



Universität für Bodenkultur Wien

Department für Wald- und Bodenwissenschaften

Institut für Waldwachstum

Leiter: Univ.Prof. Dipl.-FW. Dr. Arne Nothdurft

**LEISTUNG DER FICHTE IM REINBESTAND UND IM
FICHTEN-LÄRCHEN-MISCHBESTAND**

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieur

an der Universität für Bodenkultur Wien

Eingereicht von

Arnold-Sebastian Reichl

Betreuer:

Em.O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Hubert Sterba

Dipl.-Ing. Gerald Dirnberger

Wien, September 2016

Danksagung

Die Entstehung der vorliegenden Arbeit ist der Mithilfe vieler Persönlichkeiten zu verdanken, die mich mit ihren Ratschlägen stets unterstützt haben. Im Besonderen möchte ich mich bei meinem Betreuer Em.O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Hubert Sterba bedanken. Durch seine hervorragende wissenschaftliche Betreuung und während zahlreicher konstruktiver Treffen begleitete er mich beim Erstellen dieser Arbeit. Er war stets bemüht, diese Arbeit voranzutreiben und dafür, sowie für das Interesse und Engagement, das er in diese Masterarbeit eingebracht hat, möchte ich mich bedanken.

Auch bei meinem Zweitbetreuer Dipl.-Ing. Gerald Dirnberger möchte ich mich recht herzlich bedanken. Danke für dein stets offenes Ohr und deine Geduld bei zahlreichen Fragen, deinen kritischen Input und Rat als Freund. Außerdem gilt mein Dank den Mitarbeitern am Institut für Waldwachstum und im Besonderen Dipl.-Ing. Helga Fellner, der ich für ihre Unterstützung und Hilfestellung zu Dank verpflichtet bin.

Außerdem gilt mein Dank dem Wissenschaftsfonds, der das Projekt „Wuchseffizienz von Fichte und Lärche im Rein- und Mischbestand“ mit der Projektnummer P 24433 finanziell gefördert hat.

Gleichzeitig möchte ich mich bei all meinen Kollegen bedanken, mit denen ich im Zuge dieses Projektes bei der Datenaufnahme zusammenarbeiten durfte.

Ich möchte mich auch bei meinen Freunden bedanken, die jederzeit für mich da waren und sind.

Abschließend gilt mein Dank besonders meiner Familie, die es mir ermöglichte, zu studieren. Mit ihrer Unterstützung und ihrem Vertrauen konnte ich manch schwierige Phase meistern. Danke, dass ihr mir eine große Stütze seid und mich stets aufbaut und motiviert.

Kurzfassung

Ein Ziel der Bewirtschaftung von Waldbeständen ist, die Leistung eines Bestandes zu erhöhen und die auf einem Standort verfügbaren Ressourcen optimal zu nutzen. Als wesentlicher Indikator für die Leistung einer Baumart dient in der Waldwachstumskunde die Wuchseffizienz.

Ziel dieser Studie ist es, die Wuchseffizienz der Fichte im Fichten-Lärchen-Mischbestand mit jener von Fichten-Reinbeständen zu vergleichen. Dabei wurden sowohl die Schirmflächeneffizienz, als auch die Blattflächeneffizienz und Standflächeneffizienz der Fichte in beiden Bestandestypen miteinander verglichen. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt ist, die Schirmflächeneffizienz in Abhängigkeit von der sozialen Stellung zu betrachten. Außerdem wird die Blattflächen- und Standflächeneffizienz in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung untersucht.

Als Datengrundlagen dienen hierfür die Baumdaten der Fichte vierer Bestandstriplets, die sich auf Flächen der Leobener Realgemeinschaft befinden und die im Zuge des MixProd-Projektes in den Jahren 2012 und 2013 aufgenommen wurden.

Die Untersuchungen ergaben, dass in den Jungbeständen die Wuchseffizienz der Fichte im Reinbestand höher ist als im Mischbestand. In den Altbeständen zeigte sich ein gegenteiliges Bild. Hier leistet die Fichte im Mischbestand mehr als im Reinbestand.

Dass innerhalb einer sozialen Stellung die Schirmflächeneffizienz mit zunehmender Schirmfläche abnimmt und herrschende Bäume mit kleinen Kronen am effizientesten sind, konnte bestätigt werden.

Ein Zusammenhang zwischen Blattflächeneffizienz und Blattflächenausstattung konnte nicht gefunden werden. Bei der Standflächeneffizienz zeigte sich ein mäßiger Zusammenhang mit der Blattflächenausstattung. In den vorliegenden Daten wurde die von Gspaltl (2012) publizierte Optimumkurve nicht gefunden. Es zeigt sich hingegen, dass bei gegebener Blattflächenausstattung Stämme einer niedrigeren sozialen Stellung eine höhere Standflächeneffizienz aufweisen.

Abstract

A major objective of forest management is to improve the productivity of a stand and to optimize the use of available resources on a given site. In forest growth and yield science growth efficiency is an important indicator for the growth capacity of a species.

The objective of this study is to compare the growth efficiency of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) between pure and mixed stands of Norway spruce and European larch (*Larix decidua* Mill.). Therefore the crown projection efficiency, the leaf area efficiency and the available area efficiency of Norway spruce is compared between these two mixture types. Another focus of investigation is to plot the crown projection efficiency against the different social classes. Furthermore, the dependence of leaf area efficiency and available area efficiency upon the area exploitation index is analysed.

Tree data of Norway spruce was collected from four Triplets in the course of the MixProd-project in 2012 and 2013. The Triplets are located in an area that is owned by the Leobener Realgemeinschaft.

The result of the analysis is that in young stands growth efficiency of Norway spruce is in pure stands higher than in mixed stands. In mature stands it is contrary and growth efficiency is in mixed stands is higher than in pure ones.

The theory that crown projection efficiency is decreasing with increasing crown projection in a given social class could be confirmed. As well as, the theory that dominant trees with small crowns are most efficient.

Although there was no relationship between leaf area efficiency and area exploitation index, a moderate one was found between available area efficiency and the area exploitation index. Nevertheless, an optimum curve of available area efficiency over the area exploitation index, as it was published by Gspaltl (2012) could not be observed. However, it could be shown that trees with a low social class have a higher available area efficiency for a given area exploitation index than ones with a better social class.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Zielsetzung und Hypothesen	4
2.1	Hypothese 1	4
2.2	Hypothese 2	4
2.3	Hypothese 3	4
2.4	Hypothese 4	4
3	Datengrundlagen, Material und Methoden	5
3.1	Versuchsgebiet, Versuchsflächen und Datenaufnahme	5
3.1.1	Allgemein	5
3.1.2	Bestände	5
3.1.3	Datenaufnahme	6
3.1.4	Bestandesbeschreibungen	8
3.1.4.1	Jung-Triplet 2012	8
3.1.4.2	Altholz-Triplet 2012	10
3.1.4.3	Jung-Triplet 2013	12
3.1.4.4	Altholz-Triplet 2013	14
3.2	Schaftvolumen und Zuwächse	16
3.2.1	Fichten – Probestämme	16
3.2.1.1	Schaftholzvolumen	16
3.2.1.2	Volumszuwächse	18
3.2.2	Gesamtbestand	20
3.2.2.1	Fehlende Zuwächse	23
3.3	Schirmflächenberechnung	24
3.4	Blattflächenberechnung	25
3.5	Standflächenberechnung	27
3.6	Effizienzen	29
3.6.1	Schirmflächeneffizienz	29

3.6.2	Blattflächeneffizienz	29
3.6.3	Standflächeneffizienz	29
3.7	Blattflächenausstattung	30
3.8	Soziale Stellung	30
3.9	Flächenanteilsberechnung	30
4	Ergebnisse	32
4.1	Flächenanteilsberechnung	32
4.2	Volumszuwächse	33
4.3	Wuchseffizienzen	35
4.3.1	Übersicht	35
4.3.1.1	Wuchseffizienz in Abhängigkeit von Alter und Mischungsverhältnis	37
4.3.2	Schirmflächeneffizienz getrennt nach sozialer Stellung	39
4.3.3	Standflächeneffizienz in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung	44
4.3.3.1	Gesamt	44
4.3.3.2	Rein- und Mischbestand	46
4.3.3.3	Jung- und Altbestand	48
4.3.4	Blattflächeneffizienz in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung	50
4.3.4.1	Gesamt	50
4.3.4.2	Rein- und Mischbestand	52
4.3.4.3	Jung- und Altbestand	54
5	Diskussion	56
5.1	Volumszuwächse	56
5.2	Schirmflächen-, Blattflächen- und Standflächeneffizienz	57
5.3	Schirmflächeneffizienz in Abhängigkeit von der sozialen Stellung	57
5.4	Wuchseffizienz und Blattflächenausstattung	58
6	Schlussfolgerungen	59
7	Literaturverzeichnis	60
8	Tabellenverzeichnis	64

9	Abbildungsverzeichnis	67
10	Anhang	69

1 Einleitung

In der österreichischen Forstwirtschaft spielt die Fichte (*Picea abies* L., Karst.) eine herausragende Rolle. Laut dem österreichischen Waldbericht 2015 des Ministeriums für ein lebenswertes Österreich ist sie auf 81 % der Nadelwaldflächen vertreten. Dies entspricht mit 1,7 Millionen Hektar 51 % der Ertragswaldfläche (BMLFUW, 2015). Wenn nun alle Bestände im Ertragswald betrachtet werden, dann kommt die Fichte sogar in rund 86% als Mischbaumart vor (Büchsenmeister, 2013). Es überrascht daher nicht, dass laut Holzeinschlagsmeldung 2013 der Fichten/Tannen-Anteil am österreichischen Sägerundholzeinschlag rund 72% beträgt (BMLFUW, 2015). Diese besondere Stellung der Fichte brachte ihr den Beinamen „Brotbaum der Forstwirtschaft“ ein und begründet auch das fortwährende Interesse an neuen Erkenntnissen über die Leistung der Fichte im Rein- und Mischbestand.

Im Zusammenhang mit der Leistung wird in der Ertragskunde der kongruente Begriff der Wuchseffizienz verwendet. Die Wuchseffizienz ist als Zuwachsgröße pro Wuchsraumgröße und Zeit definiert und verbindet in besonderer Weise physiologische Aspekte des Baumwachstums mit messbaren Größen der Holzproduktion (Dieler et al., 2008). Diese Definition verallgemeinert die in den letzten Jahrzehnten unterschiedlichen Betrachtungsweisen der Effizienz von Bäumen.

So untersuchte schon Assmann (1961) sehr früh die Wuchseffizienz und verwendete hierbei die Schirmfläche als Bezugsgröße für den Zuwachs. Unterdessen beobachtete auch Mayer (1958), auf dem Konzept der Schirmflächenleistung aufbauend, dass in gleichaltrigen Eichenbeständen bei gegebener sozialer Stellung die Schirmflächenleistung mit zunehmender Schirmfläche abnimmt. Gleichzeitig ist bei gegebener Schirmfläche die Schirmflächeneffizienz einer besseren sozialen Stellung höher. In Bezug auf die assimilierende Fläche hat jedoch die Blattfläche eine größere Aussagekraft als die Schirmfläche.

Über die Blattfläche betreibt der Baum die Photosynthese. Dabei entsteht aus Kohlendioxid und Wasser mit Hilfe der Sonnenenergie, Zucker und Sauerstoff. Das Produkt dieser chemischen Reaktion investiert der Baum in die Reproduktion und das Wachstum. Damit beschreibt die Blattfläche nicht nur das Ausmaß an wirksamer Assimilationsfläche, sondern auch das Potenzial an möglichem Zuwachs.

Mit der Entwicklung einer Methode zur zerstörungsfreien Bestimmung der Blattmasse, auf Basis des pipe-model von Shinozaki et al. (1964), gewann daher die Blattflächeneffizienz neben der Schirmflächeneffizienz an Bedeutung. Waring et al. (1980) befassten sich mit der Beziehung von Blattfläche zu Splintfläche und untersuchten wie O'Hara (1988) die

Blattflächeneffizienz von Douglasienbeständen. Jost (2013) fasste die Ergebnisse dieser Untersuchungen als für die einzelbaumweise Beurteilung der Effizienz geeignet zusammen. Für die Betrachtung auf der Bestandesebene eignet sich hingegen die baumindividuelle Standfläche als Bezugsgröße für den Zuwachs besser, denn nach der Definition von Assmann (1961) ist die Bestandesfläche die Summe aller Standflächen.

Sterba (2005) untersuchte die Standflächeneffizienz der Fichte und Kiefer und stellte die Hypothese auf, dass die Standflächeneffizienz mit zunehmender Überschirmung einer Optimumkurve folgt. Das bedeutet, dass die Standflächeneffizienz bis zu einem Punkt ansteigt, ab dem der zusätzliche Standraum nicht mehr genutzt werden kann. Die Standflächenleistung nimmt infolgedessen mit zunehmender Überschirmung wieder ab. Dabei ist die Überschirmung als das Verhältnis von Schirmfläche zu Standfläche definiert. Auf diesen Überlegungen aufbauend, ersetzte Gspaltl (2008) die Schirmfläche mit der Blattfläche, wodurch sich der sogenannte Area Exploitation Index (AEI) ergab. Die Blattfläche anstelle der Schirmfläche zu verwenden, hat den Vorteil, dass die Assimilationsfläche und damit das Maß an Ressourcennutzung besser repräsentiert sind. Außerdem wird dadurch die Dreidimensionalität der Krone berücksichtigt. Die Annahmen über den Verlauf der Standflächeneffizienz bei zunehmenden AEI decken sich mit jenen von Sterba (2005) bei zunehmender Überschirmung. Gspaltl (2012) konnte jenes Optimum beim Küstenmammutbaum auch beweisen. Zusätzlich soll mit abnehmendem AEI die Blattflächeneffizienz zunehmen.

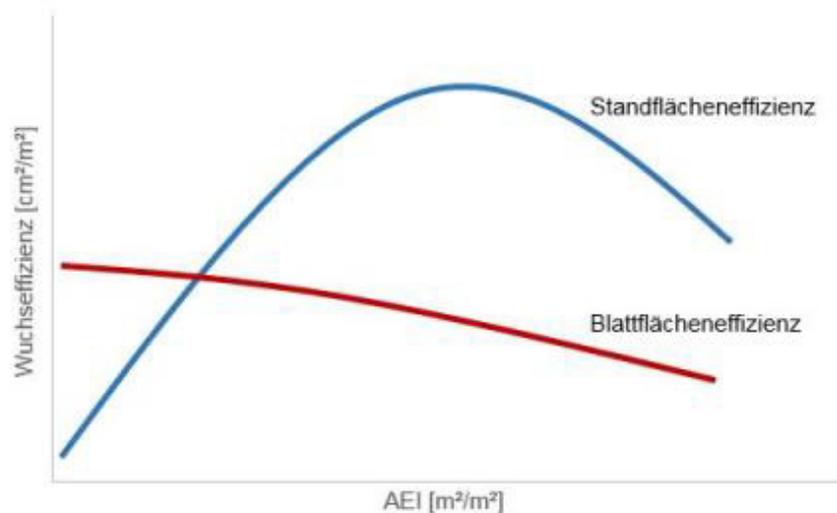


Abbildung 1: Hypothetischer Verlauf der Standflächeneffizienz und Blattflächeneffizienz nach Gspaltl (2012)

Neben diesen Untersuchungen zum Verlauf der Wuchseffizienz in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung oder Überschildung, gibt es einige Studien, die im Detail Wuchseffizienz und Produktivität von Baumarten zwischen Rein- und Mischbestand vergleichen (Pretzsch et al., 2013, Pretzsch et al., 2015, Condés et al., 2013, Vallet et al., 2011, Rio et al., 2009). Vermutet wird, dass eine erhöhte Baumartendiversität eine höhere Produktivität, verbesserten Nähstoffhaushalt und geringere Schadanfälligkeit mit sich bringt.

Die am häufigsten untersuchte Baumartenmischung in Mitteleuropa ist die von Fichte und Buche. So zeigten Pretzsch et al. (2010), dass die Fichte im Mischbestand mit Buche im Mittel einen rund 1 m³ geringeren Volumszuwachs pro Hektar und Jahr hat als im Reinbestand. In den untersuchten Beständen wiesen sie nach, dass das Wachstum an oberirdischer Trockenbiomasse in Fichten-Buchen-Mischbeständen bis zu 138% mehr, aber auch 46% weniger betragen kann als in den jeweiligen Reinbeständen. Pretzsch et al. (2009) zeigten wiederum, dass in Fichten-Buchen-Mischbeständen bis zu 59% mehr oberirdische Biomasse wächst als in den jeweiligen Reinbeständen. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Pretzsch et al. (2005), wobei sich die Unterschiede auf die klimatischen Bedingungen zurückführen ließen

Vergleichbare Arbeiten, bezogen auf die Baumartenmischung Fichte und Lärche, gibt es jedoch kaum. Zöhrer (1969) untersuchte Fichten-Lärchen-Mischbestände und beobachtete, dass es in Mischbeständen einen 20-25 % höheren Volumszuwachs gibt. Er zeigte, dass dieser Mehrzuwachs auf die Leistung der Fichte im Mischbestand zurückzuführen ist. Heller (2016) widmete sich in seiner Diplomarbeit ebenfalls der Produktivität von Fichte und Lärche. Er stellte fest, dass beim Vergleich von Mischungseffekten die Leistung der jeweiligen Baumart stark von der Güte des Standortes abhängt. Beide Baumarten profitieren vor allem auf ärmeren Standorten von der Mischung. Auf den von ihm untersuchten Beständen schwankt der Zuwachs der Fichte im Mischbestand zwischen -11% und +10% im Vergleich mit dem jeweiligen Reinbestand. Zusätzlich beobachtete er in Altbeständen, dass die Produktivität der Fichte geringer ist, wenn sie mit Lärche gemischt stockt.

Die vorliegende Arbeit soll nun die bisherigen Forschungen zu dieser Thematik fortführen und ergänzen.

2 Zielsetzung und Hypothesen

Ziel dieser Arbeit ist es, die Wuchseffizienz der Fichte im Rein- und im Fichten-Lärchen-Mischbestand zu vergleichen. Die Ergebnisse sollen eine Grundlage für weitere Forschungen darstellen, die auch die Beobachtungen zur Lärche in den untersuchten Beständen miteinbeziehen sollen. Folgende Fragestellungen werden erstmals geprüft:

2.1 Hypothese 1

Fichten in Mischbeständen sind wüchsiger als in ihren jeweiligen Reinbeständen.

2.2 Hypothese 2

Fichten im Reinbestand unterscheiden sich von jenen im Mischbestand hinsichtlich ihrer Schirm-, Blatt- und Standflächeneffizienz.

2.3 Hypothese 3

Vorherrschende Bäume mit kleinen Kronen sind am effizientesten.

2.4 Hypothese 4

Die Standflächeneffizienz weist ein Optimum auf und die Blattflächeneffizienz nimmt mit abnehmendem AEI zu.

3 Datengrundlagen, Material und Methoden

3.1 Versuchsgebiet, Versuchsflächen und Datenaufnahme

3.1.1 Allgemein

Als Datengrundlage für diese Arbeit dienen Bestände der Leobner Realgemeinschaft, die in den Revieren Treffning, Laintal, Obertal und Bürgerwald liegen. Dieses Gebiet befindet sich laut Kilian et al. (1994) im forstlichen Wuchsgebiet 3.1, dem Nordteil der östlichen Zwischenalpen.

In den hochmontanen und subalpinen Lagen ist das Klima des oben genannten Wuchsgebietes geprägt von Jahresniederschläge zwischen 1250 mm und 1500 mm. Charakteristisch ist ein Niederschlagsmaximum im Juli. Im Murtal können in den oberen Hanglagen auch Klimaelemente der subillyrischen Randalpen auftreten. Das spiegelt sich in der erhöhten Gewitterhäufigkeit wider (Kilian et al., 1994).

Das Gebiet ist geologisch sehr vielfältig, weist jedoch vorwiegend basenarme Grundgesteine auf. Dazu zählen Ortho- und Paragneise, Quarzphyllite und Quarzite sowie saure Ergußgesteine. Die vorherrschenden Waldbodentypen sind magere, podsolige Braunerde und Semipodsol auf intermediärem oder basenarmem Silikat (Kilian et al., 1994).

3.1.2 Bestände

Im Zuge des FWF-Projekts MixProd wurden vom Institut für Waldwachstum der Universität für Bodenkultur von August bis Oktober 2012 sowie von April bis Oktober 2013 vier Bestandes-Triplets aufgenommen. Diese bestehen jeweils aus einem Lärchen- und einem Fichtenreinbestand sowie einem Fichten-Lärchen-Mischbestand. In der vorliegenden Arbeit werden die Fichten der beiden letztgenannten Bestandestypen einer genaueren Betrachtung hinsichtlich ihrer Effizienz unterzogen.

Aufnahmejahr	Triplet	Bestandesnummer	Bestandestyp
2012	Altholz	7	Fichten-Reinbestand
		8	Fichten-Lärchen-Mischbestand
		9	Lärchen-Reinbestand
	Jung	1	Fichten-Reinbestand
		2	Fichten-Lärchen-Mischbestand
		3	Lärchen-Reinbestand
2013	Jung	4	Fichten-Reinbestand
		5	Fichten-Lärchen-Mischbestand
		6	Lärchen-Reinbestand
	Alt	10	Fichten-Reinbestand
		11	Fichten-Lärchen-Mischbestand
		12	Lärchen-Reinbestand

Tabelle 1: Versuchsflächen und deren Bestandestyp

3.1.3 Datenaufnahme

Bei den Feldaufnahmen wurden sowohl ertragskundliche als auch standortkundliche Daten erhoben.

Die Ansprache des Bodentyps, der Bodenart und des Grobskelettanteils erfolgte nach Englisch et al. (1999), die Bestimmung des Vegetationstyps nach Schieler und Hauk (2001).

Von jedem Baum wurde der Brusthöhendurchmesser (BHD), die Baumhöhe (h_t), die Höhe des Kronenansatzes (h_{KA}) und etwaige Schäden, wie zum Beispiel Ernteschäden und Wipfelbruch bestimmt. Außerdem wurden die Koordinaten jedes einzelnen Stammes sowie die Koordinaten von 6 bis 7 Punkten des Randes der Kronenprojektion ermittelt. Schließlich wurde für die Bestimmung der Zuwächse von jedem Stamm ein Bohrkern in der Höhe des BHDs gewonnen.

Im zweiten Teil der Außenaufnahmen wurden je Bestand 10 unbeschädigte Fichten-Probeebäume ausgewählt, wobei auf eine ausgewogene Verteilung über alle BHD-Klassen geachtet wurde. Die gefälltten Probeebäume wurden im Detail weiter vermessen. Dabei wurden unter anderem Stammscheiben in Brusthöhe, Kronenansatz und 30% der

Gesamthöhe (h_{03}) gewonnen. Zugleich wurde in frischem Zustand von jeder Stammscheibe der Radius jeweils mit und ohne Rinde in je vier Richtungen gemessen. Außerdem wurden bei jedem Probestamm die Höhenzuwächse der letzten 11 Jahre bestimmt.



Abbildung 2: Für die Laborarbeit präparierte Stammscheibe. Die Beschriftung zeigt die Richtung der 4 gemessenen Radien sowie den Stammscheibencode

Im Labor erfolgte schließlich eine detaillierte Zuwachs- und Stammanalyse an den getrockneten Stammscheiben und Bohrkernen. An den Stammscheiben wurde der Zuwachs eines jeden Jahres in je vier Richtungen gemessen und an den Bohrkernen der Zuwachs der letzten 16 Jahre bestimmt.

3.1.4 Bestandesbeschreibungen

3.1.4.1 Jung-Triplet 2012

Das Triplet befindet sich am Tahlerkogel im Revier Treffning. Der Mischbestand und die Reinbestände stocken in unmittelbarer Nähe zueinander. Dies spiegelt sich in den Standortsunterschieden wider, die in diesen Jungholz-Beständen sehr gering sind. Innerhalb der Bestände sind die Boden- und Wasserverhältnisse homogen.

Bestandesnummer	1	2
Gründigkeit	seichtgründig (< 30 cm)	mittel- bis tiefgründig (>30cm)
Bodentyp	Braunerde	
Bodenart	sandiger Lehm	
Grobskelettanteil	20-40%	10-20%
L-/F-/H-Humusmächtigkeit	1/2/1cm	1/2/2cm
Humustyp	mullartiger Moder / moderartiger Mull	
Wasserhaushalt	frisch	
Vegetationstyp	Sauerkleetyp	
Relief	Mittelhang	
Neigung	67,5%	57,7%
Exposition	305°	305°
Seehöhe	1.204m ü.A.	1.194m ü.A.

Tabelle 2: Standortkundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 1) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 2) des Jung-Triplet 2012

Die nach Marschall (1975) empfohlene Ertragstafel für die Fichte (*Picea abies* L.,Karst.) in diesem Wuchsbezirk ist die Ertragstafel „Fichte-Bruck/Mur“. Die Bestände sind annähernd gleich alt und befinden sich im Übergang von Stangenholz zu Baumholz.

Bestand	Fläche [m ²]	Fichte			
		Alter [Jahren]	dGz100 [m ³ /ha/a]	hdom [m]	dg [cm]
1	2503	46	8,3	18,7	21,2
2	2664	48	8	19,0	15,2
Bestand	N/ha		G/ha [m ²]		
	Fichte	Lärche	Fichte	Lärche	
1	1374	76	48,5	2,4	
2	968	327	17,6	19,2	

Tabelle 3: Ertragskundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 1) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 2) des Jung-Triplet 2012

3.1.4.2 Altholz-Triplet 2012

Die Bestände 7 und 8 liegen ebenfalls am Thalerkogel im Revier Treffning. Der Reinbestand befindet sich 700m entfernt vom Mischbestand. Bei der Auswahl der Bestände wurde jedoch auf annähernd gleiche Standortverhältnisse geachtet.

Bestand	7	8
Gründigkeit	seichtgründig (< 30 cm)	
Bodentyp	Braunerde	Rendsina
Bodenart	sandiger Lehm	sandiger Schluff
Grobskelettanteil	10-20%	40-80%
L-/F-/H-Humusmächtigkeit	1/2/3cm	1/4/1cm
Humustyp	mullartiger Moder	Moder
Wasserhaushalt	frisch	
Vegetationstyp	Vergrasung	Niedriger AHD-Typ
Relief	Mittelhang	
Neigung	70,0%	55,4%
Exposition	280°	300°
Seehöhe	1.168 m ü.A.	1.177 m ü.A.

Tabelle 4: Standortkundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 7) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 8) des Altholz-Triplet 2012

Der Reinbestand weist neben der Baumart Fichte (*Picea abies* L., Karst.) auch einige Individuen der Baumart Lärche (*Larix decidua*, Mill.) auf. Außerdem stocken zwei Weißkiefern (*Pinus sylvestris* L.) und eine Birke (*Betula pendula*, Roth) im Bestand. Der Mischbestand setzt sich hingegen nur aus Fichte und Lärche zusammen.

Bestand	Fläche [m ²]	Fichte			
		Alter [Jahren]	dGz100 [m ³ /ha/a]	hdom [m]	dg [cm]
7	6096	122	8,2	31,9	38,5
8	3281	127	8,4	32,6	40,5
Bestand	N/ha		G/ha [m ²]		
	Fichte	Lärche	Fichte	Lärche	
7	340	98	39,4	15,1	
8	265	149	34,1	23,2	

Tabelle 5: Ertragskundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 7) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 8) des Altholz-Triplet 2012

3.1.4.3 Jung-Triplet 2013

Die Bestände liegen im Revier Bürgerwald, oberhalb des Brandgrabens. Bei der Auswahl der Bestände im Jahr 2012 wurde dieses Triplet als Jung-Triplet ausgewiesen. Die Außenaufnahmen im Jahr 2013 zeigten jedoch, dass die Bestände im Übergang von Baum- zu Altholz sind und ein Alter von rund 100 Jahren haben. Die standörtlichen Charakteristika zeigen, dass Bestand 4 auf günstigeren Bedingungen stockt als Bestand 5. Der Bodentyp Braunerde zeigt eine fortgeschrittene Bodenentwicklung. Sowohl die Gründigkeit als auch der geringere Grobsklettanteil bieten auf diesem frischen Standort bessere Wachstumsbedingungen für die Fichte (Leitgeb et al., 2013).

Bestandesnummer	4	5
Gründigkeit	mittel- bis tiefgründig (>30cm)	seichtgründig (< 30 cm)
Bodentyp	Braunerde	Ranker
Bodenart	Toniger Sand	Lehmiger Sand
Grobsklettanteil	20-40%	40-80%
L-/F-/H-Humusmächtigkeit	0,5/0,5/5 cm	3/1,5/11 cm
Humustyp	Moder	Rohhumus
Wasserhaushalt	frisch	Mäßig frisch
Vegetationstyp	Schattenkräutertyp	Sauerkleetyt – mäßig frischer Kräutertyp
Relief	Mittelhang	
Neigung	70%	66,2%
Exposition	305°	347°
Seehöhe	936 m ü.A.	882 m ü.A.

Tabelle 6: Standortkundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 4) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 5) des Jung-Triplet 2013

Auf der Reinbestandsfläche ist ein geringer Anteil anderer Baumarten gegeben. Neben der Fichte (*Picea abies* L.,Karst.) tritt vorwiegend Lärche (*Larix decidua*, Mill.) und vereinzelt Rotbuche auf. Im Mischbestand stocken neben der Fichte und Lärche nur 4 Individuen Tanne (*Abies alba*, Mill.). Das Wachstum ist daher kaum von anderen Baumarten beeinflusst.

Bestand	Fläche [m ²]	Fichte			
		Alter [Jahren]	dGz100 [m ³ /ha/a]	hdom [m]	dg [cm]
4	16172	98	15,8	40,1	47,2
5	11660	109	10	33,9	35,1
Bestand	N/ha		G/ha [m ²]		
	Fichte	Lärche	Fichte	Lärche	
4	270	26	47,1	4,07	
5	194	158	18,8	16,4	

Tabelle 7: Ertragskundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 4) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 5) des Jung-Triplet 2013

3.1.4.4 Altholz-Triplet 2013

Dieses Triplet befindet sich an der Grenze von Revier Laintal und Revier Obertal. Auch hier liegen die Bestände in nächster Nähe zueinander.

Bestandesnummer	10	11
Gründigkeit	seichtgründig (< 30 cm)	mittel- bis tiefgründig (>30cm)
Bodentyp	Ranker	Braunerde
Bodenart	Sandiger Lehm	Sandiger Schluff
Grobskelettanteil	40-80%	20-40%
L-/F-/H-Humusmächtigkeit	2,5/3/6 cm	1/3,5/4 cm
Humustyp	Moder	
Wasserhaushalt	trocken	
Vegetationstyp	Üppiger AHD-Typ	Niedriger AHD-Typ
Relief	Mittelhang	
Neigung	43,2%	50%
Exposition	341°	333°
Seehöhe	1.1288 m ü.A.	1.330 m ü.A.

Tabelle 8: Standortkundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 10) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 11) des Alt-Triplet 2013

Der Reinbestand weist neben der Baumart Fichte (*Picea abies* L., Karst.) auch einige Individuen der Baumart Lärche (*Larix decidua*, Mill.), Weißkiefer (*Pinus sylvestris* L.) und Birke (*Betula pendula*, Roth) auf. Im Mischbestand stocken neben der Fichte und der Lärche nur vier Tannen (*Abies alba*, Mill.).

Bestand	Fläche [m²]	Fichte			
		Alter [Jahren]	dGz100 [m³/ha/a]	hdom [m]	dg [cm]
10	7086	107	6,3	27,2	34,4
11	12886	174	5,7	29,5	39,8
Bestand	N/ha		G/ha [m²]		
	Fichte	Lärche	Fichte	Lärche	
10	382	21	35,6	8,4	
11	169	106	21	19,4	

Tabelle 9: Ertragskundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 10) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 11) des Alt-Triplet 2013

3.2 Schaftvolumen und Zuwächse

Die Wuchseffizienz definiert sich als Zuwachs pro Wuchsraumgröße und Zeit. Von entscheidender Bedeutung ist daher die Bestimmung des Zuwachses, im Besonderen die des Volumszuwachses. In der vorliegenden Arbeit wurde, ausgehend von den 10 Fichten-Probestämmen, je Bestand der jährliche Volumszuwachs für den Zeitraum von 2008 bis 2012 bestimmt. Mit Hilfe der Volumszuwächse der Fichten-Probestämme wurde für den jeweiligen Gesamtbestand und für jedes Jahr eine Funktion zur Herleitung der jährlichen laufenden Zuwächse ermittelt.

Die Vorgangsweise bei den Berechnungen ist in den folgenden Unterpunkten ausführlicher beschrieben.

3.2.1 Fichten – Probestämme

3.2.1.1 Schaftholzvolumen

Das Einzelbaumvolumen wurde nach Eckmüllner et al. (2007) berechnet. Dabei wird der Stamm in vier Sektionen aufgeteilt. Das Konoidvolumen ($cv_1 - cv_4$) der jeweiligen Sektion berechnet sich nach der entsprechenden Formel 3.1 – 3.4. Die dafür verwendeten Eingangsgrößen sind neben dem BHD, der Gesamthöhe (h_t), dem Stockdurchmesser (d_{st}), der Stockhöhe (h_{st}), der Höhe (h_{03}) und dem Durchmesser in 30% der Gesamthöhe (d_{03}) die Höhe (h_{KA}) und der Durchmesser auf Höhe des Kronenansatzes (d_{KA}).

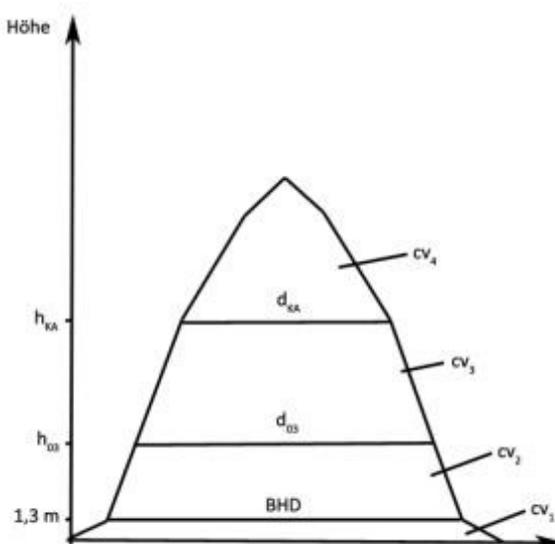


Abbildung 3: Die vier Konoidstümpfe bearbeitet nach Eckmüllner et al. (2007)

$$cv_1[m^3] = \frac{\pi * (1,3 - h_{st}[m]) * \left(d_{st}^2[m] + \sqrt[3]{(d_{st}^4[m] * BHD^2[m])} + \sqrt[3]{(d_{st}^2[m] * BHD^4[m])} + BHD^2[m] \right)}{16} \quad (3.1)$$

$$cv_2[m^3] = \frac{\pi * (h_{03}[m] - 1,3) * (BHD^2[m] + BHD[m] * d_{03}[m] + d_{03}^2[m])}{12} \quad (3.2)$$

$$cv_3[m^3] = \frac{\pi * (h_{KA}[m] - h_{03}[m]) * (d_{03}^2[m] + d_{03}[m] * d_{KA}[m] + d_{KA}^2[m])}{12} \quad (3.3)$$

$$cv_4[m^3] = \frac{\pi * (h_t[m] - h_{KA}[m]) * d_{KA}^2[m]}{10} \quad (3.4)$$

Die Durchmesser (BHD, d_{03} , d_{KA}) berechnen sich als quadratisches Mittel der vier Radien mit Rinde (RmR) der jeweiligen Stammscheibe nach der Formel 3.5. d_{st} und auch h_{st} ergeben sich hingegen nach Eckmüller et al.(2007). Die Volumsberechnung erfolgte in RStudio.

$$\text{Durchmesser}[mm] = 2 * \sqrt{\frac{RmR 1 [mm]^2 + RmR 2 [mm]^2 + RmR 3 [mm]^2 + RmR 4 [mm]^2}{4}} \quad (3.5)$$

Das Gesamtvolumen ist die Summe der Volumina aller Sektionen (siehe Formel 3.6).

$$V[m^3] = cv_1[m^3] + cv_2[m^3] + cv_3[m^3] + cv_4[m^3] \quad (3.6)$$

3.2.1.2 Volumszuwächse

Bei der Stammanalyse wurden die Stammscheiben im nicht frischen Zustand untersucht. Es sind daher die Radialzuwächse (ir) eines jeden Jahres bekannt, um die Volumina der vergangenen Jahre zu berechnen, muss jedoch das Schwinden des Holzes berücksichtigt werden. Folglich ergibt sich der Radius ohne Rinde (RoR) eines Jahres x nach der Formel 3.7.

$$RoR_x[mm] = RoR_{x+1}[mm] - \frac{ir_{x+1}[mm]}{Schwindkoeffizient [\%]} \quad (3.7)$$

Der Schwindkoeffizient ergab sich durch Division des im Labor gemessenen Radius ohne Rinde (RoR_{Labor}) aus dem Jahr 2012 bzw. 2013 durch den ebenfalls 2012 bzw. 2013 im Wald gemessenen Radius ohne Rinde (RoR_{Wald}) (siehe Formel 3.8). Jede Stammscheibe weist daher auch in den vier vermessenen Richtungen unterschiedliche Schwindkoeffizienten auf.

$$Schwindkoeffizient [\%] = \frac{RoR_{Labor} [mm]}{RoR_{Wald} [mm]} \quad (3.8)$$

Ebenso wurde bedacht, dass sich die Rindenstärke mit dem Alter, dem Durchmesser und der Position am Stamm verändert (Laasasenaho, 2005). Dem wurde in Form des Rindenprozents ($R\%$) Rechnung getragen, sodass sich nach 3.9 für jede Stammscheibe ein eigenes $R\%$ ergibt.

$$R\% [\%] = \frac{Durchmesser \text{ mit Rinde}_{2012 \text{ bzw. } 2013} [mm]}{Durchmesser \text{ ohne Rinde}_{2012 \text{ bzw. } 2013} [mm]} * 100 \quad (3.9)$$

RoR_x , in die Formel 3.5 eingesetzt, ergibt einen Durchmesser ohne Rinde (DoR_x), dem nach Formel 3.10 der entsprechende Rindenanteil zugefügt wird. Schlussendlich ergibt sich der für die Volumsberechnung zu verwendende Durchmesser (DmR_x) einer Stammscheibe nach der Formel 3.10.

$$DmR_x[mm] = \frac{DoR_x[mm]}{1 - \frac{R\% [\%]}{100}} \quad (3.10)$$

So war es möglich, das Schaftholzvolumen, wie in Kapitel 3.2.1.1. beschrieben, für jeden Probestamm und jedes einzelne Jahr zu berechnen. Der mittlere, jährliche Volumszuwachs (iV) einer Periode (x) ergibt sich schließlich nach der Formel 3.11.

$$iV_x[m^3/Jahr] = \frac{V_{Anfang\ der\ Periode\ x}[m^3] - V_{Ende\ der\ Periode\ x}[m^3]}{x[Jahre]} \quad (3.11)$$

3.2.2 Gesamtbestand

Die Volumszuwächse der restlichen, nicht gefällten Fichtenstämme in den Beständen wurden, parametrisiert mit den Werten der gefällten Fichten-Probeebäume, nach den Formeln 3.12 und 3.13 geschätzt.

$$iV[\text{m}^3] = e^{a+b*\ln(ig[\text{m}^2])} * \lambda \quad (3.12)$$

(3.13)

$$iV[\text{m}^3] = e^{a+b*\ln(ig[\text{m}^2])+c*\ln(BHD[\text{m}])} * \lambda$$

Hierzu wurden beide Funktionen logarithmisch transformiert. Es erfolgte eine regressionsanalytische Schätzung, getrennt für beide Funktionen und für jedes einzelne Jahr von 2012 bis 2008. Zusätzlich wurde, wie in Tabelle 10 ersichtlich, der 5-jährige Volumszuwachs von 2012-2007 betrachtet. Der Einfluss der Variable $\ln(BHD [m])$ auf die abhängige Variable $\ln(iV [\text{m}^3])$ wurde nur berücksichtigt, wenn dieser signifikant war. Der Volumszuwachs für den entsprechenden Bestand und das zugehörige Jahr wurde dann nach Formel 3.13 berechnet. Als signifikant galt dabei, wenn der p-Wert des Koeffizienten <5% war.

Werden die Werte der Tabelle 10 für den Bestand 1 betrachtet, so wird demzufolge die unabhängige Variable $\ln(BHD [m])$ als nicht signifikant ausgeschieden. Daher wurde der Funktionstyp 3.12 gewählt. Das Bestimmtheitsmaß betrug in diesem Fall 97,8 %. Der Standardfehler der Schätzung war $\pm 0,162$, was einem niedrigen Variationskoeffizienten von ± 6 % entspricht.

Die vollständigen Ergebnisse der Regressionsanalysen sind in Kapitel 9 Anhang angeführt.

Funktionstyp p	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2])} * \lambda$										
Unabhängige Variable			ln(ig[m ²])								
2012-2007	Bestand	a	p	b	p	se	cv [%]	Adjustiertes R ²	λ		
	1	2,6308	***	0,9973	***	0,16235	6%	0,9782	0,9797		
	2	3,1143	***	1,1814	***	0,17922	6%	0,9500	1,0025		
	4	3,0997	*	1,0114	**	0,14513	9%	0,7936	1,0093		
	5	2,9180	**	0,9954	***	0,19917	9%	0,8488	1,0129		
	7	2,5907	***	0,9753	***	0,21906	9%	0,9176	1,0052		
	8	3,2423	*	1,0880	***	0,29613	15%	0,7368	1,0248		
	10	3,0438	***	1,0670	***	0,14455	7%	0,9653	1,0012		
	11	2,4868	*	0,9585	**	0,22240	13%	0,7500	1,0180		
Funktionstyp p	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2]+c \cdot \ln(BHD[m])} * \lambda$										
Unabhängige Variable			ln(ig[m ²])		ln(BHD[m])						
2012-2007	Bestand	a	p	b	p	c	p	se	cv [%]	Adjustiertes R ²	λ
	1	2,6169	***	1,0613	*	-0,1941	n.s	0,1773	7%	0,9740	0,9811
	2	3,2516	***	0,8252	**	0,9409	*	0,1384	5%	0,9702	0,9874
	4	2,4812	*	0,7522	*	0,6453	n.s	0,1289	8%	0,8372	1,0070
	5	2,3232	**	0,6902	**	0,8411	*	0,1365	6%	0,9289	1,0036
	7	2,4464	***	0,6666	***	1,3693	**	0,1323	6%	0,9699	1,0054
	8	2,0323	n.s	0,5292	n.s	1,4492	*	0,2185	11%	0,8567	1,0092
	10	2,8134	***	0,9185	***	0,4173	**	0,2185	3%	0,9917	1,0052
	11	3,1342	**	0,9289	**	0,7668	n.s	0,1726	10%	0,8494	1,0101

Tabelle 10: Mittels Regression ermittelte Koeffizienten a, b und c für die Funktion $iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2])} * \lambda$ und

$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2]+c \cdot \ln(BHD[m])} * \lambda$, getrennt nach Beständen für den 5-jährigen Volumszuwachs. se = Standardfehler, cv =Variationskoeffizient, p >0,05 = nicht signifikant (n.s.), p < 0,05 = *, p < 0,01 = **, p < 0,001 = *.**

Je nach gewählter Funktion wurde als jeweilige Eingangsgröße der Kreisflächenzuwachs (ig) alleine beziehungsweise in Kombination mit dem BHD verwendet. Aufgrund der Bohrkernanalyse im Labor kann der Wert der Eingangsgröße für jedes einzelne Jahr rechnerisch ermittelt werden. Dabei müssen, wie schon in Kapitel 3.2.1.2 beschrieben, das Schwinden des Holzes und das Rindenprozent nach der Formel 3.7 und 3.10 berücksichtigt werden.

Im Unterschied zu den Probestämmen errechnet sich der für die Analyse der Bohrkern verwendete Schwundkoeffizient als arithmetisches Mittel aller Schwundkoeffizienten der BHD-Stammscheiben.

Im Gegensatz zu den Probestämmen ist der Radius ohne Rinde der restlichen, nicht gefällten Bäume nicht bekannt. Für die Berechnung des Rindenprozentes nach der Formel 3.9 ist es daher zuallererst nötig, den Radius ohne Rinde zu berechnen. Die Formel 3.14, parametrisiert mit den Werten der BHD-Stammscheiben der Fichten-Probeebäume, ermöglicht das Errechnen der Rindenstärke (BT). Durch die Subtraktion der Rindenstärke von dem Radius mit Rinde (RmR) ergibt sich schließlich der Radius ohne Rinde.

$$BT [mm] = e^{(a+b \cdot \ln(RmR [mm]))} * \lambda \quad (3.14)$$

Bestand	a	b	R ²	λ
1	-1,5812 **	0,6136 **	0,6065	1,0175
2	-0,6156 ***	0,3680 ***	0,2569	1,0149
4	1,1096 n.s.	0,1594 *	0,0107	1,0419
5	-1,4752 *	0,6975 ***	0,4268	1,0231
7	-0,8486 **	0,5184 **	0,2491	1,0256
8	-1,0945 **	0,5714 **	0,3353	1,0211
10	-3,2322 n.s.	1,0023 ***	0,6221	1,0385
11	-4,7979 n.s.	1,3314 ***	0,5014	1,0377
Gesamt	-2,9356 n.s.	0,9352 ***	0,6607	1,0455

Tabelle 11: Koeffizienten der Gleichung $BT [mm] = e^{(a+b \cdot \ln(RmR [mm]))} * \lambda$, das Bestimmtheitsmaß (R²) sowie der Korrekturfaktor λ

3.2.2.1 Fehlende Zuwächse

Auf jeder der untersuchten Flächen wurde je Baum ein Bohrkern zur Ermittlung des jährlichen Radialzuwachses gewonnen. Bei dem Transport vom Waldort zum Untersuchungslabor in Wien wurden die Bohrkern der in Tabelle 11 angeführten Fichtenstämme dermaßen in Mitleidenschaft gezogen, dass eine fehlerfreie Zuwachsmessung nicht mehr möglich war.

Baumnummerncode
01-231
01-247
02-067
02-174
02-215
07-166
10-114

Tabelle 12: Individuen mit fehlenden Bohrkernen. Der Baumnummerncode setzt sich aus der zweistelligen Bestandesnummer vor dem Bindestrich und der dreistelligen fortlaufenden Baumnummer nach dem Bindestrich zusammen

Daher wurden diese fehlenden Zuwächse mit Hilfe des Kreisflächenzuwachsmodells von Monserud et al. (1996) geschätzt. Das Modell wurde wie bei Dirnberger (2012) an die Bestände angepasst und für die betroffenen Stämme der 5-jährige Kreisflächenzuwachs geschätzt.

Da der BHD und somit auch die Grundfläche des Aufnahmejahres 2012 bzw. 2013 bekannt waren, wurde die Grundfläche der davorliegenden Jahre nach der Formel 3.15 geschätzt.

$$g_{2011} [m^2] = g_{2012} [m^2] - \frac{i g_{5j-BAI-Model} [m^2]}{5} \quad (3.15)$$

In weiterer Folge ergibt sich der BHD durch Umformung der Kreisflächenformel:

$$BHD_{2011} [m] = \sqrt{g_{2011} [m^2] * \frac{4}{\pi}} \quad (3.16)$$

3.3 Schirmflächenberechnung

Als Schirmfläche wird jene Fläche bezeichnet, die von einem einzelnen Baum überschirmt wird. Bestimmt wurde die Schirmfläche mittels Kronenablotung. Dabei wurden die Eckpunkte der Krone koordinativ ermittelt, wodurch sich ein Polygon als Schirmfläche ergab.

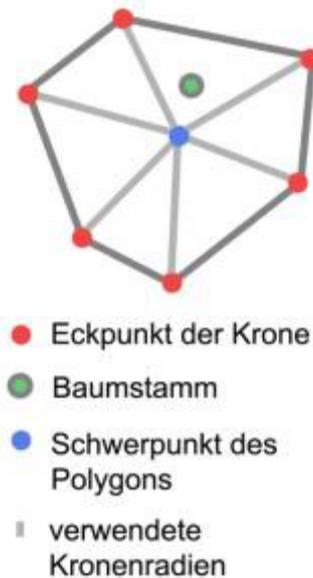


Abbildung 4: Skizze der Schirmfläche

Das quadratische Mittel der Abstände der gemessenen Eckpunkte der Krone zum geometrischen Schwerpunkt des Polygons ergaben schließlich den Kronenradius (r), mit dem die Schirmfläche (CPA) nach der Kreisflächenformel (3.17) für jeden einzelnen Baum berechnet wurde.

$$CPA [m^2] = \pi * r [m]^2 \quad (3.17)$$

3.4 Blattflächenberechnung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Blattfläche für die Fichte über die Funktion 3.18 bestimmt. In Anlehnung an Laubhann, et al. (2010) modifizierte Schnur (2016) dessen Formel und passte sie an die untersuchten Bestände an. Für die folgenden Berechnungen wurden die Ergebnisse von Schnur (2016) verwendet.

$$LA[m^2] = e^{a+b*\ln(CSA[m^2])+c*\ln(BHD[cm])} * \lambda \quad (3.18)$$

Neben dem BHD ist die Mantelfläche (CSA) eine Eingangsgröße in der Formel 3.18. Diese wurde von Schnur (2016) über das Kronenformmodell von Pretzsch, et al. (2002) berechnet.

Koeffizienten	
a	-1,5616
b	0,8418
c	0,6858
λ	1,0490

Tabelle 13: Koeffizienten und Korrekturfaktor der Blattflächenfunktion für Fichte nach Schnur (2016)

Für die in Kapitel 3.5 beschriebene Berechnung der Standflächen war es nötig, auch die Blattfläche der Lärche zu eruieren. Hierfür wurde auf die Ergebnisse von Kumer (2016) zurückgegriffen, die die Blattfläche der Lärche in den untersuchten Beständen nach der Funktion 3.19 ermittelte.

$$LA[m^2] = e^{a+b*\ln(BHD[cm])+c*\ln(CSA[m^2])+d*Bestand+e*Bestand*\ln(BHD[cm])} * \lambda \quad (3.19)$$

Neben den bereits aus Formel 3.18 bekannten unabhängigen Variablen wird mit der Eingangsgröße Bestand in Formel 3.19 dem Bestandesmischungstyp bei der Kalkulation der Blattfläche der Lärche Rechnung getragen. Hierbei stellt die Variable Bestand eine „Dummy-Variable“ dar, die den Wert 1 annimmt, wenn es sich um einen Mischbestand handelt und 0, wenn ein Reinbestand vorliegt.

Koeffizienten	
a	-1,7808
b	0,4688
c	1,1792
d	1,5984
e	-0,5707
λ	1,045

Tabelle 14: Koeffizienten und Korrekturfaktor der Blattflächenfunktion für Lärche über alle Bestände nach Kumer (2016)

3.5 Standflächenberechnung

Assmann (1961) definierte die Standfläche (APA) als Schirmfläche einschließlich eines Anteils nicht überschirmter Bestandesfläche. Im Englischen wird diese Fläche treffend als area potentially available (APA) bezeichnet, was, wörtlich übersetzt, potenziell verfügbare Fläche bedeutet. Dieser Definition liegt die Überlegung zugrunde, dass ein Baum nicht nur die von ihm überschirmte Fläche nutzt, sondern auch das Wasser, die Nährstoffe und das Sonnenlicht der ihn umgebenden Lücken.

Demnach ergibt sich die Standfläche eines Baumes, indem ihm diese Lücken zugeteilt werden. In der vorliegenden Arbeit wurden die Standflächen mit Hilfe des Programmes Acre von Kindermann (1999) berechnet. Dieses basiert auf dem Zirkelbogenmodell nach Römisch (1996). Bei dieser Methode wird zunächst der Bestand in Pixel zerlegt. Für jedes Pixel des Bestandes wird, ausgehend von der räumlichen Verteilung der Bäume, der Abstand zu allen Bäumen des Bestandes ermittelt und mit einer Wachstumsgröße gewichtet. 3.20 zeigt diesen mathematischen Zusammenhang.

$$T_j = \frac{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}{w_j^2} \quad (3.20)$$

X und y sind die Koordinaten des Mittelpunktes des Pixels, x_j und y_j sind die Koordinaten des Baumes j und w_j ist die Wachstumsgröße des Baumes j. Als Wachstumsgröße wurde einerseits die Wurzel aus der Blattfläche und andererseits die Wurzel aus der Schirmfläche verwendet. Ein Pixel wird nun jenem Baum zugeordnet, bei dem der Wert T_j ein Minimum ist. Jedes Pixel entspricht einer gewissen Fläche und die Summe aller Pixel, die einem Baum zugehören, ergeben dessen Standfläche.

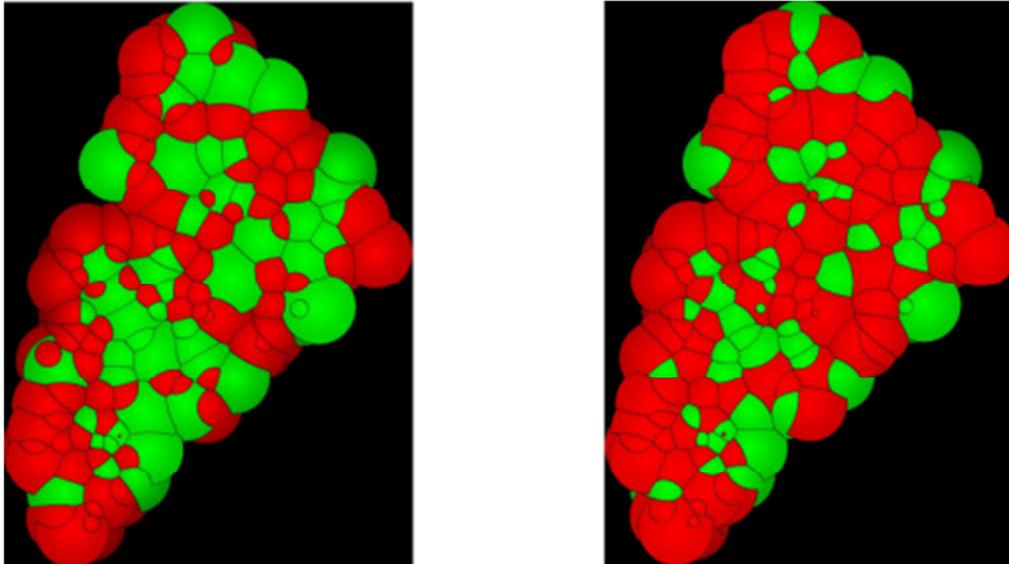


Abbildung 5: Voronoi Diagramm der Standflächen des Mischbestandes 8. Die bei der Berechnung verwendete Wachstumsgröße ist links die $\sqrt{\text{Schirmfläche}}$ und rechts die $\sqrt{\text{Blattfläche}}$. Rot = Fichte und Grün = Lärche

Bei dieser Art der Standflächenberechnung werden die Standflächen der Randbäume überschätzt. Je nach verwendeter Wachstumsgröße ergeben sich unterschiedliche Randbäume. Jene Randbäume, die sich aus der Standflächenberechnung bei Verwendung der Wachstumsgröße $\sqrt{\text{Schirmfläche}}$ ergaben, wurden für die weiteren Berechnungen zur Standflächeneffizienz ausgeschieden.

3.6 Effizienzen

Die Berechnung der Effizienzen wurde nur für die Fichte durchgeführt. Dabei wurden einzelbaumweise die Schirm-, Blatt- und Standflächeneffizienz ermittelt. Der 5-jährige Volumszuwachs wurde auf die Wuchsraumgröße bezogen.

3.6.1 Schirmflächeneffizienz

$$SAE = \frac{iV_{2012-2007} [m^3/a]}{CPA [m^2]} \quad (3.21)$$

3.6.2 Blattflächeneffizienz

$$LAE = \frac{iV_{2012-2007} [m^3/a]}{LA [m^2]} \quad (3.22)$$

3.6.3 Standflächeneffizienz

Die Standflächeneffizienz wurde einerseits als Quotient aus Volumszuwachs und Standfläche, gewichtet mit der Schirmfläche (APA_{CPA}) (Formel 3.23), und andererseits als Quotient aus Volumszuwachs und Standfläche, gewichtet mit der Blattfläche (APA_{LA}) (Formel 3.24), berechnet.

$$AAE_{CPA} = \frac{iV_{2012-2007} [m^3/a]}{APA_{CPA} [m^2]} \quad (3.23)$$

$$AAE_{LA} = \frac{iV_{2012-2007} [m^3/a]}{APA_{LA} [m^2]} \quad (3.24)$$

3.7 Blattflächenausstattung

Die Blattflächenausstattung oder der sogenannte Area Exploitation Index (AEI) stellt das Verhältnis von Blattfläche (LA) zu Standfläche (APA) dar. Hierbei wurde die Standfläche gewichtet mit der Schirmfläche (APA_{CPA}) verwendet.

3.8 Soziale Stellung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Wuchseffizienz gesondert nach der sozialen Stellung untersucht. Zu diesem Zweck wurde jedem Stamm eine soziale Stellung nach Tabelle 13 zugeordnet.

Soziale Stellung	BHD-Spreitung
Herrschend	20 % stärksten Bäume
Mitherrschend	Bäume zwischen 50% schwächsten und 20% stärksten Individuen
Beherrscht	50% schwächsten Bäume

Tabelle 15: Durchmesserstreuung der jeweiligen sozialen Stellung

3.9 Flächenanteilsberechnung

Um die Leistung der Fichte im Mischbestand mit jener im Reinbestand vergleichen zu können, ist es nötig, den berechneten Volumszuwachs auf eine entsprechende Fläche zu beziehen. Die Flächenanteile wurden nach der Formel 3.25 bestimmt.

$$FA_i [\%] = \frac{\frac{N_i/ha}{N_{max\ i}/ha}}{\sum_{i=1}^N \frac{N_i/ha}{N_{max\ i}/ha}} * 100 \quad (3.25)$$

Dabei ist N_i die beobachtete Stammzahl je Hektar der Baumart i und $N_{max\ i}$ die maximale Stammzahl der Baumart i . Die Berechnung von N_{max} erfolgt nach Pretzsch et al. (2005) über den Durchmesser des Grundflächenmittelstamms (d_g) nach der Formel 3.26.

$$N_{max}/ha = e^{c_0+c_1*\ln(d_g[cm])} \quad (3.26)$$

Die baumartenspezifischen Koeffizienten c_0 und c_1 sind der Studie von Vospernik et al. (2015) entnommen, in der die Koeffizienten anhand von Daten der österreichischen Waldinventur geschätzt wurden. Für die Baumart Birke wurden nach Rücksprache mit Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Sonja Vospernik die Koeffizienten der Hainbuche verwendet.

Baumart	c_0	c_1
Fichte	12,86	-1,753
Tanne	12,41	-1,633
Lärche	13	-1,936
Kiefer	13,2	-1,845
Buche	13,25	-1,941
Birke	13,33	-2

Tabelle 16: Werte der Koeffizienten c_0 und c_1 nach Vospernik et al. (2015)

4 Ergebnisse

4.1 Flächenanteilsberechnung

Bestand	1	2	4	5	7	8	10	11
Fichte	92,90	39,96	86,76	39,99	63,48	46,36	78,48	38,66
Tanne				0,82				0,45
Lärche	7,10	60,04	13,23	59,19	35,56	53,64	10,30	60,89
Kiefer					0,52		11,16	
Buche			0,01					
Birke					0,44		0,06	

Tabelle 17: Flächenanteile in den Rein- und Mischbeständen in Prozent %

Die Berechnung der Flächenanteile zeigte, dass die zunächst als Fichten-Reinbestände eingeschätzten Bestände 7 und 10 einen unerwartet hohen Flächenanteil anderer Baumarten haben. Trotz der sorgfältigen Auswahl der Bestände im Jahr 2012 durch Mitarbeiter des Instituts für Waldwachstum unter Mithilfe des revierkundigen Forstpersonals der Leobener Realgemeinschaft konnte man diese Verhältnisse vor Ort gutachterlich nicht feststellen. Erst die Außenaufnahmen 2012 und 2013 ließen jene Ergebnisse vermuten, die die Berechnungen nun zeigen. In Kapitel 4.3 wird daher gesondert zu prüfen sein, inwieweit der Effizienzunterschied zwischen den jungen und alten Reinbeständen auf das Alter zurückzuführen ist.

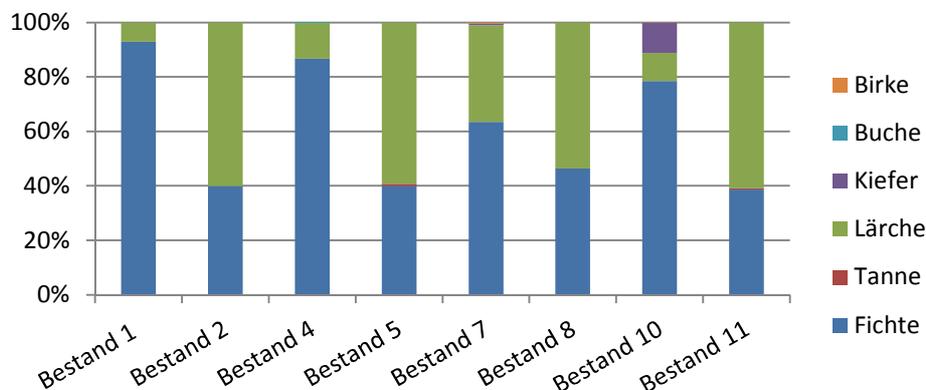


Abbildung 6: Flächenanteile der in den Beständen vorkommenden Baumarten in Prozent. Bestände mit ungerader Bestandesnummer sind die Fichten-Reinbestand

4.2 Volumszuwächse

Nach Formel 3.12 oder 3.13 wurden die Volumszuwächse der Fichte je Bestand und Jahr berechnet. Dabei wurde der Zuwachs jeweils auf die mittels Flächenanteil berechnete von der Fichte eingenommene Fläche bezogen.

Bestandesnummer	Mischungstyp	2012	2011	2010	2009	2008	Mittelwert
1	Fi-Reinbestand	26,95	26,39	24,43	27,31	27,84	26,59
2	Fi-Lä-Mischbestand	24,43	26,01	23,54	24,17	21,51	23,93
4	Fi-Reinbestand	14,69	14,27	13,31	10,45	16,10	13,76
5	Fi-Lä-Mischbestand	14,20	12,21	9,33	5,71	8,75	10,04
7	Fi-Reinbestand	10,22	8,80	9,58	9,30	9,72	9,52
8	Fi-Lä-Mischbestand	12,39	11,93	11,44	10,41	14,47	12,13
10	Fi-Reinbestand	9,44	9,48	9,24	7,85	9,31	9,06
11	Fi-Lä-Mischbestand	13,50	14,19	12,97	12,28	12,51	13,09

Tabelle 18: Volumszuwachs der Fichte in [m³/ha] je Bestand und Jahr

Erwartungsgemäß weisen die Jungbestände einen weit höheren Volumszuwachs auf als die Altbestände. Mit einem mittleren Volumszuwachs von 26,6 m³/ha*a ist der Zuwachs des 46 Jahre alten Bestandes 1 außergewöhnlich hoch. In Bestand 4, dem zweiten jungen Fichten-Reinbestand, beträgt der Wert hingegen nur 13,8 m³/ha*a. Bestand 4 ist jedoch um 50 Jahre älter als Bestand 1.

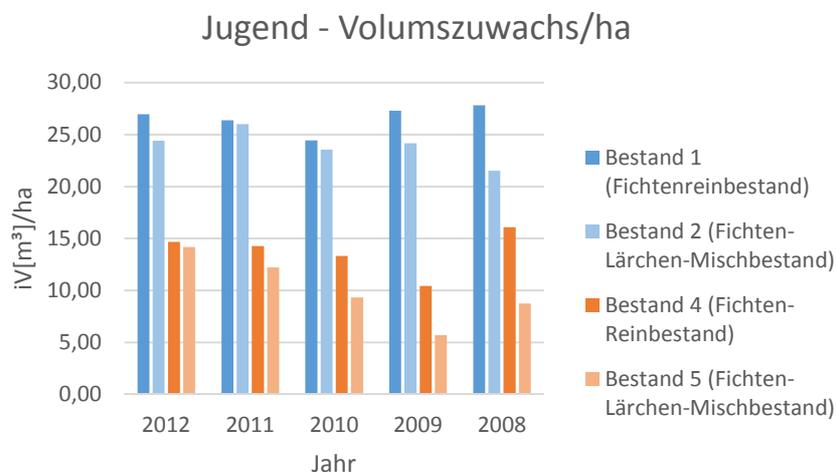


Abbildung 7: Volumszuwachs der Fichte in [m³/ha] je Bestand und Jahr in den Jungbeständen

Beim Vergleich der mittleren Zuwächse der Fichten-Reinbeständen in den Jung-Triplets mit den zugehörigen Mischbeständen zeigt sich, dass der Zuwachs in Bestand 2 um 10% niedriger ist als in Bestand 1 und in Bestand 5 um 27% niedriger als in Bestand 4.

In den Altholzbeständen ist ein umgekehrter Trend zu beobachten. Der mittlere Zuwachs der Fichte in den Mischbeständen ist höher als in den Reinbeständen. In Bestand 8 ist der mittlere Zuwachs um 27% höher als in Bestand 7 und in Bestand 11 um 44% höher als in Bestand 10.

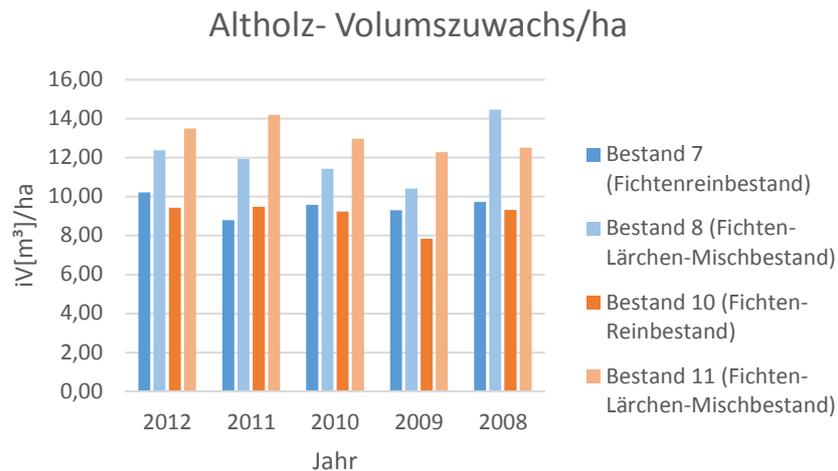


Abbildung 8: Volumszuwachs der Fichte in [m³/ha] je Bestand und Jahr in den Altholzbeständen

Mittels Varianzanalyse wurde zusätzlich getestet, ob sich die Zuwächse der Rein- und Mischbestandpaarungen statistisch signifikant voneinander unterscheiden. Der stets beobachtete hoch signifikante Unterschied war schließlich die Voraussetzung für die weiteren Berechnungen. In Kapitel 4.3 soll nun darauf eingegangen werden, inwieweit die Wuchsraumgrößen, das Alter und die Mischungsverhältnisse einen Einfluss auf die unterschiedlichen Zuwächse und die Produktivität haben.

4.3 Wuchseffizienzen

Im folgenden Kapitel werden die Berechnungen zur Wuchseffizienz dargestellt. Hierfür erscheint es zweckmäßig, nicht die Wuchseffizienz eines jeden Jahres bis 2008 zu betrachten, sondern den mittleren 5-jährigen Volumszuwachs als Zuwachsgröße festzulegen.

Außerdem wurden, aufgrund der in Kapitel 3.5 beschriebenen Problematik der Standflächenberechnung von Randbäumen, diese für die folgenden Betrachtungen zur Standflächeneffizienz ausgeschieden.

4.3.1 Übersicht

Der Vergleich der Effizienzen zeigt, dass in den Jungbeständen der Reinbestand mehr leistet als der Mischbestand. Je nachdem, welche Effizienz und welche Rein- und Mischbestände betrachtet werden, leistet der junge Mischbestand 18% bis 49% weniger als der zugehörige Reinbestand.

In den Altholzbeständen ist hingegen ein gegenteiliges Bild zu beobachten. Hier weist der Mischbestand eine höhere Effizienz auf. Beim Vergleich der prozentuellen Werte an Mehrleistung in den alten Mischbeständen sind diese 16% bis 42% höher als in den jeweiligen Reinbeständen.

Es kann eine Veränderung der Wuchseffizienz mit dem Alter vermutet werden, der Einfluss der Mischungsverhältnisse auf die Wuchseffizienz muss für die vorliegenden Daten jedoch gesondert geprüft werden. Denn wie die Flächenanteilsberechnung zeigte, weisen die Fichten-Altholz-Reinbestände 7 und 10 nur einen Flächenanteil der Fichte von rund 63% und 78% auf.

Neben dem geringeren Fichtenanteil in Bestand 10 ist dieser zudem 70 Jahre jünger als der zugehörige Mischbestand. Effizienzunterschiede zwischen diesen beiden Beständen können daher zusätzlich durch ihren Altersunterschied bedingt sein.

Schirmflächeneffizienz ($\sum iV_{2012-2007} [m^3] / \sum CPA [m^2]$)			
Triplet [Bestandesnummer]	Reinbestand	Mischbestand	Differenz [%]
Jung [1,2]	20,8	10,5	-49%
Jung [4,5]	15,4	9,9	-36%
Altholz [7,8]	12,0	15,4	29%
Altholz [10,11]	12,8	18,2	42%
Blattflächeneffizienz ($\sum iV_{2012-2007} [m^3] / \sum LA [m^2]$)			
Triplet [Bestandesnummer]	Reinbestand	Mischbestand	Differenz [%]
Jung [1,2]	3,2	2,3	-29%
Jung [4,5]	1,8	1,5	-18%
Altholz [7,8]	1,4	1,6	16%
Altholz [10,11]	1,4	1,9	41%
Standflächeneffizienz ($\sum iV_{2012-2007} [m^3] / \sum APA_{CPA} [m^2]$)			
Triplet [Bestandesnummer]	Reinbestand	Mischbestand	Differenz [%]
Jung [1,2]	30,9	20,5	-34%
Jung [4,5]	15,6	10,1	-35%
Altholz [7,8]	12,5	17,0	37%
Altholz [10,11]	10,3	13,9	35%

Tabelle 19: Übersicht von Schirm-, Blatt- und Standflächeneffizienz der Fichte in den jeweiligen Beständen. Die Differenz gibt die prozentuelle Mehr- oder Minderleistung des Mischbestandes im Vergleich zum Reinbestand an.

4.3.1.1 Wuchseffizienz in Abhängigkeit von Alter und Mischungsverhältnis

Aufgrund der unterschiedlichen Alter und Fichtenanteile der Bestände wurde der Zusammenhang zwischen diesen Faktoren und dem 5-jährigen Volumszuwachs gesondert geprüft. Hierfür wurde ein Modell nach Formel 4.01 angewendet.

$$iV_{2012-2007}[m^3/ha/a] = a + b * Fichtenanteil[\%] + c * Alter [Jahren] + d * Alter [Jahren] * Fichtenanteil [\%] \quad (4.01)$$

Die Koeffizienten für 4.01 wurden mittels multipler Regression geschätzt. Die hierfür verwendeten Daten beruhen auf den Ergebnissen der Volumszuwachs- und der Flächenanteilsberechnung in Kapitel 4.1 und 4.2.

	Koeffizienten	p
a	-10,075	n.s.
b	0,4992	**
c	0,1309	*
d	-0,0041	**

Tabelle 20: Mittels Regression ermittelte Koeffizienten a, b, c und d für die Funktion 4.01.

p > 0,05 = nicht signifikant (n.s.), p < 0,05 = *, p < 0,01 = **, p < 0,001 = ***

Die Regressionsanalyse zeigte, dass alle Variablen einen signifikanten Einfluss auf den 5-jährigen Volumszuwachs haben. Dabei betrug das Bestimmtheitsmaß der Regression 94,8% und der Standardfehler $\pm 1,531 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{a}$, was einem Variationskoeffizienten von 16,6 % entspricht.

Der untersuchte Zusammenhang zeigt, dass bei einem Fichtenanteil von bis zu 31,7 % der Volumszuwachs mit steigendem Alter ebenfalls zunimmt. Bei einem höheren Fichtenanteil fällt der Volumszuwachs mit steigendem Alter.

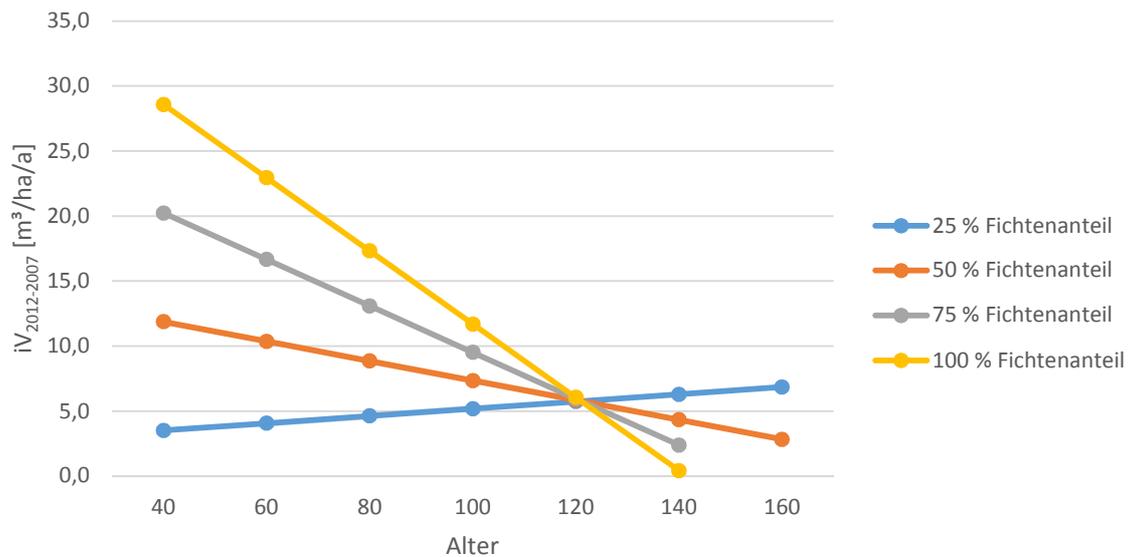


Abbildung 9: 5-jähriger Volumszuwachs in Abhängigkeit vom Alter getrennt nach dem Fichtenanteil

Ist ein Bestand älter als 121 Jahre, dann sinkt mit zunehmendem Fichtenanteil dessen Volumszuwachs.

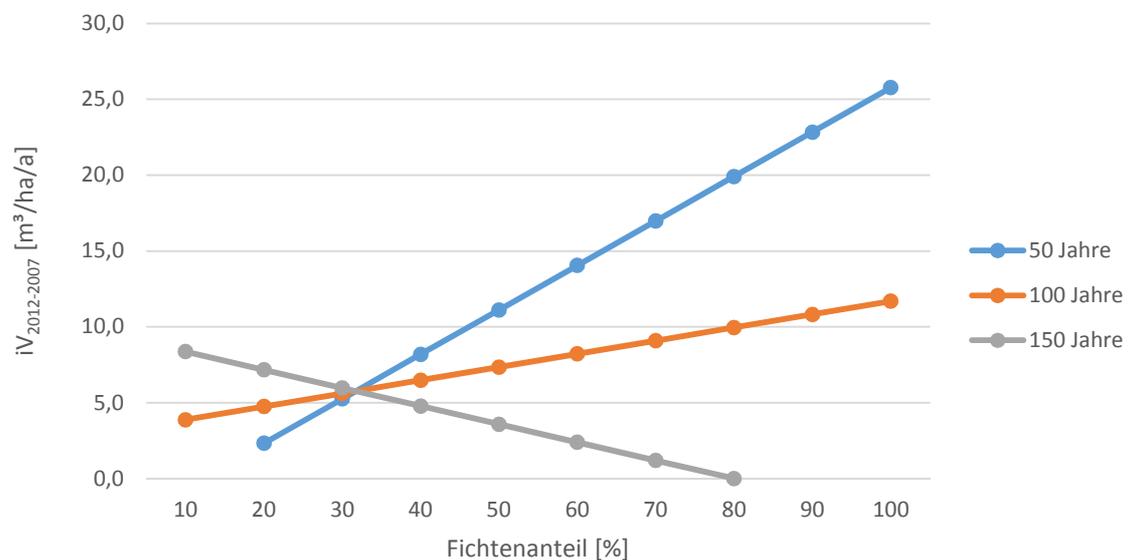


Abbildung 10: 5-jähriger Volumszuwachs in Abhängigkeit vom Fichtenanteil getrennt nach dem Bestandesalter

Die Annahmen aus Tabelle 18 können damit bestätigt werden. In der Jugend sind die Fichten in den Reinbeständen wüchsiger als in den Mischbeständen. Mit zunehmendem

Alter verhält es sich gegenteilig. Dann sind Fichten im Mischbestand jenen im Reinbestand überlegen.

4.3.2 Schirmflächeneffizienz getrennt nach sozialer Stellung

Im folgendem Kapitel werden die Ergebnisse zur dritten Hypothese präsentiert. Die zu prüfende Fragestellung war, ob vorherrschende Bäume mit kleinen Kronen am effizientesten sind.

Hierfür wurde Kapitel 3.8 folgend jedem Baum eine soziale Stellung zugewiesen und anschließend die Schirmflächeneffizienz über der Schirmfläche bestandesweise getrennt nach sozialer Stellung betrachtet.

Bei diesen Untersuchungen wurden alle Stämme eines Bestandes miteinbezogen. Das heißt, auch die Randbäume der Berechnung der APA_{CPA} . Die Randbaumproblematik ist hier nicht von Bedeutung, da auf die Standfläche nicht näher eingegangen wird.

In Abbildung 11 und 12 wird der Zusammenhang zwischen Schirmflächeneffizienz und Schirmfläche graphisch dargestellt. Der Zusammenhang wurde mittels Regression nach der Formel 4.02 geprüft und die Ergebnisse sind sowohl in den Abbildungen 11 und 12 als auch im Detail in den Tabellen 20 und 21 präsentiert.

$$\ln(iV_{2012-2007} [dm^3/a]/CPA[m^2]) = a + b * \ln(CPA[m^2]) \quad (4.02)$$

In einer Vielzahl der Bestände gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen Schirmflächeneffizienz und Schirmfläche, unabhängig davon, ob der gesamte Bestand betrachtet wird oder nur eine einzelne soziale Stellung. Mit Ausnahme der beherrschten Bäume des Bestandes 2 zeigt sich ein negativer Zusammenhang zwischen Schirmflächeneffizienz und Schirmfläche innerhalb einer sozialen Stellung.

Doch auch im Bestand 2 zeigt sich, dass die Schirmflächeneffizienz mit zunehmender Schirmfläche im gesamten Bestand zunimmt. Dies gilt im Übrigen für alle Bestände, in denen der Zusammenhang zwischen Schirmflächeneffizienz und Schirmfläche, ebenfalls über alle Bäume eines Bestandes betrachtet, signifikant ist.

Im Mischbestand 8 ergibt sich auf Grund der geringen Anzahl an Beobachtungen ein nicht signifikanter Zusammenhang zwischen Schirmflächeneffizienz und Schirmfläche

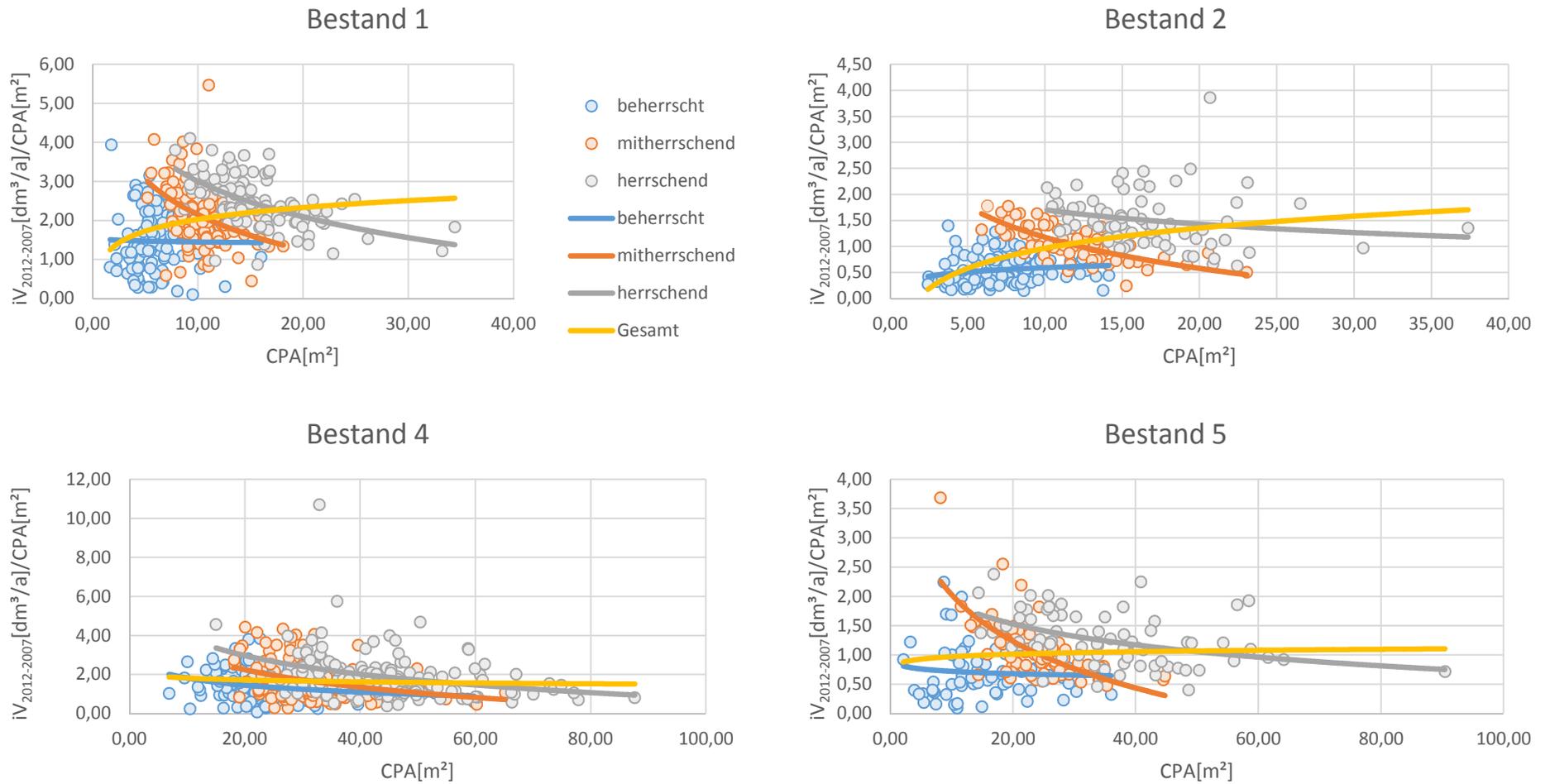


Abbildung 11: Schirmflächeneffizienz der Fichten-Jungbestände in Abhängigkeit von der Schirmfläche getrennt nach der sozialen Stellung.

$\ln(iv_{2012-2007} [dm^3/a]/CPA[m^2]) = a + b * \ln(CPA[m^2])$ ist das für die Regression verwendete Modell.

Bestand	Soziale Stellung	Unabhängige Variable			ln(CPA [m ²])		R ²
		n	a	p	b	p	
1	beherrscht	120	1,5228	***	-0,0328	n.s	0,0003
	mitherrschend	120	5,1718	***	-1,3131	***	0,1539
	herrschend	104	6,0447	***	-1,3190	***	0,2963
	Gesamt	344	1,0224	***	0,4366	***	0,0740
2	beherrscht	122	0,3055	*	0,1248	*	0,0327
	mitherrschend	65	3,1624	***	-0,8628	***	0,4950
	herrschend	71	2,6193	***	-0,3976	n.s	0,0356
	Gesamt	258	-0,3288	*	0,5614	***	0,2604
4	beherrscht	145	3,0060	***	-0,5192	**	0,0490
	mitherrschend	145	6,1191	***	-1,2945	***	0,1215
	herrschend	145	7,0724	***	-1,3709	***	0,1039
	Gesamt	435	2,1433	***	-0,1419	n.s	0,0030
5	beherrscht	74	0,8557	***	-0,0589	n.s	0,0063
	mitherrschend	74	4,6807	***	-1,1509	***	0,4554
	herrschend	74	3,0742	***	-0,5159	***	0,1918
	Gesamt	222	0,8302	***	0,0608	n.s	0,0043

Tabelle 21: Werte der in Abbildung 11 dargestellten Regressionen der Form $\ln(iV_{2012-2007} [dm^3/a]/CPA[m^2]) = a + b * \ln(CPA[m^2])$. n ist die Anzahl der für die Regressionsgleichung verwendeten Probestämme, R² ist das Bestimmtheitsmaß und * beschreibt das Signifikanzniveau des p. Wenn p >0,05 = nicht signifikant (n.s.), p <0,05 = *, p <0,01 = **, p <0,001 = ***

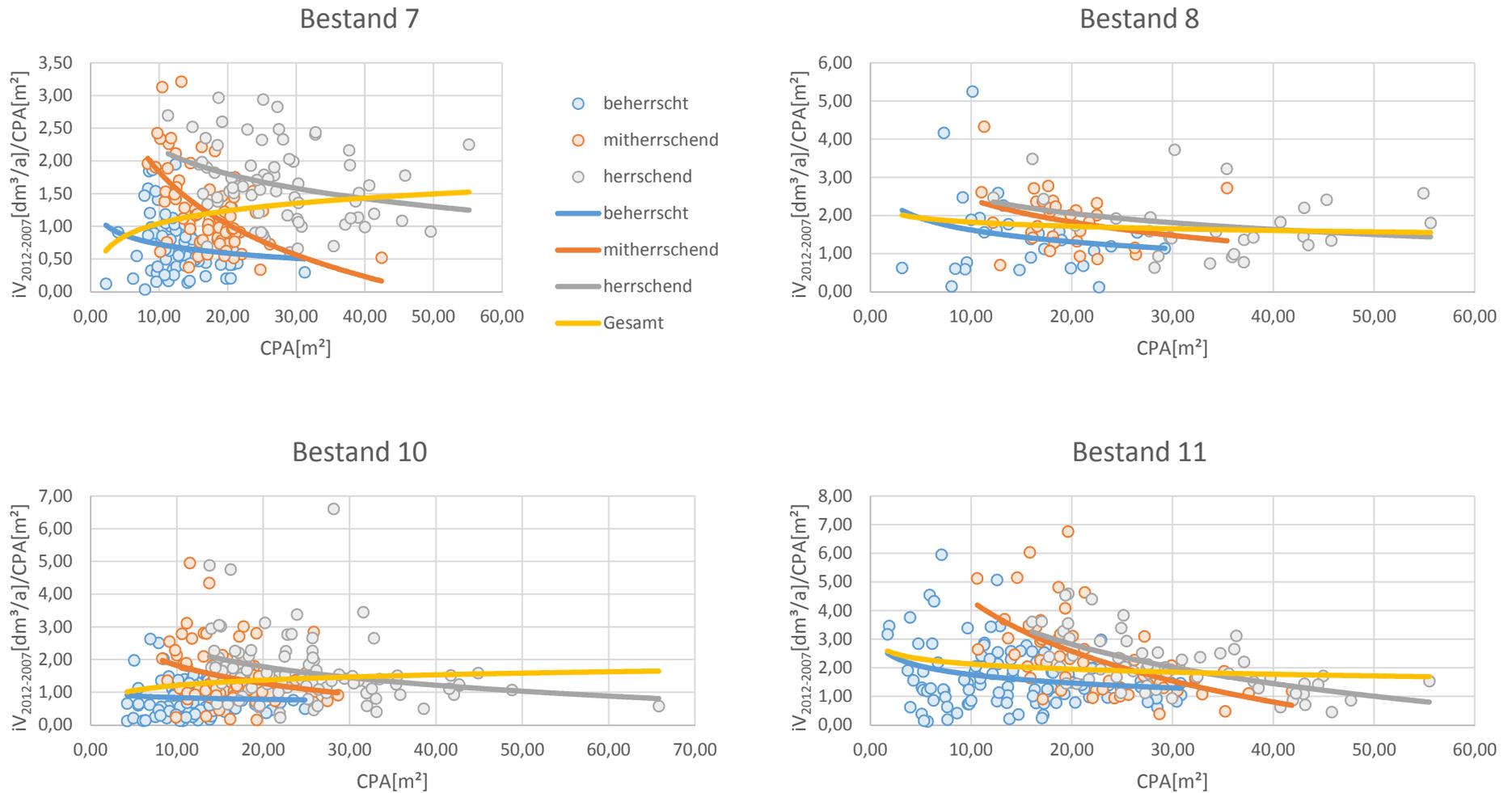


Abbildung 12: Schirmflächeneffizienz der Fichten-Altbestände in Abhängigkeit von der Schirmfläche getrennt nach der sozialen Stellung.

$\ln(iV_{2012-2007} [dm^3/a]/CPA[m^2]) = a + b * \ln(CPA[m^2])$ ist das für die Regression verwendete Modell.

Bestand	Soziale Stellung	Unabhängige Variable			ln(CPA [m ²])		R ²
		n	a	p	b	p	
7	beherrscht	69	1,1789	**	-0,1969	n.s	0,0296
	mitherrschend	69	4,4952	***	-1,1561	***	0,3066
	herrschend	69	3,4337	***	-0,5449	*	0,0876
	Gesamt	207	0,3972	n.s	0,2806	**	0,0363
8	beherrscht	29	2,6479	*	-0,4471	n.s	0,0366
	mitherrschend	30	4,4010	*	-0,8599	n.s	0,0788
	herrschend	28	3,8693	*	-0,6058	n.s	0,0712
	Gesamt	87	2,1898	***	-0,1585	n.s	0,0079
10	beherrscht	90	1,0141	**	-0,0777	n.s	0,0030
	mitherrschend	91	3,6437	***	-0,7826	*	0,0609
	herrschend	90	4,2379	***	-0,8196	**	0,0748
	Gesamt	271	0,6747	*	0,2325	n.s	0,0138
11	beherrscht	101	2,7347	***	-0,4239	*	0,0557
	mitherrschend	57	10,2347	***	-2,5576	***	0,3274
	herrschend	58	8,7628	***	-1,9837	***	0,3797
	Gesamt	216	2,7239	***	-0,2582	n.s	0,0173

Tabelle 22: Werte der in Abbildung 12 dargestellten Regressionen der Form
 $\ln(iV_{2012-2007} [dm^3/a]/CPA[m^2]) = a + b * \ln(CPA[m^2])$. n ist die Anzahl der für die Regressionsgleichung verwendeten Probebäume, R² ist das Bestimmtheitsmaß und * bezeichnet das Signifikanzniveau des p. Wenn p >0,05 = nicht signifikant (n.s.), p <0,05 = *, p <0,01 = **, p <0,001 = ***

4.3.3 Standflächeneffizienz in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung

Im folgendem Kapitel soll auf die Ergebnisse der vierten Fragestellung eingegangen werden. Die zu prüfende Hypothese ist, ob es ein Optimum der Standflächeneffizienz in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung gibt.

Da sowohl in die Berechnung der Standflächeneffizienz als auch in die Berechnung der Blattflächenausstattung die Standfläche miteinfließt, wurden die Randbäume der Standflächenberechnung für diese Untersuchungen nicht miteinbezogen.

Der Zusammenhang zwischen Standflächeneffizienz und Blattflächenausstattung wurde mittels Regressionsanalyse geprüft. Eine polynomische Regression ergab in den vorliegenden Daten nirgends einen signifikant quadratischen Term. Somit wurde das Modell bestmöglich angepasst, indem der AEI potentiell transformiert wurde (Formel 4.03). Bei den Untersuchungen wurde die soziale Stellung eines Baumes berücksichtigt.

$$iV_{2012-2007} [dm^3/a]/APA_{CPA}[m^2] = a * AEI [m^2/m^2]^b \quad (4.03)$$

Bereits die Standflächenberechnung zeigte eine weite Spreitung an Werten. Daraus ergaben sich entsprechende AEIs von annähernd 0 m² Blattfläche je m² Standfläche bis hin zu Werten von 1700 m² Blattfläche je m² Standfläche. Diese enorm hohen AEI-Werte wurden als Ausreißer betrachtet und bei den Regressionsanalysen nicht berücksichtigt. Zur Ermittlung der Ausreißer wurde nach der Regel vorgegangen, jegliche Werte auszuschließen, die größer als der Mittelwert plus drei Mal die Standardabweichung sind.

4.3.3.1 Gesamt

Betrachtet man die Beziehung zwischen Standflächeneffizienz und Blattflächenausstattung über alle Fichtenstämme ohne Randbäume der mit der Wurzel der Schirmfläche gewichteten Standflächenberechnung, zeigt sich je nach sozialer Stellung ein mäßiger Zusammenhang zwischen R²=0,35 und R²=0,47.

Auch wenn kein Optimum in den vorhandenen Daten zu beobachten ist, wird deutlich, dass bei gegebenem AEI Stämme einer niedrigeren sozialen Stellung eine höhere Standflächeneffizienz aufweisen.

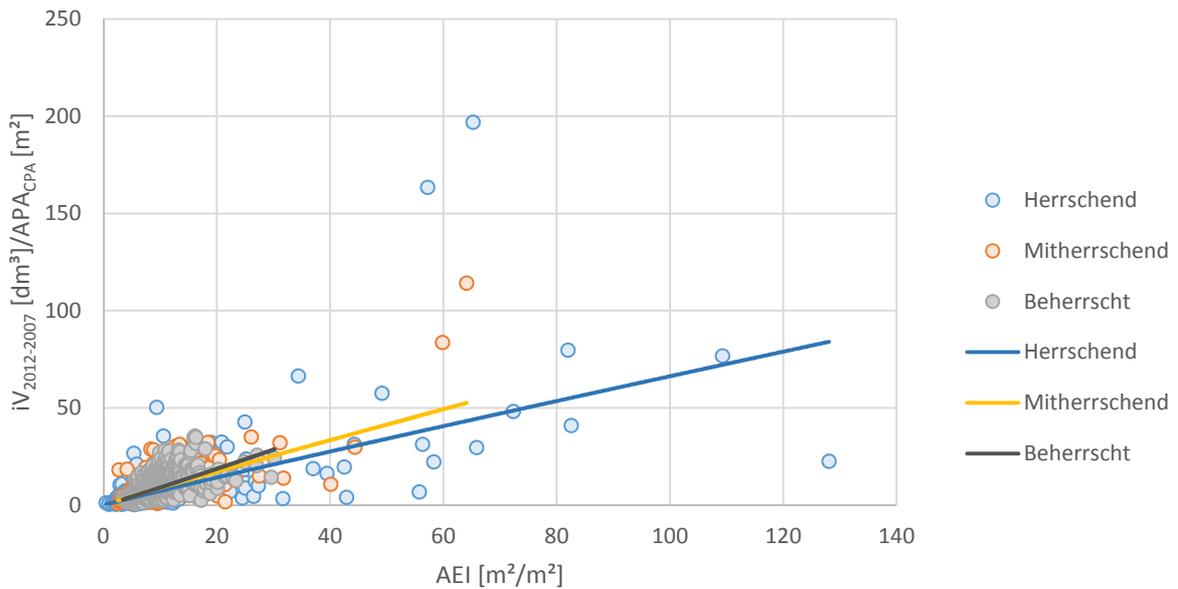


Abbildung 13: Standflächeneffizienz [dm³/m²] in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung [m²/m²] für sämtliche Probestämme

Soziale Stellung	Unabhängige Variable		AEI	
	n	a	b	R ²
beherrscht	513	0,8151	1,0459	0,3546
mitherrschend	539	0,9681	0,9603	0,3751
herrschend	623	0,8071	0,9573	0,4866

Tabelle 23: Werte der in Abbildung 13 dargestellten Regressionen der Form $iV_{2012-2007} [dm^3]/APA_{CPA} [m^2] = a + AEI [m^2/m^2]^b$. n ist die Anzahl der für die Regressionsgleichung verwendeten Probestämme und R² ist das Bestimmtheitsmaß.

4.3.3.2 Rein- und Mischbestand

Ein ähnliches Bild wie in Kapitel 4.3.3.1 zeigt sich bei der Betrachtung des Zusammenhanges zwischen Standflächeneffizienz und Blattflächenausstattung, wenn zwischen Rein- und Mischbestand differenziert wird. Insgesamt ist die Beziehung zwischen Standflächeneffizienz und Blattflächenausstattung bei gleicher sozialer Stellung im Reinbestand ($R^2=0,28$) weniger eng als im Mischbestand ($R^2=0,52$).

Zwar weisen Stämme mit einer niedrigeren sozialen Stellung bei gegebenem AEI eine höhere Standflächeneffizienz auf, jedoch ist dieser Unterscheid zwischen den sozialen Stellungen im Mischbestand ausgeprägter.

Bestandestyp	Soziale Stellung	Unabhängige Variable		AEI	
		n	a	b	R ²
Reinbestand	beherrscht	329	0,8360	1,0360	0,2820
	mitherrschend	356	1,0011	0,9467	0,3052
	herrschend	364	0,6378	1,0578	0,4603
Mischbestand	beherrscht	184	0,7909	1,0571	0,5152
	mitherrschend	183	0,9259	0,9784	0,5459
	herrschend	260	0,9471	0,8964	0,5763

Tabelle 24: Werte der in Abbildung 14 dargestellten Regressionen der Form $iV_{2012-2007} [dm^3]/APA_{CPA} [m^2] = a + AEI [m^2/m^2]^b$. n ist die Anzahl der für die Regessionsgleichung verwendeten Probebäume und R² ist das Bestimmtheitsmaß.

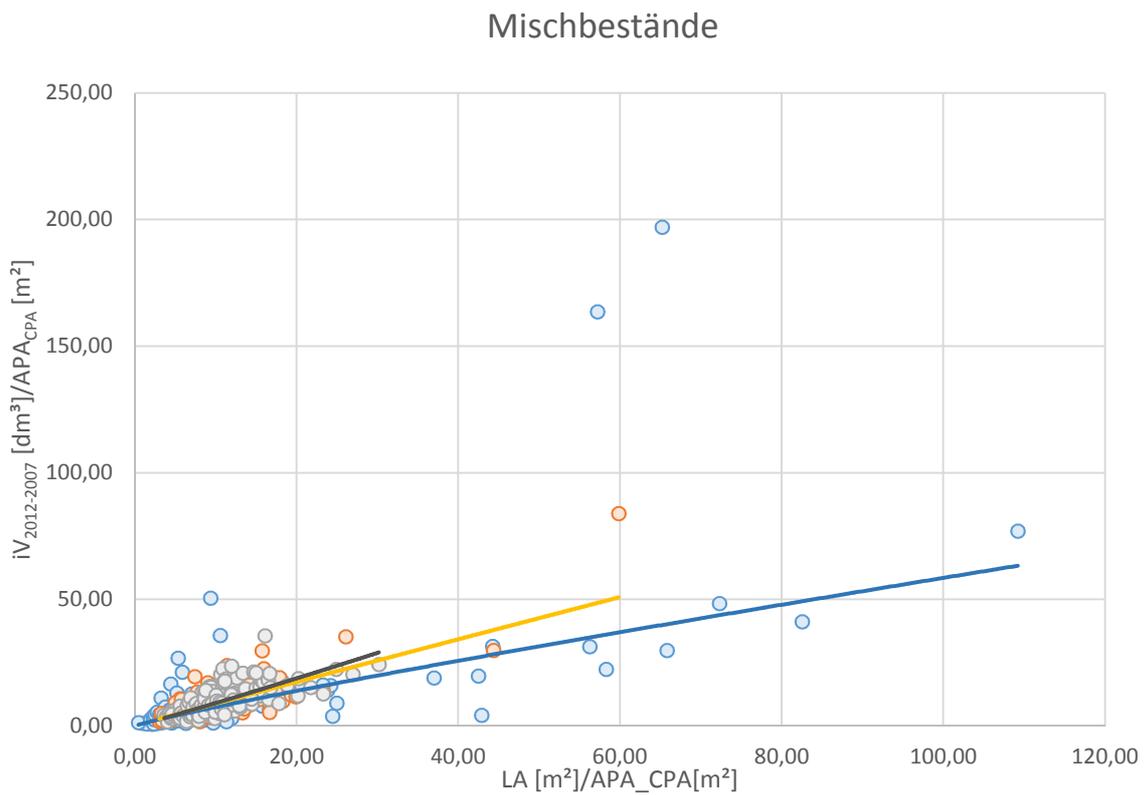
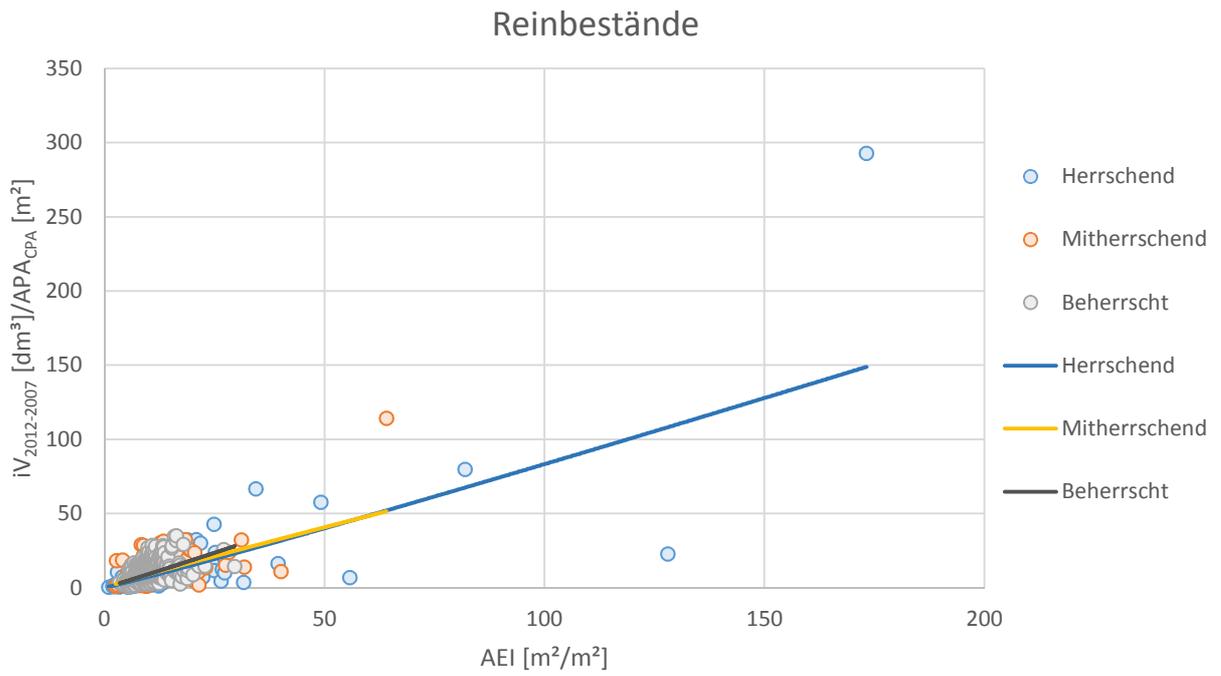


Abbildung 14: Standflächeneffizienz [dm³/m²] in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung [m²/m²] getrennt für Rein- und Mischbestände

4.3.3.3 Jung- und Altbestand

Die Standflächeneffizienz und der AEI sind in Jungbeständen um ein Vielfaches höher als in Altbeständen. Bei dieser Unterscheidung zeigt sich dennoch ein ähnlicher Trend wie schon zuvor im Zusammenhang zwischen Standflächeneffizienz und Blattflächenausstattung. Das Bestimmtheitsmaß schwankt je nach Bestandestyp und sozialer Stellung zwischen 0,28 und 0,63.

Bestandestyp	Soziale Stellung	Unabhängige Variable		AEI	
		n	a	b	R ²
Jungbestände	beherrscht	326	0,7139	1,1688	0,3742
	mitherrschend	342	0,7574	1,1267	0,4268
	herrschend	395	0,5930	1,1502	0,6331
Altbestände	beherrscht	187	0,8368	0,9221	0,4326
	mitherrschend	196	0,9983	0,8482	0,3997
	herrschend	223	1,1993	0,6672	0,2778

Tabelle 25: Werte der in Abbildung 15 dargestellten Regressionen der Form $iV_{2012-2007} [dm^3]/APA_{CPA} [m^2] = a + AEI [m^2/m^2]^b$. n ist die Anzahl der für die Regressionsgleichung verwendeten Probestämme und R² ist das Bestimmtheitsmaß.

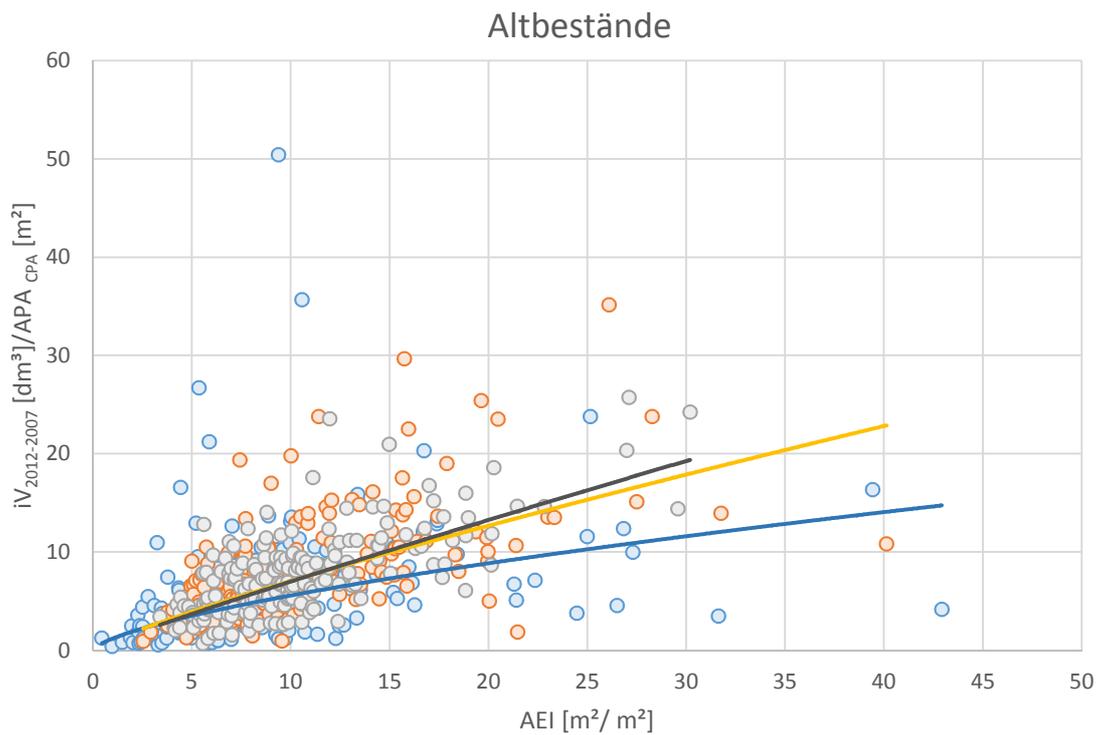
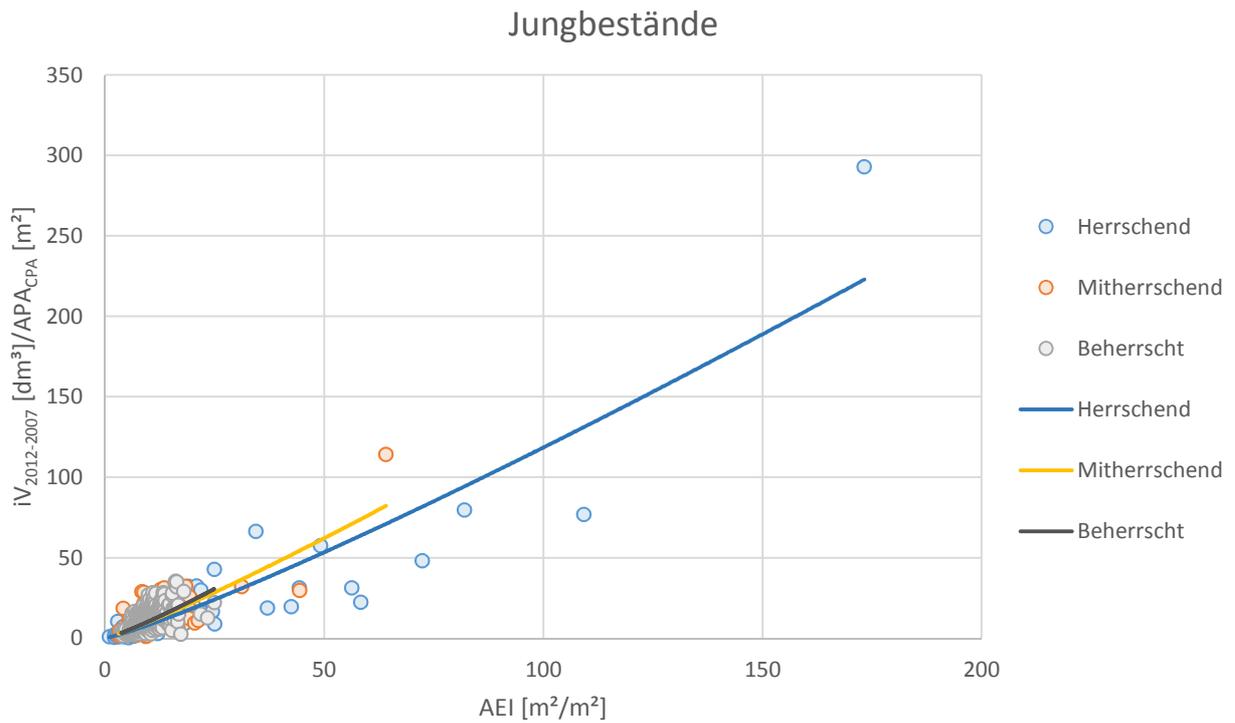


Abbildung 15: Standflächeneffizienz $[\text{dm}^3/\text{m}^2]$ in Abhängigkeit der Blattflächenausstattung $[\text{m}^2/\text{m}^2]$ getrennt für Jung- und Altbestände

4.3.4 Blattflächeneffizienz in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung

In diesem Kapitel soll auf den zweiten Teil der vierten Hypothese eingegangen werden. Die zu prüfende Fragestellung ist, ob die Blattflächeneffizienz mit abnehmender Blattflächenausstattung zunimmt.

Wenn die Blattfläche konstant gehalten wird und die Standfläche steigt, sinkt die Blattflächenausstattung und der betrachtete Baum bekommt mehr Wuchsraum. In weiterer Folge sollte die Blattflächeneffizienz steigen.

Ob diese Beziehung zwischen Blattflächeneffizienz und Blattflächenausstattung zutrifft, wurde mittels Regressionsanalyse geprüft. Dabei wurde das Modell bestmöglich angepasst, indem der AEI logarithmisch transformiert wurde (siehe Formel 4.04). Bei den Untersuchungen wurde die soziale Stellung eines Baumes berücksichtigt.

$$iV_{2012-2007} [dm^3/a]/LA[m^2] = a + b * \ln(AEI [m^2/m^2]) \quad (4.04)$$

Der Schnittpunkt der Funktion mit der Ordinate zeigt die potenzielle Blattflächeneffizienz eines Solitärs.

Wie schon in Kapitel 4.3.3 wurden die Randbäume der Standflächenberechnung für diese Untersuchungen nicht miteinbezogen. Dasselbe gilt für die Ausreißer.

4.3.4.1 Gesamt

Betrachtet man die Beziehung zwischen Blattflächeneffizienz und Blattflächenausstattung über alle Fichtenstämme ohne Randbäume der mit der Wurzel der Schirmfläche gewichteten Standflächenberechnung, zeigt sich stets ein sehr schwacher Zusammenhang von $R^2=0,0006$ bis $R^2=0,0021$.

Außerdem zeigt sich keine Regelmäßigkeit im Verlauf der Blattflächeneffizienz mit zunehmendem AEI. Bei den beherrschten Bäumen ist sie zunehmend, bei den mitherrschenden und herrschenden Individuen ist die Effizienz hingegen abnehmend.

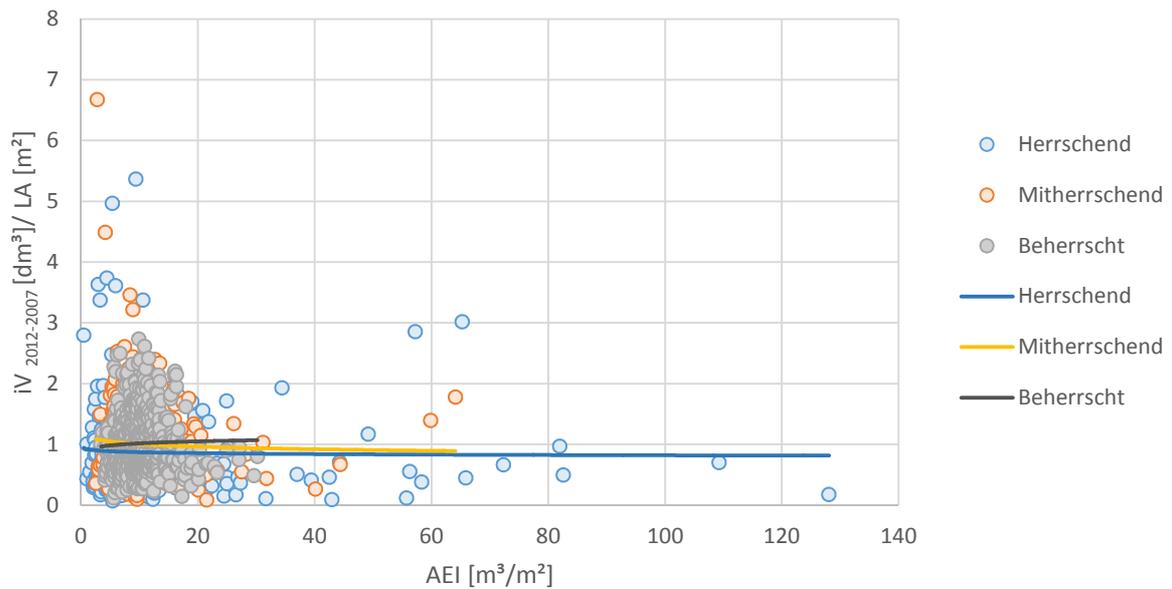


Abbildung 16: Blattflächeneffizienz gewichtet mit der Schirmfläche [dm³/m²] in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung [m²/m²] für sämtliche Probestämme

Soziale Stellung	Unabhängige Variable		AEI	
	n	a	b	R ²
beherrscht	513	0,9067	0,0478	0,0012
mitherrschend	539	1,148	-0,062	0,0021
herrschend	623	0,9233	-0,022	0,0006

Tabelle 26: Werte der in Abbildung 16 dargestellten Regressionen der Form $iV_{2012-2007} [dm^3]/LA[m^2] = a + b * \ln(AEI[m^2/m^2])$. n ist die Anzahl der für die Regressionsgleichung verwendeten Probestämme und R² ist das Bestimmtheitsmaß.

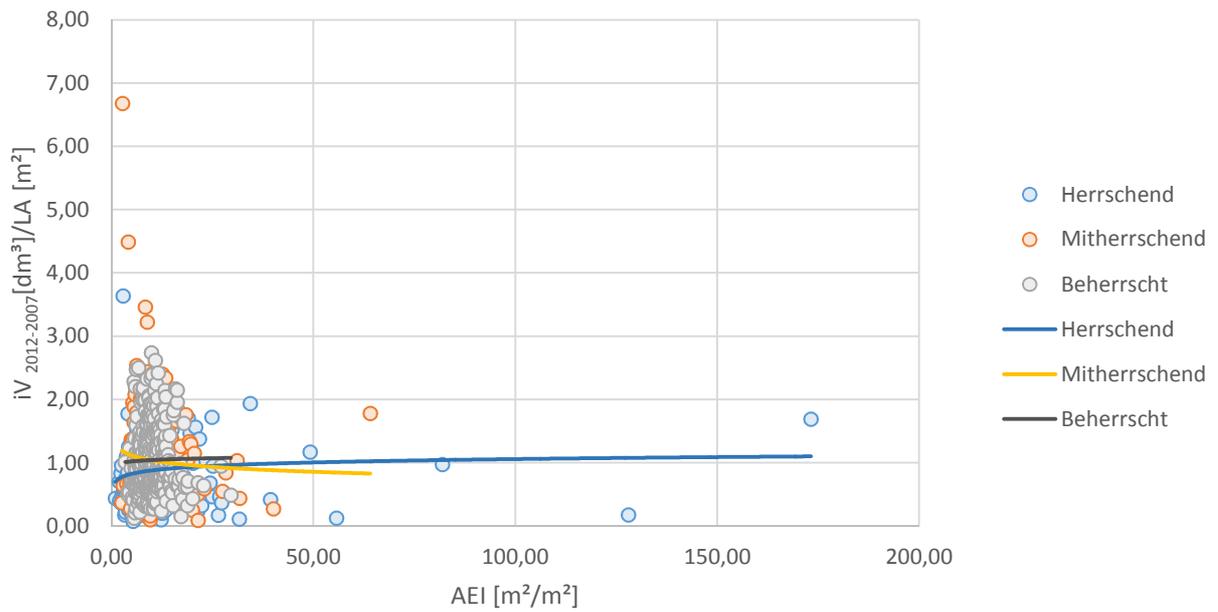
4.3.4.2 Rein- und Mischbestand

Bei der Unterscheidung zwischen Rein- und Mischbestand zeigen sich ähnliche Ergebnisse wie in Kapitel 4.3.4.1. Das Bestimmtheitsmaß ist durchwegs sehr niedrig ($R^2 = 0,0004 - 0,0092$) und die Korrelation zwischen Blattflächeneffizienz und AEI ist sehr unterschiedlich. Blattflächeneffizienz und AEI sind im Reinbestand nur bei den mitherrschenden Individuen negativ korreliert, im Mischbestand nur bei den mitherrschenden und herrschenden.

Bestandestyp	Soziale Stellung	Unabhängige Variable		AEI	
		n	a	b	R ²
Reinbestand	beherrscht	329	0,9699	0,0311	0,0004
	mitherrschend	356	1,2933	-0,112	0,005
	herrschend	364	0,6989	0,0777	0,0079
Mischbestand	beherrscht	184	0,8430	0,0562	0,0034
	mitherrschend	183	0,9939	-0,019	0,0005
	herrschend	260	1,0734	-0,088	0,0092

Tabelle 27: Werte der in Abbildung 17 dargestellten Regressionen der Form $iV_{2012-2007} [dm^3]/LA[m^2] = a + b * \ln(AEI[m^2/m^2])$. n ist die Anzahl der für die Regressionsgleichung verwendeten Probebäume und R² ist das Bestimmtheitsmaß.

Reinbestände



Mischbestände

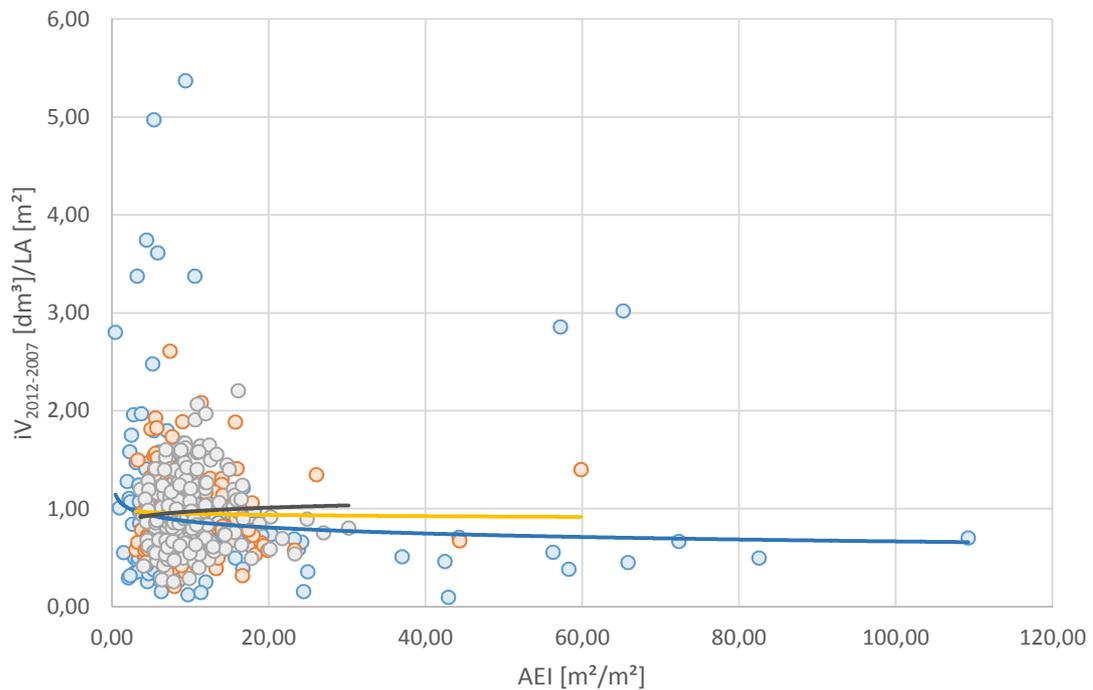


Abbildung 17: Blattflächeneffizienz gewichtet mit der Schirmfläche [dm³/m²] in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung [m²/m²] getrennt für Rein- und Mischbestände

4.3.4.3 Jung- und Altbestand

Wie schon in Kapitel 4.3.3.3 ausgeführt, sind die Blattflächeneffizienz und der AEI in Jungbeständen um ein Vielfaches höher als in Altbeständen.

Anders als bei der Unterscheidung zwischen Rein- und Mischbestand zeigt sich in den Jungbeständen eine positive Korrelation zwischen Blattflächeneffizienz und AEI, in den Altbeständen hingegen eine negative Korrelation. Unverändert ist das durchwegs sehr niedrige Bestimmtheitsmaß.

Bestandestyp	Soziale Stellung	Unabhängige Variable		AEI	
		n	a	b	R ²
Jungbestände	beherrscht	326	0,6935	0,2046	0,0154
	mitherrschend	342	0,8444	0,1247	0,0075
	herrschend	395	0,6821	0,1101	0,0201
Altbestände	beherrscht	187	1,0103	-0,107	0,0185
	mitherrschend	196	1,0168	-0,098	0,0142
	herrschend	223	1,3107	-0,2590	0,0538

Tabelle 28: Werte der in Abbildung 18 dargestellten Regressionen der Form $iV_{2012-2007} [dm^3]/LA[m^2] = a + b * \ln(AEI[m^2/m^2])$. n ist die Anzahl der für die Regressionsgleichung verwendeten Probestämme und R² ist das Bestimmtheitsmaß.

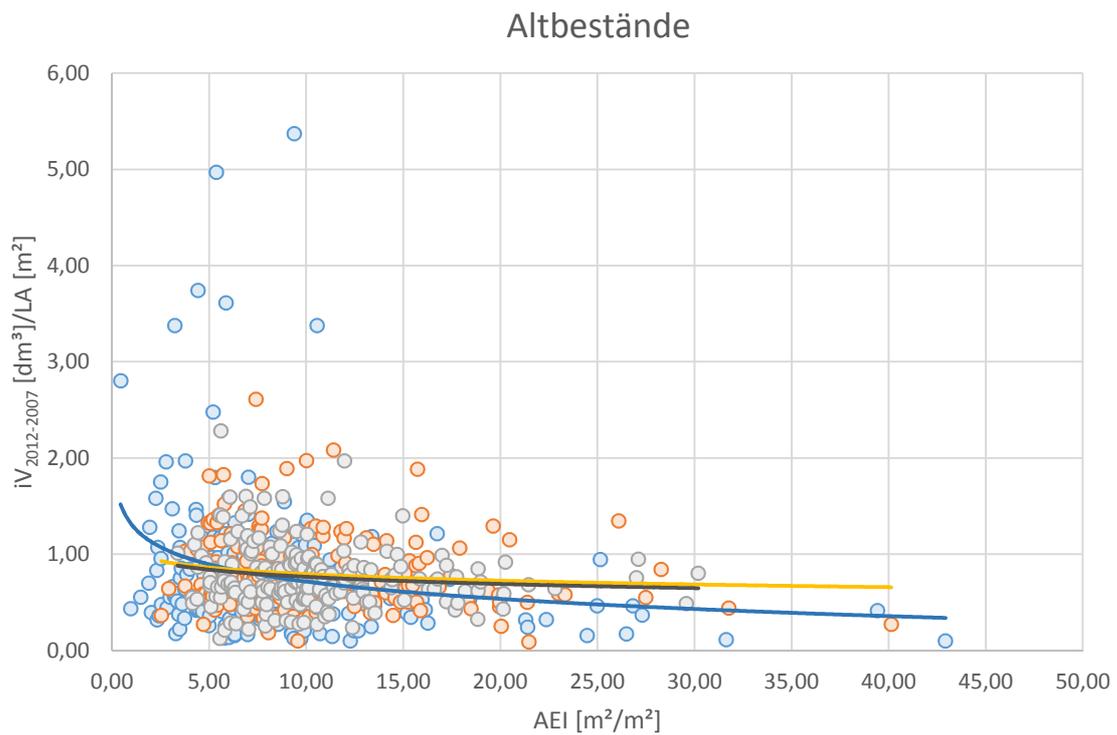
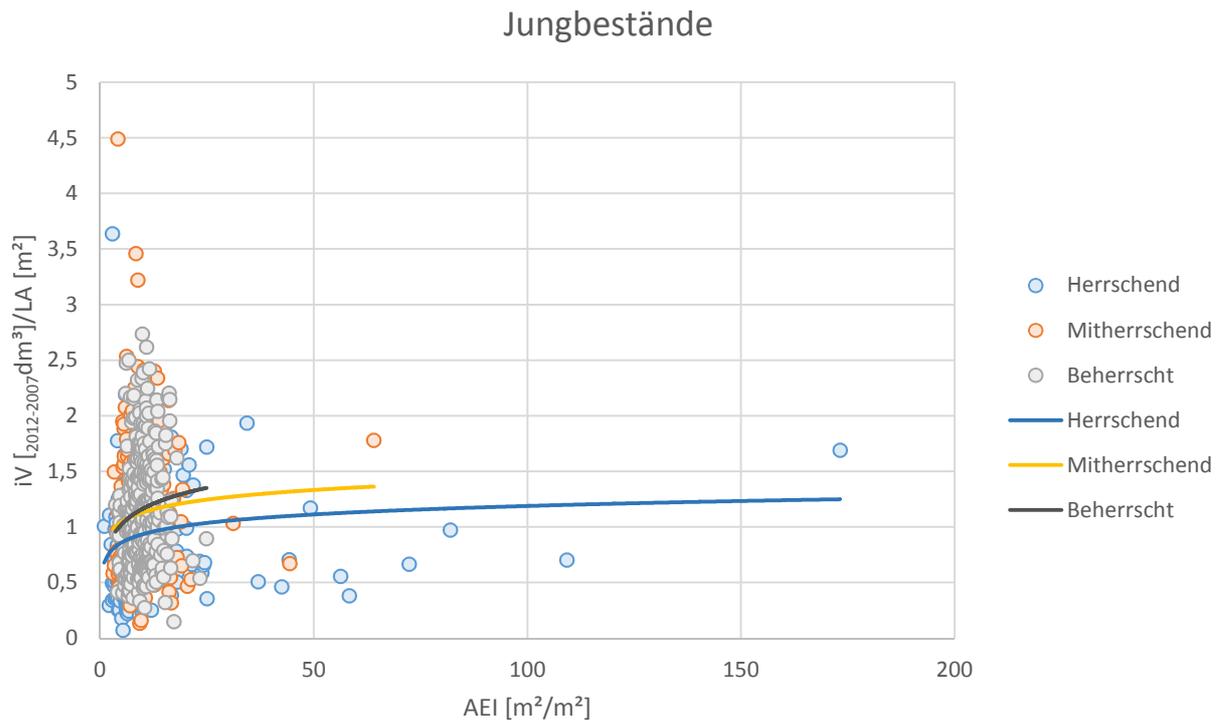


Abbildung 18: Blattflächeneffizienz gewichtet mit der Schirmfläche $[dm^3/m^2]$ in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung $[m^2/m^2]$ getrennt für Jung- und Altbestände

5 Diskussion

5.1 Volumszuwächse

Im Allgemeinen zeigen die vorliegenden Daten, dass die Fichte in den jungen Mischbeständen stets einen geringeren Volumszuwachs aufweist als in den jeweiligen Reinbeständen. In den Jungbeständen ist der Volumszuwachs der Fichte im Mischbestand um 10 % sowie 27,1 % niedriger als im Reinbestand. Mit zunehmendem Alter reduziert sich dieser Wert und es zeigt sich eine gegenteilige Tendenz. Die Produktivität der Fichte im Alter ist im Mischbestand um 27,4 % sowie 44,4 % höher als im Reinbestand.

Diese Beobachtungen decken sich nur teilweise mit jenen von Heller (2016). In seinen Untersuchungen zeigte sich im Altbestand ein 11 % geringerer Volumszuwachs der Fichte in Mischung mit der Lärche. Die Lärche profitiert in diesen Beständen von der Mischung, was Heller (2016) auf die Stress-Gradienten-Hypothese von Callaway und Walker (1997) zurückführt. Generell wird der Mehrzuwachs im Mischbestand bei Heller (2016) größtenteils durch die Lärche erbracht.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Vallet et al. (2011) bei der Untersuchung von Fichten-Tannen-Mischungen. Sie zeigten, dass die Tanne in einer Mischung mit Fichte einen 14,5% höheren Kreisflächenzuwachs aufweist, wohingegen die Fichte von der Mischung nicht profitiert. Wiedemann (1943) zeigt Selbiges für Fichten-Kiefern-Mischungen, die in gewisser Weise Fichten-Lärchen-Mischungen ähneln. Er fand heraus, dass der Volumszuwachs der Kiefer in Mischbeständen höher ist als wie in Reinbeständen. Die Fichte hingegen zeigt auch in diesem Mischungstyp einen geringeren Volumszuwachs als im Reinbestand.

Auch wenn diese Ergebnisse einen Minderzuwachs der Fichte in jungen Mischbeständen mit der Lärche aufzeigen, so gibt es zahlreiche Studien, in denen gezeigt wird, dass durch komplementäre Nischenbesetzung im Mischbeständen Synergieeffekte auftreten können. Del Rio et al. (2009) untersuchten den Volumszuwachs von Kiefer und Pyrenäen-Eiche in Rein- und Mischbestand und zeigten, dass der Volumszuwachs pro Hektar bei beiden Baumarten im Mischbestand höher ist als im Reinbestand. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Linden et al. (2003) und Bielak et al. (2014) bei einer Mischung von Fichte und Kiefer. Ebenso beobachteten Pretzsch et al. (2009), dass die Produktivität beider Baumarten im Fichten-Buchen-Mischbestand höher ist als im jeweiligen Reinbestand.

Dass die Produktivität der Fichte im Fichten-Lärchen-Mischbestand höher ist als die im Reinbestand, zeigt sich bei den vorliegenden Daten nur in den Altholz-Triplets.

5.2 Schirmflächen-, Blattflächen- und Standflächeneffizienz

Die Wuchseffizienzen der Fichte sind in den Jungbeständen im Reinbestand größer als im Mischbestand. In Altbeständen sind im Mischbestand die Wuchseffizienzen hingegen größer als im Reinbestand.

Dirnberger (2012) zeigte für die Baumarten Fichte und Buche, dass im Reinbestand beide Baumarten mehr leisten als im Mischbestand. Je nach Flächenanteil weist besonders die Fichte im Reinbestand eine 23,9% bis 52,1% höhere Leistung auf als im Vergleich mit der Fichte im Mischbestand. Bis zu einem Alter von rund 121 Jahren ist dies auch in den vorliegenden Daten der Fall und deckt sich damit mit Dirnbergers (2012) Ergebnissen zu den von ihm untersuchten rund 70-jährigen Beständen.

Mit zunehmendem Alter sinkt die Effizienz. Im Stangenholz ist die Effizienz höher als im Baumholz. Walch (2001) und Seymour et al. (2002) weisen bei *Picea rubens* und *Tsuga canadensis* auf einen negativen Zusammenhang zwischen Blattflächeneffizienz und Alter hin. Dennoch zeigt sich, dass mit zunehmendem Alter die Wuchseffizienz der Fichte im Mischbestand höher ist als im Reinbestand.

In Fichten-Lärchen-Mischbeständen wird zudem der Mehrzuwachs vor allem durch die Fichte geleistet und erreicht ihr Optimum bei einem Fichtenanteil von 25-45 %. Da bei einem Fichtenanteil von bis zu 31,7 % der Volumszuwachs mit steigendem Alter zunimmt, liegt man bei den vorliegenden Daten ebenfalls im steigenden Bereich.

5.3 Schirmflächeneffizienz in Abhängigkeit von der sozialen Stellung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten Assmanns (1961) und Mayers (1958) Beobachtungen zur Schirmflächeneffizienz bestätigt werden. Deren Hypothese, dass bei gegebener sozialer Stellung die Schirmflächeneffizienz mit zunehmender Schirmfläche abnimmt, konnten auch schon Sterba et al. (1988) bei *Pinus taeda* – Beständen beobachten. Als Begründung hierfür verweist Assmann (1961) auf das ungünstige Verhältnis von assimilierender Blattfläche zu tragenden Sprosstteilen bei größer werdender Krone. Bei zunehmender Schirmfläche nimmt die Kronenmantelfläche in einem geringeren Ausmaß zu als der respirierende Kroneninhalt. Innerhalb einer sozialen Stellung haben somit großkronige Individuen eine geringere Schirmflächenleistung.

Ebenso kamen Assmann (1961), Mayer (1958) und Sterba et al. (1988) zu dem Schluss, dass herrschende Bäume mit kleinen Kronen die größte Schirmflächeneffizienz aufweisen. Dies kann für die Fichte in den vorliegenden Daten ebenfalls bestätigt werden.

5.4 Wuchseffizienz und Blattflächenausstattung

Neben den bisherigen Punkten wird in dieser Arbeit der Zusammenhang zwischen Standflächen- bzw. Blattflächeneffizienz und Blattflächenausstattung untersucht. An Hand der untersuchten Daten konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen Standflächeneffizienz und Blattflächenausstattung festgestellt werden und die Bestimmtheitsmaße sind entsprechend hoch. Die Standflächeneffizienz steigt mit zunehmender Blattflächenausstattung an. Das heißt, dass bei gegebener Blattfläche die Standflächeneffizienz mit abnehmender Standfläche zunimmt.

Diese Ergebnisse decken sich mit denen von Jost (2013), der in ungleichaltrigen Fichtenbeständen ebenfalls einen Anstieg beobachten konnte. In der vorliegenden Arbeit konnte, ebenso wie bei Jost (2013), kein Optimum der Funktion beobachtet werden, wie es Gspaltl et al. (2012) für *Sequoia sempervirens* zeigen konnte. Nach Gspaltl (2008) ist die grundlegende Vorstellung die, dass bei niedriger Blattflächenausstattung die Blattflächeneffizienz zwar am höchsten, die Standflächeneffizienz hingegen sehr niedrig ist. Die effiziente gegebene Blattfläche ist nämlich auf eine große Standfläche verteilt. Sinkt nun die Standfläche bei gegebener Blattfläche, nimmt die Blattflächenausstattung zu und die Standflächeneffizienz nimmt gleichfalls zu. Ab dem Punkt, an dem die reduzierte Blattflächeneffizienz nicht mehr durch den geringen Standraum ausgeglichen werden kann, sinkt die Standflächeneffizienz wieder. Ein möglicher Grund für das Fehlen eines Optimums kann sein, dass es außerhalb des verfügbaren Datenmaterials liegt (Sterba 2005).

Ein Zusammenhang zwischen Blattflächeneffizienz und zunehmender Blattflächenausstattung konnte nicht festgestellt werden. Die von Gspaltl (2012) publizierte degressive Abnahme der Blattflächeneffizienz mit zunehmender Blattflächenausstattung konnte nicht verifiziert werden. In den vorliegenden Daten zeigte sich keine Regelmäßigkeit im Verlauf und auch die Bestimmtheitsmaße waren durchwegs sehr gering, was auch schon von Jost (2013) beobachtet wurde. Fellner (2013) zeigte hingegen eine exponentielle Abnahme der Blattflächeneffizienz bei zunehmender Blattflächenausstattung.

Werden die beiden Effizienzen über der Blattflächenausstattung getrennt nach der sozialen Stellung betrachtet, so zeigt sich, dass beherrschte Bäume stets die effizientesten sind. Jost (2013) beobachtete auch, dass die Unterschicht eine konstant höhere Effizienz aufweist als die Oberschicht. Sterba (1998) stellte fest, dass kleine Bäume ihren Standraum besser ausnutzen als große.

6 Schlussfolgerungen

Vergleicht man die Leistung der Fichte im Reinbestand und im Fichten-Lärchen Mischbestand, lassen sich folgende Schlussfolgerung machen:

- In jungen Mischbeständen weist die Fichte einen geringeren Volumszuwachs auf als in den jeweiligen Reinbeständen. Im Altholz ist der Volumszuwachs der Fichte im Fichten-Lärchen Mischbestand höher als im jeweiligen Reinbestand.
- Die Schirm-, Blatt- und Standflächeneffizienz der Fichte im Reinbestand und im Fichten-Lärchen Mischbestand verändert sich mit dem Alter.
- Die Wuchseffizienzen der Fichte sind in den Jungbeständen im Reinbestand größer als im Mischbestand. In Altbeständen sind im Mischbestand die Wuchseffizienzen hingegen größer als im Reinbestand.
- Bei gegebener sozialer Stellung nimmt die Schirmflächeneffizienz der Fichte mit zunehmender Schirmfläche ab. Gleichzeitig ist bei gegebener Schirmfläche die Schirmflächeneffizienz einer besseren sozialen Stellung größer. Somit sind herrschende Individuen mit kleinen Kronen am effizientesten.
- Mit zunehmender Blattflächenausstattung steigt die Standflächeneffizienz. Es konnte jedoch kein Optimum der Funktion beobachtet werden.
- Bei gegebener Blattflächenausstattung weisen Stämme einer niedrigeren sozialen Stellung eine höhere Standflächeneffizienz auf.
- Es konnte kein Zusammenhang zwischen Blattflächeneffizienz und Blattflächenausstattung gefunden werden.

7 Literaturverzeichnis

- Assmann, E. 1961.** *Waldetragskunde: organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen.* München Wien Bonn : BLV Verlagsgesellschaft.
- Bielak, K., Dudzińska, M. und H., Pretzsch. 2014.** Mixed stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst] can be more productive than monocultures. Evidence from over 100 years of observation of long-term experiments. *Forest Systems* 23(3):573-589.
- BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft). 2015.** *Nachhaltige Waldwirtschaft in Österreich. Datensammlung zum österreichischen Wald.* Wien : Republik Österreich, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- **2015.** *Nachhaltige Waldwirtschaft in Österreich. Österreichischer Waldbericht 2015.* Wien : Republik Österreich, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Büchsenmeister, R. 2013.** Verbreitung und Leistung der Fichte in Österreich. *Praxisinformation. Die Fichte - Brotbaum oder Problemkind?. BFW-Praxisinformation* 31:3-6.
- Condés, S., Del Rio, M. und Sterba, H. 2013.** Mixing effect on volume growth of *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* is modulated by stand density. *Forest Ecology and Management* 292:86-95.
- Del Rio, M. und Sterba, H. 2009.** Comparing volume growth in pure and mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Quercus pyrenaica*. *Annals of Forest Science* 66:502.
- Dieler, J., Seifert, T. und Pretzsch, H. 2008.** *Wuchseffizienz stark freigestellter Fichten auf unterschiedlichem Standort.* s.l. : DVFFA – Sektion Ertragskunde.
- Dirnberger, G. 2012.** *Die Flächenanteilsberechnung für Fichte und Buche in Mischbeständen und ihre Auswirkung auf die den Baumarten zugeschriebene Effizienz.* Wien : Universität für Bodenkultur. Diplomarbeit.
- Eckmüllner, O., Schedl, P. und Sterba, H., 2007.** Neue Schaftkurven für die Hauptbaumarten Österreichs und deren Ausformung in marktkonforme Sortimente. *Austrian Journal of forest science* 124:215 - 236.
- Englisch, M. und Kilian, W. 1999.** *Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich.* Wien : Forstliche Bundesversuchsanstalt.
- Gspaltl, M. 2012.** *Growth efficiency of individual trees.* Wien : Univesität für Bodenkultur, Dissertation.

- . 2008. *The relationship between growth efficiency and individual tree leaf area index in an even-aged coast redwood (Sequoia sempervirens [Lamb. ex D.Don] Endl.) stand*. Wien : Univesität für Bodenkultur, Masterarbeit.
- Gspaltl, M., H., Sterba und O'Hara, K. 2012.** The relationship between available area efficiency and area exploitation index in an even-aged coast redwood (*Sequoia sempervirens*) stand. *Forestry. An International Journal of Forest Research* 85: 567–577.
- Heller, O. T. 2016.** *Wachstum von Fichte und Lärche im Rein- und Mischbestand im Vinschgau*. Wien & Freising : Universität für Bodenkultur & Technische Universität München. Diplomarbeit.
- Jost, S. 2013.** *Wuchseffizienz der Fichte in ungleichaltrigen Beständen*. Wien : Universität für Bodenkultur. Diplomarbeit.
- Kilian, W., Müller, F. und Starlinger, F. 1994.** *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten*. Wien : Forstliche Bundesversuchsanstalt.
- Kindermann, G. E. 1999.** *ACRE version 0.2b*. Wien : Institut für Waldwachstum.
- Kumer, A.-E. 2016.** *Nadelmassen und Blattflächen der Lärche (Larix decidua Mill.) im Rein- und Mischbestand*. Wien : Universität für Bodenkultur. Diplomarbeit.
- Laasasenaho, J., Melkas, T., Aldén, S. 2005.** Modelling bark thickness of *Picea abies* with taper curves. *Forest Ecology and Management* 206(1-3):35-47.
- Laubhann, D., Eckmüllner, O. und Sterba, H. 2010.** Applicability of non-destructive substitutes for leaf area in differen stand of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) focusing on traditional forest crown measure. *Forest Ecology and Management* 260:1498-1506.
- Leitgeb, E., et al., [Hrsg.]. 2013.** *Waldböden. Ein Bildatlas der wichtigsten Bodentypen aus Österreich, Deutschland und der Schweiz*. Deutschland : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Linden, M. und Agestam, E. 2003.** Increment and yield in mixed and monoculture stand of *Pinus sylvestris* und *Picea abies* based on an experiment in Southern Sweden. *Scandinavian Journal aof Forest Research* 18:155-162.
- Marschall, J. 1975.** *Hilfstafeln für die Forsteinrichtung*. s.l. : Österreichischer Agrarverlag, 1975.
- Mayer, R. 1958.** Kronengröße und Zuwachsleistung der Traubeneiche auf süddeutschen Standorten. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung (AFJZ)* 129: 105-114, 151-163, 191-201.
- Monserud, R. und Sterba, H. 1996.** A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. *Forest Ecology and Management* 80:57-80.

- O'Hara, K.L. 1988.** Stand structure and growing space efficiency following thinning in an even-aged Douglas-fir stand. *Canadian Journal of Forest Research* 18:859-866.
- Pretzsch, H. und Biber, P. 2005.** A re-evaluation of Reineke's rule and stand density index. *Forest Science* 51:304-320.
- Pretzsch, H. und Schütze, G. 2009.** Transgressive overyielding in mixed compared with pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: evidence on stand level and explanation on individual tree level. *European Journal of Forest Research* 128:183-204.
- Pretzsch, H., Biber, P. und Dursky, J. 2002.** The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management* 126(1):3-21.
- Pretzsch, H., Dieler, J. und Seifert, T. Rötzer, T. 2012.** Climate effects on productivity and resource-use efficiency of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* [L.]) in stands with different spatial mixing patterns. *Trees* 26:1343–1360.
- Pretzsch, H., et al. 2010.** Comparison between the productivity of pure and mixed stands of Norway spruce and European beech along an ecological gradient. *Annals of Forest Science*. 67:712.
- Pretzsch, H., et al. 2015.** Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe. *European Journal of Forest Science* 134:927-947.
- Pretzsch, H., et al. 2013.** Productivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus petraea* (MATT.) LIEBL. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an ecological gradient. *European Journal of Forest Research* 132:263-280.
- Römisch, K. 1996.** *Durchmesserwachstum und ebene Bestandesstruktur am Beispiel der Kiefernversuchsfläche Makersbach*. Ljubljana, Slovenia : Biotechnische Fakultät, Abteilung Forstwirtschaft: 84-103.
- Schieler, K. und Hauk, E. 2001.** *Instruktion für die Feldarbeit - Österreichische Waldinventur 2000-2002*. Wien : Forstliche Bundesversuchsanstalt, 2001.
- Schnur, E. 2016.** *Blattfläche (Leaf Area) der Fichte (Picea abies L. Karst.) im Reinbestand und im Fichten-Lärchen-Mischbestand*. Wien : Universität für Bodenkultur. Diplomarbeit.
- Seymour, R.S. und Kenefic, L.S. 2002.** Influence of age on growth efficiency of *Tsuga canadensis* and *Picea rubens* trees in mixed-species, multiaged northern conifer stands. *Canadian Journal of Forest Research* 32:2032-2042.
- Shinozaki, K., et al. 1964.** A quantitative analysis of plant form - The pipe model theory. Basic analysis. *Japanese Journal of ecology* 14(3): 97-105.

- Sterba, H. 1998.** 20 Jahre Zielstärkennutzung in der "Hirschlacke", Stift Schlägl. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 190(9):170-175.
- . **2005.** Gibt es eine baumindividuelle zuwchsoptimale Überschirmung - Ein beitrag zur Theorie des Einzelbaumwachstums. *Austrian Journal of Forest Science* 2:55-68.
- Sterba, H. und Amateis, R. 1998.** Crown efficiency in a loblolly pine (*Pinus taeda*) spacing experiment. *Canadian Journal of Research* 28:1344-1351.
- Vallet, P. und Pérot, T. 2011.** Silver fir stand productivity is enhanced when mixed with Norway spruce: evidence based on large-scale inventory data and a generic modelling approach. *Journal of Vegetation Science* 22:932-942.
- Vospernik, S. und Sterba, H. 2015.** Do competition-density rule and self-thinning rule agree? *Annals of forest science* 72(3):379-390.
- Waring, R.H., Thies, W.G. und Muscato, D. 1980.** Stem growth per unit of leaf area: a measure of tree vigor. *Forest science* 26(1):112-117.
- Wiedemann, E. 1943.** Der Vergleich der Massenleistung. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 199:123 -132.
- Zöhner, F. 1969.** Bestandeszuwachs und Leistungsvergleich montaner, subalpiner Lärchen-Fichten-Mischbestände. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 88:41-63.

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Versuchsflächen und deren Bestandestyp	6
Tabelle 2: Standortkundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 1) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 2) des Jung-Triplet 2012.....	8
Tabelle 3: Ertragskundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 1) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 2) des Jung-Triplet 2012	9
Tabelle 4: Standortkundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 7) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 8) des Altholz-Triplet 2012.....	10
Tabelle 5: Ertragskundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 7) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 8) des Altholz-Triplet 2012	11
Tabelle 6: Standortkundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 4) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 5) des Jung-Triplet 2013.....	12
Tabelle 7: Ertragskundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 4) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 5) des Jung-Triplet 2013	13
Tabelle 8: Standortkundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 10) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 11) des Alt-Triplet 2013	14
Tabelle 9: Ertragskundliche Charakteristika des Fichten-Reinbestandes (Bestand 10) und des Fichten-Lärchen-Mischbestandes (Bestand 11) des Alt-Triplet 2013	15
Tabelle 10: Mittels Regression ermittelte Koeffizienten a, b und c für die Funktion $iV [m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2])} * \lambda$ und $iV [m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2]+c \cdot \ln(BHD[m]))} * \lambda$, getrennt nach Beständen für den 5-jährigen Volumszuwachs. se = Standardfehler, cv =Variationskoeffizient, $p > 0,05$ = nicht signifikant (n.s.), $p < 0,05$ = *, $p < 0,01$ = **, $p < 0,001$ = ***	21
Tabelle 11: Koeffizienten der Gleichung $BT[mm] = e^{(a+b \cdot \ln(RmR[mm]))} * \lambda$, das Bestimmtheitsmaß (R^2), sowie der Korrekturfaktor λ	22
Tabelle 12: Individuen mit fehlenden Bohrkernen. Der Baumnummerncode setzt sich aus der zweistelligen Bestandesnummer vor dem Bindestrich und der dreistelligen fortlaufenden Baumnummer nach dem Bindestrich zusammen	23
Tabelle 13: Koeffizienten und Korrekturfaktor der Blattflächenfunktion für Fichte nach Schnur (2016).....	25
Tabelle 14: Koeffizienten und Korrekturfaktor der Blattflächenfunktion für Lärche über alle Bestände nach Kumer (2016).....	26

Tabelle 15: Durchmesserspreitung der jeweiligen sozialen Stellung.....	30
Tabelle 16: Werte der Koeffizienten c_0 und c_1 nach Vospernik et al. (2015).....	31
Tabelle 17: Flächenanteile in den Rein- und Mischbeständen in Prozent %.....	32
Tabelle 18: Volumszuwachs der Fichte in $[m^3/ha]$ je Bestand und Jahr	33
Tabelle 19: Übersicht von Schirm-, Blatt- und Standflächeneffizienz der Fichte in den jeweiligen Beständen. Die Differenz gibt die prozentuelle Mehr- oder Minderleistung des Mischbestandes im Vergleich zum Reinbestand an.....	36
Tabelle 20: Mittels Regression ermittelte Koeffizienten a, b, c und d für die Funktion 4.01. $p > 0,05 =$ nicht signifikant (n.s.), $p < 0,05 = *$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,001 = ***$	37
Tabelle 21: Werte der in Abbildung 11 dargestellten Regressionen der Form $\ln\left(\frac{iV_{2012-2008} [dm^3/a]}{CPA[m^2]}\right) = a + b * \ln(CPA[m^2])$. n ist die Anzahl der für die Regessionsgleichung verwendeten Probebäume, R^2 ist das Bestimmtheitsmaß und * beschreibt das Signifikanzniveau des p-Wert. Wenn $p > 0,05 =$ nicht signifikant (n.s.), $p < 0,05 = *$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,001 = ***$	41
Tabelle 22: Werte der in Abbildung 12 dargestellten Regressionen der Form $\ln\left(\frac{iV_{2012-2008} [dm^3/a]}{CPA[m^2]}\right) = a + b * \ln(CPA[m^2])$. n ist die Anzahl der für die Regessionsgleichung verwendeten Probebäume, R^2 ist das Bestimmtheitsmaß und * bezeichnet das Signifikanzniveau des p-Wert. Wenn $p > 0,05 =$ nicht signifikant (n.s.), $p < 0,05 = *$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,001 = ***$	43
Tabelle 23: Werte der in Abbildung 13 dargestellten Regressionen der Form $\frac{iV_{2012-2008} [dm^3]}{APA_{CPA} [m^2]} = a + AEI [m^2/m^2]^b$. n ist die Anzahl der für die Regessionsgleichung verwendeten Probebäume und R^2 ist das Bestimmtheitsmaß.....	45
Tabelle 24: Werte der in Abbildung 14 dargestellten Regressionen der Form $\frac{iV_{2012-2008} [dm^3]}{APA_{CPA} [m^2]} = a + AEI [m^2/m^2]^b$. n ist die Anzahl der für die Regessionsgleichung verwendeten Probebäume und R^2 ist das Bestimmtheitsmaß.....	46
Tabelle 25: Werte der in Abbildung 15 dargestellten Regressionen der Form $\frac{iV_{2012-2008} [dm^3]}{APA_{CPA} [m^2]} = a + AEI [m^2/m^2]^b$. n ist die Anzahl der für die Regessionsgleichung verwendeten Probebäume und R^2 ist das Bestimmtheitsmaß.....	48
Tabelle 26: Werte der in Abbildung 16 dargestellten Regressionen der Form $iV_{2012-2008} [dm^3/a]/LA[m^2] = a + b * \ln(AEI[m^2/m^2])$. n ist die Anzahl der für die Regessionsgleichung verwendeten Probebäume und R^2 ist das Bestimmtheitsmaß.....	51

Tabelle 27: Werte der in Abbildung 17 dargestellten Regressionen der Form $iV_{2012-2008}[dm^3/a]/LA[m^2] = a + b * \ln(AEI[m^2/m^2])$. n ist die Anzahl der für die Regessionsgleichung verwendeten Probebäume und R² ist das Bestimmtheitsmaß52

Tabelle 28: Werte der in Abbildung 18 dargestellten Regressionen der Form $iV_{2012-2008}[dm^3/a]/LA[m^2] = a + b * \ln(AEI[m^2/m^2])$. n ist die Anzahl der für die Regessionsgleichung verwendeten Probebäume und R² ist das Bestimmtheitsmaß54

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hypothetischer Verlauf der Standflächeneffizienz und Blattflächeneffizienz nach Gspaltl (2012).....	2
Abbildung 2: Für die Laborarbeit präparierte Stammscheibe. Die Beschriftung zeigt die Richtung der 4 gemessenen Radien sowie den Stammscheibencode.....	7
Abbildung 3: Die vier Konoidstümpfe bearbeitet nach Eckmüllner et al. (2007)	16
Abbildung 4: Skizze der Schirmfläche	24
Abbildung 5: Voronoi Diagramm der Standflächen des Mischbestandes 8. Die bei der Berechnung verwendete Wachstumsgröße ist links die $\sqrt{\text{Schirmfläche}}$ und rechts die $\sqrt{\text{Blattfläche}}$. Rot = Fichte und Grün = Lärche.....	28
Abbildung 6: Flächenanteile der in den Beständen vorkommenden Baumarten in Prozent. Bestände mit ungerader Bestandesnummer sind die Fichten-Reinbestand.....	32
Abbildung 7: Volumszuwachs in [m ³ /ha] je Bestand und Jahr in den Jungbeständen.....	33
Abbildung 8: Volumszuwachs in [m ³ /ha] je Bestand und Jahr in den Jungbeständen.....	34
Abbildung 9: 5-jähriger Volumszuwachs in Abhängigkeit vom Alter getrennt nach dem Fichtenanteil.....	38
Abbildung 10: 5-jähriger Volumszuwachs in Abhängigkeit vom Fichtenanteil getrennt nach dem Bestandesalter	38
Abbildung 11: Schirmflächeneffizienz der Fichten-Jungbestände in Abhängigkeit von der Schirmfläche getrennt nach der sozialen Stellung. $\ln(iV_{2012-2007} [dm^3/a]/CPA[m^2]) = a + b * \ln(CPA[m^2])$ ist das für die Regression verwendete Modell.....	40
Abbildung 12: Schirmflächeneffizienz der Fichten-Altbestände in Abhängigkeit von der Schirmfläche getrennt nach der sozialen Stellung. $\ln(iV_{2012-2007} [dm^3/a]/CPA[m^2]) = a + b * \ln(CPA[m^2])$ ist das für die Regression verwendete Modell.....	42
Abbildung 13: Standflächeneffizienz [dm ³ /m ²] in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung [m ² /m ²] für sämtliche Probestämme	45
Abbildung 14: Standflächeneffizienz [dm ³ /m ²] in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung [m ² /m ²] getrennt für Rein- und Mischbestände	47
Abbildung 15: Standflächeneffizienz [dm ³ /m ²] in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung [m ² /m ²] getrennt für Jung- und Altbestände.....	49

Abbildung 16: Blattflächeneffizienz [dm^3/m^2] in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung [m^2/m^2] für sämtliche Probestämme.....	51
Abbildung 17: Blattflächeneffizienz [dm^3/m^2] in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung [m^2/m^2] getrennt für Rein- und Mischbestände.....	53
Abbildung 18: Blattflächeneffizienz [dm^3/m^2] in Abhängigkeit von der Blattflächenausstattung [m^2/m^2] getrennt für Jung- und Altbestände	55

10 Anhang

Im Folgenden sind für jeden Bestand die mittels Regressionsanalyse ermittelten Koeffizienten a, b und c für die Funktion $iV[\mathbf{m}^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2])} * \lambda$ und $iV[\mathbf{m}^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2]) + c \cdot \ln(BHD[m])} * \lambda$ aufgelistet. In den Tabellen wurden folgende Abkürzungen verwendet: se = Standardfehler, cv = Variationskoeffizient, p > 5% = nicht signifikant (n.s.), p < 0,05 = *, p < 0,01 = **, p < 0,001 = ***

Bestand 1												
Funktionstyp		$iV[\mathbf{m}^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2])} * \lambda$										
Unabhängige Variable					ln(ig[m ²])							
	Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²		λ		
	2008	2,5601	0,2013	***	0,9877	0,0289	***	0,9940		0,9944		
	2009	2,9667	0,5806	**	1,0418	0,0836	***	0,9566		0,9871		
	2010	1,9764	0,7582	*	0,9077	0,1095	***	0,9063		0,9860		
	2011	2,6492	0,3088	***	1,0061	0,0448	***	0,9863		0,9787		
	2012	2,6206	0,2838	***	0,9889	0,0403	***	0,9885		0,9802		
	2007-12	2,6308	0,3009	***	0,9973	0,0562	***	0,9782		0,9797		
Funktionstyp		$iV[\mathbf{m}^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2]) + c \cdot \ln(BHD[m])} * \lambda$										
Unabhängige Variable					ln(ig[m ²])			ln(BHD[m])				
	Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	c	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²	λ
	2008	2,5123	0,3618	***	0,9565	0,1897	**	0,0939	0,5641	n.s.	0,9929	0,9934
	2009	2,4433	1,4005	n.s.	0,8419	0,4872	n.s.	0,4874	1,1672	n.s.	0,9497	0,9850
	2010	0,9777	1,5331	n.s.	0,4067	0,6699	n.s.	1,4062	1,8528	n.s.	0,8992	0,9829
	2011	2,7834	0,5079	**	1,1066	0,2905	*	-0,3215	0,9163	n.s.	0,9839	0,9823
	2012	2,9298	0,3867	***	1,2357	0,2191	**	-0,8303	0,7251	n.s.	0,9890	0,9923
	2007-12	2,6169	0,3372	***	1,0613	0,3546	*	-0,1941	1,0604	n.s.	0,9740	0,9811

Bestand 2												
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2])} * \lambda$											
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])								
	Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²	λ			
	2008	4,6801	1,0444	**	1,4101	0,1566	***	0,8990	0,9951			
	2009	3,3805	0,9542	**	1,1990	0,1450	***	0,8822	1,0451			
	2010	2,6379	0,5977	**	1,0596	0,0880	***	0,9411	1,0044			
	2011	3,0185	0,6100	**	1,1028	0,0901	***	0,9430	1,0064			
	2012	3,1880	0,5495	***	1,1225	0,0803	***	0,9557	0,9816			
	2007-12	3,1143	0,4610	***	1,1814	0,0900	***	0,9500	1,0025			
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2]) + c \cdot \ln(BHD[m])} * \lambda$											
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])				ln(BHD[m])				
	Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	c	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²	λ
	2008	3,6836	1,1670	*	0,9378	0,3418	*	1,0619	0,6958	n.s	0,9134	0,9773
	2009	1,5402	0,5764	*	0,3502	0,1757	n.s	1,8930	0,3597	**	0,9728	1,0099
	2010	1,8835	0,6140	*	0,6199	0,2208	*	1,1480	0,5436	n.s	0,9589	0,9910
	2011	2,1005	0,6037	*	0,5410	0,2377	n.s	1,5130	0,6115	*	0,9653	0,9905
	2012	2,9883	0,6466	**	0,9576	0,2651	**	0,4941	0,7543	n.s	0,9523	0,9770
	2007-12	3,2516	0,3601	***	0,8252	0,1569	**	0,9409	0,3715	*	0,9702	0,9874

Bestand 4														
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2])} * \lambda$													
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])				Adjustiertes R ²		λ				
Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²		λ					
2008	4,6290	1,9670	n.s.	1,2322	0,3099	**	0,6791		1,0154					
2009	4,0301	2,0218	n.s.	1,1437	0,3058	**	0,6498		1,0090					
2010	2,5114	1,1553	n.s.	0,9144	0,1849	**	0,7703		1,0108					
2011	1,9174	1,1564	n.s.	0,8277	0,1910	**	0,7175		1,0134					
2012	2,5410	0,8239	*	0,9160	0,1363	***	0,8631		1,0072					
2007-12	3,0997	0,8844	*	1,0114	0,1914	**	0,7936		1,0093					
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2]) + c \cdot \ln(BHD[m])} * \lambda$													
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])				ln(BHD[m])			Adjustiertes R ²		λ	
Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	c	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²		λ		
2008	3,0187	1,7762	n.s.	0,8589	0,3103	*	0,8547	0,4187	n.s.	0,7899		1,0104		
2009	4,5130	1,6230	*	1,1317	0,2431	**	0,6373	0,3005	n.s.	0,7788		1,0047		
2010	1,8383	1,2178	n.s.	0,7241	0,2302	*	0,5889	0,4602	n.s.	0,7923		1,0091		
2011	1,0987	0,9094	n.s.	0,5473	0,1799	*	1,0126	0,4077	n.s.	0,8482		1,0072		
2012	1,7175	1,0172	n.s.	0,6809	0,2258	*	0,6937	0,5454	n.s.	0,8759		1,0052		
2007-12	2,4812	0,8737	*	0,7522	0,2338	*	0,6453	0,3995	n.s.	0,8372		1,0070		

Bestand 5														
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2])} * \lambda$													
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])				Adjustiertes R ²		λ				
Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²		λ					
2008	3,3446	1,2569	*	1,0461	0,1785	***	0,7875		1,0252					
2009	2,4329	1,4261	n.s.	0,9281	0,1989	**	0,6977		1,0188					
2010	2,7831	0,8143	**	0,9699	0,1174	***	0,8821		1,0060					
2011	2,9422	0,8164	**	1,0094	0,1239	***	0,8789		1,0172					
2012	2,4232	0,7730	*	0,9212	0,1210	***	0,8636		1,0113					
2007-12	2,9180	0,7159	**	0,9954	0,1387	***	0,8488		1,0129					
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2]) + c \cdot \ln(BHD[m])} * \lambda$													
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])				ln(BHD[m])			Adjustiertes R ²		λ	
Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	c	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²		λ		
2008	1,8070	0,9212	n.s.	0,6329	0,1648	**	1,1847	0,3382	**	0,9118		1,0116		
2009	2,0444	1,3056	n.s.	0,7836	0,1986	**	0,5637	0,3339	n.s.	0,7545		1,0099		
2010	2,1330	0,6352	*	0,7589	0,1131	***	0,7103	0,2496	*	0,9375		0,9984		
2011	2,0095	0,7699	*	0,7319	0,1558	**	0,7870	0,3395	n.s.	0,9217		1,0083		
2012	1,5088	0,4236	**	0,6048	0,0866	***	0,9830	0,1944	**	0,9665		0,9991		
2007-12	2,3232	0,5255	**	0,6902	0,1354	**	0,8411	0,2657	*	0,9289		1,0036		

Bestand 7												
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2])} * \lambda$											
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])								
	Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²	λ			
	2008	2,3190	0,4535	***	0,9365	0,0666	***	0,9562	1,0084			
	2009	2,6130	0,6476	**	0,9820	0,0944	***	0,9225	1,0099			
	2010	2,2001	0,9762	n.s.	0,9179	0,1420	***	0,8192	1,0328			
	2011	2,7151	0,8091	**	1,0161	0,1222	***	0,8834	1,0097			
	2012	2,4917	0,5533	**	0,9617	0,0828	***	0,9370	0,9955			
	2007-12	2,5907	0,4999	***	0,9753	0,0969	***	0,9176	1,0052			
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2]) + c \cdot \ln(BHD[m])} * \lambda$											
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])				ln(BHD[m])				
	Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	c	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²	λ
	2008	1,8149	0,2809	***	0,7028	0,0662	***	1,0356	0,2421	**	0,9862	1,0112
	2009	1,8804	0,4043	**	0,6392	0,0967	***	1,5521	0,3650	**	0,9753	1,0098
	2010	1,3253	0,5043	*	0,4799	0,1093	**	2,0620	0,3985	**	0,9572	1,0113
	2011	1,8343	0,6746	*	0,6486	0,1597	**	1,5101	0,5424	*	0,9368	1,0045
	2012	1,9391	0,5475	**	0,7455	0,1294	***	0,8732	0,4377	n.s.	0,9541	0,9997
	2007-12	2,4464	0,3043	***	0,6666	0,0991	***	1,3693	0,3544	**	0,9699	1,0054

Bestand 8														
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2])} * \lambda$													
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])				Adjustiertes R ²		λ				
Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²		λ					
2008	4,1017	1,1171	**	1,1882	0,1728	***	0,8371		1,0145					
2009	2,1493	1,4911	n.s.	0,8905	0,2262	**	0,6170		1,0387					
2010	2,4758	1,4283	n.s.	0,9510	0,2211	**	0,6603		1,0351					
2011	3,6432	1,3262	*	1,1451	0,2099	***	0,7617		1,0190					
2012	3,5850	1,4133	*	1,1170	0,2216	**	0,7306		1,0247					
2007-12	3,2423	1,0262	*	1,0880	0,2126	***	0,7368		1,0248					
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2]) + c \cdot \ln(BHD[m])} * \lambda$													
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])				ln(BHD[m])			Adjustiertes R ²		λ	
Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	c	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²		λ		
2008	2,0849	1,3523	n.s.	0,6646	0,2913	n.s.	1,3435	0,6478	n.s.	0,8847		1,0111		
2009	0,8293	0,9299	n.s.	0,4685	0,1682	*	1,4502	0,3576	**	0,8693		1,0075		
2010	0,6843	1,1601	n.s.	0,4248	0,2318	n.s.	1,6045	0,5260	*	0,8333		1,0099		
2011	1,0217	1,4814	n.s.	0,4892	0,3116	n.s.	1,5338	0,6199	*	0,8547		1,0071		
2012	1,2758	1,6330	n.s.	0,5364	0,3373	n.s.	1,4154	0,6849	n.s.	0,8088		1,0128		
2007-12	2,0323	0,8737	n.s.	0,5292	0,2553	n.s.	1,4492	0,5223	*	0,8567		1,0092		

Bestand 10														
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2])} * \lambda$													
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])				Adjustiertes R ²		λ				
Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²		λ					
2008	2,9139	0,3335	***	1,0306	0,0513	***	0,9782		1,0035					
2009	3,6299	0,4763	***	1,1444	0,0727	***	0,9648		1,0010					
2010	3,2818	0,5407	***	1,0822	0,0803	***	0,9525		1,0099					
2011	2,9605	0,6095	**	1,0363	0,0921	***	0,9331		1,0024					
2012	2,8268	0,4407	***	1,0176	0,0679	***	0,9613		1,0015					
2007-12	3,0438	0,3345	***	1,0670	0,0673	***	0,9653		1,0012					
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2]) + c \cdot \ln(BHD[m])} * \lambda$													
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])				ln(BHD[m])			Adjustiertes R ²		λ	
Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	c	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²		λ		
2008	2,4952	0,2675	***	0,9109	0,0524	***	0,2993	0,0963	*	0,9895		1,0067		
2009	2,9834	0,4011	***	0,9693	0,0781	***	0,4201	0,1407	*	0,9823		1,0049		
2010	2,9129	0,3938	***	0,9543	0,0694	***	0,4176	0,1348	*	0,9771		1,0143		
2011	2,3627	0,2254	***	0,8347	0,0413	***	0,6303	0,0818	***	0,9919		1,0032		
2012	2,3402	0,2713	***	0,8661	0,0518	***	0,4286	0,0996	**	0,9879		1,0038		
2007-12														

Bestand 11														
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2])} * \lambda$													
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])				Adjustiertes R ²		λ				
Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²		λ					
2008	2,5360	1,7172	n.s.	0,9783	0,2814	*	0,6129		1,0293					
2009	2,0904	1,3951	n.s.	0,9032	0,2263	**	0,6808		1,0304					
2010	1,9772	1,1644	n.s.	0,8864	0,1932	**	0,7411		1,0147					
2011	2,7443	1,0799	*	1,0188	0,1819	**	0,8126		1,0131					
2012	2,8523	1,0337	*	1,0246	0,1709	***	0,8331		1,0147					
2007-12	2,4868	0,9081	*	0,9585	0,2043	**	0,7500		1,0180					
Funktionstyp	$iV[m^3] = e^{a+b \cdot \ln(ig[m^2]) + c \cdot \ln(BHD[m])} * \lambda$													
Unabhängige Variable				ln(ig[m ²])				ln(BHD[m])			Adjustiertes R ²		λ	
Jahr	a	se	p	b	se	Signifikanz	c	se	Signifikanz	Adjustiertes R ²		λ		
2008	2,9930	1,3843	n.s.	0,8946	0,2275	*	0,9638	0,4561	n.s.	0,7546		1,0163		
2009	3,0090	1,1290	*	0,8650	0,1724	**	1,1631	0,4990	n.s.	0,8165		1,0138		
2010	2,4121	0,9818	n.s.	0,8382	0,1607	**	0,7401	0,3754	n.s.	0,8252		1,0088		
2011	3,1467	0,8393	*	0,9662	0,1402	***	0,7397	0,3190	n.s.	0,8917		1,0075		
2012	3,0482	0,8977	*	0,9609	0,1517	**	0,6080	0,3464	n.s.	0,8761		1,0113		
2007-12	3,1342	0,7625	**	0,9289	0,1592	**	0,7668	0,3444	n.s.	0,8494		1,0101		