

Ertragskundliche Versuchsfläche Bois de Forel – Auswertung der Waldinventur 2018 und Jahrringstudie zur Trockenheitstoleranz von Atlaszeder, Douglasie und Schwarzföhre



Jan Geyer, Peter Brang



Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
Birmensdorf ZH

Juli 2019

Autoren

Jan Geyer und Peter Brang

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

Zitierung

Geyer, J., Brang, P. 2019. Ertragskundliche Versuchsfläche Bois de Forel – Auswertung der Waldinventur 2018 und Jahrringstudie zur Trockenheitstoleranz von Atlaszeder, Douglasie und Schwarzföhre. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 89 S.

Dieser Bericht ist der Schlussbericht des Projekts „Reaktivierung Versuche mit Gastbaumarten Bois de Forel“, finanziert vom Wald- und Holzforschungsfonds (WHFF) und vom Kanton Waadt.

Wir danken Anne Verstege (WSL) für die Unterstützung mit Material und Kathrin Brändli (WSL) für die Mithilfe bei der Feldarbeit. Im Weiteren danken wir Roger Köchli und Stephan Zimmermann (beide WSL) für die bodenkundlichen Feldaufnahmen im Bois de Forel und die Laboranalysen sowie Stephan Zimmermann für die Beschreibung der entsprechenden Methoden in diesem Bericht. Schliesslich sei die Finanzierung des Projekts durch den WHFF und den Kanton Waadt bestens verdankt.

Umschlagfoto: Schwarzföhren im Bois de Forel.

Inhalt

Abkürzungen	5
Zusammenfassung	6
Résumé	7
1 Einleitung	8
1.1 Geschichte des Baumarten- und Provenienzversuchs	8
1.2 Projektablauf der Reaktivierung der Versuchsfläche	9
2 Auswertung der ertragskundlichen Erstinventur 2018	10
2.1 Baumartenanteile und Grösse der Teilflächen	10
2.2 Statistische Modellierung ertragskundlicher Kenngrössen	16
2.2.1 Vorgehen bei der statistischen Modellierung	16
2.2.2 Durchschnittlicher Gesamtzuwachs	17
2.2.3 Grundfläche	18
2.2.4 Oberdurchmesser	18
2.2.5 Oberhöhe	21
2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Erstinventur 2018	22
3 Untersuchung der Zuwachsreaktion von Douglasie, Schwarzföhre und Atlaszeder nach Trockenheit	24
3.1 Methoden der Jahrringstudie	24
3.1.1 Bodenansprache im Feld und Laboranalysen	24
3.1.2 Klimadaten und Trockenheitsindex	25
3.1.3 Auswahl der Probestämme	25
3.1.4 Bohrkernentnahme	26
3.1.5 Jahrringmessung und Datierung	26
3.1.6 Chronologien und Trendbereinigung	26
3.1.7 Ermittlung des Grundflächenzuwachses	26
3.1.8 Klima-Wachstums-Analyse	27
3.1.9 Resilienzindizes des Durchmesserzuwachses	27
3.1.10 Generelle Lineare Modelle	27
3.2 Ergebnisse der Jahrringstudie	28
3.2.1 Klima	28
3.2.2 Boden	29
3.2.3 Übersicht über die Probestämme	30
3.2.4 Dendroökologische Ergebnisse	32
3.2.5 Klima und Wachstum	35
3.2.6 Resilienzindizes für 2003	36
3.2.7 Statistische Modellierung der Resilienzindizes	39

3.3	Zusammenfassung und Interpretation der Jahrringstudie	40
3.3.1	Zusammenfassung.....	40
3.3.2	Interpretation im Licht anderer Studien	41
4	Erhebung der Douglasien-Naturverjüngung	43
4.1	Ziel und Methoden.....	43
4.2	Ergebnisse	43
5	Diskussion	44
5.1	Methodenkritik	44
5.2	Synthetische Bewertung der Baumarten	44
6	Literatur	48
7	Anhang zur Jahrringstudie.....	50
7.1	Kennwerte der fünf Bodenprofile	50
7.2	Chronologien (Rohwerte und trendbereinigte Werte)	55
7.3	Klima-Wachstumskorrelationen.....	58
7.4	Resilienzindizes.....	64
7.5	Modellergebnisse	67
7.5.1	Modelle für alle Arten	67
7.5.2	Modelle für alle Herkünfte	67
7.5.3	Modell für Atlaszeder	68
7.5.4	Modelle für Schwarzföhre.....	68
7.5.5	Modelle für Douglasie	68
7.6	Material.....	76
8	Anhang zur ertragskundlichen Fläche und Auswertung.....	80
8.1	Provenienzverzeichnis.....	80
8.2	Modellergebnisse mit modifiziertem Datensatz	81
8.3	Dokumentübersicht und ertragskundliche Kennzahlen der Teilflächen	86

Abkürzungen

BHD	Brusthöhendurchmesser
BT	Bodentyp
dGZ	Durchschnittlicher Gesamtzuwachs
G	Grundfläche
glm	Generelles lineares Modell
nWSK	Nutzbare Wasserspeicherkapazität
SPEI	Standardized precipitation evapotranspiration index
TFL	Teilfläche
VFL	Versuchsfläche
WGS	Waldgesellschaft

Zusammenfassung

Der Kanton Waadt hat 1970 im Bois de Forel bei Romainmôtier eine ertragskundliche Versuchsfläche mit 12 exotischen und 2 einheimischen Baumarten auf 7,5 ha angelegt und bis 2002 verfolgt. Gepflanzt wurden u.a. je 4 Provenienzen von Douglasie und Schwarzföhre und eine der Atlaszeder auf trockenen Buchenwald-Standorten. 3,7 ha der Versuchsfläche hat die WSL 2017 mit ertragskundlichen Standardmethoden eingerichtet und aufgenommen. Zudem wurde die VFL bodenkundlich charakterisiert und die Reaktion von Atlaszeder, Douglasie und Schwarzföhre auf Trockenheit anhand von Jahrringen untersucht. Zudem wurde die Geschichte des Versuchs aufgrund der vorhandenen Dokumentation, die hauptsächlich die Periode 1970 bis 2002 abdeckt, aufgearbeitet.

Auf dem bodentrockenen Standort Bois de Forel variieren das Mikrorelief und mit ihm die Gründigkeit und der Skelettgehalt. Dies führt zu erheblichen Unterschieden in der nutzbaren Wasserspeicherkapazität, was das Wachstum der Bäume und deren Erholung nach Trockenheit signifikant beeinflusst. Bei gleichbleibenden Niederschlägen nahm die Jahresmitteltemperatur im Untersuchungszeitraum stetig zu. Die Bäume auf der Versuchsfläche waren immer trockeneren klimatischen Verhältnissen ausgesetzt.

Insgesamt zeigen sich erhebliche Unterschiede im Wachstumsniveau, in der Mortalität und in der Reaktion auf Trockenheit zwischen den Baumarten; hingegen sind die Unterschiede zwischen verschiedenen Herkunftsn der selben Baumart eher gering. Nach anfänglich geringen Durchmesserzuwächsen erreichen die Atlaszedern in den vergangenen 20 Jahren ein ähnliches Wachstumsniveau wie die Douglasien. Der Durchmesserzuwachs der Schwarzföhre war anfangs ähnlich hoch wie bei der Douglasie, blieb aber später hinter ihr und der Atlaszeder zurück.

Die untersuchten Schwarzföhren zeigen nach Trockenperioden die geringsten Wachstumseinbussen und die langsamsten Erholungsraten der drei Baumarten. Am stärksten büssen die Douglasien im Durchmesserwachstum ein. Atlaszedern und Douglasien weisen eine ähnliche Erholungsfähigkeit nach Trockenheit auf. Die Provenienzen der untersuchten Baumarten unterscheiden sich in ihrem Wachstum und der Reaktion auf Trockenheit nur wenig. Die Douglasienprovenienz „Enumclaw“ erreicht etwas höhere Grundflächen- und durchschnittliche Gesamtzuwachswerte, ihr Durchmesserzuwachs reagiert auf Trockenheit aber am wenigsten resistent. Der Durchmesserzuwachs der Schwarzföhrenprovenienz „Lozère“ zeigt geringere Widerstands- und Erholungsfähigkeit gegenüber Trockenheit als der anderer Schwarzföhrenherkünfte.

Insgesamt hat sich auf den trockenen Kalkstandorten des Bois de Forel bis ins Alter von 47 Jahren die Douglasie am besten bewährt, bei geringen Herkunftsunterschieden. Die Atlaszeder hatte erhebliche Anwuchsschwierigkeiten und stand der Douglasie im Wachstum anfänglich nach, holt aber auf. Die Föhrenarten reagierten (ausser der Waldföhre) die Trockenperioden 1976 und 2003 sehr gut, zeigen aber seit kurzem hohe Mortalität (am wenigsten die korsische Schwarzföhren-Herkunft), was ihre Eignung stark einschränkt. Die serbische Fichte bleibt im Wachstum hinter den anderen Baumarten zurück; zudem überlebten nur wenige Bäume die Trockenheit von 1976. Die Lärche hat sich als ungeeignet erwiesen.

Résumé

En 1970, le canton de Vaud a installé une plantation expérimentale de 7,5 ha dans le Bois de Forel près de Romainmôtier avec 12 essences exotiques et 2 essences indigènes, et l'a suivi jusqu'en 2002. Entre autres, 4 provenances de Douglas et de pin noir et une de cèdre de l'Atlas ont été plantées sur des sites de hêtraie sèche. En 2017, le WSL a établi une placette de croissance et production forestière sur 3,7 ha de cette plantation expérimentale avec des méthodes de recherche standard. La placette a été caractérisée par l'étude des conditions édaphiques, et la réaction du cèdre de l'Atlas, du Douglas et du pin noir à la sécheresse a été étudiée à l'aide de méthodes dendro-écologiques. En outre, l'historique de l'essai a été reconstruit sur la base d'un dossier existant, qui couvre principalement la période 1970-2002.

Le microrelief du site sec du Bois de Forel varie, de même que la profondeur et le contenu en pierres. Il en résulte des différences considérables dans la capacité de stockage d'eau utilisable, ce qui influence fortement la croissance des arbres et leur résilience après des périodes sèches. La température moyenne annuelle a augmenté progressivement au cours de la période étudiée, les précipitations restant constantes. Les arbres de la placette expérimentale ont donc été exposés à un des conditions climatiques de plus en plus sèches.

Dans l'ensemble, les différences entre les essences dans les niveaux de croissance, la mortalité et la réponse à la sécheresse étaient significatives, tandis que les différences entre les différentes provenances d'une même essence étaient plutôt faibles. Après une croissance initiale lente du diamètre du tronc, les cèdres de l'Atlas ont atteint un niveau de croissance semblable à celui des Douglas au cours des 20 dernières années. La croissance radiale du pin noir était d'abord semblable à celle du Douglas, mais a été surpassé par la suite par le Douglas et le cèdre de l'Atlas.

Les pins noirs étudiés présentent les pertes de croissance les plus faibles et les taux de rétablissement les plus lents des trois essences après les périodes de sécheresse. Ce sont les Douglas qui subissent la plus grande perte de croissance en diamètre. Le cèdre de l'Atlas et le Douglas présentent une capacité de rétablissement similaire après la sécheresse. Les provenances des essences étudiées ne diffèrent que légèrement dans leur croissance et leur réaction à la sécheresse. La provenance du sapin de Douglas "Enumclaw" atteint une surface terrière et des valeurs de croissance globale légèrement supérieures aux autres provenances, mais elle présente la plus faible résistance à la sécheresse. La croissance radiale de la provenance du pin noir "Lozère" montre moins de résistance et de récupération à la sécheresse que celle des autres provenances du pin noir.

Dans l'ensemble, le Douglas a fait ses preuves dans les habitats calcaires secs du Bois de Forel jusqu'à l'âge de 47 ans, avec de faibles différences de provenance. Le cèdre de l'Atlas a d'abord connu une reprise faible, et a démontré une croissance plus faible par rapport au Douglas, mais il est en voie de rattrapage. Les essences de pins ont très bien réagi (à l'exception du pin sylvestre) aux périodes sèches de 1976 et 2003, mais ont récemment montré une forte mortalité (le moins la provenance du pin noir corse), ce qui limite fortement leur aptitude. L'épicéa de Serbie est en retard par rapport aux autres espèces d'arbres en termes de croissance ; de plus, seuls quelques arbres ont survécu à la sécheresse de 1976. Le mélèze s'est révélé inadapté.

1 Einleitung

1.1 Geschichte des Baumarten- und Provenienzversuchs

Der Kanton Waadt hat 1970 eine Versuchsfläche (VFL) mit 12 exotischen und 2 einheimischen Baumarten auf 7,5 ha angelegt (Jeantet 1970; Pflanzung: Frühjahr und Herbst 1970) und bis 2002 verfolgt. Gepflanzt wurden u.a. je 4 Herkünfte von Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) und Schwarzföhre (*Pinus nigra*) sowie eine der Atlaszeder (*Cedrus atlantica*) (s. Herkunftsangaben im Anhang). Die Fläche liegt im Regenschatten des Jura auf trockenen Buchenwaldstandorten. Die daraus resultierenden trockenen Verhältnisse dürften als Folge des Klimawandels zukünftig in der Schweiz verbreitet vorkommen. Ziel eines vom Fonds für Wald- und Holzforschung geförderten Projektes („Reaktivierung Versuche mit Gastbaumarten Bois de Forel“, 2017-2018) war, die VFL zu reaktivieren, das Wachstum über 47 Jahre und die Reaktion auf Trockenjahre der Baumarten und Herkünfte zu erfassen und daraus Anbauempfehlungen abzuleiten.

Die VFL liegt südöstlich exponiert auf 700 m ü.M. am Südrand des Jura (Abbildung 1). Der Jahresniederschlag für die Referenzperiode 1970-2016 liegt bei 1250 mm¹, das Temperaturmittel bei 8,2°C. Ausgangsgestein ist Kalk, der stellenweise mit Moräne überdeckt vorliegt. Der sehr durchlässige Boden neigt aufgrund geringer Wasserspeicherkapazität und starker Sonneneinstrahlung zu Trockenheit. Im Mittel beträgt die Gründigkeit des Bodens knapp über 40 cm. Auf dem Grossteil der VFL liegt der Skelettanteil bei über 80% und die nutzbare Wasserspeicherkapazität (nWSK) unter 35 mm. Daher limitiert sommerliche Bodentrockenheit das Baumwachstum massgeblich.

Nach den Angaben von Jeantet (1970 und 2002) sowie den Versuchsakten, die beim Forstdienst des Kantons Waadt und im PDF-Format auch an der WSL vorhanden sind, wurde der Versuch in zwei Etappen angelegt: Im Frühjahr 1970 wurde der östliche Teil der VFL bepflanzt (bis etwa eine Teilfläche [TFL] westlich über den die VFL teilenden Forstweg hinausreichend²), im Herbst 1970 der westliche. Dies ist auch der Grund für die ungleiche Verteilung der Baumarten über die VFL, denn es wurden pro Zeitpunkt jeweils alle TFL einer Baumart bepflanzt. Der Zaun wurde erst im November 1970 erstellt. Nachpflanzungen wegen Ausfällen erfolgten im Herbst 1970, im Frühjahr 1973, Frühjahr 1975 und Frühjahr 1977. 1990 wurde der Zaun entfernt und ein Lehrpfad eingerichtet. Im Weiteren sind zahlreiche Pflegeeingriffe und auch Wertastungen dokumentiert.

Der Zustand der Pflanzung wurde mehrmals und letztmals 2002 erfasst: Schätzung oder Auszählung der Überlebensrate pro TFL, Höhenmessungen an dominanten Pflanzen. Diese Erfassung diente auch der Planung von Nachpflanzungen. Berichte zum Zustand der Pflanzung gibt es von November 1970, Oktober 1971, Ende 1972/Anfang 1973 (undatiert), Januar 1975, Juni 1976, November 1976, Oktober 1979, November 1985, 1994 und Oktober 2001 (s. Dokumentation des Forstdienstes des Kantons Waadt).

¹ Es ist unklar, weshalb in früheren Dokumenten zur Versuchsfläche Bois de Forel (Jeantet 2002) ein Niederschlag von 800-900 mm angegeben wurde. Dieser Wert scheint zu tief (s. Kap. 3.1.2).

² Dies zeigt u.a. ein Plan vom Herbst 1970 zum Zustand der im Frühjahr 1970 gepflanzten Bäume.

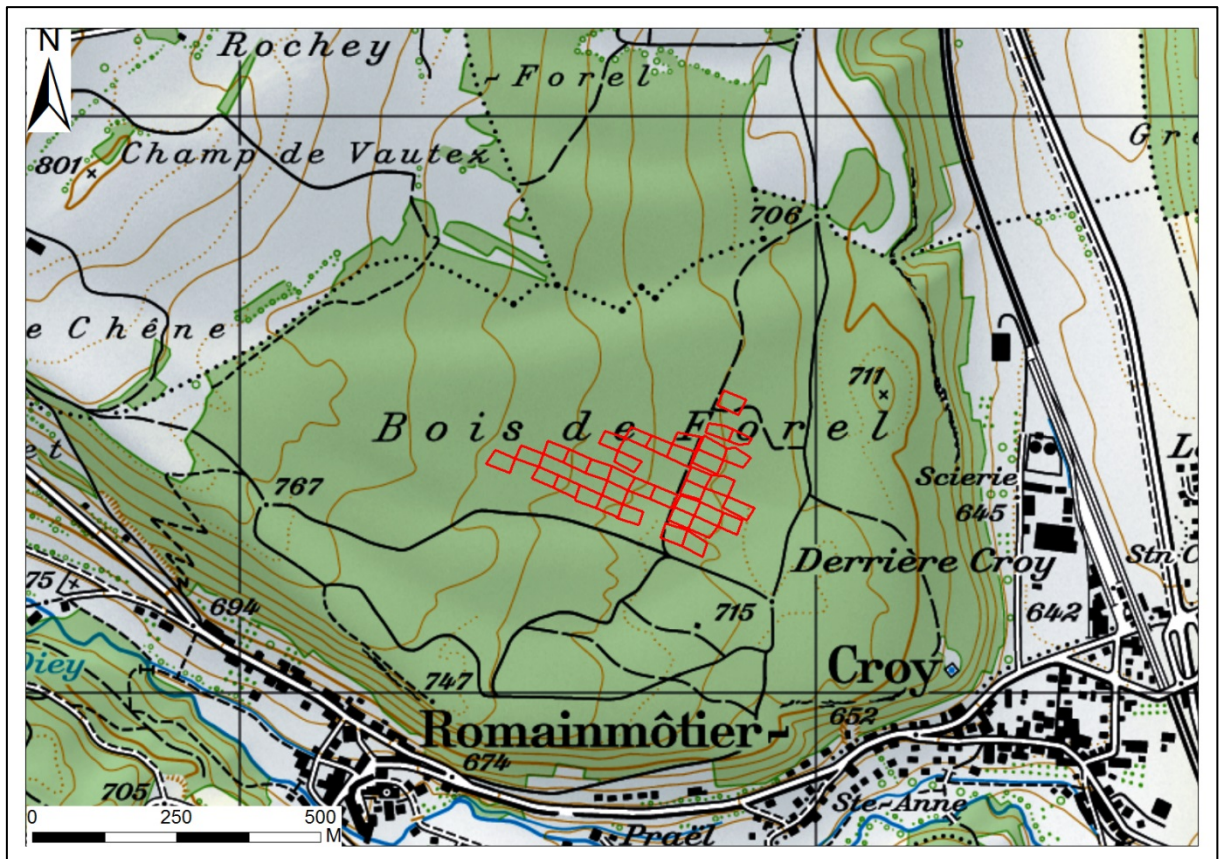


Abbildung 1. Übersichtskarte der VFL Bois de Forel mit der Lage der Teilflächen (Nitzsche & Schmid 2019).

1.2 Projektablauf der Reaktivierung der Versuchsfläche

Die VFL wurde 2017 eingerichtet und während der Vegetationsruhe 2017/2018 ertragskundlich aufgenommen, d.h. nach 47 bis 48 Vegetationsperioden. Die Auswahl der einzurichtenden TFL und die Waldinventurarbeiten sind in einem technischen Bericht beschrieben (Nitzsche & Schmid 2019). Die VFL ist nun Teil des ertragskundlichen Flächen-Netzwerks der WSL und trägt dort die Flächennummer 61192. Grundsätzlich wurden alle TFL, deren Grenzen eindeutig rekonstruierbar schienen, eingerichtet. Die bodenkundliche Untersuchung fand im Sommer 2018 statt. Die Bohrkerne wurden im Oktober und November 2018 entnommen, die Jahrringserien schliessen also das Wachstum des Jahres 2018 mit ein. Die Jahrringbreiten wurden im Winter 2018/2019 gemessen und analysiert. Im März 2019 wurde zudem in und rund um 2 TFL eine Vollarbeit der Douglasien-Naturverjüngung durchgeführt. Schliesslich wurde die beim Forstdienst des Kantons Waadt vorhandene Dokumentation der VFL tabellarisch erfasst.

2 Auswertung der ertragskundlichen Erstinventur 2018

2.1 Baumartenanteile und Grösse der Teilflächen

Die einzelnen Teilflächen (TFL) waren im Mittel 0,099 ha gross (minimale und maximale Werte: 0,064, 0,082, 0,084, 0,090 ha; 0,115, 0,116, 0,121, 0,132 ha)³. Im Bois de Forel wurden auf 3,664 ha Fläche bei Bäumen über der Kluppschwelle von BHD=8 cm 24 verschiedene Baumarten aufgenommen, im Mittel 715 Bäume/ha (Tabelle 1). Mit über 32% der Stammzahl häufigste Baumart ist die Schwarzföhre, die mit vier verschiedenen Provenienzen auf 17 von 37 TFL präsent war. Mit Stammzahlanteilen um die 10% folgen ihr Douglasie (11,7%), Traubeneiche (*Quercus petraea*, 10,8%), Atlaszeder (10,2%) und Gelbföhre (*Pinus ponderosa*, 8,9%). Unter diesen fünf häufigsten Baumarten wurden vier ursprünglich gepflanzt. Die Traubeneiche ist mit 11% der Stammzahl über die gesamte VFL dritthäufigste Baumart und aus Naturverjüngung hervorgegangen.

Tabelle 1. In der Inventur 2018 erfasste Baumarten (Stammzahl/ha, Anteil) nach absteigender Häufigkeit.

Baumart		Kürzel	Stammzahl [N/ha]	Anteil [%]
Schwarzföhre	<i>Pinus nigra</i>	SFö	229.9	32.1
Douglasie	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Dou	84.1	11.7
Traubeneiche	<i>Quercus petraea</i>	TEi	77.5	10.8
Atlaszeder	<i>Cedrus atlantica</i>	AZe	72.9	10.2
Gelbföhre	<i>Pinus ponderosa</i>	GFö	64.2	9.0
Schneeballblättriger Ahorn	<i>Acer opalus</i>	ScA	36.2	5.1
Waldföhre	<i>Pinus sylvestris</i>	WFö	29.0	4.1
Sommerlinde	<i>Tilia platyphyllos</i>	SLi	27.1	3.8
Mehlbeere	<i>Sorbus aria</i>	MBe	26.5	3.7
Hagebuche	<i>Carpinus betulus</i>	HBu	16.7	2.3
Feldahorn	<i>Acer campestre</i>	Fah	16.4	2.3
Elsbeere	<i>Sorbus torminalis</i>	EBe	13.0	1.8
Serbische Fichte	<i>Picea omorica</i>	OFi	8.3	1.2
Buche	<i>Fagus sylvatica</i>	Bu	3.6	0.5
Birnbaum	<i>Pyrus pyraeaster</i>	Bir	3.0	0.4
Esche	<i>Fraxinus excelsior</i>	Es	2.4	0.3
Stechpalme	<i>Ilex aquifolium</i>	StP	1.1	0.1
Flaumeiche	<i>Quercus pubescens</i>	FEi	0.9	0.1
Bergulme	<i>Ulmus glabra</i>	BUI	0.9	0.1
Walnuss	<i>Juglans regia</i>	Nu	0.6	0.1
Weisstanne	<i>Abies alba</i>	Ta	0.5	0.1
Eibe	<i>Taxus baccata</i>	Eib	0.5	0.1
Bergahorn	<i>Acer pseudoplatanus</i>	BAh	0.3	0.0
Fichte	<i>Picea abies</i>	Fi	0.3	0.0

³ Die Planung von 1970 sah Flächen von 25 x 40 m, einen Linienabstand von 2,5 m und einen Pflanzabstand innerhalb der Linie von 2,0 m vor (Jeantet 1970).

Die Übersichtskarte der VFL Bois de Forel (Abbildung 2) zeigt die Lage der TFL, die Kartierung der Bodentypen (BT) sowie die Kartierung der Waldgesellschaften (WGS) des Kantons Waadt. Aufgrund der Kartierung der BT ist davon auszugehen, dass die Bodengüte auf den TFL 311 und 588 sowie in einem Teil von TFL 587 deutlich über dem der restlichen 34 TFL liegt. Im westlichen Teil der VFL, oberhalb der Waldstrasse, dominiert die WGS Seggen-Buchenwald mit Weisssegge (Nr. 14 nach Stocker et al. 2002) bzw. mit Bergsegge (Nr. 15), im östlichen Teil der Lungenkraut-Buchenwald mit Immenblatt (Nr. 10). Standorte der WGS 14 und 15 (Bonität $h_{dom}50$: Laubbäume 14-18; Nadelbäume 16-20) haben laut Stocker et al. (2002) eine etwas geringere Bonität als die der WGS 10 (Bonität $h_{dom}50$: Laubbäume 16-20; Nadelbäume 18-22). Dieser Unterschied mag am leichten West-Ost-Gefälle des Geländes und einer damit einhergehenden höheren Bodenfeuchte auf den tiefer gelegenen TFL liegen, wird jedoch von der Bodenkartierung nicht bestätigt.

Die Baumartenvielfalt im Bois de Forel ist gross, gleichfalls gross sind die Unterschiede in der Stammzahl zwischen den TFL (Abbildung 3). Trotz der diversen Naturverjüngung machen fast 50 Jahre nach Bestandesbegründung die gepflanzten Bäume nach wie vor die Mehrheit der Bäume auf der Fläche aus.

Um die prozentualen Flächenanteile der BT pro Herkunft zu bestimmen, wurde jeder TFL ein BT zugeordnet (Tabelle 2). Bei verschiedenen BT pro TFL wurden prozentuale Anteile bestimmt, wenn ein Anteil mindestens 20% der Grösse der TFL ausmachte.

Tabelle 2. Anzahl TFL und Verteilung der BT pro Baumart und Herkunft.

Baumarten/Herkünfte	N TFL	BT 1	BT 2	BT 3
<i>Cedrus atlantica</i>	5	40%	60%	0%
Provence	5	40%	60%	0%
Nullfläche	1	100%	0%	0%
NA	1	100%	0%	0%
<i>Picea omorica</i>	1	100%	0%	0%
Jugoslawien	1	100%	0%	0%
<i>Pinus nigra</i>	17	37%	58%	5%
Cevennen	1	50%	50%	0%
Korsika	3	40%	60%	0%
Ungarn	4	15%	83%	3%
Lozère	8	54%	35%	11%
Korsika_Cevennen	1	0%	100%	0%
<i>Pinus ponderosa</i>	4	45%	55%	0%
Kalifornien	4	45%	55%	0%
<i>Pinus sylvestris</i>	2	75%	25%	0%
Hochrhein	2	75%	25%	0%
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	7	21%	64%	14%
Enumclaw	2	25%	75%	0%
Millevaches	1	50%	50%	0%
Salmon Arm	2	25%	75%	0%
Wind River	2	0%	50%	50%
Total	37	20%	27%	3%

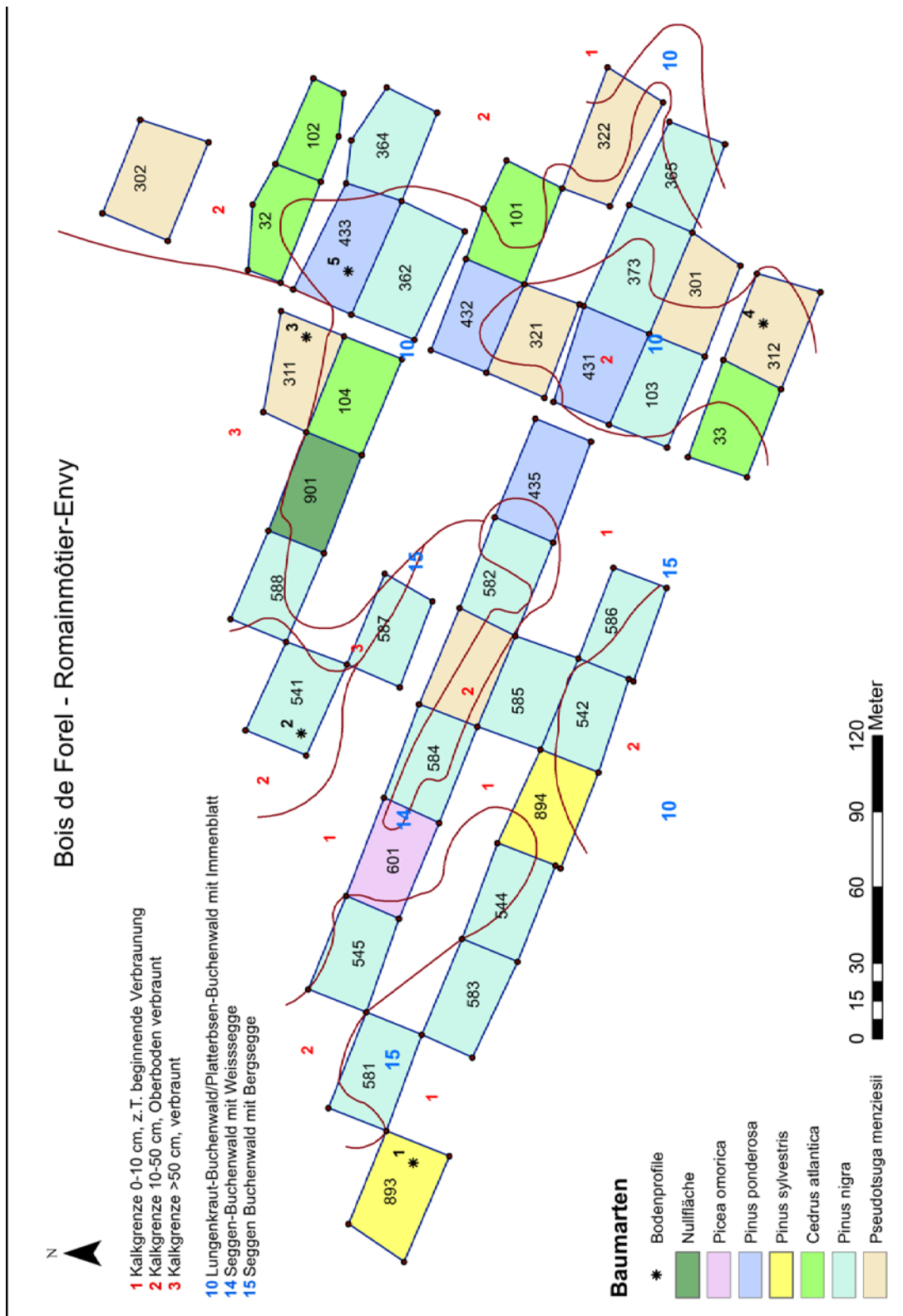


Abbildung 2. Übersichtskarte der VFL Bois de Forel mit den BT (rote Ziffern und Grenzlinien), den Waldgesellschaften nach der Kartierung des Kantons Waadt (blaue Ziffern), den im Rahmen der Flächeneinrichtung angelegten Bodenprofilen (schwarze Sterne mit Ziffern), sowie den TFL mit Nummern und Baumarten.

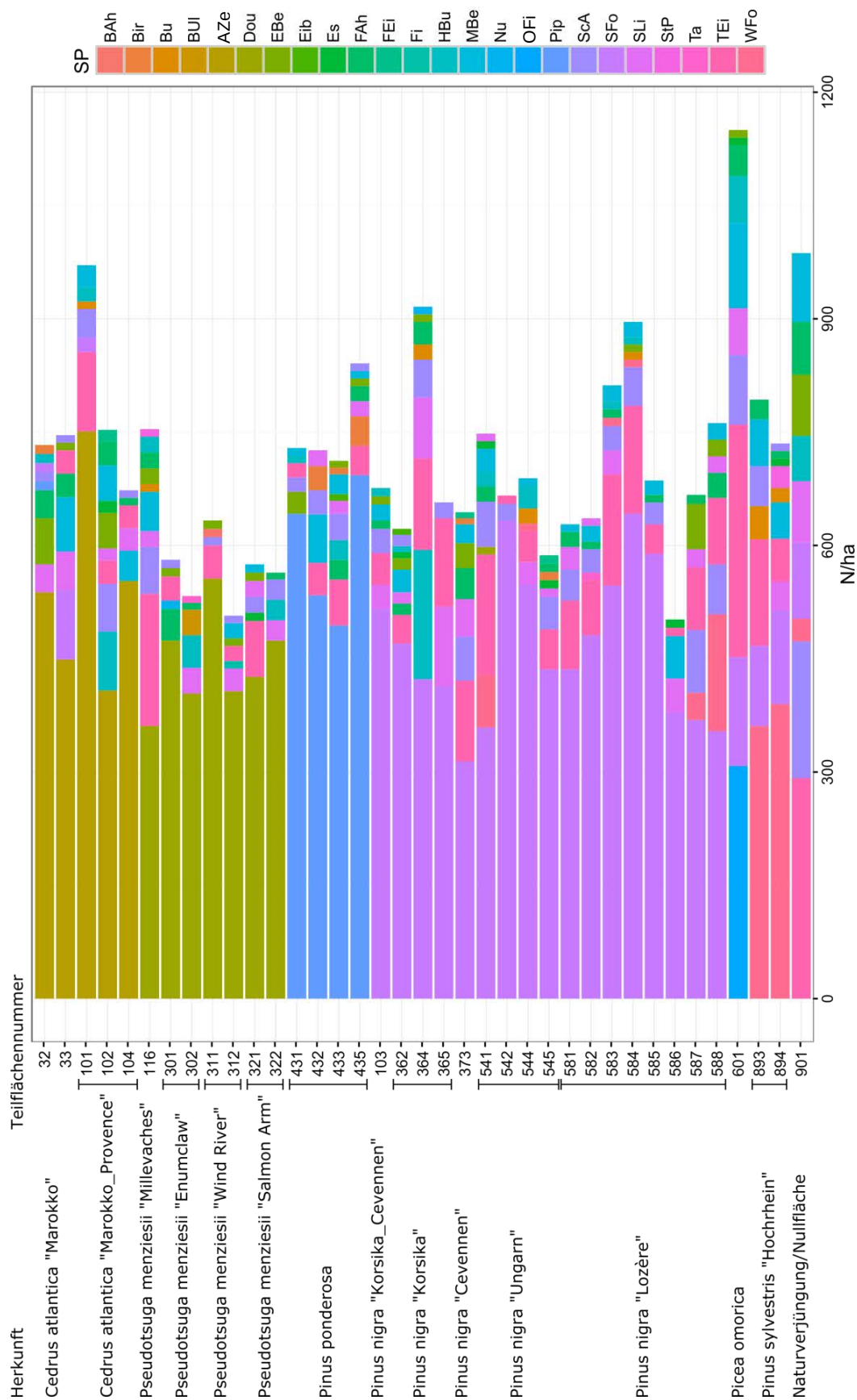


Abbildung 3. Baumartenzusammensetzung pro TFL. Bei der Atlaszeder ist davon auszugehen, dass beide Herkünfte aus der Provence stammen.

Über die gesamte VFL hinweg ist der BT 2 leicht häufiger als der BT 1. Mit 5% nimmt der relativ feuchte BT 3 nur eine kleine Fläche ein. Serbische Fichte, Naturverjüngung und Waldföhre stocken vermehrt auf BT 1, Gelbföhre und Atlaszeder zu etwa gleichen Teilen auf den BT 1 und 2. Die Mehrheit der Schwarzföhren und Douglasien ist auf Böden des BT 2 aufgewachsen. Der BT 3 findet sich in geringen Anteilen auf TFL der Schwarzföhrenprovenienzen „Ungarn“ und „Lozère“. Ausserdem stocken Bäume der TFL 311 (Douglasienprovenienz „Wind River“) fast ausschliesslich auf diesem tiefgründigsten BT.

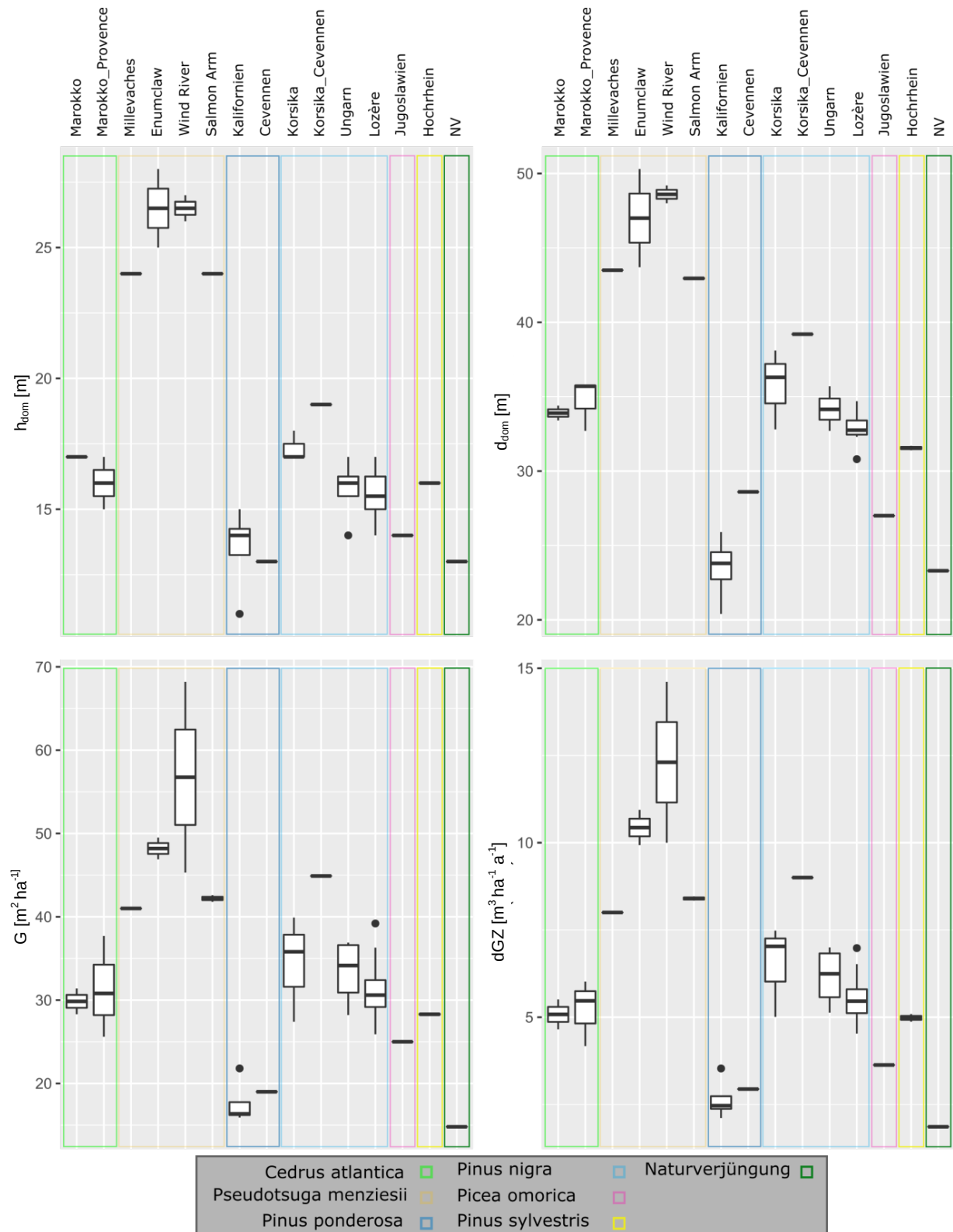
Bei der Atlaszeder ist die Zuteilung der Herkunft zu den TFL aus den Unterlagen (Jeantet 1970, 2002 sowie unveröffentlichte Dokumentation des Kantons Waadt) nicht ganz klar. Es sind Nachpflanzungen im Herbst 1970 und im Jahr 1973 dokumentiert, bei der in einer Tabelle (Dokumentation des Kantons Waadt) von „Monts Atlas“ die Rede ist. Es wird aber angenommen, dass dies nur eine Interpretation zur „Cèdre de l'Atlas“ ist und wie zuvor die Herkunft aus der Provence (230 m ü.M.) verwendet wurde.

Die durchschnittliche Stammzahl beträgt 2018 etwas über 700/ha. Im Vergleich dazu lag der Pflanzverband bei 2,5 m x 2,0 m und die ursprüngliche Stammzahl bei 2000 Pflanzen/ha (Jeantet 1970; Jeantet gibt zwar 2500/ha an, aber seine genauen Angaben zum Pflanzverband scheinen vertrauenswürdiger). Ähnliche Pflanzzahlen sind für Zeder in Frankreich derzeit üblich (Courbet et al. 2012a und b), Föhrenflächen wurden in den 1970er Jahren üblicherweise mit wesentlich höheren Pflanzzahlen begründet.

Beim Vergleich der Bestandeskennzahlen für alle TFL (Tabelle 36) fällt die deutliche Überlegenheit der Douglasienflächen bezüglich BHD, Baumhöhe, Grundfläche (G) und Zuwachs (Abbildung 4) auf. Die Gelbföhrenflächen weisen unter allen bepflanzten Flächen die geringsten Werte auf, etwas höhere Werte zeigt die TFL der serbischen Fichte. Zedern-, Schwarzföhren- und Waldföhrenflächen liegen auf mittlerem Niveau. Den geringsten Wert aller Flächen erreichte die Nullfläche.

Deutliche Unterschiede zwischen den TFL zeigen sich auch bezüglich des Anteils der ursprünglich gepflanzten Baumarten an der Gesamtstammzahl. Da Nachpflanzungen und die Bestandesbehandlung nicht vollständig dokumentiert sind, können diese Unterschiede nicht nur auf Standorts- und Provenienzunterschiede zurückgeführt werden. Immerhin können solche Unterschiede aufgrund der aufgenommenen Daten näher charakterisiert werden.

So nimmt *Pinus nigra* auf der Schwarzföhren-TFL 542 fast 95% der Stammzahl und >99% des Volumens ein (Tabelle 37 im Anhang). Auf dieser TFL wurden nur wenige abgestorbene oder fehlende Föhren gefunden (11/ha), die stammzahlarme NV besteht nur aus *Acer opalus* und *Quercus petraea*. Auf der Schwarzföhren-TFL 588 dagegen nimmt die Schwarzföhre nur 46% der Stammzahl und 57% des Volumens ein. Hier ist die Zahl der abgestorbenen oder fehlenden Schwarzföhren hoch (283/ha), die Naturverjüngung ist artenreich und macht über 40% des Volumens aus.



Die **mittleren Oberhöhen** (h_{dom}) sind für die TFL der marokkanischen Zedern identisch, die Unterschiede auf den gemischten Flächen gering. Das Niveau von h_{dom} in den TFL des Douglasienkollektivs ist von allen TFL mit grossem Abstand am höchsten. Innerhalb der Bäume der TFL des Schwarzföhrenkollektivs zeigt die TFL 373 (Cevennen) die geringsten h_{dom} -Werte. Die Baumhöhen auf den Schwarzföhrenflächen liegen im Mittel auf einem ähnlichen Niveau wie die der Zedern- und Waldföhrenflächen.

Die **mittleren Oberdurchmesser** (d_{dom}) unterscheiden sich für die Zedern weder zwischen noch innerhalb der Herkünfte und bewegen sich auf einem mittleren Niveau um 35 cm. Das Niveau von d_{dom} in den TFL des Douglasienkollektivs ist von allen TFL am höchsten. Die Bäume der TFL des Schwarzföhrenkollektivs nehmen im Vergleich ein mittleres Niveau ein, die Waldföhrenflächen zeigen ähnliche mittlere d_{dom} . Gemeinsam mit der Nullfläche finden sich die geringsten mittleren d_{dom} auf den TFL des Gelbföhrenkollektivs.

Die **Grundflächen** sind in Zedern- und Schwarzföhrenflächen ähnlich. Ausnahmen sind die geringe G in den TFL mit der Schwarzföhrenprovenienz „Cevennen“ sowie die hohe G der TFL der Provenienz „Korsika_Cevennen“. Die erwartungsgemäss hohen G der Douglasienflächen gipfeln in der TFL „311“ auf BT 3 mit 68.2 m²/ha. Die niedrigste Grundfläche weisen die Gelbföhrenflächen mit ca. 17 m²/ha sowie die Nullfläche mit unter 15 m²/ha auf.

Der **dGZ** der Zedernflächen liegt im Mittel knapp über 5 m³/a und damit auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Allerdings zeigen die Abbildung 11 und 13, dass sich die Durchmesserzuwächse der Zedern in den vergangenen 20 Jahren auf fast identischem Niveau mit denen der Douglasien befinden.

Insgesamt sind alle Kennzahlen bezüglich der Verhältnisse zwischen den Baumarten und den Provenienzen innerhalb der Baumarten sehr einheitlich.

2.2 Statistische Modellierung ertragskundlicher Kenngrössen

2.2.1 Vorgehen bei der statistischen Modellierung

Die ertragskundlichen Grössen dGZ, G, d_{dom} und h_{dom} wurden in einfachen linearen Modellen in Abhängigkeit von Herkunft und BT modelliert. Vergleichsgruppen für die Interpretation der Ergebnistabellen (Tabelle 14-17) sind die gemischten Atlaszedernflächen „Marokko_Provence“ (TFL 101, 102, 104) sowie BT 1.

BT 3 ist deutlich tiefgründiger und hat eine grössere nWSK als BT 1 und 2. Modellergebnisse und beschreibende Statistik zeigen, dass sich dieser BT klar stärker von BT 1 und 2 unterscheidet als diese voneinander. Da BT 3 aber nur auf zwei TFL dominiert (TFL 311, Douglasie „Wind River“, und 588, Schwarzföhre „Lozère“) und diese Anzahl für ein robustes Modell zu klein scheint, wurden die Modelle separat auch ohne diese TFL berechnet. Zudem machen BT 1 und 2 bei etwa einem Drittel der verbleibenden TFL je etwa die Hälfte des BT aus. Um die Zwischenstellung dieser TFL abzubilden, wurde für sie eine weitere Kategorie „BT 1.5“ gebildet.

Um Herkunftsunterschiede innerhalb der Baumarten zu testen, wurden mithilfe eines Post-Hoc-Tests (Tukey's Range Test) die Herkünfte derselben Baumart untereinander sowie die Waldföhrenherkunft mit den Schwarzföhren verglichen. Dabei wurden im Vergleich der Douglasienherkünfte keine signifikanten Unterschiede für d_{dom} , h_{dom} , G und $d\text{GZ}$ gefunden. $d\text{GZ}$ und d_{dom} sind auf der Schwarzföhrenfläche Korsika_Cevennen signifikant höher als auf der Fläche mit reiner Cevennenherkunft. Signifikante Unterschiede zwischen den Waldföhren- und Schwarzföhrenherkünften wurden keine gefunden.

2.2.2 Durchschnittlicher Gesamtzuwachs

Der $d\text{GZ}$ der gemischten Zedernflächen unterscheidet sich nicht signifikant von dem der TFL „Provence“, der Fichtenfläche, den Flächen der korsischen und ungarischen Schwarzföhren und der Provenienz „Lozère“ sowie den Waldföhrenflächen (Tabelle 3, Abbildung 5). Die Nullfläche, die Gelbföhrenflächen sowie die TFL der Schwarzföhrenprovenienz „Cevennen“ haben einen negativen, Flächen aller Douglasienherkünfte sowie der Schwarzföhrenherkunft „Korsika_Cevennen“, einen positiven Effekt auf den $d\text{GZ}$. Der $d\text{GZ}$ scheint mit steigender Bodengüte zu steigen. Dieser Effekt ist jedoch nicht signifikant.

Tabelle 3. Modellergebnisse für glm ($d\text{GZ} \sim \text{Herkunft} + \text{BT}$) mit BT 1.5 ohne BT 3. Die Tabelle gibt für die verwendeten Koeffizienten einen Schätzwert (Estimate), den Standardfehler (Std. Error), die Teststatistik (t value) sowie den dazugehörigen Pr Wert an. Die Sterne verdeutlichen das Signifikanzniveau.

dGZ	Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
	(Intercept)	4.86	0.56	8.74	6.81E-08	***
	<i>Cedrus atlantica</i> Provence	-0.32	0.78	-0.41	0.6837	
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Enumclaw	5.03	0.78	6.48	4.29E-06	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Millevaches	2.82	0.99	2.83	0.0110	*
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Salmon Arm	3.00	0.78	3.86	0.0011	**
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Wind River	4.38	1.01	4.36	0.0004	***
	<i>Picea omorica</i> Jugoslawien	-1.23	1.01	-1.22	0.2382	
	<i>Pinus ponderosa</i> Kalifornien	-2.41	0.66	-3.63	0.0019	**
	<i>Pinus nigra</i> Cevennen	-2.24	0.99	-2.25	0.0370	*
	<i>Pinus nigra</i> Korsika	1.29	0.68	1.88	0.0762	.
	<i>Pinus nigra</i> Korsika_Cevennen	3.38	1.01	3.36	0.0035	**
	<i>Pinus nigra</i> Ungarn	0.64	0.67	0.96	0.3476	
	<i>Pinus nigra</i> Lozère	0.55	0.59	0.92	0.3693	
	Nullfläche NA	-3.00	1.01	-2.98	0.0080	**
	<i>Pinus sylvestris</i> Oberrhein	-0.04	0.78	-0.05	0.9606	
	BT 1.5	0.32	0.43	0.76	0.4578	
	BT 2	0.77	0.49	1.55	0.1392	

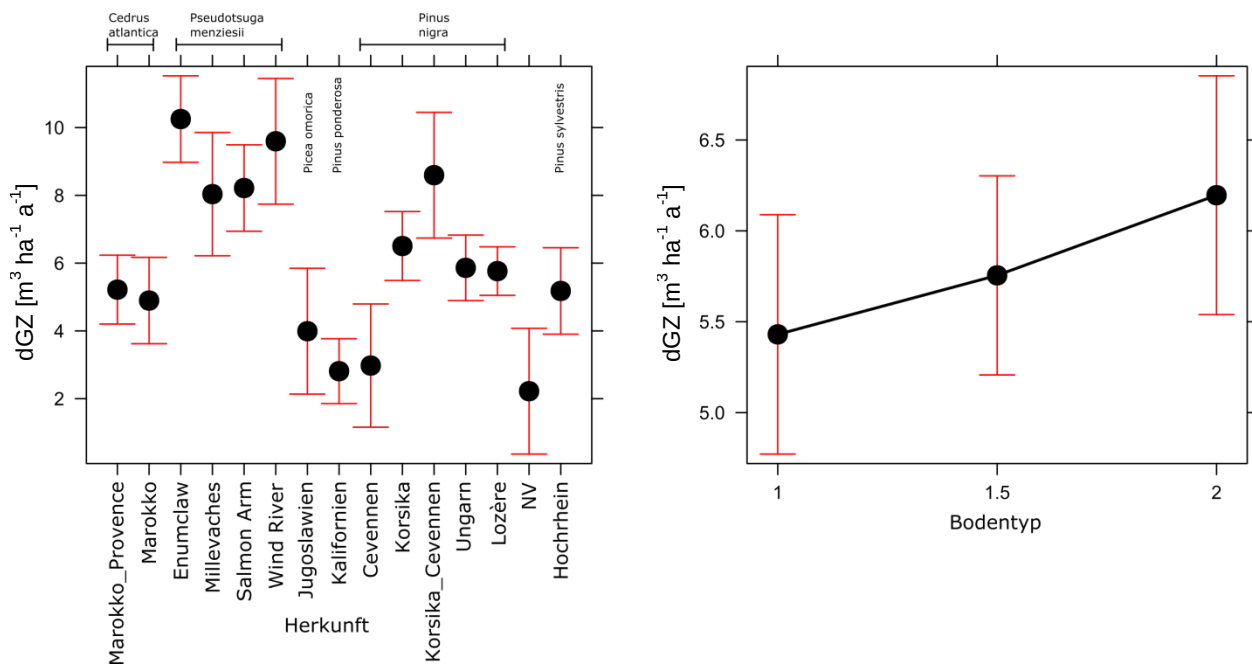


Abbildung 5. Effektplot von Herkunft und BT für glm ($dGZ \sim \text{Herkunft} + \text{BT}$) mit BT 1.5 ohne BT 3. Bei der Atlaszeder ist davon auszugehen, dass beide Herkünfte aus der Provence stammen.

2.2.3 Grundfläche

Die Grundfläche der gemischten Zedernprovenienzflächen unterscheidet sich nicht signifikant von den Flächen „Provence“, der Fichtenfläche, der Flächen der korsischen und ungarischen Schwarzföhren und der Provenienz „Lozère“, sowie der Waldföhrenflächen (Tabelle 5, Abbildung 6). Die Nullfläche, Gelbföhrenflächen sowie die TFL der Schwarzföhrenprovenienz „Cevennen“ haben einen negativen, TFL aller Douglasienherkünfte sowie der Schwarzföhrenherkunft „Korsika_Cevennen“ einen positiven Effekt auf G. Der Effekt der TFL mit Provenienz „Millevaches“ ist schwächer als der anderer Douglasienprovenienzen. Die Grundfläche scheint mit steigender Bodengüte zu steigen. Dieser Effekt ist jedoch nicht signifikant.

2.2.4 Oberdurchmesser

Im Vergleich mit dominanten Bäumen der gemischten Zedernprovenienzflächen haben alle Douglasienflächen einen signifikant positiven Effekt auf d_{dom} . Nullfläche, Serbische Fichte, die Gelbföhrenflächen sowie die Flächen der Schwarzföhrenprovenienz „Cevennen“ haben signifikant negative Effekte auf d_{dom} . Der positive Effekt steigender Bodengüte ist für BT 2 signifikant (Tabelle 5, Abbildung 7).

Tabelle 4. Modellergebnisse für glm ($G \sim \text{Herkunft} + \text{BT}$) mit BT 1.5 ohne BT 3. Die Tabelle gibt für die verwendeten Koeffizienten einen Schätzwert (Estimate), der Standardfehler (Std. Error), die Teststatistik (t value) sowie den dazugehörigen Pr Wert an. Die Sterne verdeutlichen das Signifikanzniveau.

G	Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
	(Intercept)	29.77	2.92	10.18	0.0000	***
	<i>Cedrus atlantica</i> Provence	-2.32	4.09	-0.57	0.5777	
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Enumclaw	16.03	4.09	3.92	0.0010	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Millevaches	9.53	5.23	1.82	0.0851	.
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Salmon Arm	10.03	4.09	2.46	0.0245	*
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Wind River	12.43	5.29	2.35	0.0302	*
	<i>Picea omorica</i> Jugoslawien	-4.77	5.29	-0.90	0.3792	
	<i>Pinus ponderosa</i> Kalifornien	-12.94	3.48	-3.72	0.0016	**
	<i>Pinus nigra</i> Cevennen	-12.47	5.23	-2.38	0.0284	*
	<i>Pinus nigra</i> Korsika	3.00	3.60	0.83	0.4152	
	<i>Pinus nigra</i> Korsika_Cevennen	12.03	5.29	2.28	0.0352	*
	<i>Pinus nigra</i> Ungarn	0.83	3.51	0.24	0.8147	
	<i>Pinus nigra</i> Lozère	0.75	3.12	0.24	0.8136	
	Nullfläche NA	-14.97	5.29	-2.83	0.0111	*
	<i>Pinus sylvestris</i> Oberrhein	-2.32	4.09	-0.57	0.5776	
BT 1.5		1.70	2.25	0.76	0.4594	
BT 2		3.10	2.60	1.19	0.2492	

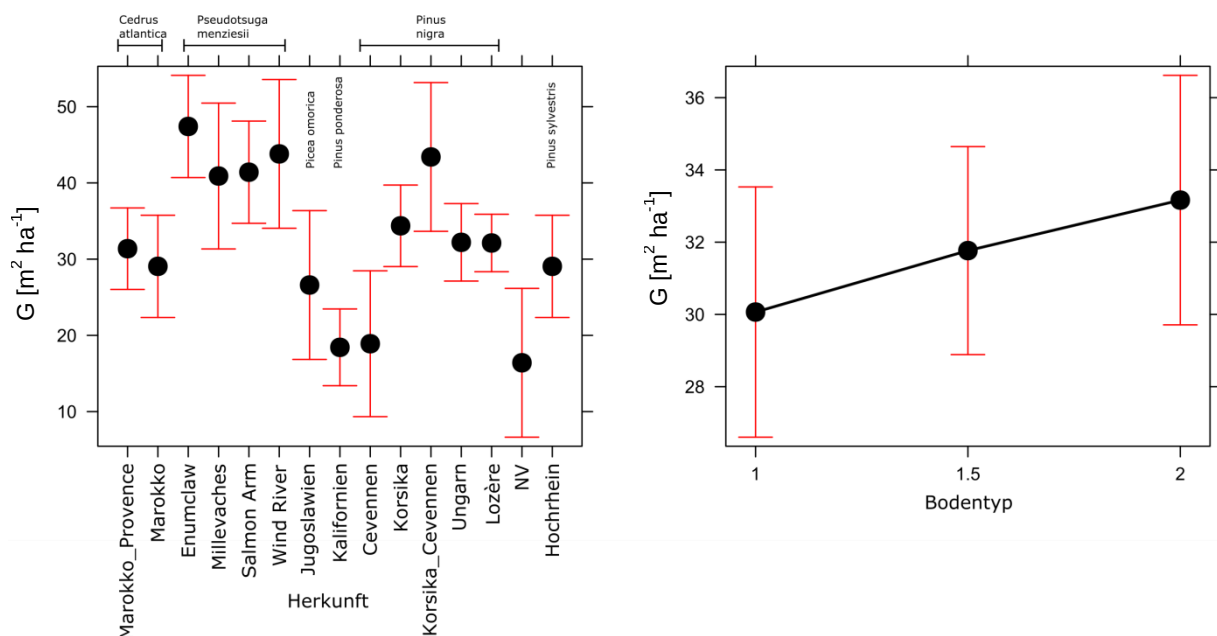


Abbildung 6. Effektplot von Herkunft und BT für glm ($G \sim \text{Herkunft} + \text{BT}$) mit BT 1.5 ohne BT 3. Bei der Atlaszeder ist davon auszugehen, dass beide Herkunftsorte aus der Provence stammen.

Tabelle 5. Modellergebnisse für glm ($d_{\text{dom}} \sim \text{Herkunft} + \text{BT}$) mit BT 1.5 ohne BT 3. Die Tabelle gibt für die verwendeten Koeffizienten einen Schätzwert (Estimate), den Standardfehler (Std. Error), die Teststatistik (t value) sowie den dazugehörigen Pr Wert an. Die Sterne verdeutlichen das Signifikanzniveau.

d_{dom}	Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
	(Intercept)	33.65	1.09	30.89	< 2e-16	***
	<i>Cedrus atlantica</i> Provence	-1.38	1.52	-0.90	0.3781	
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Enumclaw	11.72	1.52	7.70	0.0000	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Millevaches	9.30	1.95	4.77	0.0002	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Salmon Arm	7.67	1.52	5.04	0.0001	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Wind River	11.65	1.97	5.92	0.0000	***
	<i>Picea omorica</i> Jugoslawien	-6.65	1.97	-3.37	0.0034	**
	<i>Pinus ponderosa</i> Kalifornien	-10.85	1.30	-8.36	0.0000	***
	<i>Pinus nigra</i> Cevennen	-5.60	1.95	-2.87	0.0101	*
	<i>Pinus nigra</i> Korsika	1.00	1.34	0.75	0.4653	
	<i>Pinus nigra</i> Korsika_Cevennen	2.85	1.97	1.45	0.1650	
	<i>Pinus nigra</i> Ungarn	-1.64	1.31	-1.25	0.2263	
	<i>Pinus nigra</i> Lozère	-1.04	1.16	-0.89	0.3845	
	Nullfläche NA	-10.35	1.97	-5.25	0.0001	***
	<i>Pinus sylvestris</i> Oberrhein	-2.38	1.52	-1.56	0.1361	
	BT 1.5	0.56	0.84	0.66	0.5159	
	BT 2	2.70	0.97	2.79	0.0122	*

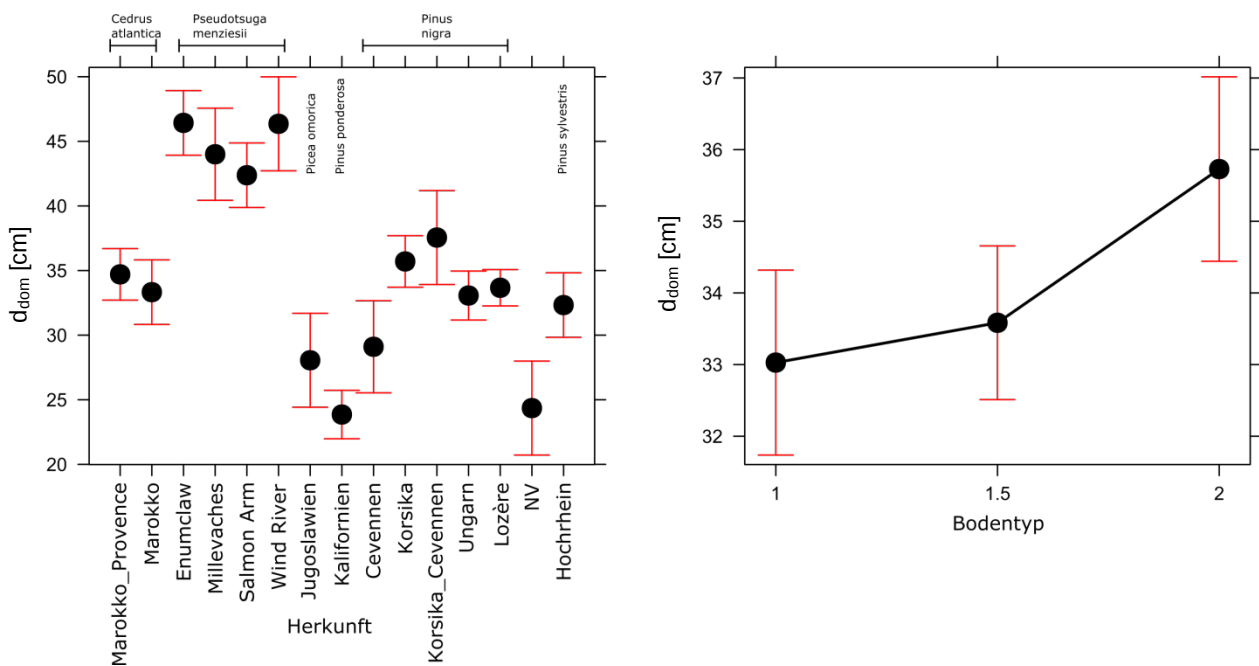


Abbildung 7. Effektplot von Herkunft und BT für glm ($d_{\text{dom}} \sim \text{Herkunft} + \text{BT}$) mit BT 1.5 ohne BT 3. Bei der Atlaszeder ist davon auszugehen, dass beide Herkünfte aus der Provence stammen.

2.2.5 Oberhöhe

Im Vergleich mit dominanten Bäumen der gemischten Zedernprovenienzflächen haben alle Douglasienflächen einen signifikant positiven Effekt auf h_{dom} . Der positive Effekt der TFL „Korsika_Cevennen“ ($p=0.0954$) und der negative Effekt der Nullfläche ($p=0.0913$) sind nicht signifikant (Tabelle 6, Abbildung 8). In den Gelbföhrenflächen sowie den Flächen der Schwarzföhrenprovenienz „Cevennen“ ist h_{dom} signifikant kleiner. Der positive Effekt steigender Bodengüte ist für BT 2 signifikant.

Tabelle 6. Modellergebnisse für glm ($h_{\text{dom}} \sim \text{Herkunft} + \text{BT}$) mit BT 1.5 ohne BT 3. Die Tabelle gibt für die verwendeten Koeffizienten einen Schätzwert (Estimate), den Standardfehler (Std. Error), die Teststatistik (t value) sowie den dazugehörigen Pr Wert an. Die Sterne verdeutlichen das Signifikanzniveau.

h_{dom}	Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
	(Intercept)	15.27	0.70	21.70	0.0000	***
	<i>Cedrus atlantica</i> Provence	0.64	0.98	0.65	0.5265	
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Enumclaw	10.14	0.98	10.30	0.0000	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Millevaches	8.03	1.26	6.38	0.0000	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Salmon Arm	7.64	0.98	7.76	0.0000	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Wind River	10.24	1.27	8.04	0.0000	***
	<i>Picea omorica</i> Jugoslawien	-1.27	1.27	-1.00	0.3313	
	<i>Pinus ponderosa</i> Kalifornien	-2.14	0.84	-2.56	0.0198	*
	<i>Pinus nigra</i> Cevennen	-2.97	1.26	-2.36	0.0300	*
	<i>Pinus nigra</i> Korsika	1.33	0.87	1.54	0.1412	
	<i>Pinus nigra</i> Korsika_Cevennen	2.24	1.27	1.76	0.0954	.
	<i>Pinus nigra</i> Ungarn	-0.81	0.84	-0.96	0.3489	
	<i>Pinus nigra</i> Lozère	-0.24	0.75	-0.32	0.7519	
	Nullfläche NA	-2.27	1.27	-1.78	0.0913	.
	<i>Pinus sylvestris</i> Oberrhein	0.38	0.98	0.39	0.7039	
	BT 1.5	0.70	0.54	1.29	0.2142	
	BT 2	1.49	0.63	2.38	0.0288	*

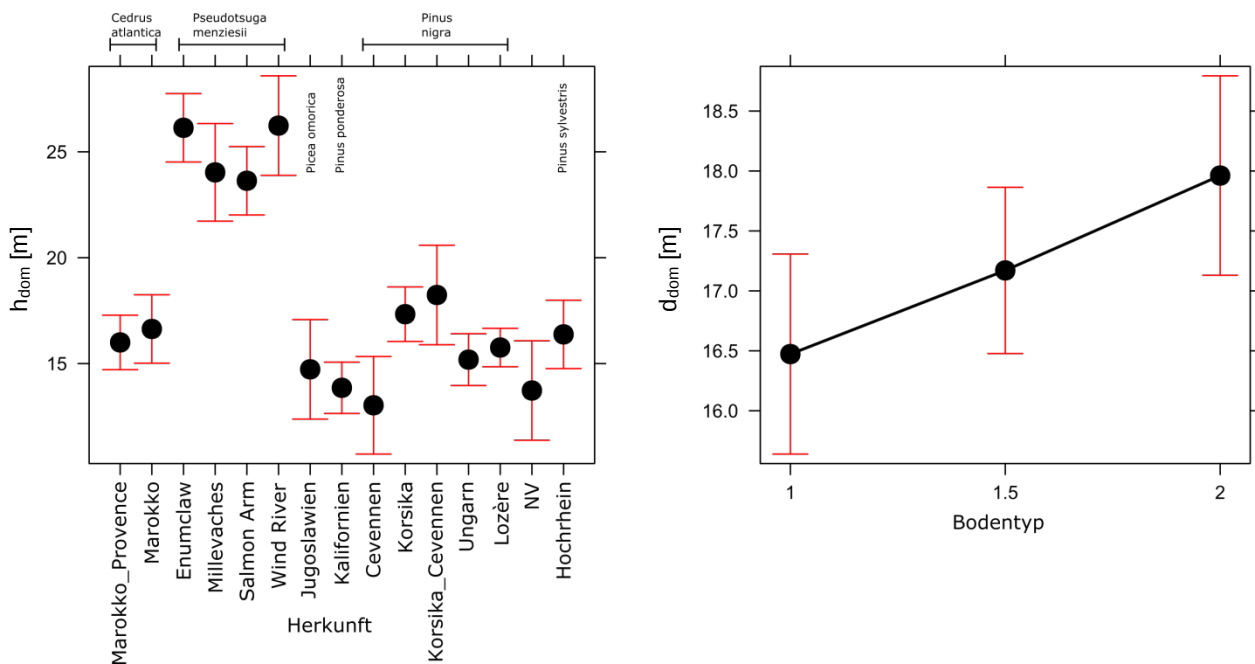


Abbildung 8. Effektplot von Herkunft und BT für glm ($h_{dom} \sim \text{Herkunft} + \text{BT}$) mit BT 1.5 ohne BT 3. Bei der Atlaszeder ist davon auszugehen, dass beide Herkünfte aus der Provence stammen.

2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Erstinventur 2018

Die Versuchsanlage im Bois de Forel weist zwar bei vielen Baumarten und Herkünften mehrere Wiederholungen auf. Diese Wiederholungen sind aber ungleichmässig über die BT verteilt. Der BT beeinflusst Oberhöhen und Oberdurchmesser teils signifikant, was die Interpretation der ertragskundlichen Kennwerte erschwert.

Nach den Gelbföhrenflächen finden sich auf den Douglasien-Teilflächen die höchsten Anteile der gepflanzten Bäume an der Stammzahl und das absolut höchste Volumen/ha aller untersuchten Baumarten. Zedern und Schwarzföhren ähneln sich in den Volumenanteilen, die Waldföhrenflächen sind weit abgeschlagen.

Mit einem dGZ von 8-10 m³/ha und Jahr liegt der durchschnittliche Gesamtwuchs der Douglasien-TFL wesentlich höher als bei Schwarzföhre (6-9), Atlaszeder (5) und Waldföhre (5), sowie fast vier Mal so hoch wie bei der Gelbföhre (2,6). Den geringsten dGZ weist mit etwa 2 m³/ha und Jahr die Nullfläche auf.

Die hohe Mortalität zu Anfang des Versuchs, im Zuge der Sommertrockenheit von 1976, sorgte bei Douglasie und Zeder für Ausfälle von ca. 30%, vor allem auf den Kuppen (BT 1), liess aber Schwarzföhren fast ganz unberührt (Jeantet 2002). In der Erstaufnahme 2017 fallen die hohen Anteile von abgestorbenen Bäumen unter den Schwarz- und Gelbföhren auf, die bei 8,7% bzw. 14,2% der Stammzahl liegen (Tabelle 37). Diese Anteile, welche die rezente Mortalität anzeigen, liegen bei Waldföhren (5,8%), Zedern (3,4%) und Douglasien (1,3%) wesentlich tiefer.

Auf den trockenen Buchenstandorten des Bois de Forel wuchs die Douglasie mit Abstand am schnellsten, obwohl ihr auf kalkhaltigem Oberboden Anwuchsschwierig-

keiten nachgesagt werden. Schwarzföhre, Waldföhre und Atlaszeder wuchsen ähnlich rasch und wesentlich rascher als die Gelbföhre und die einheimischen Laubbaumarten. Während Douglasie und Zeder wenige Jahre nach der Pflanzung im Trockensommer 1976 grosse Ausfälle zeigten, ist ihre Mortalität derzeit gering, dies im Gegensatz zu allen Föhrenarten.

Gegenüber den erwähnten grossen Wachstumsunterschieden zwischen den Baumarten unterscheiden sich verschiedene Herkünfte der geprüften Baumarten weniger stark, aber immer noch um etwa $1\text{-}2\text{ m}^3$ pro ha und Jahr.

3 Untersuchung der Zuwachsreaktion von Douglasie, Schwarzföhre und Atlaszeder nach Trockenheit

3.1 Methoden der Jahrringstudie

Die wesentlichen, in diesem Berichtsteil festgehaltenen Arbeitsschritte sind:

- Die bodenkundliche Charakterisierung der VFL
- Die Beschaffung von Klimadaten
- Die Auswahl und dendrologische Beprobung der Baumarten und Provenienzen
- Die dendrochronologische Datierung und Aufbereitung der Zuwachsdaten
- Die Modellierung der Resilienzindizes

3.1.1 Bodenansprache im Feld und Laboranalysen

Bei der Bodenansprache im Feld wurden wichtige Bodeneigenschaften erfasst, BT und Humusform bestimmt sowie die Entwicklung des Bodens abgeschätzt. Fünf Bodenprofile wurden, in ebener Lage mit der Stirnseite nach Süden exponiert (Beleuchtung) und am Hang mit der Stirnseite hangwärts quer zur Falllinie, im Zwischenkronenbereich gegraben (Lage der Profile s. Abbildung 2). Die Profilbreite betrug ca. 80-100 cm. Der gesamte Wurzelraum konnte aufgrund des Skelettreichtums im Unterboden nicht vollständig erfasst werden. Die Profile konnten nur bis maximal 50 cm ausgehoben werden, danach war der Skelettgehalt >75%, wobei den Bäumen trotzdem noch genügend Raum zur Verfügung steht, um ihr Wurzelwerk in grössere Tiefen zu entwickeln.

Allgemeine Bodenfaktoren und -eigenschaften wie Höhe ü.M., Exposition, Hangneigung, Relief, Geologie sowie Angaben zur Vegetation wurden protokolliert. Bei der Profilanprache wurden zuerst die Horizontgrenzen mit Hilfe verschiedener Merkmale (Farbe der Feinerde, Tiefe der Kalkgrenze, Textur, Struktur, Vernässungsmerkmale, Dichte, Skelettgehalt) festgelegt. Danach wurden horizontweise folgende Merkmale beschrieben bzw. geschätzt, wobei sich das Vorgehen nach dem Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung (1996) richtet:

- Tiefe der Horizontgrenzen, Horizontmächtigkeit
- Skelettgehalt und Skelettgrösse
- Textur und Struktur der Feinerde
- Lagerungsdichte
- Hydromorphie
- Humusgehalt
- Bodenorganismen
- Karbonatanteil Feinerde und Gestein
- Durchwurzelung
- Bodenfarbe

Für jedes dieser Merkmale (ausser der messbaren Horizontmächtigkeit) wurden diskrete Kategorien definiert, die mit Codes (1, 2, 3,) im Protokoll erfasst wurden. Von jedem Horizont wurde eine Probe der Feinerde (ca. 1 kg) für Laboruntersuchungen entnommen. Zudem wurden je nach Machbarkeit in 2 bis 3 Tiefen je 3 ungestörte Zylinderproben zur Bestimmung der Lagerungsdichte im Labor entnommen.

Zur Charakterisierung des Bodens auf der Versuchsfläche wurden fünf Bodenprofile beschrieben und beprobt. Aufgrund ähnlicher Eigenschaften wurden die Bodenprofile 1 und 5 zum BT 1 sowie die Bodenprofile 2 und 4 zum BT 2 zusammengefasst. Das Bodenprofil 3 definiert den BT 3. Alle Aufnahmen wurden auf dem Standardaufnahmeprotokoll der Forschungseinheit Waldböden und Biogeochemie der WSL protokolliert. Aufgrund der Mikrotopografie wurde die Verbreitung der 3 BT auf der gesamten Versuchsfläche kartiert und stichprobenweise mit dem Bodenbohrer verifiziert (Abbildung 2).

An den entnommenen Feinerdeproben wurde der pH-Wert in 0.01 M CaCl_2 -Lösung potentiometrisch bestimmt. Zudem wurden die austauschbaren Kationen durch Extraktion mit 1 M NH_4Cl -Lösung und Messung am ICP-OES bestimmt. Die austauschbare Azidität wurde durch Extraktion mit 1 M KCl -Lösung und Titration des Extraktes gemessen. Basensättigung und Kationenaustauschkapazität wurden aus diesen austauschbaren Gehalten berechnet. Die Textur (Korngrössenzusammensetzung) wurde mit der Pipettmethode während der Sedimentation der aufgeschlämmten Probe bestimmt (Methoden s. Walthert et al. 2004). Die nutzbare Wasserspeicherkapazität wurde nach Teepe et al. (2003) berechnet.

3.1.2 Klimadaten und Trockenheitsindex

Monatsmittelwerte der Temperatur sowie monatliche Niederschlagssummen für den Zeitraum 1970-2016 basieren auf Daymet Daten. Diese wurden mithilfe aller verfügbaren Messstationen von MeteoSchweiz und eines Geländemodells in einer Auflösung von 100 m modelliert. Für die VFL im Bois de Forel wurden die Modellergebnisse innerhalb der Koordinaten (m) 525.000, 172.000 und 526.000, 173.000 (CH1903/LV03) gemittelt.

Zur Charakterisierung des Klimas wurde der Trockenheitsindex SPEI (Vicente-Serrano et al. 2010) für eine Dauer von 1, 3, 6 und 12 Monaten berechnet. Die monatlichen SPEI-Indizes repräsentieren die durch die Skala vorgegebene Dauer, rückwärts ab dem genannten Monat. So beinhaltet beispielsweise der SPEI3 für den Monat September Informationen zu Niederschlag und Temperatur von Juli bis September.

3.1.3 Auswahl der Prohebäume

Die Struktur der VFL im Bois de Forel erleichterte die Planung des Studiendesigns und der Beprobung, da alle beprobten Bäume dasselbe Alter haben und unter denselben klimatischen Bedingungen aufgewachsen sind. Zudem liegen Koordinaten für alle beprobten Bäume sowie für Flächengrenzen vor. Die ertragskundliche Erstaufnahme der Fläche erfolgte in der Vegetationsruhe 2017/2018, es liegen also zeitnahe Messungen des BHD vor.

Im Rahmen dieser Studie wurden vier Herkünfte von Douglasie, drei Herkünfte von Schwarzföhre und eine Atlaszedernherkunft untersucht. Es wurden nur Bäume auf TFL untersucht, auf denen eine Vermischung von Herkünften ausgeschlossen werden konnte. Da aufgrund von Nachpflanzungen nicht auf allen TFL die ursprünglichen Provenienzen im Reinbestand vorkommen, konnten nur drei von vier Schwarzföhrenherkünften und nur eine von zwei Atlaszedernherkünften beprobt werden.

Je Herkunft wurden mindestens zehn herrschende Individuen ausgewählt. Die Gesamtheit der Probebäume wurde gleichmässig auf die TFL verteilt, auf denen diese Herkunft vertreten war. Pro TFL wurden die Bäume mit den jeweils grössten BHD-Werten ausgewählt, sofern diese vital und frei von groben Schäden und Fehlern an der Bohrstelle waren. Die Stichprobe ist also nicht repräsentativ für die Bestände, aber für deren dominante Bäume.

3.1.4 Bohrkernentnahme

Im Herbst 2018 wurden pro Baum zwei gegenüberliegende Bohrkern, jeweils senkrecht zur Hangneigung, entnommen. Bohrhöhe war 1,0 m, um zu vermeiden, dass mögliches Kallusgewebe zukünftige BHD-Messungen auf 1,3 m beeinflusst. Wir benutzten Haglöfs Zuwachsbohrer mit einer Länge von 40 cm und einem Bohrdurchmesser von 5 mm. Die Bohrkern wurden bis zur weiteren Verwendung in verschlossenen Papierhüllen aufbewahrt.

3.1.5 Jahrringmessung und Datierung

Die Bohrkern wurden händisch mit einer Rasierklinge präpariert. Kerne, die nicht unmittelbar nach der Feldarbeit bearbeitet werden konnten, wurden gekühlt gelagert, um Schimmelbildung zu verhindern. Die Jahrringbreiten wurden mit einer Genauigkeit von 1/100 mm mit einem Messtisch von LINTAB (LINTAB 5; Rinntech, Heidelberg, Germany) und TSAP Win Scientific 4.63 Software (Rinntech, 2009) vermessen. Die Messungen wurden im Tucson Format (.rwl) als Rohwerte gespeichert. Diese verblieben unverändert und sind im Projektordner zugänglich (N:\prj\EK\Bois de Fore\2019_Jahrringstudie\Zuwachsdaten_Romainmôtier\RWL).

Aufgrund sehr ähnlicher Wachstumsverläufe und breiter Jahrringe aller untersuchten Bäume wurde die Kreuzdatierung durch den optischen Vergleich der Kurven durchgeführt. Danach wurde die Qualität der Datierung mit Standardroutinen überprüft.

3.1.6 Chronologien und Trendbereinigung

Für jede TFL, Art und Provenienz wurden Mittelkurven erstellt und mittels eines 30-jährigen Spline eine Trendbereinigung durchgeführt. Mean sensitivity, first order autocorrelation und series intercorrelation wurden für jede Mittelkurve mit den Funktionen "rwl.report" und "sens1" des R Pakets "dplR" (Bunn 2008) ermittelt.

3.1.7 Ermittlung des Grundflächenzuwachses

Grundflächenzuwächse wurden mit der Funktion "bai.out" des R Pakets "dplR" (Bunn 2008) berechnet, unter Annahme eines pauschalen Rindenabzugs von 30 mm.

3.1.8 Klima-Wachstums-Analyse

Für die unbehandelten Zuwachsmittelkurven der Baumarten und Herkünfte wurde eine Korrelationsmatrix mit Jahresmitteltemperatur, Jahresniederschlagssumme, Sommerniederschlag sowie dem SPEI3.Sept des Wachstumsjahrs erstellt.

Ausserdem wurden mit der Funktion „dcc“ im R Paket „treeclim“ (Zang & Biondi 2015) Korrelationen der trendbereinigten Zuwachsmittelkurven von Baumarten und Herkünften mit Monatsmitteln von Temperatur und monatlichem Niederschlag von Juni des Vorjahres bis September des Wachstumsjahres (Abbildung 26- 28), sowie Moving-Window Korrelationen mit den SPEI Werten von März bis Oktober des Wachstumsjahres (Abbildung 23-25) berechnet.

3.1.9 Resilienzindizes des Durchmesserzuwachses

Um die Auswirkungen des Trockenjahrs 2003 auf den Durchmesserzuwachs der beprobten Bäume zu untersuchen, wurden die Widerstandsfähigkeit gegenüber der Trockenheit (RES), die Erholung des Zuwachses nach dem Trockenjahr (REC) und die Resilienz des Wachstums (RESIL) berechnet (Lloret et al. 2011).

$$RES = \frac{TROCKENHEIT}{vorTROCKENHEIT}$$

$$RESIL = \frac{nachTROCKENHEIT}{vorTROCKENHEIT}$$

$$REC = \frac{nachTROCKENHEIT}{TROCKENHEIT}$$

RES ist der radiale Zuwachs eines Baums während eines Trockenheitsereignisses im Verhältnis zum mittleren Zuwachs in einer Vortrockenheitsperiode. REC vergleicht das Zuwachsniveau in einem bestimmten Zeitraum nach der Trockenheit mit dem Zuwachs während der Trockenheit. RESIL setzt das Wachstum vor und nach der Trockenheit ins Verhältnis.

Diese Resilienzindizes wurden für den Zeitraum von 2 Jahren mit dem R-Paket pointRes (van der Maaten-Theunissen et al. 2015) berechnet. Der Zeitraum von zwei Jahren wurde gewählt, da im Jahr 2006 ein weiteres, klimatisch verhältnismässig trockenes Jahr folgte. Da für die Analyse der kurzfristigen Reaktion auf Trockenheit keine trendbereinigten Zuwachsdaten notwendig sind (Sohn et al. 2016), wurden die Resilienzindizes mit den unbehandelten Zuwachsdaten berechnet.

3.1.10 Generelle Lineare Modelle

Um den Einfluss von Baumart und Provenienz, BT und BHD auf die Resilienzindizes zu untersuchen, wurden verallgemeinerte lineare Modelle gefittet. Baumhöhen wurden nicht für alle beprobten Bäume gemessen und sind daher nicht als erklärende Variable geeignet. Aufgrund der Probebaumauswahl stammen alle beprobten Bäume aus dem herrschenden Bestand, weswegen auch die soziale Stellung als eine mögliche Variable entfällt.

Für die Resilienzindizes des Trockenjahrs 2003 wurde folgendes Modell angenommen:

$$R_{2003} \sim BT + Provenienz_in_Baumart$$

Da der BT 3 mit nur 7 Bäumen vertreten ist und im Vergleich zu den flachgründigen BT 1 und 2 eine Sonderstellung einnimmt, wurde das Modell zusätzlich mit einem

Datensatz ohne die Bäume in BT 3 berechnet. Für eine deutlichere Differenzierung der Provenienzen wurden ausserdem separate Modelle für Schwarzföhre und Douglasie berechnet, sowie ein separates Modell für den Einfluss der BT 1 und 2 auf das Wachstum der beprobten Zedern.

3.2 Ergebnisse der Jahrringstudie

3.2.1 Klima

Während die jährliche Niederschlagssumme im Zeitraum von 1970 bis 2016 relativ konstant blieb, nahm die Jahresmitteltemperatur zu und der Trockenheitsindex SPEI3.AUG (der Niederschlag, Temperatur und Evapotranspiration von Juni bis August integriert) leicht ab (Abbildung 9). Das Klima wurde wärmer und trockener. Der

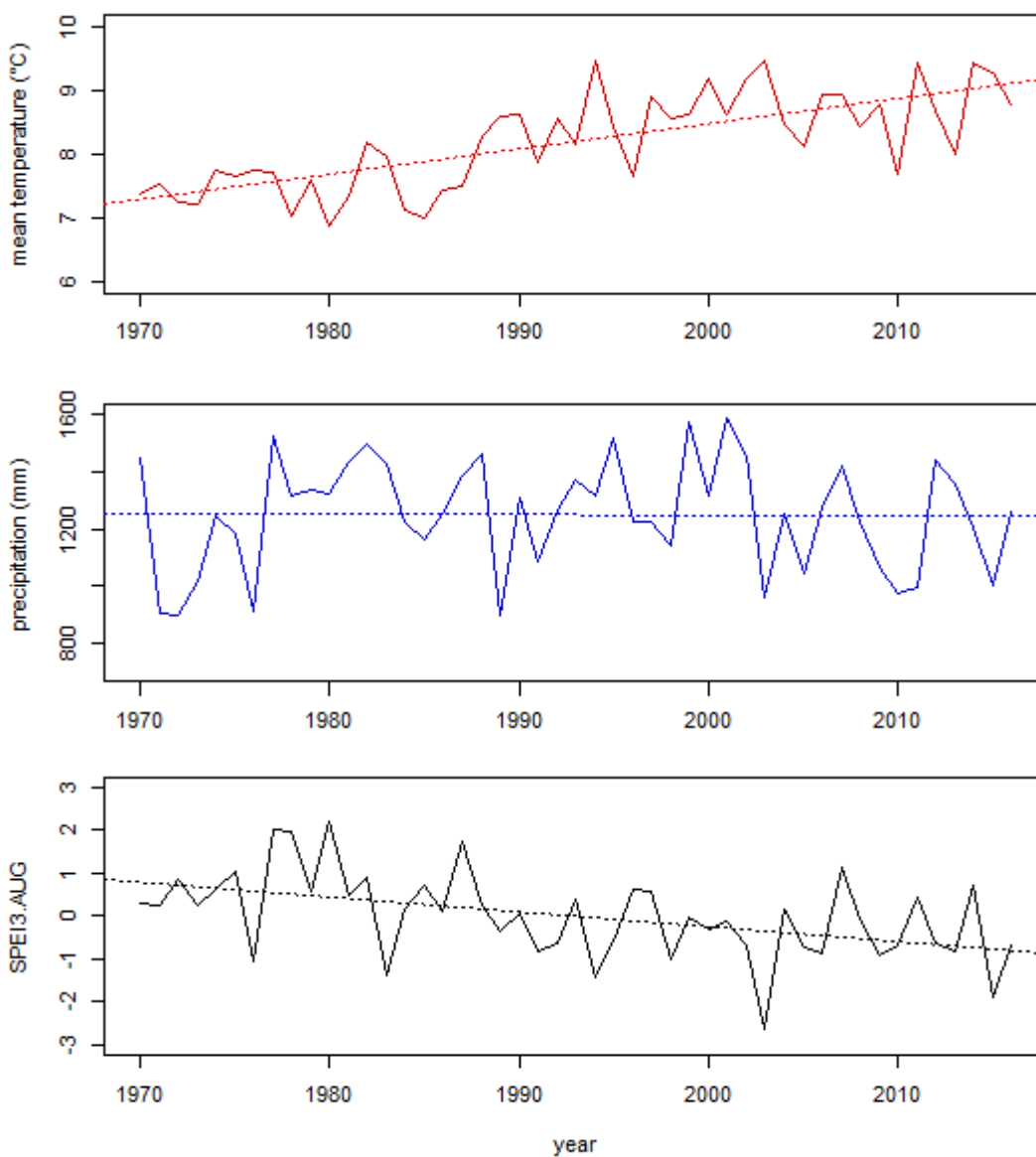


Abbildung 9. Jahresmitteltemperatur (°C), Niederschlagssumme (mm) und SPEI3.AUG von 1970 bis 2016 mit Trendlinien.

Niederschlag ist jedoch sehr gleichmässig über das Jahr verteilt (Abbildung 10). Mit einem mittleren Jahresniederschlag von rund 1250 mm und bei einer Jahresmitteltemperatur von 8,2 °C ist der Standort klimatisch nicht trocken. Mit einem SPEI3.Aug von -2.65, einer um 15% höheren Jahresmitteltemperatur als in der Vergleichsperiode 1970-2016 und fast 25% geringerer Niederschlagssumme war das Trockenjahr 2003 auch im Bois de Forel klimatisch extrem.

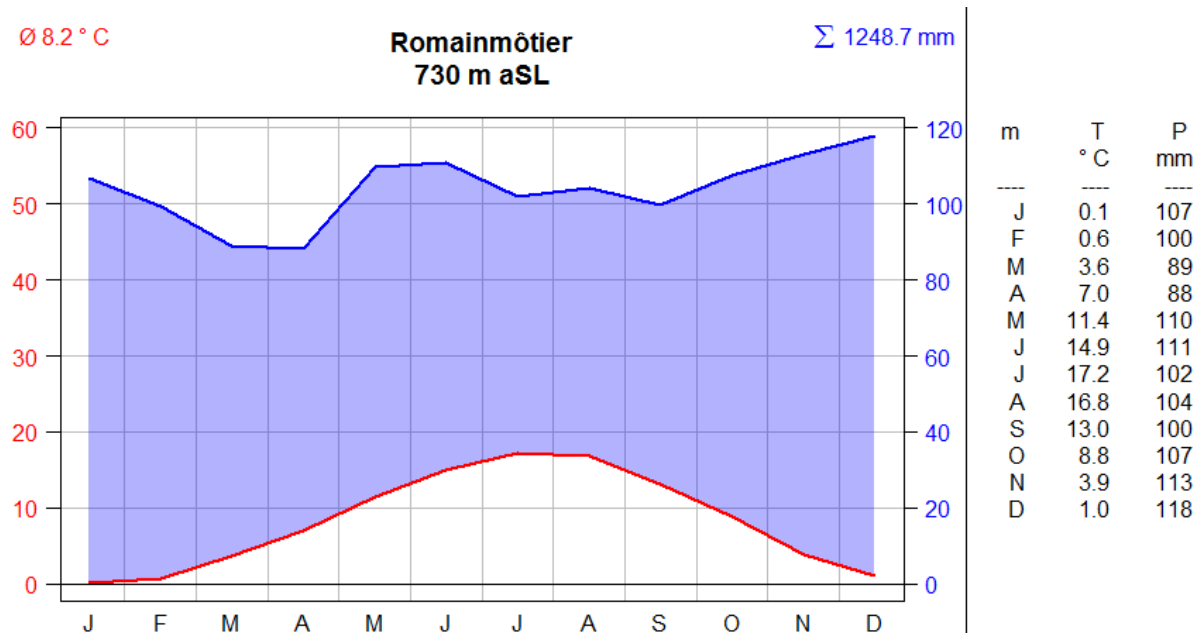


Abbildung 10. Klimadiagramm der Versuchsfläche im Bois de Forel.

3.2.2 Boden

Auf der Versuchsfläche dominieren Rohböden. Das geologische Ausgangsmaterial ist Sediment der Unterkreide. Das sind Mergel-Kalke (harte, gebankte Kalke mit mergeligen Zwischenlagen), welche sehr karbonathaltig sind und die Bodenentwicklung im Rohbodenstadium verharren lassen, solange noch freie Karbonate vorhanden sind. Dies ist bei den Bodenprofilen 1 und 5 (BT 1) sowie den Bodenprofilen 2 und 4 (BT 2) der Fall. BT 1 weist im Oberboden höhere pH-Werte (> 6) auf als BT 2 (pH-Wert im Oberboden zwischen 4.5 und 6), was sich in beginnender Verbraunung im BT 2 äussert. Die Basensättigung ist aber bei allen Profilen nahe 100% (Abbildung 19). Beim BT 3 liegt den Sedimenten der Unterkreide ein geringmächtiger Moräneschleier auf (Grundmoräne des Rhonegletschers, Würm). Dieser wurde im Lauf der Bodenentwicklung entkarbonatet, worauf eine Verbraunung einsetzte. Dies äussert sich in deutlich tieferen pH-Werten in den oberen Horizonten (pH < 4.5) und einer leichten Abnahme der Basensättigung (70% beim tiefsten pH-Wert). Insgesamt sind es flachgründige, zum Teil skelettreiche Böden mit einer guten Basenversorgung (Tabelle 7; bodenchemische Kennwerte s. Abbildung 19). BT 3 unterscheidet sich somit deutlich von den BT 1 und 2, indem er etwas tiefgründiger ist und eine deutlich höhere nWSK und einen geringeren Skelettanteil aufweist. In BT 3 stocken die TFL 311 der Douglasienprovenienz „Wind River“ sowie etwa die Hälfte der TFL 588 der Schwarzföhrenprovenienz „Lozère“ (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 7. Bodeneigenschaften der drei unterschiedenen BT. Der pH ist als mittlerer Wert über die gesamte Aufschlusstiefe des Bodenprofils berechnet.

	Skelettanteil [%]	Gründigkeit [cm]	nWSK	pH_CaCl2
BT 1	90	42	31	7.05
BT 2	78	41	37	6.51
BT 3	14	53	89	5.05

Je tiefgründiger der Boden, desto weiter ist die Versauerung der oberen Bodenhorizonte fortgeschritten. Die flachgründigen Böden im Bois de Forel sind nach wie vor stark vom kalkhaltigen mineralischen Bodenhorizont beeinflusst. Abgesehen von BT 3 handelt es sich um flachgründige, zur Austrocknung neigende Böden. Dies zeigen die relativ geringe nWSK, der hohe Skelettgehalt und die geringe Gründigkeit. Daher ist das Baumwachstum in den Sommermonaten durch Bodentrockenheit limitiert.

Insgesamt stocken nur sieben der 94 beprobten Bäume auf BT 3. 53 Bäume wachsen auf BT 2 und 34 Bäume auf dem trockensten BT 1. Die bodenkundliche Kartierung lag zum Zeitpunkt der Jahrringentnahme noch nicht vor. Dies und die geringe Häufigkeit von BT 3 erklären die ungleiche Verteilung der beprobten Bäume auf die drei BT.

3.2.3 Übersicht über die Probebäume

Insgesamt wurden Zuwachsdaten von 94 Bäumen verwendet (Tabellen 8 und 9): 10 Atlaszedern, 40 Douglasien und 44 Schwarzföhren. Da in allen beprobten TFL mindestens drei Bäume beprobt wurden, können sich die Probebaumzahlen pro Provenienz unterscheiden.

Tabelle 8. Ertragskundliche Charakteristika der beprobten Herkünfte auf den jeweiligen TFL. Die Angaben beziehen sich auf die Gesamtheit der Bäume der jeweiligen Provenienz pro TFL (G, dGZ, IGZ und dGZ100/ha). BT nach Bodenkarte von Stephan Zimmermann. 1 – Kalkgrenze 0-10 cm, beginnende Verbraunung. 2 – Kalkgrenze 10-50 cm, Oberboden verbraunt. 3 – Kalkgrenze > 50 cm, verbraunt. ¹Ermittelt mit den Bonitierungshilfen nach Bösch (2001) für ein Bestandesalter von 45. Für *P. nigra* wurden die Zuwachstabellen der Waldföhre verwendet.

TFL	TFL-grösse (ha)	BT	Art	Herkunft	N/ha	h_{dom} (m)	h_g (m)	h/d	d_{dom} (cm)	G (m ² /ha)	dGZ (m ³ /ha u. a)	IGZ ¹ (m ³ /ha u. a)	dGZ100 ¹ (m ³ /ha u. a)	N Bäume
116	0.097	2	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Millevaches	361	24	23	0.64	43.5	35.8	7.34	18.7	14	10
301	0.095	1	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Enumclaw	474	25	24	0.68	43.7	45.7	9.80	19.7	14	5
302	0.116	2	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Enumclaw	404	28	26	0.67	50.3	47.3	10.63	23.0	16	5
311	0.092	3	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Wind River	556	26	25	0.63	49.2	67.0	14.44	20.8	16	5
312	0.101	2	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Wind River	407	27	25	0.68	48.0	44.2	9.88	21.9	16	5
321	0.094	2	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Salmon Arm	426	24	22	0.65	42.9	39.3	7.98	18.7	14	5
322	0.112	2	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Salmon Arm	474	24	21	0.65	43.0	41.4	8.32	18.7	14	5
581	0.099	1	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	436	15	13	0.50	32.3	24.6	4.33	8	6	3
582	0.096	1/2	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	481	15	15	0.53	32.5	28.9	5.29	8	6	3
583	0.095	1	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	547	16	15	0.54	34.0	33.5	6.24	8.8	6	3
584	0.098	1/2	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	642	15	15	0.55	33.0	36.2	6.66	8	6	3
585	0.104	1	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	589	14	13	0.52	30.8	29.7	5.13	7.3	6	3
586	0.090	1/2	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	379	17	15	0.54	34.7	24.1	4.57	9.7	6	3
588	0.090	1/3	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	354	17	15	0.62	32.3	16.8	3.08	9.7	6	3
362	0.132	1	<i>Pinus nigra</i>	Corse	470	17	17	0.56	36.3	34.3	6.88	9.7	6	3
364	0.099	2	<i>Pinus nigra</i>	Corse	423	18	17	0.53	31.7	33.4	6.71	10.5	8	3
365	0.094	1/2	<i>Pinus nigra</i>	Corse	413	17	16	0.58	32.8	24.1	4.64	9.7	6	4
541	0.100	2	<i>Pinus nigra</i>	Hongrie	359	16	15	0.55	34.0	21.9	4.11	8.8	6	3
542	0.090	2	<i>Pinus nigra</i>	Hongrie	633	17	16	0.58	34.6	36.5	6.97	9.7	6	3
544	0.099	1/2	<i>Pinus nigra</i>	Hongrie	548	16	45	0.55	33.7	34.2	6.47	8.8	6	3
545	0.094	2	<i>Pinus nigra</i>	Hongrie	436	14	15	0.55	32.7	26.3	4.9	7.3	6	4
32	0.082	2	<i>Cedrus atlantica</i>	Provence	538	17	14	0.62	34.4	28.5	5.15	NA	NA	5
33	0.098	1/2	<i>Cedrus atlantica</i>	Provence	449	17	14	0.63	33.4	23.0	3.88	NA	NA	5
														94

Tabelle 9. Anzahl beprobte Bäume je Baumart, Provenienz und BT.

Provenienz/ BT	Korsika	Ungarn	Lozère	Millevaches	Enum- claw	Salmon Arm	Wind River	Provence	Summe
1	4	2	13	6	2	3		4	34
Douglasie				6	2	3			11
Schwarzföhre	4	2	13						19
Zeder								4	4
2	6	11	6	4	8	7	5	6	53
Douglasie				4	8	7	5		24
Schwarzföhre	6	11	6						23
Zeder								6	6
3			2				5		7
Douglasie							5		5
Schwarzföhre			2						2
Summe	10	13	21	10	10	10	10	10	94

3.2.4 Dendroökologische Ergebnisse

Mit einer mittleren Jahrringbreite von knapp 3,5 mm fällt das Schwarzföhrenkollektiv deutlich hinter das Dickenwachstum von Douglasie (>5 mm) und Atlaszeder (knapp 4,3 mm) zurück (Tabelle 10). Im zeitlichen Verlauf geht das Durchmesserwachstum seit ca. 1995 zurück (Abbildung 11). Dabei ist zu beachten, dass die Zedern im Mittel deutlich weniger stark sind als die Douglasien. Das bedeutet wesentlich höhere Grundflächenzuwächse der Douglasien im Vergleich zur Zeder (Abbildung 12), bei ähnlichen Jahrringbreiten (Tabelle 10).

Tabelle 10 Statistik für die Jahrringchronologien. * Rohwerte, andere Werte basieren auf trendbereinigten Chronologien. EPS – expressed population signal, Rbar – mittlere Korrelation zwischen einzelnen Zeitreihen, Mean sensitivity – mittlere Jahr-zu-Jahr Variation der Zeitreihen. AC1 – Autokorrelation ersten Grads.

Chronologie	Mittlere Jahrringbreite (mm)*	Mittlerer G- Zuwachs (mm ² /a)	Zeitraum	N Bäume	Inter- series corr.	EPS	Rbar	Mean sens. *	AC1*
Douglasie	5.054	4417	1979-2018	41	0.697	0.984	0.612	0.215	0.524
Millevaches	4.998	3898	1975-2018	11	0.566	0.933	0.596	0.218	0.486
Enumclaw	5.278	4890	1976-2018	10	0.641	0.939	0.620	0.228	0.474
Wind River	5.283	5135	1979-2018	10	0.798	0.946	0.644	0.215	0.561
Salmon Arm	4.658	4122	1975-2018	10	0.750	0.945	0.648	0.214	0.562
Schwarzföhre	3.481	2547	1981-2018	47	0.834	0.981	0.531	0.302	0.562
Lozère	3.394	2369	1980-2018	24	0.826	0.960	0.504	0.301	0.611
Korsika	3.846	2943	1977-2018	10	0.847	0.905	0.497	0.294	0.532
Ungarn	3.571	2539	1981-2018	13	0.829	0.948	0.588	0.299	0.552
Atlaszeder	4.270	2710	1982-2018	10	0.724	0.932	0.584	0.298	0.456

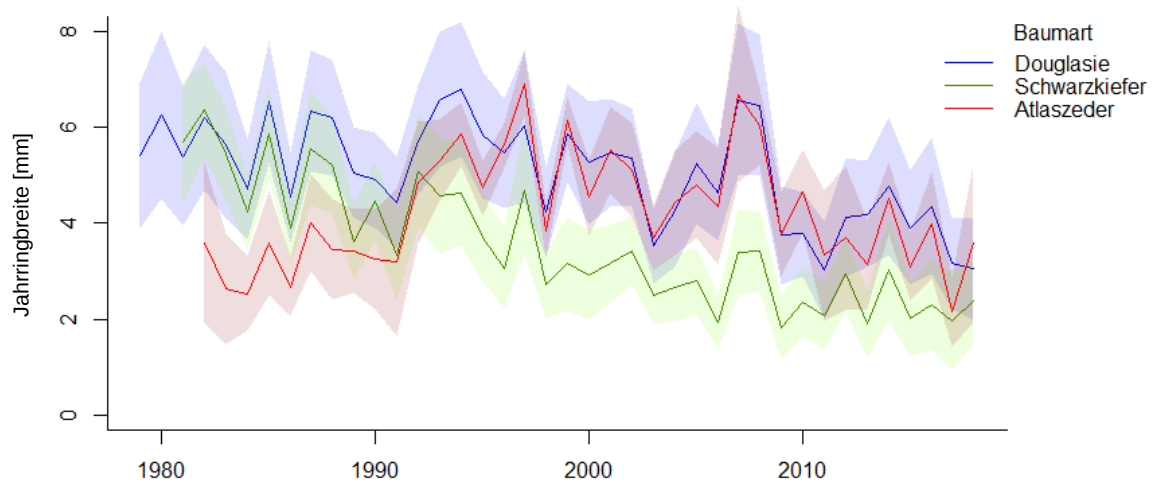


Abbildung 11. Mittelkurven des mittleren jährlichen Durchmesserzuwachses pro Baumart. Die Konfidenzbänder sind Standardabweichungen.

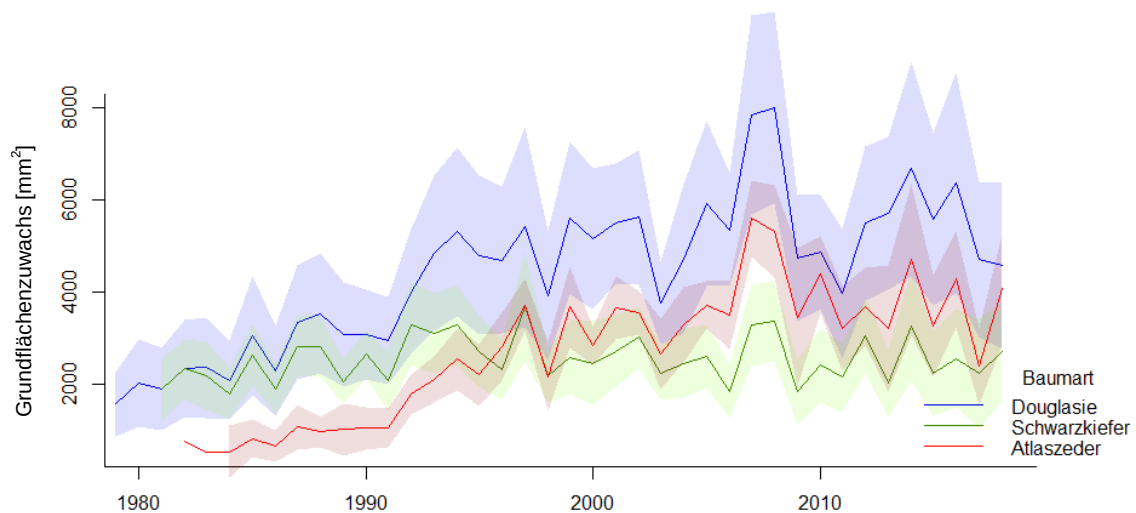


Abbildung 12. Mittelkurven des mittleren jährlichen Grundflächenzuwachses pro Baumart. Die Konfidenzbänder sind Standardabweichungen.

Die Mittelkurven des Durchmesserzuwachses der drei untersuchten Baumarten verlaufen sehr synchron, wenn auch auf unterschiedlichen Niveaus, was in hohen Werten der Gleichläufigkeit deutlich wird. Ab Ende der 90er Jahre wachsen die untersuchten Douglasien und Atlaszedern nicht nur fast perfekt synchron, sondern auch auf sehr ähnlichem Niveau (Abbildung 11). Auch unterschiedliche Herkünfte derselben Baumarten wachsen radial und bzgl. Grundfläche sehr synchron (Abbildungen 13 und 14 sowie Tabelle 23 im Anhang).

Tabelle 11. Gleichläufigkeit der Jahrringmittelkurven pro Baumart.

	Schwarzföhre	Douglasie	Atlaszeder
Schwarzföhre	NA	0.86	0.86
Douglasie	NA	NA	0.89
Atlaszeder	NA	NA	NA

Die Grundflächenzuwächse der Douglasien bewegen sich bis auf wenige Ausnahmen deutlich über dem Niveau der anderen Baumarten (Abbildungen 12-14) und steigen tendenziell an. Nach 2010 scheinen die Zuwächse zu stagnieren. Die

beprobten Zedern zeigen anfangs die geringsten Zuwächse und erreichen Ende der 1990er Jahre das Zuwachsniveau der Schwarzföhren. Diese steigern ihre Grundflächenzuwächse im Laufe des Beobachtungszeitraums nur marginal. Die Zedern starten auf dem niedrigsten Niveau und steigern die Zuwächse stetig bis ins Jahr 2008. Nach einem starken Einbruch im Jahr 2009 zeigen die Zuwächse einen leichten Negativtrend.

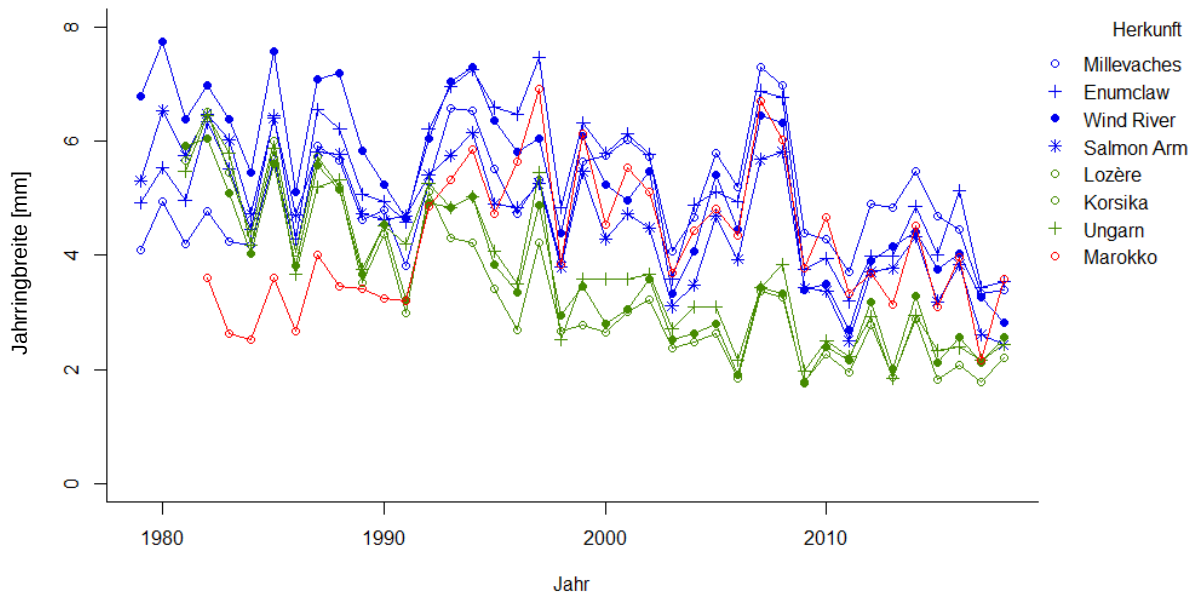


Abbildung 13. Mittelkurven des mittleren jährlichen Durchmesserzuwachses pro Herkunft. Douglasienherkünfte in blau, Föhrenherkünfte in grün und Zedernherkunft in roter Farbe.

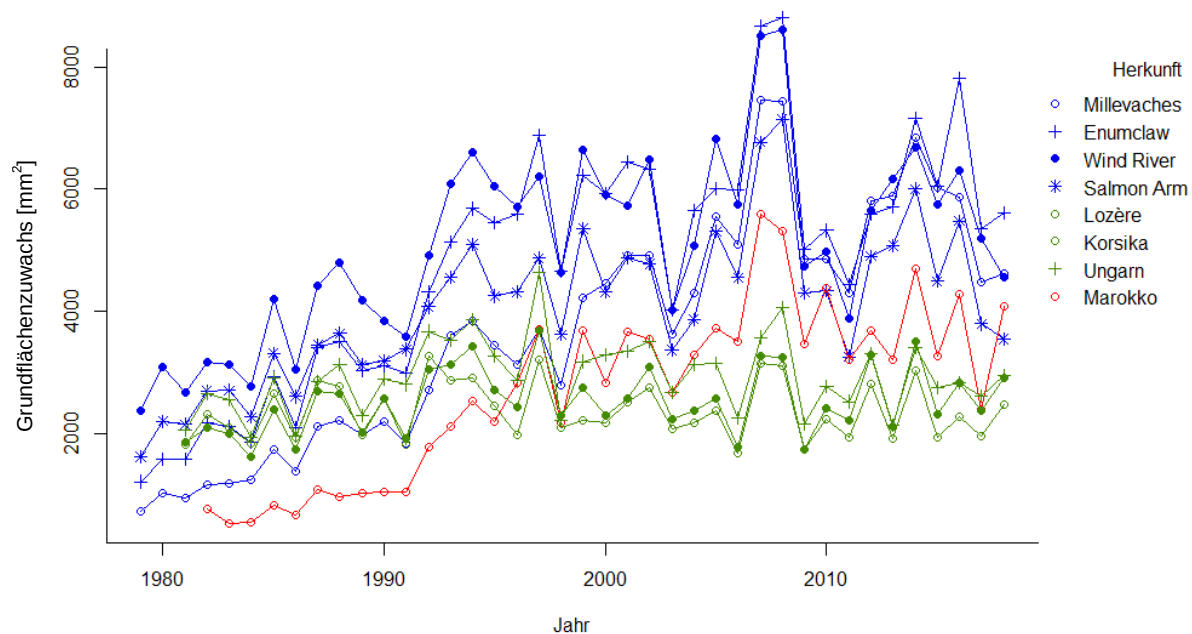


Abbildung 14. Mittelkurven des mittleren jährlichen Grundflächenzuwachses pro Herkunft. Douglasienherkünfte in blau, Föhrenherkünfte in grün und Zedernherkunft in roter Farbe.

Obwohl hohe Gleichläufigkeitswerte nicht automatisch auf die Eignung einer Jahrringchronologie zur Klimarekonstruktion schliessen lassen (Buras 2017), deuten die über alle gebildeten Kollektive hinweg sehr hohen Werte doch auf ein starkes gemeinsames Wachstumssignal hin. Dies ist typisch für Standorte, auf denen Bäume einem bestimmten das Wachstum limitierenden Faktor ausgesetzt sind (Fritts 2012),

also ein gemeinsames Wachstumssignal teilen (Zang et al. 2012). Auf den flachgründigen Böden im Bois de Forel dürfte dieses Signal vor allem durch die Wasserverfügbarkeit während der Vegetationsperiode bestimmt sein.

3.2.5 Klima und Wachstum

Das Durchmesserwachstum der Douglasienherkünfte, insbesondere „116 – Mille-vaches“ und „300 – Enumclaw“, korreliert stark positiv mit der Menge des Sommer-niederschlags und (bei allen Herkünften) hohen SPEI3.SEPT-Werten (Tabellen 23 und 24), d.h. feuchten Sommern. Korreliert der Durchmesserzuwachs der Herkünfte „Salmon Arm“ und „Wind River“ von 1982 bis 2016 noch positiv mit warmen Temperaturen im Dezember und Januar (Tabelle 25), werden von 2000-2016 für alle Provenienzen die Temperaturen von März bis Juni bedeutend (Tabelle 26).

Das Wachstum der Schwarzföhrenherkünfte korreliert am schwächsten mit dem Trockenheitsindex, jedoch am stärksten negativ mit niedrigen Durchschnittstemperaturen. Diese fallen auch bei den Douglasienherkünften „310 – Wind River“ und „320 – Salmon Arm“ auf. Für den Zeitraum 1982-2016 korreliert die Jahrringbreite der Schwarzföhrenherkünfte positiv mit den Temperaturen im Februar, September und Dezember (Tabelle 25). Im jüngeren Zeitraum (2000-2016) verlieren die Temperaturen im Februar an Bedeutung (Tabelle 26), dafür werden für das Durchmesserwachstum der Schwarzföhren aus „Lozère“ und „Ungarn“ die Temperaturen im Frühjahr und Frühsommer relevant (April, Mai (nur Ungarn) und Juni).

Das Wachstum der Atlaszedernherkunft korreliert positiv mit feuchten Verhältnissen in den Sommermonaten (hoher SPEI3.SEPT), jedoch weniger stark als bei allen Douglasienherkünften. Anders als bei den anderen Baumarten und Herkünften korreliert bei der Atlaszeder das Wachstum im Zeitraum 1982-2016 positiv mit der Jahrestemperatur (Tabelle 25), auch wenn dieser Zusammenhang nur schwach ist. Für den Zeitraum 1982-2016 korrelieren die Durchmesserzuwächse der Zedern vor allem positiv mit den Monatstemperaturmitteln von Oktober bis Dezember. Dieser Zusammenhang verschwindet für den Zeitraum 2000-2016, in dem vor allem die Temperaturen von März und April positiv mit dem Zuwachs korrelieren (Tabelle 26).

Analog zu fallenden SPEI-Werten und steigender Jahresmitteltemperatur verändern sich die Klima-Wachstumskorrelationen im Laufe der Zeit. Vor allem die veränderte Korrelation mit SPEI sticht heraus: In der Periode 1982-2016 ist die Korrelation mit dem Durchmesserzuwachs nur schwach (Tabelle 23), in der Periode 2000-2016 aber stark (Tabelle 24), am ausgeprägtesten bei Atlaszeder und Schwarzföhre. Im selben Zeitraum nimmt bei allen Baumarten auch die Korrelation des Durchmesserzuwachses mit der Temperatur der Monate April bis Juni stark zu (Tabellen 25 und 26).

Moving-Window Korrelationen der trendbereinigten Wachstumsmittelkurven der drei Baumarten und ihrer Provenienzen für den Zeitraum von 1982 bis 2016 in Zehnjahresschritten (Abbildungen 23-25) zeigen eine zunehmend starke positive Korrelation von SPEI3-Werten und Wachstum ab den 2000er Jahren. Zudem fällt eine schrittweise Verschiebung dieses Zusammenhangs vom SPEI3 im Juni des Wachstumsjahrs in Richtung Herbst auf. Sind im Zeitraum 1994-2003 noch alle Mittelkurven am stärksten mit dem SPEI.curr.jul korreliert, verschiebt sich dieser Zusammenhang über Juli und August bis hin zu den höchsten Korrelationen mit dem SPEI für September und Oktober in den letzten drei berücksichtigten Zeitfenstern von 2004-2016. Dies legt nahe, dass der Einfluss von Temperatur und Niederschlag

in den Sommermonaten für das Durchmesserwachstum der untersuchten Bäume im Laufe der letzten zwei Jahrzehnte an Bedeutung gewinnt. Nicht auszuschliessen, aber wenig plausibel als Erklärung dafür, ist allerdings auch ein Alterstrend.

Während sich die Korrelationsmatrizen von Douglasie und Atlaszeder stark ähneln, fällt ein zunehmend negativer Zusammenhang zwischen dem Wachstum der Schwarzföhrenherkünfte und SPEI3-Werten für März des Wachstumsjahres auf (Abbildung 24). Feuchte Winter könnten sich demnach auf das Wachstum der untersuchten Schwarzföhren negativ auswirken. Der Grund dafür könnte sein, dass feuchte Winter die Anfälligkeit der Schwarzföhre auf Befall durch den Diplodia Erreger *Sphaeropsis sapinea* fördern (Petercord & Strasser 2017).

3.2.6 Resilienzindizes für 2003

Die für jeweils zwei Jahre vor und nach dem Hitzesommer 2003 berechneten Resilienzindizes zeigt Tabelle 12. Sie werden im Folgenden beschreibend erläutert; die statistische Modellierung findet sich im nachfolgenden Kapitel 3.2.7.

Tabelle 12. Mittlere Resilienzindizes nach Baumart und Herkunft und Standardabweichung.

Baumart Herkunft	Resistenz		Recovery		Resilienz	
	mean	sd	mean	sd	mean	sd
Douglasie	0.652	0.081	1.372	0.285	0.888	0.168
Enumclaw	0.601	0.083	1.384	0.127	0.835	0.159
Millevaches	0.689	0.056	1.303	0.171	0.902	0.149
Salmon Arm	0.681	0.090	1.321	0.201	0.894	0.143
Wind River	0.638	0.069	1.479	0.496	0.919	0.223
Schwarzföhre	0.771	0.173	1.110	0.185	0.849	0.211
Corse	0.768	0.230	1.164	0.207	0.863	0.165
Hongrie	0.769	0.116	1.118	0.226	0.860	0.227
Lozère	0.773	0.180	1.080	0.146	0.835	0.229
Atlaszeder	0.694	0.050	1.263	0.230	0.879	0.173
Provence	0.694	0.050	1.263	0.230	0.879	0.173
Ø	0.712	0.141	1.238	0.266	0.869	0.189

Resistenz

Baumarten Die Werte der Resistenz für das Jahr 2003, verglichen mit dem mittleren Wachstum der beiden vorangegangenen Jahre, ähneln sich über Baumarten und Herkünfte hinweg (Abbildung 15). Die grössten relativen Wachstumseinbussen verzeichnen die Douglasien (RES2 ~0.652) während der geringste Verlust, jedoch mit der grössten Standardabweichung, im Schwarzföhrenkollektiv zu finden ist.

Herkünfte Unter den Douglasien bricht das Wachstum der Herkunft „Enumclaw“ am stärksten ein, während die französische „Millevaches“ Provenienz und die Herkunft „Salmon Arm“ die geringsten Einbussen verzeichnen. Die Wachstumseinbussen der drei Schwarzföhrenherkünfte sind einander sehr ähnlich.

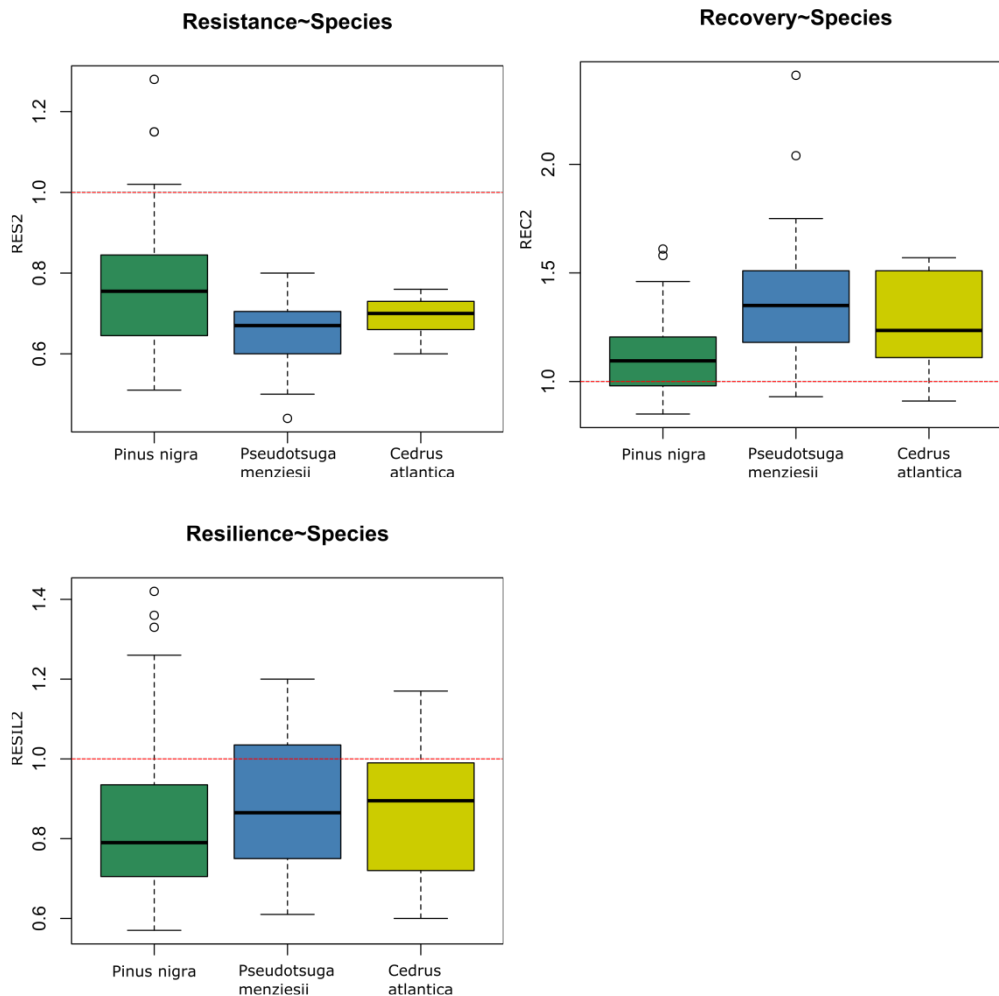


Abbildung 15. Boxplots der Resilienzindizes Resistance (RES2, links oben), Resilience (RESIL2, rechts oben) und Recovery (REC2, links unten) für 2 Jahre vor/nach dem Trockenjahr 2003 nach Baumarten.

Recovery

Baumarten Das mittlere Wachstumsniveau der Jahre 2004 und 2005 liegt für die Douglasien am deutlichsten über dem des Trockenjahrs 2003, gefolgt von Atlaszedern und Schwarzföhren (Tabelle 12). Während über ein Drittel der Schwarzföhren in den beiden Jahren nach der Trockenheit weniger stark wuchsen als 2003, ist dies bei nur 10% der Atlaszedern und nur knapp einem Prozent der Douglasien der Fall.

Herkünfte Die Douglasienherkünfte mit geringeren RES2 Werten zeigen die höheren Erholungsraten. So liegt das mittlere Dickenwachstum der Herkunft „Wind River“ in den beiden Jahren nach der Trockenheit um fast 50% über dem im Jahr 2003, allerdings auch mit der höchsten Streuung. Die Hälfte der Bäume dieser Provenienz stockt auf dem BT 3, dem tiefgründigen, am besten mit Wasser versorgten Boden. Die REC2 dieser Bäume beträgt 1.654, während sie bei Bäumen derselben Herkunft auf BT 2 nur 1.304 beträgt (Tabelle 13 im Anhang). Damit liegt dieses Teilkollektiv der Herkunft auf dem Niveau von „Millevaches“ am unteren Ende der Recovery-Werte der Douglasien. Die Provenienz „Enumclaw“ zeigt ohne Berücksichtigung der Bäume auf BT3 die höchste Erholungsrate.

Die korsischen Schwarzföhren erholen sich am stärksten von ihrem Wachstums-einbruch, die Schwarzföhren der Herkunft „Lozère“ am schwächsten.

Resilienz

Baumarten Das mittlere Wachstum der beiden Folgejahre von 2003 liegt für alle Baumarten und Herkünfte unter dem der Jahre 2001 und 2002 (Tabelle 12, Abbildungen 15 und 16). Die Resilienzniveaus der Baumarten sind sich deutlich ähnlicher als die Resistenz- und Recovery-Werte und liegen im Mittel bei 0.869. Douglasien zeigen eine ähnlich hohe mittlere Resilienz wie die Atlaszedern, dicht gefolgt von den Schwarzföhren. Dies verändert sich bei Ausschluss der Bäume auf BT3 (s. Tabelle 13 im Anhang).

Herkünfte Die Douglasienherkunft „Wind River“ hebt sich mit einer RESIL2 von 0.919 etwas von den anderen Provenienzen ab. Hier nehmen wiederum die Bäume auf BT 3 mit einer mittleren Resilienz-Wert von 0.956 eine Sonderstellung ein. Die mittlere Resilienz der restlichen Bäume dieser Herkunft beträgt 0.882 und liegt damit noch unter derjenigen der Herkünfte „Millevaches“ und „Salmon Arm“. „Enumclaw“ erreicht trotz höchster Erholungswerte nur die geringsten RESIL2-Werte der Douglasienherkünfte. Möglicherweise setzt sich deren Erholung aber in den Folgejahren fort.

Zusammenfassung Resilienzindizes

Die untersuchten Douglasien weisen die grössten Wachstumsverluste im Trockenjahr 2003, aber auch die höchsten Erholungsraten in den beiden Folgejahren auf. Demgegenüber zeigen die Schwarzföhren die geringsten Wachstumseinbussen, aber auch die trügsten Erholungsraten (Abbildungen 15 und 16). Die Ergebnisse werden leicht dadurch beeinflusst, dass die Atlaszedern nicht auf BT 3 vorkommen; zudem liegen hier nur Ergebnisse einer Herkunft vor.

Die Douglasienprovenienz „Wind River“ weist besonders hohe RES2 und RESIL2 Werte auf (Abbildung 16). Allerdings wächst die Hälfte der Bäume auf dem BT 3, was auch die grossen Streuungen der Indizes erklären dürfte. Die übrigen Bäume dieser Provenienz, die auf einem mit den anderen Herkünften vergleichbaren BT wachsen, zeigen keine erhöhten Erholungsraten (Tabelle 13 im Anhang). Dass der BT möglicherweise eine bedeutende Rolle spielt, zeigen auch die beiden Schwarzföhren der Herkunft Lozère, die auf BT 3 stocken (Abbildung 31): Ihre mittleren Resilienzindizes liegen mit einem RES2 von 1.03 (Ø Lozère: 0.773), REC2 von 1.354 (Ø Lozère: 1.080) und RESIL2 mit 1.375 (Ø Lozère: 0.835) deutlich über dem Mittelwert der Herkunft (vgl. Tabellen 12 sowie 13 im Anhang).

Resistenz, Erholungsrate (Recovery) und Resilienz im Trockenjahr 2003 hängen zusammen (Abbildung 32). Je geringer der Wachstumseinbruch war, desto geringer ist die Erholungsfähigkeit. Bäume mit rascher Wiederaufnahme des Wachstums vor dem Trockenjahr (hoher Resilienz) weisen auch eine erhöhte Resistenz und eine erhöhte Erholungsrate auf.

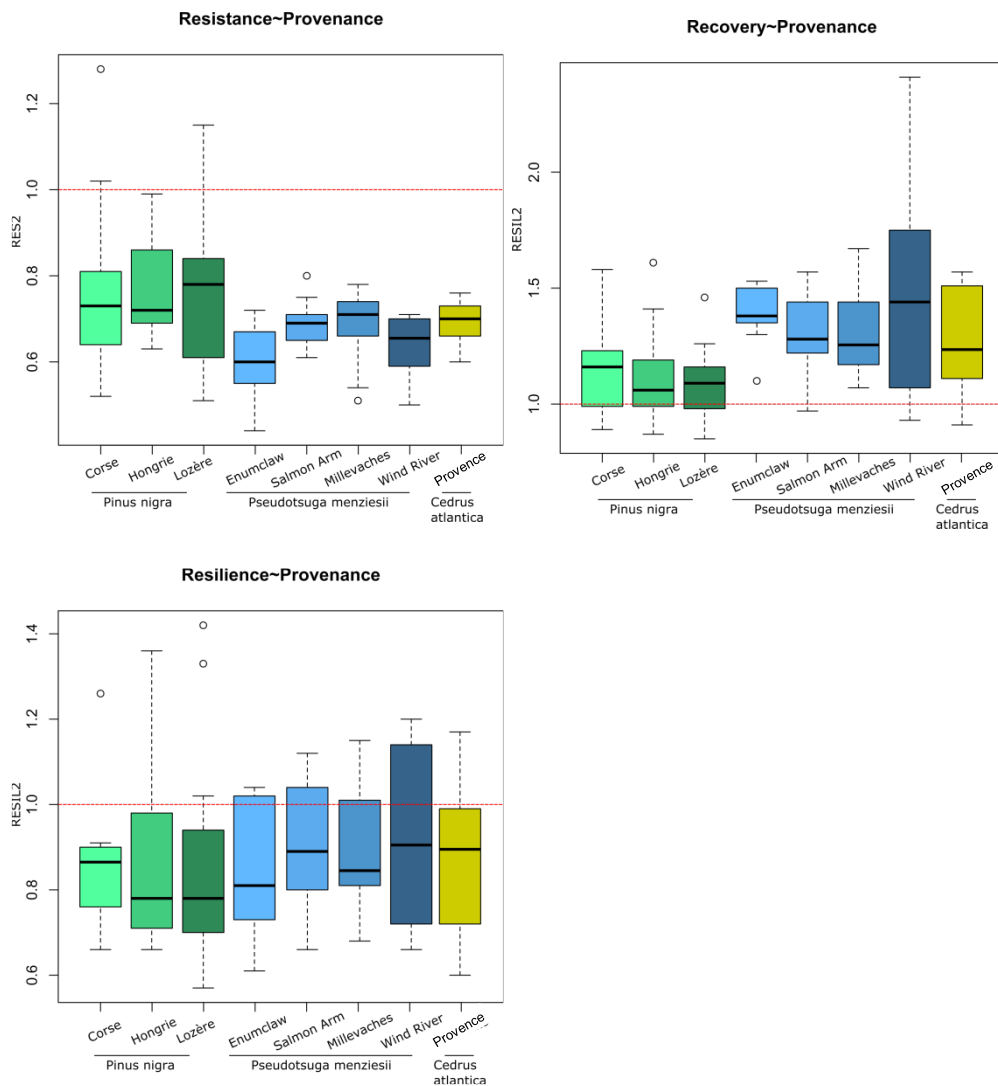


Abbildung 16. Boxplots der Resilienzindizes Resistance (RES2, links oben), Resilience (RESIL2, rechts oben) und Recovery (REC2, links unten) für 2 Jahre vor/nach dem Trockenjahr 2003 nach Provenienzen.

3.2.7 Statistische Modellierung der Resilienzindizes

Die Ergebnisse der statistischen Modellierung sind in Kap. 7.5 im Anhang ausführlich, hier hingegen nur knapp dargestellt.

Bei Einbezug von Bäumen auf BT 3 überprägen die Effekte der Bodentypunterschiede die Unterschiede zwischen Baumarten und Provenienzen. Douglasien und Schwarzföhren profitieren von tiefgründigeren, besser wasserversorgten Böden; im Mittel erholt sich ihr Wachstum hier schneller (Recovery), ist dem vor der Trockenperiode ähnlicher (Resilienz) und bricht tendenziell auch weniger stark ein (Resistenz).

Die Provenienzunterschiede sind insgesamt gering. Die Douglasienprovenienz „Enumclaw“ fällt mit vergleichsweise geringer Resistenz auf. Die Schwarzföhrenprovenienz „Lozère“ zeigt sowohl im Modell über alle Baumarten als auch im separaten Föhrenmodell eine geringere Resistenz und Erholungsrate.

3.3 Zusammenfassung und Interpretation der Jahrringstudie

3.3.1 Zusammenfassung

Auf der 1970 angelegten Versuchspflanzung Bois de Forel in Romainmôtier stocken u.a. mehrere Douglasien-, Schwarzföhren- und Atlaszedernprovenienzen. Im Rahmen dieser Studie untersuchten wir die Reaktionen des Durchmesserzuwachses von vier Douglasien- und drei Schwarzföhrenprovenienzen sowie einer Atlaszedernherkunft auf die starke Sommertrockenheit des Jahres 2003. Dazu wurde ein Weiserjahransatz verwendet.

Für insgesamt 94 Bäume wurden Jahrringbreiten gemessen und daraus Zuwachsdaten ermittelt. Diese Durchmesserzuwächse wurden mithilfe von Informationen über Bodengüte und klimatische Wachstumsbedingungen und auf Art- und Herkunftsebene analysiert. Da nur herrschende Bäume beprobt wurden, sind die Ergebnisse nur wenig von der gegenseitigen Konkurrenz beeinflusst.

Klima und Boden Seit Anlage der Versuchspflanzung hat die Jahresmitteltemperatur bei konstanter jährlicher Niederschlagssumme zugenommen. Sinkende Werte des Trockenheitsindex SPEI deuten ebenfalls auf zunehmend trockenere Wachstumsbedingungen hin. Auch im Bois de Forel nimmt das Trockenjahr 2003 eine Sonderstellung ein, weswegen dieses zur Analyse von Resilienzindizes ausgewählt wurde. Die Bodenkartierung ergab 3 BT mit unterschiedlicher Güte. Die Auswertung der Zuwachsdaten bestätigt die Ergebnisse dieser Kartierung.

Durchmesserwachstum Auffällig ist die hohe Gleichläufigkeit des Wachstums über die drei Baumarten hinweg. Hohe EPS-Werte für alle gebildeten Chronologien deuten ausserdem auf ein starkes gemeinsames Wachstumssignal hin (Tabelle 10). Ab Mitte der 1990er Jahre verlief das Durchmesserwachstum der Atlaszedern nicht nur fast perfekt synchron mit dem der Douglasien, sondern auch auf einem sehr ähnlichen Niveau (Abbildung 11). Bis Anfang der 1990er Jahre bewegten sich die Grundflächenzuwächse der Schwarzföhren und Douglasien auf einem ähnlichen Niveau, während die Zedern deutlich geringere Zuwächse zeigten. Gegen Ende der 1990er Jahre stiegen die Grundflächenzuwächse der Zedern deutlich an, die der Schwarzföhren blieben unverändert. Ab Mitte der 2000er Jahre liegen die Zuwächse der Zedern auf einem mittleren Niveau zwischen den hohen Zuwächsen der Douglasien und den geringen der Schwarzföhren.

Resilienzindizes Im Trockenjahr 2003 zeigten die Schwarzföhren, die Baumart mit den geringsten mittleren Zuwächsen, die geringsten Wachstumseinbussen im Vergleich zu den beiden Vorjahren. Am stärksten brach das Wachstum bei den Douglasien ein. Recovery und Resilienz waren im Douglasienkollektiv am höchsten, dicht gefolgt von der Atlaszeder. Wenn Bäume auf dem feuchtesten BT 3 ausgeschlossen werden, verschwinden die Unterschiede zwischen Douglasie und Atlaszeder weitgehend.

Die statistische Modellierung der Resilienzindizes belegte die Bedeutung des Gradienten der Bodengüte über die VFL: Je tiefgründiger der Boden, desto höher war die Resistenz des Durchmesserwachstums gegenüber Trockenheit. Für den BT 3 gilt dies auch für die Erholungsfähigkeit der Bäume sowie deren Resilienz, während sich die trockeneren BT 1 und BT 2 hierin nicht signifikant unterschieden. Die Model-

lierung ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen der Wachstumsreaktion von Douglasie und Atlaszeder, jedoch eine geringere Erholung der Schwarzföhre.

Die Douglasienprovenienz „Enumclaw“ fiel im Modell mit vergleichsweise geringer Resistenz auf. Die Schwarzföhrenprovenienz „Lozère“ zeigte eine verminderte Resistenz und Erholungsrate.

3.3.2 Interpretation im Licht anderer Studien

In einer Studie zu sechs Douglasienprovenienzen zeigten Jansen et al. (2013), dass die Wachstumsreaktion auf Trockenheit herkunftsabhängig ist. Zwischen den Douglasienprovenienzen im Bois de Forel wurden dagegen keine signifikanten Unterschiede in der Reaktion der Jahrringbreiten auf Trockenheit gefunden. In der genannten Studie (Jansen et al. 2013) waren Provenienzen mit den geringsten langfristigen Höhenzuwächsen diejenigen mit den geringsten Zuwachseinbussen bei Trockenheit. Die Autoren schliessen daraus, dass bei der Provenienzwahl Tradeoffs zwischen hohem Zuwachs und Trockenheitsresistenz berücksichtigt werden müssen. Dies bestätigt die Studie im Bois de Forel tendenziell. Die beiden Herkünfte mit den geringsten mittleren Jahrringbreiten, „Millevaches“ und „Salmon Arm“, zeigten auch die geringsten Wachstumseinbussen im Jahr 2003 und die höchste Resilienz unter den Herkünften.

In einer weiteren Studie mit sechs Douglasienprovenienzen weist die Herkunft „Salmon Arm“ die geringste Wuchsleistung und schlechte Stammqualitäten auf (Weller & Jansen 2017). Tatsächlich sind die mittlere Jahrringbreite und der mittlere Grundflächenzuwachs dieser Herkunft unter den im Bois de Forel beprobten Provenienzen am kleinsten. Allerdings ist keine weitere der von Weller & Jansen (2017) verglichenen Herkünfte im Bois de Forel gepflanzt worden. „Salmon Arm“ wird hier in einer ersten Einschätzung als qualitativ hochwertig eingeordnet und es wird eine Anbauempfehlung ausgesprochen (Jeantet 2002).

Im Allgemeinen sind sommerliche Trockenheit und Sommerniederschlag die Haupteinflussfaktoren für das Wachstum der korsischen Schwarzföhren (Lebourgeois 1998). Zudem wachsen laut Fkiri et al. (2018) Schwarzföhren der Subspezies *nigra* (Ungarn) auf Kalkgestein besser als solche der Subspezies *salzmanii* (Lozère) und *laricio* (Korsika). Seho et al. (2010) fanden bei einem Herkunftsversuch mit Schwarzföhren auf Kalkstandorten in Baden-Württemberg nach 49 Jahren, dass die korsische Herkunft im Höhenwachstum den anderen drei Herkünften überlegen war, im Durchmesserwachstum aber zurückblieb. Im Bois de Forel konnte keine Unterlegenheit der korsischen Herkunft festgestellt werden. Die Schwarzföhrenherkünfte unterschieden sich weder im Wachstum noch in der Reaktion auf Trockenheit signifikant.

Junge Schwarzföhren erwiesen sich in einer Studie von Correia et al. (2018) unter 33 untersuchten Baumarten als eine derjenigen mit den geringsten Tradeoffs zwischen Wachstum und Überlebensraten in der Jugend und einer geringen Plastizität des Wachstums gegenüber klimatischen Veränderungen. Diese Beobachtung deckt sich mit dem vergleichsweise hohen Wachstumsniveau in den ersten Jahren nach der Pflanzung (Abbildungen 11-14) und den hohen Überlebensraten von *Pinus nigra* in Folge des Trockenjahrs 1976 (Jeantet 2002) im Bois de Forel.

Im Bois de Forel stockt die Zeder auf verhältnismässig flachgründigen Böden mit karbonatischem Ausgangsgestein. Diese werden nur bei ausreichend Niederschlag toleriert (Huber & Storz 2014). Verhältnismässig grosse Grundflächenzuwächse und Jahrringbreiten sowie geringe Mortalität auf den Zedernflächen sprechen dafür, dass ihr die trockenen Buchenwaldstandorte im Bois de Forel zusagen. Die Wachstumsperiode dauert in den Herkunftsgebieten von Ende April bis Ende September (König 2004). Für die Periode von 2000-2018 ist das Wachstum der Atlaszeder im Bois de Forel aber bereits stark positiv mit den Märztemperaturen korreliert. Dies deutet auf einen noch früheren Beginn des Durchmesserwachstums auf den untersuchten Standorten hin.

Es scheint im Moment trotz grossen Bemühungen unmöglich, Saatgut aus den natürlichen Herkunftsgebieten zu beschaffen (Muhidin Seho, mündl. Mitteilung). In Provenienztests in Italien zeigten Atlaszedern der sekundären französischen Provenienz aber grössere Zuwächse als solche aus Marokko (Fusaro 2007). Der Rückgriff auf die seit vielen Jahrzehnten bewährten Herkünfte aus Südfrankreich scheint daher vertretbar, ja vielleicht sogar von Vorteil.

Die Jahrringbreite der Atlaszeder im Bois de Forel ist über den Zeitraum von 1982-2016 positiv mit den Temperaturen von Oktober bis Dezember korreliert. Ein solcher positiver Effekt von warmen Temperaturen ausserhalb der Vegetationszeit wurde auch von Till (1987) für die Januar-temperatur berichtet, allerdings für Zedernbestände zwischen 1400 und 2600 m ü.M. Auf tiefer gelegenen Standorten finden Linares et al. (2013) keinen solchen Effekt hoher Wintertemperaturen. Im Zeitraum von 2000-2016 fällt ein solcher Effekt auch im Bois de Forel weg. Dies könnte eine Auswirkung steigender Temperatur im Bois de Forel, möglicherweise aber auch des zunehmenden Baumalters sein.

4 Erhebung der Douglasien-Naturverjüngung

4.1 Ziel und Methoden

Ziel dieser Teilstudie war, Hinweise auf ein potenziell invasives Verhalten der untersuchten Baumarten zu finden. Bei Atlaszeder, Gelbföhre und Schwarzföhre wurden keine Naturverjüngung gefunden. Die Douglasie verjüngt sich hingegen in mehreren TFL. In den TFL 321 und 322, wo die Douglasien-Naturverjüngung am dichtesten auftritt, wurden alle Douglasienpflanzen mit $BHD < 8$ cm in den TFL sowie in einem Pufferstreifen von 5 m rund um diese erfasst und mit einem nummerierten Metallplättchen am Stammfuss versehen. In TFL 321 wurden die Baumnummern 2-133, in TFL 322 die Baumnummern 134-157 vergeben. Die Höhe jeder Pflanze wurde gemessen und der Überschirmungsgrad über der Pflanze in Schritten von 10% geschätzt. Die Position aller Pflanzen wurde mit einem Vertex-Distanzmessgerät und einem Wyssen-Kompass bestimmt, relativ zu den Positionen der in der ertragskundlichen Inventur aufgenommenen Bäume und Eckpunkte.

4.2 Ergebnisse

Die Dichte der Douglasien-Verjüngungspflanzen war innerhalb der TFL (ohne Pufferstreifen) in TFL 321 1298/ha (Höhe: 17.3 ± 1.5 cm, Mittelwert $\pm$ Standardfehler, $N=130$), und in TFL 322 98/ha (Höhe: 58.3 ± 4.0 cm, $N=24$). Die Verjüngung trat stark geklumpt auf und nur wenige Meter ausserhalb des Kronenbereichs der gepflanzten Samenträger. Einzelne, hier nicht erfasste Pflanzen können auch weiter entfernt stehen. Die Klumpung könnte darauf zurückzuführen sein, dass erst wenige Douglasien fruktifizieren. Dies dürfte auch bei den Zedern der Fall sein, bei denen 2018 nur einzelne Zapfen trugen. Die geringe Dichte der Douglasien und ihre geringe horizontale Ausbreitung geben keine Hinweise auf invasives Verhalten. Es ist geplant, diese Inventur auf die weiteren TFL mit Douglasien zu erweitern.

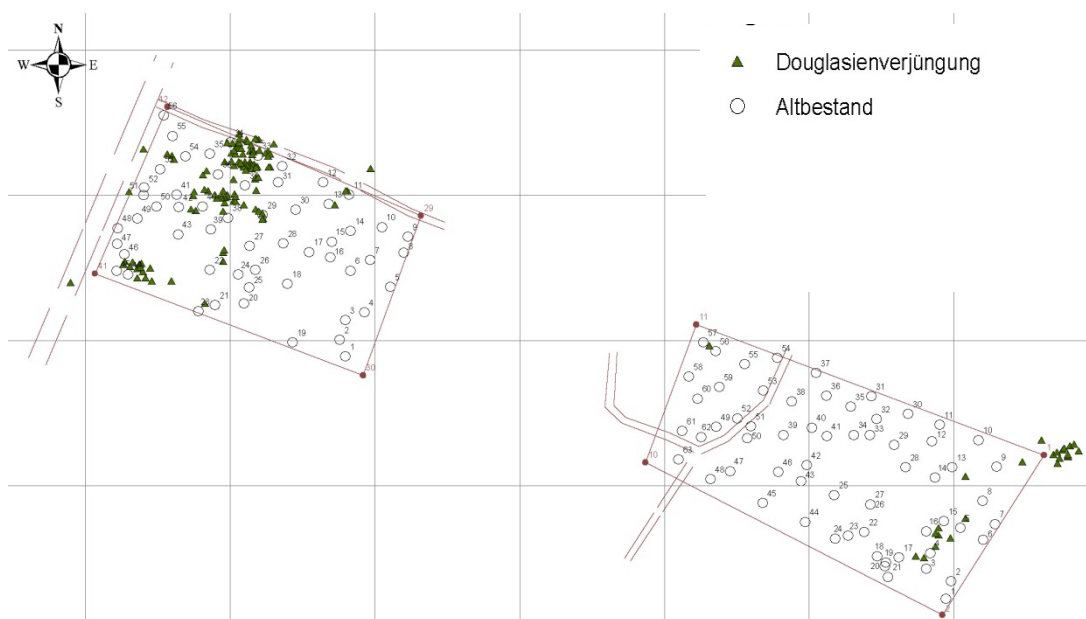


Abbildung 17. Douglasien-Verjüngungspflanzen in den und rund um die TFL 321 und 322.

5 Diskussion

5.1 Methodenkritik

Die Motivation zur Durchführung des Projekts „Reaktivierung Versuche mit Gastbaumarten Bois de Forel“ lag darin, neben neuen Versuchen mit Gastbaumarten (vgl. Projekt Testpflanzungen, www.testpflanzungen.ch) auch von der langen, 47jährigen Beobachtungszeit in einem bestehenden Versuch zu profitieren, von dem bereits Messungen bis 2002 vorliegen. Dies ist grundsätzlich gelungen, und 37 der ursprünglich 71 TFL (3,7 ha von 7,5 ha und damit weniger als geplant) konnten rekonstruiert werden. Hauptgrund für die Aufgabe von TFL war der Ausfall der gepflanzten Bäume; in einigen TFL waren auch die Grenzen unklar oder die TFL waren von Beginn weg zu klein.

Bei der Datenanalyse stellte sich heraus, dass das ursprüngliche Versuchsdesign die unterschiedlichen BT nicht berücksichtigte, die sich als für das Baumwachstum entscheidende Einflussfaktoren herausstellten. Daher ist der relativ tiefgründige BT 3 anteilig unterrepräsentiert. Darum wurden auch separate Modelle ohne diesen BT berechnet. Bei den auf BT 3 vertretenen Herkunftstypen sind die Bäume deutlich rascher gewachsen als Bäume auf minderen Bodenqualitäten.

Da in der Jahrringstudie nur dominante Individuen beprobt wurden, sind keine Aussagen über den Einfluss der sozialen Stellung oder Dimension der Bäume innerhalb einer Baumart und Herkunft möglich. Da die ertragskundliche Aufnahmemethode Höhenmessungen nur bei einer Stichprobe der Bäume vorsieht, sind die Kennzahlen h_{dom} und dGZ etwas weniger robust als d_{dom} und G, die auf an allen Bäumen gemessenen BHD-Werten beruhen.

5.2 Synthetische Bewertung der Baumarten

Entsprechend dem Projektziel wird hier versucht, die Eignung der Baumarten und Herkunftstypen für trockene Standorte im Mittelland gesamthaft einzuschätzen. Dabei ist die Datenlage für die ertragskundliche Inventur 2018 und für die Jahrringstudie zwar sehr gut, bezieht sich aber nur auf einen Teil der Baumarten und Herkunftstypen. Es wurde versucht, frühere Daten und Bewertungen einzubeziehen. Allerdings sind fast alle Rohdaten der Messungen bis 2002 verloren gegangen. Anscheinend wurden direkt Oberhöhen und -durchmesser gemessen, doch die Auswahl der gemessenen Bäume und deren Zuordnung zu TFL sind nicht dokumentiert. Dennoch werden diese Messwerte (1979, 1985, 1992, 2002) hier verwendet.

In der fünften bzw. sechsten Vegetationsperiode nach der Pflanzung führte der Trockensommer 1976 zum Ausfall folgender Baumarten (Jeantet 2002): Lärche, serbische Fichte und *Pinus rigida*; von den Douglasien, Atlaszedern und Waldföhren überlebten rund 70%. Dagegen überlebten Schwarz- und Gelbföhre zu fast 100%. Schlecht wuchsen auch *Pinus leucodermis*, *P. jeffreyi*, *P. maritima* und die Sommerlinde. Damit reduziert sich die Auswahl der im Bois de Forel geeigneten Baumarten auf Douglasie, Atlaszeder sowie Wald-, Schwarz- und Gelbföhre. Für diese Baumarten sowie für die serbische Fichte, die in einer TFL gut überlebte, wird die Eignung im Folgenden eingeschätzt.

Insgesamt sind die Unterschiede im Wachstum, in der rezenten Mortalität und in der Reaktion auf Trockenheit zwischen den Baumarten grösser als diejenigen zwischen den Herkünften (Abbildung 18). Die Wachstumsunterschiede bleiben im Verlauf der Zeit auch weitgehend konstant: Die Douglasien sind nach 9 Jahren (1979) den anderen Baumarten davongewachsen und können den Vorsprung bis 2018 ausbauen, was ihnen 2018 auch das grösste Volumen und den grössten dGZ gibt. Ihre Reaktion auf Trockenheit zeigt einen ausgeprägten Wachstumseinbruch, aber auch rasche Erholung und Wiederaufnahme des Wachstums vor der Trockenheit. Die Schwarzföhren liegen im Wachstum nahe beieinander, wobei die korsische Herkunft anfänglich am raschesten wächst. Im Gegensatz zur Douglasie bricht ihr Wachstum bei Trockenheit kaum ein. Sie zeigen aber in den letzten Jahren erhöhte Mortalität, deren Ursachen nicht untersucht sind (da es alle Föhrenarten betrifft, steht eine pathogene Ursache im Vordergrund); hierbei ist eine allfällige Mortalität infolge des Trockenjahres 2018 noch unberücksichtigt. Am geringsten ist diese Mortalität bei der korsischen Herkunft. Die Waldföhre wächst ähnlich wie die Schwarzföhrenherkünfte

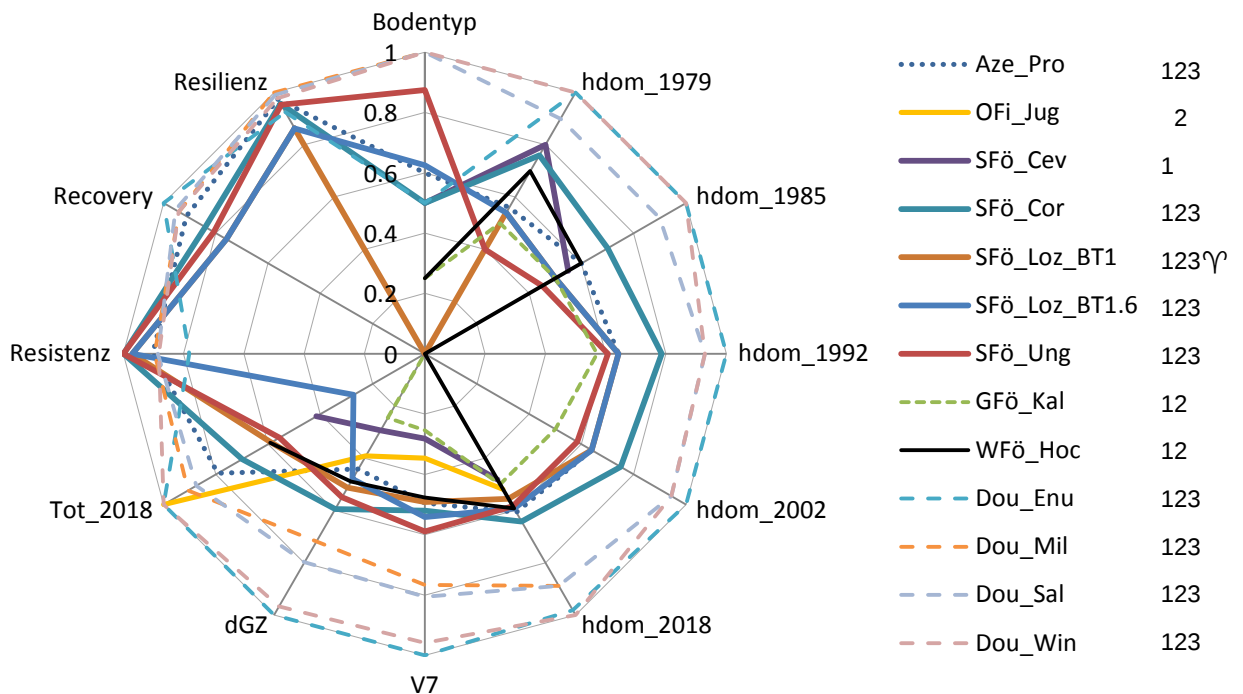


Abbildung 18. Netzdiagramm von Kennzahlen der Baumarten und Herkünfte im Versuch mit Gastbaumarten im Bois de Forel. Die wenigen Bäume und TFL auf dem feuchten BT 3 wurden ausser bei den h_{dom} -Werten von 1979 bis 2002 ausgeschlossen. Jede Linie stellt den Mittelwert von 1 bis 5 TFL dar. Die Daten wurden so transformiert, dass sie zwischen 0 und 1 liegen, wobei der Maximalwert („beste Merkmalsausprägung“) 1 beträgt und die übrigen Werte im Verhältnis zum Maximalwert liegen. Eine Ausnahme ist der BT, der vor Transformation zwischen 1 und 2 lag (wobei bei Zusammenfassung mehrerer TFL auch Zwischenwerte wie 1.8 möglich waren) und nach Subtraktion von 1 zwischen 0 und 1 zu liegen kam. Die Abkürzungen der Baumarten folgen Tabelle 1, für die Abkürzungen der Herkünfte wurden die ersten 3 Buchstaben der Herkunftsnamen benutzt. Bei einem Teil der Baumarten bzw. Herkünfte fehlen Messungen von h_{dom} aus den Jahren 1979-2002 bzw. die Werte der Jahrringstudie (Resistenz, Recovery, Resilienz). Dies ist in der Spalte rechts der Erklärungen der Signatur angegeben: 1 = mit Werten von 1979 bis 2002 (mind. teilweise); 2 mit ertragskundlicher Inventur 2018; 3 mit Jahrringstudie. – γ Die Werte von 1979 bis 2002 entsprechen der für SFö_Loz_BT1.6.

und zeigte zuletzt auch erhöhte Mortalität. Die Atlaszeder ähnelt im Wachstum und der rezenten Mortalität den Schwarzföhrenherkünften, nimmt in der Reaktion auf Trockenheit aber eine Zwischenstellung zwischen Douglasie und Schwarzföhre ein. Die Gelbföhre und die serbische Fichte (Omorikafichte) bleiben im Laufe der Zeit im Wachstum hinter der Schwarzföhre zurück, ebenso die Schwarzföhrenherkunft aus den Cevennen (deren Reaktion auf Trockenheit nicht untersucht wurde).

Auf den trockenen Buchenwald-Standorten im Bois de Forel sind keine sehr guten Stammqualitäten zu erwarten. Dabei sind Herkunftsunterschiede wenig relevant. Frühere Beobachtungen (Jeantet 2002) ergaben zwar bei den Douglasienherkünften Empfehlungen für die Herkunft „Enumclaw“, weil sie raschwüchsig und feinastig ist, sowie von „Salmon Arm“, die mittelmässig wüchsig und feinastig ist. Von „Wind River“ wird trotz raschem Wachstum wegen Grobastigkeit abgeraten. Diese Einschätzung ist aufgrund der Tatsache zu hinterfragen, dass für die Produktion von Qualitätsholz auf jeden Fall eine Wertastung nötig ist. Eine solche Astung wurde im Bois de Forel an Douglasien durchgeführt.

Bei der Schwarzföhre ist die Einschätzung von Jeantet (2002), dass „La Sorba“ von Korsika am raschwüchsigsten ist, fraglich, denn bis 2018 haben sich die 4 Herkünfte im Wachstum aneinander angeglichen (Abbildung 18). Die ungarische Herkunft hingegen, die 2002 im Wachstum etwas zurücklag, hat inzwischen die anderen Herkünfte eingeholt. Bezüglich Stammqualität gilt das bei der Douglasie gesagte: Grobastigkeit (ausgeprägt bei der Herkunft aus Ungarn) ist mit Wertastung zu beheben. Wertastung ist auch bei der Atlaszeder wichtig, um gute Stammqualität zu erhalten.

In ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet in den Gebirgen Algeriens und Marokkos kommt die Zeder von eher semiariden Höhenstufen mit geringem Niederschlag (500-700 mm) bis in humide Höhenlagen (>1000 mm) vor und hat ihr Optimum in Höhenlagen zwischen 1600 und 2200 m (Huber 2014). Demarteau et al. (2007) zeigen, dass die Baumart nördlich der Alpen auch im Zuge eines moderaten Klimawandels geeignete Wuchsbedingungen findet. Hinweise dazu finden sich auch in Courbet et al. (2012b).

Insgesamt hat sich auf den trockenen Kalkstandorten des Bois de Forel bis ins Alter von 47 Jahren die Douglasie am besten bewährt, bei geringen Herkunftsunterschieden. Die Atlaszeder hatte erhebliche Anwuchsschwierigkeiten und stand der Douglasie im Wachstum anfänglich nach, hat aber inzwischen aufgeholt. Die Föhrenarten reagierten (ausser der Waldföhre) auf Trockenheit sehr gut, zeigen aber seit kurzem hohe Mortalität (am wenigsten die korsische Schwarzföhrenherkunft), was ihre Eignung stark einschränkt. Die serbische Fichte bleibt im Wachstum hinter den anderen Baumarten zurück; zudem überlebten nur wenige Bäume die Trockenheit von 1976. Die Lärche hat sich als ungeeignet erwiesen.

Die Verwendung von Nadelbaumarten auf den trockenen Standorten des Bois de Forel erhöht zwar den Holzertrag, gemessen am Volumen und noch mehr am Holzwert. Trotzdem bleiben die untersuchten Standorte im Zuwachs erheblich hinter mittleren Schweizer Standorten zurück, für die Begin (1991) bei den raschwüchsigen Douglasien einen mittleren Gesamtzuwachs im Alter 50 von 12 bis 26 m³ ha⁻¹ a⁻¹ errechnet hat. Er weist dabei auch nach, dass das Wachstum von Douglasien auf kalk- und skelettreichen Böden – wie im Bois de Forel – vermindert ist.

Die Resultate des Versuchs im Bois de Forel belegen wieder einmal, dass Resultate aus der Frühphase von Pflanzversuchen zu falschen Schlüssen führen können. Die Rangfolge der Baumarten im Bois de Forel hat sich im Laufe der Zeit erheblich geändert, dies noch einmal sehr kürzlich, mit der an den Föhrenarten auftretenden Mortalität. Besonders problematisch ist das, wenn nur eine Versuchsfläche vorliegt wie im Bois de Forel. Daher sind Netze von Versuchsflächen für wissenschaftliche Versuche von grossem Vorteil.

6 Literatur

- Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung. 1996. Forstliche Standortaufnahme. Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. 5. Auflage, IHW-Verlag, Eiching bei München, 352 S.
- Bariteau M, Vauthier D. 2011. Main results from the French cedar comparative field test network. In: Status of the Experimental Network of Mediterranean Forest Genetic Resources. CRA SEL, Arezzo and FAO – Silva Mediterranea. Rome, Italy, S. 61-64.
- Begin J. 1991. Productivité du Douglas vert (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii* Franco) en relation avec des caractéristiques stationnelles. Diss. Techn. Wiss. ETH Zürich, Nr. 9567.
- Bösch B. 2001. Neue Bonitierungs-und Zuwachshilfen. Wissenstransfer in Praxis und Gesellschaft–FVA Forschungstage 5.06.
- Bunn AG. 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia* 26(2), 115-124.
- Buras A. 2017. A comment on the expressed population signal. *Dendrochronologia* 44, 130-132.
- Courbet F, Lagacherie M, Marty P, Ladier J, Ripert C, Riou-Nivert P, Huard F, Amandier L, Paillassa E. 2012a. Le cèdre en France face au changement climatique: un projet pour un bilan et un transfert des connaissances. *Forêt Entreprise* 204, 41-45.
- Courbet F, Lagacherie M, Marty P, Ladier J, Ripert C, Riou-Nivert P, Huard F, Amandier L, Paillassa É. 2012b. Le cèdre en France face au changement climatique: bilan et recommandations. RMT AFORCE, 32 S. <https://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:179283>
- Demarteau M, François L, Cheddadi R, Roche E. 2007. Réponses de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. *Geo-Eco-Trop: Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Ecologie Tropicales*.
- Frehner M, Brang P, Kaufmann G, Küchli C. 2018. Standortkundliche Grundlagen für die Waldbewirtschaftung im Klimawandel. WSL Berichte (66): 43 S.
- Fritts HC. 2012. Tree rings and climate. Elsevier.
- Fusaro E. 2007. *Cedrus atlantica* and *Cedrus libani* provenances tests. Synthesis of the research carried out in Italy. Book FAO-Silva Mediterranea "Status of the Experimental network of Mediterranean Forest Genetic Resources, 52-58.
- Huber G, Storz C. 2014. Zedern und Riesenlebensbaum – welche Herkünfte sind bei uns geeignet? *LWF-Wissen* 74, 63-71.
- Jansen K, Sohr J, Kohnle U, Ensminger I, Gessler A. 2013. Tree ring isotopic composition, radial increment and height growth reveal provenance-specific reactions of Douglas-fir towards environmental parameters. *Trees* 27(1), 37-52.
- Jeanet G. 1970. Forêt Cantonale de Forel (Romainmôtier). Essai de plantation et de culture d'essences calcicoles indigènes et exotiques [Beschreibung der Versuchsplanung]. 14 S.

- Jeantet G. 2002. Romainmôtier (Bois de Forel). Essais de plantation et de culture d'essences calcicoles indigènes et exotiques. Chronologie des travaux. Principaux résultats. Photos. 18 S.
- König AO. 2004. *Cedrus atlantica*. *Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie*, 1-28.
- Linares JC, Taïqui L, Sangüesa-Barreda G, Seco JI, Camarero JJ. 2013. Age-related drought sensitivity of Atlas cedar (*Cedrus atlantica*) in the Moroccan Middle Atlas forests. *Dendrochronologia* 31(2), 88-96.
- Lloret F, Keeling EG, Sala A. 2011. Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos* 120(12), 1909-1920.
- Nitzsche J, Schmid H. 2018. Einrichtung und Erstinventur der ertragskundlichen Versuchsfläche Bois de Forel. Technischer Bericht. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 16 S.
- Petercord R, Strasser L. 2017. Mit der Trockenheit kommt der Pilz. *LWF aktuell* 112, 9-11.
- Rinntech 2009. LINTAB-Präzision-Jahrring für Jahrring. <http://www.rinntech.com/content/view/16/47/lang>
- Seho M, Kohnle U, Albrecht A, Lenk E. 2010. Wachstumsanalysen von vier Schwarzkiefer-Provenienzen (*Pinus nigra*) auf trockenen Standorten in Baden-Württemberg. *Allg Forst Jagd-Ztg* 181(5/6), 104-116.
- Stocker R, Burger T, Elsener O, Liechti T, Portmann-Orlowski K, Zantop S. 2002. Die Waldstandorte des Kantons Aargau. Wohlen: Kasimir Meyer AG.
- Teepe R, Dilling H, Beese F. 2003. Estimating water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density. *J Plant Nutr Soil Sci* 166, 111-119.
- Till C. 1987. The summary response function of *Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière in Morocco. *Tree-ring bulletin (USA)* 47, 23-36.
- van der Maaten-Theunissen M, van der Maaten E, Bouriaud O. 2015. pointRes: An R package to analyze pointer years and components of resilience. *Dendrochronologia* 35, 34-38.
- Vincente-Serrano SM, Beguería S, López-Moreno. JI. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate* 23(7), 1696-1718.
- Walthert L, Zimmermann S, Blaser P, Luster J, Lüscher P. 2004. Waldböden der Schweiz. Band 1. Grundlagen und Region Jura. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag. 768 S.
- Zang C, Pretzsch H, Rothe A. 2012. Size-dependent responses to summer drought in Scots pine, Norway spruce and common oak. *Trees* 26 (2), 557-569.
- Zang C, Biondi F. 2015. treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography* 38(4), 431-436.

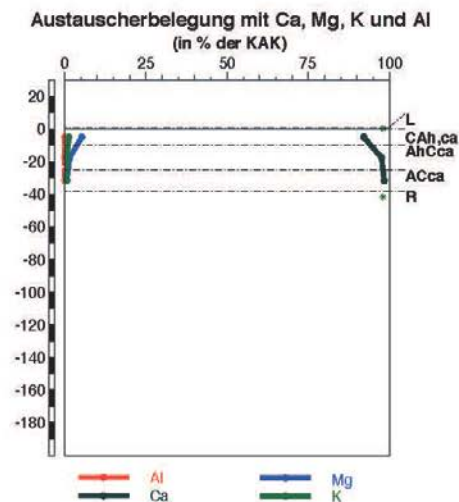
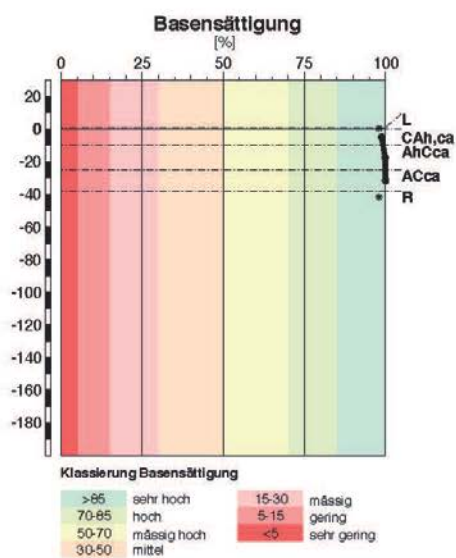
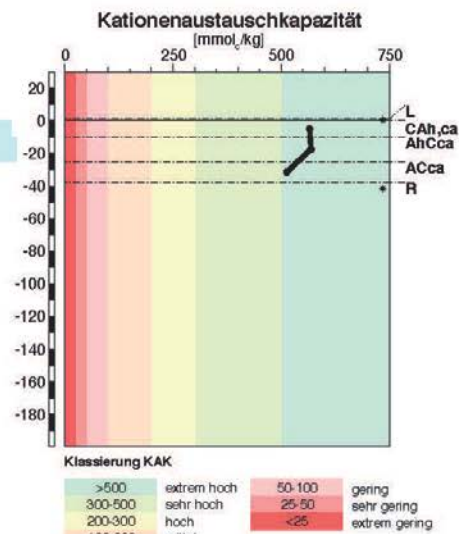
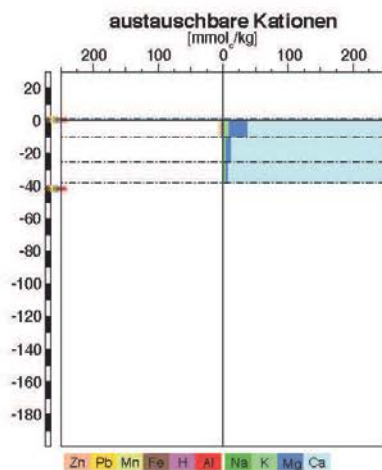
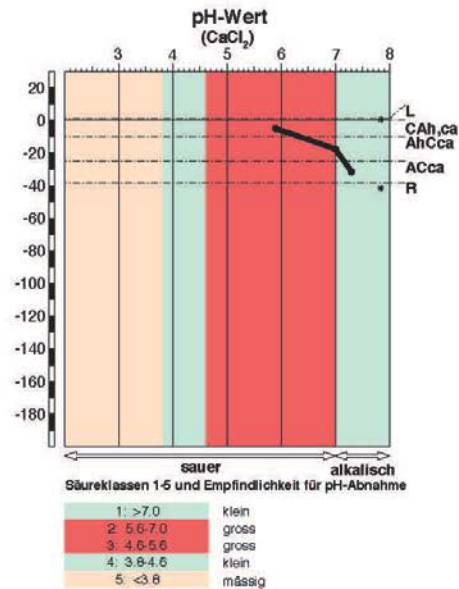
7 Anhang zur Jahrringstudie

7.1 Kennwerte der fünf Bodenprofile

Abbildung 19 (inkl. 4 nächste Seiten). Chemische Kennwerte der fünf Bodenprofile im Bois de Forel.

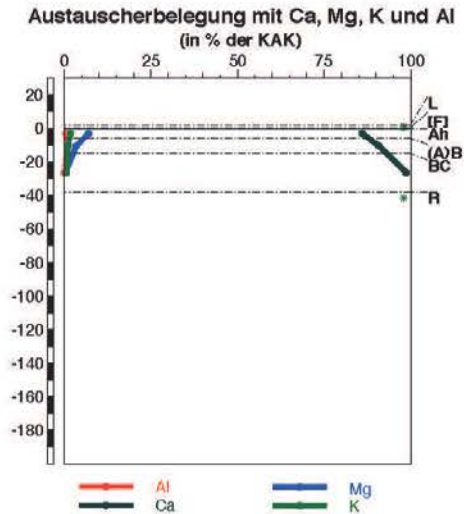
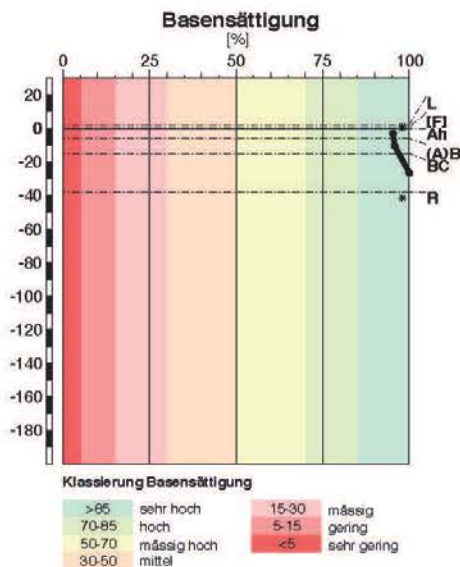
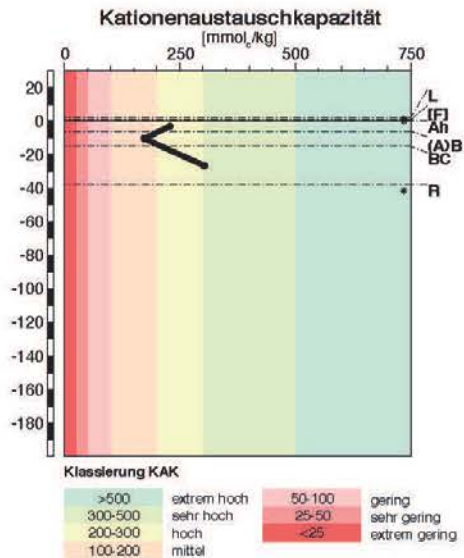
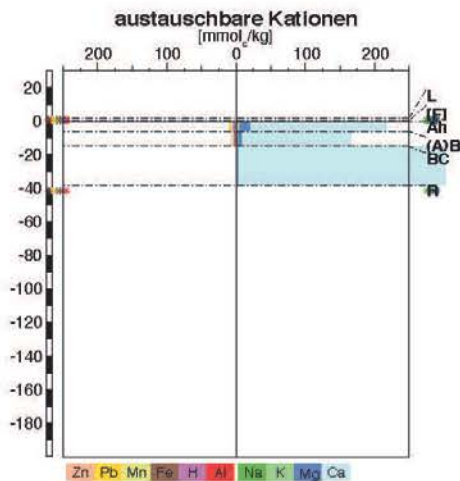
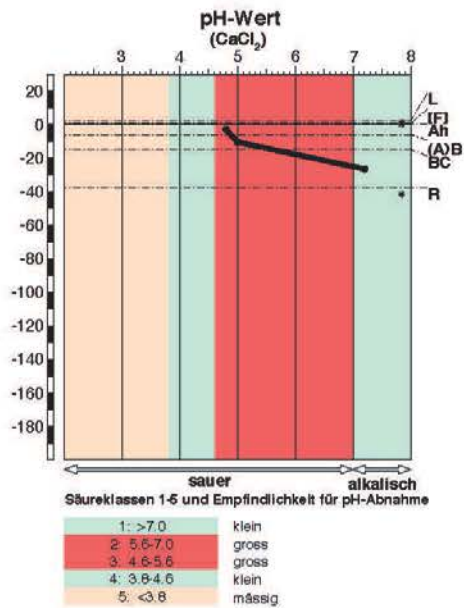
pH-Wert in 0.01 M CaCl_2 ,
austauschbare Kationen
und davon abgeleitete
Grössen
im Bodenprofil Romainmôtier_1

* fehlender Messwert



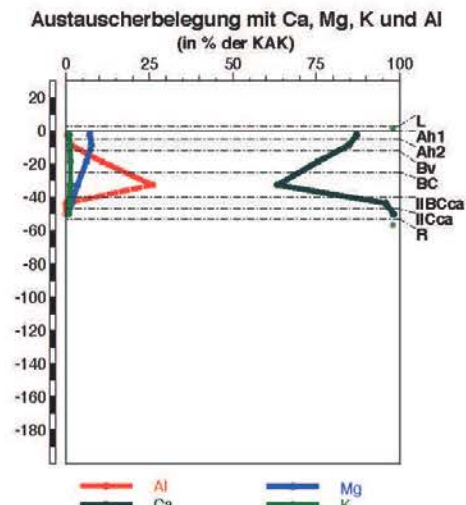
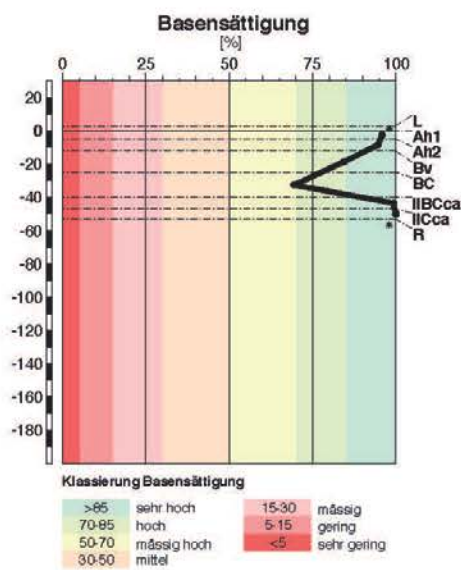
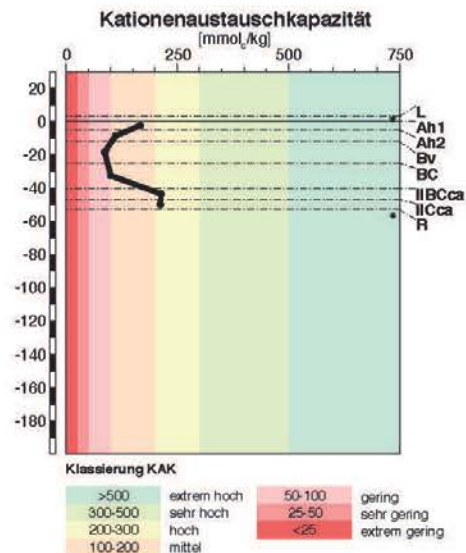
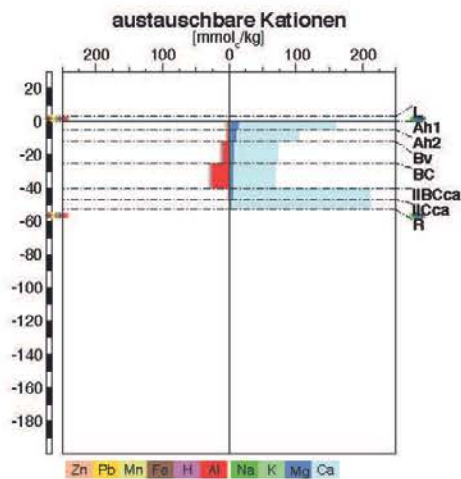
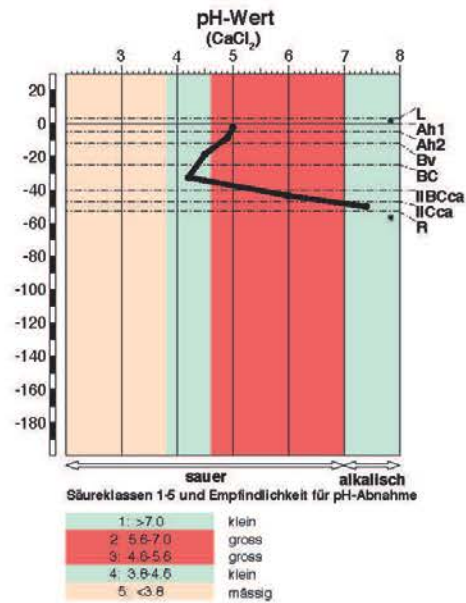
pH-Wert in 0.01 M CaCl_2 ,
austauschbare Kationen
und davon abgeleitete
Grössen
im Bodenprofil Romainmôtier_2

* fehlender Messwert



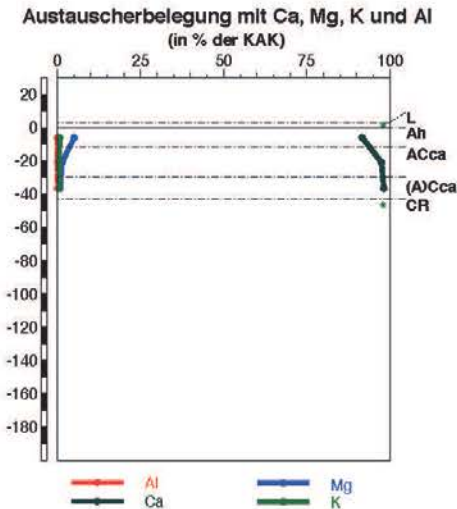
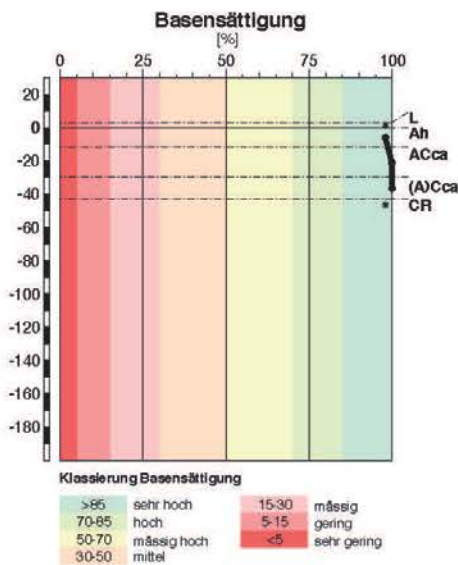
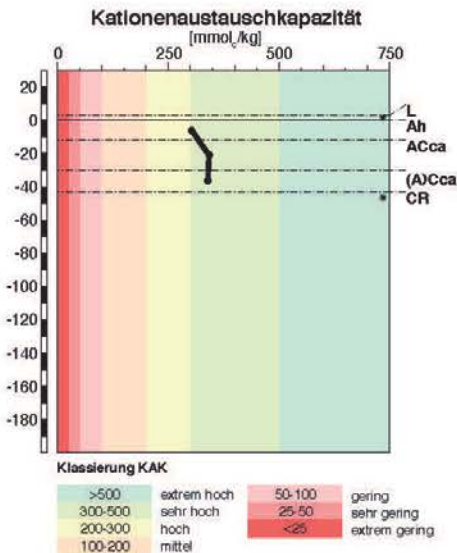
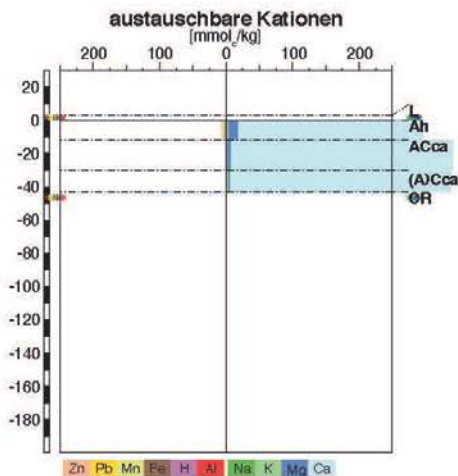
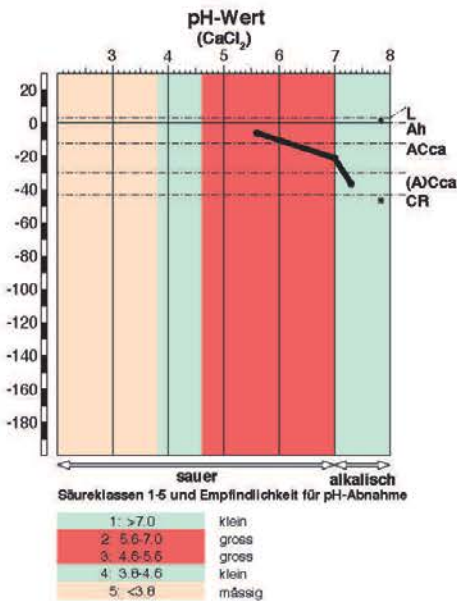
pH-Wert in 0.01 M CaCl_2 ,
austauschbare Kationen
und davon abgeleitete
Grössen
im Bodenprofil Romainmôtier_3

* fehlender Messwert



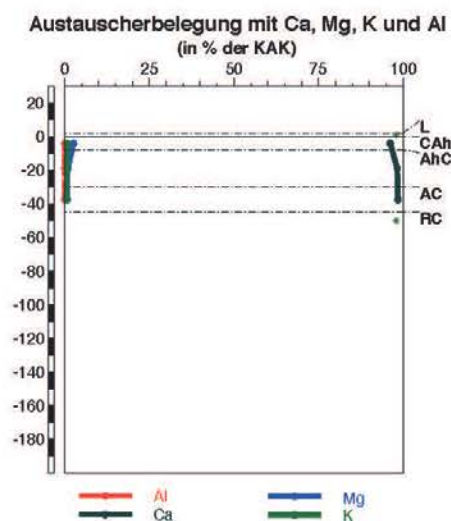
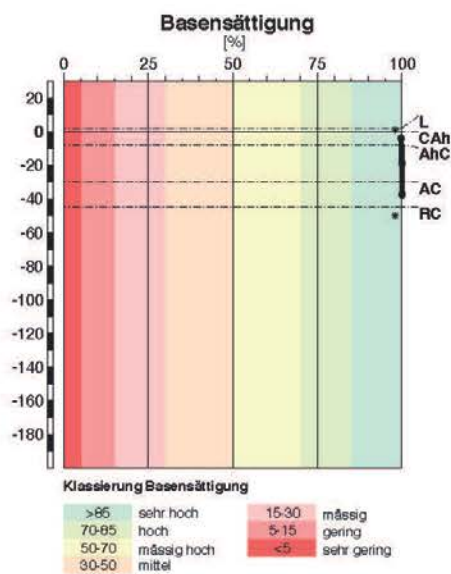
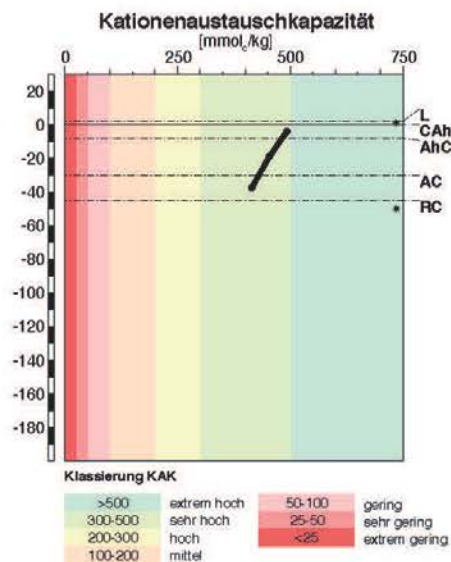
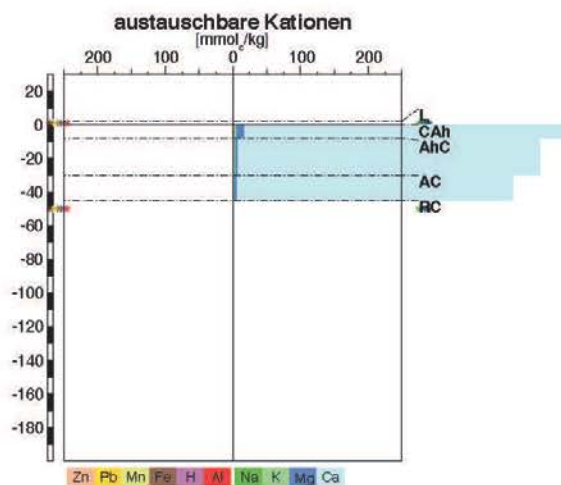
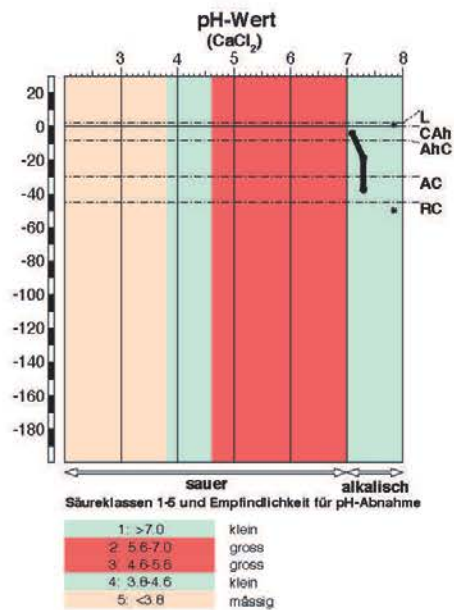
pH-Wert in 0.01 M CaCl₂,
austauschbare Kationen
und davon abgeleitete
Grössen
im Bodenprofil Romainmôtier_4

* fehlender Messwert



pH-Wert in 0.01 M CaCl_2 ,
austauschbare Kationen
und davon abgeleitete
Grössen
im Bodenprofil Romainmôtier_5

* fehlender Messwert



7.2 Chronologien (Rohwerte und trendbereinigte Werte)

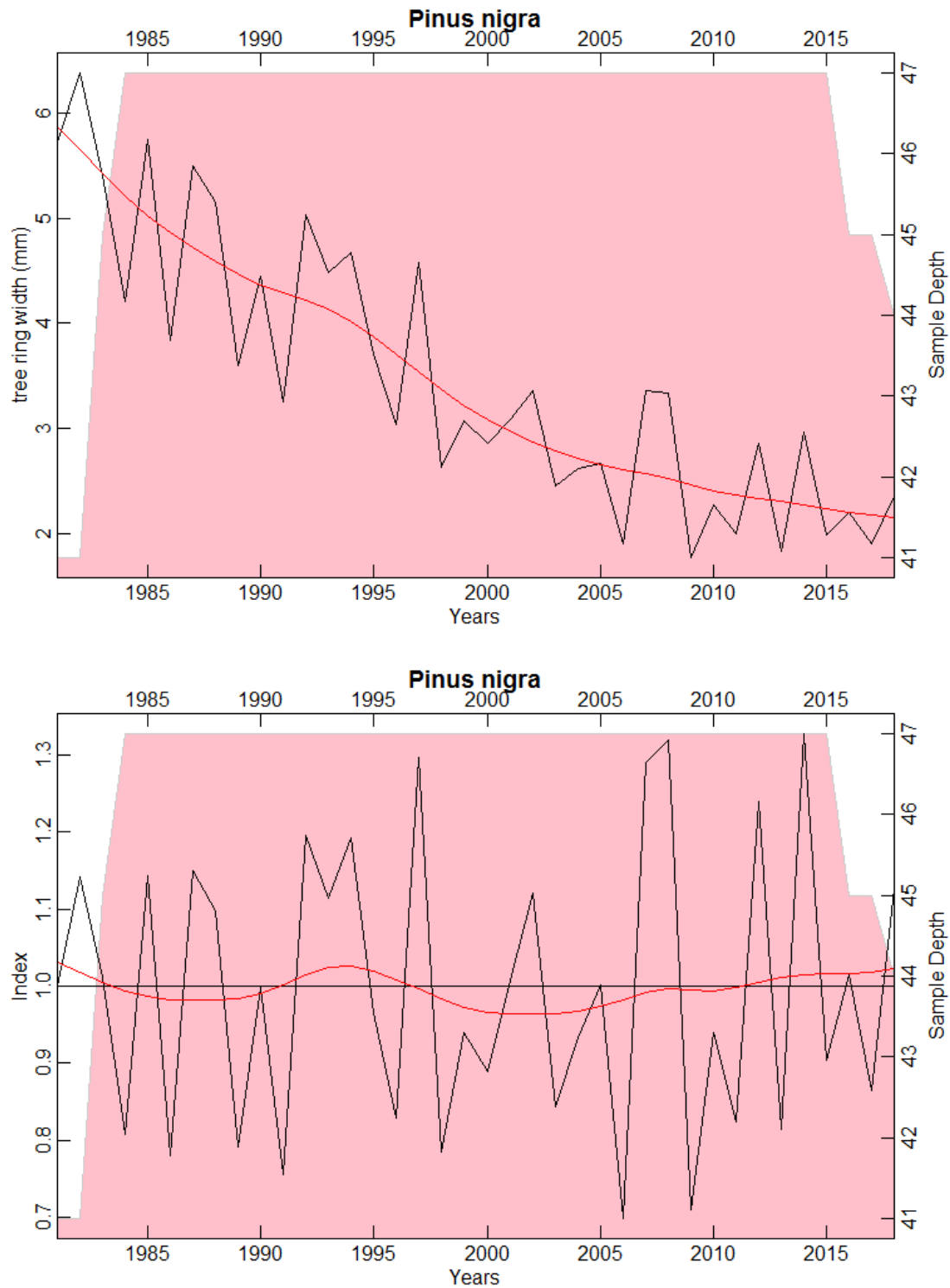


Abbildung 20. Rohe (oben) und trendbereinigte (unten) Chronologien von 47 Schwarzföhren im Bois de Forel. Die rote Linie stellt einen 15-Jahre Spline dar, der Probeumfang ist in Rosa unterlegt.

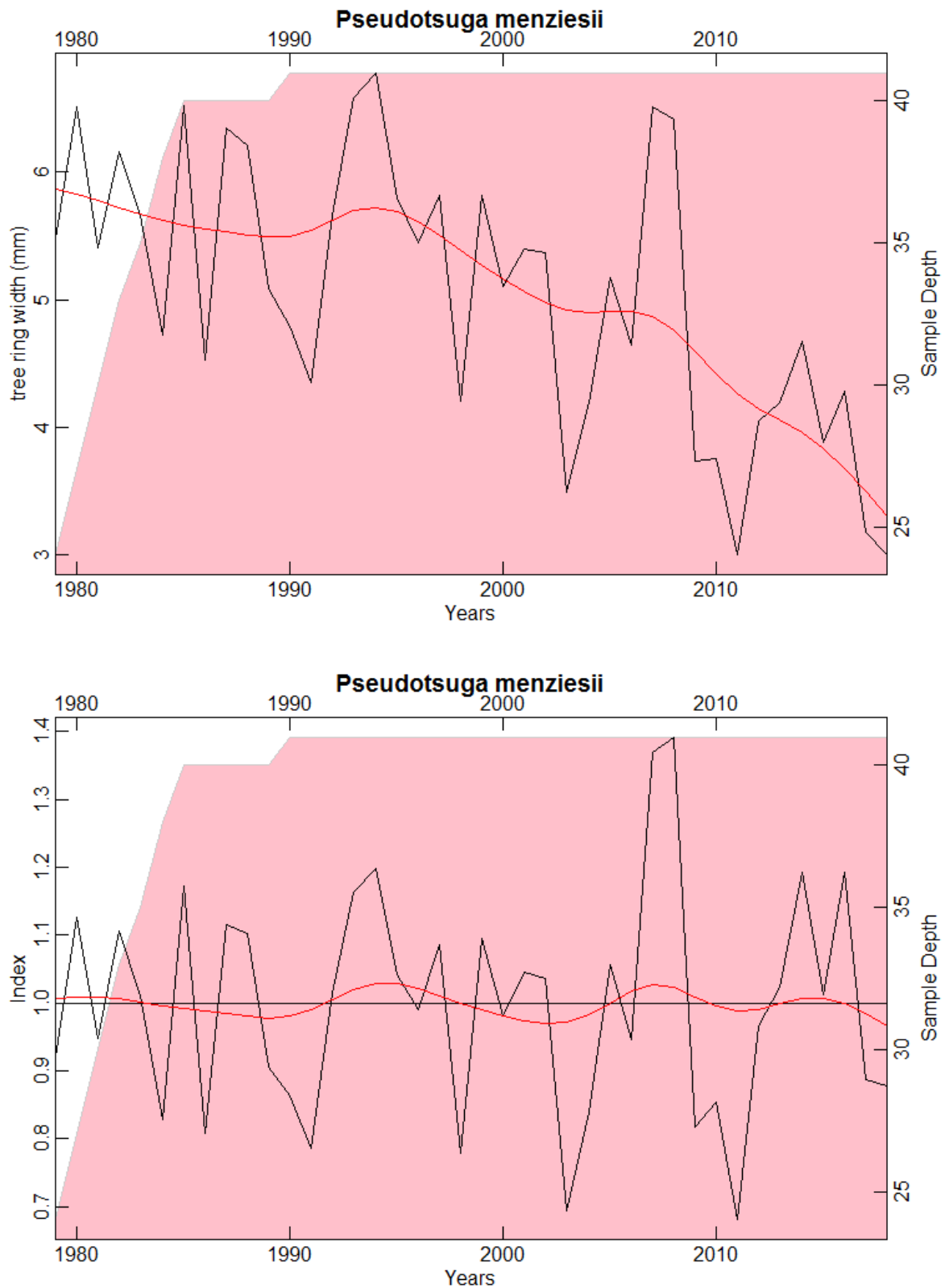


Abbildung 21. Rohe (oben) und trendbereinigte (unten) Chronologien von 41 Douglasien im Bois de Forel. Die rote Linie stellt einen 15-Jahre Spline dar, der Probeumfang ist in Rosa unterlegt.

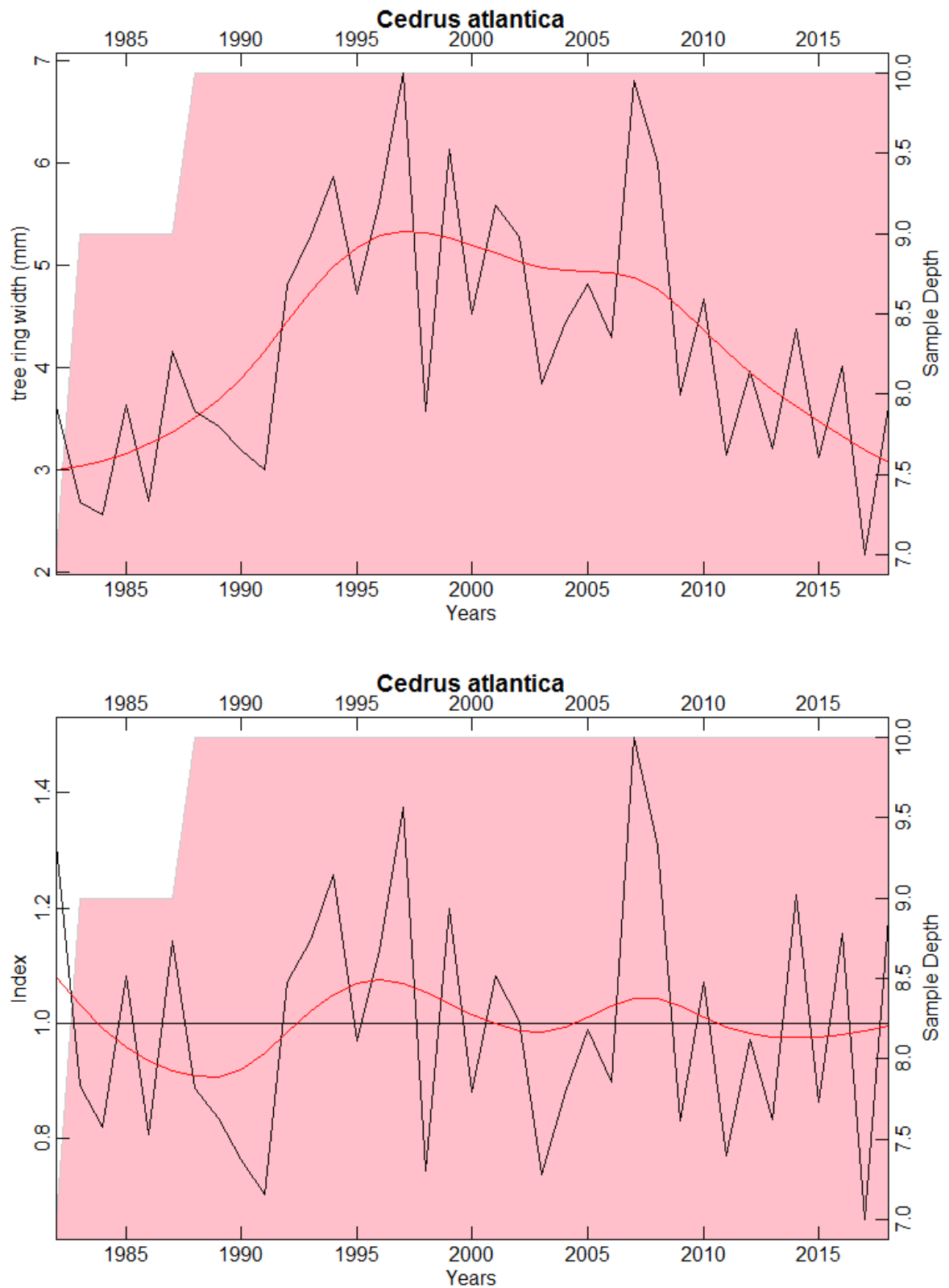


Abbildung 22. Rohe (oben) und trendbereinigte (unten) Chronologien von 10 Atlaszedern im Bois de Forel. Die rote Linie stellt einen 15-Jahre Spline dar, der Probeumfang ist in Rosa unterlegt.

7.3 Klima-Wachstumskorrelationen

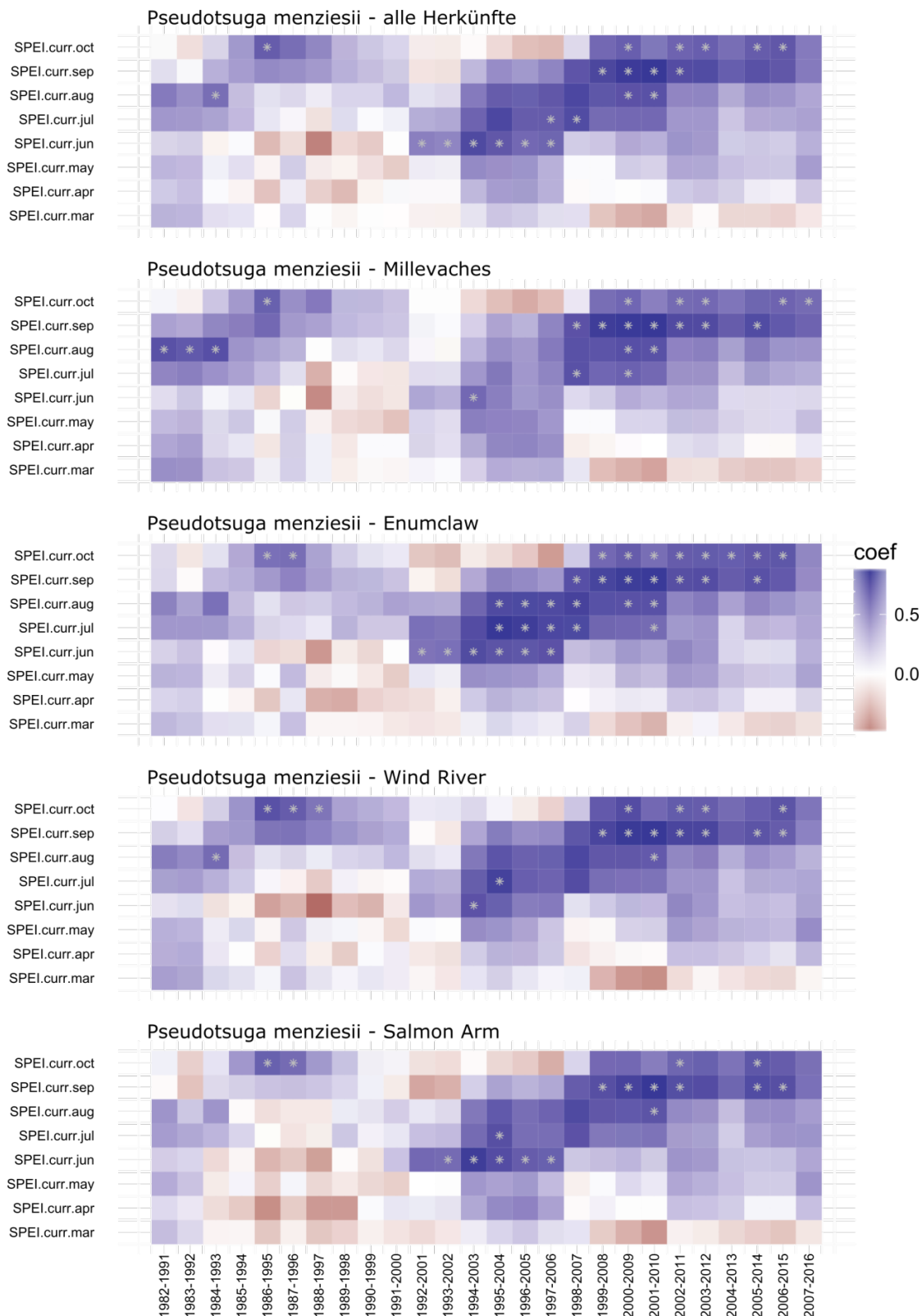


Abbildung 23. Moving-Window Korrelationen von SPEI3 und den trendbereinigten Wachstumsmittelkurven der Douglasienherkünfte.

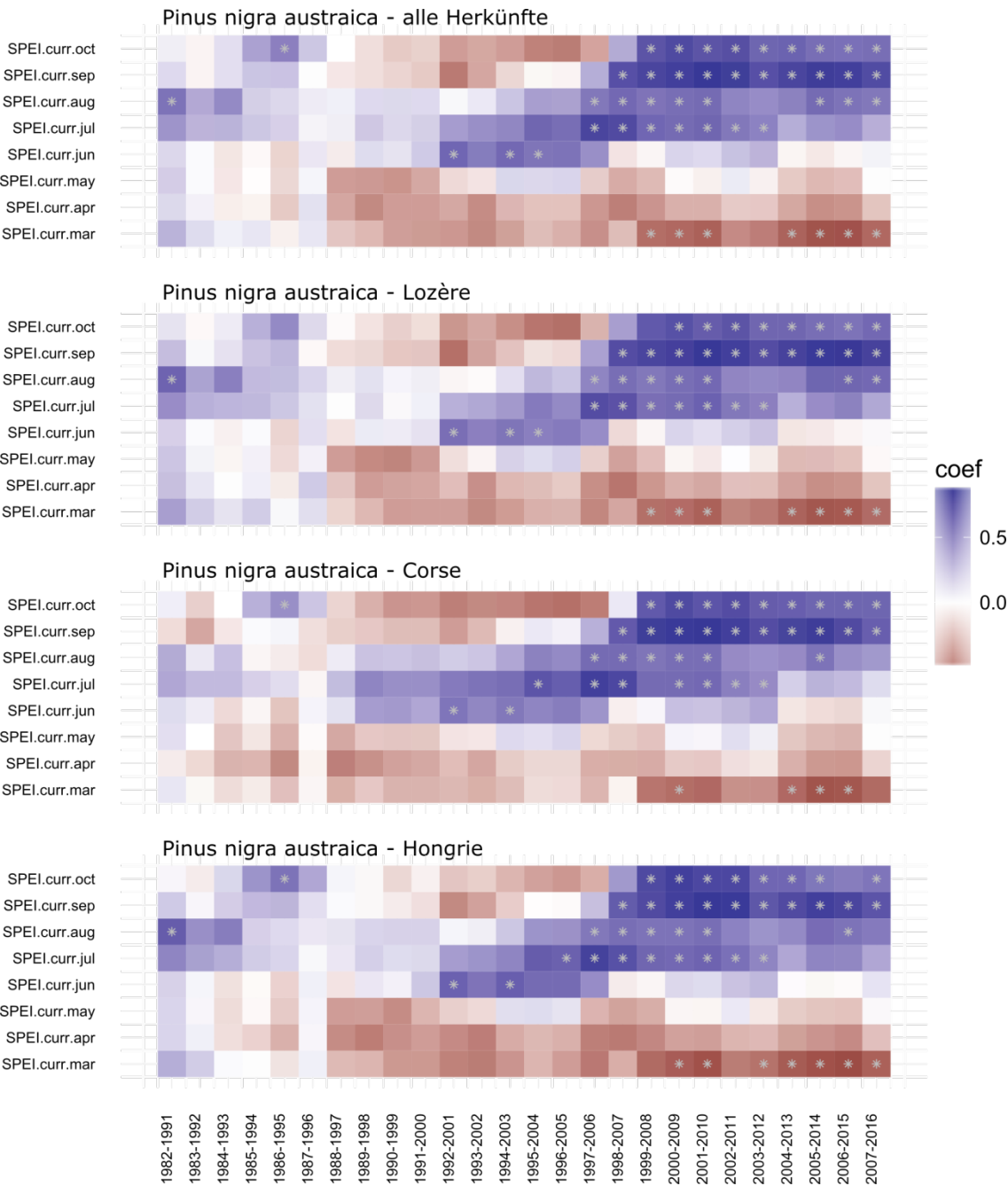


Abbildung 24. Moving-Window Korrelationen von SPEI3 und den trendbereinigten Wachstumsmittelkurven der Schwarzföhrenherkünfte.

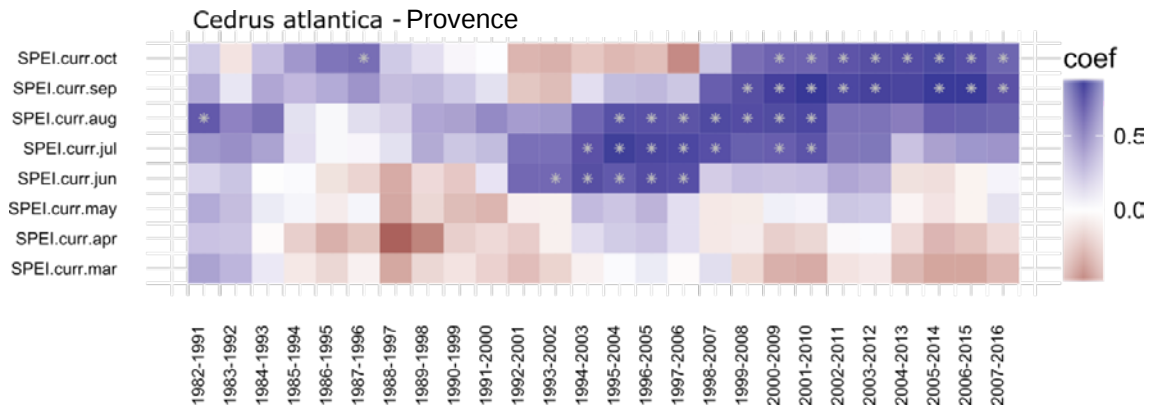


Abbildung 25. Moving-Window Korrelationen von SPEI3 und den trendbereinigten Wachstumsmittelkurven der Atlaszedernherkunft.

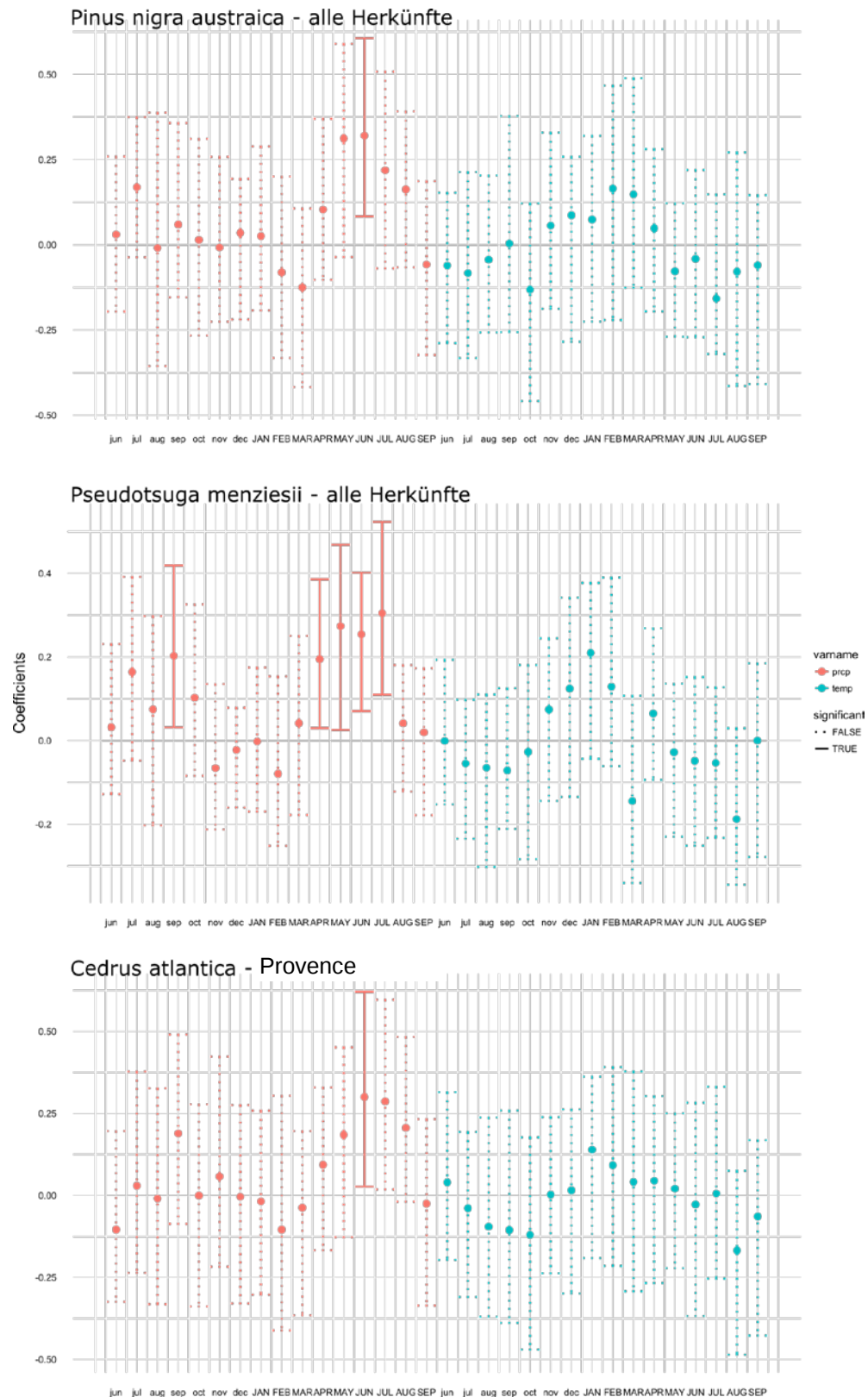


Abbildung 26. Korrelationsplots der Mittelkurven pro Baumart mit dem Monatsmittel der Temperatur (rot) und der monatlichen Niederschlagssumme (blau). Für einzelne Provenienzen s. Abbildung 27 und 28.

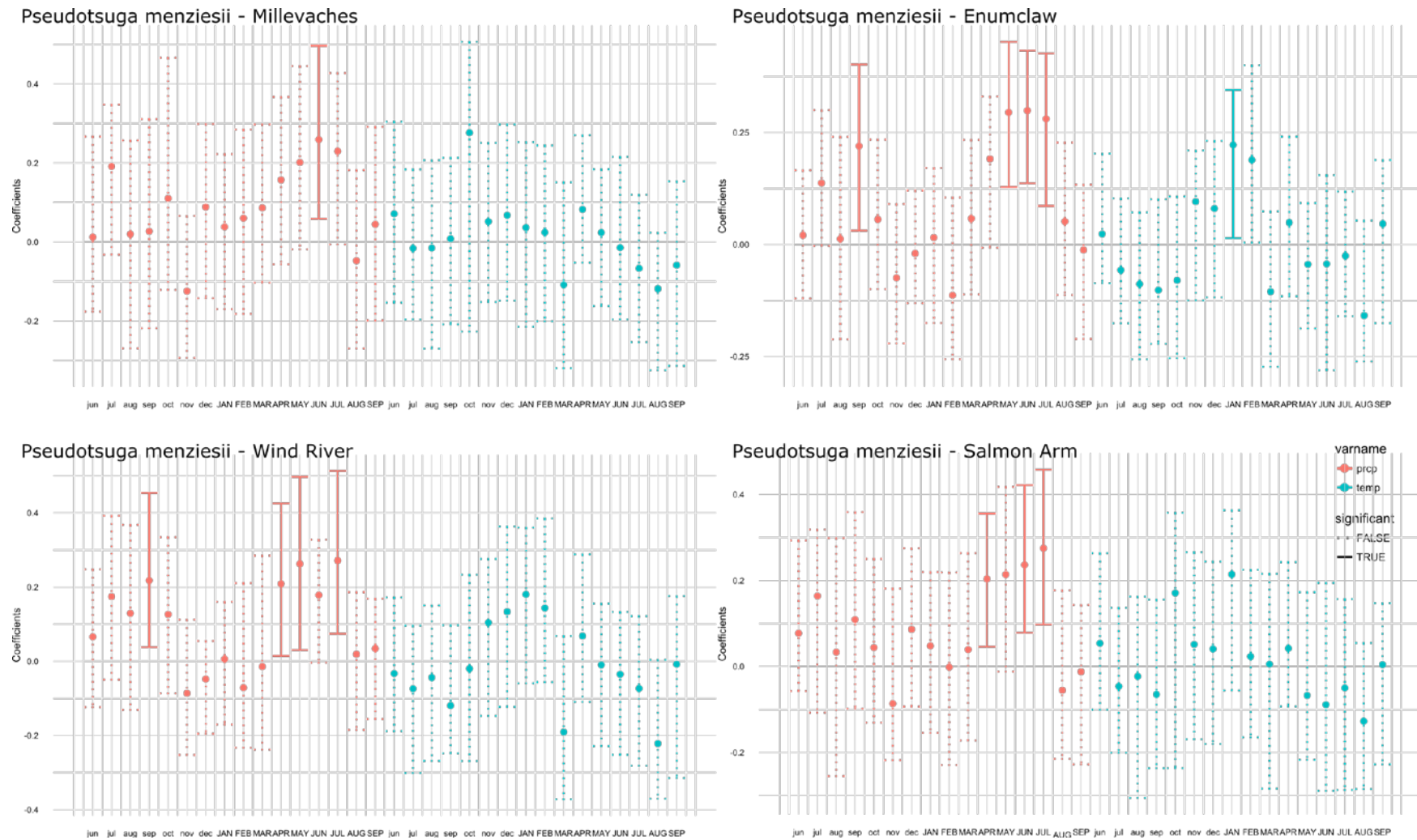


Abbildung 27. Korrelationsplot der Jahrringbreite der Douglasienherkünfte mit dem Monatsmittel der Temperatur (rot) und der monatlichen Niederschlagssumme (blau) von Juni des Vorjahres bis September des Wachstumsjahres.

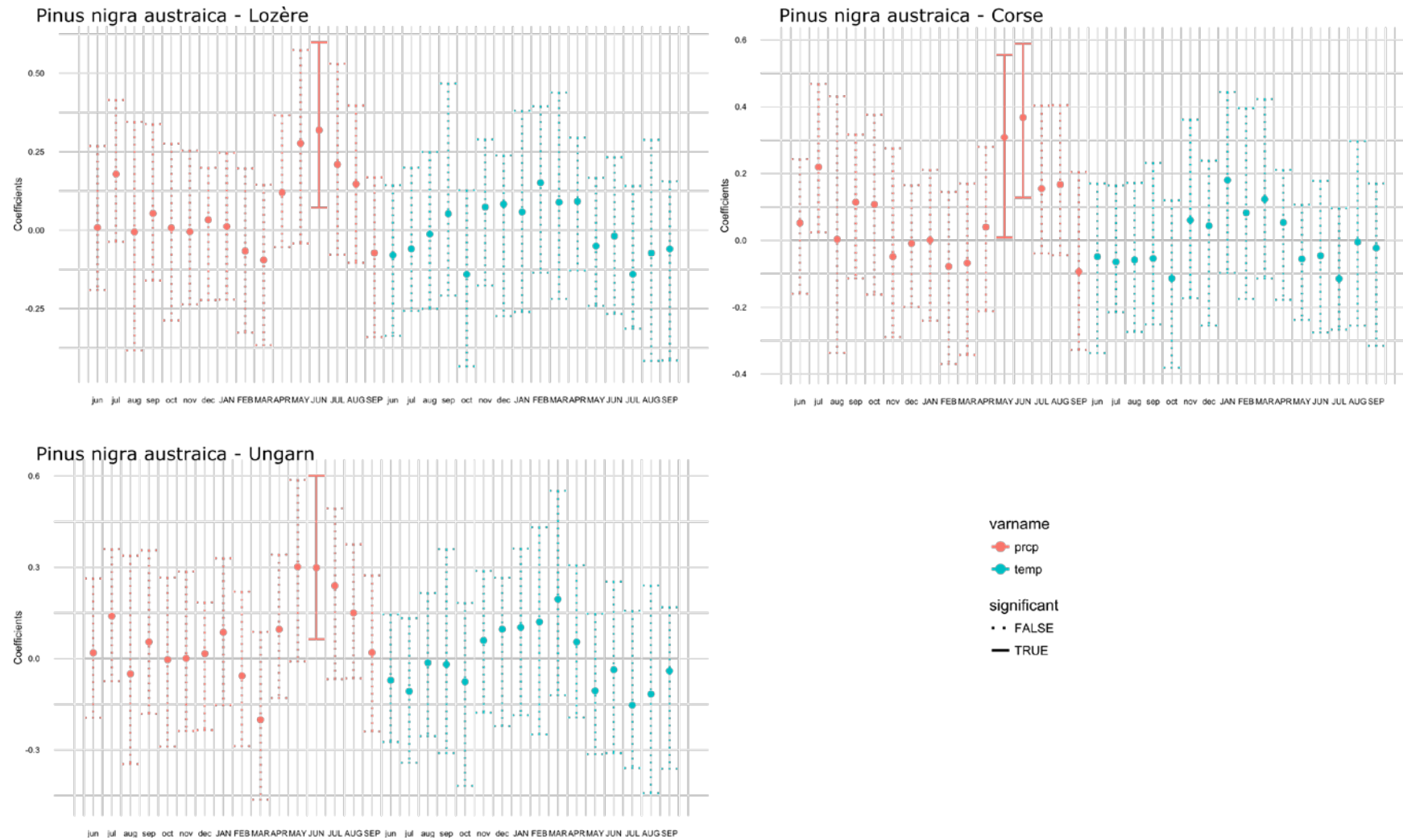
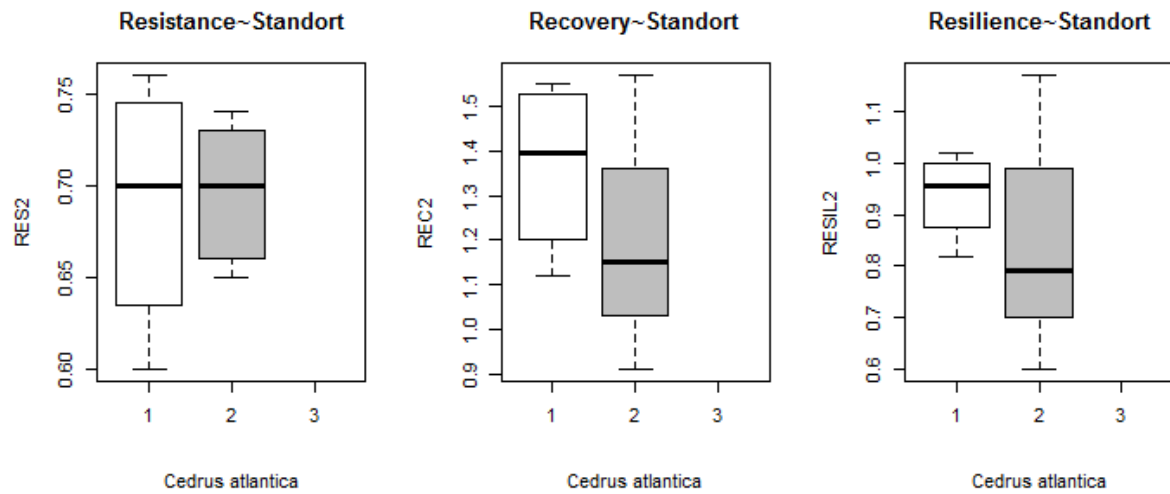
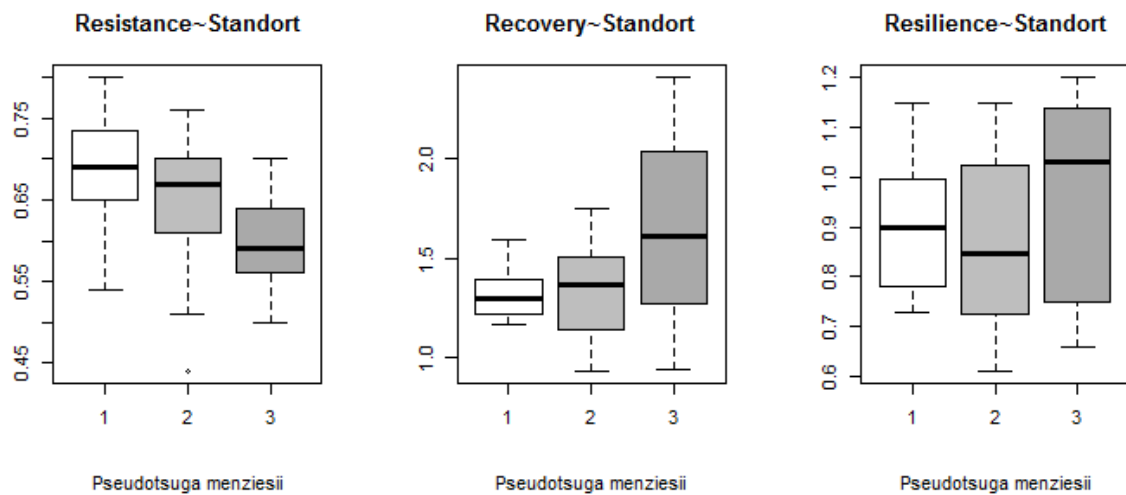
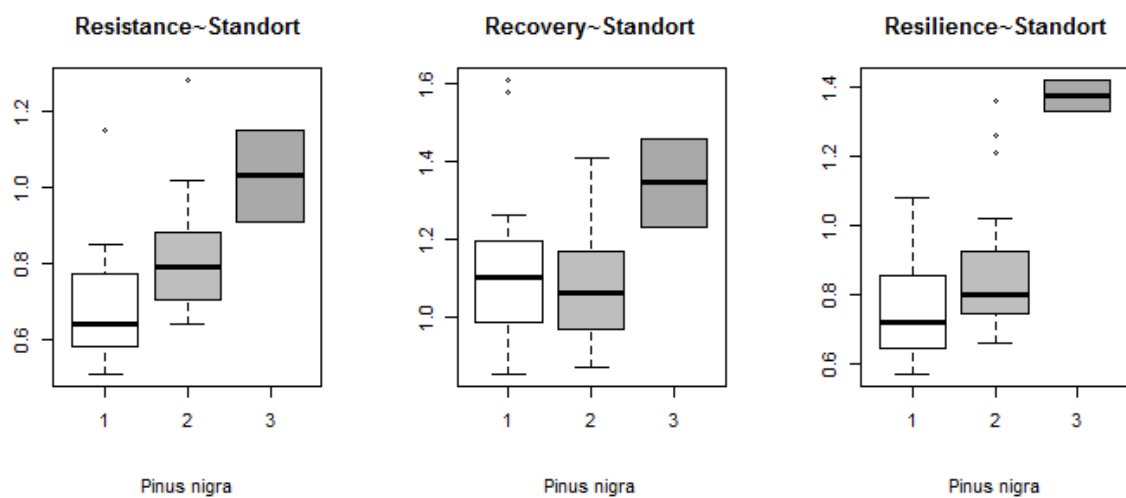


Abbildung 28. Korrelationsplot der Jahrringbreite der Schwarzföhrenherkünfte mit dem Monatsmittel der Temperatur (rot) und der monatlichen Niederschlagssumme (blau) von Juni des Vorjahres bis September des Wachstumsjahres.

7.4 Resilienzindizes

Tabelle 13. Mittlere Resilienzindizes nach Baumart und Herkunft (nur BT 1 und 2).

Baumart Herkunft	Resistenz		Recovery		Resilienz	
	mean	sd	mean	sd	mean	sd
Douglasie	0.660	0.080	1.331	0.199	0.878	0.157
Enumclaw	0.601	0.083	1.384	0.127	0.835	0.159
Millevaches	0.689	0.056	1.303	0.171	0.902	0.149
Salmon Arm	0.681	0.090	1.321	0.201	0.894	0.143
Wind River	0.678	0.031	1.304	0.363	0.882	0.227
Schwarzföhre	0.758	0.165	1.099	0.180	0.824	0.180
Corse	0.768	0.230	1.164	0.207	0.863	0.165
Hongrie	0.769	0.116	1.118	0.226	0.860	0.227
Lozère	0.746	0.162	1.052	0.116	0.778	0.149
Atlaszeder	0.694	0.050	1.263	0.230	0.879	0.173
Provence	0.694	0.050	1.263	0.230	0.879	0.173
mean	0.711	0.134	1.211	0.221	0.852	0.171

Abbildung 29. Boxplots der Resilienzindizes für *Cedrus atlantica* nach BT.Abbildung 30. Boxplots der Resilienzindizes für *Pseudotsuga menziesii* nach BT.Abbildung 31. Boxplots der Resilienzindizes für *Pinus nigra* nach BT.

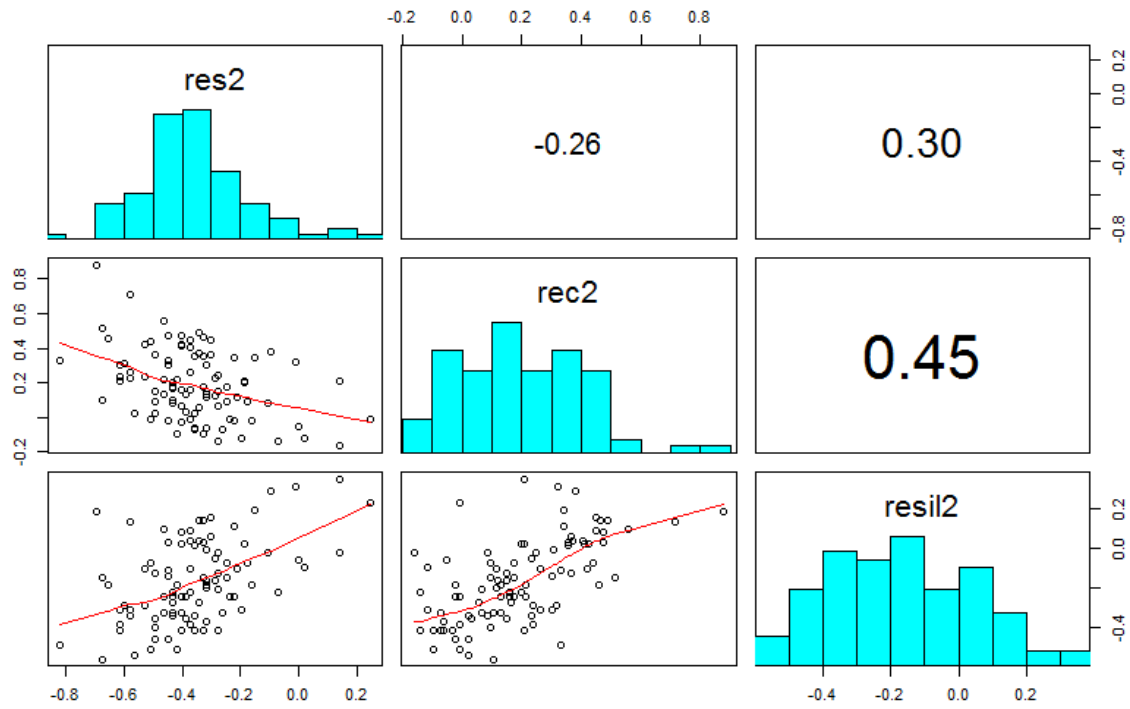


Abbildung 32. Korrelationen zwischen den Resilienzindizes.

7.5 Modellergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der statistischen Modellierung (Tabellen 14 bis 22) kurz in Worten dargestellt.

7.5.1 Modelle für alle Arten

Modell für alle Arten und BT (Tabelle 14)

RES2

Durch BT 2 tendenziell positiv beeinflusst.

REC2

Deutlich positiver Einfluss von BT 3. Tendenziell negativer Einfluss der Schwarzföhre.

RESIL2

Deutlich positiver Einfluss von BT3

Modell für alle Arten und BT 1 und 2 (Tabelle 15)

RES2

Tendenz zu Vorteil von BT 2 gegenüber BT1.

REC2

Signifikant negativer Einfluss von Schwarzföhre auf REC2.

RESIL2

Keine signifikanten Effekte.

7.5.2 Modelle für alle Herkünfte

Modell für alle Herkünfte und BT (Tabelle 16)

RES2

Im Vergleich zu BT 1 hat BT 2 einen signifikant positiven Einfluss auf die Resistenz der Bäume im Trockenjahr 2003, während der Einfluss des BT3 nur tendenziell signifikant ist. Die Douglasienprovenienzen „Enumclaw“, „Wind River“ sowie die Schwarzföhrenprovenienz „Lozère“ zeigen im Vergleich mit den Atlaszedern einen tendenziell negativen Einfluss auf die Resistenz des Durchmesserwachstums.

REC2

Die Erholung des Wachstums nach 2003 ist deutlich positiv von BT 3 beeinflusst. Darüber hinaus hat die Schwarzföhrenprovenienz „Lozère“ einen signifikant negativen Einfluss auf die Erholung.

RESIL2

BT 3 hat einen stark positiven Effekt auf die Resilienz des Durchmesserzuwachses. Die Unterschiede im BT überprägen die Unterschiede zwischen den Provenienzen.

Modell für alle Herkünfte und BT 1 und 2 (Tabelle 17)

RES2

Im Vergleich zu BT1 hat BT2 einen signifikant positiven Einfluss auf die Resistenz der Bäume im Trockenjahr 2003, während der Einfluss der Douglasienprovenienz „Enumclaw“ im Vergleich mit den Atlaszedern tendenziell negativ ist.

REC2

BT2 unterscheidet sich nicht signifikant von BT1. Die Schwarzföhrenprovenienz „Lozère“ zeigt im Vergleich zu den Atlaszedern eine deutlich geringere Erholung.

RESIL2

Resilienzeffekte sind in diesem Modell nicht signifikant. Eine deutlich geringere Resilienz von „Lozère“ ist jedoch nach wie vor sichtbar.

7.5.3 Modell für Atlaszeder

Für alle Resilienzparameter keine signifikanten Unterschiede zwischen den BT 1 und 2 (Tabelle 18).

7.5.4 Modelle für Schwarzföhre*Modell für Schwarzföhrenherkünfte und alle BT (Tabelle 19)*

RES2

Signifikanter Einfluss des BT: Je tiefgründiger der Boden, desto höher die Resistenz gegenüber Einbrüchen des Durchmesserzuwachses.

REC2

Tendenziell signifikant positiver Einfluss des BT 3. Im Vergleich zur Herkunft „Corse“ zeigt „Lozère“ einen tendenziell negativen Einfluss auf die Recovery.

RESIL2

Sehr deutlicher, positiver Einfluss des BT 3 auf die Resilienz.

Modell für Schwarzföhrenherkünfte und alle BT (Tabelle 20)

RES2

Deutlich positiver Effekt des BT2 auf Resistenz des Durchmesserzuwachs.

REC2

Geringere Erholung des Durchmesserzuwachses der Herkunft „Lozère“ im Vergleich zu „Corse“ (knapp nicht signifikant).

RESIL2

Keine signifikanten Effekte.

7.5.5 Modelle für Douglasie*Modell für Douglasienherkünfte und alle BT (Tabelle 21)*

RES2

Über den Gradienten der BT nimmt die Resistenz ab, wobei nur BT 3 einen tendenziell negativen Effekt auf RES2 hat. Die Provenienz „Enumclaw“ zeigt im

Vergleich die geringsten RES2 Werte, alle anderen Provenienzen wirken sich signifikant positiv auf die modellierte RES2 aus.

REC2

BT3 hat einen tendenziell positiven Effekt auf REC2, BT1 und 2 unterscheiden sich diesbezüglich ebenso wenig wie die 4 Provenienzen.

RESIL2

Das Modell ergibt keine signifikanten Effekte der Variablen für RESIL2.

Modell für Douglasienherkünfte und nur BT 1 und 2 (Tabelle 22)

RES2

Deutlich geringere Resistenz von „Enumclaw“.

REC2

Keine signifikanten Effekte.

RESIL2

Keine signifikanten Effekte.

Tabelle 14. Modellergebnisse für $\text{glm}(\text{R2} \sim \text{BT} + \text{Baumart})$, alle BT.

Alle Arten und BT					
Response Variable	Parameter	Estimate	SE	Pr(> t)	signific. Code
Resistenz 2					
	(Intercept)	0.66232	0.04446	<2e-16	***
	BT 2	0.05279	0.02872	0.0693	.
	BT 3	0.07335	0.05491	0.1850	
	SPDouglas	-0.05092	0.04634	0.2748	
	SPPinus	0.07743	0.04549	0.0922	.
Recovery 2					
	(Intercept)	1.28610	0.07743	< 2e-16	***
	BT 2	-0.03850	0.05001	0.44339	
	BT 3	0.27451	0.09563	0.00512	**
	SPDouglas	0.07444	0.08070	0.35881	
	SPPinus	-0.16823	0.07922	0.03649	*
Resilienz 2					
	(Intercept)	0.86015	0.06249	< 2e-16	***
	BT 2	0.03142	0.04036	0.43840	
	BT 3	0.24218	0.07718	0.00231	**
	SPDouglas	-0.02177	0.06513	0.73893	
	SPPinus	-0.03872	0.06393	0.54634	

Tabelle 15. Modellergebnisse für $\text{glm}(\text{R2} \sim \text{BT} + \text{Baumart})$, nur BT 1 und 2.

Alle Arten (BT 1 und 2)					
Response Variable	Parameter	Estimate	SE	Pr(> t)	signific. Code
Resistenz 2					
	(Intercept)	0.66409	0.04296	<2e-16	***
	BT 2	0.04985	0.02776	0.0762	.
	SPDouglas	-0.03827	0.04496	0.3971	
	SPPinus	0.06694	0.04408	0.1326	
Recovery 2					
	(Intercept)	1.28572	0.06654	<2e-16	***
	BT 2	-0.03786	0.04300	0.3811	
	SPDouglas	0.07167	0.06964	0.3064	
	SPPinus	-0.16594	0.06828	0.0172	*
Resilienz 2					
	(Intercept)	0.86269	0.05868	<2e-16	***
	BT 2	0.02719	0.03792	0.475	
	SPDouglas	-0.00362	0.06142	0.953	
	SPPinus	-0.05377	0.06022	0.375	

Tabelle 16. Modellergebnisse für glm(R2 ~ BT + Provenienz_in_Baumart), alle BT.

Alle Arten, Herkünfte und BT					
Response Variable	Parameter	Estimate	SE	Pr(> t)	signific. Code
Resistenz 2					
	(Intercept)	0.64889	0.04476	<2e-16	***
	BT 2	0.07518	0.03104	0.0176	*
	BT 3	0.12651	0.06582	0.0580	.
	Douglas Enumclaw	-0.10804	0.05789	0.0655	.
	Douglas Millevaches	0.01004	0.05789	0.8628	
	Douglas Salmon Arm	-0.02052	0.05764	0.7227	
	Douglas Wind River	-0.11174	0.06585	0.0934	.
	Pinus Corse	0.07400	0.05755	0.2021	
	Pinus Hongrie	0.05672	0.05467	0.3024	
	Pinus Lozère	0.09044	0.05038	0.0762	.
Recovery 2					
	(Intercept)	1.30563	0.07909	<2e-16	***
	BT 2	-0.07105	0.05486	0.1988	
	BT 3	0.27538	0.11632	0.0202	*
	Douglas Enumclaw	0.13521	0.1023	0.1899	
	Douglas Millevaches	0.02579	0.1023	0.8016	
	Douglas Salmon Arm	0.06510	0.10186	0.5244	
	Douglas Wind River	0.07120	0.11638	0.5423	
	Pinus Corse	-0.09900	0.10171	0.3332	
	Pinus Hongrie	-0.12782	0.09661	0.1894	
	Pinus Lozère	-0.23156	0.08903	0.0110	*
Resilienz 2					
	(Intercept)	0.85538	0.06392	< 2e-16	***
	BT 2	0.03937	0.04434	0.37702	
	BT 3	0.32149	0.09401	0.00097	***
	Douglas Enumclaw	-0.05187	0.08268	0.53209	
	Douglas Millevaches	0.03087	0.08268	0.70977	
	Douglas Salmon Arm	0.01106	0.08232	0.89342	
	Douglas Wind River	-0.11681	0.09406	0.21774	
	Pinus Corse	-0.01600	0.0822	0.84614	
	Pinus Hongrie	-0.02869	0.07808	0.71420	
	Pinus Lozère	-0.06200	0.07196	0.39132	

Tabelle 17. Modellergebnisse für glm(R2 ~ BT + Provenienz _in_Baumart), nur BT 1 und 2.

Alle Arten und Herkünfte (BT 1 und 2)					
Response Variable	Parameter	Estimate	SE	Pr(> t)	signific. Code
Resistenz 2					
	(Intercept)	0.65696	0.04384	<2e-16	***
	BT 2	0.06173	0.03078	0.0483	*
	Douglas Enumclaw	-0.10535	0.05657	0.0664	.
	Douglas Millevaches	0.00735	0.05657	0.8970	
	Douglas Salmon Arm	-0.01917	0.05632	0.7345	
	Douglas Wind River	-0.04069	0.06997	0.5625	
	Pinus Corse	0.07400	0.05624	0.1921	
	Pinus Hongrie	0.06004	0.05343	0.2647	
	Pinus Lozère	0.06933	0.04990	0.1687	
Recovery 2					
	(Intercept)	1.30541	0.06767	< 2e-16	***
	BT 2	-0.07068	0.04750	0.1408	
	Douglas Enumclaw	0.13514	0.08732	0.1258	
	Douglas Millevaches	0.02586	0.08732	0.7679	
	Douglas Salmon Arm	0.06507	0.08693	0.4564	
	Douglas Wind River	0.06927	0.10800	0.5231	
	Pinus Corse	-0.09900	0.08680	0.2576	
	Pinus Hongrie	-0.12791	0.08248	0.1250	
	Pinus Lozère	-0.23098	0.07702	0.0036	**
Resilienz 2					
	(Intercept)	0.86817	0.06038	<2e-16	***
	BT 2	0.01806	0.04238	0.671	
	Douglas Enumclaw	-0.04761	0.07792	0.543	
	Douglas Millevaches	0.02661	0.07792	0.734	
	Douglas Salmon Arm	0.01320	0.07757	0.865	
	Douglas Wind River	-0.00422	0.09636	0.965	
	Pinus Corse	-0.01600	0.07745	0.837	
	Pinus Hongrie	-0.02344	0.07359	0.751	
	Pinus Lozère	-0.09545	0.06873	0.169	

Tabelle 18. Modellergebnisse für das Zedernkollektiv: glm(R2 ~ BT).

Cedrus atlantica					
Response Variable	Parameter	Estimate	SE	Pr(> t)	signific. Code
Resistenz 2					
	(Intercept)	0.69000	0.02642	4.96E-09	***
	BT 2	0.00667	0.03411	0.85	
Recovery 2					
	(Intercept)	1.3650	0.1126	1.99E-06	***
	BT 2	-0.1700	0.1454	0.276	
Resilienz 2					
	(Intercept)	0.9375	0.08766	5.13E-06	***
	BT 2	-0.0975	0.11316	0.414	

Tabelle 19. Modellergebnisse für das Schwarzföhrenkollektiv: glm(R2 ~ BT + Provenienz_in_Baumart), alle BT.

Pinus nigra					
Response Variable	Parameter	Estimate	SE	Pr(> t)	signific. Code
Resistenz 2					
	(Intercept)	0.68268	0.05982	5.34E-14	***
	BT 2	0.14220	0.05507	0.01369	*
	BT 3	0.32912	0.11851	0.00838	**
	Pinus Hongrie	-0.03377	0.06770	0.62067	
	Pinus Lozère	0.01821	0.06356	0.77608	
Recovery 2					
	(Intercept)	1.22411	0.06624	<2e-16	***
	BT 2	-0.10018	0.06098	0.1085	
	BT 3	0.26126	0.13122	0.0535	.
	Pinus Hongrie	-0.02165	0.07496	0.7743	
	Pinus Lozère	-0.14037	0.07038	0.0531	.
Resilienz 2					
	(Intercept)	0.81166	0.06672	7.53E-15	***
	BT 2	0.08557	0.06143	0.171	
	BT 3	0.62360	0.13217	3.04E-05	***
	Pinus Hongrie	-0.02406	0.07550	0.752	
	Pinus Lozère	-0.06026	0.07089	0.401	

Tabelle 20. Modellergebnisse für das Schwarzföhrenkollektiv: $\text{glm}(\text{R2} \sim \text{BT} + \text{Provenienz_in_Baumart})$, nur BT 1 und 2.

Pinus nigra (BT 1 und 2)					
Response Variable	Parameter	Estimate	SE	Pr(> t)	signific. Code
Resistenz 2					
	(Intercept)	0.68268	0.05970	7.22E-14	***
	BT 2	0.14220	0.05496	0.0136	*
	Pinus Hongrie	-0.03377	0.06756	0.6200	
	Pinus Lozère	0.01821	0.06343	0.7757	
Recovery 2					
	(Intercept)	1.22411	0.06635	<2e-16	***
	BT 2	-0.10018	0.06109	0.1093	
	Pinus Hongrie	-0.02165	0.07509	0.7747	
	Pinus Lozère	-0.14037	0.07050	0.0537	.
Resilienz 2					
	(Intercept)	0.81166	0.06748	1.59E-14	***
	BT 2	0.08557	0.06212	0.176	
	Pinus Hongrie	-0.02406	0.07636	0.754	
	Pinus Lozère	-0.06026	0.07170	0.406	

Tabelle 21. Modellergebnisse für das Douglasienkollektiv: glm(R2 ~ BT + Provenienz _in_Baumart), alle BT.

Pseudotsuga menziesii					
Response Variable	Parameter	Estimate	SE	Pr(> t)	signific. Code
Resistenz 2					
	(Intercept)	0.62080	0.03362	<2e-16	***
	BT 2	-0.02475	0.03007	0.4161	
	BT 3	-0.10475	0.05577	0.0689	.
	Douglas Millevaches	0.07810	0.03532	0.0339	*
	Douglas Salmon Arm	0.07752	0.03335	0.0262	*
	Douglas Wind River	0.08195	0.04112	0.0543	.
Recovery 2					
	(Intercept)	1.37757	0.12712	1.43E-12	***
	BT 2	0.00803	0.11370	0.9441	
	BT 3	0.35803	0.21088	0.0987	.
	Douglas Millevaches	-0.07779	0.13357	0.5642	
	Douglas Salmon Arm	-0.06220	0.12610	0.6250	
	Douglas Wind River	-0.08161	0.15548	0.6031	
Resilienz 2					
	(Intercept)	0.85677	0.07912	1.46E-12	***
	BT 2	-0.02721	0.07076	0.703	
	BT 3	0.04679	0.13125	0.724	
	Douglas Millevaches	0.05611	0.08313	0.504	
	Douglas Salmon Arm	0.05628	0.07848	0.478	
	Douglas Wind River	0.05244	0.09677	0.591	

Tabelle 22. Modellergebnisse für das Douglasienkollektiv: glm(R2 ~ BT + Provenienz _in_Baumart), nur BT 1 und 2.

Pseudotsuga menziesii (BT 1 und 2)					
Response Variable	Parameter	Estimate	SE	Pr(> t)	signific. Code
Resistenz 2					
	(Intercept)	0.62080	0.03349	<2E-16	***
	BT 2	-0.02475	0.02996	0.4151	
	Douglas Millevaches	0.07810	0.03519	0.0342	*
	Douglas Salmon Arm	0.07752	0.03322	0.0265	*
	Douglas Wind River	0.08195	0.04096	0.0546	.
Recovery 2					
	(Intercept)	1.37757	0.094286	3.52E-15	***
	BT 2	0.00803	0.084332	0.925	
	Douglas Millevaches	-0.07779	0.099067	0.438	
	Douglas Salmon Arm	-0.06220	0.093528	0.511	
	Douglas Wind River	-0.08161	0.115322	0.485	
Resilienz 2					
	(Intercept)	0.85677	0.07436	1.53E-12	***
	BT 2	-0.02721	0.06651	0.685	
	Douglas Millevaches	0.05611	0.07814	0.478	
	Douglas Salmon Arm	0.05628	0.07377	0.451	
	Douglas Wind River	0.05244	0.09096	0.569	

7.6 Material

Für die Feldarbeit wurde folgendes Material verwendet:

Versuchsflächenpläne

Umfangmassband

Zuwachsbohrer (Schärfset und Reinigungsmaterial)

Tabelle 23. Korrelationskoeffizienten (Pearson) für die mittleren, unbehandelten Jahrringchronologien der drei Baumarten sowie ihre jeweiligen Provenienzen, SPEI3.SEPT, Jahresniederschlagssumme (PREC), Jahresmitteltemperatur (TEMP) und Niederschlagssumme von Mai-September (summerPREC). Alle Werte >0.6 sind grün hinterlegt. Zeitraum **1982-2016 (längstes gemeinsames Intervall)**.

	Douglasie	D116	D300	D310	D320	S.Föhre	SK580	SK360	SK540	A.Zeder	SPEI3.SEPT	PREC	TEMP	Summer-PREC
Douglasie		0.78	0.93	0.95	0.94	0.74	0.70	0.77	0.75	0.57	0.44	0.56	-0.26	0.67
D116	0.78		0.78	0.58	0.57	0.29	0.26	0.33	0.31	0.73	0.39	0.42	0.20	0.61
D300	0.93	0.78		0.82	0.81	0.62	0.56	0.68	0.64	0.71	0.39	0.53	-0.05	0.68
D310	0.95	0.58	0.82		0.97	0.84	0.82	0.85	0.85	0.38	0.42	0.51	-0.46	0.55
D320	0.94	0.57	0.81	0.97		0.86	0.83	0.87	0.85	0.38	0.36	0.52	-0.47	0.56
S.Föhre	0.74	0.29	0.62	0.84	0.86		0.99	0.98	0.99	0.07	0.21	0.42	-0.46	0.45
SK580	0.70	0.26	0.56	0.82	0.83	0.99		0.95	0.98	0	0.20	0.40	-0.50	0.42
SK360	0.77	0.33	0.68	0.85	0.87	0.98	0.95		0.97	0.15	0.18	0.42	-0.40	0.46
SK540	0.75	0.31	0.64	0.85	0.85	0.99	0.98	0.97		0.12	0.24	0.44	-0.42	0.48
A.Zeder	0.57	0.73	0.71	0.38	0.38	0.07	0	0.15	0.12		0.39	0.29	0.30	0.43
SPEI3.SEPT	0.44	0.39	0.39	0.42	0.36	0.21	0.20	0.18	0.24	0.39		0.69	-0.05	0.43
PREC	0.56	0.42	0.53	0.51	0.52	0.42	0.40	0.42	0.44	0.29	0.69		-0.12	0.69
TEMP	-0.26	0.20	-0.05	-0.46	-0.47	-0.46	-0.50	-0.40	-0.42	0.30	-0.05	-0.12		-0.05
summerPREC	0.67	0.61	0.68	0.55	0.56	0.45	0.42	0.46	0.48	0.43	0.43	0.69	-0.05	

Tabelle 24. Korrelationskoeffizienten (Pearson) für die mittleren, unbehandelten Jahrringchronologien der drei Baumarten sowie ihre jeweiligen Provenienzen, SPEI3.SEPT, Jahresniederschlagssumme (PREC), Jahresmitteltemperatur (TEMP) und Niederschlagssumme von Mai-September (summerPREC). Alle Werte >0.6 sind grün hinterlegt. Zeitraum **2000-2016**.

	Douglasie	D116	D300	D310	D320	S.Föhre	K580	K360	K540	A.Zeder	SPEI3.SEP	PREC	TEMP	summerPREC
Douglasie		0.98	0.97	0.99	0.99	0.79	0.8	0.79	0.7	0.89	0.71	0.59	-0.11	0.65
D116	0.98		0.93	0.97	0.98	0.77	0.79	0.76	0.68	0.88	0.74	0.57	-0.09	0.68
D300	0.97	0.93		0.95	0.93	0.79	0.79	0.81	0.7	0.89	0.69	0.62	-0.06	0.66
D310	0.99	0.97	0.95		0.97	0.77	0.78	0.78	0.69	0.84	0.67	0.55	-0.13	0.61
D320	0.99	0.98	0.93	0.97		0.76	0.79	0.74	0.69	0.88	0.68	0.55	-0.18	0.60
S.Föhre	0.79	0.77	0.79	0.77	0.76		0.99	0.96	0.98	0.81	0.78	0.54	0.07	0.54
K580	0.80	0.79	0.79	0.78	0.79	0.99		0.93	0.96	0.84	0.80	0.54	0.03	0.57
K360	0.79	0.76	0.81	0.78	0.74	0.96	0.93		0.88	0.79	0.73	0.49	0.07	0.43
K540	0.70	0.68	0.7	0.69	0.69	0.98	0.96	0.88		0.71	0.75	0.54	0.11	0.56
A.Zeder	0.89	0.88	0.89	0.84	0.88	0.81	0.84	0.79	0.71		0.75	0.45	-0.16	0.59
SPEI3.SEPT	0.71	0.74	0.69	0.67	0.68	0.78	0.8	0.73	0.75	0.75		0.49	0.03	0.71
PREC	0.59	0.57	0.62	0.55	0.55	0.54	0.54	0.49	0.54	0.45	0.49		-0.05	0.74
TEMP	-0.11	-0.09	-0.06	-0.13	-0.18	0.07	0.03	0.07	0.11	-0.20	0.03	-0.05		0.12
summerPREC	0.65	0.68	0.66	0.61	0.6	0.54	0.57	0.43	0.56	0.59	0.71	0.74	0.12	

Tabelle 25. Korrelationskoeffizienten (Pearson) für die mittleren, unbehandelten Jahrringchronologien der drei Baumarten sowie ihre jeweiligen Provenienzen, mit den Monatsmitteln der Temperatur. Alle Werte >0.6 sind grün hinterlegt. Zeitraum **1982-2016** (längstes gemeinsames Intervall).

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Douglasie	0.69	0.11	0.28	0.14	0.54	0.02	0.24	0.09	0.22	0.99	0.03	0.78
D116	0.10	0.03	1.00	0.26	0.15	0.99	0.55	0.41	0.19	0.17	0.60	0.41
D300	0.25	0.01	0.56	0.42	0.85	0.07	0.38	0.35	0.19	0.85	0.11	0.49
D310	0.61	0.35	0.10	0.02	0.14	0.00	0.17	0.04	0.28	0.67	0.01	0.87
D320	0.79	0.63	0.18	0.01	0.11	0.00	0.24	0.06	0.50	0.45	0.01	0.60
S.Föhre	0.33	0.95	0.29	0.02	0.07	0.00	0.29	0.38	0.69	0.29	0.13	0.76
K580	0.22	0.80	0.16	0.03	0.06	0.00	0.32	0.29	0.74	0.32	0.13	0.83
K360	0.51	0.87	0.51	0.02	0.11	0.00	0.35	0.62	0.67	0.25	0.15	0.75
K540	0.46	0.92	0.46	0.04	0.10	0.00	0.22	0.41	0.63	0.28	0.13	0.67
A.Zeder	0.12	0.01	0.12	0.15	0.04	0.61	0.13	0.89	0.27	0.83	0.75	0.92

Tabelle 26. Korrelationskoeffizienten (Pearson) für die mittleren, unbehandelten Jahrringchronologien der drei Baumarten sowie ihre jeweiligen Provenienzen, mit den Monatsmitteln der Temperatur. Alle Werte >0.6 sind grün hinterlegt. Zeitraum **2000-2016**.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Douglasie	0.02	0.03	0.79	0.55	0.67	0.67	0.27	0.07	0.06	0.32	0.04	0.48
D116	0.02	0.06	0.95	0.74	0.53	0.68	0.28	0.08	0.04	0.28	0.06	0.52
D300	0.02	0.00	0.79	0.44	0.65	0.56	0.24	0.10	0.08	0.33	0.04	0.59
D310	0.04	0.05	0.71	0.56	0.81	0.87	0.31	0.07	0.08	0.38	0.05	0.59
D320	0.02	0.07	0.75	0.52	0.72	0.62	0.31	0.08	0.06	0.35	0.04	0.26
S.Föhre	0.01	0.03	0.09	0.62	0.59	0.65	0.02	0.48	0.01	0.68	0.12	0.66
K580	0.01	0.04	0.12	0.75	0.60	0.71	0.03	0.44	0.01	0.67	0.10	0.53
K360	0.03	0.03	0.15	0.34	0.31	0.58	0.03	0.64	0.01	0.64	0.11	0.76
K540	0.00	0.05	0.05	0.74	0.90	0.64	0.03	0.45	0.03	0.76	0.21	0.81
A.Zeder	0.09	0.01	0.95	0.97	0.52	0.67	0.19	0.09	0.03	0.52	0.03	0.14

8 Anhang zur ertragskundlichen Fläche und Auswertung

8.1 Provenienzverzeichnis

Die Pflanzenherkunft ist in der Dokumentation des Kantons Waadt durch Lieferscheine von Pflanzen und Zwischenberichte von G. Jeantet relativ gut dokumentiert (Tabelle 27); es gibt aber einzelne Lücken und Widersprüche.

Atlaszeder: Hier wird z.T. eine Herkunft „Monts Atlas“ und „Maroc“ erwähnt. Es gibt aber die genauesten Herkunftshinweise auf die Provence, weshalb angenommen wird, dass es um eine Provence-Herkunft geht.

Tabelle 27. Verzeichnis der verwendeten Herkünfte. Quelle: Versuchsdokumentation des Kantons Waadt. „Nr. auf Plan“ bezieht sich auf die zahlreichen Pläne des Kantons Waadt (verzeichnet in Tabelle 36).

Baumart	Nr. auf Plan	Herkunftsbezeichnung	Jahr	Höhe ü.M. [m]
<i>Cedrus atlantica</i>	34, 103	Provence, Frankreich	Frühjahr 1970, 1973 (in Töpfen)	230
<i>Larix decidua</i>	90	Schlitz, Deutschland	Herbst 1970, Frühjahr 1973	
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	32	Salmon Arm, British Columbia, Kanada	Frühjahr 1970	335
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	31	Wind River, USA	Frühjahr 1970	345
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	30	Enumclaw, Washington, USA	Frühjahr 1970, Herbst 1973	390
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	116	Millevaches, Frankreich	Frühjahr 1973	
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	133	Kandern, Deutschland	Frühjahr 1972	300-900
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	113	Darrington, Washington, USA	Frühjahr 1973 (1974?)	600
<i>Picea omorica</i>	60	Nördlich Visegrad, Jugoslawien (heute Bosnien)	Herbst 1970	1200
<i>Pinus jeffreyi</i>	44	Jackson (Ashland), Oregon, USA	Frühjahr 1970	1200
<i>Pinus leucodermis</i>	42	Banderitza, Bulgarien	Frühjahr 1970	1500
<i>Pinus nigra</i> var. <i>laricio corsicana</i>	36	La Sorba, La Rospa, Korsika, Frankreich	Frühjahr 1970, Herbst 1970, Frühjahr 1977	1000
<i>Pinus nigra</i> var. <i>laricio salzmannii</i>	37	Cévennes, Frankreich	Frühjahr 1970, Herbst 1970, Frühjahr 1975	500
<i>Pinus nigra</i> var. <i>austriaca</i>	54	Ungarn	Herbst 1970	
<i>Pinus nigra</i> var. <i>austriaca</i>	58	Lozère, Frankreich	Herbst 1970	
<i>Pinus sylvestris</i>	89	Hochrhein, Deutschland	Herbst 1970	
<i>Pinus sylvestris</i>	?	Niederwil, Schweiz	1973	
<i>Pinus maritima</i>	50	Korsika, Frankreich	Frühjahr 1970	600-800

Baumart	Nr. auf Plan	Herkunftsbezeichnung	Jahr	Höhe ü.M. [m]
<i>var. mesogeensis</i>				
<i>Pinus ponderosa</i>	43	Kalifornien, USA	Frühjahr 1970, Frühjahr 1975	1260
<i>Pinus ponderosa</i>	115	USA	Frühjahr 1973	1260
<i>Pinus rigida</i>	52	Adirondack Mountains, USA	Frühjahr 1970	
<i>Tilia grandifolia</i>	88	Le Muids, Schweiz	Herbst 1970	
<i>Pseudotsuga menziesii</i>		Unbekannt	Frühjahr 1977 (in Töpfen)	
<i>Pinus nigra</i>		Unbekannt	Frühjahr 1977	

8.2 Modellergebnisse mit modifiziertem Datensatz

Tabelle 28. Modellergebnisse für glm (dGZ ~ Herkunft+ BT) mit BT 1.5 und BT 3.

dGZ	Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
	(Intercept)	4.90714	0.54596	8.988	2.85E-08	***
	<i>Cedrus atlantica</i> Provence	-0.29643	0.76788	-0.386	0.703756	
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Enumclaw	5.05857	0.76788	6.588	2.64E-06	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Millevaches	2.78284	0.98301	2.831	0.010678	*
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Salmon Arm	3.02357	0.76788	3.938	0.000884	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Wind River	4.46429	0.98809	4.518	0.000235	***
	<i>Picea omorica</i> Jugoslawien	-1.27714	0.99242	-1.287	0.213591	
	<i>Pinus ponderosa</i> Kalifornien	-2.42178	0.65458	-3.700	0.001521	**
	<i>Pinus nigra</i> Cevennen	-2.27716	0.98301	-2.317	0.031854	*
	<i>Pinus nigra</i> Korsika	1.28667	0.67667	1.901	0.072517	.
	<i>Pinus nigra</i> Korsika_Cevennen	3.46429	0.98809	3.506	0.002363	**
	<i>Pinus nigra</i> Ungarn	0.69893	0.65574	1.066	0.299845	
	<i>Pinus nigra</i> Lozère	0.42553	0.56629	0.751	0.461593	
	Nullfläche NA	-3.04714	0.99242	-3.070	0.006297	**
	<i>Pinus sylvestris</i> Oberrhein	-0.08215	0.76648	-0.107	0.915776	
	BT 1.5	0.31002	0.42281	0.733	0.472364	
	BT 2	0.62857	0.45695	1.376	0.184951	
	BT 3	5.23857	1.25796	4.164	0.000526	***

Tabelle 29. Modellergebnisse für glm (dGZ ~ Herkunft+ BT) mit BT 3 ohne BT 1.5.

dGZ	Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
	(Intercept)	4.87384	0.64354	7.574	2.69E-07	***
	<i>Cedrus atlantica</i> Provence	-0.05346	0.91796	-0.058	0.95414	
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Enumclaw	5.30154	0.91796	5.775	1.19E-05	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Millevaches	3.12616	1.19138	2.624	0.01626	*
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Salmon Arm	3.00692	0.92600	3.247	0.00404	**
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Wind River	6.22496	1.01221	6.150	5.22E-06	***
	<i>Picea omorica</i> Jugoslawien	-1.24384	1.19138	-1.044	0.30893	
	<i>Pinus ponderosa</i> Kalifornien	-2.36115	0.78567	-3.005	0.00699	**
	<i>Pinus nigra</i> Cevennen	-2.45308	1.16624	-2.103	0.04829	*
	<i>Pinus nigra</i> Korsika	1.45975	0.83062	1.757	0.09415	.
	<i>Pinus nigra</i> Korsika_Cevennen	3.60692	1.16624	3.093	0.00574	**
	<i>Pinus nigra</i> Ungarn	0.89173	0.76657	1.163	0.25841	
	<i>Pinus nigra</i> Lozère	0.26105	0.69294	0.377	0.71034	
	Nullfläche NA	-3.01384	1.19138	-2.530	0.01993	*
	<i>Pinus sylvestris</i> Oberrhein	0.10616	0.95748	0.111	0.91282	
	BT 2	0.51924	0.42175	1.231	0.23255	
	BT 3	1.89315	0.89617	2.112	0.04742	*

Tabelle 30. Modellergebnisse für glm (G ~ Herkunft+ BT) mit BT 1.5 und BT 3.

G	Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
	(Intercept)	30.007	2.8631	10.48	2.46E-09	**
	<i>Cedrus atlantica</i> Provence	-2.1963	4.0269	-0.545	0.59182	
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Enumclaw	16.153	4.0269	4.011	7.46E-04	**
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Millevaches	9.3611	5.1550	1.816	0.08519	.
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Salmon Arm	10.153	4.0269	2.521	0.02077	*
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Wind River	12.846	5.1817	2.479	0.02271	*
	<i>Picea omorica</i> Jugoslawien	-5.0074	5.2044	-0.962	0.34805	
	<i>Pinus ponderosa</i> Kalifornien	-13.019	3.4327	-3.793	0.00123	**
	<i>Pinus nigra</i> Cevennen	-	5.1550	-2.452	0.02406	*
	<i>Pinus nigra</i> Korsika	3.000	3.5486	0.845	0.40840	
	<i>Pinus nigra</i> Korsika_Cevenn	12.446	5.1817	2.402	0.02669	*
	<i>Pinus nigra</i> Ungarn	1.1000	3.4388	0.320	0.75254	
	<i>Pinus nigra</i> Lozère	0.1711	2.9697	0.058	0.95466	
	Nullfläche NA	-	5.2044	-2.922	0.00874	**
	<i>Pinus sylvestris</i> Oberrhein	-2.5232	4.0195	-0.628	0.53765	
	BT 1.5	1.6314	2.2173	0.736	0.47084	
	BT 2	2.4462	2.3963	1.021	0.32015	
	BT 3	25.346	6.5969	3.842	0.00109	**

Tabelle 31. Modellergebnisse für glm (G ~ Herkunft+ BT) ohne BT 1.5 mit BT 3.

G	Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
	(Intercept)	29.8911	3.3307	8.974	1.89E-08	***
	<i>Cedrus atlantica</i> Provence	-1.1478	4.751	-0.242	0.811564	
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Enumclaw	17.2022	4.751	3.621	0.001704	**
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Millevaches	11.1089	6.1662	1.802	0.086705	.
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Salmon Arm	10.0955	4.7926	2.106	0.047993	*
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Wind River	21.3571	5.2388	4.077	0.000588	***
	<i>Picea omorica</i> Jugoslawien	-4.8911	6.1662	-0.793	0.436966	
	<i>Pinus ponderosa</i> Kalifornien	-12.8444	4.0664	-3.159	0.00494	**
	<i>Pinus nigra</i> Cevennen	-13.1045	6.036	-2.171	0.042136	*
	<i>Pinus nigra</i> Korsika	3.7378	4.299	0.869	0.394912	
	<i>Pinus nigra</i> Korsika_Cevennen	12.7955	6.036	2.120	0.04672	*
	<i>Pinus nigra</i> Ungarn	1.7989	3.9675	0.453	0.655139	
	<i>Pinus nigra</i> Lozère	-0.5199	3.5864	-0.145	0.886194	
	Nullfläche NA	-15.0911	6.1662	-2.447	0.023748	*
	<i>Pinus sylvestris</i> Oberrhein	-1.5911	4.9556	-0.321	0.751492	
	BT 2	2.2134	2.1828	1.014	0.32269	
	BT 3	8.7903	4.6383	1.895	0.072616	.

Tabelle 32. Modellergebnisse für glm ($H_{\text{dom}} \sim \text{Herkunft} + \text{BT}$) mit BT 1.5 und BT 3.

Höhe dom	Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
	(Intercept)	15.2391	0.6831	22.308	4.34E-	**
	<i>Cedrus atlantica</i> Provence	0.6196	0.9608	0.645	0.5268	
	<i>Pseudotsuga</i> Enumclaw	10.1196	0.9608	10.530	2.27E-09	**
	<i>Pseudotsuga</i> Millevaches	8.0540	1.2300	6.548	2.86E-06	**
	<i>Pseudotsuga</i> Salmon Arm	7.6196	0.9608	7.930	1.91E-07	**
	<i>Pseudotsuga</i> Wind River	10.1851	1.2364	8.238	1.08E-07	**
	<i>Picea omorica</i> Jugoslawien	-1.2391	1.2418	-0.998	0.3309	
	<i>Pinus ponderosa</i> Kalifornien	-2.1330	0.8191	-2.604	0.0174	*
	<i>Pinus nigra</i> Cevennen	-2.9460	1.2300	-2.395	0.0271	*
	<i>Pinus nigra</i> Korsika	1.3333	0.8467	1.575	0.1318	
	<i>Pinus nigra</i> Korsika_Cevenne	2.1851	1.2364	1.767	0.0932	.
	<i>Pinus nigra</i> Ungarn	-0.8476	0.8205	-1.033	0.3145	
	<i>Pinus nigra</i> Lozère	-0.1645	0.7086	-0.232	0.8189	
	Nullfläche NA	-2.2391	1.2418	-1.803	0.0872	.
	<i>Pinus sylvestris</i> Oberrhein	0.4074	0.9591	0.425	0.6757	
	BT 1.5	0.7069	0.529	1.336	0.1973	
	BT 2	1.5757	0.5718	2.756	0.0126	*
	BT 3	0.5757	1.574	0.366	0.7186	

Tabelle 33. Modellergebnisse für glm ($H_{\text{dom}} \sim \text{Herkunft} + \text{BT}$) ohne BT 1.5 mit BT 3.

Höhe dom	Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
	(Intercept)	15.3396	0.6911	22.19	1.47E-15	**
	<i>Cedrus atlantica</i> Provence	1.1651	0.9859	1.182	0.2511	
	<i>Pseudotsuga</i> Enumclaw	10.6651	0.9859	10.818	8.3E-10	**
	<i>Pseudotsuga</i> Millevaches	8.6604	1.2795	6.769	1.39E-06	**
	<i>Pseudotsuga</i> Salmon Arm	7.6698	0.9945	7.712	2.04E-07	**
	<i>Pseudotsuga</i> Wind River	10.0317	1.0871	9.228	1.2E-08	**
	<i>Picea omorica</i> Jugoslawien	-1.3396	1.2795	-1.047	0.3076	
	<i>Pinus ponderosa</i> Kalifornien	-2.0872	0.8438	-2.474	0.0225	*
	<i>Pinus nigra</i> Cevennen	-3.3302	1.2525	-2.659	0.0151	*
	<i>Pinus nigra</i> Korsika	1.6635	0.8921	1.865	0.0769	.
	<i>Pinus nigra</i> Korsika_Cevenne	2.6698	1.2525	2.132	0.0456	*
	<i>Pinus nigra</i> Ungarn	-0.3326	0.8233	-0.404	0.6905	
	<i>Pinus nigra</i> Lozère	-0.2444	0.7442	-0.328	0.7460	
	Nullfläche NA	-2.3396	1.2795	-1.829	0.0824	.
	<i>Pinus sylvestris</i> Oberrhein	0.6604	1.0283	0.642	0.5280	
	BT 2	0.9906	0.4529	2.187	0.0408	*
	BT 3	1.2668	0.9625	1.316	0.2030	

Tabelle 34. Modellergebnisse für glm ($D_{\text{dom}} \sim \text{Herkunft} + \text{BT}$) mit BT 1.5 und BT 3.

BHD dom	Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
	(Intercept)	33.8351	1.1134	30.39	< 2e-16	***
	<i>Cedrus atlantica</i> Provence	-1.2824	1.5659	-0.819	0.422965	
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Enumclaw	11.8176	1.5659	7.547	3.94E-07	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Millevaches	9.1633	2.0046	4.571	0.000209	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Salmon Arm	7.7676	1.5659	4.960	8.69E-05	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Wind River	11.9718	2.015	5.941	1.02E-05	***
	<i>Picea omorica</i> Jugoslawien	-6.8351	2.0238	-3.377	0.003163	**
	<i>Pinus ponderosa</i> Kalifornien	-10.9084	1.3349	-8.172	1.22E-07	***
	<i>Pinus nigra</i> Cevennen	-5.7367	2.0046	-2.862	0.009983	**
	<i>Pinus nigra</i> Korsika	1.0000	1.3799	0.725	0.477484	
	<i>Pinus nigra</i> Korsika_Cevennen	3.1718	2.015	1.574	0.131966	
	<i>Pinus nigra</i> Ungarn	-1.4303	1.3373	-1.070	0.298210	
	<i>Pinus nigra</i> Lozère	-1.4850	1.1548	-1.286	0.213914	
	Nullfläche NA	-10.5351	2.0238	-5.206	5.03E-05	***
	<i>Pinus sylvestris</i> Oberrhein	-2.5359	1.5631	-1.622	0.121198	
	BT 1.5	0.5016	0.8622	0.582	0.567608	
	BT 2	2.1930	0.9319	2.353	0.029524	*
	BT 3	3.3930	2.5654	1.323	0.201657	

Tabelle 35. Modellergebnisse für glm ($D_{\text{dom}} \sim \text{Herkunft} + \text{BT}$) ohne BT 1.5 mit BT 3.

BHD dom	Parameter	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
	(Intercept)	33.292	0.9902	33.621	< 2e-16	***
	<i>Cedrus atlantica</i> Provence	-0.4730	1.4125	-0.335	0.7412	
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Enumclaw	12.627	1.4125	8.94	2.01E-08	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Millevaches	10.208	1.8332	5.568	1.89E-05	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Salmon Arm	7.4960	1.4248	5.261	3.78E-05	***
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Wind River	13.4573	1.5575	8.64	3.48E-08	***
	<i>Picea omorica</i> Jugoslawien	-6.2920	1.8332	-3.432	0.00264	**
	<i>Pinus ponderosa</i> Kalifornien	-10.3575	1.2089	-8.568	3.98E-08	***
	<i>Pinus nigra</i> Cevennen	-6.8540	1.7945	-3.819	0.00107	**
	<i>Pinus nigra</i> Korsika	1.7206	1.2781	1.346	0.19328	
	<i>Pinus nigra</i> Korsika_Cevennen	3.7460	1.7945	2.088	0.04985	*
	<i>Pinus nigra</i> Ungarn	-0.7385	1.1795	-0.626	0.53834	
	<i>Pinus nigra</i> Lozère	-1.4202	1.0662	-1.332	0.19785	
	Nullfläche NA	-9.9920	1.8332	-5.451	2.46E-05	***
	<i>Pinus sylvestris</i> Oberrhein	-1.7420	1.4733	-1.182	0.25091	
	BT 2	2.1619	0.649	3.331	0.00333	**
	BT 3	1.5394	1.379	1.116	0.27750	

8.3 Dokumentübersicht und ertragskundliche Kennzahlen der Teilflächen

Tabelle 36. Verzeichnis der zur Geschichte des Versuchs verfügbaren Dokumente.

Datum	Typ	Umfang	Inhalt
	CD	1 CD	Fotos von David Petter vom 24.10.2001 [wurden auf Server kopiert]
04.08.2016	E-Mail	1 A4	Kopie der Versuchsdokumente und CD mit Fotos zugeschickt von Micheline Meylan
	Tabelle	1 A4	Auflistung der Waldeigenschaften
	Tabelle	2 A4	Tagebuch der ausgeführten Arbeiten 1970-2009
	Dokument	1 A4	Fiche des Projekts, kantonsintern
25.08.2010	Rechnung	1 A4	Ausmähen der Fusswege
23.12.2009	Rechnung	1 A4	Durchforsten der Parzellen 58A, 89A, 90C, 89C, 60B, 54C und Ausmähen der Fusswege
02.10.2009	E-Mail	1 A4	Budget für das Ausmähen der Fussweg und für die Unterwuchspflege in den Parzellen 58A, 89A, 90C, 89C, 60B, 54C
01.10.2008	Rechnung	2 A4	Pflege der Parzellen 52C, 43E, 44, 58F, 58B, 89B und Ausmähen der Fusswege
12.03.2008	E-Mail	1 A4	Budget für das Ausmähen der Fussweg und für die Unterwuchspflege in den Parzellen 52C, 43E, 50, 44, 58F, 58B, 89B
10.07.2007	Rechnung	1 A4	Durchforstung der Parzellen 36 und 43
10.07.2007	Rechnung	1 A4	Pflege der Fusswege und Nutzung der "Douglas déperissants"
16.11.2006	E-Mail	1 A4	Budget für den Unterhalt der Fusswege, die Durchforstung der Schwarzföhren in den Parzellen 36 und 43 und die Nutzung der "Douglas déperissants"
25.07.2005	Rechnung	1 A4	Ausmähen der Fusswege
01.04.2005	E-Mail	1 A4	Budget für das Ausmähen der Fusswege im Bois de Forel, sowie für das Durchforsten des Stangenholzes im Versuch "EPIJURA" (anderer Versuch)
11.11.2004	Rechnung	4 A4	Für 61 gravierte Etiketten, Liste mit den Etiketten.
07.10.2004	Rechnung	2 A4	Pflege des Waldlehrpfades und Durchforstung der Versuchspflanzung
03.10.2003	Rechnung	1 A4	Pflege des Waldlehrpfades
1970	Plan/Tabelle	2 A4	Lage der Versuchsfläche, Anzahl Pflanzlinien bei Douglasie
11.10.2002	Tabelle	1 A4	Messungen der Höhe und der Durchmesser
01.10.2002	Dokument	15 A4	Resultate mit Versuchsaufbau, Messungen, Tagebuch und Fotos
01.06.1994	Dokument	11 A4	Resultate mit Versuchsaufbau, Messungen und Tagebuch
24.10.2001	Fotos	14 A4	Fotos mit Verzeichnis
	Tabelle	2 A4	Liste der Etiketten
16.11.1993	Tabelle	2 A3	Eigenschaften von Herkünften von Pinus nigra
	Text	2 A4	Text für Infotafel
	Plan	1 A3	Detaillierte Ansicht der Versuchsanordnung mit Positionen der Gehölze des Lehrpfades
06.11.2003	Brief	1 A4	Budget für das Pflegen der Fusswege, die Durchforstung der Douglasien und das Errichten einer Pferdebarriere
	Tabelle	3 A4	Etiketten für den Waldlehrpfad
20.05.2003	Plan	1 A4	?
	Tabelle	2 A4	Liste mit Gehölzen (Agiez, vermutlich nicht Bois de Forel)
19.12.2002	Rechnung	1 A4	Unterhalt der Wege in der Versuchsfläche

Datum	Typ	Umfang	Inhalt
24.10.2001	Brief	1 A4	Budget für die Durchforstung der Fichten (andere Versuchsfläche) und für die Pflege der Fusswege
24.11.2000	Brief	1 A4	Budget für die Durchforstung (unklar welche Parzellen betroffen sind) und für die Pflege der Fusswege
14.06.2001	E-Mail	2 A4	Einladung zur Besichtigung der Fläche und zum Essen
06.12.2000	Rechnung	1 A4	Pflege der Versuchspflanzung
08.10.2001	Rechnung	1 A4	Durchforstung auf einem Teil der Fläche
	Plan	1 A4	Versuchsfläche mit eingezeichnetem Bereich für die Durchforstung 2001
16.12.1998	Rechnung	1 A4	Pflege
	Rechnung	1 A4	Durchforstung der Pflanzung
10.12.1998	Rechnung	1 A4	Durchforstung des Stangenholzes
05.11.1998	Brief	1 A4	Priorisierung der Durchforstung auf Föhren. Die genannte Durchforstung in FAEL betrifft einen anderen Versuch
03.02.1998	Brief	1 A4	Budget für diverse Arbeiten (Durchforstung Douglasien, Sanitärhieb Pinus ponderosa und P. sylvestris sowie überall wo es sonst nötig ist)
11.12.1996	Brief	1 A4	Budget für das Durchforsten der Schwarzföhren, Aufasten der Bäume und Pflege der Wege
	Plan	1 A4	Versuchsfläche mit eingezeichneten Bereichen für die Durchforstung und Aufastung
30.09.1997	Rechnung	1 A4	Durchforstung im Stangenholz und Aufasten
21.08.1996	Rechnung	1 A4	Gestrüpp entfernen
24.02.1995	Brief	1 A4	Einladung zur Weiterbildung
13.04.1995	Brief	2 A4	Einladung zur Weiterbildung
26.08.1994	Rechnung	1 A4	Pflege der Fusswege
17.08.1995	Rechnung	1 A4	Durchforstung und Aufasten
25.03.1994	Rechnung	1 A4	3m selbstklebende Scotchcal Folie
19.10.1992	Rechnung	1 A4	Durchforstung
18.05.1990	Brief	2 A4	Budget für diverse Arbeiten
07.12.1991	Rechnung	1 A4	Durchforstung des gepflanzten Versuchs
11.11.1991	Brief	1 A4	Abschluss der Arbeiten für 1991
23.11.1990	Rechnung	1 A4	Pflegemassnahmen in der Versuchsfläche
18.05.1990	Brief	2 A4	Programm und Budget für die Pflege auf der Versuchsfläche im 1990
13.11.1990	Brief	1 A4	Dank und Lob für die ausgeführten Arbeiten
26.11.1990	Rechnung	1 A4	Demontieren des Zaunes
	Dokument	3 A4	Beobachtungen und Messungen im 1985 mit Tabelle
	Dokument	4 A4	Beobachtungen und Messungen im 1979 mit Tabelle
	Plan	1 A4	Plan der Versuchsfläche mit Messdaten 1979
27.12.1983	Rechnung	1 A4	Pflegemassnahmen in der Versuchsfläche
	Dokument	5 A4	Beobachtungen und Messungen im 1976 mit Tabelle und Grafik
25.11.1976	Dokument	1 A4	Folgen vom trockenen Sommer und Vorgehen für 1977 (geplante Nachpflanzung)
24.11.1976	Brief	1 A4	Pflanzen für das Nachpflanzen auf der Versuchsfläche
	Plan	1 A4	Plan der Versuchsfläche mit den vertrockneten Bäumen
	Plan	1 A4	Plan der Versuchsfläche mit den Bäumen für die Nachpflanzung
	Dokument	3 A4	Beobachtungen der ersten 5 Vegetationsjahre
Jan 75	Dokument	1 A4	Prognose für die Arbeiten im 1975

Datum	Typ	Umfang	Inhalt
	Dokument	4 A4	Arbeiten für den Frühling 1973
	Dokument	3 A4	Zustand der Pflanzung nach 2 Vegetationsperioden
20.11.1970	Dokument	14 A4	Dokumentation der Erstellung der Versuchsfläche mit Aufnahmen nach 1 Vegetationsperiode
	Plan	4 A4	Pläne mit diversen Markierungen: Überleben 1973, 12.9.1972, 18.10.1971, 1970 [wahrscheinlich]
30.04.1973	Brief	1 A4	Allgemeine Anweisung an den zuständigen Förster zur Flächenbetreuung und zu Nachpflanzungen, die bereits im Pflanzgarten angezogen werden.
21.02.1971	Brief	1 A4	Düngung der Versuchsfläche
29.01.1970	Dokument	2 A4	Düngung der Versuchsfläche
Mai 70	Dokument	1 A4	Informationspapier
18.08.1970	Dokument	1 A4	Beobachtungen zu den Verdunstungs-Schutzhüllen
04.02.1971	Brief	1 A4	Weiterleitung einer Rechnung
31.03.1977	Rechnung	1 A4	Lieferschein für Gehölze zur Nachpflanzung
29.07.1970	Tabelle	1 A4	Erfassung der Mortalität
11.05.1971	Brief	1 A4	Arbeiten die möglichst bald ausgeführt werden müssen
11.08.1971	Brief	1 A4	Ein Durchgang muss geschlossen werden
06.05.1975	Rechnung	1 A4	Rechnung für Forstgehölze
22.04.1975	Rechnung	1 A4	Lieferschein für Forstgehölze (Pinus ponderosa)
06.02.1975	Brief	1 A4	Bestellung von Forstgehölzen zur Nachpflanzung (Pinus ponderosa, P. salzmannii)
17.06.1974	Rechnung	2 A4	Rechnung für Forstgehölze (Zedern-Toppflanzen)
17.01.1974	Brief	1 A4	Vorschlag, in den Eichen-Niederwäldern Trüffel nachzuziehen
02.06.1973	Brief	1 A4	Kontrolle der verkauften Klone
12.01.1973	Brief	1 A4	Ersetzen der Pinus leucodermis
11.01.1973	Rechnung	1 A4	Lieferschein für Forstgehölze (Lärchen, Schlitz; Pinus sylvestris Niederwil; Zedern-Topfpflanzen)
24.04.1972	Rechnung	1 A4	Rechnung für Douglasien (Kandern)
28.12.1972	Rechnung	1 A4	Rechnung für Lärchen, Waldföhren und Zedern
07.07.1972	Brief	1 A4	Bestellung bei der Kantonalen Forstbaumschule für den Frühling 1973
26.06.1972	Brief	1 A4	Markieren der gepflanzten Jungbäume um sie besser wiederzufinden.
07.07.1972	Brief	1 A4	Bestellung von Lärchen, Waldföhren und Zedern
20.11.1970	Rechnung	1 A4	Rechnung für 1500m Forstgeflecht
23.10.1970	Rechnung	1 A4	Rechnung von einer Sägerei
13.11.1970	Brief	1 A4	Bestellung für 1500m Forstgeflecht
10.11.1970	Brief	1 A4	Lieferung von 500 Einzelschützen
24.10.1970	Rechnung	1 A4	Rechnung für Linde, Lärche, Waldföhre, Serbische Fichte, Schwarzföhre, Korsische Föhre, Pinus Salzmannii, mit Angaben zur Provenienz
14.04.1970	Rechnung	1 A4	Rechnung für Zedern
10.11.1970	Rechnung	1 A4	Rechnung für Schwarzföhren und Einzelschütze
14.04.1970	Rechnung	1 A4	Lieferschein für Zedern
24.10.1970	Rechnung	1 A4	Lieferschein für Linde, Lärche, Waldföhre, Serbische Fichte, Schwarzföhre, Korsische Föhre, Pinus Salzmannii

Tabelle 37. Ertragskundliche Kennzahlen aller Teilflächen (Werte pro ha). % tot = Stammzahlanteil toter Bäume, % gepflanzt = Anteil der gepflanzten Bäume.

TF	Baumart gepflanzt	Herkunft	Grösse			Verbleibender Bestand								Abgestorben, Fehlend			% tot	Gesamtbestand		% gepflanzt	
			(ha)	BT _{Zwischenst.}	BT	N	h _{dom} (m)	d _{dom} (cm)	h/d	h _g (m)	d _g (cm)	G (m ²)	V ₇ (m ³)	N	G (m ²)	V ₇ (m ³)	%	GWL (m ³)	dGZ (m ³ a ⁻¹)	Anteil N	Anteil V ₇
	<i>Cedrus atlantica</i>¹		0.090	1.5	2	775	16	34.4	0.62	14	22.5	30.8	243	27	0.9	7	3.4	243	5	71%	92%
32	<i>Cedrus atlantica</i>	Provence	0.082	2	2	733	17	34.4	0.62	14	23.3	31.4	259	37	0.8	6		259	6	73%	93%
33	<i>Cedrus atlantica</i>	Provence	0.098	1.5	1	746	17	33.4	0.63	14	22.0	28.3	218	20	1.1	9		219	5	67%	84%
101	<i>Cedrus atlantica</i>	Mar._Prov.	0.105	1.5	2	970	16	35.7	0.59	13	22.3	37.7	283	76	2.7	20		283	6	77%	92%
102	<i>Cedrus atlantica</i>	Mar._Prov.	0.064	2	2	754	17	35.8	0.65	15	22.8	30.8	257	0	0	0		257	5	54%	91%
104	<i>Cedrus atlantica</i>	Mar._Prov.	0.099	1	1	674	15	32.7	0.60	13	22.0	25.6	196	0	0	0		196	4	82%	98%
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>¹		0.101	2	2	592	25	45.8	0.70	22	32.1	47.9	472	7.6	0.4	3	1.3	472	10	76%	97%
116	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Millevaches	0.097	1.5	1	753	24	43.5	0.75	20	26.3	41.0	376	10	0.2	1		376	8	48%	92%
301	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Enumclaw	0.095	1.5	1	579	25	43.7	0.72	23	32.1	46.9	467	0	0	0		467	10	82%	99%
302	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Enumclaw	0.116	2	2	534	28	50.3	0.68	23	34.4	49.5	514	0	0	0		514	11	76%	97%
311	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Wind River	0.092	3	3	632	26	49.2	0.65	24	37.1	68.2	687	22	0.9	9		687	15	88%	99%
312	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Wind River	0.101	2	2	506	27	48.0	0.72	24	33.7	45.3	470	0	0	0		470	10	80%	99%
321	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Salmon Arm	0.094	2	2	574	24	42.9	0.68	21	30.4	41.8	392	21	1.5	14		392	8	74%	96%
322	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Salmon Arm	0.112	1.5	2	564	24	43.0	0.68	21	31.0	42.6	398	0	0	0		398	8	84%	98%
	<i>Pinus ponderosa</i>¹		0.104	1.25	1	752	13.5	23.5	0.68	12	17.3	17.3	124	124	1.5	9	14.2	137	3	78%	92%
431	<i>Pinus ponderosa</i>	Kalifornien	0.103	2	2	730	15	25.9	0.67	13	19.5	21.8	166	117	1.5	9		166	4	88%	97%
432	<i>Pinus ponderosa</i>	Kalifornien	0.094	1	1	726	14	24.1	0.71	12	17.0	16.4	116	107	1.2	7		166	2	74%	91%
433	<i>Pinus ponderosa</i>	Kalifornien	0.115	1	1	711	14	23.5	0.70	12	17.1	16.3	116	182	2.2	13		116	2	69%	86%
435	<i>Pinus ponderosa</i>	Kalifornien	0.102	1	1	840	11	20.4	0.63	10	15.5	15.9	99	88	1.2	7		99	2	83%	93%
	<i>Pinus nigra</i>¹		0.099	1.5	2	694	16	33.8	0.59	14	24.4	32.4	278	66	3.1	26	8.7	278	6	68%	91%
103	<i>Pinus nigra</i>	Korsika_Cev.	0.095	2	2	674	19	39.2	0.58	17	29.1	44.9	423	11	1.4	14		423	9	77%	96%
362	<i>Pinus nigra</i>	Korsika	0.132	1	1	621	17	36.3	0.57	15	27.1	35.8	330	23	1.5	14		330	7	76%	98%
364	<i>Pinus nigra</i>	Korsika	0.099	2	2	917	18	38.1	0.64	15	23.5	39.9	351	30	1.6	14		351	7	46%	90%
365	<i>Pinus nigra</i>	Korsika	0.094	1.5	1	657	17	32.8	0.64	15	23.0	27.4	235	42	4.1	39		235	5	63%	93%
373	<i>Pinus nigra</i>	Cevennen	0.121	1.5	2	644	13	28.6	0.60	12	19.4	19.0	138	58	1.8	13		138	3	49%	86%
541	<i>Pinus nigra</i>	Ungarn	0.100	2	2	747	16	35.7	0.63	15	23.3	31.8	269	20	0.5	4		269	6	48%	72%
542	<i>Pinus nigra</i>	Ungarn	0.090	2	2	667	17	34.6	0.59	16	26.5	36.9	329	11	0.1	1		329	7	95%	100%
544	<i>Pinus nigra</i>	Ungarn	0.099	1.5	1	690	16	33.7	0.57	15	25.9	36.5	318	30	1.1	9		318	7	79%	96%
545	<i>Pinus nigra</i>	Ungarn	0.094	2	2	585	14	32.7	0.56	14	24.8	28.2	241	117	6.2	54		241	5	75%	96%
581	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	0.099	1	1	629	15	32.3	0.57	13	23.3	26.7	213	213	9.1	70		213	5	69%	95%
582	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	0.096	1.5	2	637	15	32.5	0.55	14	24.9	31.1	261	42	1.6	13		261	6	76%	95%
583	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	0.095	1	1	810	16	34.0	0.60	14	23.9	36.3	307	95	4.3	36		307	7	68%	96%
584	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	0.098	1.5	2	896	15	33.0	0.60	14	23.6	39.2	328	41	1.7	14		328	7	72%	95%
585	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	0.104	1	1	686	14	30.8	0.55	13	23.8	30.6	245	29	1.3	11		245	5	86%	98%
586	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	0.090	1.5	2	501	17	34.7	0.59	15	25.6	25.9	226	33	1.9	17		226	5	76%	95%
587	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	0.084	1.5	1	667	16	33.2	0.59	14	24.2	30.6	259	71	2.9	24		259	6	55%	82%
588	<i>Pinus nigra</i>	Lozère	0.090	2	3	762	17	32.5	0.66	15	22.4	30.0	254	254	11.6	100		254	5	46%	57%
601	<i>Picea omorica</i>	Jugoslawien	0.098	1	1	1149	14	27.0	0.73	12	16.6	25.0	170	0	0	0		171	4	27%	45%
	<i>Pinus sylvestris</i>¹		0.110	1.25	1	763	16	31.6	0.65	15	21.7	28.3	234	47	1.6	13	5.8	234	5	49%	77%
893	<i>Pinus sylvestris</i>	Hochrhein	0.114	1	1	793	16	31.7	0.64	14	21.3	28.4	229	26	1.1	9		229	5	46%	76%
894	<i>Pinus sylvestris</i>	Hochrhein	0.105	1.5	1	733	16	31.4	0.66	15	22.1	28.2	239	67	2.1	16		239	5	53%	79%
901	NV/Nullfläche	NV	0.099	1	1	987	13	23.3	0.74	10	13.8	14.8	87	0	0	0		87	2		

¹Arithmetisches Mittel über die TFL. Nicht mit Flächengrösse bzw. Stammzahl gewichtet, darum haben diese Bestandeskennzahlen nur hinweisenden Charakter.