntet, bei 291 Populationen aber 2 Bäume. St.Clair hält dies für sachlich richtig, weil die Vielzahl von Vätern pro Mutterbaum die Variation der Population gut abdecken sollte (schriftliche Auskunft, St.Clair 2009). St.Clair teilt aber auch mit, dass Reviewer seiner Publikationen genau dies kritisiert haben und empfiehlt daher, mehrere Bäume pro Population zu beproben.

Mit je 3 Bäumen pro Population suchten wir einen Kompromiss zwischen einer möglichst grossen Anzahl Populationen und der Erfassung der Variabilität der Merkmale innerhalb der Populationen.

2.2 Auswahlkriterien für Populationen

Oberste Priorität bei der Auswahl der Populationen hatte deren **Autochthonie**. Diese zuverlässig abzuklären ist aber sehr schwierig – streng genommen kann mit den heute zur Verfügung stehenden Methoden (Forstgeschichte und genetische Muster) einzig Nicht-Autochthonie bewiesen werden. Die Frage der Autochthonie stellte sich massgeblich bei der Fichte, welche in der Schweiz häufig gepflanzt wurde, vor allem im Mittelland aber auch in Schutzwäldern. Zur Abklärung der Autochthonie nutzten wir Expertenwissen, sei es durch direkte Befragung oder durch Konsultation anderer Datenquellen. Eine wichtige Datenquelle war der Nationale Kataster für Samenerntebestände (NKS, Abbildung

¹ In diesem Bericht wird «Bestand» synonym zu «Population» verwendet.

1d-f). Bestände sind im NKS mit «autochthon», «vermutlich autochthon» oder «eingeführt» gekennzeichnet. Für einen grossen Teil der Bestände liegen aber keine Angaben vor. Eine weitere Datenquelle waren frühere Studien, bei denen Autochthonie wichtig war (s. unten). LFI1- und LFI3²- Daten erlaubten ebenfalls eine vage Autochthonie-Angabe (PNV³, MID331, Art der Waldentstehung, und MID404⁴, Art der Bestandesentstehung, WSL 2010). In einigen Fällen ergänzten wir diese Angaben mit Luftbildern, um Hinweise auf Pflanzungen zu finden (map.search.ch).

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt bei der Auswahl der Populationen war deren **geographische Verteilung**. Innerhalb des Verbreitungsgebietes der Baumarten (Grundlage: LFI1, WSL 2009, Abbildung 1a-c) wurde eine möglichst gleichmässige Verteilung über die Schweiz angestrebt. Um diese zu erreichen, legten wir ein Raster mit einer Rasterquadratlänge von 25 km über die Schweiz,

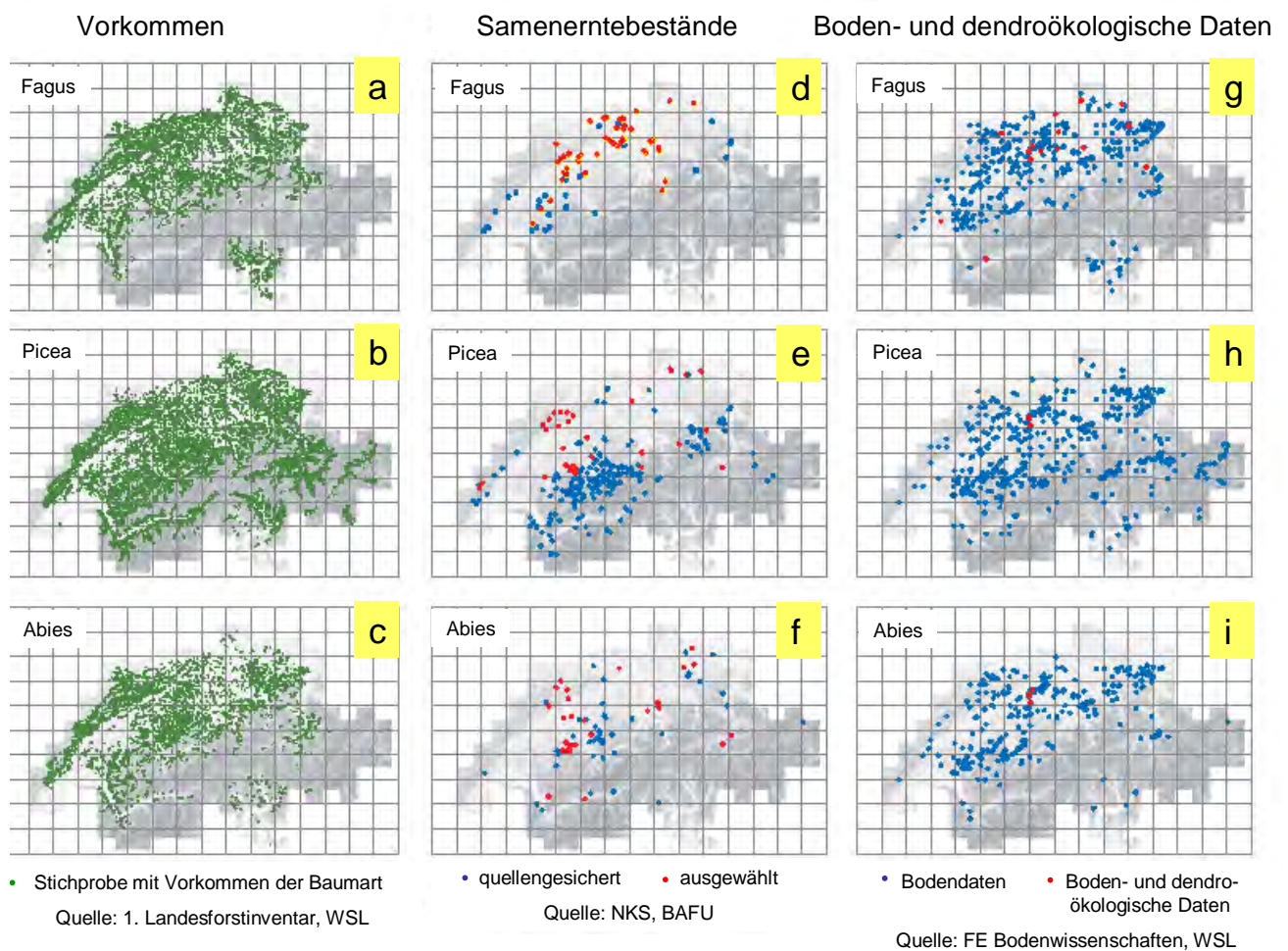


Abbildung 1. 1a-1c Verbreitung von Buche, Fichte und Tanne in der Schweiz (Brändli 1998). 1d-1f Samenerntebestände, 1g-1i Standorte mit Boden- und dendroökologischen Daten. Die im Projekt «Konkurrenzkraft und Standortsensitivität von Baumarten» zu beprobenden Fichten- und Tannenpopulationen (1h-1i) waren bei der Beprobung erst zum kleinen Teil festgelegt.

² Landesforstinventar

³ Potentiell natürliche Vegetation

⁴ Merkmals-Identifikationsnummer

was insgesamt 96 Rasterquadrate (RQ) ergab (Abbildung 1). Mit dieser grossen Maschenweite des Rasters erreichten wir im Vergleich zu feinmaschigeren Rastern eine grössere Flexibilität in der Auswahl der Populationen nach den übrigen Kriterien. Nach Abzug von Gebieten ohne Vorkommen der jeweiligen Baumart blieben 50-70 Quadrate übrig.

Zusätzlich strebten wir eine gute Abdeckung der **Klimagradienten** der Baumartenvorkommen (Niederschlag, Temperatur und Sommertrockentage), der Höhenlage und der Exposition an. Als Grundlage für die Beurteilung dieser Gradienten dienten flächig modellierte Klimaparameter, wobei folgende berücksichtigt wurden: mittlerer Jahresniederschlag, mittlere Anzahl aufeinander folgende Sommertrockentage, mittlere Jahrestemperatur und mittlere Sommertemperatur-Maxima für die Periode 1996-1990 (Abbildung 2, von D. Schmatz, Methode gemäss Thornton *et al.* 1997). Innerhalb jedes Rasterquadrats wurde ein möglichst grosser Klimagradient abgedeckt, indem Populationen in stark unterschiedlichen Höhenlagen gewählt wurden. In Regionen mit grossen Gradienten (z.B. Höhe) wählten wir mehr Populationen als in solchen mit kleinen Gradienten.

Ein weiteres Kriterium war die **Populationsgrösse**: Die ausgewählten Populationen wurden nur beerntet, wenn mindestens 20 Bäume der auszuwählenden Art in Sichtweite und in der Oberschicht vorhanden waren. Ausnahmen bildeten Extremstandorte mit wenigen Bäumen.

Zudem mussten die Populationen angemessen **zugänglich** sein, vor allem bei Tanne und Fichte, da zum Beklettern der Bäume viel Ausrüstung mitgetragen werden musste.

2.3 Information zu Buchen-, Tannen- und Fichtenbeständen

Im Full Proposal (Brang *et al.* 2009) wurde vorgeschlagen, den **NKS**, die **Bodendatenbank der WSL** (Walthert, WSL) und **Bestände mit dendroökologischen Daten** (Projekt Weber & Walthert⁵, Abbildung 1g-i) als Grundlagen zur Auswahl der Populationen zu verwenden. Das Integrieren von NKS-Beständen soll eine Umsetzung der Resultate in die Forstpraxis garantieren. Bestände mit Bodendaten sollen es ermöglichen, Sämlingsmerkmale nicht nur mit Klimavariablen, sondern auch mit Bodenvariablen in Beziehung zu setzen. Dendroökologische Daten sollen für vereinzelte Bestände eine vertiefte Analyse von Sämlingsmerkmalen und Wachstumsparametern von adulten Bäumen ermöglichen.

Bei der Auswahl von Populationen aus dem **NKS** wurden «ausgewählte» gegenüber «quellengesicherten» Beständen bevorzugt und «autochthone» gegenüber «vermutlich autochthonen». Ebenfalls bevorzugten wir heute nachweislich zur Samenernte genutzte Bestände gegenüber nicht mehr genutzten. Bei der Buche und Tanne wurde der NKS stark gewichtet, bei der Fichte geringer. Bei der Fichte nutzten wir vor allem Information von früheren Studien, bei welchen die Autochthonie abgeklärt wurde.

⁵ «Konkurrenzkraft und Standortsensitivität von Baumarten»

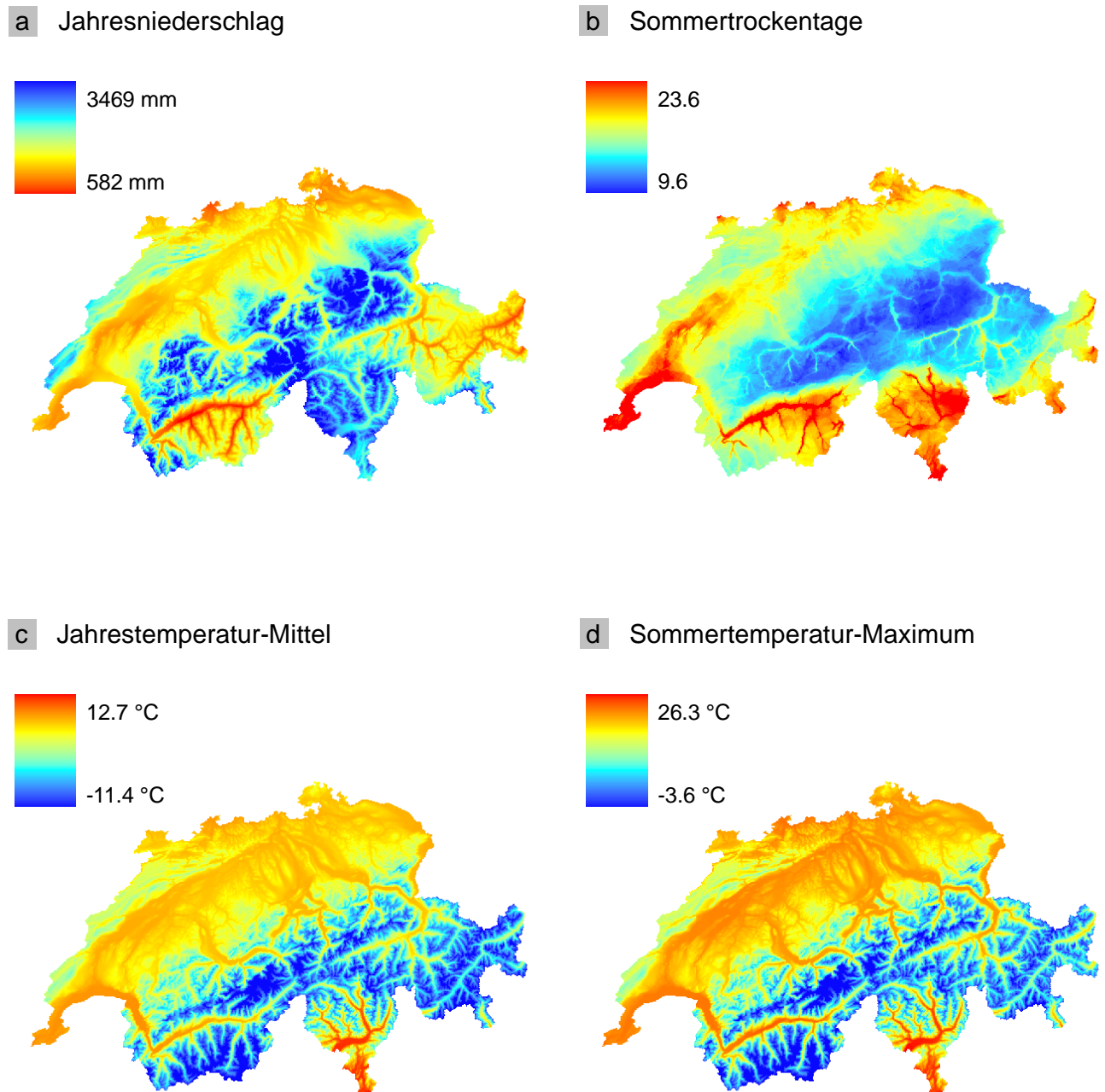


Abbildung 2. Modellierte Klimaparameter der Periode 1961-1990: a Mittlerer Jahresniederschlag; b mittlere Anzahl aufeinander folgende Sommertrockentage; c mittlere Jahrestemperatur; d mittlere Sommertemperatur-Maxima. Quelle: D. Schmatz, WSL.

Da bei Beständen der **Bodendatenbank der WSL** keine Angaben zur Autochthonie vorliegen, stand diese Datenquelle einzig bei der Buche im Vordergrund. Sie wurde aber bei der Tanne und Fichte mitberücksichtigt.

Als wichtige Grundlage zur Auswahl der Populationen verwendeten wir Information aus **genetischen Studien**. Bei der Tanne (Hussendörfer 1994, 1997, 1999) und Fichte (Müller-Starck 1995) wurden isoenzymatische Untersuchungen durchgeführt, dies als Grundlage zur Einrichtung von «Wäldern mit besonderem genetischen Interesse» (Bonfils & Bolliger 2003). Bei beiden Studien wurde die Autochthonie der untersuchten Bestände aufwändig abgeklärt (Begehung der Bestände durch Experten, forstgeschichtliche Recherchen). Bei der Fichte verwendeten wir zwei weitere genetische Studien, welche zum Ziel hatten, die

nacheiszeitliche Einwanderung der Fichte zu rekonstruieren: Stutz (1990) benutzte dazu Isoenzyme, Sperisen *et al.* (2005) und Tollefsrud *et al.* (2008) mitochondriale DNA (mtDNA). Geographische Muster von mtDNA-Variation lassen indirekt Hinweise auf die Autochthonie von Beständen zu.

Bei der Tanne und Fichte wurde zudem Information von **Provenienzversuchen** genutzt. Bei der Tanne handelt es sich um einen internationalen Tannenprovenienzversuch (Commarmot 2008), bei der Fichte um einen Provenienzversuch des Kantons Waadt (Bossel 1983, Fouvy & Jeantet 1997, Auskünfte von M. Meylan).

Weitere Grundlagen bildeten die **Forschungsprojekte** «Langfristige Waldökosystemforschung» LWF (www.lwf.ch), «Forschung und Wirkungskontrolle in Naturwaldreservaten» (www.waldreservate.ch), «Trockenheit als limitierender Faktor für An- und Aufwuchs von Hauptbaumarten» (Moser & Wohlgemuth 2009) und Expertenwissen; im Kanton Uri entnahmen wir z.B. die Verbreitung der Tanne einer Publikation von Oechslin (1927).

Für Kantone/Regionen/Rasterquadrate ohne NKS-Angaben⁶, ohne Informationen von anderen Studien und ohne Expertenangaben von WSL-Mitarbeitern wurden Forstämter und Förster kontaktiert (Graubünden: U. Bühler, Glarus: K. Winzeler und J. Walcher, Wallis: C. Pernstich und mehrere Kreisförster, Jura: F. Girardin, Tessin: G. Tettamanti, F. Riva und I. Ceschi).

2.4 Vorgehen bei der Auswahl der Populationen

Die Anwendung der in Kap. 2.2 aufgeführten Kriterien erforderte ein iteratives Vorgehen. Die Datengrundlage zur Auswahl wurde dabei immer besser, z.B. standen die modellierten Klimakarten zu Beginn noch nicht zur Verfügung. Die Auswahl und Beerntung erfolgten unter grossem Zeitdruck, denn der Erntebeginn fiel zeitlich mit der Projektgenehmigung am 1.9.2010 zusammen.

Wenn eine Baumart in einem Rasterquadrat vorhanden war, wurde je nach Klima- und Höhengradient im Rasterquadrat die Anzahl darin zu wählender Populationen festgelegt. Im Mittelland wurde eine Population pro Rasterquadrat gewählt, in Jura und Alpen in der Regel zwei. In Ausnahmefällen wurden mehr als zwei Populationen gewählt, zum Beispiel bei grossem Standortsgradienten, in Rasterquadraten mit Extremstandorten (Höhe, Klima) oder in solchen mit isolierten Populationen. War eine Baumart nur in einem Teil eines Rasterquadrates vorhanden, wurde die Anzahl Populationen reduziert. Bei der Auswahl innerhalb eines Rasterquadrats wurde auch auf die Lage der Populationen in benachbarten Rasterquadraten geachtet.

Die Tabellen 2, 3 und 5 in Kap. 7.3 enthalten für jede Population eine Begründung, weshalb sie gewählt wurde.

2.5 Besonderheiten der Auswahl der Tannenpopulationen⁷

Die Gründe für die Auswahl jeder Tannenpopulation finden sich in Tabelle 2⁸. Die geographische Lage der Populationen ist in Abbildung 3 dargestellt. Klima-

⁶ Der NKS beruht auf Angaben der Kantone, die unterschiedlich viele Informationen lieferten.

⁷ Die Baumarten sind jeweils in Reihenfolge der Beprobung aufgeführt.

daten standen bei der Auswahl noch nicht zur Verfügung. Zu Beginn erfolgte die Auswahl mit Hilfe folgender Datengrundlagen:

- Im NKS aufgelistete Bestände
- 12 Populationen aus der genetischen Studie von Hussendörfer (1999)⁹

Die im NKS aufgelisteten Tannenbestände sind sehr uneinheitlich über das Tannenverbreitungsgebiet verteilt. Für viele Bestände fehlten zudem die Koordinaten. Für den Kanton Graubünden stellte uns U. Bühler (Amt für Wald Graubünden) Karten mit Bestandesangaben zur Verfügung. In anderen Regionen wurden ebenfalls bei Bedarf die Forstämter konsultiert oder die Koordinaten mit Hilfe von Lokalnamen aus der Karte gelesen.

Später im Auswahlverfahren kamen folgende Datengrundlagen dazu:

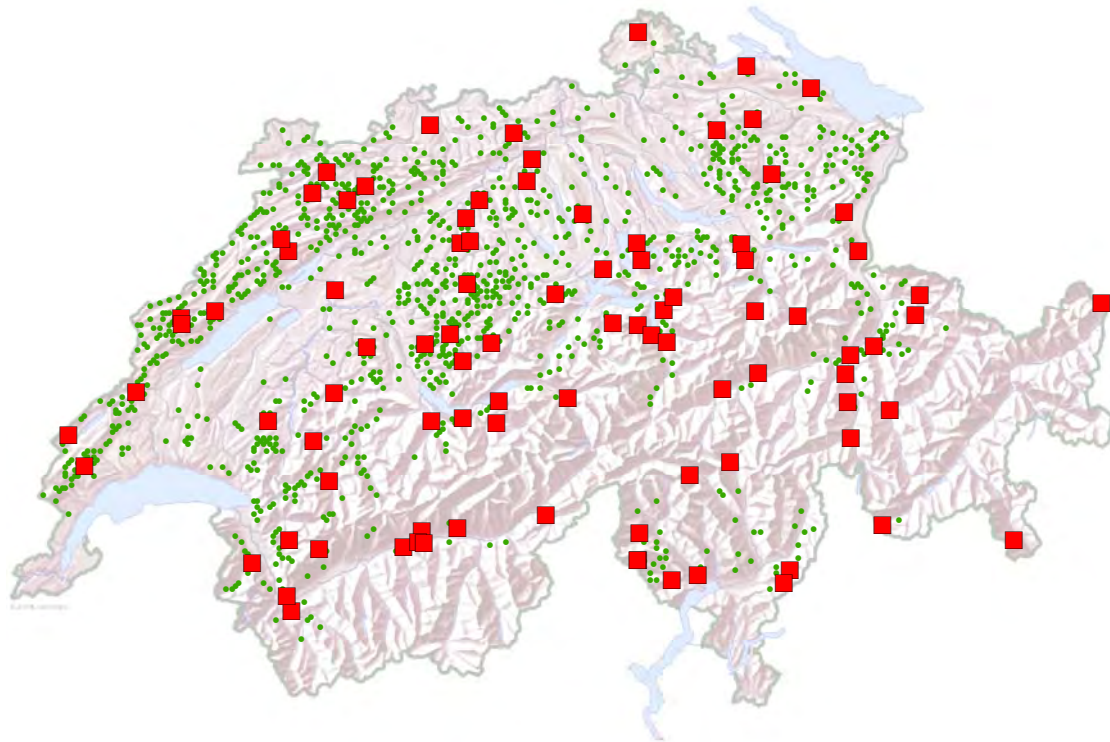
- Ausgewählte Bestände mit Bodendaten (Walthert, WSL)
- Dendroökologisch beprobte Bestände (Projekt Weber & Walthert)
- 10 Bestände aus einem IUFRO-Tannenprovenienzversuch (Rütz et al. 1998, Commarmot 2008). Diese Herkünfte figurierten aber ausnahmslos auch in anderen Quellen (z.B. NKS).
- Von Experten genannte Bestände

Das Hinzukommen neuer Datenquellen führte dazu, dass z.T. in bereits genügend abgedeckten Rasterquadraten zusätzliche Populationen beerntet wurden. In einigen wenigen Beständen (Bödmerenwald, Arbedo und Bergün) fanden die Kletterer keine oder nur sehr wenige Tannen. An einem der Extremstandorte (Pfynwald) konnte nur eine Tanne beerntet werden, da nur diese Samen trug.

Insgesamt stehen Samen aus 93 Populationen zur Verfügung (Abbildung 4). Davon wurden 90 Populationen im Projekt selbst beerntet, bei 3 Populationen stammen die Samen aus dem Projekt von Moser & Wohlgemuth (2009). Wichtigste Quelle für die selbst beernteten Tannenpopulationen war der NKS (41 Populationen, davon nach NKS 16 «autochthon» und 25 «vermutlich autochthon»). Für 28 beerntete Populationen dienten andere Untersuchungen als Quelle (s. oben). An 5 dieser 28 Populationen existiert ein Bodenprofil, in 3 Populationen stammen aus dem Projekt von Weber & Walthert. 23 Populationen wurden aufgrund von Informationen von Forstämtern, Forstbaumschulen und Förstern ausgewählt. 7 weitere wurden aufgrund von Angaben von Experten an der WSL bestimmt.

⁸ Weitere Details zu den Tannenpopulationen finden sich unter N:\PRJ\Adapt\Tanne\Prjadapt_Tanne_Bestände_2.xls

⁹ 6 Weitere von Hussendörfer aufgeführte Populationen sind auch im NKS aufgelistet



- Beerntete Tannenpopulationen
- Tannenvorkommen >20% (LFI3)

Abbildung 4. Lage von 92 beernteten Tannenpopulationen. Eine weitere Population ist nicht dargestellt. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA082265).

2.6 Besonderheiten der Auswahl der Buchenpopulationen

Die Gründe für die Auswahl jeder Buchenpopulation finden sich in Tabelle 3, der Grund für das Weglassen einzelner Populationen in Tabelle 4¹⁰. Die geographische Lage der Populationen ist in Abbildung 5 dargestellt. Die 18 von P. Weber dendroökologisch beprobten Populationen waren bei der Auswahl gesetzt. Für die restlichen Populationen galten folgende Prioritäten:

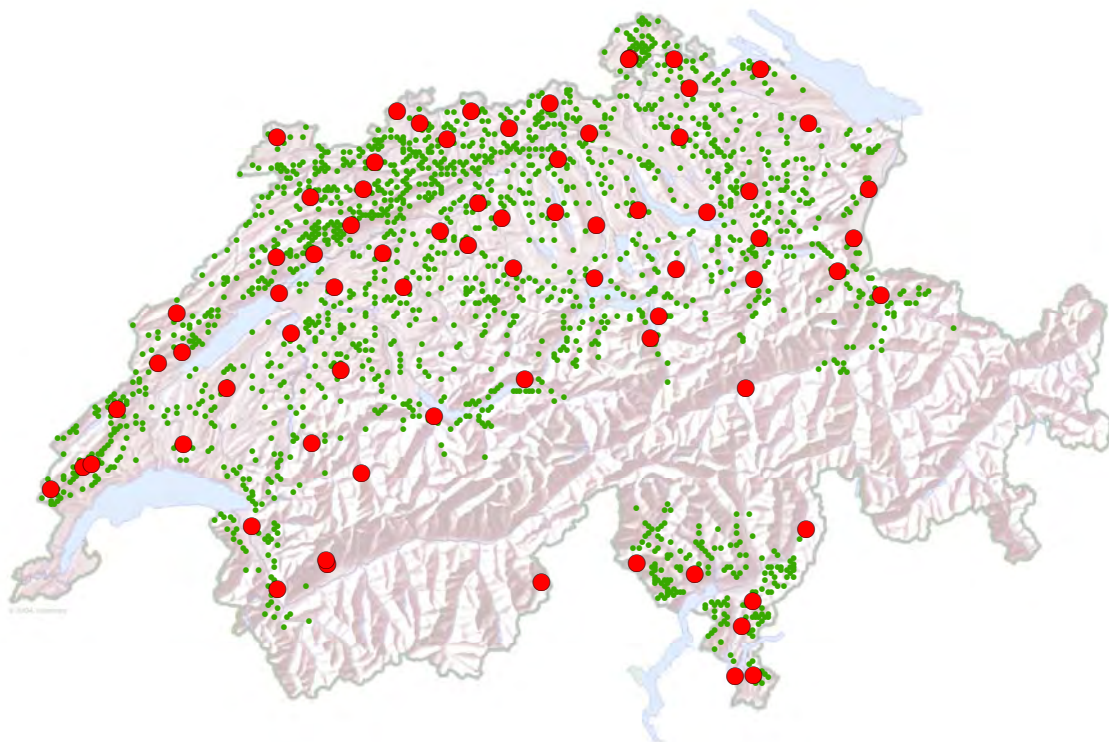
- Bestände in der Bodendatenbank der WSL
- Im NKS verzeichnete Samenerntebestände
- Bereits bei der Tanne beerntete Populationen
- Von Experten genannte Populationen
- LWF-Flächen

Die Auswahl in der Region um Bern wurde vorgezogen, wobei autochthone Buchenbestände aus dem NKS ausgewählt wurden, damit die Mitarbeiter der Hochschule für Landwirtschaft (SHL) mit der Beprobung beginnen konnten. Bei der weiteren Auswahl wurden Populationen mit Bodendaten gegenüber NKS-Populationen bevorzugt. Im Kanton Tessin wählte G. Tettamanti die Populationen weitgehend selbständig aus. Im Rahmen seiner Beerntung für Eigen-

¹⁰ Weitere Details zu den Buchenpopulationen finden sich unter N:\PRJ\Adapt\Buche\Prjadapt_Buche_Bestände_1.xls.

bedarf sammelte er auch Samen für unser Projekt. Aus klimatischen und geographischen Gründen ergänzten wir diese mit zwei von uns selbst beernteten Populationen (Vergeletto und Avegno). Von den ursprünglich 92 festgelegten Populationen wurden einige aus Kapazitätsgründen, wegen Schneefall oder fehlender Samen nicht beerntet (Tabelle 4).

Insgesamt steht Saatgut aus 80 Buchenpopulationen zur Verfügung (Abbildung 5). Davon wurden 74 Populationen im Projekt selbst beerntet, bei 6 Populationen stammen die Samen aus dem Projekt von Mühlethaler & Stampfli (2009). Von den 18 Populationen mit dendroökologischen Untersuchungen konnten 15 beerntet werden. An 24 weiteren Standorten sind Bodenprofile vorhanden, darunter 2 LWF-Flächen. Für 6 weitere Populationen dienten frühere Untersuchungen als Quelle, wobei diese zum Teil auch im NKS aufgenommen sind. 21 Populationen figurierten im NKS, 4 davon waren Experten an der WSL bekannt. Auf eine Population wies uns ein Forstamt hin, 3 wählte G. Tettamanti aus und auf 4 weitere wurden wir im Buch von Steiger (1994) aufmerksam. Die Population Dagmersellen konnte aufgrund sehr steilen Geländes und zu wenig Samen nicht einzelbaumweise beerntet werden. Da sie aber dendroökologisch beprobt worden war und seltene Bodeneigenschaften aufweist (sehr sauer), wurde sie doch bestandesweise beerntet.



● Beerntete Buchenpopulationen

● Buchenvorkommen >20% (LFI3)

Abbildung 5. Lage der 74 in der Schweiz beernteten Buchenpopulationen. Weitere 6 Populationen in Italien und Slowenien sind nicht dargestellt. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA082265).

An der SHL läuft ein SBF-COST-Projekt mit einem Provenienzversuch, bei welchem Buchensaatgut von je 6 Mutterbäumen von einem trockenen und feuchten Standort unter verschiedenen klimatischen Bedingungen getestet wird (Mühlethaler & Stampfli 2009). Diese gepaarten Provenienzen stammen aus

Slowenien (Dinarisches Gebirge), Italien (Mt. Terminio, Montagna Fiorentina und Passo del Melogno) sowie aus der Schweiz (Osterfingen SH, Oberried BE, Serpiano TI). Die Bucheckern von je 3 Mutterbäumen mit der höchsten Samenausbeute können voraussichtlich für das in diesem Bericht beschriebene Projekt zur Verfügung gestellt werden.

2.7 Besonderheiten der Auswahl der Fichtenpopulationen

Die Gründe für die Auswahl jeder Fichtenpopulation finden sich in Tabelle 5¹¹. Die geographische Lage der Populationen ist in Abbildung 6 dargestellt. Bei der Fichte wurde der Autochthonie besonders Beachtung geschenkt. Dabei stützten wir uns massgeblich auf früher durchgeführte Studien, bei welchen die Autochthonie neu abgeklärt (Müller-Starck 1995, Stutz 1990) oder mittels mtDNA indirekt nachgewiesen wurde (Sperisen *et al.* 2005 und Tollefsrud *et al.* 2008). Priorität hatten folgende Populationen:

- 17 Populationen verteilt über den Alpenraum und den Jura (Müller-Starck 1995; bei einer dieser Populationen (Simplon) erfolgte die Beerntung jedoch in einer Distanz von 1,4 km zum Originalstandort, so dass hier ein direkter Bezug nicht möglich ist)
- 13 Populationen im Wallis (Stutz 1990)
- Ausgewählte Populationen aus den genetischen Studien von Sperisen *et al.* (2005) und Tollefsrud *et al.* (2008)

Zusätzlich dienten folgende Datengrundlagen zur Auswahl:

- Im NKS aufgelistete Populationen (bei Populationen aus den Kantonen Jura, Obwalden und Waadt wurden Angaben zur Autochthonie bei den Forstämtern eingeholt)
- 18 Populationen des Fichtenprovenienzversuches im Kanton Waadt (Bossel 1983, Fouvy & Jeantet 1997)
- Von Experten genannte Populationen
- 4 LWF-Flächen
- Populationen mit dendroökologischer Beprobung (Projekt Weber & Walthert, 2 Bestände zur Auswahl)
- Literaturangaben (vor allem Steiger 1994)

Mit den oben aufgeführten Grundlagen konnte eine günstige geographische und klimatische Verteilung der Populationen erreicht werden. Eine Ausnahme bildete das Tessin, für welches nur wenige Daten verfügbar waren.

Aus Zeitmangel und Kostengründen beernteten wir die von Stutz (1990) untersuchten Populationen nicht neu, sondern integrierten das 1985 beerntete Saatgut (Einzelbaum-Absaaten von bis zu 10 Bäumen). Zwei von Stutz (1990) untersuchte Populationen (Fully und Oberwald) wurden erneut beerntet, um einen Vergleich zwischen den beiden Beerntungen zu ermöglichen. Fälschlicherweise

¹¹ Weitere Details zu den Fichtenpopulationen finden sich unter [N:\PRJ\Adapt\Fichte\Prjadapt_Fichte_Bestände_9.xls](#).

wurde im Gebiet von Oberwald aber nicht der von Stutz (1990) untersuchte Bestand beerntet, sondern ein benachbarter Bestand.

Im Full Proposal (Brang et al. 2009) wurde vorgeschlagen, die Populationen des Fichten-Provenienzversuches des Kanton Waadt im Projekt zu integrieren, um zu evaluieren, inwieweit von Sämlingsmerkmalen auf Merkmale adulter Bäume geschlossen werden kann. Da sich die Provenienzen aber auf ein relativ kleines Gebiet beschränken, wurden letztlich nur 5 Populationen ausgewählt. Im Grand Risoux wurde die von Müller-Starck (1995) untersuchte Lokalität derjenigen des Provenienzversuches vorgezogen. Da der Grand Risoux ein grosses zusammenhängendes Waldgebiet bildet, kann hier aber von einer einzigen Population ausgegangen werden.

An zwei Lokalitäten (Nax und Murg) wurde angestrebt, drei Populationen entlang eines Höhengradienten zu beernten. Im Gebiet von Murg konnte dann aber kein geeigneter tief gelegener Bestand ausfindig gemacht werden.

Während der Beerntung stellte sich heraus, dass der Samenbehang in einigen Regionen ungenügend war (Graubünden, tiefe Lagen im Wallis). Der relativ späten Beerntung wegen waren zudem bei einigen Populationen die Samen schon ausgeflogen (Tessin, südliche Täler im Graubünden, Region Zürich). Wie bei den anderen Baumarten wählte G. Tettamanti die Populationen im Tessin selbständig aus. Ab Anfang Dezember 2009 waren dann die höheren Lagen wegen Schnee nur noch beschränkt zugänglich, und es konnten nicht alle ausgewählten Populationen beerntet werden. In einigen Fällen mussten wir auf tiefer gelegene Populationen ausweichen (Rüschegg, Schrattenfluh, Simplon, Zermatt).

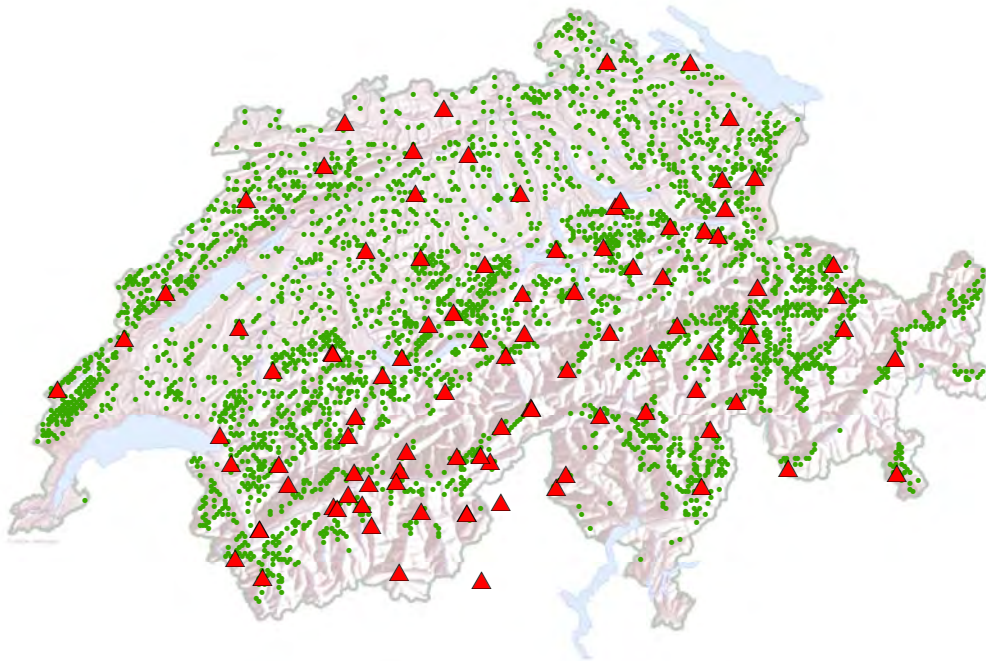
Verbleibende geographische und klimatische Lücken wurden mit an der WSL eingelagerten Samen geschlossen. Diese Samen stammen aber nicht von Einzelbäumen, sondern stellen ein Gemisch von mehreren Bäumen dar. Für einige dieser Saatgutgemische ist die Anzahl der beernteten Bäume bekannt (Samenernteformulare von A. Burkart). Die meisten der Bestände mit Mischsaatgut sind im NKS aufgeführt, oft aber ohne Angaben zur Autochthonie. Mit der Ausnahme von Beständen im Mittelland kann aber gemäss Experten von Autochthonie ausgegangen werden.

Am Schluss wurden 3 Bestände aus dem Projekt von Moser & Wohlgemuth (2009) hinzugefügt (Leuk, Bonaduz, Wienerwald).

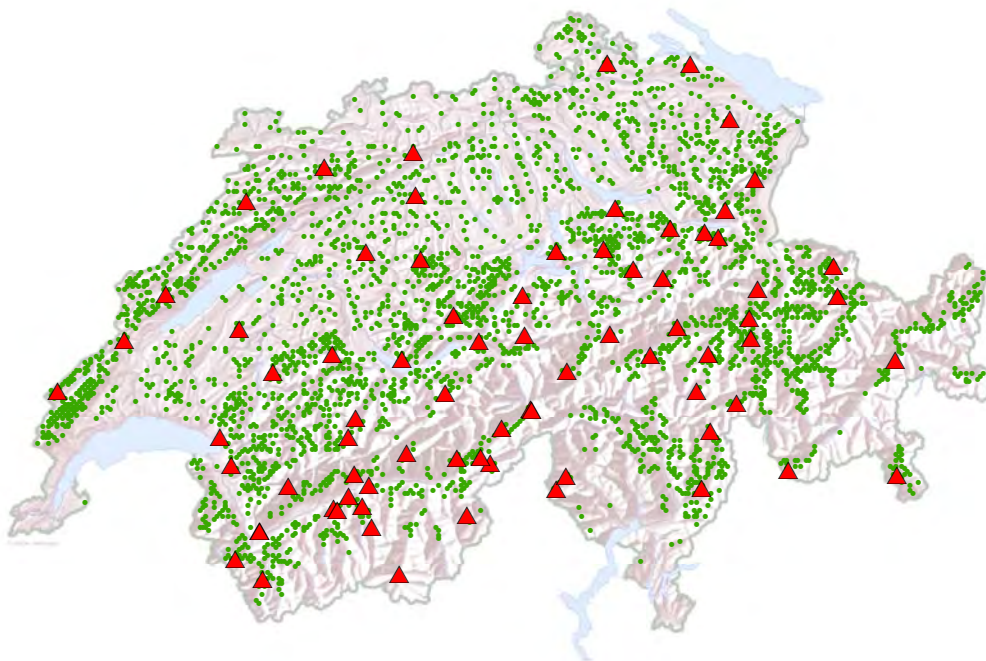
Insgesamt stehen Samen aus 98 Populationen zur Verfügung. 3 davon (Pfäffikon, Rüschegg, Simplon) dienen als Ergänzung zu Populationen, bei welchen nicht die angestrebte Anzahl Samen gewonnen werden konnte. Bei 2 weiteren Populationen (Fully und Oberwald) wurden in bereits früher beernteten Populationen Samen neu geerntet. Entsprechend liegen Samen von 93 geographisch unterschiedlichen Lokalitäten vor. Von 76 Populationen stehen Samen von Einzelbäumen zur Verfügung: 59 Populationen wurden im Projekt selbst beerntet, bei 13 Populationen stammt das Saatgut aus den Untersuchungen von Stutz (1990), bei 3 weiteren aus dem Projekt von Moser & Wohlgemuth (2009) und bei einer Population aus dem Samenlager der WSL. Das Saatgut der restlichen 22 Populationen ist ein Gemisch von Samen mehrerer Mutterbäume. Wichtigste Quelle für die Populationen mit Einzelbaum-Absaaten waren genetische Studien (37 Populationen). Es folgen der NKS (12 Populationen), der Provenienzversuch im Kanton Waadt (4), LWF-Flächen (2) und das Projekt

von Weber & Walther (1). 14 Populationen wurden aufgrund von Information von Experten oder Literaturangaben ausgewählt.

a Alle Populationen



b Populationen mit Einzelbaum-Absaaten



- ▲ Beerntete Fichtenpopulationen
- Fichtenvorkommen >20% (LFI3)

Abbildung 6. Lage der 98 in der Schweiz und in Norditalien beernteten Fichtenpopulationen. a Alle Populationen (Einzelbaum-Absaaten und Samengemische); b Populationen mit Einzelbaum-Absaaten. Eine weitere Population aus der Region Wien ist nicht dargestellt. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA082265).

2.8 Auswahl der Einzelbäume

Um Verwandtschaftsbeziehungen möglichst gering zu halten, wurden die Kletterer beauftragt, Bäume in einem Abstand von minimal 100 m zu beernten. Die Höhendifferenz sollte nicht mehr als 20 m betragen (Kap. 7.4). Ab dem 13.10.2009 wurden gleiche Standortparameter für alle drei beernteten Bäume einer Population aber dem Kriterium des Minimalabstandes von 100 m zwischen ihnen vorgezogen. Bei kleinräumigem Standortmosaik wurden also fortan drei möglichst weit auseinander stehende Bäume gewählt, welche gleiche Hangneigung und -exposition, ähnliche Krautvegetation und ähnliches Relief aufwiesen. Auf LWF-Flächen und in Beständen, in welchen dendroökologische Untersuchungen (Bohrkernentnahme) durchgeführt worden waren, wurde der 100 m-Abstand zugunsten von bereits untersuchten oder beprobten Bäumen unterschritten. Der Abstand zwischen den einzelnen Bäumen sollte aber mindestens 40 m betragen. Ob die beprobten Bäume in der Mitte oder am Rand eines Bestandes standen, spielte keine Rolle.

Die Buchen im Projekt von Mühlethaler & Stampfli (2009) wurden mit einem Raster von 50 m oder 100 m im Buchenbestand festgelegt, wobei ab diesem Stichprobenpunkt der dickste und ergiebigste Baum bestimmt wurde, innerhalb eines Kreises mit Radius unter 20 m (ausnahmsweise auch unter 30 m).

3 SAMENERNTE

3.1 Vorbereitungsarbeiten

Die Samenernte an derart vielen Standorten war organisatorisch aufwändig. Schon vor der definitiven Projektbewilligung am 1.9.2009 wurde mit der Auswahl der Populationen begonnen. Aufgrund des unterschiedlichen Reifungszeitpunktes der Samen (Burkart 2000) fand die Ernte in der Reihenfolge Tanne-Buche-Fichte statt.

Nadelbäume mussten durch ausgebildete Baumkletterer beerntet werden, da sich die Samen in den Zapfen zuoberst im Baum befinden. Dazu engagierten wir fünf Kletterteams. Ein möglichst geringer Fahraufwand wurde angestrebt, war aber aufgrund der rollenden Planung nicht immer möglich. Die Teams wurden vor der Ernte mit einem Mäppchen für jede Population ausgestattet, welches eine Landeskarte im Massstab 1:25'000 und Ernteformulare enthielt. Sie erhielten auch Spraydosen, gelbes Plastikband und Stifte zur Baummarkierung sowie Jutesäcke zur Lagerung der geernteten Zapfen und Etiketten zu deren Beschriftung. Die Etikette enthielt die Identifikationsnummer der Population (POP_ID), die politische Gemeinde, auf deren Grund sich der Bestand befindet sowie die Nummer des beernteten Baumes (1, 2 oder 3).

Für die technisch weitaus einfachere, aber ebenfalls zeitaufwändige Ernte der Bucheckern durften wir auf die Hilfe von U. Mühletaler (SHL) zählen, welcher uns mit zeitweise drei Mitarbeitenden und zwei Aushilfen unterstützte. Als etwa die Hälfte der Buchenpopulationen beerntet war, wurden diese von Praktikanten und Zivildienstleistenden der WSL abgelöst.

Auch für die Ernte der Buchen wurden die Teams mit Ernteformularen und Landeskarten im Massstab 1:25'000 ausgestattet. Die Buchen wurden gleich markiert wie die Tannen und Fichten. Anstatt Jutesäcken und Etiketten erhielten

die Buchensammelteams Sammelgefässe für die Bucheckern und beschriftete Papiersäcke für deren Transport an die WSL (gleiche Information wie auf den Etiketten für die Ernte der Zapfen).

Bei allen Baumarten wurde grosser Wert darauf gelegt, dass die Teams bei ihrem ersten Ernteeinsatz von jemandem aus dem Projektteam oder jemandem, der bereits Erfahrung mit dem Sammeln hatte, begleitet wurden.

Die Forstdienste informierten wir meist über die kantonalen Waldämter, mit der Bitte, diese Information an die betroffenen Förster weiterzuleiten. Dies klappte meist.

3.2 Auswahl und Markierung der beernteten Bäume

Die Beernter mussten zuerst entscheiden, ob drei Bäume der zu beerntenden Baumart vorhanden waren, welche die Auswahlkriterien erfüllten: Oberschicht, gleiche Exposition, gleiche Standortbedingungen (s. oben), mindestens 20 Bäume der gleichen Art in Sichtweite. Wenn mehrere Baumarten im selben Bestand beerntet wurden, wurde die Distanz zwischen den Arten möglichst gering gehalten.

Die Kletterer, welche die Tannen und Fichten beernteten, mussten neben oben stehenden Kriterien auch auf die Erkletterbarkeit der Bäume Rücksicht nehmen. Pro Baum ernteten sie ca. 2-3 kg Zapfen, zuweilen auch mehr, und füllten sie in einen Jutesack. Dieser wurde mit der vorbereiteten Etikette beschriftet.

Bei den Buchen gab es ein zusätzliches Kriterium: Sie mussten isoliert stehen. «Isoliert stehen» heisst, dass beim Auflösen von Bucheckern vom Boden unter dem Baum mit einiger Sicherheit nur Saatgut dieses Baumes gesammelt wurde (Abbildung 7 links). Wir vermuteten, dass dies am ehesten bei Beständen mit dicken Bäumen der Fall sein würde (Altholz, besonders nach Schirmhieb), in mittleren Baumhölzern nach starken Durchforstungen oder wenn Buchen (mit ca. 25-50% der Stammzahl) mit anderen Baumarten (mit ca. 50-75% der Stammzahl) gemischt sind. In der Praxis stellte sich dann heraus, dass Buchen am Wegrand oder gar am Waldrand am einfachsten zu beernten waren. Waren die Eckern auf den Weg gefallen, waren sie einfach aufzulesen und meist gut zuzuordnen. Zudem hatten diese Bäume oft mehr Eckern als andere. Zu Beginn wurden 5 dl Eckern pro Baum gesammelt, ab dem 13.10.2009 aus Zeitgründen nur noch 3 dl, was für die Aussaat reichen sollte. Die gesammelten Samen wurden in vorbereitete, beschriftete Papiersäcke abgefüllt und darin an die WSL transportiert. Wie sich in den abgezählten Samenzahlen zeigt (Kap. 4.2.2), war es teilweise schwierig, die benötigte Menge Eckern zu sammeln.

Um die drei beprobten Bäume später wieder zu finden, wurden sie mit schwarzem Filzstift nummeriert (1, 2 oder 3, ca. 10 cm hoch, Abbildung 7 rechts) und diese Nummern möglichst genau in eine Landeskarte im Massstab 1:25'000 eingetragen. Zudem wurden alle beernteten Bäume auf zwei Seiten mit einem gelben Punkt (Spraydose) und einem Vogelschreckband auf Brusthöhe markiert (Abb. Abbildung 7 rechts). Die Markierung ist in den Anleitungen für die Samenernteteams beschrieben (Kap. 7.4).

Wer an welchem Tag welchen Bestand beerntete, ist dokumentiert (s. Dateien in Kap. 7.1).

Im Projekt von Mühlethaler & Stampfli (2009) wurden von jedem Mutterbaum wenn möglich ca. 1000 Bucheckern vom Boden aufgelesen, wobei offensichtlich leere und wurmstichige Samen ausgeschieden wurden. Von allen Mutterbäumen wurden GPS-Koordinaten und Referenzpunkte erfasst. Sie sind von 1 bis 6 nummeriert (rot auf dem Trockenstandort, blau auf dem Feuchtstandort) und wurden photographiert.



Abbildung 7. Links: Isoliert stehende, beerntete Buche (Population Malans GR). Rechts: Markierung einer beernteten Tanne (Population Wartau SG).

3.3 Bei der Beerntung erhobene Daten

Während der Buchenernte wurden auch Merkmale der beprobten Bäume erhoben¹². An jedem Baum wurde mit einem Umfangmessband der Brusthöhendurchmesser (BHD) auf cm genau und mit einem Vertex-Höhenmessgerät die Höhe auf dm genau gemessen sowie die soziale Stellung nach Kraft bestimmt (Assmann 1961). Bei Nadelbäumen führten die Kletterer diese Messungen bei der Zapfenernte nicht durch. Die Bestände müssen zu diesem Zweck nochmals besucht werden.

Um kein Plastik im Wald zurückzulassen, müssen nach Abschluss der Messungen die Vogelschreckbänder entfernt werden. Viele Buchenstandorte müssen deshalb nochmals besucht werden.

Bei den Buchen im Projekt von Mühlethaler & Stampfli (2009) wurden von allen Mutterbäumen GPS-Koordinaten und Referenzpunkte erfasst.

¹² Die Buchen im Kanton Tessin wurden bei der Ernte nicht vermessen.

3.4 Dokumentation der Lage der beernteten Populationen

Die Landeskarten, auf denen die Ernteteams die Lage der Samenbäume eingetragen hatten, wurden gescannt und digital abgelegt.

3.5 Zeitlicher Ablauf der Samenernte

Der Zeitdruck zwang uns während fast der ganzen Samenernte zu einer rollenden Planung. Wir mussten meistens mit dem nächsten Arbeitsschritt anfangen, bevor der vorhergehende abgeschlossen war. Das Sammeln und Klettern war sehr wetterabhängig. Während der Zeit der Tannenernte im September 2009 herrschte etwa drei Wochen lang durchgehend schönes Wetter. Während der Buchenernte war das Wetter wechselhaft. Dies verzögerte die Ernte und führte gegen Schluss zu Problemen mit Kälte und Schnee, weshalb auch einige Populationen gestrichen wurden. Die Ernte der Fichtenzapfen zögerte sich wegen Schnee und Regen und wegen der Verfügbarkeit der Kletterer hinaus.

Die Samenernte lief zeitlich wie folgt ab:

12./13.8.2009	Arbeitsbeginn C. Arnold und M. Dicht, Beginn der Auswahl der Populationen
31.8.-1.10.2009	Ernte Tanne (total 40-43 Arbeitstage für die Kletterteams)
5.10.-20.11.2009	Ernte Buche (total 43-44 Arbeitstage für die Sammelteams)
14.10.2009-3.3.2010	Ernte Fichte (ca. 28-29 Arbeitstage für die Kletterteams)

4 SAMENAUFBEREITUNG

4.1 Lagerung

Zwischen Ernte und Aussaat wurden die Zapfen, Samen und Eckern so gelagert, dass ihre Keimfähigkeit möglichst erhalten blieb. Dabei half uns die langjährige Erfahrung von A. Burkart und seines Teams (s. Burkart 2000).

Die Zapfen der **Tanne** wurden vor der Klengung relativ lange und, je nachdem wer sie geerntet hatte, unterschiedlich gelagert. Die Zapfen waren zum Teil recht feucht, einige fingen im dichten Gewebe des Jutesacks zu schimmeln an. Es war daher oberstes Ziel der Lagerung, dass sich dieser Schimmelbefall nicht ausdehnte und die Zapfen trockneten.

Von P. Suter (WSL) gesammelte Zapfen wurden fortlaufend an die WSL gebracht. Dort wurden sie schnellstmöglich aus den Jutesäcken in luftigere Zwiebelsäcke umgefüllt und in ausrangierte Metallkörbe im ungeheizten «Füürhüsli» auf dem WSL-Areal gelagert (Abbildung 8). Die Zwiebelsäcke verbesserten die Luftzirkulation zwischen den Zapfen, förderten so deren Trocknung und verminderten den Schimmelbefall. Bei einigen Tannen waren derart viel Zapfen gesammelt worden, dass einige Zapfen weggeworfen wurden. Die Türe zum «Füürhüsli» hielten wir offen, um die Luftzirkulation zu fördern. M. Audeoud, dessen Team in der Romandie Tannen beerntete, lagerte die Zapfen bis zum Ende der Ernte in einer Scheune. Auch er hatte mit Schimmelbefall zu kämpfen,

befreite die Zapfen aber in einer aufwändigen Prozedur manuell so gut wie möglich davon und bewahrte sie danach in den offenen Jutesäcken auf, bevor C. Arnold und M. Dicht sie an die WSL transportierten. In der Ostschweiz von Jürg und Juri Gees und im Tessin von G. Tettamanti und seinem Team gesammelte Zapfen wurden nach der Ernte ausgepackt und in Schachteln offen zwischengelagert. T. Schmidlin, der vor allem in der Nordwestschweiz sammelte, öffnete die Jutesäcke zur Lagerung ebenfalls.

Die von T. Schmidlin und M. Audeoud gesammelten Zapfen wurden nach dem Transport nach Zürich ebenfalls in Zwiebelsäcke gefüllt und für die restliche Zeit im «Füürhüsli» gelagert. Von J. Gees gesammelte Zapfen wurden bis 27.11.2009 in Rodels gelagert und an der WSL vor dem Klengen nicht mehr ausgepackt. G. Tettamanti klangte die Zapfen aus dem Tessin bereits vor und übergab sie uns in Plastiksäcke abgepackt.

Sämtliche Zapfen wurden von Zeit zu Zeit bewegt, um eine bessere Durchlüftung zu erreichen. Während der Lagerung im «Füürhüsli» an der WSL wurde ein Teil der Tannenzapfen von Maden befallen, welche aber von selbst wieder verschwanden. Auch taten sich Mäuse daran gütlich, was aber zu keinem wesentlichen Verlust an Samen führte.



Abbildung 8. Lagerung der Tannenzapfen im «Füürhüsli» auf dem WSL-Areal.

Die **Bucheckern** wurden in den beschrifteten Papiersäckchen belassen (Abbildung 9), nachdem sie an die WSL gelangt waren. Um Schimmel zu verhindern und eine gute Belüftung zu gewährleisten, wurden die Säckchen geöffnet und die Eckern einige Tage bei Raumtemperatur getrocknet. Während dieser Zeit wurden sie mehrmals geschüttelt. Waren die Samen trocken, wurden die Säckchen wieder verschlossen und in die Kälte gestellt (PA C09, unbeheiztes Büro im «Palazzo», ca. 0-5 °C).

Im Projekt von Mühlethaler und Stampfli wurden die Eckern über Nacht auf Zeitungspapier zum Trocknen ausgelegt. Nach Ankunft an der SHL wurden die Samen auf Dörrex-Gitter ausgeleert und bei ca. 17 °C Umgebungstemperatur 2 bis 3 Tage lang getrocknet.

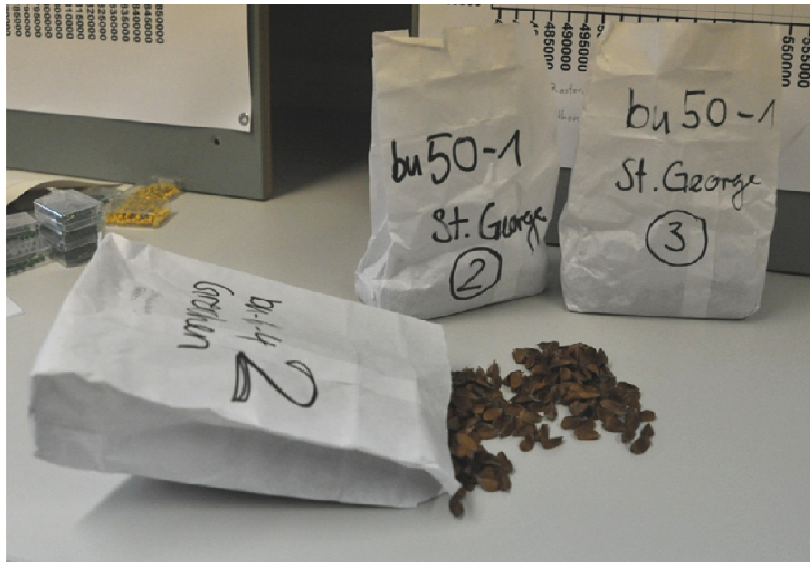


Abbildung 9. Lagerung der Bucheckern in Papiersäckchen.

Bei den **Fichtenzapfen** war keine Zwischenlagerung nötig. Jene, die direkt nach dem Sammeln an die WSL gelangten, wurden bald geklenget und bis dahin in den Jutesäcken gelagert. M. Audeoud, T. Schmidlin und J. Gees öffneten die Jutesäcke bis zum Transport an die WSL und bewegten die Zapfen ab und zu.

Bei Fichtenpopulationen, die nicht im Jahr 2009 beerntet wurden, ist die Behandlung der Zapfen und Samen nicht mehr eruierbar. Die Erfahrung von A. Burkart hat aber gezeigt, dass dieses Saatgut immer noch gut keimfähig ist.

4.2 Klengung und Tausendkorngewicht

4.2.1 Tanne

Nach der Lagerung im «Füürhüsli» wurden die Zapfen jedes Baumes im Gewächshaus (Temperatur 20 °C) während mindestens 2 Tagen nachgetrocknet. Je trockener die Zapfen sind, desto einfacher ist es, die Zapfenschuppen von Hand von der Spindel zu trennen (Abbildung 10). Die Spindeln wurden entsorgt, die Schuppen und Samen in Schalen gesammelt. Waren die Zapfen schon sehr trocken, erübrigte sich dieser Schritt, da sich die Schuppen von selbst von der Spindel gelöst hatten. Anschliessend wurden die geflügelten Samen mit Hilfe eines Siebes von den Schuppen getrennt und die Schuppen entsorgt.

Die noch geflügelten Samen wurden danach auf einem feinmaschigen, festen Metallgitter gerieben (Abbildung 11). Die Flügel zerbröselten und fielen durch die Maschen. Zurück blieben Samen und einige Flügel fragmente. Ein besseres Säubern der Samen wäre sehr aufwändig gewesen und war für die Aussaat unnötig. Da beim Entflügeln ätherische Öle aus den Samen gedrückt wurden, waren die Samen nach dem Klengen wieder feucht. Um sie zu trocknen, wurden sie während mindestens 2 Tagen in offenen Schalen (Abbildung 12) bei

Raumtemperatur (auf ca. 19 °C geheiztes Gewächshaus) gelagert. Damit die Samen nicht zusammenklebten, wurden sie von Zeit zu Zeit geschüttelt und gemischt.



Abbildung 10. Trennen der Tannensamen von den Schuppen. Samen und von den Spindeln gelöste Schuppen werden gesiebt. Feinteile inkl. Samen fallen durch das Sieb, die Schuppen werden in die Schale links geschüttet.



Abbildung 11. Entflügeln der Tannensamen mittels sanftem Reiben auf einem Sieb.



Abbildung 12. Trocknen der Tannensamen in offenen Schalen.

Die Tannensamen wurden dann in Papiersäcke abgefüllt und im unbeheizten Büro PA C4 im «Palazzo» an der WSL gelagert. Am 21./22. Januar 2010 wurde das Tausendkorngewicht (TKG) bestimmt, um für jeden Baum etwa die gleiche Saatmenge abwägen zu können. Dazu wurden 250 Samen von Hand abgezählt. Es wurde darauf geachtet, dass der Verschmutzungsgrad dieser Stichprobe etwa demjenigen der restlichen Samen desselben Baumes entsprach. Dazu musste den abgezählten Samen manchmal auch Schmutz (beispielsweise Flügelfragmente oder kleine Schuppen) hinzugefügt werden. Die 250 Samen wurden inkl. Verschmutzung im Samenlabor mit der Samenwaage (Busch Typ 40, Genauigkeit 0.05 g) gewogen. Das Vervierfachen des 250-Korn-Gewichts ergab das TKG.

Bei allen Arbeitsschritten wurde peinlich darauf geachtet, dass keine Samen in wieder verwendeten Gefässen hängenblieben.

4.2.2 Buche

Die Bucheckern wurden nach dem Sammeln für die Aussaat nicht weiter behandelt. Wie bei Tanne und Fichte wurde das TKG anhand von 250 abgezählten Samen bestimmt. Auch massen wir das Gesamtgewicht der gesammelten Samen. Aus Erfahrungswerten von A. Burkart wussten wir, dass etwa 600 Samen für die Aussaat nötig sein würden, was etwa den gesammelten 3 dl Samen entsprach.

Im Projekt von Mühlethaler & Stampfli (2009) wurde das TKG pro Mutterbaum anhand von Stichproben einige Tage nach der Ernte bestimmt. Anschliessend erfolgte eine Zwischenlagerung in einer Garage bei ca. 5° C, bevor die Samenpakete zum Pflanzgarten Lobsigen (Kanton Bern) transportiert wurden. Dort befinden sie sich in Plastikboxen und werden bei -6° C bis zu ihrer Verwendung gelagert. Vor der Einlagerung wurde in Lobsigen noch der Feuchtigkeitsgehalt der Bucheckern in Prozenten bestimmt. Von den 2009 ausgesäten Bucheckern

wurde aus einer Stichprobe der Samen jedes Baumes die Vitalität mittels Tetrazolium getestet. Sämtliche Daten und Photos sind an der SHL abrufbar.

4.2.3 Fichte

Damit sich die Zapfen öffneten, wurden die Fichten während 24 Stunden im Klengofen erwärmt (Temperatur 38-40 °C). Mit Hilfe der Klengtrommel wurden die Samen aus den Zapfen gelöst und ausgesiebt. Anschliessend wurden die ausgesiebten Samen in beschriftete Papiersäcke abgefüllt und bis zum Entflügeln zwischengelagert (meist im geheizten Gewächshaus bei 19 °C, über Weihnachten im unbeheizten Büro PA C4 bei ca. 0 bis 5 °C). Danach wurden die geflügelten Samen (wie die Tannensamen) auf einem feinmaschigen, festen Metallgitter gerieben. Die Flügel zerbröselten und fielen durch die Maschen, zurück blieben Samen und Flügelfragmente. Teilweise mussten noch Schuppen mit Hilfe eines Siebes entfernt werden. Nach dem Entflügeln wurden die Samen in einen Papiersack abgefüllt und bis zum Wägen im Gewächshaus (19 °C) zwischengelagert. Das TKG wurde wie bei der Tanne bestimmt (Kap. 4.2.1).

In der Saison 2009/2010 geerntete Samen könnten sich von früher geernteten, im Besonderen von denjenigen von H.-P. Stutz aus dem Jahr 1985, unterscheiden. Diese Samen wurden seit 1985 im Kühlraum (B18, 0° C) in verschlossenen Gläsern gelagert. Die Keimfähigkeit dieser Samen dürfte inzwischen etwas reduziert sein. Mögliche Unterschiede zwischen früher und 2009 gesammelten Samen werden bei den Auswertungen zu prüfen sein.

4.3 Abwägen der Saatmengen

Das provisorische Versuchsdesign erfordert 135 Sämlinge pro Einzelbaum. Aufgrund der Erfahrungen von A. Burkart mit Keimprozenten wurde entschieden, für die Aussaat von Tanne und Fichte für jeden Baum 2000 Samen abzuwägen, bei der Buche 600 (Samenwaage Hartner, Genauigkeit 0,5 g). Die abgewogenen Samen wurden in verschliessbare Plastikbeutel abgefüllt und im Samenkühlraum (0° C) gelagert. Überschüssige Samen wurden ebenfalls gewogen (Samenwaage Hartner, Genauigkeit: 5 g) und in verschliessbaren Plastikbeuteln eingelagert (Kühlraum A19, 0° C).

Bei der Tanne wurden die Plastiksäcke so gross gewählt, dass sie genügend Platz für die spätere Beigabe des Stratifiziersubstrats boten. So lagerten die Samen vor dem Stratifizieren noch etwa 3 Wochen im Kühlraum.

Bei allen **Tannen** ausser 4, die wir aus dem Projekt von Moser & Wohlgemuth 2009 erhielten, steht die angestrebte Menge Saatgut zur Verfügung.

Bei der **Buche** wurde bei Bäumen mit bis zu 650 Samen alle vorhandenen abgefüllt und eingelagert. Von den Populationen, die vor dem 13.10.2009 oder von G. Tettamanti beerntet worden waren, hatten wir einen Überschuss, welcher wie bei der Tanne separat in Plastiksäcke abgefüllt wurde. Folgende Anzahl Buchensamen pro Baum steht für die Aussaat bereit: Bei 11 Bäumen weniger als 300, bei 36 Bäumen zwischen 300 und 400, bei 44 Bäumen zwischen 400 und 500 und bei 131 Bäumen zwischen 500 und 650.

Bei der **Fichte** zeigte sich schon bei der Samenernte, dass die Samenmenge teilweise knapp sein würde. Bei 25 Bäumen wurde die angestrebte Anzahl von 2000 Samen nicht erreicht. Bei 5 Populationen liegen für alle drei beernteten

Bäume weniger als 2000 Samen vor. Für drei dieser Populationen stehen aber Samengemische von früheren Beerntungen zur Verfügung (siehe oben).

4.4 Zeitlicher Ablauf der Samenaufbereitung

Die Samenaufbereitung ist in den Dateien in Kap. 7.1 für jeden Bestand dokumentiert. In groben Zügen verliefen Klengung, Wägen und Einlagern der Samen wie folgt:

- | | |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 23.11.2009-19.1.2010 | Klengung Tanne, Arbeitsbeginn A. Boner am 23.11., 4.-19.1.2010 unterstützt durch J. Nussbaumer, total 16 Arbeitstage |
| 23.11.2009-9.2.2010 | Klengung Fichte, total 19 Arbeitstage |
| 21.-22.1.2010 | Auszählen, wägen und einlagern Tanne: 2 Arbeitstage (A. Boner, J. Nussbaumer, C. Arnold, M. Dicht, W. Lächli) |
| 4.2.2010 | Auszählen, wägen und einlagern Buche: 1 Arbeitstag (A. Boner und C. Arnold) |
| 24.2./3.+9.3./21.-22.4. | Auszählen, wägen und einlagern Fichte: 5 Arbeitstage (A. Boner, J. Born, R. Brücker, C. Heiri, M. Hobi, M. Lévesque, R. Pellegrino, H. Schmid, C. Sperisen, R. Tinner) |

5 EINSCHÄTZUNG DER BEERNTETEN POPULATIONEN

5.1 Allgemeine Einschätzung

Ziel dieses Kapitels ist eine provisorische Beurteilung, wie gut die beernteten Populationen das beerntete Gebiet geographisch und klimatisch abdecken. Die Klimadaten für die Abbildung 13, 15 und 17 wurden von D. Schmatz zu einem Zeitpunkt zur Verfügung gestellt, als noch nicht alle beernteten Populationen bekannt waren. Es wurde aber entschieden, bzgl. Klimadaten vorderhand auf Vollständigkeit zu verzichten, weil die Klimadaten später ohnehin für jede Population plausibilisiert werden müssen, was Aufgabe der/s Doktorand/in ab 2011 sein wird.

Dass im Herbst und Winter 2009/2010 alle drei Hauptbaumarten der Schweiz eine Mast aufwiesen¹³, die Tanne und Buche gar eine Vollmast, ist ein aussergewöhnlicher Glücksfall. Bei der Tanne, die auch den besten Samenbehang aufwies, ist das Ziel von 80 Populationen übertroffen. Bei der Buche erreichten wir dieses Ziel knapp, bei der Fichte verfehlten wir es, vor allem wegen mangelndem Samenbehang. Es wurde daher entschieden, bei der Fichte auf früher gesammeltes Saatgut zurückzugreifen, das z.T. nicht aus einzelbaumweiser Beerntung stammt. Es ist zu beachten, dass bzgl. Keimfähigkeit der geernteten Samen naturgemäss eine gewisse Unsicherheit besteht.

¹³ Gemäss den Erhebungen von A. Burkart und E. Fürst (WSL): Buche ganze Schweiz Vollmast, Tanne ganze Schweiz Halb- bis Vollmast, Fichte unterhalb 1000 m ü.M. Spreng- bis Halbmast, oberhalb 1000-1300 m ü.M. Halb- bis Vollmast;

Bei allen drei Baumarten deckt das Saatgut fast alle Regionen der Schweiz ab. Klimatische Lücken sind selten. Wieweit unterschiedliche Bodentypen abgedeckt sind, wird erst die Bodenbeprobung zeigen. Welche Populationen als isoliert betrachtet werden können (z.B. Tanne im Binntal und Buche bei Conthey), wird auch später genauer zu prüfen sein.

5.2 Tanne

Die Autochthonie bietet bei der Tanne kaum Probleme, weil Tannen in der Schweiz nicht oft gepflanzt wurden. Klimatisch sind die beernteten Buchenpopulationen relativ gut verteilt, es sind sowohl feuchte und trockene als auch warme und kalte Standorte abgedeckt (Abbildung 13).

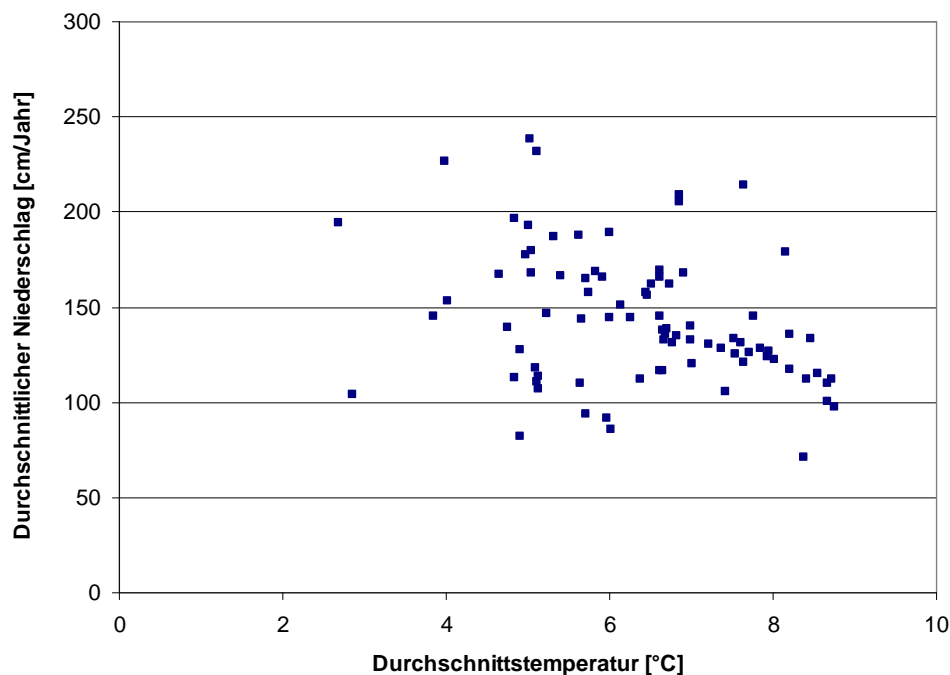


Abbildung 13. Modellierte Durchschnittstemperaturen und Niederschläge der beernteten Tannenstandorte.

In der Schweiz kommen Tannen von knapp 400 bis ca. 1800 m ü.M. vor (Brändli 1998). Die Höhenverteilung der beernteten Tannenpopulationen deckt diesen Höhengradienten recht gut und gleichmässig ab (Abbildung 14 links). Einzig ab 1400 m ü.M. sind etwas wenige Standorte vertreten. In Anbetracht dessen, dass die Tanne oberhalb von 1400 m ü.M. nur noch 5% des Holzvorrats ausmacht (Brändli 1998), sind die 7 Populationen oberhalb dieser Marke ein guter Wert.

Bezüglich Exposition sind alle Expositionen abgedeckt, aber es findet sich – wie bei allen Schweizer Tannenvorkommen Brändli (1998) – eine Häufung bei Nordost- bis Nordwestexponierten Standorten (Abbildung 14 rechts).

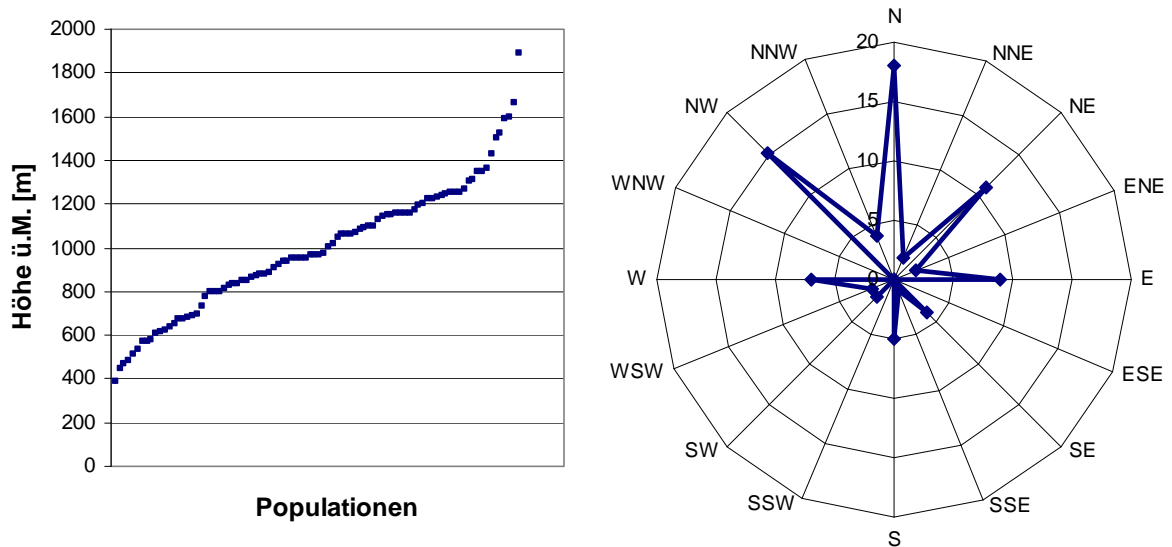


Abbildung 14. Links: Höhenverteilung der beernteten Tannenpopulationen (Durchschnittswert zwischen oberster und unterster Höhenangabe der Einzelbäume). Rechts: Expositionen der beernteten Tannenpopulationen. 8 weitere Population liegen in ebenem Gelände (nicht dargestellt).

5.3 Buche

Die Autochthonie ist bei der Buche wenig problematisch. Klimatisch sind die beernteten Buchenpopulationen relativ gut verteilt, es sind sowohl feuchte und trockene als auch warme und kalte Standorte abgedeckt (Abbildung 15). Im Vergleich zu den Tannen- und Fichtenpopulationen sind die Buchenpopulationen allgemein an etwas wärmeren Orten angesiedelt, was aufgrund der ökologischen Ansprüche der Buche zu erwarten war (Brändli 1998).

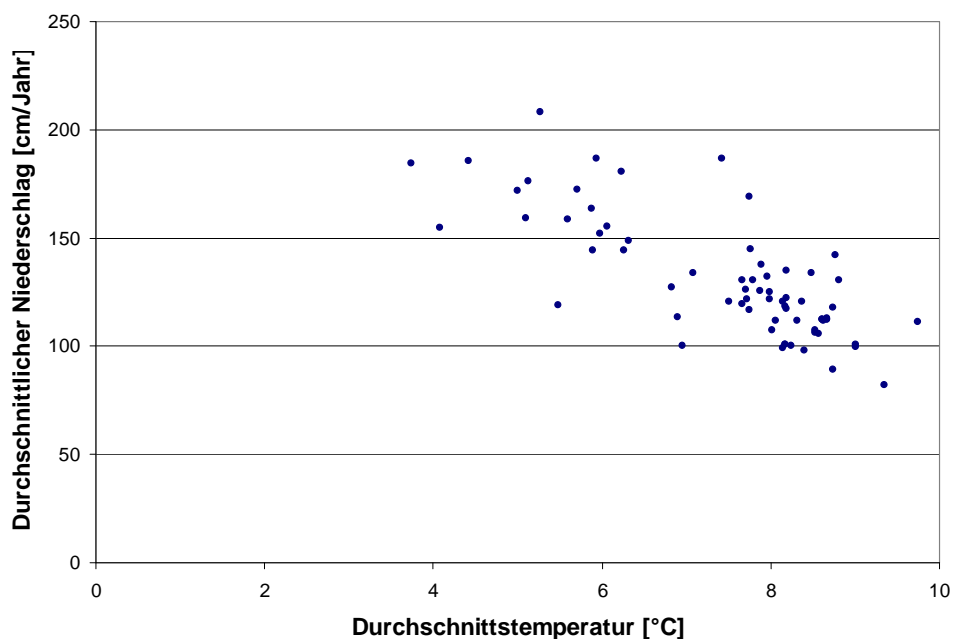


Abbildung 15. Modellierte Durchschnittstemperaturen und Niederschläge der beernteten Buchenpopulationen.

Von der Höhenverbreitung der Buche in der Schweiz (knapp 400 bis ca. 1600 m ü.M., Brändli 1998) sind Standorte bis 1400 m ü.M. abgedeckt (Abbildung 16 links). Oberhalb von 1400 m ü.M. macht aber der Buchenvorrat nur noch 3.5% des Holzvorrats aus (Brändli 1998). Bei den beernteten Populationen etwas spärlich vertreten ist der Höhenbereich zwischen 700 und 1000 m ü.M., gut abgedeckt sind hingegen die Bereiche von 400 bis 700 m und von 1000 bis 1300 m ü.M. Die Populationen sind recht gleichmässig über alle Expositionen verteilt (Abbildung 16 rechts). 22 Populationen im flachen Gelände habe keine Expositionsangabe.

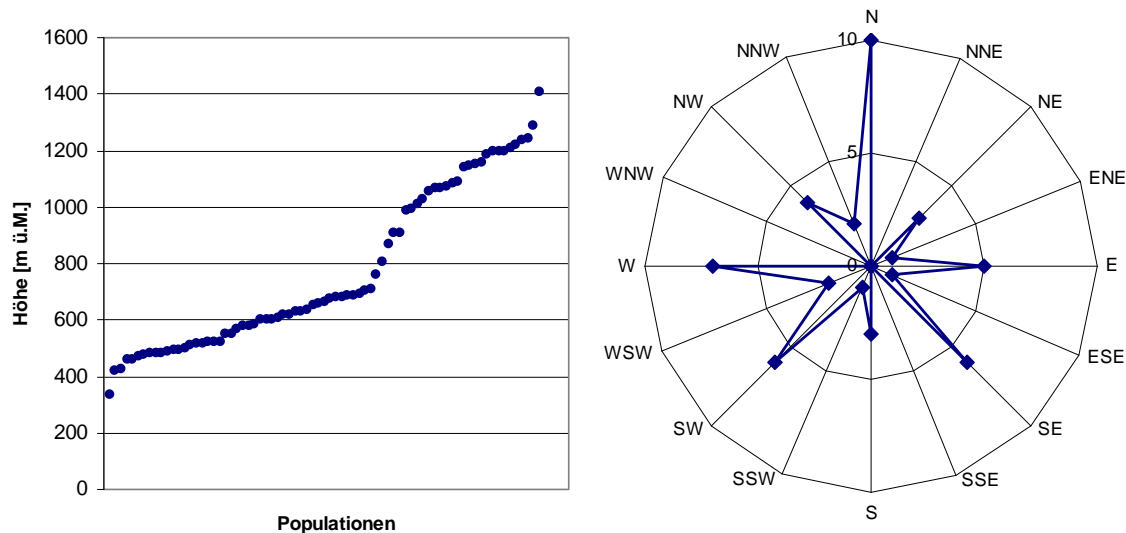


Abbildung 16. Links: Höhenverteilung der beernteten Buchenpopulationen (Durchschnittswert zwischen oberster und unterster Höhenangabe der Einzelbäume). Rechts: Exposition der beernteten Buchenpopulationen. 22 Populationen liegen in flachem Gelände (nicht dargestellt).

5.4 Fichte

Bezüglich Autochthonie war die Auswahl der Fichtenpopulationen am schwierigsten, da Fichten in der Schweiz häufig angepflanzt wurden. Aufgrund früherer Studien, der vielen konsultierten Quellen während der Auswahl und der Rückmeldungen der Kletterer nach der Ernte sind wir aber relativ sicher, dass die meisten beernteten Populationen autochthon sind. Klimatisch sind die Fichtenpopulationen gut verteilt (Abbildung 17); in den Daten fehlen aber noch etliche Populationen.

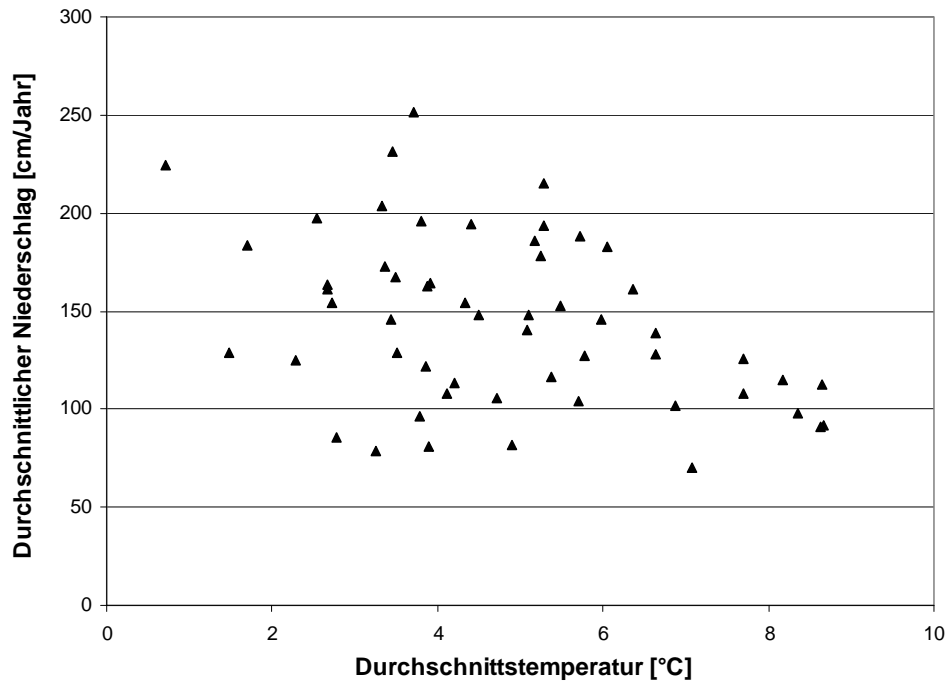


Abbildung 17. Modellierte Durchschnittstemperaturen und Niederschläge von ca. 60% der beernteten Fichtenpopulationen.

In der Schweiz kommt die Fichte von knapp 400 bis über 1800 m ü.M. vor (Brändli 1998). Die Höhenlage der im Projekt verwendeten Populationen reicht von 400 bis 2000 m ü.M. (Abbildung 18 links). Bei den Expositionen sind Südexpositionen leicht übervertreten, aber dabei sind die Grundlagendaten erst für 70% der Populationen aufbereitet (Abbildung 18 rechts).

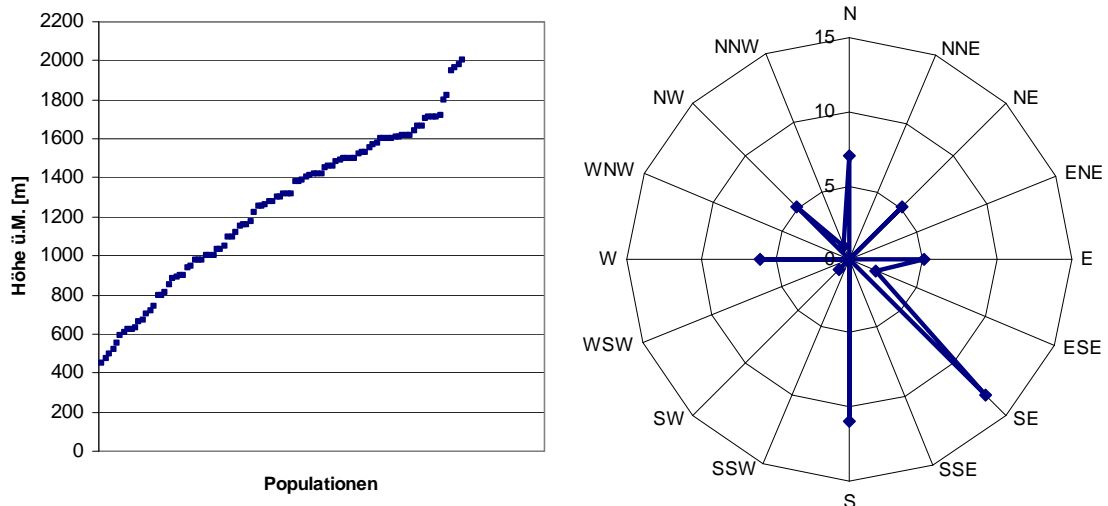


Abbildung 18. Links: Höhenverteilung der beernteten Fichtenpopulationen (Durchschnittswert zwischen oberster und unterster Höhenangabe der Einzelbäume). Rechts: Exposition von 68 der 98 verwendeten Fichtenpopulationen. 12 der 68 Populationen liegen in flachem Gelände (nicht dargestellt).

6 LITERATUR

- Assmann E. 1961. Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. München, Bayer Landwirtschaftsverlag.
- Brändli U-B. 1998. Die häufigsten Waldbäume der Schweiz. Ber Eidg Forsch.anst WSL 279.
- Bonfils P, Bolliger M (Red.) 2003. Wälder von besonderem genetischem Interesse (BGI-Wälder). Bundesamt Umwelt, Wald Landsch, BUWAL, Bern.
- Bossel F. 1983. Tests comparatifs de provenances vaudoises d'épicéa. Schweiz Z Forstwes 134: 339-360.
- Brang P, Sperisen C, Mühlethaler U, Schmatz D, Walthert L, Weber P. 2009. Adaptive genetische Variation bei Buche, Fichte und Tanne. Full Proposal im BAFU/WSL Forschungsprogramm Wald und Klimawandel. Eidg Forsch.anst WSL, Birmensdorf, 14 S. (unveröff.)
- Burkart A. 2000. Kulturblätter. Angaben zur Samenernte, Klengung, Samenlagerung, Samenausbeute und Anzucht von Baum- und Straucharten. Eidg Forsch.anst WSL, Birmensdorf.
- Commarmot B. 2008. IUFRO Weisstannen-Provenienzversuch 1982 – Versuchsfläche Malans. Kurzbericht. Eidg Forsch.anst WSL, Birmensdorf, unveröff., 7 S.
- Fouvy P, Jeantet G. 1997. Provenances vaudoises d'épicéa: Bilan de 30 ans de tests comparatifs. Schweiz Z Forstwes 148(2): 103-130.
- Frey H-U. 2003. Die Verbreitung und die waldbauliche Bedeutung der Weisstanne in den Zwischenalpen. Ein Beitrag für die waldbauliche Praxis. Schweiz Z Forstwes 154: 90–98.
- Hussendörfer E, Müller-Starck G. 1994. Genetische Inventuren in Beständen der Weisstanne (*Abies alba* Mill.) - Aspekte der nacheiszeitlichen Wanderungsgeschichte. Schweiz Z Forstwes 145: 1021-1029.
- Hussendörfer E. 1997. Untersuchungen über die genetische Variation der Weisstanne (*Abies alba* Mill.) unter dem Aspekt der *in situ* Erhaltung genetischer Ressourcen in der Schweiz. Beih Schweiz Z Forstwes 83: 151 S.
- Hussendörfer E. 1999. Genetic variation of silver fir populations (*Abies alba* Mill.) in Switzerland. For Genetics 6: 101-113.
- Lingg W. 1986. Dendroökologische Studien an Nadelbäumen im alpinen Trockental Wallis (Schweiz). Ber Eidg Anst forstl Vers.wes 81.
- Moser B, Wohlgemuth T. 2009. TroLiFa-Verjüngung: Trockenheit als limitierender Faktor für An- und Aufwuchs von Hauptbaumarten. Full Proposal im Forschungsprogramm Wald und Klimawandel. Eidg Forsch.anst WSL, Birmensdorf. 12 S., unveröff.
- Mühlethaler U, Stampfli A. 2009. Regenerationsfähigkeit von Buchen aus dem Mittelmeerraum im Schweizer Wald (Buchensaatprojekt). Berner Fachhochschule, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, Zollikofen, 2 S.

- Müller-Starck G. 1995. Genetic variation in high elevated populations of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Switzerland. *Silvae Genetica* 44(5-6): 356-362.
- Oechsli M. 1927. Die Wald- und Wirtschaftsverhältnisse im Kanton Uri. *Beitr Geobot Landesaufn Schweiz* 14: 209 S.
- Rütz WF, Franke A, Stimm B, 1998. Der Süddeutsche Weißtannen (*Abies alba* Mill.)-Provenienzversuch. Jugendentwicklung auf den Versuchsflächen. *Allg Forst- Jagdztg* 169: 116-126.
- Sperisen C, van der Knaap WO, Scrob E, Lampart T, van Leeuwen JFN. 2005. Einwanderungsgeschichte der Bödmerenfichten. In: Liechti T. *Urwaldcharakteristiken des Bödmerenwaldes*, Stiftung Urwald-Reservat Bödmeren: 81-93.
- St.Clair JB, Mandel NL, Vance-Borland KW. 2005. Genecology of Douglas Fir in western Oregon and Washington. *Ann Bot* 96: 1199-1214.
- St Clair JB, Howe GT. 2007. Genetic maladaptation of coastal Douglas-fir seedlings to future climates. *Global Change Biology* 13: 1441-1454.
- Steiger P. 1994. *Wälder der Schweiz*. Ott Verlag Thun.
- Stutz HPB. 1990. Genetische Differenzierung und natürliche Selektionsfaktoren der Fichte in einem zentralalpinen Gebiet der Schweiz. Dissertation, ETH Zürich, Zürich.
- Tollefsrud MM, Kissling R, Gugerli F, Johnsen Ø, Skrøppa T, Cheddadi R, van der Knaap WO, Latalowa M, Terhürne-Berson R, Litt T, Geburek T, Brochmann C, Sperisen C. 2008 Genetic consequences of glacial survival and postglacial colonization in Norway spruce: combined analysis of mitochondrial DNA and fossil pollen. *Mol Ecol* 17: 4134 - 4150
- Thornton PE, Running SW, White MA. 1997. Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain. *J Hydrology* 190: 214-251.
- WSL. 2009: Schweizerisches Landesforstinventar LFI. Daten der Erhebungen 1983-1985 und 2004-2006. 240809UU. Eidg Forsch.anst WSL, Birmensdorf (unveröff.)

7 ANHANG

7.1 Dokumentation der Arbeiten und Datenmanagement

Alle Arbeiten wurden und werden weiterhin in einem Tagebuch dokumentiert («Tagebuch Adapt.xls»). Weitere wichtige Dateien sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Bei der bisherigen Arbeit im Projekt wurden zahlreiche Dateien und Dateiversionen kreiert. Wichtige Dateien und Dateiversionen sind im Tagebuch im Arbeitsblatt «Dateinamen» verzeichnet und verlinkt. Falls Diskrepanzen zwischen Daten in verschiedenen Dateien auftauchen, dürften folgende Dateien gelten (Reihenfolge abnehmender Aktualität):

- Bestandestabelle: z.B. [..\Fichte\Priadapt Fichte Bestände 9.xls](#)
- Einzelbaumtabelle: z.B. [Priadapt Fichte Einzelbäume 6.xls](#)

- Digitale Ernteformulare beernteter Standorte, z.B. [N:\PRJ\Adapt\Fichte\Zapfenernte_Fichte\Formulare_Fi_Zapfenernte_geerntet\fi-16-1_geerntet.xls](#)
- Daten im GIS, z.B. Auslese_Fichte_100201.dbf in [N:\PRJ\Adapt\GIS\Samenernte_Fi_20.mxd](#)
- Handschriftlich ausgefüllte (im Ordner) bzw. leere Ernteformulare, z.B. (digitale Version) [N:\PRJ\Adapt\Fichte\Zapfenernte_Fichte\Formulare_Fi_Zapfenernte_leer\Zapfenernte_fi-12-1.xls](#)

Tabelle 1. Liste wichtiger Dateien.

Pfad und Dateiname	Dateibesreibung
N:\PRJ\Adapt*. *	Verzeichnis auf dem Server mit allen Projektinformationen
Dokumentation Adapt 2009 V10.docx	Aktuelle Version der Dokumentation Adapt 2009 (dieser Bericht)
..\Tagebuch Adapt.xls	Excel-Datei mit sämtlichen wichtigen Informationen zum Projekt Adapt: Personen, Pendenzen, Daten-Struktur etc.
..\Dokumentation\Anleitung Datenerfassung.doc	Anleitung zur Vorbereitung und Durchführung der Datenerfassung vor bzw. nach Beerntung einer Population
..\Dokumentation\Anleitung für GIS-Dateneingabe.doc	Anleitung zur Aktualisierung von GIS-Daten der Populationen
..\Fichte\Zapfenernte_Fichte	Verzeichnis der Ernteformulare der Fichtenzapfenernte.
..\Tanne\Zapfenernte_Tanne	Verzeichnis der Ernteformulare der Tannenzapfenernte.
..\Bestände_Rohdaten	Verzeichnis aller Rohdaten zu den Populationen
..\Buche	Verzeichnis mit allen wichtigen Daten zur Buchensamenernte
..\Buche\Prjadapt_Buche_Bestände_1.xls	Aktuelle Übersichtstabelle mit Detailinformationen aller für das Projekt Adapt verwendeten Buchenpopulationen
..\Buche\Prjadapt_Buche_Einzelbäume_1.xls	Aktuelle Übersichtstabelle mit Detailinformationen zu den einzelnen beernteten Mutterbäumen aller für das Projekt Adapt verwendeten Buchenpopulationen
..\Fichte	Verzeichnis mit allen wichtigen Daten zur Fichtenzapfenernte
..\Fichte\Prjadapt_Fichte_Bestände_9.xls	Aktuelle Übersichtstabelle mit Detailinformationen aller für das Projekt Adapt verwendeten Fichtenpopulationen
..\Fichte\Prjadapt_Fichte_Einzelbäume_6.xls	Aktuelle Übersichtstabelle mit Detailinformationen zu den einzelnen beernteten Mutterbäumen aller für das Projekt Adapt verwendeten Fichtenpopulationen
..\GIS	Verzeichnis mit allen GIS-Daten zum Projekt Adapt. Beschreibung der Daten siehe Tabellenblatt «GIS-Daten» im «Tagebuch Adapt.xls»

Pfad und Dateiname	Dateibeschreibung
..\Tanne	Verzeichnis mit allen wichtigen Daten zur Tannenzapfenernte
..\Tanne\Priadapt Tanne Bestände 2.xls	Aktuelle Übersichtstabelle mit Detailinformationen aller für das Projekt Adapt verwendeten Tannenpopulationen
..\Tanne\Priadapt Tanne Einzelbäume 2.xls	Aktuelle Übersichtstabelle mit Detailinformationen zu den einzelnen beernteten Mutterbäumen aller für das Projekt Adapt verwendeten Tannenpopulationen

7.2 Abkürzungen

7.2.1 Namenskürzel

Die folgenden Namenskürzel werden in diesem Bericht stellenweise verwendet, können aber auch in anderen Projektdokumenten auftauchen.

AB	Anton Burkhart (WSL)
AnB	Andreas Boner (WSL, Zivildienstleistender)
AR	Andreas Rigling (WSL)
AZ	Andreas Zingg (WSL)
CA	Christine Arnold (WSL, Praktikantin)
CP	Christian Pernstich (VS, Dienststelle für Wald und Landschaft)
CS	Christoph Sperisen (WSL)
FC	Flurin Cathomas (GR, Revierförster Sumvitg)
FG	Francis Girardin (JU, Office de l'environnement)
GT	Giuseppe Tettamanti (TI, Vivaio forestale cantonale, Lattecaldo)
HB	Hans Bärtschi (SHL, Buchenernter)
IC	Ivo Ceschi (TI, ehemaliger Kantonsoberförster)
JF	Janina Fuchs (WSL, Praktikantin)
JG	Jürg & Juri Gees (GR, Beernter Tanne und Fichte)
JW	Jürg Walcher (GL, Abteilung Wald)
KuZ	Kurt Zumbrunn (BE, Förster Waldabteilung 1)
KW	Klemens Winzeler (GL, Abteilung Wald)
LW	Lorenz Walthert (WSL)
MA	Marc Audeoud (VD, Entreprise Forestière, Beernter)
MB	Max Büchel (SZ, Revierförster Muotatal)
MD	Michael Dicht (WSL, Aushilfe)
MF	Martin Flury (GR, Revierförster Jenaz)
MM	Micheline Meylan (VD, Service des forêts, de la faune et de la nature)
PB	Peter Brang (WSL)
PS	Peter Suter (WSL, Beernter Tanne und Fichte)
PW	Pascale Weber (WSL)
RB	Regina Brücker (WSL, Praktikantin)
RT	Raphaela Tinner (WSL)
SB	Siegfried Bellwald
SN	Josef Nussbaumer (WSL, Aushilfe)
ToB	Tobias Brütsch (WSL, Buchenernter Zivildienst)
TS	Toni Schmidlin (Beernter Tanne und Fichte)
UB	Ueli Bühler (GR, Amt für Wald)

UK Urs Kamm (SHL, Buchenernter)
 UW Ueli Wasem (WSL)
 WH Wendelin Hürlimann (GR, Revierförster Breil/Brigels)

7.2.2 Weitere Abkürzungen

Adapt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte
 BHD Bruthöhendurchmesser (Durchmesser eines Baumes auf 1,30 m Höhe, bergseits gemessen)
 IUFRO International Union of Forest Research Organizations
 LFI Landesforstinventar
 mtDNA mitochondriale DNA
 NKS Nationaler Kataster der Samenerntebestände
 RQ Rasterquadrat
 SHL Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (Zollikofen BE)
 TKG Tausendkorngewicht (Gewicht von 1000 Samen in Gramm, mit Beimengungen von Zapfenschuppen, Samenflügeln etc.)

7.3 Begründung der Auswahl der Populationen

Tabelle 2. Auswahlgründe beernteter Tannenpopulationen. POP_ID=Identifikationscode der Population. «Hussendörfer» bezeichnet in Hussendörfer (1997) verwendete, Oechslin in Oechslin (1927) genannte Populationen. PW steht für das dendroökologische Projekt von Weber und Walthert. «in RQ» steht für «in diesem Rasterquadrat», «genutzt» heisst, dass in einer Population regelmässig Samen geerntet werden.

POP_ID	Ort	Auswahlgrund
ta-01-1	Beggingen	AB kannte die Population, NKS
ta-03-1	Homburg	Einzige NKS-Population in RQ
ta-07-1	Liestal	Einzige NKS-Population in RQ
ta-08-1	Herznach	Einzige NKS-Population in RQ
ta-11-1	Aadorf (Ettenhausen)	Autochthonieangabe «a» im NKS
ta-11-2	Tobel (Bettwiesen)	NKS, vermutlich räumliche Abdeckung
ta-12-1	Güttingen	Einzige NKS-Population in RQ
ta-15-1	Rebévelier	Einzige NKS-Population in RQ
ta-16-1	Perrefitte	Zufällige Auswahl aus 2 NKS-Populationen mit Autochthonieangabe «a/v» in RQ
Ta-16-2	Bassecourt	IUFRO-Population, NKS
ta-16-3	Rebeuvelier	Später dazugekommen, Standort mit Ta-, Bu- und Fi-Populationen, anfangs mit Rebévelier verwechselt, deshalb 3 Populationen in RQ; Population war FG bekannt
ta-17-1	Vordemwald	PW, LWF-Fläche, Hussendörfer (Zofingen)
ta-17-2	Roggwil	PW
ta-18-1	Muhen	Bereits beerntet vor Hinzunahme der von LW angegebenen Population ta-18-2
ta-18-2	Suhr	Bodendaten vorhanden
ta-19-1	Beinwil	NKS, AB kannte die Population
ta-21-1	Oberhelfenschwil	IUFRO, NKS, Autochthonie-Info AB
ta-22-1	Gams	Einzige NKS-Population in RQ
ta-25-1	Neuchâtel (Boudry)	Hussendörfer
ta-26-1	Nods	2 Populationen benötigt für RQ 26, 2 NKS-Populationen vorhanden und beerntet

POP_ID	Ort	Auswahlgrund
ta-26-2	Cormoret	s. ta-26-1
ta-27-1	Radelfingen	Genutzte NKS-Population
ta-28-1	Madiswil	IUFRO-Population, Hussendörfer, NKS, wird genutzt
ta-28-2	Sumiswald	Zufällige Auswahl aus mehreren NKS-Populationen in RQ
ta-28-3	Reisiswil	PW
ta-29-1	Schwarzenberg	Hussendörfer, Bodenprofil
ta-30-1	Zug	NKS, von AB bestätigt
ta-30-2	Küssnacht am Rigi	NKS, von AB bestätigt
ta-31-1	Walchwil	NKS, Bodenprofil, von AB bestätigt
ta-31-2	Riemenstalden	PS kannte die Population, Oechslin
ta-31-3	Muotatal	MB kannte die Population
ta-32-1	Bilten	JW und KW kannten die Population
ta-32-2	Näfels	JW und KW kannten die Population
ta-32-3	Betschwanden	JW und KW kannten die Population
ta-33-1	Wartau	Einzige NKS-Population in RQ
ta-34-1	Schiers	UB kannte die Population
ta-36-1	Tschlin	IUFRO- und NKS-Population, Hussendörfer, von AB bestätigt
ta-38-1	Couvet (Südhang)	Hussendörfer
ta-38-2	Couvet (Nordhang)	Hussendörfer
ta-40-1	Köniz (Oberbalm)	Einzige quellengesicherte NKS-Population in RQ
ta-41-1	Niederhünigen	IUFRO- und NKS-Population
ta-41-2	Röthenbach im Emmental (Eggiwil)	Zufällige Auswahl aus verbleibenden NKS-Populationen in RQ
ta-41-3	Signau	Hussendörfer
ta-42-1	Marbach (LU)	Einzige NKS-Population in RQ, von AB bestätigt
ta-43-1	Wolfenschiessen	PS kannte die Population
ta-43-2	Isenthal	Oechslin
ta-44-1	Seedorf	Einzige NKS-Population in RQ
ta-44-2	Schattdorf	Oechslin
ta-45-1	Sumvitg	UB und FC kannten die Population, Frey (2003)
ta-45-2	Breil/Brigels	UB und WH kannten die Population
ta-45-3	Elm	JW und KW kannten die Population
ta-46-1	Chur	NKS-Population, von AB bestätigt
ta-46-2	Präz	IUFRO- und NKS-Population, Hussendörfer, von AB bestätigt
ta-47-1	Jenaz	UB und MF kannten die Population
ta-50-1	Longirod	NKS, Angabe MM, 1 von 2 nötigen Populationen in RQ
ta-50-2	Le Chenit (Le Brassus)	Hussendörfer, von AB bestätigt, wird noch genutzt
ta-51-1	Bretonnières	Hussendörfer
ta-53-1	Charmey	Zufällige Auswahl aus NKS-Populationen in RQ
ta-53-2	Maules	Bodendaten vorhanden
ta-54-1	Oberschrot	NKS-Population, von AB bestätigt, wird genutzt
ta-55-1	Aeschi bei Spiez	2 Populationen benötigt für RQ 55, 2 NKS-Populationen vorhanden und beerntet
ta-55-2	Därligen	s. ta-55-1
ta-56-1	Iseltwald	Einzige NKS-Population in RQ
ta-56-2	Lütschental	Bodendaten vorhanden, Population KuZ bekannt
ta-57-1	Innertkirchen	Population AB bekannt

POP_ID	Ort	Auswahlgrund
ta-59-1	Olivone (Camperio)	Population GT bekannt
ta-60-1	Masein	Population UB bekannt
ta-60-2	Andeer	Population UB bekannt
ta-61-1	Tiefencastel	Population UB bekannt
ta-67-1	Gryon	NKS-Population, von AB bestätigt
ta-68-1	Sierre	IUFRO- und NKS-Population, Hussendörfer, von AB bestätigt
ta-68-2	Gstaad (Saanen)	Hussendörfer
ta-69-1	Leuk	IUFRO- und NKS-Population, Hussendörfer, von AB bestätigt
ta-69-2	Niedergesteln	Lingg (1986)
ta-70-1	Grensiols (Binntal)	Population SB bekannt
ta-71-1	Cerentino	Population IC bekannt
ta-72-1	Prato (Leventina)	IUFRO, Hussendörfer, von AB bestätigt
ta-75-1	Bondo	Hussendörfer, von UB bestätigt
ta-76-1	Poschiavo (Le Prese)	Population UB bekannt
ta-81-1	Troistorrents (Cheparlier)	Vermutlich wegen räumlicher Verteilung als 3. Population in RQ ausgewählte NKS-Population ta-81-4 kam erst später hinzu
ta-81-2	Martigny	Hussendörfer
ta-81-3	Derborence	Waldreservat, Population PB und RT bekannt
ta-81-4	Martigny	Population CP bekannt, später hinzugekommen
ta-85-1	Vergeletto	IUFRO- und NKS-Population, Hussendörfer, Population IC und PB bekannt, von AB bestätigt
ta-85-1a	Vergeletto	s. ta-85-1
ta-86-1	Locarno (Cardada)	Population IC bekannt
ta-86-2	Intragna	Bodendaten vorhanden, Population IC bekannt
ta-87-1	Roveredo	Population UB bekannt
ta-87-2	Sant'Antonio	Population IC bekannt

Tabelle 3. Auswahlgründe beernteter Buchenpopulationen. POP_ID=Identifikationscode der Population. «PW» steht für das dendroökologische Projekt von Weber & Walthert. Populationen aus dem Projekt von Mühlethaler sind nicht enthalten.

POP_ID	Ort	Auswahl
bu-01-1	Neunkirch	PW / LWF-Fläche
bu-01-2	Neunkirch	PW
bu-02-1	Diessenhofen	Einzige NKS-Population in RQ
bu-03-1	Ermatingen	PW
bu-05-1	Courtemaître	Population aus Bodendatenbank, wegen räumlicher Verteilung gewählt
bu-06-1	Allschwil	Steiger, PB (in Buchenprovenienzversuchen verwendet), klimatisch interessant
bu-07-1	Zeiningen	Wegen räumlicher Verteilung zufällig aus NKS-Populationen Möhlin und Zeiningen ausgewählt
bu-07-2	Münchenstein	Wegen räumlicher Verteilung Entscheid für Münchenstein, 1 von 2 Münchenssteiner NKS-Populationen zufällig ausgewählt.
bu-07-3	Lausen	NKS-Population, wegen räumlicher Verteilung gewählt
bu-08-1	Othmarsingen	PW / LWF-Fläche

POP_ID	Ort	Auswahl
bu-08-2	Mandach	PW
bu-08-3	Gipf-Oberfrick	Einzige quellengesicherte NKS-Population in RQ
bu-09-1	Wettingen	NKS-Opulation, wegen räumlicher Verteilung gewählt
bu-10-1	Niederneunforn	Bodenprofil, wegen räumlicher Verteilung und als klimatisch interessant gewählt
bu-10-2	Kyburg	Zufällig zwischen klimatisch ähnlichen Bodenprofilen 688 und 696 gewählt
bu-12-1	Hauptwil-Gottshaus	Einzige NKS-Population in RQ
bu-15-1	Rebévelier	Einzige NKS-Population in RQ, Tanne auch beerntet
bu-16-1	Bärschwil	PW
bu-16-2	Rebeuvelier	Ta/Fi-Populationen, genutzter Samenerntebestand, war FG bekannt
bu-16-3	Grenchen	NKS-Population, von AB bestätigt
bu-17-1	Vordemwald	PW / LWF-Fläche
bu-17-2	Herzogenbuchsee	NKS-Population, von AB bestätigt
bu-18-1	Dagmersellen	PW, zu wenig Samen/zu dichter Bestand für einzelbaumweise Beerntung, aber wegen sehr saurem Boden bestandesweise beerntet
bu-18-2	Schwarzenbach	PW
bu-19-1	Horgen/Sihlwald	PW, Ertragskundefläche WSL
bu-19-2	Auw	Geographische Lücke, klimatisch interessant, zufällig aus 2 NKS-Populationen in Auw gewählt
bu-20-1	Jona	Bodenprofil, geographische Lücke, klimatisch interessant
bu-21-1	Wattwil	Bodenprofil, geographische Lücke, klimatisch interessant
bu-21-2	Schänis	Geographische Lücke, klimatisch sehr interessant, LWF-Fläche
bu-22-1	Rüthi (SG)	NKS-Population, geographische Lücke, klimatisch nicht uninteressant
bu-25-1	Couvet	Bodenprofil, geographische Lücke, klimatisch interessant
bu-26-1	Tüscherz-Alfermé	Einzige NKS-Population in RQ
bu-26-2	Gampelen	Bodenprofil, geographische Lücke, klimatisch interessant
bu-26-3	Nods	Bodenprofil, geographische Lücke, klimatisch sehr interessant
bu-27-1	Aarberg	NKS-Population, von AB bestätigt
bu-27-2	Mühledorf (SO)	NKS-Population, geographische Lücke
bu-28-1	Reisiswil	PW
bu-28-2	Krauchthal	Einzige NKS-Population in RQ
bu-29-1	Menznau	Aus geographischen Gründen Bodenprofilnummer 756 nicht ausgewählt, dann zufällig eine der beiden anderen Standorte (Profilnr. 655/764)
bu-30-1	Meggen	Bodenprofil, geographische Lücke
bu-31-1	Sisikon	Einzige NKS-Population in RQ
bu-31-2	Alptal	Bodenprofil, klimatisch sehr interessant
bu-32-1	Glarus	Einzige quellengesicherte, autochthone NKS-Population in RQ, klimatisch interessant, von AB bestätigt
bu-33-1	Mels	PW
bu-33-2	Buchs (SG)	NKS-Population, geographische Lücke
bu-34-1	Malans	Einziges Bodenprofil in RQ, geographische Lücke

POP_ID	Ort	Auswahl
bu-37-1	Sainte-Croix	Einzige NKS-Population in RQ
bu-38-1	Champagne	Einzige NKS-Population in RQ
bu-38-2	Praratoud	Geographische Lücke, zufällige Auswahl zwischen Bodenprofilnummern 590 und 282
bu-39-1	Courgevaux	Geographische Lücke führte zu Bodenprofilen 329, 33 und 330, aus diesen zufällig gewählt
bu-40-1	Wahlern	Zufällige Auswahl zwischen den Bodenprofilen in RQ
bu-42-1	Hofstetten bei Brienz	Bodenprofil, klimatisch sehr interessant
bu-44-1	Seedorf	Einzige NKS-Population in RQ (ehemals Attinghausen)
bu-45-1	Trun	Geographische Lücke, Steiger
bu-50-1	Saint-George	NKS-Population, Fi-Provenienzversuch
bu-51-1	Saint-George	NKS-Population, Fi-Provenienzversuch
bu-51-2	Vaulion	NKS-Population, Fi-Provenienzversuch
bu-52-1	Lausanne	PW / LWF-Fläche
bu-53-1	Charmey	Bodenprofil, geographische Lücke, klimatisch interessant
bu-55-1	Spiez (Faulensee)	Einzige NKS-Population in RQ
bu-64-1	Saint-Cergue	Bodenprofil, geographische Lücke, klimatisch interessant
bu-67-1	Yvorne	Geographische Lücke, Steiger
bu-68-1	St. Stephan	Bodenprofil, geographische Lücke, klimatisch interessant
bu-74-1	Lostallo	Geographische Lücke, klimatisch interessant, zufällig zwischen den beiden Bodenprofilen in RQ 74 gewählt
bu-81-1	Collonges	Bodenprofil, geographische Lücke, klimatisch interessant
bu-82-1	Vétroz	PW
bu-82-2	Conthey	PW
bu-84-1	Zwischenbergen	Geographische Lücke, Steiger
bu-85-1	Vergeletto	NKS, Nähe Tannen-Population, von AB bestätigt
bu-86-1	Avegno	Bodenprofil, klimatisch sehr interessant
bu-87-1	Cagiallo	Ausgewählt von GT / LWF-Fläche
bu-87-2	Vaglio	Ausgewählt von GT
bu-96-1	Mendrisio (Monte Generoso)	Ausgewählt von GT
bu-96-2	Meride (Serpiano)	Ausgewählt von GT

Tabelle 4. Nicht beerntete Buchenpopulationen.

x-Koor- dinate	y-Koor- dinate	Ort	Quelle / Grund für Interesse am Bestand	Grund für Ernteverzicht
730875	256170	Oberbüren	PW/LW	Zu wenig Samen
602200	249150	Bärschwil	PW/LW	Bestand abgeholzt
629300	230500	Roggwil	PW/LW/TB	Zu wenig Samen, Brombeeren im Unterwuchs
668000	176120	Gadmen	LW/klimatisch interessant	Zu viel Schnee
695000	115000	Intragna	LW/IC/klimatisch interessant	Zu wenig Samen
760860	190320	Chur	LW/klimatisch interessant	Kapazitätsgründe

Tabelle 5. Auswahlgründe beernteter Fichtenpopulationen. POP_ID=Identifikationscode der Population. PW steht für das dendroökologische Projekt von Weber & Walther. «in RQ» steht für «in diesem Rasterquadrat», «genutzt» heisst, dass in einer Population regelmässig Samen geerntet werden.

POP_ID	Ort	Auswahlgrund
fi-02-1	Basadingen-Schlattingen	mtDNA untersuchte Population
fi-03-1	Tägerwilen	ausgewählte vermutlich autochthone NKS-Population
fi-12-1	Waldkirch	vermeintlich mtDNA untersuchte Population, Autochthonie fraglich
fi-15-1	Courtelary (Les Breuleux)	von AB vorgeschlagene Population
fi-16-1	Rebeuvelier	von Forstamt vorgeschlagene Population
fi-17-1	Roggwil	PW
fi-17-2	Eptingen	quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-18-1	Gränichen	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, von AB vorgeschlagene liquidierte quellengesicherte NKS-Population
fi-19-1	Beinwil (Freiamt)	Schliessung geographische Lücke, Mischsaatgut, von AB vorgeschlagene ausgewählte NKS-Population
fi-20-1	Feusisberg (Etzel) / Einsiedeln	mtDNA untersuchte Population
fi-20-2	Pfäffikon	Ergänzung zu Etzel, Mischsaatgut, von AB vorgeschlagene quellengesicherte NKS-Population
fi-22-1	Alt St. Johann	mtDNA untersuchte Population
fi-22-2	Schwende	von Steiger beschriebene Population
fi-22-3	Krummenau	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, auslaufende quellengesicherte NKS-Population, genaue Lokalität unsicher
fi-28-1	Burgdorf	ausgewählte autochthone NKS-Population
fi-28-2	Sumiswald	quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-29-1	Schwarzenberg	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, liquidierte quellengesicherte NKS-Population
fi-30-1	Arth (Rigi)	von CS vorgeschlagene Population, Beerntung aber in benachbarter Population
fi-31-1	Muotathal	isoenzymatisch untersuchte Population (Müller-Starck), Waldreservat
fi-31-2	Alptal	LWF
fi-32-1	Quarten (Murg)	ausgewählte NKS-Population, Höhengradient Murg
fi-32-2	Braunwald	mtDNA untersuchte Population
fi-32-3	Oberurnen	quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-33-1	Quarten	mtDNA untersuchte Population, Höhengradient Murg
fi-34-1	St. Antönien	von Steiger beschriebene Population
fi-37-1	L'Abergement	VD Provenienzversuch, quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-38-1	Provence	VD Provenienzversuch, quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-39-1	Montagny-Les-Monts	von AB vorgeschlagene Population, im Versuchsgarten WSL verwendete Population
fi-41-1	Schangnau	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, quellengesicherte NKS-Population
fi-42-1	Flühli	von CS vorgeschlagene Population
fi-42-2	Brienzwiler	von AB vorgeschlagene quellengesicherte NKS-Population

POP_ID	Ort	Auswahlgrund
fi-43-1	Innertkirchen	isoenzymatisch untersuchte Population (Müller-Starck)
fi-43-2	Kerns	ausgewählte autochthone NKS-Population
fi-44-1	Silenen	von AB vorgeschlagene Population
fi-44-2	Isenthal	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, von AB vorgeschlagene Population
fi-45-1	Breil/Brigels	isoenzymatisch untersuchte Population (Müller-Starck), Waldreservat
fi-46-1	Präz	ausgewählte autochthone NKS-Population
fi-46-2	Pfäfers (Vättis)	mtDNA untersuchte Population
fi-46-3	Bonaduz	Projekt Trockenheit (Wohlgemuth)
fi-47-1	Conters i. Pr.	isoenzymatisch untersuchte Population (Müller-Starck)
fi-47-2	Davos (Sertig)	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, von AB vorgeschlagene quellengesicherte NKS-Population
fi-50-1	Le Chenit (Le Brassus)	Isoenzymatisch untersuchte Population (Müller-Starck), VD Provenienzversuch
fi-53-1	Cerniat (FR)	quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-54-1	Rüschegg	ausgewählte autochthone NKS-Population
fi-54-2	Adelboden	Isoenzymatisch untersuchte Population (Müller-Starck)
fi-54-3	Rüschegg	Ergänzung zu Rüschegg, Mischsaatgut, von AB vorgeschlagene quellengesicherte NKS-Population
fi-55-2	Beatenberg	LWF-Fläche
fi-55-3	Aeschi bei Spiez	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, von AB vorgeschlagene quellengesicherte NKS-Population
fi-56-1	Grindelwald	isoenzymatisch untersuchte Population (Müller-Starck)
fi-57-1	Göschenen	quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-57-2	Oberwald	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-57-2a	Oberwald	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), Neubeerntung, Beerntung erfolgte aber in Nachbarpopulation
fi-57-3	Innertkirchen	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, von AB vorgeschlagene quellengesicherte NKS-Population
fi-58-1	Quinto (Ambri)	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut
fi-59-1	Vals	von Steiger beschriebene Population
fi-59-2	Sumvitg	von AB vorgeschlagene Population, im Versuchsgarten der WSL verwendete Population
fi-59-3	Uors-Peiden	mtDNA untersuchte Population
fi-59-4	Olivone	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut
fi-60-1	Splügen	von AB vorgeschlagene Population, an der WSL verwendete Population
fi-6-1	Blauen	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, quellengesicherte NKS-Population
fi-62-1	Zerne	quellengesicherte autochthone NKS-Population, PW
fi-67-1	Conthey (Forêt de la Lui)	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), quellengesicherte autochthone NKS-Population, Waldreservat
fi-67-2	Montreux	VD Provenienzversuch
fi-67-3	Corbeyrier	VD Provenienzversuch
fi-67-4	Ormont-Dessus (Les Diablerets)	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, von AB vorgeschlagene quellengesicherte NKS-Population
fi-68-1	Adelboden	mtDNA untersuchte Population
fi-68-2	Mollens (Essillettes)	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz),

POP_ID	Ort	Auswahlgrund
		quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-69-1	Kippel (Chipelwald)	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-69-2	Leuk	Projekt Trockenheit (Wohlgemuth)
fi-69-3	Steg (Gampel-Steg)	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, von AB vorgeschlagene quellengesicherte NKS-Population
fi-69-4	Gampel-Steg	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, von AB vorgeschlagene quellengesicherte NKS-Population
fi-70-1	Binn (Hasuwald)	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-70-2	Ernen (Senggwald)	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-70-3	Ried-Mörel (Riederalp)	isoenzymatisch untersuchte Population (Müller- Starck), Waldreservat
fi-71-1	Campo (Vallemaggia)	von GT vorgeschlagen, Saatguterntepopulation
fi-71-2	Bosco/Gurin	von GT vorgeschlagen, Saatguterntepopulation
fi-71-3	Reckingen	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-73-1	Mesocco (San Bernardino)	isoenzymatisch untersuchte Population (Müller-Starck)
fi-73-2	Santa Maria in Calanca (Valle Mesolcina)	klimatisch interessant, Grundlage für Auswahl nicht nachvollziehbar
fi-75-1	Bondo	isoenzymatisch untersuchte Population (Müller-Starck)
fi-76-1	Poschiavo	isoenzymatisch untersuchte Population (Müller-Starck)
fi-8-1	Gipf-Oberfrick	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, quellengesicherte NKS-Population
fi-81-1	Fully	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-81-1a	Fully	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), Neubeerntung, quellengesicherte autochthone NKS- Population
fi-81-2	Trient (Le Gilliod)	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-82-1	Nax (Forêt des Grands Pras)	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), Höhengradient Nax, quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-82-2	Chalais	Höhengradient Nax
fi-82-3	Nax	Höhengradient Nax
fi-83-1	Ayer (Les Mijonettes)	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-83-2	Vissoie (Les Landoux)	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-83-3	Grächen	Schliessung geographischer Lücke, Mischsaatgut, von AB vorgeschlagene quellengesicherte NKS-Population
fi-84-1	Simplon	isoenzymatisch untersuchte Population (Müller-Starck)
fi-84-2	Simplon	Ergänzung zu Simplon, Mischsaatgut, von AB vorgeschlagene quellengesicherte NKS-Population
fi-91-1	Orsières (Praz de Fort)	isoenzymatisch untersuchte Population (Stutz), quellengesicherte autochthone NKS-Population
fi-93-1	Zermatt	mtDNA untersuchte Population
fi-AT-1	Grünbach am Schneeberg (AT)	Projekt Trockenheit (Wohlgemuth)

POP_ID	Ort	Auswahlgrund
fi-IT-1	Varzo	Population aus italienischen Alpen, Mischsaatgut
fi-IT-2	Bannio-Anzino	Population aus italienischen Alpen, Mischsaatgut

7.4 Anleitungen für die Samenernteteams

7.4.1 Version für Tanne und Fichte

Samenernte für Projekt "Adaptive genetische Variation"

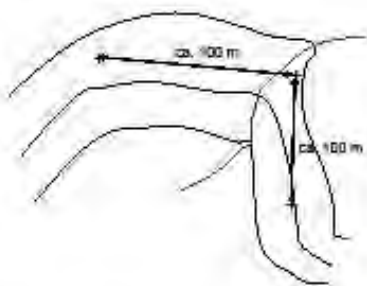
Version 7.9.2009

Hintergrund

In unserem Forschungsprojekt prüfen wir, ob sich die Buche und die Tanne, evtl. auch die Fichte aufgrund ihrer genetischen Variation an den Klimawandel anpassen können. Projektpartner sind die WSL (Birmensdorf), die SHL (Zollikofen) und das BAFU (Bern). Die Anpassungsfähigkeit wird anhand von Sämlingsmerkmalen von ca. 80 Populationen pro Baumart beurteilt. Dazu sind diese Populationen ab September 2009 zu beernten.

Samenernte Tanne

Es werden je 3 Tannen (+ in Abbildung) aus ca. 80 Beständen einzelbaumweise beerntet. Die Bestände sind über die ganze Schweiz verteilt und teilweise Samenerntebestände. Sie sollten unbedingt autochthon sein. Damit ein Bestand beerntet werden darf, müssen in Sichtweite mindestens 20 Tannen in der Oberschicht und in gleicher Exposition vorhanden sein. Wenn nicht, den Bestand nicht wählen. Die Kletterer wählen die Tannen selbst. Die 3 beernteten Tannen müssen voneinander je ca. 100 m entfernt sein (Schrittmass, 100 m dürfen nicht wesentlich unterschritten werden), mit einer Höhendifferenz von höchstens 20 m (Abbildung).



Lage der 3 Bäume an einem Standort



Markierung jeder Tanne

Wichtige Punkte

1. Tannen der Oberschicht wählen (Krone erreicht oberes Drittel des Kronenraums)
2. Keine Tannen mit Stammkrebs
3. 2-3 kg Zapfen pro Baum ernten, keine von Insekten befallene Zapfen (Bohrmehl)
4. Die Zapfen jedes Baumes müssen unbedingt **separat** in Jutesäcke verpackt werden. Jeder Jutesack muss mit der vorbereiteten Etikette etikettiert werden (1 Baum = 1 Sack)
5. Der Standort und die Nummer jedes beernteten Baumes muss möglichst genau in einer Landeskarte eingetragen werden
6. Die 3 beernteten Bäume werden mit Vogelschreckband markiert, auf 2 Seiten mit einem kleinen gelben Punkt (Spraydose) markiert und auf der Bergseite mit schwarzem Filzstift nummeriert (1, 2 oder 3, ca. 10 cm hoch; siehe Abbildung)
7. Die Jutesäcke müssen trocken nebeneinander gelagert werden (nicht stapeln)

P. Brang/7.9.2009

7.4.2 Version für Buche

Samenernte für Projekt "Adaptive genetische Variation"

Version 28.9.2009

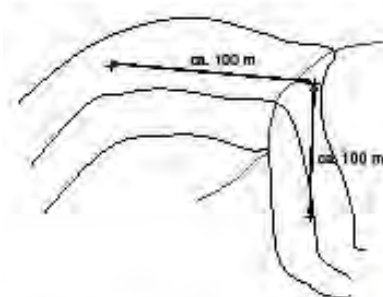
Hintergrund

In unserem Forschungsprojekt prüfen wir, ob sich die Buche, die Tanne und die Fichte aufgrund ihrer genetischen Variation an den Klimawandel anpassen können. Die Anpassungsfähigkeit wird anhand von Sämlingsmerkmalen von ca. 80 Populationen pro Baumart beurteilt. Dazu sind diese Populationen ab September 2009 zu beernten.

Samenernte Buche

Es werden je 3 Buchen (+ in Abbildung) aus ca. 80 Beständen einzelbaumweise beerntet. Die Bestände sind über die ganze Schweiz verteilt und teilweise Samenerntebestände. Sie sollen unbedingt autochthon sein. Damit ein Bestand beerntet werden darf, müssen in Sichtweite mindestens 20 isoliert stehende Buchen in der Oberschicht und in gleicher Exposition vorhanden sein. Wenn nicht, den Bestand nicht wählen. "Isoliert stehen" heisst, dass man beim Auflösen von Saatgut vom Boden unter dem Baum mit einiger Sicherheit nur Saatgut dieses Baumes erwischt. Das ist am ehesten der Fall bei Beständen mit dicken Bäumen (Altholz, besonders Altholz nach Schirmhieb), in mittleren Baumbölgern nach starken Durchforstungen oder wenn Buchen (mit ca. 25-50% der Stammzahl) mit anderen Baumarten (mit ca. 50-75% der Stammzahl) gemischt sind. Die 3 beernteten Buchen müssen voneinander je ca. 100 m entfernt sein (Schrittmass, 100 m dürfen nicht wesentlich unterschritten werden), mit einer Höhendifferenz von höchstens 20 m (Abbildung).

Es gibt 3 Fälle von Beständen: 1. solche mit bereits ausgewählten Bäumen, von denen Bohrkern entnommen wurden (in diesem Fall soll mindestens 1 Baum gewählt werden, dem ein Bohrkern entnommen wurde, die Kriterien "isoliert stehend" und "Distanz 100 m" gehen vor!); 2. solche, in denen die zu beerntenden Bäume noch nicht ausgewählt sind; 3. solche, bei denen nur die gewünschte Region und Höhenlage bekannt sind.



Lage der 3 Bäume an einem Standort



Markierung jeder Buche (am Beispiel einer Tanne gezeigt).

Wichtige Punkte

1. Einzeln stehende Buchen der Oberschicht wählen (Krone erreicht oberes Drittel des Kronenraums).
2. 5 dl Eckern pro Buche vom Boden in Stammfussnähe (2-3 m vom Stamm) auflesen, möglichst keine Eckern mit Bohrlöchern. Möglichst wenig Fremdmaterial beimischen. Den zu beprobenden Bereich so wählen, dass eine Vermischung mit Samen anderer

- Buchen unwahrscheinlich ist (Blick in die Kronen, Achtung bei einseitig ausgebildeten Kronen, keine andere Buche näher als ca. 8 m). Am Hang eher talseits beproben.
3. Die Eckern jedes Baumes sofort separat in einen Papiersack verpacken (Verwechslungsgefahr) und mit der vorbereiteten Etikette etikettieren (1 Baum = 1 Sack).
 4. Der Standort und die Nummer jedes beernteten Baumes wird möglichst genau in einer Landeskarte eingetragen, die Koordinaten des Standorts werden mit GPS gemessen.
 5. Die 3 beernteten Buchen werden auf 2 Seiten mit einem kleinen gelben Punkt (Spraydose) markiert und auf der Bergseite mit schwarzem Filzstift nummeriert (1, 2 oder 3, ca. 10 cm hoch; siehe Abbildung). Falls ein Baum bereits eine Nummer trägt, wird diese Nummer zusätzlich notiert.
 6. An jedem Baum wird der BHD mit Umfangmessband auf cm genau gemessen (auf- und abrunden).
 7. An jedem Baum wird die Baumhöhe mit Vertex auf dm genau gemessen.
 8. An jedem Baum wird die soziale Stellung nach Kraft bestimmt (s. Beiblatt)
 9. Die Papiersäcke müssen trocken nebeneinander gelagert werden (nicht stapeln). Am Abend feuchte Eckern evtl. auf Zeitungspapier ausbreiten, um Pilzbefall zu vermeiden.
 10. Die Papiersäcke müssen periodisch an die WSL gebracht werden.

Material für 2 Aufnahmegruppen (*kursiv: von SHL zu stellen*):

- Landeskarte 1:25'000
- Informationsblatt zum Bestand
- Weitere Informationen zum Bestand (wenn Bäume bereits nummeriert)
- 3 Sammelgefäße 6 dl
- Papiersäcke mit vorgedruckten Etiketten
- Vogelschreckband gelb
- 2 Spraydosen
- 2 Filzstifte
- *Rechen, Besen*
- *2 Umfangmessbänder*
- *1 Vertex-Höhenmessgerät mit Transponder* (1 zusätzliches Gerät von WSL)
- *2 GPS-Geräte*
- Sieb, um Bucheckern auszusieben

Achtung: Vertexgerät muss 1 Mal pro Woche kalibriert werden.

Kontaktnummern WSL:

- Christine Arnold Tel. 044 739 28 28, Natel 076 473 03 09
- Michael Dicht Tel. 044 739 28 28, Natel 079 392 14 80
- Peter Brang Tel. 044 739 24 86, Natel 077 409 77 82
- Anton Burkart Tel. 044 739 23 62

P. Brang/28.9.2009

Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte

Dokumentation der zweiten Bucheckern-Ernte und der Behandlung der Eckern im Jahr 2011

Andreas Boner, Caroline Heiri, Christoph Sperisen, Christian Metzler, Pascal Hengartner, Oliver Leisibach



Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee
und Landschaft WSL

Birmensdorf, Dezember 2011

Autoren:

Andreas Boner, Caroline Heiri, Christoph Sperisen, Christian Metzler, Pascal Hengartner, Oliver Leisibach

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

Ein Bericht aus dem Projekt «Adaptive genetische Variation»
(http://www.wsl.ch/forschung/forschungsprojekte/wsl_genetische_variation)

Zitierung:

Boner, A.; Heiri, C.; Sperisen, C.; Metzler, C.; Hengartner, P.; Leisibach, O. 2011. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der zweiten Bucheckern-Ernte und der Behandlung der Eckern im Jahr 2011. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landschaft, 19 S., unveröff.

Dank

Wir danken Markus Dietiker und Lukas Glanzmann für die Mithilfe der Ernte. Ohne die wie gewohnt sehr sachkundigen Hinweise von Anton Burkart hätten wir diese Beprobung nicht durchführen können.

Umschlagbild: Blattentfaltung der Buche am 21.4.2011, Pflanzgarten WSL (Foto: Caroline Heiri)

© Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf, 2011

Inhalt

1	Vorbereitungsarbeiten	4
1.1	AUSWAHL DER BESTÄNDE.....	4
1.2	KONTROLLBAUM.....	5
1.3	PLANUNG UND VORBEREITUNG DER ERNTE	6
2	Samenernte	7
2.1	VORGEHEN BEI DER AUSWAHL DER MUTTERBÄUME UND ERNTE	7
2.2	BEERNTETE UND NICHT BEERNTETE BESTÄNDE	8
2.3	ABWEICHUNGEN VOM BEPROBUNGSSCHEMA	10
2.4	BEI DER BEERNTUNG ERHOBENE DATEN	11
2.5	MARKIERUNG DER BEERNTETEN BÄUME	11
2.6	LAGERUNG DER ECKERN	11
2.7	BESCHRIFTUNG DES SAATGUTES	12
2.8	ZEITLICHER ABLAUF DER SAMENERNTE	12
3	Dokumentation	13
4	Noch ausstehende Arbeiten	13
5	Literatur	14
6	Anhang	15

1 VORBEREITUNGSARBEITEN

1.1 Auswahl der Bestände

Grundsätzlich sollten dieselben Bestände beerntet werden wie in der ersten Samenerntekampagne 2009 (Arnold et al. 2010). Die Bestandesliste wurde vorgängig von Christoph Sperisen überprüft und angepasst.

Folgende Bestände von Pascale Weber wurden zusätzlich beprobt (Tab. 1). Ihr Design sieht paarweise angelegte Buchenbestände vor (feucht/trocken), wovon 2009 oft nur ein Bestand beerntet wurde. Für 2011 wurde jeweils versucht, beide Bestände pro Region zu beernten.

Tabelle 1. Zusätzliche Bestände von Pascal Weber.

Populations-ID	Ort
bu-11-1	Oberbüren (SG)
bu-16-4	Bärschwil (SO)
Bu-17-3	Roggwil (BE)

Zusätzliche Bestände im Wallis und im Graubünden kamen von Matthias Arend hinzu (Tab. 2), welcher für sein Open-top Kammer Experiment Buchenbestände entlang von zwei Niederschlaggradienten verwendet hat. Einige dieser Ergänzungen ersetzten alte Bestände von 2009, falls diese sehr nahe an denjenigen von M. Arend lagen.

Tabelle 2. Bestände von Matthias Arend.

Populations-ID	Ort	Ersatz für
bu-33-3	Mels (SG)	bu-33-1
bu-33-4	Sargans (SG)	
bu-34-2	Mastrils (GR)	
bu-34-3	Malans (GR)	bu-34-1
bu-46-1	Felsberg (GR)	
bu-47-1	Chur (GR)	
bu-67-2	Ollon (VS)	
bu-81-2	Collombey-Muraz (VS)	
bu-81-3	Martigny (VS)	
bu-81-4	Saxon (VS)	
bu-81-5	Chamoson (VS)	
bu-82-3	Ardon (VS)	

Zudem wurden zwei Bestände aus dem Nationalen Kataster der Samenerntebestände (NKS), welche 2009 nicht beerntet werden konnten (Zufahrt, Wetter, keine Samen), dieses Jahr wieder in die Liste der Erntebestände aufgenommen (Tab. 3).

Tabelle 3. Nicht beerntete Bestände 2009, welche 2011 wieder in die Liste aufgenommen wurden.

Populations-ID	Ort
bu-39-2	Hauterive (FR)
bu-52-2	St. Martin (FR)

Insgesamt wurden 93 Bestände ausgewählt (Abb. 1; für eine detaillierte Ansicht der Buchenbestände siehe Abb. 7 im Kapitel 6 Anhang), davon waren 76 schon 2009 beprobt worden, 2 Bestände waren 2009 zur Beprobung geplant, jedoch wieder verworfen worden, und 15 kamen aus anderen Quellen neu hinzu. Die Begründungen für die Auswahl der Buchenbestände sind zusammengestellt in Tabelle 7 (Kapitel 6 Anhang).



Abbildung 1. Zur Beerntung geplante Bestände.

1.2 Kontrollbaum

2009 wurde bei jeder Baumart ein Kontrollbaum bestimmt. Da das neue Auspflanzungs-Design dies nicht mehr erfordert, wurde kein Kontrollbaum mehr ausgewählt.

1.3 Planung und Vorbereitung der Ernte

Für die Ernte der Bucheckern wurden drei Teams engagiert. Dabei war eines ausschliesslich für die Bucheckern-Ernte zuständig (Team 1: Andreas Boner, Christian Metzler), während das zweite Team parallel dazu die Bodenprofile der Tannen- und Fichtenbestände fertig beprobte (Team 2: Pascal Hengartner, Oliver Leisibach). Das dritte Team war nur für eine Woche mit der Ernte beschäftigt (Team 3: Markus Dietiker, Lukas Glanzmann). Sie beernteten nur die Innerschweizer Bestände.

Um die Koordination zu vereinfachen, wurden die Bestände in sieben Touren eingeteilt. Zu jeder Tour gab es eine Mappe mit den entsprechenden Ernteformularen der ersten Beerntung 2009 (1), neuen leeren Ernteformularen (2) und Landeskarten im Massstab 1:25'000 (3) (Abb. 2).



Abbildung 2. Tourenmappe und Inhalt.

Zusätzlich wurde den einzelnen Teams folgendes Material mitgegeben (Abb. 3):

- (4) 2 Messbecher 1,5 Liter
- (5) Filzschreiber schwarz
- (6) Vertex und Transponder
- (7) Ersatzbatterien
- (8) BHD-Messband
- (9) Markier-Spray orange
- (10) Papiersäcke
- (11) Leere Klebe-Etiketten
- (12) Klebe-Etiketten für alle zu beerntenden Bäume
- (13) Schreibstifte
- (14) Massband 10 m zur Vertex-Kalibrierung
- (15) Haushaltspapier (auf Abbildung nicht zu sehen)

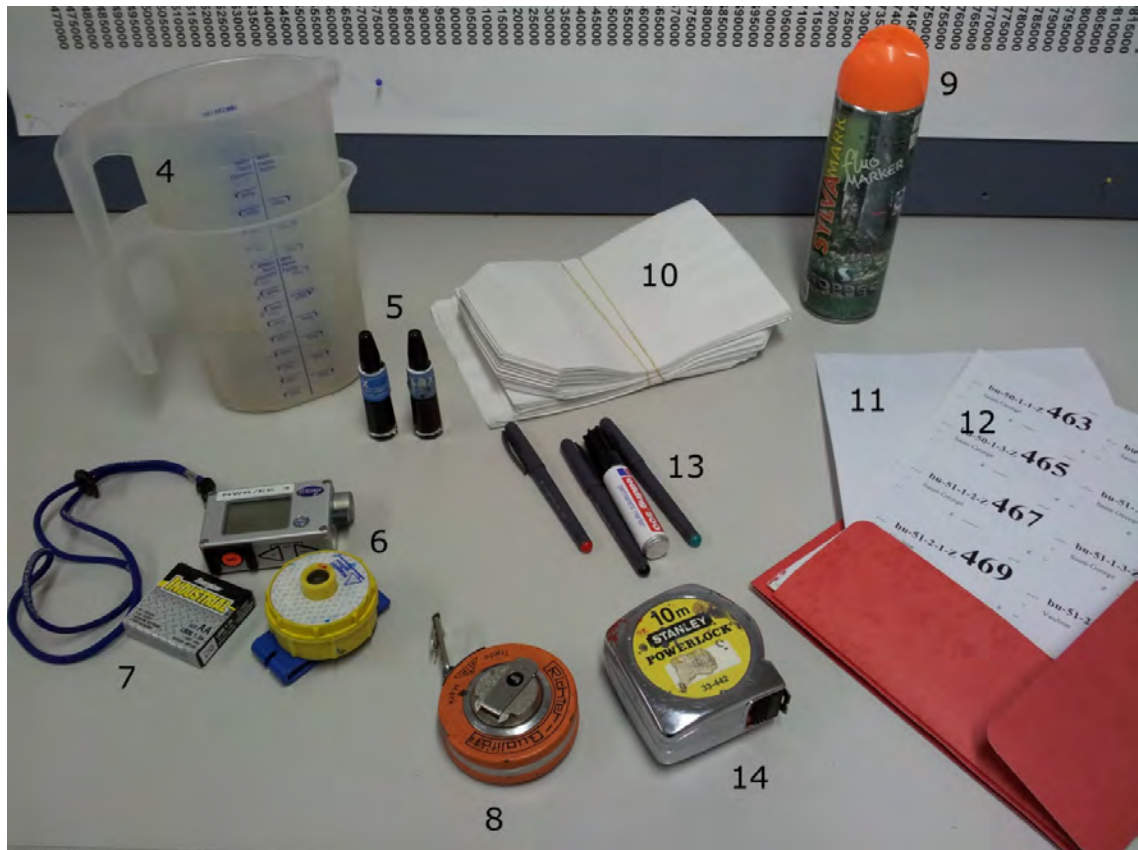


Abbildung 3. Material für die Ernte.

Die lokalen Forstdienste wurden wenn immer möglich informiert, um Informationen über Bestände zu erhalten und um über mögliche Hindernisse (beispielsweise Barrieren, aktiver Holzschlag, etc.) Bescheid zu wissen. Ausserdem sind die Förster dankbar, wenn man ihnen meldet, dass man Bäume markiert. Dies kann beispielsweise für die Markierung für einen Holzschlag wichtig sein.

2 SAMENERNTE

2.1 Vorgehen bei der Auswahl der Mutterbäume und Ernte

Die Beernter mussten zuerst entscheiden, ob drei Bäume vorhanden waren, welche die Auswahlkriterien erfüllten: Oberschicht, gleiche Exposition, Höhendifferenz der Bäume nicht mehr als 50 m und jeweils nicht weniger als 100 m voneinander entfernt. Die Buchen mussten ausserdem isoliert stehen. «Isoliert stehen» heisst, dass beim Auflesen von Bucheckern vom Boden unter dem Baum mit grosser Sicherheit nur Saatgut dieses Baumes gesammelt wurde. Abbildung 4 zeigt eine isoliert stehende Buche. Ausserdem mussten genug Bucheckern vorhanden sein, um die vorgegebenen 3 dl sammeln zu können.



Abbildung 4. Isoliert stehende Buche.

Konkret wurden die 2009 beprobten Bäume gesucht und die oben genannten Auswahlkriterien überprüft. Waren diese erfüllt, wurden die Bäume mit der gleichen Baumnummer und angefügtem «-Z» (Erklärung dazu siehe Kapitel 2.5 Markierung der beernteten Bäume) übernommen.

Konnten die Bäume nicht gefunden werden oder waren Kriterien nicht erfüllt, wurde nach Alternativen gesucht. Neue Bäume sind in den Ernteformularen mit «Neu» im Koordinatenfeld gekennzeichnet.

Es wurden mindestens 3 dl Eckern pro Baum gesammelt. Die gesammelten Samen wurden in Papiersäcke abgefüllt und mit der entsprechenden Klebe-Etikette beschriftet. Nasse Eckern – was zum Beispiel vorkam, wenn es bei der Ernte regnete – wurden von den Sammlern über Nacht auf Haushaltspapier zum Trocknen ausgelegt. Dies sollte Verpilzung der Eckern verhindern. Das Saatgut war nie Hitze ausgesetzt und war nie länger als fünf Tage im Auto oder Hotel.

2.2 Beerntete und nicht beerntete Bestände

Wer an welchem Tag welchen Bestand beerntete, ist in der Bestandestabelle dokumentiert (siehe Kapitel 3). Bestände, welche nicht beerntet wurden, zeigen in der Spalte «Beprobung» statt des Erntedatums einen der drei Einträge «nicht beerntet», «ersetzt» oder «Reserve». Ausserdem ist in der Spalte «Bemerkungen» der Grund der Nichtbeprobung beschrieben. Die Gründe der Nicht-Beerntung von Beständen sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Von den insgesamt 93 geplanten Beständen wurden 80 beerntet und 13 nicht beerntet. Abbildung 5 zeigt eine Karte mit den beernteten und den nicht beernteten Beständen (für eine detaillierte Ansicht der Buchenbestände siehe Abb. 7 im Kapitel 6 Anhang).

Tabelle 4. Gründe der nicht Beerntung von Beständen.

Poluations-ID Ortsnamen	Beschreibung
bu-08-2 Mandach	Zu wenig bis keine Nüsse
bu-17-1 Vordemwald	Zu wenig bis keine Nüsse
bu-17-3 Roggwil	Zu wenig bis keine Nüsse
bu-33-1 Mels	Ersetzt durch bu-33-3
bu-34-1 Malans	Ersetzt durch bu-34-3
bu-43-1 Gadmen	Wegen Schnee nicht beerntet
bu-44-1 Seedorf	Zu wenig bis keine Nüsse bzw. keine isolierten Bäume
bu-67-1 Yvorne	Reserve falls bu-81-2 nicht möglich
bu-67-2 Ollon	Reserve falls bu-81-2 nicht möglich
bu-68-1 St. Stephan	Zu wenig bis keine Nüsse bzw. keine isolierten Bäume; Ersetzt durch bu-54-1
bu-74-1 Lostallo	Zu wenig bis keine Nüsse
bu-81-1 Collonges	Zu wenig bis keine Nüsse bzw. keine isolierten Bäume
bu-81-4 Saxon	Zu wenig bis keine Nüsse

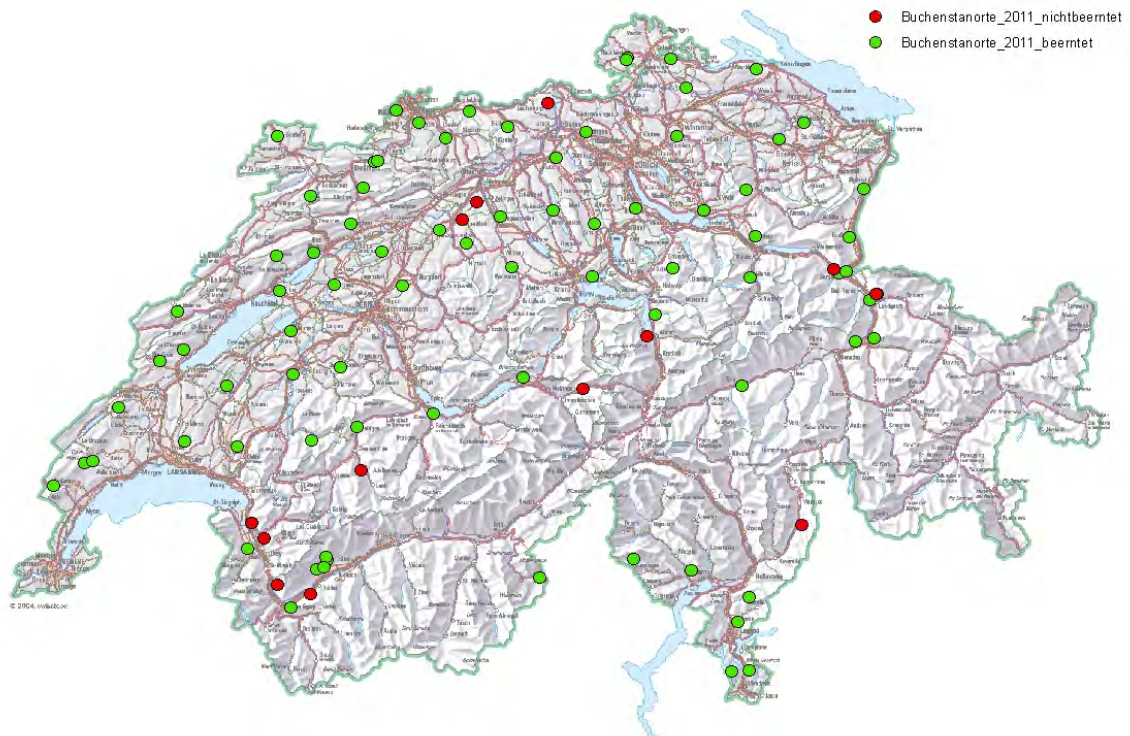


Abbildung 5. Karte der beernteten und nicht beernteten Bestände.

2.3 Abweichungen vom Beprobungsschema

Fehlende Einzelbäume: Bei 3 Beständen wurden nur ein oder zwei Einzelbäume statt der geplanten drei beerntet. Daher sind nur 235 statt 240 (80 Bestände x 3 Einzelbäume) beerntet. Die drei unvollständig beernteten Bestände (bu-46-1, Felsberg; bu-42-1, Hofstetten b. Brienz; bu-96-2, Meride (Serpiano)) sind in Tabelle 5 genauer dokumentiert.

Mischproben: Falls keine isolierten Einzelbäume mit genügend Eckern gefunden werden konnten, wurde eine Mischprobe gesammelt. Die Eckern dieser Proben stammen von mindestens 2 nahe beieinander stehenden Bäumen. Für Details siehe Tabelle 5. Mischproben enthalten zur Kennzeichnung ein «MIX» in der Baum-ID.

Tabelle 5. Beschreibung der Spezialfälle.

Populations-ID Ortsnamen	Beschreibung
bu-18-1 Dagmersellen	<p>Aufgrund der grossen Bestandesdichte und des Geländes konnten keine isolierten Bäume gefunden werden. Deshalb wurden 3 Mischproben à 3 dl gesammelt. Zwischen den 3 Mischproben wurde ein Abstand von 50-100 m eingehalten.</p> <p>Aus wie vielen Mutterbäumen die Mischprobe besteht, muss noch bei den Sammlern abgeklärt werden.</p> <p>Die BAUM-IDs der Mischproben sind: bu-18-1-1-MIX-Z, bu-18-1-2-MIX-Z und bu-18-1-3-MIX-Z.</p>
bu-87-1 Cagiallo	<p>Bei diesem Standort handelte es sich um Niederwald. Es ist daher nicht sicher, ob die Ecker nur von einem einzelnen Mutterbaum stammt. Höchstwahrscheinlich enthält jede Probe Eckern von 2-3 Mutterbäumen. Zwischen den 3 Mischproben wurde ein Abstand von 50-100 m eingehalten.</p> <p>Die BAUM-IDs der Mischproben sind: bu-87-1-1-MIX-Z, bu-87-1-2-MIX-Z und bu-87-1-3-MIX-Z.</p>
bu-46-1 Felsberg	<p>Es kann nicht garantiert werden, dass die Eckern, die beim zweiten Baum gesammelt wurden, nur von diesem Baum stammen. Es kommen 2-3 weitere Bäume als Mutterbäume in Frage. Daher wird diese Probe als Mischprobe behandelt. Es wurde kein dritter Baum gefunden.</p> <p>Die Baum-IDs lauten bu-46-1-1-Z und bu-46-1-2-MIX-Z</p>
bu-42-1 Hofstetten Brienz	<p>Der 2009 beprobte Baum 2 der Population konnte wieder beprobt werden. Die Bäume 1 und 3 konnten auf Grund mangelnder Isolation oder Eckern-Menge nicht beprobt werden.</p> <p>Im Gelände konnten keine isolierbaren Alternativen gefunden werden. Eine Mischprobe wäre zwar möglich gewesen, inzwischen eingesetzter Schneefall hat das zusätzliche Sammeln verhindert.</p> <p>➔ nur ein Einzelbaum mit der Baum-ID bu-42-1-2-Z.</p>
bu-96-2 Meride (Serpiano)	<p>In diesem Bestand konnte nur ein Baum mit Eckern gefunden werden. Es wurde daher die Menge von 6 dl von diesem Baum gesammelt.</p> <p>➔ nur ein Einzelbaum mit der Baum-ID bu-92-2-1-Z.</p>

2.4 Bei der Beerntung erhobene Daten

Während der Buchenernte wurden auch Merkmale der beprobten Mutterbäume erhoben. An jedem Baum wurde mit einem Umfangmessband der Brusthöhendurchmesser (BHD) auf cm genau und mit einem Vertex IV die Höhe auf dm genau gemessen sowie die soziale Stellung nach Kraft bestimmt (Assmann 1961).

Während der Beprobung 2009 wurde anfangs mittels Hand-GPS die Koordinaten der Einzelbäume ermittelt. Diese Koordinaten sind wegen des Einflusses des Kronendaches sehr ungenau. Die händische Markierung auf der 1:25'000er Karte stellte sich als wesentlich exakter heraus. In der zweiten Beprobung wurden die Bäume deshalb nur noch auf der Karte markiert.

2.5 Markierung der beernteten Bäume

Um die drei beprobten Bäume später wieder zu finden, wurden sie an zwei Seiten mit einem orangen Punkt markiert und mit schwarzem Filzstift nummeriert (1, 2 oder 3, ca. 10 cm hoch). Der Baumnummer wurde ausserdem ein «-Z», stellvertretend für «Zweite Beprobung», angehängt. Im Gegensatz zur ersten Beprobung (und somit auch zur Beprobung der Tannen und Fichten) wurde auf die zusätzliche Markierung mittels Vogelschreckband verzichtet. Die Bäume wurden auf der Landeskarte im Massstab 1:25'000 eingetragen und mit der Baumnummer beschriftet.

Es gab somit drei Unterschiede in der Markierung gegenüber der ersten Beprobung (Abb. 6):

- Oranger statt gelber Punkt
- Der Baumnummer wurde ein «-Z» angefügt
- Es wurde kein Vogelschreckband benutzt



Abbildung 6. Links: Markierung der Buche 2011. Rechts: Markierung einer Tanne 2009.

2.6 Lagerung der Eckern

An der WSL wurden die trockenen Bucheckern sofort im Kühlraum bei 1° Celsius bis zur Aussaat gelagert. Am 20. Dezember 2011 wurden die Eckern in Plastiksäcke abgepackt, um Austrocknung zu verhindern.

2.7 Beschriftung des Saatgutes

Das Saatgut jedes Einzelbaumes erhielt wie 2009 eine Baum-ID und eine eindeutige Laufnummer. Die Baum-ID setzt sich aus Populations-ID und Baum-Nr. zusammen. Aus der Populations-ID bu-01-1 und der Baum-Nr. 2-Z ergibt sich also die Baum-ID bu-01-1-2-Z. Die Laufnummer steht in der Einzelbaumtabelle in der Spalte Baumnummer (Achtung: Nicht zu verwechseln mit Baum-Nr.).

Die ausländischen Buchen, welche zusammen mit der Ernte 2009 gesät wurden (die einzigen die gekeimt haben), hatten schon eine Laufnummer. Da sich aber die Menge der beernteten Einzelbäume 2011 geändert hat, musste auch deren Laufnummer angepasst werden. Zur Sicherheit ist die alte Laufnummer noch immer in der Einzelbaumtabelle zu finden.

2.8 Zeitlicher Ablauf der Samenernte

Die Samenernte lief zeitlich wie folgt ab:

03.10.-07.10.2011	Planung und Vorbereitung der Ernte
10.10.-09.12.2011	Ernte Team 1 und 2
17.10.-21.10.2011	Ernte Team 3
12.12.-23.12.2011	Aufbereitung und Aktualisierung der Daten

3 DOKUMENTATION

Tabelle 6. Ablage der Dokumentationen.

Ernteformulare	N:\prj\Adapt\Buche\Samenernte_Buche_2011\Formulare Bu_Samenernte\ Beispiel: N:\ ... \Formulare Bu_Samenernte\bu-01-1-Z_geerntet.xls
Bestandestabelle	N:\prj\Adapt\Buche\Prjadapt_Buche_Bestände_2011.xls
Einzelbaumta- belle	N:\prj\Adapt\Buche\Prjadapt_Buche_Einzelbäume_2011.xlsx
Karten im GIS	N:\prj\Adapt\GIS\Samenernte_Bu_21.mxd
Handschriftlich ausgefüllte Original- Erntebblätter, ausgedruckte Erntebblätter und Kartenausschnitt	Ordnerbeschriftung: Proj Adapt «5 Bestände Buche Zweite Beprobung 2011»
Gescannte Kartenaus- schnitte der Bestände	N:\PRJ\Adapt\Buche\Karten_Buche\Einzelbaumstandorte_Buche_2011 Beispiel: N:\ ... \ Einzelbaumstandorte_Buche_2011\Karte_bu-02-1-Z.pdf
Digitale Ablage dieses Berichtes	N:\prj\Adapt\Dokumentation\Samenerntebericht_Buche_2011.docx

Für einen späteren Besuch der Bestände ist es von Vorteil, vor der Reise die Ernteformulare und die Bestandestabelle zu studieren. Oft sind Hinweise auf Hindernisse oder Tipps notiert.

4 NOCH AUSSTEHENDE ARBEITEN

Folgende Arbeiten sind noch ausstehend:

- In der Bestandestabelle sind die Spalten «Koordinaten», «Exposition», «HuM», «Ort» und «Lokalname» noch zu aktualisieren. Christoph Sperisen (Tel intern 597) kennt den Ablauf.
- In der Bestandestabelle ist die Spalte «DendroID» unvollständig. Beprobte Bestände aus dem Forschungsprojekt von Pascale Weber, welche von uns aufgenommen wurden, müssen um ihre DendroIDs ergänzt werden. Diese Bestände haben in der Spalte «Quelle» der Bestandestabelle den Eintrag PW.
- Beim Ernteteam 3 nachfragen, ob man bei den Mischproben in Dagmersellen von einer bestimmten Anzahl von Mutterbäumen ausgehen kann.

5 LITERATUR

Arnold, C., Dicht, M., Sperisen, C., Burkart, A., Boner, A., Heiri, C., Mühlethaler, U., Schmatz, D., Walthert, L., Weber, P., Brang, P. 2010. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Samenernte und -behandlung. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL; Zollikofen, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, 44 S. unveröff.

Assmann, E. 1961. Waldertragskunde: organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. München, BLV.

6 ANHANG

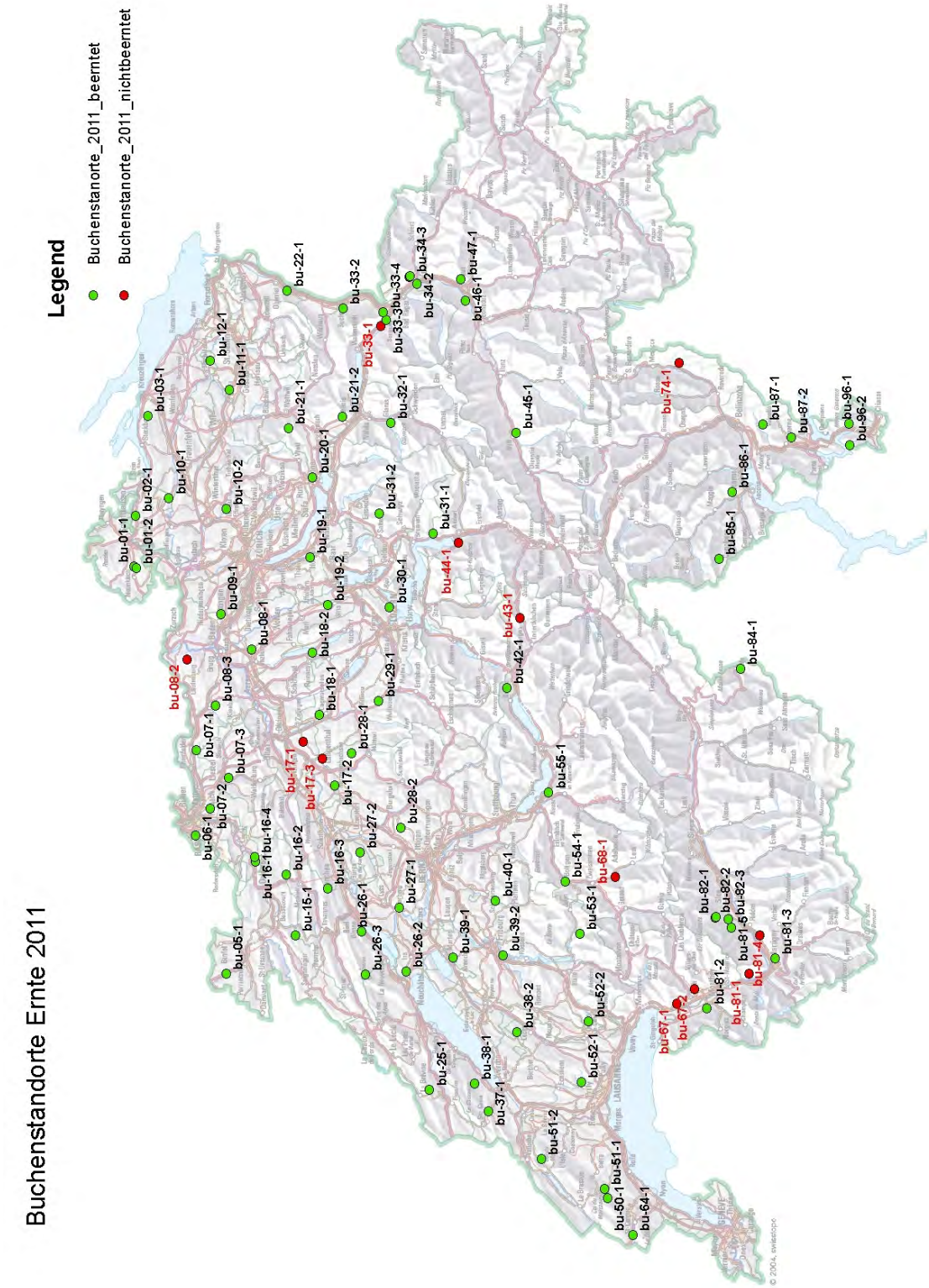


Abbildung 7. Detaillierte Karte der Erntebestände.

Tabelle 7. Auswahlgründe beernteter Buchenpopulationen. POP_ID = Identifikationscode der Population, «LWF» = Langfristige Waldökosystem-Forschung, «NKS» = Nationaler Kataster der Samenerntebestände, «PW» = dendroökologisches Projekt von Pascale Weber & Lorenz Walthert, «LW» = Bodenprofil vorhanden durch Lorenz Walthert.

POP_ID	Ort	Auswahlgrund
bu-01-1	Neunkirch	Dendrodaten (PW) / Bodenprofil (LW) / LWF
bu-01-2	Neunkirch	Dendrodaten (PW)
bu-02-1	Diessenhofen	NKS
bu-03-1	Ermatingen	Dendrodaten (PW) / Bodenprofil (LW)
bu-05-1	Courtemaîche	Bodenprofil (LW)
bu-06-1	Allschwil	Literatur; Peter Steiger (1994/akt. Aufl. 1998): Wälder der Schweiz / Peter Brang
bu-07-1	Zeiningen	NKS
bu-07-2	Münchenstein	NKS
bu-07-3	Lausen	NKS
bu-08-1	Othmarsingen	Dendrodaten (PW) / Bodenprofil (LW) / LWF
bu-08-2	Mandach	Dendrodaten (PW)
bu-08-3	Gipf-Oberfrick	NKS
bu-09-1	Wettingen	NKS
bu-10-1	Niederneunforn	Bodenprofil (LW)
bu-10-2	Kyburg	Bodenprofil (LW)
bu-11-1	Oberbüren	Dendrodaten (PW)
bu-12-1	Hauptwil-Gottshaus	NKS
bu-15-1	Rebévelier	NKS
bu-16-1	Bärschwil	Dendrodaten (PW)
bu-16-2	Rebeuvelier	Information Francis Girardin (Forstamt JU)
bu-16-3	Grenchen	NKS
bu-16-4	Bärschwil	Dendrodaten (PW)
bu-17-1	Vordemwald	Dendrodaten (PW) / Bodenprofil (LW) / LWF
bu-17-2	Herzogenbuchsee	NKS / Information Anton Burkart
bu-17-3	Roggwil	Dendrodaten (PW)
bu-18-1	Dagmersellen	Dendrodaten (PW) / Bodenprofil (LW)
bu-18-2	Schwarzenbach	Dendrodaten (PW) / Bodenprofil (LW)
bu-19-1	Horgen/Sihlwald	Dendrodaten (PW)
bu-19-2	Auw	NKS
bu-20-1	Jona	Bodenprofil (LW)
bu-21-1	Wattwil	Bodenprofil (LW)
bu-21-2	Schänis	LWF / Bodenprofil (LW)

bu-22-1	Rüthi (SG)	NKS
bu-25-1	Couvet	Bodenprofil (LW)
bu-26-1	Tüscherz-Alfermé	NKS
bu-26-2	Gampelen	Bodenprofil (LW)
bu-26-3	Nods	Bodenprofil (LW)
bu-27-1	Aarberg	NKS / Information Anton Burkart
bu-27-2	Mühledorf (SO)	NKS
bu-28-1	Reisiswil	Dendrodaten (PW) / Bodenprofil (LW)
bu-28-2	Krauchthal	NKS
bu-29-1	Menznau	Bodenprofil (LW)
bu-30-1	Meggen	Bodenprofil (LW)
bu-31-1	Sisikon	NKS
bu-31-2	Alptal	Bodenprofil (LW)
bu-32-1	Glarus	NKS / Information Anton Burkart
bu-33-1	Mels	Dendrodaten (PW)
bu-33-2	Buchs (SG)	NKS
bu-33-3	Mels	Projekt Matthias Arend, Bestand längs Niederschlagsgradient
bu-33-4	Sargans	Projekt Matthias Arend, Bestand längs Niederschlagsgradient
bu-34-1	Malans	Bodenprofil vorhanden durch Lorenz Walthert
bu-34-2	Mastrils	Projekt Matthias Arend, Bestand längs Niederschlagsgradient
bu-34-3	Malans	Projekt Matthias Arend, Bestand längs Niederschlagsgradient
bu-37-1	Sainte-Croix	NKS / Verwendet in Provenienzversuch (VD) von Micheline Meylan: Fouvy, P. and G. Jeantet (1997), Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 148(2): 103-130.
bu-38-1	Champagne	NKS / Verwendet in Provenienzversuch (VD) von Micheline Meylan: Fouvy, P. and G. Jeantet (1997), Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 148(2): 103-130.
bu-38-2	Praratoud	Bodenprofil (LW)
bu-39-1	Courgevaux	Dendrodaten (PW)
bu-39-2	Hauterive	NKS
bu-40-1	Wahlern	Dendrodaten (PW)
bu-42-1	Hofstetten bei Brienz	Bodenprofil (LW)
bu-43-1	Gadmen	Bodenprofil (LW)

bu-44-1	Seedorf	NKS
bu-45-1	Trun	Literatur; Peter Steiger (1994/akt. Aufl. 1998): Wälder der Schweiz
bu-46-1	Felsberg	Projekt Matthias Arend, Bestand längs Niederschlagsgradient
bu-47-1	Chur	Projekt Matthias Arend, Bestand längs Niederschlagsgradient
bu-50-1	Saint-George	NKS / Verwendet in Provenienzversuch (VD) von Micheline Meylan: Fouvy, P. and G. Jeantet (1997), Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 148(2): 103-130.
bu-51-1	Saint-George	NKS / Verwendet in Provenienzversuch (VD) von Micheline Meylan: Fouvy, P. and G. Jeantet (1997), Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 148(2): 103-130.
bu-51-2	Vaulion	NKS / Verwendet in Provenienzversuch (VD) von Micheline Meylan: Fouvy, P. and G. Jeantet (1997), Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 148(2): 103-130.
bu-52-1	Lausanne	Dendrodaten (PW) / Bodenprofil (LW) / LWF
bu-52-2	St. Martin	NKS
bu-53-1	Charmey	Bodenprofil (LW)
bu-54-1	Boltingen	Information von Revierförster Heinz Jost
bu-55-1	Spiez (Faulensee)	NKS
bu-64-1	Saint-Cergue	Bodenprofil (LW)
bu-67-1	Yvorne	Literatur; Peter Steiger (1994/akt. Aufl. 1998): Wälder der Schweiz
bu-67-2	Ollon	Projekt Matthias Arend, Bestand längs Niederschlagsgradient
bu-68-1	St. Stephan	Bodenprofil (LW)
bu-74-1	Lostallo	Bodenprofil (LW)
bu-81-1	Collonges	Bodenprofil (LW)
bu-81-2	Collombey-Muraz	Projekt Matthias Arend, Bestand längs Niederschlagsgradient
bu-81-3	Martigny	Projekt Matthias Arend, Bestand längs Niederschlagsgradient
bu-81-4	Saxon	Projekt Matthias Arend, Bestand längs Niederschlagsgradient
bu-81-5	Chamoson	Projekt Matthias Arend, Bestand längs Niederschlagsgradient
bu-82-1	Vétroz	Dendrodaten (PW) / Bodenprofil (LW)
bu-82-2	Conthey	Dendrodaten (PW)

bu-82-3	Ardon	Projekt Matthias Arend, Bestand längs Niederschlagsgradient
bu-84-1	Zwischenbergen	Literatur; Peter Steiger (1994/akt. Aufl. 1998): Wälder der Schweiz
bu-85-1	Vergeletto	IUFRO Provenienzen / NKS / Verwendet in Hussendörfer, E. (1997), Beih. Schweiz. Z. Forstwes. 83: 1–151. / Ivo Ceschi (TI) / Peter Brang
bu-86-1	Avegno	Bodenprofil (LW)
bu-87-1	Cagiallo	Bodenprofil (LW) / LWF / Information Giuseppe Tettamanti (Viaio Forestale cantonale Lattecaldo TI)
bu-87-2	Vaglio	Information Giuseppe Tettamanti (Viaio Forestale cantonale Lattecaldo TI)
bu-96-1	Mendrisio (Monte Generoso)	Information Giuseppe Tettamanti (Viaio Forestale cantonale Lattecaldo TI)
bu-96-2	Meride (Serpiano)	Information Giuseppe Tettamanti (Viaio Forestale cantonale Lattecaldo TI)

Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte

Dokumentation der Sämlingsanzucht im Versuchsgarten der WSL 2010-2011

Caroline Heiri, Christoph Sperisen, Peter Brang, Aline Frank, Anton Burkart



Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee
und Landschaft WSL

Birmensdorf, April 2012

Autoren:

Caroline Heiri, Aline Frank, Christoph Sperisen, Peter Brang, Anton Burkart
Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

Ein Bericht aus dem Projekt «Adaptive genetische Variation»

(http://www.wsl.ch/forschung/forschungsprojekte/wsl_genetische_variation)

Zitierung:

Heiri C., Sperisen C., Frank A., Burkart A. 2012. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Sämlingsanzucht im Versuchsgarten der WSL 2010-2011. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landschaft., 13 S., unveröff.

Dank

Den grössten Teil der Arbeiten führte das Team des Versuchsgartens der WSL unter der Leitung von Anton Burkart durch: Werner Läubli, Peter Suter, Claudio Cattaneo und Peter Schweizer. Ihnen möchten wir an dieser Stelle nochmals ganz herzlich danken. An der Erhebung der Keimraten und weiteren Arbeiten beteiligten sich zahlreiche Mitarbeitende, darunter Julia Born, Malgorzata Conder, Julien Grunder, Sandra Hilfiker, Marcel Hörler, Barbara Roth und Andreas Schwyzer; ihnen allen gebührt ein grosses Dankeschön.

Umschlagbild: Tannenkeimlinge im Frühjahr 2010 im WSL-Versuchsgarten.

Inhalt

1.	EINLEITUNG.....	4
2.	ANZUCHT FICHTE & TANNE.....	4
2.1.	AUSSAAT	4
2.2.	PFLEGE	5
2.3.	SÄMLINGSAUFNAHMEN	5
3.	ANZUCHT BUCHE.....	9
4.	LITERATUR.....	10
5.	ANHANG	12

1. EINLEITUNG

Im Frühjahr 2010 wurden die Tannen und Fichten, 2011 die Buchen im Versuchsgarten der WSL ausgesät und aufgezogen. Dieser Bericht fasst den Verlauf der An- und Aufzucht zusammen, dokumentiert die Pflegemassnahmen und kommentiert allfällig aufgetretene Probleme. Er schliesst chronologisch an die Dokumentation der Samenernte und –behandlung (Arnold et al. 2010) an. Die einzelnen Arbeitsschritte sind im Projekt-Tagebuch dokumentiert («Tagebuch Adapt.xlsx»)

2. ANZUCHT FICHTE & TANNE

2.1. Aussaat

Bei der Tanne wurden ausschliesslich Einzelbaumabsaaten (insgesamt 277 von 93 Herkünften) verwendet, bei der Fichte sowohl Einzelbaum- (226 von 76 Herkünften) als auch Bestandesabsaaten (22 Herkünfte). Zur einfacheren Handhabung wurden den Einzelbaum- und Bestandesabsaaten eine fortlaufende Nummer zugeteilt, wobei Tannen Zahlen zwischen 0 und 277 und Fichten solche zwischen 600 und 869 belegen. Die Nummern 0 und 600 stehen für Absaaten zu Kontrollzwecken («Kontrollbaum»).

Die Tannen wurden vor der Aussaat stratifiziert, indem am 15.2.2010 jedem Sack mit den Samen eines Mutterbaums rund 1 l angefeuchtetes Substrat (Torf/Sand 1:1) zugegeben wurde und die Samen bis zur Aussaat weiterhin bei 0 °C gelagert wurden. Die 1 m breiten Saatbeete wurden vor der Saat konventionell vorbereitet und oberflächlich mit einer Schicht von 2 cm Containererde ergänzt. Zur Samenabdeckung wurde eine Deckerde verwendet, welche zu gleichen Teilen aus Sand und Torf besteht.

Für beide Baumarten wurden rund 2000 Samen pro Mutterbaum ausgesät, aufgeteilt auf zwei Rillen à 7 cm Breite bei einer Beetbreite von 1 m (Abb. 1).

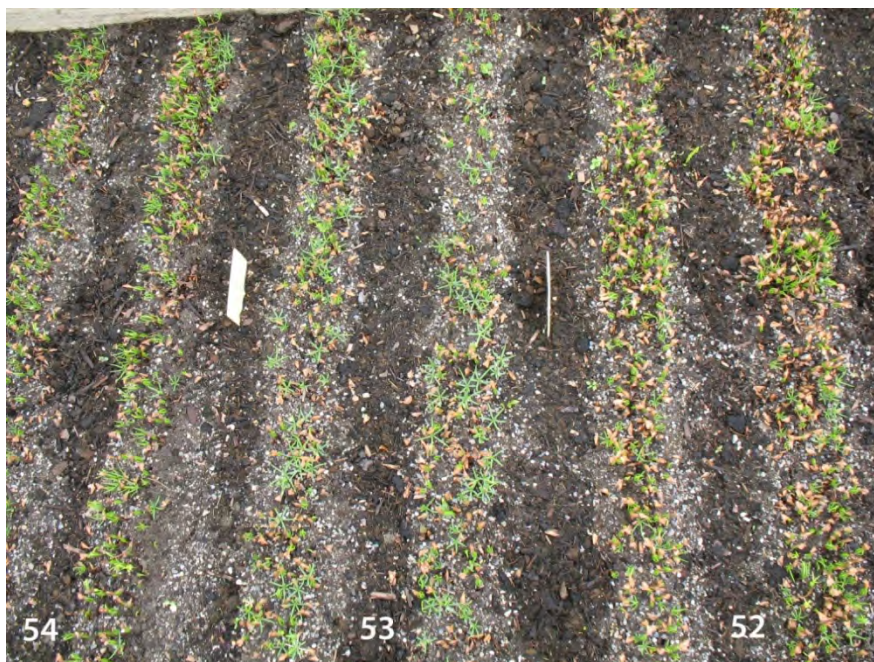


Abbildung 1. Tannenkeimlinge der 3 Mutterbäume der Herkunft Gams im Mai 2010, zwei Rillen pro Mutterbaum (Baum-Identifikationsnummern 52-54).

Die stratifizierten Tannensamen wurden am 12./13. April 2010 ausgesät und unmittelbar über Standrohre beregnet, die Fichtensamen wurden am 25./26. Mai 2010 als Direktsaat ausgebracht. Die Tannenbeete wurden mit einem Vogelschutzgitter und einem Schattiertuch abgedeckt, die Fichtenbeete mit Lättlimatten. Von Mai bis Juli 2010 wurden die Tannen und Fichten bei Bedarf über Sprühdüsen bewässert. Weitere Details zur Aussaat finden sich im Arbeitsprotokoll des Versuchsgartens im Anhang.

2.2. Pflege

Die Pflege umfasste insbesondere Jätarbeiten, Umschattierungen und die punktuelle Behandlung mit Pflanzenschutzmitteln beim Auftreten von Krankheiten oder Schädlingen. Die Sämlinge wurden von Schnecken, Maulwurfsgrillen und Mäusen besucht, einzelne Provenienzen wurden zudem von Keimlingspilzen befallen. Bei einzelnen schlecht gekeimten Nachkommenschaften haben Vögel gut bewurzelte Fichtensämlinge herausgezupft, um an die noch ungekeimten Samen im Boden heran zu kommen. Mittels Fotofalle konnte Anton Burkart einen Buchfink auf frischer Tat ertappen. Als Konsequenz wurden die sechs Fichtenbeete anfangs August 2010 erneut mit Vogelschutzgittern abgedeckt.

Ziel der Sämlingsanzucht war es, möglichst vitale Sämlinge für die genökologische Studie heranzuziehen. Deshalb wurden – wenn nötig – chemische Bekämpfungsmittel eingesetzt. Detaillierte Beschreibungen der verwendeten Pflanzenschutzmittel und der eingesetzten Schädlingsbekämpfung finden sich im Arbeitsprotokoll des Versuchsgartens im Anhang.

Bemerkenswert sind die Ausaperungsschäden, welche im Februar 2011, insbesondere bei den schwach gekeimten Nachkommenschaften, zu verzeichnen waren. Aufgrund stark schwankender Temperaturen (nachts starker Frost, tagsüber milde Temperaturen, keine Schneebedeckung) wurden locker stehende Sämlinge mitsamt den Wurzeln aus dem Boden gehoben. Als Rettungsmassnahme wurden die ausgewinterten, lockeren Sämlinge bestmöglich wieder angedrückt und mit Containererde gemulcht.

Infolge der lang anhaltenden Trockenperiode im Frühjahr 2011 wurden die einjährigen Fichten- und Tannensämlinge im April bewässert. Ausserdem verursachte der Hagelsturm vom 13. Juni 2011 vereinzelt Schäden an den Fichten (Triebe abgeschlagen oder verletzt). Diese Schäden sind inzwischen mehrheitlich ausgewachsen.

2.3. Sämlingsaufnahmen

20 Tage nach Aussaat (Fichte) bzw. 30 Tage nach Aussaat (Tanne) wurde der Keimzustand erfasst, um den Keimerfolg abschätzen zu können. Dazu wurden drei Entwicklungsstadien unterschieden und der relative Anteil jedes Stadiums pro Mutterbaum geschätzt. Die drei Stadien waren (a) Bogen, (b) mit Samenschale, (c) ohne Samenschale (Abb. 2). Bei weniger als rund 20 Keimlingen wurden diese ausgezählt. Zudem wurde notiert, wenn noch keine Keimlinge sichtbar waren (Stadium «nix»).

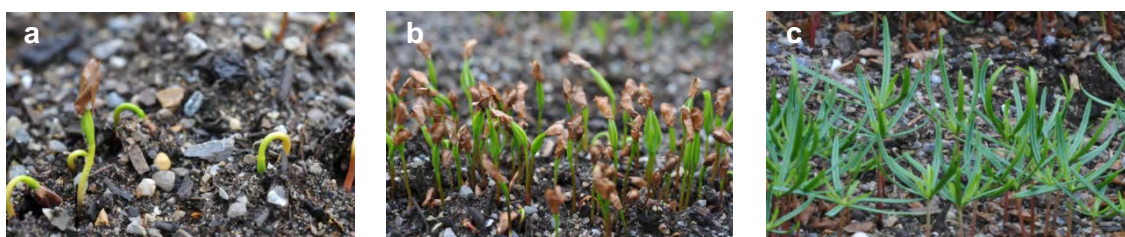


Abbildung 2. Die drei unterschiedenen Entwicklungsstadien am Beispiel der Tanne: (a) Bogen; (b) mit Samenhülle; (c) ohne Samenhülle.

Abbildung 3 zeigt eine Zusammenstellung der Entwicklungsstadien für Fichte und Tanne, wobei hier zusätzlich zu den drei Stadien auch Mischformen unterschieden werden. Am augenfälligsten ist der grosse Anteil an Tannen-Nachkommenschaften, bei welchen 30 Tage nach der Aussaat noch kein Keimling sichtbar war (119 Mutterbäume im Stadium «nix»). Wir vermuten, dass dies auf einen unterschiedlichen Wassergehalt der Samen zurück zu führen ist, bedingt durch unterschiedliche Erntezeitpunkte und die dezentrale Lagerung (die geernteten Tannenzapfen wurden teilweise bei den Beerntern zwischengelagert; vgl. Arnold et al 2010). Im Gegensatz dazu waren die Fichten mehrheitlich im Stadium «Dominanz mit Samenhülle» oder in der Mischform «mit/ohne Samenhülle mix». Die Samen von lediglich 15 Fichtenmutterbäumen hatten noch überhaupt nicht gekeimt.

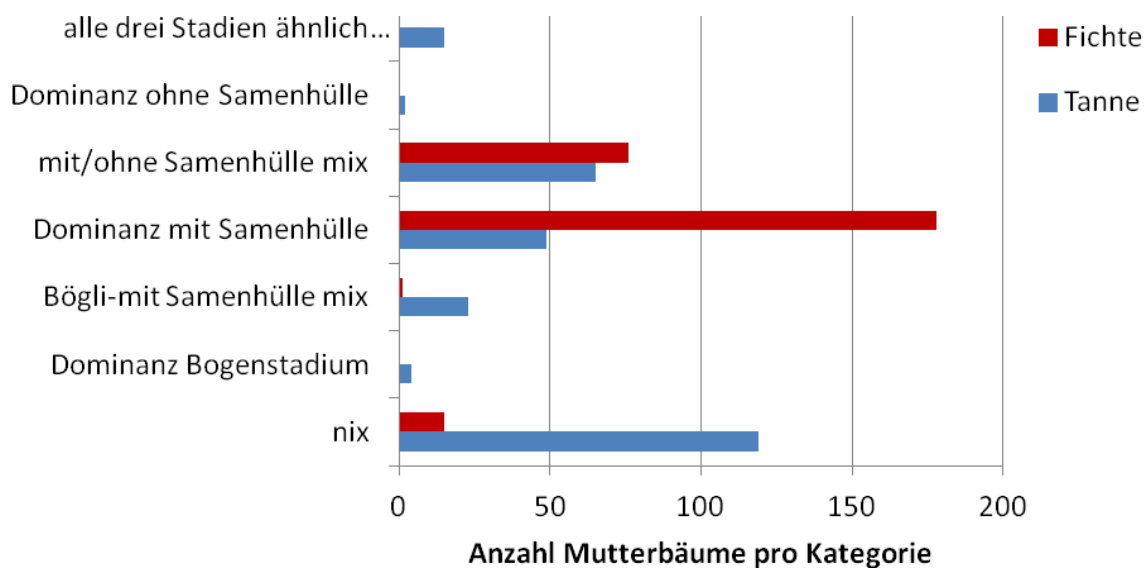


Abbildung 3. Häufigkeit der Entwicklungsstadien der Nachkommenschaften pro Mutterbaum für Fichte und Tanne, 20 bzw. 30 Tage nach Aussaat.

Im Herbst 2010 erfolgte eine zweite Keimlingserhebung, bei welcher mittels eines standardisierten Stichprobenverfahrens die Anzahl Keimlinge pro Mutterbaum geschätzt wurde. Dazu wurde ein Zählrahmen konstruiert, welcher pro Mutterbaum sechs standardisierte Stichprobenflächen markiert – drei pro Rille (Abb. 4).

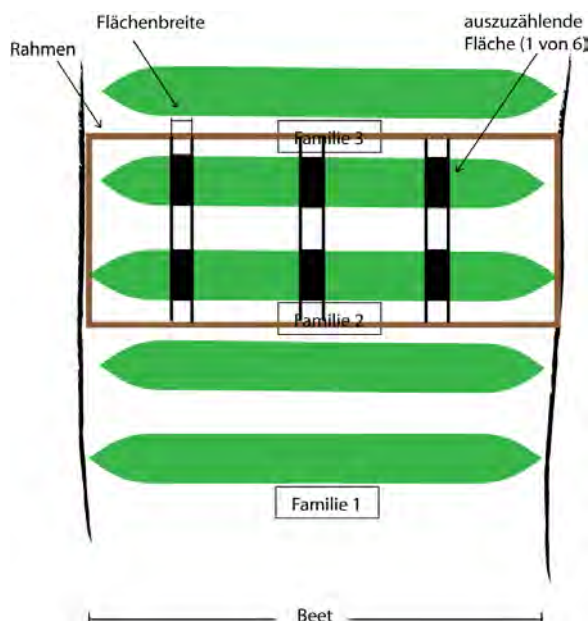


Abbildung 4. Schematische Darstellung des Stichprobenverfahrens für die Keimlingsaufnahme im Herbst 2010. Grün: ausgesäte Rillen (zwei pro Mutterbaum = Familie); braun: Holzrahmen; schwarz: standardisierte Stichprobenflächen.

Die Länge der Teilflächen wird durch die Rillenbreite definiert, die Breite wurde für Fichte auf 2,5 cm, für Tanne auf 4,0 cm festgelegt. Die unterschiedliche Breite berücksichtigt die dichter stehenden Keimlinge bei Fichte. Pro Mutterbaum wurden alle sechs Probeflächen ausgezählt, ausser wenn die optische Schätzung vermuten liess, dass es weniger als 100 Keimlinge hat. In diesem Fall wurden beide Rillen komplett ausgezählt. Die Keimlingszahlen der Stichprobenerhebung wurden anschliessend auf die Gesamtfläche der zwei Rillen hochgerechnet (für Details siehe Arbeitsblatt «readme» in den «Aufnahmeformularen», Referenz unter 4. Dokumentation).

Aus den Resultaten (Abb. 5) lässt sich ableiten, dass die Samen zahlreicher Mutterbäume bei Tanne im Verlauf des Sommers noch nachgekeimt haben, und von den 119 im Frühjahr noch kritischen Bäumen im Herbst nur noch 42 Mutterbäume weniger als 200 Keimlinge hervorgebracht haben. Bei 235 Tannen- und 232 Fichten-Nachkommenschaften standen mehr als 200 Keimlinge zur Verfügung. Für eine lückenlose Bepflanzung des Experimentes benötigen wir im Minimum 32 Nachkommen pro Mutterbaum (16 Blöcke à 1 Nachkomme pro Mutterbaum an zwei Standorten).

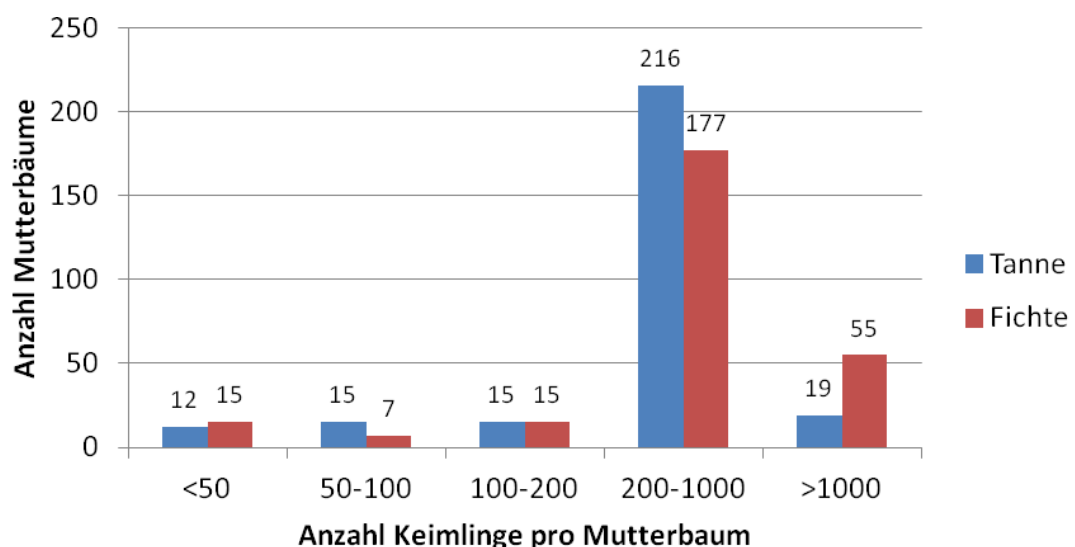


Abbildung 5. Anzahl Keimlinge pro Mutterbaum, erfasst im September 2010 mittels standardisiertem Stichprobenverfahren. Insgesamt wurden bei der Tanne 277 Einzelbaumabsaaten, bei der Fichte 247 Einzelbaum- und 22 Bestandesabsaaten ausgesät (Angaben exkl. Kontrollbaum).

Bevor die Fichten- und Tannensämlinge im März 2012 aus dem Boden geholt wurden, um sie für die Verschulung ins Experiment vorzubereiten, wurde im Februar 2012 für jeden Mutterbaum beurteilt, ob genügend Sämlinge für das Experiment vorhanden sind. Wird als Mindestanzahl Sämlinge 32 verwendet, so sind von den 277 ausgesäten Tannenmutterbäumen Nachkommenschaften von 264 oder 95% erfolgreich aufgezogen worden, von den 269 Fichten 248 oder 92% (Abb. 6). Diese Zahl erhöht sich noch leicht, wenn die Mindestanzahl Sämlinge reduziert wird. Die etwas tiefere Erfolgsquote bei Fichte ist wohl einerseits bedingt durch den Vandalismus des Buchfinken, welcher sich vorwiegend auf das Auszupfen von bereits spärlich gekeimten Fichten konzentriert hatte. Andererseits sind bei Fichte alleine von den 25 Jahre alten Samen – geerntet 1985 durch H.-P. Stutz und Anton Burkart – fünf komplett ausgefallen. Bei Tanne wurden keine alten Samen verwendet.

Im Vergleich zur Sämlingsaufnahme im Herbst 2010 hat sich der Anteil an Mutterbäumen mit ausreichender Sämlingsanzahl kaum verändert (Abb. 6). Bei Tanne wurden im Verlauf von 2011 5 Bäume zusätzlich unterkritisch (< 32 Sämlinge), wobei ein Baum neu komplett ausfiel. Bei Fichte wurden 9 weitere Bäume unterkritisch, was insbesondere die Anzahl Mutterbäume ohne Nachkommen erhöht hat (von 3 auf 10).

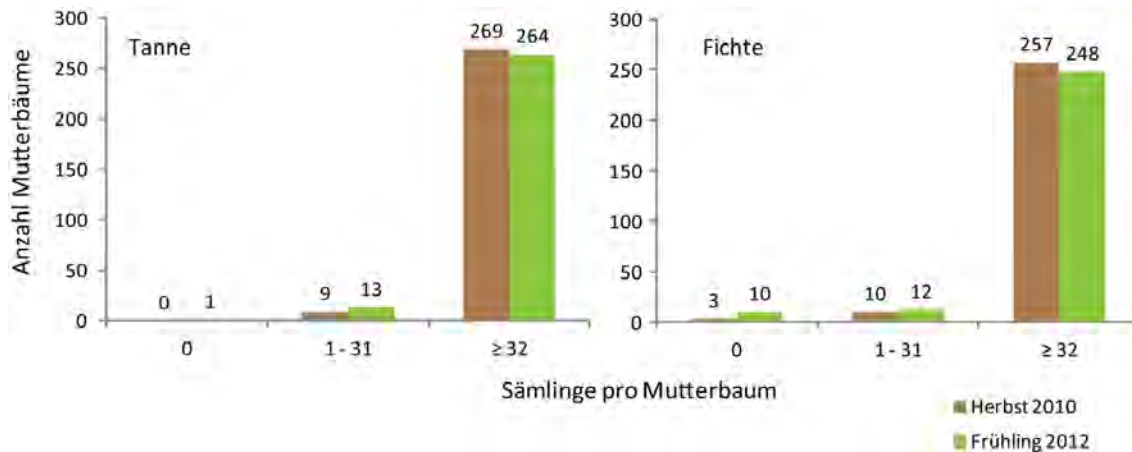


Abbildung 6. Anzahl Tannen- und Fichtenmutterbäume, deren Sämlinge im Herbst 2010 (ein halbes Jahr nach Aussaat) und im Frühling 2012 (zwei Jahre nach Aussaat) nicht (0 Sämlinge), in ungenügender Anzahl (1-31) und in genügender Anzahl (≥ 32) in den Saatbeeten vorhanden waren. Die Anzahl Einzelbaum- oder Bestandesabsaaten beträgt 278 bei der Tanne und 270 bei der Fichte. (Angaben inkl. Kontrollbaum).

Für die definitive Verwendung im Experiment wurde beschlossen, die Mindestanzahl Sämlinge pro Mutterbaum auf 24 zu setzen, da wir bei den 16 Sämlingen pro Standort bereits einen Puffer einberechnet hatten, statistisch sind auch 12 ausreichend.

Nach dem Aussortieren können somit für das Experiment Nachkommen von 261 Tannenmutterbäumen verwendet werden, davon 2 mit weniger als 16 Sämlingen pro Standort. Bei Fichte genügen die Nachkommen von 243 Mutterbäumen/Populationen, 3 mit weniger als 16 Sämlingen pro Standort.

3. ANZUCHT BUCHE

Bei der Buche wurden nur Einzelbaumabsaaten verwendet (264 von 88 Herkünften). Die Buchenabsaaten belegen die Nummern 300 bis 564, wobei die 300 für eine Absaat zu Kontrollzwecken steht («Kontrollbaum»).

Da die Buche schneller wächst und im Gegensatz zu Fichte und Tanne nur ein Jahr im Keimbeet belassen wird, wurden die Buchensamen nach der Ernte 2009 bis Frühjahr 2011 im Kühlraum bei 1 °C gelagert und ein Jahr nach den Nadelbäumen ausgesät. Dazu wurden die Buchensamen Ende Februar 2011 stratifiziert und Anfang April ausgesät, analog zu Fichte und Tanne (Rillenbreite 10 cm, Abb. 7).

Bis im August 2011 hatte – bis auf die wenigen Herkünfte aus der Schweiz, Italien und Slowenien, welche wir von Urs Mühlethaler erhalten hatten – keine der Buchen gekeimt. Auch die Herkünfte von Mühlethaler keimten nur schwach. Die Ursache für diesen Totalausfall bei Buche ist nicht klar. Offenbar haben Samen aus der Vollmast 2009 auch in anderen Pflanzgärten eher schlecht gekeimt, ein Totalausfall wie bei uns ist uns allerdings nicht bekannt.

Da für 2011 eine weitere Voll- oder zumindest Halbmast für Buche absehbar war, beschlossen wir im Herbst 2011, eine erneute Buchenernte durchzuführen und mittels Winteraussaat (Abb. 7) die Buchensämlinge im Frühjahr 2012 heranzuziehen. Das Vorgehen bei der Beerntung und die bereinigte Populationstabelle können dem Samenerntebericht für die Buche (Boner et al. 2011) entnommen werden. Der Erfolg dieser zweiten Aussaat kann erst ab Mai 2012 beurteilt werden, zum jetzigen Zeitpunkt sieht der Keimverlauf jedoch sehr vielversprechend aus.



Abbildung 7. Winteraussaat der im Herbst 2011 gesammelten Buchensamen im Januar 2012 durch Mitarbeiter des Versuchsgartens der WSL (Foto: A. Burkart).

4. LITERATUR

Arnold, C., Dicht, M., Sperisen, C., Burkart, A., Boner, A., Heiri, C., Mühlethaler, U., Schmatz, D., Walthert, L., Weber, P., Brang, P. 2010. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Samenernte und -behandlung. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL; Zollikofen, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, 44 S. unveröff.

Boner, A.; Heiri, C.; Sperisen, C.; Metzler, C.; Hengartner, P.; Leisibach, O. 2011. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der zweiten Bucheckern-Ernte und der Behandlung der Eckern im Jahr 2011. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., 19 S., unveröff.

5. DOKUMENTATION

Tabelle 1. Pfad und Dateiname zu Rohdaten, Auswertungen und weiteren Dokumentationen.

Beschreibung	Pfad und Dateiname
Aufnahmeformulare Keimzustand/Keimrate 2010	N:\prj\Adapt\Aufnahmen_Keimlinge\Aufnahme Keimstadium_Fi_Daten.xlsx N:\prj\Adapt\Aufnahmen_Keimlinge\Aufnahme Keimstadium-Ta_Daten.xlsx
Keimlingsaufnahmen 2012	N:\prj\Adapt\Aufnahmen_Keimlinge\Aufnahme n_im_Saatbeet_WSL_2012.xlsx
Tagebuch ADAPT	N:\prj\Adapt\Tagebuch_Adapt.xls

ANHANG

Arbeitsprotokoll des Versuchsgartens der WSL, Projekt ADAPT

Adaptive genetische Variation (ADAPT)

Protokoll Aussaat

Versuchsgarten WSL A. Burkart

- 12./13. 4.10 Aussaat der stratifizierten Tannensamen in vorbereitete Saatbeete (oberflächlich ca 2 cm Containererde). Samenabdeckung mit Deckerde (Torf/Sand 1:1) Schutzabdeckung mit Vogelschutzgitter und Schattiertuch. Rillenmasse 100-7 cm.
Interessanterweise haben die einzelnen Herkünfte unterschiedlich angekeimt, v.a. die Samen in der Kiste 2 mit den Baum-Nr. 36-70 haben überdurchschnittlich stark angekeimt.
- 13.4.10 unmittelbar nach der Saat über Standrohre beregnet, gut angefeuchtet
3.5.10 einsetzende, aber sehr unterschiedliche Keimung sichtbar, Jätarbeiten 2 MT
- 17./18.5.10 Jätarbeiten, vereinzelt Unfallkrankheit, Schneckenfrass Maulwurfsgrielen (Werren) und Mäuse sichtbar. Chemische Behandlung mit 0,1 Carbendazim LG + 0,15 % Melophen, Mäusepatronen, Schnecken- und Werrenkörner.
- 25.+26. Aussaat Fichte in vorbereitete Saatbeete (oberflächlich ca 2 cm
5.10 Containererde). Samenabdeckung mit Deckerde (Torf/Sand 1:1) Schutzabdeckung mit neuen Holzbrettern und Lättilmatten.
- 3.+7. 6.10. Jätarbeiten, Pflanzenschutz 0.3 % Thiran + 0,05% Pirimor
14.6.10. Umschattierung der Weissstannen von Vogelschutzgitter auf Lättilmatten mit Metallständer 25 cm, inkl. Jätarbeiten.
- 21.6.10 Pflanzenschutz mit 0.3 % Mancozeb 80LG + ,15 % Melophen
5.7.10 Umschattierung der Fichten von Vogelschutzgitter auf Lättilmatten mit Metallständer 25 cm, inkl. Jätarbeiten und Pflanzenschutz, 0.3% Rover + 0,5% Gesal.
Einzelne Provenienzen sind von Keimlingspilzen befallen, vereinzelte Ausfälle sichtbar
- Mai bis Juli Bei trockenem Wetter über Sprühdüsen bewässern
19. 7. 10 Ausjäten und chemische Behandlung mit zwei unterschiedlichen Pflanzenschutzmitteln (Restbestände)
- 3.8.10 Wiederholt haben Tiere (vermutlich Vögel) gut bewurzelte Fichten-Sämlinge ausgegraben und zwar nur bei den Einzelbäumen die schwach gekeimt haben. Vermutlich suchen die Tiere im Boden nach den ungekeimten Samen und räumen deswegen die guten Pflanzen welche völlig gesund sind und keinerlei Frassschäden aufweisen. (Foto)
- 4.8.10 Die Fotofalle zeigt ein **Buchfink** der die Keimlinge auszupft und wegwirft um an die nicht gekeimten Samen zu kommen.
Sämtliche 6 Beete (Fichte) werden erneut mit Vogelschutzgitter abgedeckt.
Ein neues Phänomen im Versuchsgarten? Nicht keimfähige Samen werden normalerweise nicht von Tieren angegangen!
- 22.9.10 Jätarbeiten, Tannen werden abschattiert
Oktober 10 Erneut Mäuse im Saatbeet, Bekämpfung mit Räucherpatronen
1.11. 10 Vogelschutzgitter bei Fichten werden nun def. entfernt
17.2.11 Aufgrund stark schwankenden Temperaturen (nachts starker Frost, Tags sehr milden Temperaturen) ohne Schnee sind bei schwach keimenden Herkünften Ausaperungsschäden zu verzeichnen (Foto). Als Massnahme werden die ausgewinterten, lockeren Sämlinge zu gut wie möglich angedrückt und mit

- Containererde gemulcht.
- 22.2.2011 Einschichtung der Buchensamen in 1 Liter Standart-Einschichtsubstrat
Lagerung im Freiland, dann Kühlraum
- Ab 15.3.11 Tannen wieder schattiert mit Lättlimatten
- 6./7. 4.2011 Aussaat Buchen-Herkünfte analog Fi./Ta. in vorbereitete Saatbeete
(oberflächlich ca 2 cm Containererde). Samenabdeckung mit Deckerde
(Containererde/Sand 1:1) Schutzabdeckung mit Vogelschutzgitter und
Schattiertuch.
Rillenmasse 100-10 cm.
- 18.4.2011 infolge langanhaltender Trockenperiode werden die einjährigen Saaten
(Fi.+Ta.) bewässert.
- 16.5.2011 Keimung bei Buche bleibt aus. Bei nachträglich zugestellten Samen ist die
Keimung schwach.
- Juni, Juli 11 einzelne dürre Sämlinge infolge Pilzbefall, Hitze- und Tockenschäden trotz
chemischer Behandlung.
Vereinzelt herumliegende ausgerissene Pflanzen, vermutlich durch Buchfink
- 13.Juni 11 Hagel verursachte an Fi- Sämlingen vereinzelt Schäden (Triebe
abgeschlagen oder verletzt, (Behandlung mit 0.1.5 % Rondo)
- 29.8.11 Tannen abschattiert
- 17.10.11 Pflügen der Verschulfläche, vorgängig Kompostaustrag
- Herbst 2011 Buchensamenernte Okt.-Dez. 2011 bei Halb- bis Vollmast
Samen wurden leicht angetrocknet in Papiertüten verpackt und sobald
möglich im Klimaraum A 11 bei 1°C gelagert
- 22.12.2011 Buchensaatgut wird mit Papiertüten in Plastiksäcke verpackt und def.
Beschriftet. (Verhindert Austrocknung) Zustand des SG völlig normal.
- 16.-17.1.2012 Buchensaat (Wiederholung) Letztjährige Beete wurden leicht aufgefäst und
mit 2-3 cm Containererde überdeckt. Saat in Querrillen 100x10 cm, Samen
abgedeckt mit Containererde/Sand 1:1, mit Vogelschutzgitter geschützt.
Wetter sehr schön aber kalt 0 bis minus 7°C. (siehe Foto)

Einsatz Pflanzenschutzmittel			
Datum	Fungizid	Insektizid	Bemerkungen
17. 5.10	0,1 % Carbendazim LG	+ 0,15 % Melophen	Tanne
4.6.10	0.3 % Thiran	+ 0,05% Pirimor	Tanne
9.6.10	0.3 % Thiran		Fichte
21.6.10	0.3 % Mancozeb 80LG	15 % Melophen	Fichte, Tanne
5.7.10	0.3% Rover	0.5% Gesal	Fichte, Tanne
19.7.10	0.3 % Thiran + 0.015 0.3 % Mancozeb 80LG	+ 0.015 Karate 0,15 % Marshal	½ der Fläche ½ der Fläche
4.5.11	0.15% Previcur N		Buchen Saaten
10.5.11	0,15% Indar + 0,15 % Parexan N	0.2% Thiram	Sämtliche Saaten
31. Mai	0,1 Carbendazim LG	0,15 % Melophen	Sämtliche Saaten
15. Juni	0.3 % Mancozeb 80LG	0,15 % Zolone	Sämtliche Saaten
4. Juli	0.3 % Thiran	0,05% Pirimor	Sämtliche Saaten

Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte

Dokumentation der Pilotstudie zur Sämlingsphänologie im Jahr 2011

Caroline Heiri, Christoph Sperisen, Peter Brang



Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee
und Landschaft WSL

Birmensdorf, Januar 2012

Autoren:

Caroline Heiri, Christoph Sperisen, Peter Brang

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

Ein Bericht aus dem Projekt «Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte» (http://www.wsl.ch/forschung/forschungsprojekte/wsl_genetische_variation)

Zitierung:

Caroline Heiri, Christoph Sperisen, Peter Brang 2012. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Pilotstudie zur Sämlingsphänologie im Jahr 2011. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., 31 S., unveröff.

Dank

Wir danken Anton Burkart für das Zurverfügungstellen der Jungpflanzen und für die zahlreichen hilfreichen Fachdiskussionen rund um das Thema der phänologischen Ansprachen.

Umschlagbild: Geschwollene Tannenknochen mit deutlich sichtbarem „weissem Vlies“ kurz vor dem Aufbrechen, Pflanzgarten WSL (Foto: Caroline Heiri)

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Material und Methoden	4
2.1	HERLEITEN DES MERKMALSKATALOGS	4
2.2	VERSUCHSAUFBAU.....	6
2.2.1	<i>Pflanzenmaterial</i>	6
2.2.2	<i>Aufnahmeroutine</i>	6
3	Resultate und Diskussion.....	7
3.1	FICHTE	7
3.1.1	<i>Kurzauswertung</i>	7
3.1.2	<i>Anpassungen im Merkmalskatalog</i>	9
3.1.3	<i>Weitere Erkenntnisse</i>	10
3.2	TANNE.....	10
3.2.1	<i>Kurzauswertung</i>	10
3.2.2	<i>Anpassungen im Merkmalskatalog</i>	12
3.2.3	<i>Weitere Erkenntnisse</i>	12
3.3	BUCHE.....	13
3.3.1	<i>Kurzauswertung</i>	13
3.3.2	<i>Anpassungen im Merkmalskatalog</i>	14
3.3.3	<i>Weitere Erkenntnisse</i>	15
3.4	ZUSAMMENFASSUNG & FOLGERUNGEN	15
4	Vorläufiger Merkmalskatalog.....	16
4.1	FOTODOKUMENTATION FÜR FICHTE.....	16
4.2	FOTODOKUMENTATION FÜR TANNE	18
4.3	FOTODOKUMENTATION FÜR BUCHE	20
5	Dokumentation.....	22
6	Literatur.....	22
7	Anhang.....	24

1 EINLEITUNG

Ziel dieser Pilotstudie war es, eine Methode zur Erfassung phänologischer Sämlingsmerkmale an Buche, Tanne und Fichte zu entwickeln. Dabei wurde ein spezieller Fokus auf das Identifizieren eindeutig ansprechbarer phänologischer Merkmale sowie deren Dokumentation (Text und Fotos) gelegt. Als Resultat konnte ein vorläufiger Merkmalskatalog für alle drei Baumarten zusammengestellt werden, welcher im Rahmen einer Wiederholungsaufnahme im Frühjahr 2012 getestet werden soll. Zudem konnten im Verlauf dieser Pilotstudie zahlreiche praktische Erfahrungen zur phänologischen Sämlingsansprache gewonnen werden, welche ebenfalls in diesem Bericht zusammengefasst werden.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Herleiten des Merkmalskatalogs

Basierend auf einer Literaturrecherche wurden für Buche, Tanne und Fichte ein Merkmalskatalog hergeleitet. Dabei stellten sich verschiedene Herausforderungen:

- Zu Tanne haben wir keine umfassende Beschreibung phänologischer Merkmale gefunden.
- Die Merkmalsbeschreibungen variierten zwischen den verschiedenen Publikationen, auch innerhalb derselben Art.
- Es konnten nicht für alle Arten Beschreibungen für Merkmale derselben Entwicklungsphasen gefunden werden.

Basierend auf den Publikationen von Gould (2010), Malaisse (1964, zitiert in Becker 1981), Vitasse et al. (2009), Cufar et al. (1996), Kociova (1972), Krutzsch (1973), Langvall et al. (2001) und Johnsen (1989) haben wir die Merkmalsbeschreibungen pro Baumart zusammengefasst (s. Anhang), um anschliessend einen Testkatalog zusammen zu stellen. Fehlende Merkmalsbeschreibungen bei Fichte oder Tanne wurde jeweils von der anderen Art übernommen. Beim Herleiten des Testkatalogs strebten wir an, bekannte adaptive Entwicklungsphasen (Phänophasen, z.B. Bildung terminaler Knospen) zu integrieren. Ebenfalls strebten wir an, den Beginn und Abschluss jeder Entwicklungsphase zu charakterisieren, dies um Aussagen über ihre Dauer ableiten zu können. Der für die Pilotstudie verwendete Testkatalog der Phänomerkmale ist in Tabelle 1 dargestellt.

Insgesamt wurden 10 Phänophasen oder Hauptmerkmale definiert, welche von 0 bis 9 nummeriert wurden. Dabei wurde für den ersten Austrieb jeweils eine 1 davor gestellt (z.B. 11 für «geschwollene Knospe» beim ersten Austrieb). Eine 2 als erste Zahl bezeichnet die Phänophase bei einem Johannistrieb (zweiter Austrieb in derselben Vegetationsperiode), also z.B. 22 für «Nadeln/Blattspitzen sichtbar» beim zweiten Austrieb. Buchstaben bezeichnen «Unterphasen» oder alternative Merkmale für die selbe Phase. Beispielsweise sind wir bei der Erstellung des Merkmalkatalogs davon ausgegangen, dass bei Tanne das zweite Stadium (12) durch eine abgesprengte Knospenhülle (Hütchen) gekennzeichnet ist, in Einzelfällen die Knospenhülle aber gesprengt wird («aufgeplatzt»; 12a). Dies hat sich in der Untersuchung als umgekehrt herausgestellt (s. Abschnitt 3.2.2).

Tabelle 1. Für die Pilotstudie verwendeter Testkatalog der phänologischen Merkmale für Fichte, Tanne und Buche. Grau hinterlegt sind Hauptentwicklungsphasen, welche für alle drei Baumarten definiert werden konnten. Weiss belassen sind «Zwischenphasen» oder «Unterphasen», welche nicht bei allen Arten vorkommen.

Phase	Tanne	Fichte	Buche
10	Knospe geschlossen	Knospe geschlossen	Knospen schmal und länglich
11	Knospe geschwollen, m. weissl. Vlies bedeckt, evtl. Nadeln darunter sichtbar	Knospe geschwollen (grau-grün)	Knospen geschwollen und etwas verlängert
12	Nadeln sichtbar, Knospenhülle abgehoben (Hütchen)	Knospe aufgebrochen, Nadelspitzen sichtbar	Hellgrüne Blattspitzen sichtbar, Knospenschuppen gespreizt
12a	Nadeln sichtbar, Knospenhülle gesprengt	-	-
13	Rasierpinsel, Knospenhülle fehlt	Malpinsel, erste Nadeln leicht gespreizt	Blätter gefaltet, behaart
13a	-	-	Blätter auseinander gespreizt, haarig
14	Basale Nadeln nicht gespreizt, Trieb ganz grün	Sprossverlängerung, basale Nadeln nicht gespreizt, Trieb ganz grün	Blätter schlaff und glatt, voll entfaltet, blassbraune Knospenschuppen vorhanden
15	Basale Nadeln gespreizt, Trieb ganz grün, Triebspitze leicht hinuntergebogen	Sprossdifferenzierung, basale Nadeln gespreizt, Trieb ganz grün	Blätter steif und dunkelgrün
15a	-	Keine terminale Knospe, Nadeln hellgrün und Stamm >10 mm vom Apex sukulent, Trieb teilw. braun	- (Johannistrieb? --> Phasen mit 2 bezeichnen: 22 = hellgrüne Blattspitzen sichtbar am Johannistrieb; etc)
16	Knospe sichtbar, grün	Kleine, weisse terminale Knospe sichtbar, Nadeln hellgrün und weisse laterale Knospen nahe dem Apex	Knospe sichtbar, grün
17	Knospe braun	Gut entwickelte Knospenschuppen, terminale Knospe grösser und Nadeln dunkelgrüner als bei Phase 16	Knospe braun
18a	-	-	>50% der Blätter mit gelber Verfärbung (auch nur in Teilen der Blätter = ganzes Blatt als gelb klassiert)
18b	-	-	>50% der Blätter mit brauner bis roter Verfärbung (auch nur in Teilen)
19	-	-	Alle Blätter abgefallen

2.2 Versuchsaufbau

2.2.1 Pflanzenmaterial

Pro Baumart wurden 20 Probebäume für die Pilotstudie verwendet. Dabei konnten wir Pflanzen aus der eigenen Anzucht des Pflanzgartens der WSL verwenden, welche etwa gleich alt waren wie die Pflanzen im Experiment sein werden, wenn an ihnen die Phänomere aufgenommen werden sollen (vier Jahre bei Nadelbäumen, zwei Jahre bei der Buche).

Pro Baumart wurden mehrere Herkünfte gewählt, um die Variation der Merkmale innerhalb einer Art beobachten zu können. Bei Fichte standen fünf Herkünfte zur Verfügung, bei Tanne vier und bei Buche zwei (Tab. 2). Die Wahl der Testpflanzen erfolgte mit der Absicht, verschiedene Wuchsformen in der Studie mit dabei zu haben (grosse, kleine, «komisch» gewachsene, etc.). Kümmernde Bäumchen wurden ausgeschlossen. Jedes Probebaumchen wurde mit einer gelben Schlingetikette beschriftet. Pro Baumart wurde von 1 bis 20 durchnummeriert.

Tabelle 2: Für die Pilotstudie verwendete Herkünfte von Fichte, Tanne und Buche.

Herkunft	Höhenlage m ü.M.	Nr.-Bereich	Anzahl Probebäume	Standort im Garten
Fichte				
Bremgarten	425	1-4	4	Beet 16
Beinwil	710-860	5-8	4	Beet 16
Fully	890-970	9-12	4	Beet 15
Kerns	1330	13-16	4	Beet 15
Rüschegg	1600	17-20	4	Beet 15
Tanne				
Küssnacht	620	1-5	5	Topfpflanzenquartier
Madiswil	650	6-10	5	Topfpflanzenquartier
Willisau	650	11-15	5	Topfpflanzenquartier
Leuk	1250	16-20	5	Beet 14
Buche				
Gränichen	530-570	1-10	10	Topfpflanzenquartier
Hausen	660	11-20	10	Topfpflanzenquartier

2.2.2 Aufnahmeroutine

Vom 17.3.2011 bis zum 16.6.2011 wurden die Probebaumchen zweimal wöchentlich beurteilt (erste Beobachtungsperiode), ab dem 16.6.2011 bis zum Abbruch der Pilotstudie Anfang September 2011 fand die Begutachtung nur noch einmal pro Woche statt (zweite Beobachtungsperiode).

Basierend auf dem erarbeiteten Merkmalskatalog wurden bei jeder Erhebung alle Pflanzen begutachtet und – sobald das beschriebene Merkmal an einer Pflanze identifiziert werden konnte – die entsprechende Phase zugeordnet. Bei Fichte und Tanne wurde dabei zwischen Terminal-, Quirl- und Lateralknospe unterschieden (Abb. 1). Bei der Buche wurde nur die Terminalknospe angesprochen.

Terminalknospe (T): Endknospe des Haupttriebes

Quirlknospen (Q): Knospen, welche direkt unterhalb der Terminalknospe am Ende des Haupttriebes anschliessen.

Lateralknospe (L): Endknospe (Terminalknospe) des obersten Seitenastes.

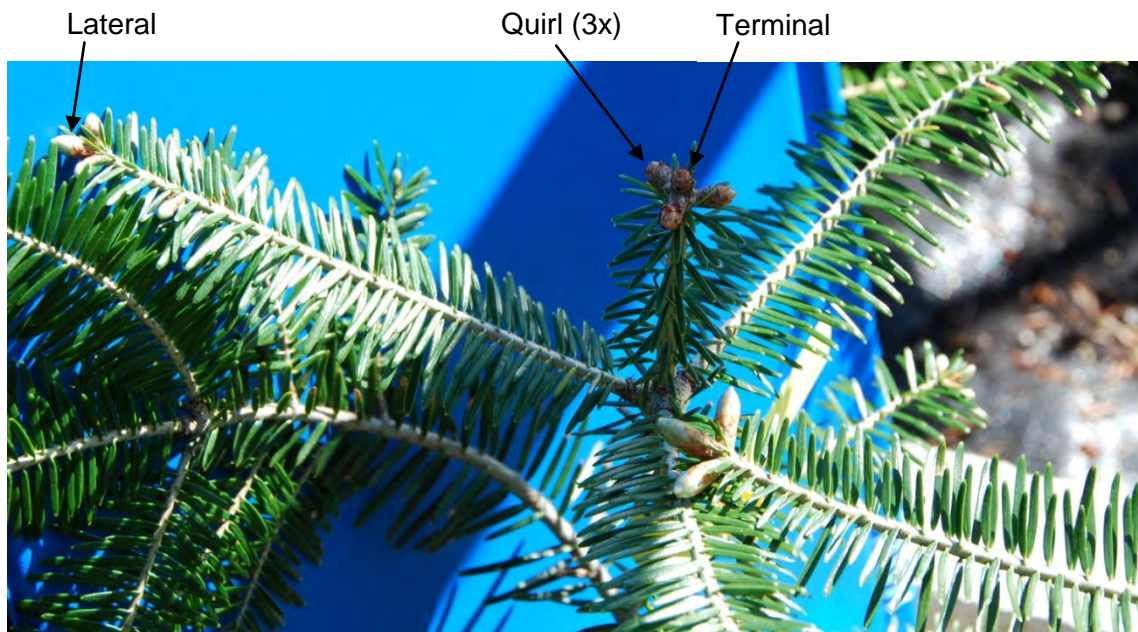


Abbildung 1: Terminal-, Quirl- und Lateralknospe bei Tanne.

Beim Eintreten der Phase wurde der Tag im Jahr notiert.

Die Merkmalsbeschreibungen wurden mit eigenen Beobachtungen verfeinert und ergänzt. Einzelne Beschreibungen konnten gar nicht im Feld beobachtet werden oder es war nicht eindeutig, zu welchem Zeitpunkt das Stadium erreicht wurde (graduelle Veränderung). Solche Merkmale wurden aus dem Katalog gestrichen.

Zusätzlich wurden pro Art drei Bäume permanent markiert und in der ersten Beobachtungsperiode zweimal wöchentlich, später einmal wöchentlich fotografiert. Die Fotos wurden mit Art, Baumnummer, Lage des Fotos (Terminal-, Quirl- oder Lateralknospe) und Aufnahmetag beschriftet und auf dem Server abgelegt. Die Beschriftung folgt dabei folgendem System: **Fi-2_L_Tg101** heisst Fichte Nr. 2, Lateralknospe am Tag 101. Terminal- und Quirlknospen sind oft auf demselben Foto ersichtlich und das Foto ist entsprechend mit TQ bezeichnet. Es wurde versucht, immer dieselben Knospen zu fotografieren, was bei den lateralen nicht immer gelang, weil der entsprechende Seitenast nicht markiert worden war.

3 RESULTATE UND DISKUSSION

3.1 Fichte

3.1.1 Kurzauswertung

Der Zeitpunkt des Eintretens der Phasen 11 «Knospe geschwollen», 12 «Knospe aufgebrochen», 13 «Malpinsel» und 14 «Triebverlängerung» ist in Abbildung 2 für die fünf untersuchten Herkünfte pro Lage an der Pflanze (T/Q/L) dargestellt. Für Details zu den Phasendefinitionen siehe Abschnitt 3.1.2. Da pro Herkunft nur vier Pflanzen untersucht wurden und für einige Phasen nicht alle Pflanzen angesprochen werden konnten (Phase verpasst, Knospe hat nicht ausgetrieben oder ist verdorrt, etc.), handelt es sich um einen sehr kleinen Datensatz mit begrenzter Aussagekraft. Trends lassen sich allerdings durchaus ableiten.

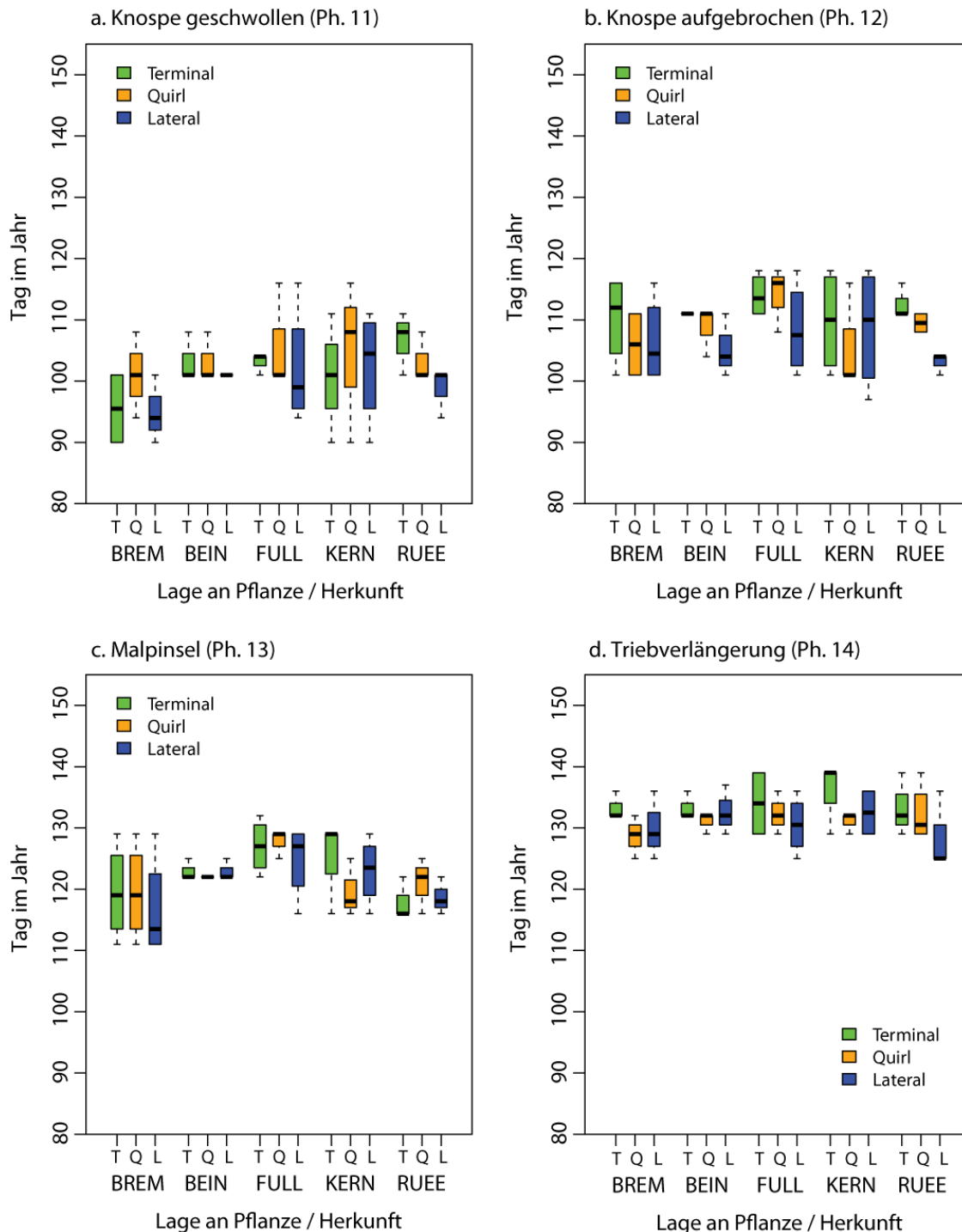


Abbildung 2. Gegenüberstellung des Eintrittszeitpunktes von vier Phänophasen für die fünf untersuchten Fichtenherkünfte, aufgeschlüsselt nach der Lage an der Pflanze (Terminal-, Quirl- oder Lateralknospe). Für die vollständigen Herkunftsnamen siehe Tabelle 2.

Es zeigen sich Provenienz-Unterschiede im Zeitpunkt, wann die Pflanzen eine bestimmte Phänophase erreichen. Beispielsweise bricht die Knospe bei den Pflanzen von Bremgarten oder Kerns früher im Jahr auf als bei Pflanzen aus Fully oder Rüeschegg. Zudem dauern die Phänophasen nicht bei allen Herkunftsnamen gleich lange: Die Pflanzen von Beinwil und Rüeschegg scheinen die einzelnen Phasen eingermassen gleichzeitig zu erreichen, während sich das Erreichen einer Phase bei

Pflanzen aus Bremgarten, Kerns und teilweise aus Fully auf bis zu 20 Tage verteilen kann.

Hinsichtlich dem Ablauf der Phänophase innerhalb einer Pflanze ist ein leichter Trend ersichtlich: Die Lateralknospe treibt vor den Quirlknospen und die Terminalknospe treibt als letzte.

3.1.2 Anpassungen im Merkmalskatalog

In Tabelle 3 werden die wichtigsten Änderungen zum Testkatalog beschrieben, welche während der Pilotstudie vorgenommen wurden. Dabei wurden einige Phasenbeschreibungen präzisiert, umgeschrieben oder gar gestrichen. Gestrichen wurden Phasen, falls sich die Beschreibung im Feld nicht beobachten liess oder wenn es sich um ein graduelles Merkmal handelte, d.h. es nicht möglich war, einen eindeutigen Zeitpunkt zu bestimmen, wann die Phase erreicht war. Der bereinigte Merkmalskatalog inklusive fotografischer Dokumentation ist in Kapitel 4 zu finden.

Tabelle 3. Merkmalskatalog für die Pilotstudie der Baumart Fichte sowie die während der Studie vorgenommenen Anpassungen. Grau – Hauptentwicklungsphasen; weiss - «Zwischen-/Unterphasen».

Phase	Beschreibung Testkatalog	Anpassungen Pilotstudie [Kommentar]
10	Knospe geschlossen.	Knospe spitzig.
11	Knospe geschwollen (grau-grün).	Kriterium: Knospe ist rund, hat Spitzigkeit verloren. [Farbe ist unzuverlässig]
12	Knospe aufgebrochen, Nadelspitzen sichtbar.	Kriterium: Knospe ist am Ende kreisrund aufgebrochen und Nadeln sind als grüner Kreis in Knospe sichtbar.
13	Malpinsel, erste Nadeln leicht gespreizt.	Rasierpinsel. Abgrenzung zu Ph.14: grüner Trieb noch nicht sichtbar, noch in Nadeln verpackt. [Schwierig anzusprechen, wird voraussichtlich gestrichen]
14	Sprossverlängerung, basale Nadeln nicht gespreizt, Trieb ganz grün.	Grüner Trieb SICHTBAR.
15	Sprossdifferenzierung, basale Nadeln gespreizt, Trieb ganz grün.	Einigermassen sichtbar, wenn Triebunterseite betrachtet wird: basale Nadeln \pm rechtwinklig zum (grünen) Trieb. Winkel ggf. mit Vorjahrsnadeln vergleichen. [Aufwändig anzusprechen und mässig zuverlässig, wird gestrichen]
15a	Keine terminale Knospe, Nadeln hellgrün und Stamm >10 mm vom Apex sukkulent, Trieb teilw. braun.	Graduelles Merkmal, nicht ansprechbar; [wird gestrichen]
16	Kleine, weisse terminale Knospe sichtbar, Nadeln hellgrün und weisse laterale Knospen nahe dem Apex.	[Terminale Knospe konnte nicht angesprochen werden, da diese dicht mit Nadeln eingepackt und nicht sichtbar ist]
17	Gut entwickelte Knospenschuppen, terminale Knospe grösser und Nadeln dunkelgrüner als bei Ph. 16.	[Konnte nicht beobachtet werden, da Knospen dicht von Nadeln eingepackt waren und dann zweiter Austrieb stattfand. Als Alternative Zuwachsmessung prüfen]

3.1.3 Weitere Erkenntnisse

Die Aufnahme lateraler Triebe ist zeitaufwändig, zudem müsste man den anzusprechenden Seitenzweig bestimmen und permanent markieren. Zudem stellt sich die Frage, ob es ein Seitenzweig mit Ursprung aus einer Quirlknospe sein muss, oder ob die dazwischenliegenden Zweigchen (aus Seitenknospen entstanden) auch zur Wahl stehen.

Wir tendieren dazu, die Aufnahme an der Lateralknospe zu streichen. In der Wiederholungsaufnahme im Frühjahr 2012 soll die Lateralknospe nochmals mit aufgenommen werden, um anhand eines grösseren Datensatzes zu entscheiden, ob diese wirklich keine zusätzlichen Muster generiert und problemlos gestrichen werden kann.

Phase 13 («Malpinsel») scheint fragwürdig. Insbesondere bei der Terminalknospe kann der Trieb bereits deutlich verlängert sein, aber der «Nadelkreis» noch teilweise sichtbar (s. Merkmalskatalog Kap. 4), was eine Unschärfe hinsichtlich Abgrenzung zwischen den Phasen 13 und 14 bedeutet. Dies kann für die Auswertung problematisch sein. Ein Weglassen dieses Merkmals scheint vertretbar, da das Merkmal als eine Zwischenphase bei der Triebbildung betrachtet werden kann.

Die Knospenbildung (bud set) konnten wir an den Fichten nicht beobachten, da einerseits die Terminalknospen dicht von Nadeln eingepackt und daher nicht sichtbar waren, andererseits trieben zahlreiche Fichten durch (Johannistrieb). Der Abschluss der Wachstumsphase ist jedoch ein wichtiges Merkmal. Wir prüfen daher als Alternative eine wiederholte Messung der Trieblänge von der Triebbasis zur Spitze der Nadeln an der Triebspitze, um damit den Wachstumsstop identifizieren zu können, ein Verfahren, welches in mehreren Studien über die adaptive Variation der Fichte angewendet wurde (zum Beispiel Chmura 2006). Dabei ist uns bewusst, dass die Knospenbildung und der Abschluss des Wachstums zeitlich nicht parallel verlaufen müssen (siehe Rohde et al. 2011 für Pappel). Die kontinuierliche Messung der Trieblänge soll anlässlich der Wiederholungsaufnahme im Frühjahr 2012 getestet werden.

3.2 Tanne

3.2.1 Kurzauswertung

Der Zeitpunkt des Eintretens der Phasen 11 «Knospe geschwollen», 12a «Knospenhülle gesprengt», 13 «Rasierpinsel», 14 «Triebverlängerung» und 15 «Triebverlängerung abgeschlossen» ist in Abbildung 3 für die vier untersuchten Herkünfte pro Lage an der Pflanze (T/Q/L) dargestellt. Für Details zu den Phasendefinitionen siehe Abschnitt 3.2.2.

Bei der Tanne ist ein deutlicher Ablauf der Phasen innerhalb eines Baumes erkennbar (Abb. 3): Zuerst treibt die Lateralknospe, dann die Quirlknospen und zum Schluss die Terminalknospe. Dieser Ablauf konnte für alle ausgewerteten Phasen (ausser Phase 15) und für alle Herkünfte bestätigt werden. Hinsichtlich der Herkünfte unterscheidet sich insbesondere Willisau von den übrigen drei – sie erreicht alle Phasen deutlich zuletzt.

Im Vergleich zur Fichte (Abb. 2) scheinen die Phasen bei Tanne innerhalb einer Herkunft und pro Lage an Pflanze (T/Q/L) kompakter durchlaufen zu werden (innerhalb nur weniger Tage).

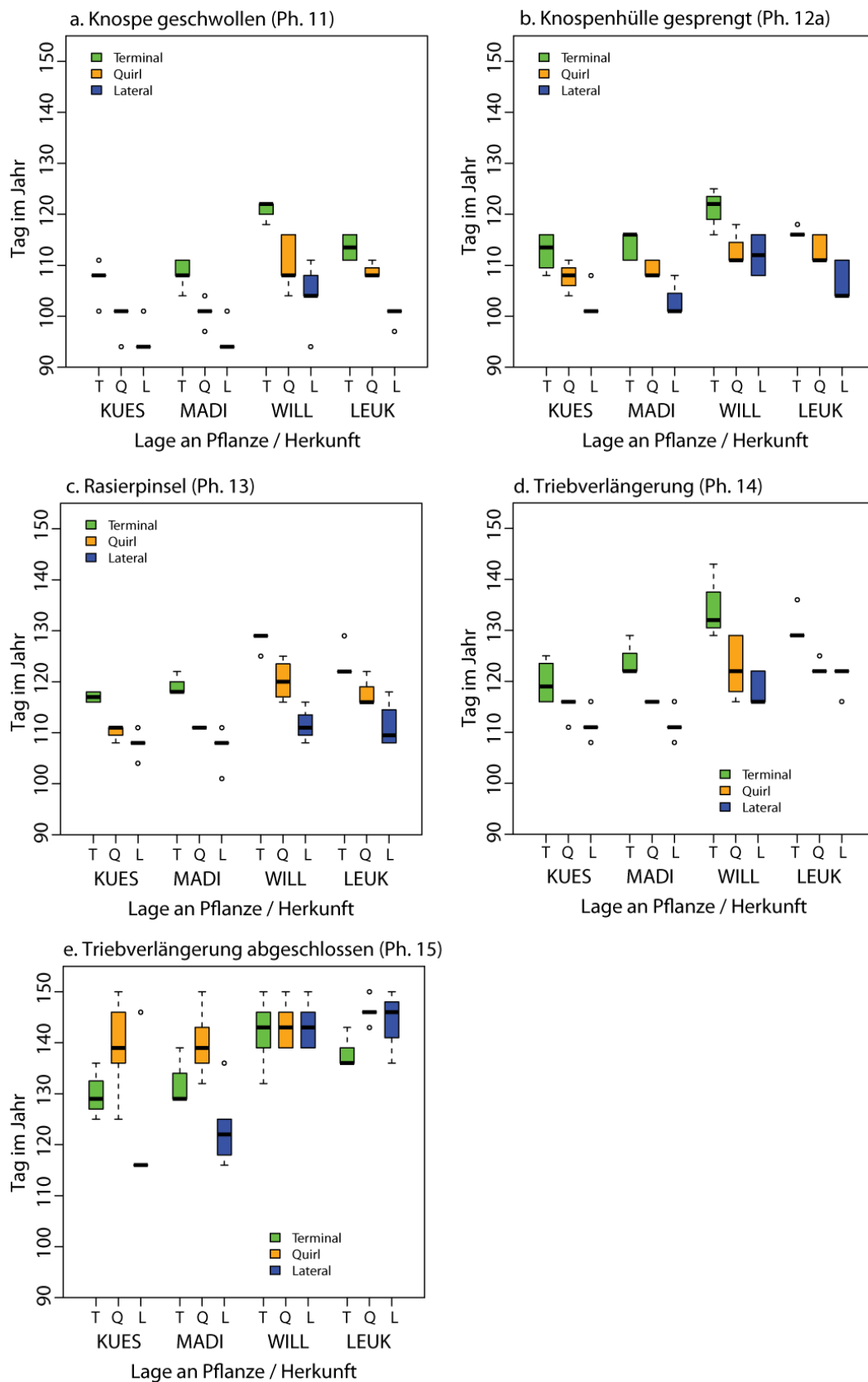


Abbildung 3. Gegenüberstellung des Eintrittszeitpunktes von fünf Phänophasen für die vier untersuchten Tannenherkünfte, aufgeschlüsselt nach der Lage an der Pflanze (Terminal-, Quirl- oder Lateralknospe). Für die vollständigen Herkunftsnamen siehe Tabelle 2.

3.2.2 Anpassungen im Merkmalskatalog

In Tabelle 4 sind die wichtigsten Änderungen zum Testkatalog beschrieben, welche während der Pilotstudie vorgenommen wurden. Der bereinigte Merkmalskatalog inklusive fotografischer Dokumentation ist in Kapitel 4 zu finden.

Tabelle 4. Merkmalskatalog für die Pilotstudie der Baumart Tanne sowie die während der Studie vorgenommenen Anpassungen. Grau – Hauptentwicklungsphasen; weiss - «Zwischen-/Unterphasen».

Phase	Beschreibung Testkatalog	Anpassungen Pilotstudie [Kommentar]
10	Knospe geschlossen.	
11	Knospe geschwollen, m. weissl. Vlies bedeckt, evtl. Nadeln darunter sichtbar.	Kriterium: Mind. 50% der Knospe muss Vlies aufweisen, Nadeln noch nicht durchgebrochen.
12	Nadeln sichtbar, Knospenhülle abgehoben (Hütchen).	[Abheben der Knospenhülle findet nur selten statt und ist nur extrem kurz sichtbar, wird gestrichen].
12a	Nadeln sichtbar, Knospenhülle gesprengt.	[Es wird nicht unterschieden zw. Hütchen (Ph. 12) und Knospenhülle gesprengt].
13	Rasierpinsel, Knospenhülle fehlt.	Das Fehlen der Knospenhülle ist nicht zwingend. Abgrenzung zu Ph. 14: grüner Trieb noch nicht sichtbar, noch in Nadeln verpackt. [Wird ev. gestrichen (s. 3.2.3)]
14	Basale Nadeln nicht gespreizt, Trieb ganz grün.	Grüner Trieb SICHTBAR.
15	Basale Nadeln gespreizt, Trieb ganz grün, Triebspitze leicht hinuntergebogen.	[Zeitpunkt, wann Nadeln flach sind (gespreizt), sehr schwer zu bestimmen. Aufwändig anzusprechen (viel Diskussion) und führt zu wenig Differenzierung (s. Abb. 3); wird gestrichen .]
16	Knospe sichtbar, grün.	[Knospenanlage zwar erkennbar, jedoch als graduelles Merkmal, grün nicht Standard; wird voraussichtlich gestrichen .]
17	Knospe braun.	[Graduelles Merkmal, wurde nicht mehr fertig beobachtet, in Wiederholungsstudie 2012 nochmals beobachten.]

3.2.3 Weitere Erkenntnisse

Achtung bei der Ansprache der Terminalknospe, diese bricht leicht ab oder wird beschädigt.

Der Ablauf des Austriebes scheint zwischen lateralen, Quirl- und Terminalknospen direkt zusammenzuhängen. Ob die Aufnahme der Lateralknospe gestrichen werden kann, soll aber in der Wiederholungsstudie 2012 nochmals genauer betrachtet werden. Terminal- und Quirlknospen sollten auf alle Fälle angesprochen werden, Quirlknospen v.a. auch als Versicherung, falls die empfindliche Terminalknospe im Verlauf des Experimentes beschädigt wird.

Phase 13 (Rasierpinsel) wird eventuell gestrichen, analog zur Fichte. Dies soll im Rahmen der Wiederholungsaufnahme 2012 geprüft werden.

Der Abschluss der Knospenbildung muss in der Wiederholungsstudie 2012 noch einmal beobachtet werden.

3.3 Buche

3.3.1 Kurzauswertung

Der Zeitpunkt des Eintretens der Phasen 12 «Blattspitzen sichtbar», 13 «Blätter gefaltet», 13a «Blätter entfaltet und geripelt» und 14 «Blätter entfaltet und glatt» ist in Abbildung 4 für die zwei untersuchten Herkünfte dargestellt. Bei Buche wurde nur die Terminalknospe angesprochen. Für Details zu den Phasendefinitionen siehe Abschnitt 3.3.2.

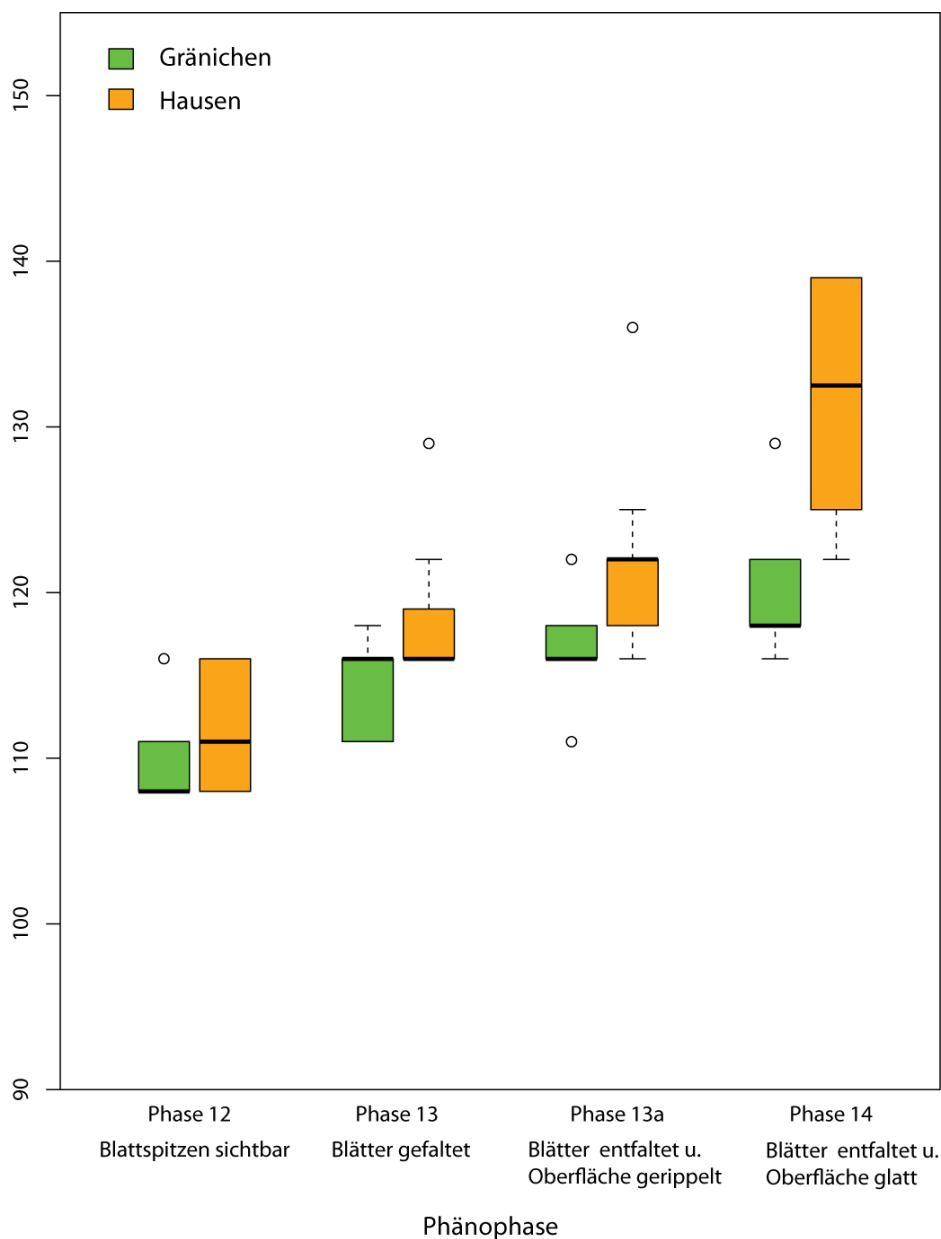


Abbildung 4. Gegenüberstellung des Eintrittszeitpunktes von vier Phänophasen für die zwei untersuchten Buchenherkünfte. Bei Buche wurde nur die Terminalknospe angesprochen.

Die zwei Buchenherkünfte unterscheiden sich deutlich hinsichtlich des Eintretens der einzelnen Phasen. Die Buchen aus Gränichen sind durchwegs früher in ihrer Entwicklung als jene aus Hausen. Dies zeigt sich besonders deutlich bei den Phasen 13 («Blätter entfaltet») und Phase 14 («Blätter entfaltet und glatt»). Die Streuung innerhalb der Herkunft Hausen scheint zudem deutlich grösser zu sein als bei Gränichen. Dies ist jedoch auch dadurch bedingt, dass einige der Hausener Buchen durch Schattenwurf beeinflusst wurden, zudem wurden einzelne Buchen dieser Herkunft im Verlaufe des Jahres von einem Pathogen befallen, was die Blattentwicklung stark beeinflusste.

3.3.2 Anpassungen im Merkmalskatalog

In Tabelle 5 werden die wichtigsten Änderungen zum Testkatalog beschrieben, welche während der Pilotstudie vorgenommen wurden. Der bereinigte Merkmalskatalog inklusive fotografischer Dokumentation ist in Kapitel 4 zu finden.

Tabelle 5. Merkmalskatalog für die Pilotstudie der Baumart Buche sowie die während der Studie vorgenommenen Anpassungen. Grau – Hauptentwicklungsphasen; weiss - «Zwischen-/Unterphasen».

Phase	Beschreibung Testkatalog	Anpassungen Pilotstudie [Kommentar]
10	Knospen schmal und länglich.	
11	Knospen geschwollen und etwas verlängert.	[Nicht ansprechbar, wird gestrichen.]
12	Hellgrüne Blattspitzen sichtbar, Knospenschuppen gespreizt.	Kriterium: Blattspitzen sichtbar.
13	Blätter gefaltet, behaart.	[Ph. 13 solange noch mindestens ein Blatt am Trieb gefaltet ist.]
13a	Blätter auseinandergespreizt, haarig.	UND Blattoberfläche gerippt (Handorgel).
14	Blätter schlaff und glatt, voll entfaltet, blassbraune Knospenschuppen vorhanden.	Alle Blätter entfaltet, Blattoberfläche flach; [Knospenschuppen nicht relevant. Wird gestrichen da Übergang von 13a schwer zu bestimmen ist.]
15	Blätter steif und dunkelgrün.	[Nicht ansprechbar, wird gestrichen.]
15a	- (Johannistrieb? --> Phasen mit 2 bezeichnen: 22 = hellgrüne Blattspitzen sichtbar am Johannistrieb; etc).	
16	Knospe sichtbar, grün.	Knospe sichtbar, ca. 2 mm und augenfällig [nicht nach Knospe suchen, Farbe irrelevant].
17	Knospe braun.	Nicht mehr beobachtet.
18a	>50% der Blätter mit gelber Verfärbung (auch nur in Teilen der Blätter = ganzes Blatt als gelb klassiert).	Nicht mehr beobachtet.
18b	>50% der Blätter mit brauner bis roter Verfärbung (auch nur in Teilen).	Nicht mehr beobachtet.
19	Alle Blätter abgefallen.	Nicht mehr beobachtet.

3.3.3 Weitere Erkenntnisse

Phase 13a («Blätter auseinandergespreizt haarig») muss klar von 13 («Blätter gefaltet, behaart») abgegrenzt werden. Phase 14 («Blätter schlaff und glatt, voll entfaltet») wird gestrichen, bzw. nicht von 13a unterschieden.

Einige Buchen entwickeln sich extrem schnell, z.B. von Phase 10 («Knospen schmal und länglich») zur Phase 13a in drei Tagen.

Phase 15 («Blätter steif und dunkelgrün»): Farbe und Festigkeit sind sehr schwierig zu beurteilen und sind stark abhängig vom Licht (sonnig, bewölkt, Tageszeit). Deshalb streichen.

Bereits wenige Tage nach der Entfaltung der Blätter beobachteten wir die Bildung von Knospen. Sie waren anfänglich rot (mit weisser Spitze) und wurden anschliessend weiss (Tag 143). Es stellte sich heraus, dass dies nicht terminale Knospen waren, sondern die Buchen allesamt einen Johannistrieb bildeten. In der Wiederholungsaufnahme 2012 müssen genaue Merkmale für die Entwicklung der terminalen Knospen definiert werden.

Johannistrieb: Ursprünglich wollten wir die Phänophasen auch am Johannistrieb ansprechen, dies wird jedoch extrem aufwändig, da in der Vorstudie alle Buchen durchgetrieben haben (einige sogar zweimal!). Zudem verlaufen die Phasen innerhalb des Johannistriebes graduell, d.h. die Zweigspitze befindet sich in einem anderen Entwicklungsstadium als die Zweigbasis, weshalb unsere Standarddefinitionen nicht anwendbar sind. Deshalb soll nur der Zeitpunkt der Knospenbildung aufgenommen werden (Phase 16) und allenfalls den Zeitpunkt des Austriebs (Phase 22). Die Aufnahme der Knospenbildung erachten wir als wichtig, da wir nicht sicher sein können, ob es sich nun um eine Knospe für einen Johannistrieb handelt oder um die terminale Knospe. Genaue Merkmale hierfür müssen in der Wiederholungsaufnahme 2012 definiert werden.

3.4 Zusammenfassung & Folgerungen

Merkmale, welche mit dem Austrieb und der Triebbildung assoziiert sind, konnten zuverlässig angesprochen werden. Dabei liessen sich bei allen drei Baumarten Unterschiede zwischen Herkunft ableiten. Es gilt aber zu beachten, dass nur wenige Bäumchen pro Herkunft untersucht wurden.

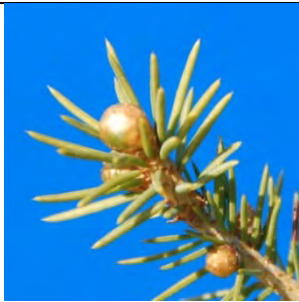






Bei der Buche beobachteten wir einen sehr schnellen Ablauf der ersten Phänophasen (wenige Tage zwischen Austrieb und Blattentfaltung). Dies gilt es bei der Planung der Merkmalsaufnahme zu berücksichtigen.


Bei der Fichte und Tanne konnten Merkmale der Knospenbildung nicht (Fichte) oder nur teilweise (Tanne) angesprochen werden. Es liegt nahe, dass als Alternative der Zeitpunkt des Wachstumstops erfasst wird. Aus Vergleichsgründen müsste dies bei beiden Koniferen erfolgen. Das Verfahren soll in der Wiederholungsstudie 2012 entwickelt werden. Für Buche erscheint uns die kontinuierliche Messung der Trieblänge als zu aufwändig, zudem erwarten wir, dass bei der Buche die Knospenbildung angesprochen werden kann. Dieses Merkmal muss bei der Wiederholungsstudie 2012 definiert werden.

4 VORLÄUFIGER MERKMALKATALOG

4.1 Fotodokumentation für Fichte








Tabelle 6. Überarbeiteter phänologischer Merkmalkatalog für Fichte, welcher auf den Erkenntnissen der Vorstudie aufbaut. Das Hauptkriterium zur Vergabe der jeweiligen Phase ist unterstrichen.



Ph.	Beschreibung	Foto(s)
10	Knospe geschlossen, spitz	
11	Knospe geschwollen, <u>"Spitzigkeit" verloren.</u> Farbänderung hin ins Grünliche kann auftreten (bei späten Austrieben), ist aber nicht die Regel. Knospe kann auch noch immer rötlich-braun sein.	  JA NEIN
12	Knospe aufgebrochen, Nadelspitzen sichtbar. WICHTIG: Knospenschuppen am Ende <u>"kreisrund" aufgebrochen</u> , wie links schön sichtbar.	  JA NEIN
13	Rasierpinsel, erste Nadeln leicht gespreizt. WICHTIG: von "aussen" betrachtet <u>"Nadelkreis" nicht mehr ersichtlich</u> sondern "büschelig". Kreis rechts noch deutlich zu erkennen. Abgrenzung zu 14: grüner <u>Zweig noch nicht zu sehen</u> , dieser ist noch in den Nadeln „eingepackt“	  JA NEIN  JA

14	Trieb ganz grün und <u>sichtbar</u> , basale Nadeln nicht gespreizt.	 JA (frühes Stadium)
----	-------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------

4.2 Fotodokumentation für Tanne

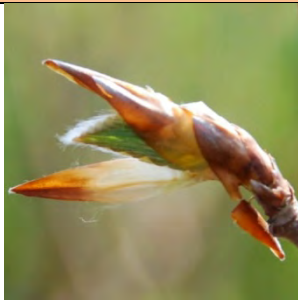
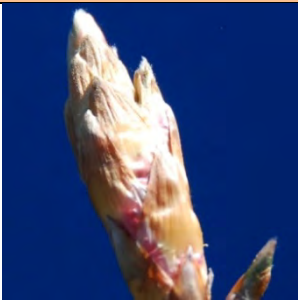


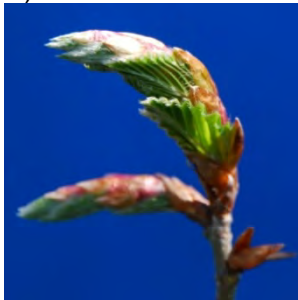


Tabelle 7. Überarbeiteter phänologischer Merkmalskatalog für Tanne, welcher auf den Erkenntnissen der Vorstudie aufbaut. Das Hauptkriterium zur Vergabe der jeweiligen Phase ist unterstrichen. Orange hinterlegte Zeilen werden nicht mehr, orange schraffierte eventuell nicht mehr aufgenommen (Phasen-Nr. durchgestrichen bzw. in Klammern).


Ph.	Beschreibung	Foto(s)	
10	Knospe geschlossen.		
11	Knospe geschwollen, <u>weissliches Vlies</u> schaut unter den aufgebrochenen Knospenschuppen hervor, in späterem Stadium durchsichtig und Nadeln darunter sichtbar. <u>Mind. 50%</u> der Knospe muss „Vlies“ aufweisen.		
		JA	NEIN (< 50%)
12 + 12a	Nadeln sichtbar, Knospenhülle gesprengt. (Es wird nicht unterschieden zw. Hütchen und gesprengt, weil die Hütchenphase, falls überhaupt, höchstens 1 Tag dauert!)		
		JA	
(13)	Rasierpinsel, <u>Nadelkreis</u> nicht mehr deutlich sichtbar, "büschelig", man blickt ± vertikal auf die Nadeloberfläche. Fehlende Knospenhülle nicht zwingend! In einem späteren Stadium <u>Abgrenzung zu 14</u> : grüner Trieb nicht sichtbar, dieser ist noch in den Nadeln "eingepackt".		
		JA (frühes Stadium)	JA
			
		JA	NEIN

14	<p>Trieb sichtbar, ganz grün, basale Nadeln <u>nicht gespreizt</u>.</p> <p><i>Abgrenzung zu 15:</i> in Phase 15 sind Nadeln flach ausgebreitet, nicht mehr kraus.</p>	 <p>JA</p>
45	<p>Trieb noch ganz grün, <u>Nadeln flach abgespreizt</u> (vgl. letztjähriger Zweig und seine Nadelstellung zur Abschätzung wann max. „Flachstellung“ erreicht ist).</p> <p>→ Zeitpunkt zu dem Nadeln „flach“ sind ist nicht einfach zu bestimmen.</p> <p>Für <u>Terminaltrieb</u> wohl nicht zu bestimmen, da diese Nadeln spiralig um den Endtrieb herum verteilt bleiben; Alternative?</p>	 <p>JA</p>

4.3 Fotodokumentation für Buche

Tabelle 8. Überarbeiteter phänologischer Merkmalskatalog für Buche, welcher auf den Erkenntnissen der Vorstudie aufbaut. Das Hauptkriterium zur Vergabe der jeweiligen Phase ist unterstrichen. Orange hinterlegte Zeilen werden nicht mehr aufgenommen (Phasen-Nr. durchgestrichen).

Ph.	Beschreibung	Foto(s)
10	Knospen geschlossen, schmal u. länglich.	
44	Knospen geschwollen und etwas verlängert.	
12	Hellgrüne <u>Blattspitzen</u> mit Härchen sichtbar, drücken zwischen den Knospenschuppen hervor.	 
		JA JA
13	Blätter gefaltet, behaart. <u>Abgrenzung zu 12</u> [Foto c)]: deutlich mehr als die Blattspitzen schauen zur Knospe raus (Verhältnis Blattgrün (grün) : Knospenschuppen (braun) mind. 1:1) <u>Abgrenzung zu 13a</u> [Foto a) + b)]: mind. Das terminale Blatt ist noch gefaltet.	 
		a) JA b) JA
		 
		c) JA d) JA
13a	<u>Alle</u> Blätter auseinander gespreizt, haarig. Kein Blatt mehr gefaltet und kein Blattbündel am Triebende mehr.	
		JA

44	<p>Blätter schlaff und glatt, voll entfaltet, blassbraune Knospenschuppen vorhanden.</p> <p>→Schwer den Übergang von 13a zu 14 klar zu bestimmen!</p>	 <p>JA</p>
----	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------

5 DOKUMENTATION

Tabelle 9. Verzeichnis der Dokumente.

Literaturrecherche Phänomerkmale	N:\prj\Adapt\Papers_Grundlagen\Methodische Grundlagen\Phänostudie_02032001_PB.doc
Fotoserie Probebäume	N:\PRJ\Adapt\Phänologie\Vorstudie2011\Dokumentation\Fotos Alle → alle aufgenommenen Fotos Phasen → Beispiele ja/nein spezifischer Phänophasen
Scan Aufnahmeformulare	N:\prj\Adapt\Vorstudie2011\Aufnahmen Merkmalskatalog.pdf Aufnahmeformular-Fichte (bzw. -Tanne; -Buche)
Digitalisierte Daten	N:\PRJ\Adapt\Phänologie\Vorstudie2011\Auswertung\Phänovorstudie2011_Daten.xlsx
Vorlage Aufnahmeformulare/ Merkmalskatalog V1	N:\PRJ\Adapt\Phänologie\Vorstudie2011\Aufnahmen\Phänovorstudie2011_Vorlagen.xlsx
Pdf(s) Gould 2010 (vgl. Literatur unten)	N:\PRJ\Adapt\Papers_Grundlagen\Methodische Grundlagen Gould 2010 Budburst Data Collection.pdf Gould 2010 Coding Budset at the SSMT.pdf
Digitale Ablage dieses Berichtes	N:\prj\Adapt\Dokumentation\Phaenologievorstudie2011_Dokumentation_final

6 LITERATUR

Becker, M. 1981. Beechstand phenology. In: Teissier du Cros, F., Le Tacon, F., Nepveu, G., Pardé, J., Perrin, R., Timbal, J. (Eds.). Le hêtre. Institut National de la recherche agronomique, Département des recherches forestières. S. 108-117.

Chmura, DJ. 2006. Phenology differs among Norway spruce populations in relation to local variation in altitude of maternal stands in the Beskid Mountains. *New Forests* 32: 21-31.

Cufar, K., Robic, D., Torelli, N., Kermavanar, A. 1996. Die Phänologie von unterschiedlich geschädigten Weisstannen (*Abies alba* Mill.) in Slowenien. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 147: 99-108.

Gould, P. 2010. Collecting Budburst Data for the Seed-Source Movement Trial („Budburst Data Collection.pdf“)

Gould, P. 2010. Coding Budset at the Seed-Source Movement Trial. (“Coding Budset at the SSMT.pdf“)

Johnsen, Ø. 1989. Freeze-testing young *Picea abies* plants. A methodological study. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4: 351-367.

Kociova, M. 1972. Fenologia slovenských provnencií jedle bielej (*Abies alba* Mill.) Ved. Prace VULH vo volene 16: 111-138, Zvolen.

Krutzsch, P. 1973. Norway spruce development of buds. Internal report. International Union of Forest Research Organizations, Vienna, IUFRO S2.02.11.

Langvall, O., Nilsson, U. Örländer, G. 2001. Frost damage to planted Norway spruce seedlings – influence of site preparation and seedling type. *Forest Ecology and Management* 141: 223-235.

Rohde, A., Bastien, C., Boerjan, W. 2011. Temperature signals contribute to the timing of photoperiodic growth cessation and bud set in poplar. *Tree Physiology* 31: 472-482.

Vitasse, Y., Delzon, S., Dufrêne, E., Pontailier J-Y., Luvet J-M., Kremer, A., Michalet, R. 2009. Leaf phenology sensitivity to temperature in European trees: Do within-species populations exhibit similar responses? *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 735-744.

Vitasse, Y., Bresson, C.C., Kremer, A., Michalet, R., Delzon, S. 2009. Altitudinal differentiation in growth and phenology among populations of temperate-zone tree species growing in a common garden. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 1259-1269.

7 ANHANG

1. Notizen zur Literaturrecherche „Pilotstudie Säumlingsphänologie“ von P. Brang S. 25
2. Beispiel eines ausgefüllten Aufnahmeformulars S. 31

Projekt ADAPT

Pilotstudie Sämlingsphänologie

Version 28.2.2011 [Peter Brang]

1. Ziele

- Entwickeln einer Methode zur Erfassung phänologischer Sämlingsparameter für Buche, Tanne und Fichte
- Gewinnen praktischer Erfahrung bei der Erfassung dieser Parameter sowie von Fotos für eine Aufnahmeanleitung

2. Kenntnisstand

Ausgewählte Literatur

Für **Douglasie**:

Gould, P. 2010. Collecting Budburst Data for the Seed-Source Movement Trial. ("Budburst Data Collection.pdf")

Budburst is coded when the bud scales have ruptured and green needles are visible. Two types of budburst are recorded:

ANY: Any bud other than the terminal bud has burst. In other words, the time when the first budburst is visible on the tree other than the terminal. The first budburst is typically found on a lower branch and it typically occurs before terminal budburst.

TERM: The terminal bud. The terminal is the bud at the tip of the main stem and is usually at the highest point on the tree. In most cases it is obvious which bud is the terminal; however, sometime a tree is forked and seems to have two terminals or a lateral branch has bent upwards and is higher than the terminal. If more than one bud can be called the terminal, then code terminal budburst whenever the first one bursts. For example, a forked tree might have two terminals that are at the same height. Code terminal budburst as soon as either of the buds burst.

Budburst Codes

Budburst is coded whenever the bud scales have ruptured and green needles are visible; however different codes are used depending on how much growth has occurred:

Code 1: Green is visible, but the new needles and stem have extended less than one finger width.

Code 2: The new needles have extended between 1 and 2 finger widths

Code 3: The new needles have extended more than 2 finger widths

Gould, P. 2010. Coding Budset at the Seed-Source Movement Trial. („Coding Budset at the SSMT.pdf“)

Codes

0 - actively growing from original bud

1 - First budset

2- now growing following budset (e.g., active growth of second or later flush)

3 - Budset after second or later flush

Regeln:

“If the needles are tightly bundled and a terminal bud is not visible, it probably hasn’t set. If the terminal is hidden by a few needles but there’s a group of lateral buds around the tip of the stem, then code the terminal as set. If the terminal has died, code the lateral that seems most likely to become the new terminal (also use the comment code “CTL” - change in terminal leader). If there are several laterals at the tip of the live stem and it’s unclear which one will become the new terminal, code 1 (budset) when all of

them have set bud. Use code 2 only if ALL of them second flush and Code 3 when ALL of them have set bud again.

Wichtig: Nadeln nicht auseinanderdrücken, um die Knospe besser zu sehen – kann Knospe beschädigen.

Für **Buche**

Malaisse 1964, zitiert in Becker M. 1981. Beechstand phenology. Pp. 108-117 in: Teissier du Cros F, Le Tacon F, Nepveu G, Pardé J, Perrin R, Timbal J. (Eds.): Le hêtre. Institut National de la recherche agronomique, Département des recherches forestières.

Vitasse, Y., S. Delzon, et al. (2009). "Leaf phenology sensitivity to temperature in European trees: Do within-species populations exhibit similar responses?" Agricultural and Forest Meteorology **149**(5): 735-744.

s. Tabelle, 4 Codes für budburst (nicht budset).

Für **Tanne**

Vitasse, Y., S. Delzon, et al. (2009). "Altitudinal differentiation in growth and phenology among populations of temperate-zone tree species growing in a common garden." Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere **39**(7): 1259-1269.

p. 1261: "We examined each seedling every week from March to May for bud development and every week from September to December for leaf senescence. In spring, we recorded the development stage of the apical buds from bud dormancy to leaf unfolding, using an intermediate grading scale of 3-5 according to the species."

Cufar, K., D. Robic, et al. (1996). "Die Phänologie von unterschiedlich geschädigten Weisstannen (*Abies alba* Mill.) in Slowenien." Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen **147**(2): 99-108.

S. 101 Foto von 5 Phasen.

Kociova 1970: Detaillierte Erfassung des Austriebs, 5 Phasen (mit Fotos). Wichtig für Wahl der Knospe (terminal, lateral), für ungefähre Variation zw. Provenienzen (5 Tage).

Für **Fichte**

Krutzsch P (1973) Norway spruce development of buds. Internal report. International Union of Forest Research Organizations, Vienna, IUFRO S2.02.11 (Kopie organisieren)

Angaben zum Krutzsch Index finden sich in:

Langvall O, Nilsson U, Örlander G (2001) Frost damage to planted Norway spruce seedlings – influence of site preparation and seedling type. *Forest Ecology and Management* **141**: 223-235

Johnsen Ø (1989) Freeze-testing young *Picea abies* plants. A methodological study. *Scandinavian Journal of Forest Research* **4**: 351-367

3. Methodenentwurf

Design

Es werden je 20 Fi, Ta und Bu von ca. 4-5 Provenienzen wiederholt einzeln beurteilt

Erhebungen

Auswahl und Nummerierung der Pflanzen bis 15.3.2011

Erhebung aller Pflanzen 2 Mal pro Woche (Mo und Do) von 20.3. bis 30.9.2011, zusätzlich 31.10.2011, 30.11.2011, 31.1.2012, 31.3.2012

Parameter

Pro Erhebung: Datum, Erhebender, Dateinamen von allfälligen Fotos

Pro Einzelbaum:

BNR Baumnummer

PHT Phänologisches Stadium Terminalknospe (s. unten).

PHQ Phänologisches Stadium Quirl Terminalknospen (s. unten). Die Quirl-Terminalknospen sind diejenigen im Knospenquirl direkt unterhalb der Terminalknospe.

PHL Phänologisches Stadium Lateralknospen (s. unten). Die Lateralknospen sind die Terminalknospen aller Zweige, die aus dem Quirl gerade unterhalb der letztjährigen Terminalknospe gewachsen sind.

BEM Bemerkungen

Bei Bu wird PHT angesprochen, PHQ und PHL nicht.

Bei Fi und Ta werden PHT, PHQ und PHL angesprochen.

Phänologische Phasen (PHT, PHQ, PHL). Phasen mit bestehendem Bild dazu: Gelb hinterlegt

Phasen	Buche	Fichte	Tanne
0	Knospen schmal und länglich	Knospe geschlossen (Krutzsch 0)	Knospe geschlossen
1	Knospen geschwollen und etwas verlängert	Knospe geschwollen (grau-grün) (Krutzsch 2)	
2	Hellgrüne Blattspitzen sichtbar, Knospenschuppen gespreizt	<i>Knospe aufgebrochen</i> , Nadelspitzen sichtbar (Krutzsch 3)	Nadeln sichtbar, Knospenhülle abgehoben
2a			Nadeln sichtbar, Knospenhülle gesprengt
3	Blätter gefaltet, behaart		
4	Blätter auseinandergespreizt, haarig	Nadelverlängerung (doppelte Knospenlänge) (Krutzsch 4)	Alle Knospenschuppen abgeworfen
5	Blätter schlaff und glatt, blassbraune Knospenschuppen vorhanden	Spreizen der Nadeln (Krutzsch 5)	
6	Blassbraune Knospenschuppen abgefallen [aber auf Zeichnung in Becker 1981 noch da!], Blätter steifer und dunkelgrün	Sprossverlängerung (basale Nadeln nicht gespreizt) (Krutzsch 6)	

Phasen	Buche	Fichte	Tanne
7	2. Trieb sichtbar	Sprossdifferenzierung (basale Nadeln gespreizt) Krutzsch 7)	Knospe sichtbar, grün
8			Knospe braun
9	2. Trieb gebildet		Nadeln sichtbar, Knospenhülle abgehoben
9a			Nadeln sichtbar, Knospenhülle gesprengt
10		Keine terminale Knospe, Nadeln hellgrün und Stamm >10 mm vom Apex sukkulent (Johnsen 0)	Alle Knospenschuppen abgeworfen
11=7	Knospe sichtbar, grün	Kleine, weisse terminale Knospe sichtbar, Nadeln hellgrün und weisse laterale Knospen nahe dem Apex (Johnsen 1)	Knospe sichtbar, grün
12=8(=0)	Knospe braun	Terminale Knospe hellbraun (Entwicklung von Knospenschuppen), laterale Knospen hellbraun und Nadeln leicht dunkelgrüner als in Klasse 1 (Johnsen 2)	Knospe braun
13	>50% der Blätter mit gelber Verfärbung (auch nur in Teilen)	Gut entwickelte Knospenschuppen, terminale Knospe grösser und Nadeln dunkelgrüner als bei Pflanzen der Klasse 2 (Johnsen 3)	
14	>50% der Blätter mit brauner bis roter Verfärbung (auch nur in Teilen)		
15	Alle Blätter abgefallen		
Bemerkungen	s. Zeichnung in Becker 1981, S. 109 (Anhang)		

Prüfen: Blattstielmerkmale bei Buche

Macht Buche vor Augusttrieb überhaupt eine Knospe? Caro fragt M. Sieber

Bilder dazu bzw. Anleitung mit Bildern.

Aufwand

Noch offen

Dateneingabe: Zivi

Überlegungen zur Hauptstudie

Auswertung: Wie kann man aus binären Daten mittlere Phänophaseneintritte pro Herkunft rechnen? Mitteln über 3 Einzelbäume und 16 Replikate pro Mutterbaum, dazu müssten aber allfällige Blockeffekte auskorrigiert werden (Blockeffekte können über Mittel über alle Bäume pro Block ermittelt werden) → sollte möglich sein.

Ersterfassung 2013

Alle Pflanzen einer Baumart an einem Standort an einem Tag erfassen (ca. 4300 Pflanzen!). Bei 3/Minute sind in 500 Minuten 1500 Pflanzen Tagesleistung möglich, d.h. 3 Teams à 2 Personen.

P. Brang 28.2.2011

Anhang: Becker 1981, S. 109



Phänologie - Phasen TANNE

schliesst zu Tage
wenn "frucht"!

fruchtbar! (100% Frucht)

ID	Art	11		12		12a		13		14		15		16		17		Bemerkungen	
		TER	QUI	TER	QUI	TER	QUI	TER	QUI	TER	QUI	TER	QUI	TER	QUI	TER	QUI		
01	Ta	101	94	94	X	108	104	101	108	104	106	111	108	125	116				
02	Ta	108	101	94		116		104	X	111	108	X	116	116	X				
03	Ta	111	101	101				108	111	111	116	125	116	136	150	116			
04	Ta	108	101	94				101	118	108	112	116	111	129	139	116			
05	Ta	108	101	94				101	108	111	116	116	111	119	116	116			
06	Ta	111	104	101				108	108	111	112	116	116	129	116	136			
07	Ta	108	94	94				108	108	111	108	X	116	111	X	150	122		
08	Ta	104	101	94				108	111	101	112	116	108	139	132	116			
09	Ta	108	101	94				101	108	111	112	116	111	129	136	118			
10	Ta	111	101	94				101	108	111	112	116	111	X	139	125			
11	Ta	112	116	111				116	118	116	119	122	125	150	116	116			
12	Ta	108	104					108	108	111	116	116	111	139	139	139			
13	Ta	112	116	108				108	118	111	116	116	111	146	150	116			
14	Ta	108	104					108	118	111	116	116	111	139	139	139			
15	Ta	118	104	94				108	116	111	116	116	111	139	143	150			
16	Ta	111	108	101				108	116	111	116	116	111	136	146	146			
17	Ta	111	108	101				108	116	111	116	116	111	136	146	146			
18	Ta	108	101					108	116	111	116	116	111	136	146	146	X		
19	Ta	108	101					108	116	111	116	116	111	136	146	146			
20	Ta	116	111	101				118	116	111	116	116	111	143	143	143	X		

11/12 macht wenig Sinn, eher kurz und nicht standard
Körge geformt, Munde sichtbar, reißt als Vordental

16 wie bei Ta. 1. Ta. 2. Ta. keine Seitenkanten, v. n. an den
1. Ta. 2. Ta. 3. Ta. 4. Ta. 5. Ta. 6. Ta. 7. Ta. 8. Ta. 9. Ta. 10. Ta. 11. Ta. 12. Ta. 13. Ta. 14. Ta. 15. Ta. 16. Ta. 17. Ta. 18. Ta. 19. Ta. 20. Ta.

17 150: Bei Ta. 1. Ta. 2. Ta. 3. Ta. 4. Ta. 5. Ta. 6. Ta. 7. Ta. 8. Ta. 9. Ta. 10. Ta. 11. Ta. 12. Ta. 13. Ta. 14. Ta. 15. Ta. 16. Ta. 17. Ta. 18. Ta. 19. Ta. 20. Ta.

18 150: Bei Ta. 1. Ta. 2. Ta. 3. Ta. 4. Ta. 5. Ta. 6. Ta. 7. Ta. 8. Ta. 9. Ta. 10. Ta. 11. Ta. 12. Ta. 13. Ta. 14. Ta. 15. Ta. 16. Ta. 17. Ta. 18. Ta. 19. Ta. 20. Ta.

19 150: Bei Ta. 1. Ta. 2. Ta. 3. Ta. 4. Ta. 5. Ta. 6. Ta. 7. Ta. 8. Ta. 9. Ta. 10. Ta. 11. Ta. 12. Ta. 13. Ta. 14. Ta. 15. Ta. 16. Ta. 17. Ta. 18. Ta. 19. Ta. 20. Ta.

20 150: Bei Ta. 1. Ta. 2. Ta. 3. Ta. 4. Ta. 5. Ta. 6. Ta. 7. Ta. 8. Ta. 9. Ta. 10. Ta. 11. Ta. 12. Ta. 13. Ta. 14. Ta. 15. Ta. 16. Ta. 17. Ta. 18. Ta. 19. Ta. 20. Ta.

Abbildung 5: Ausgefülltes Aufnahmeformular für Tanne als Beispiel für unser Vorgehen in der Vorstudie 2011. Scans aller Originalformulare sind auf dem Server abgelegt (s. Tab. 9)

Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte

Dokumentation der Tannen- und Fichtenpflanzung im Frühling 2012

Aline Frank, Caroline Heiri, Anton Burkart



Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee
und Landschaft WSL

Birmensdorf, Dezember 2012

Autoren:

Aline Frank, Caroline Heiri, Anton Burkart

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

Ein Bericht aus dem Projekt «Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte» (http://www.wsl.ch/forschung/forschungsprojekte/wsl_genetische_variation)

Zitierung:

Aline Frank, Caroline Heiri, Anton Burkart 2012. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Tannen- und Fichtenpflanzung im Frühling 2012. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., 26 S., unveröff.

Dank

Für die tatkräftige Hilfe beim Vorbereiten der Versuchsflächen sowie beim Etikettieren, Abpacken und Pflanzen der Sämlinge bedanken wir uns bei Daniela Hobi, Claudio Kohler, Jonas Wicky, Tobias Tschopp, Julia Born, Andreas Schwyzer, Andreas Hefti, Markus Dietiker, Claudio Cattaneo, Andreas Burger und Werner Läuchli. Unser Dank geht auch an Beat Büttler, Daniel Steiner und ihren Familien für die Unterstützung am Versuchsstandort Matzendorf.

Umschlagbild: Frisch gepflanzte Fichtensämlinge auf der Versuchsfläche in Matzendorf (Foto: Aline Frank).

Inhalt

1	EINLEITUNG.....	4
2	VERSUCHSDESIGN.....	4
3	VORBEREITUNGEN.....	5
3.1	Entnahme aus dem Saatbeet.....	5
3.2	Vorsortieren	5
3.3	Etikettierung	5
3.4	Aufteilen und Randomisieren der Sämlinge.....	6
4	PFLANZUNG	7
4.1	Auspflanzen	7
4.2	Pflanzpläne	8
4.3	Witterungsbedingungen	9
4.4	Schwierigkeiten	10
4.4.1	<i>Fehlerhafte Anzahl Fichtennummern</i>	<i>10</i>
4.4.2	<i>Ungenügende Pflanztiefe</i>	<i>10</i>
4.4.3	<i>Fehlerquellen beim Erstellen der Pflanzpläne</i>	<i>10</i>
5	PFLEGE DER VERSUCHSFLÄCHEN	10
6	DOKUMENTATION.....	11
7	LITERATUR.....	11
8	ANHANG.....	12

1 EINLEITUNG

Im Frühling 2012 wurden die beiden Versuchsflächen des Projekts «Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte» (ADAPT) für die Feldstudien vorbereitet. Der wichtigste Schritt war dabei die Pflanzung der im Saatbeet angezogenen Tannen- und Fichtensämlinge. Diese mussten zuerst sortiert und etikettiert werden, danach wurden sie auf den Versuchsflächen gepflanzt und es wurden entsprechende Pflanzpläne erstellt. Dieser Bericht gibt einen Überblick über die einzelnen Schritte der Tannen- und Fichtenpflanzung, über die dabei aufgetretenen Witterungsbedingungen und Schwierigkeiten sowie über die Pflege der Versuchsflächen nach dem Auspflanzen. Da das Versuchsdesign massgebend war für das Vorgehen bei den verschiedenen Arbeitsschritten, wird dieses zu Beginn dieses Berichtes kurz skizziert.

2 VERSUCHSDSIGN

Das Versuchsdesign entspricht einem Blockversuch (Abbildung 1) mit 16 Wiederholungen pro Baumart (Buche, Tanne, Fichte) und pro Standort (Birmensdorf und Matzendorf). Pro Block gibt es einen Sämling pro Mutterbaum (Einzelbaumabsaaten) in zufälliger Anordnung ("single tree random plot"). Bei Fichte haben wir zusätzlich zu den Einzelbaum- auch 20 Populationsabsaaten zur Verfügung, von denen jeweils drei Nachkommen pro Block vertreten sein müssen, um – analog zu den Einzelbaumabsaaten – die Population mit drei Sämlingen pro Block zu repräsentieren. Je nach Anzahl Populationen und Einzelbäumen besteht jeder Block aus maximal sechs Reihen à 45 Pflanzen, d.h. 270 Sämlingen. Bei Blöcken mit angrenzenden Sensorflächen, d.h. Kleinflächen für die Installation von Bodenfeuchtesensoren (Frank et al. 2013), ist aus Platzgründen die Blocklänge von 45 auf 44 Pflanzen pro Reihe verkürzt (Blöcke Tanne 10, 11, 18, 19, 30 und 31) oder die gesamten Blöcke sind um ca. 0,5 m bis 1 m nach unten resp. oben verschoben (z.B. Blöcke Fichte 2, 3, 10, 11). Der Reihenabstand beträgt 40 cm, der Pflanzabstand in der Reihe 30 cm. Die Grösse der Versuchsflächen pro Baumart und Standort beträgt knapp 10 Aren.

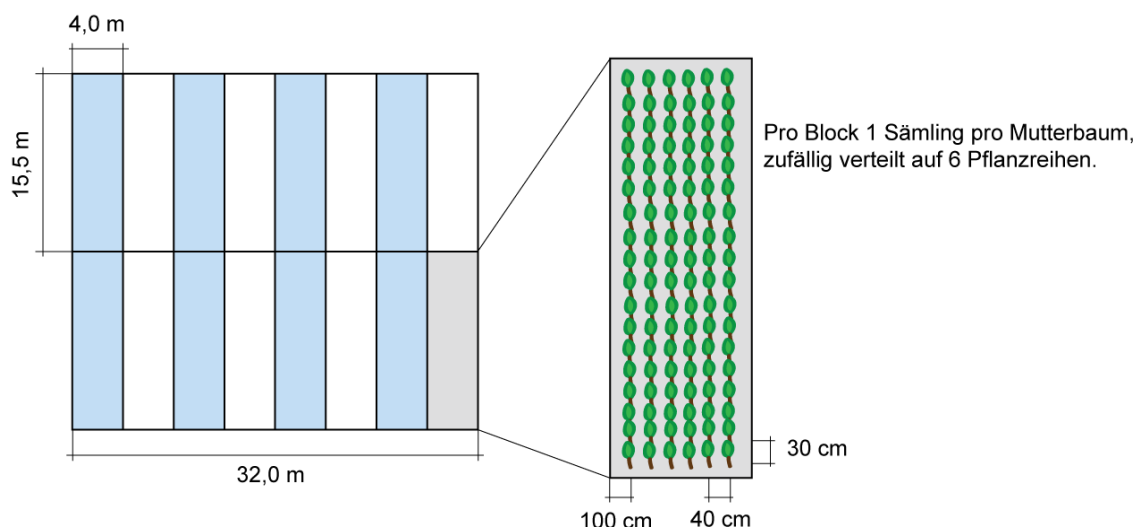


Abbildung 1: Experimentelles Design für einen Standort und eine Baumart mit 16 Blöcken.

3 VORBEREITUNGEN

3.1 Entnahme aus dem Saatbeet

Die zweijährigen Tannen- und Fichtensämlinge wurden am 19. März 2012 durch das Team des WSL-Versuchsgartens dem Saatbeet entnommen, nach Mutterbäumen getrennt in Plastiksäcken mit Zippverschluss verpackt und im Kühlraum bei 0 bis 1 °C zwischengelagert. Für den Versuch werden pro Mutterbaum 32 Sämlinge benötigt (16 pro Standort). Um den Anwuchserfolg zu optimieren, sollten beim Auspflanzen zwei Sämlinge in ein Pflanzloch gesetzt werden, was die benötigte Anzahl Sämlinge pro Mutterbaum auf 64 erhöhte. Es wurde darauf geachtet, jeweils möglichst die optimale Anzahl von 64 Sämlingen pro Mutterbaum bei Einzelbaumabsaaten resp. 192 Sämlingen bei Populationsabsaaten aus dem Beet zu entnehmen. Die restlichen Pflanzen wurden im Saatbeet belassen.

3.2 Vorsortieren

In einem zweiten Schritt wurden die sehr eng gewachsenen Sämlinge voneinander getrennt, die Erde entfernt und Sämlinge aussortiert, welche als nicht überlebensfähig eingeschätzt wurden. Dieses Sortieren war allerdings nicht vergleichbar mit dem Vorgehen in einer Baumschule. Ziel der Sortierung war lediglich, nicht überlebensfähige Sämlinge auszusortieren; Grösse, Wuchsform u.ä. wurden bewusst nicht berücksichtigt. Die Sämlinge wurden wieder in den nach Mutterbäumen nummerierten Plastiksäcken verstaut und im Kühlraum (Kapitel 3.1) aufbewahrt.

3.3 Etikettierung

Die Etikettierung der Tannen- und Fichtensämlinge vom 21. März bis zum 5. April 2012 diente dazu, die Pflanzen mit ihren Mutterbaumnummern zu beschriften und damit für das Abpacken, Auspflanzen und für die abschliessende Aufnahme der Pflanzpläne im Feld eindeutig zu kennzeichnen. Dieser Schritt wurde mit grosser Sorgfalt durchgeführt, da ein korrekter Pflanzplan beim gewählten randomisierten Versuchsdesign (Kapitel 2) für die Identifizierung der Sämlingsherkunft von eminenter Wichtigkeit sein wird.

Das Versuchsdesign sieht vor, von jedem Mutterbaum 16 Sämlinge pro Standort zu verwenden, d.h. 32 Sämlinge pro Mutterbaum insgesamt (Kapitel 2). Einige Einzelbaumsaaten keimten allerdings nur schlecht, weshalb die Mindestanzahl Sämlinge pro Mutterbaum auf 24 (12 pro Versuchsstandort; Heiri et al. 2012) gesetzt wurde. Dies führte dazu, dass drei Tannen- und vier Fichtenmutterbäume trotz tiefer Keimraten im Datensatz behalten werden konnten. 15 Tannen- und 14 Fichtenmutterbäume mussten wegen ungenügender Sämlingszahlen aus dem Experiment ausgeschlossen werden.

Die Mutterbaumnummern wurden vorgängig mit wasserfestem Filzstift auf weisse Haftetiketten (1 cm x 7.5 cm; Herma, Filderstadt, DE) übertragen. Diese Etiketten wurden dann um die Stämmchen der Sämlinge befestigt (Abbildung 2). In der Regel wurden immer zwei Pflänzchen zusammen etikettiert, wobei zwischen beiden Stämmchen ein Abstand von ca. 1 cm belassen wurde. Diese „Paare“ wurden später ins gleiche Loch gepflanzt und werden für die erste Wachstumsphase so belassen. Nach dem Winter 2012/2013 werden die überzähligen Sämlinge weggeschnitten. Bei knappen Sämlingszahlen konnte die Doppelbepflanzung nicht konsequent umgesetzt werden.

Beim Etikettieren wurde streng nach Mutterbaumnummern getrennt vorgegangen, damit es zu keinen Verwechslungen kam. Die Wurzeln der Sämlinge wurden mit

Wasser aus der Sprühflasche befeuchtet, damit sie nicht austrockneten. Nach dem Etikettieren wurden die Sämlinge resp. Sämlingspaare nachgezählt, wieder in die nach Mutterbaumnummern beschrifteten Plastiksäcke gelegt und zur Befeuchtung mit einem nassen Kleenexpapier versehen. Die Sämlinge wurden danach erneut im Kühlraum (Kapitel 3.1) gelagert.

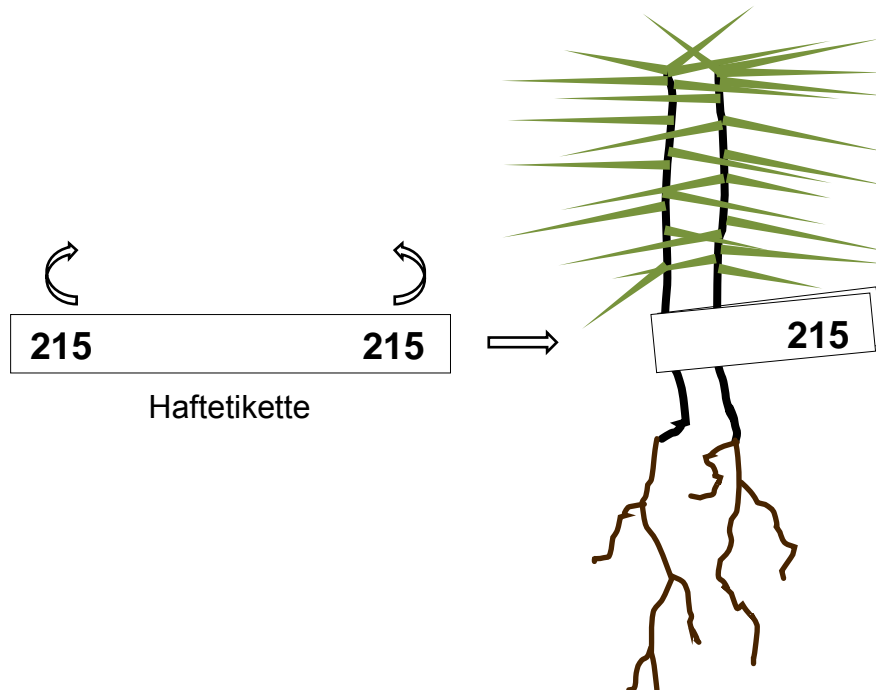


Abbildung 2: Etikettierung der Sämlinge. Jeweils zwei Sämlinge des gleichen Mutterbaumes wurden mit der entsprechenden Mutterbaumnummer beschriftet. Dazu wurde eine beidseitig beschriftete Haftetikette zwischen Wurzeln und Nadelansatz angebracht. Der Abstand zwischen beiden Stämmchen betrug ca. 1 cm.

3.4 Aufteilen und Randomisieren der Sämlinge

Das Aufteilen der Tannen- und Fichtensämlinge vom 10. bis 12. April 2012 diente dazu, die Nachkommen der einzelnen Mutterbäume auf die verschiedenen Blöcke zu verteilen (Kapitel 2), so dass für die Pflanzung für jeden Block ein Sack mit allen Sämlingen bereit stand.

Für das Aufteilen der Sämlinge wurden für Tanne und Fichte nacheinander jeweils 32 Plastikkistchen aufgestellt und mit den Blocknummern (Tanne 1 bis 32, Fichte 1 bis 32) beschriftet. Die etikettierten Sämlinge jedes Mutterbaumes wurden dann in diese Kistchen verteilt, so dass jede Baumnummer genau einmal (bei Einzelbaumabsaaten) resp. dreimal (bei Populationsabsaaten) pro Kiste vorhanden war (Kapitel 2). Waren nicht genügend Sämlinge vorhanden für alle Blöcke, d.h. nur 12 bis 31 statt 32 Sämlinge (Heiri et al. 2012), wurden die Blöcke von vorne nach hinten aufgefüllt. Der Standort Matzendorf wurde prioritär behandelt, da an diesem Standort eine höhere Mortalität erwartet wurde. Während des Verteilens wurden die Wurzeln der Sämlinge mehrmals mit Wasser besprüht, damit sie nicht austrockneten. Die Sämlinge jedes Blocks wurden anschliessend in eine grosse Wanne gegeben (Abbildung 3, A) und sorgfältig umgeschichtet, um die Sämlinge möglichst gut zu randomisieren. Die Pflanzen wurden dann zu handlichen Bündeln geschnürt, die Wurzeln mit feuchtem Papier umwickelt (Abbildung 3, B) und die Bündel in grossen Plastiksäcken mit der entsprechenden Blocknummer verstaute. Bis zum Auspflanzen wurden die Sämlinge wiederum im Kühlraum (Kapitel 3.1) gelagert.

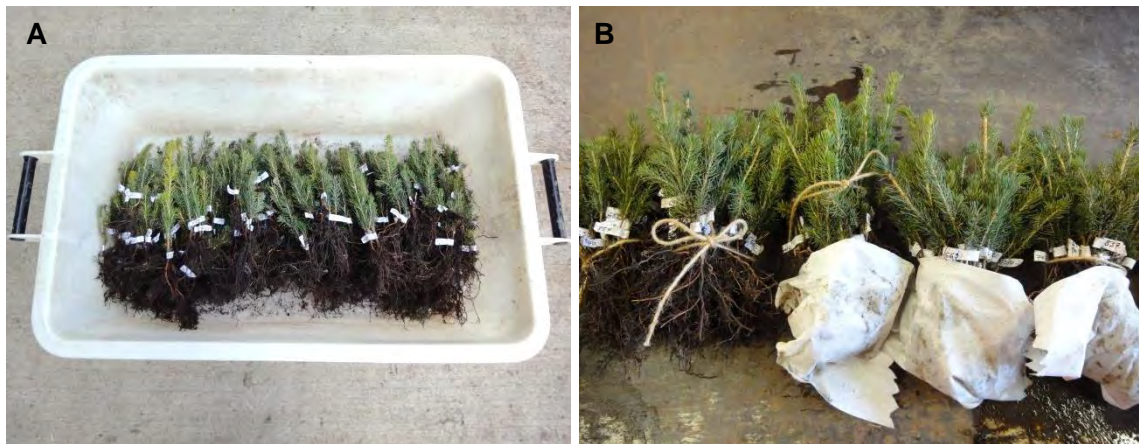


Abbildung 3: Nach dem Randomisieren aller Sämlinge eines Blockes in einem großen Becken **(A)** wurden die Sämlinge gebündelt und die Wurzeln zum Schutz vor dem Austrocknen in feuchtes Papier gehhlt **(B)**.

4 PFLANZUNG

4.1 Auspflanzen

Im Herbst 2011 wurden die Flächen gepflügt. Der Boden wurde mit der Kreiselegge und unmittelbar vor dem Auspflanzen mit der Bodenfrse bearbeitet. Dadurch konnte das vorhandene Unkraut untergegraben und der Boden für das Pflanzen aufgelockert werden. Das Auspflanzen der Sämlinge fand auf der Versuchsfläche in Birmensdorf vom 18. bis 20. April sowie am 30. April 2012 statt, in Matzendorf vom 23. bis 27. April 2012. Das Pflanzen erfolgte strikt getrennt nach Blöcken, um eine Vermischung der Sämlinge zwischen den Blöcken zu vermeiden. Die Sämlinge wurden den Säcken bündelweise entnommen und für das Pflanzen in handliche Kistchen gelegt, die mit dem Namen des/der Pflanzers/Pflanzerin angeschrieben waren. Die Säcke mit den Sämlingen wurden zwischenzeitlich wieder verschlossen und vor der Sonne geschtzt am Rande der Blöcke aufbewahrt. Vor dem Pflanzen wurde die jeweilige Reihe mit einer Pflanzschnur markiert (Abbildung 4). Die Markierungen darauf (kleine Metallkugeln im Pflanzabstand von 30 cm) definierten die Position der Sämlinge. Neben der Pflanzschnur wurden Holzbretter ausgelegt, was ein Festtreten der Erde während des Arbeitens verminderte. Mit einer Stahlhand wurde ein Loch von ca. 10 cm Durchmesser in die Erde gegraben. Der Sämling wurde mit einer Hand hineingehalten, so dass der Wurzelansatz ca. 1 cm unter der Erdoberfläche zu liegen kam. Mit der anderen Hand wurde das Loch mit lockerer, feuchter Erde gefllt und diese um die Wurzeln herum gut angedrückt.



Abbildung 4: Pflanzen von Tannensämlingen. Die kleinen Kugeln an der Pflanzschnur bestimmten die Position der Pflanzen, die Bretter verhinderten eine zu starke Verdichtung des Bodens.

4.2 Pflanzpläne

Nach dem Pflanzen von jeweils zwei Reihen wurden die Nummern der Sämlinge und ihre genaue Position in der Reihe in einem Pflanzplan notiert. Es wurde zudem aufgeschrieben, welche Sämlinge nicht als Paar sondern als Einzelbäume gepflanzt wurden (Kapitel 3.3). Die Pflanzpläne dienen zur Identifikation der einzelnen Sämlinge, sobald die weissen Etiketten abfallen oder unleserlich werden.

Die während des Pflanzens aufgenommenen Pflanzpläne wurden in eine Excel-Datei eingetragen und per Abgleich mit den Listen der abgepackten Tannen- und Fichtenmutterbaumnummern (Anhang A & B) kontrolliert. Wenn Baumnummern doppelt aufgeführt waren, fehlten oder der Status „Einzelbaum“ nicht notiert worden war, wurden diese Nummern auf dem Pflanzplan mit den Etiketten der Pflanzen im Feld abgeglichen und korrigiert. Fehlende Bäumchen wurden ersetzt, indem ein Sämlingspaar mit der entsprechenden Nummer aus einem anderen Block in zwei Einzelbäume aufgetrennt wurde. Die Position jeder Pflanze auf den Versuchsflächen wurde eindeutig festgelegt über den Standort (Birmensdorf oder Matzendorf), die Blocknummer (1 bis 32 für beide Baumarten), die Reihennummer (1 bis 6) und die Position (1 bis 45 oder 1 bis 44) innerhalb der Reihe.

Bei den Fichten wurden 266 bis 270 Sämlinge pro Block gepflanzt, bei Tanne 255 bis 258 Sämlinge (Tabelle 1).

Tabelle 1: Im Frühling 2012 ausgepflanzte Tannen- und Fichtensämlinge.

Tanne				Fichte			
Birmens- dorf	Anzahl Sämlinge	Matzen- dorf	Anzahl Sämlinge	Birmens- dorf	Anzahl Sämlinge	Matzen- dorf	Anzahl Sämlinge
Block 1	258	Block 17	258	Block 1	270	Block 17	270
Block 2	258	Block 18	258	Block 2	270	Block 18	270
Block 3	258	Block 19	259	Block 3	270	Block 19	270
Block 4	258	Block 20	258	Block 4	270	Block 20	270
Block 5	258	Block 21	258	Block 5	270	Block 21	270
Block 6	258	Block 22	258	Block 6	270	Block 22	270
Block 7	258	Block 23	258	Block 7	270	Block 23	270
Block 8	258	Block 24	258	Block 8	270	Block 24	270
Block 9	258	Block 25	258	Block 9	270	Block 25	270
Block 10	258	Block 26	258	Block 10	270	Block 26	270
Block 11	258	Block 27	258	Block 11	270	Block 27	270
Block 12	258	Block 28	258	Block 12	270	Block 28	270
Block 13	257	Block 29	257	Block 13	270	Block 29	270
Block 14	256	Block 30	256	Block 14	269	Block 30	270
Block 15	256	Block 31	256	Block 15	267	Block 31	267
Block 16	255	Block 32	256	Block 16	266	Block 32	266
Total	4120	Total	4122	Total	4312	Total	4313
Total Tanne			8242	Total Fichte			8625
Gesamtzahl Tannen- und Fichtensämlinge							16867

4.3 Witterungsbedingungen

Während des Auspflanzen in Birmensdorf herrschten ideale Witterungsbedingungen: Der Boden war durch den Regen vom Vortag noch feucht, die oberste Schicht aber bereits abgetrocknet. Die Erde war nach dem Fräsen locker und einfach zu bearbeiten.

Im Matzendorf war es zu Beginn des Auspflanzens noch sehr nass, der Boden war nach dem Fräsen schwer und verklumpt. Während der ersten zwei Tage gab es immer wieder Niederschläge in Form von Regen und wenig Schnee. In der zweiten Hälfte der Pflanzwoche in Matzendorf wurde das Wetter sonnig und warm, wodurch die Fläche abtrocknete und das Pflanzen einfacher wurde.

4.4 Schwierigkeiten

Während der Arbeiten rund um das Pflanzen traten einige Schwierigkeiten auf, die durch entsprechende Massnahmen behoben werden konnten:

4.4.1 Fehlerhafte Anzahl Fichtennummern

Aus methodischen Gründen müssen von Populationsabsaaten stets drei Sämlinge pro Block vorhanden sein, so dass Populationsmittelwerte von Herkunft mit Einzelbaum- und mit Populationsabsaaten statistisch vergleichbar sind. Dies wurde bei der Berechnung der Blockgrösse vernachlässigt, so dass beim Pflanzen der Fichten zu wenig Platz für alle Sämlinge in den Blöcken zur Verfügung stand. Daraufhin wurden insgesamt 15 Fichtennummern von drei Herkunft gestrichen, die für die Studie von sekundärer Priorität waren. Dies waren die Herkunft fi-AT-1 (Baumnummern 818 bis 820; Österreichische "outgroup", ist für ADAPT nicht relevant), fi-70-2 (Baumnummern 847 bis 853, Ernen; von insgesamt 9 Mutterbäumen konnten 6 gestrichen werden) und fi-81-1 (Baumnummern 779 bis 781 und 861 bis 867, Fully; Standort war zuvor doppelt vertreten).

4.4.2 Ungenügende Pflanztiefe

Da der Boden beim Pflanzen durch das vorgängige Fräsen meist sehr locker war, senkte sich die Erde in den Tagen nach dem Auspflanzen ab, so dass z.T. die Wurzelansätze der Sämlinge aus dem Boden ragten. Betroffen waren vor allem Fichten. Diese zu wenig tief gepflanzten Sämlinge wurden nachträglich von Hand wieder tiefer in die Erde gedrückt und darum herum Erde angehäuft.

4.4.3 Fehlerquellen beim Erstellen der Pflanzpläne

Das Notieren und Eintippen der Pflanzpläne war fehleranfällig. Die Sämlingsnummern wurden auf dem Feld beim Pflanzen von einer Person abgelesen und von einer zweiten Person von Hand im Pflanzplan eingetragen. Hier gab es aufgrund unterschiedlicher Dialekte z.T. Verständnisschwierigkeiten. Zudem variierte die Leserlichkeit der Handschriften stark. Schliesslich wurden die Zahlen in die Excel-Datei eingetippt, wobei es zu Tippfehlern kam. All diese Fehler wurden bei der nachträglichen Überprüfung der Pflanzpläne (Kapitel 4.2) korrigiert. Weil korrekte Pflanzpläne für den Erfolg der Studie von grosser Wichtigkeit sind, wurde diese Überprüfung mit grosser Sorgfalt durchgeführt.

5 PFLEGE DER VERSUCHSFLÄCHEN

Im Anschluss an das Auspflanzen wurden verschiedene Pflegemassnahmen eingeleitet:

Die Versuchsflächen sollen von Unkraut frei gehalten werden, damit sich die Sämlinge ungehindert entwickeln können. Dabei dürfen die Pflanzen selber keinen Schaden nehmen. Es wird von Hand sowie mit der Pendelhacke gejätet. Dafür muss trockenes, schönes Wetter herrschen, damit der Boden und die Pflanzen geschont werden und das Unkraut nach dem Jäten verdorren kann. In Birmensdorf waren für die Jätarbeiten während der Vegetationszeit 2012 zwei Hilfskräfte mit je einem Arbeitspensum von 20 % zuständig. In Matzendorf übernahm Beat Büttler mit Teilzeithelfern diese Aufgabe grösstenteils, wurde aber bei Bedarf zeitweise von ADAPT-Hilfskräften unterstützt.

In Birmensdorf werden die freien Flächen zwischen den Blöcken regelmässig gejätet und bei Bedarf gefräst. In Matzendorf lässt man diese Flächen zuwachsen und hält das Gras mit einem Rasenmäher tief. Das Unkraut auf den Sensorflächen wird in Birmensdorf mit Herbizid bekämpft, in Matzendorf ebenfalls gejätet (Biobetrieb). In Birmensdorf wird das Gras um die Fläche herum regelmässig geschnitten, um ein Absamen der Gräser in die Versuchsfläche hinein zu vermeiden. Dies ist in Matzendorf nicht möglich, da sich rund um die Versuchsfläche herum Weideland erstreckt.

6 DOKUMENTATION

Die Dokumente, welche für die Pflanzung 2012 relevant sind, wurden auf dem Laufwerk N der WSL abgespeichert. Tabelle 2 beinhaltet die dazugehörigen Pfade.

Tabelle 2: Verzeichnis der Dokumente.

Beschreibung	Pfad und Dateiname
Liste der gepflanzten Tannenherkünfte	N:\prj\Adapt\Tanne\Prjadapt_Tanne_Bestände_2012_gepflanzt.xls
Liste der gepflanzten Fichtenherkünfte	N:\prj\Adapt\Fichte\Prjadapt_Fichte_Bestände_2012_gepflanzt.xls
Pflanzpläne, realitätsabbildend	N:\prj\Adapt\Abpacken und Auspflanzen 2012\Definitiver Pflanzplan fi und ta 2012\DEFINITIVER PFLANZPLAN 2012.xlsx
Pflanzpläne, Spaltendarstellung	N:\prj\Adapt\Abpacken und Auspflanzen 2012\Spaltendarstellung Pflanzplan_24_5_2012.xlsx
Tagebuch ADAPT	N:\prj\Adapt\Tagebuch Adapt.xls

7 LITERATUR

Frank, A., G. Schneiter, P. Waldner, L. Walthert, und C. Heiri. 2013. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Feldinstallationen 2012: Bodenfeuchtesensoren und Meteostationen. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., 24 S., unveröff.

Heiri, C., C. Sperisen, A. Frank, und A. Burkart 2012. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Sämlingsanzucht im Versuchsgarten der WSL 2010-2011. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., 13 S., unveröff.

8 ANHANG

A) Liste aller gepflanzten Tannenherkünfte (Populations ID, Mutterbaumnummer, Ort)
S. 13

B) Liste aller gepflanzten Fichtenherkünfte (Populations ID, Mutterbaumnummer, Ort)
S. 20

A) Im Frühling 2012 auf den ADAPT-Versuchsflächen gepflanzte Tannenherkünfte

Tanne		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
ta-01-1	1	Beggingen
ta-01-1	2	Beggingen
ta-01-1	3	Beggingen
ta-03-1	4	Homburg
ta-03-1	5	Homburg
ta-03-1	6	Homburg
ta-07-1	7	Liestal
ta-07-1	8	Liestal
ta-07-1	9	Liestal
ta-08-1	10	Herznach
ta-08-1	11	Herznach
ta-08-1	12	Herznach
ta-11-1	13	Aadorf (Ettenhausen)
ta-11-1	14	Aadorf (Ettenhausen)
ta-11-1	15	Aadorf (Ettenhausen)
ta-11-2	16	Tobel (Bettwiesen)
ta-11-2	17	Tobel (Bettwiesen)
ta-11-2	18	Tobel (Bettwiesen)
ta-12-1	19	Güttingen
ta-12-1	20	Güttingen
ta-12-1	21	Güttingen
ta-15-1	22	Rebévelier
ta-15-1	23	Rebévelier
ta-15-1	24	Rebévelier
ta-16-1	25	Perrefitte
ta-16-1	26	Perrefitte
ta-16-1	27	Perrefitte
ta-16-2	28	Bassecourt
ta-16-2	29	Bassecourt
ta-16-2	30	Bassecourt
ta-16-3	31	Rebeuvelier
ta-16-3	32	Rebeuvelier
ta-16-3	33	Rebeuvelier
ta-17-1	34	Vordemwald
ta-17-1	35	Vordemwald

Tanne		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
ta-17-1	36	Vordemwald
ta-17-2	37	Roggwil
ta-17-2	38	Roggwil
ta-17-2	39	Roggwil
ta-18-1	40	Muhen
ta-18-1	41	Muhen
ta-18-1	42	Muhen
ta-18-2	43	Suhr
ta-18-2	44	Suhr
ta-18-2	45	Suhr
ta-19-1	46	Beinwil
ta-19-1	47	Beinwil
ta-19-1	48	Beinwil
ta-21-1	49	Oberhelfenschwil
ta-21-1	50	Oberhelfenschwil
ta-21-1	51	Oberhelfenschwil
ta-22-1	52	Gams
ta-22-1	53	Gams
ta-22-1	54	Gams
ta-25-1	55	Neuchâtel (Boudry)
ta-25-1	56	Neuchâtel (Boudry)
ta-25-1	57	Neuchâtel (Boudry)
ta-26-1	58	Nods
ta-26-1	59	Nods
ta-26-1	60	Nods
ta-26-2	61	Cormoret
ta-26-2	62	Cormoret
ta-26-2	63	Cormoret
ta-27-1	64	Radelfingen
ta-27-1	65	Radelfingen
ta-27-1	66	Radelfingen
ta-28-1	67	Madiswil
ta-28-1	68	Madiswil
ta-28-1	69	Madiswil
ta-28-2	70	Sumiswald
ta-28-2	71	Sumiswald
ta-28-2	72	Sumiswald
ta-28-3	73	Reisiswil

Tanne		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
ta-28-3	74	Reisiswil
ta-28-3	75	Reisiswil
ta-29-1	76	Schwarzenberg
ta-29-1	77	Schwarzenberg
ta-29-1	78	Schwarzenberg
ta-30-1	79	Zug
ta-30-1	80	Zug
ta-30-1	81	Zug
ta-30-2	82	Küssnacht am Rigi
ta-30-2	83	Küssnacht am Rigi
ta-30-2	84	Küssnacht am Rigi
ta-31-1	85	Walchwil
ta-31-1	86	Walchwil
ta-31-1	87	Walchwil
ta-31-2	88	Riemenstalden
ta-31-2	89	Riemenstalden
ta-31-2	90	Riemenstalden
ta-31-3	91	Muotatal
ta-31-3	92	Muotatal
ta-31-3	93	Muotatal
ta-32-1	94	Bilten
ta-32-1	95	Bilten
ta-32-1	96	Bilten
ta-32-2	98	Näfels
ta-32-2	99	Näfels
ta-32-3	100	Betschwanden
ta-32-3	101	Betschwanden
ta-32-3	102	Betschwanden
ta-33-1	103	Wartau
ta-33-1	104	Wartau
ta-33-1	105	Wartau
ta 34-1	106	Schiers
ta 34-1	107	Schiers
ta 34-1	108	Schiers
ta-36-1	109	Tschlin
ta-36-1	110	Tschlin
ta-36-1	111	Tschlin
ta-38-1	112	Couvet (Südhang)

Tanne		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
ta-38-1	113	Couvet (Südhang)
ta-38-1	114	Couvet (Südhang)
ta-38-2	115	Couvet (Nordhang)
ta-38-2	116	Couvet (Nordhang)
ta-38-2	117	Couvet (Nordhang)
ta-40-1	118	Köniz (Oberbalm)
ta-40-1	119	Köniz (Oberbalm)
ta-40-1	120	Köniz (Oberbalm)
ta-41-1	121	Niederhünigen
ta-41-1	122	Niederhünigen
ta-41-1	123	Niederhünigen
ta-41-2	124	Röthenbach im Emmental (Eggiwil)
ta-41-2	125	Röthenbach im Emmental (Eggiwil)
ta-41-2	126	Röthenbach im Emmental (Eggiwil)
ta-41-3	127	Signau
ta-41-3	128	Signau
ta-41-3	129	Signau
ta-42-1	130	Marbach (LU)
ta-42-1	131	Marbach (LU)
ta-43-1	133	Wolfenschiessen
ta-43-1	134	Wolfenschiessen
ta-43-1	135	Wolfenschiessen
ta-43-2	136	Isenthal
ta-43-2	137	Isenthal
ta-43-2	138	Isenthal
ta-44-1	139	Seedorf
ta-44-1	140	Seedorf
ta-44-1	141	Seedorf
ta-44-2	142	Schattdorf
ta-44-2	143	Schattdorf
ta-44-2	144	Schattdorf
ta-45-1	145	Sumvitg
ta-45-1	146	Sumvitg
ta-45-1	147	Sumvitg
ta-45-2	148	Breil/Brigels
ta-45-2	149	Breil/Brigels
ta-45-2	150	Breil/Brigels
ta-45-3	153	Elm

Tanne		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
ta-46-1	154	Chur
ta-46-1	155	Chur
ta-46-1	156	Chur
ta-46-2	157	Prüz
ta-46-2	158	Prüz
ta-46-2	159	Prüz
ta-46-3	269	Domat/Ems
ta-46-3	270	Domat/Ems
ta-46-3	271	Domat/Ems
ta-47-1	160	Jenaz
ta-47-1	161	Jenaz
ta-47-1	162	Jenaz
ta-50-1	163	Longirod
ta-50-1	164	Longirod
ta-50-1	165	Longirod
ta-50-2	166	Le Chenit (Le Brassus)
ta-50-2	167	Le Chenit (Le Brassus)
ta-50-2	168	Le Chenit (Le Brassus)
ta-51-1	169	Bretonnières
ta-51-1	170	Bretonnières
ta-51-1	171	Bretonnières
ta-53-1	172	Charmey
ta-53-1	173	Charmey
ta-53-1	174	Charmey
ta-53-2	175	Maules
ta-53-2	176	Maules
ta-53-2	177	Maules
ta-54-1	178	Oberschrot
ta-54-1	179	Oberschrot
ta-54-1	180	Oberschrot
ta-55-1	181	Aeschi bei Spiez
ta-55-1	182	Aeschi bei Spiez
ta-55-1	183	Aeschi bei Spiez
ta-55-2	184	Därligen
ta-55-2	185	Därligen
ta-55-2	186	Därligen
ta-56-1	187	Iseltwald
ta-56-1	188	Iseltwald

Tanne		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
ta-56-1	189	Iseltwald
ta-56-2	190	Lütschental
ta-56-2	191	Lütschental
ta-56-2	192	Lütschental
ta-57-1	193	Innertkirchen
ta-57-1	194	Innertkirchen
ta-57-1	195	Innertkirchen
ta-59-1	196	Olivone (Camperio)
ta-59-1	197	Olivone (Camperio)
ta-59-1	198	Olivone (Camperio)
ta-60-1	199	Masein
ta-60-1	200	Masein
ta-60-1	201	Masein
ta-60-2	203	Andeer
ta-60-2	204	Andeer
ta-61-1	205	Tiefencastel
ta-61-1	206	Tiefencastel
ta-61-1	207	Tiefencastel
ta-67-1	208	Gryon
ta-67-1	209	Gryon
ta-67-1	210	Gryon
ta-68-1	211	Sierre
ta-68-1	212	Sierre
ta-68-1	213	Sierre
ta-68-2	214	Gstaad (Saanen)
ta-68-2	215	Gstaad (Saanen)
ta-68-2	216	Gstaad (Saanen)
ta-69-1	217	Leuk
ta-69-1	218	Leuk
ta-69-3	268	Leuk
ta-69-4	273	Leuk
ta-69-4	274	Leuk
ta-70-1	223	Grensiols (Binntal)
ta-70-1	224	Grensiols (Binntal)
ta-71-1	226	Cerentino
ta-71-1	228	Cerentino
ta-72-1	229	Prato (Leventina)
ta-72-1	230	Prato (Leventina)

Tanne		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
ta-72-1	231	Prato (Leventina)
ta-75-1	232	Bondo
ta-75-1	233	Bondo
ta-75-1	234	Bondo
ta-76-1	235	Poschiavo (Le Prese)
ta-76-1	236	Poschiavo (Le Prese)
ta-76-1	237	Poschiavo (Le Prese)
ta-81-1	238	Troistorrents (Cheparlier)
ta-81-1	239	Troistorrents (Cheparlier)
ta-81-1	240	Troistorrents (Cheparlier)
ta-81-2	241	Martigny
ta-81-2	242	Martigny
ta-81-2	243	Martigny
ta-81-3	244	Derborence
ta-81-3	245	Derborence
ta-81-3	246	Derborence
ta-81-4	247	Martigny
ta-81-4	248	Martigny
ta-81-4	249	Martigny
ta-85-1	250	Vergeletto
ta-85-1	252	Vergeletto
ta-86-1	256	Locarno (Cardada)
ta-86-1	257	Locarno (Cardada)
ta-86-1	258	Locarno (Cardada)
ta-86-2	259	Intragna
ta-86-2	260	Intragna
ta-86-2	261	Intragna
ta-87-1	262	Roveredo
ta-87-1	263	Roveredo
ta-87-1	264	Roveredo
ta-87-2	265	Sant'Antonio
ta-87-2	266	Sant'Antonio
ta-87-2	267	Sant'Antonio

B) Im Frühling 2012 auf den ADAPT-Versuchsflächen gepflanzte Fichtenherkünfte

Fichte		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
fi-02-1	601	Basadingen-Schlattingen
fi-02-1	602	Basadingen-Schlattingen
fi-02-1	603	Basadingen-Schlattingen
fi-03-1	604	Tägerwilen
fi-03-1	605	Tägerwilen
fi-03-1	606	Tägerwilen
fi-06-1	827	Blauen
fi-08-1	828	Gipf-Oberfrick
fi-12-1	607	Waldkirch
fi-12-1	608	Waldkirch
fi-12-1	609	Waldkirch
fi-15-1	610	Courtelary (Les Breuleux)
fi-15-1	611	Courtelary (Les Breuleux)
fi-15-1	612	Courtelary (Les Breuleux)
fi-16-1	613	Rebeuvelier
fi-16-1	614	Rebeuvelier
fi-16-1	615	Rebeuvelier
fi-17-1	616	Roggwil
fi-17-1	617	Roggwil
fi-17-1	618	Roggwil
fi-17-2	619	Eptingen
fi-17-2	620	Eptingen
fi-17-2	621	Eptingen
fi-18-1	829	Gränichen
fi-19-1	830	Beinwil (Freiamt)
fi-20-1	623	Feusisberg (Etzel) / Einsiedeln
fi-20-2	831	Pfäffikon
fi-22-1	625	Alt St. Johann
fi-22-1	626	Alt St. Johann
fi-22-2	627	Schwende
fi-22-2	628	Schwende
fi-22-2	629	Schwende
fi-22-3	832	Krummenau
fi-28-1	630	Burgdorf
fi-28-1	631	Burgdorf

Fichte		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
fi-28-1	632	Burgdorf
fi-28-2	633	Sumiswald
fi-28-2	634	Sumiswald
fi-28-2	635	Sumiswald
fi-29-1	833	Schwarzenberg
fi-30-1	636	Arth (Rigi)
fi-30-1	637	Arth (Rigi)
fi-30-1	638	Arth (Rigi)
fi-31-1	639	Muotathal
fi-31-1	640	Muotathal
fi-31-1	641	Muotathal
fi-31-2	642	Alptal
fi-31-2	643	Alptal
fi-31-2	644	Alptal
fi-32-1	645	Quarten (Murg)
fi-32-1	646	Quarten (Murg)
fi-32-1	647	Quarten (Murg)
fi-32-2	648	Braunwald
fi-32-2	649	Braunwald
fi-32-3	651	Oberurnen
fi-32-3	652	Oberurnen
fi-32-3	653	Oberurnen
fi-33-1	654	Quarten
fi-33-1	655	Quarten
fi-33-1	656	Quarten
fi-34-1	657	St. Antönien
fi-34-1	658	St. Antönien
fi-34-1	659	St. Antönien
fi-37-1	660	L'Abergement
fi-37-1	661	L'Abergement
fi-37-1	662	L'Abergement
fi-38-1	664	Provence
fi-38-1	665	Provence
fi-39-1	666	Montagny-Les-Monts
fi-39-1	667	Montagny-Les-Monts
fi-39-1	668	Montagny-Les-Monts
fi-41-1	834	Schangnau
fi-42-1	669	Flühli

Fichte		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
fi-42-1	670	Flühli
fi-42-1	671	Flühli
fi-42-2	821	Brienzwiler
fi-42-2	822	Brienzwiler
fi-43-1	672	Innertkirchen
fi-43-1	673	Innertkirchen
fi-43-1	674	Innertkirchen
fi-43-2	675	Kerns
fi-43-2	677	Kerns
fi-44-1	678	Silenen
fi-44-1	679	Silenen
fi-44-1	680	Silenen
fi-44-2	835	Isenthal
fi-45-1	681	Breil/Brigels
fi-45-1	682	Breil/Brigels
fi-45-1	683	Breil/Brigels
fi-46-1	684	Prüz
fi-46-1	685	Prüz
fi-46-1	686	Prüz
fi-46-2	687	Pfäfers (Vättis)
fi-46-2	688	Pfäfers (Vättis)
fi-46-2	689	Pfäfers (Vättis)
fi-46-3	815	Bonaduz
fi-46-3	816	Bonaduz
fi-46-3	817	Bonaduz
fi-47-1	690	Conters i. Pr.
fi-47-1	691	Conters i. Pr.
fi-47-1	692	Conters i. Pr.
fi-47-2	836	Davos (Sertig)
fi-50-1	693	Le Chenit (Le Brassus)
fi-50-1	694	Le Chenit (Le Brassus)
fi-50-1	695	Le Chenit (Le Brassus)
fi-53-1	696	Cerniat (FR)
fi-53-1	697	Cerniat (FR)
fi-53-1	698	Cerniat (FR)
fi-54-1	699	Rüschegg
fi-54-1	700	Rüschegg
fi-54-2	702	Adelboden

Fichte		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
fi-54-2	703	Adelboden
fi-54-2	704	Adelboden
fi-54-3	837	Rüschegg
fi-55-2	705	Beatenberg
fi-55-2	706	Beatenberg
fi-55-2	707	Beatenberg
fi-55-3	838	Aeschi bei Spiez
fi-56-1	708	Grindelwald
fi-56-1	709	Grindelwald
fi-57-1	711	Göschenen
fi-57-1	712	Göschenen
fi-57-1	713	Göschenen
fi-57-2a	717	Oberwald
fi-57-2a	718	Oberwald
fi-57-2a	719	Oberwald
fi-57-3	839	Innertkirchen
fi-58-1	868	Quinto (Ambri)
fi-59-1	720	Vals
fi-59-1	721	Vals
fi-59-1	722	Vals
fi-59-2	723	Sumvitg
fi-59-2	724	Sumvitg
fi-59-2	725	Sumvitg
fi-59-3	726	Uors-Peiden
fi-59-3	727	Uors-Peiden
fi-59-3	728	Uors-Peiden
fi-59-4	869	Olivone
fi-60-1	729	Splügen
fi-60-1	730	Splügen
fi-60-1	731	Splügen
fi-62-1	732	Zernez
fi-62-1	733	Zernez
fi-62-1	734	Zernez
fi-67-1	735	Conthey (Forêt de la Lui)
fi-67-1	736	Conthey (Forêt de la Lui)
fi-67-1	737	Conthey (Forêt de la Lui)
fi-67-1	854	Conthey (Forêt de la Lui)
fi-67-1	855	Conthey (Forêt de la Lui)

Fichte		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
fi-67-1	856	Conthey (Forêt de la Lui)
fi-67-1	857	Conthey (Forêt de la Lui)
fi-67-1	858	Conthey (Forêt de la Lui)
fi-67-1	859	Conthey (Forêt de la Lui)
fi-67-1	860	Conthey (Forêt de la Lui)
fi-67-2	738	Montreux
fi-67-2	739	Montreux
fi-67-2	740	Montreux
fi-67-3	741	Corbeyrier
fi-67-3	742	Corbeyrier
fi-67-3	743	Corbeyrier
fi-68-1	744	Adelboden
fi-68-1	745	Adelboden
fi-68-1	746	Adelboden
fi-68-2	747	Mollens (Essilletes)
fi-68-2	748	Mollens (Essilletes)
fi-68-2	749	Mollens (Essilletes)
fi-69-1	750	Kippel (Chipelwald)
fi-69-1	751	Kippel (Chipelwald)
fi-69-1	752	Kippel (Chipelwald)
fi-69-2	812	Leuk
fi-69-2	813	Leuk
fi-69-2	814	Leuk
fi-69-3	841	Steg (Gampel-Steg)
fi-69-4	842	Gampel-Steg
fi-70-1	753	Binn (Hasuwald)
fi-70-1	754	Binn (Hasuwald)
fi-70-1	755	Binn (Hasuwald)
fi-70-2	756	Ernen (Senggwald)
fi-70-2	757	Ernen (Senggwald)
fi-70-2	758	Ernen (Senggwald)
fi-70-3	759	Ried-Mörel (Riederalp)
fi-70-3	760	Ried-Mörel (Riederalp)
fi-70-3	761	Ried-Mörel (Riederalp)
fi-71-1	762	Campo (Vallemaggia)
fi-71-1	763	Campo (Vallemaggia)
fi-71-1	764	Campo (Vallemaggia)
fi-71-2	765	Bosco/Gurin

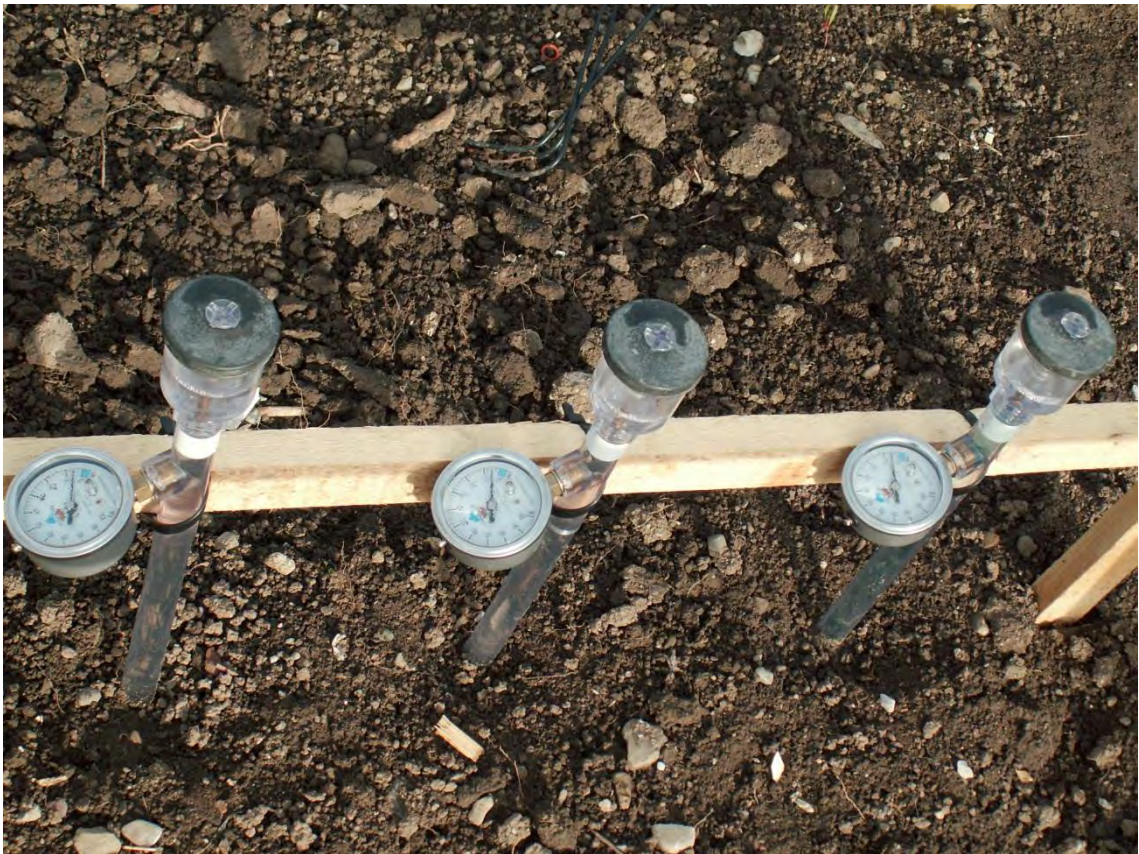
Fichte		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
fi-71-2	766	Bosco/Gurin
fi-73-1	767	Mesocco (San Bernardino)
fi-73-1	768	Mesocco (San Bernardino)
fi-73-1	769	Mesocco (San Bernardino)
fi-73-2	770	Santa Maria in Calanca
fi-73-2	771	Santa Maria in Calanca
fi-73-2	772	Santa Maria in Calanca
fi-75-1	773	Bondo
fi-75-1	774	Bondo
fi-75-1	775	Bondo
fi-76-1	776	Poschiavo
fi-76-1	777	Poschiavo
fi-76-1	778	Poschiavo
fi-81-1a	782	Fully
fi-81-1a	783	Fully
fi-81-1a	784	Fully
fi-81-2	786	Trient (Le Gilliod)
fi-82-1	788	Nax (Forêt des Grands Pras)
fi-82-1	789	Nax (Forêt des Grands Pras)
fi-82-1	790	Nax (Forêt des Grands Pras)
fi-82-2	791	Chalais
fi-82-2	792	Chalais
fi-82-2	793	Chalais
fi-82-3	794	Nax
fi-82-3	795	Nax
fi-82-3	796	Nax
fi-83-1	797	Ayer (Les Mijonettes)
fi-83-1	798	Ayer (Les Mijonettes)
fi-83-1	799	Ayer (Les Mijonettes)
fi-83-2	800	Vissoie (Les Landoux)
fi-83-2	802	Vissoie (Les Landoux)
fi-83-3	843	Grächen
fi-84-1	803	Simplon
fi-84-1	804	Simplon
fi-84-1	805	Simplon
fi-84-2	844	Simplon
fi-91-1	806	Orsières (Praz de Fort)
fi-91-1	807	Orsières (Praz de Fort)

Fichte		
Populations ID	Mutterbaumnummer	Ort
fi-91-1	808	Orsières (Praz de Fort)
fi-93-1	809	Zermatt
fi-93-1	810	Zermatt
fi-93-1	811	Zermatt
fi-IT-1	845	Varzo

Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte

Dokumentation der Feldinstallationen 2012: Bodenfeuchtesensoren und Meteostationen

Aline Frank, Gustav Schneiter, Peter Waldner, Lorenz Walthert, Caroline Heiri



Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee
und Landschaft WSL

Birmensdorf, März 2013

Autoren:

Aline Frank, Gustav Schneiter, Peter Waldner, Lorenz Walthert, Caroline Heiri
Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

Ein Bericht aus dem Projekt «Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte» (http://www.wsl.ch/forschung/forschungsprojekte/wsl_genetische_variation)

Zitierung:

Aline Frank, Gustav Schneiter, Peter Waldner, Lorenz Walthert, Caroline Heiri 2013. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Feldinstallationen 2012: Bodenfeuchtesensoren und Meteostationen. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landschaft, 24 S., unveröff.

Dank

Für die Beratung bei der Auswahl der Bodenfeuchtesensoren danken wir Elisabeth Graf Pannatier. Roger Köchli und Marco Walser danken wir herzlich für ihren Einsatz bei der Installation der Bodenfeuchtesensoren, Roger Köchli insbesondere auch für die Hilfe beim Kalibrieren der EC-5 Sensoren. Oliver Leisibach und Marc Adami waren beim Verkabeln der Sensoren massgeblich beteiligt, Peter Bleuler hat dafür Material zur Verfügung gestellt. Zum Datenmanagement hat Peter Jakob viel beigetragen. Auch ihnen allen gebührt ein grosses Dankeschön. Wir bedanken uns zudem bei Milo Jozic von AgroTerra GmbH für die unkomplizierte Unterstützung beim Einsatz der Tensiometer sowie Beat Büttler für die Hilfe beim Aufstellen der Meteostation in Matzendorf.

Umschlagbild: Jet Fill Tensiometer auf der Versuchsfläche in Birmensdorf für die manuelle Aufzeichnung der Saugspannung im Boden (Foto: Aline Frank).

Inhalt

Abkürzungen	4
1 EINLEITUNG.....	5
2 BODENFEUCHTESENSOREN.....	5
2.1 Sensortypen.....	5
2.1.1 EC-5.....	5
2.1.2 MPS-2	5
2.1.3 Tensiometer.....	6
2.2 Sensorflächen	7
2.3 Auswahl der Messtiefen	7
2.4 Verteilung der Bodenfeuchtesensoren	8
2.5 Installation im Feld	10
2.5.1 EC-5 und MPS-2 Sensoren	10
2.5.2 Tensiometer.....	10
2.6 Kalibration der EC-5 Sensoren.....	11
2.7 Wartung der Bodensensoren.....	12
3 METEOSTATIONEN	13
3.1 Aufbau der Meteostationen	13
3.2 Anschluss der Bodensensoren an die Meteostationen	15
4 DATENVERWALTUNG.....	16
5 DOKUMENTATION.....	16
6 LITERATUR	17
7 ANHANG.....	17

Abkürzungen

Ah	Oberbodenhorizont mit Humusanreicherung
CR1000	Spezifischer Dataloggertyp von Campbell Scientific (Logan UT, USA)
EC-5	Elektronischer Bodenwassergehaltssensor (Decagon Devices, Pullman WA, USA)
GHUMact	Resultierender Bodenwassergehalt der EC-5 Kalibrationsgleichung
GHUMcali	Kalibrationsfaktor; Steigung der EC-5 Kalibrationsgeraden
GHUMmeas	Gemessener Bodenwassergehalt, der in die EC-5 Kalibrationsgleichung einfließt
GHUMoffset	Achsenabschnitt der EC-5 Kalibrationsgeraden
G _{or}	Unterbodenhorizont im Grundwasserbereich mit redoximorphen Merkmalen
GPRS	General Packet Radio Service; paketerientierter Dienst zur Datenübertragung in GSM-Netzen
GSM	Global System for Mobile Communications; Standard für volldigitale Mobilfunknetze
LWF	Langfristige Waldökosystem-Forschung
MPS-2	Elektronischer Sensor zur Ermittlung der Bodensaugspannung und Bodentemperatur
pF	Dekadischer Logarithmus des Betrags der Saugspannung. Bezeichnet das Matrixpotential, d.h. die Energie, mit der das Bodenwasser entgegen der Schwerkraft in der Bodenmatrix gehalten wird.
SQL	Structured Query Language; Datenbanksprache
UV-B	Ultraviolettstrahlung
VWC	Volumetric Water Content; bezeichnet z.B. den volumetrischen Bodenwassergehalt

1 EINLEITUNG

Für die Charakterisierung des Bodenwasserhaushalts und der Witterung an den beiden Versuchsstandorten Birmensdorf und Matzendorf während der Feldexperimente des Projekts ADAPT sowie zur Überwachung späterer Trockenstressbehandlungen wurden zwischen März und September 2012 auf beiden Versuchsflächen Bodenfeuchte- und Meteosensoren installiert. Die Sensoren wurden an zwei fix installierten Meteostationen angeschlossen, von wo aus die gemessenen Daten an einen Server der WSL übermittelt und anschliessend in eine Oracle Datenbank eingelesen werden. Dieser Bericht fasst die einzelnen Schritte dieser technischen Installationen zusammen.

2 BODENFEUCHTESENSOREN

2.1 Sensortypen

Für die Erfassung der Bodenfeuchtigkeit auf den Versuchsflächen kommen sowohl elektronische Sensoren vom Typ EC-5 und MPS-2 (Decagon Devices 2010, 2011) wie auch manuelle Tensiometer (Soilmoisture Equipment 2011) zum Einsatz. Eine Zusammenstellung aller elektronischer Messungen ist im Verzeichnis der Dokumente, Kapitel 5, angegeben.

2.1.1 EC-5

Die EC-5 Sensoren (Abbildung 1, A; Decagon Devices, Pullman WA, USA) ermitteln den **volumetrischen Bodenwassergehalt (VWC)** in m^3/m^3 resp. % VWC via Messung der dielektrischen Konstanten des Bodens. Der Messbereich reicht von 0 bis 100 % VWC. Die Messgenauigkeit mit bodenspezifischer Kalibrierung beträgt laut Hersteller $\pm 0.02 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (± 2 % VWC).

2.1.2 MPS-2

Die MPS-2 Sensoren (Abbildung 1, B; Decagon Devices, Pullman WA, USA) bestimmen das Matrixpotential, d.h. die **Saugspannung** im Boden in kPa über eine kleine Keramikplatte mit bekanntem Porensystem. Gemessen wird der Wassergehalt in der Keramikplatte (wie bei EC-5 Sensoren), dann wird daraus via keramikspezifischer Desorptionskurve die Saugspannung berechnet. Der Messbereich deckt -5 (~ Feldkapazität) bis -500 kPa ab (entspricht pF 1.71 bis pF 3.71). Die Messunsicherheit beträgt im Bereich zwischen -5 und -100 kPa ± 25 % der gemessenen Saugspannung. Bei grösserer Trockenheit nimmt die Sensitivität des Sensors ab, was die Messunsicherheit erhöht (± 35 % der gemessenen Saugspannung bei -300 kPa und ± 50 % bei -500 kPa).

Zusätzlich zeichnen die MPS-2 Sensoren die **Bodentemperatur** im Bereich von -40 °C bis $+50$ °C auf. Die Messgenauigkeit liegt dabei bei ± 1 °C.

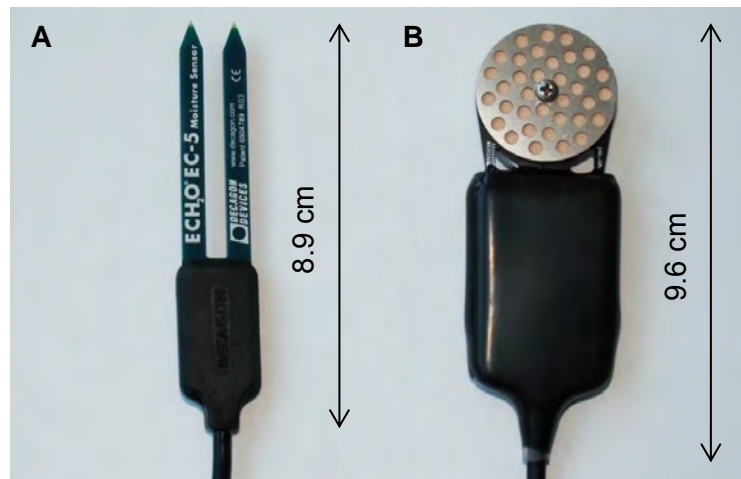


Abbildung 1: Elektronische Bodenfeuchtesensoren. **A)** EC-5 Sensor (Decagon Devices 2010) zur Messung des volumetrischen Wassergehalts. **B)** MPS-2 Sensor (Decagon Devices 2011) zur Ermittlung des Matrixpotentials (Saugspannung).

2.1.3 Tensiometer

Zusätzlich zu den EC-5 Sensoren wird mithilfe von Jet Fill Tensiometern (Abbildung 2; Soil Moisture Equipment, Santa Barbara CA, USA) die **Saugspannung** in cbar (\triangleq kPa) gemessen. Damit wird ein Bereich von 0 bis ca. -85 kPa abgedeckt. Die Tensiometer werden draussen im Feld manuell abgelesen, da sie nicht elektronisch konzipiert sind.

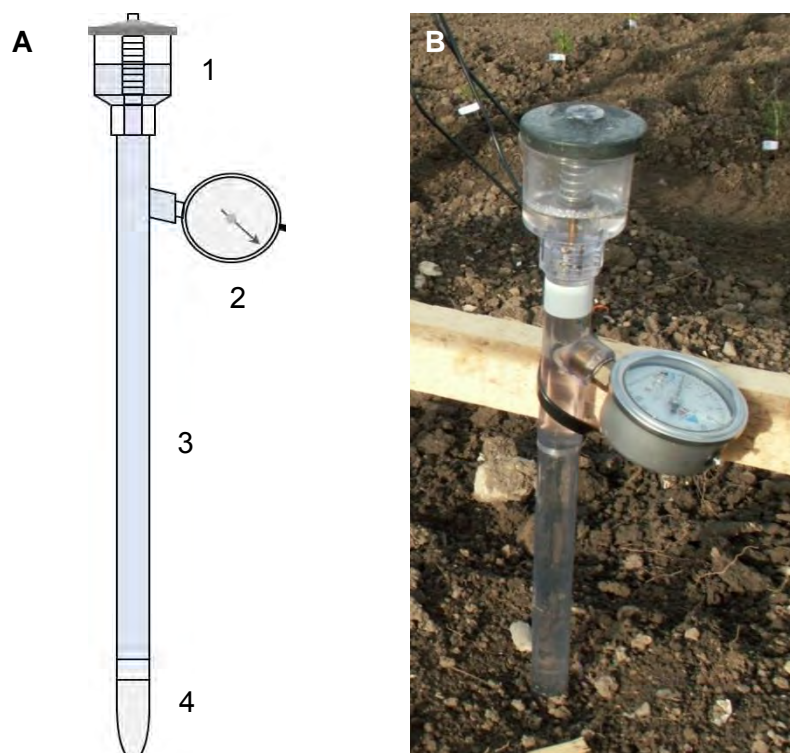


Abbildung 2: **A)** Das Jet Fill Tensiometer besteht aus einem Wasserreservoir (1), über das Wasser in das Rohr nachgespritzt werden kann, aus einem Manometer (2) zum Ablesen der Saugspannung, einem Plastikrohr (3), das den Tensiometerkörper bildet und einer Keramikkerze (4), über die der Wasseraustausch mit dem Boden stattfindet. **B)** Im Feld werden die Tensiometer mit Dachlatten stabilisiert.

2.2 Sensorflächen

Für die Installation der Bodenfeuchtesensoren wurden innerhalb der Versuchsflächen jeweils in den Zwischenräumen angrenzender Blöcke zwei Kleinflächen pro Baumart ausgewählt (Abbildung 3). Diese Sensorflächen wurden so gewählt, dass man in einer allfälligen Trockenstressbehandlung zu einem späteren Zeitpunkt eine Fläche pro Baumart bewässern und die andere austrocknen lassen kann (Versuchsdesign in Frank et al. 2012). Die Sensorflächen sind 2 m breit (entsprechend Blockbreite) und ca. 1.2 m lang. Eine Ausnahme bilden die Flächen B3 und B4: Damit darauf je 27 Bodensensoren Platz fanden, wurden sie auf 2 m x 2 m vergrößert.

Als Abschränkungen rund um die Sensorflächen wurden auf Kniehöhe Dachlatten angebracht. Als Eckpfosten dienten hölzerne Pfosten mit einem Durchmesser von 4 cm.

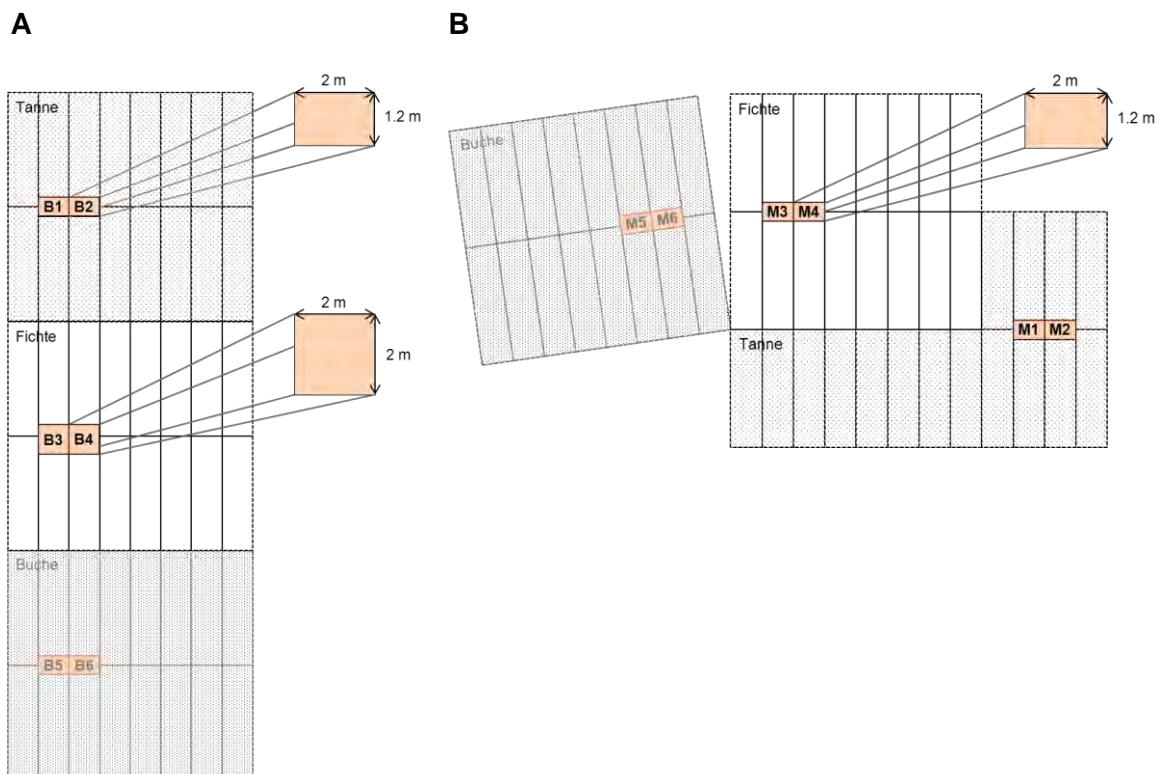


Abbildung 3: Die Versuchsflächen in Birmensdorf (A) und Matzendorf (B) unterteilt nach Baumart und mit eingezeichneten Sensorflächen B1 bis B6 resp. M1 bis M6. Die Buchenflächen (grau) werden erst im Frühjahr 2013 angelegt und mit Bodensensoren bestückt.

2.3 Auswahl der Messtiefen

Für die Bodenfeuchtemessungen auf der Versuchsfläche in Birmensdorf wurden aufgrund der Bodeneigenschaften eines lokalen Bodenprofils (Abbildung 4) drei Messtiefen gewählt, die drei Bodenschichten mit unterschiedlichen Eigenschaften entsprechen: Die Messtiefe 15 cm liegt im Oberboden (Ah Horizont), die Messtiefe 35 cm an der Grenze vom nicht vernässten Ober- zum vernässten Unterboden und die Messtiefe 75 cm im vernässten Unterboden (G_{or} Horizont). In Matzendorf ist der Boden aufgrund der Geologie (anstehendes Kalkgestein) sehr flachgründig, weshalb nur in 15 cm Tiefe Bodensensoren installiert wurden.

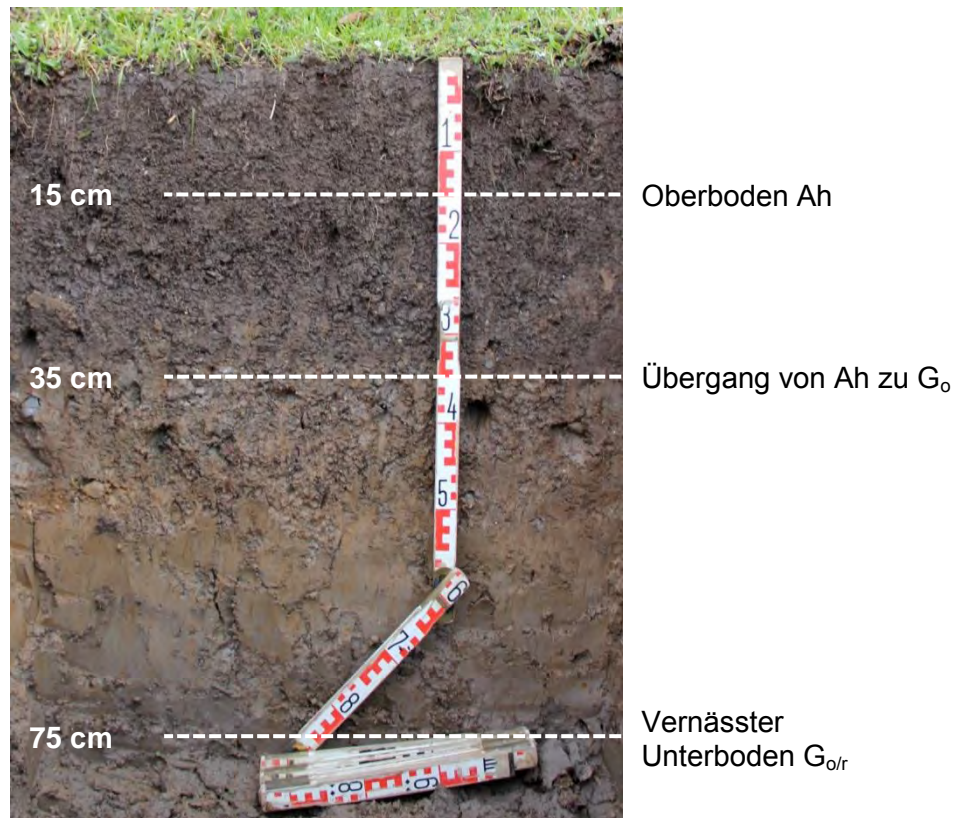


Abbildung 4: Bodenprofil auf der Versuchsfläche in Birmensdorf. Für die Installation der Bodensensoren wurden die Messtiefen 15 cm im Oberboden (nicht vernässt), 35 cm an der Grenze von Ober- zu Unterboden und 75 cm im Unterboden (vernässt) gewählt.

2.4 Verteilung der Bodenfeuchtesensoren

Die Versuchsflächen in Birmensdorf und Matzendorf werden bis ins Jahr 2013 mit insgesamt 60 Sensoren jedes Sensortyps (EC-5, MPS-2 und Jet Fill Tensiometer, Kapitel 2.1) bestückt (Abbildung 5, Tabelle 1). Im Frühling 2012 wurden die Tannen- und Fichtenflächen mit Bodenfeuchtesensoren ausgerüstet, was in einer Gesamtzahl von 42 Sensoren jedes Sensortyps resultierte. Die Installation der Bodenfeuchtesensoren auf den Buchenflächen erfolgt im Frühling 2013, bevor die Buchensämlinge ausgepflanzt werden.

Die Bodenfeuchtesensoren wurden innerhalb der Sensorflächen anhand eines Schemas (Abbildung 5) möglichst gleichmässig verteilt. Sensoren gleichen Typs und gleicher Messtiefe wurden in einer Linie nebeneinander platziert im Abstand von 25 bis 30 cm, um eine Interaktion zwischen Sensoren auszuschliessen. In jeder Messtiefe wurden jeweils drei Sensoren gesetzt, so dass auf jeder Sensorfläche drei Messwiederholungen in der jeweiligen Bodenschicht gemacht werden können.

Zur eindeutigen Beschriftung der elektronischen Sensoren wurde folgender Schlüssel verwendet:

Versuchsstandort
Sensorfläche
Messtiefe
Messwiederholung

B = Birmensdorf, M = Matzendorf
1 bis 6
a = 15 cm, b = 35 cm, c = 75 cm
1 bis 3

... ergibt z.B. **B1a1**

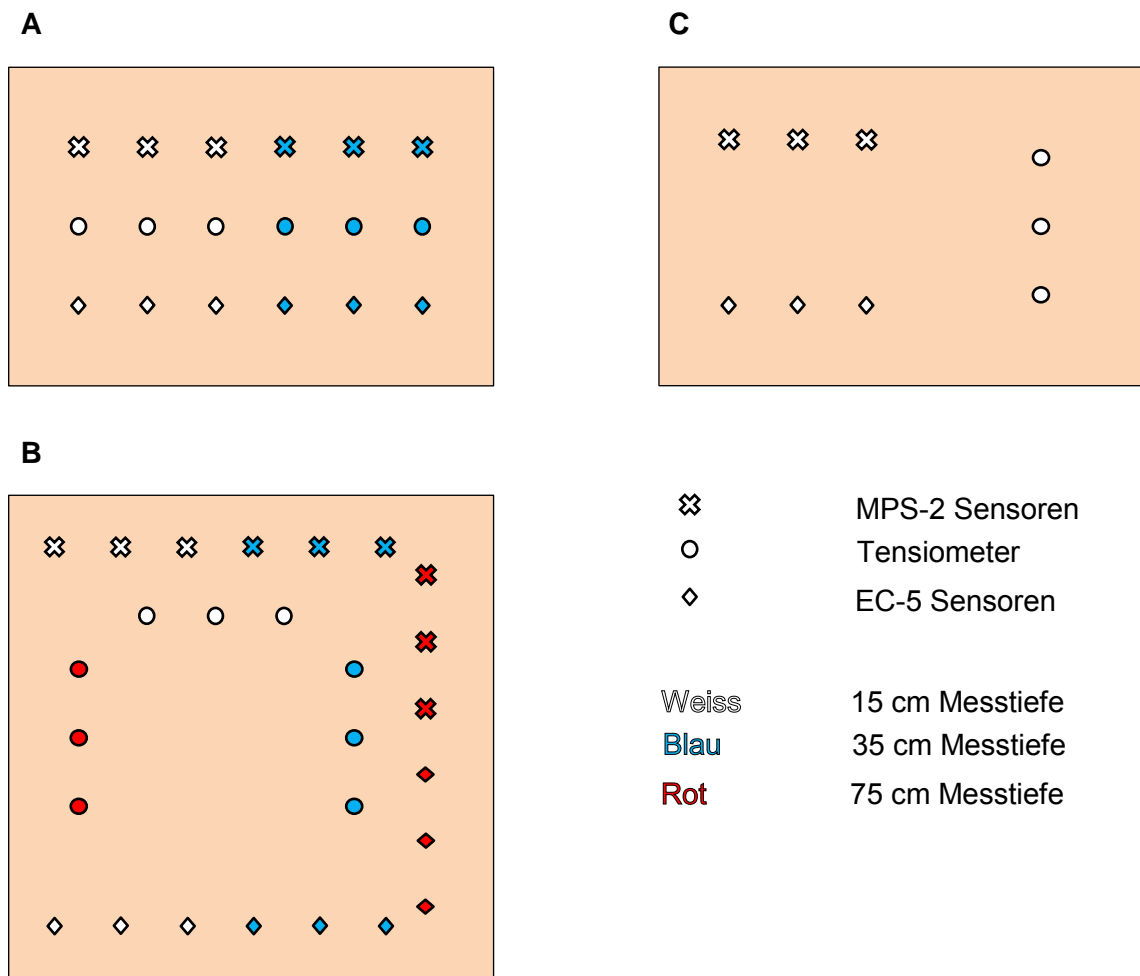


Abbildung 5: Anordnung der Bodenfeuchtesensoren auf den Sensorflächen aus der Vogelperspektive. In Birmensdorf sind die Sensorflächen B1, B2, B5 und B6 mit je 18 Sensoren in zwei Messtiefen bestückt **(A)**, die Sensorflächen B3 und B4 mit je 27 Sensoren in drei Messtiefen **(B)**. In Matzendorf **(C)** sind auf allen Sensorflächen je 9 Sensoren in einer einzigen Messtiefe installiert.

Tabelle 1: Verteilung der Bodenfeuchtesensoren auf den Versuchsflächen. Die im Frühjahr 2012 installierten Sensoren sind schwarz, die für 2013 geplanten Sensoren grau dargestellt.

Standort	Sensorfläche			Anzahl Sensoren pro Typ		
	Bezeichnung	Baumart	Grösse	Messtiefe 15 cm	Messtiefe 35 cm	Messtiefe 75 cm
Birmensdorf	B1	Tanne	1.2 m x 2 m	3	3	0
	B2	Tanne	1.2 m x 2 m	3	3	0
	B3	Fichte	2 m x 2 m	3	3	3
	B4	Fichte	2 m x 2 m	3	3	3
	B5	Buche	1.2 m x 2 m	3	3	0
	B6	Buche	1.2 m x 2 m	3	3	0
Matzendorf	M1	Fichte	1.2 m x 2 m	3	0	0
	M2	Fichte	1.2 m x 2 m	3	0	0
	M3	Tanne	1.2 m x 2 m	3	0	0
	M4	Tanne	1.2 m x 2 m	3	0	0
	M5	Buche	1.2 m x 2 m	3	0	0
	M6	Buche	1.2 m x 2 m	3	0	0
Anzahl Sensoren total pro Sensortyp realisiert 2012 (ohne Buche)					42	
Anzahl Sensoren total pro Sensortyp realisiert 2013 (mit Buche)					60	

2.5 Installation im Feld

2.5.1 EC-5 und MPS-2 Sensoren

Für die Platzierung der EC-5 und MPS-2 Sensoren wurde mit dem Spaten ein Bodenschlitz ausgehoben, so dass die Sensoren waagrecht in die Bodenwand gestossen werden konnten (Abbildung 6). Mit einem Messer wurde ein Spalt in den Boden gemacht, um das Einschieben des Sensors zu vereinfachen und um sicher zu stellen, dass die Sensoren nicht mit Steinen in Kontakt kamen (Risiko für Verfälschung der Messungen). Anschliessend wurde der Bodenschlitz aufgefüllt und die Kabel gebündelt zur Oberfläche geführt. Die Kabel wurden zusammengebunden und bis zur Verkabelung mit den Meteostationen (Kapitel 3.2) in Plastiksäcken an die Pfosten der Sensorflächenabschränkungen gehängt. Eine kleine Öffnung auf der Unterseite sorgte dafür, dass sich kein Kondenswasser ansammeln konnte.

Bei der Installation der elektronischen Bodenfeuchtesensoren wurden gleichzeitig in den verschiedenen Messtiefen volumetrische Bodenproben mit Burgerzylindern genommen und Kalibrationserde gesammelt für die spätere Laborkalibration der EC-5 Sensoren (Kapitel 2.6).



Abbildung 6: Platzierung eines MPS-2 Sensors in 15 cm Tiefe mithilfe eines stumpfen Messers.

2.5.2 Tensiometer

Vor der Installation der Jet Fill Tensiometer wurden die Instrumente mit Wasser gefüllt und mit einer Vakuumpumpe geprüft, ob sie dicht waren. Zur Verhinderung von Algenbildung wurden dem Füllwasser einige Tropfen Blaüflüssigkeit (pflanzenverträgliches Algizid, AgroTerra GmbH, Root, Schweiz) zugegeben. Jedes geprüfte Tensiometer wurde mit einem Wasserreservoir (Kapitel 2.1.3) ausgestattet und kalibriert, d.h. der Nullpunkt des Manometers bei Umgebungsluftdruck eingestellt. Mit einem Bodenbohrer (AgroTerra GmbH, Root, Schweiz) wurde sorgfältig ein Loch mit der entsprechenden Messtiefe (von der Bodenoberfläche bis Mitte Saugkerze) ausgestochen. Mit beiden Händen wurde anschliessend das Tensiometer in den Boden gestossen, so dass die Kerze satt im Boden zu stehen kam. Rund um das Tensiometer herum wurde die Erde gut festgedrückt, um ein Abfließen von Regenwasser entlang des Tensiometerschafts zu verhindern. Zur Stabilisierung wurden die Tensiometer mit den geringen Messtiefen (15 cm und 35 cm) mit Kabelbindern an Dachlatten fixiert (Abbildung 2, B).

2.6 Kalibration der EC-5 Sensoren

Die Genauigkeit der EC-5 Bodenwassergehaltssensoren kann durch eine bodenspezifische Kalibration verbessert werden (Decagon Devices 2010).

Die Kalibration der EC-5 Sensoren erfolgte am 24. und 26. Juli 2012 entsprechend der LWF Anleitung für die Installation und Kalibration der Bodenwassergehaltssensoren ECHO EC-5 (Schlegel et al. 2009). Mit dem CR1000 Datenlogger (Campbell Scientific Inc., North Logan UT, USA) wurde allerdings für das Projekt ADAPT ein neuerer Loggertyp verwendet. Für jede Messtiefe wurde die Kalibration drei Mal wiederholt. Der Ablauf der Kalibration ist zusammengefasst in Abbildung 7.

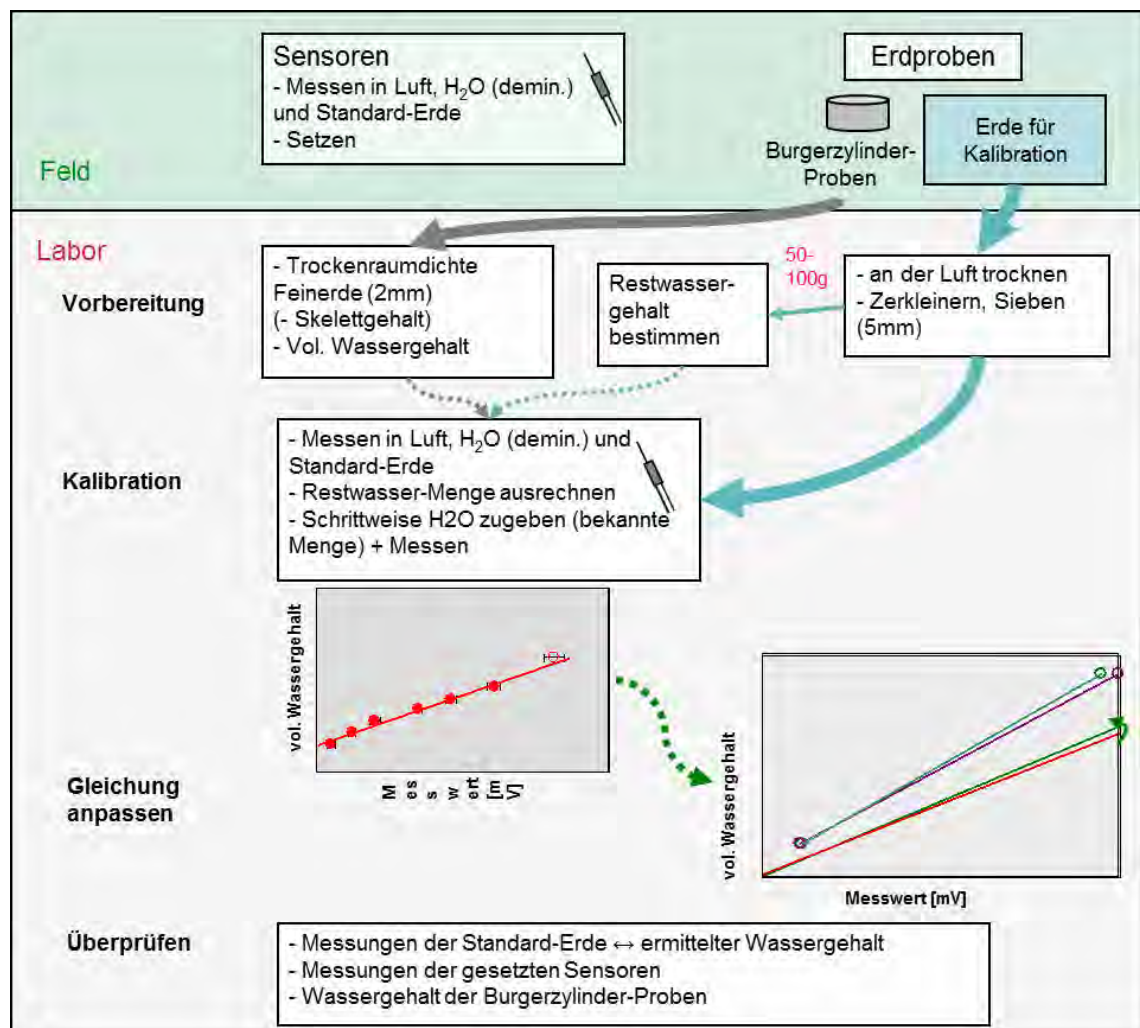


Abbildung 7: Ablauf der Kalibration für die EC-5 Sensoren (Schlegel et al. 2009).

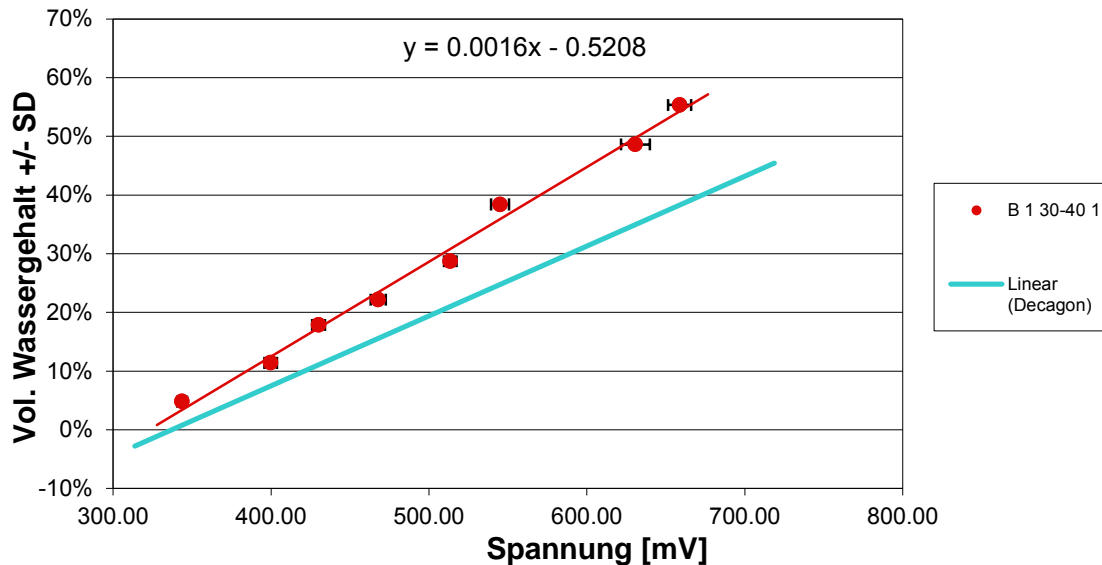


Abbildung 8: Beispiel einer Kalibrationsgleichung (rot, Standort Birmensdorf, 30-40 cm Tiefe) für eine Messreihe in einer Messtiefe. Als Vergleich dazu ist die vom Dataloggerhersteller angegebene Standardformel für Mineralböden eingetragen (blau; Decagon Devices 2010).

Die **Steigungen** und **Achsenabschnitte** der Regressionsgeraden der drei Kalibrationen pro Standort und Messtiefe (Beispiel in Abbildung 8) wurden gemittelt. Die daraus resultierenden Werte flossen direkt in die neuen Kalibrationsgleichungen ein (Gleichung 1). Diese neuen Kalibrationsgleichungen – jeweils eine Gleichung pro Versuchsstandort und Messtiefe (Anhang A) – wurden dann im Programm der Datalogger notiert.

$$GHUM_{act} = GHUM_{cali} * GHUM_{meas} + GHUM_{offset}$$

1

<i>GHUM_{act}</i>	<i>resultierender Bodenwassergehalt</i>
<i>GHUM_{cali}</i>	<i>Kalibrationsfaktor (Steigung der Regressionsgeraden)</i>
<i>GHUM_{meas}</i>	<i>gemessener Bodenwassergehalt</i>
<i>GHUM_{offset}</i>	<i>Achsenabschnitt der Regressionsgeraden</i>

2.7 Wartung der Bodensensoren

Bei den elektronischen Bodenfeuchtesensoren fallen keine Unterhaltsarbeiten an. Die Tensiometer hingegen müssen regelmässig gewartet werden: Die Jet Fill Reservoirs werden mit Wasser aufgefüllt. Dazu kann normales Leitungswasser verwendet werden mit einem Zusatz von Blauflüssigkeit gegen Algenbildung. Nach jedem Ablesen der Saugspannung wird frisches Wasser aus dem Reservoir eingespritzt, so dass das Tensiometer gleichzeitig entlüftet und aufgefüllt wird. Zudem wird das Manometer nach dem Ablesen über Druck auf das Ventil (Abbildung 2, A) entlüftet. Über den Winter werden die Tensiometer vorübergehend stillgelegt. Die Manometer und Reservoirs werden für diese Zeit entfernt, eine Mischung von 2/3 Wasser und 1/3 Ethanol zum Schutz vor Frost in die Tensiometer eingefüllt und diese mit Schraubdeckeln verschlossen.

3 METEOSTATIONEN

3.1 Aufbau der Meteostationen

Die beiden Stationen für die meteorologischen Messungen auf den ADAPT-Versuchsflächen wurden nach dem Vorbild der LWF-Meteostationen der WSL konzipiert, die den Vorgaben von MeteoSchweiz und der World Meteorological Organization angepasst sind (Schneiter et al. 2004). Im Vergleich zu den LWF-Stationen wurde allerdings die Anzahl meteorologischen Messgrößen reduziert (Tabelle 2), da ADAPT keine Daten zu Wind und UV-B sowie photosynthetisch aktiver Strahlung benötigt.

Die beiden Meteostationen für ADAPT wurden durch die Firma waljag GmbH (Malans, Schweiz) für die Installation vorbereitet. Die Stationen bestehen aus den Meteosensoren sowie strukturellen Komponenten (Abbildung 9 und Tabelle 2) und fassen zudem die einzelnen elektronischen Bodensensoren (Kapitel 2) zusammen.

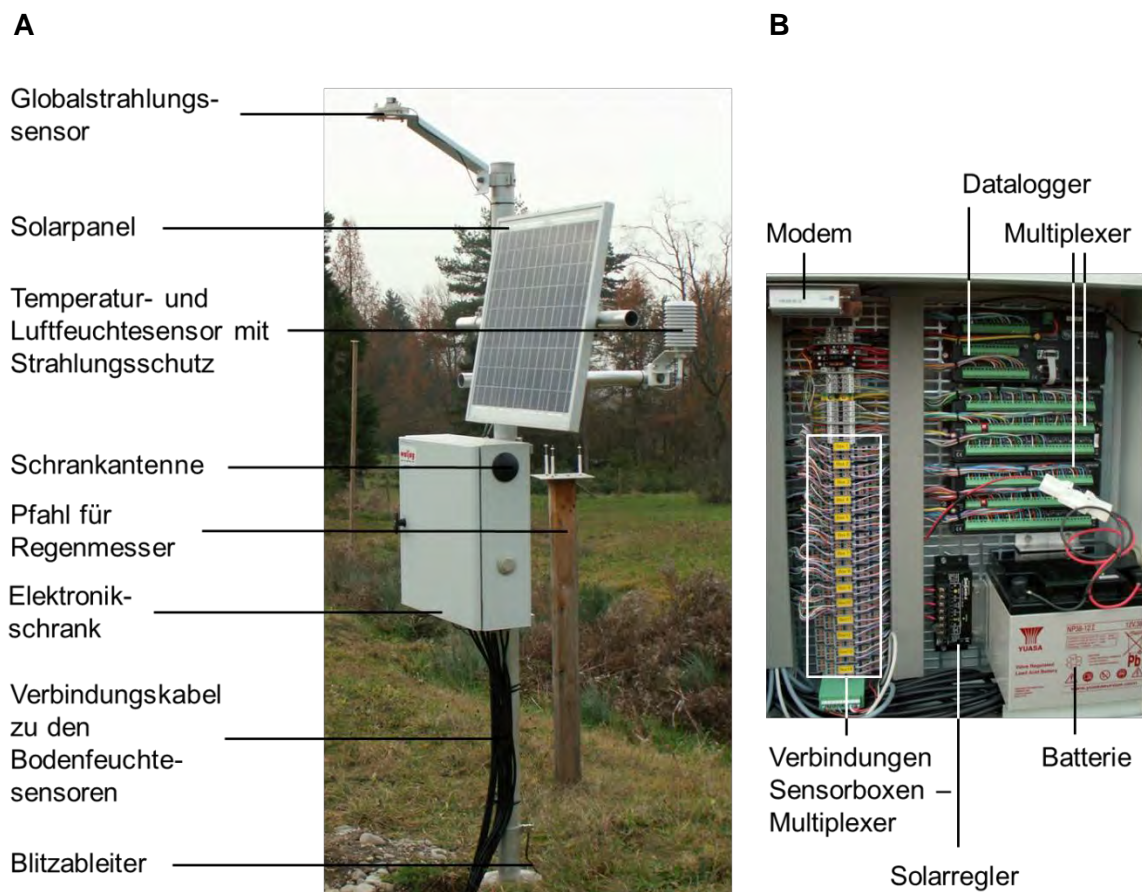


Abbildung 9: Meteostation am Versuchsstandort in Birmensdorf. **A)** Aussenansicht der Meteostation. Der Regenmesser wird erst im Frühling 2013 installiert. **B)** Innenansicht Elektronikschrank.

Tabelle 2: Meteo- und Bodenfeuchtesensoren sowie strukturelle Komponenten der Meteostationen an den ADAPT-Versuchsstandorten. Die Bodenfeuchtesensoren sind detailliert beschrieben in Kapitel 2.1.

Einzelteile	Typ / Material / Masse	Messung / Zweck	Sensor- höhe über Boden [cm]	Einheit	Mess- intervall [s]
Meteosensoren					
Temperatursensor	T/rH HC2-S3 Hygroclip	Lufttemperatur	200	°C	60
Luftfeuchtesensor	T/rH HC2-S3 Hygroclip	Relative Luftfeuchtigkeit	200	%	60
Niederschlags- messer (Wippe)	ARG100	Niederschlag	150	mm	5
Globalstrahlungs- sensor	SKS1110/S (SKYE)	Globalstrahlung	300	W/m ²	60
Bodenfeuchtesensoren					
Bodenwasser- gehaltssensoren	EC-5	Volumetrischer Bodenwassergehalt	-15, -35, -75	m ³ /m ³ (= % VWC)	600
Saugspannungs- sensoren	MPS-2	Matrixpotential	-15, -35, -75	kPa	600
Temperatursensor	MPS-2	Bodentemperatur	15, -35, -75	°C	600
Strukturelle Komponenten					
Mast	Aluminium, 3 m	Grundgerüst			
Blitzantenne		Blitzschutz Matzendorf			
Blitzableiter	2 x 5 m Kupferkabel	Ableitung von Blitzschlag			
Schrank	Stahlblech 600 x 600 x 200 mm ³	Zusammenfassung und Schutz elektronischer Komponenten			
Schloss	KABA5000 T-Griff	Verschluss Schrank			
Schrankhalterung	30-80 mm	Fixierung Schrank			
Multiplexer	Campbell AM16/32, 2 Stück	Zusammenfassen der Daten			
Datalogger	Campbell CR1000 Std24	Aufzeichnung der Daten			
Modem	GSM fastcom	Datenübertragung			
Schrankantenne		Datenübertragung			
Solarregler	SunSaver SS6	Regulierung Solarpanel			
Solarpanel	50W	Stromversorgung			
Batterie	NP38 12 V	Stromversorgung			

Vorgängig zum Aufbau der Meteostationen wurden die Masten mit einem Zementsockel im Boden verankert. Dazu wurde ein Betonrohr (Durchmesser 50 cm, Länge 60 cm) in den Boden eingelassen, der Mast darin einzementiert und mit Dachlatten stabilisiert. Nachdem das Fundament komplett ausgehärtet war, wurden der Elektronikschrank, das Solarpanel und mit Ausnahme des Regenmessers (Montage im Frühling 2013) alle Meteosensoren montiert sowie die Bodensensoren angeschlossen (Kapitel 3.2). Für den Blitzableiter aus Kupferdraht wurde links und rechts der Station ein 20-30 cm tiefer und je ca. 5 m langer Graben ausgehoben. Die beiden Kupferdrahtstücke wurden dann oberhalb des Sockels mit dem Mast der Meteostation verbunden, in die Gräben verlegt und wieder mit Erde bedeckt. Die Station in Matzendorf wurde zusätzlich mit einer Blitzschutzantenne ausgerüstet. Die Montage der Meteostationen erfolgte in Birmensdorf am 26. Juni 2013, in Matzendorf am 25. September 2012.

3.2 Anschluss der Bodensensoren an die Meteostationen

Für den Anschluss der elektronischen Bodenfeuchtesensoren an die Datalogger der Meteostationen wurden auf jeder Sensorfläche die drei MPS-2 und drei EC-5 Sensoren gleicher Messtiefe in Verteilerboxen (waljag GmbH, Malans, Schweiz) gebündelt und in einem Messkabel (Polyethylenkabel PE-ALT 3x4x0.6sz, Heiniger Kabel AG, Köniz) zusammengefasst. Dabei wurden die Kabel der Bodensensoren den Sensorflächenabschränkungen entlang geführt und mit Kabelbinder befestigt. Eine schematische Darstellung der Zusammenfassung der einzelnen Sensoren in Verteilerboxen findet sich in Abbildung 10, eine Detailansicht in Abbildung 11. Die ausgehenden Messkabel der einzelnen Verteilerboxen wurden dann in 30 cm tiefen Gräben zu den Meteostationen hingeführt (Anhang B) und mit den Multiplexer verkabelt. Um alle Kabel vor mechanischer Beschädigung zu schützen, wurden die Abschnitte zwischen Boden und Sensorflächenabschränkung resp. Verteilerbox in Schutzrohre (Metallschlauch Ferroplast, Otto Fischer, Zürich, Schweiz) gelegt.

Die Verkabelung in den Verteilerboxen wie auch im Schrank der Meteostationen erfolgten exakt nach den von waljag GmbH vorgegebenen Schemata (Anhang C).

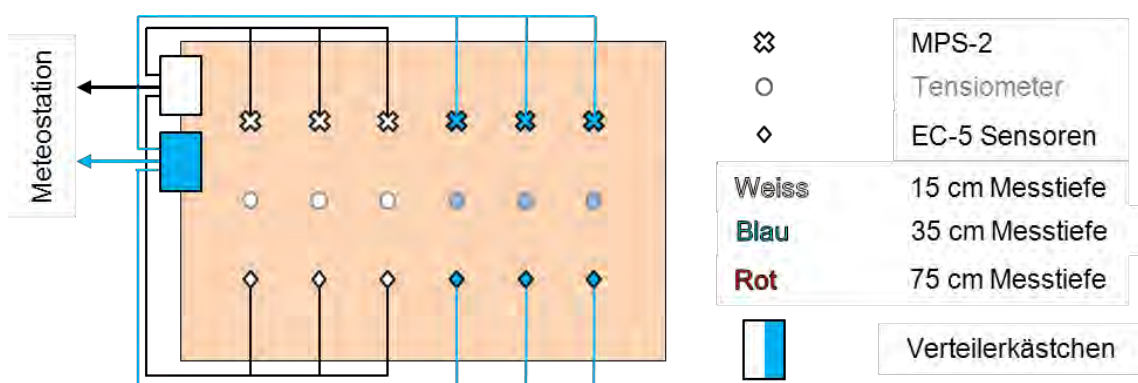


Abbildung 10: Beispiel für die Zusammenfassung der elektronischen Bodensensoren einer Sensorfläche in Verteilerboxen (Ansicht von oben). An jeder Box sind insgesamt 6 Sensoren derselben Messtiefe, d.h. 3 MPS-2 und 3 EC-5 Sensoren, angeschlossen. Ausgehend von jeder Box stellt jeweils ein Messkabel die Verbindung mit der Meteostation her.

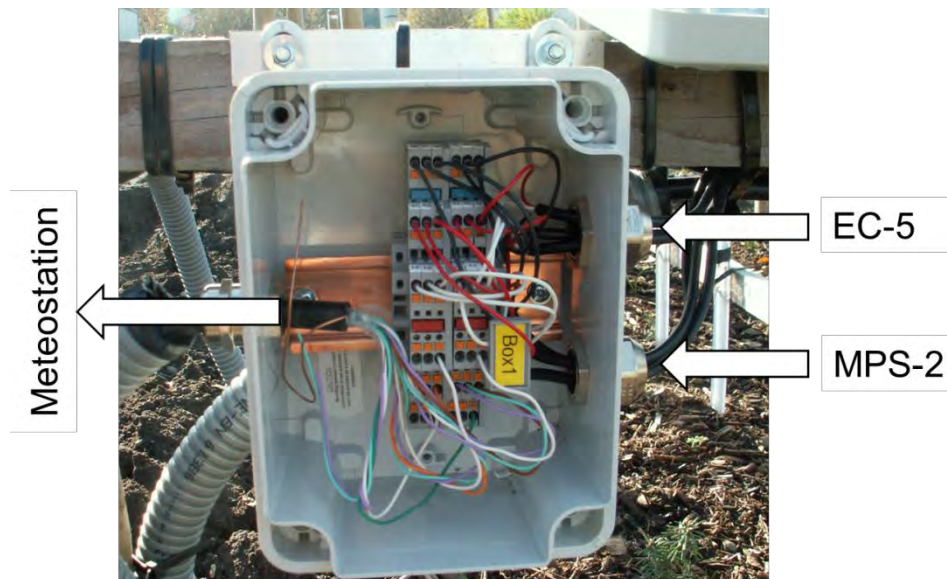


Abbildung 11: Detailansicht einer Verteilerbox. Jeweils drei MPS-2 und EC-5 Sensoren (rechts) wurden über beschriftete Anschlussklemmen mit dem Messkabel (links) verbunden.

4 DATENVERWALTUNG

Die Daten der Meteo- und Bodenfeuchtesensoren werden auf den beiden CR1000 Datalogger im Intervall von 10 Minuten gespeichert und täglich über das Modem mittels GPRS-Technologie auf einen Server der WSL übertragen. Die Daten werden anschliessend einmal pro Tag automatisch in eine Oracle Datenbank eingelesen und dabei einer Plausibilitätsprüfung unterzogen (Schneider et al. 2004). Die komplette Auflistung aller Messungen ist zu finden in der Tabelle „ADAPT-Sensoren“ (Kapitel 5). Eine Abfrage der Daten in Oracle erfolgt mit SQL über die Software PLSQL Developer (Allround Automations, Enschede, Holland) oder kann direkt in der Statistiksoftware R (R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich) getätigt werden. Eine visuelle Überprüfung der Daten wird mit der neuen Internetanwendung „LWF adataLog“ von Emanuel Stöckli (2012/2013) erreicht.

5 DOKUMENTATION

Tabelle 3: Verzeichnis der Dokumente.

Beschreibung	Pfad und Dateiname
Anleitung zur Kalibration der EC-5 Sensoren	N:\prj\Adapt\Instrumentierung\EC-5\Anleitung_Echo_20091125.doc
Tabelle aller Meteo- und Bodenfeuchte-sensoren	N:\prj\Adapt\Instrumentierung\Meteostationen\ADAPT_Sensoren.xls
Tagebuch ADAPT	N:\prj\Adapt\Tagebuch Adapt.xls

6 LITERATUR

Decagon Devices. 2010. EC-20, EC-10, EC-5 Soil Moisture Sensors User's Manual, Version 10. Decagon Devices, Pullman WA, USA, 25 S.

Decagon Devices. 2011. MPS-2 Dielectric Water Potential Sensor Operator's Manual, Version 1. Decagon Devices, Pullman WA, USA, 27 S.

Frank, A., C. Heiri, und A. Burkart 2012. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Tannen- und Fichtenpflanzung im Frühling 2012. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., 26 S., unveröff.

Schlegel, M., P. Waldner, E. Pannatier, und O. Schramm. 2009. LWF Anleitung für die Installation und Kalibration der Bodenwassergehaltssensoren ECHO EC-5. LWF Langfristige Waldökosystem-Forschung. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., 18 S., unveröff.

Schneiter, G., P. Jakob, und M. Rebetez. 2004. Sieben Jahre meteorologische Datenerfassung im Schweizer Wald. Inf.bl. Forsch.bereich Wald 17:4-6.

Soilmoisture Equipment. 2011. 2710ARL Tensiometer and 2725ARL Jet Fill Tensiometer Operating Instructions. Zugriff am 18. Juni 2012. http://www.soilmoisture.com/PDF/0898-2710_2725.pdf.

Stöckli, E. 2012/2013. LWF adataLog. Langfristige Waldökosystem-Forschung LWF an der WSL. Zugriff am 28. Januar 2013. <http://adatalog.lwf.ch>.

7 ANHANG

A) Kalibrationsgleichungen	S. 18
B) Verlauf der Kabel auf den Versuchsflächen	S. 19
C) Schemata für die Verkabelung der Sensoren	S. 21

A) Kalibrationsgleichungen

GHUMact [m3m-3] = LOG_Koeffizient * GHUMmeas [mV] + LOG_Offset

'--- siehe O:\LWF\Projekte\Adapt\Installation\ADAPT_Sensoren.xls

Station Birmensdorf

Je nach Bodentiefe unterscheiden sich die Kalibrationsgleichungen in Steigung und Achsenabschnitt.

GHUMact(1) = 0.0016810 * GHUMact(1) - 0.5397974
 GHUMact(2) = 0.0016810 * GHUMact(2) - 0.5397974
 GHUMact(3) = 0.0016810 * GHUMact(3) - 0.5397974
 GHUMact(4) = 0.0016626 * GHUMact(4) - 0.5410546
 GHUMact(5) = 0.0016626 * GHUMact(5) - 0.5410546
 GHUMact(6) = 0.0016626 * GHUMact(6) - 0.5410546
 GHUMact(7) = 0.0016810 * GHUMact(7) - 0.5397974
 GHUMact(8) = 0.0016810 * GHUMact(8) - 0.5397974
 GHUMact(9) = 0.0016810 * GHUMact(9) - 0.5397974
 GHUMact(10) = 0.0016626 * GHUMact(10) - 0.5410546
 GHUMact(11) = 0.0016626 * GHUMact(11) - 0.5410546
 GHUMact(12) = 0.0016626 * GHUMact(12) - 0.5410546
 GHUMact(13) = 0.0016810 * GHUMact(13) - 0.5397974
 GHUMact(14) = 0.0016810 * GHUMact(14) - 0.5397974
 GHUMact(15) = 0.0016810 * GHUMact(15) - 0.5397974
 GHUMact(16) = 0.0016626 * GHUMact(16) - 0.5410546
 GHUMact(17) = 0.0016626 * GHUMact(17) - 0.5410546
 GHUMact(18) = 0.0016626 * GHUMact(18) - 0.5410546
 GHUMact(19) = 0.0016535 * GHUMact(19) - 0.5557036
 GHUMact(20) = 0.0016535 * GHUMact(20) - 0.5557036
 GHUMact(21) = 0.0016535 * GHUMact(21) - 0.5557036
 GHUMact(22) = 0.0016810 * GHUMact(22) - 0.5397974
 GHUMact(23) = 0.0016810 * GHUMact(23) - 0.5397974
 GHUMact(24) = 0.0016810 * GHUMact(24) - 0.5397974
 GHUMact(25) = 0.0016626 * GHUMact(25) - 0.5410546
 GHUMact(26) = 0.0016626 * GHUMact(26) - 0.5410546
 GHUMact(27) = 0.0016626 * GHUMact(27) - 0.5410546
 GHUMact(28) = 0.0016535 * GHUMact(28) - 0.5557036
 GHUMact(29) = 0.0016535 * GHUMact(29) - 0.5557036
 GHUMact(30) = 0.0016535 * GHUMact(30) - 0.5557036
 GHUMact(31) = 0.0016810 * GHUMact(31) - 0.5397974
 GHUMact(32) = 0.0016810 * GHUMact(32) - 0.5397974
 GHUMact(33) = 0.0016810 * GHUMact(33) - 0.5397974
 GHUMact(34) = 0.0016626 * GHUMact(34) - 0.5410546
 GHUMact(35) = 0.0016626 * GHUMact(35) - 0.5410546
 GHUMact(36) = 0.0016626 * GHUMact(36) - 0.5410546
 GHUMact(37) = 0.0016810 * GHUMact(37) - 0.5397974
 GHUMact(38) = 0.0016810 * GHUMact(38) - 0.5397974
 GHUMact(39) = 0.0016810 * GHUMact(39) - 0.5397974
 GHUMact(40) = 0.0016626 * GHUMact(40) - 0.5410546
 GHUMact(41) = 0.0016626 * GHUMact(41) - 0.5410546
 GHUMact(42) = 0.0016626 * GHUMact(42) - 0.5410546

Station Matzendorf

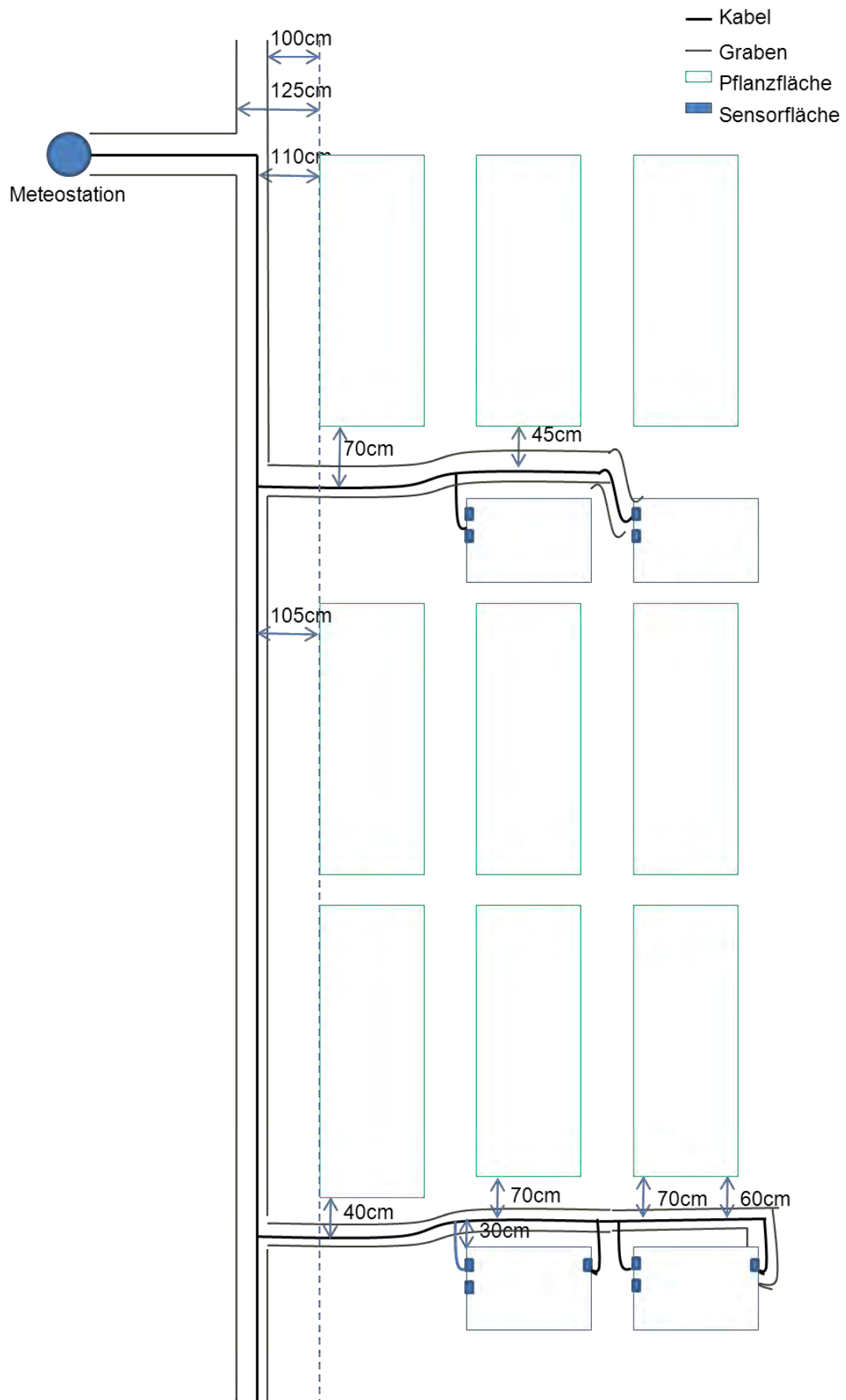
Für alle Sensoren gilt dieselbe Kalibrationsgleichung, da alle in derselben Tiefe gesetzt wurden.

GHUMact(X) = 0.0018044 * GHUMact(X) - 0.582563921350565

B) Verlauf der Kabel auf den Versuchsflächen

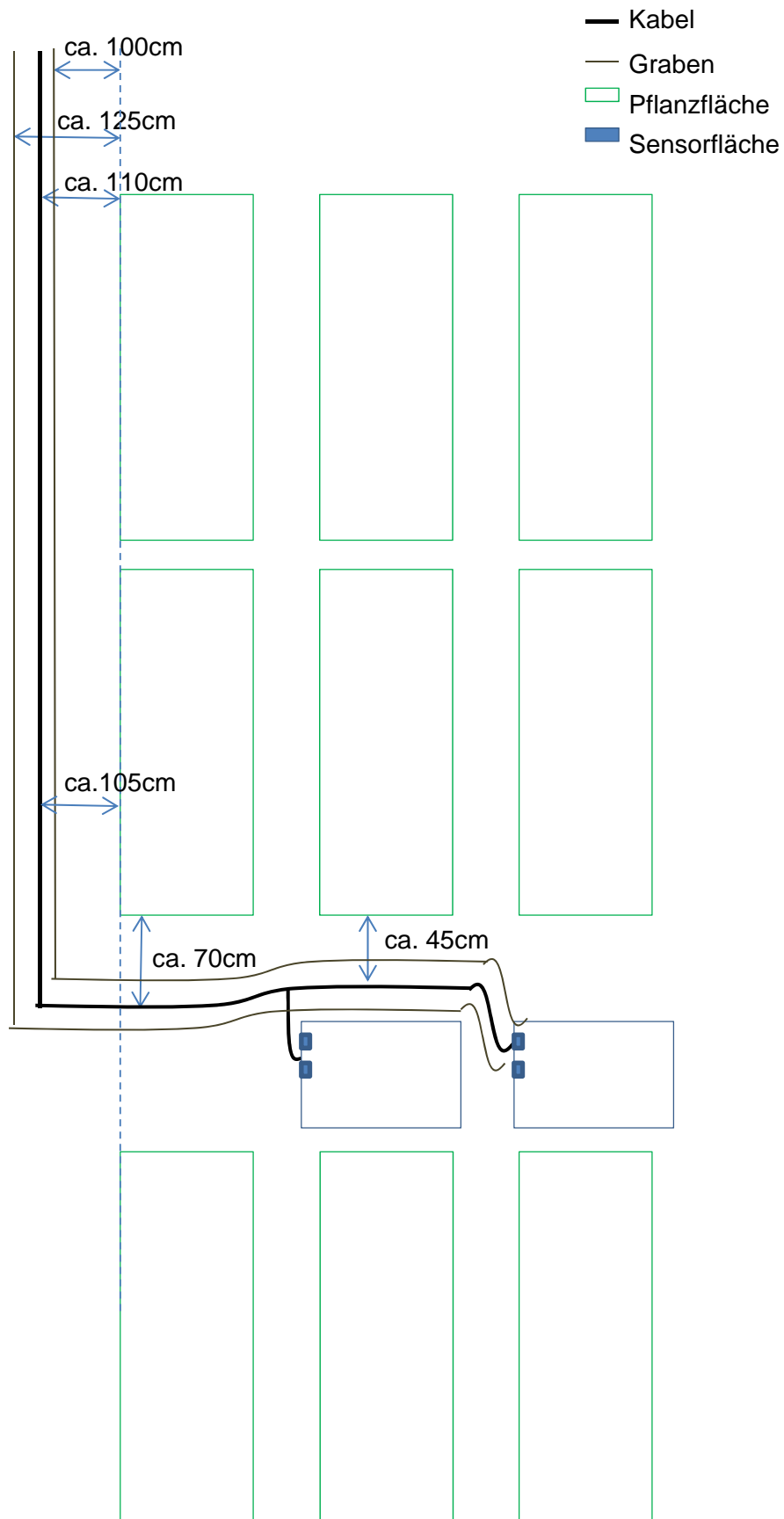
Birmensdorf

(Schema: Marc Adami)



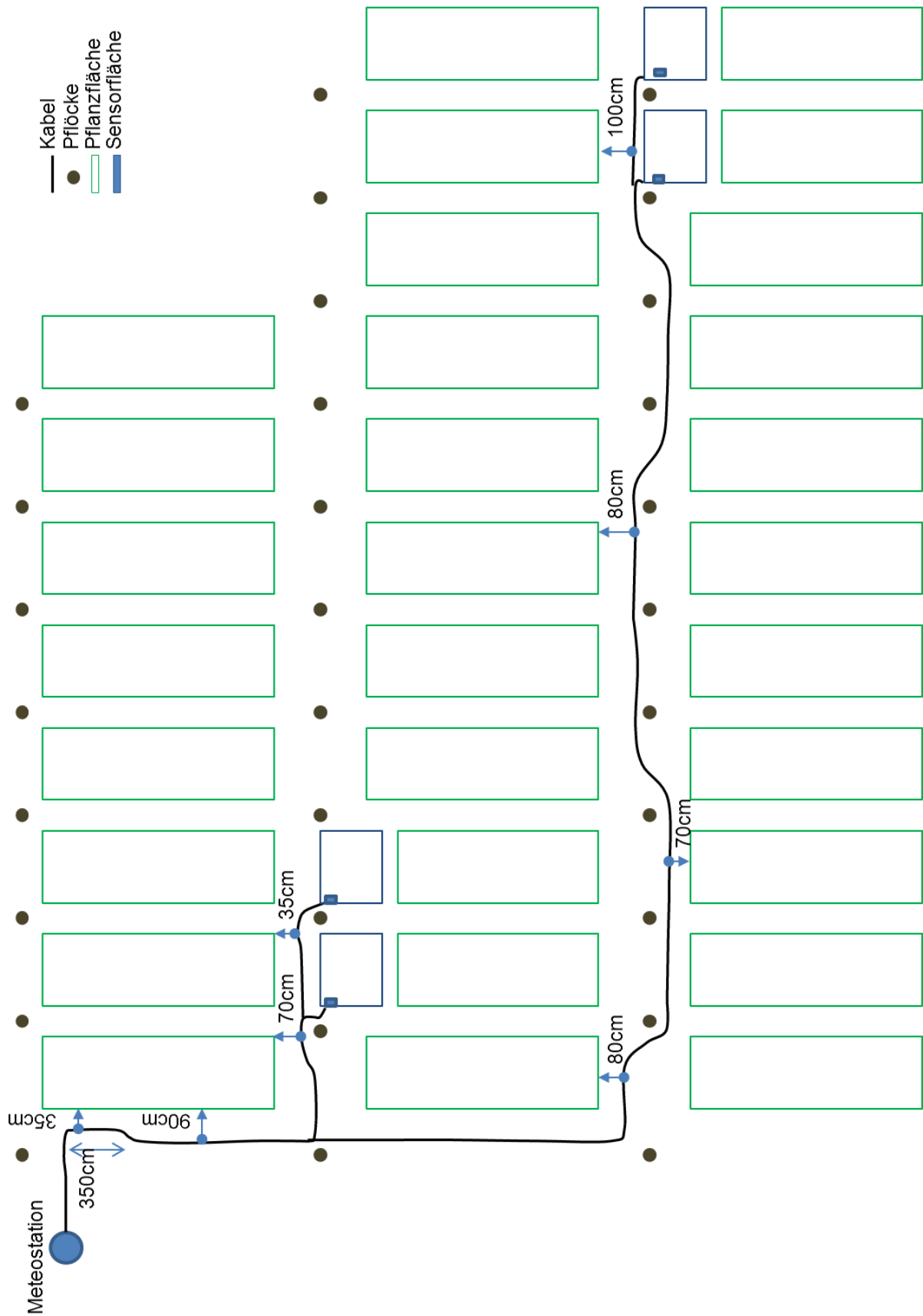
Bodensensoren für Buchenfläche Birmensdorf

installiert im Frühling 2013 analog Sensorflächen Tanne und Fichte
(vgl. Abbildung 3, A).



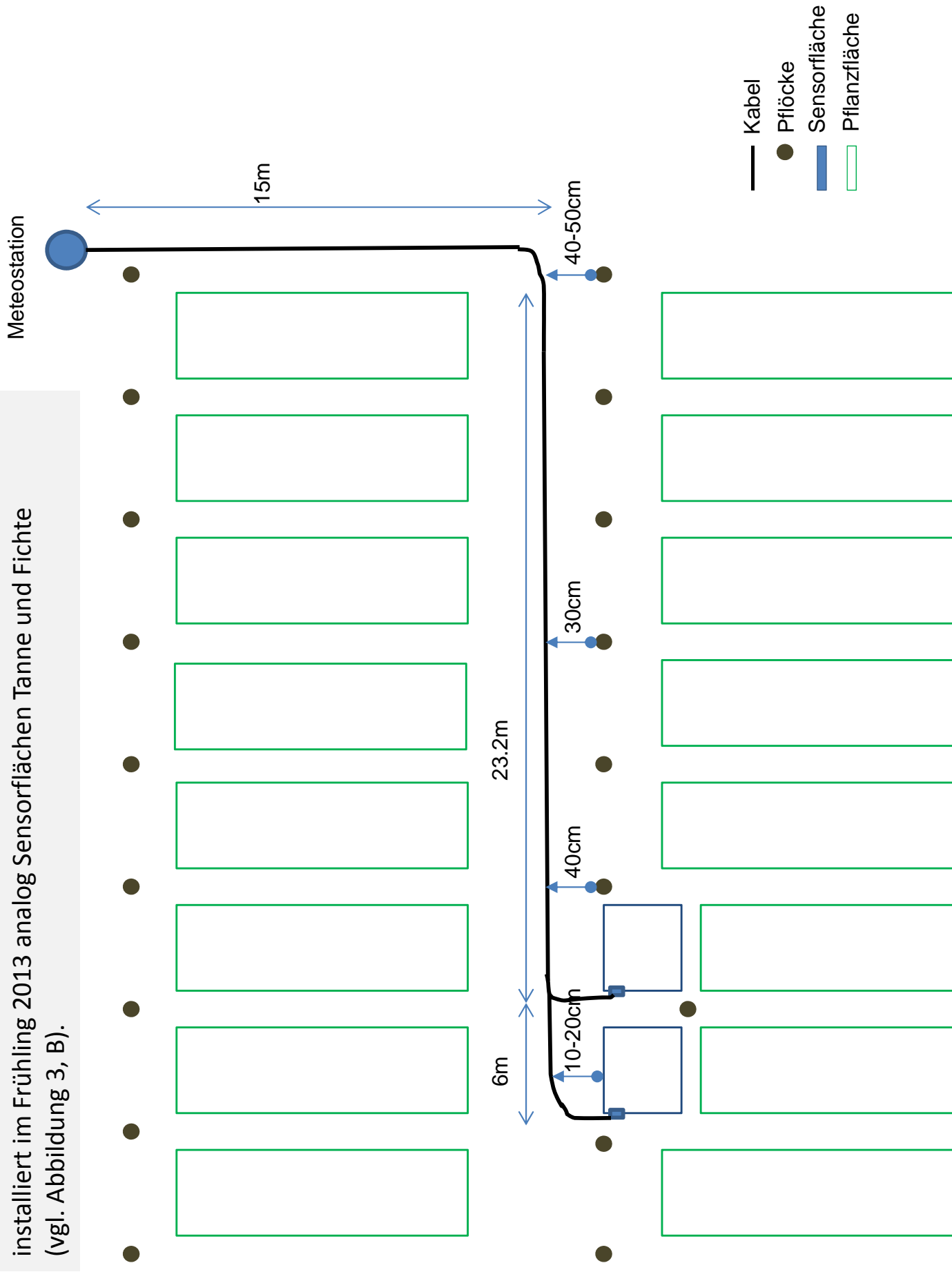
Matzendorf

(Schema: Marc Adami)



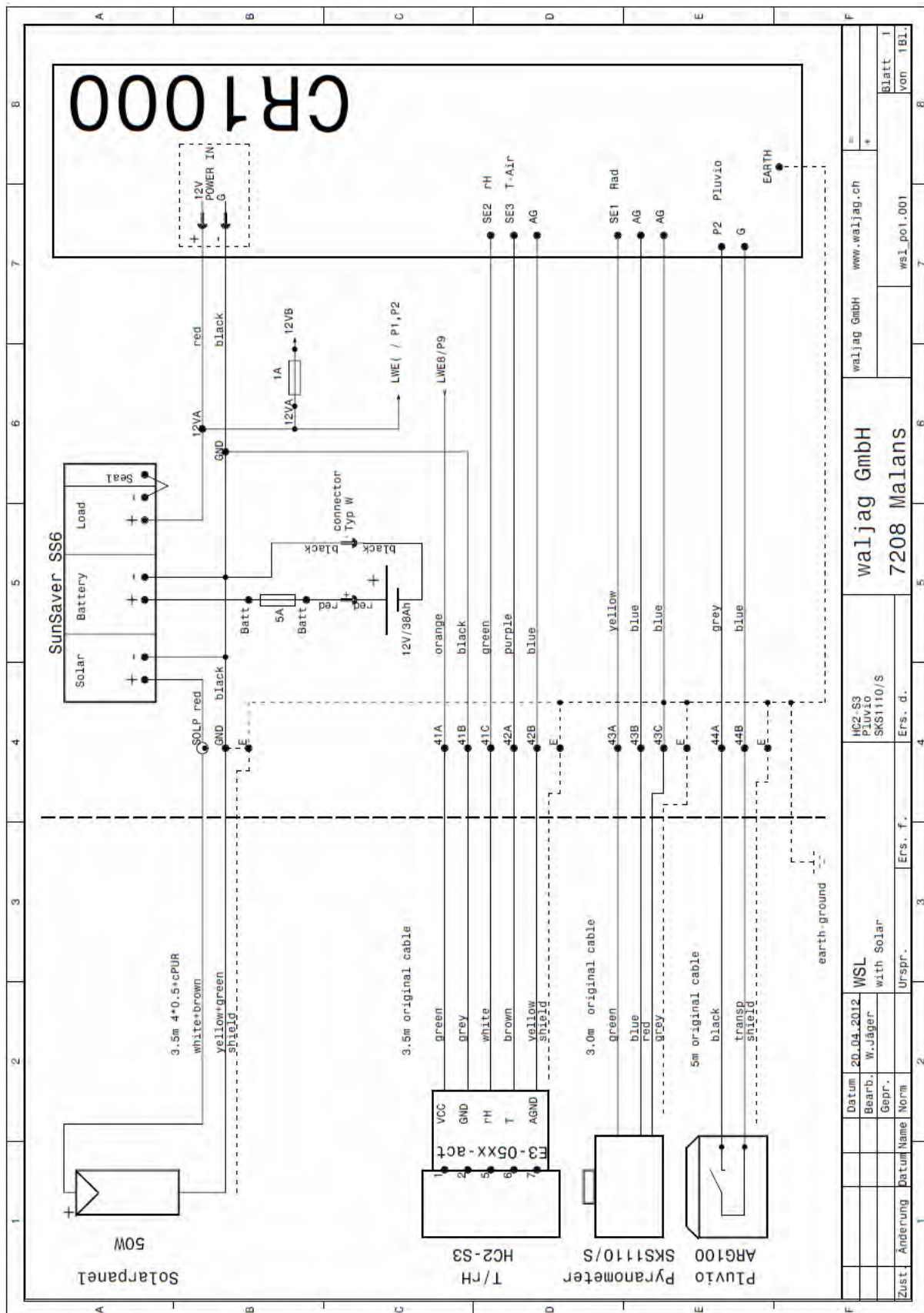
Bodensensoren für Buchenfläche Matzendorf

installiert im Frühling 2013 analog Sensorflächen Tanne und Fichte
(vgl. Abbildung 3, B).



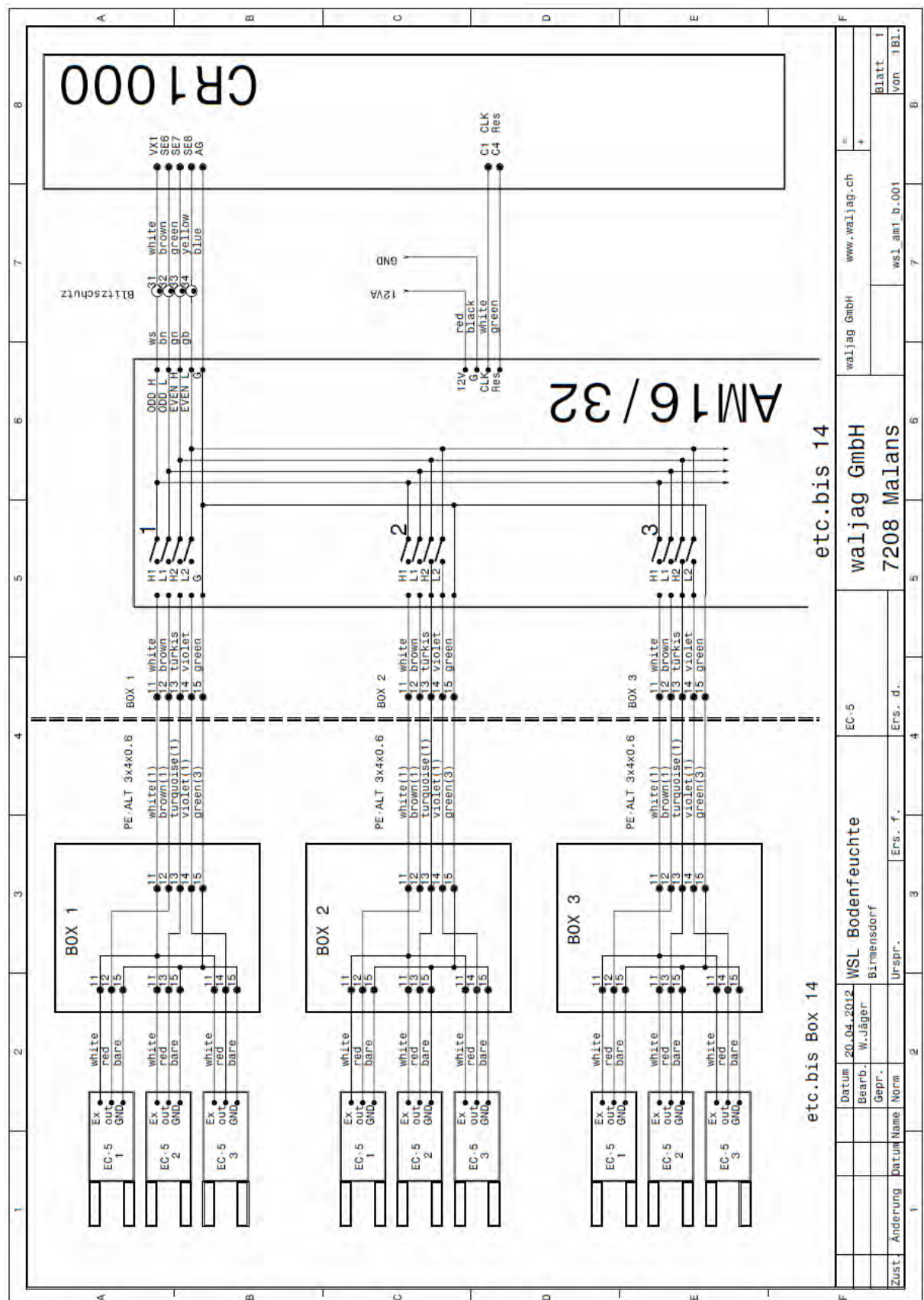
Meteosensoren

(Schema: waljag GmbH)



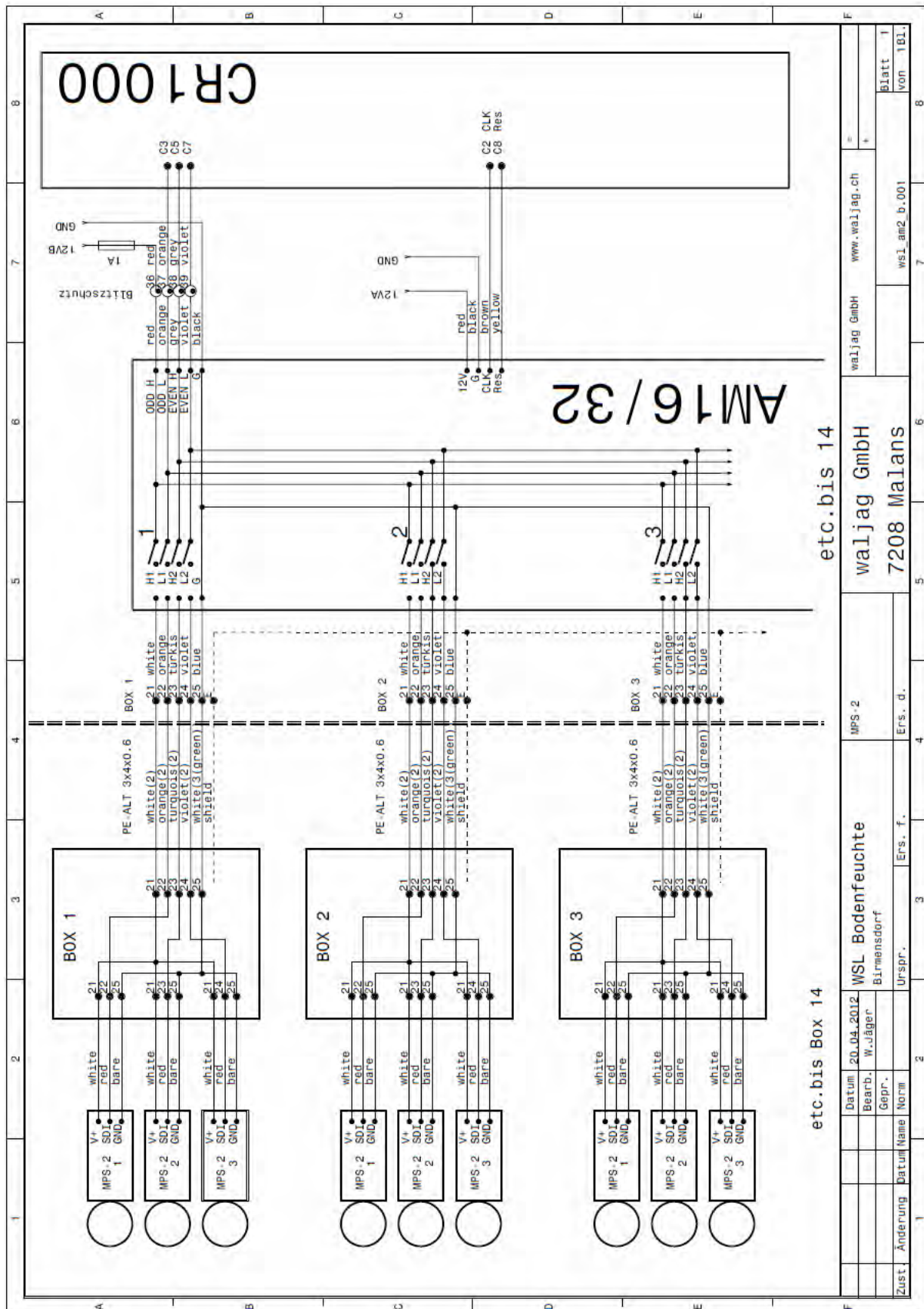
EC-5 Sensoren

(Schema: waljag GmbH)



MPS-2 Sensoren

(Schema: waljag GmbH)



Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte

Dokumentation der Bodenansprache zur Bestimmung der
Bodenwasserspeicherkapazität der beernteten Fichten- und Tannenbestände

Oliver Leisibach, Caroline Heiri, Pascal Hengartner, Lorenz Walthert



Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee
und Landschaft WSL

Autoren:

Oliver Leisibach, Caroline Heiri, Pascal Hengartner, Lorenz Walthert

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

Ein Bericht aus dem Projekt «Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte» (http://www.wsl.ch/forschung/forschungsprojekte/wsl_genetische_variation)

Zitierung:

Leisibach, O.; Heiri, C., Hengartner, P., Walthert, L., 2012. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Bodenansprache zur Bestimmung der Bodenwasserspeicherkapazität der beernteten Fichten- und Tannenbestände. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., 14 S., unveröff.

Dank

Marco Walser danken wir für seine kompetente Anleitung bei der Ansprache der ersten Bodenschlitze sowie seine fachliche Unterstützung während den gesamten Aufnahmen.

Roger Köchli danken wir für seine fachliche Unterstützung bei den Laborarbeiten und Martina Hobi für die Unterstützung bei der Verarbeitung der GPS-Daten.

Umschlagbild: Bodenschlitz am Fichtenstandort Fi-28-1, Pleerwald, Burgdorf (BE)
(Foto: O. Leisibach)

Inhalt

1	Vorbereitungsarbeiten	4
2	Bodenschlitze	4
2.1	LAGE / KOORDINATEN	4
2.2	ERSTELLUNG	6
2.3	ANSPRACHE	7
2.4	PROBENAHME	7
3	Autochthonität	8
4	Bodenproben	9
4.1	ZWISCHENLAGERUNG UND TROCKNUNG	9
4.2	AUFBEREITUNG, ARCHIVIERUNG UND LABORANALYSEN	9
5	Zeitlicher Ablauf der Bodenaufnahmen	9
6	Dokumentation	10
7	Nicht beprobte Standorte	10
8	Literatur	11
9	Anhang	12
	BODENSCHLITZE FÜR DIE BUCHENBESTÄNDE	
	BEISPIEL EINES BODENANSPRACHEPROTOKOLLS VERSION ADAPT	

1 VORBEREITUNGSARBEITEN

Die Feldaufnahmen inklusive deren Organisation erfolgte im Zweierteam. Die Organisation der Bodenaufnahmen für 200 Bestände war wie im Fall der Samenernte aufwendig (Arnold et al. 2010). Pro Tag konnte in maximal drei Beständen die Bodenansprache und –beprobung durchgeführt werden. Nach Abzug der Zeit für Anfahrt und Vorbereitung konnten meist vier Feldtage pro Woche realisiert werden, woraus durchschnittlich zwölf bearbeitete Bestände pro Woche resultieren. Die Routenplanung erfolgte nach Region, so dass die zwölf Bestände pro Woche mit relativ wenig Fahrweg erledigt werden konnten.

Die Vorbereitung einer Feldwoche benötigte ungefähr einen halben bis einen Tag. Sie beinhaltete das Zusammenstellen des Kartenmaterials, sowie die Organisation der Unterkünfte. Zu jedem Bestand wurde der zuständige Förster verständigt. Die meisten Förster erfuhren zum ersten Mal von diesem Projekt, was darauf hinweist, dass der Informationsfluss während der Samenernte 2009 nicht optimal lief. In einigen Fällen (besonders in der Zentralschweiz) gab es regionale Korporationen und private Waldbesitzer, die um Erlaubnis gebeten werden mussten. Weiter wurde mit Hilfe von geologischem Kartenmaterial vorgängig die Geologie jedes Bestandes ermittelt.

Feldausrüstung:

- | | |
|---------------|--------------------------------------------------------------|
| -Schaufel | -Salzsäure |
| -Spaten | -Säcke für Probematerial |
| -Pickel | -Kärtchen zur Beschriftung des Probematerials |
| -Rahmenbohrer | -Schnüre um Säcke zu verschliessen |
| -Bohrstock | -Kompass |
| -Astschere | -Hangneigungsmesser |
| -Säge | -GPS-Gerät (Trimble Nomad) |
| -Messer | -Bodenanspracheprotokolle (Version ADAPT) |
| -Doppelmeter | -1:25'000er Landeskarte mit eingezeichneten Probebäumen |
| -pH-Hellige | -Samenernteblätter mit Standortbeschreibungen der Probebäume |

2 BODENSCHLITZE

2.1 Lage / Koordinaten

Die Lage des Bodenschlitzes, welcher für die Ansprache der Bodenhorizonte und die Probeentnahme gegraben wurde, sollte möglichst repräsentativ sein für den beernteten Bestand. Deshalb war es zwar nicht zwingend nötig, die 2009 beernteten Probebäume wieder zu finden, es half dem Team jedoch a) sicher zu sein im richtigen (d.h. im effektiv beernteten Bestand) zu sein und b) den Perimeter des zu repräsentierenden Bestandes abzugrenzen, was insbesondere an heterogenen Standorten hilfreich war. Deshalb wurden beim Eintreffen im Bestand als erstes die Probebäume gesucht. Oft konnten diese anhand des Kartenmaterials auch gefunden werden. Da die Vogelbänder bereits 2010 entfernt wurden, wurden die Bäume mit Hilfe der Spraypunkte identifiziert (s. Arnold et al. 2010). Teilweise war dies erschwert durch bereits ausgebleichte und/oder sehr kleine Punkte. Einige Bäume konnten nicht gefunden werden, da sie entweder nicht, schlecht, oder nicht mehr markiert oder eventuell falsch in der Karte eingezeichnet worden waren. Dies wurde entsprechend auf den Aufnahmeprotokollen vermerkt.

Konnten die Bäume gefunden werden, wurde jeder Baumstandort sowie der Bestand als Ganzes aufgrund von Geländemerkmale hinsichtlich seiner Heterogenität/Homogenität bezüglich Wasserhaushalt beurteilt (Kriterien gemäss Aufnahmeprotokoll (s. Anhang): Relief (Hangneigung,...), Wasserspeicherkapazität (Gründigkeit,...), Grad der Bodenvernässung (Quellfluren,...)). Je nachdem wurde der Standort als «homogen», «mässig homogen» oder «heterogen» klassiert (s. Aufnahmeprotokoll im Anhang). Wenn die Standortbedingungen der drei Probeebäume eines Bestandes stark variierten, wurde zu jedem Baum eine kurze Standortbeschreibung im Protokoll verfasst. Dies wurde auch gemacht, wenn die Standortbedingungen des Bestandes grundsätzlich homogen war, ein Probebaum jedoch z.B. in der Böschung eines Baches stand. In einem hinsichtlich Bodeneigenschaften heterogenen Bestand wurde versucht, ein für die Probeebäume möglichst repräsentativer Standort für den Bodenschlitz zu finden. Meist wurde der Standort in unmittelbarer Nähe (5 bis 20 m) eines Probebaumes gewählt (auch in homogenen Beständen). So besteht immer ein mehr oder weniger direkter Bezug von mindestens einem Probebaum zu den Bodendaten dieses Bestandes. Der nächstgelegene Probebaum zum Bodenschlitz (Profil) wurde jeweils in der Lageskizze des Bodenprofils auf dem Protokoll eingezeichnet. Meist wurde darin auch die Distanz (Augen- oder Schrittmass) zwischen Probebaum und Profil notiert.

Im alpinen Gelände waren homogene Bodenbedingungen in den Beständen eher selten, da hier vor allem der Skelettgehalt und die Gründigkeit meist stark variierten. Zum Beispiel kam es vor, dass zwei Bäume auf homogenem Boden mit hohem Skelettgehalt wuchsen, der dritte Baum sich jedoch direkt in einem Schuttkegel befand, bei dem kaum eine Bodenbildung zu erkennen war und der Skelettgehalt noch massiv grösser war. Der Bestand erhielt in der Folge die Klassierung «mässig homogen». Die Beurteilung des Skelettgehaltes und der Gründigkeit erfolgte allgemein mit Hilfe des Bohrstockes an verschiedenen Stellen im Bestand. Bei hohen Skelettgehalten war es jedoch kaum möglich, die Gründigkeit zu bestimmen, da zwischen grossen Steinen und anstehendem Gestein nicht unterschieden werden konnte.

Konnten die Probeebäume nicht gefunden werden, wurde der Bodenschlitz möglichst in der Nähe eines vermuteten Probebaumes gegraben. Im Fall von alten Fichten-Samenbeständen (NKS) bei denen die Erntebäume nicht bekannt waren, wurden die vorhandene Koordinaten möglichst genau angelaufen. Konnte dort ein älterer Fichtenbestand vorgefunden werden, ging man davon aus, dass es sich dabei um die beerntete Population handelte. Hier wurde der Bodenschlitz an einem für die Population möglichst repräsentativen Standort gegraben.

Sonderfälle

Die Probeebäume standen vermutlich wegen der einfachen Bekletterbarkeit oft direkt (0 bis 1,5 m) unterhalb von Forststrassen. Hier war der Boden durch den Strassenbau oft stark gestört, was den Wasserhaushalt für diese Probeebäume mit grosser Wahrscheinlichkeit beeinträchtigt. Bodenschlitze wurden in solchen Fällen immer ausserhalb des Strasseneinflusses (mindestens 10 m Horizontaldistanz) gegraben.

Teilweise unterschieden sich die Deckungswerte der Baumschicht eines Bestandes stark, da z.B. ein oder zwei Probeebäume isoliert auf einer Wiese wuchsen. Da wir an den Bodeneigenschaften interessiert waren, welche den Bestand als Ganzes am besten repräsentieren, haben wir in diesen Fällen den Bodenschlitz im Wald angelegt (z.B. Fi-59-3).

Koordinaten

Die Ermittlung der exakten Koordinaten des Bodenschlitzes erfolgte per GPS mit dem Gerät Trimble Nomad. Pro Bestand wurden damit mindestens 500 Messpunkte aufgezeichnet. Aus diesen Messpunkten errechnet das GPS-Gerät einen Mittelwert (je mehr Messpunkte umso genauer der Mittelwert). Diese Punkte wurden zur Datensicherung regelmässig (mindestens einmal pro Monat) mit der GIS-Pathfinder Software vom GPS-Gerät auf einen Laptop importiert (Software nur auf Laptop von Martina Hobi vorhanden). Um die Genauigkeit zu verbessern, wurden die Daten nachträglich mit GIS-Pathfinder postprozessiert, d.h. mit Satellitenkorrekturdaten einer fixen Messstation online abgeglichen. Zum Schluss wurden die Daten vom GIS-Pathfinder in eine Excel-Tabelle exportiert, von wo sie dann in die Protokolle (handschriftlich und elektronisch (Excel)) übertragen wurden. Obwohl aus den GPS-Daten die Höhe über Meer hervorgeht, wurde diese zur Kontrolle zusätzlich im Feld aus der Karte gelesen und ins Protokoll übertragen. Stimmt die Meereshöhe aus dem Feld und GPS-Angaben überein (max. ± 10 m), wurden nur die GPS-Daten übernommen. Dies war bei allen Bodenschlitzten der Fall, ausser bei Ta-7-1, Ta-15-1, Ta-16-2, Ta-21-1 und Ta-27-1. Hier waren Abweichungen von bis zu 30 Höhenmeter zur Karte festzustellen. Vermutlich wurde hier auf Grund eines Wechsels des GPS-Gerätes das falsche Höhenmodell verwendet. Die Höhen dieser Bodenschlitzte wurden nachträglich mit Hilfe der exakten Koordinaten und dem GIS nachberechnet. Diese Werte stimmten mit den Felddaten gut überein und wurden schliesslich übernommen. In den GIS-Dateien bleiben die falschen Höhen gespeichert.

Einzelne der aufgezeichneten GPS-Dateien stellten sich als fehlerhaft heraus und teilweise konnten mangels Satellitenverfügbarkeit keine Daten aufgezeichnet werden. In diesen Fällen wurden die Koordinaten aus der Landeskarte 1:25'000 gelesen.

Da die Ermittlung der GPS-Daten mittels Nachbearbeitung am Laptop relativ zeitaufwendig ist, empfiehlt es sich in Zukunft, wenn möglich die Daten mit einer Echtzeitkorrektur (via Handy) und ohne Aufzeichnung der Datenpunkte direkt im Feld abzulesen. Der Empfang eines Mobilnetzes im Gebirge könnte sich dabei als grösste Schwierigkeit herausstellen.

2.2 Erstellung

Die Bodenschlitzte wurden auf möglichst ungestörtem Terrain gegraben. Der horizontale Abstand zu Strassen betrug mindestens 10 Meter. Fahrspuren (Rückegassen) und andere anthropogene Störungen wurden gemieden. Weiter wurde darauf geachtet, wie die Hauptwurzeln der Bäume verlaufen, so dass beim Graben möglichst keine Starkwurzeln verletzt oder gar entfernt werden mussten.

Bei der Erstellung der Bodenschlitzte wurden zuerst Ziegel aus den obersten Zentimetern Boden, inklusive der Vegetation, gestochen. Wenn möglich wurden diese als Ganzes neben dem Schlitz deponiert. Das weitere Aushubmaterial wurde nach Unter- (B- und C-Horizonte) und Oberboden (A-Horizonte) getrennt abgelagert. Nach der Bodenansprache wurde das Aushubmaterial in der richtigen Reihenfolge rückverfüllt und der Bodenschlitz wieder mit den Vegetationsziegeln abgedeckt.

Es wurde bis 100 cm Tiefe gegraben, ausser der anstehende Fels wurde früher erreicht. Die letzten Zentimeter wurden teilweise nur mit dem Rahmenbohrer erschlossen, wenn keine grossen Veränderungen mehr zu erwarten waren (man hat z.B. den C-Horizont bereits erreicht), man jedoch die Gründigkeit noch überprüfen wollte. Teilweise wurde mit dem Rahmenbohrer tiefer als 100 cm gebohrt um eine

allfällige Kalkgrenze nachzuweisen. Die Breite der Bodenschlitze betrug meistens 40 bis 50 cm.

2.3 Ansprache

Die Daten wurden gemäss dem Bodenanspracheprotokoll der Forschungseinheit Waldböden und Biogeochemie der WSL in der Version ADAPT aufgenommen (Tab. 1; für Anspracheprotokoll s. Anhang). Der Skelettgehalt wurde durch den Eindruck beim Graben und durch die Erscheinung in der Profilwand mit Hilfe von Schätztafeln für Volumenprozent (vor allem zu Beginn) abgeschätzt.

Der Humusgehalt wurde rein visuell abgeschätzt, ohne die Hilfe von Farbtafeln, indem wenig Probenmaterial von jedem Horizont nebeneinander gelegt wurde, um einen Kontrast zwischen dem humusärmsten und dem humusreichsten Horizont erkennen zu können.

An jedem Standort wurden Fotos vom Profil, vom Oberboden, von der Krautschicht, von der Vegetation und vom Bestand gemacht. Die Baumhöhen des Bestandes und alle Distanzangaben auf den Lageskizzen der Profile sind Schätzungen (Schritt- oder Augenmass). Als Anhaltspunkt für die Bestandeshöhe wurden die gemessenen Höhen der Probebäume verwendet.

Tabelle 1. Aufgenommene Merkmale/Eigenschaften gemäss Bodenanspracheprotokoll Version ADAPT

Morphologie des Bodens	Angaben zum Standort	Angaben zur Waldstruktur
Horizontierung	Koordinaten (GPS)	Waldtyp (Code)
Skelettgehalt und –grösse (Code)	Höhe über Meer (GPS)	Deckungsgrad (%)
Gefügeform und Aggregatstruktur (Code)	Exposition (Gon)	Höhe von Baum-, Strauch- und Krautschicht (m*)
Lagerungsdichte (Code)	Hangneigung (%)	
Vernässungsgrad (Code)	Relief (Code)	
aktuelle Bodenfeuchtigkeit (Code)	Mikrorelief (Code)	
Humusgehalt (Code)	Geologie / Substrat	
Tiefe Kalkgrenze (cm)	Homogenität des Standortes hinsichtlich	
Feinwurzeln ($\varnothing < 2$ mm) (Code)	Wasserhaushalt	
Limite Wurzelraum (Code)	Bemerkungen (insbesondere Störungen)	
Gründigkeit (cm)		
Humusform und Bodentyp		
Bemerkungen zum Profil		

* Mittlere Höhe bei der Baumschicht und maximale Höhe bei der Strauch- und Krautschicht

2.4 Probenahme

Von jedem Bodenschlitz wurden zwei Bodenproben aus ausgewählten Horizonten für die Laboranalyse entnommen. Eine erste Probe aus dem A-Horizont diente der Bestimmung des Anteils an organischem Kohlenstoff (C_{org}). Um für die Wasserspeicherkapazität aussagekräftig zu sein, sollte ein beprobter A-Horizont mindestens 10 cm mächtig sein. Bei sehr geringmächtigen A-Horizonten wurde der direkt darunter folgende Horizont beprobt, der noch C_{org} zu enthalten versprach (meist AB- oder AC-Horizonte). Eine zweite Probe diente der Bestimmung der Körnung und sollte aus einem möglichst tiefen Horizont entnommen werden, der kein oder nur noch

sehr wenig C_{org} enthielt. Hohe C_{org} -Anteile in den Proben würden Probleme bei der späteren Körnungsanalyse im Labor verursachen. Von jeder Probe wurde die Entnahmetiefe und die vorgesehenen Analyseparameter im Profil-Aufnahmeprotokoll notiert.

3 AUTOCHTHONITÄT

Bei einzelnen Beständen schienen die Populationen durch eigene Einschätzungen oder nach Auskunft von Förstern nicht autochthon zu sein (Tab. 2). Dies wurde entsprechend im Protokoll vermerkt.

Bei einigen Beständen lagen die Probebäume relativ weit auseinander (bis 1 km). Manchmal kam zu einer grossen Entfernung noch ein Expositionswechsel von bis zu 180° hinzu (andere Tal- oder Passseite). Dort konnte man nicht mehr davon ausgehen, dass es sich um dieselbe Population handelt. Dies wurde ebenfalls im Protokoll vermerkt.

Tabelle 2. Beerntete Bestände für welche die Autochthonität angezweifelt wird.

Standort	Text aus Protokoll Bodenansprache	Profil
Fi-39-1	Keine Bäume mit BHD > 40 cm (Autochthonität fragwürdig)	Ja
Fi-16-1	Bäume 1 + 2 gemäss Förster klar in Aufforstung! Autochthone Bestände wären weiter oben (m ü. M.) gewesen. Standort aus Studie entfernen gemäss Christoph Sperisen.	Nein
Fi-15-1	Profil nahe Baum 2 im Jungfichtenbestand. Dieser, inkl. Baum 2, vermutlich gepflanzt.	Ja
Ta-01-1	Alle 3 beprobten Bäume sind Teile von Aufforstungen	Ja
Ta-03-1	Baum 3 Teil von aufgeforstetem Bestand, direkt am Waldrand	Ja
Ta-11-1	Baum 1 in aufgeforsteter Fläche. Autochthonität sehr fragwürdig.	Ja
Ta-11-2	Alle Bäume Teile von Aufforstungen, Autochthonität fraglich.	Ja

4 BODENPROBEN

4.1 Zwischenlagerung und Trocknung

Die Bodenproben wurden während der Feldtage in verschlossenen Plastikbeuteln in einer abgedeckten Plastikbox im Kofferraum aufbewahrt. Um ein zu starkes Erwärmen der Proben – und damit eine mögliche Veränderung der chemischen Parameter durch erhöhte biologische Aktivität oder Pilzbefall – zu verhindern, wurde das Auto immer im Schatten parkiert. Wenn dies nicht möglich war, wurden die Proben ausserhalb des Autos in den Schatten gestellt. Jeden Freitag wurden alle Proben einer Feldwoche an der WSL bei 50°C für mindestens 48 Stunden im Ofen vollständig getrocknet.

4.2 Aufbereitung, Archivierung und Laboranalysen

Alle Proben wurden nach der Trocknung mit einem 2 mm Stahlsieb gesiebt und in Lagerdosen aus transparentem PVC verpackt. Alle Lagerdosen sind in der Bodendatenbank der Forschungseinheit Waldböden und Biogeochemie archiviert.

Zur Analyse der Körnung wurden zuerst in den gesiebten Proben die organischen Anteile mit Hydrogenperoxid (H_2O_2) nassverascht. Die Körnung wurde anschliessend mit der Pipettmethode (Gee und Bauder 1986) bestimmt.

Für die C_{org} -Analyse wurden die gesiebten Proben mit einer Zirkonoxyd-Schwingmühle von Retsch drei Minuten gemahlen und anschliessend im Zentrallabor der WSL für die C/N-Analyse auf einer Präzisionswaage in Zinnkapseln eingewogen. Die Analyse erfolgte durch das Zentrallabor mittels C/N-Analyser. Bodenproben mit einem pH-Wert über 6,0 wurden für die Bestimmung des C_{org} -Gehaltes nach der Methode von Walthert et al. (2010) vorbehandelt.

Zur pH-Messung wurden die Proben im Verhältnis 1:2 mit 0,01 M CaCl_2 -Lösung versetzt. Nach einer Equilibrierungszeit von 30 Minuten wurde der pH-Wert in der Suspension unter Rühren potentiometrisch gemessen.

Aus den gewonnenen Daten aus Labor und Feld wurde anschliessend mit Hilfe der Methode von Teepe et al. (2002) die Wasserspeicherkapazität abgeschätzt. In die Abschätzung nach dieser Methode fliessen die Parameter Bodendichte, Bodenart, C_{org} - und Skelettgehalt ein.

5 ZEITLICHER ABLAUF DER BODENAUFNAHMEN

24.05. bis 27.05.2011	Einführung: Aufnahme der ersten Standorte angeleitet durch L. Walthert, M. Walser und C. Heiri.
30.05. bis 04.11.2011	Aufnahmen durch O. Leisibach und P. Hengartner (beide waren in dieser Zeit durchschnittlich 4 Wochen ferienhalber abwesend).
07.11. bis 02.12.2011	Aufnahmen durch P. Hengartner, davon 3 Tage zusammen mit Doktorandin A. Frank.
02.12.2011 bis 29.02.2012	Laboranalysen und Berechnung Wasserspeicherkapazitäten

6 DOKUMENTATION

Sämtliche Dokumente, die sich mit der Datenerhebung zur Wasserspeicherkapazität der Böden befassen, befinden sich im Ordner N:\prj\Adapt\Boden\Feldaufnahmen. Tabelle 3 zeigt Direktpfade zu wichtigen Dokumenten.

Tabelle 1. Pfadangaben zu wichtigen Dokumenten.

Dokument	Pfad
Digitalisierung aller Bodenprotokolle in Excel	N:\prj\Adapt\Boden\Feldaufnahmen\Profildaten\Profildaten_ADAPT_2011.xls
Koordinaten im Submeterbereich von allen Standorten inkl. Genauigkeitsangaben	N:\prj\Adapt\Boden\Feldaufnahmen\Profildaten\Submeter_Koordinaten_ADAPT_Bodenschlitze.xlsx
Mit GPS erfasste und postprozessierte GIS-Files der Profilstandorte	N:\prj\Adapt\Boden\Feldaufnahmen\GPS Daten Profilstandorte\Aufnahmedaten_Trimble\Felddaten_postprozessiert
Bestandes- und Profilfotos	N:\prj\Adapt\Boden\Feldaufnahmen\Fotos Bestände und Profile
Scans aller Originalprofilprotokolle	N:\prj\Adapt\Boden\Feldaufnahmen\Profildaten\Scans Profilprotokolle
Excel-Files Wasserspeicherkapazitäts-Berechnung	N:\prj\Adapt\Boden\Wasserspeicherkapazität ADAPT nach Teepe

7 NICHT BEPROBTE BESTÄNDE

- Fi-16-1 Bäume 1 + 2 gemäss Förster klar in Aufforstung! Vor 40 Jahren war dort eine Viehweide. Autochthone Bestände wären weiter oben (m ü. M.) gewesen. Standort aus Studie entfernen gemäss Christoph Sperisen.
- Fi-50-1 Bestand Luftlinie ca. 800 m zu Ta-50-2. Bäume konnten leider nicht gefunden werden. Gelände und Boden sehr heterogen mit Dolinen und stark variierendem Skelettgehalt und Gründigkeit. Teilweise konnten tonige AC-Horizonte erreicht werden. Boden entspricht je doch oft demjenigen bei Ta-50-2. Entweder Daten von Ta-50-2 übernehmen oder Beernter fragen wo Bäume stehen und nochmals hinfahren.
- Fi-54-3 Standort direkt neben Fi-54-1
- Fi-55-2 Probebäume in LWF-Fläche Beatenberg → Daten von LWF-Profil Nr. 2 übernehmen.
- Fi-57-3 Profildaten entsprechen Ta-57-1 im selben Bestand
- Fi-81-1a Standort direkt neben Fi-81-1
- Fi-84-2 Profildaten entsprechen Fi-84-1 im selben Bestand
- Ta-28-3 Konnte zeitlich nicht mehr erledigt werden. Ist jedoch gleicher Standort wie Bu-28-1 → Daten können übernommen werden.
- Ta-AT-1 Bestand in Wien

8 LITERATUR

Arnold, C., Dicht, M., Sperisen, C., Burkart, A., Boner, A., Heiri, C., Mühlethaler, U., Schmatz, D., Walthert, L., Weber, P., Brang, P. 2010. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Samenernte und -behandlung. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL; Zollikofen, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, 14 S. unveröff.

Gee, G.W., Bauder, J.W. 1986. Particle-size Analysis. *In*: Page, A. L., Miller, R. H., Keeney, D. R. (eds.): Methods of soil analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods. 2nd edition, American Society of Agronomy, Madison, WI

Teepe, R., Dilling, H., Beese, F. 2002. Estimating water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density. J. Plant Nutr. Soil Sci. 166: 111–119.

Walthert, L., Graf, U., Kammer, A., Luster, J., Pezzotta, D., Zimmermann, S., Hagedorn, F. 2010. Determination of organic and inorganic carbon, $\delta^{13}\text{C}$ and nitrogen in soils containing carbonates after acid fumigation with HCl. J. Plant Nutr. Soil Sci. 173: 207-216.

9 ANHANG

Bodenschlitze für die Buchenbestände

Vorgehen

Die Bodenschlitze für die Buchenbestände wurden im Folgejahr (2012) der Fichten- und Tannenschlitze zwischen 25.06. und 27.09.2012 durch O. Leisibach, A. Frank und D. Hobi erstellt. Die Vorgehensweise entsprach derjenigen von Fichte und Tanne. Der untenstehenden Tabelle 1 kann entnommen werden, für welche Bestände Bodenschlitze erstellt werden mussten. Für die Bestände in Tabelle 2 konnten bestehende Bodenprofildaten aus der Bodendatenbank der WSL verwendet werden. Die Profile aus der Datenbank liegen maximal 100 m von einem für die Studie beernteten Bäume entfernt.

Dokumentation

Das Excel-File mit Übersicht der Bodenansprachen Buche ist zu finden unter N:\prj\Adapt\Boden\Buchen\Organisation\Prjadapt_Buchen_Übersicht_Profile_und_Blätternte.xlsx.

Sonderfälle

Der Bodenschlitz für den Bestand bu-87-1 wurde zurückgestellt, da zur Zeit des Besuches im Tessin das Gelände wegen Schiesstätigkeit des Militärs nicht betreten werden konnte. Für die Standorte bu-15-1 und bu-16-2 können die Profile von ta-15-1 respektive ~~ta-16-2~~ [ta-16-3 \(Korrektur AF 06.06.2013\)](#) verwendet werden. Der Bestand bu-6-1 wurde gemäss Angaben des Förster um 1890 gepflanzt.

GPS-Koordinaten

Die GPS-Koordinaten wurden mit dem Trimble Juno erfasst. Es stellte sich heraus, dass die Höhenangaben des Juno sehr ungenau waren (Überprüfung erfolgte anhand GPS-Koordinaten und Karte). Die Höhen wurden daher im GIS mit Hilfe der GPS-Koordinaten nachberechnet. Die Genauigkeit der Höhen entspricht somit der Genauigkeit der GPS-Koordinaten. Im File „Profildaten_ADAPT_Buche_2012.xls“ sind daher keine Angaben zur Präzision der Höhenangaben zu finden.

Tabellen 1 und 2. Bestände, für welche 2012 Bodenschlitze erstellt wurden, und Bestände mit bestehenden Profilen aus der Bodendatenbank der WSL

Erstellte Bodenschlitze				Profile aus Bodendatenbank	
bu-01-1	bu-21-1	bu-34-2	bu-54-1	bu-01-2	bu-25-1
bu-02-1	bu-22-1	bu-34-3	bu-55-1	bu-03-1	bu-26-2
bu-06-1	bu-26-1	bu-37-1	bu-81-2	bu-05-1	bu-26-3
bu-07-1	bu-27-1	bu-38-1	bu-81-3	bu-08-1	bu-28-1
bu-07-2	bu-27-2	bu-39-2	bu-81-5	bu-10-1	bu-29-1
bu-07-3	bu-28-2	bu-42-1	bu-82-3	bu-10-2	bu-38-2
bu-08-3	bu-30-1	bu-45-1	bu-84-1	bu-16-1	bu-39-1
bu-09-1	bu-31-1	bu-46-1	bu-85-1	bu-16-4	bu-40-1
bu-11-1	bu-31-2	bu-47-1	bu-86-1	bu-18-1	bu-52-1
bu-12-1	bu-32-1	bu-50-1	bu-87-2	bu-18-2	bu-53-1
bu-16-3	bu-33-2	bu-51-1	bu-96-1	bu-19-1	bu-64-1
bu-17-2	bu-33-3	bu-51-2	bu-96-2	bu-20-1	bu-82-1
bu-19-2	bu-33-4	bu-52-2		bu-21-2	bu-82-2

Abbildung 1: Vorderseite des ausgefüllten Bodenanspracheprotokolls Version ADAPT vom Bestand Fi-42-1

Protokoll Wasserhaushalt ADAPT Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, Schweiz FE Waldboden u. Biogeochemie, Tel. 044-739 25 92 (LW) / 044-739 23 85 (MW)

Dies ist ein wissenschaftliches Dokument.
Bitte senden Sie es an die genannte Adresse. Vielen Dank.

Standort-Id
Fi-42-1

Aufschussart / Aufschusstiefe (cm)

Horizontierung

Profilskizze

40

cm	20	15	10	5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
24 Humusform (FS-Boden)	Mader (2)																									
26 Bodentyp (FS-Boden)	Rendzing																									
27 Verwitterungsgrad (FS-Boden)	keine Verwitterung																									
28 Bemerkungen zum Profil	Feinerde in Klette tiefe 30cm ca. boreal halbt. -Anleide der FeNS bei 40cm, allerdings mit tiefer reichenden Klette durchlöchert																									
Korngrößenanalyse (g/h)																										
Untergrenze (cm)																										
Obegrenze (cm)																										
Gründtiefe (cm)	40																									
Limite Wurzelraum	2																									
Feinwurzeln < 1mm	0																									
Kalkgrenze (cm)	50																									
Humuswahl																										
aktuelle Bodenfeuchtigkeit																										
Verwitterung durch																										
Hydromorphie																										
Lagerungsdichte Feinwurzeln																										
Aggregatstruktur (dominant)																										
Gefügeform																										
Stützgerüste																										
Skulpturgehalt																										
Obegrenze (cm)	4																									
Werkstoff geologie/Substrat																										
7 Skelettgrösse	1 >75 % Feinskelett FS (0,2-5 cm) 2 >50 % FS, >25 % GS 3 >50 % FS, >25 % BL 4 >75 % Grobskelett GS (5-20 cm) 5 >50 % GS, >25 % FS 6 >50 % GS, >25 % BL 7 >75 % Blöcke BL (>20 cm) 8 >50 % BL, >25 % FS 9 >50 % BL, >25 % GS																									
10 Aggregatstruktur	siehe Beilage 5 1 krümelig (1-10 mm) 2 polyedrisch (2-50 mm) 3 subpolyedrisch (5-30 mm) 4 Fragmente (>50 mm) 5 prismatisch (30-300 mm) 6 plattig (1-50 mm) 7 Häute (Ton/Humus)																									
11 Lagerungsdichte Feinwurzeln	siehe Beilage 6 1 sehr locker (<0,8 g/cm ³) 2 locker (0,8-1,2) 3 mittel (1,2-1,6) 4 dicht (>1,6)																									
12 Hydromorphie	siehe Beilage 7 0 keine Verwitterung 1 Konkretionen (schwarz) 2 Diffus-Rostflecken 3 Kontrast-Rostflecken 4 Farb-Rost-Färbungen (Marmorierungen) 5 Reduktionsfärbungen (grau/blau/grün) 6 Nassbleichung 13 Verwitterung durch 1 Hangwasser 2 Grundwasser 3 Stauwasser																									
15 Humusgehalt	siehe Beilage 8 0 Humusfrei 1 humusarm 2 schwach humus 3 humus 4 stark humus 5 humusreich/ammorig 15-20 % 6 sehr humusreich 20-30 % 7 organisch >30 %																									
20 Feinwurzeln	Durchwurzelungstiefe (cm) 0 keine Wurzeln 1 1-5 Stk. 2 6-10 Stk. 3 11-50 Stk. 4 >50 Stk.																									
21 Limite Wurzelraum	1 offen 2 limitiert durch Fels 3 limitiert durch Verdichtung 4 limitiert durch Verwitterung																									

Codes zur Profilbeschreibung:

1 Aufschussart
1 Profil
2 Rahmenbohrer
3 Bohrstock

4 Wechsel Geologie/Substrat
0 kein Wechsel
1 Gesteinswechsel (H)
2 Textur-/Strukturwechsel (Z)
3 Begraben (B)

9 Gefügeform
siehe Beilage 5
1 Einzelkorngelüge
2 Kohärenzgelüge
3 Aggregatgelüge

6 Skelettgehalt
siehe Beilage 4
1 0-5 %
2 5-10 %
3 10-20 %
4 20-40 %
5 40-60 %
6 60-80 %
7 >80 %

Abbildung 2: Rückseite des ausgefüllten Bodenanspracheprotokolls Version ADAPT vom Bestand Fi-42-1

Allgemeine Daten		Angaben zur Vegetation	
Projekt	ADAPT	Waldtyp	<input type="checkbox"/> 1 Buchenwald <input type="checkbox"/> 2 Laubmischwald <input checked="" type="checkbox"/> 3 Mischwald Laub-Nadelholz <input type="checkbox"/> 4 Nadelmischwald <input type="checkbox"/> 5 Fichten-Tannen-Wald <input type="checkbox"/> 6 Föhrenwald <input type="checkbox"/> 7 Auen-Lärchen-Wald
Landeskarte 1:25000	Blatt-Nr.	Deckungswerte	Baumschicht 60 % Höhe 15 m Strauchschicht 10 % Höhe 3 m Krautschicht 75 % Höhe 0,3 m
Aufnahmegruppe		Homogenität des Standortes hinsichtlich Wasserhaushalt für die Bäume	
Olisibach P. Hengartner		<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> mäßig homogen <input type="checkbox"/> heterogen <input type="checkbox"/> falls heterogen, warum? <input type="checkbox"/> Relief (Exposition, Hangneigung) <input type="checkbox"/> Wasserspeicherkapazität (Gründigkeit, Skelettiegehalt) <input type="checkbox"/> Grad der Bodenverwitterung (Müden, Kuppen, Quatluren ...)	
Bodenbildungsfaktoren		Bemerkungen (insbesondere Störungen)	
Höhe ü. Meer (m) 1167 Exposition (Gon) 102 Hangneigung (%) 48 Relief (Code) 3 Mikrorelief (Code) 3		Profil bei Baum 1. Baum 2 am Rand einer Weide, leicht tiefergründig. Baum 2 schlückere Krone. Baum 3 auf Reintuppe direkt auf Schotter- luffe. Bestand mit Stummelschäden	
Geologie / Substrat		Lageskizze des Bodenprofils	
Neotithische Sandsteine und Kalk			
Geologie / Substrat		Feldbeobachtung (inkl. Kalkgehalt im Ausgangsgestein?)	
Neotithische Sandsteine und Kalk		Gestein karbonatlastig / Sandsteine + Kalk (Schuttkalke)	
Photodokumentation		Datum	
Photos gemacht: <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein wenn nein, warum?		Koordinaten GPS 11 8 3 6 4 3 2 1 0 1 8 8 1 5 2 2 0 0	

Forschungsprojekt adaptive genetische Variation von Fichte, Tanne und Buche (ADAPT)

Dokumentation der Feldarbeiten 2013

Buchenpflanzung und Merkmalserhebungen an Tannen und Fichten

Anita Nussbaumer, Aline Frank und Caroline Heiri



Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Birmensdorf, September 2013

Autoren:

Anita Nussbaumer, Aline Frank und Caroline Heiri

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

Ein Bericht aus dem Projekt «Adaptive genetische Variation von Fichte, Tanne und Buche» (http://www.wsl.ch/forschung/forschungsprojekte/wsl_genetische_variation)

Zitierung:

Anita Nussbaumer, Aline Frank, Caroline Heiri 2013. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Fichte, Tanne und Buche (ADAPT). Dokumentation der Feldarbeiten 2013. Buchenpflanzung und Merkmalserhebungen an Tannen und Fichten. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., 40 S., unveröff.

Dank

Für das Vorbereiten der Versuchsflächen, das Etikettieren, Abpacken und Pflanzen der Buchensämlinge sowie für das Durchführen der gesamten Phänologiebeobachtungen und Höhenmessungen an Tannen und Fichten bedanken wir uns bei Madlaina Gremlich, Charlotte Schaller, Pirmin Reichmuth, Hans-Joachim Ott, Mischa Haberthür, Anna Kolly, Martina Späni und Joëlle Hofer. Anton Burkart, Claudio Cattaneo, Michele Bühler und Peter Suter haben uns bei den vorbereitenden Arbeiten mit unzähligen Ratschlägen unterstützt und auch beim Pflanzen, Jäten und Betreuen der Tensiometer mitgeholfen. Andrea Kupferschmid, Renate Heinzelmann, Bärbel Zierl, Gilbert Projer und Janick Keller danken wir für die spontane Hilfe beim Pflanzen der Buchensämlinge resp. beim Jäten. Unser Dank geht auch an Beat Büttler, Daniel Steiner und ihre Familien für die Unterstützung am Versuchsstandort Matzendorf.

Umschlagbild: Versuchsfläche Matzendorf (Foto: Anita Nussbaumer).

Inhalt

1. Einleitung.....	5
2. Buchenpflanzung.....	5
3. Zustand der Tannen und Fichten zu Beginn der Saison 2013	6
3.1. Zustand der Sämlinge in Birmensdorf	6
3.2. Zustand der Sämlinge in Matzendorf	8
3.3. Konsequenz der Vitalitätsbeurteilung der Sämlinge für das Projekt	8
4. Vorbereitungen für die Merkmalsaufnahmen	8
4.1. Nachpflanzen Birmensdorf	8
4.2. Reduktion der Doppelbepflanzung.....	8
4.3. Markierung der Stammdurchmesser-Messstelle	9
5. Messung des saisonalen Zuwachses an Tannen und Fichten	9
5.1. Messung Stammdurchmesser	10
5.2. Messung Gesamthöhe	10
5.3. Bemerkungen und Schwierigkeiten bei den Zuwachsmessungen	11
6. Phänologieaufnahmen an Tannen und Fichten	11
6.1. Methode Knospenphänologie	12
6.2. Generelle Bemerkungen und Codes	12
6.3. Knospenphänologie der Tanne	13
6.3.1. Methode	13
6.3.2. Schwierigkeiten und Spezialfälle	14
6.3.3. Bemerkungen	14
6.4. Knospenphänologie der Fichte	15
6.4.1. Methode	15
6.4.2. Schwierigkeiten	16
6.4.3. Spezialfälle	16
6.4.4. Bemerkungen	17
6.5. Entwicklung der Sensorflächenpflanzen.....	18
6.6. Kontinuierliche Messung des Höhenzuwachses (Wachstumsstopp)	18
6.7. Johannistrieb bei der Fichte.....	20
7. Frostsensitivität.....	20
8. Mortalitätserhebung	21
9. Flächenunterhalt	23
10. Zeitlicher Aufwand der einzelnen Arbeiten und Datenerhebungen	24
11. Datenhandling	25
12. Wetterverlauf.....	27

13. Literaturverzeichnis.....	29
14. Anhang	30
14.1. Bemerkungskatalog	30
14.2. Liste aller gepflanzten Buchenherkünfte.....	31
14.3. Entscheidungsschema für die Reduktion der Doppelbepflanzung	35
14.4. Anteil nachgepflanzter Sämlinge in Birmensdorf	37
14.5. Fotos der Vitalitätsstudie an Fichten und Tannen.....	38
14.6. Tabelle zur Mortalität der Fichten und Tannen	39

1. Einleitung

Die Feldsaison 2013 im Forschungsprojekt «Adaptive genetische Variation von Fichte, Tanne und Buche (ADAPT)» begann mit den Vorbereitungen für das Pflanzen der Buchen (*Fagus sylvatica* L.). Dies umfasste die Entnahme der Setzlinge aus dem Saatbeet sowie das Sortieren, Etikettieren und Randomisieren der Sämlinge. Später wurden diese auf den beiden Versuchsflächen in Birmensdorf und Matzendorf gepflanzt. Im gleichen Zeitraum wurden die im Jahr 2012 paarweise gepflanzten Tannen- (*Abies alba* Mill.) und Fichtensämlinge (*Picea abies* L. Karst.) auf ein Individuum pro Pflanzposition reduziert und anschliessend die ersten Messungen der Stammdurchmesser und Gesamthöhen für den saisonalen Zuwachs durchgeführt. Die Kernaufgabe der Feldsaison 2013 war die Erfassung der Knospenentwicklung der Tannen und Fichten. Sobald die Knospen aufgebrochen waren, wurde auch der Höhenzuwachs kontinuierlich gemessen, um den Wachstumsstopp zu bestimmen. Zusätzlich wurden die Auswirkungen eines natürlichen Frostreignisses Ende Mai sowie der Johannistrieb an Fichten ab Mitte Juli erfasst. Daneben wurde viel Unterhaltsarbeit auf den Versuchsflächen sowie für die Infrastruktur geleistet.

Dieser Bericht umfasst in einem ersten Teil die einzelnen Arbeitsschritte der Feldsaison 2013 in chronologischer Reihenfolge (Kap. 2 bis 8). Der zweite Teil beinhaltet eine Zusammenfassung der Flächenunterhaltsarbeiten, eine Liste zum ungefähren Arbeitsaufwand der einzelnen Arbeiten, eine Dokumentation zum Datenhandling und der Datenablage sowie einen Wetterrückblick (Kap. 9 bis 12).

2. Buchenpflanzung

Die Buchensämlinge des Projekts ADAPT wurden im Frühling 2013 in das Feldexperiment an den Versuchsstandorten Birmensdorf und Matzendorf integriert. Dabei wurde analog der letztjährigen Tannen- und Fichtenpflanzung vorgegangen (Frank et al. 2012).

Im März 2013 startete die Saison mit winterlichem Wetter, was die Vorbereitungen für die Buchenpflanzung verzögerte. In der ersten Märzwoche war der Boden der Saatbeete noch teilweise gefroren, sodass erst am 7. und 8. März mit der Entnahme der einjährigen (Saatgut ADAPT) und zweijährigen Buchensämlinge (Saatgut U. Mühlethaler) begonnen werden konnte. Dabei wurde, analog zum Vorjahr, pro Mutterbaum eine ausreichende Anzahl Sämlinge entnommen, damit wenn möglich 64 (2 Standorte à 16 Blöcke, paarweise Pflanzung), mindestens jedoch 24 Nachkommen (2 Standorte à 12 Blöcke, keine paarweise Pflanzung) für die Pflanzung vorlagen. Die restlichen Pflanzen wurden in den Saatbeeten belassen.

Das Vorsortieren der Buchensämlinge am 11. und 12. März wurde unabhängig von Grösse und Wuchsform nur nach dem Kriterium der Überlebensfähigkeit durchgeführt. Das Zusammenstellen der zu pflanzenden Sämlingspaare und das Etikettieren mit der Mutterbaumnummer war wegen der Grösse der Pflanzen aufwändiger als bei Tannen und Fichten im Frühling 2012 und erfolgte vom 12. bis 19. März. Es wurden Klebeetiketten in verschiedenen Grössen verwendet (Herma, Filderstedt DE), da die Buchen u.a. wegen des unterschiedlichen Alters beträchtliche Grössenunterschiede aufwiesen. Das Randomisieren (Zusammenstellen der Sämlinge resp. Sämlingspaare für die einzelnen Blöcke in zufälliger Reihenfolge) wurde am 12. März durchgeführt. Wenn weniger als 32 Sämlingspaare vorhanden waren, wurden die Paare prioritär dem Versuchsstandort Matzendorf zugeteilt, die einzelnen Sämlinge Bir-

mensdorf. Es lagen also schliesslich mindestens 12 Nachkommen pro Mutterbaum und Versuchsstandort für die Pflanzung vor. Da nicht alle Mutterbäume genügend lebensfähige Sämlinge hervorgebracht hatten (z.B. aufgrund reduzierter Keimfähigkeit oder Frass der Samen durch Buchfinken), standen für das Bepflanzen jedes Blocks maximal 241 Sämlinge resp. Sämlingspaare von 89 Populationen zur Verfügung. Eine Liste der im Feldexperiment vertretenen Mutterbaumnummern und der entsprechenden Populationen ist in Anhang 14.2 zu finden).

Die Versuchsfläche in Matzendorf wurde vorgängig zur Pflanzung der Buchen um $\frac{1}{3}$ erweitert. Die neue Fläche für die Buchen wurde bereits im Herbst 2012 gepflügt. Im Frühling 2013 wurde sie dann geeggt, von Steinen befreit und mit Wildschutzzaun eingefasst. Diese Arbeiten wurden von Daniel Steiner und Beat Büttler durchgeführt. Die Fläche in Birmensdorf war ebenfalls im Spätherbst gepflügt worden. Kurz vor dem Pflanzen wurden beide neuen Versuchsflächen gefräst.

Die Pflanzung der Buchen erfolgte in Birmensdorf vom 15. bis 18. April, die Pflanzpläne wurden bis 22. April korrigiert. In Matzendorf wurden die ersten 5 Blöcke (Bu 17 - Bu 21) am 14. und 15. Mai gepflanzt, die restlichen Blöcke nach einer Kältewelle von ca. zehn Tagen mit sehr nasser Witterung erst vom 3. bis 6. Juni. Trotz der langen Lagerung im Kühlraum bei +2 °C hatten die Buchen auch in Matzendorf keine Probleme mit dem Austrieb und entwickelten schon nach rund einer Woche die ersten Blätter.

3. Zustand der Tannen und Fichten zu Beginn der Saison 2013

3.1. Zustand der Sämlinge in Birmensdorf

Bereits im Herbst 2012 machte uns der eher schlechte Zustand der Pflanzen in Birmensdorf Sorgen. Die Tannen und Fichten wirkten durch ihre starke Gelbfärbung kränklich (Abb. 1), und insbesondere die Fichten waren offensichtlich schlecht im Boden verankert, standen doch viele von ihnen sehr schief. Nach dem Ausapern der Fläche im März 2013 schien die Vitalität der Pflanzen noch schlechter. Deshalb baten wir Madeleine S. Goerg-Günthardt, Matthias Arend und Anton Burkart den Zustand der Pflanzen zu beurteilen. Das Vergilben der Fichtennadeln deutet auf eine Kalkchlorose (Mangan- und Eisen-Mangel) hin, was ein Zeichen für Bodenvernässung ist.



Abbildung 1. Links: Linke Fichte zeigt gelbe Nadeln, rechte Fichte ist vital. Mitte: Linke Tanne zeigt gelbe Nadeln, rechte Tanne ist wahrscheinlich tot. Rechts: Durch Frost aus dem Boden gehobenen Fichtensämlinge. Der Wurzelansatz liegt komplett frei. Quelle: Aline Frank.

Der Zustand der Pflanzen war im unteren Bereich der Versuchsfläche schlechter, was die Annahme einer Chlorose bestätigte (Günthardt-Goerg, *persönliche Kommunikation*). Der «schlechte Boden» (schwerer Boden, wassergesättigt, sauerstoffarm) scheint für den schlechten Zustand der Pflanzen ein Hauptgrund zu sein (Hanggley, Abb. 2). Da bei der Entnahme der Sämlinge aus dem Saatbeet das Feinwurzelsystem beschädigt wird, kommt es zu einem Pflanzschock, wovon sich die Sämlinge jedoch normalerweise im folgenden Jahr erholen. Die Reduktion der Wurzeln führte allerdings zu Schwierigkeiten bei der Wasser- und Nährstoffaufnahme, was die Pflanzen in ihrem Wachstum schwächte (Matthias Arend, *persönliche Kommunikation*).



Abbildung 2. Bodenprofil der Versuchsfläche in Birmensdorf (Hanggley). Quelle: Lorenz Walthert.

Weitere Faktoren für den schlechten Zustand der Pflanzen waren Hagelereignisse im Sommer 2012 sowie die mechanische Verletzung der Pflanzen durch Insektenfrass am Wurzelsystem und vereinzelt durch das Jäten. Zudem wurden anfangs 2013 viele Pflanzen durch wiederholtes Gefrieren und Auftauen des Bodens aus dem Boden herausgedrückt und mussten neu gesetzt werden (Abb. 1 rechts, Kap. 4.1). Dies ist ein weiteres Indiz dafür, dass die Tannen und Fichten in Birmensdorf in der Vegetationsperiode 2012 wenig neue Wurzeln gebildet hatten und daher schlecht im Boden verankert waren. In Matzendorf konnte dieses Phänomen nicht beobachtet werden und es mussten keine Sämlinge neu gepflanzt werden.

Um eine Aussage über die Austriebsfähigkeit der Pflanzen machen zu können, wurden die Terminal- und Quirlknospen der Endtriebe von je acht kränkelnden, d.h. gelb verfärbten, sowie zwei gesunden (Kontrolle) Tannen und Fichten längs aufgeschnitten und unter dem Binokular fotografiert (Bilder

in Anhang 14.5). Der Zustand der Knospen wurde anschliessend am 26. März von Matthias Arend optisch beurteilt. Dabei zeigte sich bei den Fichten, dass die Knospen der gesunden Pflanzen sowie $\frac{3}{4}$ der Knospen der geschwächten Pflanzen grüne Nadelanlagen aufwiesen. Dies bedeutet, dass diese Knospen immer noch zum Austreiben fähig waren. Die Knospen der zwei anderen kränkelnden Fichtensämlinge hatten abgestorbene Nadelanlagen. Bei den Tannensämlingen wiesen die Knospen der gesunden, aber auch die der meisten geschwächten Pflanzen, grüne Nadelanlagen auf. Einige davon waren hellgrün bis gelblich, was auf verringerte Vitalität hinwies. Für die meisten der untersuchten Tannen- und Fichtenknospen schien also der Austrieb im Frühling 2013 nicht unmöglich. Es blieb aber unklar, welchen Einfluss die Schwächung der Pflanzen auf das Austriebsverhalten haben würde.

3.2. Zustand der Sämlinge in Matzendorf

Der Zustand der Fichten und Tannen in Matzendorf präsentierte sich Ende März 2013 als durchwegs sehr gut, die Pflanzen waren kräftig, wuchsen aufrecht und wiesen eine dunkelgrüne Farbe auf. Durch den Schneedruck wurden die Markierungspflöcke mit den Reihenbeschriftungen und damit auch einige Pflanzen teilweise umgedrückt oder gänzlich begraben, was die Sämlinge aber kaum beeinträchtigt hat. Vereinzelt wiesen Tannen eine blasse Farbe auf, die Vitalität beider Arten war aber allgemein viel höher als in Birmensdorf. In Matzendorf gab es keine «kränklich» wirkenden Pflanzen, ausser einige wenige, die durch Mäuse von ihren Wurzeln getrennt worden waren.

3.3. Konsequenz der Vitalitätsbeurteilung der Sämlinge für das Projekt

Ursprünglich war geplant, die Phänologieaufnahmen und die kontinuierlichen Messungen des Höhenzuwachses in Birmensdorf durchzuführen. Am Standort Matzendorf wären demnach nur die Messungen des saisonalen Zuwachses der Gesamthöhen und Stammdurchmesser erhoben worden. Da der Zustand der Pflanzen in Birmensdorf nach dem Winter sehr schlecht war (Kap. 3.1), jener der Pflanzen in Matzendorf dagegen hervorragend (Kap. 3.2), wurde Anfang April entschieden, die Phänologiebeobachtungen und die kontinuierlichen Höhenmessungen in Matzendorf durchzuführen. Dies führte zu einem grossen logistischen und personellen Mehraufwand, der ohne die grosse Flexibilität und Unterstützung der Feldmitarbeiter nicht hätte bewältigt werden können. So wohnte ein Teil des Teams für die Feldaufnahmen in einer Wohnung nahe der Versuchsfläche, während der Rest des Teams täglich von Zürich resp. Luzern auf den Brunnersberg pendelte.

4. Vorbereitungen für die Merkmalsaufnahmen

Die Arbeiten, die vorbereitend für die Datenerhebungen an Tannen und Fichten erledigt wurden, umfassten das Nachpflanzen von aus dem Boden gedrückten Sämlingen in Birmensdorf sowie an beiden Standorten die Reduktion der paarweise gepflanzten Tannen und Fichten auf ein Exemplar pro Pflanzposition und das Markieren der Stammdurchmesser-Messstelle.

4.1. Nachpflanzen Birmensdorf

In Birmensdorf zeigte sich nach dem Ausapern der Versuchsfläche, dass wahrscheinlich durch langanhaltende Frost-Tau-Prozesse etliche Pflanzen aus dem Boden gehoben worden waren (Kap. 3.1, Abb. 1). Dies bedingte, dass Individuen, die komplett freiliegende Wurzeln oder freiliegende Wurzelansätze zeigten, nachgepflanzt, d.h. neu eingepflanzt, werden mussten. Die einzelnen Blöcke waren unterschiedlich stark betroffen. So wird der Anteil nachgepflanzter Fichten in den Blöcken Fi 1 - Fi 8 und Fi 13 - Fi 16 auf 10 - 25% geschätzt, die Blöcke Fi 9 - Fi 12 waren mit 50 - 75% deutlich stärker betroffen. Die Tannen waren allgemein mit 10 - 20% nachgepflanzten Individuen weniger stark betroffen, es gab jedoch viele Pflanzen, die nur noch locker in der Erde verankert waren. Diese wurden ebenfalls neu eingepflanzt. Das Nachpflanzen wurde am 7. und 8. März durchgeführt.

4.2. Reduktion der Doppelbepflanzung

Für die Reduktion der Sämlinge auf ein Exemplar pro Pflanzposition wurde für beide Baumarten das von Aline Frank und Caroline Heiri erstellte Entscheidungsschema verwendet (An-

hang 14.3): Zuerst wurde strikt nach Überlebensfähigkeit ausgewählt; war einer der Sämlinge klar schwächer, wurde dieser entfernt. Waren beide Pflanzen zumindest mässig vital, wurde nach vorhandenen Knospen selektiert. Die Terminalknospe wurde definiert als am Ende des Haupttriebs sitzend, senkrecht in der Verlängerung des Haupttriebs. Quirlknospen können sich seitlich der Terminalknospe oder höchstens 1 cm unterhalb des Triebendes befinden (Anhang 14.3). Waren Terminal- und Quirlknospen nur bei einer Pflanze vorhanden, wurde diese bevorzugt. Waren bei einer Pflanze nur Quirlknospen, bei der anderen nur die Terminalknospe vorhanden, wurde jene mit Terminalknospe selektiert. Die Terminalknospe wurde höher bewertet als Quirlknospen, da erstere für das Längenwachstum ausschlaggebend ist. Falls beide Pflanzen Terminal- und Quirlknospen besaßen, wurde die weniger vitale Pflanze entfernt. Waren beide gleich vital, wurde der bergseitige Sämling abgeschnitten.

Diese Arbeiten wurden in Birmensdorf vom 21. - 25. März erledigt, in Matzendorf am 17. April. Einige abgeschnittene Pflanzen haben später in der Saison erneut ausgetrieben. Diese wurden bei Gelegenheit wieder gestutzt.

4.3. Markierung der Stammdurchmesser-Messstelle

Die Markierungen für die Messungen des Stammdurchmessers wurden 2 cm über der Erdoberfläche am Stamm der Sämlinge angebracht (Abb. 3), unterhalb der untersten Seitentriebe. Die Arbeiten wurden in Birmensdorf vom 2. bis 15. April, in Matzendorf vom 17. bis 26. April durchgeführt, parallel zu den Messungen für den saisonalen Zuwachs. Vor dem Auftragen der Markierung wurden die Stämmchen mit einer Zahnbürste geputzt. Für die permanente Kennzeichnung wurde Farbe vom Typ Sax Glissa-Seidenglanz ausen hellblau (SAX MIX 6E 607, Urdorf CH), verdünnt mit Presto Nitrouniversalverdünner, mit einem dünnen Pinsel aufgetragen. Da während des Zeitraums, in dem die Markierungen und die ersten Messungen für den saisonalen Zuwachs durchgeführt werden mussten (Kap. 5), in Birmensdorf nasses und kaltes Wetter herrschte, konnten die permanenten Markierungen hier erst später angebracht werden. Als Ersatz wurde die Messstelle mit wasserfestem Feinmarker (Staedtler permanent Lumocolor, Nürnberg DE) in schwarzer Farbe gekennzeichnet. Bei den in Birmensdorf nachgepflanzten Tannen und Fichten konnte die 2-cm-Regel für die Durchmesser-Messung häufig nicht eingehalten werden, da die untersten Seitenzweige nun unterhalb dieser Höhe lagen. In diesen Fällen wurde die Markierung so weit unten wie nötig und möglich gesetzt, d.h. möglichst unter dem untersten Seitentrieb, der über der Erde liegt. In Matzendorf stellte sich dieses Problem nicht.

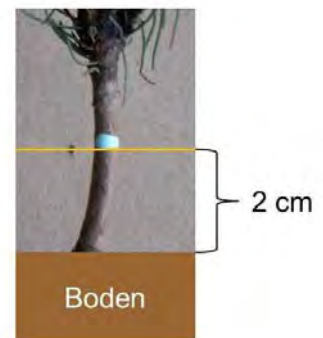


Abbildung 3. Durchmessermarkierung an Fichte.
Quelle: Caroline Heiri.

5. Messung des saisonalen Zuwachses an Tannen und Fichten

Die ersten Messungen für den saisonalen Zuwachs des Stammdurchmessers und der Gesamthöhe der Tannen und Fichten wurden in Birmensdorf vom 2. bis 15. April, in Matzendorf vom 17. bis 26. April, durchgeführt, also vor dem Beginn der Wachstumsperiode 2013. Diese Messdaten wurden in einer separaten Tabelle erfasst (Kap. 11). Die Messungen beider Parameter wurden jeweils für die ersten drei Reihen von der linken Blockseite, diejenigen für die zweiten drei Reihen von der rechten Blockseite her gemacht (Abb. 4). Die Messungen von Stammdurchmesser und Gesamthöhe werden im Winter 2013/14 wiederholt, um den saisonalen Zuwachs der beiden Parameter zu bestimmen.

5.1. Messung Stammdurchmesser

Der Stammdurchmesser der Sämlinge wurden mit einer elektronischen Schublehre (toolcraft M-150, Germantown WI, USA) in Zehntel-Millimetern gemessen. Die Messungen erfolgten am unteren Rand der zuvor angebrachten Markierungen (Kap. 4.3, Abb.3 und 5).

5.2. Messung Gesamthöhe

Die Gesamthöhe wurde vom Erdboden aus gemessen und mit einem Doppelmeter (im Folgenden Massstab genannt) in Millimetern erfasst. Der Massstab wurde jeweils links von der Pflanze auf dem Boden aufgesetzt. Falls die Pflanze krumm stand, durfte sie aufgerichtet werden, da es sich um die Messung der Gesamthöhe entlang der Haupttriebachse handelt. Bei der Tanne wurde als oberster Punkt die Terminalknospenspitze genommen, bei der Fichte die obersten Nadelspitzen, da hier die in den Nadeln eingepackte Knospe oft nicht sichtbar war (Abb. 4). Für Fichten mit Nadelverlust wurde die Bemerkung 4 eingeführt (siehe nächster Absatz), falls dadurch die Terminalknospe der höchste Punkt der Pflanze war.

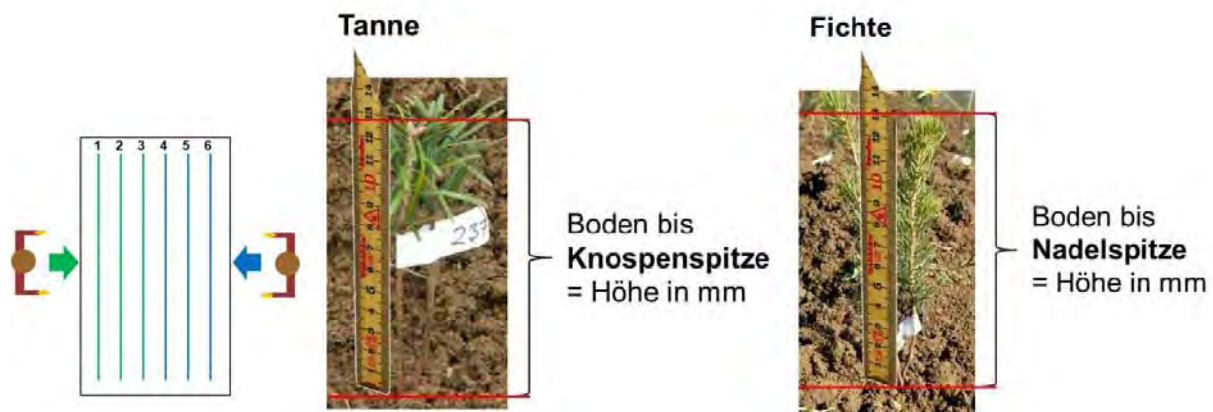


Abbildung 4. Vorgehen bei der Datenerhebung zum saisonalen Zuwachs. *Links:* Position der Messperson im Block; drei Reihen werden von links, drei von rechts gemessen. *Mitte und Rechts:* Höhenmessung bei Tannen und Fichten. Quelle: Caroline Heiri.



Abbildung 5. Messung des Stammdurchmessers mit elektronischer Schublehre. Quelle: Martina Späni.

5.3. Bemerkungen und Schwierigkeiten bei den Zuwachsmessungen

Während dieser ersten Messungen wurden verschiedene Bemerkungen (Bem.) definiert (siehe auch Bemerkungskatalog im Anhang 14.1):

Bem. 1: Sämling hat keinen Haupttrieb bzw. keine Terminalknospe. Dies wurde im Hinblick auf die Phänologiemessungen festgehalten, ist aber nicht relevant für den Gesamthöhenzuwachs.

Bem. 2: Sämling wird als wahrscheinlich nicht überlebensfähig eingeschätzt. Er weist braune (Tanne) oder gelbe bis braune (Fichte) Nadeln auf. Diese Einschätzung kann erst im Spätherbst bei der Wiederholung der Messungen der Stammdurchmesser und Gesamthöhen bzw. bei der Mortalitätsaufnahme überprüft werden.

Bem. 3: Seitenzweig liegt unterhalb der Durchmessermarkierung. Wie oben erwähnt, trifft dies v.a. auf nachgepflanzte Fichten zu. Diese Bemerkung wurde nur in Birmensdorf verwendet.

Bem. 4: Terminalknospe ist höchster Punkt. Diese Bemerkung bezieht sich auf Fichten, da hier die Knospe normalerweise in den Nadeln verborgen ist. Diese Erscheinung deutet darauf hin, dass der Sämling nicht sehr fit ist (Nadelverlust).

Bem. 5: Haupttrieb ist zwar vorhanden, es fehlt aber eine Terminalknospe. Dies ist eine Abschwächung der Bemerkung 1.

Eine Schwierigkeit in Birmensdorf war die mangelnde Erfahrung der frisch angestellten Mitarbeitenden, was dazu führte, dass die Markierungen für den Stammdurchmesser teilweise an ungünstigen Stellen gesetzt wurden, z.B. auf Vernarbungen oder loser Rinde. Insbesondere in Birmensdorf wurden die Markierungen teilweise parallel zum Boden gesetzt anstatt senkrecht zur Stammachse.

Ein Unsicherheitsfaktor, v.a. in Matzendorf, ist die Hangneigung von ca. 11° - 15°, was durch wiederholte Starkniederschlagsereignisse (Kap. 10) zu einer spürbaren Erosion führte. Diese Abtragung wurde durch das Jäten noch verstärkt. Dadurch könnten die saisonalen Höhenzuwächse voraussichtlich um bis zu 1 - 2 cm überschätzt werden.

Durch das Jäten zwischen den Sämlingen kam es mit der Zeit zu dem Effekt, dass die Fichten und Tannen höher lagen als die umliegende Erde, sodass es bei einigen Pflanzen zum Freilegen des Wurzelansatzes kam. Einzelne Individuen, deren Wurzeln fast komplett frei lagen und auszutrocknen drohten, wurden daher gegen Saisonende neu eingepflanzt, was in den Datentabellen vermerkt ist. Bei diesen stimmt der saisonale Höhenzuwachs nicht mehr.

6. Phänologieaufnahmen an Tannen und Fichten

Die folgenden Abschnitte beschreiben das Vorgehen bei der Erfassung der saisonalen Entwicklung von Tannen und Fichten, insbesondere des Knospenaustriebs, Johannistriebs und Wachstumsstopps. Es werden jeweils die dabei aufgetretenen Schwierigkeiten diskutiert. Spezialfälle, die während der Phänologiebeobachtungen auftraten und mit einer Bemerkung dokumentiert wurden, werden detailliert erläutert. Eine Zusammenstellung aller Bemerkungen ist im Anhang 14.1 zu finden.

6.1. Methode Knospenphänologie

Die Phänologie der Knospen (Aufbrechen und Austrieb) wurde bei Tannen und Fichten ausschliesslich in Matzendorf beobachtet. Die Erhebungen erfolgten zweimal pro Woche, in der Regel bei den Tannen montags und mittwochs, bei den Fichten dienstags und donnerstags. Beobachtet wurden jeweils die Terminalknospe und die zuerst austreibende Quirlknospe (Definition von Terminal- und Quirlknospen: Anhang 14.3). Dabei wurde im Zweierteam gearbeitet, wobei eine Person die Pflanzen beurteilte und später auch die kontinuierlichen Höhenmessungen durchführte, und die andere Person die Informationen in einem Excel-Datenblatt auf dem Tablet (Samsung Galaxy Tab2 7.0) eintrug. Die Messperson wurde jeweils in der Tabelle erfasst. Ein Beispiel der Aufnahmetabelle befindet sich in Kapitel 11.

Bei der Erfassung der verschiedenen Phasen der Knospenentwicklung (Tanne: Kap. 6.3.1, Fichte: Kap. 6.4.1) wurde nach dem Grundsatz verfahren: «im Zweifelsfall ja». Da die Phänologieansprache auf qualitativen Merkmalen beruht, kann es vorkommen, dass man unsicher ist, ob die Kriterien für die Vergabe einer Phase erfüllt sind oder nicht (dies v.a. um den Zeitpunkt des Phaseneintritts herum). Um zu verhindern, dass man einzelne Entwicklungsphasen verpasste, wurde im Zweifelsfall eine Phase als erreicht erfasst. Dieses Vorgehen führte einerseits dazu, dass die Phasen tendenziell eher zu früh als zu spät erfasst wurden, andererseits dazu, dass es zu Unterschieden in der Interpretation des Phänologieschlüssels kam. Nicht alle Mitarbeiter setzten die Regel gleich um; trotz anfänglicher Eichung variierte die individuelle Einschätzung. Noch regelmässigeres Eichen zwischen den Teams scheint für weitere phänologische Erhebungen dringend notwendig zu sein, da so der Beobachtereinfluss verringert werden kann. Erschwerend für die Erfassung der Phänologiedaten kam hinzu, dass niemand aus dem Feldteam die zu erfassenden Phasen vorher gekannt hatte und basierend auf Fotodokumentationen, schriftlichen Anleitungen und einer mündlichen Einführung *ad hoc* gearbeitet werden musste.

6.2. Generelle Bemerkungen und Codes

Während den Phänologieaufnahmen wurden einige Bemerkungen definiert, die sich meist auf nur eine Art beziehen. Für beide Arten gilt die Bemerkung 8:

Bem. 8: Der Haupttrieb wurde beschädigt, meist durch unsorgfältiges Jäten, sodass Terminal- und Quirlknospen fehlen. Als messbare Quirlknospe wurde die oberste vorhandene laterale Knospe phänologisch erfasst. Dies sollte bei der statistischen Auswertung berücksichtigt werden.

Für die Phänologieaufnahmen wurden zusätzlich Codes für den Zustand der Knospe direkt im entsprechenden Eingabefeld in der Datentabelle eingetragen (statt Messwert od. Julian day).

1111: Knospe abgestorben oder nie vorhanden gewesen. Dies kann auch bedeuten, dass die ersten Phasen noch erfasst werden konnten, danach aber die Knospe oder der Trieb z.B. abgebrochen oder erfroren ist.

2222: Wahrscheinlich ist die Knospe tot oder entwickelt sich nicht. Hauptsächlich auf Fichten bezogen, die keine eindeutige Terminalknospe aufweisen (Bem. 14 im Bemerkungsschlüssel).

4444: Pflanze tot, z.B. durch Mausverbiss, Jätunfall, in Birmensdorf auch aus in Kapitel 4 genannten Gründen.

9999: Leerstelle im Pflanzplan, hier wurde keine Pflanze gesetzt.

6.3. Knospenphänologie der Tannen

6.3.1. Methode

Die Beobachtung der Knospenphänologie der Tannensämlinge begann am 30. April (Julian day 120) und endete am 25. Juli (Julian day 205). Es wurden drei verschiedene Phasen des Austriebes festgehalten (Abb. 6). Diese waren mithilfe der Vorstudie (Heiri et al. 2011) festgelegt worden.

Phase 1

Wenn die Knospe mit ihrem Verlängerungswachstum beginnt, schwillt die Knospe an und es entsteht von der Knospenspitze aus ein weissliches Vlies, das die entstehenden Nadeln bedeckt. Wenn dieses Vlies mindestens 50% der gesamten Knospe ausmacht, wird die Phase 1 als erreicht erfasst.

Phase 2

Im weiteren Verlauf des Knospenwachstums reisst das Vlies auf, was Phase 2 definiert. Die neuen Nadeln sind nun sichtbar.

Phase 3

Phase 3 ist bei der Tanne erreicht, wenn die Achse des neuen Triebes ohne Manipulation sichtbar ist (vergleiche Phase 3 bei der Fichte, wo die Nadeln auseinandergestrichen werden dürfen).

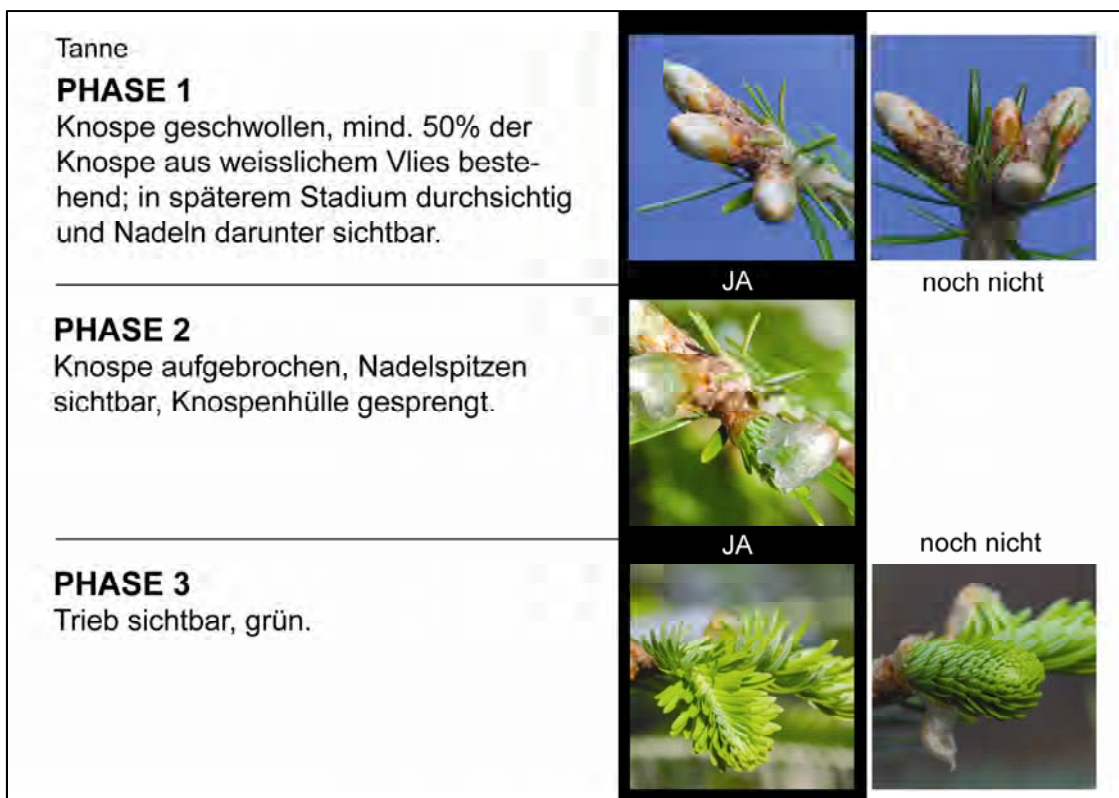


Abbildung 6. Schema zur Bestimmung der Knospenphänologie bei der Tanne. Quelle: Caroline Heiri.

Die Tannen wiesen jeweils eine, zwei, drei oder mehr endständige Knospen auf. Die Vorgehensweise zur Definition der Terminal- und Quirlknospen in allen Fällen werden im Folgenden erläutert.

Wenn nur eine Knospe endständig vorlag, wurde die nächstliegende Knospe am Trieb als Quirlknospe definiert. Ausschlusskriterium war hier ein Abstand von mehr als 1 cm zur Terminalknospenbasis.

Die Mehrheit der Tannen wies zwei endständige Knospen auf, was in der Vorstudie 2011/12 eher eine Ausnahme war. Dies war aus folgendem Grund problematisch: Bei zwei Knospen war es unmöglich, visuell festzustellen, welche Knospe den zukünftigen Terminaltrieb entwickeln würde. Als Kriterium wurde hier schliesslich definiert, dass erfahrungsgemäss die zuletzt austreibende Knospe sich zum Terminaltrieb entwickelt. In den meisten Fällen traf dies auch zu und konnte bei den anders liegenden Fällen (letzte entwickelnde Knospe war Quirlknospe) im Nachhinein für die Knospen-Phänologiedaten korrigiert werden. Beim Berechnen des Wachstumsstopps muss dies beachtet werden, da nicht bekannt ist, ob Quirl- und Terminaltriebe gleichzeitig das Wachstum einstellen. Eine Lösung für das Problem mit zwei endständigen Knospen wäre die Markierung der Knospen mit Farbe, damit nach Beginn des Triebwachstums und der dadurch ermöglichten eindeutigen Identifizierung der Terminalknospe die Phänologiedaten korrigiert werden können. Wenn alle Mitarbeitenden zu Messbeginn instruiert werden, sollte dies aber bei einer weiteren Erhebung keine Schwierigkeiten mehr verursachen.

Bei drei vorliegenden Knospen war die mittig liegende Knospe normalerweise auch die Terminalknospe, sodass aus den zwei anderen die sich als erste entwickelnde Knospe als Quirlknospe erfasst wurde.

Bei mehr als drei endständigen Knospen war teilweise ersichtlich, dass eine Terminalknospe vorlag, in Einzelfällen ($n = 50$) kam es aber auch zu mehreren gleichwertigen Terminaltrieben (Bemerkung 16, Kap. 6.3.3), die in der Regel etwa gleichzeitig austrieben und gleich schnell wuchsen.

6.3.2. Schwierigkeiten und Spezialfälle

Bei der Erfassung der Knospen-Phänologiedaten an den Tannen traten wenige Schwierigkeiten und Spezialfälle auf. Phase 1 wurde nicht von allen Mitarbeitenden gleich eingeschätzt. Da die Knospen nicht immer einen klassischen Entwicklungsverlauf zeigten, konnte die 50%-Regel (mind. 50% der Knospe mit weisslichem Vlies bedeckt) nicht immer eindeutig angewendet werden. Bei einem kleinen Anteil von «kleinwüchsigen» Tannen, die sehr kleine Knospen (1 - 2 mm lang) besaßen, war es generell schwierig, die ersten zwei Phasen zu erkennen.

6.3.3. Bemerkungen

Für die Knospenphänologie der Tannen ergaben sich folgende Bemerkungen.

Bem. 10: Es wurden Tannen beobachtet, die nie 50% Vliesbedeckung erreichten, bevor die Knospe aufbrach. Die Knospe war also im unteren Teil immer noch zu mehr als 50% mit dunklen Schuppen bedeckt. Phase 1 trat nicht auf, die Knospen erreichten direkt Phase 2.

Bem. 13: Die als Terminalknospe angesprochene Knospe ist eigentlich eine Quirlknospe. Diese Bemerkung diente v.a. der späteren Datenbereinigung. Bei diesen Tannen konnten die Knospen-Phänologiedaten von Terminal- und Quirlknospen ausgetauscht werden.

Bem. 15: Die Knospen-Phänologieaufnahmen sowie später die kontinuierlichen Höhenzuwachsmessungen (Kap. 6.6) wurden an einem Seitentrieb durchgeführt, da der Haupt-

trieb nicht mehr vorhanden war. Diese Daten können nicht mit den regulären verglichen werden, da die Knospenentwicklung erfahrungsgemäss bei Seitentrieben früher einsetzt und der Höhenzuwachs (eigentlich Längenzuwachs) bei Tannensämlingen tendenziell bei Seitentrieben grösser ist als bei einem Terminaltrieb (Feldbeobachtung).

Bem. 16: Es lagen mehrere Terminaltriebe vor. Dies beeinflusste die Interpretation der Knospen-Phänologiedaten: Falls sich kein eindeutiger Quirltrieb entwickelte, sondern nur Terminaltriebe, konnten die Knospen-Phänologiedaten für die Quirlknospe nicht verwendet werden. Wenn neben multiplen Terminaltrieben auch ein Quirltrieb aus der letztjährigen Triebspitze wuchs, wurden die Daten für die Quirlknospe in die Auswertungen einbezogen, da ja die erste treibende Knospe zum Quirltrieb heranwächst.

6.4. Knospenphänologie der Fichte

6.4.1. Methode

Die Beobachtung der Knospenphänologie an den Fichtensämlingen begann am 25./26. April (Julian Day 115/116) und endete wie bei den Tannen Ende Juli (Julian day 203). Auch hier wurden drei verschiedene Phasen des Austriebes festgehalten (Abb. 7), die aufgrund der Vorstudie definiert worden waren (Heiri et al. 2011).

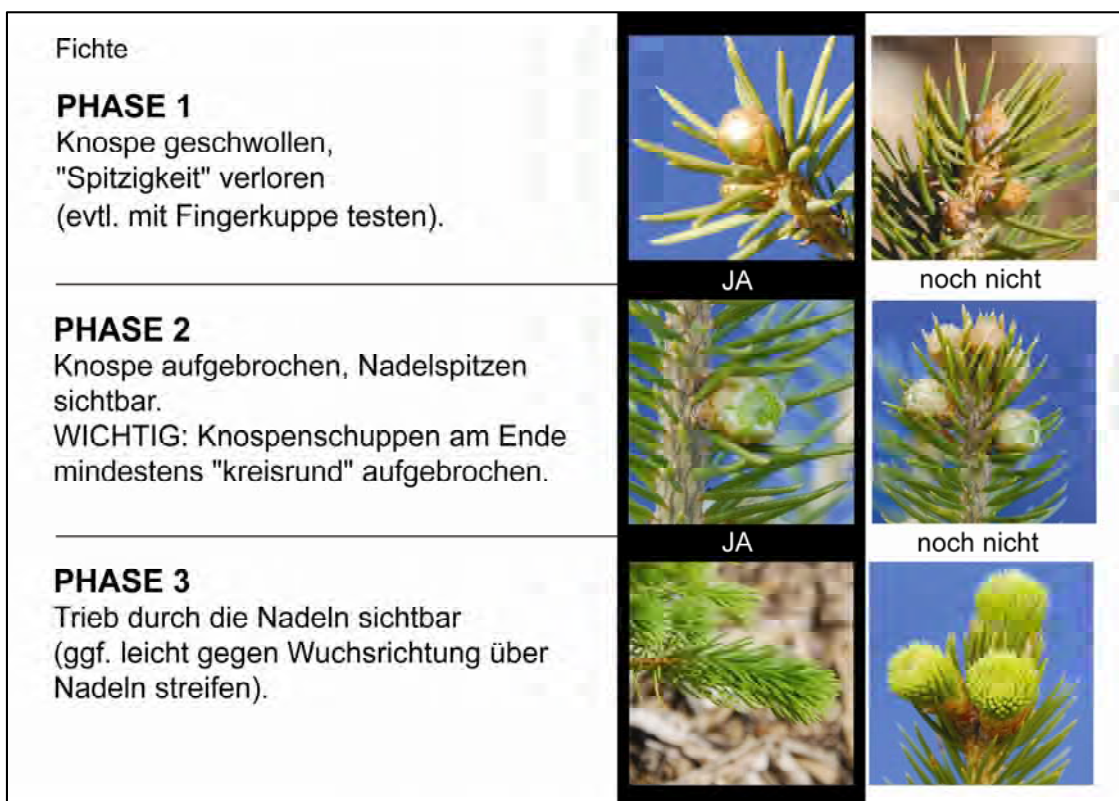


Abbildung 7. Schema zur Bestimmung der Knospenphänologie bei der Fichte. Quelle: Caroline Heiri.

Phase 1

Bei der Fichte setzt das Knospenwachstum mit dem Anschwellen der Knospe ein. Hier findet im Unterschied zur Tanne kein eigentliches Längenwachstum der Knospe statt. Wenn die Knospe keine harte Spitze mehr aufweist, ist Phase 1 erreicht. Für die hier aufgetretenen Schwierigkeiten: Kapitel 6.4.2.

Phase 2

Phase 2 ist definiert durch den komplett freiliegenden «Nadelspiegel», d.h. die Nadelspitzen sind nicht mehr von Knospenschuppen bedeckt. Sie bilden eine kreisrunde, ebene Fläche.

Phase 3

Phase 3 tritt ein, wenn der Trieb sichtbar ist, wobei bei der Fichte die Nadeln leicht auseinander gestrichen werden dürfen (Triebobenseite und -unterseite).

Bei den Fichten war meistens klar, welches die Terminalknospe war. Die Quirlknospen befanden sich in der Regel eindeutig seitlich der Terminalknospe, die gerade aufgerichtet in der Verlängerung der Haupttriebachse sass. Auch hier galten alle Knospen, die höchstens 1 cm unterhalb der Spitze wuchsen, als Quirlknospen. Die beiden Varianten, bei denen der Habitus anders war, werden im Kapitel 6.4.3 beschrieben (Fichten ohne echte Terminalknospe und «büschelig» wachsende Fichten).

6.4.2. Schwierigkeiten

Bei der Erfassung der Knosphenphänologie an Fichten traten folgende Schwierigkeiten auf:

Es stellte sich die Frage, welcher der Triebe als Haupttrieb fungierte. Da es bei den Messungen der Gesamthöhe im April zu einer Konfusion gekommen war, waren an einigen Pflanzen unsinnige Triebe für die Phänologieaufnahmen definiert und mit blauer Farbe markiert worden. Diese sind mit der Bemerkung 6 im Datensatz erfasst. Dies sollte auch in der nächsten Saison unbedingt konsequent erfasst werden, da die Markierungen nicht immer gut sichtbar bleiben, wenn die Fichten mit dem Wachstum beginnen. Dort, wo entschieden wurde, dass es sich um offensichtliche Fehlentscheidungen handelte, wurden die neu definierten Triebe mit Schnur markiert und mit der Bemerkung 9 versehen. Hierarchisch gesehen steht also Bemerkung 9 über 6. Hier zeigte sich, wie wichtig es ist, dass die Person, die das Tablet bedient, rückfragt bzw. kontrolliert, dass der richtige Trieb gemessen wird.

Zu Beginn der Phänologieaufnahmen an Terminal- und Quirlknospen kam es immer wieder zu Unklarheiten darüber, wie Phase 1 bei der Fichte genau aussieht. Die Beurteilung der «Spitzigkeit» und «Schwellung» der Knospen war schwierig, speziell für Mitarbeitende, die nicht jeden Tag mitgemessen haben. So wurde wiederholt Phase 1 erfasst und wieder gelöscht. Mit der Zeit wurde die Phase klarer, jedoch blieb das Problem bestehen, dass bei einigen Fichten die Knospen bereits von Beginn an, d.h. vor dem Anschwellen, abgerundet waren und keine Spitzigkeit zeigten. Andererseits kamen auch Knospen vor, die ihre Spitzigkeit erst mit Phase 2 überhaupt verloren. Dies sollte im weiteren Verlauf der Studie unbedingt berücksichtigt werden, und eine genauere Definition der Phase 1 gemacht werden. Phase 2 war relativ gut erkennbar, obwohl hier manchmal Unsicherheiten bestanden, ob der Nadelspiegel schon komplett schuppenfrei war. Es kam vor, dass auf den Nadeln lose Schuppen lagen, die aber bei leichtem Touchieren abfielen (Kriterium war hier: falls dies auch durch Wind oder Regen passieren konnte, galt es als natürliche Knospenentwicklung). Weiter herrschte Unklarheit bei der Beurteilung der Phase 3, da das Zurückstreichen der Nadeln (Phase 3 im Schema) unterschiedlich gehandhabt wurde. Auch hier ist ein gutes Eichen der Mitarbeiter angebracht.

6.4.3. Spezialfälle

Ein Phänomen, das nur bei den Fichten, nicht aber bei den Tannen, auftrat, war ein untypischer Abschluss des Haupttriebs ($n = 43$). Dabei war die Endknospe schlecht definiert, und erschien eher als ein stumpfes Ende an der Triebspitze und nicht wie eine klassische Knospe.

Dies wurde in den Datenfiles bei T1 - T3 als 2222 erfasst, was bedeutet, dass wahrscheinlich keine Terminalknospe wachsen würde. Dies war eine Fehleinschätzung, da einige dieser stumpfen Enden Nadeln entwickelten (meist Nadelbüschel, keine richtigen Triebe). Hier zeigte sich die Schwierigkeit, dass bei diesen ungewöhnlichen Terminaltrieben das Schema mit den drei Entwicklungsphasen nicht angewendet werden konnte. Diese Abweichung vom Üblichen wurde mit der Bemerkung 14 erfasst. Zur Handhabung beim kontinuierlichen Erfassen des Höhenzuwachses siehe Kapitel 6.6.

Ein weiteres Phänomen, das bei einigen Fichten auftrat, war die «Büscheligkeit». Dabei besass der Sämling viele, d.h. mindestens fünf, sehr nahe beieinanderliegende Knospen (Abb. 8, Bem. 12). Diese Knospenbüschel traten z.T. endständig auf (Bem. 7) oder weiter unten an der Pflanze. Nach einer visuellen Erfassung stellte sich heraus, dass die Herkünfte, die dieses Phänomen zeigten, meist Hochlagen sind. Es handelt sich hier wohl um eine Anpassung des Wuchses, da diese Pflanzen klein waren und wenig Höhenzuwachs zeigten, dafür aber viele Triebe bildeten. Bei endständigem Auftreten wurden die «büschelig» angeordneten Knospen meist als gleichwertige Quirlknospen behandelt, eine Terminalknospe war nicht definierbar. Bei einzelnen Fichten erschien eine Knospe trotzdem etwas abgesetzt von den anderen und wurde als Terminalknospe behandelt. Nach dem Austrieb war dann allerdings oft nicht mehr ersichtlich, welches diese «terminale» Knospe war. Folglich können die Daten zur Phänologie der Terminalknospe an Fichten mit «büscheligen» Knospen am Terminaltrieb (Bem. 7) nicht verwendet werden.



Abbildung 8. Büscheliges Wachstum bei der Fichte. Dabei bildet die Pflanze viele Knospen nahe beieinander. Quelle: Caroline Heiri.

6.4.4. Bemerkungen

Bemerkungen, die sich auf die Knospenentwicklung der Fichte beziehen, sind folgende:

Bem. 6: Zu messender Trieb ist mit blauer Farbe markiert, da mehrere Triebe als Haupttrieb in Frage kamen.

Bem. 7: Die betrachteten Knospen sind Teil eines Büschels von mind. 5 endständigen Knospen. Es wurde teilweise vor Erfassung des Phänomens «Büscheligkeit» noch versucht, Quirl- und Terminalknospen zu definieren.

Bem. 9: Falls Triebe unsinnigerweise mit Farbe markiert worden waren, wurde der richtige Trieb nachträglich mit Schnur markiert. 9 steht hierarchisch über 6, in den Bemerkungsdaten sollten immer beide Bemerkungen erfasst sein.

Bem. 12: Systematische Erfassung der «Büscheligkeit» zur Herkunftsüberprüfung.

Bem. 14: Terminaltrieb wuchs aus stumpfem Ende des Haupttriebs, nicht aus einer eigentlichen Knospe, und nur in Form eines Nadelbüschels (kein richtiger neuer Trieb). Das

Phasenschema passte hier nicht. Die Phänologiedaten wurden daher nicht konsistent erhoben und können folglich für die Auswertung nicht verwendet werden.

6.5. Entwicklung der Sensorflächenpflanzen

Die Tannen und Fichten auf den Sensorflächen zeigten im Frühling 2013 eine verzögerte Entwicklung. Wahrscheinlich hängt dieses Phänomen mit der späteren Bepflanzung der Sensorflächen im Herbst 2012 zusammen. Vor Wintereinbruch hatten diese Sämlinge kaum Zeit anzuwachsen und mussten sich im Frühjahr zuerst im Boden verankern, bevor sie austreiben konnten. Die anderen Sämlinge waren im Frühjahr 2012 gepflanzt worden; somit hatten sie eine Vegetationsperiode mehr Zeit gehabt anzuwachsen. Sollte dies der Grund für die verzögerte Entwicklung der Pflanzen auf den Sensorflächen sein, darf sich die Entwicklung der Sämlinge auf bzw. neben den Sensorflächen in der Saison 2014 nicht mehr unterscheiden. Andernfalls könnte das abweichende Verhalten der Sämlinge auf den Sensorflächen auf ein verändertes Mikroklima hindeuten (bspw. durch die Tensiometer oder die Erdbewegungen beim Setzen der Bodensensoren).

6.6. Kontinuierliche Messung des Höhenzuwachses (Wachstumsstopp)

Der Höhenzuwachs wurde während der Wachstumsperiode kontinuierlich gemessen, um den Wachstumsstopp zu bestimmen. Der Zuwachs wurde bei beiden Baumarten ab Phase 2 gemessen, wobei die Tanne eine deutlich kürzere Wachstumsphase zeigte als die Fichte. Die Fichten wurden bis Ende September weitergemessen, nachdem die Tannen bereits Mitte Juli ihr Höhenwachstum abgeschlossen hatten.

Für die kontinuierlichen Höhenmessungen wurden im Frühling bei allen Pflanzen Erdnägel aus Kunststoff gesetzt (HaGa-Welt Gartenbedarf, Nordstemmen DE), um einen fixen Nullpunkt für die Messungen zu haben (Abb. 9). Die Nägel wurden nahe am Stamm auf der rechten Seite (Abb. 4) der Pflanzen in die Erde gesteckt, so dass sie möglichst im Lot standen und die Nagelköpfe direkt auf dem Boden auflagen. Der flache und steinige Boden in Matzendorf erschwerte diese Arbeit. Teilweise mussten die Nägel gekürzt werden, da der Boden sehr flachgründig ist. Manchmal war es auch nicht möglich, die Nägel gerade zu setzen, was später genaue Messungen erschwerte. Zudem kam es beim Jäten und vor allem durch Trockenrisse im Boden während der Hitzewelle im Juli z.T. zu Verschiebungen der Erdnägel, oder sie wurden bei Starkniederschlägen verschüttet bzw. von Unkraut überwachsen. Grundsätzlich verhinderten aber die Widerhaken der Erdnägel erfolgreich, dass sich diese bewegten. Im Laufe des Wachstums erwies sich gerade bei hoch wachsenden Fichten die Lage der Erdnägel nahe am Stamm als ungünstig, da mit dem Verholzen und dem Durchmesserzuwachs die Bäume unflexibel wurden und der Doppelmeter nicht mehr gut angesetzt werden konnte. Alles in allem waren die Erdnägel jedoch eine gute Messbasis für das Höhenwachstum.



Abbildung 9. Erdnagel, ca. 15 cm lang. Quelle: Anita Nussbaumer.

Aus der Überlegung heraus, dass man jeweils die ersten drei Reihen von der linken Blockseite, die ande-

ren drei Reihen aber von der rechten Seite aus misst (Abb. 4), wurde festgelegt, dass die Erdnägel immer von der Messperson aus gesehen rechts gesetzt werden. Dies führte in Matzendorf dazu, dass in den ersten drei Reihen die Nägel unterhalb, in den zweiten drei Reihen jedoch oberhalb der Pflanze platziert wurden. Im Verlauf der Feldarbeiten stellte sich heraus, dass das Messen von der Seite für viele Mitarbeitende ergonomisch schlecht umzusetzen war. Die Pflanzen wurden deshalb meist von einer Position unterhalb der Pflanze gemessen, entweder im Stehen oder Knien. Obwohl dies nicht beabsichtigt war, kam es hier zu einem spürbaren Messunterschied, da die Mitarbeiter nicht einheitlich arbeiteten (Masstab wurde nicht immer im Lot angesetzt). Gutes und regelmässiges Eichen wäre auch hier eine Lösung zur Abschwächung dieses Phänomens. Für die Auswertung der Daten kann durch das Festhalten der Messperson in der Messtabelle der Mitarbeitereffekt berücksichtigt werden, falls dieser statistisch signifikant ausfallen sollte. Bei einem am 5. Juni 2013 spontan durchgeführten Höhenmessvergleich mit neun Personen an vier Fichtensämlingen kam es zu 2 - 9 mm Messunterschied zwischen den Mitarbeitenden. Dies zeigte, dass die Messunterschiede schwankten, wenn auch nicht enorm. Ein regelmässiges Eichen der Mitarbeitenden ist sehr wichtig, z.B. wie stark eine Pflanze aufgerichtet wird, ob der neue Trieb aufgerichtet wird, oder die Nadelspitzen für ein vereinfachtes Ablesen der Höhe zusammengedrückt werden dürfen. Ebenfalls wäre eine regelmässige Überprüfung für das richtige Ansetzen des Doppelometers sinnvoll.

Zu Messbeginn wurde angenommen und festgelegt, dass es kein Negativwachstum geben darf. Dies führte dazu, dass die Pflanzen eher zu hoch eingeschätzt wurden, da man sich gegenseitig «überbieten» musste (zumindest wurde diese Regel so interpretiert). Nach einigen Messtagen wurde diese Regel aufgehoben, v.a. da es zu abgebrochenen Terminalknospen gekommen war. Ausserdem zeigte sich, dass nach Phase 2 bei beiden Arten zuerst nicht viel passierte, d.h. das Wachstum nur sehr langsam einsetzte. Dies kann einerseits der normale Wachstumsverlauf sein, jedoch auch mit dem kalten Wetter zusammenhängen. Als die Bäume in die Hauptwachstumsphase kamen, wurden die Messwerte vertrauenswürdiger, da es zu grossen Zuwächsen kam (Tanne ca. 1 cm, Fichte teilweise 2 - 3 cm pro Woche). Speziell für die Tanne gilt, dass die Entwicklung sehr schnell abläuft und bei den anfänglichen Messungen die Nadeln noch sehr empfindlich sind, so dass die neuen Triebe schnell abfallen können. Bei den Fichten wuchsen einige Terminalknospen zu Beginn seitlich oder sogar abwärts, was die Höhenmessung erschwerte.

Bei Fichten mit Bemerkung 14 (14.1) wurde für die kontinuierliche Messung des Höhenzuwachses teilweise, aber nicht konsequent, auf einen Quirltrieb ausgewichen. Dies stellte sich im Lauf der Zeit als falsch heraus, da zu einem relativ späten Zeitpunkt Nadeln aus den vermeintlich toten Terminalknospen zu wachsen begannen, die sich teilweise zu einem Terminaltrieb entwickelten. Hier ist ebenfalls zu beachten, dass manchmal die sich zuletzt entwickelnde Quirlknospe als Terminalknospe behandelt wurde, obwohl vielleicht später das stumpfe Triebende noch einen echten Terminaltrieb entwickelte. Hier sollten für eine nächste Aufnahmesaison genaue Kriterien festgelegt werden, ab wann man auf eine Quirltrieb-Messung ausweicht, und dies eindeutig in den Messungen erfassen.

Bei Fichten mit «Büscheligkeit» gestaltete sich eine Terminaltrieb-Zuwachsmessung schwierig, da unklar blieb, welches überhaupt der Terminaltrieb war und ob sich die einzelnen Triebe während des Wachstums überholen würden. Auch hier müsste von Anfang an klar definiert werden, von welchem Zeitpunkt an der Höhenzuwachs gemessen wird, da die einzelnen Knospen im Büschel sich unterschiedlich schnell entwickeln. Letztlich wurde meistens der höchste Trieb des Büschels gemessen. Wo dies nicht der Fall war, orientierte man sich

am vorherigen Messwert. Da diese Pflanzen sehr geringe Zuwächse zeigten, war dies bei den kurzen Messabständen kein Problem.

Auch wenn obige Einschränkungen der Messgenauigkeit das subjektive Empfinden hinsichtlich Datenqualität negativ beeinflusst haben, zeigten die ersten Auswertungen, dass die erhobenen Messdaten eine sehr gute Qualität aufweisen und für die Herleitung des Wachstumsstopps gut geeignet sind. Ein regelmässiges Überprüfen der Messtechnik der Feldmitarbeiter in der kommenden Feldsaison kann die Datenqualität aber zusätzlich erhöhen.

6.7. Johannistrieb bei der Fichte

Ein Spezialfall von Höhenzuwachs stellt der sogenannte Johannis- oder Augusttrieb dar. Dies ist ein Phänomen, das bei der Fichte, jedoch nicht bei der Tanne vorkommt. Dabei handelt es sich um ein Austreiben von diesjährig angelegten Knospen, die in der laufenden Vegetationsperiode erneut austreiben, anstatt zu überwintern («second flush»; Abb. 10). Ab dem 29. Juli (Julian day 211) wurde der Johannistrieb an den Fichten systematisch erfasst. Zuvor waren Johannistriebe bereits bei einzelnen Pflanzen beobachtet worden, dies waren aber zufällige Befunde. Das Merkmal Johannistrieb wurde als Julian day erfasst, an dem diesjährig angelegte Knospen einer Pflanze mindestens Phase 2 (Phänologiephasen bei der Fichte: Kap. 6.4.1) erreichten. Es wurde unterschieden, ob der neue Trieb an der Terminalknospe des Haupttriebs, an einer Quirlknospe des Haupttriebs oder sonst irgendwo an der Pflanze entstanden war. Weitaus am Häufigsten wurden Johannistriebe an Seitentrieben gebildet. Eine Haupttriebverlängerung fand selten statt (ca. 5 - 10 Pflanzen pro Block).

Die kontinuierliche Höhenmessung wurde weitergeführt, auch wenn der Johannistrieb zu einem neuen Wachstumsschub führte. Vorsicht war geboten bei der Beurteilung des Johannistriebs an Haupt- und Seitentrieben: Hier konnte auch eine erneute Triebverlängerung übergangslos stattfinden, ohne dass zuvor eine Endknospe gebildet wurde (sylleptisches Wachstum, Wühlisch und Muhs 1986). Es sollte aber nur der zweite Austrieb über Bildung einer neuen Knospe erfasst werden (proleptisches Wachstum), da nur diese Variante eindeutig als zweiter Austrieb erkannt werden konnte. Ob das Auftreten von Johannistrieben durch Frostschäden begünstigt wurde, konnte nicht erfasst werden.



Abbildung 10. Johannistrieb an einem Seitenzweig. Quelle: Aline Frank.

7. Frostsensitivität

Vom 23. zum 24. Mai kam es zu einem Spätfrostereignis in Matzendorf, wobei von 23.00 Uhr bis um 8.00 Uhr morgens Temperaturen knapp unter dem Gefrierpunkt herrschten (Messstation auf der Versuchsfläche, Temperatursensor 2 m über Boden), wobei die Minimaltemperatur bei -1.2 °C lag. Dies führte dazu, dass an Tannen und Fichten teilweise Frostschäden entstanden. Diese reichten von erfrorenen Nadelspitzen bis zu vollkommen durchgefrorenen und dadurch abgestorbenen Sämlingen. Bei den Fichten waren 565 Sämlinge (ca. 14%) von Frostschaden betroffen, bei den Tannen 353 Sämlinge (ca. 9%). Bei den Buchen waren zu diesem Zeitpunkt erst 5 Blöcke ausgepflanzt, bei denen keine Frostschäden erhoben wurden.

Für die beiden untersuchten Arten wurde in einem ersten Schritt erfasst, ob Frostschäden entstanden waren. Danach wurden Schweregrade festgelegt mit der zusätzlichen Information, ob die Terminalknospe bzw. der Terminaltrieb betroffen war. Falls dies der Fall war, wurden die Phänologiedaten bzw. der Höhenzuwachs nicht weiter erfasst. Die Schweregrade wurden wie folgt definiert (für Beispiele siehe folgende Seite, Abb. 11):

Tanne	Fichte
0 = kein Schaden	0 = kein Schaden
1 = Schaden an neuen Nadeln	1 = Schaden an neuen Nadeln
2 = ganze neue Triebe teilweise geschädigt	2 = ganze neue Triebe geschädigt
3 = ganze neue Triebe komplett geschädigt	3 = letztjährige Triebe mit allen neuen Trieben dran geschädigt
4 = alle neuen Triebe geschädigt oder sogar ganze Pflanze tot	4 = alle neuen Triebe geschädigt oder sogar ganze Pflanze tot

8. Mortalitätserhebung

Anfang September wurde bei allen drei Baumarten die Mortalität erhoben. Dabei wurden drei Stufen verwendet, die schon im Herbst 2012 bei den Tannen und Fichten festgelegt worden waren. Dabei wird die Pflanze als gesund (= 1), kritisch (= 4) oder tot (= 9) eingestuft.

Bei den Buchen wurden die Daten für beide Sämlinge an jeder Pflanzposition erhoben und für ein allfälliges Nachpflanzen von Sämlingen im Herbst 2013 verwendet. Buchensämlinge sollen dann ersetzt werden, wenn beide «Zwillinge» abgestorben oder in schlechtem Zustand sind. Für Matzendorf trifft ersteres auf 115 Buchen (-Paare) zu, es können jedoch nur 44 ersetzt werden, da im Saatbeet nicht mehr genügend Sämlinge der entsprechenden Mutterbaumnummern vorhanden sind. In Birmensdorf sollten 179 Paare ersetzt werden, es sind jedoch nur 122 vorhanden. In Birmensdorf kam es wahrscheinlich durch Abdrift von Round-Up bei der Unkrautbekämpfung teilweise zu Verlusten, was am Verteilungsmuster der toten Pflanzen ersichtlich ist (Blockränder sind stärker betroffen).

Bei den Fichten und Tannen macht die Mortalitätsaufnahme 2013 deutlich, dass die Entscheidung, die Beobachtung der Phänologie und die Messung des kontinuierlichen Höhenzuwachses in Matzendorf durchzuführen, richtig war (Zusammenstellung der Mortalitätsdaten Anhang 14.6). In Matzendorf befinden sich durchschnittlich 88% der Tannen und sogar 95% der Fichten in einem guten Zustand. In Birmensdorf sind es nur 68% (Tannen) und 65% (Fichten). Vor allem in den Tannenblöcken 14 und 15 in Birmensdorf war die Mortalität sehr hoch; hier machten die toten Tannen 28% bzw. 54% aus.

Bei der Sichtung der Aufnahmen zeigte sich, dass von den im Frühling 2013 als «evtl. tot» eingestuften Tannen in Birmensdorf (Bem. 2 im Bemerkungskatalog, $n_{\text{tot}} = 46$) inzwischen 75% tatsächlich gestorben waren. Bei den Fichten hingegen hat sich der Grossteil über den Sommer erholt (65% von diesen sind neu gesund, 22% kritisch). Dies bestätigt die Einschätzung von Anton Burkart, dass Fichten im ersten Jahr nach dem Umsetzen einen deutlichen Pflanzschock erfahren, von dem sie sich aber normalerweise erholen (Kap. 3). In Matzendorf wurden die Tannen bis auf eine Pflanze ($n_{\text{tot}} = 21$) falsch eingeschätzt, da von diesen Tannen im Herbst 2013 20 gesund waren. Bei den Fichten traf die Einschätzung jedoch sehr gut zu; hier starben 17 von 19 als «evtl. tot» eingestufte Pflanzen über den Sommer.



a. Tanne: 1 = Schaden an neuen Nadeln.



b. Tanne: 2 = ganze neue Triebe teilweise geschädigt.



c. Tanne: 3 = ganze neue Triebe komplett geschädigt.



d. Tanne: 4 = ganze Pflanze tot.



e. Fichte: 1 = Schaden an neuen Nadeln.



f. Fichte: 2 = ganze neue Triebe komplett geschädigt.



g. Fichte: 3 = letztjährige Triebe mit allen neuen Trieben dran geschädigt.



h. 4 = Fichte: ganze Pflanze tot.

Abbildung 11. Frostschäden an Tannen und Fichten mit entsprechendem Code für Schweregrad des Schadens.
Quelle: Anita Nussbaumer.

9. Flächenunterhalt

In Birmensdorf begann die Saison mit dem Einsammeln von grossen Steinen. Während der Saison wurden Mäuse ein Problem, im Verlauf des Sommers dann zusätzlich auch Maulwurfsgriillen. Nach dem Auspflanzen der Buchen kam es zu einem Wolllausbefall, der am 19. Juni einmalig mit 0.15% Melophen und 0.04% Tega bekämpft wurde, wobei für die gesamte Fläche 200 Liter der Lösung verwendet worden sind. Zur Unkrautbekämpfung wurden vor der Messsaison und danach nochmals im Mai die Wege zwischen den Messblöcken mit Round-Up behandelt, sodass Unkraut nur in kleinem Umfang aufkommen konnte. Hier konnte sogar darauf geachtet werden, dass das Unkraut nicht versamt. Diese Arbeiten wurden ab Ende April zu einem grossen Teil vom Pflanzgartenteam des WSL übernommen. Während des ab Anfang Juli sehr trockenen Wetters wurde vom 24. - 26. Juli die gesamte Versuchsfläche in Birmensdorf mit Schwenkregnern mit ca. 10 mm/m² bewässert.

Der Flächenunterhalt in Matzendorf startete ebenfalls mit dem Einsammeln von Steinen und der Mausbekämpfung, durchgeführt von Beat Büttler. Im Laufe der Saison wurden die frisch gepflanzten Buchen ebenfalls von Wollläusen befallen. Die Buchen wurden mit 0.2% Quassan und 0.8% Natural (Andermatt Biocontrol AG, Grossdietwil CH) behandelt. Hier wurde die Massnahme dreimal wiederholt. Die Fichten wurden ebenfalls von Läusen (vermutlich Tannentriebbläuse) befallen, die mit einer einmaligen Behandlung mit 0.2% Quassan und 1.5% Natural bekämpft wurden. Die Tannen wurden nicht befallen. Während des sehr trockenen Sommers wurden die Buchen- und Tannen-Blöcke einmal bewässert, was Daniel Steiner und Beat Büttler übernommen haben. Die Fläche wurde jeweils frühmorgens mit Sprengkern bewässert. Dies erfolgte vom 24. - 27. Juli und wurde zwischen 2.5 und 6 Stunden pro Tag durchgeführt. Dabei wurden die Buchen und Tannen mit insgesamt 17.2 Hektoliter Wasser bewässert.

Die regelmässigen Arbeiten zum Flächenunterhalt in Matzendorf umfassten das Mähen der Wege zwischen den Versuchsblöcken sowie das Jäten in den Blöcken. Gemäht wurde ca. alle zwei Wochen. Gejätet wurde fortlaufend, wobei zu Beginn der Vegetationsperiode noch die Hoffnung bestand, durch tiefgründiges Entfernen des Unkrautes ein allzu heftiges Zuwuchern verhindern zu können. Im Laufe der Saison wurde dann zunehmend mit der Pendelhacke gearbeitet. Um die Fichten und Tannen herum musste weiterhin von Hand gejätet werden, da das Risiko, Pflanzen zu verletzen, zu gross war. Letztjährige Pendelhacken-Verletzungen waren schon zu Messbeginn vereinzelt sichtbar, was vor allem beim Messen der Stammdurchmesser bemerkt wurde. Sehr selten wurden leider auch Pflanzen durch das Jäten völlig zerstört (einzelne mit der Pendelhacke abgeschnitten). Ab Mitte Juni mussten auch die Buchenflächen gejätet werden, was einen zusätzlichen Arbeitsaufwand bedeutete. Da Buchen schneller wachsen als Nadelbäume, ist hier jedoch das Überwuchern der Pflanzen nicht so wahrscheinlich wie bei den Fichten und Tannen. Im Lauf der Saison wurden v.a. die hoch wachsenden Disteln ein Problem, da das Messen dadurch deutlich erschwert wurde.

10. Zeitlicher Aufwand der einzelnen Arbeiten und Datenerhebungen

Tabelle 1. Zusammenstellung des Arbeitsaufwandes für einzelne Tätigkeiten in Arbeitsstunden, aufgeschlüsselt für die zwei Versuchsstandorte. → bedeutet, die Vorbereitungsarbeiten wurden für beide Standorte in Birmensdorf erledigt.

Tätigkeiten	Zeitaufwand in Stunden		Zeitraum
	Matzendorf (Ma)	Birmensdorf (Bi)	
Messungen:			
Saisonaler Zuwachs, Durchmessermarkierungen, Höhen- und Durchmessermessungen	200	260	2. - 15.4.2013 (Bi) 18. - 25.4.2013 (Ma)
Phänologieaufnahmen und kontinuierliche Messungen des Höhenzuwachses	1600	-	25.4. - 24.9.2013
Untersuchung Vitalität der Fichten und Tannen	-	50	19.3. - 9.4.2013
Mortalitätserhebung	18	18	3.9. - 18.9.2013
Buchenpflanzung:			
Vorbereitung Buchenpflanzung (Pflanzen)	→	330	7.3. - 25.3.2013
Vorbereitung Buchenpflanzung (Fläche: Fräsen, Steine entfernen, Einmessen)	6	38	2.4. - 15.4.2013 (Bi) 29.4. - 15.5.13 (Ma)
Buchenpflanzung	154	118	15.4. - 23.4.2013 (Bi) 14.5. - 6.6.2013 (Ma)
Vorbereitende Arbeiten zu Saisonbeginn:			
Nachpflanzen Fichten und Tannen im Frühling	-	36	7.3. - 12.3.2013
Reduktion der Doppelbepflanzung von Fichten und Tannen	50	50	21. - 25.3.2013 (Bi) 17.4.2013 (Ma)
Sensorflächen Buchen: Vorbereiten der Buchen, Bepflanzen, Sensoren installieren	25	25	8.3. - 12.4.2013 (Bi) 15.5. - 19.6.13 (Ma)
Sensorflächen Birmensdorf: Vogelschutz	-	52	19.3. - 25.3.2013
Kontinuierliche Arbeiten:			
Flächenunterhalt	700	*100	19.3. - 27.9.2013
Läusebekämpfung bei Buchen und Fichten	30	*-	3.7. - 23.7.2013

*Tätigkeit grösstenteils oder vollständig vom Team des Versuchsgartens WSL übernommen.

Die Erdnägel wurden hauptsächlich während den Phänologieaufnahmen gesetzt, daher ist der Aufwand hier nicht bestimmbar. Bei den Phänologieaufnahmen sollte beachtet werden, dass an jedem Messtag die Datensicherung am Abend zusätzlich jeweils eine halbe bis ganze Stunde dauerte. Die Vorbereitung der Datenblätter für die folgende Woche wurde jeweils am Freitag gemacht, was jeweils eine Stunde dauerte.

11. Datenhandling

Da vier Tablets zur Verfügung standen, wurde diesen der Einfachheit halber jeweils vier Blöcke fix zugeordnet. So enthält Tablet T1 die Datenblätter für die Blöcke 17 - 20, etc. Die Dokumente sind so aufgebaut, dass die vier Tabellen-Blätter jeweils den vier Blöcken entsprechen. Dokumente wurden grundsätzlich so benannt, dass Standort, Baumart, Messwerte (Phänologie oder Messungen des saisonalen Zuwachses), Tabletnummer und Datum ersichtlich waren. Beispielsweise bedeutet

«M_Fi_Phänologie_2013_T1_08082013.xlsx»

Standort: Matzendorf

Baumart: Fichte

Messwerte: Phänologie 2013

Tablet-No.: 1

Daten erfasst: 8. August 2013.

Die ersten Daten – Messung von Höhe und Durchmesser zu Beginn der Saison – wurden in einem separaten Dokument erfasst. Dabei wurden jeweils drei Werte eingetragen: Gesamthöhe, Durchmesser und Messperson (mit Zahlencode). Die Datenblätter für die Knospenphänologie-Beobachtungen und kontinuierlichen Höhenmessungen wurden entsprechend der Abbildung 12 aufgebaut:

	Knospenphänologie									Bemerkungen	Höhenmessungen		
Pflanze	T 1	Q 1	T 2	Q 2	T 3	Q 3	J T	J Q	J Pf.		H JD 217	H JD 211	H JD 203
1	133	133	140	140	161	161					310	310	311
2	145	121	149	126	163	147					364	364	363

Abbildung 12. Darstellung des Aufbaus eines Datenblattes für die Erfassung der Daten der Knospenphänologie.

Bei der Knospenphänologie beziehen sich die Bezeichnungen T1 - T3 auf die Phänologiephasen 1 - 3 an der Terminalknospe, analog dazu Q = Quirlknospe. In den Tabellen für die Fichten wurden im Laufe der Saison noch die Spalten zur Erfassung der Johannistriebe eingefügt. Dabei bedeutet JT = Johannistrieb an der Terminalknospe, JQ = Johannistrieb an der Quirlknospe und JPf. = Johannistrieb am Rest der Pflanze. In der Bemerkungszeile wurden die Informationen aus dem Bemerkungsschlüssel erfasst, sowie ausformulierte Zusatzinformationen. Die Höhenmessungen wurden mit dem Julian day erfasst (H JD = Höhe Julian day). Daneben wurde auch jeweils erfasst, wer die Messungen vorgenommen hatte (messende Person, nicht notierende Person). Diese Daten werden verwendet, um einen allfälligen Beobachtereffekt in den Auswertungen zu berücksichtigen.

Für die Datensicherung wurden am Abend nach dem Messen die Dokumente jeweils gesichert und auf einem USB-Stick als externes Backup zusätzlich abgelegt. Ende der Woche

wurden alle neuen Daten auf dem WSL-Server im ADAPT-Ordner abgelegt. Dabei wurde wö-
 chentlich ein neuer Ordner erstellt, in dem sich die neusten Versionen befanden.

Die Messarbeit im Feld wurde während der intensivsten Phase mit vier, später mit drei oder
 nur zwei Teams erledigt. Dabei konnte man nicht immer mit dem den Blöcken zugeteilten
 Tablet arbeiten. Als einfache Lösung wurde auf allen Tablets ein Ordner mit den jeweils
 neusten Versionen aller vier Messdokumente geführt, der gleichzeitig als Sicherung diente.
 Vor allem in der kalten Zeit konnten so auch Probleme mit leeren Akkus vermieden werden,
 da die Tablets leicht ausgetauscht werden konnten. Wichtig war hier einzig, dass die Person,
 die abends die Datensicherung machte, wusste, wo die jeweiligen Daten am Tag eingetragen
 worden sind. Am Ende der Woche wurden jeweils die neuen Spalten für die Höhenmessun-
 gen eingefügt.

Am Ende der Messsaison wurden alle Daten aus den 32 Blöcken in Matzendorf für die Da-
 tenanalyse in ein Gesamtdokument zusammengeführt. Dieses umfasst alle Daten zu den
 saisonalen Zuwachsmessungen, der Knospenphänologie, den kontinuierlichen Messungen
 des Höhenzuwachses und den daraus berechneten Wachstumsstopps, Frostschäden und
 Johannistrieben (Rohdaten_Messungen_2013; vgl. Tab. 2).

Die Dokumente zur Buchenauspflanzung bestehen aus Pflanzplänen, einer Spaltendarstel-
 lung, die für die Feldaufnahmen in der folgenden Saison verwendet werden kann, sowie ei-
 ner Tabelle zu den angepflanzten Buchenpopulationen (Anhang 14.2). Zusätzlich wurde der
 Pflanzplan der Sensorflächen mit den Buchendaten ergänzt.

Tabelle 2. Dokumentenablage im ADAPT-Ordner auf Server N:\Prj\

Was	1. Ordnung	2. Ordnung	Dateiname
Knospenphäno & Kont. Höhenzuwachs	Messungen 2013\	Phänologie\	z.B. M_Fi_Phänologie_2013_T1_12092013.xlsx
Bemerkungs- katalog	Dokumente abgeschlossen\		Bemerkungskatalog.docx
Frostdaten	Messungen 2013\	Frost\	M_Fi-Ta_Frost_2013.xlsx
Mortalität	Dokumente abgeschlossen\		Mortalität 2013.xlsx
Saisonaler Zuwachs	Dokumente abgeschlossen\		Fi-Ta_Grundhöhe_Durchmesser_2013_ TOTAL.xlsx
Pflanzpläne Buchen	Dokumente abgeschlossen\	Definitiver Pflanzplan bu 2013\	PFLANZPLAN_2013_Buchen_final.xlsx
Spaltendarstel- lung Buchen als Vorlage für Aufnahmen 2014	Dokumente abgeschlossen\	Definitiver Pflanzplan bu 2013\	Spaltendarstellung PFLANZPLAN_2013_Buchen_final.xlsx
Pflanzpläne Sensorflächen	Dokumente abgeschlossen\		Pflanzpläne Sensorflächen.xlsx
Buchen- populationen	Dokumente abgeschlossen\		Buchenpops gepflanzt 2013.xlsx
Datenbank Rohdaten	Dokumente abgeschlossen\		Rohdaten_Messungen_2013.xlsx

12. Wetterverlauf

Als die Arbeiten anfangs März in Birmensdorf begannen, herrschten noch winterliche Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt. Die Versuchsfläche war noch nicht komplett ausgeapert und in den Saatbeeten der Buchen war der Boden noch teilweise gefroren. In der zweiten Märzwoche wurde es allmählich wärmer, Mitte Monat kühlte es aber wieder ab, mit erneutem Schneefall. Die vorbereitenden Arbeiten für die Buchenpflanzung wurden deshalb in den Gewächshäusern erledigt. Die zweite Monatshälfte brachte wieder wärmere Tage um 4 °C, gegen Ende des Monats sanken die Temperaturen jedoch erneut unter den Gefrierpunkt. Dazu kam regnerisches Wetter, als die Temperaturen wieder über die Nullgradmarke stiegen. Dies führte dazu, dass die geplanten Arbeiten auf der Versuchsfläche, ausgenommen die Reduktion der paarweise angepflanzten Tannen und Fichten, verzögert wurden. Die Durchmessermarkierungen konnten lange nicht gesetzt werden, da es für die Nitrofarbe zu kalt bzw. für die wasserfesten Stifte zu nass war. Auffallend für diesen März war die stark unterdurchschnittliche Sonnenscheindauer sowie ein Temperatur-Monatsmittel, das 2.8 °C unter den Normwerten 1981-2010 lag.

Der April begann mit Hochnebel und kalter Bise bei unter 5 °C Durchschnittstemperatur. Da es jedoch trocken war, konnte endlich mit den ersten Messungen der Stammdurchmesser und Gesamthöhen in Birmensdorf begonnen werden. Ab dem 9. April stiegen die Temperaturen rasch auf frühlingshafte Werte, wobei es zu Beginn zu einigem Niederschlag kam. Danach herrschte sonniges Wetter mit idealen Bedingungen für die Buchenpflanzung in Birmensdorf, da der Boden gut durchfeuchtet, aber nicht nass war. Ausserdem konnten die Reduktion der paarweise angepflanzten Tannen und Fichten, das Anzeichnen der Durchmessermarkierungen, sowie die ersten Messungen der Stammdurchmesser und Gesamthöhen der Tannen und Fichten in Matzendorf durchgeführt werden. Vom 18. auf den 19. April kam es dann zu einem Temperatursturz, der zu Schneefall und Regen führte. In den folgenden Tagen stiegen die Temperaturen erneut auf fröhsommerliches Niveau, um in der letzten Aprilwoche wieder stark zu sinken. Um diese Zeit begannen die Phänologieaufnahmen auf dem Brunnersberg (Matzendorf) auf 1090 m ü.M. Auf dieser Höhe kam es in dieser Zeit über Nacht zu Schneefall, der Schnee blieb aber nicht liegen. Im April herrschte wieder ein Sonnenscheindefizit, die Temperaturen lagen aber auf dem Niveau der Normwerte 1981-2010. Die Niederschlagssumme lag hingegen deutlich höher.

Der Mai war in den ersten zwei Dritteln von wechselhaftem Wetter beherrscht, bei Durchschnittstemperaturen zwischen 7 und 12 °C auf dem Brunnersberg. Es war zudem häufig regnerisch. Dieser Standort befindet sich auf dem zweiten Jurazug, weshalb die Wettervorhersagen häufig ungenau waren, da hier von Westen her kommende Luftmassen auf Luftmassen aus dem Mittelland treffen. So konnte es vorkommen, dass den ganzen Tag über eine Föhnlage aus dem Mittelland stark genug war, eine Schlechtwetterfront aus dem Westen zurückzuhalten. In dieser Zeit begann die Buchenpflanzung, die aber wegen den Bodenverhältnissen sowie den parallel stattfindenden Phänologieaufnahmen nur langsam vorankam (5 Blöcke wurden in dieser Zeit gepflanzt). Ab dem 21. Mai begannen die Temperaturen zu fallen, sodass tagsüber nur noch wenige Grad über dem Gefrierpunkt herrschten. Dazu kam Regen, der immer wieder einsetzte. Bis zum Abend vom 23. Mai waren die Temperaturen auf den Nullpunkt gesunken, was zu einer Frostnacht führte. Am nächsten Tag lag zudem Schnee auf der Versuchsfläche. Dieses Ereignis führte zu den oben beschriebenen Frostschäden an den Tannen und Fichten. Die Kältewelle blieb bis in die letzte Maiwoche bestehen, wobei es nicht mehr zu Frost kam. Vom 30. Mai bis zum 2. Juni kam es zu 98 mm Nieder-

schlag auf der Fläche. Der Mai war, wie schon der März, über 2 °C kälter als der Normwert 1981-2010, die Niederschlagssumme stark erhöht und die Sonnenscheindauer reduziert.

Nach dieser Kälte- und nachfolgenden Regenperiode im Mai und anfangs Juni wurde es rasch warm und trocken. So konnten endlich die Buchen auch auf dem Brunnersberg gepflanzt werden. Nach einer Woche kam es wieder zu Niederschlag, was zu kühleren Tagen führte. In der zweiten Junihälfte herrschten dann das erste Mal im Jahr sommerliche Tagesdurchschnitts-Temperaturen von über 23 °C auf dem Brunnersberg. Ab dem 20. Juni fielen die Temperaturen über die folgenden 5 Tage dann erneut um ganze 15 °C, sodass das Monatsende sich kühl zeigte. Die mittlere Monatstemperatur lag im normalen Bereich, genauso die Sonnenscheindauer und die Niederschlagssumme.

Der Juli begann relativ warm mit einem regnerischen dritten Tag. Danach stiegen die Temperaturen immer höher und lagen für den Rest der ersten Monatshälfte um 18 °C. Danach stiegen sie noch höher mit einem Höchstwert von 25 °C am 27. Juli. Dank Wolken und Wind waren die Verhältnisse für die Arbeit auf der Versuchsfläche auf dem Brunnersberg aber gut erträglich. Dabei kam es zu wenig Niederschlägen. Häufig gab es im Zusammenhang mit Wärmegewittern gegen Abend ein paar mm Regen. Am 28. und 29. Juli kam es durch eine Störung zu starkem Regen (50 mm) und einem Temperatursturz von ca. 25 °C auf 13 °C. Danach wurde es schnell wieder warm.

In der ersten Augustwoche stieg die Temperatur wieder auf 23 °C, um sich danach auf 15 °C einzupendeln. Der Temperaturrückgang wurde von etwas Regen begleitet. Die nächsten zwei Wochen blieb es immer trocken, bei Temperaturen zwischen 12 und 18 °C. In der letzten Augustwoche kam es endlich wieder zu etwas Regen, der aber nicht reichte, um dem Boden genug Feuchtigkeit zuzuführen. Anschliessend blieb es wieder zwei Wochen trocken, wobei die ersten Tage im September noch sommerlich warm waren. Ab dem 6. September gingen die Temperaturen kontinuierlich zurück, mit einem Tiefstwert am 17. September von 3.5 °C. Dabei kam es immer wieder zu zwischenzeitlich starken Niederschlägen.

13. Literaturverzeichnis

- Frank A., C. Heiri, A. Burkart 2012. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Tannen- und Fichtenpflanzung im Frühling 2012. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., 26 S., unveröff.
- Heiri C., C. Sperisen, P. Brang 2012. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Buche, Tanne und Fichte. Dokumentation der Pilotstudie zur Sämlingsphänologie im Jahr 2011. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., 31 S., unveröff.
- von Wühlisch G., H.J. Muhs 1986. Influence of Age on Syllaptic and Proleptic Free Growth of Norway Spruce Seedlings. *Silvae Genetica* 35, 1:42-48.

14. Anhang

14.1. Bemerkungskatalog

Tabelle 3. Kompletter Bemerkungskatalog für in der Feldsaison 2013 beobachtete Phänomene und methodische Hinweise.

Nr.	Bedeutung	Bemerkungen
1	Kein Haupttrieb / keine Terminalknospe	relevant bei Grundmessungen B'dorf
2	Eventuell tot, Pflanze sehr schwach, meist braun	
3	Seitenzweig unterhalb Durchmessermarkierung	Problem in B'dorf, wahrscheinlich durch Nachpflanzen entstanden
4	Fichte: Knospe ist höchster Punkt (nicht Nadeln)	für Grundmessungen relevant
5	Haupttrieb vorhanden, ohne Terminalknospe	für Grundmessungen relevant
6	Haupttrieb ausgewählt und markiert (für Höhenmessung und Phänoobservation)	Bemühung, Phäno und Grundmessung zu vereinen, was aber Fehlüberlegung war. Steht in Hierarchie unter 9.
7	Fichten: Zu beobachtende Knospen sind Teil eines Knospenbüschels.	Teilweise wurden T und Q unterschieden. Fehlüberlegung. Achtung bei Phäno-Auswertung (T streichen, es gibt nur Q).
8	Haupttrieb abgeschlagen, d.h. kein T und Q oben, also Q von weiter unten verfolgt.	Phänologie aufgenommen, Höhenmessungen an diesen Pflanzen z.T. nicht gemacht
9	Fichten korrigiert, Markierung mit Schnur, so dass der Haupttrieb für Phänologie verfolgt werden kann. Die Grundhöhenmessung ist dann unabhängig von Phänoaufnahmeort an Pflanze.	Korrektur von 6 (9 gilt über 6), Markierung mit Schnur
10	Tannen, die nie 50:50 Vlies:Knospenschuppen erreicht haben und direkt in Phase 2 gingen.	
11	WURDE AUFGEHOBEN! Fichten, ohne eindeutige Terminalknospe, deshalb bei diesen Pflanzen ab Phase 2 Zuwachs gemessen	11 entsprach 7, daher unnötig, aus Datenset gelöscht
12	Fichten: «Büscheligkeit», mind 5 Knospen nahe beieinander (muss nicht an Endtrieb sein)	
13	Tannen: Angegebene Terminalknospe ist eigentlich Quirlknospe	zu überprüfen in den Daten (Q entwickelte sich meist vor T) und Korrekturen einfügen

Fortsetzung (Bemerkungskatalog)

Nr.	Bedeutung	Bemerkungen
14	Fichten: Stumpfes Triebende, nur einzelne Nadeln aus Knospen gewachsen	Phase 3 konnte meist nicht gegeben werden (keine Entwicklung von richtigem Trieb)
15	Tannen: Seitentrieb wird gemessen, da Haupttrieb beschädigt/gekappt. Also keine «echten» T und Q.	
16	Tannen: Mehrere Terminaltriebe vorhanden	Daten zu Q können evtl. nicht verwendet werden, da Q eigentlich eine T ist. Handhabung: Kapitel 6.3.2.
17	Pflanzen werden nicht mehr für saisonalen Zuwachs verwendet	Wenn Terminalknospe abgebrochen oder abgefroren ist, Wurzeln locker sind oder Pflanze neu gesetzt wurde.

14.2. Liste aller gepflanzten Buchenherkünfte**Tabelle 4.** Gepflanzte Buchenherkünfte.

POP_ID	BAUM_NR	Ort	POP_ID	BAUM_NR	Ort
bu-01-1	301	Neunkirch	bu-06-1	316	Allschwil
bu-01-1	302	Neunkirch	bu-06-1	317	Allschwil
bu-01-1	303	Neunkirch	bu-06-1	318	Allschwil
bu-01-2	304	Neunkirch	bu-07-1	319	Zeiningen
bu-01-2	305	Neunkirch	bu-07-1	320	Zeiningen
bu-01-2	306	Neunkirch	bu-07-1	321	Zeiningen
bu-02-1	307	Diessenhofen	bu-07-2	322	Münchenstein
bu-02-1	308	Diessenhofen	bu-07-2	323	Münchenstein
bu-02-1	309	Diessenhofen	bu-07-2	324	Münchenstein
bu-03-1	310	Ermatingen	bu-07-3	325	Lausen
bu-03-1	311	Ermatingen	bu-07-3	326	Lausen
bu-03-1	312	Ermatingen	bu-07-3	327	Lausen
bu-05-1	313	Courtemaîche	bu-08-1	328	Othmarsingen
bu-05-1	314	Courtemaîche	bu-08-1	329	Othmarsingen
bu-05-1	315	Courtemaîche	bu-08-1	330	Othmarsingen

Fortsetzung (gepflanzte Buchenherkünfte)

POP_ID	BAUM_NR	Ort	POP_ID	BAUM_NR	Ort
bu-08-3	331	Gipf-Oberfrick	bu-17-2	365	Herzogenbuchsee
bu-08-3	332	Gipf-Oberfrick	bu-17-2	366	Herzogenbuchsee
bu-08-3	333	Gipf-Oberfrick	bu-18-1	367	Dagmersellen
bu-09-1	334	Wettingen	bu-18-1	368	Dagmersellen
bu-09-1	335	Wettingen	bu-18-1	369	Dagmersellen
bu-09-1	336	Wettingen	bu-18-2	370	Schwarzenbach
bu-10-1	337	Niederneunforn	bu-18-2	371	Schwarzenbach
bu-10-1	338	Niederneunforn	bu-18-2	372	Schwarzenbach
bu-10-1	339	Niederneunforn	bu-19-1	373	Horgen/Sihlwald
bu-10-2	340	Kyburg	bu-19-1	374	Horgen/Sihlwald
bu-10-2	341	Kyburg	bu-19-1	375	Horgen/Sihlwald
bu-10-2	342	Kyburg	bu-19-2	376	Auw
bu-11-1	343	Oberbüren	bu-19-2	377	Auw
bu-11-1	344	Oberbüren	bu-19-2	378	Auw
bu-11-1	345	Oberbüren	bu-20-1	379	Jona
bu-12-1	346	Hauptwil-Gottshaus	bu-20-1	380	Jona
bu-12-1	347	Hauptwil-Gottshaus	bu-20-1	381	Jona
bu-15-1	350	Rebévelier	bu-21-1	382	Wattwil
bu-15-1	351	Rebévelier	bu-21-1	383	Wattwil
bu-16-1	352	Bärschwil	bu-21-1	384	Wattwil
bu-16-1	353	Bärschwil	bu-21-2	385	Schänis
bu-16-1	354	Bärschwil	bu-21-2	386	Schänis
bu-16-2	355	Rebeuvelier	bu-21-2	387	Schänis
bu-16-2	356	Rebeuvelier	bu-22-1	388	Rüthi (SG)
bu-16-2	357	Rebeuvelier	bu-22-1	389	Rüthi (SG)
bu-16-3	358	Grenchen	bu-22-1	390	Rüthi (SG)
bu-16-3	359	Grenchen	bu-25-1	391	Couvet
bu-16-3	360	Grenchen	bu-25-1	392	Couvet
bu-16-4	361	Bärschwil	bu-25-1	393	Couvet
bu-16-4	362	Bärschwil	bu-26-1	394	Tüscherz-Alfermé
bu-16-4	363	Bärschwil	bu-26-1	395	Tüscherz-Alfermé
bu-17-2	364	Herzogenbuchsee	bu-26-1	396	Tüscherz-Alfermé

Fortsetzung (gepflanzte Buchenherkünfte)

POP_ID	BAUM_NR	Ort	POP_ID	BAUM_NR	Ort
bu-26-2	397	Gampelen	bu-33-4	437	Sargans
bu-26-2	398	Gampelen	bu-33-4	438	Sargans
bu-26-2	399	Gampelen	bu-34-2	441	Mastrils
bu-26-3	400	Nods	bu-34-3	442	Malans
bu-26-3	402	Nods	bu-34-3	443	Malans
bu-27-1	403	Aarberg	bu-37-1	445	Sainte-Croix
bu-27-1	404	Aarberg	bu-37-1	446	Sainte-Croix
bu-27-1	405	Aarberg	bu-37-1	447	Sainte-Croix
bu-27-2	406	Mühledorf (SO)	bu-38-1	448	Champagne
bu-27-2	407	Mühledorf (SO)	bu-38-1	449	Champagne
bu-27-2	408	Mühledorf (SO)	bu-38-1	450	Champagne
bu-28-1	411	Reisiswil	bu-38-2	451	Praratoud
bu-28-2	412	Krauchthal	bu-38-2	452	Praratoud
bu-28-2	413	Krauchthal	bu-38-2	453	Praratoud
bu-28-2	414	Krauchthal	bu-39-1	454	Courgevaux
bu-29-1	415	Menznau	bu-39-1	455	Courgevaux
bu-30-1	418	Meggen	bu-39-1	456	Courgevaux
bu-30-1	419	Meggen	bu-39-2	457	Hauterive
bu-30-1	420	Meggen	bu-39-2	458	Hauterive
bu-31-1	421	Sisikon	bu-39-2	459	Hauterive
bu-31-1	422	Sisikon	bu-40-1	460	Wahlern
bu-31-1	423	Sisikon	bu-40-1	461	Wahlern
bu-31-2	426	Alptal	bu-40-1	462	Wahlern
bu-32-1	427	Glarus	bu-45-1	464	Trun
bu-32-1	429	Glarus	bu-45-1	465	Trun
bu-33-2	430	Buchs (SG)	bu-45-1	466	Trun
bu-33-2	431	Buchs (SG)	bu-46-1	467	Felsberg
bu-33-2	432	Buchs (SG)	bu-46-1	468	Felsberg
bu-33-3	433	Mels	bu-47-1	469	Chur
bu-33-3	434	Mels	bu-50-1	472	Saint-George
bu-33-3	435	Mels	bu-50-1	473	Saint-George
bu-33-4	436	Sargans	bu-50-1	474	Saint-George

Fortsetzung (gepflanzte Buchenherkünfte)

POP_ID	BAUM_NR	Ort	POP_ID	BAUM_NR	Ort
bu-51-1	475	Saint-George	bu-82-2	511	Conthey
bu-51-1	476	Saint-George	bu-82-2	512	Conthey
bu-51-1	477	Saint-George	bu-82-3	515	Ardon
bu-51-2	478	Vaulion	bu-82-3	516	Ardon
bu-51-2	479	Vaulion	bu-86-1	523	Avegno
bu-51-2	480	Vaulion	bu-86-1	524	Avegno
bu-52-1	481	Lausanne	bu-86-1	525	Avegno
bu-52-1	482	Lausanne	bu-87-1	526	Cagiallo
bu-52-1	483	Lausanne	bu-87-1	527	Cagiallo
bu-52-2	484	St. Martin	bu-87-2	530	Vaglio
bu-52-2	485	St. Martin	bu-87-2	531	Vaglio
bu-52-2	486	St. Martin	bu-96-1	532	Mendrisio (M. Generoso)
bu-53-1	487	Charmey	bu-96-1	534	Mendrisio (M. Generoso)
bu-53-1	489	Charmey	bu-96-2	535	Meride (Serpiano)
bu-54-1	490	Boltingen	bu-IT2T	558	Melogno trocken
bu-54-1	491	Boltingen	bu-IT2T	559	Melogno trocken
bu-54-1	492	Boltingen	bu-IT2T	560	Melogno trocken
bu-55-1	493	Spiez (Faulensee)	bu-IT2F	561	Melongno feucht
bu-55-1	494	Spiez (Faulensee)	bu-IT2F	562	Melongno feucht
bu-64-1	496	Saint-Cergue	bu-IT2F	563	Melongno feucht
bu-64-1	497	Saint-Cergue	bu-CH1F	570	Osterfingen feucht
bu-64-1	498	Saint-Cergue	bu-CH1F	571	Osterfingen feucht
bu-81-2	499	Collombey-Muraz	bu-CH1F	572	Osterfingen feucht
bu-81-2	500	Collombey-Muraz	bu-CH1T	573	Osterfingen trocken
bu-81-2	501	Collombey-Muraz	bu-CH1T	574	Osterfingen trocken
bu-81-3	502	Martigny	bu-CH1T	575	Osterfingen trocken
bu-81-3	503	Martigny	bu-IT3F	576	Fiorentina feucht
bu-81-3	504	Martigny	bu-IT3F	577	Fiorentina feucht
bu-81-5	506	Chamoson	bu-IT3F	578	Fiorentina feucht
bu-81-5	507	Chamoson	bu-IT3T	579	Fiorentina trocken
bu-82-1	508	Vétroz	bu-IT3T	581	Fiorentina trocken
bu-82-1	509	Vétroz	bu-CH3F	583	Serpiano feucht

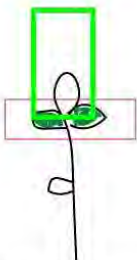
Fortsetzung (gepflanzte Buchenherkünfte)

POP_ID	BAUM_NR	Ort	POP_ID	BAUM_NR	Ort
bu-CH3T	585	Serpiano trocken	bu-SL1T	594	Fondek
bu-CH3T	586	Serpiano trocken	bu-SL1T	595	Fondek
bu-CH2F	588	Oberried feucht	bu-SL1T	596	Fondek
bu-CH2F	589	Oberried feucht	bu-SL1F	597	Hvalova drca
bu-CH2F	590	Oberried feucht	bu-SL1F	598	Hvalova drca
bu-CH2T	591	Oberried trocken	bu-SL1F	599	Hvalova drca
bu-CH2T	592	Oberried trocken			
bu-CH2T	593	Oberried trocken			

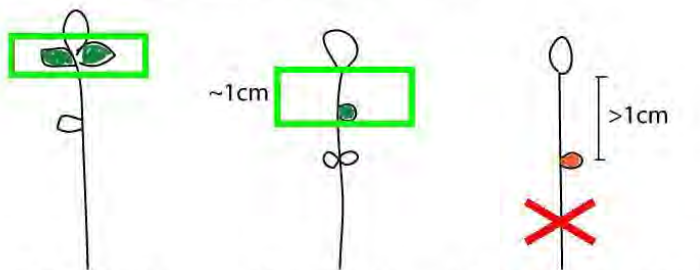
14.3. Entscheidungsschema für die Reduktion der Doppelbepflanzung

DEFINITIONEN

Terminalknospe
= Endknospe; setzt zuoberst am Haupttrieb an und steht senkrecht in der Verlängerung des Haupttriebs



Quirlknospe
= Seitenknospe am Ende des Haupttriebs



Quirlknospen Normalfall Quirlknospe tief angesetzt Keine Quirlknospe mehr

Abbildung 13. Definition der Terminal- und Quirlknospen bei Tannen und Fichten. Quelle: Caroline Heiri.

Reduktion Zwillingsbepflanzung ADAPT – Schlüssel

1) VITALITÄT I: Sind beide Sämlinge zumindest mässig vital?

- a. **NEIN**; Ein Sämling von beiden ist deutlich weniger vital, d.h. **abgestorben, brauner, gelber, schlechter verwurzelt** (Test: Leicht an Pflanze ziehen) → **Wegschneiden**

!! Grösse ist kein Kriterium !!



- b. **JA**; Beide Sämlinge sind mindestens mässig vital (praktisch gleich stark oder schwach) → 2)



Abbildung 14. Entscheidungsschema zur Zwillingsreduktion, Schritt 1. Quelle: Caroline Heiri.

2) TERMINAL- UND QUIRLKNOSPEN: Haben beide Sämlinge Terminal- und Quirlknospen?

a. **NEIN**

1. Einer der beiden Sämlinge besitzt nur Quirlknospen und **keine Terminalknospe**
→ **Wegschneiden**



2. Einer der beiden Sämlinge besitzt nur eine Terminalknospe und **keine Quirlknospen**
→ **Wegschneiden**

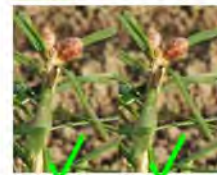
Falls beide Fälle vorkommen: Jenen Sämling wegschneiden, der **KEINE TERMINALE Knospe** hat.

b. **JA**

1. Beide Sämlinge haben Quirl- UND Terminalknospen
→ 3)



2. Beide Sämlinge haben nur Quirl- und keine Terminalknospe resp. beide nur Terminal- und keine Quirlknospen
→ 3)



3) VITALITÄT II: Sind beide Sämlinge gleich vital?

- a. **NEIN**; Ein Sämling ist weniger vital → **Wegschneiden**

- b. **JA**; → 4)

4) BERGSEITIGER SÄMLING WIRD WEGGESCHNITTEN

Abbildung 15. Entscheidungsschema zur Zwillingsreduktion, Schritte 2 und 3. Quelle: Caroline Heiri.

14.4. Anteil nachgepflanzter Sämlinge in Birmensdorf

Tabelle 5. Anteil nachgepflanzter Fichten und Tannen im März 2013 in Birmensdorf, basierend auf Schätzungen der Feldmitarbeiter.

Blocknummer	Fichten [%]	Tannen [%]
1	20	< 5
2	20	< 5
3	10	< 5
4	10	< 5
5	10	< 5
6	10	< 5
7	10	< 5
8	10	< 5
9	75	10
10	75	10
11	50	10
12	50	10
13	25	20
14	25	20
15	25	10
16	25	10
Durchschnitt	28.125	12.5

14.5. Fotos der Vitalitätsstudie an Fichten und Tannen

Ablageort:

N:\prj\Adapt\Fotos\Schlechter Zustand Sämlinge Birmensdorf\Optischer Vergleich 2013

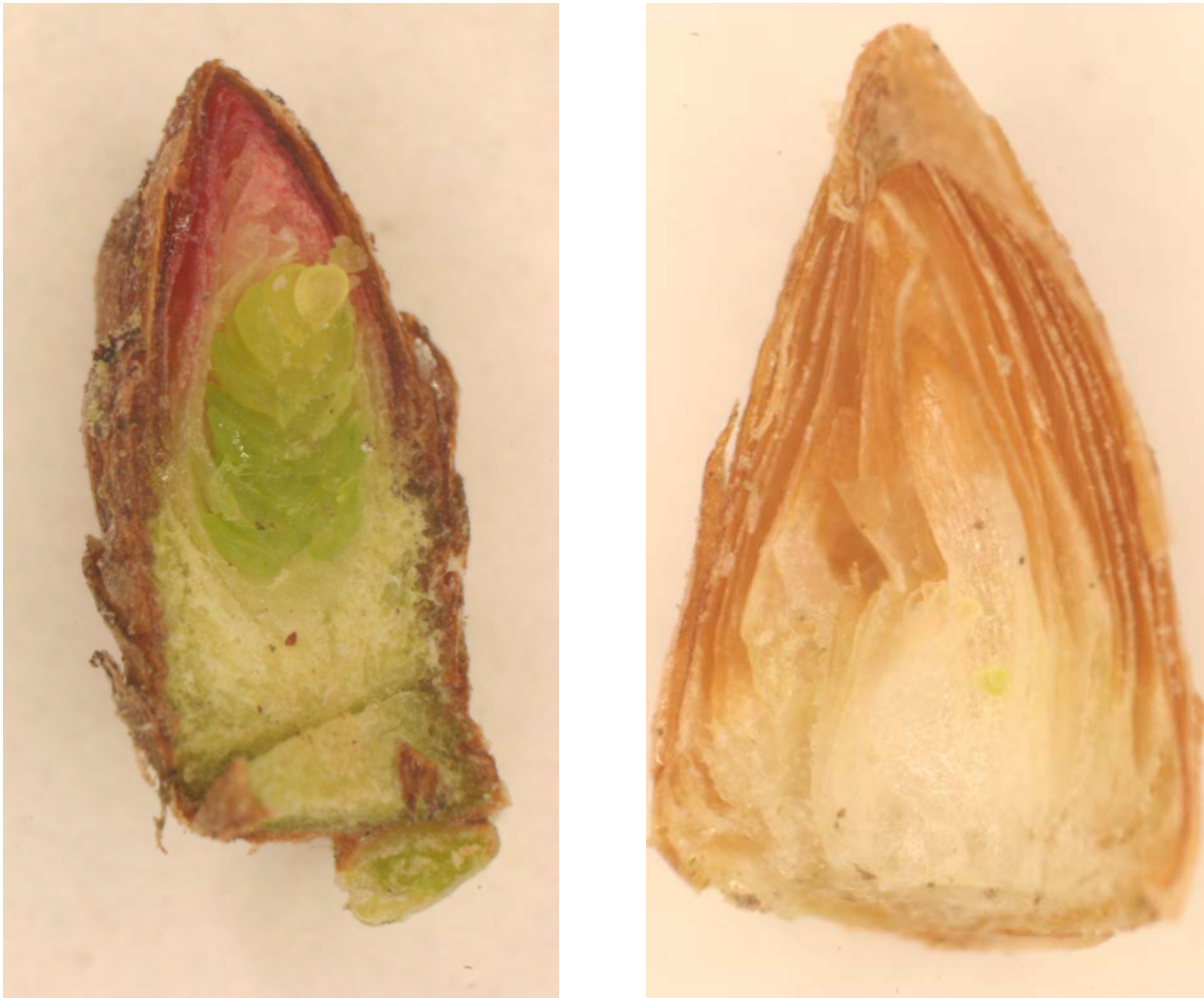


Abbildung 16. *Links:* Gesunde Knospe mit grüner Nadelanlage. *Rechts:* Kritische Knospe mit weisslicher Nadelanlage. Quelle: Charlotte Schaller.

14.6. Tabelle zur Mortalität der Fichten und Tannen

Tabelle 6. Mortalitätserhebung der Fichte.

Blocknr.	Standort	1 (gesund)	1 in %	4 (kritisch)	4 in %	9 (tot)	9 in %	Total
1	Birmensdorf	140	51.9	85	31.5	45	16.7	270
2	Birmensdorf	165	61.1	66	24.4	39	14.4	270
3	Birmensdorf	206	76.3	40	14.8	24	8.9	270
4	Birmensdorf	205	75.9	44	16.3	21	7.8	270
5	Birmensdorf	208	77.0	46	17.0	16	5.9	270
6	Birmensdorf	192	71.1	55	20.4	23	8.5	270
7	Birmensdorf	185	68.5	70	25.9	15	5.6	270
8	Birmensdorf	207	76.7	46	17.0	17	6.3	270
9	Birmensdorf	138	51.1	78	28.9	54	20.0	270
10	Birmensdorf	146	54.1	74	27.4	50	18.5	270
11	Birmensdorf	173	64.1	54	20.0	43	15.9	270
12	Birmensdorf	150	55.6	69	25.6	51	18.9	270
13	Birmensdorf	182	67.4	53	19.6	35	13.0	270
14	Birmensdorf	171	63.3	72	26.7	27	10.0	270
15	Birmensdorf	177	66.3	57	21.3	33	12.4	267
16	Birmensdorf	167	62.8	60	22.6	39	14.7	266
17	Matzendorf	262	97.0	4	1.5	4	1.5	270
18	Matzendorf	256	94.8	5	1.9	9	3.3	270
19	Matzendorf	249	92.2	7	2.6	14	5.2	270
20	Matzendorf	258	95.6	6	2.2	6	2.2	270
21	Matzendorf	253	93.7	6	2.2	11	4.1	270
22	Matzendorf	256	94.8	5	1.9	9	3.3	270
23	Matzendorf	260	96.3	2	0.7	8	3.0	270
24	Matzendorf	262	97.0	3	1.1	5	1.9	270
25	Matzendorf	259	95.9	7	2.6	4	1.5	270
26	Matzendorf	260	96.3	4	1.5	6	2.2	270
27	Matzendorf	262	97.0	6	2.2	2	0.7	270
28	Matzendorf	246	91.1	6	2.2	18	6.7	270
29	Matzendorf	248	91.9	12	4.4	10	3.7	270
30	Matzendorf	256	94.8	7	2.6	7	2.6	270
31	Matzendorf	254	94.1	4	1.5	12	4.4	270
32	Matzendorf	257	96.3	5	1.9	5	1.9	267
Durchschnitt B'dorf		175.8	65.2	60.6	22.5	33.3	12.3	269.6
Durchschnitt M'dorf		256.1	94.9	5.6	2.1	8.1	3.0	269.8
Durchschnitt Total		215.9	80.1	33.1	12.3	20.7	7.7	269.7

Tabelle 7. Mortalitätserhebung der Tanne.

Blocknr.	Standort	1 (gesund)	1 in %	4 (kritisch)	4 in %	9 (tot)	9 in %	Total
1	Birmensdorf	193	74.8	44	17.1	21	8.1	258
2	Birmensdorf	175	67.8	69	26.7	14	5.4	258
3	Birmensdorf	188	72.9	59	22.9	11	4.3	258
4	Birmensdorf	196	76.0	45	17.4	17	6.6	258
5	Birmensdorf	190	73.6	47	18.2	21	8.1	258
6	Birmensdorf	204	79.1	37	14.3	17	6.6	258
7	Birmensdorf	201	77.9	39	15.1	18	7.0	258
8	Birmensdorf	214	82.9	38	14.7	6	2.3	258
9	Birmensdorf	184	71.3	31	12.0	43	16.7	258
10	Birmensdorf	179	69.4	30	11.6	49	19.0	258
11	Birmensdorf	173	67.1	30	11.6	55	21.3	258
12	Birmensdorf	194	75.2	30	11.6	34	13.2	258
13	Birmensdorf	177	68.9	37	14.4	43	16.7	257
14	Birmensdorf	141	55.1	43	16.8	72	28.1	256
15	Birmensdorf	54	21.1	63	24.6	139	54.3	256
16	Birmensdorf	144	56.5	57	22.4	54	21.2	255
17	Matzendorf	234	90.7	15	5.8	9	3.5	258
18	Matzendorf	229	88.8	18	7.0	11	4.3	258
19	Matzendorf	219	84.6	25	9.7	15	5.8	259
20	Matzendorf	230	89.1	14	5.4	14	5.4	258
21	Matzendorf	224	86.8	11	4.3	23	8.9	258
22	Matzendorf	227	88.0	18	7.0	13	5.0	258
23	Matzendorf	205	79.5	20	7.8	33	12.8	258
24	Matzendorf	218	84.5	21	8.1	19	7.4	258
25	Matzendorf	214	82.9	22	8.5	22	8.5	258
26	Matzendorf	217	84.1	12	4.7	29	11.2	258
27	Matzendorf	228	88.4	19	7.4	11	4.3	258
28	Matzendorf	232	89.9	18	7.0	8	3.1	258
29	Matzendorf	237	92.2	7	2.7	13	5.1	257
30	Matzendorf	238	92.6	16	6.2	3	1.2	257
31	Matzendorf	241	94.1	6	2.3	9	3.5	256
32	Matzendorf	238	93.0	10	3.9	8	3.1	256
Durchschnitt B'dorf		175.4	68.1	43.7	17.0	38.4	14.9	257.5
Durchschnitt M'dorf		226.9	88.1	15.8	6.1	15.0	5.8	257.7
Durchschnitt Total		201.2	78.1	29.7	11.5	26.7	10.4	257.6

Forschungsprojekt adaptive genetische Variation von Fichte, Tanne und Buche (ADAPT)

Dokumentation der Feldarbeiten 2014

Merkmalserhebungen an Fichte, Tanne und Buche

Nathalie Keller, Andrin Fretz, Aline Frank und Caroline Heiri



Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Birmensdorf, Dezember 2014

Autoren:

Nathalie Keller, Andrin Fretz, Aline Frank und Caroline Heiri

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

Ein Bericht aus dem Projekt «Adaptive genetische Variation von Fichte, Tanne und Buche» (http://www.wsl.ch/fe/waldressourcen/projekte/wsl_genetische_variation/index_DE)

Zitierung:

Nathalie Keller, Andrin Fretz, Aline Frank, Caroline Heiri 2014. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Fichte, Tanne und Buche (ADAPT). Dokumentation der Feldarbeiten 2014. Merkmalserhebungen an Fichte, Tanne und Buche. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch. WSL, 18 S., unveröff.

Dank:

Herzlichen Dank an alle Mitwirkende in diesem Projekt. Für die Feldarbeit bedanken wir uns bei Jakob Wüthrich, Oliver Wolf, Matthias Müller, Andreas Kaeser, Jens Nitzsche, Janine Sägeser, Lukas Dämpfle, Pascal Kretz und Timon Zollinger. Ein besonderer Dank geht an die Familien Büttler, Steiner und Zemp für ihre Unterstützung auf dem Brunnersberg.

Umschlagbild: Marienkäfer auf Buche während des Blattaustriebs (Foto: Aline Frank)

© Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf, 2014

Inhalt

1. Einleitung	4
2. Mortalitätserhebung.....	5
3. Zustand der Pflanzen.....	5
3.1 Birmensdorf.....	6
3.2 Matzendorf.....	6
3.3 Aufgabe der Fichten- und Tannenflächen in Birmensdorf	6
4. Grundmessungen.....	7
4.1 Aufnahmezeiträume.....	7
4.2 Pflanzenhöhe und Zuwachs.....	7
4.2 Stammdurchmesser	9
5. Knospenphänologie	9
5.1 Tanne	10
5.2 Fichte	10
5.3 Buche.....	10
6. Frostsensitivität	13
7. Blattseneszenz Buchen.....	13
7.1 Präzisierung und Schwierigkeiten	14
8. Flächenunterhalt.....	15
8.1 Tensiometer	15
8.2 Jäten	15
8.3 Entfernung der Erdnägel	15
8.4 Schädlinge.....	15
9. Bemerkungen und Codes.....	17
10. Zeitlicher Aufwand der Arbeiten.....	18
11. Literaturverzeichnis	18

1. Einleitung

Die Kernaufgabe der Feldsaison 2014 im Projekt Adapt war die Erfassung der Knospenentwicklung und des Wachstums der Fichten, Tannen und Buchen. Im Herbst wurde zudem die Blattseneszenz bei den Buchen untersucht.

Die Feldarbeiten begannen im März mit der Mortalitätserhebung bei Tannen und Fichten sowie den Messungen von Pflanzenhöhe und Stammdurchmesser (Grundmessungen) an allen drei Baumarten auf der Versuchsfläche an der WSL (Birmensdorf). Ab April erfolgten dieselben Messungen auf der Versuchsfläche Brunnersberg (Matzendorf). Dazu kam ab Ende April die Beobachtung der Knospenphänologie (zweite Aufnahme an Tannen und Fichten, Erstaufnahme an Buchen). Bei den Buchen umfasste diese nicht nur den Knospenaufbruch, sondern auch die Endknospenbildung im Sommer nach der ersten Wachstumsphase, die Länge des ersten Triebs und das Auftreten eines zweiten Austriebs. Im Herbst erfolgte die Ansprache der Blattseneszenz bei den Buchen an beiden Versuchsstandorten. Bis Anfang Dezember konnten schliesslich die zweiten Messungen von Pflanzenhöhe und Stammdurchmesser zur Erfassung des Jahreszuwachses durchgeführt werden (Ausnahme: Aufnahme Stammdurchmesser der Buchen in Birmensdorf, welche im Januar 2015 nachgeholt wird).

Neben den Erhebungen der Merkmale war auch der Flächenunterhalt eine zeitlich aufwändige Arbeit. Besonders im Sommer mussten die Versuchsflächen intensiv gepflegt werden. Das Unkraut rund um die Bäume wurde gejätet, der Rasen zwischen den Blöcken wurde regelmässig gemäht. Leider mussten zweimal auch Schädlinge bekämpft werden.




Das Feldteam der Saison 2014 bestand aus den Zivildienstleistenden Andrin Fretz (01.03. - 08.09.2014), im März aushilfsmässig Jakob Wüthrich (Zivi NWR) und von August bis 06.09.2014 Oliver Wolf (Zivi NWR). Die Feldmitarbeitenden Matthias Müller, Andreas Kaeser (01.04. - 30.06.2014), Jens Nitzsche und Janine Sägesser (01.04. - 30.09.2014) ergänzten das bestehende Team für die Feldsaison bis im Herbst. Die Aufnahmen und Feldarbeiten ab September wurden von Pascal Kretz (Zivi, 08.09. - 12.11.14) sowie Nathalie Keller (Praktikantin, 15.09. - 14.12.14) übernommen.

Die Feldarbeit 2014 war sehr erfolgreich. Es konnten wie geplant alle Daten erhoben werden und der Zustand der Versuchsflächen war stets befriedigend. Positiv ausgewirkt hat sich eine Änderung der Logistik: Für die Zeit der Feldarbeiten auf dem Brunnersberg konnte rund ein Kilometer von der Versuchsfläche entfernt das alte Bauernhaus der Familie Zemp als Unterkunft für das Adapt-Team gemietet werden. Das gesamte Feldteam logierte während der Feldarbeiten direkt vor Ort, was die Effizienz der Aufnahmen steigerte, da der Anfahrtsweg so auf ein Minimum reduziert wurde.

2. Mortalitätserhebung

Für alle drei Baumarten wurde die Mortalität erhoben. Für Fichte und Tanne wurde dies vor der Vegetationsperiode 2014 durchgeführt um weiterhin die Jahresmortalität dokumentieren zu können. Bei Buche musste diese Erhebung auf dem Sommer gelegt werden, da diese Ansprache im blattlosen Winterzustand nicht zuverlässig möglich war. Für alle Baumarten wurden die drei Stufen verwendet (Tabelle 1), die schon in den Jahren zuvor für Tanne und Fichte festgelegt worden waren: Die Pflanze ist gesund (= 1), in kritischem Zustand (= 4) oder tot (neu fehlend oder abgestorben, = 9).

Tabelle 1: Beispiel der Mortalitätserhebung bei Tanne.

Bemerkung	Gesund 1	Kritisch 4	Tot 9
Beispiel			

Aufnahmezeiträume

Birmensdorf

Tannen 03.März - 13.März 2014

Fichten 13.März - 01.April 2014

Buchen 28. August - 31. August 2014 sowie während der zweiten Grundmessungen im Herbst (Tabelle 3)

Matzendorf

Tannen 03.April - 08.April 2014.

Fichten 04.April - 17.April 2014

Buchen 28. August - 31. August 2014 sowie während der zweiten Grundmessungen im Herbst (Tabelle 3)

Im Herbst wurden die Mortalitätserhebungen nur noch vereinfacht vorgenommen. So wurden während der Höhenmessungen im Herbst neu fehlende respektive abgestorbene Individuen mit dem Code 9 gekennzeichnet, der Zustand „kritisch“ (Code 4) wurde nicht mehr vergeben.

3. Zustand der Pflanzen

Im Allgemeinen war festzustellen, dass die Buchen an beiden Standorten in einem guten Zustand waren. Starke Unterschiede, wie sie bei den Fichten und besonders den Tannen zu erkennen waren, gab es zu Beginn der Feldsaison nicht. Im Herbst zeigten sich allerdings auf der Versuchsfläche

Birmensdorf grössere Lücken und Stellen mit kränkelnden Bäumchen. Bei den Fichten und Tannen waren die Unterschiede zwischen den beiden Standorten markant.

3.1 Birmensdorf

Der Zustand der Fichten und Tannen hatte sich nochmals verschlechtert im Vergleich zum letzten Jahr. Bäumchen, die im Frühling 2013 neu eingepflanzt worden waren, zeigten wieder freiliegende Wurzeln, viele Pflanzen standen schief oder waren abgestorben. Die Verfärbung der Tannen und Fichten deutete auf einen Mangel an Nährstoffen hin, die Bäumchen wurden aber trotz ungesunder Verfärbung noch als lebendig eingestuft. Der Gesamteindruck der Tannen- und Fichten auf der Versuchsfläche war klar kritisch. Maulwurfsgrillen und Mäuse setzten insbesondere den Buchen stellenweise zu, auch wenn diese sonst im Frühling einen guten Eindruck machten. Im Herbst 2014 wurde aber ersichtlich, dass auch die Buchen einige Ausfälle aufwiesen. So fehlten oder kränkelten stellenweise 10 bis 15 Individuen in einem Block. Die restlichen Buchen waren jedoch in einem guten Zustand und vergleichsweise gross und vital.

3.2 Matzendorf

Der Zustand der Pflanzen auf der Versuchsfläche in Matzendorf (Tabelle 2) war im Vergleich zu Birmensdorf sehr zufriedenstellend. Lediglich das stärkere Unkrautwachstum verschlechterte zeitweise den Gesamteindruck der Fläche. Die Versuchspflanzen in Matzendorf wiesen keine Verfärbungen durch Nährstoffmangel auf, der Gesamteindruck der Versuchsfläche war sehr gut.

Tabelle 2: Zustand der Pflanzen auf den Versuchsflächen in Birmensdorf und Matzendorf.

Baumart	Standort	Vitalität der Versuchspflanzen
Tanne	Birmensdorf	Nadeln mehrheitlich gelb verfärbt, kaum Wachstum, viele abgestorben oder in kritischem Zustand. Durch schwache Verwurzelung wurden wie bereits letztes Jahr sehr viele Pflanzen frostbedingt aus dem Boden gedrückt (Nussbaumer et al. 2013). Oft freigelegtes Wurzelwerk.
	Matzendorf	Nadeln in gesundem Grün, Pflanzen sahen gesund aus, klar weniger Ausfälle als in Birmensdorf. Trotz einigen Ausnahmen klar bessere Verwurzelung.
Fichte	Birmensdorf	Besser als Tannen, aber auch hier gelbe Färbung und schlechte Vitalität.
	Matzendorf	Ebenfalls klar vitaler als in Birmensdorf. Grüne Nadeln.
Buche	Birmensdorf	Allgemein guter Zustand, im Frühling Frühfrostschäden an Second Flushes 2013 tlw. gehäuft sichtbar, im Herbst stellenweise viele Ausfälle und kränkliche Bäumchen in wenigen Blöcken.
	Matzendorf	Sehr guter Zustand, nur wenige primär durch Mäuse bedingte Ausfälle, Pflanzen eher kleiner als in Birmensdorf.

3.3 Aufgabe der Fichten- und Tannenflächen in Birmensdorf

Aufgrund des schlechten Zustandes der Tannen und Fichten in Birmensdorf im Frühling 2014 wurde entschieden, diese Versuchsflächen aufzugeben. Dies geschah nach Abschluss der Grundmessungen (Pflanzenhöhe und Stammdurchmesser) am 1. April 2014. Phänologische Aufnahmen wurden also in Birmensdorf an den Tannen und Fichten analog 2013 keine durchgeführt. Bei den Buchen konnte wie geplant mit der phänologischen Aufnahme auf beiden Versuchsflächen begonnen werden. Die Tatsache, dass für Buche Wachstum und Phänologie an zwei Standorten beobachtet werden konnten, wird es ermöglichen, den Effekt der Versuchsfläche bei den Datenanalysen zu berücksichtigen.

4. Grundmessungen

Die Grundmessungen beinhalten die Messungen der Pflanzenhöhe und des Stammdurchmessers und hatten zum Ziel, die aktuelle Grösse und den saisonalen Zuwachs der Versuchspflanzen (Tanne und Fichte: Zuwachs 2013 und 2014; Buche: Zuwachs 2014) zu erfassen. Dazu wurden alle drei Baumarten vor und nach der Wachstumsperiode gemessen, die Buchen zusätzlich einmal im Sommer zur Bestimmung des Höhenzuwachses des ersten Austriebes.

4.1 Aufnahmezeiträume

Bei den Tannen wurden die Pflanzenhöhen und Stammdurchmesser in Birmensdorf vom 03.03. - 13.03.14 erfasst, in Matzendorf vom 03.04. - 08.04.14. Die zweiten Aufnahmen nach der Wachstumsperiode wurden vom 17.09.14 bis zum 24.09.14 nur noch in Matzendorf durchgeführt (Tabelle 3), da die Fichten- und Tannenflächen in Birmensdorf im Frühjahr 2014 aufgelöst worden waren (Kapitel 3.3).

Bei den Fichten wurden die Grundmessungen in Birmensdorf vom 13.03. - 01.04.14 und in Matzendorf vom 04.04. - 17.04.14 durchgeführt. Im Herbst wurden die Fichten in Matzendorf zwischen dem 29.09.14 und dem 07.10.14 gemessen.

Bei den Buchen erfolgte die Messungen von Pflanzenhöhe und Stammdurchmesser in Birmensdorf vom 26.03. - 07.04.14 und in Matzendorf vom 10.04. - 17.04.14. Die zweiten Messungen am Ende der Saison 2014 wurden in Matzendorf vom 28.10.14 bis zum 06.11.14 durchgeführt, diejenigen in Birmensdorf (nur Höhe) vom 27.10.14 bis am 04.12.14. Die Durchmesser werden aus Kapazitätsgründen im Januar 2015 gemessen.

Tabelle 3: Aufnahmezeiträume der Höhen- und Stammdurchmesser im Frühling (1. Messung vor Wachstumsphase 2014) und im Herbst (2. Messung nach Wachstumsphase 2014).

Baumart	Ort	Beginn 1. Messung	Ende 1. Messung	Beginn 2. Messung	Ende 2. Messung
Buchen	Matzendorf	10.03.14	17.04.14	28.10.14	06.11.14
	Birmensdorf	26.03.14	07.04.14	27.11.14	04.12.14
Tannen	Matzendorf	03.04.14	08.04.14	17.10.14	24.09.14
	Birmensdorf	03.03.14	13.03.14	Keine	Keine
Fichten	Matzendorf	04.04.14	17.04.14	29.09.14	01.10.14
	Birmensdorf	13.03.14	01.04.14	Keine	keine

4.2 Pflanzenhöhe und Zuwachs

Tanne und Fichte

Grundsätzlich wurden die Messungen gleich gehandhabt wie 2013 (Nussbaumer et al. 2013) und nach der Anleitung «Grundmessungen und Mortalität Ta, Fi, Bu 2014», Version März 2014, durchgeführt. Der wichtigste Unterschied war, dass die Pflanzenhöhe nicht mehr vom Boden, sondern von der Durchmessermarkierung auf 2cm Höhe über Boden aus gemessen wurde (Abbildung 1): Die Messung erfolgte von der Unterkante der Durchmessermarkierung plus 2cm Richtung Boden bis zur obersten Knospenspitze bei Tanne respektive zur obersten Nadelspitze bei Fichte. So konnte man sicher gehen, dass der Unsicherheitsfaktor Boden ausgeschlossen und bei jedem Baum zu jeder Zeit vom gleichen Punkt gemessen wurde. Wäre wieder vom Boden aus gemessen worden, hätte dies erneut zu Schwierigkeiten betreffend der sich verändernden

Bodenhöhe geführt, welche auch dieses Jahr stellenweise erheblich war (bedingt durch Jäten und Erdverschiebungen bei starken Niederschlägen; Nussbaumer et al. 2013). Die Bäumchen wurden von Hand an den Meter hingehalten, so dass sie gerade entlang der Stammachse gemessen werden konnten. Falls der Terminaltrieb dürr oder ohne Knospen respektive Nadeln war, wurde bis zum obersten Punkt des Bäumchens gemessen.

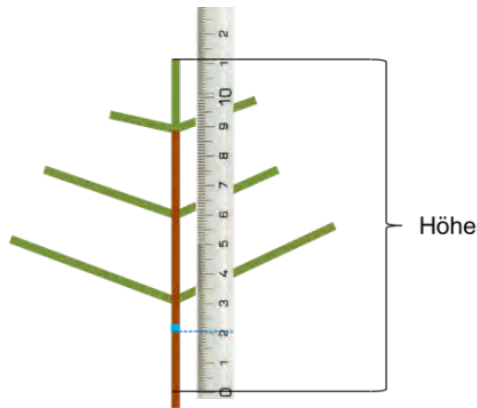


Abbildung 1: Zur Verminderung der Messunsicherheiten durch Bodenerosion wurde für die Bestimmung der Pflanzenhöhe der Meter nicht am Boden aufgestellt, sondern an der Durchmessermarkierung (blau) justiert. Der Abstand dieser Markierung zum Boden betrug ursprünglich 2 cm und wurde bei der Messung dazugezählt.

Buche

Im Frühling 2014 wurden die ersten Höhenmessungen (H14_1) an den Buchen durchgeführt (Anleitung «Grundmessungen und Mortalität Ta, Fi, Bu 2014», Version März 2014). Das Vorgehen war gleich wie bei den Tannen und Fichten, ausser dass als höchster Punkt die Knospenbasis der Terminalknospe verwendet wurde. Die Messungen erfolgten von den Durchmessermarkierungen aus (Abbildung 1). Einige Buchen wiesen an den Terminaltrieben Frostschäden auf, vermutlich durch Frühfrost im Herbst 2013. Diese Schäden wurden separat notiert.

Im Sommer 2014 wurde die Länge des ersten Triebes, d.h. der erste saisonale Zuwachs (ZW1) der Buchen erfasst. Gemessen wurde von der Knospenbasis der Terminalknospe 2013 (analog Höhenmessung) bis zur Knospenbasis der Terminalknospe des ersten neuen Triebes 2014. Hierfür wurde mit Farbmarkierungen am Haupttrieb gearbeitet (für Details s. Kapitel 5.3).

Nach der Wachstumsperiode im Herbst wurde eine zweite Messung des Höhenzuwachses durchgeführt (ZW2), welche die Länge des Zweitaustriebs (Second Flush, Kapitel 5.3) und allenfalls weiteren Austrieben (Anleitung: «Grundmessungen und Mortalität Ta, Fi, Bu HERBST», Version September 2014) erfasste. ZW1 und ZW2 umfassen somit zusammen die Gesamtlänge des diesjährigen Haupttriebes. ZW2 wurde von der Knospenbasis der Terminalknospe des ersten neuen Triebes 2014 bis zur Knospenbasis der endgültigen Terminalknospe 2014 gemessen (für Details s. Kapitel 5.3). Falls ein Bäumchen am phänologisch beobachteten Trieb keinen Zweitaustrieb zeigte, wurde auch kein zweiter Zuwachs aufgenommen.

Im Herbst wurde zudem die Pflanzenhöhe (H14_2) als vertikale Distanz von Boden zur obersten Knospenbasis der Buchen erfasst (Methode analog zu Verjüngungsaufnahmen im LFI). Dafür wurde ein Klappmeter hangaufwärts neben den Stamm gestellt (maximal 10 cm entfernt), ein Stab im rechten Winkel an den Meter gehalten und die Höhe abgelesen (Abbildung 2). Zu Beginn wurde auf Millimeter genau gemessen, nach wenigen Blöcken und etwas Erfahrung auf Zentimeter genau. Die Daten zur generellen Pflanzenhöhe wurden primär für das Projekt E-Adapt (Folgeprojekt von Andrea

Kupferschmid) erhoben, können aber auch für Adapt verwendet werden. Der eigentliche Jahreszuwachs für Adapt wird aus ZW1 + ZW2 ermittelt, die Gesamthöhe der Buchen nach der Saison 2014 als $H14_1 + ZW1 + ZW2$.

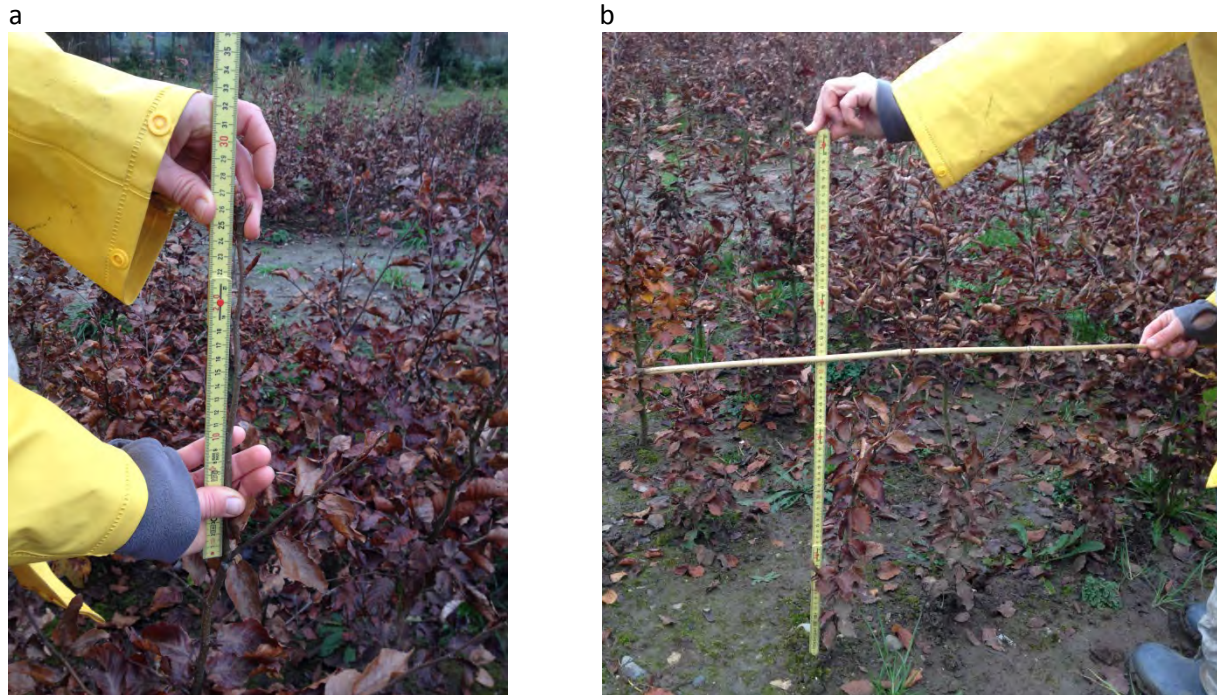


Abbildung 2: Messung des zweiten Zuwachses und der Pflanzhöhe bei den Buchen im Herbst 2014. a) Die Messung des zweiten Zuwachses erfolgte von der oberen Markierung bis zur obersten Knospenbasis. b) Mit Hilfe eines Bambusstabes (im rechten Winkel zum Klappmeter) wurde die Pflanzhöhe ermittelt.

4.2 Stammdurchmesser

Die Daten zum Stammdurchmesser (D) wurden nach derselben Methode wie 2013 erhoben (Nussbaumer et al.).

Die Schwierigkeit dieser Messungen war die Sensibilität der elektronischen Schublehren. Bei starker Feuchtigkeit und nassem Wetter konnten keine Messungen durchgeführt werden, da die Schublehren die gemessenen Werte nicht mehr korrekt oder überhaupt nicht mehr anzeigten. Die Durchmessermarkierungen, die ursprünglich 2 cm über Boden für die D-Messungen an den Stämmchen angebracht worden waren, waren in vielen Fällen abgefallen oder verblasst und mussten erneuert werden. Aufgrund der grossen Erosion auf den Versuchsflächen hatte sich der Abstand zum Boden meist vergrössert, d.h. die Markierungen waren essentiell für die Vergleichbarkeit der Messungen.

5. Knospenphänologie

Bei den Tannen und Fichten beschränkte man die phänologischen Aufnahmen auf die zweite Entwicklungsphase der Knospen am Terminaltrieb (Nussbaumer et al. 2013). Diese wurde einmal pro Woche aufgenommen. Da es bei den Buchen die erste phänologische Aufnahme war, wurden für diese Baumart vorgängig vier Phasen der Knospenentwicklung definiert und diese einmal pro Woche an den Terminalknospen angesprochen (Anleitung: « Vorlage Phäno Buche»). Im Sommer wurden



die Phänologiedaten der Buchen durch die Beobachtung der ersten Endknospenbildung (Budset) und des zweiten Austriebs (Second Flush) ergänzt.

5.1 Tanne

Die Aufnahmen in Matzendorf wurden vom 08. April - 24. Juni 2014, jeweils dienstags durchgeführt.

- Aufgenommen wurde nur Phase T2 (und z.T. Q2, s. unten; Nussbaumer et al. 2013; Tabelle 4).
- Falls zwei gleichwertige Endknospen vorhanden waren: Die sich zuerst entwickelnde Knospe wurde als Quirlknospe betrachtet und entsprechend wurde Q2 angesprochen; Markierung der Terminalknospe («spätere» Knospe) mit Tipp-Ex/Edding an der Knospenbasis, sobald Q2 erreicht war. Dies ermöglichte eine nachträgliche Überprüfung (s. unten).
- Zu beobachtende Triebe (z.T. auch einzelne Knospen) wurden im Zweifelsfall vorgängig mit Tipp-Ex/Edding markiert.
- Bemerkung 15: Seitentrieb wurde beobachtet, da kein Terminaltrieb vorhanden.

Tabelle 4: Phase 2 der Knospenphänologie bei Tanne und Fichte.

Tanne	Knospe aufgebrochen, Nadelspitzen sichtbar, Knospenhülle gesprengt.	
Fichte	Knospe aufgebrochen, Nadelspitzen sichtbar. Wichtig: Knospenschuppen am Ende mindestens kreisrund aufgebrochen.	

In Fällen, wo nur zwei endständige Knospen vorhanden waren, konnte man die Terminalknospe nicht von Anfang an eindeutig zuordnen. Sobald die erste der beiden Knospen austrieb, wurde sie als Quirlknospe betrachtet und die andere (später austreibende) Knospe als vermutliche Terminalknospe markiert (Tipp-Ex). Später, als die neuen Triebe komplett sichtbar wurden, korrigierte das Team falsch zugeordnete Knospen (T und Q verwechselt) durch Eingabe der Bemerkung 13.

5.2 Fichte

Die Aufnahmen in Matzendorf wurden vom 09. April bis 25. Juni 2014, jeweils mittwochs durchgeführt.

- Aufgenommen wurde nur Phase T2 (Tabelle 4).
- Zu beobachtende Triebe (z.T. auch einzelne Knospen) waren im Zweifelsfall vorgängig mit Tipp-Ex/Edding markiert worden.

5.3 Buche

Zur Beobachtung der Knospenphänologie der Buchen waren vorgängig vier Phasen definiert worden (Tabelle 5). Die Bildung der erste Endknospe (Budset) im Sommer sowie das erste erneute Austreiben im Sommer (Second Flush) wurden separat definiert (Tabelle 6).

Die Aufnahmen in Birmensdorf von Phasen 1 - 4 erfolgten vom 07. April bis 04. August 2014, die Aufnahme von Budset und Second Flush vom 05. Mai bis 04. August 2014, jeweils montags.

Die Aufnahmen in Matzendorf von Phasen 1 - 4 erfolgten vom 10. April bis 07. August 2014, die Aufnahme von Budset und Second Flush vom 05. Juni bis 07. August 2014, jeweils donnerstags.

- Aufgenommen wurden 4 Phänologiephasen der Terminalknospe (T1 - T4, Tabelle 5).
- Markierung der Knospenbasis der Terminalknospe 2013 (T) mit Tipp-Ex/Edding, sobald T1 erreicht war.
- Quirlknospe (Q) wurde verfolgt, solange T sich (noch) nicht entwickelt hatte (=Backup). Q konnte verworfen werden, sobald mind. T1 beobachtet wurde.
- Falls keine Terminalknospe am Haupttrieb (Frostschaden): Ausweichen auf Knospe weiter unten am Haupttrieb (bis erste richtige Verzweigung) = Bemerkung 8. Falls nicht möglich: T = 1111 (keine Terminalknospe vorhanden).

Tabelle 5: Phänologie Buche Phasen 1 bis 4.






Phase 1	Erste grüne Spitzen, bzw. weisse Härchen der neuen Blätter treten sichtbar zwischen den braunen Knospenschuppen hervor.	
Phase 2	Der Anteil Grün im Vergleich zum braun der Knospenschuppen beträgt 50% oder mehr. Alle Blätter sind noch gefaltet.	
Phase 3	Mindestens ein Blatt am neuen Endtrieb ist entfaltet. Die ganze Blattfläche und der Spreitengrund sind sichtbar.	
Phase 4	Alle Blätter am neuen Endtrieb sind entfaltet. Die ganze Blattfläche und der Spreitengrund sind sichtbar.	

Tabelle 6: Budset und Second Flush bei der Buche.

Budset	<p>Knospe des ersten Austriebes hat sich am Ende des Haupttriebes gebildet und vom Trieb abgesetzt. Dieser muss sich bereits vollständig entwickelt haben (Phase 4). Knospenschuppen müssen erkennbar sein.</p>	
Second Flush	<p>Erste grüne Spitzen der neuen Blätter treten sichtbar zwischen den braunen Knospenschuppen der ersten in 2014 gebildeten Terminalknospe hervor. Analog Phase 1 Phänologie.</p>	

Definition Budset und Second Flush

Am 05. Mai 2014 begann die Beobachtung des Budsets (Anleitung: «Aufnahme Endknospenbildung (bud set) an Buchen 2014»). Das Problem war, dass einerseits noch niemand aus dem Feldteam Erfahrung mit der Aufnahme dieses Merkmals hatte und andererseits auch die Projektleitung unsicher war, was die Definition des Budsets und Second Flushes anging. Daraus resultierten viele Falscheinträge zu Beginn der Aufnahmen, welche im Verlauf der Knospenentwicklung korrigiert werden mussten (Merkmal zu früh vergeben). Dies funktionierte jedoch tadellos, da sich nach einigen Wochen klar abzeichnete, was nun wirklich ein Budset und ein Second Flush war (Tabelle 6). Auch durch die während der Aufnahmezeit gesteigerte Erfahrung des Teams fiel die korrekte Bestimmung des Merkmals leichter. Im Zweifelsfall wurde kein Budset aufgenommen, sondern abgewartet, ob sich in der kommenden Woche ein Second Flush bildete. Sofern sich dann ein Second Flush gebildet hatte, wurde der aktuelle Julian Day beim Second Flush und der Julian Day der letzten Woche beim Bud Set eingetragen.

Knospenmarkierungen

Der Tipp-Ex, welcher bereits zur Markierung der Tannen und Fichten verwendet wurde, erwies sich als ungeeignet für die glatte Oberfläche der Buchentriebe. Als Alternative wurde der «edding 750 paint marker», Farbe Weiss, gewählt. Im Vergleich zum Tipp-Ex ist der Edding sehr viel wetterbeständiger, einfacher aufzutragen und weist eine deutlich längere Lebenszeit auf. Während der Feldsaison mussten aber trotz der verbesserten Haltbarkeit der aufgetragenen Farbe Nachmarkierungen vorgenommen werden, da die Farbe z.T. bei nasser Oberfläche aufgetragen wurde. Zudem hatte das Wachstum der Bäume Einfluss auf die verminderte Haltbarkeit.

6. Frostsensitivität

Ende April wurden Frostschäden bei Tannen und Fichten in Matzendorf aufgenommen (Abbildung 3; Anleitung: «Aufnahme Frostschäden an Fichten und Tannen Matzendorf 2014»). Das Ziel war, Schädigungen der Pflanzen aufgrund der Frostereignisse vom 15., 16. und 19. April 2014 abzuschätzen. Die Tannen und Fichten wiesen vorwiegend an den Seitentrieben Frostschäden auf (Abbildung 3 a), dafür aber sehr viele. Terminalknospen wurden aufgrund deren späteren Austreibens mehrheitlich verschont (Abbildung 3 b). Bei einer zweiten Aufnahme Mitte Mai war das Ausmass der Frostschäden noch besser erkennbar. Dies, da einige Knospenhüllen bei der ersten Aufnahme noch geschlossen und somit die abgefrorenen Nadeln nicht sichtbar waren. Im Vergleich zum letzten Jahr wurden keine Schweregrade verwendet. Lediglich 1 (Frostschaden) oder 0 (kein Frostschaden). Es wurde während der Aufnahme zwischen Schaden am Terminaltrieb (FDT) und Schaden irgendwo an der Pflanze (FDP; schliesst FDT mit ein) differenziert.



Abbildung 3: a) Frostschäden an den Seitentrieben, b) an der Terminalknospe.

7. Blattseneszenz Buchen

Die Blattseneszenz bei den Buchen war ein neu aufzunehmendes Merkmal. Dabei wurde die Verfärbung der Blätter geschätzt (Anleitung: «Phänokatalog 2014, Ansprache der Blattseneszenz bei Buchen, Version 1.0»). Wenn ein Blatt zu mind. 50% verfärbt (herbstgelb oder braun) war, wurde dies als Zeichen für Seneszenz gewertet und das Blatt als «nicht mehr funktional» betrachtet (Abbildung 4). Hatte eine Buche mehr als 10% verfärbte Blätter wurde sie in Stufe 1 (S1) eingeteilt. Erreichte die Buche mehr als 50% verfärbte Blätter wurde sie der Stufe 2 (S2) zugeordnet. Im Zweifelsfall wurde sie der nächst höheren Stufe zugeordnet. Die Seneszenz-Stufe der Buchen wurde im Abstand von ± 10 Tagen bestimmt.

In Matzendorf wurde die erste Ansprache am 24.09.14 ausgeführt, die letzte am 24.11.14. Insgesamt wurden in Matzendorf 7 Ansprachen durchgeführt:

Julian Day (JD) 267, 276, 286, 296, 307, 316, 328

Zwei Individuen wurden bei S2 dem Julian Day 338 zugeteilt, weil sie am JD 328 die S2 noch knapp nicht erreicht hatten, es aber nahe lag, dass sie 10 Tage später S2 erreicht haben werden. Dies erlaubte einen früheren Abschluss dieser Arbeiten, ohne die Datenqualität nachteilig zu beeinflussen.

Am 26.09.14 wurde die Blattansprache in Birmensdorf gestartet und am 28.11.14 beendet. Auch hier wurden 7 Ansprachen durchgeführt:

Julian Day (JD) 269, 279, 290, 300, 311/313, 321

Zwischen dem JD 300 und dem JD 311 hat sich in Birmensdorf betreffend Blattseneszenz ziemlich viel verändert. Ganz viele Bäume erreichten während dieser Zeit S1. Weil Pascal und Nathalie die Bäume am JD 311 anders eingestuft hatten, gab es starke Unterschiede in der Anzahl der Bäume in S1, aber auch in S2. Deshalb hat Nathalie die Aufnahme am JD 313 für 8 Blöcke wiederholt und vereinheitlicht.

7.1 Präzisierung und Schwierigkeiten

Die grosse Schwierigkeit bei der Ansprache der Blattseneszenz war, die gelbe Farbe richtig einzuschätzen (Abbildung 4). Das Gelb musste ein herbstliches, sattes Gelb sein. Wenn die Unterseite des Blattes grünlich war, zählte es nicht zum verfärbten Anteil. Zudem musste ein Individuum das herbstliche Gelb aufweisen, sonst wurde auch das Braun nicht zur Verfärbung gezählt (zur Abgrenzung des «Seneszenz-Brauns» von brauner Verfärbung durch Insektenfrass, Kapitel 8.4). Ein Individuum mit braunen und grünen Blätter wurde also nicht in eine Stufe eingeteilt, sondern erst wenn das gesuchte Gelb vorhanden war.



Abbildung 4: Blattseneszenz bei der Buche. a) Verfärbte Buche mit dem herbstlich satten Gelb. b) Buche gilt noch nicht als verfärbt, weil kein Gelb vorhanden ist, deshalb zählt auch das Braun nicht. Wenn man nur das Braun zählen würde, hätte dieser Baum aber S1 erreicht. c) Ein Blatt (Mitte) muss genauer unter die Lupe genommen werden. Hierfür schaut man die Unterseite des Blattes an, um entscheiden zu können, ob das Blatt als verfärbt gilt oder nicht. Während man die Oberseite des Blattes (d) als verfärbt ansehen kann, ist die Unterseite (e) klar noch grün und deshalb gilt das Blatt als noch nicht verfärbt. f) Grüne neben verfärbten Blättern.

8. Flächenunterhalt

Der Flächenunterhalt in Birmensdorf wurde durch das WSL-Versuchsgartenteam sichergestellt. In Matzendorf war dafür das ADAPT-Feldteam verantwortlich. Der viele Regen und die kalten Temperaturen im Mai bremsen die Unterhaltsarbeiten zwar erheblich, doch konnte durch Mehrarbeit an schöneren Tagen der Rückstand wieder aufgeholt werden. Durch die feuchte Witterung im August nahm der Arbeitsaufwand gegen Ende des Sommers noch einmal zu.

8.1 Tensiometer

Die manuellen Tensiometer auf beiden Versuchsflächen wurden wöchentlich abgelesen, um die Saugspannung des Bodens zu erfassen. Am 06.11.14 wurden sie abmontiert, nach Birmensdorf zurückgebracht und geputzt.

8.2 Jäten

Durch systematisches Jäten mit Priorität auf Quantität konnten das schnellwachsende Unkraut und Gras in Schach gehalten werden. Die effizienteste Methode war ein Team aus zwei bis vier Personen pro Block ausgerüstet mit Pendelhacken.

Der Zustand der Fläche war während der ganzen Feldsaison sehr gut, was auch die Arbeit an den Bäumen deutlich erleichterte. So konnte man sich ab Anfangs September primär auf die Messungen konzentrieren. Gejätet wurde nur noch, wo das Unkraut störte.

8.3 Entfernung der Erdnägel

Die im Jahr 2013 zur kontinuierlichen Höhenmessung verwendeten Erdnägel (Nussbaumer et al. 2013) wurden dieses Jahr komplett entfernt. Alle Nägel wurden vorsichtig aus dem Boden gezogen, gesammelt und gereinigt. Bis zur nächsten Verwendung werden sie an der WSL in Birmensdorf gelagert.

8.4 Schädlinge

Buchenblattläuse

In Birmensdorf stellten wir Ende Mai einen sehr starken Buchenblattlausbefall (*Phyllaphis fagi*, Abbildung 5 a) fest. Die weissen, wolligen und mit Honigtau erkennbaren Lauskolonien wurden vom Versuchsgartenteam am 3. Juni mit 0.1% Perfektion und 0.3% Cuprosan 3F gegen Pilze, Blatt-, und Wollläuse behandelt. An den Buchen auf der Versuchsfläche Matzendorf kam es zu keinem nennenswerten Blattlausbefall.

Fichtengallläuse

Ein neues Phänomen waren die Fichtengallläuse (*Sacchiphantes viridis*). Im Juni fanden wir an schätzungsweise 50 Fichten in Matzendorf Anzeichen eines Befalls durch diese Insekten. Dies war sehr schön durch die ananasförmigen Gallen der Läuse zu erkennen (Abbildung 5 b). Alle nicht an einem Terminaltrieb befindlichen «Ananasgallen» wurden weggeschnitten. Es kam danach zu keinerlei Neubildungen.

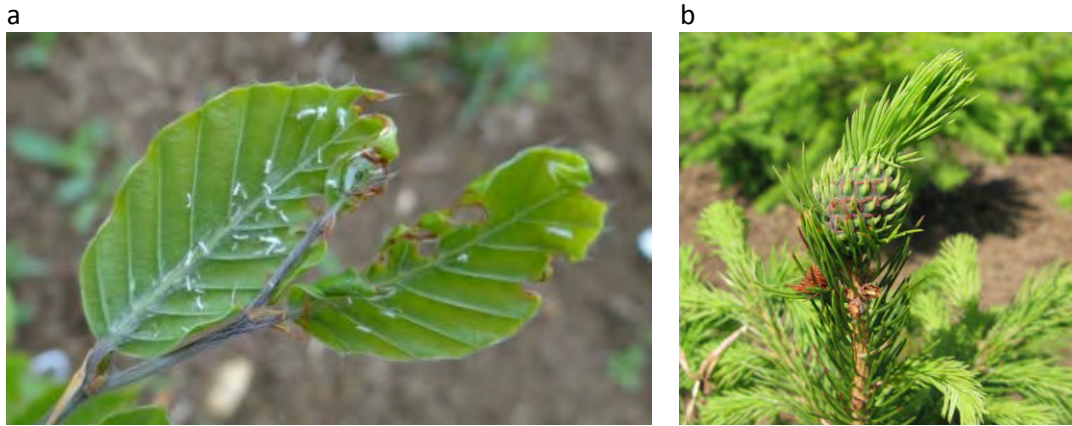


Abbildung 5: a) Buchenblattläuse, b) eine von Fichtengallläuse befallene Fichte

Spinnmilben

Ein Teil der Fichten in Matzendorf zeigte im Herbst Symptome von Spinnmilbenbefall. Kranke Fichten wiesen insbesondere braune, dürre Seitenäste im unteren Bereich der Pflanze auf (Abbildung 6 a), z.T. waren aber auch nur die Triebspitzen bräunlich verfärbt (Abbildung 6 b).

Alle befallenen und daran angrenzenden Fichten wurden drei Mal (31.10./04.11./14.11.14) mit dem biologischen Insektizid Natural (Andermatt Biocontrol AG, Grossdietwil, CH) behandelt. Es wird empfohlen, im Frühling 2015 einen weiteren Behandlungsdurchgang vorzunehmen.



Abbildung 6: Die Spinnmilben an den Fichten führten zum Absterben der Nadeln (a) oder zu Verfärbungen der Triebspitzen (b).

Buchenspringrüssler

Die Buchen in Matzendorf wurden im Frühling stark von Buchenspringrüsslern (*Rhynchaenus fagi*) in Mitleidenschaft gezogen, erkennbar durch angefressene und braun verfärbte Blätter. Es wurde keine Bekämpfung vorgenommen. Die dadurch entstandenen Blattschäden erschwerten im Herbst die Ansprache der Blattseneszenz.

9. Bemerkungen und Codes

Tabelle 7: Personennummern für die Feldarbeit 2014.

Nr.	Name	Vorname
9	Frank	Aline
10	Heiri	Caroline
12	Fretz	Andrin
13	Wüthrich	Jakob
14	Dämpfle	Lukas
15	Kaeser	Andreas
16	Nietzsche	Jens
17	Sägesser	Janine
18	Müller	Matthias
19	Keller	Nathalie
20	Kretz	Pascal
21	Zollinger	Timon

Tabelle 8: Bemerkungen Feldsaison 2014.

Bemerkung	Beschreibung
8	Haupttrieb abgeschlagen, d.h. kein T und Q oben, also Q von weiter unten verfolgt.
13	Die als Terminalknospe angesprochene Knospe ist eigentlich eine Quirlknospe. Diese Bemerkung diente v.a. der späteren Datenbereinigung. Bei diesen Tannen konnten die Knospen-Phänologiedaten von Terminal- und Quirlknospen ausgetauscht werden.
14	Tannen/Fichten zweigen nur einzelne Nadeln als Austrieb.
15	Tannen: Seitentrieb wird gemessen, da Haupttrieb beschädigt/gekappt. Also keine «echten» T und Q (Nussbaumer et al 2013).
20	Wurzeln teilweise sichtbar, Pflanze steht schief als 45°.
21	Wurzeln liegen komplett frei, Pflanze liegt auf dem Boden keine Verwurzelung.
22	Keine Durchmessermarkierung. Messstelle wird anhand Daten von 2013 rekonstruiert.
23	Tanne: nur zwei Knospen vorhanden, T wird markiert.
24	Terminaltrieb noch nicht entwickelt, im Gegensatz zum Rest der Pflanze. T nicht repräsentativ.
25	Blutbuche
26	Fichtengallläuse
27	Zuwachs wird am Q-Trieb gemessen, nicht am T (sofern T nicht ausgetrieben hat).
28	Endtrieb hat keine Knospen, aber einen Wasserreisser, der die Höhe des Endtriebes nicht erreicht (nicht konsequent umgesetzt).
30	Endtrieb hat keine Knospen und auch keinen Wasserreisser (nicht konsequent umgesetzt).
31	Falls im Sommer 2014 kein Second Flush (SF) vorhanden war (SF = leer), aber der Endtrieb trotzdem gewachsen war.

Tabelle 9: Codes Feldsaison 2014.

Code	Beschreibung
1111	Knospe abgestorben oder nie vorhanden gewesen. Dies kann auch bedeuten, dass die ersten Phasen noch erfasst werden konnten, danach aber die Knospe oder der Trieb z.B. abgebrochen oder erfroren ist.
4444	Pflanze tot, wird für Messung nicht mehr berücksichtigt.
9999	Leerstelle im Pflanzplan, hier wurde keine Pflanze gesetzt.
9	Abgestorbener Baum

10. Zeitlicher Aufwand der Arbeiten

Die verschiedenen Arbeiten lassen sich in drei Gruppen unterteilen (Tabelle 10): In den «Aufnahmen» sind jegliche Messungen und Beobachtungen enthalten (Mortalität, Höhen- und Stammdurchmesser, Zuwachs, Phänologie). Die Zeit des «Flächenunterhalts» setzt sich zusammen aus den Arbeiten, welche im Kapitel 8 (Flächenunterhalt) beschrieben werden. Die Zeit, welche für Datensicherung, Tagebuch und Berichte in Anspruch genommen wurde, wird unter den «Diverse Arbeiten» aufgeführt.

Tabelle 10: Zusammenfassung aller Arbeitsstunden der Feldsaison 2014.

Art der Arbeiten	Anzahl geleistete Arbeitsstunden
Aufnahme	2156 Std.
Flächenunterhalt	922.25 Std.
Diverse Arbeiten	220 Std.
Total	3298.25 Std.

11. Literaturverzeichnis

Nussbaumer Anita, Frank Aline, Heiri Caroline 2013. Forschungsprojekt Adaptive genetische Variation von Fichte, Tanne und Buche (ADAPT). Dokumentation der Feldarbeit 2013. Buchenpflanzung und Merkmalserhebung an Tannen und Fichten. Birmensdorf, Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., 40S., unveröff.