

SCHRIFTENREIHE  
FREIBURGER FORSTLICHE FORSCHUNG

BAND 45

Sebastian Hein

**Zur Modellierung von Astigkeit und  
Dickenwachstum ausgewählter  
Nadel- und Laubbaumarten**

als kumulative Habilitationsschrift vorgelegt

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT  
FREIBURG

FAKULTÄT FÜR FORST- UND UMWELTWISSENSCHAFTEN

2010

**Bibliographische Information Der Deutschen Bibliothek:**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über [://dnb.de](http://dnb.de) abrufbar.

ISSN 1436-0586

ISBN 978-3-933548-46-7

**Die Herausgeber:**

Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
und Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

**Redaktionskomitee:**

Prof. Dr. J. Huss

Dr. G. Kändler

Prof. Dr. W. Konold

PD Dr. K. v. Wilpert

**Umschlaggestaltung:**

Bernhard Kunkler Design, Freiburg

**Druck:**

Eigenverlag der FVA, Freiburg

**Bestellung an:**

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt

Baden-Württemberg

Wonnhaldestraße 4

79100 Freiburg

Tel.: (07 61) 40 18-0 Fax: (07 61) 40 18-3 33

E-Mail: [fva-bw@forst.bwl.de](mailto:fva-bw@forst.bwl.de)

Internet: [www.fva-bw.de](http://www.fva-bw.de)

Alle Rechte, insbesondere das Recht zur Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vorbehalten.

Gedruckt auf 100% chlorfrei gebleichtem Papier.

# INHALTSVERZEICHNIS

	<b>VORWORT</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>AKTUELLE TENDENZEN BEI DER ANALYSE VON ÄSTIGKEIT UND DURCHMESSERWACHSTUM</b>	<b>7</b>
2.1	Forschungsfelder zu Ästigkeit und Durchmesserwachstum	7
2.2	Neue statistische Modellierungsansätze im Kontext von Ästigkeit und Durchmesserwachstum	11
<b>3</b>	<b>ÄSTIGKEIT ALS ASPEKT DER WACHSTUMSSTEUERUNG</b>	<b>19</b>
3.1	Deskriptive Ansätze zur Analyse der Ästigkeit	19
3.2	Zur Ästigkeit von Bestandesbäumen und Solitären	22
3.3	Zur Modellierung der Ästigkeitseigenschaften ausgewählter Baumarten	24
3.3.1	Baumartenvergleich Fichte und Douglasie	24
3.3.2	Baumartenvergleich Buche, Esche und Bergahorn	26
<b>4</b>	<b>DURCHMESSERWACHSTUM DES SCHAFTES ALS ASPEKT DER WACHSTUMSSTEUERUNG</b>	<b>31</b>
4.1	Deskriptive Ansätze zum Durchmesserwachstum	31
4.2	Zur Modellierung des Durchmesserwachstums	35
4.2.1	Baumarteninteraktionen als Einflussfaktor des Einzelbaumwachstums	35
4.2.2	Witterung und Klima als mögliche Gründe für die Variabilität des Dickenzuwachses	37
<b>5</b>	<b>MODELLE ZU ÄSTIGKEIT UND DURCHMESSERWACHSTUM ALS BESTANDTEIL VON WACHSTUMSSIMULATOREN</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>FOLGERUNGEN UND AUSBLICK</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>LISTEN DER ARBEITEN ZUM HABILITATIONSTHEMA</b>	<b>59</b>
8.1	Publikationen in Zeitschriften (mit Begutachtung)	59
8.2	Veröffentlichungen in Büchern (incl. Dissertation/ Hrsg.) (mit Begutachtung)	60
8.3	Gedruckte Konferenzbeiträge (ohne Begutachtung)	61
8.4	Veröffentlichungen in Zeitschriften + Online-Medien (ohne Begutachtung)	62
8.5	Poster	62
8.6	Rezensionen	63
8.7	Reviewer in Zeitschriften/ zu wissenschaftlichen Projektanträgen	63
<b>9</b>	<b>ZU INHALT UND ENTSTEHUNG DER ZWÖLF VORGELEGTEN BEGUTACHTETEN ARBEITEN ZUM HABILITATIONSTHEMA</b>	<b>65</b>

<b>10</b>	<b>ZUM EIGENANTEIL AN DEN VORGELEGTEEN BEGUTACHTETEN ARBEITEN ZUM HABILITATIONSTHEMA</b>	<b>71</b>
<b>11</b>	<b>LISTEN DER ARBEITEN ZU BEGLEITENDEN THEMEN</b>	<b>73</b>
11.1	Publikationen in Zeitschriften (mit Begutachtung)	73
11.2	Gedruckte Konferenzbeiträge (ohne Begutachtung)	73
11.3	Veröffentlichungen in Zeitschriften + Online-Medien (ohne Begutachtung)	74
11.4	Poster	74
11.5	Rezensionen	74
11.6	Projektberichte	74
<b>12</b>	<b>VORTRÄGE FÜR WISSENSCHAFTLICHE VERANSTALTUNGEN</b>	<b>75</b>
12.1	Vorträge bei Bewerbungen auf Professuren	76
	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>77</b>
	<b>ABSTRACT</b>	<b>81</b>
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>85</b>
	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>87</b>
	<b>ANHANG: PUBLIKATIONEN ZUM HABILITATIONSTHEMA (BEGUTACHTET, NUR ZEITSCHRIFTEN)</b>	<b>89</b>

## VORWORT

Die hier vorgelegte kumulative Habilitationsschrift umfasst ein Dachkonzept sowie eine Auswahl von zwölf begutachteten Einzelveröffentlichungen in internationalen Zeitschriften. Sie entstanden im Zeitraum zwischen Oktober 2003 und April 2008 während meiner Tätigkeit als Mitarbeiter und stellvertretender Abteilungsleiter an der Abteilung Waldwachstum der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg in Freiburg (FVA).

Die notwendigen Forschungstätigkeiten wurden ermöglicht durch großzügige Unterstützung seitens der Leitung der gesamten Forschungseinrichtung sowie der Leitung der Abteilung Waldwachstum. Dabei gilt mein Dank zunächst dem Leiter der FVA, Herrn Prof. K. von Teuffel, der mit der Idee von Qualifizierungsstellen für junge Nachwuchswissenschaftler ein solches Vorhaben überhaupt ermöglichte.

Ganz besonderer Dank gilt auch dem ehemaligen Leiter der Abteilung Waldwachstum der FVA, Herrn Prof. Dr. G. Kenk, der mir mit seiner Personalauswahl das grundsätzliche Vertrauen und die Gelegenheit gegeben hat, ein Thema meiner Wahl zu verfolgen. Dabei war von Anfang an klar, dass ein solches Thema relevant für die Waldbewirtschaftung im Land Baden-Württemberg sein muss – und dies nicht nur, weil es an einer Ressortforschungseinrichtung des Landes durchgeführt wird – aber auch das Potenzial aufweisen muss, internationale Exzellenz erreichen zu können.

Die Freiheit, über einen längeren Zeitraum kontinuierlich ein Thema bearbeiten zu können, hat als Abteilungsleiter Herr LFD. PD Dr. U. Kohnle gewährleistet. Dies bedeutete zeitweilig erhebliche Rücksichtnahme bei den Abteilungsarbeiten. Er war es auch, der mit seiner enormen Auffassungsgabe den Werdegang des Projektes am besten kritisch begleiten konnte. Er hielt mir zudem den unverzichtbaren Kontext eines erfolgreichen wissenschaftlichen Vorhabens. Ohne seine Rückendeckung in vielen Momenten wäre diese Arbeit nicht denkbar gewesen. Erst die ideale Forschungsumgebung an der Abteilung Waldwachstum hat den Abschluss der Arbeit möglich gemacht.

Der Austausch mit den Kollegen (insb. Dr. B. Bösch, Dr. G. Kändler, Dr. E. Kublin, Dr. M. Schmidt/Abteilung Biometrie und Informatik der FVA bzw. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt) und Gastwissenschaftlern der FVA und internationalen Experten zum Thema hat den Fortschritt der Arbeit sehr beschleunigt. Die Projektaufenthalte und gegenseitigen Besuche von Dr. K. Eerikäinen, Dr. J. Lappi, Dr. H. Mäkinen, Prof. Dr. J. Hynynen (jeweils Metla/Finnland) sowie Prof. Dr. A.R. Weiskittel (University of Maine/Orono), Prof. Dr. J. Buongiorno (University of Wisconsin/Madison), Prof. Dr. D. Maguire (Oregon State University/Corvallis), Prof. Dr. R. Monserud (USDA North West Pacific Research Station, Portland/OR), Prof. Dr. B. Gardiner (University of Edinburgh) sowie Prof. Dr. J.-F. Dhôte (INRA/Champenoux) erlaubten einen schnellen Anschluss an die internationale Spitze in diesem Themengebiet.

Natürlich gebührt auch Dank Herrn Prof. Dr. H. Spiecker für die Gesprächsbereitschaft und Begleitung während der letzten Jahre. Mit seiner wissenschaftlichen Expertise trug er wesentlich zur strategischen Ausrichtung dieser Arbeit bei.

Ohne all diese Personen wäre ein Abschluss innerhalb der verfügbaren Zeit kaum möglich gewesen. Ihnen meinen herzlichen Dank.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Ästigkeit von Rundholz sowie dessen Dimension stellen wesentliche sortierungsrelevante und preisbestimmende Merkmale von Rundholz dar. Die vorliegende kumulative Habilitationsschrift widmet sich deshalb den beiden Aspekten der Wachstumssteuerung am Beispiel wichtiger Laub- und Nadelbaumarten Mitteleuropas: Ästigkeit und Durchmesserwachstum. Dies geschieht dabei stets aus den sich daraus ergebenden Möglichkeiten zur Optimierung waldbaulicher Konzepte (z.B. Publikation II). Ausgehend von Erkenntnissen zu Nadelbaumarten (Publikation I, IV, V, VI, IX und XII) werden neue statistische Verfahren auf Laubbaumarten (Publikation II, III, VII, VIII und XI) angewandt. Die Ergebnisse bisheriger Untersuchungen werden zudem für weitständige und Z-Baum-orientierte Behandlungen erweitert (Publikationen IV, V, VI, VII, VIII, IX und XII). Mit dem Aufbau und Optimierung von Modellen und Modellsystemen zu Ästigkeit und Durchmesserwachstum (Publikationen I, III, VI, IX, X und XI) werden Erweiterungen für bestehende Waldwachstumssimulatoren vorgeschlagen. Zusätzlich werden die Ergebnisse von Untersuchungen aus langfristigen Versuchsflächen mit kontrastierender waldbaulicher Behandlung vorgestellt (Publikationen IV, V, VIII und XII).

Daten zu Ast- oder Baummerkmalen weisen Eigenschaften auf, die besondere Modellierungsansätze notwendig machen. Dazu gehören diskrete Informationen (vgl. Publikationen IX, X und VIII), aber auch metrisch skalierte Daten (z.B. Publikationen IX, XI). Solche Daten können mit Hilfe von generalisierten Modellen bearbeitet werden. Zusätzlich sind diese Daten hierarchisch geschachtelt, damit muss die gegenseitige Abhängigkeit der Beobachtungen berücksichtigt werden. Eine geeignete statistische Analyse solcher Daten muss daher den Modellansatz der generalisierten Modelle mit dem der gemischten Modelle, verbinden. In Publikation I wird zusätzlich der Transfer der cutpoint-Analyse aus nicht-forstlichen Disziplinen auf eine Fragestellung der Ästigkeit unternommen.

Im Vorfeld zum Aufbau von komplexen Modellsystemen sind die Publikationen XII (Fichte) und V (Douglasie) als deskriptive Untersuchungen angelegt. Ausgehend von Versuchsflächen zur Fichte und Douglasie, werden hier die Auswirkungen stark unterschiedlicher Behandlungen auf die Baumdimension, die Ästigkeit und das Durchmesserwachstum einander gegenübergestellt. Im Falle von Publikation V wird bei der Douglasie zusätzlich die Wirkung dieser kontrastierenden Behandlungen auf die Ausdehnung des Splintholzes untersucht. Es zeigen sich dabei deutliche Unterschiede in der Ästigkeit zwischen den Baumarten, die zugleich sortierungswirksam sind. Im Unterschied zu Nadelbaumarten sind die Auswirkungen einer Wachstumssteuerung auf die Ästigkeit bei Laubbaumarten offensichtlich nicht so deutlich erkennbar. Publikation VIII untersucht am Beispiel der Buche die Auswirkungen zweier Z-Baum-orientierter Durchforstungsvarianten und vergleicht diese mit einer niederdurchforstungsartigen Behandlung. Selbst nach 35 Jahren Beobachtungszeit hatten sich stark unterschiedliche Behandlungen nicht auf die Verlagerung des Kronenansatzes ausgewirkt. Publikation VII stellt den für Bestandesbäume berechneten Zusammenhängen zur Astreinigung ein Modell gegenüber, das anhand von Kronenansatzmessungen von Eschen- und Bergahorn-Solitären berechnet wurde. Damit gelingt es auch die innere Ästigkeit von Solitäräumen vorherzusagen und nachzuweisen, dass deutliche Baumartenunterschiede (Esche vs. Bergahorn) bestehen.

Im Unterschied zur deskriptiven Bearbeitung der Ästigkeit in den Publikationen XII, VIII und V stellen die Publikationen VI und IX Modellsysteme zu den

baumartenspezifischen Profilen wichtiger Asteigenschaften innerhalb der grünen Krone von Fichte und Douglasie vor. Grundsätzlich bestätigten sich ähnliche Feld-, Baum-, Quirl- und Astvariablen als signifikante Einflussgrößen auf die gewählten Zielgrößen. Zwischen Fichte und Douglasie ergeben sich jedoch deutliche Differenzen bei Astanzahl pro Quirl, Astdurchmesser und Astmortalität (äußere Ästigkeit). Das Modellsystem für Laubbäume (Buche: Publikation III, Esche-Bergahorn: Publikation X) ist auf die innere Ästigkeit ausgerichtet. Anhand von vier Eigenschaften überwallter Äste (Überwallungsdauer, gesamter Radius des überwallten Astes, Astansatzwinkel und Totastanteil) konnten auch hier Unterschiede zwischen den Baumarten herausgearbeitet werden. Tatsächlich verhalten sich, bis auf ein Modell (Totastanteil), alle Baumarten im Bezug auf die hier untersuchten Merkmale bei der inneren Ästigkeit nur grundsätzlich ähnlich. Unterschiede zeigen sich in der Größenordnung der abhängigen Variablen. Beim Modell zum relativen Totastanteil (i.e. Durchfallast, Schwarzast, „black knot“) zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Baumarten: bei Bergahorn findet sich ein kleinerer Totastanteil als bei Esche, bei beiden Baumarten nehmen diese mit zunehmendem Astdurchmesser ab. Anders dagegen bei Buche: hier steigt nach Publikation III der relative Totastanteil mit zunehmendem Astdurchmesser an.

Ähnlich zur Vorgehensweise bei der Ästigkeit wurden dem Aufbau komplexer Modellsysteme zum Durchmesserwachstum die Publikationen XII und V als deskriptive Untersuchungen vorgeschaltet. Neben den Untersuchungen zur Ästigkeit wurden hier die Auswirkungen kontrastierender und extremer Behandlungen auf das Durchmesserwachstum des Schaftes von Fichten und Douglasien untersucht. Schon kurze Zeit nach der Einrichtung solch extremer Solitärversuchsflächen sind Unterschiede zwischen den Begründungsvarianten im jährlichen Radialzuwachs zu beobachten. Auch hier zeigt sich, wie bei der Untersuchung der Ästigkeit, dass die Behandlungen A-B (Begründung mit 350 vs. 700 Fi/ha) der Fichte sich stärker unterscheiden als die Behandlungen A-B der Douglasie (Begründung mit 100 vs. 200 Dgl/ha). Publikation IV stellte diese Zusammenhänge in den Kontext der praxisnahen (und weniger extremen) Behandlungen des europäischen Stammzahlversuchs in Fichte (Publikation IV) und zeigt, welche Folgen sich daraus für die dimensionsabhängige Sortierung und später für die Wertleistung ergeben.

Publikation XI untersuchte, ob beim Grundflächenzuwachs des Einzelbaums Baumarteninteraktionen für Eichen-Buchen-Mischbestände vorliegen. Dazu wurde das Modell zum einzelbaumweisen Grundflächenzuwachs des Wachstumssimulators *Fagacées* verwendet. Mit Publikation XI gelang es zum ersten Mal einen quantitativen Nachweis zur Wirkung der Anwesenheit der Baumart Buche auf das Schaftwachstum von Eichen in Mischbeständen zu führen: Das Grundflächenwachstum ist damit nicht nur von der Baumdimension, der Bestandesdichte (und damit von der Durchforstung) und von der Bonität (d. h. vom Standort) abhängig, sondern auch vom Ausmaß der Anwesenheit der Buche: Je mehr eine Eiche von Buchen umgeben ist, um so geringer wird das Dickenwachstum des Schaftes der bedrängten Eichen ausfallen. Damit kann anhand von einfachen, langfristigen Messungen nun auch an der oberirdischen Biomasse nachgewiesen werden, was im Rahmen von Messungen zum Wurzelwachstum in Eichen-Buchen-Mischbeständen gefunden wurde.

In Publikation XI wird jedoch auch gezeigt, dass neben der Bestandesdichte, der Bonität und möglichen Baumarteninteraktionen auch Witterungsbedingungen einen Einfluss auf den Grundflächenzuwachs zeigen können. Damit können bei kurzfristigen Prognosen deutliche Fehlschätzungen auftreten. Nach Publikation XI werden Grundflächenzuwächse in den trocken-heißen Jahren um 1976, aber auch in den 50er und 60er Jahren überschätzt.

Der relativ hohe Anteil an nicht aufgeklärter Streuung scheint damit auf periodisch auftretende, unterschiedliche Wachstumsbedingungen zurückführbar zu sein. Dies bestätigt sich auch bei laufenden Untersuchungen zum Wachstum von Fichten und Tannen in Plenterwäldern Südwestdeutschlands. Hier zeigten sich zudem deutliche Unterschiede im witterungsabhängigen Verhalten von Fichte und Tanne.

Sechs der zwölf Publikationen (Publikationen I, III, VI, IX, X und XI), sind als Erweiterungen und Verbesserungen für bestehende Waldwachstumssimulatoren aus Deutschland oder Frankreich konzipiert. Die Module zur Ästigkeit von Fichte und Douglasie (Publikationen VI und IX) sind bereits als zuschaltbare Module des Wachstumssimulators *W+* programmiert. Publikation I stellt die notwendigen cutpoints zur Astmortalität für diesen Wachstumssimulator zur Verfügung. Die Publikationen III und XI stellen Konzepte dar, wie der für Rein- und Mischbestände aus Bergahorn, Esche und Buche konstruierte Wachstumssimulator *SimCAP* um ein Modul der inneren Ästigkeit für alle drei Baumarten erweitert werden kann. Publikation XI untersucht exemplarisch für eine der beiden Kerngleichungen des für Reinbestände aus Eiche und Buche gedachten französischen Wachstumssimulators *Fagacées*, welche Modifikationen für Mischungen aus beiden Baumarten notwendig sind.

Die kumulative Habilitation zielt nicht auf die Darstellung einer ganzen Modellkette vom Wald zur Schnittware. Vielmehr erarbeitet sie Grundlagen zu den Auswirkungen waldbaulich-waldwachstumskundlicher Maßnahmen auf die Ästigkeit und das Durchmesserwachstum. Es werden zudem Perspektiven für weitere Forschungsansätze zur Ästigkeit und zum Durchmesserwachstum aufgezeigt.



## ABSTRACT

Branchiness and log dimension are two of the most important criteria for the classification and determination of the value of round wood. Thus, this cumulative postdoctoral lecture qualification focuses on the control of branchiness and stem diameter growth for important broadleaved and coniferous tree species in Central and Western Europe, while considering the implications for optimising silvicultural concepts (e.g. publication II). Starting with findings on coniferous tree species (publications I, IV, V, VI, IX, and XII), new statistical procedures are transferred to broadleaved species (publication II, III, VII, VIII, and XI). Furthermore existing knowledge is expanded towards wide-spaced and crop-tree oriented silviculture (publications IV, V, VI, VII, VIII, IX, and XII). By setting up and optimising models and model systems on branchiness and stem diameter growth (publications I, III, VI, IX, X and XI), suggestions for improving existing growth simulators are made. Additionally results from investigations on long-term permanent growth and yield plots with contrasting silvicultural treatments are presented (publications IV, V, VIII, and XII).

Data on branch or tree attributes show characteristics that need special modelling approaches such as discrete information (cf. publications IX, X and VIII, but also metric data, e.g. publications IX, XI). Such data are modelled with generalised linear models. In addition these data are clustered and structured hierarchically, thus mutual dependence of the observations has to be regarded. A proper way to deal with such data has to link the concept of generalised models with the mixed model approach. In addition, in publication I the method of cutpoint-analysis is transferred from non-forest disciplines to questions of branchiness.

As a preparation to more complex model systems, publications XII (Norway spruce) and V (Douglas-fir) focus on descriptive data analysis. Starting from permanent plots on Norway spruce and Douglas-fir, the consequences of contrasting treatments on tree dimensions, branchiness, and stem diameter growth are presented. In the case of publication V, the effect of these contrasting treatments on the extent of sapwood is analysed. There are clear differences in branchiness between tree species. With broadleaved species, the effect of silvicultural interventions on branchiness is less visible compared to coniferous species. In Publication VIII the effects of a crop-tree thinning regime on branchiness, diameter growth, timber assortment, and value production is compared to a treatment with thinning from below. Even after 35 years of observation, there was no significant difference between the contrasting treatments on the height of the crown base. Publication VI sets up allometric models on crown and tree allometry of open grown ash and sycamore trees (OGT) and compares them to previous models from trees from closed stands. Self-pruning of ash and sycamore OGTs was slow. In addition, comparison of crown allometric models for forest trees and open-grown ash and sycamore trees underlined the need for specific models in agroforestry based on OGT. Specifically, when tree diameter being equal, OGTs have larger crowns compared to trees from closed forests.

In contrast to the mere descriptive analysis of branchiness in publications XII, VIII, and V, the publications VI and IX present model-systems on profiles of important branch characteristics within the green crown of Norway spruce and Douglas-fir. Similar variables describing plot, tree, and whorl characteristics were found to be significant predictors on the branch attributes. However there are important differences between Norway spruce and Douglas-fir with respect to branch diameter, branch mortality (branchiness), and number of branches per whorl. The model-system presented for broadleaved species (beech:

publication III, ash and sycamore: publication X) focuses on knottiness. Although the model system is set to determine knottiness, differences between tree species with respect to time to branch occlusion, branch angle, dead branch proportion, and total radius of the occluded branch have been found. The general behaviour of all the models is similar, with exception of the model on the dead branch portion of the occluded branch (black knot). In this case, there are fundamental differences between species: the percentage of dead branch portion is smaller in sycamore when compared to ash, even though the percentage declines as branch diameter increases. The opposite pattern was found for beech: the percentage of dead branch portion increases with increasing branch diameter (publication III).

In a similar way as for the analysis of branchiness and knottiness, the investigations on stem diameter growth were organised into a descriptive analysis (publications XII and V) and modelling approaches (publication XI, Hein 2008). Here the consequences of contrasting and wide-spaced thinning experiments were analysed in the case of Norway spruce and Douglas-fir. Already a short time after such extreme spacing experiments, differences in radial increment between densities can be found. Similar to the investigation on branchiness, the treatments A vs. B for Norway spruce show more pronounced differences compared to the treatments A vs. B for Douglas-fir. According to the European guidelines for timber and lumber grading, these differences also affect timber assortments. Publication IV relates parts of these findings to treatments of results from the European Stem Number Experiment in Norway Spruce, an experiment that is close to practical forestry (and thus less extreme): heavy but also early and continuous thinnings are the most profitable especially when considering interest rates.

In publication XI the individual tree basal area increment of oak as affected by interaction with beech in mixed stands is analysed with the core models of the French growth simulator *Fagacées*. Publication XI quantifies the presence of beech on the basal area increment of oaks in mixed stands; this is the first time in which tree species interaction has been successfully quantified for this specific species mixture by just using traditional, above ground measurements from long-term permanent plots. The individual tree basal area increment depends on tree dimension, stand density (thus on thinning), site index, and on the presence of beech: the more an oak tree is surrounded by beech, the smaller the basal area increment of the competed oaks. With this model it is now possible to show with simple long-term measurements of the above-ground biomass what also has been found in investigations on root growth in mixed oak-beech stands.

However publication XI also shows that besides the previously mentioned predictors, climatic effects may affect the individual tree basal area increment. At short-term predictions, a considerable bias may arise. Basal area increment during the dry-hot years around 1976, as well as during the 50s and 60s, are overestimated. The relatively high share of unexplained variance seems to be related to changing growing conditions. Such a high impact of climatic conditions on stem diameter growth is also confirmed by ongoing research on growth of Norway spruce and silver fir trees from selection forests in southwestern Germany. In addition, Publication XI shows considerable differences in the climate-related response of Norway spruce versus silver fir.

Six of the twelve publications (publications I, III, VI, IX, X, and XI), have been designed as improvements or extensions for existing growth and yield simulators from Germany or France. The modules on branchiness of Norway spruce and Douglas-fir (publications VI and IX) have already been integrated into the growth and yield simulator *W+*. Publication I offers the necessary cutpoints for the branch mortality models for this specific simulator. Publications III and XI offer detailed concepts on how the growth simulator SimCAP, which has been designed for pure and mixed stands of sycamore, ash

---

and beech, can be enlarged by a module on knottiness for all three tree species. Publication XI analyses for how one of the core equations of *Fagacées*, which has been designed for pure stands, can be adapted to mixed stands with oak and beech.

This cumulative postdoctoral lecture qualification presents new findings on the effects of silvicultural activities on branchiness and stem diameter growth. In addition it opens perspectives on future research needs on branchiness and stem diameter growth.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Darstellung des Zusammenhangs der einzelnen Themenfelder der kumulativen Habilitation. _____	9
Abbildung 2: Darstellung des Bezugs der zwölf Einzelpublikationen zu den Themenfeldern der kumulativen Habilitation. _____	10
Abbildung 3: Klassifikationskurve (links) und ROC-Kurve (rechts) zum dynamischen Astmortalitätsmodell _____	17
Abbildung 4: Linke Spalte: Fichte, rechte Spalte: Douglasie. Zeile oben: Mittelwerte der jeweils stärksten Äste je Quirl für alle untersuchten Bäume. Zeile unten: Mittelwerte des Anteils lebender Äste pro Quirl für alle untersuchten Bäume. _____	20
Abbildung 5: Links: Ansatzhöhe des ersten grünen Primärastes für Z-Bäume, bzw. Z-Vergleichsbäume gruppiert nach Durchforstungsvarianten. Rechts: Astfreie Schaftlänge, Ansatzhöhe des ersten grünen Primärastes und Baumhöhe über dem 1 – 400 dicksten Baum je ha der Durchforstungsvariante Altherr. _____	21
Abbildung 6: Simulierte Breite des asthaltigen Kerns in einem Eschenstamm (links) mit einem Brusthöhendurchmesser von 50 cm (Bonität: 21 m in 60 J) sowie für Bergahorn (rechts) (Bonität: 18 m in 60 J) für unterschiedliche Szenarien eines durchschnittlichen Radialzuwachses ( $i_r = 2\text{mm}$ , $3\text{mm/J}$ , rechts: auch $4\text{mm/Jahr}$ ). ____	23
Abbildung 7: Simulierte Breite des asthaltigen Kerns bei Eschen- (links) und Bergahorn (rechts) Solitären, dargestellt als Längsschnitt durch den Schaft bis in 6 m Höhe. ____	24
Abbildung 8: (linke Spalte: Fichte, rechte Spalte: Douglasie) Zeile oben: simulierte Astanzahl pro Quirl für drei Szenarien des HD-Verhältnisses, dargestellt über dem Höhenzuwachs des Vorjahres. Zeile unten: simulierte Astmortalität für kombinierte Szenarien des HD-Verhältnisses und zwei Astdurchmesserszenarien _____	25
Abbildung 9: (linke Spalte: Fichte, rechte Spalte: Douglasie) Zeile oben: simulierte maximale Astdurchmesser pro Quirl für drei Szenarien des HD-Verhältnisses, dargestellt über dem Höhenzuwachs des Vorjahres. Zeile unten: simulierte Astdurchmesser der kleineren Äste je Quirl für drei Szenarien des Astranges und einem gegebenen BHD und HD-Verhältnis _____	26
Abbildung 10: (linke Spalte: Buche, rechte Spalte: Esche und Bergahorn) Zeile oben: simulierte Überwallungsdauer für drei Szenarien eines mittleren Radialzuwachses und eines Radius des Totastanteils des überwallten Astes von 30 mm dargestellt über dem Astdurchmesser zum Absterbezeitpunkt. Zeile unten: Simulierter gesamter Radius des überwallten Astes für drei Szenarien _____	27
Abbildung 11: Zeile oben: simulierter Astansatzwinkel für drei Szenarien eines mittleren Radialzuwachses, dargestellt über dem Astdurchmesser. Zeile Mitte unten: simulierter relativer Totastanteil des überwallten Astes dargestellt über dem Astdurchmesser _____	28

- Abbildung 12: Linke Spalte: Fichte, rechte Spalte: Douglasie. Zeile oben: Mittelwerte des jährlichen Radialzuwachses für alle untersuchten Bäume je Begründungsvariante. Zeile unten: baumweise Mittelwerte des jährlichen Grundflächenzuwachses je Begründungsvariante für alle untersuchten Bäume. \_\_\_\_\_ 31
- Abbildung 13: (A): Stammzahlhaltung seit Versuchsbeginn für drei ausgewählte Versuchsflächen in Baden-Württemberg im europäischen Fichten-Stammzahlversuch für drei Behandlungsvarianten. (B): Durchmesserzuwachs der jeweils 100 dicksten Bäume der drei Behandlungsvarianten. \_\_\_\_\_ 32
- Abbildung 14: Folgen der drei Behandlungsvarianten für die Sortenzusammensetzung des gesamten ausscheidenden Bestandes (A) und des bleibenden Bestandes zur letzten Aufnahme (2001/2003) (B) anhand drei ausgewählter Versuchsflächen in Baden-Württemberg im europäischen Fichten-Stammzahlversuch. \_\_\_\_\_ 34
- Abbildung 15: Simulierte Breite des asthaltigen Kerns einer Eiche (BHD = 50 cm), in längsschnittlicher Darstellung (Bonität: 27 m in 60 J), Schattierung des asthaltigen Kerns von hell zu dunkel: mittlerer Radialzuwachs: 2, 3 und 4 mm/J, A), B: zusätzliche rote Linie zeigt den simulierten asthaltigen Kern einer Eiche unter Seitendruck benachbarter Buchen \_\_\_\_\_ 36
- Abbildung 16: Residuen des segmentierten Grundflächenzuwachsmodells dargestellt über der Mitte der Messperiode (Parametrisierungsdatensatz), geschwungene Linie: kubisch glättender Spline, smoothing-Faktor = 50, die horizontalen Linien unterschiedlicher Länge stellen die Aufnahmeintervalle der aperiodischen Durchmesser-messungen auf den jeweiligen Versuchsflächen dar \_\_\_\_\_ 38
- Abbildung 17: Zufällige Effekte auf Ebene der Messperiode, dargestellt über den Kalenderjahren und der relativen kumulierten Grundfläche für Fichte (A) und Tanne (B) \_\_\_\_\_ 40
- Abbildung 18: Schematische Darstellung des Simulationszyklus im Simulator *Fagacées* mit dem Ort (P.XI) für eine Integration von Publikation XI \_\_\_\_\_ 45

---

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Konfusionsmatrix (2x2 Kontingenztabelle) für Binärdaten (Ereignis = Ast lebend).	16
Tabelle 2: Konfusionsmatrix (2x2 Kontingenztabelle) zum dynamischen Astmortalitätsmodell für zwei unterschiedliche cutpoints.	16