

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

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 Wachstumsstop zu bestimmen. Zusätzlich wurden die Auswirkungen eines natürlichen Frostereignisses 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 zugewiesen, 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 Wildschutzaun 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-Günhardt, 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 erhöhen. 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 Walther.

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 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 aussen 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.

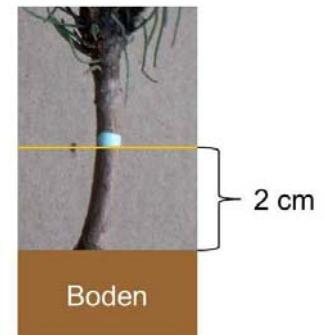


Abbildung 3. Durchmessermarkierung an Fichte.
Quelle: Caroline Heiri.

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.

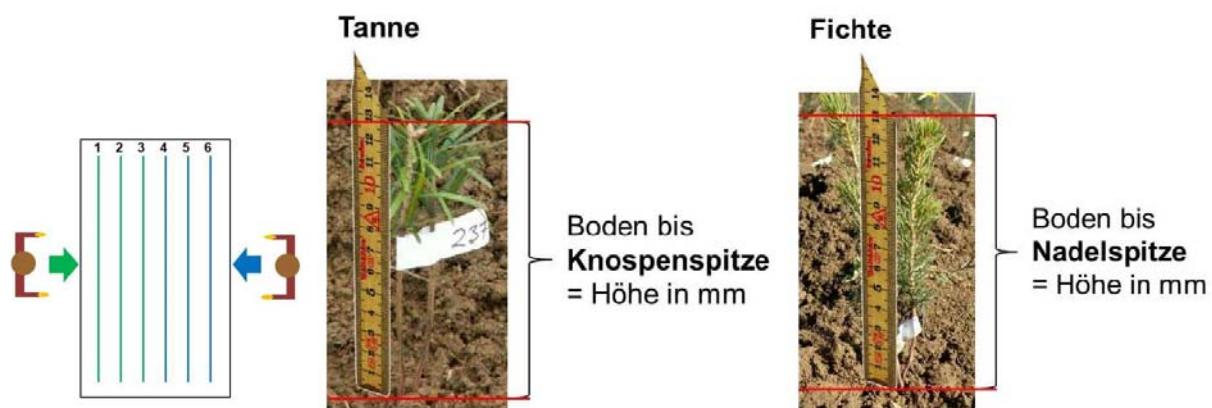


Abbildung 4. Vorgehen bei der Datenerhebung zum saisonalen Zuwachs. *Links:* Position der Messperson im Block; drei Reihen werden von links, drei von rechts gemessen. *Mitte und Rechts:* Höhenmessung bei Tannen und Fichten. Quelle: Caroline Heiri.



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, schwollt 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 Triebs ohne Manipulation sichtbar ist (vergleiche Phase 3 bei der Fichte, wo die Nadeln auseinandergestrichen werden dürfen).

Tanne		
PHASE 1 Knospe geschwollen, mind. 50% der Knospe aus weißlichem Vlies bestehend; in späterem Stadium durchsichtig und Nadeln darunter sichtbar.	JA	noch nicht
PHASE 2 Knospe aufgebrochen, Nadelspitzen sichtbar, Knosphenhülle gesprengt.	JA	noch nicht
PHASE 3 Trieb sichtbar, grün.		

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).

Fichte		
PHASE 1 Knospe geschwollen, "Spitzigkeit" verloren (evtl. mit Fingerkuppe testen).		
PHASE 2 Knospe aufgebrochen, Nadel spitzen sichtbar. WICHTIG: Knospenschuppen am Ende mindestens "kreisrund" aufgebrochen.		
PHASE 3 Trieb durch die Nadeln sichtbar (ggf. leicht gegen Wuchsrichtung über Nadeln streifen).		

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 Längenzuwachs 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 (Trieboberseite 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 Knospenphänologie 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 «Büscherlichkeit». 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. Büscherliches 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 «Büscherlichkeit» 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 «Büscherlichkeit» 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 Linde 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 Knie. Obwohl dies nicht beabsichtigt war, kam es hier zu einem spürbaren Messunterschied, da die Mitarbeiter nicht einheitlich arbeiteten (Massstab 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 Zuwachsen 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 «Büscherigkeit» 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 = letztaährige 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, $n_{tot} = 46$) 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 ($n_{tot} = 21$) 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» eingestuften 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 = letzjährige 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 Maulwurfsgrillen. 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 Tannentriebläuse) 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 Sprenkeln 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,	200	260	2. - 15.4.2013 (Bi)
Durchmessermarkierungen, Höhen- und Durchmessermessungen			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 Zuwachs), 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	H JD	H JD
											217	211	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 wöchentlich 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 Höhenmessungen eingefügt.

Am Ende der Messsaison wurden alle Daten aus den 32 Blöcken in Matzendorf für die Datenanalyse in ein Gesamtdokument zusammengeführt. Dieses umfasst alle Daten zu den saisonalen Zuwachsmessungen, der Knospenphänologie, den kontinuierlichen Messungen des Höhenzuwachses und den daraus berechneten Wachstumsstopps, Frostsäden und Johannistrieben (Rohdaten_Messungen_2013; vgl. Tab. 2).

Die Dokumente zur Buchenauspflanzung bestehen aus Pflanzplänen, einer Spaltendarstellung, die für die Feldaufnahmen in der folgenden Saison verwendet werden kann, sowie einer 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 wiederwärmere 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 einem 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 frühsommerliches 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 Wärmegegittern 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 Sylleptic 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 Terminalknospse	für Grundmessungen relevant
6	Haupttrieb ausgewählt und markiert (für Höhenmessung und Phänobeobachtung)	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 Phänoaufnahmestandort 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: «Büschenigkeit», 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 Buchenherküünfte)

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

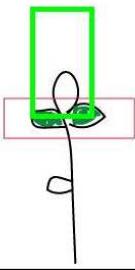
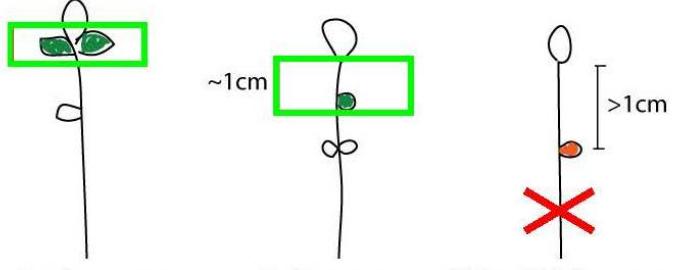
DEFINITIONEN
Terminalknospe
= Endknospe; setzt zuoberst am Haupttrieb an und steht senkrecht in der Verlängerung des Haupttriebs

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