

Schlussbericht des Projektes

Gastbaumarten

im Forschungsprogramm Wald und Klimawandel

Petia Nikolova, Anton Bürgi, Simon Egli, Peter Brang



Dezember 2016



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

Autoren

Petia Nikolova, Anton Bürgi, Simon Egli, Peter Brang
Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

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

Projektlaufzeit: 1.10.2010-31.12.2016

Zitierung

Nikolova P, Bürgi A, Egli S, Brang P. 2016. Schlussbericht des Projektes Gastbaumarten im Forschungsprogramm Wald und Klimawandel. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 52 S.

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

Dank

Wir danken dem Kanton Waadt für die finanzielle Unterstützung des Projektes und dem Förster Olivier Golay für die umsichtige Begleitung des Versuchs und das Planen und Überwachen der Pflegeeingriffe. Folgenden Mitarbeitenden danken wir für das Durchführen der Inventuren: Marc Adami, Lukas Dämpfle, Matthias Fehlmann, Pascal Hengartner, Samuel Kneubühler, Anna Kolly, Oliver Leisibach, Jens Nietzsche, Gilbert Projer, Hubert Schmid, Martina Späni und Tobias Tschopp. Für die Finanzierung des Projekts geht unser Dank an das Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» von BAFU und WSL.

Martin Bachmann und Franz Binder (LWF, Freising, Deutschland) und ihrem Mitarbeiter Paul Dimke verdanken wir die Koordination des Projekts und den Projektpartnern Nico Frischbier (Forst Thüringen), Raphael Klumpp (Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Waldbau, Wien), Gregor Aas (Ökologisch Botanischer Garten Bayreuth), Karolina Faust, Randolph Schirmer und Monika Konnert (Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht ASP, Teisendorf D) sowie Andreas Schmiedinger wertvolle Diskussionen.

©Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 2016

Inhalt

Zusammenfassung	4
Summary	6
1 Einleitung	8
1.1 Motivation für einen Test von Gastbaumarten.....	8
1.2 Stand der Kenntnisse zu Gastbaumarten	8
1.3 Forschungsfragen	9
2 Material und Methoden	9
2.1 Auswahl der Testbaumarten	9
2.2 Experimentelles Design und Versuchsflächen.....	10
2.3 Inventuren	15
2.4 Phänologische Erhebungen	18
2.5 Beprobung der Mykorrhiza.....	18
2.6 Pflegeeingriffe.....	18
2.7 Beschreibung älterer Bestände der Gastbaumarten in der Schweiz	19
2.8 Projektablauf	19
3 Ergebnisse.....	20
3.1 Anwuchserfolg und Mortalität	20
3.2 Höhen- und Durchmesserwachstum.....	22
3.3 Schäden	26
3.4 Phänologie	29
3.5 Mykorrhizierung	32
3.6 Geschichte und weitere Anbauten der untersuchten Baumarten in der Schweiz	33
3.7 Vergleich mit Resultaten der Schwesterflächen im Ausland	34
4 Diskussion	36
4.1 Würdigung der Forschungsmethoden.....	36
4.2 Anwuchserfolg und Wachstum	37
4.3 Phänologie	37
4.4 Mykorrhizierung	38
4.5 Anbaueignung der Baumarten	38
4.6 Weitere Forschung auf der Versuchsfläche in Mutrux und Ausblick.....	40
5 Literatur	42
6 Anhang.....	44
6.1 Im Projekt entstandene Publikationen.....	44
6.2 Umsetzungsbeiträge.....	45
6.3 Archivierung der Daten.....	45
6.4 Weitere Unterlagen	46
6.5 Fotodokumentation.....	48

ZUSAMMENFASSUNG

Nikolova P, Bürgi A, Egli S, Brang P. 2016. Schlussbericht des Projektes Gastbaumarten im Forschungsprogramm Wald und Klimawandel. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 52 S.

Im Zuge des Klimawandels dürfte sich die Baumartenzusammensetzung der Schweizer Wälder in den nächsten Jahrhunderten erheblich ändern. Einige der heute vorkommenden Baumarten werden sich vermutlich nicht überall genug schnell an die neuen Umweltbedingungen anpassen oder neue Habitate erreichen, andere könnten von neuen Pathogenen zum Absterben gebracht werden. Vor diesem Hintergrund sollten zur Risikoverteilung möglichst viele Baumarten den Wald aufbauen. Daher stellt sich die Frage einer gezielten Anreicherung mit Baumarten aus anderen Regionen, in denen bereits jetzt wärmere und trockenere Bedingungen herrschen. Diese Baumarten sollten zudem einen hohen Nutzwert haben und kleine phytosanitäre Risiken aufweisen.

Ein Beitrag zur diesen Fragestellungen leistet das Projekt «Gastbaumarten» im Forschungsprogramm Wald und Klimawandel in Kooperation mit Partnern aus Deutschland und Österreich. Nach einem stratifizierten Drei-Filter-Verfahren, mit ökologischen, ökonomischen sowie anbauspezifischen Kriterien, wurden insgesamt 12 Gastbaumarten für einen Versuchsanbau vorselektiert. Die Verfügbarkeit von herkunftsgeprüftem Saatgut gab schliesslich den Ausschlag für die Wahl von sechs Baumarten. Im Herbst 2012 wurde eine 2,8 ha grosse Versuchsfläche in Mutrux (Kanton Waadt) mit 6'000 Bäumchen von sechs gebietsfremden Baumarten bepflanzt: der westlichen Hemlocktanne (*Tsuga heterophylla*), dem Riesen-Lebensbaum (*Thuja plicata*), der Silberlinde (*Tilia tomentosa*), der Orientbuche (*Fagus orientalis*), der Libanonzeder (*Cedrus libani*) und der Türkischen Tanne (*Abies bornmuelleriana*). Zum Vergleich wurden einheimische Traubeneichen (*Quercus petraea*) gepflanzt. Zur Einschätzung des Etablierungspotenzials der Baumarten wurden der Anwuchserfolg ermittelt sowie jährliche Erhebungen von Mortalität, Höhenzuwachs, Schäden und der phänologischen Entwicklung durchgeführt. Die Mykorrhizierung der Jungpflanzen wurde als Merkmal standörtlicher Anpassung ebenso erfasst.

In den ersten drei Messjahren entwickelten sich *Thuja* und *Fagus* in Mutrux am besten. Beide Baumarten zeigten über 95% Überlebensrate und jährliche Höhenzuwächse von 0,4-0,5 m. *Cedrus* hingegen war die Baumart mit den grössten Etablierungsschwierigkeiten: Nach der Pflanzung im Herbst 2012 wies sie erhebliche Mortalität auf (60-80%), welche bei einer Nachpflanzung im Frühling 2014 immerhin um die Hälfte verringert war. Bei einer weiteren Nachpflanzung 2015 mit Topfpflanzen von *Cedrus* starben dann nur noch 2%. *Cedrus* litt auch stark unter Schäden wie Gipfeldürre, schütterten Kronen und Schiefstand. *Tsuga* wuchs noch etwas rascher als *Thuja* und erreichte wie diese nach den ersten drei Jahren mittlere Baumhöhen von über 1,5 m. Die schon bei der Pflanzung kleinen *Abies* blieben zwar unter 0,3 m hoch, litten aber unter relativ wenig Schäden. *Tilia* und *Quercus*, die als Grosspflanzen eingebracht wurden, hatten niedrige Mortalität, aber einen ausgeprägten Pflanzschock, der mit dem unausgeglichene Wurzel-/Spross-Verhältnis zu erklären ist. *Cedrus* und *Tilia* trieben am frühesten aus, *Fagus* und *Abies* am spätesten, erst drei Wochen nach der einheimischen Referenzart *Quercus*. Die Mykorrhizierung der sieben Baumarten war sehr unterschiedlich und zeigte bei der einheimischen *Quercus* sowie bei den Gastbaumarten *Tilia*, *Fagus* und *Tsuga* die beste Anpassung an den neuen Standort.

Die Beobachtung der Pflanzen während drei Vegetationsperioden erlaubt nur eine sehr vorläufige Einschätzung von deren Eignung. Keine der sechs Baumarten erwies sich bisher als grundsätzlich ungeeignet. *Fagus*, *Thuja* und *Tsuga* etablierten sich am besten. Die Pflanzung von *Cedrus* als Nacktwurzler war ein Misserfolg, weswegen diese Baumart nur als Topfpflanze gepflanzt werden sollte. *Tilia* und *Quercus* wuchsen gut an, sollten aber als Kleinpflanzen gesetzt werden, um einen Pflanzschock abzumildern oder zu vermeiden. Langfristige Beobachtungen unseres Anbauversuchs sind notwendig, um die Performance der sechs Gastbaumarten bewerten zu können. Daher ist geplant, den Versuch in Mutrux weiter wissenschaftlich zu verfolgen.

Summary

Nikolova P, Bürgi A, Egli S, Brang P. 2016. Final report of the project Non-native tree species in the research program Forests and climate change. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL. 52 p.

In the course of climate change, the tree species composition of the Swiss forests is likely to change significantly in the coming centuries. Some of the species occurring today are not likely to adapt in all sites to the new environmental conditions or to reach new habitats fast enough, and others may suffer from mortality caused by new pathogens. Against this background, as many tree species as possible should build the forest. Therefore the question arises of a targeted enrichment with tree species from other regions, where already warmer and drier conditions prevail. These tree species should also have a high utility value and small phytosanitary risks.

The 'Non-native tree species' project in the research program 'Forests and climate change' contributes to these questions in cooperation with partners from Germany and Austria. After a stratified three-filter process, with ecological, economic and cultivation-specific criteria, a total of 12 non-native tree species were preselected for experimental cultivation. The availability of provenance-tested seeds was ultimately decisive for the choice of six tree species. In autumn 2012, a 2.8-hectare experimental area was planted in Mutrux (Canton of Vaud) with a total of 6,000 trees of six non-native tree species: western hemlock (*Tsuga heterophylla*), western red cedar (*Thuja plicata*); silver beech (*Tilia tomentosa*), Oriental beech (*Fagus orientalis*), Lebanon cedar (*Cedrus libani*) and Turkish fir (*Abies bornmuelleriana*). For comparison, native sessile oak trees (*Quercus petraea*) were planted. For a qualified estimation of the suitability of the tree species, the establishment success of the species was determined and annual surveys of mortality, tree height, damage and the phenological development were carried out. The mycorrhiza of the young plants was also recorded as a feature of site adaptation.

During the first three years, *Thuja* and *Fagus* developed best in Mutrux. Both tree species showed a 95% survival rate and annual height increments of 0.4-0.5 m. *Cedrus*, on the other hand, was the tree species with the greatest difficulties in establishing. After planting in autumn 2012, it showed significant mortality (60-80%), which was reduced by half for a replacement planting in spring 2014. Of *Cedrus* planted as potted seedlings in 2015, only 2% died. *Cedrus* also suffered severely from damage such as top drying, thin crowns and crookedness. *Tsuga* grew even more quickly than *Thuja* and reached like these after the first three years mean tree heights of over 1.5 m. The *Abies* that were already small during planting remained below 0.3 m height, but suffered relatively little damage. *Tilia* and *Quercus*, which were introduced as large plants, had low mortality but a pronounced planting shock, which can be explained by the unbalanced root/sprout ratio. Bud break was earliest in *Cedrus* and *Tilia*, while *Fagus* and *Abies* flushed latest, three weeks later than the native reference species *Quercus*. The mycorrhization of the seven tree species varied largely and showed the best adaptation to the site in the native *Quercus* as well as in the non-native *Tilia*, *Fagus* and *Tsuga*.

The observation of the plants during three growing seasons allows only a very preliminary assessment of their suitability. None of the six tree species proved to be fundamentally unsuitable. *Fagus*, *Thuja* and *Tsuga* established best. The planting of *Cedrus* as bare-root

seedlings failed, which is why this tree species should only be planted as a potted seedling. *Tilia* and *Quercus* established well, but should be planted as small plants to mitigate or prevent a planting shock. Long-term observations of our cultivation tests are necessary in order to evaluate the performance of the six non-native tree species. It is therefore planned to pursue the experiment in Mutrux further scientifically.

1 EINLEITUNG

1.1 MOTIVATION FÜR EINEN TEST VON GASTBAUMARTEN

Gastbaumarten sind standortfremde Baumarten, die in einem bestimmten Gebiet von Natur aus nicht vorkommen und vom Menschen eingeführt wurden. Die Motivation für den Anbau von Gastbaumarten war oft deren rascheres Wachstum am Herkunftsort; das generelle Interesse für das Fremde und Besondere spielte aber (besonders auch im Gartenbau) auch eine grosse Rolle. Im Zuge des Klimawandels stellt sich die Frage nach Gastbaumarten neu: Gibt es Baumarten, welche an ein wärmeres und trockeneres Klima angepasst sind, einen hohen Nutzwert haben und mit kleinen phytosanitären Risiken verwendet werden könnten? Solche Arten könnten klimabedingte Risiken für den Wald und für Waldleistungen verteilen und damit reduzieren (Bolte & Ibisch 2007, Brang et al 2008).

Bis etwa 1920 wurden auch in der Schweiz zahlreiche fremdländische Baumarten versuchsweise angebaut (Bürgi & Diez 1986), die meisten davon ohne Erfolg oder ohne Vorteile gegenüber einheimischen Baumarten. Bewährt haben sich immerhin die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) und die Roteiche (*Quercus rubra*; Diez & Bürgi 1991). Die Rolle von Gastbaumarten in der Schweiz ist heute sehr gering (Bürgi & Diez 1986); gemäss LFI3 dominieren exotische Baumarten auf 0,6% der Waldfläche. Die Geschichte der Gastbaumarten in der Schweiz wurde wiederholt aufgearbeitet (u.a. von Tschopp 2011 und von Brang et al 2016).

Das Projekt «Gastbaumarten» im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» ist Teil eines Gesamtprojektes von 5 Forschungsinstituten in Deutschland, Österreich und der Schweiz, das die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF, Freising) koordiniert. Ziel ist der Test klimatisch geeignet scheinender Gastbaumarten, für welche noch wenig Anbauerfahrungen bestehen. Dieser Test wird als Langzeitversuch im Wald durchgeführt, weil nur langfristige Anbauversuche Gewissheit über die Performance von Gastbaumarten schaffen können.

Im Herbst 2012 wurde bei Mutrux (VD) eine gezäunte Versuchsfläche von 2,8 ha Grösse mit sechs Gastbaumarten und einheimischen Traubeneichen (*Quercus petraea*) mit insgesamt 6'000 Bäumchen bepflanzt. Dabei engagierte sich der Kanton Waadt, indem er die Versuchsfläche vorbereitete und einen Teil der Kosten für den Versuch übernahm. Die Versuchsfläche wurde mit dem Kanton als Waldeigentümer vertraglich bis 2041 gesichert.

Dieser Bericht beschreibt die Entwicklung der Versuchsfläche seit deren Einrichtung.

1.2 STAND DER KENNTNISSE ZU GASTBAUMARTEN

Die Geschichte der Gastbaumarten ist von vielen Misserfolgen gekennzeichnet (Brang et al 2016); es stellten sich aber auch Erfolge ein, indem einige Baumarten seit über 100 Jahren gut gedeihen, Waldleistungen erbringen und sich auch natürlich verzüngen. Das Paradebeispiel dafür in der Schweiz ist die Douglasie (Spellmann et al 2015a).

Die Vorkommen von Gastbaumarten in der Schweiz, Gründe für Misserfolge und die wissenschaftlichen Anbauversuche sind in Brang et al (2016) beschrieben. In dieser Review zum Thema finden sich auch Angaben zur Ökologie von Gastbaumarten in Mitteleuropa, Argumente pro und kontra Gastbaumarten und eine Einschätzung der Perspektiven von Gastbaumarten in einem sich ändernden Klima. Auch wird dort die Eignung von 19 Gastbaumarten nach ausgewählten Kriterien eingeschätzt, darunter sind die sechs im Versuch in Mutrux angebaute Baumarten (s. unten). Diese Baumarten wurden in einem aufwändigen Screening ausgewählt, das einen Klimafilter, einen Forstwirtschaftsfilter und einen Anbaufilter umfasste (Schmiedinger et al 2009). Der Klimafilter forderte, dass die Herkunftsregion der Baumart im Vergleich zu Bayern im Bereich von dessen heutigem Klima bis zum Szenario B1 im Jahr 2100 (für Bayern berechnet) liegt. Der Forstwirtschaftsfilter umfasste eine Nutzwertanalyse, welche forstökonomische (z.B. Holzertrag, Schutzwirkung), forstökologische (z.B. Pathogene) und forstsoziologische (z.B. Invasionspotenzial) Kriterien bewertete. Der Anbaufilter umfasste eine Literaturrecherche und sollte sicherstellen, dass für die zu testenden Baumarten noch keine aussagekräftigen Anbauenerfahrungen vorliegen (bei der Douglasie ist die bisherige Erfahrung z.B. genügend).

Ein Problem von Gastbaumarten kann die Mykorrhizierung sein. Die Wurzeln von Baumsämlingen werden in der Regel bereits kurz nach der Keimung von Mykorrhizapilzen besiedelt, was für den Anwuchsenerfolg und das weitere Wachstum sehr wichtig ist. Voraussetzung ist das Vorhandensein einer genügend grosse Palette von Mykorrhizapilzen am Standort, die für eine Besiedlung der Baumart in Frage kommt, oder, bei Pflanzung, die Mykorrhizierung in der Baumschule. Da Mykorrhizapilze ausgeprägt artspezifisch sind, ist nicht a priori gewährleistet, dass eine Gastbaumart passende Mykorrhizapartner findet. Klassisches Beispiel ist der Misserfolg beim Anbau von *Pinus caribaea* in Puerto Rico in den 60er Jahren (Mikola 1970). Bezüglich Mykorrhizierung ist betreffend die hier getesteten 6 Baumarten fast nichts bekannt. Diese Kenntnislücke soll im Projekt geschlossen werden.

1.3 FORSCHUNGSFRAGEN

Die Fragestellung lautet:

1. Was kann bezüglich der Eignung von sechs Gastbaumarten für den Anbau in einem zukünftig wärmeren und trockeneren Klima aufgrund des Verhaltens der Baumarten in den ersten drei Jahren ausgesagt werden? Die Eignung bezieht sich dabei auf Höhen- und Durchmesserwachstum, Mortalität, Mykorrhizadiversität, Pathogenbefall, weitere Schäden sowie die Reaktion auf allfällige Trockenperioden.
2. Wie gut sind die Wurzeln der ausgewählten Gastbaumarten am Zielstandort mit Mykorrhizen besiedelt? Sind es die gleichen Mykorrhizen wie beim Pflanzgut?
3. Wie wurden die sechs Gastbaumarten bisher in der Schweiz verwendet?

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 AUSWAHL DER TESTBAUMARTEN

Aufgrund der Vorarbeiten (Schmiedinger et al 2009) wählte die LWF 8 Nadelbaum- und 4 Laubbaumarten aus. Die Wahl fiel auf folgende Baumarten, von denen auch Saatgut erhältlich war: *Abies bornmuelleriana*, *Pinus ponderosa*, *P. peuce*, *Fagus orientalis* und

Tilia tomentosa. Bei all diesen Baumarten besteht in der Schweiz nur geringe Anbauerfahrung; *P. ponderosa* und *F. orientalis* wurden immerhin in der Versuchsaufforstung Copera (TI) auf 3 kleinen Parzellen getestet, mit recht guten Resultaten (Buffi 1987).

In der Baumschule erwies sich die Aufzucht von Pflanzen von *P. ponderosa* und *P. peuce* u.a. wegen Pilzkrankheiten als schwierig. Die Anzahl vorhandener Pflanzen reichte bei beiden Baumarten schliesslich nicht aus; als Ersatz wurde *Tsuga heterophylla* gewählt. Statt des Verzichts auf eine Baumart wich man auf der Schweizer und den zwei bayerischen Versuchsfeldern auf *Thuja plicata* aus. Zusätzlich wurde ins Programm auch *Cedrus libani* aus einem Vorkommen in der Türkei aufgenommen. Diese Baumart ist in Mitteleuropa bislang forstlich nicht erprobt, zeigte aber in einer Vorstudie am Ökologisch-Botanischen Garten in Bayreuth/Deutschland hohes Wachstumspotenzial und könnte im Zuge des Klimawandels forstlich interessant werden (Abbildung 1). Als einheimische Vergleichsbaumart wurde auf der Schweizer Versuchsfeldfläche die Traubeneiche (*Quercus petraea*) gewählt, die im Schweizer Mittelland ein 2 °C wärmeres Klima gut ertragen dürfte. Die Samenherkunft zeigt Tabelle 1. Die Baumarten werden in diesem Bericht in der Folge nur mit ihrem Gattungsnamen bezeichnet (z.B. *Fagus* für *Fagus orientalis*).



Fagus orientalis
(Türkei)



Cedrus libani
(Türkei)



Thuja plicata
(Oregon, USA)



Abies bornmuelleriana
(Türkei)



Tilia tomentosa
(Bulgarien)



Tsuga heterophylla
(Washington, USA)



Quercus petraea
(einheimisch)

Abbildung 1. Fotos der verwendeten Baumarten.

2.2 EXPERIMENTELLES DESIGN UND VERSUCHSFLÄCHEN

Das Versuchsdesign sah 5 Versuchsfeldflächen mit je 7 Behandlungen (Baumarten) und 3 Wiederholungen (Blöcke), also insgesamt 21 Teilparzellen pro Versuchsfeldfläche, vor (Abbildung 4). Jede Baumart wurde auf 3 Teilparzellen von je 35 m x 35 m in einem quadratischen Pflanzverband von 2,0 m x 2,0 m gepflanzt (2'500 Bäume/ha). Die Baumarten wurden den Teilparzellen in den 3 Blöcken zufällig zugewiesen.

Die Versuchsflächen (Tabelle 2) wurden mit einer klimatischen Suchmaske gesucht (Datenbasis: Worldclim)¹. Ausgangspunkt waren trocken-warme Regionen Bayerns, die in Bayern relativ häufig vorkommen sollten. Gesucht wurden anfänglich eine «trockenheisse und eine feucht-kalte Ausprägung des Klimatyps (KT) 133» (Schmiedinger et al 2009) mit 20% der bayerischen Waldfläche.

Tabelle 1. Verwendete Provenienzen.

Baumart	Herkunftsland	Provenienz		Koordinaten	
		Gebiet	Bezeichnung des Originalbestands	N	E
<i>Tilia tomentosa</i> Moench	Bulgarien	Ludogorie	1795102120111	43°43'04''	26°05'32''
<i>Fagus orientalis</i> Lipsky	Türkei	Devrek-Sarigöl	357	41°16'25''	32°12'30''
<i>Cedrus libani</i> A. Rich	Türkei	Mersin-Arslanköy	233	37°00'20''	34°14'00''
<i>Abies bornmuelleriana</i> Mattf.	Türkei	Bolu-Bolu	225	40°39'05''	31°36'56''
<i>Tsuga heterophylla</i> Sarg.	USA	Washington - Clallam Bay - Tatoosh Island	Seed zone 011-05	48°23'24''	-124°53'90''
<i>Thuja plicata</i> Donn.	USA	Oregon City - Salem	Seed zone 261-05	45°00'52''	-123°16'03''
<i>Quercus petraea</i> Liebl.	Schweiz	Boudry NE, Le Chanet	PSE 1236	46°96'03''	6°81'84''

Die zwei Klima-Ausprägungen sind charakterisiert durch die Niederschlagssumme in der Vegetationszeit (Mai-September) von 224-307 bzw. 299-382 mm und durch eine Jahresdurchschnittstemperatur von 9,3-12,3 bzw. 7,8-10,8 °C². Die in der Schweiz schliesslich gefundene Fläche bei Mutrux (VD), gelegen oberhalb des Neuenburgersees (Abbildung 2), gehört zur feucht-kalten Ausprägung, ist aber mit Werten von 650 m ü.M., 480 mm und 7,9 °C (Worldclim-Daten), feuchter als der Vorgabewert³. Zunächst war eine Fläche im Wallis gesucht worden; die dort angebotene südexponierte Fläche bei Leytron in Steillage wurde schliesslich wegen mangelnder Grösse und weil sie klimatisch zu extrem schien verworfen. Aus zwei im Kanton Waadt angebotenen Flächen wurde schliesslich diejenige in Mutrux ausgewählt, weil sie in einer zusammenhängenden Fläche vorlag (alle 3 Wiederholungen aneinandergrenzend), und weil hier die Information der lokalen Bevölkerung leichter schien.

Der Standort der Fläche in Mutrux ist gemäss der Waadtländer Standortseinteilung der Typ 11 (Hêtraie à Aspérule, *Galio-odorati Fagetum typicum*, wobei die Untertypen 114, 115 und 118 vorkommen. Dies entspricht nach Ellenberg und Klötzli (1972) bzw. Frehner et al (2005) den Waldgesellschaften 6, 7a und 7S (schriftl. Mitteilung, Micheline Meylan).

¹ LWF, ASP. 2011. Anweisung für die Anlage der Versuchsanbauten mit wärme- und trockenheitstoleranten Baumarten vor dem Hintergrund des Klimawandels. Phase 2. Etablierung und erste begleitende Untersuchungen. 1. Auflage, Januar 2011.

² Auswertung A. Schmiedinger, 2011

³ 1981 bis 2010 sind die Werte für Juni-August 275 mm, für die Vegetationsperiode 524 mm, die Jahrestemperatur 9,0 °C, die Januartemperatur -1,9 °C.

Die Versuchsfläche liegt auf einer Moräne und ist mit 10% nach Südosten geneigt (Abbildung 2). Die karbonatfreie, skelettreiche Braunerde (Abbildung 3) ist bis 65 cm durchwurzelt (s. Bodenprofil-Aufnahmeblatt im Anhang 6.4)

Die Blöcke sollen den Einfluss von Standortsunterschieden innerhalb der Fläche vermindern; in Ermangelung deutlicher solcher Unterschiede auf der Fläche in Mutrux wurde der erste Block unten entlang der Waldstrasse eingerichtet (mit einem gewissen Einfluss des südlichen und östlichen Bestandesrandes), der zweite im mittleren, nördlichen Teil (mit nur minimalem Einfluss der angrenzenden Bestände) und der dritte im oberen (im Süden mit einem gewissen Einfluss des südlichen Bestandesrandes (Abbildung 4).

Tabelle 2. Charakterisierung der fünf Versuchsflächen.

Land/Bundesland	Ort	Höhe ü.M. [m]	Mittl. Jahrestem- peratur [°C]	Mittl. Jahres- niederschlag [mm]	Bodentyp
Schweiz ¹⁾	Mutrux	650	9,0	978	Braunerde über Moräne (karbonatfrei)
Österreich ²⁾	Bruck- neudorf	330	11,6	568	mittelgründige Felsbraunerde bis Braunlehm (z.T. Pseudogley)
Bayern ³⁾	Gross- ostheim	127	9,6-9,8	650-700	Schwach podsolierte basenarme Braunerde
Bayern ³⁾	Schmellen- hof	495	7,4-7,6	800-850	Pseudogley, Schichtlehm über Ton
Thüringen ¹⁾	Oldisleben/ Heldrungen	195	9,3	490	Rosslaer Lehmsandstein- Braunerde

¹⁾ mittlere Jahrestemperatur und mittlere Jahresniederschläge für 1981-2010

²⁾ mittlere Jahrestemperatur für 1994-2014 und mittlere Jahresniederschläge für 2000-2014

³⁾ mittlere Jahrestemperatur und mittlere Jahresniederschläge für 1971-2000

Jede der 21 Parzellen gliedert sich in einen Kernbereich und einen Umfassungstreifen. Der Kernbereich umfasst $13 \times 13 = 169$ Pflanzen, die auf einer Fläche von $26 \times 26 \text{ m} = 676 \text{ m}^2$ stehen. Er ist von zwei Reihen von 120 weiteren Pflanzen umfasst; somit wurden in einer Teilparzelle insgesamt $17 \times 17 = 289$ Pflanzen auf einer Gesamtfläche von $1'156 \text{ m}^2$ eingebracht. Die gesamte Versuchsfläche ist (mit Rückegassen) ca. 2,8 ha gross.

Der Vorbestand, ein Baumholz aus Lärchen mit Buchenbeimischung (Abbildung 5), wurde im Winter 2011/2012 kahlgeschlagen. Die Pflanzung aller sieben Baumarten erfolgte im Herbst 2012. Davor waren der Zaun erstellt und die Parzellen vermessen worden. Insgesamt wurden rund 6'000 Bäumchen gepflanzt und weitere, nicht benötigte Reservepflanzen vor Ort eingeschlagen. Ein Problem war dabei die unterschiedliche Grösse der Pflanzen je nach Baumart; der gewählte Pflanzzeitpunkt wurde durch die grössten Pflanzen diktiert, die so gross waren, dass sie ausgepflanzt werden mussten. Hingegen waren die Tannen und Zedern bei der Pflanzung noch klein.

Die *Thuja*- und die *Abies*-Pflanzen wurden als Topfpflanzen, alle anderen Baumarten als Nacktwurzler geliefert. Vor der Lochpflanzung wurden verletzte Wurzeln entfernt und die Wurzellänge entsprechend reduziert. Korrekturschnitte am Spross wurden nicht durchgeführt sowie grössere Pflanzen nicht an Pfähle angebunden.

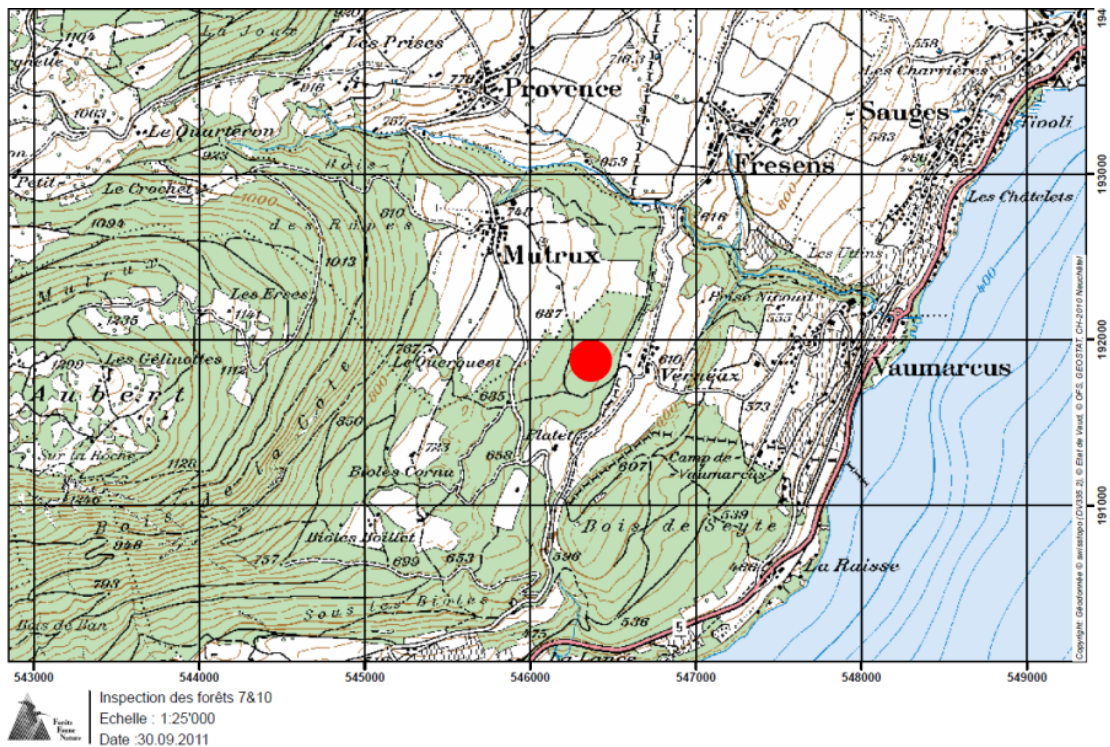


Abbildung 2. Lage der Versuchsfläche bei Mutrux VD.



Abbildung 3. Fotos des Bodenprofils in der Versuchsfläche Mutrux (VD). (Nov. 2011)



Abbildung 4. Versuchsdesign der Fläche bei Mutrux (VD) mit Blöcken (1. Ziffer), Teilparzellen und den darauf gepflanzten Baumarten. Farben: Blöcke (Wiederholungen).



Abbildung 5. Luftbild des Vorbestandes (Google Earth), mit der ungefähren Lage der Versuchsfläche.



Abbildung 6. Fotos der Versuchsfäche: Teilparzellen mit *Fagus orientalis* (oben) und *Tsuga heterophylla* (unten) im November 2016. Fotos: H. Schmid

2.3 INVENTUREN

Von 2012 bis 2015 wurden mehrere Inventuren durchgeführt, wobei ein Grundset an Merkmalen und die Pflanzen, an denen diese erhoben werden sollten, mit den Projektpartnern abgesprochen war; es waren dies Vitalität (=AHC-Code, Tabelle 3) an allen Pflanzen und die Baumhöhe in der Kernfläche (Frühjahr 2014: alle Pflanzen). Der Stammdurchmesser wurde im Frühjahr 2014 erfasst. Es war den Partnern freigestellt, darüber hinaus weitere Merkmale und/oder die vereinbarten Merkmale an einer grösseren Stichprobe zu erfassen. Die Merkmalsliste zeigt Tabelle 3.

14./15.2.2012	Abstecken der kahl zu schlagenden Fläche
13.3.2012	Holzerei abgeschlossen, danach Schlagräumung
26./27.6.2012	Teilparzellen abgesteckt und verpflockt

1.-3.10.2012	Pflanzung von <i>Thuja</i> , <i>Cedrus</i> , <i>Abies</i> , <i>Tsuga</i>
29.10.-30.11.2012	Lieferung und Pflanzung von <i>Quercus</i> , <i>Fagus</i> , <i>Tilia</i>
4.2013	Inventur der Mortalität
12.3.-20.6.2014	Phänologieaufnahme
9.-11.4.2014	Nachpflanzung von <i>Abies</i> , <i>Cedrus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Thuja</i> , <i>Fagus</i>
15.4.-x.x 2014	Inventur von Mortalität und Wachstum [Ende noch ergänzen]
2.12.14.-8.1.15	Inventur von Mortalität und Wachstum
12.3.-21.5.2015	Phänologieaufnahme
24.9.2015	Nachpflanzung <i>Cedrus</i> , vorher Mähen der Teilparzellen
22.-24.11.2016	Inventur von Mortalität und Wachstum, Installation einer Klimastation

Tabelle 3. Merkmale der Inventuren zu Wachstum und Mortalität von 2012 bis 2015. Die Anzahl Pflanzen in der Spalte «Stichprobe» bezieht sich auf eine Parzelle mit 289 Pflanzen.

Merkmal	Einheit/Codierung	Bedeutung	Stichprobe
AHC-Code	1 lebend	Lebender stehender oder liegender Baum	Vollaufnahme
	3 tot neu	Seit der letzten Inventur abgestorbener Baum	
	4 nicht gefunden	Seit der letzten Aufnahme verschwunden	
	9 tot alt	Baum, der bereits bei der letzten Aufnahme tot war	
Baumhöhe	cm	Vertikale Höhe bis zum Ansatz der höchsten lebenden Knospe, abgerundet auf ganze cm. Bei fehlender oder toter Terminalknospe wird bis zur höchsten lebenden Knospe gemessen	4 x 13 ^a
Jahrestrieblänge	mm	Länge des letztjährigen Terminaltriebes ohne Knospe, entlang des Triebes gemessen, abgerundet auf ganze mm. Bei Zwieseln wird die Trieblänge am vertikal höheren Trieb gemessen. Messung nur, wenn der Terminaltrieb intakt und klar identifizierbar ist. Wird bei <i>Thuja</i> nicht gemessen.	4 x 13 ^a
Stammdurchmesser	mm	Stammdurchmesser, bergseitig 10 cm über dem Boden mit einer Schublehre gemessen, abgerundet auf ganze mm. Keine Messung, wenn die Pflanze weniger hoch ist als 10 cm, oder wenn die Pflanze im Bereich der Messstelle viele Zweige/Nadeln hat	4 x 13 ^a

Merkmal	Einheit/Codierung	Bedeutung	Stichprobe
Schäden	G51 dürr	<50% der Krone dürr. Die Krone reicht vom untersten lebenden Ast bis zur Spitze des Baumes.	4 x 13 ^a
	G52	≥50% der Krone dürr. Die Krone reicht vom untersten lebenden Ast bis zur Spitze des Baumes.	
	G21	Neuer Gipfelbruch <50% der Krone	
	G22	Neuer Gipfelbruch ≥50% der Krone	
	G6	Alter Gipfelbruch	
	K1	Schütterer Krone (Nadelverlust), v.a. bei Nadelbäumen ansprechbar	
	P9 ^b	Insektenfrass. Es wird nicht nach Verursacher unterschieden	
	G4 ^b	Nagetier- oder Mäusefrass im Gipfelbereich	
	S7 ^b	Nagetier- oder Mäusefrass an der Rinde im Stammfußbereich	
	V2 ^b	Verbiss	
	S8 ^b	Fegeschaden	
	P3 ^b	Pilze am Stamm	
	F1 ^b	Neuer Wurzelhalsaustrieb (=Stockausschlag)	
	F2	Schiefstand	
Wuchsform	0=mit durchgehender Stammachse, 2=verzweigt (schwächerer Trieb mit ≥75% des Durchmessers und ≥75% der Länge des stärkeren Triebes), 3=verbuscht (mind. 3 ähnlich starke Leittriebe)	Verzweigung im letzten Jahrestrieb ist kein Zwiesel/keine Verbuschung	4 x 13 ^a
Bemerkung	Freier Text	Erwähnung von Besonderheiten, auch was die Pflanzposition betrifft	4 x 13 ^a
	Abgeschnitten ^b	Schnittfläche (durch Freischneider)	Vollaufnahme
	Entwurzelt	Pflanze liegt, Wurzeln liegen frei	Vollaufnahme

^a bei Mortalität >50% Vollaufnahme in der Kernfläche (13 x 13 Pflanzen). Dies wird vor der Inventur für die Baumart gesamthaft auf allen 3 Parzellen abgeschätzt und dann auf alle Parzellen einheitlich angewendet.

^b Es werden nur rezente (seit der letzten Aufnahme entstandene Schäden) angesprochen.

Verzichtet wurde auf die Ansprache folgender Schäden:

- Blattverfärbung (wäre Code K2, ist nur im Sommer einschätzbar)
- Blattverlust (wäre Code K1, ist nur im Sommer einschätzbar; K1 wird aber vergeben)
- Mehltau (da nur im Sommer einschätzbar)
- Nadel/Blattpilz ohne Mehltau (da nur im Sommer einschätzbar)
- Spätfrost (da dies eine Extra-Inventur im Frühsommer erfordert hätte)
- Welk durch Wasserstress (da nur während Trockenperiode einschätzbar)

2.4 PHÄNOLOGISCHE ERHEBUNGEN

Im Frühjahr 2013 wurde an Sämlingen der 7 Baumarten eine explorative Studie durchgeführt, um eine Methode zu deren phänologischer Ansprache zu entwickeln. Die Methode ist in einem Bericht dokumentiert (Kolly & Späni 2013) und wird daher hier nicht dargestellt. Der Bericht wurde den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Phänologische Inventuren wurden in Mutrux 2014 und 2015 an 10 Bäumen pro Parzelle ab Mitte März bis Juni wöchentlich (gegen Ende der Beobachtungsperiode: 14-tägig) durchgeführt.

2.5 BEPROBUNG DER MYKORRHIZA

Erste Beprobung vor der Pflanzung

Die angelieferten Pflanzen wurden im September 2012 (1. Lieferung) bzw. November (2. Lieferung) vor der Auspflanzung beprobt. Von je 6 zufällig ausgewählten Pflanzen pro Baumart wurden je 2 Feinwurzelteile abgetrennt und bis zur Auswertung kühl gelagert.

Folgebeprobung 2,5 Jahre nach Pflanzung

Im April 2015, d.h. 2,5 Jahre nach der Pflanzung wurden pro Teilparzelle 2 Bäumchen ausgewählt (jeweils Baumnummern 97, 199, bzw. bei Fehlen die benachbarten Nummern) und pro Baum zwei Bodenproben im Wurzelbereich mit einem Stechzylinder ausgestochen und gepoolt (Durchmesser 4,5 cm, Tiefe 15 cm), was 3 gepoolte Einzelbaumproben pro Baumart ergab. Die Proben wurden bis zur weiteren Bearbeitung kühl gelagert.

Behandlung der Proben

Die Wurzelproben wurden sorgfältig ausgewaschen und danach wurde unter dem Stereomikroskop der Anteil der Totwurzeln bestimmt und pro Baumart gemittelt. Pro Pflanze wurden die Morphotypen und ihre prozentualen Anteile bestimmt und pro Morphotyp wurden je mindestens drei Wurzelspitzen für weitere genetische Identifizierungsanalysen (Sequenzierung) beprobt. Die Extraktion der DNA erfolgte mit dem «Macherey-Nagel NucleoSpin 96 Plant II» Kit gemäss dem Protokoll des Herstellers. Die PCR-Proben wurden sequenziert (ABI) und die resultierende Sequenz mit der NCBI und Unite Datenbank geblastet. Blast ist ein Tool, das experimentell ermittelte DNA- oder Proteinsequenzen mit Datenbanksequenzen vergleicht und kann somit nicht nur Übereinstimmung finden, sondern auch angeben, ob die Basenfolge dem Zufall unterliegt oder nicht (d.h. die Ergebnisse unterliegen auch einer Signifikanzprüfung). Bei mehr als 95% Übereinstimmung wurde auf Gattungsebene, bei mehr als 97% auf Artebene identifiziert.

2.6 PFLEGEINGRIFFE

Im Juni 2013 (Teil: September) und Juni 2014 (18.-24.6.) wurde die Versuchsfläche durch Auskesseln der Pflanzen aller Baumarten gepflegt; dabei wurde die Begleitvegetation (z.B. *Rubus spec.*, *Salix spec.*, Naturverjüngung von *Larix decidua*) reduziert. Ein weiterer Pflegeeingriff wurde im Juli (1.7.) 2015 durchgeführt, in Teilparzellen mit *Cedrus* erst am 3.9.2015, da man erst gerade vor der Nachpflanzung pflegen wollte. Nach Absprache mit den Projektpartnern wurden die Pflanzen 2015 flächig gepflegt, mit Ausnahme von Teilparzellen mit *Quercus* und *Fagus*, bei denen punktuell eingegriffen wurde, weil ein flächiges Mähen die Entwicklung dieser Baumarten eher zu behindern schien. Im Juni 2016 (15.6.) wurde in Teilparzellen mit *Cedrus* und *Abies* gepflegt, im Juli (7.7.) in Teilparzellen mit *Quercus*.

Bei den bisherigen Pflegeeingriffen wurden insgesamt 13-42 Pflanzen pro Baumart aus Versehen abgeschnitten. Schnittschäden waren am häufigsten bei *Tilia*, *Thuja*, *Fagus* und *Quercus*, wo sie bis zu 5% aller Pflanzen einer Baumart betrafen. Die anderen Baumarten waren davon weniger betroffen.

Nicht alle Baumarten überstanden die Schnittschäden gut. Über 90% der abgeschnittenen *Tsuga* starben nachfolgend ab. Bei *Fagus* starben nur 10% der abgeschnittenen Pflanzen, da sich diese Baumart nach dem Stammschnitt gut aus dem Wurzelstock regenerieren kann. Bei den übrigen Baumarten variierte die Zahl der abgestorbenen Pflanzen infolge der Pflege zwischen 25% (*Tilia*) und 50% (*Cedrus*).

Alle als Folge der Pflegeeingriffe abgestorbenen Pflanzen wurden von der Berechnung der Mortalität und aller anderen untersuchten Baumparameter (Höhen- und Dickenzuwachs) ausgeschlossen.

Für die drei Pflegeeingriffe bis 2016 wurden insg. 260 Arbeitsstunden und 105 l Treibstoff investiert, mit Gesamtkosten von 14'637 CHF.

2.7 BESCHREIBUNG ÄLTERER BESTÄNDE DER GASTBAUMARTEN IN DER SCHWEIZ

In den Jahren 2012 und 2013 wurden bestehende Pflanzungen der hier untersuchten Gastbaumarten in der Schweiz besucht und beschrieben (Tschopp 2012, Adami 2013) sowie die Geschichte dieser Baumarten aufgrund der Literatur aufgearbeitet. Diese Arbeiten waren ursprünglich nicht geplant, schienen aber zweckmässig, um die über die betrachteten Baumarten in der Schweiz vorhandenen Informationen zusammenzutragen.

Bei *Cedrus*, *Tsuga* und *Fagus* wurden ältere Pflanzungen gefunden (Tschopp 2012), bei *Abies* und *Tilia* keine. Ebenfalls erfasst wurden bestehende Pflanzungen von Atlaszedern (*Cedrus atlantica*, Adami 2013). Die meisten Hinweise auf die Pflanzungen stammten aus den Originaldaten des Inventars exotischer Baumarten von Bürgi & Diez (1986). Die Beschreibung umfasste das Erstellen einer Skizze der Pflanzung mit den einzelnen Bäumen und die Messung ihrer BHDs. *Thuja*-Pflanzungen gibt es einige, diese wurden nicht besucht, da darüber bereits Literatur besteht (Diez & Bürgi 1991).

2.8 PROJEKTABLAUF

Insgesamt konnten die Arbeiten der 1. Projektphase wie geplant durchgeführt werden. Verzögerungen gab es bei der Anzucht der Pflanzen, auch mussten Baumarten gewechselt werden, weil die Samen nicht bei allen Baumarten gut keimten.

Als schwieriger als erwartet erwies sich die Zusammenarbeit mit den Partnern. Nicht alle konnten die vereinbarten Messungen durchführen, u.a. weil Budgets gekürzt wurden. Eine gemeinsame Auswertung aller Daten wurde konzeptuell vorbereitet, steht aber noch aus, u.a. weil sich der Aufbau einer gemeinsamen Datenbank an der LWF verzögert.

Nicht vorgesehen war die Mitarbeit an einer Initiative deutscher Forschungsanstalten, verschiedene Gastbaumarten synthetisch zu bewerten, was zu Publikationen zu Grosser Küstentanne und Douglasie führte (Spellmann et al 2015a und 2015b). Auch die Beschreibung älterer Bestände der Gastbaumarten in der Schweiz war nicht geplant.



Abbildung 7. Etwa 40jährige Atlaszedern in einem Bestand bei Romainmôtier (VD). Quelle: Adami (2013).

3 ERGEBNISSE

3.1 ANWUCHSERFOLG UND MORTALITÄT

Anwuchserfolg

Der Anwuchserfolg, definiert als der Anteil der überlebenden Pflanzen nach der 1. Vegetationsperiode, war bei *Fagus*, *Thuja* und *Tilia* mit unter 1% Mortalität am höchsten und bei *Cedrus* und *Abies* mit Anteilen der toten Pflanzen von 73% und 26% am niedrigsten (Tabelle 4). Bei *Tsuga* und bei der einheimischen Referenzbaumart *Quercus* war die Mortalität mit 7% ähnlich.

Die Ursachen für den ausserordentlich hohen Ausfall bei *Cedrus* und *Abies* sind unklar. Nach R. Schirmer (Forstbaumschule ASP, Teisendorf D), kommen hohe Ausfälle bei *Cedrus* oft vor. Ein Austrocknen der Feinwurzeln der als Nacktwurzler gelieferten Pflanzen während des Transports von der Baumschule bis zur Versuchsfläche ist als Ursache für die hohe Mortalität bei *Cedrus* nicht auszuschliessen. Bei *Abies* fällt diese Erklärung weg, denn die Pflanzen wurden als Topfpflanzen geliefert. Die Witterung während der Pflanzung im Herbst 2012 (1.-3. Oktober, alle Nadelbäume; 29. Oktober, *Quercus*; 16.11. und 29.11. *Tilia* und *Fagus*) war günstig, da vorher ein Starkregen stattfand.

Im Frühling 2014 (9.-11. April) wurde eine 1. Ergänzungspflanzung durchgeführt, um die abgestorbenen und die wenig vitalen Pflanzen aller Gastbaumarten zu ersetzen. Der Partner ASP in Teisendorf kümmerte sich um die Pflanzenbestellung. Insgesamt wurden

1311 Pflanzen ersetzt. Der Anwuchserfolg dieser Pflanzengruppe wurde im Winter 2015 erfasst (Tabelle 4). Die *Cedrus*-Pflanzen zeigten weiterhin, mit über 50%, die höchste Mortalität, gefolgt von *Tsuga* (28%). Diesmal war der Anwuchserfolg bei *Abies*, *Fagus* und *Thuja* ähnlich, mit Werten um 13%. *Tilia* zeichnete sich auch in dieser Pflanzung mit dem besten Anwuchserfolg von 100% aus.

Die Unterschiede im Anwuchserfolg zwischen den beiden Pflanzungen (Herbst 2012 und Frühling 2014) deuten auf bessere Startbedingungen im Herbst für *Fagus*, *Thuja* und *Tsuga* hin, dagegen waren die Frühlingsbedingungen für *Abies* und *Cedrus* etwas günstiger. *Tilia* war bei beiden Pflanzungen die Gastbaumart mit dem besten Anwuchserfolg.

Die Beobachtungen aus unserer Fläche sollen noch mit denen der Projektpartner abgeglichen werden, um robuste Aussagen zum Anwuchserfolg der Gastbaumarten mitteilen zu können.

Tabelle 4. Anzahl der gepflanzten Bäume der Pflanzungen 2014 und 2015 nach Baumart und Mortalität bis Winter 2015. Die Mortalität ist berechnet als Anteil [%] an allen gepflanzten Bäumen der jeweiligen Pflanzung.

Baumart	Erste Pflanzung Herbst 2012		Zweite Pflanzung Frühling 2014	
	Anzahl gepflanzte Bäume [N]	Mortalität ¹⁾ [%]	Anzahl gepflanzte Bäume [N] ³⁾	Mortalität ²⁾ [%]
<i>Abies bornmuelleriana</i>	867	225 (26%)	483	63 (13%)
<i>Cedrus libani</i>	867	632 (73%)	711	361 (51%)
<i>Fagus orientalis</i>	867	5 (0,6%)	8	1 (12,5%)
<i>Thuja plicata</i>	867	6 (0,7%)	16	2 (12,5%)
<i>Tilia tomentosa</i>	867	4 (0,5%)	14	0 (0%)
<i>Tsuga heterophylla</i>	867	58 (7%)	79	22 (28%)
<i>Quercus petraea</i>	867	60 (7%)	0	n.a.

¹⁾ Erfasst im Juni 2013, vor einem Pflegeeingriff

²⁾ Erfasst zwischen Dezember 2014 und Januar 2015, ohne während des Pflegeeingriffs im Juni 2014 abgeschnittene Pflanzen

³⁾ Die Anzahl der gepflanzten Bäume im Frühling 2014 übersteigt die Anzahl der abgestorbenen im Juni 2013 wegen der zwischenzeitlich fortschreitenden natürlichen Mortalität, oder weil Pflanzen während der Pflege abgeschnitten worden waren (siehe Punkt 2.6) sowie weil der Förster entschied, wenig vitale Pflanzen (z.B. schütter oder gipfeldürr) zu ersetzen.

Eine dritte Pflanzung wurde nur bei *Cedrus* im Oktober 2015 durchgeführt, mit insgesamt 411 Containerpflanzen, geliefert diesmal vom Botanischen Garten der Universität Bayreuth, Deutschland. Es wurden 10 Zedern aus der ersten Pflanzung und 401 aus der zweiten Pflanzung ersetzt. Im Herbst 2016 lag die Mortalität der 2015 eingebrachten Pflanzen bei nur 2%.

Mortalität

Die Überlebenskurven der Pflanzen aus der ersten Pflanzung (Herbst 2012) sanken am stärksten bei *Cedrus* (Überlebensrate im April 2014: 18%), gefolgt von *Abies* mit 33% und *Quercus* mit 81% (Abbildung 8). Die überlebenden Pflanzen dieser Baumarten stabilisierten sich danach. Im Vergleich zur einheimischen *Quercus* überlebten mehr Pflanzen aus der ersten Herbstpflanzung bei *Tsuga*, *Thuja*, *Tilia* und *Fagus*, mit stabilen Anteilen über die gesamte Untersuchungszeit von 88-98%.

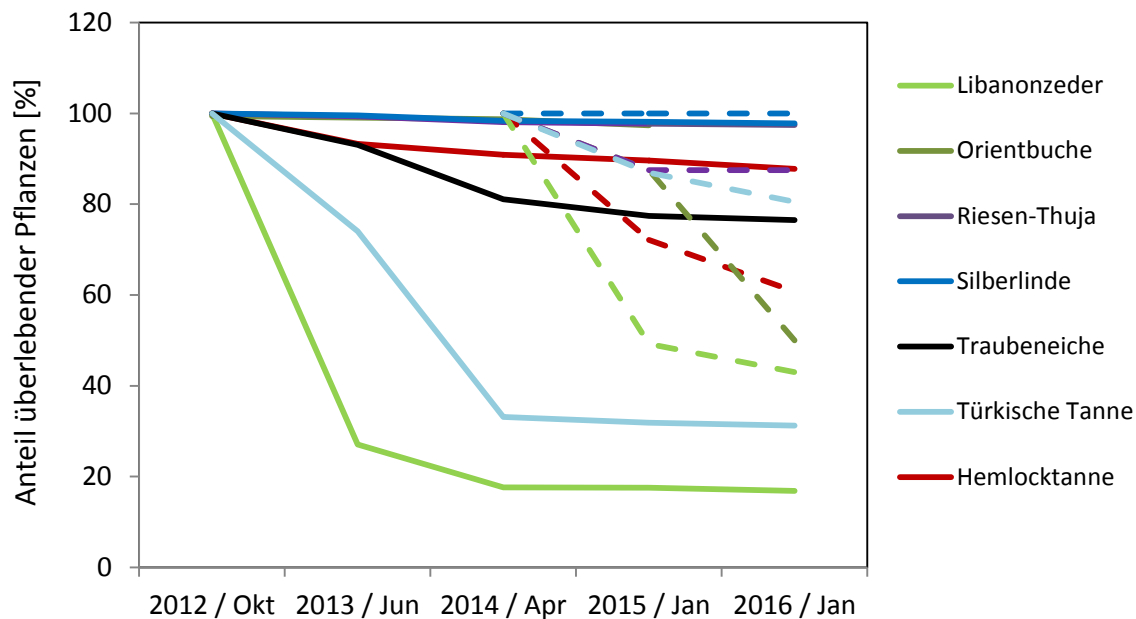


Abbildung 8. Anteil überlebender Pflanzen der ersten Pflanzung im Herbst 2012 (durchgezogene Linien) und der zweiten Pflanzung im Frühling 2014 (gestrichene Linien). Die Ausgangszahl der Pflanzen im Jahr 2012 war 867 pro Baumart, 2014 lag sie zwischen 8 und 711 Pflanzen (Tabelle 4). Bei *Quercus* wurde 2014 keine Nachpflanzung durchgeführt.

Nach der zweiten Pflanzung im Frühling 2014 war die Mortalität im Folgejahr bei *Cedrus* und *Abies* um die Hälfte verringert (entsprechend 43% und 87%). Der Anteil der überlebenden Pflanzen blieb auf vergleichbarem Niveau bis Ende 2015. Der relativ niedrige Anteil überlebender *Fagus* aus der zweiten Frühlingspflanzung in 2014 (50%) ist mit Vorsicht betrachten, da von den acht neu gepflanzten Bäumen zwei bei der Pflege in 2014 abgeschnitten wurden und im Folgejahr abstarben. Eine andere Pflanze wurde durch Mäuse beschädigt und trocknete nachträglich aus.

Abgestorbene *Quercus*-Pflanzen wurden nicht ersetzt, der Anteil der überlebenden Pflanzen blieb in den letzten zwei Jahren stabil und betrug Ende 2015 76%.

3.2 HÖHEN- UND DURCHMESSERWACHSTUM

Höhenwachstum

Die Höhenmessung basiert auf Pflanzen, die schon 2012 gepflanzt worden waren und bis Ende 2015 überlebten. Deren Anzahl lag zwischen 656 und 841, mit Ausnahme von *Cedrus* (n=145) und *Abies* (n=268; Abbildung 9). Pflanzen mit Gipfeldürre (n=12, meistens *Quercus*) und bei den Pflegeeingriffen abgeschnittene Bäume (n=100) wurden ausgeschlossen.

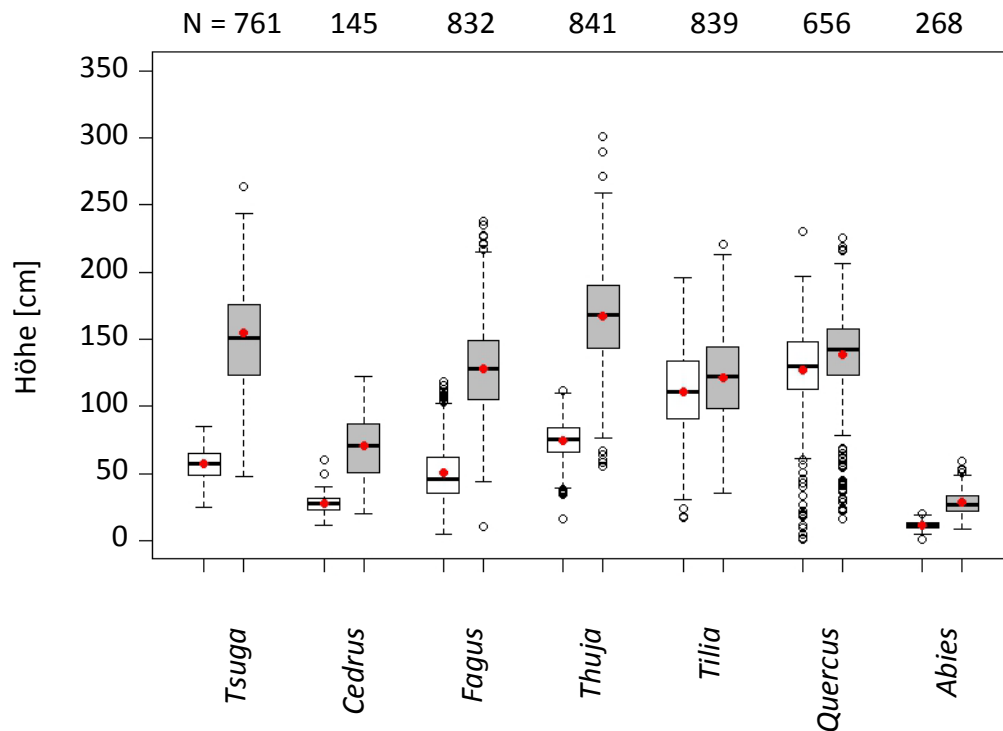
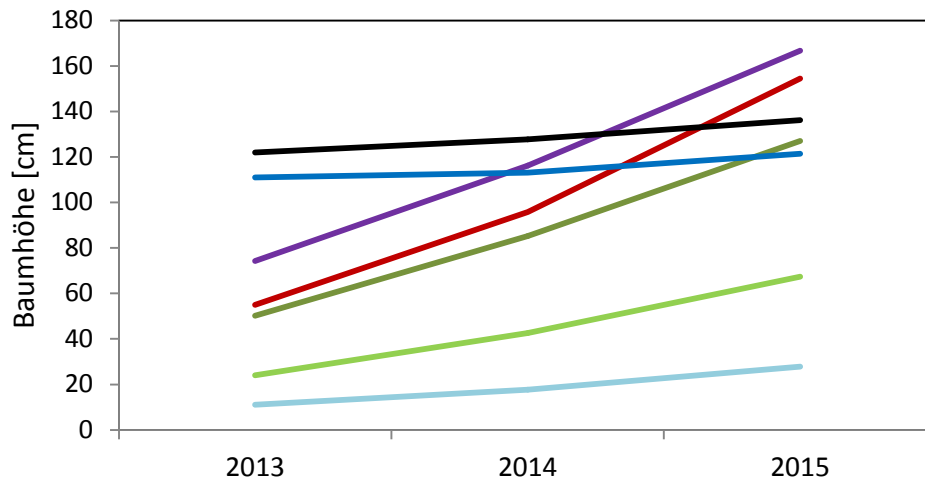


Abbildung 9. Boxplots der Baumhöhe pro Baumart und Jahr (2013 in Weiss, 2015 in Grau) der 2012 gepflanzten und bis Winter 2015 überlebenden Bäume. Während der Pflegeeingriffe abgeschnittene Bäume wurden ausgeschlossen, auch wenn sie überlebt hatten. Die Zahlen über den Boxplots sind die Anzahl Bäume, die roten Punkt die Mittelwerte.

Die Anfangs- und Endhöhen in der Periode 2013-2015 unterschieden sich stark zwischen den untersuchten Baumarten, und damit auch der Verlauf der Mittelwerte (Abbildung 10a). Aufgrund ihres Wachstumsmusters können die Baumarten zu drei Gruppen zusammengefasst werden. Die erste Gruppe umfasst die höchsten Baumarten *Fagus*, *Tsuga* und *Thuja*, die Ende 2015 mittlere Baumhöhen von 1,27-1,67 m erreichten und damit die Konkurrenzvegetation (mit Ausnahme der Lärchen-Naturverjüngung) überwachsen hatten (Abbildung 13). Die Maximalhöhe aller Pflanzen von 3,01 m wies Ende 2014 denn auch eine *Thuja*-Pflanze auf. Dazu wuchsen diese drei Baumarten am raschesten in die Höhe, mit mittleren Jahreszuwächsen von 0,40-0,60 m (Abbildung 11). Diese Baumarten wiesen zudem vorwiegend positive jährliche Höhenzuwächse auf (Abbildung 12).

Eine zweite Gruppe bilden *Quercus* und *Tilia*, die 2015 im Mittel 1,0-1,2 m gross waren (Abbildung 9), aber im Kontrast zur ersten Gruppe pro Jahr im Mittel nur ca. 0,05 m in die Höhe wuchsen (Abbildung 11). Bei *Quercus* war die Anzahl an Pflanzen mit Gesamthöhe unter 0,5 m in beiden Jahren 2013 und 2015 auffällig hoch (Abbildung 9). Zusätzlich kamen bei *Quercus* in beiden Jahren «negative» Zuwächse öfters vor (Abbildung 12). Bei *Tilia* waren im Gegensatz dazu die meisten Pflanzen zwischen 0,9 und 1,0 m hoch (Abbildung 9), hatten aber ähnlich wie *Quercus*-Pflanzen insbesondere 2013 zahlreiche «negative» Zuwächse (Abbildung 12). Die «negativen» Zuwächse mehrerer *Quercus*- und *Tilia*-Pflanzen sind Resultat der stark reduzierten Haupttrieb- und Kronenlänge infolge Gipfeldürre und/oder Schiefstand zwischen den Messperioden (s. Schadenansprache, Tabelle 6) und sind als Pflanzschock zu bewerten. Bei diesen Pflanzen übernahm im Folgejahr in der Regel ein neuer Seitentrieb das Stammwachstum.

a



b

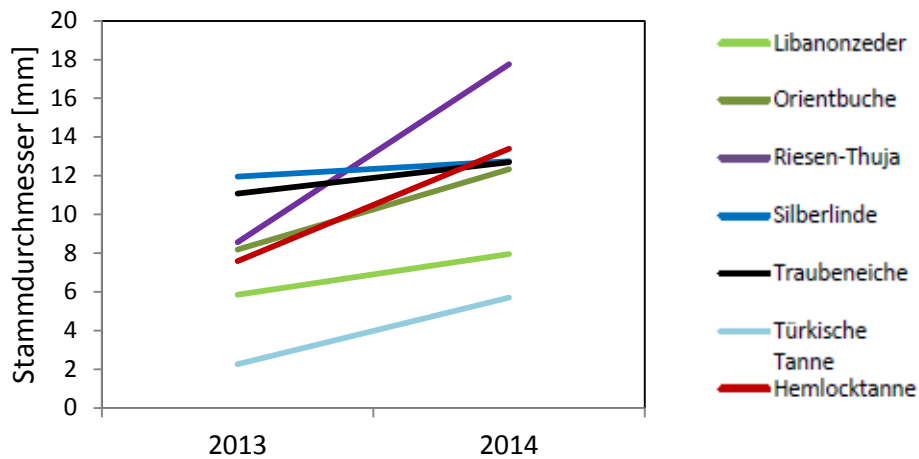


Abbildung 10. Verlauf der mittleren Baumhöhen (a) von 2013 bis 2014 und des mittleren Stammdurchmessers (b) von 2013 bis 2014.

In die dritte Gruppe fallen die schon bei der Pflanzung kleinen *Abies*- und *Cedrus*-Pflanzen, die 2015 nur mittlere Höhen von 0,3 bzw. 0,7 m erreichten (Abbildung 9). Diese zwei Arten erreichten aber einen höheren jährlichen Zuwachs als die Baumarten der zweiten Gruppe (Abbildung 11 und 12). Die Höhenzuwächse bei *Abies* und *Cedrus* waren 2013 und 2015 meistens positiv. Bei gleichbleibendem Höhenzuwachs werden auch die meisten *Cedrus*-Pflanzen in ein bis zwei Jahren die Konkurrenzvegetation überwachsen; bei *Abies* dürfte dies hingegen noch einige Jahre dauern.

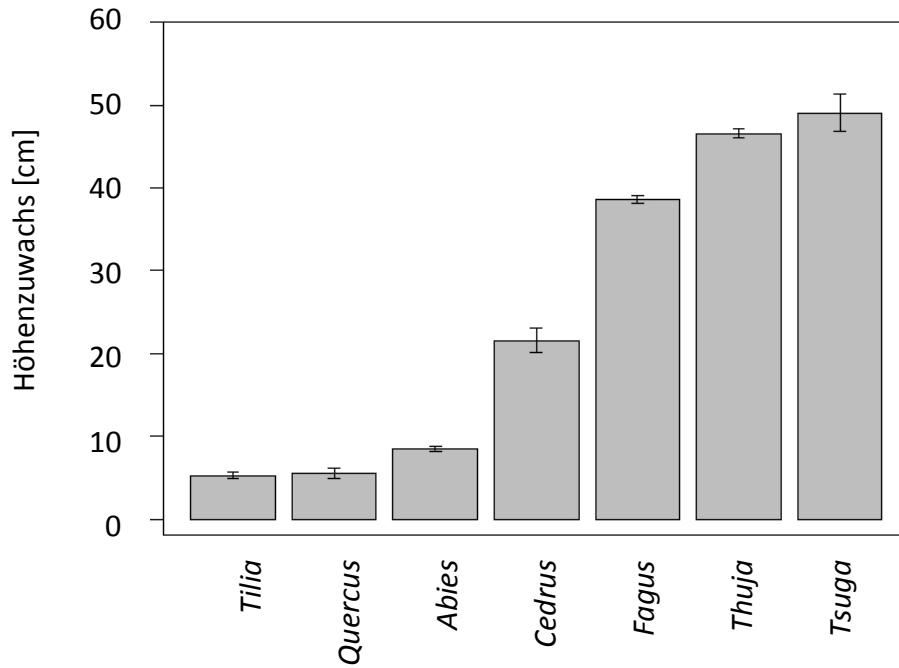


Abbildung 11. Jährlicher Höhenzuwachs (Mittelwert \pm Standardfehler) für die Messperiode 2014-2015 nach Baumart.

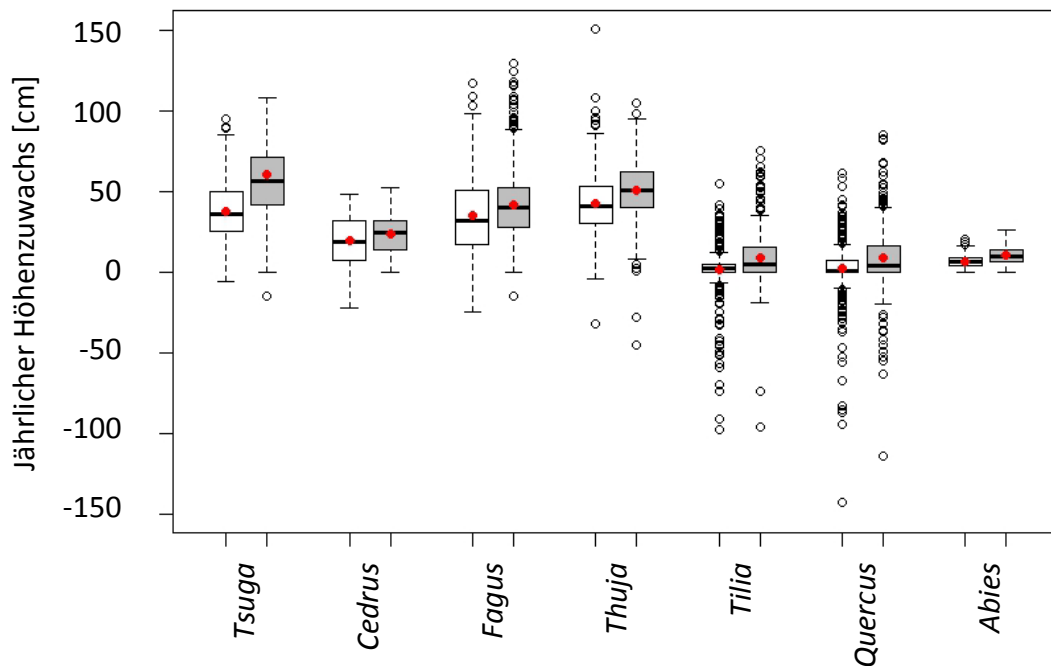


Abbildung 12. Boxplots des jährlichen Höhenzuwachses pro Baumart und Jahr (2013 in Weiss, 2015 in Grau) der 2012 gepflanzten und bis Winter 2015 überlebenden Bäume. Während der Pflegeeingriffe abgeschnittene Bäume wurden ausgeschlossen, auch wenn sie überlebten. Mittelwerte sind mit roten Punkten abgebildet.

Durchmesserwachstum

Der Stammdurchmesser 10 cm über der Bodenoberfläche wurde 2013 und 2014 an einer Stichprobe gemessen: *Tsuga* mit $n=143$, *Cedrus* mit $n=93$, *Fagus* mit $n=151$, *Thuja* mit 152, *Tilia* mit $n=151$, *Quercus* mit $n=117$ und *Abies* mit $n=35$. Die Durchmesser

unterschieden sich zwischen den Baumarten ähnlich wie bei der Baumhöhe (Abbildung 10b): *Thuja*-Pflanzen hatten die dicksten Stämmchen (Mittelwert 17,8 mm), *Abies*-Pflanzen die dünnsten (5,7 mm). *Tilia* und *Quercus* zeigten nur einen geringfügigen jährlichen Durchmesserzuwachs von 0,8 und 1,6 mm (nicht dargestellt). Die jährlichen Dickenzuwächse bei *Fagus* waren ähnlich wie bei *Tsuga* (ca. 4-5 mm). Die maximale Stammdicke von 32 mm wies eine *Thuja*-Pflanze im Januar 2015 auf. Wie zu erwarten waren Ende 2014 die erst 2014 gepflanzten Bäume im Mittel viel kleiner als die aus der ersten Pflanzung 2012 (Abbildung 13).

Statistische Auswertung

Mit einer Varianzanalyse (Design mit randomisierten Blöcken) untersuchten wir den Einfluss der Faktoren «Baumart» und «Block» (als feste Effekte) auf den jährlichen Höhenzuwachs der Pflanzen von 2013 bis 2015 (Tabelle 5). Als Zielgrösse diente der quadratische Mittelwert des jährlichen Höhenzuwachses pro Block. Die Baumarten unterschieden sich im Höhenzuwachs hoch signifikant, Block und die Interaktion zwischen Baum und Block war dagegen nicht signifikant.

Tabelle 5. Ergebnis der Varianzanalyse. Die Interaktion zwischen Baumart und Block war nicht signifikant.

Faktor (N)	Freiheitsgrade	F-Wert	p-Wert
Block (N=3)	2	1,45	0,28
Baumart (N=7)	6	24,11	<0,001

3.3 SCHÄDEN

Die Häufigkeit aller Schäden nahm bei allen Baumarten mit Ausnahme von *Tilia* von 2013 bis 2015 ab. Im ersten Jahr nach der Pflanzung zeigten *Fagus* (44%), *Quercus* (41%), *Cedrus* (34%) und *Tsuga* (14%) die höchsten Anteile an Pflanzen mit Schadsymptomen. Im zweiten und im dritten Jahr nahmen die Schäden bei allen Baumarten mit Ausnahme von *Tilia* deutlich ab.

Die am häufigsten auftretenden Schäden waren Gipfeldürre, Schiefstand, Gipfel-/Kronenbruch und schütterere Kronen (Abbildung 14, Tabelle 6). 42% der *Fagus*- und 24% der *Quercus*-Pflanzen waren 2013 und 12% der *Tilia*-Pflanzen 2014 gipfeldürr (Tabelle 6). Im Jahr 2015 sank der Anteil gipfeldürerer Pflanzen unter 5%, was wir als Erholung vom Pflanzchock und Anpassung des Spross-Wurzel-Verhältnisses zwei Jahre nach der Pflanzung interpretieren. Von den Nadelbaumarten waren 2013 bei *Cedrus* 12% gipfeldürr, bei *Tsuga* 4% und bei *Abies* 1%, mit sinkender Tendenz bis 2015.

Schiefstand trat häufig auf bei *Cedrus* (rund 12% der Bäume während der ersten zwei Jahre nach der Pflanzung), *Tilia* und *Quercus* (ca. 8-10%). Die Tendenz, schief zu wachsen, blieb nur bei *Tilia* auf einem nennenswerten Niveau (9%) bis 2015 bestehen.

Gipfelbrüche waren bei *Tilia* am häufigsten, bei der bis zu 8% aller Pflanzen alte und/oder neue Brüche im Gipfel- und Kronenraum aufwiesen. Schütterere Kronen waren typisch für *Cedrus*, *Tsuga* und *Quercus*, überschritten aber nicht 5-7% der Pflanzen der jeweiligen Baumart. Im Jahr 2015 waren diese Schäden bei allen betroffenen Baumarten nur noch selten. Vergilbung und andere Schäden traten selten auf.

Rindenverletzung, Klebäste, Doppelstamm, Nagetierschäden und Stockausschlag kamen selten vor und wurden zu «Anderen Schäden» zusammengefasst (Tabelle 6).

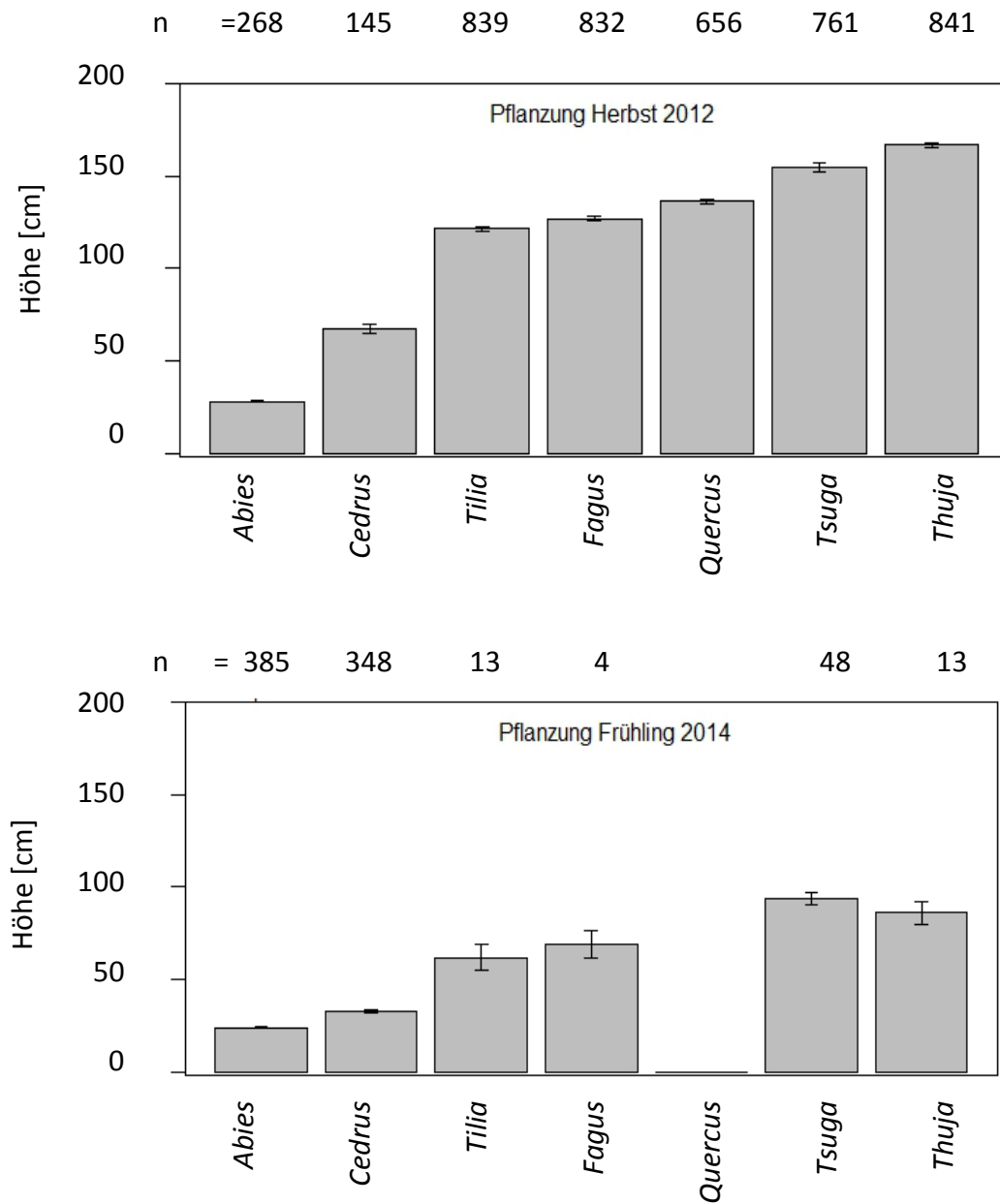


Abbildung 13. Höhe der 2015 überlebenden und 2012 (a) und 2014 (b) gepflanzten Bäume pro Baumart (Mittelwert und einfacher Standardfehler). Während der Pflegeeingriffe abgeschnittene Bäume wurden ausgeschlossen, auch wenn sie überlebten. Die Anzahl der Pflanzen pro Baumart ist über jeder Säule gezeigt.



Gipfeldürre bei *Tilia*



Stockausschlag bei *Quercus* infolge
Zurücksterben der Hauptachse



Schütterer Krone bei *Cedrus*

Abbildung 14. Beispiele häufig auftretender Schäden.

Tabelle 6. Anzahl der Bäume mit Schadenansprache und Anteil der geschädigten Pflanzen nach Schadenstyp und Jahr. Zellen mit Häufigkeit $\geq 5\%$ sind orange, solche mit Häufigkeit $\geq 10\%$ rot eingefärbt.

Jahr	<i>Tsuga</i>	<i>Cedrus</i>	<i>Fagus</i>	<i>Thuja</i>	<i>Tilia</i>	<i>Quercus</i>	<i>Abies</i>
Anzahl angesprochene Bäume							
2013	809	226	863	861	863	816	647
2014	788	156	859	850	853	702	282
2015	777	147	856	847	850	674	277
Gipfeldürre [%]							
2013	3.8	11.5	41.5	0.3	1.4	23.9	1.1
2014	0.3	1.9	1.6	0.0	12.1	7.5	0.4
2015	0.1	0.7	0.5	0.0	2.7	4.6	0.0
Schiefstand [%]							
2013	3.2	12.8	0.7	2.0	1.7	10.9	1.1
2014	1.6	12.2	0.6	1.4	10.6	7.4	0.0
2015	0.0	0.7	0.4	0.4	8.9	3.1	0.0
Gipfel-/Kronenbruch [%]							
2013	0.2	0.9	1.5	0.9	0.9	0.7	1.9
2014	0.1	1.3	0.6	0.6	2.7	0.9	0.7
2015	0.1	1.4	1.4	0.6	2.0	1.2	1.1
Alter Gipfelbruch [%]							
2013	1.5	0.9	0.1	0.1	5.6	0.1	0.2
2014	0.1	1.9	0.0	0.2	1.6	0.1	0.7
2015	0.1	0.7	0.0	0.0	6.2	0.0	0.7
Schütterere Krone [%]							
2013	4.1	6.6	0.2	0.7	0.1	5.1	3.6
2014	1.1	2.6	0.1	0.1	0.0	0.3	0.0
2015	0.6	0.7	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4
Vergilbung [%]							
2013	0.7	0.4	0.0	1.7	0.0	0.0	0.2
2014	0.0	0.6	0.0	0.7	0.0	0.0	0.4
2015	0.1	0.7	0.0	0.5	0.0	0.0	0.4
Andere Schäden [%]							
2013	0.2	0.4	0.0	0.5	0.6	0.6	0.8
2014	0.0	0.0	0.2	0.1	0.8	1.6	0.0
2015	0.0	0.0	1.1	0.0	1.3	0.7	0.0
Summe der Anteile aller Schäden [%]							
2013	13.8	33.6	44.0	6.3	10.3	41.4	8.7
2014	3.3	20.5	3.1	3.2	27.8	17.8	2.1
2015	1.2	4.8	3.3	1.7	21.2	9.6	2.5

3.4 PHÄNOLOGIE

Der Zeitpunkt des Knospenaufbruchs (Phase 1, Abbildung 15), der den Anfang des oberirdischen Wachstums repräsentiert, diente als Basis für den Baumartenvergleich. Die Eintrittszeit in Phase 1 war baumartenspezifisch und hing von der Witterung zu Beginn der Vegetationszeit ab. 2014 trat als erste *Cedrus* in Phase 1 ein (Nadelspitzen am 15. März

sichtbar), *Abies* war dagegen die Baumart mit dem spätesten Beginn der Knospenentwicklung (am 18. April). *Quercus* als einheimische Art nahm eine mittlere Position ein (Knospenaufbruch am 5. April). *Cedrus* und *Tilia* entwickelten ihre Knospen und Blätter/Nadeln am frühesten (Phase 2) und erreichten als erste Baumarten am 24. April die Phänophase 3 (Triebverlängerung), einen Monat vor den anderen Baumarten (22. Mai).

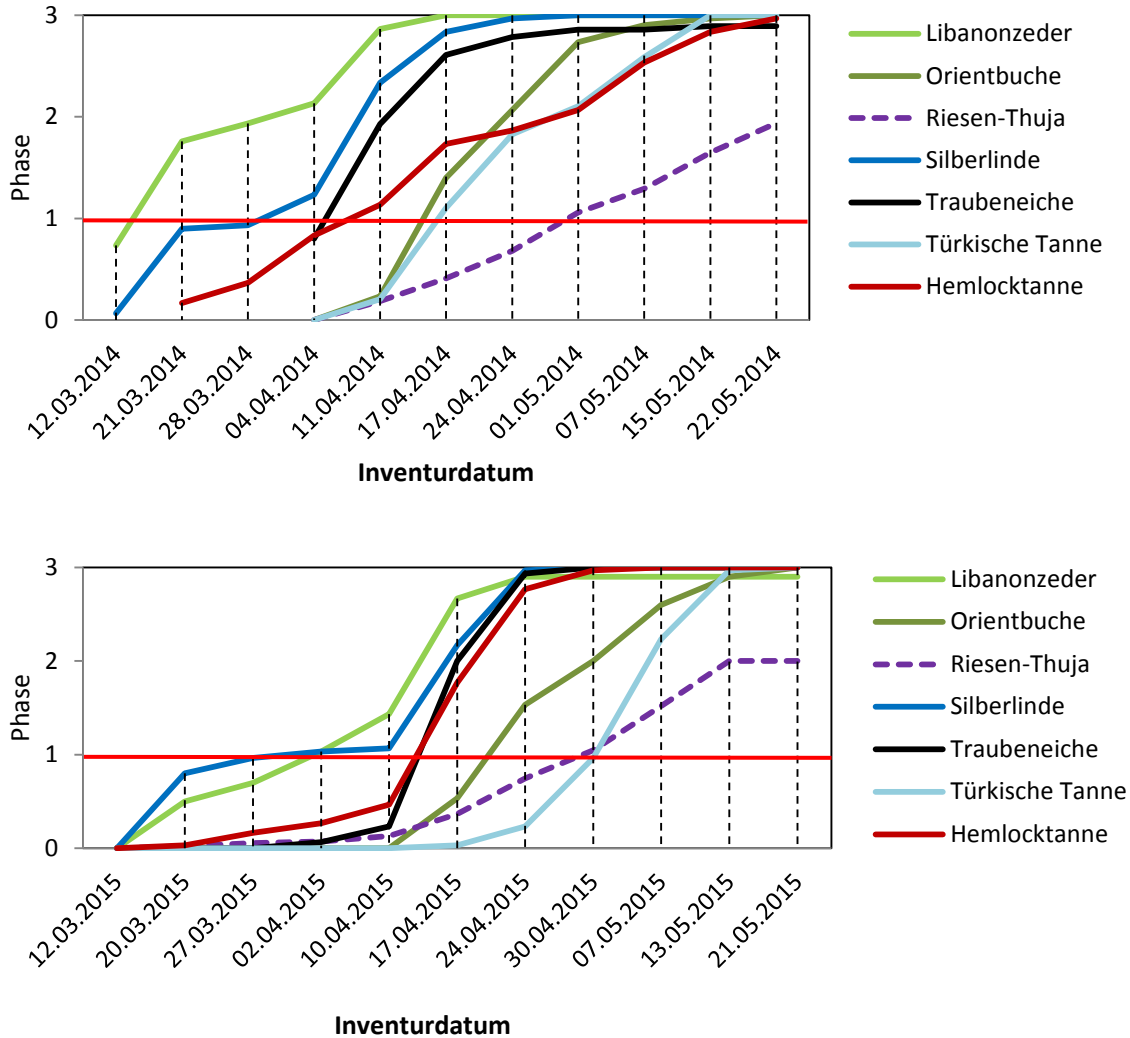


Abbildung 15. Verlauf der Phänophasen 2014 und 2015 nach Baumarten. Der Verlauf ist gezeigt als Mittelwert der Phasen (0 bis 3) pro Inventur und Baumart: Phase 0 «Knospe geschlossen», Phase 1 «Knospe aufgebrochen/Nadelspitzen sichtbar», Phase 2 «Malpinsel/Blätter falten sich auf», Phase 3 «Triebverlängerung» (Kolly & Späni 2013). Die Werte bei *Thuja* repräsentieren den Mittelwert des Triebzuwachses [mm], geteilt durch 50 (um eine ähnliche Skalierung wie bei den anderen Baumarten zu erreichen). Im Jahr 2014 wurde eine *Thuja*-Pflanze ausgeschlossen, deren Triebverlängerung wegen geknicktem Trieb nicht mehr gemessen werden konnte. Die horizontale rote Linie zeigt Phase 1 (Knospe aufgebrochen / Nadel- oder Blattspitzen sichtbar).

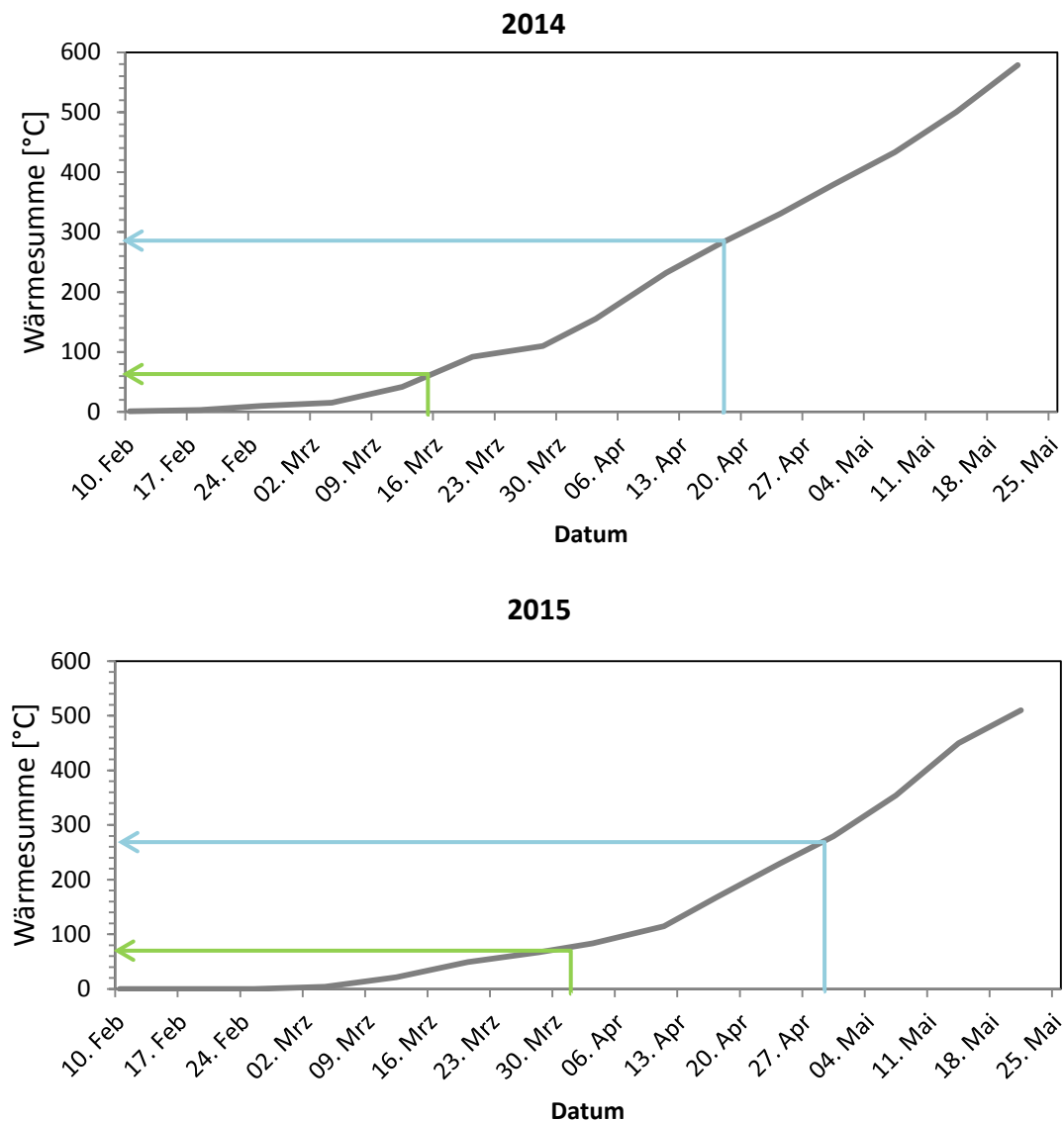


Abbildung 16. Wärmesumme für die Klimastation Neuchâtel für den Anfang der Vegetationsperioden 2014 und 2015. Die Wärmesumme ist berechnet als kumulative Wachstumsgradtage über dem Schwellenwert von 5,56°C (Zimmermann & Kienast 1999): $Wärmesumme = \sum_{i=1}^n \max[0, (T_i - 5,56)]$, mit T_i = Tagesmitteltemperatur [°C], gemessen 5 cm über Gras (MeteoSchweiz, Klimastation Neuchâtel). Der Zusammenhang zwischen dem Eintritt in Phänophase 1 (abgelesen aus Abbildung 15) und der dafür benötigten Wärmesumme 2014 und 2015 ist gezeigt am Beispiel von *Cedrus* (in Grün) und *Abies* (in Blau).

Thuja wurde, im Unterschied zu allen anderen Baumarten, anhand der Verlängerung des Haupttriebes bewertet und zeigte ab 4. April 2014 (Zuwachsanfang, Äquivalent zur Phase 1) einen stetigen Zuwachs, der bis Ende der Messperiode noch nicht kulminierte.

Für den Knospenaufbruch bedurften *Cedrus* (60-80 °C) und *Tilia* (70-120 °C) weniger kumulierter Wärme als die *Quercus* (140-180°C), was die zwei Gastbaumarten anfälliger für Spätfrost machen dürfte als die einheimische Referenzbaumart (Tabelle 7). *Thuja* und *Tsuga* verhielten sich ähnlich wie *Quercus*. *Fagus* und *Abies* benötigten für die Induktion des Blattwachstums hingegen um 60-130 °C höhere Wärmesummen als *Quercus* und zeigten sich damit weniger durch Spätfrost gefährdet.

Tabelle 7. Baumartenspezifische Wärmesummen beim Start der Knospentwicklung (Phase 1).

Baumart	Wärmesumme 2014 ¹⁾ [°C]	Wärmesumme 2015 [°C]
<i>Cedrus</i>	60	80
<i>Tilia</i>	120	70
<i>Thuja</i>	150	120
<i>Quercus</i>	180	140
<i>Tsuga</i>	170	140
<i>Fagus</i>	250	200
<i>Abies</i>	280	270

¹⁾ Die benötigte Wärmesumme für den Eintritt in Phase 1 wurde für jede Baumart und jedes Jahr abgelesen wie in Abbildung 16 für *Cedrus* und *Abies* gezeigt.

3.5 MYKORRHIZIERUNG

Die Mykorrhizierung der sieben Baumarten war sehr unterschiedlich. Kein einziger aus dem Pflanzgarten stammender Mykorrhizapilz überlebte am Pflanzstandort. Einige Baumarten vergesellschafteten sich in den 2,5 Jahren seit der Pflanzung erfolgreich mit neuen, standorteigenen Mykorrhizapilzen (Abbildung 17), andere fanden offenbar keine geeigneten Mykorrhizapartner am neuen Standort in Mutrux (Tabelle 8).

Tabelle 8. Anzahl identifizierter Mykorrhizataxa pro Baumart und Anteil von Totwurzeln (%) vor (Mittelwert von je 6 Bäumchen) und 2,5 Jahre nach der Pflanzung (Mittelwert von 3 Bäumchen).

Baumart	Anzahl Mykorrhizataxa und Totwurzelaanteil (in Klammer)	
	vor Pflanzung	nach Pflanzung
<i>Abies bornmuelleriana</i>	2 (44%)	0 (42%)
<i>Tsuga heterophylla</i>	2 (72%)	3 (51%)
<i>Thuja plicata</i>	0 (nd)	0 (nd)
<i>Cedrus libani</i>	0 (89%)	0 (97%)
<i>Tilia tomentosa</i>	1 (14%)	5 (14%)
<i>Quercus petraea</i>	3 (43%)	7 (44%)
<i>Fagus orientalis</i>	1 (52%)	6 (13%)

Thuja plicata ist nicht mit Ektomykorrhizapilzen vergesellschaftet, sondern bildet arbuskuläre Mykorrhizen, die im Rahmen dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurden.

Bei *Cedrus* wurden keine Mykorrhizen festgestellt und keine Mykorrhizapilze identifiziert, weder vor der Pflanzung noch 2,5 Jahre danach. Auffallend war der grosse Anteil toter Feinwurzeln, der bereits bei der Pflanzung 89% betrug, was auf schlechtes Pflanzmaterial hinweist, wobei die Schäden beim Transport und/oder bei der Zwischenlagerung aufgetreten sein könnten. 2,5 Jahre nach der Pflanzung wurden kaum noch lebende Feinwurzeln gefunden. Diese Befunde zeigen eine hohe Empfindlichkeit von *Cedrus*-Feinwurzeln auf Freilegung und legen nahe, dass die Wasser- und/oder Nährstoffaufnahme der Pflanzen beeinträchtigt ist. Seither war aber die Mortalität bei *Cedrus* gering (Abbildung 8); anscheinend hat sich deren Wurzelwerk massgeblich erholt. *Abies* brachte aus dem Pflanzgarten zwei Mykorrhizapilz-Taxa an den Wurzeln mit. Diese waren 2,5 Jahre später verschwunden, und es wurden auch keine neuen Mykorrhizapilze gefunden. Hingegen wurde ein zur Gattung *Phialophora* gehörender pathogener Pilz an den Wurzeln identifiziert, der jedoch aufgrund bisheriger Kenntnisse kaum als Schadpilz an *Abies* in Frage kommt (Hawksworth & Gibson 1976).

Bei *Tsuga* wurden 2,5 Jahre nach der Pflanzung drei neue Mykorrhizapilz-Taxa festgestellt. Zwei Taxa, die aus dem Pflanzgarten stammten, waren verschwunden.

Tilia, *Quercus* und *Fagus* waren 2,5 Jahre nach der Pflanzung mit 6-8 neuen Mykorrhizapilz-Taxa besiedelt. Sie zeigen somit eine sehr gute Adaptation an den neuen Standort bezüglich der Mykorrhizapilze. *Tilia* hatte den tiefsten Totwurzelanteil und kann aus dieser Sicht als am besten adaptiert an den neuen Standort bezeichnet werden.

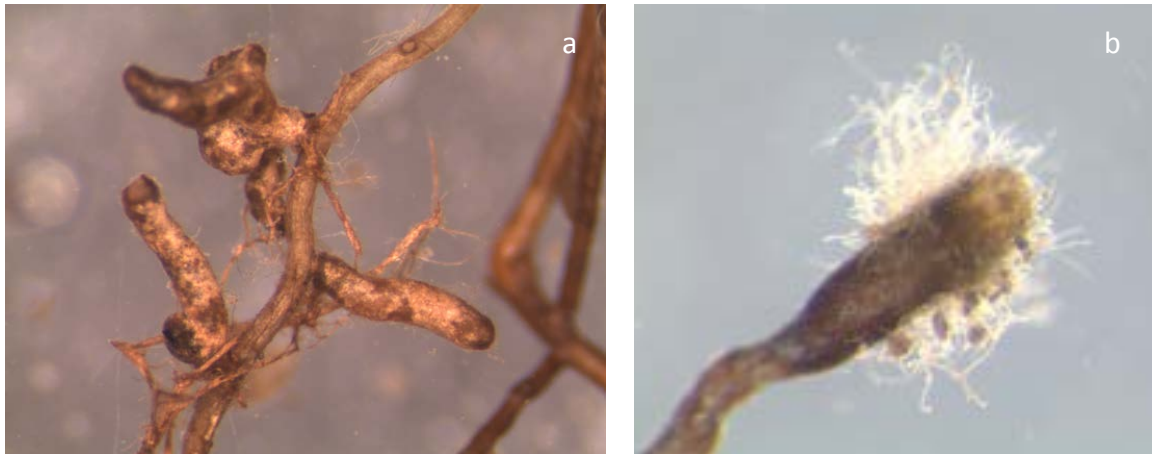


Abbildung 17. Ektomykorrhizen. a Ektomykorrhiza auf *Fagus*, gebildet durch *Melanogaster ambiguus*, welcher die Feinwurzeln nach der Pflanzung besiedelt. b Ektomykorrhiza auf *Tilia*, gebildet durch einen Vertreter der Gattung *Tuber* (Trüffel).

3.6 GESCHICHTE UND WEITERE ANBAUTEN DER UNTERSUCHTEN BAUMARTEN IN DER SCHWEIZ

Die Literaturstudie von Tschopp (2012) ergab Hinweise auf Anbauten von *Cedrus libani* im Wald spätestens ab 1864 und von *Tsuga heterophylla* und *Fagus orientalis* ab etwa 1950⁴. Bei *Abies bornmuelleriana* sind Hinweise um 1870 vorhanden, aber es ist unsicher, um welche Unterart des Artkomplexes *A. nordmanniana* es sich handelte. Auf Anbauten von *Tilia tomentosa* wurde kein Hinweis gefunden.

In der Exoten-Datenbank von Diez & Bürgi (1986) wurden 22 Vorkommen der drei Baumarten *Cedrus spec.*, *Tsuga heterophylla* und *Fagus orientalis* identifiziert. Zu den beiden anderen Gastbaumarten wurden keine Einträge gefunden. Die meisten der 22 Vorkommen wurden aufgesucht, und an 11 Waldorten konnte das Vorkommen bestätigt werden (Tabelle 9). Die meisten Bestände sind im Stangenholzstadium und wenige Jahrzehnte alt. Die deskriptive Beschreibung der Vorkommen (Skizze, Stammzahl, BHD-Messungen) in Tschopp (2012) und Adami (2013) ist eine Grundlage für weiterführende Untersuchungen.

Die Resultate zeigen, dass die genannten Baumarten – mit Ausnahme von *T. tomentosa*, für die keine Hinweise gefunden wurden – tatsächlich in seltenen Fällen in der Schweiz angebaut wurden.

⁴ Am 13.1.2017 wurden wir auf eine Pflanzung von *F. orientalis* von 1921 im Kanton Thurgau hingewiesen (Ueli Ulmer, mündl. Mitteilung)

3.7 VERGLEICH MIT RESULTATEN DER SCHWESTERFLÄCHEN IM AUSLAND

Mit Ausnahme der Fläche Oldisleben (Brodowski 2015) gibt es keine zugänglichen Auswertungen zu den vier Schwesterflächen. Die Probleme beim Anwuchs von *Cedrus* und *Abies* bestanden aber auf allen fünf Flächen und erforderten überall umfangreiche Nachpflanzungen. Es folgen einige kommentierte Auszüge aus der Masterarbeit von Brodowski.

Tabelle 9. Im Rahmen dieses Projektes dokumentierte ältere Vorkommen von *Cedrus spec.*, *Tsuga heterophylla* und *Fagus orientalis*. Quellen: Tschopp (2012) und Adami (2013).

Baumart	Ort (Kanton)	Anzahl Bäume	BHD-Spanne [cm]
<i>Cedrus atlantica</i>	Romainmôtier 1 (VD)	110	4-28
<i>Cedrus atlantica</i>	Romainmôtier 2 (VD)	22	14-36
<i>Cedrus atlantica</i>	Romainmôtier 3 (VD Bois de Forel)	>100	Ca. 10-40
<i>Cedrus atlantica</i>	Suchy (VD)	17	11-30
<i>Cedrus atlantica</i>	Suchy (VD)	ca. 50	(3 - 8 m hoch)
<i>Cedrus atlantica</i>	Yvorne (VD)	21	11-22
<i>Cedrus atlantica</i>	Bonmont (VD)	106	4-27
<i>Cedrus libani</i>	Givrins/Arzier (VD)	12	4-24
<i>Fagus orientalis</i>	Lengnau (AG)	Ca. 30	11-55
<i>Fagus orientalis</i>	Copera (TI)	7	9-48
<i>Tsuga heterophylla</i>	Wangen an der Aare (BE)	11	14-43

Versuchsfläche Sondershausen/Oldisleben

Die Versuchsfläche befindet sich in Thüringen/Deutschland im Wuchsgebiet des Nordthüringischen Trias-Hügellandes (Thüringer Becken) in der kollinen Stufe. Sie liegt auf einem Plateau auf 195 m ü. M., auf Rosslaer Lehmsandstein-Braunerde gebildet über Buntsandstein. Der nordöstliche Bereich der Fläche ist stark von Staunässe beeinflusst, es zeigen sich aber bisher keine Tendenzen zur Pseudovergleyung.

Die Versuchsfläche ist mit einem langjährigen Mittel der Jahrestemperatur von 9,3°C etwas wärmer und mit einem langjährigen Jahresniederschlag von 490 mm um die Hälfte niederschlagsärmer als die Fläche in Mutrux (Tabelle 2). Seit Versuchsbeginn im Jahr 2012 wird das Klima zusätzlich durch Messungen auf der Versuchsfläche erfasst.

Zur Anlage der Versuchsfläche (Abbildung 18) wurde die Vorbestockung, ein einschichtiger Eichen-Nadelholz-Mischbestand (Hochwald), kahlgeschlagen. Zur Flächenvorbereitung wurde der Boden streifenweise im Pein-Plant-Verfahren bearbeitet. Der Versuchsaufbau beinhaltet 6 Baumarten (wie in Mutrux, aber ohne *Thuja*) mit jeweils 3 Wiederholungen. Bei den Gastbaumarten wurde das gleiche Saatgut wie in Mutrux verwendet; das Saatgut bei *Quercus* hingegen stammt aus lokalen Erntebeständen.

Resultate der Jahre 2012-2014

Der Anwuchserfolg war bei *Fagus*, *Quercus* und *Tsuga* mit unter 5% Mortalität am höchsten und bei *Cedrus* und *Abies* mit 61% und 63% Mortalität am niedrigsten. Bei *Tilia* war die Mortalität mit 8% auf mittlerem Niveau. Als Erklärungen für die hohe Mortalität bei *Cedrus* und *Abies* werden die geringe Grösse der Pflanzen und eine starke Trockenheit im Juni und Juli 2013 genannt, was in Mutrux kaum zutrifft (Kapitel 3.1). Im Norden der Versuchsfläche in Oldisleben kommt als Mortalitätsursache bei *Fagus*, *Tilia* und *Tsuga*

Staunässe in Frage. 2014 lag die Mortalität in Oldisleben bei allen Baumarten unter 10%, der Pflanzschock war also wie in Mutrux zwei Jahre nach der Pflanzung überwunden.



Abbildung 18. Die Versuchsfläche in Oldisleben / Thüringen im Mai 2016.

In Oldisleben waren *Abies* (13 cm) und *Cedrus* (20 cm) 2013 ähnlich wie in Mutrux im Mittel am kleinsten; die grössten Pflanzen wurden auch hier bei *Tilia* (128 cm) und *Fagus* (63 cm) gemessen (Abbildung 19). Die Pflanzhöhen 2013 unterschieden sich zwischen den beiden Versuchsflächen nur unwesentlich, weil die Pflanzen aus der gleichen Charge des gleichen Lieferanten stammten. Im Fall von *Quercus* (lokale Herkunft, verschiedene Lieferanten) waren die Pflanzen in Mutrux mit über 120 cm Höhe doppelt so gross wie in Oldisleben, was wegen ungünstigem Spross-/Wurzelverhältnis eher nachteilig gewesen sein dürfte.

Gipfeldürre und Terminaltriebverluste waren unter den Schäden bei den Laubbaumarten beider Flächen am häufigsten. In Oldisleben kam sie in 2013 bei ca. 50% der *Fagus*- und *Tilia*-Pflanzen vor, hingegen waren in Mutrux *Fagus* und *Quercus* die meist beschädigten Laubbaumarten (Kapitel 3.3). Schäden am Wurzelwerk der relativ grossen Pflanzen sind in beiden Flächen als Hauptursache für das Absterben der Terminaltriebe zu vermuten. *Tilia* war in beiden Flächen die Laubbaumart mit den meisten Schäden. In Oldisleben litt sie hauptsächlich unter Rindenfrass und in Mutrux an Gipfeldürre, Schiefstand und Gipfelbruch.

Bei den Nadelbaumarten hatte *Cedrus* den höchsten Anteil beschädigter Pflanzen. Der Anteil Pflanzen mit Gipfeldürre und Schütterten Kronen in Mutrux (18%) wurde in Oldisleben mit 35% noch übertroffen. Trotz der hohen Mortalität hatten die überlebenden *Abies*-Pflanzen in beiden Flächen nur sehr wenige Schäden.

Eine räumliche Analyse zur Bewertung des Baumzustandes ergab negative Clusterungen der Vitalität auf der Fläche bei *Abies* und *Cedrus* und positive Clusterungen bei der Vitalität aller untersuchten Laubbaumarten. Die staunassen Bereiche zeigten sich in Clustern mit geringer Vitalität.

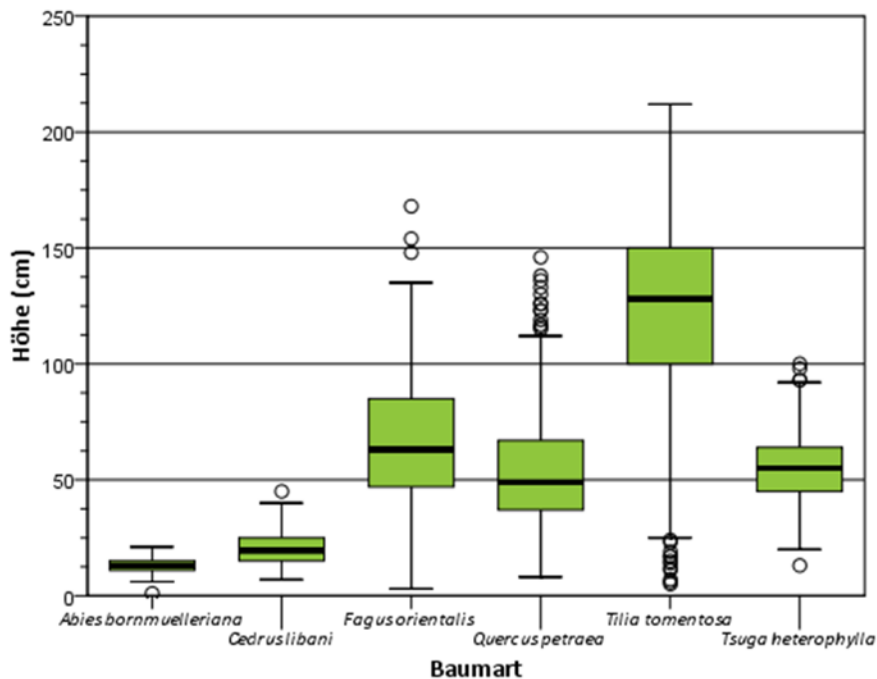


Abbildung 19. Boxplots der Baumhöhen 2013 (alle Wiederholungen mit Ausreißern) in der Versuchsfäche Oldisleben. Quelle: Brodowski (2015).

4 DISKUSSION

4.1 WÜRDIGUNG DER FORSCHUNGSMETHODEN

Grundsätzlich sind die in diesem Projekt angewendeten Forschungsmethoden Standard im forstlichen Versuchswesen. Wenig üblich ist nur die Erfassung des Mykorrhiza-Besatzes der Wurzeln am Pflanzgut und 2,5 Jahre später am Pflanzstandort. Ein besonderes Problem trat bei *Fagus* auf; wegen Naturverjüngung von *Fagus sylvatica* mussten die Pflanzen von *Fagus orientalis* zur eindeutigen Identifizierung einzeln markiert werden.

Eine Stärke des Projekts war seine Durchführung auf mehreren Versuchsfächen. Diese Stärke kam leider bisher kaum zum Tragen, weil eine gemeinsame Datenbank, als Grundlage für gemeinsame Auswertungen, fehlt. Allerdings ist von einer solchen Auswertung im jetzigen Stadium nur wenig mehr an Erkenntnissen zu erwarten als von einer Beschreibung für eine Fläche, wie sie dieser Schlussbericht für die Versuchsfäche in Mutrux liefert. Zum Beispiel waren die Probleme mit dem Pflanzgut bei *Cedrus* und *Abies* in allen fünf Versuchsfächen ähnlich.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass bei der Wahl der Gastbaumarten von einem +2 °C-Szenario für Bayern ausgegangen wurde. Inzwischen scheint aber für die Schweiz bis ins Jahr 2100 ein +4 °C-Szenario realistischer (Remund et al 2016). Da der Standort in Mutrux eher unter den kühleren Standorten der fünf Versuchsfächen

liegt und zudem am meisten Niederschlag aufweist (Tabelle 2), könnten die dort gepflanzten Baumarten am Versuchsort dennoch passen.

Es war schon beim Antrag klar, dass die Projektergebnisse sich nur auf die Anwuchsphase beziehen würden. Daher wurden für die wissenschaftliche Synthese des Forschungsprogramms bei der Thematik der Gastbaumarten (Brang et al 2016) Informationen aus anderen Quellen beigezogen.

Bisher wurde die Fläche nur vereinzelt als Demonstrationsfläche genutzt, und auch die Umsetzungspublikation in z.B. *La forêt* (s. Projektantrag) steht aus. Hingegen wurden erste Resultate in der Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen veröffentlicht (Brang & Ninove 2015), und der Projektleiter arbeitete an Reviews zur Douglasie und Grossen Küstentanne mit (Spellmann et al 2015a und 2015b).

4.2 ANWUCHSERFOLG UND WACHSTUM

Der Anwuchserfolg (Überleben nach dem ersten Jahr) war bei fünf Baumarten zufriedenstellend bis gut, bei zwei Baumarten (*Cedrus* und *Abies*) sehr schlecht. Wir vermuten, dass bei *Cedrus* die Wurzeln zu lange ungenügend befeuchtet und der Luft ausgesetzt waren, oder dass es an Mykorrhizen fehlte. Bei *Abies* können wir uns den Misserfolg der ersten Pflanzung mit Topfpflanzen nicht erklären; immerhin waren an *Abies*-Pflanzen 2,5 Jahre nach der Pflanzung keine Mykorrhizen zu finden. Der weitgehende Ausfall der zwei Baumarten auf allen fünf Flächen deutet zudem auf Probleme beim Pflanzgut hin. Ein schlechter Anwuchserfolg ist bei Baumarten, mit denen wenig Erfahrung besteht, nicht überraschend.

Die Anwuchsschwierigkeiten erstreckten sich nicht nur auf *Cedrus* und *Abies*, von denen viele abstarben; sie zeigten sich bei *Tilia* und *Quercus* in einem sehr geringen Höhenwachstum während 2-3 Jahren, und bei weiteren Baumarten in Schadsymptomen wie Gipfeldürre und schütterten Kronen. Der so genannte Pflanzchock (Grossnickle 2005) dürfte dafür verantwortlich sein. Er tritt bei vielen Pflanzungen auf, auch bei solchen mit einheimischen Baumarten, und ist oft auf eine Schädigung des Wurzelsystems beim Ausheben der Pflanzen oder bei der Pflanzung zurückzuführen. Über Etablierungsschwierigkeiten bei 19 einheimischen Baumarten bei Erstaufforstungen in Thüringen berichten auch Don et al (2007). Als Gründe dafür werden neben Mausfrass angeführt, dass einige der untersuchten Arten schattentolerant seien und daher auf Freiflächen eher schlecht anwachsen. Generell kann unser Versuch das nicht bestätigen, denn unter den schattentoleranten Arten wuchsen zwar *Abies* und *Tilia* schlecht an, *Fagus*, *Thuja* und *Tsuga* hingegen gut.

Die Wachstumsunterschiede der Baumarten waren gross und von den Etablierungsschwierigkeiten geprägt. Bisher wuchsen *Thuja*, *Tsuga* und *Fagus* am besten. Es ist zu früh, um daraus auf länger andauernde Unterschiede zu schliessen. *Tilia* und *Quercus* haben nach dem Pflanzchock 2016 (Daten nicht gezeigt) rasch in die Höhe zu wachsen begonnen. Das rasche Wachstum von *Thuja* in der Schweiz ist bekannt (Diez & Bürgi 1991).

4.3 PHÄNOLOGIE

In der Regel zeigen trockenresistentere Baumarten einen früheren Knospenaufbruch, schnellere Knospenbildung und beenden ihr Wachstum schon vor der sommerlichen

Trockenphase (Lechowicz 1984, Kolly & Späni 2013). Im Gegenzug sind sie infolge des frühen Knospenaufbruchs frostgefährdeter und wachsen generell langsamer als Bäume aus feuchteren Gebieten (St. Clair & Howe 2007). Nach unserem Wissen gibt es in Mitteleuropa kaum Anbauten, bei denen die Phänologie der von uns gewählten Gastbaumarten untersucht wurde. Wir wissen daher nicht, ob der frühere Knospenaufbruch als Zeiger für Trockenresistenz auch für diese Gastbaumarten gilt. In der vorliegenden Studie haben wir den Austriebzeitpunkt der noch bodennah wachsenden Pflanzen eher als Hinweis für Spätfrostgefährdung verwendet, um die klimarelevanten Risiken nach Extremereignissen besser abschätzen zu können. Das sehr frühe Austreiben von *Cedrus* und *Tilia* legt nahe, dass diese Gastbaumarten durch Spätfrost gefährdet sein könnten. Bisher traten allerdings kaum solche Schäden auf. Unsere Beobachtungen sind noch mit den Partnerflächen zu verifizieren. Dieses würde uns ein vollständigeres Bild über die phänologische Entwicklung verschaffen und ist für das Projekttreffen im Mai 2017 geplant. Zusätzlich planen wir, bei Auftreten von Spätfrostereignissen allfällige Schäden zu erfassen.

4.4 MYKORRHIZIERUNG

Die Unterschiede in der Mykorrhizierung der Baumarten waren gross. Die grosse Diversität an Mykorrhiza-Taxa bei *Tilia*, *Quercus* und *Fagus* legt nahe, dass diesbezüglich keine Anwuchshindernisse bestehen. Die fehlende Ektomykorrhiza bei *Thuja* ist für diese Baumart keine Hindernis, denn sie bildet arbuskuläre Mykorrhizapilze. Ein Fehlen dieser Pilze kommt aufgrund von deren grosser Verbreitung und geringen Wirtsspezifität kaum als Ursache für allfällige (hier nicht beobachtete) Anwuchsprobleme in Frage. Bei *Cedrus* könnte die fehlende Mykorrhiza zum grossen Ausfall beigetragen haben oder sogar die Hauptursache sein. Auch bei *Abies* scheint dies möglich, weil die anfänglich vorhandenen Mykorrhiza-Taxa 2,5 Jahre nach Ausbringung am Pflanzort nicht mehr gefunden wurden und neue Taxa fehlten. Die in diesem Projekt angewendeten Methoden erlauben es aber nicht, den Beitrag der Mykorrhiza zum Anwuchserfolg zu belegen.

4.5 ANBAUEIGNUNG DER BAUMARTEN

Die Anbaueignung der untersuchten Baumarten lässt sich nach vier Vegetationsperioden nur sehr vorläufig abschätzen. Hier sei dennoch ein Versuch gewagt, dies nur aufgrund des Etablierungserfolgs zu tun, wobei – wie auch sonst in diesem Bericht – nur Daten der ersten drei Vegetationsperioden einfließen (Tabelle 10). Die Baumarten wurden dabei nach den Kriterien Überlebensrate, Höhenzuwachs, Wärmesumme bei Knospenaufbruch (als Indikator für die Spätfrostgefährdung), Schäden und Anzahl Mykorrhiza-Taxa am Pflanzort bewertet.

Am besten schneiden *Thuja* und *Fagus* ab. *Thuja* wächst in Mutrux sehr schnell und bei geringer Mortalität. Sie war langfristig auch der Fichte auf vielen Schweizer Standorten im Wachstum überlegen (Diez & Bürgi 1991). Weil sich bei *Thuja* die Frage der möglichen Invasivität stellt, sollten die vorhandenen Bestände (s. Studie Diez & Bürgi 1991) diesbezüglich untersucht werden. Zusätzlich stellt sich die Frage der Gefährdung durch Hallimasch (*Armillaria* sp.), der bei *Thuja* zu gravierenden Problemen führen kann (Ruhm 2013).

Bei *Fagus* ist die morphologische Ähnlichkeit zu *F. sylvatica* hervorzuheben. Die Verbreitung von *F. sylvatica* und *F. orientalis* überlappt, und es kommen in der Kontaktzone auch Hybride vor (Tzonev et al 2006).

Tabelle 10. Vergleich des Etablierungserfolgs der untersuchten Baumarten, geordnet nach abnehmendem Erfolg. Erfolgsbewertung mit Punkten: rot = gering (1 Punkt), blau= mittel (2), grün = hoch (3). Kriterien: Überlebensrate der ersten Pflanzung bis Winter 2015: gering < 5%; mittel 5-50%; hoch > 50%

Mittlerer Höhenzuwachs 2014-2015: gering < 10 cm; mittel 10-30 cm; hoch > 30 cm

Spätfrostgefährdung / Wärmesumme bei Knospenaufbruch: gering > 200 °C; mittel 100-200 °C; hoch < 100 °C

Anteil Pflanzen mit Schäden / Durchschnitt für 2013-2015: gering < 5%; mittel < 20%; hoch ≥ 20%

Anzahl Mykorrhiza-Taxa 2,5 Jahre nach Pflanzung: gering = 0; mittel < 5; hoch ≥ 5

Baumart	Mortalität	Höhenzuwachs	Spätfrostgefährdung	Schäden	Mykorrhiza-diversität	Gesamte Punktzahl
<i>Thuja</i>	grün	grün	blau	grün	grün	14
<i>Fagus</i>	grün	grün	grün	blau	grün	14
<i>Tsuga</i>	blau	grün	blau	blau	blau	11
<i>Abies</i>	blau	blau	grün	rot	rot	11
<i>Tilia</i>	grün	rot	rot	rot	grün	9
<i>Quercus</i>	blau	rot	blau	rot	grün	9
<i>Cedrus</i>	rot	blau	rot	rot	rot	6

Bei *Tsuga* sind viele Fragen offen (Brang et al 2016). Es besteht aufgrund von Hinweisen aus der Literatur (Nixon & Worrell 1998) und eigenen Beobachtungen (Abbildung 20) der Verdacht, dass sie sich invasiv verhalten könnte. Diese Frage sollte anhand der wenigen Bestände in der Schweiz bald untersucht werden (Wangen an der Aare, Mutrux, evtl. sind weitere zu finden). Auch die Trockenheitstoleranz von *Tsuga* ist unklar, da sie flach wurzelt und ihr Wachstum durch trockene Luftmassen behindert wird (Haas & McAndrews 2000). Zudem leidet sie in ihrem natürlichen Verbreitungsareal unter Folgekalamitäten (Haas & McAndrews 2000).

Abies wuchs bisher sehr langsam, und es ist unklar, ob die Bäume ihr Wachstum noch wesentlich beschleunigen. Bei *Tilia* wäre die Beurteilung bei Einbezug des Wachstums von 2016 wesentlich positiver. Es fällt auf, dass die einheimische *Quercus* bis anhin schlechter abschneidet als die meisten Gastbaumarten, was viel mit dem Pflanzschock zu tun hat.

Bei *Cedrus* wird in Frankreich *C. atlantica* eindeutig *C. libani* vorgezogen. *C. atlantica* wurde bereits auf rund 20'000 ha angebaut (Courbet et al 2012). *C. libani* wird nur für flachgründige Standorte auf Kalk empfohlen, wobei Herkünfte aus dem Libanon gemieden werden sollen, weil sie sehr spätfrostgefährdet seien. Bei *Cedrus* gibt es Hinweise auf eine erhöhte Nassschneegefährdung (Courbet et al 2012, Adami 2013). Eine Studie in Bayreuth/Deutschland zeigte gutes Wachstumspotenzial von *C. libani* für die klimatischen Bedingungen von Mitteleuropa: die 30jährigen Bäume konnten gut vom feuchteren Klima profitieren, erholten sich schnell nach Trockenjahren und tolerierten die niedrigen Wintertemperaturen (Messinger et al 2015).



Abbildung 20. Dichte *Tsuga heterophylla*-Naturverjüngung in Lücke, Ardennen, Belgien.

4.6 WEITERE FORSCHUNG AUF DER VERSUCHSFLÄCHE IN MUTRUX UND AUSBLICK

Auf der Versuchsfläche sollen weiterhin, im Rahmen der ertragskundlichen Forschung der WSL und in Rücksprache mit den Projektpartnern in Deutschland und Österreich, die Mortalität und das Höhenwachstum der Pflanzen erhoben werden (2- bis 5-jährlicher Rhythmus). Im November 2016 wurde zudem eine automatische Klimastation (mit Fernübertragung der Daten an die WSL) auf der Fläche installiert; mit ihr sollen Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchte und Strahlung während rund fünf Jahren erfasst werden, um dann aufgrund von statistischen Vergleichen mit Messwerten benachbarter Stationen von Meteoschweiz (u.a. Neuchâtel und Yverdon) Tageswerte der Messparameter abzuleiten. Auf den Schwesterflächen im Ausland ist zum Teil seit Versuchsbeginn eine solche Klimastation in Betrieb.

P. Brang hat den Projektpartnern im Juli 2016 einen Auswertungsvorschlag mit dem Ziel einer wissenschaftlichen Publikation unterbreitet. Die Rückmeldungen stehen z.T. noch aus. Auch wurden zwar die Anforderungen an eine gemeinsame Datenbank beim Lead-Partner LWF (Freising, Deutschland) definiert und Beispieldaten verschickt, aber die LWF ist mit dem Aufsetzen der Datenbank im Rückstand.

In der Zukunft wird eine enge Begleitung der Versuchsfläche durch Waldschutz-Experten, auch solche der WSL, wichtig sein. Schon anhin traten an einzelnen Pflanzen und auf einzelnen der fünf Versuchsflächen immer wieder neue Schadbilder auf. Besonders auffällig sind Schäden an *Tsuga*. Auf der Versuchsfläche in Oldisleben/Thüringen wurden im Frühsommer 2016 erhebliche Schäden infolge des Erregers der Grauschimmelfäule *Botrytis cinerea* festgestellt.

a



b



Abbildung 211. Schadbild «feuerrote Pflanzen» bei *Tsuga* (a) und extrem frühe Zapfenbildung bei *Thuja* (b) auf der Fläche in Mutrux / Herbst 2016.

Auf der Fläche in Mutrux wurden während der Begehungen im Herbst 2015 und 2016 einzelne «feuerrote» Pflanzen gefunden (Abbildung 21a); die 2015 erkrankten Bäume starben danach. Da das Schadbild einem Hallimasch-Befall ähnelt, wurden im Dezember 2016 Proben zur Untersuchung an Waldschutz Schweiz eingeschickt. Ob es sich dabei um eine parasitische oder eine saprotrophe *Armillaria*-Art handelt, wird Anfang 2017

geklärt. Hinweise auf Hallimasch-Befall auf der Fläche in Mutrux wurden im Herbst 2016 auch bei den *Thuja*-Pflanzen beobachtet – an einzelnen Pflanzen trat eine extrem frühe Zapfenbildung auf (Abbildung 21b). Verstärkte Zapfen- bzw. Fruchtbildung mit kleineren Samen wird meist ein Jahr vor dem Absterben des befallenen Baumes beobachtet (Nierhaus-Wunderwald et al 2012). Die Versuchsfläche soll deshalb mindestens einmal jährlich begangen und ihr Zustand überprüft werden, auch wenn keine Inventuren geplant sind. Dies kann im Rahmen der schweizweiten ertragskundlichen Forschung geleistet werden.

Interessant wäre, den Mykorrhiza-Besatz weiter zu verfolgen und dabei den Befund fehlender Mykorrhizen an *Cedrus* und *Abies* zu verifizieren. Die überlebenden Pflanzen und die 2015 nachgepflanzten machen einen vitalen Eindruck.

Als Folgeaktivität des Projekts wird im Weiteren eine alte Versuchsanlage des Kantons Waadt von 1970 (Bois de Forel, Romainmôtier) in einem gerade bewilligten Projekt ertragskundlich und dendrochronologisch erforscht. Dort wurden im Besonderen mehrere Herkünfte von *Cedrus atlantica*, *Pinus nigra* und *Pseudotsuga menziesii* gepflanzt.

5 LITERATUR

Adami, M (2013) Zedernpflanzungen in der Romandie. Eine Studie im Forschungsprojekt «Gastbaumarten». Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 13 S.

Bolte A, Ibisch PL (2007) Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz. AFZ/Der Wald 62: 572-576.

Brang P, Bugmann H, Bürgi A, Mühlethaler U, Rigling A, Schwitter R (2008) Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. Schweiz Z Forstwes 159: 362-373.

Brang P, Plüss AR, Bürgi A, Born J (2016) Potenzial von Gastbaumarten bei der Anpassung an den Klimawandel. Kap. 5.3 in: Plüss A, Brang P, Augustin S. (Red.). Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Birmensdorf und Bern, Eidg. Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft WSL, Bundesamt für Umwelt BAFU. Haupt.

Brodowski J (2015) Erste Aufnahmen und deren Auswertung zu einem 2012 begonnenen Anbauversuch mit ausgewählten allochthonen Baumarten aus trocken-warmen Arealen im Thüringer Forstamt Sondershausen. Masterarbeit, Fakultät Umweltwissenschaften, TU Dresden, 168 S.

Buffi R (1987) Le specie forestali per la zone castanile insubrica. Mitt Eidgen Anst forstl Vers.wes 63(3): 411-656.

Bürgi A, Diez C (1986) Übersicht über den Exotenanbau in der Schweiz aufgrund einer Umfrage vom Herbst/Winter 1984/85. Schweiz Z Forstwes 137: 833-851.

Courbet F, Lagacherie M, Marty P, Ladier J, Ripert C, Riou-Nivert P, Huard F, Amandier L, Paillassa E (2012) Le cèdre en France face au changement climatique: bilan et recommandations. 29 S.

Diez C, Bürgi A (1991) Wuchsleistung und Qualität von Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco), Riesen-Lebensbaum (*Thuja plicata* Donn) und Roteiche (*Quercus rubra* L.) in der Schweiz. Ber Eidgen Forsch.anst Wald Schnee Landsch 329: 46 S.

- Don A, Arenhövel W, Jacob R, Scherer-Lorenzen M, Schulze ED (2006). Anwuchserfolg von 19 verschiedenen Baumarten bei Erstaufforstungen – Ergebnisse eines Biodiversitätsexperiments. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 178(9/10): 164-172.
- Grossnickle SC (2005) Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests* 30: 273-294.
- Hawksworth DL, Gibson IAS (1976) *Phialophora parasitica* associated with disease conditions in various trees. *Transactions of the British Mycological Society* 66: 427-431.
- Kolly AC, Späni M (2013) Merkmalskatalog zur Knospenphänologie von sechs Gastbaumarten. Praktikumsbericht. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 26 S.
- Lechowicz MJ (1984). Why do temperate deciduous trees leaf out at different times? Adaptation and ecology of forest communities. *The American Naturalist* 124: 821-842.
- Messinger J, Güney A, Zimmermann R, Ganser B, Bachmann M, Remmele S, Aas G (2015) *Cedrus libani*: A promising tree species for Central European forestry facing climate change? *Eur J Forest Res* 134: 1005-1017.
- Mikola P (1970) Mycorrhizal inoculation in afforestation. *Int Rev For Res* 3: 123-196.
- Nierhaus-Wunderwald D, Engesser R, Rigling D (2012) Hallimasch - Biologie und forstliche Bedeutung. 2. überarbeitete Auflage. *Merkbl. Prax.* 21: 8 S.
- Remund J, von Arx G, Gallien L, Rebetez M, Huber B, Zimmermann NE (2016) Klimawandel in der Schweiz - Entwicklung walddrelevanter Klimagrößen. In: Pluess AR, Augustin S, Brang P. (Red.) *Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien*. Bern, Bundesamt für Umwelt BAFU; Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. Bern, Stuttgart, Wien, Haupt: 23-37.
- Ruhm W (2013) *Thuja plicata* (Riesenlebensbaum, Kanadische Rotzeder). www.waldwissen.net.
- Schmiedinger A, Bachmann M, Kölling C, Schirmer R (2009) Verfahren zur Auswahl von Baumarten für Anbauversuche vor dem Hintergrund des Klimawandels. *Forstarchiv* 80: 15-22.
- Spellmann H, Weller A, Brang P, Michiels HG, Bolte A (2015a) Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). [Kapitel 4.12] In: Vor T, Spellmann H, Bolte A, Ammer C. (eds) *Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten. Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung*. Göttinger Forstwissenschaften. Band 7. Göttingen, Universitätsverlag. 187-217.
- Spellmann H, Brang P, Hein S, Geb M (2015b). Grosse Küstentanne (*Abies grandis* Dougl. ex D. Don Lindl.). [Kapitel 4.1] In: Vor T, Spellmann H, Bolte A, Ammer C. (eds) *Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten. Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung*. Göttinger Forstwissenschaften. Band 7. Göttingen, Universitätsverlag. 29-46.
- St. Clair BJ, Howe GT (2007) Genetic maladaptation of coastal Douglas-fir seedlings to future climates. *Global Change Biology* 13: 1441-1454.
- Tschopp T (2011) Geschichte der exotischen Baumarten in der Schweiz. Masterarbeit, Departement Umweltnaturwissenschaften, ETH Zürich, 73 S.

Tschopp T (2012) Erfahrungen mit fünf exotischen Baumarten in der Schweiz. Voruntersuchung zum Forschungsprojekt «Gastbaumarten». Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 23 S.

Tzonev R, Dimitrov M, Roussakova V et al (2006) Beech forest communities in Bulgaria. *Phytocoenologia* 36(2): 247-279.

Zimmermann N, Kienast F (1999) Predictive mapping of alpine grasslands in Switzerland: Species versus community approach. *Journal of Vegetation Science* 10: 469-482.

6 ANHANG

6.1 IM PROJEKT ENTSTANDENE PUBLIKATIONEN

Veröffentlichungen

Brang P, Ninove C (2015) Une plantation expérimentale comprenant six essences exotiques. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 166(1): 45-47.

Brang P, Plüss AR, Bürgi A, Born J (2016) Potenzial von Gastbaumarten bei der Anpassung an den Klimawandel. Kap. 5.3 in: Pluess A, Brang P, Augustin S. (Red.). *Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien*. Birmensdorf und Bern, Eidg. Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft WSL, Bundesamt für Umwelt BAFU. Haupt: 385-405.

Brang P, Plüss AR, Bürgi A, Born J (2016) Potentiel des essences exotiques dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques. In: Pluess A, Brang P, Augustin S. (Réd.), *Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation*. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV; Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL; Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 391-411.

Spellmann H, Weller A, Brang P, Michiels HG, Bolte A (2015a) Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). [Kapitel 4.12] In: Vor T, Spellmann H, Bolte A, Ammer C. (eds) *Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten. Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung*. Göttinger Forstwissenschaften. Band 7. Göttingen, Universitätsverlag. 187-217.

Spellmann H, Brang P, Hein S, Geb M (2015b) Grosse Küstentanne (*Abies grandis* Dougl. ex D. Don Lindl.). [Kapitel 4.1] In: Vor T, Spellmann H, Bolte A, Ammer C. (eds) *Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten. Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung*. Göttinger Forstwissenschaften. Band 7. Göttingen, Universitätsverlag. 29-46.

Technische Berichte

Adami M (2013) Zedernpflanzungen in der Romandie. Eine Studie im Forschungsprojekt «Gastbaumarten». Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 13 S.

Kolly AC, Späni M (2013) Merkmalskatalog zur Knospenphänologie von sechs Gastbaumarten. Praktikumsbericht. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 26 S.

Tschopp T (2012) Erfahrungen mit fünf exotischen Baumarten in der Schweiz. Voruntersuchung zum Forschungsprojekt «Gastbaumarten». Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 23 S.

Dämpfle L (2014) Projekt Gastbaumarten - Gesamtaufnahme Nachpflanzung und Phänologie 2014. Technischer Bericht. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 16 S.

6.2 UMSETZUNGSBEITRÄGE

P. Brang hat auf eine Medienanfrage hin zu exotischen Baumarten Auskunft gegeben (Interview 3.5.2012 mit Beitrag in Westschweizer Zeitungen, Fernseh-Beitrag, Interview Tages-Anzeiger).

Es wurden Projekt-Websites auf Deutsch und Englisch erstellt (http://www.wsl.ch/fe/waldressourcen/projekte/gastbaumarten/index_DE und http://www.wsl.ch/fe/waldressourcen/projekte/gastbaumarten/index_EN).

Brang, P. 2012. Bäume für das Klima von Morgen (6/8): Die Schwarzföhre. Ein Exote mit wenig Durst. Schweizer Bauer, 21.11.2012

Brang, P. 2012. Bäume für das Klima von Morgen (8/8): Douglasie. Masshalten mit dem Wunderbaum. Schweizer Bauer, 5.12.2012

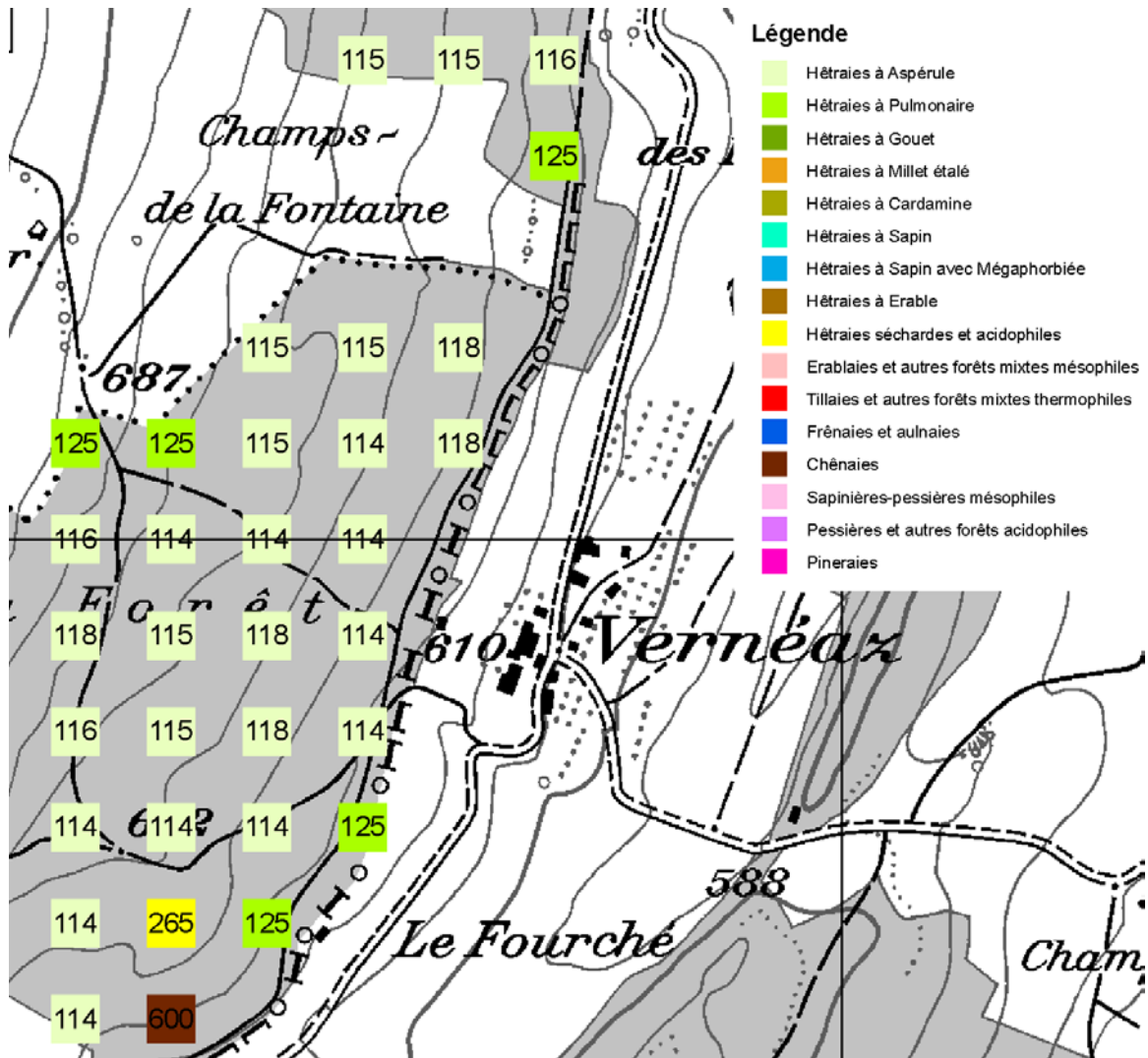
Meier S. 2016. Riesen-Thuja soll der Hitze trotzen. Sechs Exoten im Anbauversuch. Schweizer Bauer, 19.10.2016, S. 1 und 19

6.3 ARCHIVIERUNG DER DATEN

Die Daten sind in einer Datenbank an der WSL archiviert. Eine Lieferung der Daten an die LWF (Freising, Deutschland) als Projekt-Leadpartner ist geplant, aber die definitive Datenspezifikation steht noch aus.

6.4 WEITERE UNTERLAGEN

Pflanzensoziologische Karte (Quelle: Kanton Waadt).



Datenblätter zur Aufnahme des Bodenprofils.

Protokoll Wasserhaushalt ADAPT Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, Schweiz FE Waldböden 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.

Standorts-Id
Braug-Vaumarcus

Profilskizze
Horizontierung: A_h, A, B₁, B₂

4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	19	20	21
7	4	0	2	2	3	2	0	2	3	3	0	7	4	0
0	2	3	2	3	2	0	7	2	3	3	0	7	4	0
0	1	5	3	2	3	3	0	7	1	2	3	2	3	0
0	4	5	4	2	3	3	4	0	7	1	0	7	4	0

24 Humusform (24-0000): Moder (2)
26 Bodentyp (26-0000): Braunerde
27 Vernässungsgrad (27-0000): k. Vernässung
28 Bemerkungen zum Profil: Amorphe schwach Mag. reag. Kohlenstoffe im A-Horizont.

1 Aufschlussart
1 Profil
2 Rahmenbohrer
3 Bohrstock

4 Wechsel Geologie/Substrat
0 kein Wechsel
1 Gesteinswechsel (ll)
2 Textur-, Strukturwechsel (2)
3 begraben (li)

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%

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 (12-50 mm)
3 subpolyedrisch (5-30 mm)
4 Fragmente (>50mm)
5 prismatisch (30-300 mm)
6 plattig (1-50 mm)
7 Häute (Ton/Humus)

11 Lagerungsdichte Feinerde
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 Vernässung
1 Konkretionen (schwarz)
2 Diffus-Rostflecken
3 Kontrast-Rostflecken
4 Zahl-Rost-Färbungen (Marmorierungen)
5 Reduktionsfarben (grau/blau/grün)
6 Nassbleichung

13 Vernässung durch
1 Hangwasser
2 Grundwasser
3 Stauwasser

14 Aktuelle Bodenfeuchtigkeit
1 trocken 4 nass
2 frisch 5 gesättigt
3 feucht

15 Humusgehalt
siehe Beilage 8
0 humusfrei <0,5% Corg
1 humusarm 0,5-2%
2 schwach humos 2-5%
3 humos 5-10%
4 stark humos 10-15%
5 humusreich/amorph 15-20%
6 sehr humusreich 20-30%
7 organisch >30%

20 Feinwurzeln
(Durchwurzelungstiefe)
Bezugsfläche 10 x 10 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 Vernässung

Allgemeine Daten
Projekt: ADAPT
Landeskarte 1:25'000
Blatt-Nr.: 54659
Koordinaten GPS: 197172
Datum: 08

Angaben zur Vegetation
Waldtyp:
 1 Buchenwald
 2 Laubhainbuche
 3 Mischwald Laub-Nadelholz
 4 Nadelhainbuche
 5 Fichten-Tannen-Wald
 6 Föhrenwald
 7 Arven-Lärchen-Wald

Deckungswerte:
Baumschicht: 70% Höhe: 24 m
Strauchschicht: 20% Höhe: 3,5 m
Krautschicht: 30% Höhe: 0,6 m

Aufnahmegruppe: P. Hengartner

Photodokumentation:
Photos gemacht:
 ja
 nein
wenn nein, warum?
* zur Profil



Bodenbildungsfaktoren
Codes Relief:
Relief:
1 ebene Fläche
2 Kuppe Oberhang
3 Mittelhang
4 Hangflur, Mulde
5 unbestimmt
6 Kleinkuppe
7 Kleinmulde
Mikrorelief:
1 gleichmässig
2 mässig variabel
3 stark variabel

Geologie / Substrat
Karte: Moräne
Feldbeobachtung (inkl. Kalkgehalt im Ausgangsgestein): Moränenmaterial, carbonat-p.e.

Lageskizze des Bodenprofils
Wald Wiese
Profil
ca. 100m
ca. 60m
Wiese
Fuhrstrasse
Wald

6.5 FOTODOKUMENTATION

Die folgenden Fotos geben einen Eindruck vom Zustand und der Entwicklung der Versuchsfläche.

	<p>Zustand im Januar 2013, im Winter nach der Pflanzung. Im Vordergrund eine Parzelle mit <i>Tsuga</i>. Die Bäumchen im Randbereich sind mit Tonkin-Stäben markiert, die im Kernbereich mit Robinienpfählen.</p>
	<p>Dieselbe <i>Tsuga</i>-Fläche im November 2016.</p>

Die folgenden Fotos von Einzelbäumen zeigen jeweils links den Zustand im Herbst 2013 oder Winter 2014 und rechts den Zustand im Herbst 2016.



Abies



Cedrus



Fagus



Tilia



Tsuga



Thuja



Quercus



Arbeiten bei der Installation der Klimastation im Herbst 2016.