

**Vorschläge zur Optimierung/Verbesserung der  
genetischen Qualität von Saatgut aus  
Erntebeständen bei den Eichenarten  
(*Quercus robur* L. & *Quercus petraea* [*Matt.*] Lieb.)**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. forest.)  
der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie  
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

André Hardtke  
geboren am 19.08.1980 in Salzkotten

Göttingen, Oktober 2022

1. Gutachter: **Prof. Dr. Christian Ammer**

2. Gutachter: **PD. Dr. Ludger Leinemann**

Tag der mündlichen Prüfung: **19.08.2022**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhalt</b>	<b>I</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>V</b>
<b>Summary</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Verbreitung und ökologische Ansprüche der heimischen Eichenarten . . . . .	1
1.2 Morphologische Unterschiede der beiden Eichenarten . . . . .	2
1.3 Hybridisierung zwischen den Eichenarten . . . . .	2
1.4 Reproduktion bei den Eichenarten . . . . .	4
1.4.1 Blüten der Eichen . . . . .	4
1.4.2 Fruktifikation . . . . .	4
1.4.3 Auswirkungen der Fruktifikation auf die Praxis . . . . .	5
1.5 Kulturelle und ökologische Bedeutung der heimischen Eichenarten . . . . .	6
1.6 Waldbauliche und wirtschaftliche Bedeutung der Eichenarten . . . . .	6
1.7 Phänotypische Merkmale und ihre Vererbbarkeit . . . . .	8
1.7.1 Durchmesserwachstum . . . . .	9
1.7.2 Höhenwuchsleistung . . . . .	9
1.7.3 Geradschaftigkeit . . . . .	10
1.7.4 Zwieselwuchs und Steilastigkeit . . . . .	11
1.7.5 Drehwuchs . . . . .	12
1.7.6 Wasserreiser . . . . .	12
1.7.7 Phänotypische Selektion als geeignete Methode zur züchterischen Verbes- serung . . . . .	13
1.8 Rechtliche Grundlagen zum Forstvermehrungsgut . . . . .	13
1.9 Quellen für forstliches Vermehrungsgut . . . . .	15
1.9.1 Saatguterntebestände für Eiche . . . . .	15
1.9.2 Samenplantagen von Eichen . . . . .	16
1.10 Saatgutgewinnung durch Einzelbaumberntung . . . . .	17
1.11 Beerntungs- und Behandlungsvarianten . . . . .	19
1.12 Ziele / Arbeitshypothesen . . . . .	20
<b>2 Phänotypische Variabilität innerhalb der Erntebestände</b>	<b>23</b>
2.1 Einleitung . . . . .	23

2.2	Material und Methoden . . . . .	23
2.2.1	Auswahl und Erfassung der Testbestände . . . . .	23
2.2.2	Aufnahme der Leistungs- und Formparameter . . . . .	25
2.2.3	Einteilung in Qualitätsstufen . . . . .	26
2.2.4	Theoretischer Leistungsgewinn bei Einzelbaumbeerntung . . . . .	28
2.3	Ergebnisse . . . . .	29
2.3.1	Phänotypische Ausstattung Testbestand Cottbus . . . . .	29
2.3.2	Phänotypische Ausstattung Testbestand Dassel . . . . .	32
2.3.3	Phänotypische Ausstattung Testbestand Grünenplan . . . . .	34
2.3.4	Phänotypische Ausstattung Testbestand Reinhardshagen . . . . .	37
2.3.5	Phänotypische Ausstattung Testbestand Sichelstein . . . . .	39
2.3.6	Potentieller Leistungsgewinn bei Einzelbaumbeerntung in den Testbeständen	42
2.4	Diskussion . . . . .	43
2.4.1	Phänotypische Variabilität der Testbestände . . . . .	43
2.4.2	Qualitätsmodell . . . . .	44
<b>3</b>	<b>Methodenteil Genetik</b>	<b>47</b>
3.1	Aufbereiten des Probenmaterials . . . . .	47
3.2	Extraktion der DNA . . . . .	47
3.3	PCR und Sequenzierung . . . . .	48
3.4	Mikrosatelliten . . . . .	48
3.5	Variationsmaße . . . . .	49
3.5.1	Genetische Variation in Beständen . . . . .	49
3.5.2	Genetische Variation zwischen Beständen . . . . .	52
3.6	Test auf Homogenität . . . . .	53
3.7	Nullallele . . . . .	53
3.8	Berechnungen zur Artbestimmung . . . . .	54
3.9	Berechnung der Variationsmaße . . . . .	54
3.10	Elternschaftsanalysen . . . . .	55
<b>4</b>	<b>Genetische Vielfalt und Diversität innerhalb der Testbestände</b>	<b>57</b>
4.1	Einleitung . . . . .	57
4.2	Aufnahme, Verarbeitung und Auswertung der Proben . . . . .	58
4.3	Ergebnisse . . . . .	58
4.3.1	Artreinheit der Testbestände . . . . .	58
4.3.2	Genetische Vielfalt, Diversität und Differenzierung zwischen den Testbeständen . . . . .	59
4.3.3	Auswirkungen der Klassifizierung auf die Bestandesvielfalt und Diversität	64
4.3.4	Auswirkungen der Behandlungsvarianten auf die Bestandesvielfalt und Diversität . . . . .	67

4.4	Diskussion . . . . .	70
4.4.1	Artreinheit der Testbestände . . . . .	70
4.4.2	Genetische Vielfalt, Diversität und Differenzierung zwischen den Beständen	70
4.4.3	Auswirkung der Klassifizierung auf die Bestandesvielfalt und Diversität .	72
4.4.4	Mindestbaumzahl bei Einzelbaumberntung . . . . .	73
4.4.5	Auswirkungen der Behandlungsvarianten auf die Bestandesvielfalt und Diversität . . . . .	75
<b>5</b>	<b>Fremdsamenanteil bei Einzelbaumberntung</b>	<b>77</b>
5.1	Einleitung . . . . .	77
5.2	Aufnahme, Verarbeitung und Auswertung der Proben . . . . .	78
5.2.1	Berechnung der Freistellungsabstände . . . . .	80
5.3	Ergebnisse . . . . .	81
5.3.1	Fremdsamenanteil unter den Erntebäumen . . . . .	81
5.3.2	Simulation des Abstandes der Erntebäume . . . . .	83
5.3.3	Auswirkungen der Behandlungsvarianten auf die Bestände . . . . .	85
5.4	Diskussion . . . . .	89
5.4.1	Fremdsamenanteil unter den Erntebäumen . . . . .	89
5.4.2	Simulation des Abstandes der Erntebäume . . . . .	90
5.4.3	Auswirkungen der Behandlungsvarianten . . . . .	91
<b>6</b>	<b>Bestäubungsverhältnisse innerhalb der Testbestände</b>	<b>95</b>
6.1	Einleitung . . . . .	95
6.2	Aufnahme, Verarbeitung und Auswertung der Proben . . . . .	97
6.3	Ergebnisse . . . . .	97
6.3.1	Bestäubungssituation innerhalb der Beerntungseinheit . . . . .	97
6.3.2	Zusammensetzung der Pollenwolke in den Testbeständen . . . . .	101
6.4	Diskussion . . . . .	102
6.4.1	Bestäubungssituation innerhalb der Beerntungseinheit . . . . .	102
6.4.2	Zusammensetzung der Pollenwolke in den Testbeständen . . . . .	103
<b>7</b>	<b>Evaluierung der Beerntungs- und Behandlungsvarianten</b>	<b>105</b>
7.1	Einleitung . . . . .	105
7.2	Ergebnis der Evaluierung . . . . .	106
7.2.1	Grundlegende Erkenntnisse . . . . .	106
7.2.2	Variante 0 . . . . .	106
7.2.3	Evaluierung der Variante 1 . . . . .	107
7.2.4	Evaluierung der Variante 2 . . . . .	107
7.2.5	Evaluierung der Variante 3 . . . . .	108
7.2.6	Evaluierung der Variante 4 . . . . .	109
7.2.7	Abschließende Betrachtung . . . . .	109

7.3	Rechtliche Rahmenbedingungen für selektive Einzelbaum-Ernten . . . . .	110
<b>8</b>	<b>Untersuchungen an Einzelbaumabsaaten</b>	<b>113</b>
8.1	Einleitung . . . . .	113
8.2	Material und Methoden . . . . .	113
8.2.1	Auswahl der Bestände . . . . .	113
8.2.2	Ausgewählte Erntebäume . . . . .	115
8.2.3	Ernte, Lagerung und Weiterverarbeitung des Saatgutes . . . . .	115
8.2.4	Aussaat in das Saatbeet . . . . .	118
8.2.5	Aufnahme nach der ersten Vegetationsperiode . . . . .	119
8.2.6	Statistische Verfahren . . . . .	120
8.3	Ergebnisse der ersten Datenaufnahme . . . . .	121
8.3.1	Eichelmaße der Einzelbaumabsaaten . . . . .	121
8.3.2	Tausendkorngewichte der Größensortierungen . . . . .	123
8.3.3	Planzenprozente der Einzelbaumabsaaten . . . . .	125
8.3.4	Höhenwuchsleistung der Einzelbaumabsaaten . . . . .	128
8.3.5	Wurzelhalsdurchmesser der Einzelbaumabsaaten . . . . .	132
8.3.6	Form der Einzelbaumabsaaten . . . . .	135
8.4	Diskussion . . . . .	139
8.4.1	Eichelmaße der Einzelbaumabsaaten . . . . .	139
8.4.2	Tausendkorngewichte der Einzelbaumabsaaten . . . . .	141
8.4.3	Pflanzenprozente der Einzelbaumabsaaten . . . . .	142
8.4.4	Höhenwuchsleistung der Einzelbaumabsaaten . . . . .	144
8.4.5	Wurzelhalsdurchmesser der Einzelbaumabsaaten . . . . .	145
8.4.6	Form der Einzelbaumabsaaten . . . . .	146
8.4.7	Erkenntnisse für das Saatguterntekonzept und abschließende Diskussion .	147
	<b>Literatur</b>	<b>149</b>
	<b>Anhang</b>	<b>183</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>235</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>237</b>
	<b>Danksagung</b>	<b>239</b>
	<b>Curriculum Vitae</b>	<b>241</b>

# Zusammenfassung

Klimamodelle prognostizieren trockenere, wärmere Sommermonate und immer häufiger auftretende Dürreereignisse. Als klimastabilere Baumarten werden die Eichen daher gegenüber anderen Laubbäumen stark an Bedeutung zunehmen und ihr Verbreitungsgebiet in höheren Lagen sogar erweitern. Gleichzeitig steigt der Nutzungsdruck auf die einheimischen Wälder. Der Rohstoffbedarf unserer Gesellschaft steigt, während immer mehr Flächen mit Nutzungsrestriktionen belegt werden oder gänzlich als Produktionsfläche ausfallen. Soll der Wald auch zukünftig als nachhaltige Rohstoffquelle fungieren, muss die Produktivität zukünftiger Bestände erhöht werden.

Massenleistung und Stammqualität sind entscheidende Größen in der Eichenwirtschaft. Jedoch entscheiden eine Vielzahl von Merkmalen über die jeweilige Qualität des Holzes und damit über den wirtschaftlichen Erfolg. Einige Merkmale werden durch den Standort beeinflusst oder unterliegen größtenteils einer waldbaulichen Kontrolle. Andere wiederum unterliegen zu deutlichen Anteilen einer genetischen Kontrolle und sind nur wenig waldbaulich steuerbar. Damit entscheidet die genetische Qualität des Pflanz- und Saatgutes, mit dem die Bestände begründet werden, maßgeblich über den späteren wirtschaftlichen Erfolg.

Als Hauptquelle für forstliches Vermehrungsgut können Saatguterntebestände angeführt werden, die in der Regel flächig oder in Teilbereichen beerntet werden. Ein gesteigertes Leistungspotential des Saat- und Pflanzgutes kann bei dieser Beerntungsmethode allerdings ausgeschlossen werden, weil die genetische Qualität des Saatgutes der des Ausgangsbestandes entspricht. Als weitere Quelle können Samenplantagen angeführt werden, die Saatgut mit leistungssteigerndem Potential und besseren Formeigenschaften bereitstellen. Aktuell tragen Samenplantagen jedoch aufgrund ihrer geringen Fläche nur gering zum Saatgutaufkommen bei. Erst mittelfristig kann über die Anlage neuer Plantagen die Versorgungssituation verbessert werden. Kurzfristig bedarf es daher anderer Lösungen. In der vorliegenden Arbeit wurde ein Konzept erarbeitet, welches die Möglichkeiten der Gewinnung von höherwertigem Vermehrungsgut aus bestehenden Saatguterntebeständen analysiert und kurzfristig umsetzbar ist.

Das hier vorgestellte Konzept basiert auf der ausschließlichen Beerntung von phänotypisch hervorragenden Einzelbäumen. Dadurch kann die genetische Qualität des Saatgutes über den mütterlichen Beitrag gesteigert werden. Zusätzlich wurden waldbauliche Maßnahmen formuliert, die zum einen den Fremdsamenanteil unter den Erntebäumen minimieren und zum anderen die genetische Qualität des Pollens auf der väterlichen Seite erhöhen. Insgesamt wurden vier Hauptvarianten erarbeitet, die sich hinsichtlich der genetischen Qualität des Saatgutes und der waldbaulichen Eingriffsstärke unterscheiden.

Zur Validierung der einzelnen Varianten wurden in vier Saatguterntebeständen von Stiel- und

Trauben-Eichen Testflächen eingerichtet. In ihnen wurden alle Eichen bonitiert (Leistungs- und Formmerkmale) und die jeweiligen Positionen erfasst. Zusätzlich wurde von jedem Baum eine Probe für genetische Untersuchungen genommen. Darüber hinaus wurde Saatgut zur Bestimmung des Fremdsamenanteils und zur Analyse der Bestäubungssituation systematisch eingesammelt. Mit Hilfe eines Klassifizierungssystems wurden alle Eichen einer Qualitätsstufe zugeordnet und ihre Eignung als Erntebaum festgelegt. Anhand der Testbestände wurden anschließend eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt, die zur Validierung der einzelnen Varianten benötigt wurden.

Alle Testbestände zeichnen sich durch eine hohe phänotypische Variation aus. Bei vielen der betrachteten Formmerkmale sind alle Ausprägungsstufen vorhanden. Die Klassifizierung der Bestände zeigt außerdem, dass nur ein geringer Anteil der Bäume eines Bestandes für die Produktion höherwertigen Saatgutes geeignet ist. Ein hoher Prozentsatz der Bäume ist aufgrund seiner schlechten phänotypischen Ausstattung für die Saatgutproduktion gänzlich ungeeignet. Ein Modell liefert zusätzlich Informationen über den theoretischen Leistungsgewinn bei Einzelbaumbeerntung. Dafür wurde den einzelnen Qualitätsstufen ein Zugewinn an Leistung zugewiesen. Ausgehend von den Beerntungs- und Behandlungsvarianten und den daran beteiligten Mütter- und Väterkollektiven wurden die möglichen Leistungssteigerungen berechnet und gegenüber gestellt. Aufgrund der Modellannahmen wird bei einer flächigen Beerntung keine leistungssteigernde Wirkung erzielt. Eine Einzelbaumbeerntung führt hingegen zu merklichen Leistungssteigerungen, die durch die verschiedenen Behandlungsvarianten nochmals gesteigert werden können.

Die Auswertung der genetischen Daten ergab, dass die Bestände als weitestgehend artrein (Stiel- bzw. Trauben-Eiche) bezeichnet werden können. Lediglich ein Bestand weist eine hohe Durchmischung mit der anderen Eichenart auf. Hybridisierungstendenzen konnten nicht nachgewiesen werden. Die betrachteten Variationsparameter zeigen Werte, die etwa auf dem Niveau von Kollektiven anderer Untersuchungen liegen. Zwischen den Testbeständen sind die Unterschiede meist nur gering. Lediglich bei der genetischen Vielfalt, die stark abhängig von der Populationsgröße ist, konnten größere Schwankungen beobachtet werden. Die Einteilung der Bäume in Qualitätsstufen und der damit verbundenen Festlegung der jeweiligen Erntekollektive führt abhängig von der Subpopulationsgröße und den betrachteten Variationsparametern z.T. zu starken Verlusten an Vielfalt und Diversität in den jeweiligen Kollektiven. Seltene Allele gehen vielfach verloren, die vorliegenden Drifteffekte sind jedoch ungerichtet. Parallel zu der Klassifizierung wurden auch die Auswirkungen der Behandlungsvarianten untersucht. Es zeigt sich, dass bei Hinzunahme der potentiellen Pollenspender zu den Erntekollektiven die Auswirkungen weitestgehend kompensiert werden können. Daher können auch Behandlungsvarianten mit stärkeren Eingriffen in Betracht gezogen werden, ohne dass die Vielfalt und Diversität zu stark herab gesetzt werden.

Elternschaftsanalysen zeigten, dass besonders unter dem Kronenrand der Erntebäume mit beträchtlichen Beimischungen durch Fremdeicheln der Nachbarbäume zu rechnen ist. Eicheln von weiter entfernten Bäumen konnten ebenfalls nachgewiesen werden. Die Erntebäume müssen daher frei gestellt werden, damit eine möglichst hohe Saatgutreinheit gewährleistet werden kann. Mit Hilfe von logistischen Regressionen wurde eine mittlere Freistellungsdistanz berechnet, die für die Grundflächenbetrachtung der Behandlungsvarianten verwendet wurde. Die alleinige

Freistellung der Erntebäume bedeutet vielfach eine bereits deutlich über der regulären Durchforstungsstärke liegenden Behandlung. Darüber hinaus gehende Behandlungen der Bestände führen zu Grundflächenreduktionen, die eine weitestgehende Auflösung der Bestandestruktur zur Folge hätten.

Eine Analyse der Bestäubungssituation ergab, dass ein großer Teil des Pollens seinen Ursprung von außerhalb der Testflächen hat. Von den Pollen, deren Väter identifiziert werden konnten, stammt ein hoher Anteil aus der unmittelbaren Umgebung, aber auch hier wurden z.T. hohe Bestäubungsdistanzen festgestellt. Selbstung konnte bei den untersuchten Nachkommen nicht nachgewiesen werden. Insgesamt wurde eine starke Pollendurchmischung festgestellt, was sich an den hohen Väterzahlen an den Mutterbäumen äußert. Ebenfalls zeigen viele Väter einen nur einfachen Bestäubungserfolg, deutlich seltener konnten größere Vollgeschwisterfamilien identifiziert werden. Schlussendlich wurde der Pollenanteil der jeweiligen Qualitätsstufen ermittelt. Dabei zeigte sich, dass Pollen von phänotypisch schlechten Bäumen nicht überproportional am Gesamtpollenaufkommen vertreten ist.

Alle angeführten Untersuchungen wurden zur abschließenden Evaluation genutzt. Eine Gegenüberstellung zeigt, dass sich die Varianten deutlich hinsichtlich ihres Kosten-Nutzen-Verhältnisses unterscheiden. Besonders die Varianten mit starken waldbaulichen Eingriffen scheinen für den Privatwald uninteressant zu sein, lediglich für den öffentlichen Waldbesitz wären sie unter gewissen Voraussetzungen denkbar. Mit den ausgearbeiteten Varianten stehen aber Optionen bereit, höherwertiges Vermehrungsgut bereit zu stellen. Den Waldbesitzern können somit abhängig von ihrer Bereitschaft, höherwertiges Vermehrungsgut zu produzieren, angepasste Varianten angeboten werden.

Parallel zum Saatguternte- und Behandlungskonzept wurde ein Absaatenversuch angelegt, um die Grundannahme einer Überlegenheit von Nachkommen phänotypisch besserer Bäume gegenüber schlechteren zu überprüfen. Eicheln der in die Untersuchung einbezogenen guten Einzelbäume sind im Mittel größer als die schlechter Bäume, zeigen aber ein schlechteres Auflaufverhalten. Die einjährigen Sämlinge von phänotypisch guten Einzelbäumen zeigen im Mittel ein besseres Höhenwachstum und einen größeren Wurzelhalsdurchmesser. Jedoch konnten keine eindeutigen Tendenzen bei der Wuchsform festgestellt werden. Mit dem Material wurde eine Versuchsserie angelegt, die zu späteren Zeitpunkten weitere Erkenntnisse liefern wird.



## Summary

Climate models predict drier and warmer summer months and increasingly frequent drought events. As a more climate-resilient tree species, oak will therefore become much more important than other deciduous trees and even expand its distribution area at higher altitudes. At the same time, utilization pressure on native forests is increasing. The demand for raw materials in our society is increasing, while more and more land area used for production purposes is no longer available. If the forest is to continue its function as a sustainable source of raw material in future, the productivity of future stands has to be increased.

Growth performance and log quality are important factors in oak management. However, many characteristics determine the respective quality of the timber and thus the economic success. Some characteristics are controlled by environmental factors such as site conditions or silvicultural management regimes. Others are under significant genetic control and can only be influenced to a limited extent by silvicultural methods. Thus, the genetic quality of the forest reproductive material for the establishment of future oak stands is decisive for the subsequent economic success.

The primary source of forest reproductive material are registered seed stands, which are usually harvested over their entire area or over parts of their area. However, an increased performance potential of the seed and planting material can be excluded with this harvesting method, because the genetic quality of the seed corresponds to that of the initial stand. A further source are seed orchards, providing seed with performance-enhancing potential and better form characteristics. However, seed orchards contribute little to seed production due to their small number and sizes. Only in the mid-term the supply situation can be improved by establishing new seed orchard plantations. In the short-term, other solutions are needed. In the present study, therefore, a concept was developed which examines alternatives of obtaining higher-quality reproductive material from existing seed stands and which can be implemented in the shorter term.

The concept presented here is based on the exclusively harvesting of phenotypically outstanding trees. This allows the genetic quality of the seed to be increased via the maternal contribution. In addition, silvicultural treatments were developed which, on the one hand, minimize the proportion of foreign seed among the harvested trees and, on the other hand, increase the genetic quality of the paternal pollen. Altogether, four main variants were developed, which differ with regard to the genetic quality of the seed and the silvicultural cutting intensity.

To validate the individual variants, test sites were established in four seed stands of pedunculate and sessile oaks. On these test sites, a quality assessment was performed on all oak trees (performance and shape characteristics) and the respective positions were recorded. In addition,

a cambium sample was taken from each tree for genetic analysis. Furthermore, seeds were systematically collected and used to determine the proportion of foreign seeds and the pollination patterns. A classification system was used to assign all oaks into a quality category and to determine their potential as a harvest tree. Using the test sites, a series of investigations were carried out, which were needed to validate the variants.

All test sites exhibit high phenotypic variation. All levels of phenotypes are found for many of the traits considered. The classification of the stands also reveals that only a small percentage of the trees are suitable for the production of higher quality seed. A high percentage of trees are completely inappropriate for seed production due to their poor phenotypic characteristics. A model provides additional information on the theoretical gain when individual tree harvesting is carried out. For this purpose, a gain in performance was assigned to the individual quality categories. Based on the harvesting and treatment variants and the involved maternal and paternal collectives, the potential increases in performance were calculated and compared. Based on the model assumptions, no increase in performance is achieved with areal harvesting. Single-tree harvesting, on the other hand, leads to noticeable increases in performance, which can be further increased by the different silvicultural treatment variants.

The evaluation of the genetic data showed that the stands can be described as almost species-pure, either pedunculate oak or sessile oak. Only one stand shows a high degree of admixture with the other oak species. Tendencies for hybridization between the two oak species cannot be detected. The variation parameters exhibit values that are comparable to collectives from other studies. Between the test stands, the differences are small in most cases. Only for genetic diversity measures, which are strongly dependent on population size, larger variations could be observed. The classification of the trees into quality categories and the determination of the respective harvesting collectives lead, depending on the subpopulation size and the variation parameters considered, in part to strong losses in diversity in the respective collectives. Rare alleles are often getting lost, but the drift effects are undirected. Along with the classification, the effects of the silvicultural treatment variants were also investigated. It turns out that when the potential pollen donors are added to the harvesting collectives, the effects can be compensated for to a large extent. Therefore, treatment variants with a stronger cutting intensity can also be considered without reducing diversity too much.

Parentage analyses showed that considerable admixture by acorns from neighbouring trees is to be expected, especially at the crown edge of the harvesting trees. Acorns from trees located further away could also be detected. Thus, the harvesting trees have to be released (release felling) in order to guarantee the highest possible seed purity. Logistic regressions were used to calculate a mean clearance distance, which was used for the basal area consideration of the treatment variants. In many cases, release fellings around the harvested trees alone means a treatment that is already significantly higher than the regular thinning intensity. Treatments of the stands that go beyond this lead to reductions in basal area that would result in the most extensive dissolution of the stand structure.

An analysis of the pollination situation showed that a large part of the pollen originates from

outside the test sites. Pollen from identified fathers within the test sites mostly originates from the immediate vicinity, but high pollination distances were also found in a number of cases. Selfing could not be detected in the examined progenies. Overall, a strong pollen mixture was observed, which is reflected in the high numbers of pollen donors observed in the seed of the harvested mother trees. Likewise, many fathers showed only sporadic pollination success so that larger full sib families could rarely be identified. Finally, the pollen proportions of the respective quality categories was determined. Thereby, it was observed that pollen from phenotypically low quality trees is not overrepresented in the total pollen supply.

All the studies performed were used for final evaluation. A comparison shows that the variants differ significantly in terms of their cost-benefit ratio. Especially the variants with strong silvicultural impacts appear to be of no interest for private forests. Only for the state forest ownership they could be conceivable under certain conditions. However, with the alternative variants worked out, there are options available to provide higher-quality reproductive material. Thus, forest owners can be offered adapted variants depending on their acceptance to produce higher-quality reproductive material.

In addition to the seed harvesting and treatment concept, a trial was established to test the basic assumption of a superiority of the progeny of phenotypically high quality trees over worse ones. Acorns of the good individual trees included in the study are on average larger than those of poorer trees, but show poorer germination behaviour. The one-year-old seedlings of phenotypically good trees show on average improved height growth and a larger root collar diameter. However, no clear tendencies in growth habit could be found. The material was used to establish a trail series that will provide further findings at later dates.



# 1 Einleitung

## 1.1 Verbreitung und ökologische Ansprüche der heimischen Eichenarten

Die Gattung *Quercus* ist in der nördlichen Hemisphäre mit vielen Arten vertreten. Dabei reichen die Schätzungen von 320 bis 450 Arten, die sich hauptsächlich auf Nord- und Mittelamerika, Europa und Vorderasien verteilen (KRAHL-URBAN, 1959; KRÜSSMANN, 1978; NIXON, 1993). Auf Europa entfallen davon lediglich 10 bis 12 Arten (KRAHL-URBAN, 1959; NIXON, 1993). Von den in Deutschland vorkommenden Eichenarten sind die Stiel-Eiche (*Quercus robur* L.) und die Trauben-Eiche (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) am häufigsten vertreten. Beide Arten sind auf dem mitteleuropäischen Teil des Kontinentes am häufigsten zu finden. Lediglich Nord- und Mittelskandinavien sowie der Mittelmeerraum werden großräumig gemieden. Die Stiel-Eiche rückt dabei auch in Regionen mit kälteren Wintern in Osteuropa und Russland vor, die die Trauben-Eiche meidet (DENGLER, 1930). Damit verfügt die Stiel-Eiche über ein größeres Verbreitungsgebiet als die Trauben-Eiche (vgl. Abb. 1.1). In den höheren Lagen der Mittelgebirge und den Hochalpen ist die Eiche nicht zu finden. Im Harz steigen Stiel- und Trauben-Eiche auf 490 bis 590 Höhenmeter (DENGLER, 1930). In den Zentralalpen kommen beide Eichenarten noch bei 1000 bzw. 1185 m vor (KRAHL-URBAN, 1959). Generell steigt die Traubeneiche in den Gebirgen höher als die Stiel-Eiche (BURGER, 1926; DENGLER, 1930; JONES, 1959; KRAHL-URBAN, 1959).

Standörtlich besetzen die Eichenarten unterschiedliche Habitate. Stiel-Eichen besiedeln vornehmlich schwere, eher basische und gut nährstoffversorgte Standorte. Sie ertragen anstehendes Grundwasser und überstehen auch periodische Überflutungen. Daher sind sie häufig in den Niederungen, in Auen und an Flüssen zu finden. Trauben-Eichen hingegen bevorzugen eher saure, mäßig nährstoffversorgte Standorte. Sie sind empfindlich gegenüber anstehendem Grundwasser und benötigen gut drainierte Standorte. Daher finden sich Trauben-Eichenbestände häufiger an Hügeln, Bergkuppen und trockenen Hängen (MAYR, 1925; BURGER, 1926; DENGLER, 1930; JONES, 1959; GARDINER, 1974; AAS, 1994b; AAS, 1994a). Generell besitzen Stiel-Eichen einen größeren physiologischen Optimalbereich als die Trauben-Eichen (ELLENBERG, 1996).

Nach der dritten Bundeswaldinventur von 2012 ist Deutschland auf einer Fläche von 10,9 Mio. Hektar bewaldet (THÜNEN-INSTITUT, 2012). Mit 1,1 Mio. Hektar sind die beiden Eichenarten mit einem Flächenanteil von 10,4 % an der Bestockung beteiligt. Damit sind die beiden Eichenarten zusammengefasst hinter der Buche die zweit häufigste Laubbaumartengruppe in Deutschland. Bundesweit sind 48 % der Eichenbestände älter als 100 und ca. 11 % davon sogar älter als 160

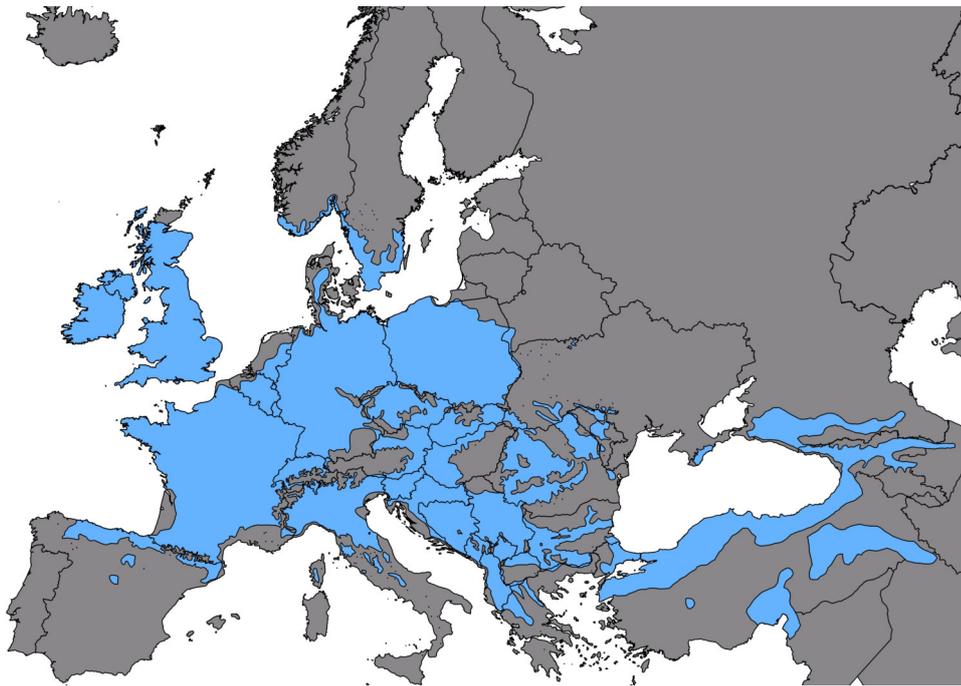
Jahre (THÜNEN-INSTITUT, 2012).

## 1.2 Morphologische Unterschiede der beiden Eichenarten

Die heutigen gängigen botanischen Namen (Stiel-Eiche) *Quercus robur* und (Trauben-Eiche) *Quercus petraea* wurden 1755 und 1784 erstmals von den Botanikern Linné und Lieblein eingeführt. Es gibt eine Reihe von einfachen morphologischen Merkmalen, anhand derer die beiden Eichenarten unterschieden werden können. Nach BURGER (1921) sind die Knospen der Trauben-Eiche dick, kantig und eiförmig, die der Stiel-Eiche hingegen schlank und spitz. Trauben-Eichen-Blätter sind länger gestielt, von regelmäßiger Form mit einer keilförmigen Blattbasis. Blätter der Stiel-Eiche sind sehr kurz gestielt, von unsymmetrischer Form mit einer ungleich gehörnten Basis. Eicheln der Stiel-Eiche sitzen meistens an langen Stielen, die der Trauben-Eiche geklumpt am Zweig. Darüber hinaus gibt es noch weitere blattmorphologische Merkmale (COUSENS, 1963; COUSENS, 1975; RUSHTON, 1983). Blätter der Stiel-Eiche sind meistens kahl und zeigen Zwischenerven. Die der Trauben-Eiche haben Sternhaare auf der Spreitenfläche, Büschelhaare entlang Mittelrippe und Nervenwinkel. Zwischenerven sind gar nicht oder nur im unteren Blattdrittel ausgeprägt (AAS, 1995; KLEINSCHMIT, 1995). Viele Merkmale zeigen eine hohe Varianz in ihrer Ausprägung und überlappen sich bei den beiden Eichenarten. Zur sicheren Artbestimmung werden deshalb mehrere Merkmale benötigt (KRAHL-URBAN, 1959). In morphologischen Untersuchungen über die Artunterscheidung haben sich die Merkmale Blattstiellänge, Zwischenerven und Blatthaare für die Artunterscheidung als besonders effektiv herausgestellt (AAS, 1993a; KREMER et al., 2002).

## 1.3 Hybridisierung zwischen den Eichenarten

Die im Abschnitt 1.2 erwähnten Blattmerkmale zeigen eine große Varianz bezüglich ihrer Merkmalsausprägung (RUSHTON, 1978; ELSNER, 1993; RUSHTON, 1993). Es ist daher nicht möglich, anhand von nur einem morphologischen Merkmal die beiden Arten sicher zu unterscheiden. Vielmehr müssen mehrere Merkmale gleichzeitig betrachtet werden (COUSENS, 1963; COUSENS, 1975). Trotz der Verwendung von mehreren morphologischen Merkmalen können Bäume z.T. nicht eindeutig einer Art zugewiesen werden. Es wurde daher angenommen, dass es sich bei diesen morphologischen Mischformen um Arthybride handeln muss. Abhängig von der Definition der Hybridisierung konnten in Eichenbeständen Hybridisierungsraten von 5 bis 13,3 % ermittelt werden (RUSHTON, 1978; DUPOUEY, 1983; RUSHTON, 1983). In Versuchen wurde daraufhin die Hybridisierbarkeit durch künstliche Bestäubung beider Eichenarten nachgewiesen (AAS, 1991; SCHÜTE, 1995; STEINHOFF, 1998). Die Tatsache, dass zwischen den Eichenarten Hybride ausgebildet werden können, führte zur kontroversen Diskussion ob Stiel- und Trauben-Eiche zwei getrennte Arten sind oder nicht (KLEINSCHMIT und SVOLBA, 1995; KLEINSCHMIT et al., 1995; AAS, 1997). Heute besteht weitestgehend Einigkeit darüber, dass es sich um zwei getrennte Arten handelt (AAS, 2007), nicht zuletzt auch aufgrund neuer Möglichkeiten, die die Genetik bietet,



**Abbildung 1.1:** Verbreitungsareale der Stiel-Eiche (oben) und Trauben-Eiche (unten) (EUFORGEN, 2009a; EUFORGEN, 2009b), Maßstab 1:17000000

zwischen den Arten zu differenzieren (MUIR et al., 2000; DEGUILLOUX et al., 2003; LEPAIS et al., 2006; HÖLTKEN et al., 2012; NEOPHYTOU et al., 2015).

## **1.4 Reproduktion bei den Eichenarten**

### **1.4.1 Blüten der Eichen**

Stiel- und Trauben-Eichen sind monözisch (JONES, 1959; AAS, 1994a; DUCOUSSO et al., 1993) und werden über den Wind bestäubt (DENGLER, 1930; SHARP und CHISMAN, 1961; AAS, 1994a). Bei den männlichen Blüten handelt es sich um schlaff hängende Kätzchen, die gebüschelt aus Blütenknospen letztjähriger Triebe oder aus den Blattachseln der unteren Sprosssteile diesjähriger Triebe hervorgehen. Weibliche Blüten der Stiel-Eichen befinden sich blattachselständig an den Spitzen der diesjährigen Triebe in deutlich gestielten Ähren. Blüten der Trauben-Eiche liegen ebenfalls in den Blattachseln diesjähriger Triebe, sind jedoch gar nicht oder nur kurz gestielt (AAS, 1994b; AAS, 1994a). Jede Blüte besteht aus drei Fruchtknoten mit zwei Eizellen, von denen in der Regel nur eine befruchtet wird (JONES, 1959; GARRISON und AUGSPURGER, 1983; AAS, 1994b). Durch die befruchtete Eizelle wird die Entwicklung weiterer Eizellen unterdrückt (MOGENSEN, 1975). Die Reihenfolge der Blütenentwicklung wird unterschiedlich beschrieben. Einige Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass sich die männlichen Blüten vor den weiblichen Blüten entwickeln (LONGMAN und COUTTS, 1974; DUCOUSSO et al., 1993). In anderen Arbeiten wird von einer Vorweiblichkeit der Eichen gesprochen (AAS, 1994b; AAS, 1994a). Die Narben der weiblichen Blüten sind nur wenige Tage bestäubungsfähig (AAS, 1991; DUCOUSSO et al., 1993). Durch die ausgeprägte Blühchronologie kann die Selbstung weitestgehend ausgeschlossen werden. In Kreuzungsversuchen wurde die Annahme der Selbststerilität bestätigt (AAS, 1991; STEINHOFF, 1998). Die Blütezeit als Ganzes beginnt mit dem Laubaustrieb im Frühjahr und dauert je nach Witterung maximal zwei bis drei Wochen (SHARP und CHISMAN, 1961; AAS, 1994b). Zwischen den beiden Eichenarten können keine unterschiedlichen Blühzeitpunkte beobachtet werden (BACILIERI et al., 1993; BACILIERI et al., 1994; SCHÜTE, 1995; CHESNOIU et al., 2009; JENSEN et al., 2009). Freistehende Eichen blühen erst ab einem Alter von 20 Jahren, in Beständen sogar weitaus später (JONES, 1959; LONGMAN und COUTTS, 1974).

### **1.4.2 Fruktifikation**

In geschlossenen Beständen fruktifizieren Eichen erst ab einem Alter von 45 bis 100 Jahren. Stehen die Bäume im Freiland, kann früher, bereits nach 40 Jahren, mit dem Einsetzen der „Mannbarkeit“ gerechnet werden (BURGER, 1921; JONES, 1959; KRAHL-URBAN, 1959; ROHMEDEK und SCHÖNBACH, 1959; ROHMEDEK, 1972). Es wurde aber auch schon von Fällen berichtet, in denen Individuen bereits im jungen Alter von 7 bis 8 Jahren Eicheln ausbildeten (AAS, 1993b). Eichen fruktifizieren nicht jedes Jahr sondern in Intervallen. In der Forstpraxis wird von einer Mast gesprochen. Diese wird je nach Stärke in Voll-, Halb-, Spreng- oder Fehlmast unterteilt (DENGLER, 1930). Generell kann eine Mast als die synchrone Produktion von großen Saatgutmengen in einer

Population oder Gemeinschaft bezeichnet werden. Sie tritt in unterschiedlichen Intervallen auf, zeigt aber für die einzelnen Baumarten ein typisches periodisches Muster (SILVERTON, 1980; KELLY, 1994). Masten haben besonders bei schwersamigen Früchten den Vorteil, dass mögliche Samenprädatoren übersättigt werden. Ein höherer Saatgutanteil überlebt und kann zur erfolgreichen Reproduktion beitragen. Samenlose Jahre hingegen reduzieren den Prädatorenbestand und halten ihn niedrig. Als weitere Gründe für Masten können die Polleneffizienz bei gleichzeitiger Reproduktion und Ressourcenverfügbarkeit genannt werden (SILVERTON, 1980; SORK, 1993; KELLY, 1994; WOHLGEMUTH et al., 2016).

Eichen zeigen relativ häufig Blühjahre. Jedoch führen die Blütezeiten nicht zwangsläufig zu ebenso häufigen Samenjahren (ROHMEDEK, 1972; SHAW, M. W., 1974). In vielen Fällen schädigen Spätfröste die Blütenanlagen und verhindern die Ausbildung einer Mast (BURGER, 1921; SHARP und CHISMAN, 1961; SHARP und SPRAGUE, 1967; ROHMEDEK, 1972). Während der Entwicklung wirken sich nasse und kühle oder zu trockene Sommer negativ auf die Entwicklung der Eicheln aus (KRAHL-URBAN, 1959). Eichenwicklerbefall kann ebenfalls zum Ausfall der Mast führen (KLÖCK, 1963; MAURER, 1964; SCHENK, 1994). Vollmasten treten daher relativ selten in Erscheinung. Lediglich in jedem vierten bis sechsten Jahr kann mit einer guten Eichelernte gerechnet werden (BURGER, 1921; JONES, 1959; ROHMEDEK, 1972). Für den mainfränkischen Raum ergab eine Analyse der Eichelmastdaten aus den letzten 350 Jahren, dass eine gute bis ergiebige Mast alle 3,6 Jahre und eine ergiebige Mast alle 5,4 Jahre in auftritt. Halbmasten, Sprengmasten und Fehlmasten sind deutlich häufiger zu beobachten. Bei einer Zusammenfassung der bundesweiten Ernteergebnisse zeigte sich, dass zwischen 1992 und 2013 allein sieben Fehlmasten verzeichnet werden konnten (KONNERT et al., 2014).

Masten laufen in nicht allen Gebieten synchron ab, sondern können sich von Gegend zu Gegend stark unterscheiden (EICKE, 1991). Der Reifezeitpunkt der Eicheln fällt in die Herbstmonate. Abhängig von der Witterung und der Herkunft kann mit der Eichelernte ab Mitte September begonnen werden. Der Fallzeitraum der Eicheln reicht dann bis Anfang November (BURGER, 1944; KRAHL-URBAN, 1959; ROHMEDEK, 1972).

### **1.4.3 Auswirkungen der Fruktifikation auf die Praxis**

Eicheln sind Früchte, die ein hohes Wassergehaltsbedürfnis zeigen. Sie werden daher auch als rekalzitranzte Samen bezeichnet (ROBERTS, 1973). Samen dieser Art sind bei der Lagerung besonders anspruchsvoll. Werden Eicheln bei Temperaturen unter  $-5^{\circ}\text{C}$  gelagert, bildet sich intrazelluläres Eis, welches die Eicheln beschädigen kann (SCHLEGEL, 1978). Bei höheren Temperaturen sind die Eicheln jedoch physiologisch aktiv (FINCH-SAVAGE et al., 1992; PAMMENTER et al., 1994; FINCH-SAVAGE et al., 1996) und bereiten damit Schwierigkeiten bei der Lagerung. Das Saatgut kann daher nur kurz gelagert werden, gewöhnlich bis zum darauf folgenden Frühjahr. Es wurden zwar weitere Methoden wie die Erhöhung der Frosthärte oder die Lagerung in  $\text{CO}_2$ -Atmosphäre zur längerfristigen Eichellagerung erprobt (SCHLEGEL und SPETHMANN, 1999; NATZKE, 1999), jedoch haben sich diese Methoden in der Praxis nicht bewährt. Schwarzsimmel kann ebenfalls gelagertes Saatgut in kürzester Zeit unbrauchbar machen (BUTIN, 1996). Versuche den Pilz mit

chemischen Mitteln unschädlich zu machen, scheiterten in der Vergangenheit. Eine Hitzebehandlung mit ca. 40°C warmen Wasser tötet hingegen den Pilz ab (DELATOUR, 1978). Die sogenannte Thermotherapie wird heute vielfach angewendet und ermöglicht es, Saatgut ohne nennenswerte Verluste über den Winter zu lagern.

Die Tatsachen, dass Masten in allen Regionen Deutschlands nicht jährlich auftreten und Eicheln nicht über einen längeren Zeitraum wirtschaftlich gelagert werden können, stellen die Forstwirtschaft vor Probleme. Für einige Herkunftsgebiete bestehen zeitweise Engpässe bei der Versorgung mit Forstpflanzenmaterial (HEISEKE, 1984; FRANKE, 1990; FRANKE, 1991; FRANKE, 1992; ANONYMUS, 2017b). Auch kann auf aktuelle oder lokale Ereignisse, wie starke Stürme z.T. nicht angemessen durch eine spontane Steigerung der Pflanzenproduktion reagiert werden.

## **1.5 Kulturelle und ökologische Bedeutung der heimischen Eichenarten**

Unter ökologischen Gesichtspunkten sind Eichenwälder von besonderer Bedeutung. Sie bieten einer Vielzahl von Insekten Lebensraum. So sind ca. 400 Schmetterlingsarten und über 500 holzbesiedelnde Käfer direkt oder indirekt von der Stiel- und Trauben-Eiche abhängig (MÜHLE, 2007; BUSSLER, 2007). Damit beherbergen die Eichen neben den Weiden die meisten Insekten in Mitteleuropa (SOUTHWOOD, 1961; BRÄNDLE und BRANDL, 2001; BERTILLER und MÜLLER, 2010). Auch für den Menschen sind Eichen oder Eichenwälder von besonderer Bedeutung. Erste Nutzungsformen sind seit der Steinzeit belegt. So wurden die Früchte der Eichen als Nahrungsquelle und das Holz als Baumaterial für Häuser verwendet (SÁENZ-ROMERO et al., 2017). Auch die landwirtschaftliche Nutzung der Wälder, z.B. die Ausnutzung der Mast als Schweinefutter, hatte einen hohen Stellenwert (HASEL, 1985; MANTEL, 1990). Später kamen noch weitere Nutzungsmöglichkeiten hinzu. So ist das Holz für Möbel, Fässer, Gebrauchsgegenstände und Schiffsbau vielfältig einsetzbar. Neben dem Holz wurden auch andere Pflanzenteile verwendet. Aus der Rinde wurden Stoffe zum Gerben von Leder gewonnen und die Eicheln fanden als Viehfutter Verwendung (KRAHL-URBAN, 1959; AAS, 1994b; AAS, 1994a; KÜSTER, 2016). Eichen hatten in vielen unterschiedlichen Kulturen eine religiöse und mythische Bedeutung und fanden Einzug in die Naturheilkunde der Menschen (LAGONI, 2007; WILKE und LERMER, 2007). Aufgrund ihrer vielfältigen ökologischen, sozialen und ökonomischen Leistungen erfährt die Eiche auch heute eine hohe Wertschätzung und ist deshalb in der Bevölkerung sehr beliebt (SPIEKER, 2015).

## **1.6 Waldbauliche und wirtschaftliche Bedeutung der Eichenarten**

Jahrhunderte der Waldnutzung durch den Menschen hatten weitreichende Auswirkungen. Die Nutzung führte dazu, dass sich Mitte des 18. Jahrhunderts die Waldflächen in einem desaströsen Zustand befanden. Als Ursachen sind eine unregelmäßige Forstwirtschaft, der gesteigerte Holzbedarf von Bevölkerung und Gewerbe, zu hohe Wilddichten, Waldweide und Streunutzung zu nennen. Ab Mitte des 18. Jahrhunderts entwickelte sich langsam eine geregelte Forstwirtschaft mit dem

Ziel, die Bestände zu verjüngen und die Brachflächen zu bestocken (SCHMIDT-VOGT, 1977). Die Wiederbewaldung erfolgte mit schnell verfügbaren Nadelbaumarten, die rasch zu einer Minderung der sichtbaren Schäden beitrugen (GAUER und ALDINGER, 2005). Vor allem die Fichte wurde für die Umwandlung von devastierten Laubbeständen genutzt (SCHMIDT-VOGT, 1977). In einigen Gebieten z.B. der Oberpfalz oder in Brandenburg wurde im großen Maßstab auch Kiefer verwendet. Durch die Aufforstungsmaßnahmen entstanden vornehmlich großflächige Nadelholzreinbestände (SCHMIDT, 2007). Die Zeiten während und nach dem Zweiten Weltkrieg führten ebenfalls zu einer weitreichenden Übernutzung der Wälder und damit verbunden zu riesigen unbestockten Flächen (WAGNER, 2000). Diese Blößen wurden größtenteils mit Fichte aufgeforstet (HESMER, 1950; MANTEL und SOWADE, 1968). Historisch bedingt stocken folglich viele Nadelholzbestände auf eigentlichen Laubholzstandorten. Nadelholzbestände, besonders die in Reinform sind allerdings besonders anfällig gegenüber Sturmereignissen und Kalamitäten. Wetterextreme in den letzten Jahren führten zu immensen Schäden und Ausfällen (FORSTBW, 2009; LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NORDRHEIN-WESTFALEN, 2016; LANDESFORSTBETRIEB SACHSEN-ANHALT, 2018). Auch wegen der Auswirkungen auf die Tier- und Pflanzenwelt wollen einige Bundesländer gegensteuern und haben Waldbauprogramme aufgelegt, um die naturfernen z.T. instabilen Nadelholzreinbestände in renaturierte laubholzdominierte Mischbestände zu überführen (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG, 1991; LANDESFORST MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2012; LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NORDRHEIN-WESTFALEN, 2012). Den Eichenarten kommt dabei neben der Buche eine besondere waldbauliche Bedeutung zu, wird sie doch im großen Maßstab für den Waldumbau und zur Bestockung von Kalamitätsflächen verwendet.

Zusätzlich müssen die Auswirkungen des Klimawandels berücksichtigt werden. Die Klimaperiode 1983 bis 2012 war die wärmste Periode seit 1400 Jahren. Schon jetzt kann ein Temperaturanstieg verzeichnet werden. Prognosen deuten darauf hin, dass die Sommer trockener und wärmer werden. Extremereignisse werden zunehmen (IPCC, 2014). Für Westeuropa bedeutet der Klimawandel einen möglichen Temperaturanstieg von 2,5 bis 3,5 °C. Die Sommermonate fallen wesentlich trockener und heißer aus, die Intensität von Stürmen, Fluten und Trockenheiten werden zunehmen. Einheimische Nadelgehölze sollten daher durch Laubbaumarten ersetzt werden (LINDNER et al., 2010). Die Eichenarten werden durch die klimatische Entwicklung besonders begünstigt, zeigen sie sich doch wesentlich unempfindlicher gegenüber Trockenstress als andere mitteleuropäische Laubbaumarten (LEUSCHNER et al., 2001; BECK, 2010; SCHERRER et al., 2011; SCHWARNWEBER et al., 2011; HANEWINKEL et al., 2013; METTE et al., 2013; HLÁSNY et al., 2016; BONFILS et al., 2015). Im Vergleich der beiden Eichenarten untereinander schneiden Trauben-Eichen bezüglich ihrer Trockenstresstoleranz besser ab als die Stiel-Eichen (FRIEDRICHS et al., 2009b; FRIEDRICHS et al., 2009a; AREND et al., 2013). Begründet wird dies mit einer besseren Wassernutzungseffizienz (PONTON et al., 2001). Zusätzlich eröffnet der Klimawandel den Eichenarten weitere Areale, besonders in höher gelegenen Gebieten (BRANG et al., 2008; JANDL et al., 2012; LEUCH et al., 2017). Nach Prognosen könnten die beiden Eichenarten durch den Klimawandel deutschlandweit einen Nettoflächengewinn erreichen. Ausgehend von den für

die Eichen konstruierten Klimahüllen Deutschlands beträgt er bei den Stiel-Eichen 8 % und bei den Trauben-Eichen 2 %. Die Areale der Buche nehmen hingegen um 13 % und die der Fichte sogar um 65 % ab (KÖLLING und ZIMMERMANN, 2007). Den beiden Eichenarten wird damit zukünftig eine noch größere waldbauliche Rolle zugesprochen, weil zusätzliche Flächen klimabedingt umgebaut werden müssen.

Zeitgleich wird eine immer größere Waldfläche mit Nutzungsrestriktionen belegt oder fällt gänzlich aus der Nutzung. Aktuell unterliegen 26 % der Waldfläche einem intensiven und 41 % einem extensiven Schutz. Damit liegen zwei Drittel der Waldfläche in ausgewiesenen Schutzgebieten (POLLEY, 2009). Bis 2020 sollen 5 % aller Waldflächen (entspricht 10 % der Waldflächen in öffentlicher Hand) umfassend geschützt werden, d. h. sie sollen aus der Nutzung genommen werden (BMUB, 2014). Gleichzeitig steigt die Nachfrage nach dem Rohstoff Holz, die in den letzten 20 Jahren kontinuierlich zugenommen hat (MANTAU, 2006; MANTAU, 2012).

Der Forstsektor steht mit den zuvor angeführten Ausführungen vor zwei großen Aufgabenfeldern, die gelöst werden müssen. Zum einen muss der Waldumbau von z.B. Fichtenreinbeständen in klimastabilere Wälder vorangebracht werden. Zum anderen müssen die neu begründeten Bestände leistungsfähiger werden, damit die Wälder auch weiterhin nachhaltig den Holzbedarf der Gesellschaft decken können.

Eichenbestände werden meistens künstlich vorwiegend über Pflanzung mitunter durch Naturverjüngung, selten durch Saat angelegt (OELKERS, 1930; KRAHL-URBAN, 1959; AAS, 1994b; AAS, 1994a). Besonders die Sturm- oder kalamitätsbedingten Freiflächen werden vorrangig künstlich begründet. Eine besondere Bedeutung kommt daher dem Pflanzgut zu, denn mit der Auswahl von genetisch hochwertigem Saat- und Pflanzenmaterial wird der Grundstein für gesunde und leistungsfähige Bestände gelegt (WEISGERBER, 1987; GEBUREK, 2004; JANSSEN und RAU, 2008). Folglich werden schon jetzt große Mengen an forstlichem Vermehrungsgut mit überlegenen genetischen Eigenschaften benötigt. Zukünftig wird der Bedarf noch weiter ansteigen.

## **1.7 Phänotypische Merkmale und ihre Vererbbarkeit**

Das äußere Erscheinungsbild eines Baumes, der sogenannte Phänotyp, wird von zwei grundlegenden Faktoren beeinflusst. Der erste Faktor, die Umwelt, umfasst die von außen einwirkenden Kräfte wie den Einfluss des Bodens und des Klimas. Der zweite Faktor, die innen wirkenden Kräfte, die sogenannten Erbkonstitutionen (ROHMEDEK und SCHÖNBACH, 1959). GEBUREK (2004) fasst es kurz in der Aussage „Merkmal = Erbanlagen + Umwelteinfluss“ zusammen. Beide Faktoren wirken immer gemeinsam und in Wechselwirkung. Sollen sie getrennt werden, setzt das Wissen voraus, in welchem Umfang bestimmte Eigenschaften durch Umwelteinflüsse und Erbanlagen verursacht werden (ROHMEDEK und SCHÖNBACH, 1959).

Hauptziel der Eichenwirtschaft ist die Erzeugung von qualitativ hochwertigem Stamm- und Furnierholz (DENGLER, 1930; KRAHL-URBAN, 1959; SCHAPER, 1977; KENK, 1984; POLGE, 1984; BARTELHEIMER, 1991; DONG et al., 1997; VON LÜPKE, 1998; RÖHRIG et al., 2006; SPIEKER, 2015). Eine Reihe von Eigenschaften müssen jedoch erfüllt sein, damit das Holz als Wert- oder

Qualitätsholz eingestuft wird. Einige von ihnen sind über waldbauliche Maßnahmen steuerbar. Dazu zählen z.B. die Abholzigkeit oder ein gleichmäßiger Jahrringaufbau (SPIEKER, 1983; KENK, 1984). Auch die Astigkeit des Holzes kann über die waldbauliche Behandlung der Bestände gesteuert werden. Die Holzfärbung wiederum kann nicht durch waldbauliche Maßnahmen beeinflusst werden. Sie ist vielmehr standörtlich bedingt (OTTO, 1990). Andere Merkmale unterliegen einer gewissen genetischen Kontrolle. Sie sind waldbaulich nur begrenzt steuerbar. Im folgenden sind wichtige Merkmale und der genetische Einfluss auf die Merkmalsausprägung aufgelistet, die für die spätere Klassifikation verwendet werden.

### **1.7.1 Durchmesserwachstum**

Das Durchmesserwachstum wird hauptsächlich durch äußere Faktoren bestimmt. So bestimmen das Angebot an Wasser und Mineralstoffen im Boden maßgeblich die Massen- und Zuwachsleistung (DENGLER, 1930; KRAHL-URBAN, 1959). Waldbauliche Maßnahmen haben ebenfalls einen starken Effekt auf den Durchmesserzuwachs, da die Durchmesserentwicklung stark abhängig von dem zur Verfügung stehenden Wuchsraum ist (ASSMANN, 1961). Ein größerer Standraum ermöglicht es, eine größere Krone auszubilden, die wiederum steht im direkten Verhältnis zum Wachstumspotential eines Baumes (ASSMANN, 1970). Gleiche Zielstärken können dadurch in unterschiedlich langen Zeiträumen und verschieden dicht bestockten Beständen erreicht werden (SPIEKER, 1991). Einen guten Überblick über diesen Zusammenhang liefert ein Vergleich der Ertragstafeln für starke und mäßige Durchforstung bei gleicher Ertragsklasse. Zum Beispiel sind 150 jährige Eichen der zweiten Ertragsklasse bei starker Durchforstung um ca. 4 % dicker als bei mäßiger Durchforstung (SCHÖBER, 1975). Die Fruktifikation übt ebenfalls einen Effekt auf das Durchmesserwachstum aus. Stark fruktifizierende Buchen zeigten in Untersuchungen einen geringeren Zuwachs im Vergleich zu nicht fruktifizierenden Individuen (ROHMEDER, 1967; ROHMEDER, 1972; KLINCK et al., 2018).

Das Dickenwachstum unterliegt aber ebenfalls einer genetischen Veranlagung (SPIEKER, 1991). So wird das Durchmesserwachstum immerhin noch zu 20 % von genetischen Faktoren bestimmt (GEBUREK, 2004; NANSON, 2001). In einer Studie an Stiel-Eichen Pflanzlingen konnte bei der jährlichen Jahrringbreite eine Erblichkeit von 25 % berechnet werden (NEPVEU, 1984).

### **1.7.2 Höhenwuchsleistung**

Das Höhenwachstum wird stark von äußeren Faktoren wie Boden und Klima bestimmt. Auf guten Standorten erreichen Bäume schneller eine größere Höhe als auf schlechten (ASSMANN, 1961). Einen guten Überblick liefert hier ein Vergleich der Ertragstafeln für eine Durchforstungsstufe bei unterschiedlichen Ertragsklassen. Zum Beispiel haben 150 jährige Eichen bei mäßiger Durchforstung auf Standorten der ersten Ertragsklasse eine 11,6 % höhere Mittelhöhe als in der zweiten Klasse (SCHÖBER, 1975). Die Witterung der aktuellen und vorherigen Vegetationsperiode prägt ebenfalls im hohen Maße das Wachstum des Höhentriebes (KRAMER, 1988). Waldbauliche Maßnahmen wie Durchforstungen haben bei jungen Beständen genauso einen Effekt auf die

Höhenentwicklung (SCHÄDELIN, 1942). In einem Durchforstungsexperiment befanden sich die höchsten Bäume im Alter von 34 Jahren in der unbehandelten dichtesten Variante (KERR, 1996).

Ein schnelles Höhenwachstum wird auch bei den Eichenarten als generelles Züchtungsziel angesehen (SAVILL und KANOWSKI, 1993). In früheren Provenienzversuchen deuteten sich bereits Tendenzen an, die auf eine genetische Disposition hinwiesen. So zeigten in einem Stiel-Eichen Provenienzversuch die Nachkommen raschwüchsiger Mutterbäume ebenfalls eine rasche Höhenentwicklung, wenn sich das Anbauklima dem Herkunftsklima ähnelte (CIESLAR, 1923). In einer zwei- bis fünf- jährigen Nachkommenschaftsprüfung von Einzelbäumen und Beständen im Bramwald auf gleichem Standort betrug der Höhenunterschied zwischen den Nachkommen z.T. das fünffache (KRAHL-URBAN, 1955). Neuere Untersuchungen belegen, dass das Höhenwachstum zu einem nennenswerten Teil vererbt wird. Einige Autoren beziffern den Anteil der Genetik zum Höhenwachstum um 20 bis 30 % (GEBUREK, 2004; NANSON, 2001). In einem Provenienzversuch zeigten einzelne Absaaten Erblichkeiten von ca 50 % (BOGDAN et al., 2017). Nachkommen von phänotypisch hervorragenden Bäumen (Plusbäumen) zeigten in einer Nachkommenschaftsprüfung Erblichkeiten von bis zu 80 % (BOGDAN et al., 2003).

### 1.7.3 Geradschaftigkeit

Die Geradschaftigkeit eines Baumes kann mit der Schnürigkeit beschrieben werden. Zweischnürig ist ein Stamm, wenn er vollständig gerade ist. Weist er eine einseitige Krümmung in einer Ebene auf, wird er als einschnürig bezeichnet. Ist ein Stamm in mehreren Ebenen krumm, wird er als unschnürig bezeichnet. Die Geradschaftigkeit oder Schnürigkeit ist ein hochbewertetes Qualitätsmerkmal von Stammholz (KENK, 1984; POLGE, 1984; ATTOCCHI, 2013; SPIEKER, 2015), entscheidet sie doch über die mögliche Einteilung eines Stammes und die Qualitätsausbeute (HECKEL, 1977; RÖHRIG et al., 2006; CLARK und WILSON, 2005). Schaftkrümmungen können durch ungleichmäßige Unterbrechungen im Kronendach oder Dichtstand in jüngeren Eichenbeständen hervorgerufen werden. Die Bäume wachsen in Richtung des Lichtes und bekommen eine schiefe Stammachse (MOSANDL et al., 1988; SCHÜTZ, 1991; HAUSKELLER-BULLERJAHN, 1997). Ausgeprägtere Stammverformungen können durch Verwachsungen nicht mehr korrigiert werden und bleiben erhalten. Als weitere Ursache kann der Verlust der Gipfelknospe genannt werden. Bei Verlust übernimmt eine seitlich liegende Knospe beim Austrieb die Führungsrolle. Allerdings treibt die Seitenknospe in einem großen Winkel zur eigentlichen Stammachse aus. Das Ergebnis sind auch hier bogenförmige Stammverformungen (HARMER, 1992b). Wiederholte Spätfrostschäden können ebenfalls die Geradschaftigkeit nachhaltig beeinflussen. Durch das ständige Zurückfrieren der Haupttriebe erleidet die Pflanze Zuwachsverluste und wächst mit knickigem Wuchs (CIESLAR, 1923).

Relativ früh gelangten Forstwissenschaftler zu der Erkenntnis, dass nicht nur die äußeren sondern auch die inneren Faktoren die Geradschaftigkeit beeinflussen (MAYR, 1909). Mit Hilfe eines großen Stiel-Eichen-Absaatenversuches konnte nachgewiesen werden, dass zwischen Schaftform des Mutterbaumes und Wuchsform der Nachkommen eine Beziehung der Erblichkeit besteht (CIESLAR, 1923). Durch Provenienzversuche, Nachkommenschafts- und Klonprüfungen sowie in

Kreuzungsexperimenten verschiedener Baumarten konnte der Nachweis erbracht werden, dass Gerad- und Krümmwüchsigkeit vererbt werden (SCHÖNBACH, 1950). Neuere Untersuchungen zur Geradschaftigkeit belegen, dass diese bis zu 60% von Erbfaktoren beeinflusst werden (GEBUREK, 2004). In verschiedenen Nachkommenschaftsprüfungen mit Stiel- und Trauben-Eichen konnten noch höhere Vererbungsgrade von 59 % bis 95 % nachgewiesen werden (JENSEN et al., 1997; JENSEN, 2000).

#### 1.7.4 Zwieselwuchs und Steilastigkeit

Als Zwiesel wird die Gabelung eines Schaftes in zwei annähernd gleich starke Höhentriebe bezeichnet (SCHÄDELIN, 1942; RICHTER, 1999; KÜSTER, 2000; COLIN et al., 2012). Oberhalb des Zwiesels treten häufig Krümmungen an den Stammachsen auf und es werden nur geringere Stärkeklassen erreicht (BILKE, 2004). Die Stammlänge entscheidet neben dem Stammdurchmesser maßgeblich über den Erlös beim Verkauf. Je länger die Stämme sind, desto höher gestalten sich die Verkaufserlöse (SCHULZ, 1959; GÖTTLEIN, 1994). Tief sitzende Zwiesel reduzieren die wertvolle Stammlänge massiv. Bäume mit diesem Merkmal werden daher auch als minderwertig bezeichnet (SCHÖNBACH, 1950). Zwieselwuchs kann durch äußere Faktoren hervorgerufen werden. Wird die Terminalknospe der Hauptachse beschädigt, übernehmen Seitenknospen die Aufgabe, den Haupttrieb weiterzuführen. Wachsen gleich mehrere Seitentriebe gleich stark, kann sich ein Zwiesel ausbilden. Als eine der Ursachen für den Ausfall von Terminalknospen können Spätfröste angeführt werden (CLARK und WILSON, 2005; NINGRE und COLIN, 2007).

Früh wurde jedoch auch ein Zusammenhang zwischen Zwieselausbildung und Genetik gebildet. Absaaten von einem zwieseligen Samenbaum zeigten in einem Provenienzversuch ebenfalls sehr schlechte Wuchsformen. CIESLAR (1923) geht deshalb davon aus, dass in diesem Fall die Stamm- und Baumform vererbt wurden. Erblichkeitsprüfungen in der freien Natur zeigten räumliche Muster, die darauf hindeuten, dass Zweig-, Ast- und Kronenbildung einer gewissen Erblichkeit unterliegen (KRAHL-URBAN, 1952b; KRAHL-URBAN, 1953a). Neuere Untersuchungen in Buchenbeständen mit Hilfe von Isoenzymen konnten eindeutig Familienstrukturen zwischen zwieseligen Altbäumen und dem geklumpten Auftreten von zwieseliger Verjüngung aufzeigen (HOSIUS et al., 2003).

Steil ansitzende Äste, sogenannte Steiläste, haben ebenfalls einen enormen Einfluss auf die Werthaltigkeit eines Stammes. Äste im Stammholz schränken im Allgemeinen die Verwendungsmöglichkeit von Stammholz ein (SPIEKER, 1991). Steiläste beeinflussen ein noch größeres Stammareal um sie herum als waagrecht abgehende Äste und benötigen wesentlich mehr Zeit, bis sie vollständig abgeworfen und überwallt sind. Steilere Astansatzwinkel sind daher als schlechter zu beurteilen. Die Aststellung wird ausschließlich von genetischen Faktoren beeinflusst (CIESLAR, 1923; KLEINSCHMIT und SVOLBA, 1979). Als besonderes Beispiel für die Vererbbarkeit des Aststellungswinkels kann die Pyramiden-Eiche angesehen werden (IRGENS-MOLLER, 1955).

### 1.7.5 Drehwuchs

Als Drehwuchs bezeichnet man den abweichenden Faserverlauf von der Parallelität zur Hauptstammachse (GEBUREK, 2006). Drehwuchs verursacht Probleme bei der Holzverarbeitung und wird deshalb als Holzfehler eingestuft (KRAHL-URBAN, 1952a; KRAHL-URBAN, 1952b; KRAHL-URBAN, 1953b; KRAHL-URBAN, 1955; HECKEL, 1977; CLARK und WILSON, 2005). Bei der Auswahl von Z- oder Plusbäumen für die Züchtung sollten Individuen, die das Merkmal zeigen, ausgeschlossen werden (KRAHL-URBAN, 1953c; KENK, 1984).

Die Ursachen von Drehwuchs sind noch nicht vollständig geklärt. Es existieren aber viele Ansätze, die den Drehwuchs erklären sollen. Frühere Forscher nannten die Abplattung der Erde, mangelhafte Wurzelbildung oder unterirdische Wasserströme als Ursachen für Drehwuchs. Eine Übersicht über die Ansichten der Entstehung von Drehwuchs sind in einer Arbeit von KRAHL-URBAN (1953) zu finden. Die wahrscheinlichsten Gründe sind aber einseitige Stammbelastungen, Standortverhältnisse oder Windeinwirkungen (LEIBUNDGUT, 1984; MATTHEK und KUBLER, 1997). Waldbaulich ist Drehwuchs nicht steuerbar, betroffene Individuen können nur durch Hiebsmaßnahmen entfernt werden (BURSCHEL und HUSS, 1987).

Drehwuchs unterliegt aber auch einer genetischen Kontrolle. Schon früh wurde beobachtet, dass in Beständen, die aus Naturverjüngung hervorgegangen sind, drehwüchsige Individuen in Trupps oder Gruppen auftreten (KRAHL-URBAN, 1953b). Neuere Untersuchungen gehen davon aus, dass Drehwuchs zu einem hohen Grad von bis zu 60 % von genetischen Faktoren beeinflusst wird (GEBUREK, 2004). In einzelnen Fallstudien konnten Erblichkeiten von bis zu 70 % berechnet werden (TEISSIER DU CROS et al., 1988; NANSON, 2001).

### 1.7.6 Wasserreiser

Als Wasserreiser werden alle Arten von Zweigen bezeichnet, die an Stämmen oder Seitenästen entstehen (KRAHL-URBAN, 1959). Sie erwachsen hauptsächlich aus Proventivknospen, welche an den Triebspitzen gebildet werden, aber nicht austreiben (BURSCHEL und HUSS, 1987). Proventivknospen können primär aus Achselknospen oder sekundär aus ausgetriebenen oder abgestorbenen Achselknospen entstehen (FONTAINE et al., 2001; FONTAINE et al., 2002). Mit der Bildung von Wasserreisern ist die Eiche in der Lage, Kronenschäden zu regenerieren (AAS, 1994b; AAS, 1994a). Stiel-Eichen zeigen gegenüber Trauben-Eichen ein höheres Potential zur Ausbildung von Wasserreisern (BURGER, 1944; JENSEN, 1993; JENSEN, 2000).

Das Knospenwachstum wird von zahlreichen Hemm- und Wuchsstoffen beeinflusst (LYR et al., 1967; ZIMMERMANN und BROWN, 1971). Zu nennen wäre das wachstumssteuernde Pflanzenhormon Auxin (BONNER und GALSTON, 1952; LEOPOLD, 1955). Auch Wassermangel soll einen Einfluss auf die Ausbildung von Wasserreisern haben (FABRICIUS, 1932; ROHMEDER, 1935; DAKOW, 1955). Nach dem Austreiben der Proventivknospen entscheiden die Belichtungsverhältnisse im Bestand über das weitere Wachstum (FABRICIUS, 1932; SCHREINER, 1933; SEEHOLZER, 1934). Darüber hinaus neigen Eichen mit eingeklemmten Kronen zur stärkeren Ausprägung von Wasserreisern als Bäume mit gut entwickelten Kronen (ROHMEDER, 1935; KRAHL-URBAN, 1959).

Eine Abhängigkeit von dem Reiserbesatz und der sozialen Stellung eines Baumes konnte in Waldwachstumsversuchen nachgewiesen werden (MAYER, 1958; PRETZSCH und UTSCHIG, 1995).

Bilden sich Wasserreiser nach abgeschlossener Astreinigung an dem heranwachsenden fehlerfreien Holzmantel, sind sie als wertmindernd einzustufen (BURSCHEL und HUSS, 1987). Für die Produktion von Wertholz sind Wasserreiser daher von besonderer Bedeutung (KRAHL-URBAN, 1952a; KRAHL-URBAN, 1955; HARMER, 1992a; KERR und HARMER, 2001). Bei der Z-Baum-Auswahl sollten daher nur Individuen berücksichtigt werden, die keine oder wenige Wasserreiser ausgebildet haben (KANZENBACH, 2007).

Waldwachstumskundliche Untersuchungen zeigen, dass neben der waldbaulichen auch eine genetische Komponente für das Auftreten von Wasserreisern verantwortlich ist (WARD, 1966; SPELLMANN, 1995; NAGEL, 2006). In Untersuchungen konnte eine Erblichkeit von 38 % bis 80 % berechnet werden (HUBERT und SAVILL, 1999; JENSEN, 2000). Die Züchtung auf Individuen mit geringer Wasserreiserneigung scheint daher möglich und sinnvoll zu sein (SAVILL und KANOWSKI, 1993).

### **1.7.7 Phänotypische Selektion als geeignete Methode zur züchterischen Verbesserung**

In den Abschnitten 1.7.1 bis 1.7.6 wurden die Ursachen der phänotypischen Merkmalsausprägung benannt. Es zeigt sich, dass forstlich relevante Merkmale zu nennenswerten Anteilen einer genetischen Kontrolle unterliegen und die ausschließliche Nutzung der Individuen mit gewünschten Merkmalsausprägungen für die Saatgutproduktion durchaus berechtigt ist.

Die Auswahl oder Selektion ist bei jeder züchterischen Tätigkeit der wichtigste Vorgang (ROHMEDER und SCHÖNBACH, 1959). Generell wird die Identifizierung von phänotypisch hervorragenden Bäumen (Plusbäumen) als erster Selektionsschritt bezeichnet (ZOBEL und TALBERT, 1958) und als wesentlicher Faktor für die Steigerung des Wuchspotentials angesehen (CLARK und WILSON, 2005). Die Wirksamkeit der phänotypischen Selektion ist bereits nachgewiesen worden. Nachkommen von Plusbäumen zeigten in Versuchen ein deutlich besseres Wuchsverhalten als die jeweiligen Kontrollen. Eine Gegenüberstellung von 24 verschiedenen Versuchen zeigt, dass das Höhen- und Durchmesserwachstum durch züchterische Selektion um bis zu 15 % und der Volumenzuwachs um bis zu 35 % gesteigert werden konnte (CORNELIUS, 1994).

Die phänotypische Selektion von Erntebäumen kann als geeignete Methode zur züchterischen Verbesserung von Saatgut angesehen werden. Sie wird daher in den weiteren Ausführungen als Grundvoraussetzung für die Konzeptentwicklung angenommen.

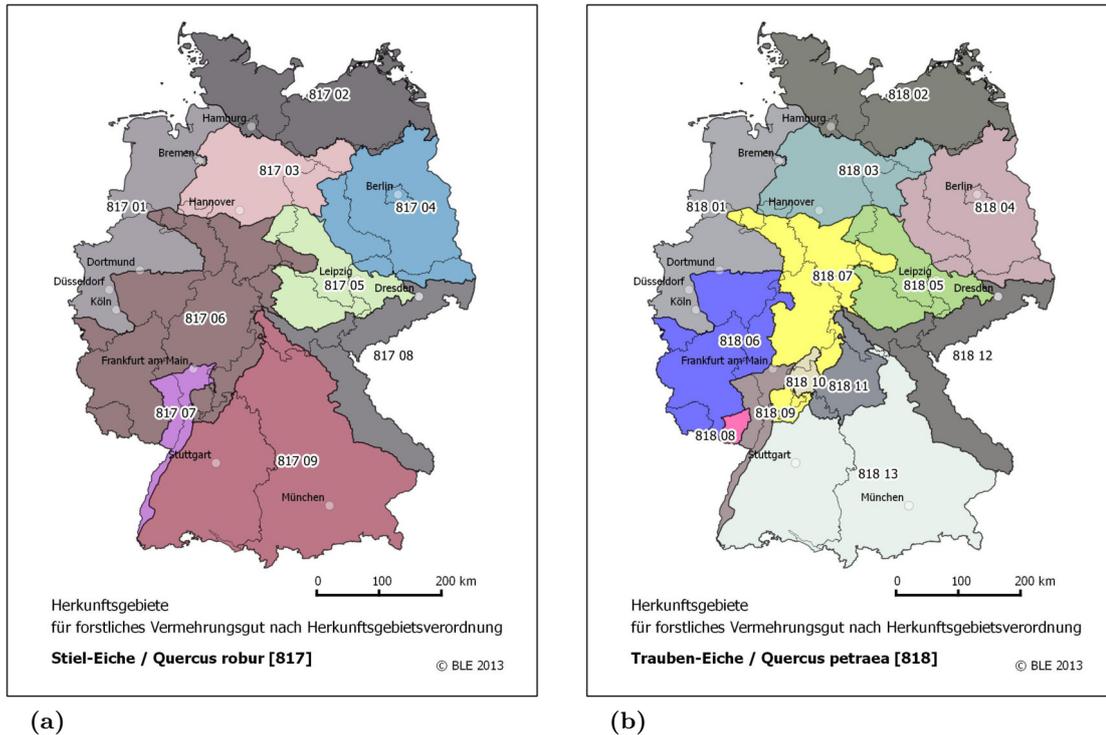
## **1.8 Rechtliche Grundlagen zum Forstvermehrungsgut**

Die Saatgutwirtschaft lässt sich bis ins 14. Jahrhundert zurückverfolgen. Im Nürnberger Raum wurde im Jahre 1368 erstmals eine Kiefernfaat durchgeführt. Laubholzsaaten wurden erst wesentlich später in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts durchgeführt (ROHMEDER, 1972).

Aktenkundig wurde 1747 das „Einsammeln“ von Eicheln zum ersten Mal. Danach wird empfohlen, zum Aufforsten der Blößen Eicheln und Bucheckern zu sammeln (FUHRMANN, 1926). 1924 wurde der Hauptausschuss für forstliche Saatgutenerkennung gebildet. Der Ausschuss bemühte sich hauptsächlich um die sichere Gewähr für die Herkunft von forstlichem Vermehrungsgut. Das erste forstliche Saatgutgesetz wurde 1934 erlassen. Im Jahr 1938 wurde die dritte Durchführungsverordnung erlassen, die erste Regelungen erbrachte. Sie enthielt Bestimmungen über die Anerkennungen von Saatgutbeständen, die Durchführung der Erntemaßnahmen und den Saatguthandel. Eine Neufassung des veralteten Gesetzes erschien 1957 als Forstsaatgutgesetz (FSaatG). In der Durchführungsverordnung von 1958 wurden dann auch für einzelne Baumarten die Herkunftsgebiete ausgewiesen. 1969 wurde das Gesetz abermals geändert, um es an die Richtlinien der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft anzupassen (ROHMEDE, 1972). 1979 wurde das FSaatG novelliert und als Neufassung erlassen. Im Zuge der Wiedervereinigung Deutschlands wurden die Herkunftsgebiete für West- und Ostdeutschland einheitlich ausgewiesen. 2003 wurde das alte Forstsaatgutgesetz (FSaatG) durch das neue Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) abgelöst. Dieser Schritt war notwendig, um die europäische Richtlinie 1999/105/EG in nationales Recht umzusetzen.

Zweck des FoVG ist es, „den Wald mit seinen vielfältigen positiven Wirkungen durch die Bereitstellung von hochwertigem und identitätsgesichertem forstlichen Vermehrungsgut in seiner genetischen Vielfalt zu erhalten und zu verbessern sowie die Forstwirtschaft und ihre Leistungsfähigkeit zu fördern“. Forstliches Vermehrungsgut darf nur in den Verkehr gebracht werden, wenn eine Zulassung für das Ausgangsmaterial vorliegt. Nach dem Gesetz sind folgende Kategorien als Saatgutquelle möglich: Erntebestände der Kategorie „Ausgewählt“, Samenplantagen der Kategorie „Qualifiziert“ und Erntebestände, Samenplantagen, Familieneltern, Klone und Klonmischungen unter der Kategorie „Geprüft“ (FoVG, 2002). Für die Kategorie „Geprüft“ muss das jeweilige Vermehrungsgut einem Anbauversuch unterzogen werden und seine Überlegenheit in mindestens einem relevanten Merkmal zeigen. Des Weiteren legt das FoVG fest, dass Herkunftsgebiete (HKG) für die darin aufgezählten Arten festzulegen sind. Die genaue Festlegung der HKG erfolgt über die Forstvermehrungsgut-Herkunftsgebietsverordnung (FoVHgV) in der Fassung vom 15.01.2003. Das FoVG schreibt ebenfalls vor, dass die Angabe des jeweiligen HKG im Handel verpflichtend ist. Aktuell ist Deutschland in 9 Stiel-Eichen- und 13 Trauben-Eichen-Herkunftsgebiete unterteilt (siehe Abb. 1.2). Die Herkunftsgebiete sind als Verbraucherschutz zu verstehen und belegen die Herkunft des Saatgutes eindeutig. Dadurch soll die Verwendung unangepassten Materials möglichst verhindert werden.

Für die Zulassung von Saatgut nach den oben genannten Kategorien ist die Forstvermehrungsgut - Zulassungsverordnung (FoVZV) anzuwenden. Nach FoVZV müssen bei den Eichenarten Bestände der Kategorie „Ausgewählt“ mindestens 70 Jahre alt sein, eine Mindestfläche von 0,5 ha (Stiel-Eiche) bis 1,0 ha (Trauben-Eiche) und mindestens 40 blühfähige Bäume beinhalten. Davon müssen mindestens 20 Bäume beerntet werden. Zusätzlich müssen die Bestände weitere Auflagen erfüllen. Dazu zählen, dass Erntebestände an die ökologischen Bedingungen des Herkunftsgebietes angepasst sind, einen überdurchschnittlichen Volumenzuwachs zeigen und die



**Abbildung 1.2:** Herkunftsgebiete der Stiel-Eiche (a) und Trauben-Eiche (b) in Deutschland (BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG, 2013)

Bäume der Bestände phänotypisch gute Merkmale aufweisen (FOVZV, 2002). Für den Umgang und Handel mit Saatgut ist zudem die Forstvermehrungsgut-Durchführungsverordnung (FoVDV) zu beachten. Nach der FoVDV wird z.B. der Aufbau von Stammzertifikaten, die Kennzeichnung von forstlichen Vermehrungsgutes, Mischung von forstlichem Saatgut und die Angaben in Lieferpapieren einheitlich geregelt (FoVDV, 2002).

## 1.9 Quellen für forstliches Vermehrungsgut

### 1.9.1 Saatguterntebestände für Eiche

Aktuell sind in Deutschland 2539 Trauben-Eichenbestände (30296,6 ha) und 1957 Stiel-Eichenbestände (9672,3 ha) für die Saatgutproduktion zugelassen. Davon entfallen lediglich 0,8 % (Trauben-Eiche) und 0,2 % (Stiel-Eiche) auf die Kategorie „Geprüft“ (BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG, 2013). Je nach Bedarf und Fruktifikation werden in den Eichensaatguterntebeständen enorme Mengen von mehreren hundert Tonnen pro Jahr geerntet (siehe Tab. 1.1).

Die FoVZV regelt hier konkret wie viele Bäume bei der Ernte berücksichtigt werden müssen. Zusätzlich müssen die Vorgaben der FoVDV beachtet werden. Darüber hinaus existieren keine Restriktionen für die Ernte von forstlichem Vermehrungsgut. Innerhalb der Eichenbestände

wird üblicherweise bei der Bodensammlung flächig geerntet. Eine phänotypische Selektion der Mutterbäume findet in der Regel nicht statt. Folglich wird auch Saatgut unter weniger geeigneten Phänotypen geerntet. Die Erntemenge pro Zeit ist die entscheidende Größe bei der Saatguternte, da vielfach über diesen Faktor entlohnt wird. Folglich werden Bäume bei der Ernte bevorzugt, die entweder sehr große Früchte entwickelt haben, oder einen besonders starken Behang aufweisen. Dadurch können vermehrt Bäume beerntet werden die nicht zu den phänotypisch besten zählen, oder nur sehr wenige Individuen bei der Ernte berücksichtigt werden. Beide Faktoren können einen enormen Einfluss auf die genetische Qualität des gewonnenen Saatgutes haben. Eine leistungssteigernde Wirkung von Saatgut aus Saatguterntebeständen kann daher weitestgehend ausgeschlossen werden, weil die Qualität des Saatgutes lediglich der des Bestandes entspricht.

### 1.9.2 Samenplantagen von Eichen

Als weitere Quelle für forstliches Vermehrungsgut können Samenplantagen genannt werden. Dabei handelt es sich um Anpflanzungen von Bäumen, die der Produktion von größeren Mengen forstlichen Vermehrungsgutes dienen (LINDQUIST, 1951). Die Idee Flächen anzulegen, um auf ihnen Forstsaatgut zu produzieren, wurde zuerst von BURGDORF formuliert. In seinen 1787 erschienenen Buch werden in einem Kapitel mögliche künstliche Vermehrungsmittel der Waldbäume angesprochen (HASSENKAMP, 1952). Als Pionier für Samenplantagen kann SYRACH-LARSEN bezeichnet werden. Er konkretisierte die Idee zur Anlage von Samengärten, mit denen einfach und viel Saatgut gewonnen werden kann (SYRACH-LARSEN, 1956). Ihm ging es dabei aber lediglich um die Produktion von hohen Saatgutmengen. Die genetische Qualität des Saatgutes war nicht Gegenstand seiner Überlegungen. Später erweiterten ZOBEL und TALBERT das Konzept der Samenplantagen um die Idee, nur sehr gute Bäume für die Anlage zu verwenden. So schreiben sie: „Samenplantagen sind Anpflanzungen von genetisch überlegenen Bäumen. Sie stehen isoliert, um den Polleneintrag von schlechten, außerhalb stehenden Bäumen zu minimieren. Samenplantagen werden intensiv bewirtschaftet, um regelmäßig, reichlich und einfach zu erntendes Saatgut zu liefern.“ (ZOBEL und TALBERT, 1958). Nach der Definition des FoVG handelt es sich bei einer Samenplantage um eine Fläche mit: „Anpflanzungen ausgelesener Klone oder Sämlinge, die so abgeschirmt oder bewirtschaftet wird, dass eine von außerhalb der Anpflanzung kommende Fremdbestäubung weitgehend vermieden wird, und die planmäßig mit dem Ziel häufiger, reicher und leicht durchführbarer Saatguternten bewirtschaftet wird.“ (FoVG, 2002). In Europa wurden größere Samenplantagen erst nach dem Zweiten Weltkrieg angelegt (FEILBERG und SOEGAARD, 1975). Die ersten Eichen-Samenplantagen in Deutschland wurden ab den 1950er Jahren von KRAHL-URBAN angelegt.

Grundstein der Samenplantagen sind sogenannte Plusbäume. Dabei handelt es sich um Bäume mit besonders guten phänotypischen Eigenschaften (SCHRÖK et al., 1954; ROHMEDEK und SCHÖNBACH, 1959; STERN, 1960). Die Anforderungen, die an Plusbäume gestellt werden, sind sehr hoch, sodass nur wenige davon in einem Bestand zu finden sind. Folglich müssen viele Bestände über ein großes Gebiet für die Suche einbezogen werden. Nach der Auswahl werden die Plusbäume üblicherweise über Pfropfung vegetativ vermehrt. Durch die vegetative Vermehrung

können beliebig viele Kopien eines Plusbaumes, sogenannte Ramets, erzeugt werden. Anschließend werden die Pflanzen auf einer geeigneten Fläche vollständig randomisiert ausgepflanzt (KLAEHN, 1953; LANGNER und STERN, 1955). Dadurch kann die Selbstung minimiert und die Paarung unverwandter Individuen maximiert werden (SCHRÖK et al., 1954; ROHMEDEK und SCHÖNBACH, 1959). Samenplantagen müssen zusätzlich möglichst weit entfernt von Individuen der gleichen Art stehen. Isolationszonen von bis zu 400 m um die Plantage herum werden als ausreichend angesehen (ROHMEDEK und SCHÖNBACH, 1959). Es werden z.T. aber auch weitere Entfernungen bis zu 1,6 km vorgeschlagen (ZOBEL et al., 1958). Je nach Baumart können die Pflöpfunglinge nach  $\pm$  kurzer Zeit ebenfalls fruktifizieren, da die Blühbereitschaft des Plusbaumes beim Pflöpfung übernommen wird (WRIGHT, 1964). Auf den so angelegten Flächen reproduzieren nur die genetisch hochwertigen Individuen unter weitestgehendem Ausschluss von Pollen außerhalb der Samenplantage. Das daraus resultierende Saatgut weist folglich eine besonders hohe Qualität auf. Für Stiel- und Trauben-Eiche wird eine Wachstumssteigerung von bis zu 10 % angenommen (KLEINSCHMIT et al., 1975). In einem internationalen Herkunftsversuch mit hauptsächlich französischen aber auch guten deutschen Herkünften zeigten Nachkommen einer Samenplantage nicht nur eine Überlegenheit bezüglich Überleben und Volumenleistung, sondern auch eine signifikant besserer Formausprägung (GROTEHUSMANN und SCHÖNFELDER, 2011). Das zeigt, dass Saatgut von Samenplantagen für den Waldumbau und die damit geforderte Leistungssteigerung im besonderen Maße geeignet ist.

Die Anlage von Samenplantagen ist allerdings mit einem hohen Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Reisergewinnung, Pflöpfung und z.T. hohe Ausfälle sorgen für verhältnismäßig hohe Pflanzenpreise. Dadurch können bei der Eiche für die Anlage von 1,5 ha Samenplantage Kosten in Höhe von 25.000 bis 30.000 Euro anfallen (interne Kalkulation NW-FVA). Ist eine Plantage erfolgreich begründet worden, dauert es ebenfalls verhältnismäßig lange, bis kommerzielle Ernten durchgeführt werden können (SCHÖNBACH, 1952a; SCHÖNBACH, 1952b). Für die Stiel-Eiche werden ca. 15 und für die Trauben-Eiche sogar 20 Jahre genannt, bis lohnende Ernten möglich sind (KLEINSCHMIT et al., 1975). Aktuell finden sich in Deutschland 21 Samenplantagen mit einer Gesamtfläche von 38,08 ha. Die Anteile am Ernteaufkommen zeigen, dass die Samenplantagen einen nur sehr geringen Teil zur Gesamtsaatgutversorgung beitragen (siehe Tab.1.1). Aktuell werden in einem großen deutschlandweiten Projekt (FitForClim) Plusbäume gesucht und vermehrt, um daraus später neue Samenplantagen anzulegen (MEISSNER et al., 2015). Die neu angelegten Flächen werden jedoch erst in einigen Jahren zur Saatgutversorgung beitragen. Kurzfristig kann daher die Versorgung mit Saatgut über Samenplantagen mit hochwertigem Vermehrungsgut nicht verbessert werden.

## **1.10 Saatgutgewinnung durch Einzelbaumberntung**

Für den Umbau hin zu leistungsfähigeren und klimastabileren Wäldern wird hochwertiges Forstvermehrungsgut benötigt. Die aktuell genutzten Quellen für forstliches Vermehrungsgut können den Bedarf an höherwertigem Vermehrungsgut nicht kurzfristig decken. Es werden folglich Lösungen benötigt, die die Versorgungslage kurzfristig entspannen.

**Tabelle 1.1:** Saatgutaufkommen in Deutschland getrennt nach den beiden Eichenarten (BLE, 2018)

Erntejahr	Erntebestände [kg]		Samenplantagen [kg]	
	Trauben-Eiche	Stiel-Eiche	Trauben-Eiche	Stiel-Eiche
2017/2018	17.425,4	32.766,6		
2016/2017	182.693,8	116.630,0	2.434,4	
2015/2016	216.666,1	238.011,5	2.631,8	869,6
2014/2015	174.975,6	39.049,4		
2013/2014	208.113,7	187.377,7	628,0	
2012/2013	346.889,5	127.971,7		
2011/2012	281.343,0	202.478,4		
2010/2011	24.052,0	2.466,5		
2009/2010	445.010,2	230.439,1		
2008/2009	43.804,7	37.194,4		
2007/2008	479.116,9	205.831,5	192,0	
2006/2007	289.226,0	382.983,9		
2005/2006	109.156,9	143.714,0		
2004/2005	33.241,3	23.689,5		
mittl. Erntemenge	203.693,9	140.757,4	420,4	62,1

Saatgut wird aktuell flächig in den Saatguterntebeständen gewonnen. Das hier vorgestellte Konzept sieht eine Abkehr hin zu einer selektiven Beerntung von phänotypisch guten Einzelbäumen vor, die zuvor nach strengen Kriterien der Vitalität, Wuchsleistung und Qualität selektiert wurden. Die selektive Beerntung kann eine Anhebung der genetischen Qualität über den mütterlichen Beitrag bewirken. Der Fremdsamenanteil unter den Erntebäumen und der Pollenbeitrag von Vererbern mit phänotypisch unerwünschten Merkmalen sind weitere Einflussfaktoren. Unterschiedlich starke waldbauliche Eingriffe können hier ansetzen und die genetische Qualität des Saatgutes weiter verbessern. Konkret kann dies zum Beispiel damit erreicht werden, dass die Samenbäume frei gestellt und die phänotypisch schlechtesten Bäume aus dem Bestand entfernt werden. Das Leistungspotential könnte dadurch deutlich gegenüber den Ausgangsbeständen gesteigert werden. Bestände, die nach dem Konzept behandelt werden, dienen dauerhaft der reinen Saatgutproduktion. Die Holzproduktion wäre in solchen Beständen nebensächlich und würde nach der Behandlung nur in Ausnahmefällen eintreten. Das Konzept könnte umgehend in der Praxis realisiert werden und kurzfristig das Angebot an höherwertigem Vermehrungsgut verbessern.

Die Idee der Einzelbaumbeerntung von phänotypisch guten Bäumen ist nicht neu. In seinen Untersuchungen über die wirtschaftliche Bedeutung der Herkunft des Saatgutes der Stiel-Eiche gelangte CIESLAR (1923) zu der Erkenntnis, dass beim Ernten von Eicheln für Forstkulturzwecke der Auswahl der Samenbäume eine besondere Bedeutung zukommt. Etwas deutlicher wird BURGER (1944, 1948). Er ruft dazu auf, Saatgut nur von den besten Bäumen aus den

besten Beständen zu gewinnen. Auch KRAHL-URBAN bemerkt in einer Veröffentlichung: „Auch in anerkannten Beständen sollen Eicheln und Bucheln nicht wahllos, sondern in erster Linie unter Bäumen gesammelt werden, die dem gewünschten Zieltyp entsprechen oder möglichst nahe kommen. Durch die Verwendung ihrer Samen kann das Durchschnittsniveau der Verjüngung gegenüber dem Mutterbestand mehr oder weniger angehoben werden“ (KRAHL-URBAN, 1955). SCHÖNBACH greift die Idee von LINDQUIST auf und formuliert neben der Beerntung von phänotypisch guten Bäumen zusätzlich Vorschläge, wie die Bestände zu behandeln sind. Danach soll Saatgut hauptsächlich aus sanierten Plusbeständen stammen, aus denen unter anderem die unerwünschten Individuen entfernt werden müssen. Vorzugsweise sollen für den Umbau junge entwicklungsfähige Bestände herangezogen werden (SCHÖNBACH, 1952a). Die alleinige Nutzung der Bestände als Saatgutlieferanten, in denen die Holzproduktion ausgeschlossen wird, wurde ebenfalls schon früh diskutiert (LANGNER, 1942). Lange Zeit fand das Thema keine Beachtung in der Fachwelt. Aktuell beschäftigte sich lediglich eine Studie mit der Optimierung von Saatgut durch Einzelbaumberntung bei Buchen (EUSEMANN et al., 2017).

## 1.11 Beerntungs- und Behandlungsvarianten

Saatgut wird nach dem vorgestellten Konzept von einzelnen, phänotypisch hervorragenden Bäumen gewonnen. Dafür werden einige wichtige Grundannahmen getroffen. Das genetische Potential des Saatgutes von Bäumen und Beständen wird durch den maternalen und paternalen Beitrag bestimmt. Soweit ein Zusammenhang zwischen dem Phänotyp der selektierten Bäume und dem Genotyp besteht, kann durch die Selektion der Bäume das genetische Potential des Saatgutes im Hinblick auf die Selektionskriterien verbessert werden.

Neben der Einzelbaumberntung wurden vier mögliche Behandlungsvarianten mit unterschiedlichen Eingriffsintensitäten entwickelt, die die genetische Qualität des Saatgutes vermutlich unterschiedlich stark beeinflussen (HARDTKE et al., 2016b). Zusätzlich wurden Untervarianten entwickelt, die sich hinsichtlich der zu beerntenden Qualitätsklassen der Erntebäume unterschieden. So werden in der Untervariante .1 Bäume der Qualitätsstufen eins und zwei und in Untervariante .2 Bäume der Qualitätsstufe eins beerntet.

- In Variante 1 erfolgt die Ernte ausschließlich unter den im Vorfeld phänotypisch ausgewählten Einzelbäumen. Beim Ernten unter dem Kronentrauf der Saatgutbäume kann es in Randbereichen zu einer Durchmischung mit Fremdsaatgut kommen. Dies wird jedoch toleriert. Spezielle waldbauliche Behandlungen der Saatgutbestände sind im Hinblick auf die Saatgutproduktion nicht vorgesehen.
- In Variante 2 werden ebenfalls nur die phänotypisch selektierten Einzelbäume beerntet. Eine Durchmischung mit Saatgut benachbarter Bäume wird nicht toleriert. Das erfordert eine Freistellung der Samenbäume mit dem Ziel, den Fremdsameneintrag durch benachbarte Bäume zu minimieren.

Diese beiden Varianten bewirken eine Qualitätssteigerung über die mütterliche Seite (HARDTKE et al., 2016b). In weiteren Varianten soll ebenfalls eine Qualitätssteigerung über die väterliche Seite bewirkt werden. Dies geschieht über die Entnahme von phänotypisch unerwünschten Individuen innerhalb des Erntebestandes, um sie als Pollenspender auszuschließen.

- In Variante 3 werden zusätzlich zu den dicht angrenzenden Nachbarn der Erntebäume die phänotypisch schlechtesten Individuen entnommen. Diese beteiligen sich so nicht mehr als Pollenspender am Reproduktionsprozess. Somit wird ihr negativer Einfluss auf die genetische Qualität des Saatgutes minimiert.
- In Variante 4 verbleiben nur noch die im Vorfeld phänotypisch selektierten Erntebäume im Bestand. Alle übrigen Individuen werden entfernt. Somit sind innerhalb des Bestandes nur noch Pollenspender am Reproduktionsprozess beteiligt, die der genetischen Qualität des Saatgutes dienlich sind.

In der ersten Variante sind keine speziellen waldbaulichen Eingriffe im Hinblick auf die Saatgutproduktion vorgesehen. Diese nehmen von der zweiten zur vierten Variante stark zu und stellen z.T. erhebliche Eingriffe in den Beständen dar. Die zuletzt genannten Varianten lassen das Saatgut mit der höchsten genetischen Qualität erwarten. Letztendlich wird mit der letzten Variante eine Struktur erreicht, die Samenplantagen ähnlich ist (siehe Kapitel 1.9.2).

## 1.12 Ziele / Arbeitshypothesen

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Konzeptes zur Verbesserung der Saatgutqualität aus herkömmlichen Saatguterntebeständen. Das Konzept umfasst unterschiedliche Intensitätsstufen, die auf die jeweiligen Ausgangssituationen und Zielsetzungen der Waldbesitzer angepasst werden können. Schlussendlich sollen der Praxis wissenschaftlich abgesicherte Möglichkeiten zur Erzeugung von höherwertigem Forstvermehrungsgut an die Hand gegeben werden.

Im folgenden werden einige Arbeitshypothesen aufgestellt, deren Beantwortung für die Konzeptentwicklung essentiell sind. Abschließend werden die Ergebnisse der Fragestellungen genutzt, um die einzelnen Varianten zu evaluieren.

- **Phänotypische Variabilität innerhalb der Testbestände:**  
Nach dem Konzept werden Saatguternteeinheiten nicht mehr bestandesweit beerntet. Lediglich phänotypisch hervorragende Individuen sollen für die Ernte herangezogen werden. Dies setzt eine ausreichende Variabilität an Form und Leistung innerhalb der Saatguterntebestände voraus, aus denen selektiert werden kann. Daher wird als Arbeitshypothese eine ausreichende Variation an Form und Leistung innerhalb der Erntebestände angenommen.
- **Diversität der durch Klassifizierung entstandenen Teilkollektive und der Behandlungsvarianten:**  
Saatgut muss Möglichkeiten zur Anpassung an sich verändernde Umweltbedingungen

aufweisen. Grundlage hierfür ist die Diversität des Altbestandes oder der beernteten Individuen. Diese muss bei Einzelbaumbeerntung ausreichend groß sein und darf nicht zu stark einengend wirken. Als Arbeitshypothese wird daher angenommen, dass bei einer selektiven Beerntung von Einzelbäumen die Diversität nicht zu stark eingeengt wird und kein erheblicher Diversitätsverlust stattfindet. Gleiches gilt für die einzelnen Behandlungsvarianten.

- **Fremdsamenanteil bei einer einzelbaumweisen Beerntung:**

Nach dem Konzept wird Saatgut auf Einzelbaumebene geerntet. Dabei ist darauf zu achten, dass nur Saatgut der vorgesehenen Bäume aufgesammelt wird. Angrenzende Nachbarn, die nicht beerntet werden sollen, können mit ihrem Saatgut beträchtliche Beimischungen in den Übergangsbereichen der Krone verursachen. Daher wird als Arbeitshypothese angenommen, dass bei Einzelbaumbeerntungen mit beträchtlichen Beimischungen in den Übergangsbereichen der Kronen durch benachbarte Mutterbäumen zu rechnen ist.

- **Bestäubungssituation innerhalb der Testbestände:**

Einige Varianten sehen die Entnahme von schlechten Pollenspendern vor. Damit wird die genetische Qualität des Saatgutes über den väterlichen Beitrag gesteigert. Die Maßnahmen sind jedoch nur effektiv, wenn die schlechten Bäume einen nennenswerten Beitrag zur Pollenwolke leisten und der Polleneintrag von außen gering ist. Als Arbeitshypothese wird daher angenommen, dass die schlechten Bäume einen nennenswerten Anteil an der Pollenwolke beitragen und der Polleneintrag von außen zu vernachlässigen ist.

- **Wuchsverhalten der Einzelbaumabsaaten in den ersten Jahren:**

Alle Maßnahmen haben das Ziel, die genetische Qualität des Saatgutes zu erhöhen. Sämlinge von Saatgut aus Einzelbaumbeerntung sollten schlussendlich eine Überlegenheit an Qualität und Massenleistung gegenüber Bestandesabsaaten erbringen. Eine Vergleichsprüfung zwischen Absaaten phänotypisch „guter“ und „schlechter“ Einzelbäume soll langfristig dieser Frage nachgehen. Bereits nach der ersten Vegetationsperiode können die Nachkommen von Einzelbäumen im Saatbeet verglichen werden. Als Arbeitshypothese wird angenommen, dass Nachkommen von phänotypisch guten Einzelbäumen in Wuchs- und Formverhalten denen von phänotypisch schlechten Bäumen überlegen sind.



## **2 Phänotypische Variabilität innerhalb der Erntebestände**

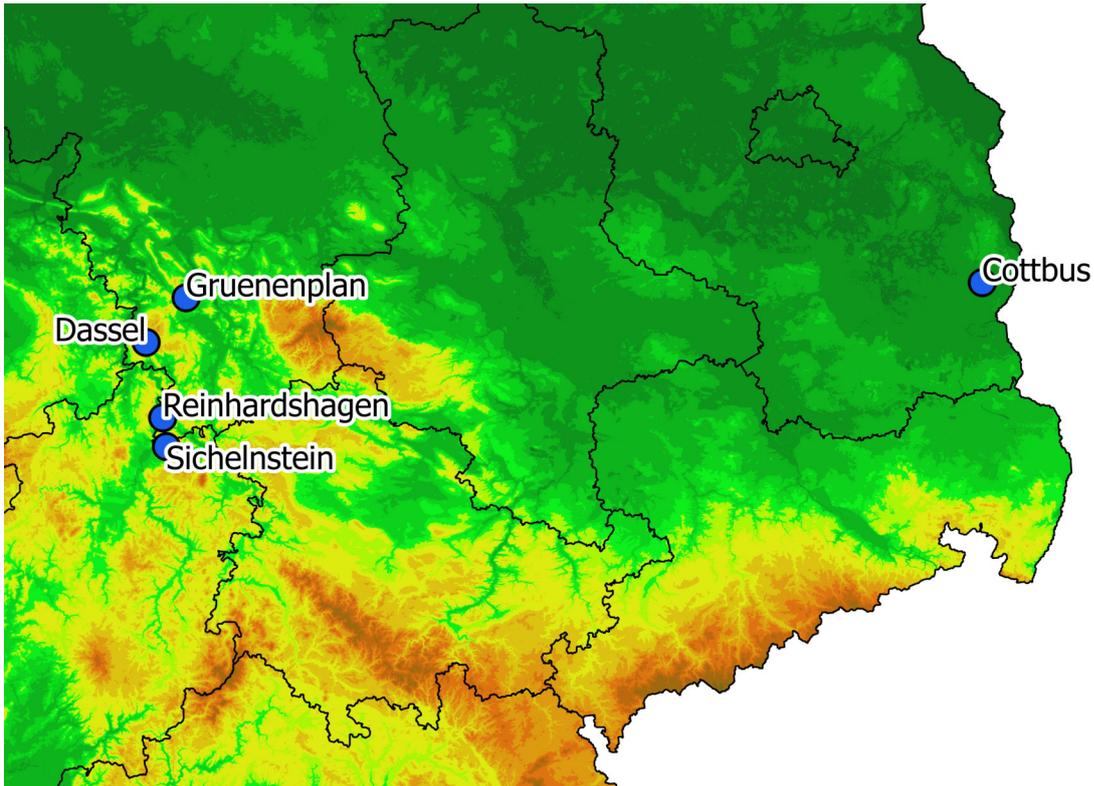
### **2.1 Einleitung**

In Kapitel 1.11 sind die einzelnen Beerntungs- und Behandlungsvarianten aufgelistet. Sie bilden den theoretischen Handlungsspielraum ab, in dem waldbaulich gearbeitet werden kann. Einige Varianten stellen erhebliche Eingriffe in die Bestände dar. Diese müssen im Vorfeld genau abgewogen werden, weil die Maßnahmen nicht mehr rückgängig zu machen sind. Sollten sich Varianten als ungeeignet herausstellen, wären die danach waldbaulich behandelten Bestände in ihrer Bestandesintegrität gestört und können womöglich ganz ausfallen. Es ist daher zielführender, an Testbeständen die einzelnen Fragestellungen (siehe Kap. 1.12) zu erproben und erst anschließend die besten Varianten nach einer Evaluierung in der Praxis umzusetzen. Dadurch können schädliche und ineffektive Eingriffe vermieden werden.

### **2.2 Material und Methoden**

#### **2.2.1 Auswahl und Erfassung der Testbestände**

Im Frühjahr 2015 wurden Bestände ausgewählt, in denen Testflächen für das Saatguterntekonzept eingerichtet wurden. Die Vorauswahl beschränkte sich auf registrierte Saatguterntebestände, da diese eine wesentlich höhere Qualität aufweisen als normale Eichenbestände. Von den in Frage kommenden Saatguterntebeständen wurden nach einer Besichtigung einige besonders geeignete Bestände ausgewählt. Ausschlaggebend für die Auswahl waren eine gewisse Mindestgröße der Bestände, unterschiedliche Bestandesalter und verschiedene Mischungsanteile mit Rotbuche. Ebenfalls sollten Bestände von Stiel- und Trauben-Eiche vertreten sein. Drei der Bestände wurden in Niedersachsen und einer in Hessen ausgewählt. Alle Bestände weisen neben der Eiche noch einen nennenswerten Buchenanteil auf (siehe Tab. 2.1). Im Frühjahr 2016 wurde ein weiterer Testbestand unter Mithilfe der brandenburgischen Landesforsten im Osten Brandenburgs ausgewählt (siehe Abb. 2.1). Dieser Testbestand wurde zusätzlich eingerichtet, da es sich hier um einen reinen Trauben-Eichenbestand ohne nennenswerte Mischungsanteile anderer Baumarten handelt.



**Abbildung 2.1:** Lage der Testbestände Cottbus (Brandenburg) Reg. Nr.: 123818040832, Dassel (Niedersachsen) Reg. Nr.: 034817060012, Grünenplan (Niedersachsen) Reg. Nr.: 031818070522, Reinhardshagen (Hessen) Reg. Nr.: 062817060182 und Sichelstein (Niedersachsen) Reg. Nr.: 034818076592

**Tabelle 2.1:** Eckdaten der Testbestände: 1 = Cottbus, 2 = Reinhardshagen, 3 = Dassel, 4 = Grünenplan, 5 = Sichelstein; Bestfl. = Bestandesfläche in Hektar, Testfl. = Größe der Testfläche in Hektar, Begründ. = Begründungsjahr

Bestand	Baumart	Bestfl.	Testfl.	Begründ.	Bestandesmischung
1	Trauben-Eiche	25,6	2,25	1876	vereinzelt Kiefer
2	Stiel-Eiche	10,7	3,00	1900	24 % Buche im Oberstand
3	Stiel-Eiche	5,1	2,00	1897	flächiger Buchenunterstand
4	Trauben-Eiche	3,1	2,50	1895	20 % Buche im Obertand
5	Trauben-Eiche	5,4	1,50	1841	Buche im Oberstand

An einem geeigneten Eckpunkt wurde ein Robinienpfosten in den Boden geschlagen und mit Hilfe eines Hand-GPS Gerätes die Koordinate im Gauß-Krüger-Format ermittelt. Ausgehend von diesem Punkt wurden in einem Raster von 50 x 50 Metern im rechten Winkel weitere Pfosten in den Boden geschlagen, bis eine Flächengröße von 1,5 bis 3 ha erreicht war. An den

einzelnen Pfosten wurde von allen im Wirkungsbereich liegenden Bäumen die Entfernung mit einem Ultraschallentfernungsmesser (Vertex 4) und der Winkel mit einer Bussole gemessen. Alle eingemessenen Bäume wurden dauerhaft mit einem nummerierten Aluschild markiert. Anschließend wurden die Gauß-Krüger-Koordinaten der weiteren Einmesspunkte und die Koordinaten der Einzelbäume berechnet. Mit Hilfe eines Geoinformationssystems (QGis) können die einzelnen Bäume innerhalb der Testbestände für diese Zwecke ausreichend genau visualisiert werden (siehe Anh. Abb. A.1).

### **2.2.2 Aufnahme der Leistungs- und Formparameter**

In einem ersten Schritt wurde die Vitalität an allen Bäumen der Testfläche bestimmt. Dies geschah okular mit einem Fernglas und mit Hilfe des Kronenstrukturschlüssels für Alteichen, der die Bäume in 8 Stufen einteilt (AG DBF/LII-KRONENZUSTAND, 2001). Bäume, die mindestens die vierte Kronenstrukturstufe erreichten (Segment-Stadium), wurden als ausreichend vital angesehen. An ihnen fanden weitere Messungen und Bonituren statt. Alle anderen Bäume wurden als unvital eingestuft. Mit einem Ultraschallentfernungsmesser (Vertex 4) wurden die Baumhöhen und die Höhe des Kronenansatzes der Eichen gemessen. Der Brusthöhendurchmesser (BHD) wurde mit einer Kluppe durch Kreuzkluppung ermittelt. Die Kronenradien in alle vier Himmelsrichtungen (Nord, Ost, Süd und West) wurden mit einem Kronenspiegel abgelotet und die Entfernungen zur Stammmitte ebenfalls mit einem Ultraschallentfernungsmesser gemessen. Innerhalb des FitForClim-Projektes existierte bereits ein Aufnahmebogen für die Auswahl von Plusbäumen. Für die phänotypische Klassifizierung aller Eichen wurden die wichtigsten Parameter ausgewählt und um zusätzliche Stufen erweitert, damit auch phänotypisch schlechtere Bäume einheitlich klassifiziert werden können.

In Tabelle 2.2 sind die Formmerkmale und ihre Abstufungen aufgelistet. Die erste Stufe stellt jeweils die beste Merkmalsausprägung dar und wird mit null Minuspunkten belegt. Mit zunehmender Verschlechterung eines Parameters werden mehr Minuspunkte vergeben. Zwieselwuchs wird bei der Klassifizierung am stärksten gewichtet, weil der Wertholzverlust durch den Faktor am größten ist. Steiläste, Drehwuchs und Rosen werden moderat gewichtet, während Wasserreiser am schwächsten gewichtet wurden.

**Tabelle 2.2:** Ausgewählte Formmerkmale und ihre Abstufungen. Dargestellt ist ebenfalls die Auswirkung auf die Klassifizierung.

Merkmal	Merkmalsausprägung	Auswirkung
Schaftform	zweischnürig	Vorgrup. Stufe 1
	einschnürig mit geringen Bögen	Vorgrup. Stufe 2
	unschnürig	Vorgrup. Stufe 3 oder 4
	stark unschnürig	Vorgrup. Stufe 3 oder 4
Zwiesel	keinen Zwiesel	0 Minuspunkte
	Zwiesel in oberer Hälfte	6 Minuspunkt
	Zwiesel in unterer Hälfte	12 Minuspunkte
Steiläste	keinen Steilast	0 Minuspunkte
	einen Steilast an der Hauptstammachse	2 Minuspunkt
	mehrere Steiläste an der Hauptstammachse	4 Minuspunkte
Drehwuchs	keinen Drehwuchs	0 Minuspunkte
	wenig Drehwuchs	2 Minuspunkt
	mittlerer Drehwuchs	4 Minuspunkte
	starker Drehwuchs	6 Minuspunkte
Rosen und Nägel	keine Rosen und Nägel	0 Minuspunkte
	wenige Rosen und Nägel	2 Minuspunkt
	einige Rosen und Nägel	4 Minuspunkte
	viele Rosen und Nägel	6 Minuspunkte
Wasserreiser	keine Wasserreiser	0 Minuspunkte
	wenige Wasserreiser	1 Minuspunkt
	Wasserreiser und wenige Klebäste	2 Minuspunkte
	viele Wasserreiser und Klebäste	3 Minuspunkte

### 2.2.3 Einteilung in Qualitätsstufen

Insgesamt wurden für die vorliegende Untersuchung fünf Stufen festgelegt, in die alle Eichen des Bestandes eingeteilt wurden. Die Vitalität war dabei das Hauptausschlusskriterium. Erfüllte ein Baum die Anforderung an die Vitalität nicht, wurde er umgehend in die fünfte Qualitätsstufe eingruppiert. Mit Hilfe einer unechten Formzahl (ASSMANN, 1961) und den gemessenen Baumhöhen und Brusthöhendurchmessern wurde das Volumen der einzelnen Bäume ermittelt. Anschließend wurde das mittlere Baumvolumen über die Testfläche und die prozentuale Volumenleistung eines Einzelbaumes im Verhältnis zum mittleren Baumvolumen berechnet. Bäumen bis zu einem Volumen von 100 % wurde eine geringe Volumenleistung zugesprochen. Bäumen mit bis zu

110 % bzw. 120 % wurde eine überdurchschnittliche bzw. weit überdurchschnittliche Volumenleistung zugesprochen. Bäume mit ausreichender Vitalität wurden nach ihrer Massenleistung und Schnürigkeit in vier Gruppen vorgruppiert. Eichen mit einer geringen Volumenleistung und mit mindestens unschnürigem Wuchs wurden in die vierte Qualitätsstufe eingeordnet. Bäume, die ein geringes Volumen oder einen unschnürigen Wuchs aufweisen, wurden in Stufe drei eingeordnet. Bäume mit mindestens einschnürigem Wuchs und überdurchschnittlicher Volumenleistung und Bäume mit zweischnürigem Wuchs und weit überdurchschnittlichem Volumen wurden vorerst in die Qualitätsstufen zwei und eins vorsortiert. Nun werden die Minuspunkte der Formparameter addiert und entscheiden letztendlich über den Verbleib in einer Qualitätsstufe. Hat ein Baum der ersten Qualitätsstufe bis zu fünf Minuspunkte, verbleibt er in der Stufe. Bei mehr als fünf Minuspunkten wird er in die zweite Stufe zurückgestuft. Das Gleiche betrifft Bäume der zweiten Stufe. Ein Baum, der mehr als elf Minuspunkte bekommen hat, wird in die dritte Stufe zurückgestuft (siehe Abb. 2.2). Beispielhaft ist in Abbildung 2.3 ein Exemplar der jeweiligen Qualitätsstufe dargestellt. Für die Saatgutproduktion kommen aus phänotypischer Sicht nur die Individuen der Stufen 1 und 2 in Frage. Alle weiteren Stufen sind für die Saatgutproduktion ungeeignet oder sogar unerwünscht.

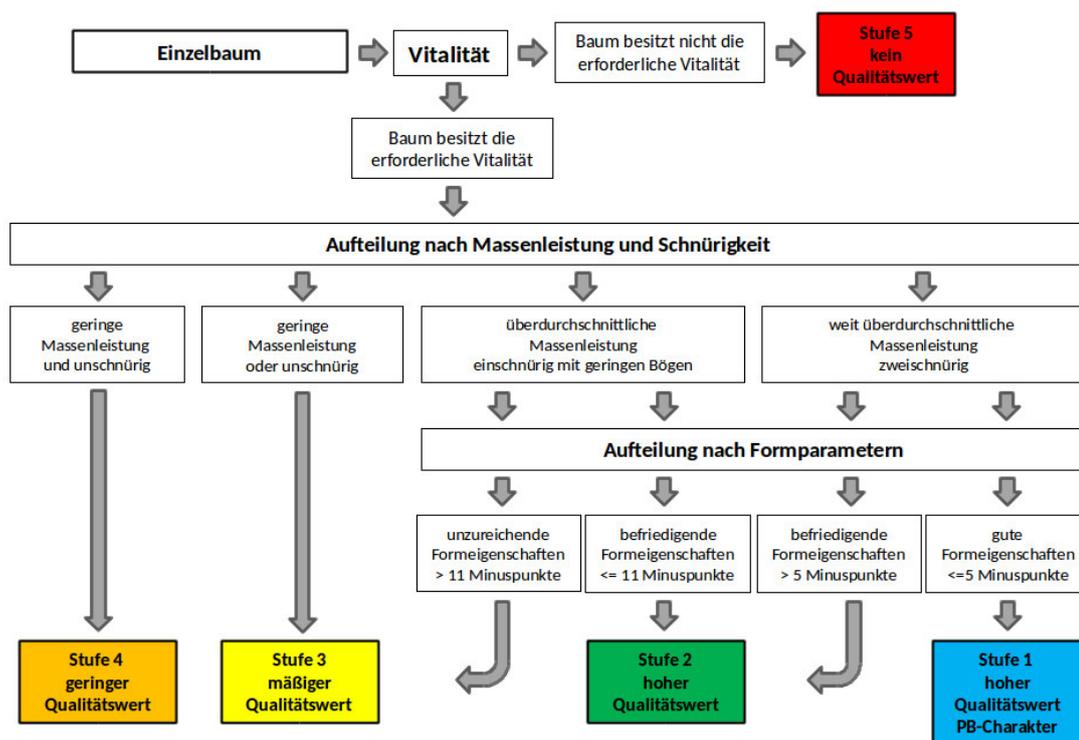
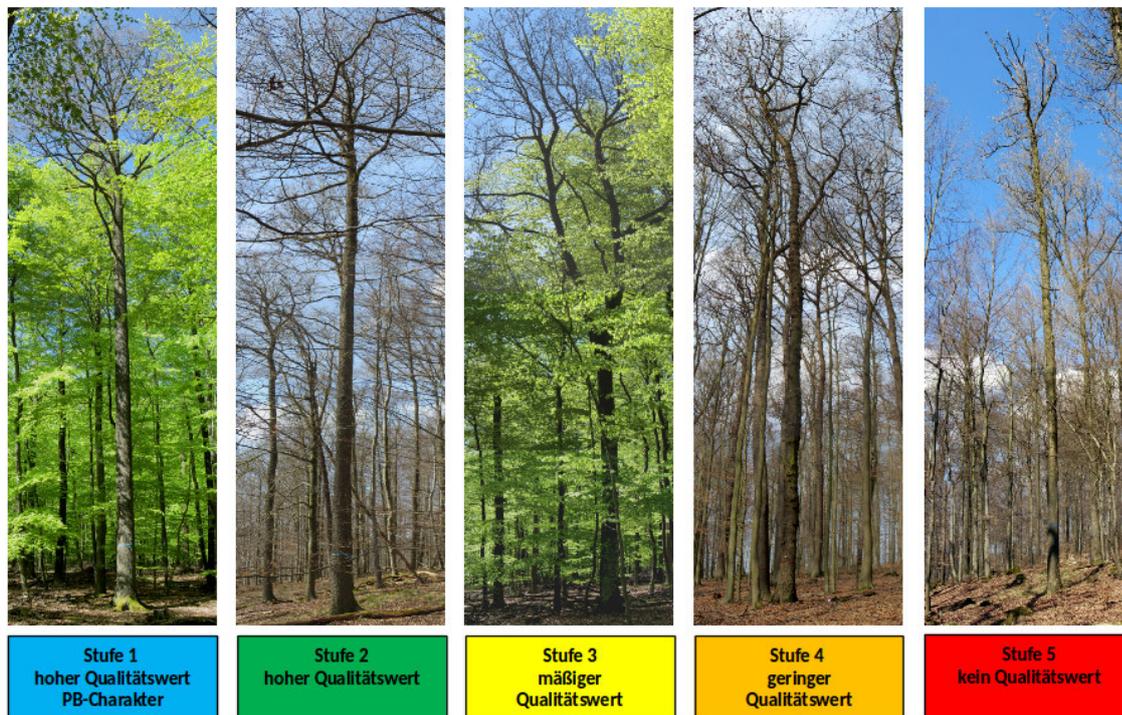


Abbildung 2.2: Klassifizierungsschema für die Eichen der Testbestände aus HARDTKE et al. (2016)



**Abbildung 2.3:** Beispiel der Baumklassifizierung aus HARDTKE et al. (2016)

## 2.2.4 Theoretischer Leistungsgewinn bei Einzelbaumberntung

In Kapitel 1.9.2 wurde das Wachstumspotential bei der Nutzung von Samenplantagenmaterial aufgezeigt. In einem einfachen Modell sollen nun die möglichen Leistungssteigerungen der Beerntungs- und Behandlungsvarianten (vgl. Kap. 1.11) einer Bestandesbeerntung (Variante 0) gegenüber gestellt werden. Die einzelnen Varianten wurden um Untervarianten erweitert, bei der entweder nur Bäume der ersten Stufe oder Bäume der Qualitätsstufen eins und zwei beerntet werden. Für das Modell wurden Panmixie und keinerlei Eintrag von Fremdpollen außerhalb angenommen.

Den Bäumen der ersten Qualitätsstufe wird ein Zugewinn an Leistung von 10 %, Bäumen der zweiten Stufe von 5 %, Bäumen der dritten Stufe von 0 % und Bäumen der vierten Stufe von -5 % unterstellt. Der maximale Leistungsgewinn von 10 % wurde in Anlehnung an bereits ermittelte Werte angenommen (vgl. Kap. 1.9.2). Individuen der letzten Stufe werden aufgrund mangelhafter Vitalität und wahrscheinlich ausbleibender oder vernachlässigbarer Fruktifikation nicht berücksichtigt. Der Leistungsgewinn errechnet sich zur Hälfte aus den Mittelwerten der jeweils beteiligten Mütter- und Väterkollektive der einzelnen Varianten und Untervarianten (siehe Tab. 2.3).

**Tabelle 2.3:** Beteiligung der verschiedenen Qualitätsstufen im Altbestand an der Saatgutproduktion bei verschiedenen Behandlungsvarianten nach (HARDTKE et al., 2016a). Die Untervarianten unterschieden sich hinsichtlich der zu beerntenden Qualitätsklassen, Klammern symbolisieren den unbekanntem Fremdsamenanteil.

Variante	mütterlicher Beitrag	väterlicher Beitrag
0	1,2,3,4	1,2,3,4
1.1	1,2,(3,4)	1,2,3,4
1.2	1,(2,3,4)	1,2,3,4
2.1	1,2	1,2,3,4
2.2	1	1,2,3,4
3.1	1,2	1,2,3
3.2	1	1,2,3
4.1	1,2	1,2
4.2	1	1,2
4.3	1	1

## 2.3 Ergebnisse

### 2.3.1 Phänotypische Ausstattung Testbestand Cottbus

In Tabelle 2.4 sind die durchschnittlichen Messwerte der einzelnen Qualitätsstufen und des Gesamtbestandes aufgelistet. Bäume der Stufen eins und zwei weisen einen um 16,6 % bzw. 13,9 % dickeren BHD als der Bestandesdurchschnitt auf. Dieser ist bei Bäumen der Stufe drei annähernd gleich mit dem Durchschnitt und bei den Individuen der Stufe vier und fünf um 15,6 % und 11,6 % geringer. Individuen der Stufen eins und zwei haben ebenfalls eine um 7,4 % bzw. 4,1 % höhere Baumhöhe. Bäume der Stufe drei sind ähnlich hoch wie der Durchschnitt. Bäume der Stufe vier und fünf sind um 5,4 % und 6,5 % niedriger. Der Kronenansatz liegt bei Bäumen der Stufe eins 6,2 % über dem Durchschnitt. Bei Bäumen der Stufe zwei und drei ist er mit 2,2 % und 0,6 % annähernd identisch mit dem Durchschnitt. Die Kronenansätze der vierten und fünften Stufe liegen 5,1 % darunter oder sind annähernd gleich.

**Tabelle 2.4:** Messwerte der Qualitätsstufen 1 bis 5 und des Gesamtbestandes im Testbestand Cottbus; Q<sub>S</sub>1 = Qualitätsstufe 1, Q<sub>S</sub>2 = Qualitätsstufe 2, Q<sub>S</sub>3 = Qualitätsstufe 3, Q<sub>S</sub>4 = Qualitätsstufe 4, Q<sub>S</sub>5 = Qualitätsstufe 5

Messwert	Q <sub>S</sub> 1	Q <sub>S</sub> 2	Q <sub>S</sub> 3	Q <sub>S</sub> 4	Q <sub>S</sub> 5	Bestand
BHD [cm]	56,6	55,3	49,1	41,0	43,0	48,6
Baumhöhe [m]	32,8	31,8	30,7	28,9	28,7	30,6
Kronenansatz [m]	18,8	18,1	17,8	16,8	17,8	17,7

In Tabelle 2.5 sind die prozentualen Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Cottbus aufgelistet. Die aufgelisteten Merkmale weisen sehr unterschiedliche Verteilungsmuster auf. Einige zeigen eine starke rechtsschiefe Verteilung, andere hingegen sind undifferenziert verteilt. Ebenfalls fällt auf, dass Merkmale wie Drehwuchs, Zwiesel und Steiläste mit hohen Anteilen in der ersten Ausprägungsstärke vertreten sind. Andere wiederum zeigen ihre höchsten Anteile in der zweiten Ausprägungsstärke. Die letzte verwendete Ausprägungsstärke ist mit Ausnahme von Zwieseln und Steilästen nur sehr gering besetzt.

**Tabelle 2.5:** Prozentuale Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Cottbus, N = 281, M<sub>A</sub>1 = Merkmalsausprägung Stufe 1; M<sub>A</sub>2 = Merkmalsausprägung Stufe 2; M<sub>A</sub>3 = Merkmalsausprägung Stufe 3; M<sub>A</sub>4 = Merkmalsausprägung Stufe 4 (vgl. Tab. 2.2)

Merkmal	M <sub>A</sub> 1 [%]	M <sub>A</sub> 2 [%]	M <sub>A</sub> 3 [%]	M <sub>A</sub> 4 [%]
Geradschaftigkeit	24,9	38,8	34,9	1,4
Zwiesel	53,4	24,6	22,1	*
Steiläste	53,7	28,8	17,7	*
Drehwuchs	80,8	16,7	1,1	1,4
Rosen und Nägel	38,4	49,1	8,5	3,9
Wasserreiser	12,1	56,2	22,1	9,6

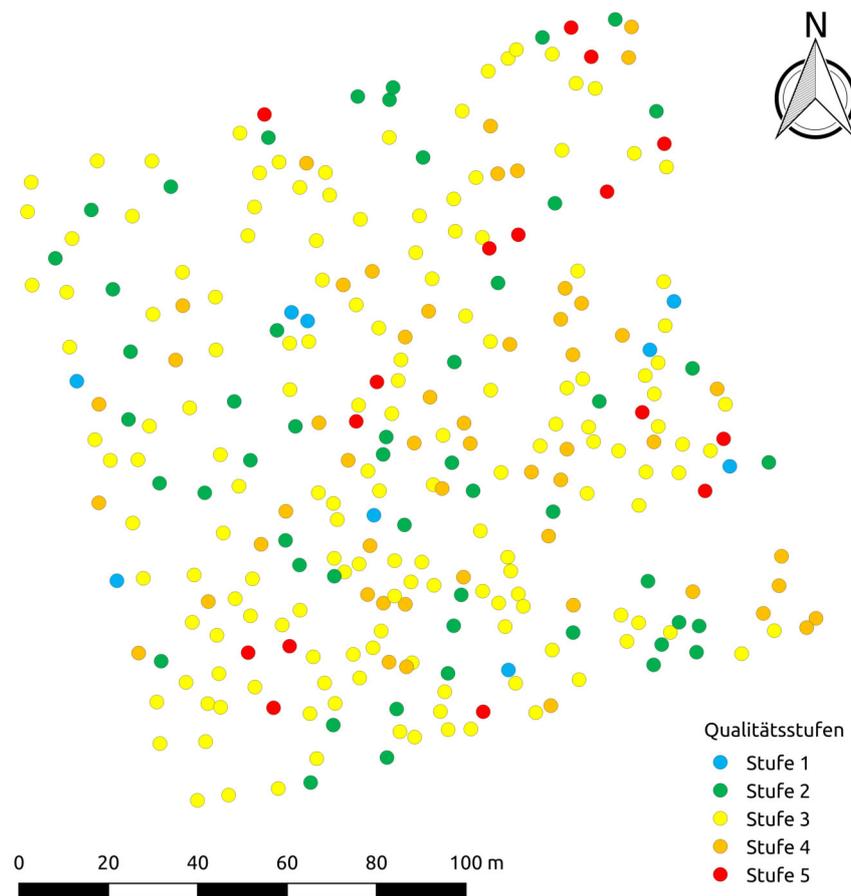
\* nur 3 Ausprägungsstärken verwendet

In Tabelle 2.6 sind die absoluten und relativen Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Cottbus aufgelistet. Die Klassifikation erfolgte nach der in Kapitel 2.2.3 vorgestellten Methode. Eine detaillierte Aufteilung der Ausprägungsstärken innerhalb der Qualitätsstufen ist im Anhang zu finden (siehe Tab. A.1). Im Testbestand Cottbus sind maximal 21 % der Bäume (Stufe 1 und 2) für die Saatgutproduktion geeignet. Hingegen sind 54,8 % gering und 18,5 % für die Produktion von hochwertigem Vermehrungsgut ungeeignet.

**Tabelle 2.6:** Absolute und relative Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Cottbus, N = 281

Qualitätsstufe	N	N <sub>%</sub>
1	9	3,2
2	50	17,8
3	154	54,8
4	52	18,5
5	16	5,7

Klumpungen von Bäumen bestimmter Qualitätsstufen sind innerhalb des Testbestandes nicht zu erkennen. Alle Qualitätsstufen sind gleichmäßig über die Fläche verteilt. Größere Freistellen sind entweder lichtere Stellen oder mit Kiefern bestockte Bestandesteile (siehe Abb. 2.4).



**Abbildung 2.4:** Lageplan der klassifizierten Eichen im Testbestand Cottbus

### 2.3.2 Phänotypische Ausstattung Testbestand Dassel

In Tabelle 2.7 sind die durchschnittlichen Messwerte der einzelnen Qualitätsstufen und des Gesamtbestandes in Dassel aufgelistet. Bäume der Stufen eins und zwei weisen einen um 21,5 % bzw. 12,4 % dickeren BHD als der Bestandesdurchschnitt auf. Der BHD ist bei Bäumen der Stufe drei ist annähernd gleich mit dem Durchschnitt und bei den Individuen der Stufe vier und fünf um 11,6 % und 1,8 % geringer. Individuen der Stufen eins und zwei haben ebenfalls eine um 4,2 % bzw. 6,6 % höhere Baumhöhe. Bäume der Stufe drei sind ähnlich hoch wie der Durchschnitt. Bäume der Stufe vier und fünf sind um 6,6 % und 0,7 % niedriger. Der Kronenansatz liegt bei Bäumen der Stufe eins 2,2 % und bei Bäumen der Stufe zwei 0,7 % unter dem Durchschnitt. Der Kronenansatz der Stufe drei entspricht exakt dem Durchschnitt und liegt bei Stufe vier und fünf 0,7 % und 6,7 % darüber.

**Tabelle 2.7:** Messwerte der Qualitätsstufen 1 bis 5 und des Gesamtbestandes im Testbestand Dassel;  $Q_S1$  = Qualitätsstufe 1,  $Q_S2$  = Qualitätsstufe 2,  $Q_S3$  = Qualitätsstufe 3,  $Q_S4$  = Qualitätsstufe 4,  $Q_S5$  = Qualitätsstufe 5

Messwert	$Q_S1$	$Q_S2$	$Q_S3$	$Q_S4$	$Q_S5$	Bestand
BHD [cm]	48,0	44,4	39,9	34,9	38,8	39,5
Baumhöhe [m]	26,9	27,5	26,2	24,1	25,6	25,8
Kronenansatz [m]	13,1	13,3	13,4	13,5	14,3	13,4

In Tabelle 2.8 sind die prozentualen Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Dassel aufgelistet. Die aufgelisteten Merkmale weisen sehr unterschiedliche Verteilungsmuster auf. Einige zeigen eine starke rechtsschiefe Verteilung, andere hingegen sind undifferenziert verteilt. Ebenfalls fällt auf, dass viele Merkmale mit den höchsten Anteilen in der ersten Ausprägungsstärke vertreten sind. Nur bei den Merkmalen Geradschaftigkeit und Wasserreiser sind die größten Anteile in den anderen Ausprägungsstufen zu finden. Die letzte verwendete Ausprägungsstärke ist mit Ausnahme von Steilästen nur gering oder gar nicht besetzt.

**Tabelle 2.8:** Prozentuale Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Dassel, N = 229, M<sub>A1</sub> = Merkmalsausprägung Stufe 1; M<sub>A2</sub> = Merkmalsausprägung Stufe 2; M<sub>A3</sub> = Merkmalsausprägung Stufe 3; M<sub>A4</sub> = Merkmalsausprägung Stufe 4 (vgl. Tab. 2.2)

Merkmal	M <sub>A1</sub> [%]	M <sub>A2</sub> [%]	M <sub>A3</sub> [%]	M <sub>A4</sub> [%]
Geradschaftigkeit	20,5	29,3	50,2	0,0
Zwiesel	76,4	16,6	6,9	*
Steiläste	58,5	27,5	14,0	*
Drehwuchs	97,4	2,6	0,0	0,0
Rosen und Nägel	87,8	11,4	0,9	0,0
Wasserreiser	25,8	27,1	38,0	9,1

\* nur 3 Ausprägungsstärken verwendet

In Tabelle 2.9 sind die absoluten und relativen Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Dassel aufgelistet. Die Klassifikation erfolgte nach der in Kapitel 2.2.3 vorgestellten Methode. Eine detaillierte Aufteilung der Ausprägungsstärken innerhalb der Qualitätsstufen ist im Anhang zu finden (siehe Tab. A.2). Im Testbestand Dassel sind maximal 20,5 % (Stufe 1 und 2) für die Saatgutproduktion geeignet. Hingegen sind 48,9 % gering und 27,1 % für die Produktion von hochwertigem Vermehrungsgut ungeeignet.

**Tabelle 2.9:** Absolute und relative Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Dassel, N = 229

Qualitätsstufe	N	N <sub>%</sub>
1	6	2,6
2	41	17,9
3	112	48,9
4	62	27,1
5	8	3,5

Klumpungen von Bäumen bestimmter Qualitätsstufen sind innerhalb des Testbestandes nicht zu erkennen. Alle Qualitätsstufen sind gleichmäßig über die Fläche verteilt. Größere Freistellen sind entweder lichtere Stellen oder mit Buchen bestockte Bestandesteile (siehe Abb. 2.5).

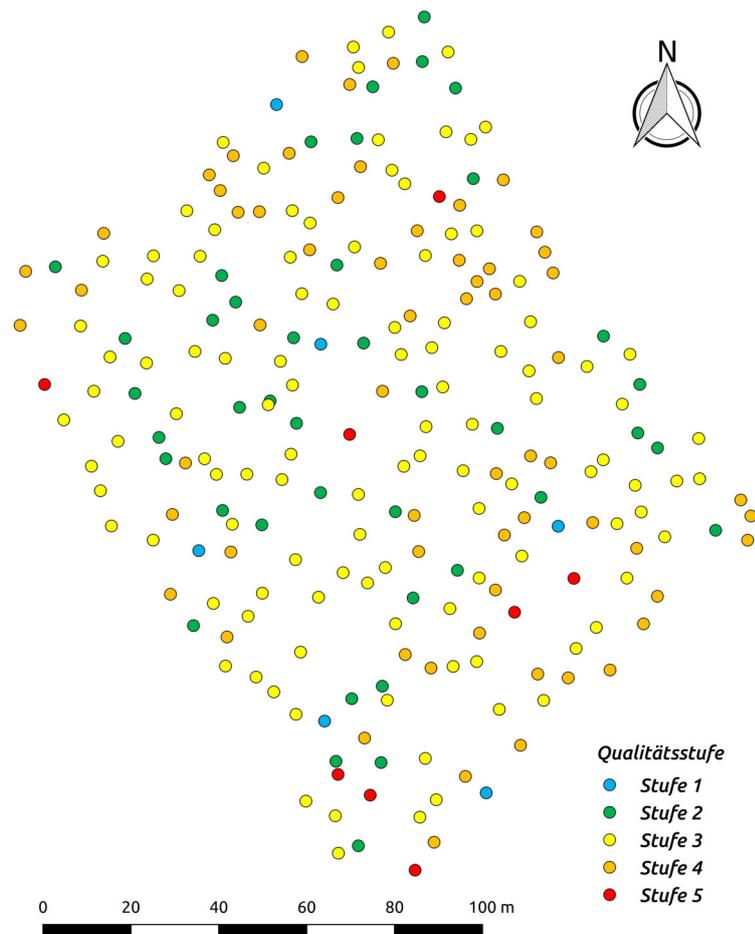


Abbildung 2.5: Lageplan der klassifizierten Eichen im Testbestand Dassel

### 2.3.3 Phänotypische Ausstattung Testbestand Grünenplan

In Tabelle 2.10 sind die durchschnittlichen Messwerte der einzelnen Qualitätsstufen und des Gesamtbestandes in Grünenplan aufgelistet. Bäume der Stufen eins und zwei weisen einen 12,9 % bzw. 9,3 % dickeren BHD als der Bestandesdurchschnitt auf. Der mittlere BHD bei Bäumen der Stufe drei ist mit 3,8 % etwas größer als der Durchschnitt und bei den Individuen der Stufe vier und fünf um 8,9 % und 3,3 % geringer. Individuen der Stufen eins und zwei haben ebenfalls eine um 12,2 % bzw. 7,2 % höhere Baumhöhe. Bäume der Stufe drei sind ähnlich hoch wie der Durchschnitt. Bäume der Stufe vier und fünf sind um 3,9 % und 1,3 % niedriger. Der Kronenansatz liegt bei Bäumen der Stufe eins 2,5 % unter dem Durchschnitt und bei Stufe zwei 3,7 % darüber. Bäume der dritten Stufe haben eine etwas geringere Kronenansatzhöhe, während die der vierten Stufe leicht darüber liegen. Die fünfte Stufe wiederum liegt 5,9 % darunter.

**Tabelle 2.10:** Messwerte der Qualitätsstufen 1 bis 5 und des Gesamtbestandes im Testbestand Grünenplan;  $Q_S1$  = Qualitätsstufe 1,  $Q_S2$  = Qualitätsstufe 2,  $Q_S3$  = Qualitätsstufe 3,  $Q_S4$  = Qualitätsstufe 4,  $Q_S5$  = Qualitätsstufe 5

Messwert	$Q_S1$	$Q_S2$	$Q_S3$	$Q_S4$	$Q_S5$	Bestand
BHD [cm]	59,6	57,7	54,8	48,1	51,1	52,8
Baumhöhe [m]	34,1	32,6	30,5	29,2	30,0	30,4
Kronenansatz [m]	15,8	16,8	16,1	16,5	15,3	16,2

In Tabelle 2.11 sind die prozentualen Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Grünenplan aufgelistet. Die aufgelisteten Merkmale weisen sehr unterschiedliche Verteilungsmuster auf. Einige zeigen eine starke rechtsschiefe Verteilung, andere hingegen sind undifferenziert verteilt. Ebenfalls fällt auf, dass viele Merkmale mit den höchsten Anteilen in der ersten Ausprägungsstärke vertreten sind. Nur bei den Merkmalen Geradschaftigkeit und Wasserreiser sind die größten Anteile in den anderen Ausprägungsstufen zu finden. Die letzte verwendete Ausprägungsstärke ist mit Ausnahme von Steilästen nur gering oder gar nicht besetzt.

**Tabelle 2.11:** Prozentuale Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Grünenplan,  $N = 177$ ,  $M_A1$  = Merkmalsausprägung Stufe 1;  $M_A2$  = Merkmalsausprägung Stufe 2;  $M_A3$  = Merkmalsausprägung Stufe 3;  $M_A4$  = Merkmalsausprägung Stufe 4 (vgl. Tab. 2.2)

Merkmal	$M_A1$ [%]	$M_A2$ [%]	$M_A3$ [%]	$M_A4$ [%]
Geradschaftigkeit	11,9	24,3	61,6	2,2
Zweisel	84,2	9,0	6,8	*
Steiläste	59,9	20,9	19,2	*
Drehwuchs	96,6	2,8	0,6	0,0
Rosen und Nägel	77,4	18,1	4,0	0,6
Wasserreiser	39,0	12,4	45,8	2,8

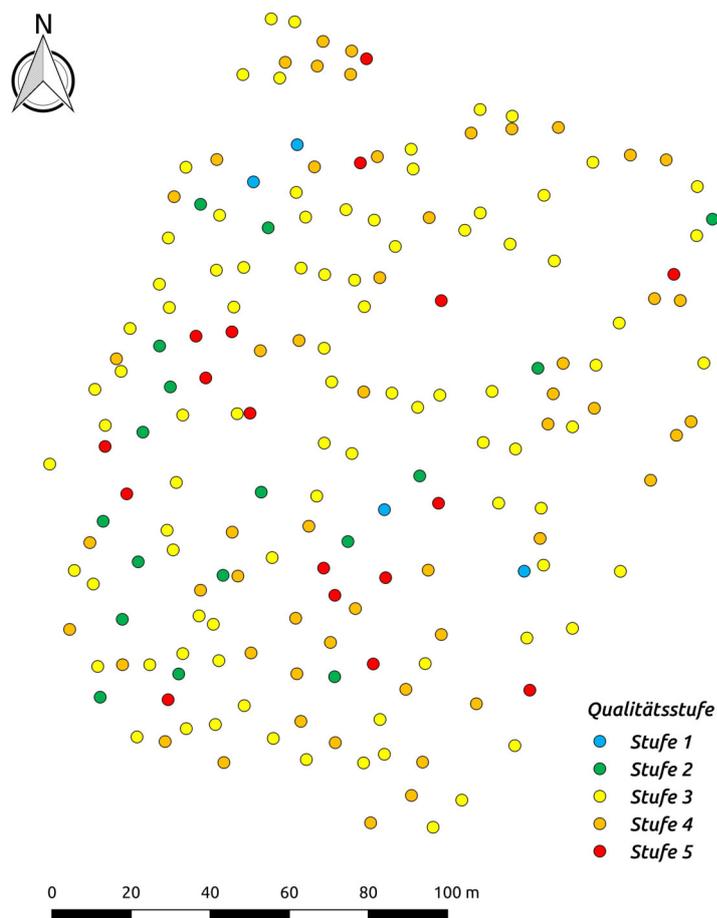
\* nur 3 Ausprägungsstärken verwendet

In Tabelle 2.12 sind die absoluten und relativen Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Grünenplan aufgelistet. Die Klassifikation erfolgte nach der in Kapitel 2.2.3 vorgestellten Methode. Eine detaillierte Aufteilung der Ausprägungsstärken innerhalb der Qualitätsstufen ist im Anhang zu finden (siehe Tab. A.3). Im Testbestand Grünenplan sind maximal 11,9 % (Stufe 1 und 2) für die Saatgutproduktion geeignet. Hingegen sind 46,9 % gering und 29,9 % für die Produktion von hochwertigem Vermehrungsgut ungeeignet.

**Tabelle 2.12:** Absolute und relative Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Grünenplan, N = 177

Qualitätsstufe	N	N%
1	4	2,3
2	17	9,6
3	86	46,9
4	53	29,9
5	17	9,6

Klumpungen von Bäumen bestimmter Qualitätsstufen sind innerhalb des Testbestandes nicht zu erkennen. Alle Qualitätsstufen sind gleichmäßig über die Fläche verteilt. Größere Freistellen sind entweder lichtere Stellen oder mit Buchen bestockte Bestandesteile (siehe Abb. 2.6).



**Abbildung 2.6:** Lageplan der klassifizierten Eichen im Testbestand Grünenplan

### 2.3.4 Phänotypische Ausstattung Testbestand Reinhardshagen

In Tabelle 2.13 sind die durchschnittlichen Messwerte der einzelnen Qualitätsstufen und des Gesamtbestandes in Reinhardshagen aufgelistet. Bäume der Stufen eins und zwei weisen einen 21,4 % bzw. 12,0 % dickeren BHD als der Bestandesdurchschnitt auf. Der mittlere BHD bei Bäumen der Stufen drei und vier ist 2,3 % bzw. 11,0 % geringer. Die letzte Qualitätsstufe liegt sogar 12 % darunter. Individuen der Stufen eins und zwei haben ebenfalls eine um 5,6 % bzw. 4,5 % höhere Baumhöhe. Bäume der Stufe drei und vier sind 1,1 % und 3,7 % niedriger als der Durchschnitt. Die fünfte Qualitätsstufe liegt mit 5,1 % nochmals weiter darunter. Der Kronenansatz liegt bei Bäumen der Stufe eins 1,4 % unter dem Durchschnitt und bei Stufe zwei 1,4 % darüber. Bäume der dritten Stufe haben eine etwas geringere Kronenansatzhöhe, während die der vierten Stufe gleich dem Durchschnitt sind. Die fünfte Qualitätsstufe liegt 2,2 % darunter.

**Tabelle 2.13:** Messwerte der Qualitätsstufen 1 bis 5 und des Gesamtbestandes im Testbestand Reinhardshagen; Q<sub>S</sub>1 = Qualitätsstufe 1, Q<sub>S</sub>2 = Qualitätsstufe 2, Q<sub>S</sub>3 = Qualitätsstufe 3, Q<sub>S</sub>4 = Qualitätsstufe 4, Q<sub>S</sub>5 = Qualitätsstufe 5

Messwert	Q <sub>S</sub> 1	Q <sub>S</sub> 2	Q <sub>S</sub> 3	Q <sub>S</sub> 4	Q <sub>S</sub> 5	Bestand
BHD [cm]	47,6	43,9	38,3	34,9	35,0	39,2
Baumhöhe [m]	28,2	27,9	26,4	25,7	25,4	26,7
Kronenansatz [m]	13,6	14,0	13,7	13,8	13,5	13,8

In Tabelle 2.14 sind die prozentualen Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Reinhardshagen aufgelistet. Die aufgelisteten Merkmale weisen sehr unterschiedliche Verteilungsmuster auf. Einige zeigen eine starke rechtsschiefe Verteilung, andere hingegen sind undifferenziert verteilt. Ebenfalls fällt auf, dass viele Merkmale mit den höchsten Anteilen in der ersten Ausprägungsstärke vertreten sind. Nur bei dem Merkmal Geradschaftigkeit sind größere Anteile in den anderen Ausprägungsstufen zu finden. Die letzte verwendete Ausprägungsstärke ist nur gering oder gar nicht besetzt.

**Tabelle 2.14:** Prozentuale Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Reinhardshagen,  $N = 322$ ,  $M_{A1}$  = Merkmalsausprägung Stufe 1;  $M_{A2}$  = Merkmalsausprägung Stufe 2;  $M_{A3}$  = Merkmalsausprägung Stufe 3;  $M_{A4}$  = Merkmalsausprägung Stufe 4 (vgl. Tab. 2.2)

Merkmal	$M_{A1}$ [%]	$M_{A2}$ [%]	$M_{A3}$ [%]	$M_{A4}$ [%]
Geradschaftigkeit	22,4	38,5	38,2	0,9
Zwiesel	83,2	10,2	6,5	*
Steiläste	64,3	28,9	6,8	*
Drehwuchs	97,8	2,2	0,0	0,0
Rosen und Nägel	77,6	19,3	2,8	0,3
Wasserreiser	46,3	32,9	19,6	1,2

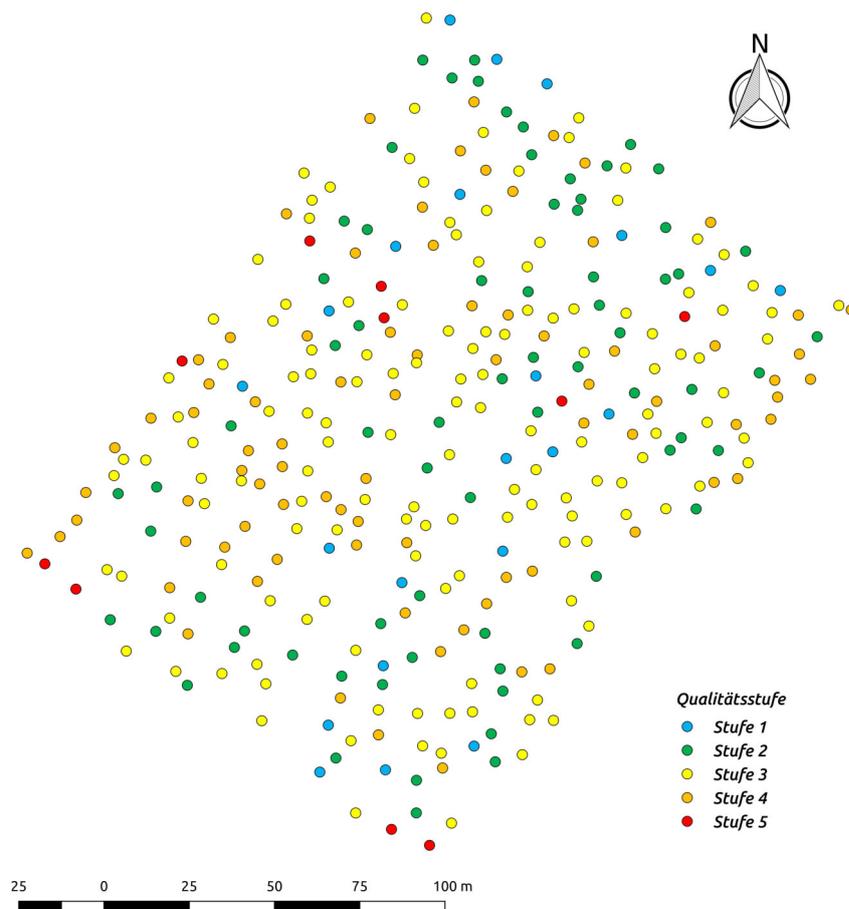
\* nur 3 Ausprägungsstärken verwendet

In Tabelle 2.15 sind die absoluten und relativen Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Reinhardshagen aufgelistet. Die Klassifikation erfolgte nach der in Kapitel 2.2.3 vorgestellten Methode. Eine detaillierte Aufteilung der Ausprägungsstärken innerhalb der Qualitätsstufen ist im Anhang zu finden (siehe Tab. A.4). Im Testbestand Reinhardshagen sind maximal 28,8 % (Stufe 1 und 2) für die Saatgutproduktion geeignet. Hingegen sind 42,9 % gering und 25,2 % für die Produktion von hochwertigem Vermehrungsgut ungeeignet.

**Tabelle 2.15:** Absolute und relative Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Reinhardshagen,  $N = 322$

Qualitätsstufe	N	$N_{\%}$
1	22	6,8
2	71	22,0
3	138	42,9
4	81	25,2
5	10	3,1

Klumpungen von Bäumen bestimmter Qualitätsstufen sind innerhalb des Testbestandes nicht zu erkennen. Alle Qualitätsstufen sind gleichmäßig über die Fläche verteilt. Größere Freistellen sind entweder lichtere Stellen oder mit Buchen bestockte Bestandesteile (siehe Abb. 2.7).



**Abbildung 2.7:** Lageplan der klassifizierten Eichen im Testbestand Reinhardshagen

### 2.3.5 Phänotypische Ausstattung Testbestand Sichelstein

In Tabelle 2.16 sind die durchschnittlichen Messwerte der einzelnen Klassen und des Gesamtbestandes in Sichelstein aufgelistet. Bäume der Stufen eins und zwei weisen einen 14,1 % bzw. 11,1 % dickeren BHD als der Bestandesdurchschnitt auf. Der mittlere BHD ist bei Bäumen der Stufe drei mit 2,8 % leicht über und bei den Individuen der Stufe vier und fünf um 8,3 % und 5,4 % geringer als der Durchschnitt. Individuen der Stufen eins und zwei haben ebenfalls eine um 11,3 % bzw. 7,8 % höhere Baumhöhe. Bäume der Stufe drei sind ähnlich hoch wie der Durchschnitt. Bäume der Stufe vier sind um 3,7 % niedriger und Bäume der Stufe 5 um 7,8 % höher. Der Kronenansatz liegt bei Bäumen der Stufe eins 3,3 % über dem Durchschnitt. Bei Bäumen der Stufe zwei bis vier ist er mit 1,1 % bis 0,5 % annähernd identisch. Bäume der fünften Qualitätsstufe haben einen 12,6 % höher liegenden Kronenansatz.

**Tabelle 2.16:** Messwerte der Qualitätsstufen 1 bis 5 und des Gesamtbestandes im Testbestand Sichelstein;  $Q_S1$  = Qualitätsstufe 1,  $Q_S2$  = Qualitätsstufe 2,  $Q_S3$  = Qualitätsstufe 3,  $Q_S4$  = Qualitätsstufe 4,  $Q_S5$  = Qualitätsstufe 5

Messwert	$Q_S1$	$Q_S2$	$Q_S3$	$Q_S4$	$Q_S5$	Bestand
BHD [cm]	68,7	66,9	61,9	55,2	57,1	60,2
Baumhöhe [m]	38,4	37,2	35,0	32,2	37,2	34,5
Kronenansatz [m]	18,8	18,4	18,0	20,5	18,1	18,2

In Tabelle 2.17 sind die prozentualen Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Sichelstein aufgelistet. Die aufgelisteten Merkmale weisen sehr unterschiedliche Verteilungsmuster auf. Einige zeigen eine starke rechtsschiefe Verteilung, andere hingegen sind undifferenziert verteilt. Ebenfalls fällt auf, dass viele Merkmale mit den höchsten Anteilen in der ersten Ausprägungsstärke vertreten sind. Nur das Merkmal Geradschaftigkeit zeigt eine starke Verschiebung hin zu den größeren Ausprägungsstärken. Die letzte verwendete Ausprägungsstärke ist nur gering oder gar nicht besetzt.

**Tabelle 2.17:** Prozentuale Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Sichelstein,  $N = 140$ ,  $M_A1$  = Merkmalsausprägung Stufe 1;  $M_A2$  = Merkmalsausprägung Stufe 2;  $M_A3$  = Merkmalsausprägung Stufe 3;  $M_A4$  = Merkmalsausprägung Stufe 4 (vgl. Tab. 2.2)

Merkmal	$M_A1$ [%]	$M_A2$ [%]	$M_A3$ [%]	$M_A4$ [%]
Geradschaftigkeit	7,1	31,4	55,7	5,7
Zwiesel	62,9	29,3	7,9	*
Steiläste	85,7	11,4	2,9	*
Drehwuchs	97,1	2,9	0,0	0,0
Rosen und Nägel	37,1	36,4	20,0	6,4
Wasserreiser	47,1	22,1	26,4	4,3

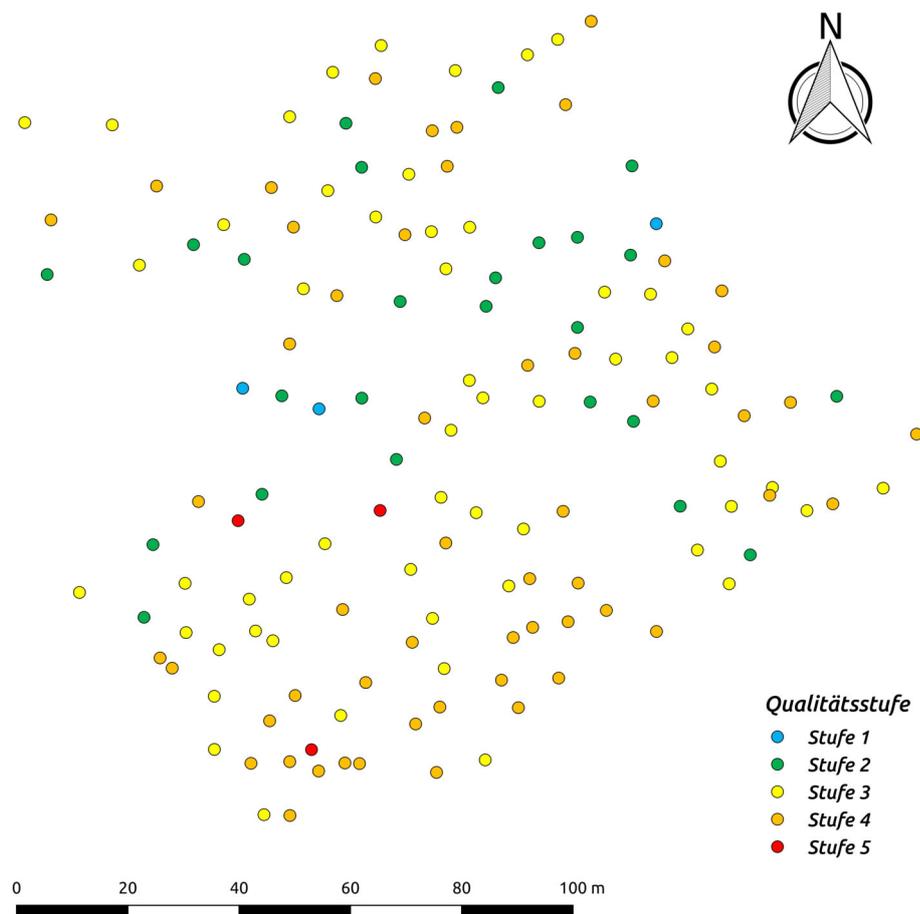
\* nur 3 Ausprägungsstärken verwendet

In Tabelle 2.18 sind die absoluten und relativen Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Sichelstein aufgelistet. Die Klassifikation erfolgte nach der in Kapitel 2.2.3 vorgestellten Methode. Eine detaillierte Aufteilung der Ausprägungsstärken innerhalb der Qualitätsstufen ist im Anhang zu finden (siehe Tab. A.5). Im Testbestand Sichelstein sind maximal 20,0 % (Stufe 1 und 2) für die Saatgutproduktion geeignet. Hingegen sind 39,3 % gering und 38,6 % für die Produktion von hochwertigem Vermehrungsgut ungeeignet.

**Tabelle 2.18:** Absolute und relative Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Sichelstein, N = 140

Qualitätsstufe	N	N%
1	3	2,1
2	25	17,9
3	55	39,3
4	54	38,6
5	3	2,1

Klumpungen von Bäumen bestimmter Qualitätsstufen sind innerhalb des Testbestandes nicht zu erkennen. Alle Qualitätsstufen sind gleichmäßig über die Fläche verteilt. Größere Freistellen sind entweder lichtere Stellen oder mit Buchen bestockte Bestandesteile (siehe Abb. 2.8).



**Abbildung 2.8:** Lageplan der klassifizierten Eichen im Testbestand Sichelstein

### 2.3.6 Potentieller Leistungsgewinn bei Einzelbaumbeerntung in den Testbeständen

Flächige Beerntungen führen nach dem Modell zu leicht negativen Werten. Lediglich Ernten aus den Beständen Cottbus und Reinhardshagen führen zu positiven Ergebnissen (0,3 % und 0,5 %). Selektive Beerntungen führen hingegen schon in der ersten Variante zu merklichen Leistungssteigerungen, jedoch kann in den Varianten 1.1 und 1.2 der Fremdsamenanteil mit seinen Auswirkungen nicht beziffert werden. Der unbekannte Beitrag wird durch ein X symbolisiert. Sichere Zugewinne sind ab der zweiten Variante und besonders bei der Beerntung von Bäumen der ersten Stufe vorhanden (Variante 2.2). So wird in den Beständen Cottbus und Reinhardshagen etwas mehr als die Hälfte des möglichen Zugewinns erreicht. Die Varianten 3.1 und 3.2 bewirken gegenüber der zweiten Variante eine nur geringe weitere Leistungssteigerung. Ähnlich verhält es sich mit der Variante 4.1. Variante 4.2 zeigt hingegen wieder eine deutliche Steigerung der Wuchsleistung. Alle Bestände zeigen hier einen Leistungsgewinn von ca. 8 %. In der letzten Variante erreichen letztendlich alle Bestände den maximal möglichen Leistungsgewinn von 10 %. Zwischen der Bestandsernte und der Variante 4.3 sind die prozentualen Steigerungsraten in den Beständen Cottbus und Reinhardshagen am kleinsten und in Grünenplan und Sichelstein am größten.

**Tabelle 2.19:** Übersicht über den prozentualen Mehrgewinn der einzelnen Beerntungs- und Behandlungsvarianten in den fünf Testbeständen nach (HARDTKE et al., 2016a)

Variante	Cottbus	Dassel	Grünenplan	Reinhardshagen	Sichelstein
0	0,30	-0,20	-0,88	0,54	-0,84
1.1	3,03-X	2,72-X	2,54-X	3,36-X	2,35-X
1.2	5,15-X	4,90-X	4,56-X	5,27-X	4,58-X
2.1	3,68	3,22	2,61	3,98	2,65
2.2	5,16	4,89	4,53	5,32	4,50
3.1	4,38	4,24	3,67	4,86	4,32
3.2	5,86	5,80	5,56	6,28	5,84
4.1	5,76	5,64	5,96	6,18	5,54
4.2	7,91	8,03	8,00	8,22	7,83
4.3	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
max. Mehrgewinn	9,70	10,20	10,88	9,46	10,84

## 2.4 Diskussion

### 2.4.1 Phänotypische Variabilität der Testbestände

In Kapitel 1.7 wurde bereits auf das Hauptziel der Eichenwirtschaft, die Produktion von Wertholz, hingewiesen. Alle waldbaulichen Maßnahmen zur Bestandserziehung haben neben der Wuchsraumerweiterung daher den Zweck, schlechtere Wuchsformen zu entfernen (SCHÄDELIN, 1942; LEIBUNDGUT, 1976). Zusätzlich müssen Saatguterntebestände gewisse Qualitätsstandards erfüllen, um als Erntebestand zugelassen zu werden. Die Bestände müssen bei gleichzeitig möglichst geringen Anteilen von Zwieseln und Drehwuchs hohe Anteile an geradschaftigen Bäumen vorweisen (FOVZV, 2002). In der Regel weisen Saatguterntebestände bessere Formen auf als normale Bestände.

Alle Testbestände zeigen bei vielen Merkmalen eine Verteilung hin zu den besseren Formen. Die schlechteste Merkmalsausprägung ist am geringsten vertreten (vgl. Tab. 2.5, 2.8, 2.11, 2.14, 2.17). Hervorzuheben wäre hier die Drehwüchsigkeit, bei der ein hoher Anteil von Bäumen frei von diesem Fehler ist. Andere Merkmale wie Wasserreiser oder Steiläste sind auch in der schlechtesten Merkmalsausprägung noch mit nennenswerten Anteilen vertreten. Wahrscheinlich zeigen Bestände, die nicht für die Saatgutproduktion zugelassen sind, ebenfalls größtenteils rechtsschiefe Verteilungen. Jedoch dürfte sich der Grad der Schiefe wesentlich unterscheiden.

Die gefundenen Merkmalsverteilungen können mehrere Ursachen haben. Als erste Erklärung kann angeführt werden, dass ein Merkmal in den Beständen nur schwach ausgeprägt ist und gar nicht in extremen Formen auftritt. Zu nennen wären hier die Merkmale Drehwuchs und Rosen. Zweitens können Merkmalsausprägungen bei vorherigen waldbaulichen Maßnahmen gezielt Gegenstand von Durchforstungen sein. Zu nennen wäre hier die Geradschaftigkeit oder ebenfalls Drehwuchs (KRAHL-URBAN, 1959; KENK, 1984). So würden möglicherweise stark unschnürige oder gedrehte Individuen vornehmlich entnommen, sodass nur ein geringer Teil bis heute in den Beständen verblieben ist. Drittens kann es sich um Merkmale handeln, die ab einem gewissen Zeitpunkt nicht mehr im Fokus von Durchforstungsmaßnahmen standen. Zu nennen wäre hier im Besonderen der Zwieselwuchs. Als Produktionsziel ist die astfreie Schaftlänge ein entscheidender Faktor (HEIN, 2007). Sie sollte abhängig vom Standort und Produktionsziel eine Länge von 9 bis 14 Metern betragen (SPIEKER, 1991; DONG et al., 2007c; HEIN, 2007). Bäume mit einem Zwiesel im unteren Stammabschnitt werden in der Regel bei Durchforstungen entnommen, während Zwiesel oberhalb der angestrebten Länge des astfreien Schaftes unproblematisch sind. Viertens kann es sich um Merkmale handeln, die nie im Fokus von waldbaulichen Maßnahmen standen. Zu nennen wäre hier die Steilastigkeit eines Baumes.

Wasserreiser hingegen sind eine meist temporäre Erscheinung. Sie können nach Durchforstungsmaßnahmen entstehen (SPELLMANN, 1995; NAGEL, 2006; KANZENBACH, 2007), aber auch nach einigen Jahren wieder verschwinden (RÖHRIG et al., 2006). Dies führt abhängig von den Lichtverhältnissen im Bestand zu unterschiedlich starken Besatzdichten an den Bäumen, daher ist die Merkmalsausprägung bei Wasserreisern besonders unterschiedlich. Schlechtere Phänotypen können auch prinzipiell im Bestand verbleiben, wenn es dem Bestandesschluss dienlich

ist. Befinden sich lokal keine gut ausgeformten Eichen an einer Stelle, können auch schlechter geformte Individuen im Bestand belassen werden. Die vorgefundenen Merkmalsverteilungen in den Testbeständen können nicht direkt mit denen anderer Bestände verglichen werden. Es existieren zwar Arbeiten über die Baumqualitäten in Eichenbeständen, jedoch beschränken sich die Angaben auf junge Bestände bis zur Stangenholzphase (MOSANDL et al., 1988). Ähnliche Untersuchungen, die sich auf starkes Baumholz beziehen, sind nicht vorhanden.

Die Bäume der Testbestände zeigen eine hohe Variabilität bezüglich der einzelnen Merkmalsausprägungen. Neben sehr gut geformten Individuen befindet sich auch eine Vielzahl schlecht geformter Bäume in den Saatguterntebeständen. Unter phänotypischen Aspekten (vgl. Kapitel 1.7) sind lediglich 2-7 % der Bäume eines Bestandes für die Saatgutproduktion besonders geeignet (Bäume der Qualitätsstufe 1). Werden noch die gut geeigneten Individuen hinzu gezählt (Bäume der Qualitätsstufe 2), sind 12 bis 29 % der Bäume für die Saatgutgewinnung geeignet. Der weitaus größere Teil der Bäume sollte folglich für die Produktion von hochwertigem Vermehrungsgut nicht in Betracht gezogen werden. Besonders die hohen Anteile der vierten Qualitätsstufe (18,5 bis 38,6 %) verdeutlichen die Notwendigkeit einer selektiven Beerntung. Die eingangs formulierte Arbeitshypothese, dass eine ausreichende Variation an Form und Leistung innerhalb der Erntebestände besteht, muss daher angenommen werden.

In einer Studie zur Optimierung der genetischen Qualität von Buchensaatgut wurde ebenfalls ein Teilbestand durchforstet und lediglich die phänotypisch besten Individuen belassen. Nach der Maßnahme verblieben sieben Bäume pro Hektar, die für die Beerntung geeignet sind. Ursprünglich betrug die Baumdichte 111 Bäume je Hektar (EUSEMANN et al., 2017). Das Beispiel zeigt ebenfalls, dass phänotypisch hervorragende Individuen nur in geringen Anteilen im Bestand vertreten waren. Eine Evaluierung der niedersächsischen Saatguterntebestände kommt zu dem Schluss, dass mit der Zeit durch das zunehmende Bestandesalter, Nutzungen und Kalamitäten die Eignung als Saatguterntebestand verloren gehen kann (FEIGE et al., 2011). Die Ergebnisse verdeutlichen die Notwendigkeit einer selektiven Beerntung, wenn die Folgebestände eine gesteigerte Leistungsfähigkeit aufweisen sollen. Auch im Hinblick auf die immer kleiner werdende voll nutzbare Waldfläche (POLLEY, 2009) und den Klimawandel scheint eine Beerntung von vitalen und leistungsfähigen Individuen daher ratsam.

Die Klassifizierung bewirkt eine klar erkennbare Einteilung bei den Leistungsmerkmalen Baumhöhe und Brusthöhendurchmesser (vgl. Tab. 2.4, 2.7, 2.10, 2.13 und 2.16) und bei den Formparametern (vgl. Tab. A.1, A.2, A.3, A.4 und A.5). Prinzipiell könnte eine Klassifizierung der Bäume mit abgewandelten oder weniger Parametern und einer anderen Gewichtung erfolgen. Das könnte eventuell zu leicht abgewandelten Ergebnissen führen. Jedoch würde sich an der Tendenz, dass ein Großteil der Bäume für die Saatguternte ungeeignet ist, vermutlich nichts ändern.

## 2.4.2 Qualitätsmodell

Für die bestandesweite Beerntung wurde angenommen, dass die Saatgutqualität nicht merklich gesteigert werden kann (vgl. Kap. 1.9.1). In dem Modell wurde Panmixie (Zufallspaarung aller In-

dividuen) angenommen. Das bedeutet, dass die genetischen Strukturen des Altbestandes erhalten bleiben. Geringe positive oder negative Abweichungen bedeuten nicht, dass die Folgegeneration schlechter als der Elternbestand sein wird. Vielmehr ist der Elternbestand schlechter oder besser als der fiktive Durchschnitt, der im Modell auf Null gesetzt wurde. Ebenso kann eine Abweichung von Null durch die Zuweisung von Zuchtwerten in 5 % Schritten auf die Qualitätsstufen erklärt werden. Trotzdem decken sich die Ergebnisse des Qualitätsmodells mit der Annahme, dass eine flächige Beerntung die Saatgutqualität nicht merklich steigert (siehe Tab. 2.19). Bestandesbeerntungen spiegeln danach die mittlere genetische Qualität der Ausgangspopulation wieder (EUSEMANN et al., 2017).

Beerntungen auf Einzelbaumebene bewirken eine merkliche Steigerung der Qualität mit deutlichen Unterschieden zwischen den Untervarianten (Variante 2.1 und 2.2). Für die Varianten 1.1 und 1.2 darf angenommen werden, dass die berechneten Werte durch den vermuteten hohen Fremdsameneintrag deutlich niedriger ausfallen als angegeben. Die zusätzliche Entnahme der schlechtesten Individuen (Variante 3.1 und 3.2) steigert den Mehrertrag nur unerheblich. Es muss auch hinterfragt werden, ob sich die meist schlechteren und kleineren Bäume zu gleichen Anteilen am Reproduktionsprozess beteiligen wie die größeren, besseren Bäume. Zusätzlich muss der Pollenbeitrag von außen beachtet werden, der im Modell gänzlich ausgeschlossen wurde. Eine nennenswerte Steigerung der Qualität kann erst wieder verzeichnet werden, wenn die Saatguterntebestände in Strukturen überführt werden, die Samenplantagen ähnlich sind (ab Variante 4.1). Jedoch muss auch hier der Polleneintrag von außerhalb berücksichtigt werden.

Die Ausführungen beziehen sich lediglich auf die leistungssteigernde Wirkung des Saatgutes. Zusätzlich muss die qualitätssteigernde Wirkung berücksichtigt werden. Neben der Holzmenge entscheidet auch die Aufteilung auf die einzelnen Sortimente über den ökonomischen Erfolg der Eichenwirtschaft (DONG et al., 1997). Starkes, qualitativ hochwertiges Stammholz nimmt zwar bei der Produktion hinsichtlich der Menge den geringsten Umfang ein, generiert aber den größten Teil der Erlöse (BARTELHEIMER, 1991; SPIEKER, 2015). Eine Verringerung der geringwertigen bei gleichzeitiger Steigerung der höherwertigen Sortimente würde die Eichenwirtschaft wesentlich attraktiver machen. Da die Formmerkmale einer deutlich größeren genetischen Kontrolle unterliegen als die Leistungsmerkmale (vgl. Kap. 1.7), könnte der Qualitätsgewinn deutlich höher als der Leistungsgewinn ausfallen und damit noch wichtiger sein. In einem betriebswirtschaftlichen Vergleich von unterschiedlichen Eichenherkünften wurden auch die Auswirkung der Qualitätsverbesserung berechnet. Legt man eine Verschiebung bei den besseren Herkünften von 5 % mehr A- und B-Holz zulasten der schlechteren Sortimente zugrunde, steigert das den erntekostenfreien Holzerlös bereits um 36 % (KLEINSCHMIT, 2002).



## 3 Methodenteil Genetik

In den weiteren Kapiteln steht die Genetik der Altbäume und Nachkommen im Vordergrund. Daher werden die Aufarbeitungsschritte der Proben, DNA Extraktion, Polymerase-Kettenreaktion (PCR), Sequenzierung, verwendete Mikrosatelliten, genutzte Programme und Variationsmaße in einem Kapitel gemeinsam beschrieben.

### 3.1 Aufbereiten des Probenmaterials

Von den Altbäumen wurde mit Hilfe eines Locheisens ein Stück Rinde inklusive des Kambiums als Probe gewonnen. Die Proben wurden einzeln verpackt und sofort gekühlt. Im Labor wurde anschließend von jedem Rindenstück mit dem Skalpell ein dünnes Stück Phloem mit dem Kambiumgewebe herausgeschnitten und in ein Eppendorfgesäß (2,0 ml) verbracht. Die zu analysierenden Nachkommen (Eicheln) wurden mit dem Skalpell aufgeschnitten und der Embryo freigelegt. Dieser wurde mit einer Pinzette oder dem Skalpell vom Nährgewebe gelöst und ebenfalls in ein Reaktionsgefäß verbracht. Anschließend wurden die Proben eingefroren und gefriergetrocknet. Zwischen den einzelnen Probennahmen wurden die Arbeitsunterlage und die benutzten Werkzeuge mit Alkohol gereinigt, um Verunreinigungen durch das vorherige Probenmaterial zu verhindern.

### 3.2 Extraktion der DNA

Das verwendete DNA Extraktionsprotokoll beruht in den Grundzügen auf einem Protokoll, welches am Laboratoire de génétique et d'amélioration des arbres forestiers (INRA) in Frankreich entwickelt wurde (DUMOLIN et al., 1995). An der Nordwestdeutschen Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) wurde das Protokoll jedoch in einigen Punkten leicht modifiziert. Zuerst wurden die Proben in einer Schwingmühle der Firma Retsch pulverisiert. Anschließend wurden 1.000  $\mu$ l Extraktionspuffer und 50  $\mu$ l DTT in die Reaktionsgefäße (Cup) gegeben und die Proben bei 55° C für 60 Minuten in den Thermoinkubator vermengt. Nachdem die Proben leicht abkühlen konnten, wurde in jedes Cup 500  $\mu$ l Dichlormethan gegeben und die Proben in einer Kühlzentrifuge bei 4° C mit 13.000 Umdrehungen pro Minute 20 Minuten zentrifugiert. Nach dem Zentrifugieren wurden von jeder Probe 600  $\mu$ l der wässrigen Phase abpipettiert und in neue 1,5 ml Cups gefüllt. Auf die Proben wurden 400  $\mu$ l gekühltes (-20° C) Isopropanol zur Fällung der DNA gegeben und die Reaktionsgefäße sofort 10 Minuten bei 13.000 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert. Anschließend wurde das Isopropanol vorsichtig abgegossen und der letzte Arbeitsschritt mit 76 % igem Ethanol zur Reinigung (ebenfalls -20°C) wiederholt. Danach wurde das Ethanol abgegossen

und die Proben in einer Vakuumzentrifuge 30 Minuten bei 30° C getrocknet. Abschließend wurde zu jeder Probe ca. 75 µl TE RNase-Puffer gegeben und über Nacht gekühlt gelagert. Am folgenden Tag wurden die Proben bei 37° C eine halbe Stunde in den Termoinkubator gestellt. Anschließend wurde mit einem Spectrophotometer (Nanodrop) der DNA Gehalt bestimmt. Die Rezepturen und genauen Bezeichnungen der eingesetzten Hilfsmittel sind im Anhang zu finden (siehe Anhang: Rezepte Extraktion).

### 3.3 PCR und Sequenzierung

Für die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) wurde das Gerät Primus 96 von der Firma peQLab genutzt. Das verwendete PCR-Programm gliederte sich in 3 Schritte. (a) Initiale Denaturierung bei 94°C für 3 Minuten, (b) 30 Zyklen mit Denaturierung bei 94°C für 30 Sekunden, Primeranlagerung bei 50°C für 30 Sekunden und Verlängerung bei 65°C für 90 Sekunden, (c) abschließende Verlängerung bei 60°C für 15 Minuten. Anschließend kühlte das Programm die Proben auf 8°C herunter um die Reaktion zu stoppen. Die Amplifikation der Mikrosatelliten erfolgte mit einem Kit der Firma Promega. Die Zusammensetzung der Master Mixtur für die 2 Markersätze ist im Anhang zu finden (Tab. A.6 und A.7).

Für die Bestimmung der Fragmentlängen wurde das CEQ8800 von der Firma Beckmann-Coulter verwendet. Die anschließende Auswertung erfolgte mit der Genomelab Genetic Analysis System Software, Version 11.0.24. Die Verbrauchsstoffe (für die Sequenzierung) sind im Anhang aufgelistet.

Alle im Anschluss verwendeten Programme arbeiten mit diploiden Datensätzen. Einige Eichen zeigten jedoch triploide Strukturen an verschiedenen Loci. Zeigte sich dieses Phänomen bei wenigen Genorten wurden die betreffenden Genorte mit einer Dummyvariablen codiert. Wenn viele oder alle Genorte triploide Tendenzen zeigten, wurde der Baum ganz aus dem Datensatz entfernt. Die Überprüfung und Formatierung der Rohdatensätze erfolgte in Microsoft EXCEL.

### 3.4 Mikrosatelliten

Mikrosatelliten (Simple Sequence Repeats, kurz **SSR** genannt) befinden sich in der Regel in nicht kodierenden Bereichen des Genoms und bestehen aus aufeinander folgenden Wiederholungen. Sie besitzen eine einfache Struktur, die intern zwischen 1 und 5 Basenpaaren lang sein kann (SCHRÖTTERER, 1998). Diese Wiederholungen konzentrieren sich häufig an einem Locus, sodass an einem Locus bis zu 50 verschiedene Allele auftreten können (JARNE und LAGODA, 1996). Für die genetischen Analysen wurden 2 Markersets mit jeweils 4 Mikrosatelliten verwendet. Eine Übersicht über die verwendeten Loci und deren Basenpaarlängen gibt die Tabelle 3.1. Die verwendeten Marker sind hoch variabel und eignen sich besonders für die Artunterscheidung zwischen Stiel- und Trauben-Eiche (SCOTTI-SAINTAGNE et al., 2004). Sie sind ebenfalls für Analysen der genetischen Variation auf Populationsebene und Vaterschaftsanalysen geeignet (DOW et al., 1995; STEINKELLNER et al., 1997; KAMPFER et al., 1998).

**Tabelle 3.1:** Loci der verwendeten Markersätze aus (LEPAIS et al., 2006)

Markersatz	Loci	Basenpaarlänge
1	QrZAG11	242 - 286
	QrZAG96	137 - 179
	QrZAG112	72 - 106
	QrZAG110	193 - 235
2	QrZAG5b	217 - 263
	QrZAG20	155 - 195
	QrZAG65	249 - 306
	QrZAG87	101 - 141

### 3.5 Variationsmaße

Die Quantifizierung der genetischen Variation erfolgt mit verschiedenen Variationsmaßen. Sie werden unterteilt in Maße, die auf Populationsebene und zwischen Populationen Anwendung finden. Folgend werden diejenigen erläutert, die in der vorliegenden Arbeit verwendet werden.

#### 3.5.1 Genetische Variation in Beständen

##### genische Vielfalt

Die Anzahl von Varianten in einem Dem wird als Vielfalt bezeichnet. Die Anzahl der an einem Genort auftretenden Allele ist als allelische Vielfalt definiert. Werden mehrere Genloci gleichzeitig betrachtet wird von der genischen Vielfalt gesprochen (HATTEMER et al., 1993).

##### beobachteter Heterozygotenanteil

Der Heterozygotenanteil gibt den Anteil der heterozygoten Individuen eines Demes wieder. Er darf nicht verwechselt werden mit dem Heterozygotiegrad. Dieser gibt den Anteil der heterozygoten Genloci eines Individuums wieder (HATTEMER et al., 1993). Der beobachtete Heterozygotenanteil entspricht dem tatsächlich in der Population vorliegenden Anteil an heterozygoten Individuen an einem Genlocus. Meistens werden mehrere Loci gleichzeitig betrachtet. Für die Betrachtung von mehr als einem Locus wird das arithmetische Mittel über alle Heterozygotieanteile gebildet.

## erwarteter Heterozygotenanteil

Einen besonderen Fall stellt die erwartete Heterozygotie dar. Unter der hypothetischen Annahme, daß die Genotypen an einem Locus in Hardy-Weinberg-Häufigkeiten auftreten, kann der Heterozygotenanteil mit folgender Formel berechnet werden (HATTEMER et al., 1993).

$$H_e = 1 - \sum_i p_i^2 \quad (3.1)$$

$p_i^2$ : Allelfrequenz am Genort  $i$

Für die Betrachtung von mehr als einem Locus gleichzeitig muss das arithmetische Mittel gebildet werden.

$$H_e = \frac{1}{m} \cdot 1 - \sum_i p_i^2 \quad (3.2)$$

$m$ : Anzahl der betrachteten Genorte

## genetische Diversität

Die allelische Diversität  $v_1$  (Formel 3.3) wird aus den relativen Häufigkeiten der genetischen Varianten am jeweiligen Genlocus berechnet (GREGORIUS, 1978; GREGORIUS, 1987). In der hier verwendeten Form stellt der Parameter die Anzahl der effektiven Allele dar, welche mit wesentlich von Null verschiedenen Häufigkeiten auftreten (HATTEMER et al., 1993).

$$v_1 = \sum_{i=1}^n (p_k^2)^{-1} \quad (3.3)$$

$p_k$ : Allelhäufigkeiten am Genort  $k$

Die genische Diversität (Formel 3.4) setzt sich aus den harmonischen Mittelwert aller allelischen Diversitäten zusammen (GREGORIUS et al., 1986). Sie stellt somit die mittlere Anzahl der

effektiven Allele dar.

$$v = \left( \frac{1}{L} \cdot \sum_{l=1}^n \frac{1}{v_{(l)}} \right)^{-1} \quad (3.4)$$

### Allelic Richness

Viele Verteilungsparameter werden stark von der Populationsgröße beeinflusst. Der Parameter Allelic Richness hingegen ist unabhängig von der Populationsgröße. Er kann deshalb auch bei kleineren oder unterschiedlich großen Populationen eingesetzt werden (EL MOUSADIK und PETIT, 1996). Die Allelic Richness stellt die Anzahl der gefundenen Allele dar, die an einem Locus bei bestimmter Gruppengröße gefunden werden (PETIT et al., 1997). Auf Genpoolebene wird der Mittelwert über alle Loci gebildet (Formel 3.5).

$$\hat{r}(g) = \sum_i \left[ - \left( \frac{N - N_i}{g} \right) / \left( \frac{N}{g} \right) \right] \quad (3.5)$$

$N_i$ : Allelanzahl der Unterstichprobe

N: Stichprobenumfang

g: gesamte Allelanzahl am Genort

### Populationsdifferenzierung

Die Populationsdifferenzierung (Formel 3.6) quantifiziert den Individuenanteil mit gemeinsamer bzw. unterschiedlicher genetischer Information innerhalb eines Demes (GREGORIUS, 1987; GREGORIUS, 1988). Bei völliger Gleichheit aller Individuen eines Demes liegt der Wert bei 0 und kann bei völliger Ungleichheit 1 betragen (HATTEMER et al., 1993).

$$\delta_T = \frac{N}{N-1} \cdot \left( 1 - \sum_{k=1}^n p_k^2 \right) \quad (3.6)$$

$p_i$ : Allelhäufigkeiten am Genort  $i$

N: Stichprobenumfang

Für Betrachtungen auf Genpoolebene wird das arithmetische Mittel über alle Loci gebildet (Formel 3.7).

$$\delta_T = \frac{1}{L} \cdot \sum_{l=1}^L \delta_{T(l)} \quad (3.7)$$

### 3.5.2 Genetische Variation zwischen Beständen

#### Genetischer Abstand

Die Verschiedenheit zweier Populationen wird über den genetischen Abstand (Formel 3.8) bestimmt. Dieser gibt an, welche Allelanteile eines Locus ausgetauscht werden müssen damit beide Deme die gleiche allelische Struktur aufweisen (GREGORIUS, 1974). Der Erwartungswert liegt zwischen 0 bei völliger Gleichheit und 1 bei völliger Verschiedenheit.

$$d_0 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n |p_k - q_k| \quad (3.8)$$

$p_k$ : Häufigkeit des Allels k am Genort der Population p

$q_k$ : Häufigkeit des Allels k am Genort der Population q

Für die Betrachtung von mehr als einem Loci wird der Genpool-Abstand (Formel 3.9) benötigt. Dieser ergibt sich aus dem arithmetischen Mittelwert der allelischen Abstände (HATTEMER et al., 1993).

$$d_0 = \frac{1}{L} \cdot \sum_{l=1}^L \left( \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n |p_{kl} - q_{kl}| \right) \quad (3.9)$$

$p_{kl}$ : Häufigkeit des Allels k der Population p am l-ten Genlocus

$q_{kl}$ : Häufigkeit des Allels k der Population q am l-ten Genlocus

## Genetische Differenzierung

Für die Betrachtung von mehr als zwei Populationen wird die allelische Differenzierung (Formel 3.10) verwendet. Der Parameter gibt den Abstand einer Population zum Komplement aller anderen Populationen an (GREGORIUS und ROBERTS, 1986). Der Erwartungswert liegt ebenfalls zwischen 0 und 1, wenn die betrachteten Populationen keine gemeinsamen Allele haben oder vollständig übereinstimmende allelische Strukturen aufweisen (HATTEMER et al., 1993).

$$D_j = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n |p_i^{(j)} - \bar{p}_i^{(j)}| \quad (3.10)$$

$p_i$ : Häufigkeit des Allels  $k$  in Dem  $j$

$\bar{p}_i$ : mittlere Häufigkeit des Allels  $k$  im Komplement von Dem  $j$

Auf Genpoolebene werden die allelischen Differenzierungen mit den relativen Umfängen der einzelnen Deme gewichtet und zur Gesamtdifferenzierung (Formel 3.11) zusammengefasst (GREGORIUS, 1988).

$$\delta = \sum_j c_j \cdot D_j \quad (3.11)$$

## 3.6 Test auf Homogenität

Der Test auf Homogenität prüft die Hypothese, ob die einzelnen Stichproben (Teilpopulationen) aus einer Gesamtpopulation hervorgegangen sind und Unterschiede der genetische Strukturen allein zufallsbedingt sind. Hierfür wird angenommen, dass die einzelnen Teilpopulationen durch eine jeweilige Häufigkeitsverteilung charakterisiert sind, die durch die Anzahl der Individuen jedes der Typen der Teilpopulation definiert ist (GILLET, 2010). Zur Berechnung der Teststatistik wird ein G-Test verwendet (HATTEMER et al., 1993).

## 3.7 Nullallele

Null-Allele treten auf, wenn zufällig auftretende Mutationen das Anbinden der Primer während der (PCR) verhindern (CALLEN et al., 1993; CHAPUIS und ESTOUP, 2007). Grundsätzlich

werden zwei verschiedene Fehlertypen ausgewiesen. Ist ein Individuum homozygot für ein Null-Allel, schlägt die Genotypisierung fehl. Ist es heterozygot für ein Null-Allel, dann scheint das Individuum homozygot zu sein. Allerdings ist es nicht von richtigen homozygoten zu unterscheiden (WAGNER et al., 2006). Nullallele führen zu fehlerhaften Einschätzungen der Heterozygotie und falschen Werten bei der Vielfalt und Diversität. Sie können ebenfalls als Ursache für fehlerhafte Elternchaftsanalysen angeführt werden (MARSHALL et al., 1998).

Für den Test auf Null-Allele wurde das Programm CERVUS 3.0.7 (Field Genetics Ltd.) verwendet. Die geschätzten Häufigkeiten lagen sehr oft nahe Null oder im negativen Bereich. In wenigen Fällen wurden an einzelnen Genorten leicht erhöhte Werte festgestellt (siehe Anhang Tab. A.8). Die erwarteten Häufigkeiten sind aber nicht weiter problematisch, sodass einzelne Loci wie sonst üblich nicht entfernt werden mussten

### 3.8 Berechnungen zur Artbestimmung

Für die Differenzierung zwischen Stiel- und Trauben-Eiche innerhalb eines Bestandes wurde die Software STRUCTURE (Version 2.3.4) verwendet. STRUCTURE nutzt eine bayesische Clusteranalyse unter Anwendung der Markov-Ketten-Monte-Carlo Schätzung (MCMC) um die Gesamtpopulation in eine im Vorfeld definierte Anzahl an Subpopulationen ( $K$ ) zerlegen zu können, in denen näherungsweise das Hardy-Weinberg-Gleichgewicht herrscht (PRITCHARD et al., 2000; PORRAS-HURTADO et al., 2013). Jede Population wird anschließend anhand ihres Multilocus-Genotyps mit einer posterioren Wahrscheinlichkeit ( $p$ ) einer der Subpopulationen (Baumarten) zugeordnet. Zusätzlich sind Referenzdaten von Stiel- und Trauben-Eichen verwendet worden. Die Anzahl der Subpopulationen ( $K$ ) wurde von 1 bis 4 variiert. Jeweils 15 Läufe mit 100.000 (MCMC)-Iterationen und einer burn in-Periode von 100.000 wurden durchgeführt. Nach dem Verfahren von (EVANNO et al., 2005) wurde die Anzahl an Subpopulationen bestimmt, die am wahrscheinlichsten ist. Dazu wurde das Programm STRUCTURE Harvester verwendet (EARL und VON HOLDT, 2012).

### 3.9 Berechnung der Variationsmaße

Für die Berechnung der Diversitätsmaße ( $v$ ,  $\delta_T$ ,  $d_0$ ,  $D_j$ ) und den Test auf Homogenität wurde das Programm GSED verwendet (GILLET, 2010). Die Allelic Richness ist in dem Programm nicht implementiert und wurde daher zusätzlich mit der R-Software (R Core Team, 2018) und dem R-Paket „HIERFSTAT“ (GOUDET und JOMBART, 2015) berechnet. Für die Berechnung der Allelic Richness von unterschiedlichen Beständen und Klassen muss immer im Vorfeld die kleinste Gruppengröße ermittelt werden. Die Allelic Richness bezieht sich dann auf eine Population dieser Größe.

### 3.10 Elternschaftsanalysen

Für die Elternschaftsanalysen wurde das Programm CERVUS 3.0.7 (Field Genetics Ltd.) verwendet. Das Programm CERVUS nutzt einen wahrscheinlichkeitsbasierten Ansatz um Abstammungsverhältnisse zwischen Nachkommen und Eltern zu klären. Dazu verwendet das Programm Allelhäufigkeiten potentieller Eltern und Nachkommen, sowie Angaben über die Heterozygotie. Berechnet wird ein so genannter LOD-Score, der das Gesamtwahrscheinlichkeitsverhältnis angibt. Ein positiver LOD-Score (höchstes log-likelihood Verhältnis) bedeutet, dass der Kandidatenelternanteil wahrscheinlicher ist, als der echte Elternanteil. Ein negativer LOD-Score bedeutet, dass der Kandidatenelternanteil weniger wahrscheinlicher ist, als der echte Elternanteil (MARSHALL et al., 1998; KALINOWSKI et al., 2007). Für die Berechnungen wurden 100.000 mögliche Nachkommen simuliert. Das Verhältnis der registrierten möglichen Eltern wurde auf 95 % und das Verhältnis der vorhandenen Loci auf 90 % eingestellt. Mindestens 6 Loci mussten für die Analysen beachtet werden.



# 4 Genetische Vielfalt und Diversität innerhalb der Testbestände

## 4.1 Einleitung

Bei populationsgenetischen Analysen stehen vielfach Begriffe wie genetische Vielfalt und genetische Diversität im Vordergrund. Genetische Vielfalt beschreibt dabei das Vorhandensein von verschiedenen genetischen Varianten (HATTEMER, 1991). Bei dieser Betrachtungsweise wird jedoch nur die An- oder Abwesenheit von Varianten betrachtet, nicht jedoch ihre Häufigkeiten (HATTEMER et al., 1993; HATTEMER und ZIEHE, 2018). Genetische Diversität erweitert den Begriff der Vielfalt dadurch, dass nicht nur die vorhandenen Varianten sondern deren relative Häufigkeiten betrachtet werden.

Waldbäume sind ortsfeste Individuen, die sich durch Langlebigkeit auszeichnen. Sie sind im Laufe ihres Lebens im besonderen Maße Umweltveränderungen ausgesetzt (GEBUREK et al., 1989; HATTEMER, 1991; BERGMANN und HOSIUS, 1996; MÜLLER-STARCK, 1996a; GERBER et al., 2014; HATTEMER und ZIEHE, 2018). Das Potential, sich an diese ständig wechselnden Bedingungen anzupassen, erfordert von den Baumarten ein hohes Maß an genetischer Variation. Eine hohe genetische Variation wird damit als wesentlicher Erfolgsfaktor angesehen, um in der sich ändernden Umwelt überleben zu können (MÜLLER-STARCK und ZIEHE, 1991; HERTEL und KOHLSTOCK, 1996; MÜLLER-STARCK, 1996a; GAILING, 2010). Im Vergleich zu anderen Pflanzen- und Tierarten zeigen Baum- und Straucharten eine besonders hohe Vielfalt (GEBUREK et al., 1989; HAMRICK und GODT, 1996). Mittlerweile wird eine hohe genetische Vielfalt als Grundvoraussetzung für eine nachhaltige Forstwirtschaft angesehen (MÜLLER-STARCK, 1994; DEGEN und SCHOLZ, 1996; HERTEL und KOHLSTOCK, 1996; TABEL, 1996; STEPHAN, 1996), die es zu schützen und zu erhalten gilt.

Die Nutzung der Wälder durch den Menschen kann einen großen Einfluss auf die Genetik der Bestände haben (HOSIUS, 1993; HUSSENDÖRFER und KONNERT, 2000; HOSIUS et al., 2006). Bei jeder waldbaulichen Maßnahme werden schlussendlich auch Genotypen entnommen, die die Bestandesvielfalt herabsetzen und den Genpool eines Bestandes und seiner Nachkommen nachhaltig beeinflussen. Der Bestandesbegründung kommt in diesem Zusammenhang eine besondere Rolle zu. Mit der Wahl des Vermehrungsgutes und der Art der Kulturbegründung wird der Grundstein für die Vielfalt und damit Anpassungsfähigkeit eines Bestandes gelegt (GEBUREK et al., 1989; ROTACH, 1994; GEBUREK und MENGL, 1998). Neben der Anpassungsfähigkeit entscheidet die Wahl des Saatgutes auch über den ökonomischen Erfolg eines Bestandes (MÜLLER-STARCK, 1996a). Im

Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) werden beide Aspekte berücksichtigt. So fordert das Gesetz, dass die genetische Vielfalt zu erhalten oder zu verbessern ist und die Leistungsfähigkeit der Bestände gefördert werden soll (FoVG, 2002).

Forstvermehrungsgut enthält überwiegend die genetischen Informationen des jeweiligen Erntebestandes und in variierenden Anteilen die des eingeflogenen Pollens (GREGORIUS et al., 1985). Die aktuelle genetische Ausstattung eines Bestandes bildet somit die Grundlage für die Vielfalt des Saatgutes (KONNERT und HOSIUS, 2010). Es ist für das Saatguterntekonzept daher von Bedeutung, die Genetik der Altbestände zu erfassen und die Auswirkungen der einzelnen Beerntungs- und Behandlungsvarianten bestimmen zu können. Schließlich muss Saatgut aus Einzelbaumberntung ebenfalls eine hohe genetische Vielfalt und Diversität besitzen.

## **4.2 Aufnahme, Verarbeitung und Auswertung der Proben**

Im Frühjahr 2017 wurden von allen Eichen der Testflächen Kambiumproben genommen. Die gewonnenen Proben wurden wie in Kapitel 3 beschrieben aufgearbeitet und weiterverwendet. Bei den folgenden Auswertungen können die Anzahlen der beprobten Bäume gegenüber den ursprünglichen Baumzahlen der Testbestände abweichen. Einige Individuen sind bereits abgestorben oder im Zuge von waldbaulichen Maßnahmen entnommen worden.

Zuerst wurde die Artzugehörigkeit der einzelnen Individuen geklärt. Dieser Schritt ist notwendig, damit bei den anschließenden Berechnungen nur Individuen der gleichen Baumart berücksichtigt werden. Die Varianten und die Methodik der Klassifizierung wurden bereits in den Kapiteln 1.11 und 2.2.3 ausführlich dargestellt. Für die Berechnungen der Behandlungsvarianten wurden die Ergebnisse der Freistellung aus Kapitel 5 verwendet.

## **4.3 Ergebnisse**

### **4.3.1 Artreinheit der Testbestände**

Die Clusteranalyse mit dem Programm Structure Harvester ergab keine Hinweise auf Hybridisierungstendenzen. In allen Fällen zeigt die Aufteilung in zwei unterschiedliche Populationen (Stiel- und Trauben-Eiche) die beste Modellanpassung (siehe Anhang Tab. A.9). Des Weiteren können die Testbestände Cottbus, Dassel, Reinhardshagen und Sichelstein als artreine Bestände angesehen werden. Innerhalb der Testflächen sind lediglich zwischen drei und fünf Individuen der jeweils anderen Art zu finden (siehe Anhang Abb. A.2, A.3, A.5 und A.6). Die Individuen der jeweils anderen Art wurden für die folgenden Analysen aus den Datensätzen entfernt. Anders verhält es sich mit dem Trauben-Eichen-Testbestand in Grünenplan. Hier können von insgesamt 176 Bäumen 58 der Stiel-Eiche zugeordnet werden (siehe Anhang Abb. A.4). Für die folgenden Analysen wurde der Testbestand Grünenplan in einen Stiel- und Trauben-Eichen Bestandeteil aufgeteilt.

### 4.3.2 Genetische Vielfalt, Diversität und Differenzierung zwischen den Testbeständen

In Tabelle 4.1 sind die Ergebnisse der Variationsanalyse für die Stiel-Eichenbestände getrennt nach Genorten aufgelistet. Mit bis zu 58 Individuen pro Genort ist der Bestand in Grünenplan der kleinste. Darauf folgt mit bis zu 220 Individuen pro Genort der Bestand in Dassel. Mit maximal 316 Individuen ist der Bestand in Reinhardshagen am größten. Zwischen den einzelnen Loci schwankt die allelische Vielfalt stark. Der Genort QrZAG96 weist über alle Bestände die geringsten und QrZAG5b die höchsten Werte auf. Im direkten Bestandesvergleich zeigt der Bestand in Grünenplan immer die geringsten Werte. Dassel und Reinhardshagen hingegen liegen auf annähernd gleichem Niveau darüber. Bei der allelischen Diversität zeigen sich ebenfalls große Schwankungen zwischen den einzelnen Loci. Auch hier zeigt der Genort QrZAG96 die geringsten Werte. Die höchsten Werte zeigt der Genort QrZAG65. Der Bestand in Grünenplan zeigt bei diesem Variationsparameter am häufigsten die höchsten Werte. Der Bestand in Reinhardshagen zeigt hingegen am häufigsten die geringsten Werte. Bei der Allelic Richness zeigt sich das gleiche Bild wie bei der allelischen Diversität. Der Genort QrZAG96 zeigt die geringsten und QrZAG65 die höchsten Werte. Auch hier zeigt beim Bestandesvergleich der Bestand aus Grünenplan am häufigsten die höchsten Werte, die Bestände Dassel und Reinhardshagen gleich häufig die niedrigsten. Bei der Populationsdifferenzierung zeigt der Genort QrZAG96 wieder die geringsten Werte, QrZAG65 die höchsten. Viele der hier betrachteten Loci weisen ein ähnlich hohes Niveau auf. Zwischen den Beständen sind die Unterschiede nur sehr gering. Ähnliches zeigt sich auch bei der beobachteten und erwarteten Heterozygotie. QrZAG96 weist wieder die geringsten Werte auf. Alle anderen Loci liegen weit darüber. Zwischen den Beständen sind die Unterschiede ebenfalls nur gering. In den meisten Fällen liegt die beobachtete Heterozygotie leicht unterhalb der erwarteten Heterozygotie. In nur neun Fällen liegt sie geringfügig darüber.

**Tabelle 4.1:** Variationsmaße der Stiel-Eichen Testbestände auf Locusebene (L = Locus, N = Anzahl Individuen,  $A_O$  = allelische Vielfalt,  $A_E$  = allelische Diversität,  $A_R$  = Allelic Richness ( $n = 56$ ),  $\delta_T$  = Populationsdifferenzierung,  $H_O$  = beobachtete Heterozygotie,  $H_E$  = erwartete Heterozygotie)

L	Testbestand	N	$A_O$	$A_E$	$A_R$	$\delta_T$	$H_O$	$H_E$
QrZAG112	Dassel	220	29	6,30	13,95	0,843	0,86	0,84
	Grünenplan	58	17	7,52	14,17	0,875	0,90	0,87
	Reinhardshagen	315	26	4,60	11,07	0,784	0,83	0,78
QrZAG96	Dassel	220	17	1,83	9,12	0,454	0,47	0,45
	Grünenplan	58	10	1,71	7,35	0,417	0,43	0,43
	Reinhardshagen	316	20	1,78	9,14	0,438	0,45	0,44
QrZAG110	Dassel	220	20	3,30	10,78	0,699	0,69	0,70
	Grünenplan	58	15	3,65	11,67	0,732	0,72	0,73
	Reinhardshagen	316	26	2,99	11,63	0,666	0,68	0,67
QrZAG11	Dassel	220	27	10,72	17,10	0,909	0,91	0,91
	Grünenplan	58	22	11,68	18,02	0,922	0,93	0,91
	Reinhardshagen	314	28	10,74	17,11	0,908	0,88	0,91
QrZAG87	Dassel	218	31	10,50	17,66	0,907	0,89	0,91
	Grünenplan	58	26	13,57	19,37	0,934	0,91	0,93
	Reinhardshagen	315	33	10,45	16,75	0,906	0,87	0,90
QrZAG20	Dassel	206	24	6,35	12,22	0,845	0,94	0,84
	Grünenplan	56	14	5,52	10,71	0,817	0,82	0,81
	Reinhardshagen	282	22	6,86	12,04	0,856	0,81	0,85
QrZAG5b	Dassel	218	40	15,34	20,80	0,937	0,88	0,94
	Grünenplan	58	29	15,22	22,36	0,942	0,90	0,93
	Reinhardshagen	314	41	14,80	20,62	0,934	0,91	0,93
QrZAG65	Dassel	219	36	20,16	22,69	0,953	0,88	0,95
	Grünenplan	58	28	19,06	23,53	0,956	0,81	0,95
	Reinhardshagen	316	39	22,01	23,77	0,956	0,86	0,96

In Tabelle 4.2 sind die Ergebnisse der Variationsanalyse für die Trauben-Eichenbestände getrennt nach Genorten aufgelistet. Mit bis zu 118 beteiligten Individuen pro Genort ist der Bestand in Grünenplan der kleinste. Darauf folgt mit bis zu 120 Individuen pro Genort der Bestand in Sichelstein. Mit maximal 227 Individuen ist der Bestand in Cottbus am größten. Zwischen den einzelnen Loci schwankt die allelische Vielfalt stark. Der Genort QrZAG112 weist über alle Bestände die geringsten und QrZAG65 die höchsten Werte auf. Im direkten Bestandesvergleich

zeigt der Bestand in Sichelstein am häufigsten die geringsten und der Bestand aus Grünenplan am häufigsten die höchsten Werte. Die Unterschiede sind aber nicht sehr groß. Bei der allelischen Diversität zeigen sich ebenfalls große Schwankungen zwischen den einzelnen Loci. Auch hier zeigt der Genort QrZAG112 die geringsten Werte. Die höchsten Werte zeigt der Genort QrZAG65. Der Bestand in Cottbus zeigt bei diesem Variationsparameter am häufigsten die höchsten Werte. Der Bestand in Sichelstein zeigt hingegen am häufigsten die geringsten Werte. Bei der Allelic Richness zeigt sich das gleiche Bild wie bei der allelischen Diversität. Der Genort QrZAG112 zeigt die geringsten und QrZAG65 die höchsten Werte. Beim Bestandesvergleich zeigt der Bestand aus Grünenplan am häufigsten die höchsten Werte. Der Bestand aus Cottbus am häufigsten die niedrigsten. Bei der Populationsdifferenzierung zeigt der Genort QrZAG112 wieder die geringsten Werte, QrZAG65 die höchsten. Viele der hier angegebenen Loci weisen ein ähnlich hohes Niveau auf. Zwischen den Beständen sind die Unterschiede nur sehr gering. Ähnliches zeigt sich auch bei der beobachteten und erwarteten Heterozygotie. QrZAG112 weist wieder die geringsten Werte auf. Alle anderen Loci liegen weit darüber. Zwischen den Beständen sind die Unterschiede ebenfalls nur gering. In den meisten Fällen liegt die beobachtete Heterozygotie leicht unterhalb der erwarteten Heterozygotie. In nur sechs Fällen liegt sie geringfügig darüber.

**Tabelle 4.2:** Variationsmaße der Trauben-Eichen Testbestände auf Locusebene (L = Locus, N = Anzahl Individuen, A<sub>O</sub> = Anzahl Allele, A<sub>E</sub> = allelische Diversität, A<sub>R</sub> = Allelic Richness (n = 109),  $\delta_T$  = Populationsdifferenzierung, H<sub>O</sub> = beobachtete Heterozygotie, H<sub>E</sub> = erwartete Heterozygotie)

L	Testbestand	N	A <sub>O</sub>	A <sub>E</sub>	A <sub>R</sub>	$\delta_T$	H <sub>O</sub>	H <sub>E</sub>
QrZAG112	Cottbus	277	8	1,78	5,66	0,437	0,44	0,44
	Grünenplan	118	9	1,63	7,35	0,388	0,39	0,39
	Sichelnstein	120	7	1,52	5,31	0,344	0,33	0,34
QrZAG96	Cottbus	275	24	9,11	18,94	0,891	0,87	0,89
	Grünenplan	118	25	9,04	22,07	0,893	0,86	0,89
	Sichelnstein	120	20	8,24	17,85	0,882	0,83	0,88
QrZAG110	Cottbus	276	20	6,13	14,74	0,838	0,80	0,84
	Grünenplan	118	20	6,42	16,40	0,848	0,87	0,84
	Sichelnstein	120	23	7,31	18,15	0,867	0,91	0,86
QrZAG11	Cottbus	277	17	4,60	12,59	0,784	0,70	0,78
	Grünenplan	118	18	4,51	14,58	0,782	0,68	0,78
	Sichelnstein	120	15	4,19	13,04	0,765	0,76	0,76
QrZAG87	Cottbus	277	17	7,01	12,79	0,859	0,87	0,86
	Grünenplan	118	18	7,43	15,42	0,869	0,87	0,87
	Sichelnstein	120	16	8,54	14,77	0,887	0,88	0,88
QrZAG20	Cottbus	266	22	9,60	17,36	0,897	0,88	0,90
	Grünenplan	109	19	7,91	17,50	0,878	0,82	0,87
	Sichelnstein	119	21	9,38	17,95	0,897	0,92	0,89
QrZAG5b	Cottbus	277	32	14,18	22,27	0,931	0,87	0,93
	Grünenplan	118	32	15,96	25,68	0,941	0,91	0,94
	Sichelnstein	120	28	12,62	23,51	0,925	0,93	0,92
QrZAG65	Cottbus	277	34	16,12	25,95	0,940	0,86	0,94
	Grünenplan	118	33	20,06	27,75	0,954	0,96	0,95
	Sichelnstein	120	29	21,27	26,94	0,957	0,84	0,95

In Tabelle 4.3 sind die Ergebnisse der Variationsanalyse für eine Multilocus-Betrachtung angegeben. Mit 316 Individuen ist der Bestand in Reinhardshagen der größte und mit 58 Individuen der Bestand in Grünenplan (Stiel-Eiche) der kleinste. Die höchsten Allelanzahlen weisen die Bestände aus Dassel und Reinhardshagen auf. Alle übrigen Bestände liegen auf annähernd gleichem Niveau darunter. Bei der genetischen Diversität zeigen sich keine großen Schwankungen. Die Werte fast aller Bestände liegen auf ähnlichem Niveau, lediglich der Bestand

aus Reinhardshagen zeigt etwas geringere Werte. Trauben-Eichen-Bestände zeigen gegenüber den Stiel-Eichen-Beständen eine niedrigere Allelic Richness, wobei der kleinste Bestand (Grünenplan Stiel-Eiche) den höchsten Wert und der zweitgrößte Bestand (Cottbus) den geringsten Wert aufweist. Die Werte der Populationsdifferenzierung liegen bei fast allen Beständen auf ähnlichem Niveau. Lediglich der Wert für den Reinhardshagener Bestand liegt etwas darunter. In den meisten Fällen liegt die beobachtete Heterozygotie leicht unterhalb der erwarteten Heterozygotie. In nur einem Fall ist sie gleich groß. Der Testbestand in Dassel zeigt bei der Heterozygotie die höchsten und Reinhardshagen die geringsten Werte.

**Tabelle 4.3:** Variationsmaße der Testbestände auf Genpoolebene (Baumart, Testbestand, N = Anzahl Individuen,  $A_O$  = genetische Vielfalt,  $A_E$  = genetische Diversität,  $A_R$  = Allelic Richness (N = 58),  $\delta_T$  = Populationsdifferenzierung,  $H_O$  = beobachtete Heterozygotie,  $H_E$  = erwartete Heterozygotie)

Baumart	Testbestand	N	$A_O$	$A_E$	$A_R$	$\delta_T$	$H_O$	$H_E$
Stiel-Eiche	Dassel	220	224	5,44	15,77	0,818	0,82	0,82
Stiel-Eiche	Grünenplan	58	161	5,47	16,12	0,824	0,80	0,82
Stiel-Eiche	Reinhardshagen	316	235	5,12	15,48	0,806	0,79	0,79
Trauben-Eiche	Cottbus	277	174	5,58	13,70	0,822	0,79	0,82
Trauben-Eiche	Grünenplan	118	174	5,42	15,08	0,819	0,79	0,82
Trauben-Eiche	Sichelnstein	140	159	5,32	14,49	0,815	0,80	0,81

Die genetischen Abstände ( $d_0$ ) zwischen den Testbeständen sind in Tabelle 4.4 angegeben. Für die Stiel-Eiche zeigt der Paarvergleich Dassel-Grünenplan den höchsten, der Vergleich Dassel-Reinhardshagen den geringsten Abstand. Bei der Trauben-Eiche zeigt der Paarvergleich Cottbus-Sichelnstein den höchsten und Grünenplan-Sichelnstein den geringsten Abstand.

Die Ergebnisse der paarweisen Homogenitätstests sind höchst signifikant. Die Hypothese, dass die Bestände aus einer Grundgesamtheit stammen und Unterschiede zwischen diesen zufälliger Natur sind wird damit verworfen (siehe Anhang Tab. A.10).

**Tabelle 4.4:** Genetischer Abstand zwischen den Beständen (Baumart, Paarvergleich,  $d_0$  = genetischer Abstand)

Baumart	Paarvergleich	$d_0$
Stiel-Eiche	Dassel - Grünenplan	0,253
	Dassel - Reinhardshagen	0,140
	Grünenplan - Reinhardshagen	0,237
Trauben-Eiche	Cottbus - Grünenplan	0,219
	Cottbus - Sichelstein	0,233
	Grünenplan - Sichelstein	0,194

### 4.3.3 Auswirkungen der Klassifizierung auf die Bestandesvielfalt und Diversität

In den Tabellen 4.5 und 4.6 sind die Ergebnisse der Variationsanalyse getrennt nach Beständen für die einzelnen Qualitätsstufen aufgelistet. Die Population eins bis drei stellen die Stiel-Eichen und fünf bis sieben die Trauben-Eichen Populationen dar. Bei den Populationen vier und acht handelt es sich um einen Zusammenschluss der jeweils vorherigen Populationen. Zusätzlich wurden die Werte der Qualitätsstufen eins und zwei verechnet, weil einige Varianten die Beerntung beider Qualitätsstufen vorsehen. Zur Berechnung der Allelic Richness wurde die jeweils kleinste Individuenzahl einer Qualitätsstufe innerhalb einer Population verwendet. Innerhalb der Stiel- und Trauben-Eichenbestände zeigt sich, dass die Einteilung in Qualitätsstufen große Auswirkungen auf die genetische Vielfalt hat. Die gering besetzten Qualitätsstufen (1 und 5) zeigen deutlich reduzierte Allelanzahlen gegenüber den stärker besetzten. Dieser Sachverhalt wird ersichtlich, wenn die Qualitätsstufen der Bestände zusammengefasst werden (Population 4 und 8). Ein gleiches Muster zeigt sich, wenn die Individuen der Qualitätsstufen eins und zwei zusammengefasst werden. Bei der genetischen Diversität hat die Einteilung in Qualitätsstufen nur Auswirkungen, wenn die Individuenzahlen in den Gruppen sehr klein sind (Population 2, 6 und 7, Qualitätsstufen 1 und 5). Mittlere und große Gruppen zeigen nur noch geringe Unterschiede (z.B. Population 1, Qualitätsstufen 2 und 3) oder liegen auf gleichem Niveau (z.B. Population 5, Qualitätsstufe 2 und 3). Bei dem Parameter Allelic Richness sind selbst zwischen den kleinen und großen Gruppen nur noch geringe Unterschiede sichtbar.

**Tabelle 4.5:** Variationsmaße auf Genpoolebene getrennt nach Stiel-Eichenbeständen und Qualitätsstufen bei der Stiel-Eiche (K = Qualitätsstufe, Pop 1 = Stiel-Eiche Dassel, Pop 2 = Stiel-Eiche Grünenplan, Pop 3 = Stiel-Eiche Reinhardshagen, Pop 4 = alle Bestände zusammen, N = Anzahl Individuen Qualitätsstufe, A<sub>O</sub> = genetische Vielfalt, A<sub>E</sub> = genetische Diversität, A<sub>R</sub> = Allelic Richness)

K	Pop	N	A <sub>O</sub>	A <sub>E</sub>	A <sub>R</sub>	Pop	N	A <sub>O</sub>	A <sub>E</sub>	A <sub>R</sub>
1		5	49	4,19	3,84		1	14	1,60	1,00
2		39	136	4,97	3,70		6	63	4,11	1,00
1+2	1	44	142	5,27	3,75	2	7	67	4,22	1,00
3		108	200	5,46	3,79		30	125	5,64	1,00
4		61	165	5,21	3,74		16	101	4,77	1,00
5		7	62	4,16	3,78		5	46	3,48	1,00
1		22	103	4,52	5,91		28	119	5,41	9,71
2		68	164	4,70	5,89		113	198	4,92	9,62
1+2	3	90	175	4,75	5,85	4	141	210	5,01	9,58
3		137	194	5,25	6,13		275	242	5,50	10,08
4		79	177	5,05	6,08		156	214	5,27	9,90
5		10	77	4,05	6,14		22	117	4,62	10,10

**Tabelle 4.6:** Variationsmaße auf Genpoolebene getrennt nach Beständen und Qualitätsstufen bei der Trauben-Eiche (K = Qualitätsstufe, Pop 5 = Trauben-Eiche Cottbus, Pop 6 = Trauben-Eiche Grünenplan, Pop 7 = Trauben-Eiche Sichelstein, Pop 8 = alle Bestände zusammen, N = Anzahl Individuen Qualitätsstufe,  $A_O$  = genetische Vielfalt,  $A_E$  = genetische Diversität,  $A_R$  = Allelic Richness)

K	Pop	N	$A_O$	$A_E$	$A_R$	Pop	N	$A_O$	$A_E$	$A_R$
1		9	65	4,34	5,55		3	35	3,60	2,62
2		49	127	5,24	5,58		11	77	4,65	2,54
1+2	5	58	130	5,23	5,57	6	14	88	5,10	2,56
3		151	162	5,71	5,68		56	150	5,26	2,54
4		52	124	5,17	5,52		37	120	5,01	2,51
5		16	93	4,63	5,65		11	78	4,64	2,55
1			3	34	3,00		1,80		15	89
2		21	98	4,76	1,81		81	151	5,40	7,81
1+2	7	24	104	4,83	1,81	8	96	155	5,44	7,80
3		49	136	5,26	1,82		256	191	5,74	7,98
4		45	131	5,16	1,82		134	169	5,41	7,80
5		2	22	2,29	1,75		29	117	5,09	7,88

In den Tabellen 4.7 und 4.8 sind die genetische Differenzierung ( $D_j$ ) und die Gesamtdifferenzierung ( $\delta$ ) getrennt nach Beständen und Qualitätsstufen aufgelistet. Die berechneten Werte stehen in direktem Zusammenhang mit der berücksichtigten Individuenzahl der Qualitätsstufen (vgl. Anzahl Individuen Qualitätsstufe (N) Tabelle 4.5 und 4.6). Je kleiner die Anzahlen in den Qualitätsstufen sind, desto größer der Wert. Darum sind die niedrigsten Werte in der dritten Qualitätsstufe und die höchsten in der ersten und fünften zu finden. Gleiches gilt, wenn innerhalb einer Qualitätsstufe die Individuenzahl zunimmt (z.B. Population 1 und 2 mit 3 oder 4).

**Tabelle 4.7:** Genetische Differenzierung auf Genpoolebene getrennt nach Beständen und Qualitätsstufen bei der Stiel-Eiche (Pop 1 = Stiel-Eiche Dassel, Pop 2 = Stiel-Eiche Grünenplan, Pop 3 = Stiel-Eiche Reinhardshagen, Pop 4 = alle Bestände zusammen,  $D_{j1}$  bis  $D_{j5}$  = genetische Differenzierung Qualitätsstufe 1 bis 5,  $\delta$  = Gesamtdifferenzierung)

	$D_{j1}$	$D_{j2}$	$D_{j3}$	$D_{j4}$	$D_{j5}$	$\delta$
Pop 1	0,547	0,212	0,144	0,176	0,354	0,181
Pop 2	0,773	0,409	0,300	0,315	0,479	0,339
Pop 3	0,246	0,147	0,133	0,151	0,377	0,156
Pop 4	0,234	0,122	0,097	0,106	0,261	0,117

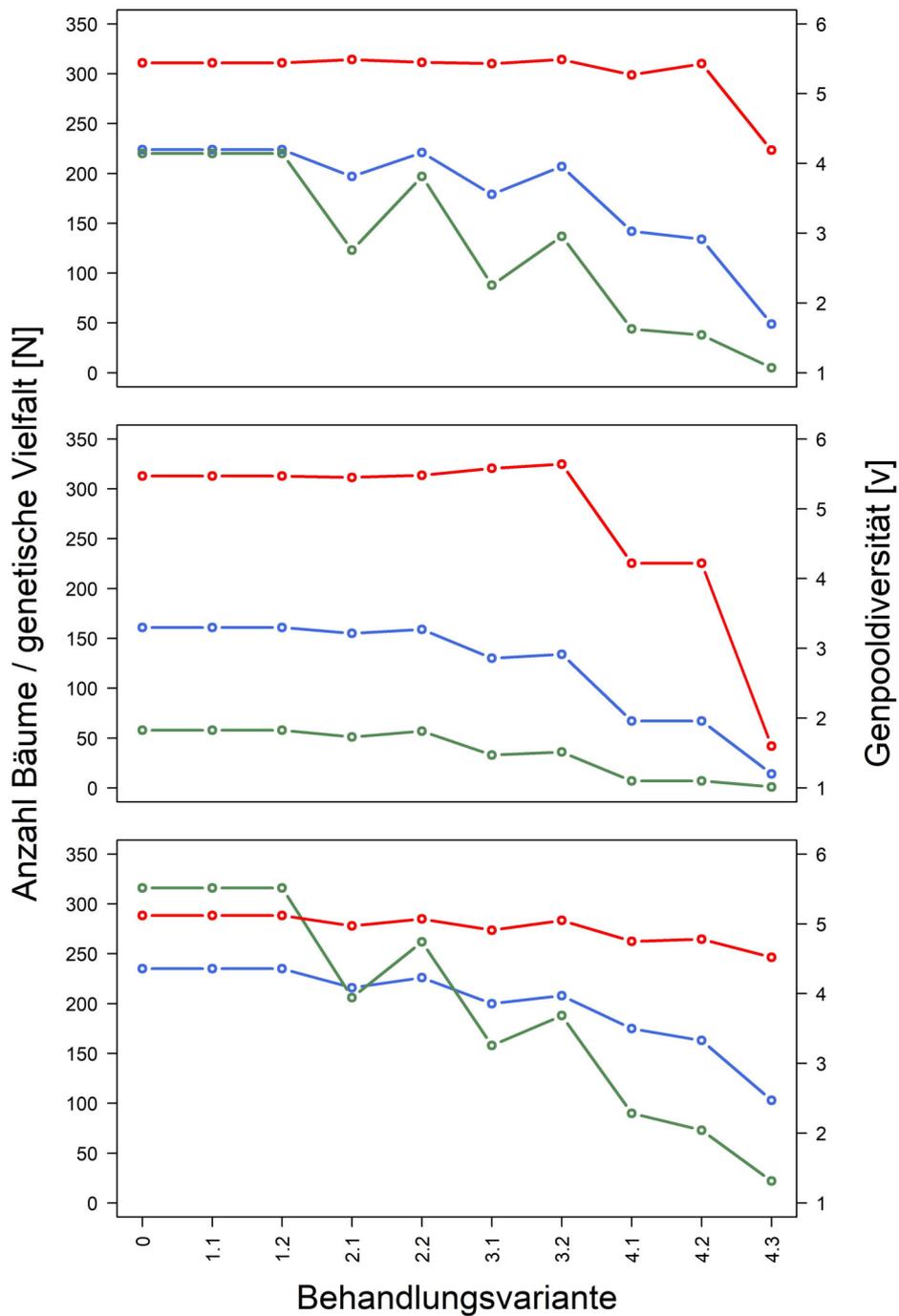
**Tabelle 4.8:** Genetische Differenzierung auf Genpoolebene getrennt nach Beständen und Qualitätsstufen bei der Trauben-Eiche (Pop 5 = Trauben-Eiche Cottbus, Pop 6 = Trauben-Eiche Grünenplan, Pop 7 = Trauben-Eiche Sichelstein, Pop 8 = alle Bestände zusammen,  $D_{j1}$  bis  $D_{j5}$  = genetische Differenzierung Qualitätsstufe 1 bis 5,  $\delta$  = Gesamtdifferenzierung)

	$D_{j1}$	$D_{j2}$	$D_{j3}$	$D_{j4}$	$D_{j5}$	$\delta$
Pop 5	0,326	0,170	0,132	0,159	0,260	0,158
Pop 6	0,548	0,359	0,205	0,228	0,341	0,248
Pop 7	0,524	0,242	0,190	0,193	0,651	0,218
Pop 8	0,276	0,144	0,106	0,127	0,218	0,129

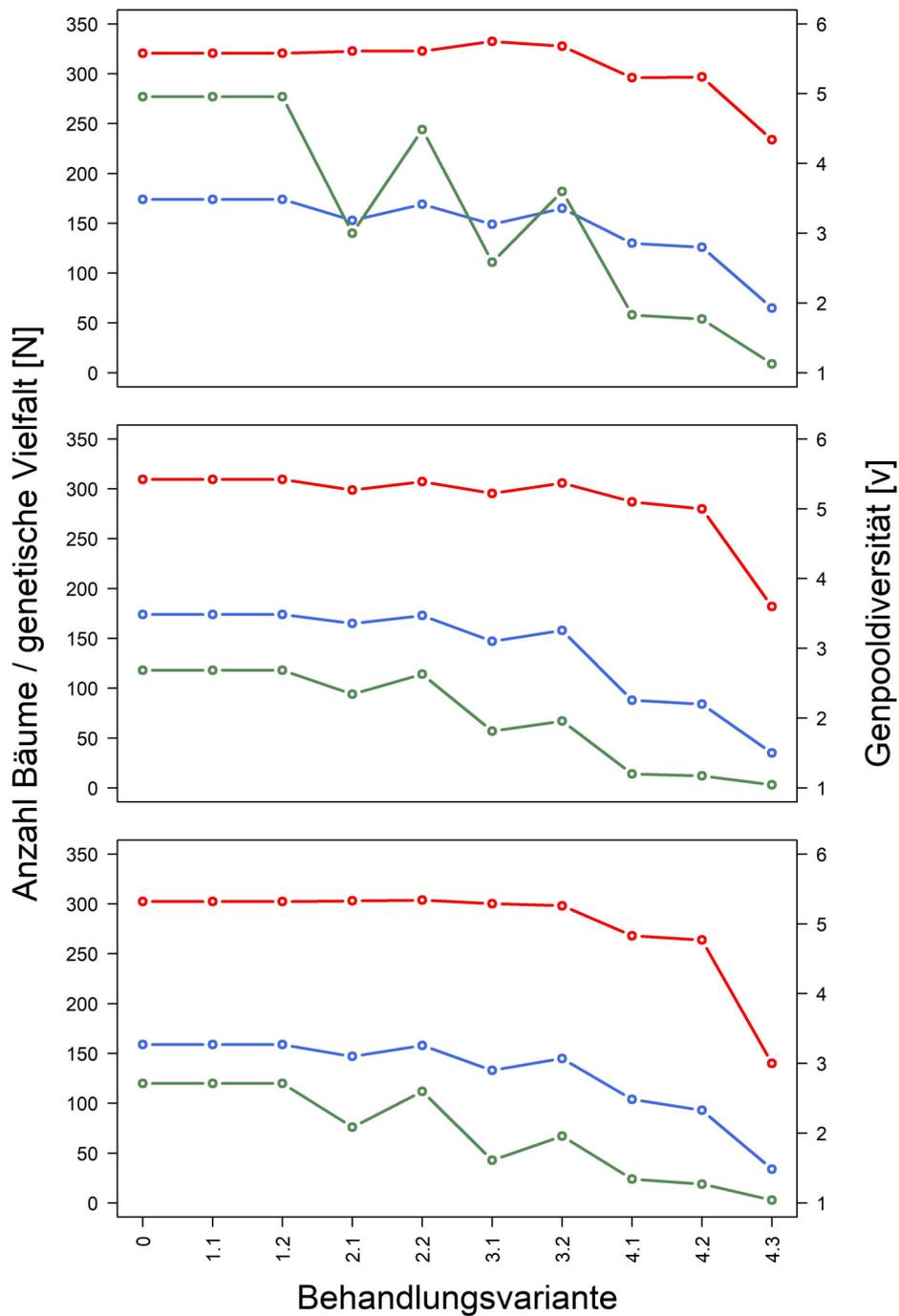
#### 4.3.4 Auswirkungen der Behandlungsvarianten auf die Bestandesvielfalt und Diversität

In den Abbildungen 4.1 und 4.2 sind die Auswirkungen der Behandlungsvarianten auf die Vielfalt und Diversität in den Stiel-Eichen Beständen aufgelistet. In den Varianten 2.1 bis 4.3 sind die Ergebnisse der Freistellung bereits berücksichtigt (vgl. Kap. 5.3.2). Bei allen drei Beständen zeigt sich, dass mit den intensiveren Behandlungsvarianten die Baumanzahlen und damit auch die genetische Vielfalt abgesenkt werden.

Auch zeigen sich Unterschiede zwischen den einzelnen Untervarianten (z.B. Variante 2.1 und 2.2), die mit der frei zustellenden Baumanzahl korrespondieren. Eine deutlich verringerte Diversität ist ab der Variante 4.1 sichtbar. Auswirkungen auf die genetische Vielfalt äußern sich hingegen bei verschiedenen Behandlungsintensitäten. Bei den Stiel-Eichenbeständen Dassel und Reinhardshagen (Population 1 und 3) und dem Trauben-Eichenbestand Cottbus (Population 7) zeigen sich nennenswerte Verluste ab der Variante 4.3. Beim Stiel-Eichenbestand Grünenplan (Population 2) und den Trauben-Eichenbeständen Grünenplan und Sichelstein (Population 6 und 7) bereits ab Variante 4.1.



**Abbildung 4.1:** Auswirkungen der Behandlungsvarianten auf die Vielfalt und Diversität in den Stiel-Eichen Beständen (Abbildung oben = Testbestand Dassel, Abbildung mitte = Grünenplan, Abbildung unten = Reinhardshagen; grüne Kurve = Anzahl der verbleibenden Bäume, blaue Kurve = genetische Vielfalt, rote Kurve = Genpoolediversität)



**Abbildung 4.2:** Auswirkungen der Behandlungsvarianten auf die Vielfalt und Diversität in den Trauben-Eichen Beständen (Abbildung oben = Testbestand Cottbus, Abbildung mitte = Grünenplan, Abbildung unten = Sichelstein; grüne Kurve = Anzahl der verbleibenden Bäume, blaue Kurve = genetische Vielfalt, rote Kurve = Genpoolediversität)

## 4.4 Diskussion

### 4.4.1 Artreinheit der Testbestände

Nach der Forstvermehrungsgutzulassungsverordnung (FoVZV) ist es zulässig, Mischbestände aus Stiel- und Trauben-Eiche als Saatguterntebestände zuzulassen, wenn deren Anteile dokumentiert werden (FoVZV, 2002). Aus Gründen der Praktikabilität sollten aber nach Empfehlungen des Gutachterausschusses der Länder nur Bestände mit einem Artanteil der jeweils anderen Art von maximal 20 % zugelassen werden (ANONYMUS, 2017a). Es ist daher nicht verwunderlich, dass ein Großteil der Testbestände als artrein bezeichnet werden kann. Lediglich der Bestand in Grünenplan stellt mit seiner hohen Beimischung der anderen Eichenart einen Sonderfall dar. Über die Ursachen des hohen Stiel-Eichenanteils kann nur spekuliert werden. Am wahrscheinlichsten ist es, dass das Saatgut oder Pflanzenmaterial schon stark durchmischt war. Hähersaaten könnten ebenfalls für einen Teil der Stiel-Eichen verantwortlich sein.

Die Analyse mit dem STRUCTURE-Harvester ergab keine Hybridisierungstendenzen innerhalb der Testbestände. Generell wird den Eichenarten das Potential zur Hybridisierung zugesprochen (vgl. Kap. 1.3). In Untersuchungen konnten z.B. mit 35,9 % relativ hohe Hybridisierungsraten bei Sämlingen ermittelt werden (CURTU et al., 2009). Die relativ hohen Raten in der Verjüngung müssen sich aber nicht zwangsläufig in den Altbeständen wiederfinden. In einer genetischen Analyse von Sämlingen und Altbäumen betrug der Hybridanteil in der Verjüngung 7,4 %, im Altbestand aber nur 1,7 % (STREIFF et al., 1999). Auch in anderen Untersuchungen zwischen Stiel- und Trauben-Eiche konnten nur geringe Hybridisierungsraten festgestellt werden (DUPOUEY, 1983; DUPOUEY und BADEAU, 1993; ABADIE et al., 2011; GERBER et al., 2014; NEOPHYTOU et al., 2015). Zwischen Trauben-Eiche und anderen europäischen Eichenarten (z.B. Flaum-Eichen) wurden aber auch höhere Hybridisierungsraten ermittelt (VALBUENA-CARABANA et al., 2005; SALVINI et al., 2009). Eichen-Hybriden scheinen sich nicht in großen Zahlen durchzusetzen, sodass in den Altbeständen nur sehr wenige davon existieren. In den hier untersuchten Beständen sind entweder gar keine Hybride vorhanden, oder die sehr geringe Anzahl rechtfertigt nicht eine Einteilung in drei Gruppen (Stiel-Eiche, Trauben-Eiche, Hybrid-Eiche).

### 4.4.2 Genetische Vielfalt, Diversität und Differenzierung zwischen den Beständen

Es existieren viele Untersuchungen, die sich mit genetischen Strukturen von Stiel- und Trauben-Eichenbeständen befassen. Verwendet wurden dafür Isoenzyme und eine hohe Zahl verschiedener Mikrosatelliten. Die Ergebnisse der Analysen sind daher nur bedingt für einen direkten Vergleich geeignet, weil nur in wenigen Fällen die gleichen Mikrosatelliten benutzt wurden. Trotzdem können Trends in den vorliegenden Daten mit denen anderer Arbeiten verglichen werden.

In den Tabellen 4.1 und 4.2 sind ausgewählte Variationsmaße getrennt nach Baumart, Testbestand und Locis aufgelistet. Bei der allelischen Vielfalt unterschieden sich die einzelnen Loci deutlich. Einige zeigen geringe, andere hohe Allelanzahlen. Ähnliche Unterschiede zwischen einzelnen Genorten sind auch in andere Arbeiten zu finden (STREIFF et al., 1998; STREIFF et al.,

1999; MARIETTE et al., 2002; CURTU et al., 2007; SALVINI et al., 2009; BUSCHBOM et al., 2011). Insgesamt liegen die ermittelten Werte im Bereich anderer Arbeiten, der von 10 bis 45 Allele je Locus reicht (BUI TEVELD et al., 2001; CURTU et al., 2009). Die Ergebnisse decken sich ebenfalls mit anderen Untersuchungen, die zeigen, dass Populationen mit geringeren Umfängen niedrigere Allelanzahlen aufweisen (DEGEN et al., 1999; GÖMÖRY et al., 2001). Besonders deutlich wird dies bei der Stiel-Eichen-Population aus Grünenplan. Für die allelische Diversität und Allelic Richness gilt Ähnliches. Auch hier schwanken die Werte zwischen den einzelnen Loci. Die bereits genannten Autoren kommen z.T. auf ähnlich hohe Schwankungen. Allerdings beziehen sich die Werte auf andere Mikrosatelliten, unterschiedliche Stichprobenumfänge und andere Berechnungsmethoden. In einer Arbeit, in der die gleichen Loci verwendet wurden wie in der Studie, konnten sehr ähnliche Werte der allelischen Diversität ermittelt werden (HÖLTKE et al., 2012).

Bei der Betrachtung der Werte zwischen den einzelnen Testbeständen fällt auf, dass die Vielfalt in einem Zusammenhang zum Stichprobenumfang zu stehen scheint. Je größer dieser ist, desto mehr Allele sind vorhanden. Damit erklärt sich, dass der kleinste Bestand (Stiel-Eiche Grünenplan) auch durchweg die geringsten Allelanzahlen zeigt. Bei den Ergebnissen der allelischen Diversität und der Allelic Richness ist dieser Zusammenhang weniger deutlich. Relativ kleine Bestände können im Vergleich hohe Werte erzielen. So zeigt bei der Stiel-Eiche der kleinste Bestand am häufigsten die höchsten Werte, während der größte am häufigsten die niedrigsten Werte aufweist. Da die Ursache für den hohen Stiel-Eichen-Anteil im Trauben-Eichen Bestand Grünenplan unbekannt ist, kann über die hohe allelische Diversität im Vergleich zu den anderen Beständen nur spekuliert werden. Am wahrscheinlichsten ist, dass das Stiel-Eichen-Saatgut von wesentlich mehr Samenbäumen stammt und daher diverser ist.

Die Populationsdifferenzierung korrespondiert mit den vorgefundenen Allelanzahlen am jeweiligen Locus und fällt dadurch häufig hoch aus. Nur an wenigen Genorten ist sie gering. Die beobachtete ( $H_O$ ) und erwartete Heterozygotie ( $H_E$ ) liegen bis auf wenige Ausnahmen (Stiel-Eiche QrZAG96 und Trauben-Eiche QrZAG112) auf hohem Niveau. Ähnlich hohe Werte wurden auch in anderen Untersuchungen festgestellt (DEGEN et al., 1999; BUI TEVELD et al., 2001; MARIETTE et al., 2002; VALBUENA-CARABANA et al., 2005; GUGERLI et al., 2008; BALLIAN et al., 2010; DEGEN et al., 2012). Der Vergleich zwischen beobachteter und erwarteter Heterozygotie liefert Auskünfte über mögliche Inzuchteffekte. Ist  $H_O$  bei allen betrachteten Genloci geringer als  $H_E$  liegt Inzucht vor, liegt sie darüber, existiert ein Heterozygotenüberschuss. In der Untersuchung zeigen viele Genorte einen Homozygotenüberschuss, einige aber auch einen Heterozygotenüberschuss. Von Inzucht kann folglich bei den untersuchten Beständen nicht gesprochen werden. Geringere Werte bei der beobachteten Heterozygotie wurden ebenfalls in anderen Untersuchungen ermittelt (BALLIAN et al., 2010; NEOPHYTOU et al., 2010; BUSCHBOM et al., 2011; NEOPHYTOU, 2012)

In Tabelle 4.3 sind die Diversitätsmaße auf Bestandesebene zusammengefasst. Die Stiel-Eichenbestände zeigen im Mittel eine höhere genetische Vielfalt und eine höhere Allelic Richness. Trauben-Eichenbestände zeigen hingegen eine höhere mittlere Anzahl der effektiven Allele. Höhere Allelanzahlen und eine höhere Allelic Richness konnten auch bei Stiel-Eichen aus dem Oberen Rheintal nachgewiesen werden (NEOPHYTOU et al., 2015). Andere Arbeiten zeigen, dass die

Diversität bei der Trauben-Eiche höher ist (MARIETTE et al., 2002; CURTU et al., 2007). Im Vergleich zeigen die Testbestände eine geringere Diversität als die in anderen Arbeiten aufgeführten Bestände (DEGEN et al., 1999; TRAINER, 2001; MARIETTE et al., 2002; HÖLTKEN et al., 2012). Jedoch wurden die Diversitätsmaße z.T. anders berechnet, oder andere Mikrosatelliten wurden in die Berechnung einbezogen. Die Populationsdifferenzierung und die Heterozygotenanteile liegen bedingt durch die hohen Locuswerte auf Genpoolebene ebenfalls auf hohem Niveau.

Die genetischen Abstände (vgl. Tab. 4.4) fallen z.T. recht hoch aus. Bei der Trauben-Eiche können die hohen Werte hauptsächlich durch die geografische Lage des Bestandes in Cottbus, in der Nähe zu Polen, im Vergleich zu den anderen Beständen in Niedersachsen erklärt werden. Bei der Stiel-Eiche sorgt der Bestand aus Grünenplan, der wahrscheinlich aus unbekanntem Material natürlich hervorgegangen ist und deutlich kleiner ist, für hohe genetische Abstände.

Die hohen genetischen Abstände werden auch durch die Ergebnisse des Homogenitätstests bestätigt, der über alle Paarvergleiche für die meisten Genloci höchst signifikante Unterschiede ausweist (siehe Anhang Tab. A.10). Die Unterschiede zwischen den einzelnen Beständen einer Eichenart sind demnach nicht auf Stichprobeneffekte aus einer größeren Grundgesamtheit zurückzuführen. Insgesamt liegen die genetischen Abstände aber in einem Bereich, der in einer anderen Untersuchung auch erreicht wurde (DEGEN et al., 2012).

#### **4.4.3 Auswirkung der Klassifizierung auf die Bestandesvielfalt und Diversität**

In den Tabellen 4.5 und 4.6 sind die Auswirkungen der Klassifizierung (siehe Kapitel 2.2.3 Abbildung 2.2 und 2.3) auf die Vielfalt und Diversität innerhalb der Qualitätsstufen aufgelistet. Für die Saatguternte sind lediglich die Qualitätsstufen eins und zwei geeignet. Damit sind innerhalb eines Bestandes, zwischen den Beständen und bei der Gesamtheit der Bestände sehr unterschiedliche Anzahlen an Erntebäumen angeführt. Die Zahlen bewegen sich zwischen einem Baum der ersten Qualitätsstufe im Testbestand Grünenplan (Stiel-Eiche) und 141 Individuen der Qualitätsstufe eins und zwei, für die Gesamtheit aller Stiel-Eichen-Bestände.

Die verwendeten Variationsparameter unterschieden sich deutlich hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber der Bestandesteilmenge. Aufgrund der Anpassung an die kleinste Gruppengröße verhält sich die Allelic Richness annähernd stabil, auch bei sehr kleinen Bestandesteilmengen. Anders verhält es sich mit der genetischen Diversität. Bei sehr kleinen Teilmengen zeigt dieser Variationsparameter deutliche Unterschiede zu mittleren oder großen Bestandesteilmengen. Am empfindlichsten reagiert die genetische Vielfalt, die sehr stark mit dem Umfang der Bestandesteilmenge korrespondiert. Danach hat die Einteilung des Bestandes in unterschiedliche Klassen einen erheblichen Einfluss auf die vorhandene Vielfalt der für die Beerntung geeigneten Baumkollektive. Die Ausführungen verdeutlichen den Einfluss von „Drift“-Effekten. Damit ist die zufällige Änderung der genetischen Struktur in einer endlichen Population gemeint. Im Extremfall gehen auch allelische Varianten, besonders seltene Allele, verloren (HATTEMER et al., 1993; HATTEMER und ZIEHE, 2018). In allen Testbeständen kommt es innerhalb der Bestandesteilmengen zu ungerichteten Effekten, die in verschiedene Richtungen laufen. Seltene Allele gehen ebenfalls verloren. Jedoch können sich bei Betrachtung auf Populationsebene (gleichzeitige Betrachtung

von vielen Beständen und Bestandesteilmengen) die einzelnen Effekte z.T. aufheben.

Mit Hilfe der genetischen Differenzierung können die Auswirkungen der Klassifizierung ebenfalls quantifiziert werden. Beim Vergleich von sehr großen Teilpopulationen (z.B.  $D_{j3}$ ) mit dem Komplement zeigen sich durchweg sehr niedrige Werte, bei kleinen Teilpopulationen ( $D_{j1}$ ) zeigen sich hingegen große Werte (vgl. Tab. 4.7 und 4.8).

Insgesamt zeigt sich ein deutlicher Effekt, der sich in den Werten der einzelnen Variationsparametern widerspiegelt. Als Ursache dafür kann nicht direkt die Klassifizierung der Bäume in den Beständen verantwortlich gemacht werden. Vielmehr bewirkt die Klassifizierung unterschiedliche Stichprobenumfänge, die sich wiederum auf die Werte der Variationsparameter auswirken. Zu sehen ist folglich ein Stichprobeneffekt. Ein Einfluss der Selektion kann trotz der Verwendung von neutralen Markern aber nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Deutlich wird der Zusammenhang, wenn die Individuenzahlen der einzelnen Klassen zusammengefasst werden (z.B. Population 4 in Tab. 4.5). Ab einer gewissen Individuenzahl stabilisiert sich der Wert auf dem Niveau der Ausgangsbestände (vgl.  $A_E$  in Tab. 4.5 mit 4.3).

#### **4.4.4 Mindestbaumzahl bei Einzelbaumberntung**

Als Erfinder der forstlichen Nachhaltigkeit wird HANS CARL VON CARLOWITZ genannt (SCHMIDT, 2013). Seine Ausführungen bezogen sich allerdings hauptsächlich auf ökonomische Aspekte, d.h. Ressourcensicherung. Später kamen noch ökologische und soziologische Betrachtungen hinzu. Neuerdings wurde der Begriff der Nachhaltigkeit um eine genetische Komponente erweitert. Danach ist Forstwirtschaft nur nachhaltig, wenn die Bewirtschaftung und Begründung das Anpassungspotential nicht verringert und genetische Ressourcen geschützt werden. Bei Verlust an genetischer Variation sind Gegenmaßnahmen einzuleiten (HATTEMER et al., 1993; MÜLLER-STARCK, 1993). Begründet wird dies mit der Tatsache, dass genetische Variation die Voraussetzung für die Anpassung von Populationen an jetzige und zukünftige Umweltverhältnisse ist (HATTEMER et al., 1982). So können unrelevante Gene in veränderten Umwelten plötzlich adaptiven Charakter erlangen (HÜHN, 1975; GREGORIUS et al., 1979).

Die Ausführungen verdeutlichen die Notwendigkeit, eine hohe Vielfalt zu erhalten. Gleichzeitig ist im Rahmen einer züchterischen Selektion eine gewisse Verschiebung von genetischen Strukturen erwünscht. Wie bereits im Einleitungsteil erwähnt, unterliegen viele Merkmale einer genetischen Kontrolle (vgl. Kap. 1.7). Die ausschließliche Beerntung von phänotypisch guten Bäumen bewirkt somit eine Bevorzugung aber auch eine Benachteiligung von bestimmten Genotypen. Beide Aspekte müssen daher bei einer Einzelbaumberntung berücksichtigt werden.

Eine essentielle Frage für das Saatguterntekonzept besteht nun darin, wieviele Bäume für eine genetisch nachhaltige Saatguternte beerntet werden müssen. Mit Hilfe der verwendeten Variationsparameter können verschiedene Ansätze verfolgt werden. Für den Parameter genetische Diversität böte sich an, so viele Bäume zu beernten, bis ein Wert ähnlich oder gleich der Bestandesdiversität erreicht wird. Das bedeutet, dass bei der Stiel-Eiche mindestens 28 und bei der Trauben-Eiche 49 Bäume beerntet werden müssten (vgl. Tab. 4.5, 4.6 und 4.3).

Bei der genetischen Vielfalt würde sich die Individuenzahl anbieten, bei der 50% der vorhande-

nen Allele eines Bestandes erfasst werden. Innerhalb der Stiel-Eichenbestände wäre dies ab ca. 28 Individuen der Fall (vgl. Tab. 4.5, Population 4). Bei der Trauben-Eiche werden ab ca. 15 Individuen die Allelzahlen erreicht (vgl. Tabelle 4.6, Population 4). In einer anderen Studie wird von einer nachhaltigen Ernte gesprochen, wenn der genetische Abstand zwischen Altbestand und Saatgut möglichst gering ist (DEGEN et al., 2012). Eine ähnliche Vorgehensweise kann auch für die genetische Differenzierung der Qualitätsstufen innerhalb eines Bestandes verwendet werden. Liegen die genetischen Abstände der Qualitätsstufen auf dem Niveau der genetischen Abstände zwischen den Beständen, kann von einer annähernd nachhaltigen Ernte gesprochen werden. Beim Vergleich der genetischen Differenzierung mit den genetischen Abständen werden ab einer Beerntung von mindestens 28 Bäumen annähernd gleiche Werte ermittelt (vgl. Tab. 4.4, 4.7 und 4.8). Wahrscheinlich können die Zahlen der mindestens zu beernteten Mütter noch weiter abgesenkt werden, da die hier angestellte Betrachtung weitere Pollenspender außer acht lassen. Dadurch würde auch Saatgut von weniger Müttern für eine ausreichende Vielfalt und Diversität ausreichen. Der bereits angesprochene Verlust von seltenen Allelen (Effekt der „Drift“) könnte über externen Pollen ebenfalls kompensiert werden. Abschließend muss noch gesagt werden, dass sich alle Ausführungen auf lediglich ein Bestand beziehen. Auf Populationsebene, also alle Bestände zusammen betrachtet, dürften die Effekte sehr gering sein.

Nach der Forstvermehrungsgut-Zulassungsverordnung müssen bei einer Bestandesbeerntung mindestens 20 Bäume beerntet werden (FoVZV, 2002). Für die Schweiz werden als Minimum 20 bis 30 Bäume angeführt (BONFILS et al., 2010). In einer Studie über die Etablierung einer Standardmethode zur nachhaltigen Ernte von forstlichem Vermehrungsgut in zugelassenen Saatgutbeständen kommen die Autoren durch Simulationsergebnisse zu dem Schluss, dass mindestens 30 bis 40 Bäume für eine nachhaltige Saatguternte beerntet werden müssen (DEGEN et al., 2012). Die Ergebnisse der Klassifikation variieren je nach Variationsparameter recht stark, besonders zwischen Stiel- und Trauben-Eiche. Allerdings deuten die Ergebnisse darauf hin, dass Saatguternten an ähnlich hohen Baumanzahlen durchgeführt werden müssen. Die zu beerntende Mindestbaumzahl hängt auch stark von der genetischen Ausstattung der Einzelbäume ab. Wenn sich die Einzelindividuen eines Bestandes durch hohe Heterozygotiegrade auszeichnen, kann auch mit weniger Individuen in der Stichprobe eine hohe Diversität erreicht werden.

Abschließend muss erwähnt werden, dass die Zahlen auf theoretischen Annahmen beruhen. Schlussendlich können nur Saatguternten in den Beständen die Frage nach dem Umfang des zu beerntenden Kollektivs endgültig klären. Innerhalb der vorliegenden Arbeit konnten diese Ernten nicht berücksichtigt werden. Jedoch liegen Bestandes- und Einzelbaumernten der Testbestände vor, die an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt demnächst analysiert werden sollen. Eine weitere Möglichkeit wäre, über Simulationen die Auswirkungen einer selektiven Beerntung zu ermitteln.

#### 4.4.5 Auswirkungen der Behandlungsvarianten auf die Bestandesvielfalt und Diversität

Parallel zur Klassifizierung sollen auch die Auswirkungen der Behandlungsmaßnahmen auf die Bestandesvielfalt diskutiert werden. Die z.T. starke Reduktion durch die Klassifizierung wird durch die Hinzunahme der potentiellen Pollenspender innerhalb der Bestände weitestgehend kompensiert. Ersichtlich wird das aus den anfänglich recht hohen potentiellen Individuenzahlen der Behandlungsvarianten. Daher können selbst in kleinen Beständen weitreichende Behandlungsvarianten vollzogen werden, ohne dass die genetische Vielfalt oder Diversität stark beeinträchtigt werden (vgl. Abb. 4.1 und 4.2, z.B. Testbestand Grünenplan). Generell können nach der genetischen Vielfalt Behandlungsvarianten bis zur Stufe 3.2 ohne große Einschränkung auf die verbleibende Bestandesvielfalt angewendet werden. Erst danach sinkt die Vielfalt deutlich ab.

Die Aussagen beruhen jedoch auch hier auf theoretischen Annahmen. Die Berechnungen beziehen sich auf alle Individuen des Altbestandes. Dafür müssen alle Bäume des Bestandes mit der gleichen Intensität blühen. Auch wenn Eichen relativ häufig blühen (vgl. Kap. 1.4.1 und 1.4.2), ist eine gleichmäßig starke Blüte mit einer anschließenden gleichmäßigen Fruktifikation aller Bestandesmitglieder schon deshalb sehr unwahrscheinlich, weil dominantere Bestandesmitglieder wesentlich mehr Pollen und Eicheln produzieren als unterdrückte. Ebenfalls wurde keine Gewichtung über den Abstand zwischen Mutter und Vater vorgenommen. Näher liegende Individuen zeigen in der Regel höhere Reproduktionserfolge als weiter entfernte Individuen (STREIFF et al., 1999; KREMER et al., 2008; CHYBICKI und BURCZYK, 2010; DEGEN et al., 2012; GERBER et al., 2014). Daher können die ermittelten Veränderungen bei der Vielfalt und Diversität stärker ausfallen, sodass schon bei weniger starken Varianten deutliche Auswirkungen verzeichnet werden können. Auch hier bedarf es Saatgutsammlungen aus waldbaulich behandelten Saatgutbeständen, um die Auswirkungen exakt quantifizieren zu können. Aber auch bei experimentellen Befunden bleibt offen, wie sehr diese verallgemeinert werden dürfen, denn die Ausgangsverhältnisse können ebenso stark von Bestand zu Bestand variieren, wie die Reproduktionsbedingungen von Jahr zu Jahr. Letzten Endes wird man sich doch an theoretischen Ableitungen orientieren müssen.

Bei Berücksichtigung der Auswirkungen von Klassifikation und den Behandlungsvarianten, kann die eingangs formulierte Arbeitshypothese nicht eindeutig angenommen oder abgelehnt werden. Beide Aspekte, die Klassifikation sowie die Behandlungsvarianten, haben einen großen Einfluss auf die Stichprobengröße. Diese wiederum hat einen direkten Effekt auf die verwendeten Variationsparameter. Das Ergebnis ist demnach stark abhängig von der Größe des zu betrachtenden Ausgangsbestandes und von der allgemeinen phänotypischen Ausstattung (Anzahl der zu beerntenden Erntebäumen). Ebenfalls ist das Ergebnis stark abhängig von dem verwendeten Variationsparametern. So konnten mit den Parametern unterschiedliche Ergebnisse in einem Bestand erzielt werden.



# 5 Fremdsamenanteil bei Einzelbaumbeerntung

## 5.1 Einleitung

Das hier vorgestellte Saatguterntekonzept basiert auf der grundlegenden Idee der Einzelbaumbeerntung. Zusätzlich wurden verschiedene Behandlungsvarianten erarbeitet, die unterschiedlich stark in die Bestandesstruktur eingreifen. Theoretisch kann der Anteil gewünschter Erbanlagen, die im Zusammenhang mit einem vitalen, gut geformten Genotypen stehen, gegenüber einer flächigen Bestandensernte merklich gesteigert werden (siehe Kap. 2.3.6). Ab der zweiten Variante des Saatguterntekonzeptes (Einzelbaumbeerntung, Fremdsamen wird nicht toleriert, siehe Kap. 1.11) wird der Fremdsameneintrag durch benachbarte Bäume nur noch zu einem geringen Teil geduldet.

Eichensaatgut wird fast ausschließlich durch Handsammlungen am Boden gewonnen. Teilweise kommen auch Netze zum Einsatz. Bei einer Einzelbaumbeerntung erfolgt die Saatguternte lediglich unter den Kronenträufen der Erntebäume. Um die genetische Qualität des Saatgutes wie gewünscht steigern zu können, ist ein hoher Anteil an Eicheln von den ausgewählten Erntebäumen zwingend erforderlich. Besonders im Übergangsbereich zu den Nachbarbäumen muss aber mit einer hohen Durchmischung mit Eicheln dieser Bäume gerechnet werden. Das hätte zur Folge, dass nur in einem Kernbereich um den Erntebaum Saatgut mit hohen Eigenanteilen gesammelt werden kann. Dadurch würde sich die zu beerntende Fläche allerdings massiv verringern und kommerziell lohnende Ernten wären kaum möglich. Eine Beerntung von Teilarealen unter einem Erntebaum wäre nicht praxistauglich und daher nicht umsetzbar. Nachträgliche genetische Untersuchungen und eine anschließende Pflanzenselektion sind ökonomisch nicht sinnvoll.

Als einziges praxistaugliches Verfahren bleibt nur die Ernte unter der ganzen Kronenprojektion am Boden. Fremdsamenquellen, also die direkten Nachbarbäume, müssten dann zu einem gewissen Grad entfernt werden. Zuerst muss also der Frage nachgegangen werden, wie hoch der Fremdsameneintrag durch benachbarte Bäume ist. Wenn ein zu hoher Fremdsamenanteil festgestellt werden kann, muss anschließend ermittelt werden, in welchem Zusammenhang der Fremdsameneintrag zum Abstand des Nachbarbaumes steht. Mit Hilfe dieser Informationen kann berechnet werden, wie groß der Mindestabstand zu den Nachbarbäumen sein muss. Alle Individuen, die sich näher als der so ermittelte Abstand zum Erntebaum befinden, müssen schlussendlich entfernt werden.

Stärkere waldbauliche Eingriffe in alten Eichenbeständen bleiben aber nicht folgenlos. Zwar hat die Saatguternte in den behandelten Saatguterntebeständen einen höheren Stellenwert als die Produktion von wertvollem Holz, jedoch können stärkere waldbauliche Eingriffe den Bestand

ökonomisch massiv entwerten. Zu nennen ist hier der Besatz mit Wasserreisern, der sich bei Freistellungen oder starken Durchforstungen durch erhöhte Lichteinwirkungen einstellen kann (DENGLER, 1930; FABRICIUS, 1932; SCHREINER, 1933; SEEHOLZER, 1934). Durchforstungsversuche in Trauben-Eichenbeständen zeigten, dass stärkere Durchforstungsvarianten die Wasserreiserbildung an den unteren wertvollen Stammstücken förderten (PRETZSCH und UTSCHIG, 1995).

Biotische Faktoren können ebenfalls zu hohen Ausfällen innerhalb der Saatgutbestände führen. Die freigestellten Saatgutbäume werden mit einem gesteigerten Lichteinfall und einem damit verbunden höheren Wärmeangebot konfrontiert. Diese Bäume sind z.B. im besonderen Maß durch den Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus* F.) gefährdet, da dieser als Wärme liebende Art lückige Bestände stärker befällt als geschlossene (HARTMANN und BLANK, 1992; SEEMANN et al., 2001; HABERMANN und PRELLER, 2003).

Ebenfalls können Schäden bedingt durch Sturmereignisse nicht ausgeschlossen werden. Beide Eichenarten bilden im höheren Alter ein für sie typisches Herzwurzelsystem oder Herz-Senkerwurzelsystem aus (KÖSTER et al., 1968). Damit sind die Eichenarten um ein vielfaches sturmfester als z.B. die Fichte (LÜPKE und SPELLMANN, 1997). Jedoch können stark aufgelichtete Eichenbestände auftretenden Stürmen große Angriffsflächen bieten, da die gegenseitige Stützfunktion herabgesetzt ist (THOMASIU, 1988). Biotische und abiotische Risiken müssen daher weitestgehend minimiert werden, da die Bestandesstabilität nicht gefährdet werden sollte.

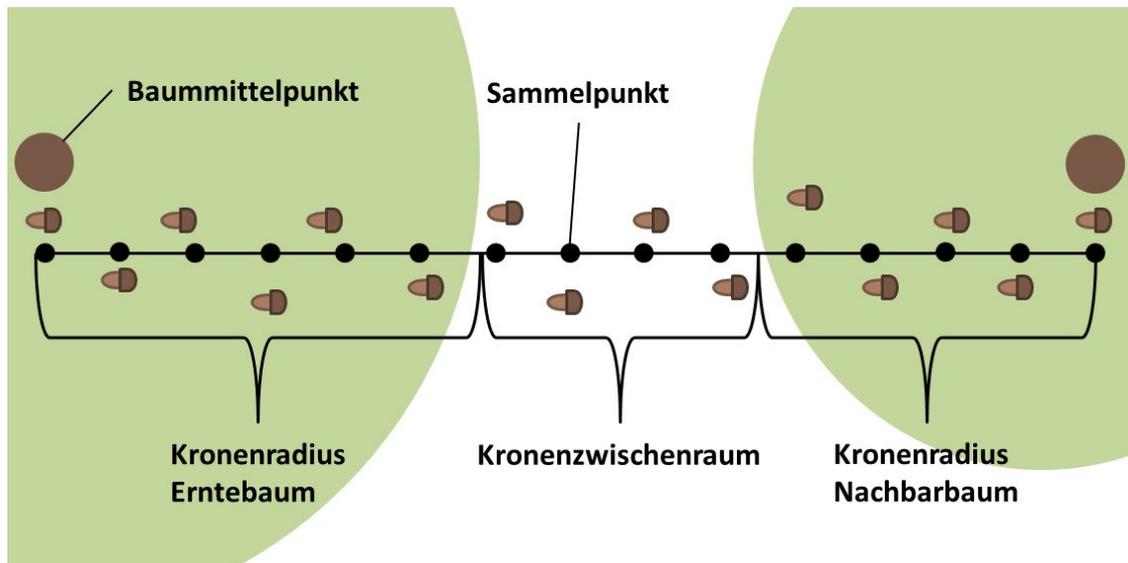
Schlussendlich muss aus praktischen Gründen der Bestand nach den Behandlungsmaßnahmen beerntbar bleiben. Das bedeutet, dass für die Saatguternte von Hand oder mit Netzen der Waldboden möglichst frei von aufkommender Naturverjüngung und krautigem Bewuchs sein soll. Die Freistellung einzelner Samenbäume führt jedoch zu einem erhöhten Lichteinfall und damit zu einem gesteigerten Wachstum der Bodenvegetation. Diese Entwicklung kann nicht gänzlich verhindert werden, sie sollte jedoch in einem vertretbaren Rahmen bleiben.

Die obigen Ausführungen zeigen, dass eine eventuell nötige Freistellung der Samenbäume in einem möglichst schonenden Umfang stattfinden muss. Dazu bedarf es einer objektiven Einschätzung über den Mindestumfang solcher waldbaulichen Maßnahmen. Ebenfalls sollen die Folgen der Freistellung und der weiteren Umbaumaßnahmen (ab Variante 3.1) erläutert werden. In diesem Kapitel wird über eine systematische Eichelernte mit anschließenden genetischen Analysen dieser Frage nachgegangen.

## 5.2 Aufnahme, Verarbeitung und Auswertung der Proben

Im Herbst 2016 wurden in den Testbeständen Grünenplan und Cottbus insgesamt 20 Linientranssekte zwischen jeweils zwei fruktifizierenden Bäumen mit Hilfe eines Maßbandes eingemessen (siehe Abb. 5.1). In definierten Abständen zwischen 10 und 30 cm wurde die jeweils nächste intakte Eichel zum Punkt eingesammelt und die Entfernung des Sammelpunktes zum Erntebaum notiert. Ausschlaggebend für den Sammelabstand war die Gesamtdistanz zwischen den Bäumen. Bei sehr weiten Abständen hätten eventuell zu viele Eicheln gesammelt werden müssen. An der Suchstelle wurde vorsichtig bis auf den Mineralboden nach einer intakten Eichel gesucht. Stark

beschädigte Eicheln, die keine genetische Analyse zuließen, wurden im Vorfeld verworfen. Befand sich in unmittelbarer Nähe zum Sammelpunkt keine Eichel, wurde keine Probe eingesammelt.



**Abbildung 5.1:** Aufnahmedesign der Eicheln für den Fremdsamenversuch (die grünen Bereiche symbolisieren die Kronenflächen)

Zusätzlich wurden mit Hilfe eines Kronenspiegels die Kronenradien und Kronenzwischenräume bestimmt. Von vier Erntebäumen wurden jeweils vier Transekte zu den benachbarten Bäumen eingemessen. Von 4 weiteren Bäumen wurde jeweils ein Transekt zu einem Nachbarbaum angelegt. Die einzelnen Transekte unterscheiden sich hauptsächlich hinsichtlich der Kronenzwischenräume. Eine Übersicht über die Eigenschaften der einzelnen Transekte liefert Tabelle 5.1. Weitere Informationen zu den Transekten sind im Anhang zu finden (siehe Tab. A.11). Die eingesammelten Eicheln wurden in eindeutig beschrifteten Papiertüten kalt gelagert und in den folgenden Tagen aufgearbeitet. Die weitere Verarbeitung der Proben und die anschließende SSR-Analyse sind im dritten Kapitel beschrieben. Für die Elternschaftsanalyse wurde das Programm CERVUS verwendet (siehe Kap. 3.10).

Das Genom der Eichen ist diploid. An einem Locus können bis zu zwei Merkmalsausprägungen vorhanden sein. Bei einem Nachkommen ist an jedem Locus jeweils eine der Merkmalsausprägungen eines Elternteils vertreten. Dem Programm wurden alle genetisch inventarisierten Individuen als potentielle Mütter vorgegeben. Als wirkliche Mutter wurden die Bäume bestimmt, deren Merkmalsausprägungen an allen Loci übereinstimmten (Ausschlussprinzip). Bei mehreren in Frage kommenden potentiellen Samenbäumen wurde der am nächsten liegende als Mutterbaum ausgewählt. Liegen beide in Frage kommenden Mütter in direkter Nachbarschaft wurde der Baum mit dem höheren LOD-Score (mit einer höheren Segregationswahrscheinlichkeit für die betreffende Merkmalskombination) als Mutter gewählt. Weit entfernte so wie unbekannte Individuen wurden als Mutter ausgewählt, wenn kein weiterer Kandidat in der Umgebung vom Programm vorgeschlagen wurde.

**Tabelle 5.1:** Eckdaten der Linientransekte für die systematische Eichelsammlung (EB = Nummer Erntebaum, NB = Nummer Nachbarbaum)

Transekt	EB	NB	Kronenzwischenraum [m]	Sammelintervall [cm]	Anzahl Proben
1-1	80	81	0,0	10	48
1-2	80	78	0,0	10	76
1-3	80	73	0,0	10	63
1-4	80	82	0,0	10	64
2-1	159	161	1,4	10	81
2-2	159	170	1,8	20	73
2-3	159	169	5,0	20	82
2-4	159	158	0,0	10	60
3-1	138	137	2,1	30	61
3-2	138	161	4,6	20	78
3-3	138	105	8,4	30	56
3-4	138	162	6,1	20	86
4-1	90	92	0,0	20	61
4-2	90	151	5,5	30	57
4-3	90	89	5,3	20	69
4-4	90	88	2,6	20	64
5-1	35	32	2,8	20	72
6-1	38	83	3,3	20	61
7-1	27	1	0,7	20	46
8-1	32	45	1,3	20	58

### 5.2.1 Berechnung der Freistellungsdistancen

Jede analysierte Eichel konnte einer Mutter entweder inner- oder außerhalb des Testbestandes zugewiesen werden. Dadurch war es möglich, den Fremdsamenanteil und die Anzahl der daran beteiligten Mütter unter dem Kronentrauf eines Erntebaumes zu bestimmen. Zusätzlich wurden die Daten für die Berechnung von Freistellungsdistancen benötigt.

Als Verfahren wurde die logistische Regression verwendet. Mit Hilfe der logistischen Regression können Eintrittswahrscheinlichkeiten mit beobachteten Ereignissen in Verbindung gebracht werden. Im vorliegenden Fall geht es um die Zugehörigkeit einer Eichel zu einem bestimmten Baum in Abhängigkeit von der Distanz zum Stammmittelpunkt des Baumes. Dafür wurden nur die Eicheln verwendet, die entweder vom eigentlichen Erntebaum oder vom direkten Nachbarbaum stammen. Alle anderen Eicheln eines Transektes wurden für die Berechnungen verworfen. Die Abstände vom Erntebaum wurden mit der Gesamtdistanz des Kronenradius in Relation gesetzt, so dass mit relativen Abstandswerten gerechnet wurde. Eine relative Distanz von 1 ist gleichzusetzen

mit der vollen Kronenausdehnung.

Für das Saatguterntekonzept wird eine 95 %-ige Reinheit vom Erntebaum angestrebt (willkürliche Festlegung). Ein geringer Fremdsamenanteil von max. 5 % wird demnach toleriert. Mit der Angabe könnte der Ernteradius vom Stammmittelpunkt berechnet werden, bei der die geforderte Reinheit eingehalten wird. Unterschiedliche Ernteradien und ein Wegfall des Großteils der Ernteflächen unter dem Trauf wären die Folge. Das Vorgehen ist im Gelände aber nicht praktikabel und schränkt die Erntemengen zu sehr ein. Aus diesem Grund wird über eine Maximierungsfunktion der Nachbarbaum und somit auch seine Eicheln soweit zur Seite verschoben, bis die geforderte Saatgutreinheit von 95 % am Kronentrauf des Erntebaumes erreicht wird. Für die abschließende Berechnung der Freistellungsabstände wurden lediglich die Transekte verwendet, bei denen die Modellergebnisse der logistischen Regression einen  $\Pr(>|z|)$ -Wert kleiner 0,05 aufweisen konnten. Die logistischen Regressionen wurden mit der Statistik-Software R (R Core Team, 2018) unter Verwendung der Funktion „glm“ (generalisiertes Modell) berechnet. Innerhalb des Modells wurde zusätzlich angegeben, dass es sich um eine dichotome Variable handelt. Über eine Optimierungsfunktion die ebenfalls in R implementiert ist, wurde die Funktion so verändert, dass am Kronentrauf immer 95 % Reinheit erreicht werden.

## 5.3 Ergebnisse

### 5.3.1 Fremdsamenanteil unter den Erntebäumen

In Tabelle 5.2 sind die Ergebnisse der Elternschaftsanalysen im Testbestand Cottbus in aggregierter Form aufgelistet. Verwendet wurden jeweils diejenigen Eicheln, die innerhalb des Kronentraufs eines Erntebaumes lagen. Die Anzahlen der einbezogenen Eicheln schwanken zwischen sieben und 52 Stück. Der prozentuale Anteil der Eicheln, die dem Erntebaum zugewiesen werden konnten, schwankt stark zwischen 2,6 und 93,8 %. Eicheln vom direkten Nachbarbaum machen einen Anteil von bis zu 57,1 % aus. Weitere Bäume steuern einen Anteil von bis zu 74,4 % bei. Der Anteil von Eicheln, die keinem der Bäume des Testbestands zugewiesen werden konnten, schwankt zwischen 0 und 17,2 %. Die Anzahl an identifizierten Müttern inklusive des Zielbaumes schwankt je nach Transekt zwischen drei und 13 Individuen.

**Tabelle 5.2:** Fremdsamenanteile der Transekte im Testbestand Cottbus. Untersucht wurden die jeweiligen Eicheln bis zum Kronentrauf der Erntebäume (Transekt, EB = Erntebaum,  $N_{\text{Eicheln}}$  = Anzahl der einbezogenen Eicheln,  $\%_{\text{EB}}$  = Anteil Eicheln des Erntebaumes,  $\%_{\text{NB}}$  = Anteil Eicheln des Nachbarbaumes,  $\%_{\text{sonstige}}$  = Anteil Eicheln der sonstigen Bäume,  $\%_{\text{Ext}}$  = Anteil Eicheln von außerhalb des Testbestandes,  $N_{\text{Mütter}}$  = Anzahl der nachgewiesenen Mütter inklusive des Erntebaumes)

Transekt	EB	$N_{\text{Eicheln}}$	$\%_{\text{EB}}$	$\%_{\text{NB}}$	$\%_{\text{sonstige}}$	$\%_{\text{Ext}}$	$N_{\text{Mütter}}$
1.1	80	42	64,3	11,9	21,4	2,4	7
1.1	81	7	28,6	57,1	14,3	0,0	3
1.2	80	40	72,5	5,0	22,5	0,0	4
1.2	78	39	2,6	20,5	74,4	2,6	11
1.3	80	36	52,8	5,6	38,9	2,8	13
1.3	73	27	11,1	48,2	33,3	7,4	8
1.4	80	41	56,1	14,6	22,0	7,3	11
1.4	82	23	60,9	30,4	8,7	0,0	4
2.1	159	36	69,4	16,7	11,1	2,8	5
2.1	161	31	80,7	9,7	9,7	0,0	5
2.2	159	40	82,5	0,0	17,5	0,0	6
2.2	170	24	20,8	8,3	70,8	0,0	7
2.3	159	35	85,7	0,0	14,3	0,0	3
2.3	169	24	62,5	4,17	29,2	4,2	9
2.4	159	52	67,3	7,7	21,2	3,9	12
2.4	158	9	22,2	22,2	44,5	11,1	6
3.1	138	23	73,9	0,0	17,4	8,7	3
3.1	137	32	93,8	3,1	3,1	0,0	3
3.2	138	35	51,4	0,0	45,8	2,9	9
3.2	161	21	85,7	0,0	9,5	4,8	3
3.3	138	21	71,4	0,0	28,57	0,0	5
3.3	105	21	47,6	0,0	47,62	4,8	6
3.4	138	29	75,9	0,0	17,2	6,9	4
3.4	162	29	65,5	0,0	17,2	17,2	6
Mittelwert		29,9	58,6	11,0	26,7	3,7	6,4

In Tabelle 5.3 sind die Ergebnisse der Elternschaftsanalyse im Testbestand Grünenplan in aggregierter Form aufgelistet. Verwendet wurden jeweils diejenigen Eicheln, die innerhalb des Kronentraufs eines Erntebaumes lagen. Die Anzahlen der einbezogenen Eicheln schwanken zwischen elf und 41 Stück. Der prozentuale Anteil der Eicheln, die dem Erntebaum zugewiesen werden konnten, schwankt stark zwischen 33,3 und 94,7 %. Eicheln vom direkten Nachbarbaum

machen einen Anteil von bis zu 52,4 % aus. Weitere Bäume steuern einen Anteil von bis zu 41,7 % bei. Der Anteil von Eicheln, die keinem der Bäume des Testbestands zugewiesen werden konnten, schwankt zwischen 0 und 8,3 %. Die Anzahl an identifizierten Müttern inklusive des Zielbaumes schwankt je nach Transekt zwischen zwei und acht Individuen.

**Tabelle 5.3:** Fremdsamenanteile der Transekte im Testbestand Grünenplan. Untersucht wurden die jeweiligen Eicheln bis zum Kronentrauf der Erntebäume (Transekt, EB = Erntebaum,  $N_{\text{Eicheln}}$  = Anzahl der einbezogenen Eicheln,  $\%_{\text{EB}}$  = Anteil Eicheln des Erntebaumes,  $\%_{\text{NB}}$  = Anteil Eicheln des Nachbarbaumes,  $\%_{\text{sonstige}}$  = Anteil Eicheln der sonstigen Bäume,  $\%_{\text{Ext}}$  = Anteil Eicheln von außerhalb des Testbestandes,  $N_{\text{Mütter}}$  = Anzahl der nachgewiesenen Mütter inklusive des Erntebaumes)

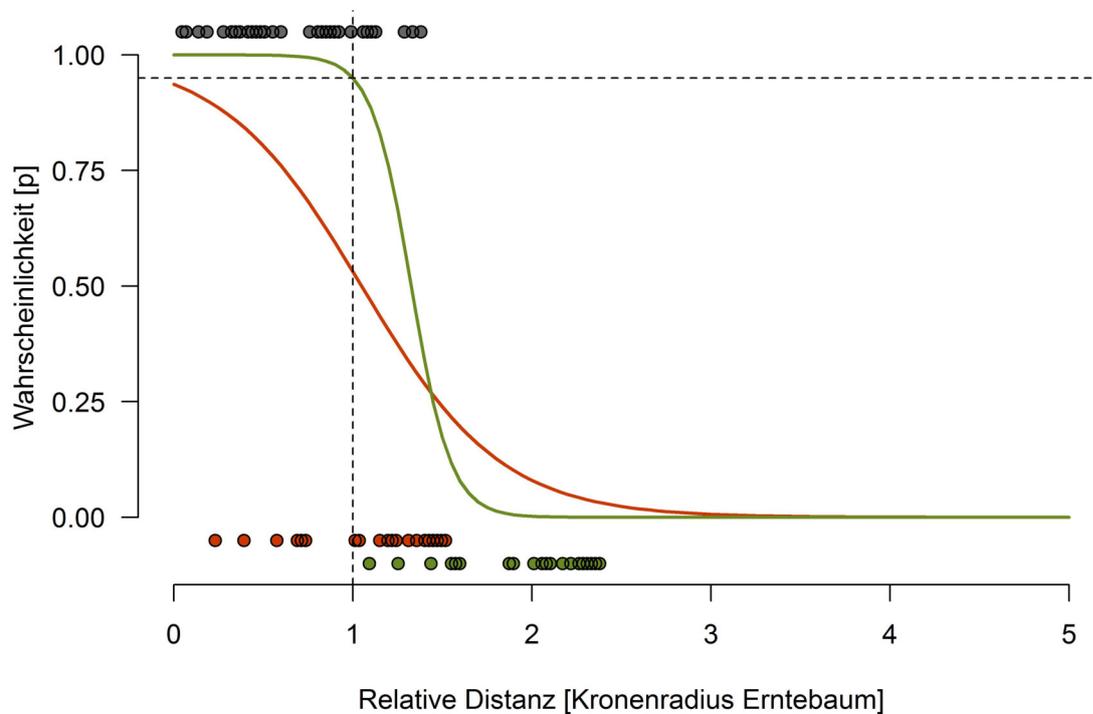
Transekt	EB	$N_{\text{Eicheln}}$	$\%_{\text{EB}}$	$\%_{\text{NB}}$	$\%_{\text{sonstige}}$	$\%_{\text{Ext}}$	$N_{\text{Mütter}}$
4.1	90	41	82,9	2,4	14,6	0,0	5
4.1	92	21	33,3	52,4	14,3	0,0	5
4.2	90	17	70,6	17,7	5,9	5,9	3
4.2	151	23	91,3	0,0	4,4	4,4	2
4.3	90	19	94,7	0,0	5,26	0,0	2
4.3	89	24	33,3	16,7	41,7	8,3	7
4.4	90	30	76,7	6,7	16,7	0,0	4
4.4	88	21	71,4	4,8	19,1	4,8	4
5	35	33	60,6	0,0	36,1	3,3	6
5	32	25	80,0	0,0	20,0	0,0	4
6	38	28	71,4	14,3	14,3	0,0	4
6	83	17	88,2	0,0	11,8	0,0	3
7	27	32	78,1	6,3	15,6	0,0	6
7	1	11	36,4	45,5	18,2	0,0	4
8	32	30	63,3	3,3	33,3	0,0	8
8	45	22	36,4	31,8	31,6	0,0	6
Mittelwert		24,6	66,8	10,7	18,9	1,7	4,6

### 5.3.2 Simulation des Abstandes der Erntebäume

Unter den Träufen der Erntebäume konnten z.T. erhebliche Anteile von Samen des direkten Nachbarn und weiterer Bäume nachgewiesen werden (siehe Tab. 5.2 und 5.3). Mit Hilfe von logistischen Regressionen soll nun der Zusammenhang zwischen der Zugehörigkeit einer Eichel zu einem bestimmten Baum in Abhängigkeit von der Distanz zum Stammmittelpunkt des Baumes untersucht werden.

Abbildung 5.2 zeigt beispielhaft ein Ergebnis der Abstandssimulation mittels logistischen Regression. In vielen Fällen wird auf der direkten Linie zwischen zwei Bäumen am Kronentrauf

nicht die gewünschte Reinheit von 95 % erreicht (rote Kurve). Erst die Optimierung, das heißt die Verschiebung des Nachbarbaumes, sorgt für den gewünschten Kurvenverlauf (grüne Kurve). Die Regressionen der anderen Transekte sind im Anhang zu finden (siehe Abb. A.7, A.8, A.9, A.10 und A.11). In Tabelle 5.4 sind die Ergebnisse der optimierten logistischen Regressionen aufgelistet. Verwendet wurden ausschließlich die Modelle, bei denen der  $\Pr(>|z|)$ -Wert kleiner gleich 0,05 war (vgl. Tab. A.12, A.13 und A.14 im Anhang). Alle übrigen Modelle wurden verworfen. Die zusätzlichen Abstände reichen von 3,75 m bis -7,29 m. Negative Werte werden erreicht, wenn die Kronenträufe der Bäume sehr weit auseinander stehen und der Nachbarbaum näher zum Erntebaum gerückt werden könnte. Die Minimumabstände reichen von 1,11 bis 9,17 m (siehe Tabelle 5.4). Im Mittel müssen zwischen Kronentrauf des Ernte- und Nachbarbaumes mindestens 3,45 m Platz sein. Der Testbestand Cottbus weist mit 3,26 m eine etwas geringere mittlere Freistellungsdistanz gegenüber den Bestand in Grünenplan mit 3,75 m auf.



**Abbildung 5.2:** Ergebnis der logistischen Regression Transekt 1.4-80 im Testbestand Cottbus (schwarze Punkte = Eicheln Samenbaum; rote Punkte = Eicheln Nachbarbaum vor der Optimierung; rote Linie = Wahrscheinlichkeit der Eichelzugehörigkeit des Erntebaumes in Relation zum Kronenradius vor der Optimierung; grüne Punkte = Eicheln Nachbarbaum nach der Optimierung; grüne Linie = Wahrscheinlichkeit der Eichelzugehörigkeit nach der Optimierung. Hier werden am Kronentrauf, relative Distanz = 1 (graue senkrechte Linie) 95 % Saatgutreinheit erreicht (graue waagerechte Linie))

**Tabelle 5.4:** Freistellungsdistanzen der Samenbäume aus den Testbeständen Cottbus und Grünenplan (EB = Erntebaum, zus. Abstand = zusätzlicher Abstand, Abst. min = minimale Freistellungsdistanz des Nachbarbaumes zum Erreichen von 95% Saatgutreinheit)

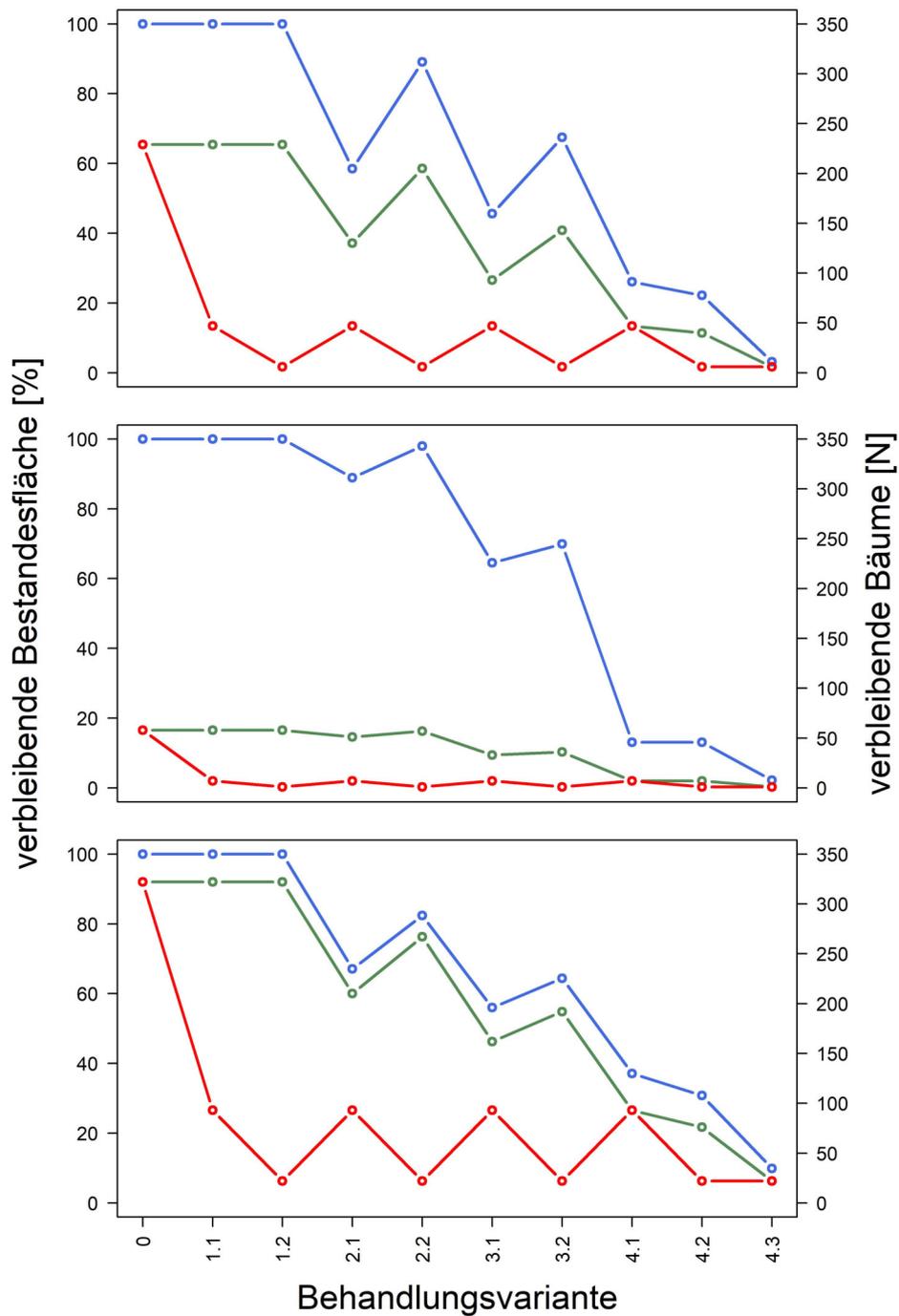
Transekt	EB	zus. Abstand	Kronenzwischenraum	Abst. min
1.1	81	2,45	0,00	2,45
1.2	80	3,42	0,00	3,42
1.3	80	1,63	0,00	1,63
1.4	80	3,75	0,00	3,75
1.4	82	3,04	0,00	3,04
2.1	159	3,16	1,40	4,56
2.1	161	1,41	1,40	2,81
2.2	159	-0,62	1,80	1,18
2.3	159	0,60	5,00	5,60
2.3	169	-0,15	5,00	4,85
2.4	158	2,43	0,00	2,43
3.1	138	0,22	2,10	2,32
3.2	138	-0,50	4,60	4,10
3.2	161	-0,90	4,60	3,70
3.3	138	-7,29	8,40	1,11
3.4	138	-1,81	6,10	4,29
3.4	162	-1,84	6,10	4,26
4.1	90	1,53	0,00	1,53
4.2	151	3,24	5,50	8,74
4.2	90	3,67	5,50	9,17
4.3	90	-3,18	5,30	2,12
4.4	90	1,88	2,60	4,48
4.4	88	0,99	2,60	3,59
5	35	-1,21	2,80	1,59
6	83	-1,28	3,30	2,02
7	27	1,90	0,70	2,60
8	32	0,43	1,30	1,73

### 5.3.3 Auswirkungen der Behandlungsvarianten auf die Bestände

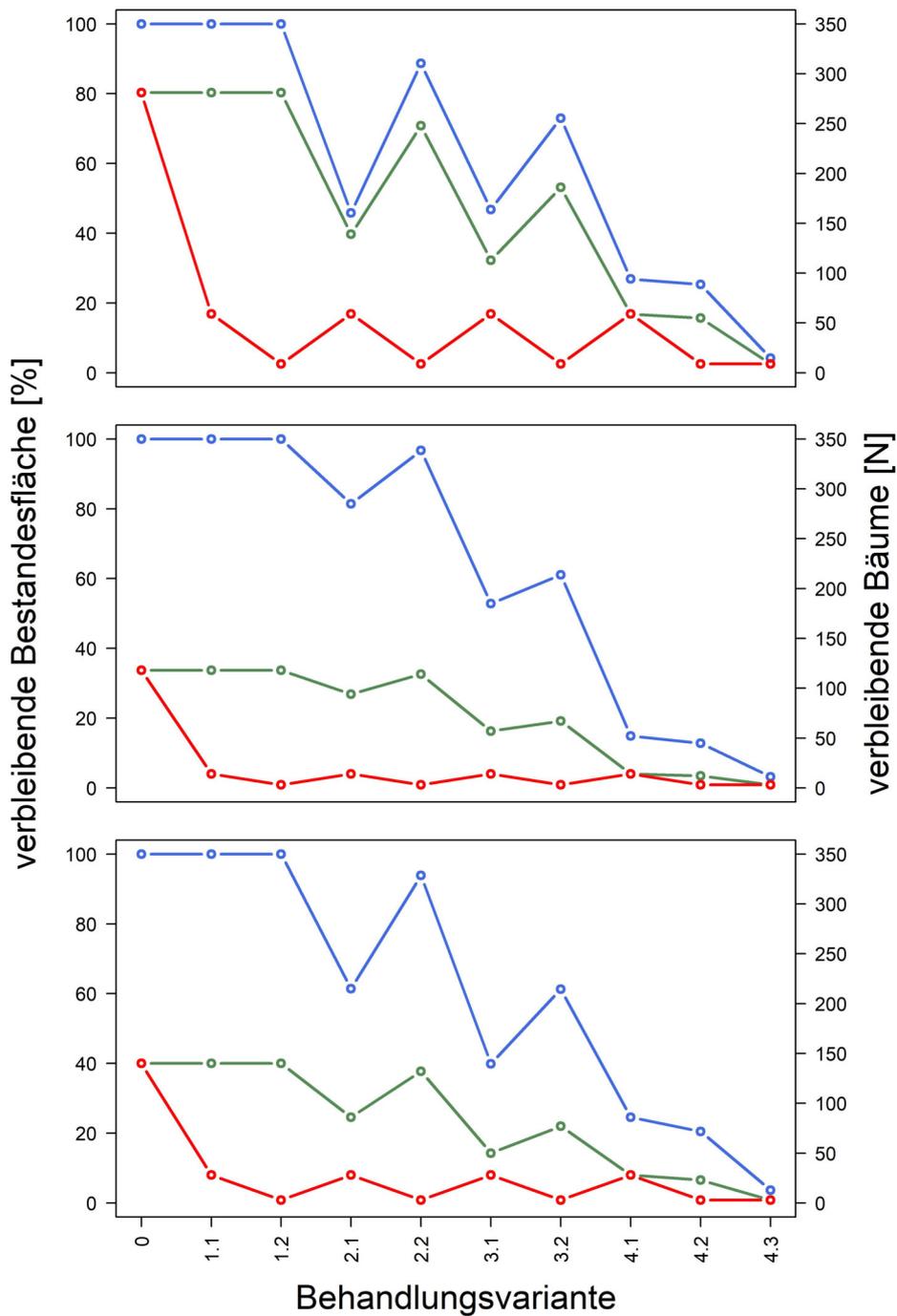
In den Abbildungen 5.3 und 5.4 sind die Auswirkungen der Freistellungen auf die Grundfläche der einzelnen Testbestände aufgelistet. Grundlage für die Entscheidung, welche Bäume entfernt werden müssen, ist das Ergebnis der logistischen Regression. Alle Nachbarbäume, die mit ihrem Kronentrauf näher als 3,45 m an den Samenbäumen stehen, wurden entfernt. Dies entspricht

der Umsetzung von Behandlungsvariante 2 (siehe Kap. 1.11). Auf Flächenebene wurden die Auswirkungen auf die Bestandesgrundfläche und die Stammzahlen der Testbestände aggregiert. Die Anzahlen der zu entfernenden Bäume und deren Grundfläche schwankt stark zwischen den Testbeständen und Behandlungsvarianten. Im Mittel verbleiben für die Variante 2.1 67,2 % und für die Variante 2.2 91,5 % der Bestandesgrundfläche.

Ab der Variante 3.1 werden nicht nur die Samenbäume frei gestellt, sondern auch die schlechtesten Vererber eines Bestandes entfernt (siehe Kap. 1.11). Mit zunehmender Behandlungsstärke (von Variante 3.1 zu 4.3) nimmt die Individuenzahl und damit verbunden auch die Bestandesgrundfläche stark ab. Im Mittel verbleiben bei der Variante 3.1 45,3 % der Bäume und 50,9 % der Bestandesgrundfläche im Testbestand. Bei Variante 3.2 60,4 % der Bäume und 66,2 % der Grundfläche. Die Varianten 4.1 und 4.2 bewirken, dass 18,7-16,6 % der Individuen und 23,8-20,8 % der Bestandesgrundfläche auf der Testfläche verbleiben. Variante 4.3 reduziert die Werte am deutlichsten. Lediglich 3,1 % der Eichen und damit verbunden eine Bestandesgrundfläche von 4,4 % bleiben in den Testbeständen erhalten.



**Abbildung 5.3:** Auswirkungen der Behandlungsvarianten auf die Vielfalt und Diversität in den Stiel-Eichen Beständen (Abbildung oben = Testbestand Dassel, Abbildung mitte = Grünenplan, Abbildung unten = Reinhardshagen; grüne Kurve = Anzahl der verbleibenden Bäume [N], blaue Kurve = verbleibende Bestandesgrundfläche in [%], rote Kurve = Anzahl der Erntebäume [N])



**Abbildung 5.4:** Auswirkungen der waldbaulichen Maßnahmen in den Trauben-Eichen Beständen (Abbildung oben = Testbestand Cottbus, Abbildung mitte = Grünenplan, Abbildung unten = Sichelstein; grüne Kurve = Anzahl der verbleibenden Bäume [N], blaue Kurve = verbleibende Bestandesgrundfläche in [%], rote Kurve = Anzahl der Erntebäume [N])

## 5.4 Diskussion

### 5.4.1 Fremdsamenanteil unter den Erntebäumen

Als Arbeitshypothese wurde angenommen, dass bei Einzelbaumbeerntungen mit beträchtlichen Beimischungen von Fremdeicheln in den Übergangsbereichen der Kronen durch benachbarte Bäume zu rechnen ist. Die Ergebnisse zeigen, dass die Arbeitshypothese bestätigt werden muss. Bis zum Kronentrauf, der bei der Einzelbaumbeerntung als Sammelgrenze angenommen werden kann, sind erhebliche Beimischungen mit Eicheln der Nachbarbäume nachweisbar (vgl. Kap. 5.3.1). Es sind allerdings nicht immer die direkten Nachbarbäume für den hohen Sameneintrag verantwortlich. Auch weiter entfernt stehende Bäume tragen erheblich dazu bei. Als Ursache für die sehr inhomogenen Werte können unterschiedliche Fruktifikationsraten oder Eichelfallzeiten angeführt werden. Es zeigt sich ebenfalls, dass die Wahrscheinlichkeit für Fremdeicheln mit zunehmender Entfernung vom Stamm zunimmt (siehe Abb. A.7, A.8, A.9, A.10 und A.11 im Anhang). Da die Randbereiche eines Baumes den größten überschirmten Flächenanteil ausmachen, wären Einzelbaumbeerntungen mit möglichst geringen Fremdsamenanteilen kaum möglich. Lediglich die Kernzone um den Baummittelpunkt könnte ohne zu große Durchmischung beerntet werden. Jedoch ist das Vorgehen nicht praktikabel und unter ökonomischen Gesichtspunkten nicht ratsam, weil ein hoher Anteil der überschirmten Fläche bei der Eichelernte ignoriert werden müsste.

Für die Beimischungen gibt es verschiedene Gründe. Hauptsächlich verbreiten sich die Eicheln über Barochorie. Damit ist gemeint, dass sich die Früchte einer Pflanze die Schwerkraft zu Nutze machen und bei passender Reife einfach zu Boden fallen. Es ist jedoch falsch, davon auszugehen, dass die Eicheln gerade zu Boden fallen und dort liegenbleiben. Durch Windbewegungen in der Krone kann den Eicheln eine Ablenkung zugeführt werden, sodass sie um einige Meter versetzt von der senkrechten Fallachse zu Boden fallen. Weiterhin können die Eicheln beim Fallen durch Äste des eigenen Baumes oder den Unterstand abgelenkt werden. Je nach Fallhöhe und Aufschlagwinkel auf ein Hindernis können die Eicheln um beträchtliche Distanzen abgelenkt werden. Selbst auf dem Boden können sie wieder hoch springen und etwas weiter liegen bleiben. Eine Untersuchung ergab, dass Eicheln so über eine Strecke von bis zu 10 Metern verbreitet werden können (CHYBICKI und BURCZYK, 2010). Für Bucheckern, die sich auf vergleichbarer Weise verbreiten, können sogar Distanzen von bis zu 22 m angeführt werden (MÜLLER-STARCK, 1996b; JANSSEN, 1996; WAGNER et al., 2010). Andere Untersuchungen zeigten auch, dass ein Großteil der Nachkommen nur über kurze Distanzen verbreitet werden (DOW und ASHLEY, 1996; PONS und PAUSAS, 2008). Die starke Durchmischung mit Samen von Nachbarbäumen im Kronenrandbereich kann durch die obigen Ausführungen eindeutig erklärt werden.

Als weiterer Verbreitungsvektor kann Zoochorie, die Verbreitung der Samen über Tiere genannt werden. Obwohl Eicheln nicht auf die Verbreitung durch spezielle Tiere spezialisiert sind (JONES, 1959), gibt es eine Reihe von Arten, die die Verbreitung von Eicheln fördern. Zu nennen wären hier hauptsächlich Mäuse und Hähner (ROHMEDEK, 1972). Diese fressen zwar Eicheln, verbringen aber auch einen nicht unerheblichen Teil der Eicheln. Zum Teil werden die verbrachten Eicheln nicht wieder aufgesucht, so dass auch erhebliche Mengen Eicheln intakt bleiben und später keimen

können. Innerhalb der Verbreitung durch Tiere kann zwischen zwei Größenordnungen bei den Verbreitungsdistanzen unterschieden werden. Mäuse legen bei der Eichelverbreitung nur kurze bis mittlere Distanzen zurück. In mehreren Untersuchungen, die sich mit der Verbringung von Eicheln durch Mäuse befassen, konnten Distanzen von bis zu 50 m festgestellt werden (JENSEN und NIELSEN, 1986; KOLLMANN und SCHILL, 1996; OUDEN et al., 2005). Teilweise werden Eicheln mehrfach durch Mäuse verschleppt. Dann können auch Distanzen von bis zu 130 m zurückgelegt werden (PEREA et al., 2011).

Häher hingegen können auch über weite Distanzen Eicheln verbringen. In Untersuchungen konnten Distanzen von mehreren hundert Metern ermittelt werden (KOLLMANN und SCHILL, 1996; OUDEN et al., 2005; PONS und PAUSAS, 2008; KREMER et al., 2008; GERBER et al., 2014). In weiteren Untersuchungen konnten sogar Distanzen von bis zu 6 km nachgewiesen werden (SCHUSTER, 1950; CHETTLEBURGH, 1952; DARLEY-HILL und JOHNSON, 1981; HOSIUS et al., 2012). Eichelhäher verbringen dabei nicht nur einzelnen Eicheln, sondern nennenswerte Mengen. In einer Literaturübersicht, die Ergebnisse verschiedenster Untersuchungen zusammenfasst, werden häufig mehrere Tausend Eicheln je Hektar angeführt (STIMM und KNOKE, 2004). Somit können auch Eichelfunde von weiter entfernten Bäumen erklärt werden. Besonders die Eicheln, die keinem Baum des Testbestandes zugeordnet werden konnten (vgl. Tab. 5.2 und 5.3), scheinen vom Häher verbrachte Eicheln zu sein.

#### **5.4.2 Simulation des Abstandes der Erntebäume**

Nach den Ergebnissen der logistischen Regressionen müssen die Erntebäume im Mittel um 3,45 m freigestellt werden. Der ermittelte Wert sollte jedoch eher als Schätzwert angesehen werden, weil viele Aspekte die Ergebnisse der logistischen Regression beeinflussen, die jedoch nur bedingt beachtet werden konnten. Grundlegend muss festgehalten werden, dass insbesondere der Untersuchungsumfang zu dieser Fragestellung begrenzt war. Dadurch können einzelne logistische Regressionen auf relativ wenigen Beobachtungen beruhen. Zwar wurde in alten Arbeiten ein Umfang von 10 Beobachtungen pro Variable als ausreichend angesehen (PEDUZZI et al., 1996), jedoch gehen neuere Simulationen von deutlich höheren Mindestbeobachtungszahlen aus (MOTRENKO et al., 2014; KIM et al., 2017). Mit 32 bis 70 Beobachtungen sollten aber für diese Zwecke genügend Werte vorliegen. Einzig das Verhältnis der Zugehörigkeit der Eicheln könnte in einigen Fällen problematisch sein (siehe Abb. A.7, A.8, A.9, A.10 und A.11 im Anhang). Der Zeitpunkt der Fruktifikation ist ebenfalls eine nicht unerhebliche Größe. Die Bäume zeigen unterschiedliche Reifezeitpunkte und damit verbunden Fallzeiträume (KLEINSCHMIT, 1976). Befindet sich ein Baum bereits in der Phase starken Eichelfalls, der Nachbarbaum jedoch noch nicht, hat das einen enormen Einfluss auf die Anzahlen und Zugehörigkeiten der gefundenen Eicheln und damit auf die Regression selbst. Gleiches gilt, wenn die Bäume unterschiedlich stark fruktifizieren. Die Windverhältnisse im Fallzeitraum der Eicheln können die Ergebnisse ebenfalls beeinflussen. Es ist klar, dass bei starken Winden die Eicheln weiter gestreut werden als bei Windstille. Die angeführten Punkte können auch die Erklärung für die z.T. stark unterschiedlichen Abstandswerte der logistischen Regressionen sein und könnten auch die verschiedenen mittleren

Freistellungsabstände der Testbestände erklären (siehe Tab. 5.4). Sollen alle Faktoren in einem geeigneten Umfang berücksichtigt werden, wären dafür enorm viele Untersuchungen über mehrere Jahre nötig.

Als Vorgabe wurden 95 % Reinheit des Saatgutes bis zum Kronentrauf festgelegt. Für die Untersuchung wurde ein pragmatischer und praxisnaher Ansatz gewählt, wohl wissend das es auch weitere Lösungsansätze gibt. Entlang eines Transektes von Ernte- zum Nachbarbaum ist der vorgefundene Fremdsamenanteil am höchsten. Dieser soll nun auf max. 5 % durch Simulation des Abstandes reduziert werden. Wenn dies für alle Nachbarbäume eines Erntebaumes gemacht wird und diese gleichmäßig um den Erntebaum verteilt sind, dürfte dies zu einer Reduktion des Fremdsamenanteils auf ca. 5 % führen. Ein Mittel von 3,45 m bedeutet auch, dass in 50 % der Fälle Fremdsameneinträge von mehr als 5 % an den Transektlinien akzeptiert werden müssten. Zusätzliche Simulationen mit Quantilwerten könnten hier weitere Erkenntnisse liefern, würden in dieser Arbeit jedoch den Rahmen sprengen. Die berechneten Ergebnisse dienen zu diesem Zeitpunkt als Richtwert, um die weiteren Berechnungen durchführen zu können. Bei einer Überführung des Konzeptes in die Forstpraxis wären dann weitere Untersuchungen in den umgebauten Beständen nötig, um die Ergebnisse evaluieren zu können. Werden im geernteten Saatgut zu hohe Fremdsamenanteile festgestellt, muss der Mindestabstand vom Kronentrauf des Erntebaumes zu seinem Nachbarbaum angepasst werden.

### 5.4.3 Auswirkungen der Behandlungsvarianten

Im Einleitungsteil wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Saatguterntebestände beerntbar bleiben müssen. Das bedeutet, dass der Aufwuchs von krautigen Pflanzen, Büschen und Naturverjüngung möglichst gering gehalten werden muss.

Waldbauliche Maßnahmen wie die Freistellung der Samenbäume oder die Entnahme der schlechten Pollenspender haben einen großen Einfluss auf die Beerntbarkeit der Bestände. Durch Entnahmen im Oberstand verändern sich Wuchsbedingungen im Bestandesinneren. Als Faktoren können das Angebot an Licht, Nährstoffen und Wasser angeführt werden (HÄRDTLE et al., 2003; MUSCOLO et al., 2014). Mehrere Untersuchungen beschäftigten sich daher mit den Auswirkungen der Dichte des Oberstandes auf die unteren Vegetationsschichten und kommen übereinstimmend zu dem Ergebnis, dass ein gesteigertes Lichtangebot zu einem deutlich verstärkten Wachstum der Krautschicht führt (EHRENREICH und CROSBY, 1960; MIHÓK et al., 2005; WAGNER et al., 2011). Rubus-Arten verhalten sich in diesem Zusammenhang als besonders konkurrenzstark (RICARD und MESSIER, 1996). Im einzelnen muss die Brombeere erwähnt werden, weil sie auf ein gesteigertes Lichtangebot deutlich reagiert und sich schnell und stark ausbreitet (DECOCQ et al., 2004; HARMER et al., 2005; MOUNTFORD et al., 2006; HARMER und MORGAN, 2007). Aus praktischen Gründen ist die Brombeere daher von besonderem Interesse, weil dichte Brombeervegetation eine Hand- oder Netzsammlung nahezu unmöglich macht.

Verschiedene Untersuchungen setzen die Zunahme der Bodenvegetation mit der Auffichtung des Oberstandes ins Verhältnis. Kleinere Bestandeslücken in Buchenbeständen, die durch Windwurf entstanden sind, weisen deutliche geringere Bedeckungsgrade der Bodenvegetation auf, als größere

(GÁLHIDY et al., 2006). Eine andere Untersuchung über die Entwicklung der Bodenvegetation in unterschiedlich großen Bestandeslücken kommt zu dem Schluss, dass in allen Lücken unabhängig von der Größe Bodenvegetation aufkommt. Jedoch unterschieden sich die Bedeckungsraten stark in Abhängigkeit vom Lichtangebot. Im Bereich von 0-20 % Bestandesauflockerung betrug der Bedeckungsgrad bis zu 50 %. Bei mehr als 40 % Bestandesauflockerung beträgt der Bedeckungsgrad fast immer 100 % (KELEMEN et al., 2012).

In einer Untersuchung, die die Auswirkungen unterschiedlicher Durchforstungsstärken mit der sich entwickelnden Bodenvegetation in Eichenwäldern vergleicht, zeigte sich, dass mit zunehmender Auflichtung die Bodenvegetation zunimmt. Danach verändert sich der Bedeckungsgrad der Bodenvegetation bei ca. 30 % Auflichtung um 5-12 %, bei 82 % Auflichtung um 41 % (ZENNER et al., 2006). In Fichtenbeständen erhöhte sich die mittlere Bodenbedeckung mit krautigen Pflanzen bei Einzelstammentnahme um 28 %, während bei Kahlschlägen die mittlere Bedeckung um 113 % zunahm (HEINRICHS und SCHMIDT, 2009). Eine Untersuchung über die Struktur und Dynamik der Bergmischwaldverjüngung zeigte, dass sich Bedeckungsgrade der Bodenvegetation abhängig vom Behandlungsregime verhalten. Nach einem schwachen Schirmschlag betrug der mittlere Bodenbedeckungsgrad 2 Jahre nach der Maßnahme 5 %, während er bei einem starken Schirmschlag auf im Mittel 21 % anstieg (AMMER, 1996).

Neben der Krautschicht fördert ein gesteigertes Lichtangebot ebenfalls die Naturverjüngung. Eine Studie über die Verjüngungsmuster in bayerischen Eichenbeständen zeigte, dass das Vorkommen von Eichennaturverjüngung mit den Lichtverhältnissen zusammenhängt und die Häufigkeiten mit zunehmender Lichtverfügbarkeit zunehmen (ANNINGHÖFER et al., 2015). In anderen Untersuchungen über die Entwicklung von Buchen- und Eichensämlingen zeigt sich ebenfalls bei größerem Lichteinfall mehr Naturverjüngung mit größerem Wachstum (SUNER und RÖHRIG, 1980; MADSEN und LARSEN, 1997; VON LÜPKE, 2008). Eine Untersuchung über die natürliche Verjüngung der Eiche zeigte, dass ab einem Lichtangebot von 30 % deutlich mehr Eichen überleben und diese ab 50 % auch wesentlich schneller wachsen (BREZINA und DOBROVOLNÝ, 2011). In einer anderen Untersuchung zeigte sich, dass Eiche sich nicht unter 15-20 % der Gesamtlichtmenge verjüngt. Nach der Arbeit werden ähnliche Lichtverhältnisse in Lücken ab ca. 25 m erreicht. Kleinere Bestandeslücken mit ca. 13 m liegen deutlich unter der benötigten Mindestlichtmenge (VON LÜPKE, 1998).

In den Abbildungen 5.3 und 5.4 sind die Auswirkungen der Freistellungsmaßnahmen auf Bestandesebene abgebildet. Sollen die Bäume der ersten Qualitätsstufe frei gestellt werden (Variante 2.2), müssten dafür je nach Testbestand 2,0 bis 17,6 % der Grundfläche entfernt werden. Der zu entnehmende Grundflächenanteil liegt damit deutlich über der zu entnehmenden Grundfläche, die die Ertragstafel für Eiche bei starker Durchforstung vorsieht (SCHOBER, 1975). Danach werden für die Bestände Dassel, Grünenplan und Reinhardshagen 8,3 %, für den Bestand in Cottbus 6,8 % und für den Bestand in Sichelstein 5,0 % veranschlagt. Gänzlich wird sich die Entwicklung von Bodenvegetation durch die Freistellungs- und Behandlungsmaßnahmen nicht verhindern lassen. Jedoch würde die Variante 2.2 einen eher geringen Aufwuchs erwarten lassen, weil die Freistellen im Verhältnis recht klein sind und der Lichteinfall nicht zu stark ausfällt.

Anders verhält es sich bei den Varianten 2.1 und 3.1 aufwärts. Hier werden deutlich größere Anteile der Bestandesgrundfläche entfernt (siehe Abb. 5.3 und 5.4). Die bei den Varianten entstehenden Freiflächen und Löcher sind deutlich größer und mehr Licht kann zum Boden vordringen. Das hätte ein enormes Wachstum der Krautschicht und Aufkommen von Naturverjüngung zur Folge.

Saatgut wird hauptsächlich von Hand oder durch ausgelegte Netze gewonnen. In den stark aufgelichteten Beständen kann die Bodenvegetation innerhalb weniger Jahre eine Ernte unter ökonomischen Verhältnissen unmöglich machen. Pflegeeingriffe, die den Bodenbewuchs gering halten, müssten in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden. Das verursacht jedoch zusätzliche Kosten, die über den Saatgutpreis generiert werden müssten, oder die im öffentlichen Interesse zu Gunsten hochwertigen Saatgutes in Kauf genommen werden. Letztendlich würden Folgeuntersuchungen in den umgebauten Saatgutbeständen Klarheit liefern, wie sich die Bodenvegetation entwickelt und in welchen Umfang Pflegemaßnahmen erforderlich sind.



# 6 Bestäubungsverhältnisse innerhalb der Testbestände

## 6.1 Einleitung

Pollen mitteleuropäischer Waldbaumarten wird hauptsächlich über den Wind (Anemogamie) oder Insekten (Entomogamie) verbreitet. Die heimischen Eichenarten werden zu den windbestäubenden Arten gezählt (DENGLER, 1930; JONES, 1959; ROHMEDEK und SCHÖNBACH, 1959; SHARP und CHISMAN, 1961). Im Mittel sind die Pollenkörner der Stiel-Eiche etwas kleiner als die Körner der Trauben-Eiche (ROHMEDEK und SCHÖNBACH, 1959; OLSSON, 1975). Mit durchschnittlich  $31,37 \mu\text{m}$  sind die Körner der Trauben-Eiche etwas länger als die Körner der Stiel-Eiche mit  $30,79 \mu\text{m}$ , wobei sich die Wertebereiche in großen Teilen überlappen (WRÓŃSKA-PILAREK et al., 2016). Damit sind die Pollenkörner deutlich kleiner als die der Zerr- und Kork-Eichen, die eine Länge von ca.  $46 \mu\text{m}$  aufweisen (COLOMBO et al., 1983).

Die heimischen Eichen sind monözisch (KRAHL-URBAN, 1959; DUCOUSSO et al., 1993). Das bedeutet, dass weibliche und männliche Blüten auf dem selben Baum zu finden sind. Die männlichen Blütenknospen befinden sich dabei an den letztjährigen, oder im basalen Teil diesjähriger Triebe. Weibliche Blüten sind ausschließlich an den Spitzen diesjähriger Triebe zu finden (AAS, 1994a). Die heimischen Eichenarten sind selbststeril (KRAHL-URBAN, 1959; DUCOUSSO et al., 1993). Das liegt an einem ausgeprägten Inkompatibilitätssystem, das das Wachstum des Pollenschlauchs durch den Griffel, oder aber bereits die Keimung auf der Narbe verhindert, wodurch Selbstung und Verwandtenpaarung weitestgehend minimiert werden. Bei den Eichen liegt ein gametophytisches System vor (HAGMAN, 1975), bei dem die Mutterpflanze inkompatiblen Pollen an Allelen, die im Pollenschlauch aus dem männlichen Gametophyten exprimiert sind, erkennt (HATTEMER und ZIEHE, 2018). Die Reaktion wird durch die so genannten S-Genloci ausgelöst, die in der Regel zahlreiche Allele umfassen (YACINE und BOURAS, 1997; HATTEMER und ZIEHE, 2018).

Die Entwicklung der Blüten fällt mit der Blattentfaltung zusammen (KRAHL-URBAN, 1959) und wird zeitlich von Umwelt- und Erbfaktoren kontrolliert (CHESNOIU et al., 2009). Meistens findet die Blüte vor der vollständigen Blattentfaltung statt (ROHMEDEK und SCHÖNBACH, 1959). Mindestens ist die Blattentfaltung während der Pollenabgabe gehemmt (SHARP und CHISMAN, 1961). Dadurch wird die Pollenverbreitung erleichtert, weil voll entfaltetes Laub eine filternde Wirkung auf den Pollen hat und darüber hinaus die Windgeschwindigkeiten innerhalb der Bestände reduziert werden (NIKLAS, 1985).

Bei der Blühphase müssen zwei wesentliche Zeiträume unterschieden werden. Die Phase der weiblichen Blüte und der Pollenabgabe. Während die Zeit der weiblichen Blüte bei den Eichen bis zu 21 Tagen umfassen kann, wird der Pollen innerhalb von ein bis zehn Tagen frei gelassen (JONES, 1959; SHARP und CHISMAN, 1961). Ebenso hat die Witterung einen großen Einfluss auf die Entwicklung der Blüten und die anschließende Pollenfreigabe. So haben beispielsweise Temperaturen über 10° C einen fördernden Einfluss auf die Entwicklung der Blüte (SCAMONI, 1955). Für die Pollenfreigabe ist ebenfalls die richtige Luftfeuchtigkeit entscheidend (NIKLAS, 1985). Pollen wird erst ab einer Luftfeuchte von weniger als 45 % frei gelassen. Bei Luftfechtigkeiten darüber bleiben die Staubbeutel geschlossen (SHARP und CHISMAN, 1961).

Die Eiche zeigt gegenüber anderen Baumarten ein hohes Pollenverbreitungspotential. In Modellberechnungen konnte mit ca. 200 km eine zehnfach größere Verbreitungsdistanz im Vergleich zur Fichte berechnet werden (DUCOUSSO et al., 1993). Untersuchungen zur reproduktiv erfolgreichen Pollenverbreitungen zeigten auch, dass Pollen der Eichen große Strecken von bis zu mehreren Kilometern zurücklegen kann (LAHTINEN et al., 1996; KREMER et al., 2008; HOSIUS et al., 2012). In einigen Fällen konnten sogar Distanzen von bis zu 10 km nachgewiesen werden (BUITEVELD et al., 2001; GERBER et al., 2014). Am häufigsten sind jedoch wesentlich kürzere Pollendistanzen bis zu einer Entfernung von 100 Metern (CHYBICKI und BURCZYK, 2010; DEGEN et al., 2012; GERBER et al., 2014).

Pollenverbreitung ist ein essentieller Vorgang innerhalb des Reproduktionsprozesses. Sie leistet einen wichtigen Beitrag für die genetische Diversität innerhalb und zwischen Beständen (SCHÜLER und SCHLÜNZEN, 2006) und kann über große Distanzen als Quelle für genetische Variation angesehen werden (VALBUENA-CARABANA et al., 2005). Dies ist bei den Eichen umso bedeutender, da die Verbreitung über die schweren Samen stark eingeschränkt ist.

Für das Saatguterntekonzept ist die Pollenverbreitung von großer Bedeutung. Die ersten der in dieser Arbeit beschriebenen Varianten zielen darauf ab, durch die alleinige Beerntung von phänotypisch guten Einzelbäumen die genetische Qualität auf der mütterlichen Seite zu steigern. Ab der Variante 3.1 (siehe Kap. 1.11) soll ebenfalls die genetische Qualität auf der väterlichen Seite verbessert werden. Das geschieht durch die Entnahme der schlechten Vererber im Bestand. Dadurch erhöht sich der Pollenanteil der phänotypisch besseren Bäume und die genetische Qualität wird zusätzlich gesteigert (siehe Kap. 2.3.6). Die Erhöhung der genetischen Qualität kann aber nur erreicht werden, wenn von außen keine großen Anteile unerwünschten Pollens in den Bestand immigrieren und der Pollenanteil von schlecht veranlagten Individuen nicht allzu groß ist.

Die Varianten, bei denen auch auf der väterlichen Seite eingegriffen wird, stellen starke waldbauliche Eingriffe in die Bestandesstruktur dar (siehe Abb. 5.3 und 5.4), die es abzuwägen gilt. Das setzt Kenntnisse über die Verbreitungsdistanzen und Pollenanteile der jeweiligen Qualitätsstufen innerhalb der Beerntungsbestände voraus. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang nur das Verbreitungsmuster von effektiven Pollen, d.h. von Pollen, der auch zur Samenbildung geführt hat. Im folgenden Kapitel wird mit Hilfe einer Vaterschaftsanalyse der Bestäubungssituation in den Beständen nachgegangen.

## 6.2 Aufnahme, Verarbeitung und Auswertung der Proben

Mit genetischen Markern wurde eine Elterschaftsanalyse von Eicheln durchgeführt. Für die Vaterschaftsanalysen, die einen Spezialfall bei bekannten Müttern darstellen, wurde ebenfalls das Programm CERVUS genutzt. Das Programm und die molekulargenetischen Methoden sind in Kapitel 3 beschrieben. Die verwendeten Eicheln sind die gleichen, die für die Fremdsamenanalyse verwendet wurden (siehe Kap. 5). Von den Eicheln sind damit die Genotypen der Mutterbäume bekannt. Für jede Eichel wurden vom Programm CERVUS unter Verwendung der genetischen Informationen der Mutter aus allen Individuen des Testbestandes diejenigen ausgewählt, die als Väter in Frage kommen. Dies war immer dann der Fall, wenn der diploide Genotyp der Eichel durch Fusion haploider Gameten der beiden Eltern erklärt werden konnte. Bei mehreren potenziellen Vätern wurde der mit der geringsten Entfernung zur Mutter als Vater festgelegt. Lagen mehrere potenzielle Väter etwa gleich weit von der Mutter entfernt, wurde der Baum mit dem höheren LOD-Score (siehe Kap. 3.10) als Vater angenommen. Wenn kein Individuum aus dem Testbestand als potentieller Vater ausgewiesen werden konnte, wurde dies als Pollenbeitrag von außerhalb gewertet.

Für die empirischen kumulativen Verteilungsfunktionen (ECDF) wurden zusätzlich über ein Geoinformationssystem (QGIS Development Team, 2021) die Distanzen zwischen der Mutter und dem potentiellen Vater bestimmt. Als Grundlage dienten die Lagepläne der Alteichen, die im zweiten Kapitel zu finden sind. Verwendet wurden die jeweiligen Stammachsen der Bäume. Die ECDF-Abbildungen wurden anschließend mit der Statistiksoftware R Version 3.4.0 (R Core Team, 2018) erstellt.

## 6.3 Ergebnisse

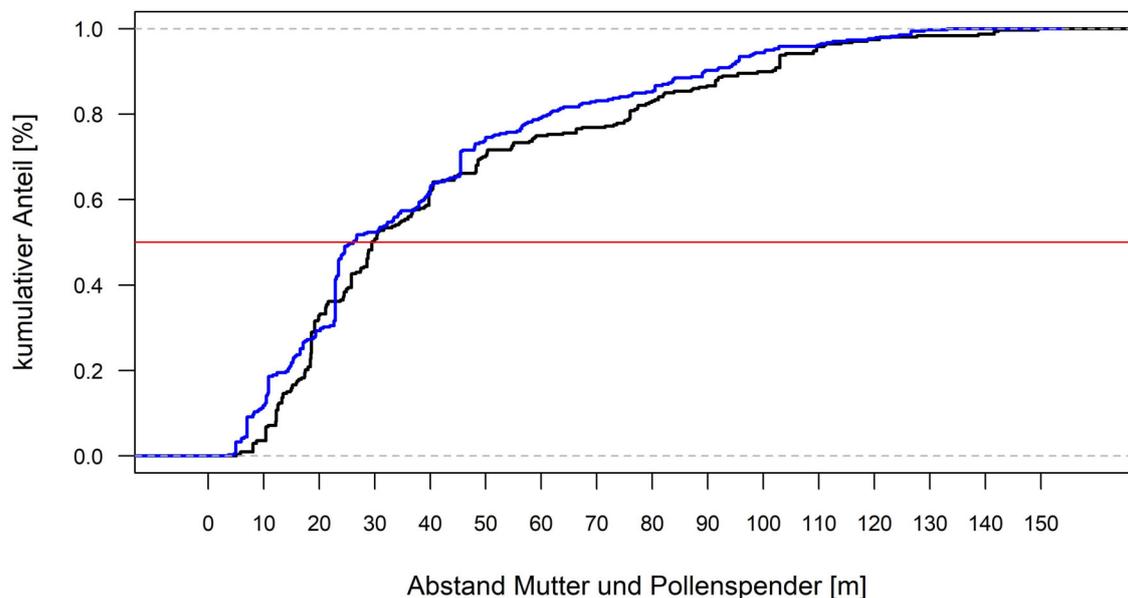
### 6.3.1 Bestäubungssituation innerhalb der Beerntungseinheit

In Tabelle 6.1 sind die Ergebnisse der Vaterschaftsanalyse für die Testbestände Cottbus und Grünenplan aufgelistet. In keinem einzelnen Fall konnte Selbstung festgestellt werden. Die internen Bestäubungsanteile im Testbestand Cottbus schwanken zwischen knapp 30 % (Transekt 2.1) und ca. 58 % (Transekt 1.1). Im Testbestand Grünenplan schwanken die Bestäubungsanteile zwischen ca. 54 % (Transekt 4.1) und ca. 77 % (Transekt 7)

**Tabelle 6.1:** Übersicht der zugewiesenen Väter in den Testbeständen Cottbus und Grünenplan (N = Anzahl Eicheln, %<sub>Selbst</sub> = Anteil der aus Selbstung hervorgegangenen Eicheln, %<sub>Int</sub> = Anteil der Eicheln mit bekannten Vätern)

Testbestand	Transekt	N	% <sub>Selbst</sub>	% <sub>Int</sub>
Cottbus	1.1	48	0	58,3
Cottbus	1.2	76	0	55,3
Cottbus	1.3	62	0	32,3
Cottbus	1.4	64	0	37,5
Cottbus	2.1	81	0	29,6
Cottbus	2.2	73	0	49,3
Cottbus	2.3	82	0	37,8
Cottbus	2.4	60	0	36,7
Cottbus	3.1	61	0	42,6
Cottbus	3.2	79	0	35,4
Cottbus	3.3	56	0	50,0
Cottbus	3.4	86	0	33,7
Grünenplan	4.1	61	0	54,1
Grünenplan	4.2	57	0	66,7
Grünenplan	4.3	68	0	57,4
Grünenplan	4.4	64	0	56,2
Grünenplan	5	72	0	66,7
Grünenplan	6	61	0	77,0
Grünenplan	7	46	0	60,9
Grünenplan	8	58	0	65,5

In Abbildung 6.1 ist die empirische kumulative Verteilung der Pollenverbreitungsdistanzen zwischen Mutter- und Vaterbaum in den Testbeständen Cottbus und Grünenplan abgebildet. Im Testbestand Cottbus beträgt der geringste Abstand ca. 4 m, der größte 133 m. Bei einem kumulativen Anteil von 50 % liegt die Pollendistanz bei ca. 26 m. Im Testbestand Grünenplan beträgt der geringste Abstand ca. 4 m, der größte 148 m. Bei einem kumulativen Anteil von 50 % liegt die Pollendistanz bei ca. 29 m. Beide Kurvenverläufe steigen erst stark an und flachen dann im Bereich größerer Distanzen immer weiter ab. Insgesamt verlaufen beide recht gleichmäßig. Auffällig sind ebenfalls die sprunghaften Steigerungen.



**Abbildung 6.1:** Empirische kumulative Verteilungsfunktion (ECDF) der Distanzen zwischen Mutter und Pollenspender in den Testbeständen Cottbus (schwarz) und Grünenplan (blau)

In Tabelle 6.2 sind für die Bestände in Cottbus und Grünenplan die Anzahlen der nachgewiesenen Väter getrennt nach Einzelbäumen aufgelistet. Grundlage der Betrachtung sind alle Bäume, die an einem Transekt beteiligt sind (siehe Kap. 5.1) und als Mutterbaum unter den untersuchten Eicheln identifiziert wurden. Die Zahl der Eicheln, die einem Mutterbaum eindeutig zugewiesen werden konnten, schwanken zwischen 3 und 145 Stück. Der Anteil der Eicheln, denen kein Vater aus dem Testbestand zugeordnet werden konnte, schwankt zwischen 70 % (z.B. Baum Nr.81) und 0 % (Baum Nr. 78). Zu den Eicheln einzelner Mutterbäume konnten zwischen zwei (Baum Nr. 73, 105, 170) und 40 (Baum Nr. 80) Pollenspender aus dem Testbestand identifiziert werden, wobei die Anzahl der Eicheln pro Mutterbaum natürlich einen großen Einfluss hat. Der Anteil an echten Halbgeschwistern (d.h. keine Wiederholung der Väter) schwankt zwischen 16 % (Baum Nr. 151) und 100 % (z.B. Baum 158). Die Häufigkeit echter Vollgeschwisterfamilien nimmt mit zunehmender Gruppengröße immer weiter ab. Die größten Vollgeschwisterfamilien wurden bei Baum Nr. 138 (32 Mitglieder) und Baum Nr. 159 (17 Mitglieder) gefunden.

**Tabelle 6.2:** Anzahlen der nachgewiesenen Väter getrennt nach Erntebäumen (B = Bestand (C = Cottbus; G = Grünenplan), EB = Erntebaum, N = Anzahl analysierte Eicheln,  $N_{\text{int.}}$  = Anzahl der Eicheln mit einem Pollenspender innerhalb der Testfläche,  $N_{\text{Väter}}$  = Anzahl der nachgewiesenen Väter,  $N_{1x}$  = Anzahl der Väter mit einfachem Bestäubungserfolg,  $N_{2x}$  = Anzahl der Väter mit zweifachem Bestäubungserfolg,  $N_{3x}$  = Anzahl der Väter mit dreifachem Bestäubungserfolg,  $N_{4x}$  = Anzahl der Väter mit vierfachem Bestäubungserfolg,  $N_{5x}$  = Anzahl der Väter mit fünffachem Bestäubungserfolg,  $N_{>5x}$  = Anzahl der Väter mit mindestens sechsfachem Bestäubungserfolg )

B	EB	N	$N_{\text{int.}}$	$N_{\text{Väter}}$	$N_{1x}$	$N_{2x}$	$N_{3x}$	$N_{4x}$	$N_{5x}$	$N_{>5x}$
C	73	6	2	2	2	0	0	0	0	0
C	78	3	3	3	3	0	0	0	0	0
C	80	126	60	40	30	6	1	1	1	1
C	81	10	3	3	3	0	0	0	0	0
C	82	39	24	11	7	3	0	0	0	1
C	105	10	3	2	1	1	0	0	0	0
C	137	36	16	7	4	1	1	0	0	1
C	138	100	50	13	11	0	0	0	0	2
C	158	10	4	4	4	0	0	0	0	0
C	159	145	55	25	17	4	0	2	1	1
C	161	75	34	26	20	4	2	0	0	0
C	162	33	9	8	7	1	0	0	0	0
C	169	37	19	11	9	1	0	0	0	1
C	170	6	3	2	1	1	0	0	0	0
G	1	7	4	4	4	0	0	0	0	0
G	27	32	22	12	10	1	0	0	0	1
G	32	53	39	20	10	7	0	1	1	1
G	35	25	16	11	8	2	0	0	1	0
G	38	24	19	11	6	3	0	0	1	0
G	45	9	5	5	5	1	1	1	1	1
G	83	35	25	17	9	4	2	0	0	0
G	88	34	23	12	7	2	1	1	1	0
G	89	15	10	6	3	2	1	0	0	0
G	90	136	69	20	12	0	1	1	2	4
G	92	8	4	3	2	1	0	0	0	0
G	151	38	31	12	5	3	2	0	0	2

### 6.3.2 Zusammensetzung der Pollenwolke in den Testbeständen

In Tabelle 6.3 sind getrennt nach Qualitätsstufen die jeweiligen Baumzahlen, Bestandesgrundflächen in Quadratmeter und Anzahl des erfolgreichen Pollens aufgelistet. Die daraus berechneten Quotienten zeigen den erfolgreichen Pollen je Baum oder Quadratmeter Bestandesgrundfläche einer Qualitätsstufe.

Im Testbestand Cottbus zeigt die erste Qualitätsstufe mit 10,9 erfolgreichen Pollen je Baum den höchsten Bestäubungserfolg. Die Qualitätsstufen zwei bis vier liegen mit 1,0 bis 0,8 annähernd gleich auf. Den geringsten Erfolg zeigt die fünfte Qualitätsstufe mit 0,3. Im Testbestand Grünenplan zeigt sich ein ähnliches Bild. Mit 8,5 ist die erste Qualitätsstufe am erfolgreichsten, gefolgt von den Qualitätsstufen zwei bis vier mit 1,7 bis 1,5. Die fünfte Qualitätsstufe ist mit 0,9 am geringsten vertreten.

Beim Bestäubungserfolg in Abhängigkeit zur Bestandesgrundfläche einer Qualitätsstufe schneidet im Testbestand Cottbus die erste Qualitätsstufe mit 43,6 erfolgreichen Pollen je Quadratmeter Grundfläche ebenfalls am besten ab. Die zweite und dritte Stufe liegen mit 4,2 und 4,9 annähernd gleich auf. Die vierte Qualitätsstufe liegt mit 6,1 leicht darüber. Am geringsten ist die fünfte Qualitätsstufe mit 2,1 vertreten. Im Testbestand Grünenplan zeichnet sich ein ähnliches Bild ab. Mit 30,4 ist die erste Qualitätsstufe am erfolgreichsten. Darauf folgt mit 8,1 die vierte Qualitätsstufe. Die Qualitätsstufen zwei und drei liegen mit 6,5 und 7,2 annähernd gleich auf darunter. Am geringsten ist wieder die fünfte Stufe mit 4,8 vertreten.

**Tabelle 6.3:** Bestäubungserfolge in Abhängigkeit der Stammzahl und Bestandesgrundfläche für die Testbestände Cottbus und Grünenplan aufgeteilt nach Qualitätsstufen (QS = Qualitätsstufe,  $N_B$  = Anzahl Bäume der Qualitätsstufe, GF = Grundfläche der Qualitätsstufe in  $m^2$ ,  $N_P$  = erfolgreicher Pollen der Qualitätsstufe,  $Q_B$  = erfolgreicher Pollen je Baum in Bestand,  $Q_{GF}$  = erfolgreicher Pollen je  $m^2$  Grundfläche)

Testbestand	QS	$N_B$	GF	$N_P$	$Q_B$	$Q_{GF}$
Cottbus	1	9	2,3	98	10,9	43,6
	2	50	12,0	50	1,0	4,2
	3	154	29,4	143	0,9	4,9
	4	52	6,9	42	0,8	6,1
	5	16	2,4	5	0,3	2,1
Grünenplan	1	4	1,1	34	8,5	30,4
	2	17	4,5	29	1,7	6,5
	3	86	20,8	149	1,7	7,2
	4	53	9,7	79	1,5	8,1
	5	17	3,3	16	0,9	4,8

## 6.4 Diskussion

### 6.4.1 Bestäubungssituation innerhalb der Beerntungseinheit

Generell zählen die Eichen zu den extrem selbststerilen Arten (KRAHL-URBAN, 1959; ROHMEDEK und SCHÖNBACH, 1959; AAS, 1991). In verschiedenen Nachkommenschaftsanalysen mit frei bestäubten Material konnte keine Selbstung nachgewiesen werden (BACILIERI et al., 1996; DOW und ASHLEY, 1996; BUIVEVELD et al., 2001). Wird Selbstung in den Nachkommen nachgewiesen, sind es lediglich wenige Prozent. In einer breit angelegten Untersuchung, welche die Verbreitung effektiven Pollens innerhalb verschiedenster Eichenbestände in Europa analysiert, konnte im Mittel eine Selbstung von 2,3 % ermittelt werden (KREMER et al., 2008). Eine andere Studie kommt zu dem Ergebnis, dass Selbstungsraten, wenn überhaupt, nur zu geringen Anteilen vorhanden sind (DOW und ASHLEY, 1998). Mit Hilfe kontrollierter Kreuzungen konnten ebenfalls nur geringe Selbstungsraten von 1,9 % (Stiel-Eiche) und 0,6 % (Trauben-Eiche) erzeugt werden (STEINHOFF, 1993). Selbstung scheint somit in der freien Natur ein seltener Vorgang zu sein. In der vorliegenden Untersuchung konnte in keinen der Bestände Selbstung nachgewiesen werden (siehe Tabelle 6.1). Für den geringen Selbstungserfolg kann das bei Eichen natürlich vorkommende Inkompatibilitätssystem verantwortlich gemacht werden. Ein weiterer Grund könnten die in dieser Untersuchung verwendeten hochspezifischen Marker sein, die Selbstung leichter ausschließen als Isoenzyme. Schlussendlich kann die generelle Bestäubungssituation in den Saatguterntebeständen die Selbstbestäubung als Notlösung überflüssig machen.

Des Weiteren konnte ein hoher Anteil an externen Pollen festgestellt werden (siehe Tab. 6.1). Eichenpollen ist in der Lage sehr große Distanzen zurückzulegen (siehe Kap. 6.1). Daher können in Abhängigkeit von Faktoren wie der Versuchsflächengröße, der naturalen Ausstattung und den klimatischen Bedingungen zu Zeiten der Untersuchung hohe Einträge möglich sein. In Untersuchungen mit unterschiedlichen Zielsetzungen konnten ebenfalls hohe Fremdpolleneinträge von 17-88 % festgestellt werden (DOW und ASHLEY, 1998; STREIFF et al., 1999; BUIVEVELD et al., 2001; VALBUENA-CARABANA et al., 2005; KREMER et al., 2008; CURTU et al., 2009; CRAFT und ASHLEY, 2010; DEGEN et al., 2012; MORAN und CLARK, 2012). Die vorgefundenen Ergebnisse decken sich folglich mit denen anderer Untersuchungen.

In der Abbildung 6.1 sind die empirischen kumulativen Verteilungen der Pollendistanzen in den Testbeständen Cottbus und Grünenplan abgebildet. Im vorherigen Abschnitt wurde bereits auf das extrem hohe Pollenverbreitungspotential der Eichen hingewiesen. Das führt, wie bereits erwähnt, zu hohen Fremdpollenanteilen von außen innerhalb der Testbestände, aber auch bei den identifizierten Vätern zu teils sehr hohen Abständen. So konnten in den Testbeständen zwischen Mutter und Bestäuber maximale Distanzen von 133 m bis 148 m nachgewiesen werden. Im Mittel liegen die Werte jedoch zwischen 26 m und 29 m. Andere Untersuchungen führen zu ähnlich hohen mittleren Bestäubungsdistanzen (STREIFF et al., 1999; CHYBICKI und BURCZYK, 2010). Weitere Untersuchungen kommen mit bis zu 110 m auf deutlich höhere Werte (CRAFT und ASHLEY, 2010; DEGEN et al., 2012; MORAN und CLARK, 2012). In Extremfällen wurden mittlere Distanzen von weit über 1000 m ermittelt (KREMER et al., 2008; GERBER et al., 2014).

Weitere Distanzen hätten bei größeren Testbeständen eventuell auch realisiert werden können. Die ermittelten Maximalwerte dieser Untersuchung sind durch die höchstens 3 ha großen Testbestände begrenzt. Der anfänglich steile Anstieg der Kurven kann durch den erhöhten Bestäubungserfolg der näherliegenden Bäume erklärt werden. Weiter entfernte Bäume zeigen deutlich geringere Bestäubungsanteile. Ähnliche Muster zeigten sich ebenfalls in den Untersuchungen oben genannter Autoren.

In der Tabelle 6.2 sind die Anzahlen der nachgewiesenen Väter getrennt nach Einzelbäumen aufgelistet. Diese schwanken zwischen 2 und 40 Vätern bei einem Mutterbaum. Ähnliche Zahlen wurden auch in anderen Untersuchungen erreicht. An Sämlingen einer kleinen Stiel-Eichenpopulation konnten 27 unterschiedliche Pollenspender nachgewiesen werden (LEXER et al., 2000). An Untersuchungen, die sich auf Einzelbäume beziehen, konnten in den Nachkommen eines Baumes bis zu 20 unterschiedliche Väter ermittelt werden (DOW und ASHLEY, 1998; BUI TEVELD et al., 2001; CRAFT und ASHLEY, 2010). Die Anzahl der nachgewiesenen Väter ist dabei stark abhängig von der Anzahl der untersuchten Eicheln. Generell zeigt sich, dass bei steigendem Stichprobenumfang (Eicheln) auch die Anzahlen an unterschiedlichen Vätern steigen. In einer breit angelegten Untersuchung an mehreren Beständen in Europa konnte dieser Zusammenhang ebenfalls festgestellt werden (KREMER et al., 2008). Vielfach zeigen die ermittelten Väter nur einen Einfacherfolg bei der Bestäubung. Deutlich weniger Väter zeigen einen mehrfachen Bestäubungserfolg (siehe Tab. 6.2). Diesen Zusammenhang konnten KREMER et al. (2008) in ihren Untersuchungen ebenfalls feststellen.

Die in der Untersuchung verwendeten Eicheln wurden zwischen zwei benachbarten Bäumen gesammelt. Bei vielen Erntebäumen liegt ein hoher Anteil an echten Halbgeschwistern vor. Der Anteil an Vollgeschwistern fällt im Verhältnis recht gering aus. Zu erwarten wäre ein deutlich höherer Vollgeschwisteranteil. Die Ergebnisse deuten daher auf eine ausgeprägte Vätervielfalt hin.

Die Ursachen, die für die in dieser Untersuchung vorgefundenen Bestäubungsmuster verantwortlich sind, sind vielfältig. Die stark schwankenden Väterzahlen können auf unterschiedliche Blühzeitpunkte der einzelnen Individuen im benachbarten Umkreis zurückgeführt werden. Je mehr Individuen im direkten Umkreis gleichzeitig blühen, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass im Saatgut höhere Väteranzahlen nachgewiesen werden können. Auch können lokal begrenzte Windunterschiede zu unterschiedlichen kleinräumigen Bestäubungsmustern führen. Die recht geringen Zahlen beim mehrfachen Bestäubungserfolg können größtenteils auf den relativ geringen Stichprobenumfang eines Baumes zurückgeführt werden. Bei deutlich höheren Erntemengen (Eicheln) je Einzelbaum könnten vermutlich wesentlich höhere Mehrfachbestäubungsraten realisiert werden.

#### **6.4.2 Zusammensetzung der Pollenwolke in den Testbeständen**

In Tabelle 6.3 sind die Bestäubungserfolge in Abhängigkeit der Baumanzahlen und der Bestandesgrundfläche in Quadratmeter einer Qualitätsstufe für die Testbestände Cottbus und Grünenplan aufgelistet. Die berechneten Quotienten zeigen, dass in beiden Testbeständen Pollen der ersten

Qualitätsstufe gegenüber den anderen Qualitätsstufen deutlich überrepräsentiert ist. Bei diesen Bäumen handelt es sich um vitale Exemplare mit einer großen Krone, die dadurch in der Lage sind, große Pollenmengen frei zu setzen. Ähnlich verhält es sich mit den unterdurchschnittlichen Beiträgen der fünften Qualitätstufe. Die stark geschädigten Bäume mit kleinen oder ausgedünnten Kronen können nur wenig Pollen produzieren und am Reproduktionsgeschehen teilnehmen. Das beschriebene Muster ist bei beiden Quotienten sichtbar.

Die verbleibenden Qualitätsstufen zwei bis vier zeigen in beiden Beständen recht ähnliche Bestäubungserfolge, liegen aber deutlich näher zur fünften Stufe. An das Niveau der ersten Qualitätsstufe reichen sie nicht. Über die Ursache, warum die Stufen zwei bis vier gegenüber der ersten Qualitätsstufe soweit abgeschlagen sind, kann nur spekuliert werden. Wahrscheinlich ist, dass im Jahr der Ernte keine Vollmast, sondern nur eine Teilmast herrschte. Dadurch ist die Zahl der Bäume der Qualitätsstufen zwei bis vier die wirklich am Reproduktionsgeschehen teilnehmen überschätzt, was zu niedrigeren Quotienten führt. Zudem zeigen die empirischen kumulativen Verteilungsfunktionen (siehe Abbildung 6.1), dass ein Hauptteil des nachgewiesenen Pollens aus der direkten Umgebung kommt. Dadurch dürfte die lokale Zusammensetzung der Qualitätsstufen in der näheren Umgebung einen Einfluss auf die Bestäubungssituation haben. Schließlich ist es auch möglich, dass die Bäume zu leicht unterschiedlichen Zeiträumen blühten, was ebenfalls dazu gesorgt haben könnte, dass Qualitätsstufen über- oder unterrepräsentiert sind.

Als Arbeitshypothese wurde angenommen, dass die schlechten Bäume (Qualitätsstufe vier und fünf) einen nennenswerten Anteil an der Pollenwolke haben und der Polleneintrag von außen zu vernachlässigen ist (siehe Kapitel 1.12). In beiden Testbeständen zeigt sich jedoch, dass die Qualitätsstufen vier und fünf nicht mit übermäßig hohen Anteilen am Reproduktionsprozess beteiligt sind. Der erste Teil der Arbeitshypothese wird daher abgelehnt. Ebenfalls zeigte sich, dass ein erheblicher Pollenanteil von außerhalb festgestellt werden konnte. Aufgrund der hohen vorgefundenen Fremdpollenanteile muss damit auch der zweite Teil der Arbeitshypothese für Bestände in der Größe der Testbestände mit umgebender Eiche als potentielle Quelle für externen Pollen abgelehnt werden. In sehr großen Komplexen könnte dies wiederum anders aussehen, jedoch müssten die waldbaulichen Eingriffe dann großflächig erfolgen. Für die Praxis der Saatguterntebestände mit Flächengrößen, die in der Regel denen der hier untersuchten Testbeständen entsprechen und in Eichengebieten muss allerdings mit hohem Fremdpollenanteil gerechnet werden.

Abschließend muss festgehalten werden, dass die Art der Probenahme für diese Untersuchung suboptimal war. Die Probenahme an den Transekten und nur zu einem Zeitpunkt ist weder repräsentativ für den Bestand noch für die Saatgutproduktion des Bestandes. Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Leider standen für die Analyse der Bestäubungssituation keine weiteren Ressourcen zur Verfügung. Daher musste auf Eicheln des Fremdsamenversuches zurück gegriffen werden.

# 7 Evaluierung der Beerntungs- und Behandlungsvarianten

## 7.1 Einleitung

Aktuell wird ein Großteil des benötigten Saatgutes durch flächige Beerntung von zugelassenen Saatguterntebeständen gewonnen (siehe Kap. 1.9.1). Für den Aufbau von leistungsfähigeren Beständen wird jedoch höherwertigeres Material benötigt. Samenplantagen produzieren Saatgut mit der gewünschten Qualität, tragen jedoch aufgrund ihrer geringen Fläche nur wenig zur Saatgutversorgung bei (siehe Kap. 1.9.2). Erst mittelfristig (10 bis 15 Jahre) kann die Versorgungssituation durch die Anlage von neuen Plantagen verbessert werden. Ein Saatguternte- und Behandlungskonzept für Bestände der Stiel- und Trauben-Eiche soll daher Möglichkeiten vorstellen, wie diese Versorgungslücke kurzfristig geschlossen werden kann.

Leistungs- und Formparameter werden z.T. im erheblichen Maße von genetischen Faktoren beeinflusst (siehe Kap. 1.7). Die Wahl der Erntebäume hat daher einen hohen Einfluss auf die genetische Qualität des Saatgutes. Folglich basiert das Saatguternte- und Behandlungskonzept grundlegend auf der Methode der Beerntung von phänotypisch überlegenen Einzelbäumen. Zusätzlich wurden verschiedene Behandlungsvarianten für die Saatgutbestände erarbeitet, die die genetische Qualität des Saatgutes weiter steigern sollen (siehe Kap. 1.11).

Um die Effizienz der einzelnen Varianten auch quantitativ besser beurteilen zu können, sind weitere Informationen erforderlich. Dazu zählen die Auswirkungen der selektiven Beerntung und Behandlungsmaßnahmen auf die Genetik des Altbestandes und damit letztendlich auf die potentielle Genetik des Saatgutes (siehe Kap. 4). Ebenso ist der Anteil von Fremdsamen bei Einzelbaumbeerntung von Bedeutung. Soll dieser verringert werden, müssen die Erntebäume zu einem gewissen Grad freigestellt werden. Der Umfang der Freistellungen und der weiteren waldbaulichen Behandlungen muss für einen pfleglichen Umgang mit den Saatguterntebeständen möglichst exakt abgeschätzt werden (siehe Kap. 5). In einigen Varianten soll ebenfalls die Qualität der Pollenzusammensetzung verändert werden. Das setzt Kenntnisse über die Bestäubungsverhältnisse in den Beständen voraus (siehe Kap. 6). Die vorangegangenen Kapitel dienen zur Beantwortung der eingangs gestellten Arbeitshypothesen (siehe Kap. 1.11) und die dazu erzielten Ergebnisse werden abschließend für die Evaluierung der einzelnen Saatguternte- und Behandlungsvarianten benötigt.

## 7.2 Ergebnis der Evaluierung

### 7.2.1 Grundlegende Erkenntnisse

Eine selektive Beerntung innerhalb der Saatguterntebestände ist nur sinnvoll, wenn die phänotypische Variation in den Beständen groß genug ist. Im zweiten Kapitel wurde daher ausführlich die phänotypische Ausstattung der Testbestände vorgestellt. Obwohl die phänotypischen Merkmalsausprägungen in den Saatguterntebestände Verteilungen zu den besseren Merkmalsstufen aufweisen und auch zu den besseren Phänotypen bewirtschaftet werden, zeigen sich immer noch hohe Anteile schlecht veranlagter Bäume. Danach sind nur 2 bis 7 % besonders für die Saatguternte geeignet (Qualitätsstufe 1). Maximal eignen sich bis zu 29 % der Bäume für die Saatgutgewinnung (Beerntung der Qualitätsstufen 1 und 2). Im Gegenzug sind bis zu 38,6 % der Bäume für die Saatgutgewinnung gänzlich ungeeignet (vgl. Kap. 2.4.1). Die Ergebnisse belegen daher die hohe phänotypische Variation der Eiche und verdeutlichen das Potential einer selektiven Beerntung und des Umbaus von Saatguterntebeständen, wenn das Saatgut gegenüber dem Altbestand eine deutliche leistungssteigernde Wirkung haben soll.

Des Weiteren wurde durch ein Modell simuliert, wie effektiv die einzelnen Beerntungs- und Behandlungsvarianten sind. Es zeigt sich, dass mit Hilfe einer Einzelbaumbeerntung die Leistungsfähigkeit der Nachkommen gegenüber einer Bestandesbeerntung gesteigert werden kann. Bei Umsetzung der Variante 2.2 beträgt die Leistungssteigerung abhängig vom Bestand 4,5 bis 5,3 %. Die erarbeiteten Behandlungsvarianten (siehe Kap. 1.11) bewirken ebenfalls eine zusätzliche Steigerung der Leistungsfähigkeit. Dadurch können mit Einzelbaumbeerntung und Bestandesbehandlung insgesamt Leistungssteigerungen bis zu dem aus Samenplantagen zu erwartendem Niveau, das nach KLEINSCHMIT et al. (1975) rund 10 % beträgt, realisiert werden (siehe Kap. 2.3.6).

### 7.2.2 Variante 0

Die Variante 0 wird als Referenz mit aufgeführt und stellt die aktuelle Vorgehensweise dar, Forstvermehrungsgut zu gewinnen. Dabei wird der Bestand flächig oder auch nur teilflächig beerntet. Eine phänotypische Auswahl der Erntebäume findet nicht statt. Dadurch ergeben sich keine Änderungen an der Bestandesstruktur und an der Genetik. Die Beerntung verursacht ebenfalls keinen Mehraufwand.

Eine Modellannahme ist, dass sich Qualitätsmerkmale panmiktisch vererben und damit in erster Generation die Allelhäufigkeiten der Bestandesabsaat der des Altbestandes entsprechen. Die berechneten Werte für die Variante 0 zwischen -0,88 % und 0,54 % (siehe Tab. 2.19) sind daher Weiser für die durchschnittliche Qualität der Erntebestände. Die Werte zeigen, dass die Qualitätswerte der Bäume in den Saatguterntebeständen durchschnittlich nahe 0 liegen, was der Qualitätsstufe 3 entspricht.

### 7.2.3 Evaluierung der Variante 1

Variante 1 basiert auf einer Einzelbaumbeerntung der phänotypisch besseren Bäume des Bestandes. Innerhalb der Variante wurden zwei Untervarianten erarbeitet. In der Untervariante 1.1 werden die Bäume der Qualitätsstufe eins und zwei beerntet, in Variante 1.2 nur die Bäume der ersten Qualitätsstufe. Als Erntefläche wird die gesamte Fläche unterhalb der Krone angenommen. Fremdsaatgut, welches von benachbarten Bäumen stammt, wird bei der Ernte toleriert (siehe Kap. 1.11).

Mit der Variante 1.1 kann im Mittel eine Leistungssteigerung von 2,76 % und mit Variante 1.2 eine Leistungssteigerung von 4,84 % erzielt werden (siehe Tab. 7.1). Werte für die einzelnen Bestände sind in Tabelle 2.19 zu finden. Jedoch zeigten Nachkommenschaftsanalysen z.T. erhebliche Beimischungen durch Saatgut benachbarter Bäume im Kronenbereich der Erntebäume (siehe Tab. 5.2 und 5.3). Dadurch müssen die angeführten Leistungssteigerungen wahrscheinlich deutlich nach unten korrigiert werden.

In dieser Variante wird lediglich die Erntemethode geändert. Eine waldbauliche Behandlung der Bestände findet nicht statt. Die genetische Vielfalt und Diversität der beiden Untervarianten werden gegenüber der Referenzvariante nicht reduziert (siehe Tab. 7.1), weil das volle genetische Potential des Altbestandes für die Reproduktion zur Verfügung steht.

Beide Untervarianten wären für Bestände geeignet, auf denen kein waldbaulicher Zugriff erfolgen kann. Zu nennen wären Wälder, deren Besitzer keine Umbaumaßnahmen dulden, oder Bestände, die mit einem Schutzstatus belegt sind, der zwar Saatguternten aber keine weitergehenden Eingriffe erlaubt.

### 7.2.4 Evaluierung der Variante 2

In der 2. Variante werden ebenfalls die phänotypisch besseren Bäume eines Bestandes beerntet. Innerhalb der Variante wurden zwei Untervarianten erarbeitet. In der Untervariante 2.1 werden die Bäume der Qualitätsstufe eins und zwei beerntet, in Variante 2.2 nur die Bäume der ersten Qualitätsstufe. Als Erntefläche wird die gesamte Fläche unterhalb der Krone angenommen. Fremdsaatgut, welches von benachbarten Bäumen stammt, wird bei der Ernte nicht toleriert (siehe Kap. 1.11). Daher wurden die jeweiligen Erntebäume um den ermittelten Mindestabstand freigestellt (siehe Kap. 5.3.2). Für die weiteren Berechnungen wurden diese Bäume nicht weiter berücksichtigt.

Mit der Variante 2.1 kann im Mittel eine Leistungssteigerung von 3,13 % und mit Variante 2.2 eine Leistungssteigerung von 4,82 % erzielt werden (siehe Tab. 7.1). Werte für die einzelnen Bestände sind in Tabelle 2.19 zu finden. Die unterschiedlichen Freistellungsintensitäten der Untervarianten führen zu unterschiedlich starken Änderungen der genetischen Vielfalt. Gegenüber der Referenzvariante sinkt die genetische Vielfalt im Mittel bei Variante 2.1 um 16 Allele und bei Variante 2.2 um 4 Allele. Bei beiden Untervarianten bleibt die genetische Diversität nahezu unverändert (siehe Tab. 7.1). Die Änderungen auf Bestandesebene sind in den Abbildungen 4.1 und 4.2 dargestellt.

In der Variante wird nicht nur die Erntemethode variiert, sondern auch der Bestand durch die Freistellungen waldbaulich behandelt. Für die Variante 2.1 müssen im Mittel 32,8 % und für Variante 2.2 im Mittel 8,5 % der Grundfläche entfernt werden (siehe Tab. 7.1). Die Änderungen auf Bestandesebene sind in den Abbildungen 5.3 und 5.4 abgebildet. Generell sind beide Varianten ohne Einschränkungen für alle Bestandesgrößen geeignet.

### 7.2.5 Evaluierung der Variante 3

Variante 3 basiert auf einer Einzelbaumberntung der phänotypisch besseren Bäume des Bestandes. Innerhalb der Variante wurden ebenfalls zwei Untervarianten erarbeitet. In der Untervariante 3.1 werden die Bäume der Qualitätsstufe eins und zwei beerntet, in Variante 3.2 nur die Bäume der ersten Qualitätsstufe. Als Erntefläche wird die gesamte Fläche unterhalb der Krone angenommen. Fremdsaatgut, welches von benachbarten Bäumen stammt, wird bei der Ernte nicht toleriert (siehe Kap. 1.11). Daher wurden die jeweiligen Erntebäume um den ermittelten Mindestabstand freigestellt (siehe Kap. 5.3.2). Zusätzlich soll die Zusammensetzung der Pollenwolke qualitativ verbessert werden. Um dies zu erreichen, werden alle qualitativ minderwertigen Bäume (Qualitätsstufe 4 und 5) entfernt. Für die weiteren Berechnungen wurden diese Bäume nicht weiter berücksichtigt.

Mit der Variante 3.1 kann im Mittel eine Leistungssteigerung von 4,19 % und mit Variante 3.2 eine Leistungssteigerung von 5,82 % erzielt werden (siehe Tab. 7.1). Werte für die einzelnen Bestände sind in Tabelle 2.19 zu finden. Die unterschiedlichen Freistellungsintensitäten der Untervarianten und die Entnahme von Pollenspender schlechterer Qualitätstufen (Stufe 4 und 5) führen zu unterschiedlich starken Änderungen der genetischen Vielfalt. Gegenüber der Referenzvariante sinkt die genetische Vielfalt im Mittel bei Variante 3.1 um 32 Allele und bei Variante 3.2 um 18 Allele. Bei beiden Untervarianten bleibt die genetische Diversität nahezu unverändert (siehe Tab. 7.1). Die Änderungen auf Bestandesebene sind in den Abbildungen 4.1 und 4.2 dargestellt.

Neben der Freistellung werden zusätzlich die schlechtesten Individuen entnommen. Daher müssen für die Variante 3.1 im Mittel 49,1 % und für Variante 3.2 im Mittel 33,8 % der Grundfläche entfernt werden (siehe Tab. 7.1). Die Änderungen auf Bestandesebene sind in den Abbildungen 5.3 und 5.4 abgebildet.

Die Untersuchungen belegen einen hohen Polleneintrag von außen (siehe Tab. 6.1). Somit ist es möglich, dass der Pollenanteil von schlechten Individuen des Bestandes durch Pollen von schlechten Individuen von außerhalb ersetzt wird. Zusätzlich zeigen die Analysen, dass der Pollenanteil schlechter Vererber nicht übermäßig am Reproduktionsprozess beteiligt ist. Dadurch erscheinen die Varianten besonders bei kleinen Saatguterntebeständen als wenig wirksam. Zielführend sind die Varianten daher bei großen Saatguteinheiten, die flächig waldbaulich behandelt, aber nur in einer Kernzone beerntet werden.

## 7.2.6 Evaluierung der Variante 4

Variante 4 basiert auf einer Einzelbaumbeerntung der phänotypisch besseren Bäume des Bestandes. Als Erntefläche wird die gesamte Fläche unterhalb der Krone bezeichnet. Fremdsaatzgut, welches von benachbarten Bäumen stammt, wird bei der Ernte nicht toleriert. Daher wurden die jeweiligen Erntebäume um den ermittelten Mindestabstand freigestellt (siehe Kap. 5.3.2). Zusätzlich soll die Zusammensetzung der Pollenwolke qualitativ verbessert werden. Um dies zu erreichen, werden die Bäume der Qualitätsstufen drei bis fünf und für die letzte Variante die Qualitätsstufen zwei bis fünf aus dem Bestand entfernt (siehe Kap. 1.11). Insgesamt wurden drei Untervarianten erarbeitet. In Variante 4.1 werden alle verbleibenden Bäume (Qualitätsklasse 1 und 2) beerntet. Bei Variante 4.2 werden von den beiden verbleibenden Qualitätsstufen nur die Qualitätsstufe 1 beerntet. In Variante 4.3 verbleiben nur die Bäume der Qualitätsstufe 1 im Bestand, die ebenfalls beerntet werden. Für die weiteren Berechnungen innerhalb der Untervarianten wurden die jeweiligen Bäume nicht weiter berücksichtigt.

Mit der Variante 4.1 kann im Mittel eine Leistungssteigerung von 5,84 % und mit Variante 4.2 eine Leistungssteigerung von 8,0 % erzielt werden. Mit der letzten Variante können sogar definitionsgemäß 10 % realisiert werden (siehe Tab. 7.1). Werte für die einzelnen Bestände sind in Tabelle 2.19 zu finden. Die unterschiedlichen Freistellungsintensitäten der Untervarianten und die Entnahme von Pollenspendern schlechterer Qualitätsstufen (bis hin zu Qualitätsstufe 2) führen zu unterschiedlich starken Änderungen der genetischen Vielfalt. Gegenüber der Referenzvariante sinkt die genetische Vielfalt im Mittel bei Variante 4.1 um 70 Allele und bei Variante 4.2 um 77 Allele. Die letzte Untervariante sorgt dafür, dass das genetische Potential des Altbestandes um 138 Allele reduziert wird. Die genetische Diversität verringert sich bei den ersten beiden Untervarianten um 0,51 und 0,50 und bei der letzten Untervariante um 0,57 (siehe Tab. 7.1). Die Änderungen auf Bestandesebene sind in den Abbildungen 4.1 und 4.2 dargestellt.

Neben der Freistellung werden zusätzlich die jeweils unerwünschten Qualitätsstufen entnommen. Daher müssen für die Variante 4.1 im Mittel 76,2 % und für Variante 4.2 im Mittel 79,3 % der Grundfläche entfernt werden. Für die letzte Variante müssen sogar 92,8 % der Bestandesgrundfläche entfernt werden (siehe Tab. 7.1). Die Änderungen auf Bestandesebene sind in den Abbildungen 5.3 und 5.4 abgebildet.

Die Untersuchungen belegen einen hohen Polleneintrag von außen (siehe Tab. 6.1). Es ist daher möglich, dass der Pollenanteil von schlechten Individuen des Bestandes durch Pollen von schlechten Individuen von außerhalb ersetzt wird. Die Varianten scheinen in kleinen Beständen besonders unwirksam zu sein. Zielführend wären die Varianten daher nur bei großen Beständen, die flächig waldbaulich behandelt, aber nur in einer Kernzone beerntet werden.

## 7.2.7 Abschließende Betrachtung

Die Evaluation zeigt, dass sich die angeführten Varianten deutlich hinsichtlich ihres Aufwand-Nutzen-Verhältnis unterscheiden. Besonders die letzteren Varianten gehen mit starken waldbaulichen Eingriffen einher. Sie scheinen daher für den Privatwaldsektor wenig interessant zu sein,

**Tabelle 7.1:** Gegenüberstellung der Varianten der Beerntungs- und Behandlungsvarianten gemittelt über alle Testbestände (Pluszeichen = Maßnahme findet in der Variante Anwendung, Q2 = Qualitätsstufe 2, Q3 = Qualitätsstufe 3, Q4 = Qualitätsstufe 4, Q5 = Qualitätsstufe 5)

Variante	Einzelbaum Beerntung	Erntebäume Qualitätsstufen	Freistellung der Samenbäume	Entnahme Q4 - Q5	Entnahme Q3 - Q5	Entnahme Q2 - Q5	Leistungssteigerung [%]	genetische Vielfalt	genetische Diversität	entnommene Grundfläche [%]
0		alle					-0,26	188	5,41	0,0
1.1	+	1+2					<2,76	188	5,41	0,0
1.2	+	1					<4,84	188	5,41	0,0
2.1	+	1+2	+				3,13	172	5,35	32,8
2.2	+	1	+				4,82	184	5,39	8,5
3.1	+	1+2	+	+			4,19	156	5,36	49,1
3.2	+	1	+	+			5,82	170	5,42	33,8
4.1	+	1+2	+	+	+		5,84	118	4,90	76,2
4.2	+	1	+	+	+		8,00	111	4,91	79,3
4.3	+	1	+	+	+	+	10,00	50	3,84	92,8

weil nicht zu erwarten ist, dass für Saatgut aus derartig behandelten und beernteten Beständen so viel höhere Einnahmen erzielt werden können, dass der Wertverlust beim Holztertrag ausgeglichen wird. Lediglich für den öffentlichen Waldbesitz, der auch gesellschaftliche Aspekte wie die Bereitstellung von hochwertigem Vermehrungsgut berücksichtigt, wären sie eine Option. Dafür müsste allerdings der Saatgutqualität gegenüber heute ein deutlich höherer Stellenwert eingeräumt werden. Insgesamt stehen mit den ausgearbeiteten Varianten Optionen bereit, mit deren Hilfe höherwertiges Forstvermehrungsgut in ausreichenden Mengen bereit gestellt werden kann. Dem einzelnen Waldbesitzer können abhängig von seiner Bereitschaft, höherwertiges Saatgut zu produzieren, angepasste Varianten angeboten werden.

### 7.3 Rechtliche Rahmenbedingungen für selektive Einzelbaum-Ernten

Aktuell regelt die Forstvermehrungsgut-Zulassungsverordnung (FoVZV) die Rahmenbedingungen für die Zulassung von Saatgut der unterschiedlichen Kategorien. Danach müssen neben weiteren Bedingungen bei der Kategorie „Ausgewählt“ mindestens 20 Bäume beerntet werden (siehe Kap. 1.8). Die Klassifizierung der Testbestände ergab recht unterschiedliche Zahlen an potentiellen Erntebäumen. Für den Fall, dass die Qualitätsstufen eins und zwei beerntet werden, liegen die Zahlen zwischen 21 und 93 Bäumen (siehe Tab. 2.6, 2.9, 2.12, 2.15 und 2.18). Damit werden die Forderungen der FoVZV selbst in den kleineren Saatguterntebeständen erfüllt und können daher

sofort und uneingeschränkt angewendet werden.

Anders verhält es sich, wenn lediglich die erste Qualitätsstufe beerntet werden soll. Mit 3 bis 22 Bäumen liegen die Baumzahlen z.T. deutlich unter der von der FoVZV geforderten Untergrenze, oder nur knapp darüber (siehe Tab. 2.6, 2.9, 2.12, 2.15 und 2.18). Damit wäre eine Einzelbaumberntung nur in großen Saatguterntebeständen zulässig, in der die Untergrenze nicht unterschritten wird. Mittlere und besonders kleine Saatgutbestände würden für die Erzeugung von höherwertigem Saatgut nicht zur Verfügung stehen. Um auch (selektive) Ernten in kleinen Beständen auf Einzelbaumebene zu ermöglichen, müsste die Verordnung nur vergleichsweise geringfügig geändert werden. Die Ernte von weniger als 20 Erntebäumen sollte zulässig sein, aber mit der Auflage versehen werden. Saatgut aus einem Erntebestand muss dann für den Vertrieb mit Saatgut weiterer Saatguterntebestände aus dem gleichen Herkunftsgebiet zusammengefasst werden, bis die Untergrenze von mindestens 20 Bäumen erreicht wird. So ist es möglich, das ganze Größenspektrum an Saatguternteeinheiten für die Einzelbaumberntung nutzbar zu machen. Die Mischung von Saatgut des gleichen Reifejahres aus unterschiedlichen Beständen der Kategorie „Ausgewählt“ ist innerhalb eines Herkunftsgebietes nach dem bestehenden FoVG bereits möglich, so dass die Auflage zur Mischung keine grundsätzliche Neuerung darstellen würde.



# 8 Untersuchungen an Einzelbaumabsaaten

## 8.1 Einleitung

Das Konzept, welches Gegenstand der Arbeit ist, sieht eine selektive Beerntung von phänotypisch guten Einzelbäumen vor. Dadurch kann die genetische Qualität des Saatgutes über den mütterlichen Beitrag gesteigert werden. Zusätzlich können waldbauliche Eingriffe die genetische Qualität des väterlichen Teils weiter steigern. Im Zuge der Konzeptbearbeitung wurden vier Hauptvarianten erarbeitet, die sich in der waldbaulichen Eingriffsstärke unterschieden, aber auch die genetische Qualität unterschiedlich stark steigern (siehe Kap. 1.11). Zusätzlich wurden Untervarianten erarbeitet, die sich hinsichtlich ihrer Erntekollektive unterscheiden.

Alle Maßnahmen innerhalb des Konzeptes haben das Ziel, die genetische Qualität des Saatgutes zu erhöhen. Sämlinge von Saatgut aus Einzelbaumbeerntung sollten schlussendlich eine Überlegenheit an Qualität und Massenleistung gegenüber Bestandesabsaaten erbringen. Parallel zum Saatguterntekonzept wurde daher eine Nachkommenschaftsprüfung mit Einzelbaumabsaaten angelegt, um die Grundlage des Konzeptes zu überprüfen.

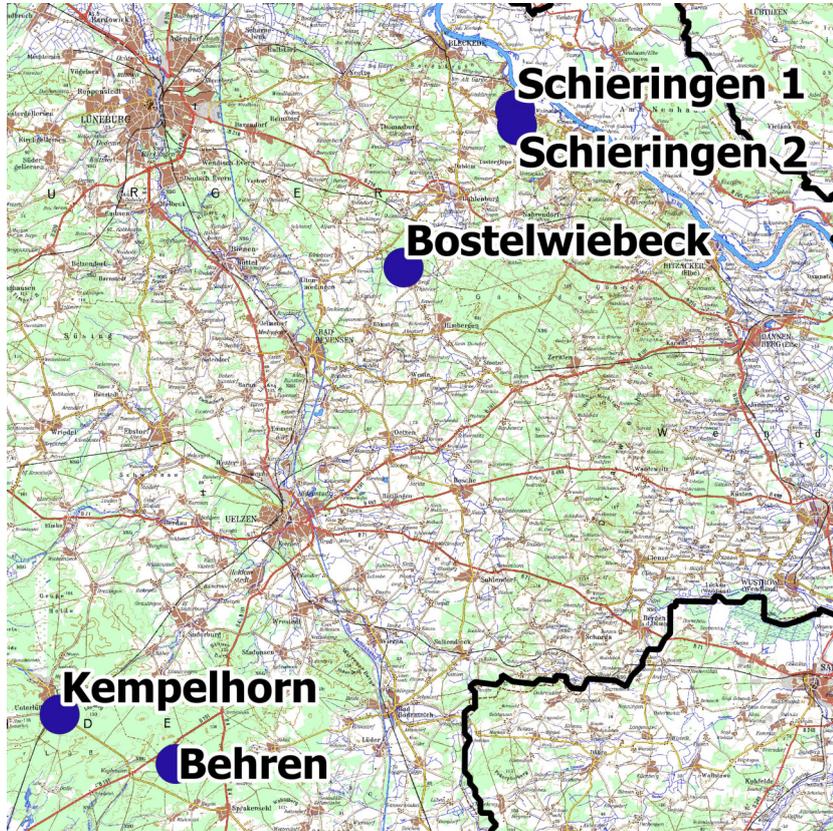
Bei den verschiedenen Absaaten wurden sowohl Merkmale am Saatgut als auch das Wuchsverhalten der Sämlinge im ersten Jahr betrachtet. Keimtests am Saatgut wurden nicht durchgeführt, stattdessen wurde das tatsächliche Auflaufen der Saat an definierten Stichproben untersucht. Hauptsächlich wird im folgenden Kapitel der Fragestellung nachgegangen, ob Nachkommen von phänotypisch guten Einzelbäumen in Wuchs- und Formverhalten denen von phänotypisch schlechten Bäumen überlegen sind.

## 8.2 Material und Methoden

### 8.2.1 Auswahl der Bestände

Die Nachkommenschaftsprüfung besteht aus Absaaten von Einzelbäumen, die ausnahmslos in zugelassenen Saatguterntebeständen identifiziert wurden. Der Fokus lag hierbei auf Trauben-Eichen. Für die Bestandesauswahl wurde die Forstsaatgutberatungsstelle (FSB) Oerrel hinzugezogen, weil diese über Angaben verfügte, in welchen Saatguterntebeständen mindestens eine Halbmast zu erwarten war. Nach einer Evaluation fiel die Wahl auf Bestände, die in den Niedersächsischen Forstämtern Unterlüss, Oerrel und Gohrde zu finden waren und dem Herkunftsgebiet Heide und Altmark angehören. Eine Übersicht über die Lage der Erntebestände liefert die Abbildung 8.1. Zusätzliche Informationen über die Saatguternteeinheiten und Standorteigenschaften sind in den Tabellen 8.1 und 8.2 zu finden. In den Beständen wurden insgesamt 17 Bäume ausgewählt, davon

4 in Kempelhorn (Nr. 31, 32, 33 und 34), 7 in Behren (Nr. 35, 36, 37, 38, 39, 40 und 41), 2 in Bostelwiebeck (Nr. 42 und 43), 2 in Schieringen 1 (Nr. 44 und 45) und 2 in Schieringen 2 (Nr. 46 und 47).



**Abbildung 8.1:** Übersicht über die Lage der ausgewählten Saatguterntebestände; Kartenquelle: Openstreetmap

**Tabelle 8.1:** Übersicht über die beernteten Saatguteinheiten (Reg-Nr. = Registernummer, Beg. = Jahr der Begründung, red. Fl. = reduzierte Fläche in ha)

Forstamt	Bestand	Reg-Nr.	Beg.	red. Fl.
Unterlüss	Kempelhorn	03 3 81803 902 4	1836	3,5
Unterlüss	Behren	03 4 81803 663 2	1810	31,9
Oerrel	Bostelwiebeck	03 3 81803 201 2	1848	1,8
Göhrde	Schieringen 1	03 3 81803 022 2	1849	2,5
Göhrde	Schieringen 2	03 3 81803 026 2	1885	1,8

**Tabelle 8.2:** Ausgewählte Standorteigenschaften und Leistungsklasse (LKL) der beernteten Saatguteinheiten, entnommen aus den niedersächsischen Bestandeslagerbüchern

Bestand	Höhe [m]	Wasserhaushalt	Nährstoffhaushalt	LKL
Kempelhorn	101-150	mäßig frisch	mäßig schwach	5
Behren	101-150	mäßig frisch bis vorratsfrisch	mäßig schwach bis mäßig gut	4-5
Bostelwiebeck	51-100	staufrisch bis staufeucht	gut	7
Schieringen 1	0-50	frisch bis staufrisch	mäßig gut	7
Schieringen 2	101-150	staufrisch bis staufeucht	mäßig gut bis gut	7

### 8.2.2 Ausgewählte Erntebäume

Als potentielle Erntebäume wurden sowohl phänotypisch hervorragende als auch unterdurchschnittliche Bäume ausgewählt. Die Auswahl der jeweils besten und schlechtesten Bäume verspricht in einem direkten Vergleich größtmögliche Unterschiede. Als Grundlage für die Auswahl diente das Klassifizierungsschema, welches bereits für die Charakterisierung der Testbestände verwendet wurde (siehe Kap. 2.2.3). Das Form und Leistungsverhalten der Erntebäume ist in Tabelle 8.3 aufgelistet. Die angegebenen Mutterbaum Nummern sind gleichzeitig die später verwendeten Prüfglied Nummern (PG). Abbildungen 8.2a und 8.2b zeigen beispielhaft Bäume mit einem guten und schlechten Phänotyp, die für den Absaatenversuch beerntet wurden. Das Prüfglied 41 erhält einen Sonderstatus, weil es bei sehr guter Wuchsleistung einen schlechten Phänotyp zeigt. Es wird später daher keiner phänotypischen Gruppe eindeutig zugeordnet.

### 8.2.3 Ernte, Lagerung und Weiterverarbeitung des Saatgutes

Die Saatguternte erfolgte im Zeitraum 13.10.2015 bis 20.10.2015. In konzentrischen Kreisen wurde möglichst nahe am Stammfuß eine Menge von ca. 5 kg Eicheln gesammelt. Dadurch sollte der Fremdsamenanteil möglichst minimiert werden. Freistehende Kronenpartien wurden in die Saatguternte ebenfalls miteinbezogen, wenn im Kernbereich des Erntebaums zu wenig Eicheln vorhanden waren. Bereits beim Sammeln wurden faule, offensichtlich beschädigte und wurmstichige Eicheln verworfen. Am darauf folgenden Tag wurde das Saatgut bei der FSB Oerrel thermotherapiert und in den dort vorhandenen Kühlanlagen bei wenigen Grad Celsius über Null gelagert. Tabelle A.15 im Anhang liefert einen Überblick über Sammeldatum, Sammelmenge und das Datum der Thermotherapie für die einzelnen Saatgutpartien.

Im Frühjahr 2016 wurde das Saatgut zur Anlage der Vergleichsprüfung nach Hann. Münden verbracht. Am 11.03.2016 wurden von den einzelnen Saatgutpartien der Einzelbaumabsaaten Teilmengen entnommen. Ca. 500 g dienten als Rückstellprobe und wurden am 24.03.2016 eingefroren. Von jedem Prüfglied wurden 49 Eicheln der jeweils größten, repräsentativen und kleinsten Eicheln in dreifacher Wiederholung gutachterlich ausgewählt, abgezählt und anschließend



(a)



(b)

**Abbildung 8.2:** Erntebaum mit schlechten (a) und guten (b) phänotypischen Eigenschaften in Saatguterntebeständen in Schieringen

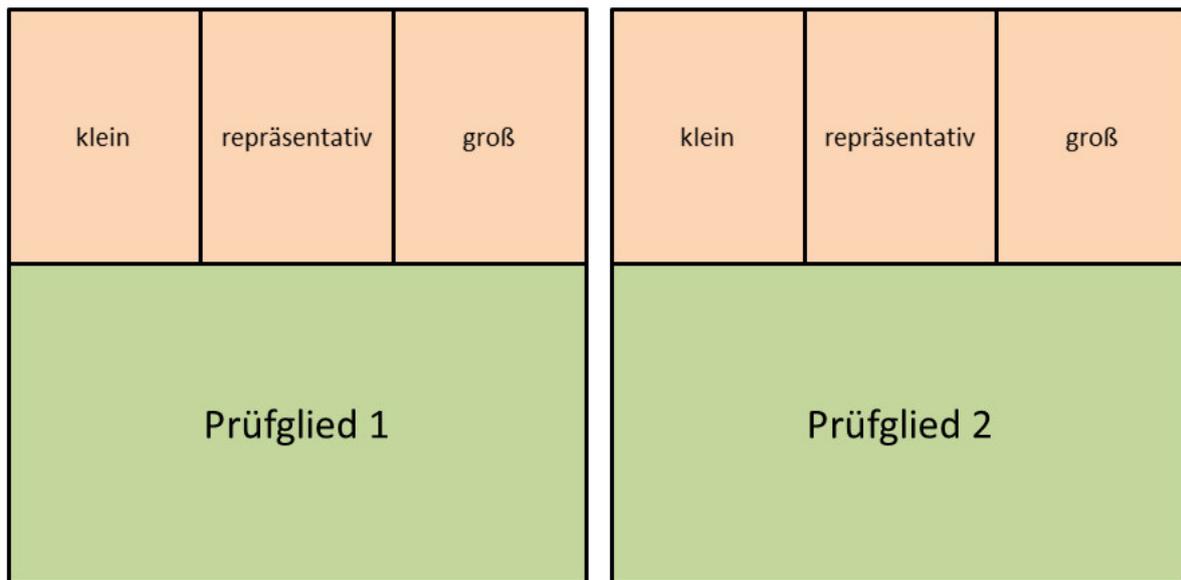
**Tabelle 8.3:** Leistungs- und Formmerkmale der ausgewählten Erntebäume (Phänotyp: + = guter Phänotyp, - = schlechter Phänotyp, Schaffform: ++ = zweischnürig, + = einschnürig, - = unschnürig)

Mutterbaum Nr.	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Phänotyp	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-
BHD (cm)	60,5	69,0	46,5	42,5	71,5	87,5	87,5	53,0	49,0	48,5	70,5	78,0	59,0	95,0	66,5	63,0	45,0
Höhe (m)	33,5	31,2	26,1	28,3	34,3	35,8	31,4	27,5	26,1	31,7	33,6	36,2	31,8	33,7	33,1	34,4	28,8
Kronenansatz (m)	15,7	14,1	11,4	14,6	12,2	14,0	13,5	14,9	12,3	15,3	14,2	19,3	18,5	15,0	14,2	15,2	13,4
Schaffform	++	++	-	+	++	++	+	-	+	-	-	++	-	++	-	++	-
Zwiesel	nein	ja	nein	nein	ja	nein	nein	nein	ja	nein	nein						
Steiläste	nein	ja	nein	ja	ja	ja	ja	ja									
Drehwuchs	nein																
Rosen, Nägel	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein	ja									
Wasserreiser	nein	nein	ja	ja	nein	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein	ja	nein	ja	ja	ja
Klebäste	nein	nein	ja	ja	nein	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein	ja	nein	ja	ja	ja

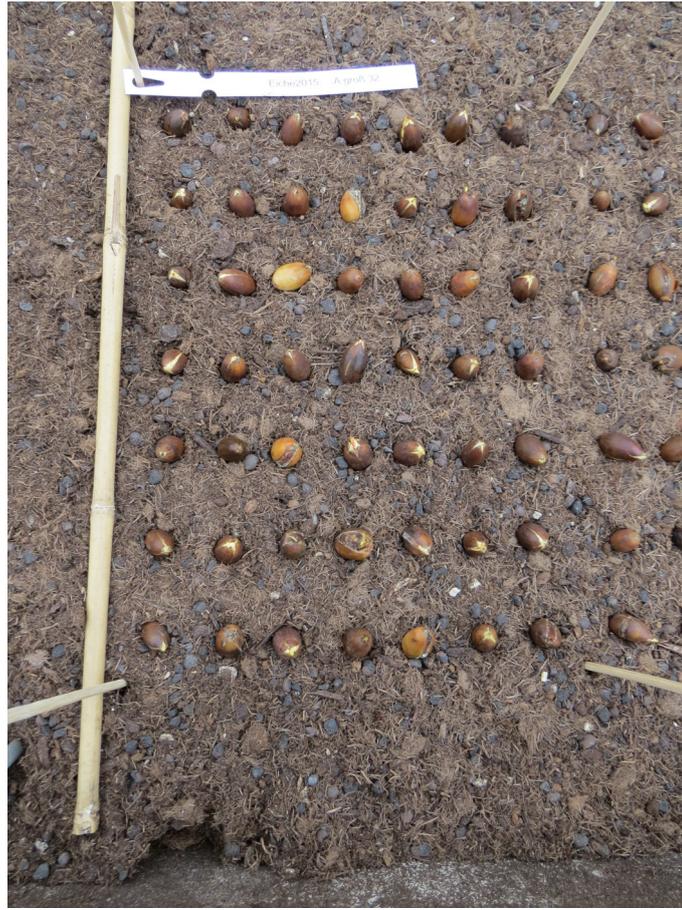
gewogen. Die Saatgutpartien wurden für Teilversuche bei der Aussaat verwendet (siehe Kap. 8.2.4). Aus diesen Gewichtsangaben wurden anschließend für die Teilmengen Tausendkorngewichte ermittelt. Im Oktober des gleichen Jahres wurden die Eicheln der Rückstellproben einzeln vermessen und gewogen. Dafür wurden mit einem Messschieber die Eichelbreite und Eichellänge gemessen und das Gewicht mit einer Digitalwaage festgestellt. Aus den erfassten Parametern wurden weitere Variablen wie das Eichelvolumen und das Länge-Breite-Verhältnis berechnet.

### 8.2.4 Aussaat in das Saatbeet

Die Eicheln aller Prüfglieder wurden im Zeitraum vom 16.-17.03.2016 in die dafür vorbereiteten Saatbeete eingebracht. Diese wurden zur Risikominimierung und besseren Auswertung in drei Wiederholungen aufgeteilt (siehe Anhang Abb. A.12 und A.13). Der Hauptteil des Saatgutes wurde flächig ausgesät. Die vorab abgetrennten Teilpartien der großen, repräsentativen und kleinen Eicheln (jeweils 49 Stück) wurden in einem dafür freigelassenen Bereich des jeweiligen Prüfgebietes systematisch mit Hilfe einer Holzschablone nebeneinander ausgesät (siehe Abb. 8.3 und Abb. 8.4). Die Ecken der einzelnen Aussaatfelder wurden dauerhaft markiert und anschließend übersandet. Bis zum Auflaufen der Eicheln wurden diese mit Netzen gegen Fraßfeinde gesichert und regelmäßig bewässert. Vorbeugend fand zu mehreren Zeitpunkten eine Behandlung gegen Mehltau statt. Unkraut wurde bei Bedarf entfernt.



**Abbildung 8.3:** Aussaatordnung der nach Größen sortierten und abgezählten Eicheln eines Prüfgebietes in jeweils einer Wiederholung



**Abbildung 8.4:** Systematische Aussaat der Eicheln einer Größenklasse im Saatbeet vor der Über-sandung

### 8.2.5 Aufnahme nach der ersten Vegetationsperiode

Im September 2016 wurden die abgezählten Teilabsaaten aller Einzelbäume gemessen und bonitiert. Mit einem digitalen Messschieber wurde von allen aufgekommenen Sämlingen der Wurzelhalsdurchmesser (WHD) ermittelt. Die Höhen der Pflanzen wurden von der Bodenoberkante bis zum Ende der Terminalknospe mit Hilfe eines metrischen Gliedermaßstabes gemessen. Zusätzlich wurde das Wuchsverhalten der Pflanzen durch eine mehrstufige Formbonitur eingeschätzt. Pflanzen mit einer durchgehenden Hauptstammachse wurden in Stufe 1, Pflanzen mit einer durchgehenden Hauptstammachse mit Seitenästen in Stufe 2, Pflanzen mit keiner durchgehenden Hauptstammachse in Stufe 3 und Pflanzen mit mehreren Trieben in Gruppe 4 eingeordnet (siehe Anhang, Abb. A.14). Aufgrund des sehr frühen Entwicklungsstandes der Pflanzen wird die Stufigkeit nicht berücksichtigt, obwohl gestufte Pflanzen mit seitlicher Verzweigung in der Praxis als Optimum angesehen werden.

In den Teilversuchen, in denen nach Größe sortierte Eicheln in definierten Anzahlen ausgebracht wurden, konnten die Anzahlen entwickelter Sämlinge erhoben und in Relation zu der Anzahl ausgebrachter Eicheln gesetzt werden. Da sich dieser Wert von dem in der Praxis häufig

verwendeten Wert des Keimprozents (unter Laborbedingungen ermittelt) unterschiedet, wird für die Relation der Begriff „Pflanzenprozent“ verwendet.

## 8.2.6 Statistische Verfahren

Die verwendeten Daten wurden mit Microsoft Excel für die weitere Verarbeitung vorbereitet und gegebenenfalls aggregiert (Mittelwerte, Prozentwerte). Alle weiteren Berechnungen und Abbildungen wurden mit der Statistiksoftware R Version 3.4.0 (R Core Team, 2018) durchgeführt und erstellt.

Aus den Eichelmaßen wurden zusätzlich ein Längen-Breitenverhältnis und das Eichelvolumen berechnet. Hierfür wurde als geometrische Form in Anlehnung an die Arbeit von AAS (1998) ein Ellipsoid verwendet. Alle berechneten statistischen Kenngrößen sind standardmäßig in R implementiert. Zur Überprüfung der Normalverteilung wurde der Shapiro-Wilk-Test verwendet. Die Korrelationen wurden mit der Prozedur „car.test“ und aufgrund fehlender Normalverteilungen mit der Einstellung „Spearman“ berechnet.

Alle weiteren Auswertungen erfolgten sowohl deskriptiv als auch schließend. Die Grundannahmen der Varianzanalyse für die Tausendkorngewichte, Pflanzenprozente und Wuchsformen wurden grafisch mit Hilfe von QQ- und Residuenplots überprüft. Für die Wuchshöhen und Wurzelhalsdurchmesser wurde die Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk-Test und die Varianzhomogenität mit dem Levene-Test überprüft. Letzterer ist im Paket „car“ implementiert (FOX und WEISBERG, 2017).

Bei den Tausendkorngewichten wurde für die Varianzanalyse die Prozedur „oneway.test“ verwendet. Die weiteren Paarvergleiche wurden mit dem Dunnet-Tukey-Kramer-Test berechnet (Prozedur „DTK.test“). Dafür wurde das Paket „DTK“ verwendet (LAU, 2015).

Die Auswertung der Pflanzenprozente erfolgte mit Hilfe eines GLM (Generalisiertes Lineares Modell), mit der Einstellung „family=binomial“. Aufgerufen wurde die Funktion über „glm“. Auf Basis der Ergebnisse wurde die Varianzanalyse durchgeführt.

Für die Paarvergleiche der Wuchshöhen und Wurzelhalsdurchmesser wurde abhängig von der Normalverteilung ein t- oder Mann-Whitney-U-Test verwendet. Letzterer wurde mit der Prozedur „wilcox.test“ aufgerufen. Bei Verletzung der Varianzhomogenität wurde aufgrund der z.T. sehr geringen Stichprobengröße auf den Welch-Test verzichtet (DE WINTER, 2013).

Die Auswertung der Wuchsformen erfolgte ebenfalls mit Hilfe eines GLM und der Einstellung „family=binomial“. Aufgerufen wurde die Prozedur über „glm“. Auf Basis der Ergebnisse wurde die Varianzanalyse durchgeführt. Die Paarvergleiche wurden mit der Prozedur „glht“ aus dem Paket „multcomp“ berechnet (HOTHORN et al., 2017). Bei Vorliegen einer Varianzhomogenität wurde die Prozedur mit der „Sandwich-Korrektur“ aus dem Paket „sandwich“ erweitert (ZEILEIS et al., 2017).

Für einige Auswertungen wurden die einzelnen Prüfglieder zu Gruppen zusammengefasst (siehe Tab. 8.4).

**Tabelle 8.4:** Gruppenzugehörigkeit der einzelnen Prüfglieder

Gruppe	Beschreibung	Prüfglieder
1	Trauben-Eiche Einzelbaum guter Phänotyp	31, 32, 35, 36, 37, 42, 44, 46
2	Trauben-Eiche Einzelbaum schlechter Phänotyp	33, 34, 38, 39, 40, 43, 45, 47
3	Trauben-Eiche Sonderbaum	41

## 8.3 Ergebnisse der ersten Datenaufnahme

### 8.3.1 Eichelmaße der Einzelbaumabsaaten

In Tabelle 8.5 sind statistische Kenngrößen der Eichelgewichte aufgelistet. Die leichtesten Eicheln wurden bei einer Absaat eines phänotypisch schlechten (PG 43) und die schwersten bei einem phänotypisch guten (PG 46) Baum ermittelt. Im Durchschnitt zeigt eine Absaat von einem guten Einzelbaum die schwersten Eicheln (PG 42). Die leichtesten mittleren Absaaten wurden bei den schlechten Einzelbäumen ermittelt (PG 33 und PG 43). Die Absaaten der guten Einzelbäume sind mit 3,2 g im Schnitt etwas schwerer als die der schlechten mit 2,4 g (PG 41 nicht mit eingerechnet).

Keine Absaat weist mit niedrigen Werten nahe an Null eine fast symmetrische Verteilung auf. Alle Prüfglieder sind rechtsschief. Des Weiteren überwiegen moderat (z.B. PG 34) und hochschiefe Verteilungen (z.B. PG 33). Alle Absaaten zeigen steilgipflige Verteilungen, wobei die steilste (PG 33) und flachste Verteilung (PG 42) bei den Einzelbaumabsaaten zu finden sind. Abschließend zeigt der Test auf Normalverteilung, dass bei lediglich 2 Prüfgliedern (PG 35 und PG 41) von einer Normalverteilung der Eichelgewichte ausgegangen werden kann.

Im Anhang (siehe Tab. A.16, A.17, A.18 und A.19) sind die gleichen statistischen Kennwerte für die Eichellänge, Eichelbreite, Eichelvolumen und die Eichelform aufgelistet. Die Absaaten phänotypisch guter Einzelbäume sind im Mittel länger, breiter, voluminöser und geringfügig un schlanker als die Absaaten schlechter Einzelbäume.

**Tabelle 8.5:** Eichelgewichte: statistische Kennzahlen getrennt nach Prüfgliedern (PG = Prüfglied, N = Anzahl, min = Minimum, max = Maximum, mean = Mittelwert, skew = Schiefe, kurt = Wölbung, normal = Test auf Normalverteilung)

PG	N	min [g]	max [g]	mean [g]	skew	kurt	normal [p-value]
31	243	0,6	5,5	2,0	1,353	5,684	<0,001 ***
32	150	1,1	6,3	3,3	0,422	2,469	0,001 **
33	284	0,5	5,4	1,7	1,635	8,612	<0,001 ***
34	169	0,6	6,3	2,8	0,597	3,567	0,005 **
35	126	1,2	7,4	3,9	0,379	2,770	0,164
36	194	0,8	5,3	2,6	0,474	3,487	0,020 *
37	209	0,8	4,4	2,3	0,458	2,974	0,017 *
38	274	0,8	3,8	1,8	0,802	3,350	<0,001 ***
39	158	0,6	7,1	3,1	0,440	3,265	0,046 *
40	164	0,8	6,4	2,9	0,582	3,146	0,004 **
41	147	1,3	6,2	3,3	0,194	2,817	0,426
42	106	1,4	8,8	4,6	0,387	2,236	0,008 **
43	292	0,4	4,1	1,7	0,823	4,267	<0,001 ***
44	117	1,4	7,5	3,4	0,715	3,050	<0,001 ***
45	160	1,4	6,3	3,0	0,730	4,496	0,001 **
46	127	1,4	9,0	3,6	1,085	6,241	<0,001 ***
47	216	0,8	4,8	2,2	0,439	3,425	0,022 *

### Korrelation zwischen Eichellänge und -breite

In Tabelle 8.6 sind die Korrelationswerte zwischen Eichellänge und Eichelbreite der einzelnen Prüfglieder aufgelistet. Grafische Darstellungen sind im Anhang (Abb. A.15, A.16 und A.17 zu finden). Die jeweils niedrigste (Pg 46) und höchste (PG 35) Korrelation sind bei den Absaaten phänotypisch guter Einzelbäume zu finden. Einzelbaumabsaaten guter und schlechter Bäume liegen im Mittel mit 71,1 und 72,4 fast gleich auf.

**Tabelle 8.6:** Korrelation der Eichellänge und -breite getrennt nach Prüfgliedern

Prüfglied	Korrelation (rho)	p-value
31	0,73	<0,001 ***
32	0,77	<0,001 ***
33	0,77	<0,001 ***
34	0,77	<0,001 ***
35	0,82	<0,001 ***
36	0,76	<0,001 ***
37	0,71	<0,001 ***
38	0,81	<0,001 ***
39	0,71	<0,001 ***
40	0,60	<0,001 ***
41	0,67	<0,001 ***
42	0,78	<0,001 ***
43	0,74	<0,001 ***
44	0,60	<0,001 ***
45	0,75	<0,001 ***
46	0,52	<0,001 ***
47	0,73	<0,001 ***

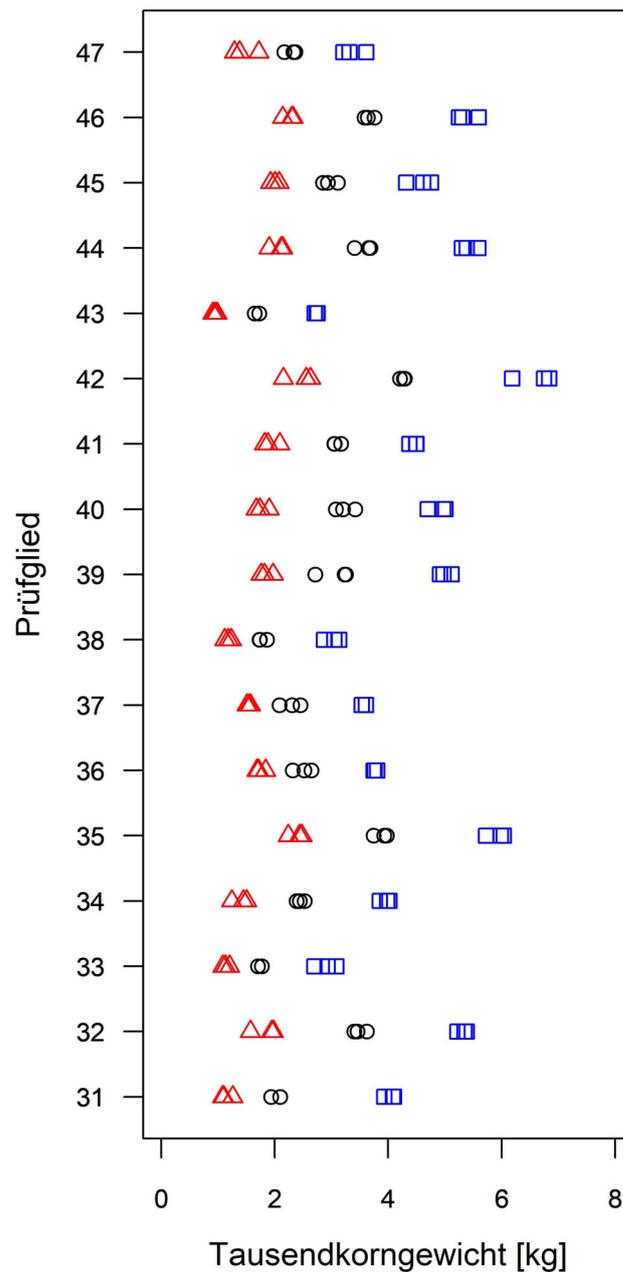
### 8.3.2 Tausendkorngewichte der Größensortierungen

In Abbildung 8.5 sind die Tausendkorngewichte der Prüfglieder und Größensortierungen abgebildet. Rote Dreiecke stellen die Sortierungen der kleinen und blaue Vierecke die Sortierung der großen Eicheln dar. Schwarze Kreise symbolisieren repräsentative Tausendkorngewichte der Absaaten.

Wiederholungen der einzelnen Sortierungen liegen vielfach sehr nah beisammen, z.B. PG 34. In nur wenigen Fällen streuen die Sortierungen weiter auseinander, z.B. PG 42. Die Tausendkorngewichte der Prüfglieder und Sortierungen decken insgesamt einen Bereich von 0,9 kg (PG 43; Sortierung klein) bis hin zu 6,6 kg (PG 42; Sortierung groß) ab. Innerhalb der Prüfglieder sind ebenfalls zum Teil beträchtliche Spannweiten vorhanden. So erreichen PG 33 und PG 43 nur geringe Spannweiten von jeweils 1,8 kg, während es bei dem Prüfglied PG 42 4,1 kg sind. Diese große Variation führt dazu, dass z.T. Sortierungen mit großen Eicheln kleinfrüchtiger Bäume (blaue Vierecke PG 43) Tausendkorngewichte aufweisen, wie die repräsentativen oder sogar kleinen Eicheln großfrüchtiger Bäume (rote Dreiecke PG 42 und PG 35) anzutreffen sind.

Die höchsten Tausendkorngewichte über alle Sortierungen sind bei den Absaaten phänotypisch guter Einzelbäume zu finden (PG 42 und PG 35), während die geringsten bei den phänotypisch

schlechten zu finden sind (PG 33 und PG 38). Im Mittel beträgt das Tausendkorngewicht der großen Sortierung bei den guten Einzelbäumen 5,0 kg und bei den schlechten 3,8 kg. Bei der repräsentativen Sortierung 3,2 kg und 2,4 kg. Ähnlich verhält es sich mit den Sortierungen der kleinen Eichen. Hier liegt des Tausendkorngewicht der guten Bäume bei 1,9 kg und beträgt bei den schlechten 1,5 kg. Der Sonderbaum (PG 41) ist dem mittleren Bereich zuzuordnen.



**Abbildung 8.5:** Tausendkorngewichte der Prüfglieder und Wiederholungen (blaues Viereck = große Eichen, schwarzer Kreis = mittlere Eichen, rotes Dreieck = kleine Eichen)

**Tabelle 8.7:** Paarvergleiche der Tausendkorngewichte; Absaatengruppen für alle Sortierungen (1 = gute Einzelbäume, 2 = schlechte Einzelbäume, 3 = Sonderbaum)

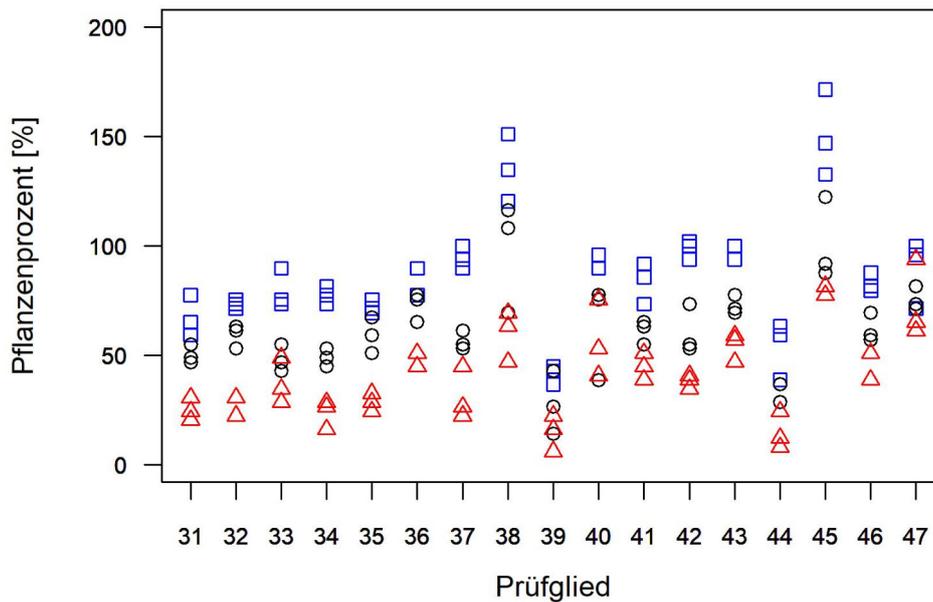
Sortierng	Paarvergleich	Mittelwert-differenz	unteres Konfidenzintervall	oberes Konfidenzintervall
groß	<b>2 - 1</b>	<b>-1,19</b>	<b>-1,90</b>	<b>-0,49</b>
	3 - 1	-0,54	-1,09	0,00
	<b>3 - 2</b>	<b>0,65</b>	<b>0,16</b>	<b>1,14</b>
repräsentativ	<b>2 - 1</b>	<b>-0,81</b>	<b>-1,32</b>	<b>-0,29</b>
	3 - 1	-0,12	-0,53	0,31
	<b>3 - 2</b>	<b>0,69</b>	<b>0,34</b>	<b>1,04</b>
klein	<b>2 - 1</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,75</b>	<b>-0,16</b>
	3 - 1	0,00	-0,30	0,31
	<b>3 - 2</b>	<b>0,46</b>	<b>0,01</b>	<b>0,91</b>

In der Tabelle 8.7 sind die Ergebnisse von Paarvergleichen der Tausendkorngewichte mit dem Dunnett's Tukey Kramer Test aufgelistet. Grundlagen sind die Sortierungen nach großen, repräsentativen und kleinen Eicheln. Die Gruppenzuordnung der Prüfglieder ist in Tabelle 8.4 zu finden. Die Überprüfung der Voraussetzungen zur Auswahl des Prüfverfahrens sind im Anhang in Abbildung A.18 zu finden. Über alle Größensortierungen sind die Tausendkorngewichte der guten Einzelbäumen (Gruppe 1) und des Sonderbaumes (Gruppe 3) von denen der schlechten Einzelbäumen (Gruppe 2) signifikant verschieden.

### 8.3.3 Pflanzenprozent der Einzelbaumabsaaten

In Abbildung 8.6 sind die Pflanzenprozent der Einzelbaumabsaaten und Größensortierungen abgebildet. Blaue Vierecke symbolisieren die Pflanzenprozent der großen Eicheln, schwarze Kreise die der repräsentativen und rote Dreiecke die der kleinen Eicheln (siehe Kap. 8.2.3). Auffallend sind die Pflanzenprozent der Prüfglieder 38 und 45, weil sie zum Teil weit über 100 % liegen. Sie werden in den folgenden Betrachtungen innerhalb der Größensortierung nicht berücksichtigt. Auf sie wird in der Diskussion eingegangen. Deutlich zeigt sich ebenfalls die Abstufung der Wuchsprozent zwischen den Größensortierungen der Eicheln. Die kleinsten Eicheln zeigen insgesamt die niedrigsten Pflanzenprozent. Mit annähernd 15 % durchschnittlichem Keimprozent (PG 39 und PG 44) sind je eine Absaat von einem schlechten und einem guten Einzelbaum vertreten. Die höchsten Pflanzenprozent zeigen bei den kleinen Eicheln die Absaaten von schlechten Bäumen (PG 43 und PG 47). Bei den Absaaten der repräsentativen Eicheln zeigen ebenfalls beide Baumqualitäten die schlechtesten Pflanzenprozent (PG 39 und PG 44). Die höchsten Pflanzenprozent sind ebenfalls bei beiden Qualitäten zu finden (PG 47 und

PG 36). Mit 41 % und 53 % zeigen bei den großen Eicheln die Absaaten eines schlechten und eines guten Einzelbaumes die geringsten Pflanzenprozentage (PG 39 und PG 44). Die höchsten Pflanzenprozentage zeigen ebenfalls beide Baumqualitäten (PG 42 und PG 43). Zwischen den Größensortierungen bestehen innerhalb der Prüfglieder z.T. erhebliche Unterschiede bezüglich ihres Anwuchsverhaltens. Beträgt die Differenz der Anwuchsprozentage zwischen den großen und kleinen Eicheln beim PG 47 nur 16 %, ist sie beim Prüfglied 37 63 % groß. Zwischen den Absaaten der guten und schlechten Bäume ist die Spannweite mit 45,8 % und 45,3 % im Mittel aber annähernd identisch. In Summe zeigen die Absaaten der guten Bäume bei den großen und kleinen Sortierungen ein um 17,3 % und 17,9 % schlechteres Anwuchsverhalten gegenüber den schlechten Bäumen. Bei den repräsentativen Eicheln sind es 10,5 %. Auf Bestandesebene zeigt sich bis auf wenige Ausnahmen ein ähnliches Bild. Im ersten Bestand (PG 31 und PG 32 vs. PG 33 und PG 34) zeigen die guten Bäume bei den großen und kleinen Sortierungen ein um 8,2 % und 4,1 % schlechteres Aufkommen. Lediglich bei den repräsentativen Eicheln sind die Pflanzenprozentage bei den guten Einzelbäumen um 6,1 % besser. Die Absaaten der guten Einzelbäume des zweiten Bestandes zeigen durchgehend ein schlechteres Anwuchsverhalten (PG 35, PG 36 und PG 37 vs. PG 38, PG 39 und PG 40). Es ist bei den großen, repräsentativen und kleinen Eicheln um 6,8 %, 0,5 % und 7,5 % schlechter. Im dritten Bestand (PG 42 vs. PG 43) sind die Pflanzenprozentage bei den großen Eicheln annähernd gleich. Absaaten der repräsentativen und kleinen Eicheln sind bei den guten Einzelbäumen um 12,2 % und 16,3 % schlechter. Im vierten Bestand (PG 44 vs. PG 45) sind die guten Einzelbäume mit großen Unterschieden im Umfang von 65,3 % bis 96,6 % schlechter aufgelaufen. Im letzten Bestand zeigt der gute Einzelbaum (PG 46) ein um 6,1 %, 13,6 % und 30,6 % geringeres Anwuchsverhalten als der schlechte Einzelbaum (PG 47).



**Abbildung 8.6:** Pflanzenprozent der Einzelbaumabsaaten auf Parzellenebene (blaues Viereck = große Eichen, schwarzer Kreis = mittlere Eichen, rotes Dreieck = kleine Eichen, Prüfglied 31, 32, 35, 36, 37, 42, 44 und 46 = Absaaten guter Einzelbäume, Prüfglied 33, 34, 38, 39, 40, 43, 45 und 47 = Absaaten schlechter Einzelbäume, Prüfglied 41 = Absaat des Sonderbaumes)

In Tabellen 8.8, 8.9 und 8.10 sind die Ergebnisse der Paarvergleiche aufgelistet. Grundlage sind die Pflanzenprozent der großen, repräsentativen und kleinen Sortierung. Die Überprüfung der Voraussetzungen sind im Anhang in den Abbildungen A.19 bis A.22 zu finden.

Die Pflanzenprozent zwischen guten und schlechten Bäumen sind vielfach auch signifikant verschieden. Lediglich in drei Fällen (große Sortierung Bestand 3, repräsentative Sortierung Bestand 2 und kleine Sortierung Bestand 1) sind die Unterschiede nicht signifikant.

**Tabelle 8.8:** Vergleich der Pflanzenprozent von guten und schlechten Einzelbäume auf Bestandesebene und über alle Bestände, große Eichen

Paarvergleich	Df	Deviance	Resid.Df	resid. Deviance	Pr(>Chr)
alle Bestände	1	35,50	46	1024,30	<0,001***
Bestand 1	1	10,01	10	22,888	0,002**
Bestand 2	1	6,97	16	464,25	0,008**
Bestand 3	1	0,00	4	31,44	1,000
Bestand 4	1	237,37	4	14,578	<0,001***
Bestand 5	1	4,89	4	54,39	0,027*

**Tabelle 8.9:** Vergleich der Pflanzenprozentage von guten und schlechten Einzelbäumen auf Bestandes-ebene und über alle Bestände, repräsentative Eicheln

Paarvergleich	Df	Deviance	Resid.Df	resid. Deviance	Pr(>Chr)
alle Bestände	1	35,57	46	819,29	<0,001***
Bestand 1	1	4,82	10	14,59	0,028*
Bestand 2	1	1,13	16	432,03	0,287
Bestand 3	1	9,71	4	12,19	0,002**
Bestand 4	1	271,66	4	21,50	<0,001***
Bestand 5	1	12,39	4	6,62	<0,001***

**Tabelle 8.10:** Vergleich der Pflanzenprozentage von guten und schlechten Einzelbäumen auf Bestan-esebene und über alle Bestände, kleine Eicheln

Paarvergleich	Df	Deviance	Resid.Df	resid. Deviance	Pr(>Chr)
alle Bestände	1	159,95	46	727,77	<0,001***
Bestand 1	1	2,38	10	32,11	0,123
Bestand 2	1	10,76	16	262,08	0,001**
Bestand 3	1	16,88	4	4,74	<0,001***
Bestand 4	1	276,73	4	11,42	<0,001***
Bestand 5	1	58,85	4	40,58	<0,001***

### 8.3.4 Höhenwuchsleistung der Einzelbaumabsaaten

In Abbildung 8.7 sind die Wuchshöhen der Einzelbaumabsaaten getrennt nach Größensortierung der Eicheln abgebildet. Im oberen Teil befinden sich die Wuchshöhen der Pflanzen aus großen, im mittleren Teil aus repräsentativen und im unteren Teil aus kleinen Eicheln. Grün gefärbte Boxen symbolisieren die Wuchshöhen von den guten, rot die von den schlechten Einzelbäumen. Die Wuchshöhen des Sonderbaums sind durch gelbe Boxen kenntlich gemacht. Zusätzlich ist das Mittel über alle Prüfglieder als graue Linie eingezeichnet. Über die drei Größensortierungen hinweg zeigt sich, dass die Pflanzenhöhen von der großen bis zur kleinen Sortierung deutlich abnehmen.

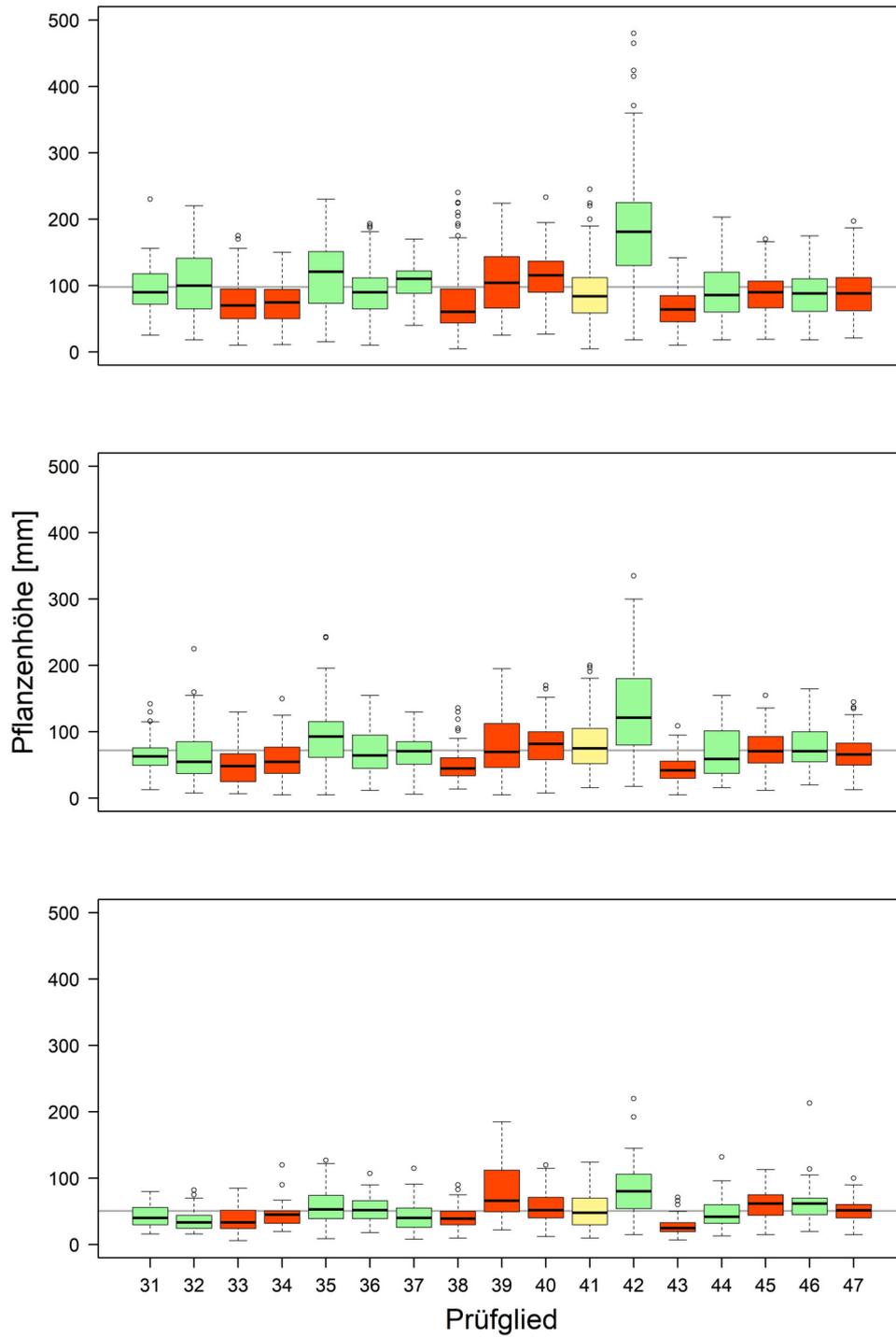
Die Prüfglieder zeigen insgesamt ein differenziertes Wachstum, was sich in der Länge der Boxen und Whisker äußert. Bei der großen Sortierung zeigen die Absaaten von guten Bäumen (PG 42 und PG 35) die höchsten mittleren Wuchsleistungen mit 185 mm und 117 mm, die Absaaten der schlechten Bäume (PG 43 und PG 33) zeigen hingegen die geringsten mittleren Höhenwuchsleistungen mit 65 mm und 73 mm. Analog dazu verhält es sich bei der repräsentativen

Sortierung. Hier erreichen PG 42 und PG 35 mittlere Wuchshöhen von 135 mm bzw. 94 mm, während die PG 43 und PG 33 nur 44 mm und 49 mm erreichen. In der Sortierung der kleinen Eicheln sind ebenfalls die höchsten Wuchsleistungen mit 83 mm und 61 mm bei den Absaaten der guten Einzelbäumen (PG 42 und PG 46) zu finden. Die PG 32 und PG 43, die der Gruppe der Absaaten von schlechten Bäumen angehören, kommen auf 27 mm bzw. 37 mm und sind damit am kleinsten.

Insgesamt zeigen die Absaaten der guten Einzelbäume in allen Größensortierungen im Mittel eine höhere Wuchsleistung gegenüber den Absaaten der schlechten Einzelbäume. Jedoch verkleinert sich der Abstand von der großen zur kleinen Sortierung. Beträgt die Höhenwuchsdifferenz bei der großen Sortierung 28 mm, sind es bei der repräsentativen 18 mm und bei der kleinen Sortierung nur noch 7 mm.

Innerhalb des ersten Bestandes sind die Absaaten der guten Bäume bei der großen Sortierung um 24 mm überlegen, bei der repräsentativen um 11 mm und bei der kleinen Sortierung unterliegen sie knapp mit 1 mm. Innerhalb des zweiten Bestandes sind die Absaaten der großen und repräsentativen Sortierungen um 7 mm und 10 mm überlegen. Die Wuchshöhen der kleinen Sortierungen liegen in beiden Gruppen gleich auf. Innerhalb des dritten Bestandes zeigt die Absaat des guten Einzelbaumes die deutlichste Wuchsüberlegenheit mit 120 mm für die großen, 90 mm für die repräsentativen und 56 mm für die kleine Sortierung. Absaaten des guten Einzelbaumes sind im vierten Bestand lediglich in der großen Sortierung mit 4 mm im Höhenwuchs überlegen. In der repräsentativen und kleinen Sortierung sind die Wuchshöhen des guten Einzelbaumes mit 4 mm und 12 mm unterlegen. Im fünften Bestand sind die Wuchshöhen in der großen Sortierung annähernd gleich. Bei den repräsentativen und kleinen Sortierungen sind die Wuchshöhen des guten Einzelbaumes um 9 mm und 10 mm überlegen.

In den Tabellen 8.11, 8.12 und 8.13 sind die Ergebnisse von Paarvergleichen der Wuchshöhen aufgelistet. Grundlage sind Parzellenmittelwerte von Sämlingen der Einzelbaumabsaaten aus dem Saatbeet. Je nach Ausgangssituation wurde dafür ein U- oder t-Test verwendet. Die Überprüfung der Voraussetzungen zur Auswahl des Prüfverfahrens sind im Anhang in den Tabellen A.20 und A.21 zu finden. In den meisten Fällen kann kein signifikanter Wuchshöhenunterschied nachgewiesen werden. Lediglich über alle Bestände und dem ersten Bestand bei der großen Sortierung und bei allen Beständen der repräsentativen Sortierung ist der Wuchsunterschied zwischen Absaaten guter und schlechter Bäume auch signifikant.



**Abbildung 8.7:** Höhenwuchsleistung der einjährigen Eichensämlinge, getrennt nach Eichelgröße (oben = große Eichel, Mitte = repräsentative Eichel, unten = kleine Eichel; grüne Boxen = Absaaten phänotypisch guter Bäume, rote Boxen = Absaaten phänotypisch schlechter Bäume, gelbe Box = Absaat Sonderbaum))

**Tabelle 8.11:** Vergleich der Höhenwuchsleistung von Nachkommen guter und schlechter Einzelbäume auf Bestandesebene und über alle Bestände, große Eichen ( $\mu$  gut = mittlere Höhe der Absaaten phänotypisch guter Bäume,  $\mu$  schlecht = mittlere Höhe der Absaaten phänotypisch schlechter Bäume)

Paarvergleich	Test	$\mu$ gut	$\mu$ schlecht	Teststatistik	p-Wert
alle Bestände	U-Test	109,4	86,4	423	0,0024**
Bestand 1	U-Test	97,2	72,7	32	0,0130*
Bestand 2	t-Test	104,4	100,8	0,3154	0,7565
Bestand 3	t-Test	186,0	65,4	*	*
Bestand 4	t-Test	92,1	88,6	0,4201	0,6960
Bestand 5	t-Test	89,6	89,7	0,0031	0,9977

\*nicht berechenbar

**Tabelle 8.12:** Vergleich der Höhenwuchsleistung von Nachkommen guter und schlechter Einzelbäume auf Bestandesebene und über alle Bestände, repräsentative Eichen ( $\mu$  gut = mittlere Höhe der Absaaten phänotypisch guter Bäume,  $\mu$  schlecht = mittlere Höhe der Absaaten phänotypisch schlechter Bäume)

Paarvergleich	Test	$\mu$ gut	$\mu$ schlecht	Teststatistik	p-Wert
alle Bestände	U-Test	81,1	62,5	417	0,0036**
Bestand 1	t-Test	64,2	53,5	1,6587	0,1282
Bestand 2	t-Test	78,4	68,8	1,1014	0,2870
Bestand 3	t-Test	136,5	44,4	*	*
Bestand 4	t-Test	71,6	73,7	-0,2733	0,7981
Bestand 5	t-Test	77,4	68,8	0,8099	0,4634

\*nicht berechenbar

**Tabelle 8.13:** Vergleich der Höhenwuchsleistung von Nachkommen guter und schlechter Einzelbäume auf Bestandesebene und über alle Bestände, kleine Eicheln ( $\mu$  gut = mittlere Höhe der Absaaten phänotypisch guter Bäume,  $\mu$  schlecht = mittlere Höhe der Absaaten phänotypisch schlechter Bäume)

Paarvergleich	Test	$\mu$ gut	$\mu$ schlecht	Teststatistik	p-Wert
alle Bestände	U-Test	52,5	49,7	303	0,3835
Bestand 1	t-Test	40,0	44,2	-0,6266	0,5450
Bestand 2	t-Test	51,3	56,9	-0,7516	0,4632
Bestand 3	t-Test	82,5	26,7	*	*
Bestand 4	t-Test	44,6	60,5	-1,6740	0,1695
Bestand 5	t-Test	59,4	51,6	0,8332	0,4516

\*nicht berechenbar

### 8.3.5 Wurzelhalsdurchmesser der Einzelbaumabsaaten

In Abbildung 8.8 sind die Wurzelhalsdurchmesser (WHD) der Einzelbaumabsaaten getrennt nach Größensortierung abgebildet. Im oberen Teil befinden sich die Wurzelhalsdurchmesser der Pflanzen aus großen, im mittleren aus repräsentativen und im unteren Teil aus kleinen Eicheln. Grün gefärbte Boxen symbolisieren die WHD von den guten und rot der von den schlechten Einzelbäumen. Die WHD des Sonderbaums sind durch gelbe Boxen kenntlich gemacht. Das Mittel über alle Prüfglieder ist als graue Linie angedeutet. Über die drei Größensortierungen hinweg zeigt sich, dass die WHD von der großen bis zur kleinen Sortierung abnehmen. Haben Nachkommen der großen Sortierung im Mittel einen WHD von 3,4 mm, sind es bei der repräsentativen Sortierung 3,0 mm und bei der Kleinen 2,6 mm.

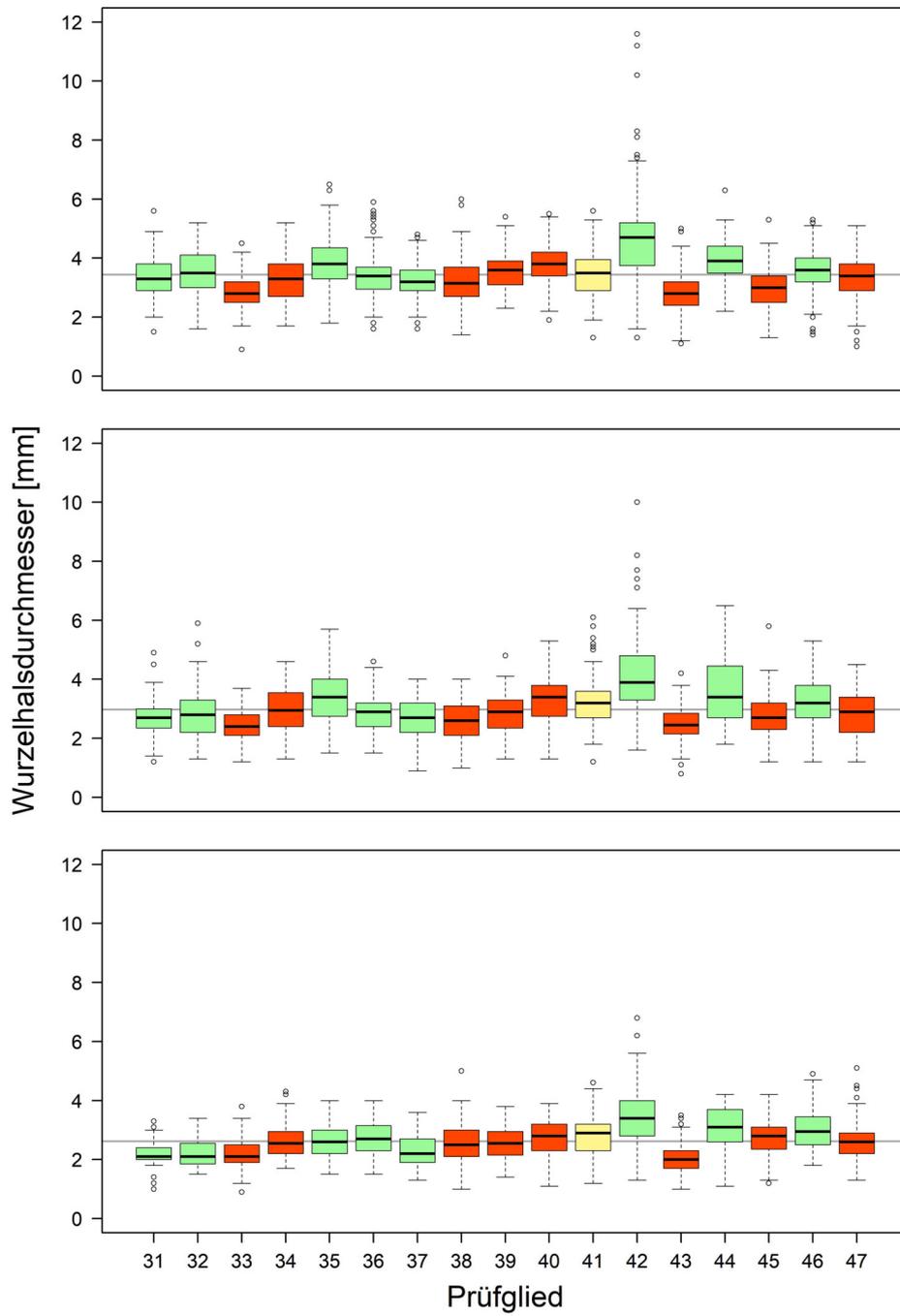
Die Längen der Boxen und Whisker belegen ebenfalls ein differenziertes Wachstum der einzelnen Prüfglieder. Bei der großen Sortierungen zeigen die Absaaten von guten Bäumen (PG 42 und PG 44) die höchsten Wurzelhalsdurchmesser mit 4,7 mm und 3,9 mm. Absaaten von schlechten Bäume (PG 43 und PG 33) zeigen hingegen die dünnsten Wurzelhälse mit 2,8 mm und 2,9 mm. Analog dazu verhält es sich bei der repräsentativen Sortierung. Hier erreichen PG 42 und PG 44 mittlere Wurzelhalsdurchmesser von 4,2 mm bzw. 3,7 mm, während die PG 43 und PG 33 nur 2,5 mm erreichen. In der Sortierung der kleinen Eicheln sind ebenfalls die stärksten Wurzelhälse mit 3,4 mm und 3,1 mm bei den Absaaten der guten Einzelbäumen (PG 42 und PG 44) zu finden. PG 43 und PG 33, die der Gruppe der Absaaten von schlechten Bäumen angehören, kommen auf 2,0 mm bzw. 2,2 mm. Insgesamt zeigen die Absaaten der guten Einzelbäume in allen Größensortierungen einen stärkeren Wurzelhals als die Absaaten der schlechten Einzelbäume. Jedoch verkleinert sich die Differenz von der großen zur kleinen Sortierung. Beträgt die Durchmesserdiffereenz bei der großen Sortierung 0,5 mm, sind es bei der repräsentativen 0,6 mm und bei der kleinen Sortierung nur noch 0,3 mm. Innerhalb des ersten Bestandes sind die Absaaten der guten Bäume bei der großen Sortierung um 0,3 mm dicker, bei der repräsentativen um

0,1 mm und bei der kleinen Sortierung unterliegen sie knapp mit 0,2 mm. Im zweiten Bestand liegen im Mittel die Wurzelhalsdurchmesser der guten und schlechten Einzelbaumabsaaten gleich auf. Innerhalb des dritten Bestandes zeigt die Absaat des guten Einzelbaumes die deutlichste Durchmesserüberlegenheit mit 1,8 mm für die großen, 1,7 mm für die repräsentativen und 1,4 mm für die kleine Sortierung. Absaaten des guten Einzelbaumes zeigen im vierten Bestand bei den großen und repräsentativen Sortierungen ein um 0,9 mm höheres Durchmesserwachstum. Pflanzen der kleinen Absaaten sind im Mittel um 0,3 mm dicker. Im fünften Bestand sind die Wurzelhalse der großen Sortierung im Mittel um 0,2 mm dicker. Bei den repräsentativen und kleinen Sortierungen sind die Wurzelhalse des guten Einzelbaumes um 0,3 mm und 0,4 mm stärker.

In den Tabellen 8.14, 8.15 und 8.16 sind die Ergebnisse von Paarvergleichen der Wurzelhalsdurchmesser aufgelistet. Grundlage sind Parzellenmittelwerte von Sämlingen der Einzelbaumabsaaten aus dem Saatbeet. Je nach Ausgangssituation wurde dafür ein U- oder t-Test verwendet. Die Überprüfung der Voraussetzungen zur Auswahl des Prüfverfahrens sind im Anhang in den Tabellen A.22 und A.23 zu finden. Bei der großen Sortierung sind die Differenzen beim Wurzelhalsdurchmesser zwischen Absaaten der guten und schlechten Bäume signifikant verschieden. Lediglich bei den Bäume des zweiten und fünften Bestandes sind die Differenzen nicht signifikant. Innerhalb der repräsentativen Sortierung sind die Wurzelhalsdurchmesser der Bäume aus dem ersten, zweiten und fünften Bestand nicht signifikant verschieden. Bei der kleinen Sortierung sind die Differenzen in keinem Fall signifikant verschieden.

**Tabelle 8.14:** Vergleich der Wurzelhalsdurchmesser von Nachkommen guter und schlechter Einzelbäume auf Bestandesebene und über alle Bestände; große Eicheln ( $\mu$  gut = mittlerer Wurzelhalsdurchmesser der Absaaten phänotypisch guter Bäume,  $\mu$  schlecht = mittlere Wurzelhalsdurchmesser der Absaaten phänotypisch schlechter Bäume)

Paarvergleich	Test	$\mu$ gut	$\mu$ schlecht	Teststatistik	p-Wert
alle Bestände	U-Test	3,7	3,2	447	<0,001 <sup>***</sup>
Bestand 1	t-Test	3,4	3,1	2,26	0,048 <sup>*</sup>
Bestand 2	t-Test	3,5	3,5	-0,20	0,847
Bestand 3	t-Test	4,7	2,8	3,53	0,024 <sup>*</sup>
Bestand 4	t-Test	3,9	3,0	10,67	<0,001 <sup>***</sup>
Bestand 5	t-Test	3,5	3,3	1,46	0,218



**Abbildung 8.8:** Wurzelhalsdurchmesser der einjährigen Eichensämlingen, getrennt nach Eichelgröße (oben = große Eicheln, mitte = repräsentative Eicheln, unten = kleine Eicheln)

**Tabelle 8.15:** Vergleich der Wurzelhalsdurchmesser von Nachkommen guter und schlechter Einzelbäume auf Bestandesebene und über alle Bestände; repräsentative Eicheln ( $\mu$  gut = mittlerer Wurzelhalsdurchmesser der Absaaten phänotypisch guter Bäume,  $\mu$  schlecht = mittlere Wurzelhalsdurchmesser der Absaaten phänotypisch schlechter Bäume)

Paarvergleich	Test	$\mu$ gut	$\mu$ schlecht	Teststatistik	p-Wert
alle Bestände	U-Test	3,2	2,8	409	0,006 **
Bestand 1	t-Test	2,8	2,7	0,59	0,569
Bestand 2	t-Test	xxx	xxx	0,22	0,826
Bestand 3	t-Test	4,2	2,5	2,98	0,041 *
Bestand 4	t-Test	3,7	2,8	3,99	0,016 *
Bestand 5	t-Test	3,2	2,9	2,36	0,077

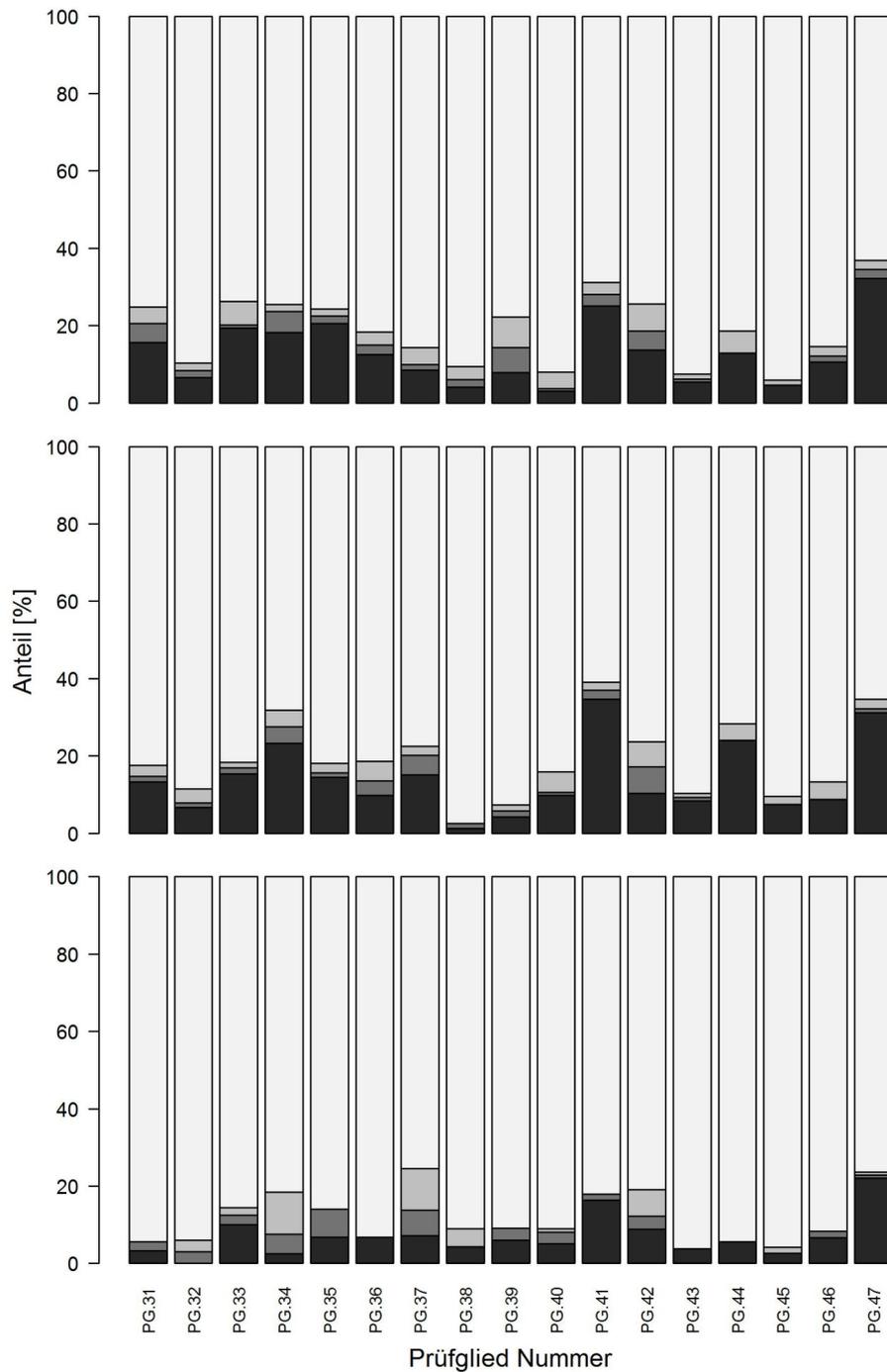
**Tabelle 8.16:** Vergleich der Wurzelhalsdurchmesser von Nachkommen guter und schlechter Einzelbäume auf Bestandesebene und über alle Bestände; kleine Eicheln ( $\mu$  gut = mittlerer Wurzelhalsdurchmesser der Absaaten phänotypisch guter Bäume,  $\mu$  schlecht = mittlere Wurzelhalsdurchmesser der Absaaten phänotypisch schlechter Bäume)

Paarvergleich	Test	$\mu$ gut	$\mu$ schlecht	Teststatistik	p-Wert
alle Bestände	t-Test	2,7	2,5	1,66	0,106
Bestand 1	t-Test	2,2	2,4	-1,25	0,240
Bestand 2	t-Test	2,6	2,6	-0,46	0,652
Bestand 3	t-Test	3,6	2,0	2,74	0,050
Bestand 4	t-Test	3,1	2,8	2,37	0,077
Bestand 5	t-Test	3,0	2,6	2,38	0,076

### 8.3.6 Form der Einzelbaumabsaaten

In Abbildung 8.9 sind die Formanteile der Einzelbaumabsaaten abgebildet. Mit hellgrau sind die Anteile der Pflanzen mit durchgehender Hauptstammachse (Formstufe 1), mit grau die Anteile der Pflanzen mit seitlicher Verzweigung (Formstufe 2), mit dunkelgrau die Anteile an Pflanzen mit einer sich auflösenden Hauptstammachse (Formstufe 3) und schwarz die Anteile, die ein buschiges Wuchsverhalten zeigen (Formstufe 4), gekennzeichnet (siehe Abb. A.14). Im oberen Teil befinden sich die Formanteile der großen, im mittleren der repräsentativen und im unteren die der kleinen Eicheln. Die erste Formstufe ist über alle Einzelbaumabsaaten am häufigsten vertreten. Darauf folgt die vierte Formstufe. Pflanzen mit seitlicher Verzweigung (Formstufe 2) und welche mit sich auflösender Hauptstammachse (Formstufe 3) sind am seltensten vertreten. Zwischen den einzelnen Absaaten zeigen sich deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Formstufen.

Den höchsten und niedrigsten Anteil an der ersten Formstufe innerhalb der großen Sortierung zeigt jeweils Absaaten schlechter Einzelbäume (PG 45 und PG 47). Innerhalb der repräsentativen Sortierung zeigen ebenfalls die Absaaten schlechter Einzelbäume die höchsten und niedrigsten Anteile der ersten Formstufe (PG 38 und PG 47). Eine Absaat eines guten Baumes zeigt bei der kleinen Sortierung den niedrigsten Anteil an der ersten Formstufe (PG 37). Den höchsten Anteil an der ersten Formstufe zeigt eine schlechte Absaat (PG 43). Der Sonderbaum (PG 41) zeigt im Vergleich ebenfalls ein recht schlechtes Formverhalten. Beim Vergleich über alle drei Größensortierungen zeigt sich, dass die Anteile der ersten Formenstufe von der großen zu der kleinen Sortierung zunehmen. Über alle Bestände zeigen die Absaaten der schlechten Bäume mit 82 % ein geringfügig besseres Formverhalten als die Absaaten der guten Bäume mit 81 %. Analog dazu verhalten sich die Absaaten der repräsentativen Sortierung (84 % zu 82 %) und der kleinen Sortierung (89 % zu 88 %). Im ersten Bestand zeigen die Absaaten der guten Bäume ein durchweg besseres Formverhalten. Der Anteil an Formstufe 1 ist bei der großen Sortierung um 12 % und bei den repräsentativen und kleinen Sortierungen um 10 % höher. Die Absaaten der schlechten Bäume zeigen hingegen im zweiten Bestand das bessere Formverhalten. Im Mittel sind die Anteile der ersten Formstufe um 6 % (große und kleine Sortierung) und 9 % (repräsentative Sortierung) höher. Innerhalb des dritten Bestandes hat die Absaat des schlechten Baumes gegenüber der guten Absaat 14 % bis 18 % höhere Anteile an Formstufe 1. Ähnlich verhält es sich im vierten Bestand (13 % bis 18 %). Lediglich in der kleinen Sortierung sind die Anteile an Formstufe eins mit 2 % bei den schlechten Absaaten geringfügig höher. Im fünften Bestand zeigt die Absaat des guten Baumes in allen Größensortierungen mit 12 % bis 22 % höhere Anteile an Formstufe 1.



**Abbildung 8.9:** Formbonitur der Einzelbaumabsaaten (hellgrau = Pflanzen mit durchgehender Hauptstammachse, grau = Pflanzen mit seitlicher Verzweigung, dunkelgrau = Pflanzen mit auflösender Hauptstammachse, schwarz = Pflanzen mit buschigem Wuchs, oben = große Eicheln, mitte = mittlere Eicheln, unten = kleine Eicheln)

In den Tabellen 8.17, 8.18 und 8.19 sind die Ergebnisse der Paarvergleiche aufgelistet. Grundlage sind die Anteile der ersten Formstufe an den Sämlingen der Einzelbäumen im Saatbeet. Die

Überprüfung der Voraussetzungen sind im Anhang in den Abbildungen A.23 bis A.26 zu finden.

Bei der großen Sortierung sind auf Bestandesebene die Unterschiede zwischen phänotypisch guten und schlechten Bäumen signifikant verschieden. Lediglich über alle Bestände hinweg sind die Anteile der phänotypisch schlechten und guten Bäumen nicht signifikant verschieden.

Innerhalb der repräsentativen Sortierung sind auf Bestandesebene die Unterschiede zwischen phänotypisch guten und schlechten Bäumen signifikant verschieden. Lediglich über alle Bestände hinweg sind die Anteile der phänotypisch schlechten und guten Bäumen nicht signifikant verschieden.

In der kleinen Sortierung sind auf Bestandesebene die Unterschiede zwischen phänotypisch guten und schlechten Bäumen im ersten, zweiten, dritten und fünften Bestand signifikant verschieden. Lediglich über alle Bestände hinweg und im vierten Bestand sind die Anteile der phänotypisch schlechten und guten Bäumen nicht signifikant verschieden.

**Tabelle 8.17:** Vergleich der Formanteile Stufe 1 von guten und schlechten Einzelbäume auf Bestandesebene und über alle Bestände; große Eicheln

Paarvergleich	Df	Deviance	Resid.Df	resid. Deviance	Pr(>Chr)
alle Bestände	1	1,15	46	379,92	0,284
Bestand 1	1	12,13	10	45,05	<0,001 ***
Bestand 2	1	11,72	16	129,98	<0,001 ***
Bestand 3	1	19,02	4	29,87	<0,001 ***
Bestand 4	1	22,64	4	17,27	<0,001 ***
Bestand 5	1	38,67	4	7,48	<0,001 ***

**Tabelle 8.18:** Vergleich der Formanteile Stufe 1 von guten und schlechten Einzelbäume auf Bestandesebene und über alle Bestände; repräsentative Eicheln

Paarvergleich	Df	Deviance	Resid.Df	Resid. Deviance	Pr(>Chr)
alle Bestände	1	6,68	46	447,06	0,097
Bestand 1	1	22,02	10	26,07	<0,001 ***
Bestand 2	1	47,55	16	161,33	<0,001 ***
Bestand 3	1	19,02	4	29,87	<0,001 ***
Bestand 4	1	34,69	4	25,47	<0,001 ***
Bestand 5	1	38,08	4	14,51	<0,001 ***

**Tabelle 8.19:** Vergleich der Formanteile Stufe 1 von guten und schlechten Einzelbäume auf Bestandesebene und über alle Bestände; kleine Eicheln

Paarvergleich	Df	Deviance	Resid.Df	resid. Deviance	Pr(>Chr)
alle Bestände	1	0,07	46	508,62	0,788
Bestand 1	1	37,00	10	84,75	<0,001 <sup>***</sup>
Bestand 2	1	16,66	16	175,00	<0,001 <sup>***</sup>
Bestand 3	1	36,90	4	34,10	<0,001 <sup>***</sup>
Bestand 4	1	0,31	4	40,54	0,580
Bestand 5	1	26,69	4	13,79	<0,001 <sup>***</sup>

## 8.4 Diskussion

### 8.4.1 Eichelmaße der Einzelbaumabsaaten

Für die Erhebung der Eichelmaße (Eichellänge, Eichelbreite, Eichelgewicht, Eichelvolumen und Eichelform) wurde auf die eingefrorenen Rückstellproben zurückgegriffen. Weil die Rückstellproben nach Gewicht (in der Regel 500 g) abgepackt wurden, sind abhängig vom Prüfglied unterschiedlich hohe Stichprobenumfänge aufgemessen worden. Mit 116 bis 292 Messungen sind die Stichprobenumfänge recht groß und erlauben eine präzise Schätzung, obwohl die Messwerte einzelner Eicheln stark streuen. Demgegenüber ermitteln einige Autoren ihre Parameter an jeweils nur ca. 20 Eicheln (AAS und FRIEDRICH, 1991; NIKOLIC und ORLOVIC, 2002), was für präzise Schätzungen zu gering sein dürfte.

Die gemessenen Eichellängen (Minimum, Mittelwert und Maximum) liegen im Bereich des Spektrums anderer Untersuchungen (OELKERS, 1913; BROUWER und STÄHLIN, 1955; DUPOUEY und LE BOULER, 1989; AAS und FRIEDRICH, 1991; BARZDAJN, 1993; AAS, 1998; FRANJIC et al., 2001; BARZDAJN, 2002; MAJOR, 2002; NIKOLIC und ORLOVIC, 2002; ROTH et al., 2009; TILKI, 2010). Einige Autoren konnten auch längere Eicheln als 34 mm nachweisen. Demgegenüber finden sich bei einigen Einzelbaumabsaaten (PG 36, PG 37, PG 38, PG 43) auch weit kürzere Eicheln von unter 10 mm. Das liegt daran, dass für den Absaatenversuch jede intakte Eichel aufgesammelt wurde, egal wie groß sie war. Bei normalen kommerziellen Ernten dürften durch die Sammler kleinere Eicheln in geringerem Umfang aufgesammelt werden. FRANJIC berechnete für 24 Stiel-Eichenabsaaten ebenfalls die Schiefe und Wölbung. Auch diese Werte decken im Großteil den in dieser Arbeit gemessenen Bereich ab und zeigen deutlich, wie verschieden unterschiedliche Absaaten in ihrer Längenverteilung sein können (FRANJIC et al., 2001). Des Weiteren zeigt kein Prüfglied bei der Länge eine normalverteilte Längenverteilung. Dies ist nicht verwunderlich, weil schon Schiefe und Wölbung auf eher nicht normalverteilte Stichproben hindeuten. In den variationsstatistischen Untersuchungen von OELKERS (1913) sind Häufigkeitsverteilungen der von ihm untersuchten Absaaten abgebildet. Die Verteilungen sind ebenfalls geprägt von Asymmetrie,

Schiefe und z.T. zweigipfligen Verteilungen. In seiner Arbeit über morphologische und biologische Eigenschaften der Stiel- und Traubeneiche zeigte BURGER (1921) ebenfalls, dass die Eichellängen von Einzelbaumabsaaten häufig als nicht normalverteilt angesehen werden können.

Bei den gemessenen Eichelbreiten verhält es sich wie bei den Eichellängen. Auch hier liegen die ermittelten Werte innerhalb des Bereiches vorherig genannter Untersuchungen. Lediglich drei Einzelbaumabsaaten (PG 33, PG 36 und PG 43) zeigen nochmals geringere Werte als die von OELKERS (1913) ermittelten 7 mm. Der Vergleich von Schiefe und Wölbung mit den Ergebnissen von FRANJIC (2001) zeigt auch hier eine Übereinstimmung. Lediglich zwei Einzelbaumabsaaten (PG 34 und PG 46) zeigen nochmals deutlich spitzere Verteilungen.

Die bei den Prüfgliedern ermittelten Eichelgewichte liegen im Messbereich anderer Untersuchungen (EITINGEN, 1926; JONES, 1959; NIKOLIC und ORLOVIC, 2002; TILKI, 2010). Jedoch erreichen die Minimal- und Maximalwerte nicht den Bereich der von BROOKES (1979) (0,1 g) und OVINGTON (1959) (12,0 g) angegeben wird. Alle Absaaten zeigen zudem recht spitz zulaufende Verteilungen (Wölbung). Das kann daran liegen, dass die unterschiedlichen Kombinationen der Eichellänge und Eichelbreite sich zu einheitlichen Gewichtswerten ergänzen. Dies führt auch dazu, dass einige wenige Absaaten abschließend eine Normalverteilung zeigen. Messungen und Vergleiche von Eichelgewichten gestalten sich gegenüber Längen- und Breitenmessungen als schwieriger, weil der Wassergehalt in den Eicheln schwankt und dies eine starke Fehlerquelle sein kann (OELKERS, 1913). Die in dieser Arbeit gewogenen Eicheln wurden bei recht feuchtem Wetter gesammelt, schnell weiterverarbeitet und zu sehr einheitlichen Bedingungen bei der SFB Oerrel eingelagert. Nach dem Abwiegen wurden die Rückstellproben zeitnah eingefroren und nur kurz für die Messungen wieder aufgetaut. Verschieden starke Trocknungsgrade zwischen den einzelnen Absaaten können daher ausgeschlossen werden.

Ein Großteil der berechneten mittleren Eichelvolumina liegt in der Spannweite von Arbeiten anderer Autoren (AAS, 1998; ROTH et al., 2009). Jedoch wird von einigen Prüfgliedern (PG 33, PG 37, PG 38, PG 43) das mittlere Volumen deutlich unterschritten. Ebenfalls zeigt sich, dass die Minimum- und Maximumvolumina deutlich vom mittleren Volumen der Eicheln abweichen und die Spannweite innerhalb eines Prüfgliedes sehr groß ist. Wie beim Gewicht, zeigen fast alle Prüfglieder eine rechtsschiefe Verteilung. Gewicht und Volumen sind stark gekoppelt. Anscheinend gibt es für beide Parameter auf Prüfgliedebene individuelle Grenzen, die im unteren Bereich weniger breit ausgebildet sind als im oberen.

Stiel-Eicheln werden als generell länglich und walzenförmig beschrieben, während Trauben-Eicheln eher von rundlicher Gestalt sind (OELKERS, 1913; BURGER, 1921; BROUWER und STÄHLIN, 1955; JONES, 1959; GOSLING, 2002). Quantitativ kann die Form über das Verhältnis von Eichellänge zu Eichelbreite dargestellt werden. Die rundlicheren Formquotienten der Trauben-Eicheln bestätigen die Aussagen der genannten Autoren. Jedoch sind die Unterschiede bei dem Formquotienten sehr gering. In anderen Untersuchungen konnten ebenfalls nur geringe Unterschiede festgestellt werden (OELKERS, 1913; BROOKES und WIGSTON, 1979; AAS und FRIEDRICH, 1991; FRANJIC et al., 2001; BARZDAJN, 2002). Lediglich aus den umfangreichen Untersuchungen von AAS (1998) ergibt sich ein etwas ausgeprägter Formquotient. Allerdings

zeigte OELKERS (1913), dass die Eichelform von ellipsoiden bis kugeligen Formen innerhalb eines Baumes von Jahr zu Jahr wechseln kann.

Die Korrelation zwischen Länge und Breite zeigt für die Einzelbaumabsaaten recht starke Zusammenhänge an. Die bei anderen Untersuchungen festgestellten Korrelationen liegen unter den hier ermittelten Werten (BARZDAJN, 2002; NIKOLIC und ORLOVIC, 2002). Ein direkter Vergleich mit den Einzelbaumabsaaten ist auch nicht möglich, weil die Korrelationen nur bei Bestandesabsaaten oder Gruppen von Einzelbäumen ermittelt wurden. Absaaten von Einzelbäumen scheinen sich stark in ihrer Längen- und Breitenentwicklung zu unterscheiden, das Verhältnis zwischen der Länge und Breite scheint auf Individuenebene aber relativ eng zu sein. Beim Mischen mehrerer Absaaten werden die engen Zusammenhänge zusehends verwischt. Bei der Einsammlung wurde stets versucht, den Fremdsamenanteil möglichst gering zu halten. Die im Verhältnis hohen Korrelationen deuten darauf hin, dass von einem sehr niedrigen Fremdsamenanteil ausgegangen werden kann.

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Eicheln von Absaaten guter Einzelbäume sind im Mittel länger, breiter und damit schwerer und voluminöser als die Absaaten der schlechten Einzelbäume. Generell kann aus den Ergebnissen aber nicht abgeleitet werden, dass Eicheln von phänotypisch guten Einzelbäumen immer größer sind. Größe und Form von Stiel- und Trauben-Eicheln variieren enorm. Die Größenunterschiede zwischen den Arten sind im Vergleich zur intra- und interindividuellen Variation gering (AAS und FRIEDRICH, 1991). Des Weiteren haben viele äußere Faktoren einen Einfluss auf die individuelle Ausprägung der Eicheln. Danach entscheiden das Wasserangebot, physikalische und chemische Bodeneigenschaften, Licht und Wärme über den Bau und den Gehalt der Eicheln (OELKERS, 1913). Das führt dazu, dass Merkmale von Eicheln eines Baumes innerhalb eines Jahres und zwischen verschiedenen Jahren variieren (BROOKES und WIGSTON, 1979). In seinen Untersuchungen zeigte BURGER (1921), dass das Tausendkorngewicht beim gleichen Baum in unterschiedlichen Erntejahren bis zu 1,4 kg schwanken kann. KLEINSCHMIT (1976) berichtete, dass die Eichelgewichte auf Einzelbaumebene bei der Stiel-Eiche um 150 % und bei der Trauben-Eiche um bis zu 187 % zwischen den Jahren schwanken können. Zusätzlich stellte er fest, dass der Erntezeitpunkt einen erheblichen Einfluss auf das Gewicht der Eicheln hat. Zu Beginn des Fallzeitraumes fallen zuerst die leichteren und später auch schwerere Früchte. Dieser Zusammenhang kann auch maßgeblich für die Unterschiede bei den Einzelbaumabsaaten verantwortlich sein.

#### **8.4.2 Tausendkorngewichte der Einzelbaumabsaaten**

In der vorliegenden Arbeit wurden Tausendkorngewichte von 0,9 kg bis 6,6 kg ermittelt. Die ermittelten Werte liegen für die Trauben-Eiche großteils im Bereich der Werte anderer Autoren (BURGER, 1921; KRAHL-URBAN, 1959; KLEINSCHMIT, 1976; MAJOR, 2002; MARTINIK et al., 2014). In einigen Untersuchungen werden bei der Stiel-Eiche auch höhere Tausendkorngewichte von bis zu 8,9 kg erwähnt (CIESLAR, 1923; EITINGEN, 1926; JONES, 1959; NIKOLIC und ORLOVIC, 2002). Wenige Autoren berichten bei der Stiel-Eiche aber auch von Tausendkorngewichten von annähernd 12 kg (BAUR, 1880; OVERTON und MACRAE, 1959; BROOKES und WIGSTON, 1979). ROTH (2009)

ermittelte in einer Untersuchung ebenfalls Tausendkorngewichte von annähernd 12 kg, jedoch für die Trauben-Eiche. Die extrem hohen Tausendkorngewichte sollten jedoch als Ausnahmen betrachtet werden. Relativ einheitlich gestaltet sich hingegen die untere Gewichtsgrenze. Diese kann übereinstimmend mit anderen Untersuchungen bei ca. einem Kilogramm für die Trauben-Eiche angesetzt werden (BURGER, 1921; OVINGTON und MACRAE, 1959; BROOKES und WIGSTON, 1979). Die Differenzen zwischen dem Tausendkorngewicht von kleinen und großen Eicheln betragen 1,8 kg (PG 33 und 43) bis 4,1 kg (PG 42). Ähnliche Gewichtsunterschiede wurden mit 3,6 bis 8,3 kg auch von anderen Autoren genannt (BAUR, 1880; EITINGEN, 1926; ROTH et al., 2009; TILKI, 2010).

Die Einzelbaumabsaaten guter Bäume zeigen gegenüber denen schlechte Bäume vielfach höhere Tausendkorngewichte. Zusammengefasst in Gruppen ist der Gewichtsunterschied bei allen Größensortierungen signifikant. Jedoch sind die in der vorliegenden Arbeit aufgeführten Tausendkorngewichte als Momentaufnahme zu verstehen. Wie schon bei den Einzelgewichten angeführt, sind sie sehr stark von äußeren Faktoren abhängig und können daher von Jahr zu Jahr beträchtlich schwanken. Die Wahrscheinlichkeit ist daher sehr groß, dass die Absaaten der guten Bäume nur zufällig schwerer sind. Es könnte aber auch sein, dass die guten Bäume bessere Wuchs- und Entwicklungsbedingungen haben (von Durchforstungen begünstigt) und dadurch deutlich vitaler sind als die schlechteren Bäume des Bestandes. Diese besser versorgten Bäume hätten dann mehr Ressourcen für größere Eicheln zur Verfügung.

### 8.4.3 Pflanzenprozent der Einzelbaumabsaaten

Mit Keimfähigkeit wird das Potential bezeichnet, einen Keim auszubilden. Als Pflanzenprozent bezeichnet man die prozentuale Ausbeute an Sämlingen aus einer bestimmten Zahl von Körnern in der Freilandsaat. Zwischen Keimfähigkeit und Pflanzenprozenten besteht jedoch ein enger Zusammenhang (DENGLER, 1982). Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Pflanzenprozent streuen mit 6,1 % bis weit über 100 % stark zwischen den Prüfgliedern (siehe Abb. 8.6). Vergleichbar mit anderen Untersuchungen sind aber nur die Werte, die mit den repräsentativen Eicheln erzielt wurden. Die Ergebnisse der kleinen und großen Sortierungen können mangels anderer Arbeiten nicht eingeordnet werden. Ältere Untersuchungen zeigten, dass abhängig vom Versuch ebenfalls recht unterschiedliche Pflanzenprozent erreicht werden können. In Aussaatversuchen mit Stiel-Eiche in Skandinavien konnten Pflanzenprozent von 70 bis 90 % festgestellt werden (LÖF et al., 2014). Bei Aussaatversuchen auf Freiflächen in Südfinnland wurden über alle Behandlungsstufen hinweg Pflanzenprozent von 66 % ermittelt (VALKONEN, 2008). In einem Forschungsvorhaben zur Etablierung einer Standardmethode zur genetisch nachhaltigen Ernte von forstlichem Vermehrungsgut in zugelassenen Saatguterntebeständen wurde ebenfalls Material in einer Baumschule ausgesät. Mit der Bonitur im ersten Wuchsjahr konnten Anwuchsprozent von 27 bis 74 % ermittelt werden (DEGEN et al., 2012). In Versuchen mit unterschiedlichen Aussaattiefen wurden in Abhängigkeit der Tiefe Werte von 30 % bis 60 % ermittelt. BURGER (1921) verwendete Einzelbaumabsaaten unterschiedlicher Jahre für seine Absaatversuche und erzielte Pflanzenprozent von 2 bis 80 %. Damit liegen die in dieser Arbeit ermittelten Werte

im Bereich anderer Untersuchungen. Innerhalb eines Prüfgliedes streuen die Werte ebenfalls zwischen den Sortierungen der kleinen, repräsentativen und großen Eicheln recht stark. Eine andere Untersuchung kommt ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die Keimfähigkeit mit geringerem Eichelgewicht abnimmt. Beträgt sie bei Eicheln von weniger als 0,5 g ca. 47 % steigt sie bei schwereren Eicheln auf 90 % an (SHAW, 1968a).

Während der Eichelsammlung wurde darauf geachtet, nur offensichtlich intakte Eicheln einzusammeln. Daher verwundern die z.T. sehr niedrigen Pflanzenprozentage, die von einigen Prüfgliedern erzielt wurden. Verschiedene Faktoren, die einen erheblichen Einfluss auf die Keimfähigkeit haben, können dafür angeführt werden. Zu nennen sind hier das Austrocknen der Eicheln oder der Befall mit Pilzen (WATT, 1919; OLSON und BOYCE, 1971; SHAW, 1968b). Beide Ursachen können jedoch wahrscheinlich ausgeschlossen werden, weil die Eicheln bei feuchtem Wetter gesammelt und umgehend thermotherapiert wurden. Vielmehr dürften der Reifezustand und Fallzeitpunkt der Eicheln entscheidend sein. Vorschädigungen, die von außen nicht sichtbar sind, kommen ebenfalls in Frage. Innerhalb eines Bestandes schwankten diese zwischen einzelnen Individuen. Die Einzelbaumberntung fand innerhalb einer Woche statt. Möglicherweise wurden in diesem engen Zeitraum Bäume beerntet, die sich erst seit kurzem in der Fallperiode befanden oder schon länger darin waren. Diese Tatsache hat einen erheblichen Einfluss auf die Qualität des Saatgutes. Daher sollten nach Möglichkeit Eicheln erst ab der Mitte der Fallperiode gesammelt werden (KLEINSCHMIT, 1976). Eine Untersuchung zeigte, dass zuerst die Eicheln mit der geringsten Qualität zu Boden fallen. Am Ende des Eichelfalls steigt die Keimfähigkeit von 13 bis 36 % auf 60 bis 85 % an (MARTINIK et al., 2014). Zum gleichen Ergebnis kommt BURGER (1921). Im direkten Vergleich der Pflanzenprozentage zwischen reifen und unreifen Eicheln eines Einzelbaumes lieferten die unreifen Absaaten immer niedrigere Pflanzenprozentage.

In der vorliegenden Untersuchung liegen die Pflanzenprozentage der guten Bäume unter denen der schlechten. Über alle Bestände hinweg und auf Bestandesebene sind die Pflanzenprozentage zum Großteil bei allen Größensortierungen signifikant verschieden (vgl. Tabellen 8.8, 8.9 und 8.10). Die unterschiedlichen Fallzeitpunkte könnten auch hierfür eine Erklärung sein. Es könnte durchaus sein, dass die schlechten Bäume sich schon länger in der Fallperiode befanden und die Qualität des ausgesäten Saatgutes dadurch besser war, als die der guten Bäume.

Die Prüfglieder 38 und 45 stechen durch ihre Pflanzenprozentage jenseits der 100 % hervor. Beim Ausheben der Pflanzen zeigte sich in einem besonders hohen Maße das Phänomen der Mehrsamigkeit (vgl. dazu Abbildung A.27 a und b im Anhang). Scheinbar buschig wachsende Pflanzen ließen sich vielfach in eigenständige Individuen mit eigener Wurzel trennen und wurden folglich einzeln aufgenommen. Dadurch konnten von den genannten Prüfgliedern mehr Pflanzen gezählt werden als ursprünglich Eicheln gesät wurden. Das Phänomen der Mehrsamigkeit wurde erstmals 1870 und später von weiteren Autoren erwähnt und beschrieben (HARTIG, 1870; COKER, 1904; JACK, 1914; SMITH, 1914). Mehrsamigkeit kann bei den Eichen auftreten, weil in der Blüte 6 Eizellen vorhanden sind, von denen in der Regel nur eine befruchtet und entwickelt wird (JOVANOVIC und TUCOVIC, 1975; MOGENSEN, 1975). Unter bestimmten Umständen bilden sich jedoch mehr als eine Eizelle zu einem Samen aus. Der Grund für Mehrsamigkeit ist noch

nicht vollständig geklärt. Es wird aber davon ausgegangen, dass Mehrsamigkeit vorteilhaft gegen Fraßschädlinge ist. Bei Insektenfraß an Eicheln mit mehreren Embryonen hat wenigstens einer bessere Chancen, nicht gefressen zu werden (GARRISON und AUGSPURGER, 1983). Die Untersuchungen zeigen ebenfalls übereinstimmend, dass bestimmte Bäume einen besonders hohen Drang zur Ausbildung von Mehrsamigkeit haben (JONES, 1959). Vielfach werden nur 2 Sämlinge je Frucht ausgebildet, jedoch wird auch von 4 (STEVENS und MATTHEW, 1988) und sogar 6 Sämlingen berichtet (HARTIG, 1870). Beim Ausheben der Pflanzen wurden hier bis zu 4 Sämlinge je Frucht registriert. Gleichermaßen übereinstimmend zeigten einige Pflanzen die Eigenschaft, dass ihre Hauptwurzel verwachsen war und nur die oberirdischen Triebe getrennt erschienen (HOSNER, 1959) (vgl. dazu Abbildung A.27 c und d im Anhang).

#### **8.4.4 Höhenwuchsleistung der Einzelbaumabsaaten**

Die im Samen gespeicherten Nährstoffe bilden das Startkapital eines jeden Sämlings (HARPER et al., 1970). Das Samengewicht ist daher besonders in den ersten Lebensjahren für das Wachstum der Pflanzen von besonderer Bedeutung (EITINGEN, 1926; ROHMEDE, 1972). Generell kann für die Eichen gesagt werden, dass größere und damit schwerere Eicheln größere Pflanzen hervorbringen (BAUR, 1879; BURGER, 1921; CIESLAR, 1923; JARVIS, 1963; LONG und JONES, 1996; BONFIL, 1998; GOMEZ, 2004; NAVARRO et al., 2006; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ et al., 2011; POPOVIĆ et al., 2015). Im Saatbeet sind von den Prüfgliedern große, repräsentative und kleine Eicheln getrennt ausgesät worden. Der oben genannte Zusammenhang ist bei allen Einzelbaumabsaaten sichtbar. Von der großen zur kleinen Sortierung werden die Pflanzen im Mittel niedriger. Ähnliche Versuche mit größensortierten Eicheln wurden zuerst von BAUR im Jahre 1880 und später von weiteren Forstleuten angelegt. Alle Versuche kommen ebenfalls zu den gleichen Ergebnissen (BAUR, 1880; EITINGEN, 1926; HEISEKE, 1984; ROTH et al., 2009; ROTH et al., 2011).

Innerhalb der Größensortierungen zeigen die Prüfglieder ein differenziertes Wachstum. Deutlich wird dies durch unterschiedlich lange Boxen und Whisker (siehe Abbildung 8.7). Der Einfluss von unterschiedlichen Eichelgewichten kann innerhalb einer Größensortierung ausgeschlossen werden, weil die Wiederholungen der Größensortierung und damit die einzelnen Eicheln recht einheitliche Gewichte zeigen (vgl. Abb. 8.5). Neben der Samengröße kann die Konkurrenzsituation der Einzelpflanze als Ursache für unterschiedliches Höhenwachstum angesehen werden (LANDERGOTT et al., 2012). Seitenlicht, welches von Pflanzen reflektiert wird, zeigt eine andere Wellenlängenverteilung. Bedeutend sind die Bereiche Rot und Nahrot. Pflanzen verfügen über Phytochrome (Proteine), die die unterschiedlichen Wellenlängen absorbieren und damit die Lichtqualität in der näheren Umgebung registrieren können (MORGAN und SMITH, 1976). Die Pflanze reagiert bei sich ändernden Lichtverhältnissen mit einem gesteigerten Höhenwachstum (MORGAN et al., 1983; GILBERT et al., 1995; RITCHIE, 1997; AMMER, 2003) und kann so auf Konkurrenten reagieren bevor sie selbst überwachsen wird.

Als weitere Möglichkeit könnte ein mütterlicher Effekt in Betracht gezogen werden. In einer Untersuchung konnte nachgewiesen werden, dass aus Eicheln derselben Größe nicht zwangsläufig gleich starke, sondern vielmehr sehr verschiedene Pflanzen hervorgehen (BAUR, 1879). In einer

anderen Untersuchung konnte als signifikanter Effekt auf die Wuchshöhe neben dem Eichelgewicht die Mutter ausgewiesen werden (LANDERGOTT et al., 2012). Eicheln unterschiedlicher Mütter nutzen unterschiedlich effektiv die in der Eichel gespeicherten Reservestoffe (GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ et al., 2011). Zum Ausdruck kommt dies durch unterschiedlich starkes Wachstum im ersten Lebensjahr. Die Eicheln für den Absaatenversuch wurden mit größter Sorgfalt gesammelt. Es kann jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass Saatgut von Nachbarbäumen mit eingesammelt wurde. Eine breite Streuung der Messwerte könnte daher eine Verunreinigung des Saatgutes bedeuten. Absolute Gewissheit können aber nur genetische Analysen liefern.

Pflanzen von guten Einzelbäumen sind im Mittel höher als die von schlechten Bäumen. Dieser Zusammenhang ist jedoch nur bei drei Paarvergleichen signifikant. Bei allen weiteren Paarvergleichen ist der Unterschied nicht ausgeprägt genug (vgl. Tab. 8.11, 8.12 und 8.13). Anscheinend überlagert der Faktor Eichelgewicht in den ersten Jahren alle weiteren Faktoren, sodass keine Aussagen bezüglich der Wuchsleistung gemacht werden können. In dem Absaatenversuch von EITINGEN (1926) glichen sich die Pflanzhöhen der aus verschiedenen großen Eicheln hervorgegangenen Pflanzen erst nach mehreren Jahren langsam an. Abschließend muss gesagt werden, dass der Absaatenversuch noch zu jung ist, um belastbare Ergebnisse zu liefern.

#### **8.4.5 Wurzelhalsdurchmesser der Einzelbaumabsaaten**

Für jede Forstpflanze ist die vorhandene Wurzelmasse von besonderer Bedeutung. Besitzt die Pflanze einen gut ausgeprägten Wurzelkörper mit vielen Feinwurzeln kann sie sich am neuen Standort besser etablieren und die vorhandenen Ressourcen erschließen und nutzen. Der Wurzelhalsdurchmesser (WHD) steht in direktem Zusammenhang mit der vorhandenen Wurzelmasse (JACOBS et al., 2005; JACOBS und SEIFERT, 2004; DEY und PARKER, 1997; RUEHLE und KORMANIK, 1986; WILSON und JACOBS, 2006). Größere Wurzelhalsdurchmesser werden deshalb für Forstpflanzen als positiv bewertet. Neben der Wuchshöhe wird der WHD daher häufig als weiteres Qualitätsmerkmal für Sämlingspflanzen verwendet (RITCHIE, 1984; PUTTONEN, 1989; MATTSSON, 1996; MOHAMMED, 1996).

Über die drei Größensortierungen der Eicheln zeigt sich, dass der WHD von der großen zur kleinen Sortierung abnimmt. Zum gleichen Ergebnis kommen auch die Untersuchungen anderer Autoren (EITINGEN, 1926; ROTH et al., 2011; POPOVIĆ et al., 2015). Die Eichelgröße beeinflusst demzufolge nicht nur das Höhenwachstum, sondern auch die Sproßentwicklung des Sämlings (AAS, 1998). Die Eicheln der phänotypisch guten Bäume waren über alle drei Größensortierungen im Mittel größer und schwerer als die der phänotypisch schlechten Bäume. Darum sind die größten WHD fast ausschließlich bei den Absaaten der guten Bäume zu finden. Die gemessenen WHD führen besonders bei der großen Sortierung zu signifikanten Unterschieden. Bei den anderen Sortierungen ist dies auf Grund sich angleichender Werte zum Großteil nicht mehr der Fall.

#### 8.4.6 Form der Einzelbaumabsaaten

Neben den Wachstumsparametern Pflanzenhöhe und Wurzelhalsdurchmesser sind Sprossmerkmale für die Bewertung der Forstpflanzenqualität von entscheidender Bedeutung. Qualitativ hochwertige Forstpflanzen verfügen über einen geraden Schaft, sind wipfelschäftig und zeigen keinen Zwieselwuchs (MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ BADEN-WÜRTEMBERG, 2013; ANONYMUS, 2010). Qualitativ hochwertiges Pflanzenmaterial bildet die Grundlage für wertige Bestände im späteren Alter. So kann ein fehlerhaftes Wachstum in der Jugend zu ungünstigen Schaftformen im späteren Alter führen (MAYR, 1909). In Untersuchungen an 17-jährigen Eichen konnte nachgewiesen werden, dass mehrmalige Verzweiselung als Ursache für Knickwuchs in Frage kommen kann (LEIBUNDGUT, 1945). Zwar werden z.B. Grünästungen oder sogenannte Formschnitte in jungen Beständen zur Steigerung der Pflanzenqualität diskutiert (KRAHL-URBAN, 1959; HOCHBICHLER, 1993), jedoch wiederholen sich bei innerer Veranlagung die Wuchsfehler, sodass der erwünschte Effekt bei einmaliger Behandlung nur von kurzer Dauer ist.

Pflanzen mit einer durchgehenden Hauptstammachse (1. und 2. Formstufe) scheinen nach den vorherigen Ausführungen für die Forstpflanzenproduktion besonders geeignet zu sein. Pflanzen mit einer sich auflösenden oder gar keiner Hauptstammachse (3. und 4. Formstufe) sind hingegen für die Produktion qualitativ hochwertiger Pflanzen ungeeignet. Besonders im jungen Alter bilden Eichen mehrere Gipfeltriebe aus, von denen sich nach einigen Jahren ein Trieb als Stammachse durchsetzt (LEIBUNDGUT, 1976). Jedoch bleibt in vielen Fällen eine Knickstelle zurück, die sich unter Umständen nicht mehr vollständig verwächst. Besonders Pflanzen der 4. Formstufe sind nicht nur ungeeignet, sondern werden in vielen Fällen beim Verschulen aussortiert (Gärtnermeister H. Frege mündlich). Pflanzen dieser Art stellen bei der Forstpflanzenproduktion einen Totalverlust dar und sind daher als besonders negativ zu bewerten.

Die Formstufe 1 nimmt über alle Prüfglieder hinweg den größten Anteil ein. Dies betrifft die Einzelbaum- wie auch die Bestandesabsaaten. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch eine Untersuchung über das Wachstum junger Eichen unter Schirm. Wipfelschäftige Individuen nehmen auch hier den größten Anteil ein (HAUSKELLER-BULLERJAHN, 1997). Zwischen den Größensortierungen der Einzelbaumabsaaten nimmt der Anteil von der großen zur kleinen Sortierung zu. Die Anteile der Pflanzen mit einer stärker ausgeprägten Verzweigung nehmen ab. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch EITINGEN (1926) in seinen Untersuchungen. Er stellte fest, dass Pflanzen aus größeren Eicheln eine stärkere Verzweigung aufweisen als Pflanzen aus kleinen Eicheln.

Zwischen den einzelnen Prüfgliedern zeigen sich deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Formstufen. In seinem Stiel-Eichen Absaatenversuch konnte CIESLAR (1923) ebenfalls deutliche Formunterschiede im Alter von 18 Jahren zwischen den jeweiligen Einzelbaumsabsaaten nachweisen. So schwankt der Anteil der ganz geraden Stämme im Verhältnis zu den nicht ganz geraden Stämmen zwischen einzelnen Nachkommenschaften beträchtlich. Er kommt ebenfalls zu der Erkenntnis, dass ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Gestalt der Mutter und

deren Nachkommen besteht. Durch die hier vorliegenden Ergebnisse kann aber nicht eindeutig zwischen phänotypisch guten und schlechten Bäumen unterschieden werden, weil sich in beiden Gruppen die Zusammensetzung der Formstufen stark unterscheiden. Auffällig ist jedoch, dass die niedrigsten Anteile der 1. Formstufe vom Sonderbaum (PG 41) und einem phänotypisch schlechten Samenbaum (PG47) erzielt werden.

Der Phänotyp eines Baumes wird, wie bereits erwähnt, durch die Umwelt und seine Genetik bestimmt (ROHMEDEK und SCHÖNBACH, 1959). Bei der niedrigen Prüfgliedanzahl ist es daher durchaus möglich, dass bei einigen Bäumen der Umwelteinfluss überwiegt und die Genetik in den Hintergrund rutscht. Anscheinend können phänotypisch schlechte Bäume daher Nachkommen mit guten Eigenschaften hervorbringen. Umgekehrt gilt für phänotypisch gute Bäume das gleiche. Eine weitere Erklärung kann der väterliche Pollenbeitrag liefern. Wird eine schlechte Mutter von einem deutlich besseren Vater bestäubt, kann dies die Leistungs- und Formeigenschaften ebenfalls beeinflussen. Die Ergebnisse können dadurch so beeinflusst werden, dass ein eindeutiger Trend nicht festzustellen ist. Hier besteht zusätzlicher Klärungsbedarf, der nur über die Anlage weiterer, mit größeren Prüfgliedzahlen bestückter Versuche und noch deutlicheren phänotypischen Unterschieden gedeckt werden kann.

Hinsichtlich der Formansprache ist die bisherige Versuchslaufzeit für eine Bewertung noch zu früh. Faktoren wie pflanzenverfügbarer Wuchsraum und Johannistrieb können z.B. die inneren Anlagen überdecken. Vergleichbare Literatur ist kaum zu finden. Lediglich in einem Experiment über die Reaktion von ein- und zweijährigen Stiel- und Traubeneichen bei unterschiedlichen Strahlungsverhältnissen wurde die Morphologie der Pflanzen erfasst. Diese beziehen sich aber nur auf die Ausbildung von Seitenästen (ZIEGENHAGEN, 1989). Damit sind die Ergebnisse nicht mit denen dieser Arbeit vergleichbar. In einem weiteren Versuch über das Wachstum junger Eichen unter Schirm wird die erste Formbonitur erst nach vier Jahren auf der Versuchsfläche erfasst (HAUSKELLER-BULLERJAHN, 1997). In vielen anderen Versuchen werden die Formbonituren erst zu viel späteren Zeitpunkten durchgeführt (CIESLAR, 1923; BURGER, 1949; GUERICKE, 1996; DONG et al., 2007a; DONG et al., 2007b). Einige Untersuchungen kommen ebenfalls zu dem Schluss, dass die Ansprache von Formmerkmalen in der Jugend sehr schwierig ist. Zu nennen wäre hier der Zwieselwuchs. Dieser kann bei Aufnahmen in jungen Jahren häufig erkannt, aber zu späteren Aufnahmezeitpunkten nicht immer in der gleichen Anzahl bestätigt werden (LEIBUNDGUT, 1976; MOSANDL et al., 1991; DONG et al., 2007b). Das zeigt deutlich, wie unvorhersehbar sich junge Eichen hinsichtlich ihrer Qualität im Laufe der Zeit verändern und entwickeln. Präzise Vorhersagen über die Entwicklung der Form können wohl erst ab dem Baumholzalter gemacht werden (SCHAPER, 1978).

#### **8.4.7 Erkenntnisse für das Saatguterntekonzept und abschließende Diskussion**

Die verwendeten Eicheln der Einzelbaum- und Bestandesabsaat (kommerzielle Ernten) liegen im Variationsbereich anderer Untersuchungen, sodass keine durch das Material bedingten Verzerrungen zu befürchten sind. Daher können die in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse als auch in der Praxis realisierbar bezeichnet werden.

Die engen Längen-Breiten-Korrelationen der Einzelbaumabsaaten in Verbindung mit anderen Merkmalen wie Färbung und Form erlauben in gewissen Umfang bei der Gewinnung von Saatgut auf Einzelbaumebene fremde Eicheln bereits mit bloßem Auge zu erkennen und auszusortieren. Dieser Aspekt mag zwar für eine Anwendung bei kommerziellen Einzelbaum-Berntungen wenig praktikabel sein, für Untersuchungszwecke kann dieses Vorgehen aber durchaus sinnvoll sein, wenn keine genetischen Überprüfungen möglich sein sollten.

Der Erntezeitpunkt ist eine sehr wichtige Komponente und entscheidet maßgebend über die Pflanzenprozentage des Saatgutes. Zur Ernteoptimierung könnten die verschiedenen Erntezeitpunkte der Einzelbäume bei einer Einzelbaumbeerntung berücksichtigt werden. Ob dieser Mehraufwand gerechtfertigt ist, muss aber noch geprüft werden.

Die Größe der Eicheln bestimmt im ersten Jahr im erheblichen Umfang das Wachstum der jungen Pflanzen. Absaaten der phänotypisch guten Bäume zeigten über alle Sortierungen im Mittel höhere Tausendkorngewichte. Daraus resultieren besser wachsende Nachkommen, was durchaus Vorteile bei der Pflanzenanzucht für die Baumschulen verspricht.

Für die Bewertung der Absaaten wurden die Merkmale Wuchshöhe, Wurzelhalsdurchmesser und Form herangezogen. Alle Aufnahmen erfolgten nach einer Vegetationsperiode und damit zu einem sehr geringen Alter und Entwicklungsstand der Pflanzen. Das bedeutet, dass für die Pflanzenentwicklung bislang die genetischen Unterschiede weniger bedeutsam waren als die Umweltbedingungen. Der Versuchsaufbau kann ebenfalls als mögliche Fehlerquelle angesehen werden. Hier muss besonders auf den zu großen Wuchsraum der Einzelbaumabsaaten hingewiesen werden. Dieser könnte insbesondere die wuchskräftigen Absaaten schon früh zum Wuchs in die Breite verleitet haben.

Als Arbeitshypothese wurde angenommen, dass Nachkommen von phänotypisch guten Einzelbäumen im Wuchs- und Formverhalten denen von phänotypisch schlechten Bäumen überlegen sind. Bezüglich der Wuchshöhe nach einer Vegetationsperiode zeigen die Absaaten guter Bäume bei allen Größensortierungen im Mittel eine Wuchsüberlegenheit. Signifikante Unterschiede bestehen jedoch nur in den wenigsten Fällen. Ab der repräsentativen Sortierung (Eichelgröße) können die Nachkommen von schlechten Bäumen im Bestandesvergleich höhere mittlere Wuchshöhen aufweisen als Nachkommen der guten Bäume. Beim Wurzelhalsdurchmesser zeigen die Nachkommen phänotypisch guter Bäume ebenfalls bei allen Größensortierungen im Mittel eine Wuchsüberlegenheit. Im Gegensatz zur Höhenwuchsleistung ist der Unterschied vielfach signifikant. Bezüglich der Wuchsform unterscheiden sich die Nachkommen von schlechten und guten Bäumen nur wenig. Signifikante Unterschiede liegen bei keiner Größensortierung vor. Mit Daten dieses Entwicklungsstandes der Eichen lässt sich diese Arbeitshypothese daher nicht stützen. Hier wären noch weitere Aufnahmen bzw. neue Einsammlungen und Aussaaten unter noch enger definierten Bedingungen mit größerem Stichprobenumfang und längerer Beobachtungsdauer erforderlich.

# Literaturverzeichnis

- QGIS Development Team (2021). *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association.
- R Core Team (2018). *R: A Language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- AAS, G. (1991). Kreuzungsversuche mit Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 162(8):141–145.
- AAS, G. (1993a). Taxonomical impact of morphological variation in *Quercus robur* and *Q. petraea*: a contribution to the hybrid controversy. *Annals of Forest Science*, 50(Supplement 1):107–113.
- AAS, G. (1993b). Ungewöhnlich frühe Fruktifikation bei Eiche. *AFZ-DerWald*, 58(18):940–942.
- AAS, G. (1994a). *Quercus petraea* L., 1753. In: SCHÜTT, P., SCHUCK, J., AAS, G., und LANG, A., Hrsg., *Enzyklopädie der Holzgewächse. Handbuch und Atlas der Dendrologie. 20. Erg. Lfg. 6/00, III-2, S. 1-15*.
- AAS, G. (1994b). *Quercus robur* L., 1753. In: SCHÜTT, P., SCHUCK, J., AAS, G., und LANG, A., Hrsg., *Enzyklopädie der Holzgewächse. Handbuch und Atlas der Dendrologie. 30. Erg. Lfg. 12/02, III-2, S. 1-14*.
- AAS, G. (1995). Die Behaarung der Blätter von Traubeneiche und Stieleiche (*Quercus petraea* und *Quercus robur*): Variabilität und taxonomische Bedeutung. In: MAURER, W. und TABEL, U., Hrsg., *Genetik und Waldbau unter besonderer Berücksichtigung der heimischen Eichenarten*, S. 297–309. Mitteilungen der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz 34.
- AAS, G. (1997). Sind Stiel- und Traubeneiche zwei getrennte Arten? *AFZ-DerWald*, 52(18):960–962.
- AAS, G. (1998). *Morphologische und ökologische Variation mitteleuropäischer Quercus-Arten: Ein Beitrag zum Verständnis der Biodiversität*. Libri Botanici. IHW-Verlag, Eching bei München.
- AAS, G. (2007). Traubeneiche (*Quercus petraea*): Systematik, Morphologie und Ökologie. In: *Beiträge zur Traubeneiche*, LWF Wissen 75, S. 6–13. Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.

- AAS, G. und FRIEDRICH, K. (1991). Untersuchungen zur morphologischen Unterscheidung von Stiel- und Traubeneiche. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 110(1):349–357.
- ABADIE, P., ROUSSEL, G., BENCAUSSE, B., BONNET, C., BERTOCCHI, E., LOUVET, J.-M., KREMER, A., und GARNIER-GÉRÉ, P. (2011). Strength, diversity and plasticity of postmating reproductive barriers between two hybridizing oak species (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt) Liebl.). *Journal of Evolutionary Biology*, 25(1):157–173.
- AG DBF/LII-KRONENZUSTAND (2001). *Kronenstrukturschlüssel für Alteichen*. Arbeitsgemeinschaft Dauerbeobachtungsflächen / LevelIII - Kronenzustand des Bundes und der Länder.
- AMMER, C. (1996). *Konkurrenz um Licht - Zur Entwicklung der Naturverjüngung im Bergmischwald*. Forstliche Forschungsberichte München; 158. Universität München, Forstwissenschaftliche Fakultät.
- AMMER, C. (2003). Growth and biomass partitioning of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. seedlings in response to shading and small changes in the R/FR-ratio of radiation. *Annals of Forest Science*, 60(2):163–171.
- ANNINGHÖFER, P., BECKSCHÄFER, P., VOR, T., und AMMER, C. (2015). Regeneration Patterns of European Oak Species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L.) in Dependence of Environment and Neighborhood. *Plos one*, 10(8):1–16.
- ANONYMUS (2010). *Zur Qualität von Forstpflanzen*. Erzeugergemeinschaft für Qualitätsforstpflanzen Süddeutschland e.V.
- ANONYMUS (2017a). Forstvermehrungsgutrecht: Empfehlungen des gemeinsamen Gutachterausschusses (gGA) der Länder für die Umsetzung. <https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Saat-und-Planzgut/Empfehlungen.pdf>.
- ANONYMUS (2017b). Mitgliederversammlung der EZG. *AFZ-DerWald*, 72(22):30–31.
- AREND, M., BREM, A., KUSTER, T. M., und GÜNTARD-GOERG, M. S. (2013). Seasonal photosynthetic responses of European oaks to drought and elevated daytime temperature. *Plant Biology*, 15(1):1–8.
- ASSMANN, E. (1961). *Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen*. BLV Verlag, München, Bonn, Wien.
- ASSMANN, E. (1970). *The principles of forest yield study: studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands*. Pergamon Press, Oxford.
- ATTOCCHI, G. (2013). Effects of pruning and stand density on the production of new epicormic shoots in young stands of pedunculate oak (*Quercus robur* L.). *Annales of Forest Science*, 70(7):663–673.

- BACILIERI, R., DUCOUSSO, A., und KREMER, A. (1994). Genetic, morphological, ecological and phenological differentiation between *Quercus petraea* (MATT.) LIEBL. and *Quercus robur* L. in a mixed stand of northwest of France. *Silvae Genetica*, 44(1):1–10.
- BACILIERI, R., DUCOUSSO, A., PETIT, R. J., und KREMER, A. (1996). Mating System and Asymmetric Hybridization in a Mixed Stand of European oaks. *Evolution*, 50(2):900–908.
- BACILIERI, R., ROUSSEL, G. H., und DUCOUSSO, A. (1993). Hybridization and mating system in a mixed stand of sessile and pedunculate oak. *Annals of Forest Science*, 50(Supplement 1):122–127.
- BALLIAN, D., BELETTI, P., FERRAZZINI, D., BOGUNIĆ, F., und KAJBA, D. (2010). Genetic variability of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) in Bosnia and Herzegovina. *Periodicum Biologicum*, 112(3):353–362.
- BARTELHEIMER, P. (1991). Ökonomische Aspekte der Eichenwirtschaft. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 110(1):185–195.
- BARZDAJN, W. (1993). Preliminary results of an experiment with Polish provenances of pedunculate oak (*Quercus robur* L) and sessile oak (*Q. petraea* [Matt] Liebl). *Annals of Forst Science*, 50(Supplement 1):222–227.
- BARZDAJN, W. (2002). The variability of dimensions of *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. acorns in Poland. *Dendrobiology*, 47:21–24.
- BAUR, F. (1879). Einfluss der Größe der Saateicheln auf die Entwicklung der Pflanzen. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 57:177–178.
- BAUR, F. (1880). Untersuchung über den Einfluss der Größe der Eicheln auf die Entwicklung der Pflanzen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 2:605–609.
- BECK, W. (2010). Auswirkungen von Trockenheit und Hitze auf den Waldzustand in Deutschland. In: NAGEL, J., Hrsgg., *Sektion Ertragskunde Jahrestagung 17.-19. Mai 2010*, S. 56–65. Deutscher Verband Forstlicher Versuchsanstalten.
- BERGMANN, F. und HOSIUS, B. (1996). Genetische Variation innerhalb und zwischen Waldbaumarten: Biochemische und populationsgenetische Determinanten der Isoenzym polymorphismen. In: MÜLLER-STARCK, G., Hrsgg., *Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft*. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg.
- BERTILLER, R. und MÜLLER, R. (2010). *Biodiversität im Eichenwald*. proQuercus Merkblatt 05.
- BILKE, G. (2004). *Waldumbau in Norddeutschland durch Eichennachzucht in Mortzfeldschen Löchern*. Dissertation, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau.

- BLE (2018). Erhebung zur Versorgungssituation von forstlichem Vermehrungsgut im Bundesgebiet. Download: [https://www.ble.de/DE/Themen/Wald-Holz/Forstliches-Vermehrungsgut/forstliches-vermehrungsgut\\_\\_node.html](https://www.ble.de/DE/Themen/Wald-Holz/Forstliches-Vermehrungsgut/forstliches-vermehrungsgut__node.html).
- BMUB (2014). *Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. 180 Seiten.
- BOGDAN, S., IVANKOVIĆ, M., TEMUNOVIĆ, M., MORIĆ, M., FRANJIĆ, J., BOGDAN, K., und KATICIĆ, I. (2017). Adaptive genetic variability and differentiation of Croatian and Austrian *Quercus robur* L. populations at a drought prone field trial. *Annals of Forst Science*, 60(1):33–46.
- BOGDAN, S., KATICIĆ-TRUPCEVIĆ, I., und KAJBA, D. (2003). Genetic Variation in Growth Traits in a *Quercus robur* L. Open-Pollinated Progeny Test of the Slavonian Provenance. *Silva Genetica*, 53(5-6):198–201.
- BONFIL, C. (1998). The effects of seed size, cotyledon reserves, and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Quercus laurina* (FAGACEAE). *American Journal of Botany*, 85(1):79–87.
- BONFILS, P., DIETIKER, F., FÜRST, E., HORISBERGER, D., MEIER, S., MONNIN, M., SCHNEIDER, P., und WALTHER, H. (2010). *Die Samenernte bei der Eiche*. ProQuercus, Merkblatt 02, 2. Auflage.
- BONFILS, P., RIGLING, A., BRÄNDLI, U. B., BRANG, P., FORSTER, B., ENGESSER, R., GUGERLI, F., JUNOD, P., MÜLLER, R., und GÜNTHARDT-GOERG, M. S. (2015). Die Eiche im Klimawandel. Zukunftschancen einer Baumart. Merkblatt für die Praxis 55, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL.
- BONNER, J. und GALSTON, A. W. (1952). *Principles of plant physiology*. W. H. Freeman, San Francisco.
- BRANG, P., BUGMANN, H., BÜRGI, A., MÜHLETHALER, U., RIGLING, A., und SCHWITTER, R. (2008). Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen*, 159(10):362–373.
- BREZINA, I. und DOBROVOLNÝ, L. (2011). Natural regeneration of sessile oak under different light conditions. *Journal of Forest Science*, 57(8):359–368.
- BROOKES, P. C. und WIGSTON, D. L. (1979). Variation of morphological and chemical characteristics of acorns from populations of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Q. robur* L. and their hybrids. *Watsonia*, 12:315–324.
- BROUWER, W. und STÄHLIN, A. (1955). *Handbuch der Samenkunde für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwirtschaft*. DLG Verlag, Frankfurt am Main.

- BRÄNDLE, M. und BRANDL, R. (2001). Species richness of insects and mites on trees: expanding Southwood. *Journal of Animal Ecology*, 70(3):491–504.
- BUI TEVELD, J., BAKKER, E. G., BOVENSCHEN, J., und DE VRIES, S. M. G. (2001). Paternity analysis in a seed orchard of *Quercus robur* L. and estimation of the amount of background pollination using microsatellite markers. *Forest Genetics*, 8(4):331–337.
- BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (2013). Herkunftsgebiete für forstliches Vermehrungsgut nach Herkunftsgebietsverordnung für die Stiel- und Trauben-Eiche.
- BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (2013). Zusammenstellung über zugelassenes Ausgangsmaterial für forstliches Vermehrungsgut in der Bundesrepublik Deutschland (Stand: 01.07.2013) - korrigierte Fassung.
- BURGER, H. (1921). Über morphologische und biologische Eigenschaften der Stiel- und Traubeneiche und ihre Erziehung im Forstgarten. *Mitteilungen der Schweizerischen Centralanstalt für das forstliches Versuchswesen*, 21:306–377.
- BURGER, H. (1926). Die Verbreitung der Stiel- und Traubeneiche in der Schweiz. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 77(7-8):169–174.
- BURGER, H. (1944). Über die künstliche Begründung von Eichenbeständen. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, 23:283–373.
- BURGER, H. (1949). Einfluss der Herkunft des Samens auf die Eigenschaften der forstlichen Holzgewächse. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, 26:59–90.
- BURSCHEL, P. und HUSS, J. (1987). *Grundriß des Waldbaues - Ein Leitfaden für Studium und Praxis*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- BUSCHBOM, J., YANBAEV, Y., und DEGEN, B. (2011). Efficient Long-Distance Gene Flow into an Isolated Relict Oak Stand. *Journal of Heredity*, 102(4):464–472.
- BUTIN, H. (1996). *Krankheiten der Wald- und Parkbäume*. 3. neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York.
- BUSSLER, H. (2007). Käfer und Großschmetterlinge an der Traubeneiche. In: *LWF Wissen: Beiträge zur Traubeneiche*, LWF Wissen 75, S. 89–93. Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- CALLEN, D. F., THOMPSON, A. D., SHEN, Y., PHILLIPS, H. A., RICHARDS, R. I., MULLEY, J. C., und SUTHERLAND, G. R. (1993). Incidence and Origin of „null“ Alleles in the (AC)<sub>n</sub> microsatellite markers. *The American Journal of Human Genetics*, 52(5):922–927.
- CASAL, J. J. und SMITH, H. (1989). The function, action and adaptive significance of phytochrome in light-grown plants. *Plant, Cell and Environment*, 12(9):855–862.

- CHAPUIS, M. P. und ESTOUP, A. (2007). Microsatellite null alleles and estimation of population differentiation. *Molecular Biology and Evolution*, 24(3):621–631.
- CHESNOIU, E. N., SOFLETEA, N., CURTU, A. L., TOADER, A., RADU, R., und ENESCU, M. (2009). Bud burst and flowering phenology in a mixed oak forest from Eastern Romania. *Annals of Forest Research*, 52(1):199–206.
- CHETTLEBURGH, M. R. (1952). Observations on the collection and burial of acorns by jays in Hainault Forest. *British Birds*, 45:359–364.
- CHYBICKI, I. J. und BURCZYK, J. (2010). Realized gene flow within mixed stands of *Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Matt.) L. revealed at the stage of naturally established seedling. *Molecular Ecology*, 19:2137–2151.
- CIESLAR, A. (1923). Untersuchungen über die wirtschaftliche Bedeutung der Herkunft des Saatgutes der Stieleiche. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*, 49(4/6):97–149.
- CLARK, J. und WILSON, T. (2005). The Importance of Plus-Tree Selection in the Improvement of hardwoods. *Quarterly Journal of Forestry*, 99(1):45–50.
- COKER, W. C. (1904). Multiseeded Acorns. *Botanical Gazette*, 37:61–62.
- COLIN, F., NINGRE, F., FORTIN, M., und HUET, S. (2012). Quantification of *Quercus petraea* Liebl. forking based on a 23-year-long longitudinal survey. *Forest Ecology and Management*, 282:133–141.
- COLOMBO, P. M., LORENZONI, F. C., und GRIGOLETTO, F. (1983). Pollen grain morphology supports the taxonomical discrimination of mediterranean oaks (*Quercus*, *Fagaceae*). *Plant Systematics and Evolution*, 141(3-4):273–284.
- CORNELIUS, J. (1994). The effectiveness of plus-tree selection for yield. *Forest Ecology and Management*, 67:23–34.
- COUSENS, J. E. (1963). Variation of some diagnostic characters of the sessile and pedunculate oaks and their hybrids in Scotland. *Watsonia*, 5:273–286.
- COUSENS, J. E. (1975). The distribution of *Quercus robur* L., *Q. petraea* (Matt.) Liebl. and their hybrids in south-western England. *Watsonia*, 10:345–369.
- CRAFT, K. J. und ASHLEY, M. V. (2010). Pollen-mediated gene flow in isolated and continuous stands of bur oak, *Quercus macrocarpa* (*Fagaceae*). *American Journal of Botany*, 97(12):1999–2006.
- CURTU, A. L., GAILING, O., und FINKELDEY, R. (2009). Patterns of contemporary hybridization inferred from paternity analysis in a four-oak-species forest. *BMC Evolutionary Biology*, 9:1–9.

- CURTU, A. L., GAILING, O., LEINEMANN, L., und FINKELDEY, R. (2007). Genetic Variation and Differentiation Within a Natural Community of Five Oak Species (*Quercus spp.*). *Plant Biology*, 9(1):116–126.
- DAKOW, M. P. (1955). *Biologische Besonderheiten der Eiche und Maßnahmen zur Verbesserung ihrer Nachzucht*. Akademie Verlag, Berlin.
- DARLEY-HILL, S. und JOHNSON, W. C. (1981). Acorn dispersal by the Blue Jay (*Cyanocitta cristata*). *Oecologia*, 50(2):9–17.
- DE MENDIBURU, F. (2017). *agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.2.5.
- DE WINTER, J. C. F. (2013). Using the Student's t-test with Extremely Small Sample Sizes. *Practical Assessment Research Evaluation*, 18(10):1–12.
- DECOCQ, G., AUBERT, M., DUPONT, F., ALARD, D., SAGUEZ, R., WATTEZ-FRANGER, A., DE FOUCAULT, B., DELELIS-DUSOLIER, A., und BARDAT, J. (2004). Plant diversity in a managed temperate deciduous forest: understorey response to two silvicultural systems. *Journal of Applied Ecology*, 41(6):1065–1079.
- DEGEN, B., JOLIVET, C., ROGGE, M., FUSSI, B., KONNERT, M., CREMER, E., BECKER, F., und KÄTZEL, R. (2012). *Etablierung einer Standardmethode zur genetisch nachhaltigen Ernte von forstlichem Vermehrungsgut in zugelassenen Saatgutbeständen; Endbericht*. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Forstgenetik.
- DEGEN, B. und SCHOLZ, F. (1996). Der Einsatz des Simulationsmodells ÖKO-GEN zur Erarbeitung von Entscheidungshilfen für eine nachhaltige Forstwirtschaft. In: MÜLLER-STARCK, G., Hrsgg., *Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft*. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg.
- DEGEN, B., STREIFF, R., und ZIEGENHAGEN, B. (1999). Comparative study of genetic variation and differentiation of two pedunculate oak (*Quercus robur*) stands using microsatellite and allozyme loci. *Heredity*, 83(5):597–603.
- DEGUILLOUX, M. -F., DUMOLIN-LAPEGUE, S., GIELLY, L., GRIVET, D., und PETIT, R. J. (2003). A set of primers for the amplification of chloroplast microsatellites in *Quercus*. *Molecular Ecology Notes*, 3:24–27.
- DELATOUR, C. (1978). Recherche d'une méthode de lutte curative contre le *Ciboria batschiana* (Zopf) Buchwald chez les glands. *European Journal of Forest Pathology*, 8(4):193–200.
- DENGLER, A. (1930). *Waldbau auf ökologischer Grundlage*. Verlag von Julius Springer, Berlin.
- DENGLER, A. (1982). *Waldbau auf ökologischer Grundlage; Zweiter Band Baumartenwahl, Bestandesbegründung und Bestandespflege, 5. Auflage*. Verlag von Julius Springer, Berlin.

- DEY, D. C. und PARKER, W. C. (1997). Morphological indicators of stock quality and field performance of red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings underplanted in a central Ontario shelterwood. *New Forests*, 14(2):145–156.
- DONG, P. H., EDER, W., und MUTH, M. (2007a). Eichen-Nesterpflanzungen in Rheinland-Pfalz. In: DONG, P. H., Hrsgg., *Eiche im Pfälzerwald*, S. 4–22. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz 63/07.
- DONG, P. H., EDER, W., und MUTH, M. (2007b). Traubeneichen-Läuterungsversuche im Pfälzerwald. In: : DONG, P. H., Hrsgg., *Eiche im Pfälzerwald*, S. 57–77. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 63.
- DONG, P. H., EDER, W., und MUTH, M. (2007c). Traubeneichen-Durchforstungsversuche im Pfälzerwald. In: DONG, P. H., Hrsgg., *Eiche im Pfälzerwald*, S. 96–116. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz 63/07.
- DONG, P. H., MUTH, M., und ROEDER, A. (1997). Traubeneichen-Durchforstungsversuch in den Forstämtern Elmstein-Nord und Fischbach. *Forst und Holz*, 52(2):34–38.
- DOW, B. D. und ASHLEY, M. V. (1996). Microsatellite analysis of seed dispersal and parentage of saplings in bur Oak, *Quercus macrocarpa*. *Molecular Ecology*, 5(5):615–627.
- DOW, B. D. und ASHLEY, M. V. (1998). High levels of gene flow in bur oak revealed by paternity analysis using microsatellites. *Journal of Heredity*, 89(1):62–70.
- DOW, B.D., ASHLEY, M.V., und HOWE, H.F. (1995). Characterization of highly variable (GA/CT)<sub>n</sub> microsatellites in the bur oak, *Quercus macrocarpa*. *Theoretical and Applied Genetics*, 91:137–141.
- DUCOUSO, A., MICHAUD, H., und LUMARET, R. (1993). Reproduction and gene flow in the genus *Quercus* L. *Annales of Forest Science*, 50(Supplement 1):91–106.
- DUMOLIN, S., DEMESURE, B., und PETIT, R. J. (1995). Inheritance of chloroplast and mitochondrial genomes in pedunculate oak investigated with an efficient PCR method. *Theoretical and Applied Genetics*, 91(8):1253–1256.
- DUPOUEY, J. L. (1983). Analyse multivariable de quelques caractères morphologiques de populations de chênes (*Quercus robur* L. et *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) du Hurepoix. *Annals of Forest Science*, 40(3):265–282.
- DUPOUEY, J. L. und BADEAU, V. (1993). Morphological variability of oaks (*Quercus robur* L, *Quercus petraea* (Matt) Liebl, *Quercus pebescens* Willd) in northeastern France: preliminary results. *Annals of Forest Science*, 50(Supplement 1):35–40.
- DUPOUEY, J. L. und LE BOULER, H. (1989). Discrimination morphologique des glands de chênes sessile (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) et pédonculé (*Quercus robur* L.). *Annals of Forest Science*, 46(2):187–194.

- EARL, D. A. und VON HOLDT, B. M. (2012). STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. *Conservation Genetic Resources*, 4(2):359–361.
- EHRENREICH, J. H. und CROSBY, J. S. (1960). Herbage Production Is Related to Hardwood Crown Cover. *Journal of Forestry*, 58(7):564–565.
- EICKE, G. (1991). Das Blühen der Waldbäume 1991. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 46(17):858–861.
- EITINGEN, G. (1926). Der Wuchs der Eiche in Abhängigkeit von dem Gewicht der Eicheln. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 48(2):849–863.
- EL MOUSADIK, A. und PETIT, R. J. (1996). High level of genetic differentiation for allelic richness among populations of the argan tree [*Argania spinosa* (L.) Skeels] endemic to Morocco. *Theoretical and Applied Genetics*, 92(7):832–839.
- ELLENBERG, H. (1996). *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. 5. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- ELSNER, G. (1993). Morphological variability of oak stands (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) in northern Germany. *Annals of Forest Science*, 50(Supplement 1):228–232.
- EUFORGEN (2009a). Distribution maps of Pedunculate oak (*Quercus robur*). [www.euforgen.org](http://www.euforgen.org).
- EUFORGEN (2009b). Distribution maps of Sessile oak (*Quercus petraea*). [www.euforgen.org](http://www.euforgen.org).
- EUSEMANN, P., PREUSS, A., LIESEBACH, M., und LIESEBACH, H. (2017). Optimierte Saatgutqualität durch einzelbaumweise Beerntung - Eine Untersuchung an Buche (*Fagus sylvatica* L.). *Forstarchiv*, 88(1):17–23.
- EVANNO, G., REGNAUT, S., und GOUDET, J. (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology*, 14(8):2611–2620.
- FABRICIUS, L. (1932). Ursachen der Wasserreiserbildung an Eichen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 54(22):753–766.
- FEIGE, K., BRANDES, J., und KLEINSCHMIT, J. (2011). Saatgutbestände auf dem Prüfstand. *Land und Forst*, 16:46–47.
- FEILBERG, L. und SOEGAARD, B. (1975). Historical Review of Seed Orchards. In: FAULKNER, R. *Seed orchards. Forestry Commission Bulletin 54*, London.
- FINCH-SAVAGE, W. E., BLAKE, P. S., und CLAY, H. A. (1996). Desiccation stress in recalcitrant *Quercus robur* L. seeds results in lipid peroxidation and increased synthesis of jasmonates and abscisic acid. *Journal of Experimental Botany*, 47(5):661–667.

- FINCH-SAVAGE, W. E., CLAY, H. A., BLAKE, P. S., und BROWNING, G. (1992). Seed Development in the Recalcitrant Species *Quercus robur* L.: Water Status and Endogenous Abscisic Acid Levels. *Journal of Experimental Botany*, 43(5):671–679.
- FONTAINE, F., COLIN, F., JARRET, P., und DRUELLE, J. L. (2001). Evolution of the epicormic potential on 17-year-old *Quercus petraea* trees: first results. *Annals of Forest Science*, 58(5):583–592.
- FONTAINE, F., JARRET, P., und DRUELLE, J. L. (2002). Étude et suivi des bourgeons épïcormique à l'origine des gourmands chez le chênes sessile. *Revue Forestière Française*, 54:337–356.
- FORSTBW (2009). Der Orkan Lothar (26.12.1999) Zehn Jahre danach. Vortrag, Download am 24.10.2018.
- FOVDV (2002). Forstvermehrungsgut-Durchführungsverordnung vom 2002 (BGBl. I S. 4711; 2003 I S. 61).
- FOVG (2002). Forstvermehrungsgutgesetz vom 22. Mai 2002 (BGBl. I S. 1658), zuletzt geändert durch den Artikel 414 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474).
- FOVZV (2002). Forstvermehrungsgut-Zulassungsverordnung vom 20. Dezember 2002 (BGBl. I S. 4721; 2003 I S. 50).
- FOX, J. und WEISBERG, S. (2017). *car: Companion to Applied Regression*. R package version 2.1.5.
- FRANJIC, J., DALBELO-BASIC, C. B., und SKVORC, Z. (2001). Acorn form variability in the common oak (*Quercus robur* L.) in Croatia. *Sauteria*, 11:383–394.
- FRANKE, A. (1990). Prognose zur Pflanzgutversorgung der Forstbetriebe in Baden-Württemberg 1990/91. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 45(32):815–816.
- FRANKE, A. (1991). Pflanzgutversorgung 1991/92. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 46(17):862–864.
- FRANKE, A. (1992). Prognose zur Pflanzgutversorgung der Forstbetriebe in Baden-Württemberg. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 47(17):888–890.
- FRIEDRICHS, D. A., BÜNTGEN, U., FRANK, D. C., ESPER, J., NEUWIRTH, B., und LÖFFLER, J. (2009a). Complex climate controls on 20th century oak growth in Central-West Germany. *Tree Physiology*, 29(1):39–51.
- FRIEDRICHS, D. A., TROUET, V., BÜNTGEN, U., FRANK, D. C., ESPER, J., NEUWIRTH, B., und LÖFFLER, J. (2009b). Species-specific climate sensitivity of tree growth in Central-West Germany. *Trees*, 23(4):729–739.
- FUHRMANN, E. (1926). *Das Forstsaatgut in der deutschen Forstwirtschaft*. Verlag von Gustav Fischer, Jena.

- GAILING, O. (2010). Erfassung der adaptiven genetische Variation der Eiche im Hinblick auf den Klimawandel. *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen*, 161(6):216–222.
- GARDINER, A. S. (1974). A history of the taxonomy and the distribution of the native oak species. In: MORRIS, M. G. und PERRING, F. H., Hrsg., *The British Oak*, S. 13–26. The Botanical Society of the British Isles.
- GARRISON, W. J. und AUGSPURGER, C. K. (1983). Double- and single-seeded acorns of bur oak (*Quercus macrocarpa*): frequency and some ecological consequences. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 110(2):154–160.
- GAUER, J. und ALDINGER, E. (2005). Waldökologische Naturräume Deutschlands. Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung, Nr. 43.
- GEBUREK, T. (2004). Die Weitergabe genetischer Information - eine wichtige Komponente bei der Waldverjüngung. *BFW-Praxisinformation*, 4:18–20.
- GEBUREK, T. (2006). Warum dreht sich die Rotbuche. *BFW-Praxisinformation*, 12:18–19.
- GEBUREK, T. und MENGL, M. (1998). Zur Identitätskontrolle von forstlichem Vermehrungsgut und gesetzlich vorgeschriebener Mindestanzahl von Saatgutbäumen am Beispiel der Europäischen Lärche. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*, 115(4):211–228.
- GEBUREK, T., STEPHAN, B. R., und SCHOLZ, F. (1989). Zur Erhaltung genetischer Variation in Waldbaumpopulationen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 108(1):204–211.
- GERBER, S., CHADOEUF, J., GUGERLI, F., LASCoux, M., BUI TEVELD, J., COTTRELL, J., DOUNAVI, A., FINESCHI, S., FORREST, L. L., FOGELQUIST, J., GOICOECHEA, P. G., JENSEN, J. S., SALVINI, D., VENDRAMIN, G. G., und KREMER, A. (2014). High Rates of Gene Flow by Pollen and Seed in Oak Populations across Europe. *PLoS ONE*, 9(1):1–16.
- GILBERT, I. R., SEAVERS, G. P., JARVIS, P. G., und SMITH, H. (1995). Photomorphogenesis and canopy dynamics. Phytochrome mediated proximity perception accounts for the growth dynamics of canopies of *Populus trichocarpa* x *deltoides* ‘Beaupré’. *Plant, Cell and Environment*, 18(5):475–497.
- GILLET, E. M. (2010). *Genetic Structure for Electrophoresis Data (GSED) Version 3.0 User’s Manual*. Institut für Forstgenetik der Universität Göttingen, Göttingen.
- GOMEZ, J. M. (2004). Bigger is not always better: conflicting selective pressures on seed size in *Quercus ilex*. *Evolution*, 1:71–80.
- GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, V., VILLAR, R., und NAVARRO-CERRILLO, R. M. (2011). Maternal influences on seed mass effect and initial seedling growth in four *Quercus* species. *Acta Oecologica*, 1:1–9.

- GOSLING, P. (2002). Handling and Storing Acorns, Chestnuts and Sycamore Fruits. *Forestry Commission Practice Note*, 12:1–8.
- GOUDET, J. und JOMBART, T. (2015). *hierfstat: Estimation and Tests of Hierarchical F-Statistics*. R package version 0.04-22.
- GREGORIUS, H.-R. (1974). Genetischer Abstand zwischen Populationen. *Silvae Genetica*, 23(1-3):22–27.
- GREGORIUS, H. R. (1978). The Concept of Genetic Diversity and Its Formal Relationship to Heterozygosity and Genetic Distance. *Mathematical Biosciences*, 41(3-4):253–271.
- GREGORIUS, H.-R. (1987). The relationship between the concepts of genetic diversity and differentiation. *Theoretical and Applied Genetics*, 74(3):397–401.
- GREGORIUS, H.-R. (1988). The meaning of genetic variation within and between subpopulations. *Theoretical and Applied Genetics*, 76(6):947–951.
- GREGORIUS, H. -R., BERGMANN, F., MÜLLER-STARK, G., und HATTEMER, H. H. (1979). Genetische Implikationen waldbaulicher und züchterischer Maßnahmen. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 150(2):30–41.
- GREGORIUS, H. -R., HATTEMER, H. H., BERGMANN, F., und MÜLLER-STARCK, G. (1985). Umweltbelastung und Anpassungsfähigkeit von Baumpopulationen. *Silvae Genetica*, 34(6):230–241.
- GREGORIUS, H. -R., KRAUHAUSEN, J., und MÜLLER-STARCK, G. (1986). Spatial and temporal genetic differentiation among the seed in a stand of *Fagus sylvatica* L. *Heredity*, 57(2):255–262.
- GREGORIUS, H.-R. und ROBERTS, J. H. (1986). Measurement of genetical differentiation among subpopulations. *Theoretical and Applied Genetics*, 71(6):826–834.
- GROTEHUSMANN, H. und SCHÖNFELDER, E. (2011). Comparison of French and German sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) provenances. *Silvae Genetica*, 60(5):186–196.
- GUERICKE, M. (1996). Versuche zur Begründung von Eichenbeständen durch Nesterpflanzung. *Forst und Holz*, 51(17):577–582.
- GUGERLI, F., BRODBECK, S., und HOLDEREGGER, R. (2008). Utility of Multilocus Genotypes for Taxon Assignment in Stands of Closely Related European White Oaks from Switzerland. *Annals of Botany*, 102(5):855–863.
- GÁLHIDY, L., MIHÓK, B., HAGYÓ, A., RAYKAI, K., und STANDOVÁR, T. (2006). Effects of gap size and associated changes in light and soil moisture on the understory vegetation of a Hungarian beech forest. *Plant Ecology*, 183(1):133–145.

- GÖMÖRY, D., YAKOLEV, I., ZHELEV, P., JEDINÁKOVÁ, J., und PAULE, L. (2001). Genetic differentiation of oak populations within the *Quercus robur* / *Quercus petraea* complex in Central and Eastern Europe. *Heredity*, 86(5):557–563.
- GÖTTLEIN, A. (1994). Der Einfluß von Baumdimension, Standort und Holzqualität auf den Versteigerungserlös von Furniereichen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 113(6):367–378.
- HABERMANN, M. und PRELLER, J. (2003). Untersuchungen zur Biologie und zur Bekämpfung des Zweifleckigen Eichenprachtkäfers (*Agrilus biguttatus* FABR.). *Forst und Holz*, 58(8):215–220.
- HAGMAN, M. (1975). Incompatibility in forest trees. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 188(1092):313–326.
- HAMRICK, J. L. und GODT, M. J. W. (1996). Effects of life history traits on genetic diversity in plant species. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 351(1345):1291–1298.
- HANEWINKEL, M., CULLMANN, D. A., SCHELLHAAS, M., NABUURS, G., und ZIMMERMANN, N. E. (2013). Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*, 3:203–207.
- HARDTKE, A., MEISSNER, M., STEINER, W., und JANSSEN, A. (2016a). Beerntungs- und Behandlungsvarianten von Saatguterntebeständen der Eiche zur Optimierung der Saatgutqualität. In: MEISSNER, M. und VOLMER, K., Hrsg., *Hochwertiges Forstvermehrungsgut im Klimawandel - Symposium des Verbundprojektes FitForClim vom 14. bis 15. Juni 2016 in Chorin*, Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, S. 81–101. Universitätsverlag Göttingen.
- HARDTKE, A., MEISSNER, M., STEINER, W., JANSSEN, A., und AMMER, C. (2016b). Behandlungskonzept für Saatgutbestände der Eichen. *AFZ-DerWald*, 71(24):12–16.
- HARMER, R. (1992a). Do dominant oaks have few epicormic branches? Forestry Commission Research Division 223.
- HARMER, R. (1992b). The incidence of recurrent flushing and its effect on branch production in *Quercus petraea* (Matt) Liebl growing in southern England. *Annales des Sciences Forestières*, 49(6):589–597.
- HARMER, R., BOSWELL, R., und ROBERTSON, M. (2005). Survival and growth of tree seedlings in relation to changes in the ground flora during natural regeneration of an oak shelterwood. *Forestry*, 78(1):21–32.
- HARMER, R. und MORGAN, G. (2007). Development of *Quercus robur* advance regeneration following canopy reduction in an oak woodland. *Forestry*, 80(2):137–149.
- HARPER, J. L., LOVELL, P. H., und MOORE, K. G. (1970). The Shapes and Sizes of Seeds. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1:327–356.

- HARTIG, R. (1870). Abnorm gebildete Eicheln. *Zeitschrift für das Forst und Jagdwesen*, 2:160–165.
- HARTMANN, G. und BLANK, R. (1992). Winterfrost, Kahlfraß und Prachtkäferbefall als Faktoren im Ursachenkomplex des Eichensterbens in Norddeutschland. *Forst und Holz*, 47(15):443–452.
- HASEL, K. (1985). *Forstgeschichte*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- HASSENKAMP, W. (1952). Geschichtliches zur Samenplantage. *Zeitschrift für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung*, 1:77–78.
- HATTEMER, H. H. (1991). Measuring Genetic Variation. In: MÜLLER-STARCK, G. und ZIEHE, M., Hrsg., *Genetic Variation in European Populations of Forest Trees*, S. 2–19. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- HATTEMER, H. H., BERGMANN, F., und ZIEHE, M. (1993). *Einführung in die Genetik für Studierende der Forstwissenschaft*. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- HATTEMER, H. H., GREGORIUS, H.-R., ZIEHE, M., und MÜLLER-STARCK, G. (1982). Klonanzahl forstlicher Samenplantagen und genetische Vielfalt. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 153(9-10):183–191.
- HATTEMER, H. H. und ZIEHE, M. (2018). *Erhaltung forstgenetischer Ressourcen - Grundlagen und Beispiele*. Universitätsverlag, Göttingen.
- HAUSKELLER-BULLERJAHN, K. (1997). *Wachstum junger Eichen unter Schirm*. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme A 147. Forschungszentrum Waldökosysteme.
- HECKEL, H. (1977). Rundholzfehler und ihre Auswirkungen bei der Verarbeitung. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 32(47):1172–1177.
- HEIN, S. (2007). Wertholzproduktion mit Buche, Eiche, Esche und Ahorn. In: *FVA-Einblick*, FVA-Einblick, 11(2), S. 6–8. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.
- HEINRICHS, S. und SCHMIDT, W. (2009). Short-term effects of selection and clear cutting on the shrub and herb layer vegetation during the conversion of even-aged Norway spruce stands into mixed stands. *Forest Ecology and Management*, 258(5):667–678.
- HEISEKE, D. (1984). Untersuchungen über Eichelmasten und Pflanzenausbeute in der Görhde von 1979-1981. *Der Forst- und Holzwirt*, 39(5):107–113.
- HERTEL, H. und KOHLSTOCK, N. (1996). Forstpflanzenzüchtung und Biodiversität: Ein Modellversuch zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen genetischer Variation und Stabilität am Beispiel der Fichte (*Picea abies* L. Karst.). In: MÜLLER-STARCK, G., Hrsgg., *Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft*. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg.
- HESMER, H. (1950). *Die Technik der Fichtenkultur*. Verlag M. H. Schaper, Hannover.

- HLÁSNY, T., MÁTYÁS, C., SEIDL, R., KULLA, L., MERGANICOVÁ, K., TROMBIK, J., DOBOR, L., BARCZA, Z., und KONOPKA, B. (2016). Climate change increases the drought risk in Central European forests: What are the options for adaption? *Central European Forestry Journal*, 60(1):5–18.
- HOCHBICHLER, E. (1993). Methods of oak silviculture in Austria. *Annales of Forest Science*, 50(6):583–591.
- HOSIUS, B. (1993). Wird die genetische Struktur eines Fichtenbestandes von Durchforstungseingriffen beeinflusst? *Forst und Holz*, 48(11):306–308.
- HOSIUS, B., LEINEMANN, L., BERGMANN, F., MAURER, W. D., und TABEL, U. (2003). Genetische Untersuchungen zu Familienstrukturen und zur Zwieselbildung in Buchenbeständen. *Forst und Holz*, 58(3):51–54.
- HOSIUS, B., LEINEMANN, L., KONNERT, M., und BERGMANN, F. (2006). Genetic aspects of forestry in the Central Europe. *European Journal of Forest Research*, 125(4):407–417.
- HOSIUS, B., LEINEMANN, L., RÖHE, P., und VOTH, W. (2012). Genetische Untersuchungen von Hähersaaten. *AFZ-DerWald*, 67(5):7–9.
- HOSNER, J. F. (1959). Multi-Seeded Acorns. *Journal of Forestry*, 57:127.
- HOTHORN, T., BRETZ, F., WESTFALL, P., HEIBERGER, R. M., SCHUETZEMEISTER, A., und SCHEIBE, S. (2017). *multcomp: Simultaneous Inference in General Parametric Models*. R package version 1.4.7.
- HUBERT, J. und SAVILL, P. (1999). Improving oak: The first steps towards a breeding programme. *Quarterly Journal of Forestry*, 93(2):117–125.
- HUSSENDÖRFER, E. und KONNERT, M. (2000). Untersuchungen zur Bewirtschaftung von Weissstannen- und Buchenbeständen unter dem Aspekt der Erhaltung genetischer Variation. *Forest Snow and Landscape Research*, 75(1/2):187–204.
- HÄRDTLE, W., VON OHEIMB, G., und WESTPHAL, C. (2003). The effects of light and soil conditions on the species richness of the ground vegetation of deciduous forests in northern Germany (Schleswig-Holstein). *Forest Ecology and Management*, 182(1-3):327–338.
- HÖLTKEN, A. M., BUSCHBOM, J., und KÄTZEL, R. (2012). Die Artintegrität unserer heimischen Eichen *Quercus robur* L., *Q. petraea* (Matt.) Liebl. und *Q. pubescens* Willd. aus genetischer Sicht. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 183(5/6):100–110.
- HÜHN, M. (1975). Bemerkungen über die Bedeutung der Populationsgenetik und der ökologischen Genetik als Basis für forstgenetische und forstpflanzenzüchterische Arbeiten. *Silvae Genetica*, 24(4):118–126.

- IPCC (2014). *Climate Change 2014. Synthesis Report*. Geneva. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IRGENS-MOLLER, H. (1955). Forest-tree Genetics research: *Quercus* L. *Economic Botany*, 9(1):53–71.
- JACK, J. G. (1914). Plural Seeds in Acorns. *Rhodora - New England Botanical Club*, 16(188):141–144.
- JACOBS, D. F., SALIFU, K. F., und SEIFERT, J. R. (2005). Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. *New Forests*, 30(2-3):235–251.
- JACOBS, D. F. und SEIFERT, R. (2004). Re-evaluating the significance of the first-order lateral root grading criterion for Hardwood seedlings. In: YAUSSY, D. A., HIX, D. M., LONG, R. P., und GOEBEL, P. C., Hrsg., *Proceedings, 14th Central Hardwood Forest Conference*. USDA For. Serv., North-eastern For. Exp. Sta. NE-316.
- JANDL, R., GSCHWANTNER, T., und ZIMMERMANN, N. (2012). Die künftige Verbreitung der Baumarten im Simulationsmodell. *BFW-Praxisinformation*, 30:9–12.
- JANSSEN, A. (1996). Der Einfluss von Ernteverfahren auf die genetische Struktur von Saatgut eines Buchenbestandes. Hessische Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie, Band 27.
- JANSSEN, A. und RAU, H.-M. (2008). Leistungssteigerung durch klassische forstliche Züchtung. *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie*, 42(3):127–133.
- JARNE, P. und LAGODA, P. J. L. (1996). Microsatellites, from molecules to populations and back. *Trends in Ecology Evolution*, 11(10):424–429.
- JARVIS, P. G. (1963). The effect of acorn size and provenance on the growth of Seedlings of sessile Oak. *Quarterly Journal of Forestry*, 57:11–19.
- JARVIS, P. G. (1964). The adaptability to light intensity of seedlings of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. *Journal of Ecology*, 52(3):545–571.
- JENSEN, J. S. (1993). Variation of growth in Danish provenance trials with oak (*Quercus robur* L and *Quercus petraea* Mattuschka Liebl). *Annales of Forest Science*, 50(Supplement 1):203–207.
- JENSEN, J. S. (2000). Provenance Variation in Phenotypic Traits in *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Danish Provenance Trials. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15(3):297–308.
- JENSEN, J., LARSEN, A., NIELSEN, L. R., und COTTRELL, J. (2009). Hybridization between *Quercus robur* and *Q. petraea* in a mixed oak stand in Denmark. *Annals of Forest Science*, 66(7):1–12.

- JENSEN, J. S., WELLENDORF, H., JAGER, K., DE VRIES, S. M. G., und JENSEN, V. (1997). Analysis of a 17-years old dutch open pollinated progeny trail with *Quercus robur* (L.). *Forest Genetics*, 4(3):139–147.
- JENSEN, T. S. und NIELSEN, O. F. (1986). Rodents as seed dispersers in a heath - oak wood succession. *Oecologia*, 70(2):214–221.
- JONES, E. W. (1959). Biological Flora of the British Isles. *Journal of Ecology*, 47(1):169–222.
- JOVANOVIC, M. und TUCOVIC, A. (1975). Genetics of common and sessile Oak (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* Liebl.). *Annales Forestales, Belgrad, Jugoslavia*, 7:23–48.
- KALINOWSKI, S. T., TAPER, M. L., und MARSHALL, T. C. (2007). Revising how the computer programm CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment. *Molecular Ecology*, 16(5):1099–1106.
- KAMPFER, S., LEXER, C., GLÖSSL, J., und STEINKELLNER, H. (1998). Characterization of (GA)<sub>n</sub> microsatellite loci from *Quercus robur*. *Hereditas*, 129(2):183–186.
- KANZENBACH, G. (2007). *Untersuchungen zur Wasserreiserbildung an Eiche*. Diplomarbeit, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Studiengang Forstwirtschaft, Göttingen.
- KELEMEN, K., MIHÓK, B., GÁLHIDY, L., und STANDOVÁR, T. (2012). Dynamic Response of Herbaceous Vegetation to Gap Opening in a Central European Beech Stand. *Silva Fennica*, 46(1):53–65.
- KELLY, D. (1994). The evolutionary ecology of mast seedling. *Tree*, 9(12):465–470.
- KENK, G. (1984). Werteichenproduktion und ihre Verbesserung in Baden-Württemberg. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 39(17/18):428–429.
- KERR, G. (1996). The effect of heavy or free growth thinning on oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*). *Forestry*, 69(4):303–317.
- KERR, G. und HARMER, R. (2001). Production of epicormic shoots on oak (*Quercus robur*): effects of frequency and time of pruning. *Forestry*, 74(5):467–477.
- KIM, S., HEATH, E., und HEILBRUNH, L. (2017). Sample size determination for logistic regression on a logit-normal distribution. *Statistical Methods in Medical Research*, 26(3):1237–1247.
- KLAEHN, F. U. (1953). Über die Methodik der Anlage von Samenplantagen. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 8(25/26):291–294.
- KLEINSCHMIT, J. (1976). Untersuchungen über Fallzeitpunkt und Eichelgewichte bei Stiel- und Traubeneiche. In: WALKENHORST, R., Hrsgg., *Fortschritte des forstlichen Saatgutwesens, Teil 3*. Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung, 14, S. 52-63.

- KLEINSCHMIT, J. R. G. (1995). Vergleich morphologischer und genetischer Unterscheidungsmerkmale bei Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Traubeneiche *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.). In: MAURER, W. und TABEL, U., Hrsg., *Genetik und Waldbau unter besonderer Berücksichtigung der heimischen Eichenarten*, S. 327–337. Mitteilungen der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz; Nr. 34.
- KLEINSCHMIT, J. R. G., BACILIERI, R., KREMER, A., und ROLOFF, A. (1995). Comparison of Morphological and Genetic Traits of Pedunculate Oak (*Q. robur* L.) and Sessile Oak (*Q. petraea* (MATT.) LIEBL.). *Silvae Genetica*, 44(5-6):256–268.
- KLEINSCHMIT, J. und SVOLBA, J. (1979). Möglichkeiten der züchterischen Verbesserung von Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* und *Quercus petraea*) III. Nachkommenschaftsprüfung von Eichenzuchtbäumen. *Allgemeine Forst- und Jagd Zeitung*, 150(6):111–119.
- KLEINSCHMIT, J. und SVOLBA, J. (1995). Intraspezifische Variation von Wachstum und Stammform bei *Quercus robur* und *Quercus petraea*. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 34.
- KLEINSCHMIT, J., WITTE, R., und SAUER, A. (1975). Möglichkeiten der züchterischen Verbesserung von Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* und *Quercus petraea*) I. Inventur der Eichensamenplantagen. *Allgemeine Forst- und Jagd Zeitung*, 146(9):157–166.
- KLEINSCHMIT, W. (2002). Herkunftsfrage aus Sicht der Betriebswirtschaft. In: Nordwestdeutscher Forstverein (Hrsg.): Jahretagung 2002 in Hann. Münden.
- KLINCK, C., SCHEFFER, D., PAAR, U., und EICHHORN, J. (2018). Zur Vitalität der Buche: Reaktionsmuster über den Zeitraum 1984-2016. Vortrag auf der Forstwissenschaftlichen Tagung, am 25.09.20 18 in Göttingen.
- KLÖCK, W. (1963). Die Entwicklung der Eichelmast 1962 im Forstamt Mittelsinn. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 18(4):62.
- KOLLMANN, J. und SCHILL, H. P. (1996). Spatial patterns of dispersal, seed predation and germination during colonization of abandoned grassland by *Quercus petraea* and *Corylus avellana*. *Vegetatio*, 125(2):193–205.
- KONNERT, M. und HOSIUS, B. (2010). Contribution of forest genetics for a sustainable forest management. *Forstarchiv*, 81(4):170–174.
- KONNERT, M., SCHNECK, D., und ZOLLNER, A. (2014). Blühen und Fruktifizieren unserer Waldbäume in den letzten 60 Jahren. In: *Forstgenetik, Forstgenressourcen und Forstvermehrungsgut*, LWF Wissen 74, S. 37–45. Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- KRAHL-URBAN, J. (1952a). Erbanlagen und Züchtungsmöglichkeiten bei Rotbuche, Stiel- und Traubeneiche. *Zeitschrift für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung*, 1:114–120.

- KRAHL-URBAN, J. (1952b). Hinweise auf individuelle Erbanlagen bei Eichen und Buchen. *Zeitschrift für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung*, 2:51–59.
- KRAHL-URBAN, J. (1953a). Baumtypen bei Eichen und Buchen. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 8(20):245–248.
- KRAHL-URBAN, J. (1953b). Drehwuchs bei Eichen und Buchen. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 8(49):540–542.
- KRAHL-URBAN, J. (1953c). Eichen- und Buchen-Plusbäume. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 8:69–72.
- KRAHL-URBAN, J. (1955). Forstgenetik in der Eichen- und Buchenwirtschaft. *Forstarchiv*, 26(6):121–131.
- KRAHL-URBAN, J. (1959). *Die Eichen: Forstliche Monographie der Traubeneiche und Stieleiche*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- KRAMER, H. (1988). *Waldwachstumslehre - Ökologische und anthropogene Einflüsse auf das Wachstum des Waldes, seine Massen- und Wertleistungen und die Bestandessicherheit*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- KREMER, A., DUPOUEY, J. L., DEANS, J. D., COTTRELL, J., CSAIKL, U., FINKELDEY, R., ESPINEL, S., JENSEN, J., KLEINSCHMIT, J., VAN DAM, B., DUCOUSO, A., FORREST, I., LOPEZ DE HEREDIA, U., LOWE, A. J., TUTKOVA, M., MUNRO, R. C., STEINHOFF, S., und BADEAU, V. (2002). Leaf morphological differentiation between *Quercus robur* and *Q. petraea* is stable across western European mixed oak stands. *Annals of Forest Science*, 59(7):777–787.
- KREMER, A., LOWE, A. J., MUNRO, R. C., DICK, J., und CAVERS, S. (2008). *Intra and interspecific gene flows in oaks as mechanisms promoting genetic diversity and adaptive potential. OAKFLOW. Final Report (2001-2005)*.
- KRÜSSMANN, G. (1978). *Handbuch der Laubgehölze*. Paul Parey Verlag, Berlin.
- KÖLLING, C. und ZIMMERMANN, L. (2007). Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft*, 67(6):259–268.
- KÖSTER, J. N., BRÜCKNER, E., und BIBELRIETHER, H. (1968). *Die Wurzeln der Waldbäume*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- KÜSTER, B. (2000). *Die Auswirkungen unterschiedlicher waldbaulicher Behandlungen auf das Wachstum und die Qualitätsentwicklung junger Traubeneichen Quercus petraea (Matt. Liebl.)*. Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität München und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Nr. 179. Universität München, Forstwissenschaftliche Fakultät.
- KÜSTER, H. (2016). Die Eiche in der Waldgeschichte und ihre historische Nutzung. *AFZ-Der Wald*, 71(20):24–27.

- LAGONI, N. (2007). Quercus-Arten - Verwendung in der Naturheilkunde. In: *LWF Wissen: Beiträge zur Traubeneiche*, LWF Wissen 75, S. 99–102. Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- LAHTINEN, M. J., PULKKINEN, P., und HELANDER, M. L. (1996). Potential gene flow by pollen between English oak (*Quercus robur* L.) stands in Finland. *Forestry Studies*, 28:47–50.
- LANDERGOTT, U., GUGERLI, F., HOEBEE, S. E., FINKELDEY, R., und HOLDEREGGER, R. (2012). Effects of seed mass on seedling height and competition in European white oaks. *Flora*, 207(10):21–24.
- LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NORDRHEIN-WESTFALEN (2012). Empfehlungen für eine naturnahe Bewirtschaftung von Fichtenbeständen in Nordrhein-Westfalen. Umbau von gleichaltrigen Fichtenwäldern in naturnahe Mischwälder. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Nordrhein-Westfalen, Heft 21.
- LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NORDRHEIN-WESTFALEN (2016). 10 Jahre Kyrill. Häufig gestellte Fragen. Pressemitteilung, Download am 24.10.2018.
- LANDESFORST MECKLENBURG-VORPOMMERN (2012). Wald schafft Zukunft. Die Landesforst Mecklenburg-Vorpommern - Anstalt des öffentlichen Rechts.
- LANDESFORSTBETRIEB SACHSEN-ANHALT (2018). Kurzmeldung zu den Sturmschäden im Landeswald. Pressemitteilung, Download am 24.10.2018.
- LANGNER (1942). Der Saatzuchtbestand. *Der Deutsche Forstwirt*, 24(17/18):85–86.
- LANGNER, W. und STERN, K. (1955). Versuchstechnische Probleme bei der Anlage von Klonplantagen. *Zeitschrift für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung*, 4:81–88.
- LAU, M. K. (2015). *DTK: Dunnet-Tukey-Kramer Pairwise Multiple Comparison Test Adjusted for Unequal Variances and Unequal Sample Sizes*. R package version 3.5.
- LEIBUNDGUT, H. (1945). Über die waldbauliche Behandlung der Eiche. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 96(3):49–58.
- LEIBUNDGUT, H. (1976). Grundlagen der Jungwuchspflege. Ergebnisse zwanzigjähriger Untersuchungen über die Vorgänge der Ausscheidung, Umsetzung und Qualitätsentwicklung in jungen Eichenbeständen. *Mitteilungen Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, 52(4):313–371.
- LEIBUNDGUT, H. (1984). *Die Waldpflege*. 3. Auflage. Verlag Paul Haupt, Bern und Stuttgart.
- LEOPOLD, C. A. (1955). *Auxin and plant growth*. University Of California Press, Berkeley.
- LEPAIS, O., LEGER, V. C., und GERBER, S. (2006). Short Note: High Throughput Microsatellite Genotyping in Oak Species. *Silvae Genetica*, 55(4-5):238–240.

- LEUCH, B. A., STREIT, K., und BRANG, P. (2017). Der Schweizer Wald im Klimawandel: Welche Entwicklung kommen auf uns zu? *Merkblatt für die Praxis*, 59.
- LEUSCHNER, C., BACKES, K., HERTEL, D., SCHIPKA, F., SCHMITT, U., TERBORG, O., und RUNGE, M. (2001). Drought responses at leaf, stem and fine root levels of competitive *Fagus sylvatica* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. trees in dry and wet years. *Forest Ecology and Management*, 149(1-3):33–46.
- LEXER, C., HEINZE, B., GERBER, S., MACALKA-KAMPFER, S., STEINKELLER, H., KREMER, A., und GLÖSSL, J. (2000). Microsatellite analysis of maternal half-sib families of *Quercus robur*, pedunculate oak: II. inferring the number of pollen donors from the offspring. *Theoretical and Applied Genetics*, 100(6):858–865.
- LINDNER, M., MAROSCHKE, M., NETHERER, S., KREMER, A., BARBATI, A., GARCIA-GONZALO, J., SEIDL, R., DELZON, S., CORONA, P., KOLSTRÖM, M., LEXER, M. J., und MARCHETTI, M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259(4):698–709.
- LINDQUIST, B. (1951). *Forstgenetik in der Schwedischen Waldbaupraxis*. Neumann Verlag, Radebeul und Berlin.
- LONG, T. J. und JONES, R. H. (1996). Seedling growth strategies and seed size effects in fourteen oak species native to different soil moisture habitats. *Trees*, 11(1):1–8.
- LONGMAN, K. A. und COUTTS, M. P. (1974). Physiology of the oak tree. In: MORRIS, M. G. und PERRING, F. H., Hrsg., *The British Oak*, S. 194–221. The Botanical Society of the British Isles.
- LYR, H., POLSTER, H., und FIEDLER, H. J. (1967). *Gehölzphysiologie*. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- LÖF, M., THOMSEN, A., und MADSEN, P. (2014). Sowing and transplanting of broadleaves (*Fagus sylvatica* L., *Quercus robur* L., *Prunus avium* L. and *Crateagus monogyna* Jacq.) for afforestation of farmland. *Forest Ecology and Management*, 188(1-3):113–123.
- LÜPKE, B. und SPELLMANN, H. (1997). Aspekte der Stabilität und des Wachstums von Mischbeständen aus Fichte und Buche als Grundlage für waldbauliche Entscheidungen. *Forstarchiv*, 68(8):167–179.
- MADSEN, P. und LARSEN, J. B. (1997). Natural regeneration of beech (*Fagus sylvatica* L.) with respect to canopy density, soil moisture and soil carbon content. *Forest Ecology and Management*, 97(2):95–105.
- MAJOR, S. (2002). Variability of *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. acorn size in the region of the Pomeranian plains. *Dendrobiology*, 47:25–31.

- MANTAU, U. (2006). Kampf um den Rohstoff Holz trotz riesiger Potenziale ? *AFZ-DerWald*, 61(3):111–113.
- MANTAU, U. (2012). Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015. Zentrum Holzwirtschaft Arbeitsbereich: Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft.
- MANTEL, K. (1990). *Wald und Forst in der Geschichte*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Hannover.
- MANTEL, K. und SOWADE, K. (1968). Die Forstwirtschaft in der Bundesrepublik nach der neuesten Statistik. Die Entwicklung der Holzarten im Hochwald von 1883 bis 1961. *Holz-Zentralblatt*, 94:651–655.
- MARIETTE, S., COTTERELL, J., CSAIKL, U. M., GOIKOECHEA, P., KÖNIG, A., LOWE, A. J. VAN DAM, B. C., BARRENECHE, T., BODÉNÈS, C., STREIFF, R., BURG, K., GROPE, K., MUNRO, R. C., TABBENER, H., und KREMER, A. (2002). Comparison of Levels of Genetic Diversity Detected with AFLP and Microsatellite Markers within and among Mixed *Q. petraea* (MATT.) LIEBL. and *Q. robur* Stands. *Silvae Genetica*, 51(2-3):72–79.
- MARSHALL, T. C., SLATE, J., KRUUK, L. E. B., und PEMBERTON, J. M. (1998). Statistical confidence for likelihood-based paternity inference in natural populations. *Molecular Ecology*, 7(5):639–655.
- MARTINIK, A., DOBROVOLNÝ, L., und PALÁTOVÁ, E. (2014). Tree growing space and acorn production of *Quercus robur*. *Dendrobiology*, 71:101–108.
- MATTHEK, C. und KUBLER, H. (1997). *Wood - The Internal Optimization of Trees*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- MATTSSON, A. (1996). Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests*, 13(1-3):223–248.
- MAURER, E. (1964). Buchen- und Eichensamenjahre in Unterfranken während der letzten 100 Jahre. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 19(31):469–470.
- MAYER, R. (1958). Kronengröße und Zuwachsleistung der Traubeneiche auf süddeutschen Standorten Teil III. *Allgemeine Forst- und Jagd Zeitung*, 129(6):191–201.
- MAYR, H. (1909). *Waldbau auf naturgesetzlicher Grundlage*. Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin.
- MAYR, H. (1925). *Waldbau auf naturgesetzlicher Grundlage*. 2. Auflage. Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin.
- MEISSNER, M., JANSSEN, A., KONNERT, M., LIESEBACH, M., und WOLF, H. (2015). FitForClim - Vermehrungsgut für klima- und standortgerechten Wald. *AFZ-DerWald*, 70(11):24–26.

- METTE, T., DOLOS, K., MEINARDUS, C., BRÄUNING, A., REINEKING, B., BLASCHKE, M., PRETSCH, H., BEIERKUHNLEIN, C., GOHLKE, A., und WELLSTEIN, C. (2013). Climatic turning point for beech and oak under climate change in central Europe. *Ecosphere*, 4(12):1–19.
- MIHÓK, B., GÁLHIDY, L., KELEMEN, K., und STANDOVÁR, T. (2005). Study of Gap-phase Regeneration in a Managed Beech Forest: Relations between Tree Regeneration and Light, Substrate Features and Cover of Ground Vegetation. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 1:25–38.
- MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ BADEN-WÜRTEMBERG (2013). *Pflanzgut und Pflanzung*. Forst BW / Praxis.
- MOGENSEN, H. L. (1975). Ovule abortion in *Quercus* (FAGACEAE). *American Journal of Botany*, 62(2):160–165.
- MOHAMMED, G. H. (1996). The status and future stock quality testing. *New Forests*, 13(1-3):481–504.
- MORAN, E. V. und CLARK, J. S. (2012). Between-Site Differences in the Scale of Dispersal and Gene Flow in Red Oak. *PLOS ONE*, 7(5):1–15.
- MORGAN, D. C., ROOK, D. A., WARRINGTON, I. J., und TURNBULL, H. L. (1983). Growth and development of *Pinus radiata* D. Don: the effect of light quality. *Plant, Cell and Environment*, 6(9):691–701.
- MORGAN, D. C. und SMITH, H. (1976). Linear relationship between phytochrome photoequilibrium and growth in plants under simulated natural radiation. *Nature*, 262:210–212.
- MOSANDL, R., BURSCHEL, P., und SLIVA, J. (1988). Die Qualität von Auslesebäumen in Eichenjungbeständen. *Forst und Holz*, 43(2):37–41.
- MOSANDL, R., EL KATEB, H., und ECKER, J. (1991). Untersuchungen zur Behandlung von jungen Eichenbeständen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 110:371–380.
- MOTRENKO, A., STRIJOV, V., und WEBER, G. W. (2014). Sample size determination for logistic regression. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 255:743–752.
- MOUNTFORD, E. P., SAVILL, P. S., und BEBBER, D. P. (2006). Patterns of regeneration and ground vegetation associated with canopy gaps in a managed beechwood in southern England. *Forestry*, 79(4):389–408.
- MUCHIN, A. (2005). Analytische Untersuchungen zum Einfluss des Standortes auf das Wachstum von Stiel- und Traubeneiche im nordostdeutschen Tiefland. Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt 24. Technische Universität Dresden.

- MUIR, G., FLEMING, C. C., und SCHLÖTTERER, C. (2000). Species status of hybridizing oaks. *Nature*, 405:1016.
- MUSCOLO, A., BAGNATO, S., SIDARI, M., und MERCURIO, R. (2014). A review of the roles of forest canopy gaps. *Journal of Forestry Research*, 25(4):725–736.
- MÜHLE, H. (2007). Die Eiche - El Dorado für Insekten. In: *Wälder im Klimawandel*, LWF Aktuell 60, S. 56–57. Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- MÜLLER-STARCK, G. (1994). Die Bedeutung der genetischen Variation für die Anpassung gegenüber Umweltstress. *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen*, 145(12):977–997.
- MÜLLER-STARCK, G. (1996a). Beiträge der Forstgenetik zur nachhaltigen Waldbewirtschaftung. In: MÜLLER-STARCK, G., Hrsgg., *Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft*. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg.
- MÜLLER-STARCK, G. und ZIEHE, M. (1991). Genetic Variation in Populations of *Fagus sylvatica* L., *Quercus robur* L., and *Q. petraea* Liebl. in Germany. In: MÜLLER-STARCK, G. und ZIEHE, M., Hrsg., *Genetic Variation in European Populations of Forest Trees*. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- MÜLLER-STARCK, R. (1993). Auswirkungen von Umweltbelastungen auf genetische Strukturen von Waldbeständen am Beispiel der Buche (*Fagus sylvatica* L.). Schriften aus der Forstlichen Fakultät Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt 112.
- MÜLLER-STARCK, R. (1996b). Genetische Aspekte der Reproduktion der Buche (*Fagus sylvatica* L.) unter Berücksichtigung waldbaulicher Gegebenheiten. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Band 135.
- NAGEL, R. V. (2006). Bestandesentwicklung, Einzelbaumwachstum und Qualitätsentwicklung von Stiel- und Traubeneichenbeständen in Nordwestdeutschland unter dem Einfluss unterschiedlicher Durchforstungsstärken. In: NAGEL, J., Hrsgg., *Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 21-23. Mai 2007*.
- NANSON, A. (2001). Natural regeneration seen from the genetic stand point. In: MEIER-DINKEL, A. und STEINER, W., Hrsg., *Forest Tree Breeding in an Ecologically orientated Forst Management System*, Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, S. 75–83.
- NATZKE, E. (1999). Die Lagerung von Eicheln in einer modifizierten Atmosphäre und das Wachstum des Schwarzfäulepilzes *Ciboria batschiana*. In: SCHRÖDER, T. und WULF, A., Hrsg., *Forstschritte bei der Lagerungstechnologie von Eichensaatgut*, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 365, S. 61–68–103.

- NAVARRO, F. B., JIMÉNEZ, M. N., RIPOLL, M. A., FERNANDEZ-ONDONO, E., GALLEGO, E., und DE SIMÓN, E. (2006). Direct sowing of holm oak acorns: effects of acorn size and soil treatment. *Annals of Forest Science*, 63(8):961–967.
- NEOPHYTOU, C. (2012). Genetische Differenzierung innerhalb von und zwischen Beständen der Stiel- und der Traubeneiche im Oberrheingraben: Erste Ergebnisse des Interreg-Projektes. *Forstarchiv*, 83(1):34–40.
- NEOPHYTOU, C., ARAVANOPOULOS, F. A., FINK, S., und DOUNAVI, A. (2010). Detecting interspecific and geographic differentiation patterns in two interfertile oak species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Q. robur* L.) using small sets of microsatellite markers. *Forest Ecology and Management*, 259(10):2026–2035.
- NEOPHYTOU, C., GÄRTNER, S. M., VARGAS-GAETE, R., und MICHIELS, H. G. (2015). Genetic variation of Central European oaks: shaped by evolutionary factors and human intervention? *Tree Genetics and Genomes*, 11(79):1–15.
- NEPVEU, G. (1984). Déterminisme génotypique de la structure anatomique du bois chez *Quercus robur*. *Silvae Genetica*, 33(2-3):91–95.
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG (1991). Langfristige ökologische Waldentwicklung in den Landesforsten. Programm der Landesregierung. Hannover.
- NIKLAS, K. J. (1985). The aerodynamics of wind pollination. *The Botanical Review*, 51(3):328–386.
- NIKOLIC, N. P. und ORLOVIC, S. S. (2002). Genotypic variability of morphological characteristics of english oak (*Quercus robur* L.) Acorn. *Proceedings for Natural Sciences*, 102:53–58.
- NINGRE, F. und COLIN, F. (2007). Frost damage on the terminal shoot as a risk factor of fork incidence on common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Annales of Forest Science*, 64(1):79–86.
- NIXON, K. C. (1993). Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. *Annals of Forest Science*, 50(Supplement 1):25–34.
- OELKERS, J. (1913). Stiel- und Traubeneichel. Eine variationsstatistische Untersuchung. *Zeitschrift für das Forst- und Jagdwesen*, 45:18–45.
- OELKERS, J. (1930). *Waldbau*. Verlag M. H. Schaper, Hannover.
- OLSON, D. F. und BOYCE, S. G. (1971). Factors affecting acorn production and germination and early growth of seedlings and seedling sprouts. In: *Oak symposium proceedings; U.S. For. Serv. Northeast For. Exp. St., Upper Darby*.
- OLSSON, U. (1975). On the size and microstructure of pollen grains of *Quercus robur* and *Q. petraea* (Fagaceae). *Botaniska notiser*, 128(2):256–264.

- OTTO, H.-J. (1990). Die Eichenwirtschaft Frankreichs. *Holz-Zentralblatt*, 116(36):559–562.
- OUDEN, J. den, JANSEN, P. A., und SMIT, R. (2005). Jays, Mice and Oaks: Predation and Dispersal of *Quercus robur* and *Q. petraea* in North-western Europe. In: FORGET, P. M., LAMBERT, J. E., HULME, P. E., und VANDER WALL, S. B., Hrsg., *Seed Fate*. CAB International.
- OVINGTON, J. D. und MACRAE, C. (1959). The Growth of seedlings of *Quercus petraea*. *Journal of Ecology*, 48(3):549–555.
- PAMMENTER, N. W., BERJAK, P., FARRAT, J. M., und SMITH, M. T. (1994). Why do stored hydrated recalcitrant seeds die? *Seed Science Research*, 4(2):187–191.
- PEDUZZI, P., CONCATO, J., KEMPER, E., HOLFORD, T. R., und FEINSTEIN, A. R. (1996). A Simulation Study of the Number of Events per Variable in Logistic Regression Analysis. *Journal of Clinical Epidemiology*, 49(12):1373–1379.
- PEREA, R., SAN MIGUEL, A., und GIL, L. (2011). Acorn dispersal by rodents: The importance of re-dispersal and distance to shelter. *Basic and Applied Ecology*, 12(5):432–439.
- PETIT, R. J., EL MOUSADIK, A., und PONS, O. (1997). Identifying Populations for Conservation on the Basis of Genetic Markers. *Conservation Biology*, 12(4):844–855.
- POLGE, H. (1984). Werteichenproduktion in Frankreich. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 39(17/18):430–434.
- POLLEY, H. (2009). Wald in Schutzgebieten - ein Überblick. In: SEITSCH, B. und DIETER, M., Hrsg., *Waldstrategie 2020, Tagungsband zum Symposium des BMELV, 10.-11. Dez. 2008, Berlin*, Landbauforschung, Sonderheft 327. Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- PONS, J. und PAUSAS, J. G. (2008). Acorn dispersal estimated by radio-tracking. *Annals of Botany*, 102(5):855–863.
- PONTON, S., DUPOUEY, J.-L., BREDA, N., FEUILLAT, F., BODÉNÈS, C., und DREYER, E. (2001). Carbon isotope discrimination and wood anatomy variations in mixed stands of *Quercus robur* and *Quercus petraea*. *Plant, Cell and Environment*, 24(8):861–868.
- POPOVIĆ, V., LUCIĆ, A., RAKONJAC, L., ĆIRKOVIĆ-MITROVIĆ, T., und BRASANAC-BOSANAC, L. (2015). Influence of acorn size on morphological characteristics of one-year old northern red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings. *Archives of Biological Sciences*, 67(4):1357–1360.
- PORRAS-HURTADO, L., RUIZ, Y., SANTOS, C., PHILLIPS, C., CARRACEDO, A., und VON LAREV, M. (2013). An overview of STRUCTURE: applications, parameter settings, and supporting software. *Frontiers in Genetics*, 4(98):1–13.
- PRETZSCH, H. und UTSCHIG, H. (1995). Die Eichen-Versuchsflächen im Forstamt Elmstein-Nord. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 50(2):67–71.

- PRITCHARD, J. K., STEPHENS, M., und DONNELLY, P. (2000). Inference of Population Structure Using Multilocus Genotype Data. *Genetics*, 155(2):945–959.
- PUTTONEN, P. (1989). Criteria for using seedling performance potential tests. *New Forests*, 3(1):67–87.
- RICARD, J. P. und MESSIER, C. (1996). Abundance, growth and allometry of red raspberry (*Rubus idaeus* L.) along a natural light gradient in a northern hardwood forest. *Forest Ecology and Management*, 81(1-3):153–160.
- RICHTER, J. (1999). In wie weit sind Kronenform und Schaftqualität der Rotbuche genetisch bedingt? *Forst und Holz*, 54:460–462.
- RITCHIE, G. A. (1984). Assessing seedling quality. In: DURYEA, M. L. und LANDIS, T. L., Hrsg., *Production of Bareroot Seedlings*. The Hague: Martinus Nijhoff.
- RITCHIE, G. A. (1997). Evidence for red:far red signaling and photomorphogenic growth response in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) seedlings. *Tree Physiology*, 17(3):161–168.
- ROBERTS, E. H. (1973). Predicting the storage life of seeds. *Seed, science and Technology*, 1:499–514.
- ROHMEDER, E. (1935). Zusammenhang zwischen Baumklasseneinteilung und Wasserreiserbefall jüngerer Eichenbestände. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 57(7):238–243.
- ROHMEDER, E. (1967). Beziehung zwischen Frucht- bzw. Samenerzeugung und Holzerzeugung der Waldbäume. *Allgemeine Forst-Zeitschrift*, 22(1):33–39.
- ROHMEDER, E. (1972). *Das Saatgut in der Forstwirtschaft*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- ROHMEDER, E. und SCHÖNBACH, H. (1959). *Genetik und Züchtung der Waldbäume*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- ROTACH, P. (1994). Genetische Vielfalt und praktische forstliche Tätigkeit: Probleme und Handlungsbedarf. *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen*, 145(12):999–1020.
- ROTH, V., DEKANIĆ, S., und DUBRAVAC, T. (2011). Effect of acorn size on morphological development of one-year-old seedlings of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in different light conditions. *Sumarski list*, 135(13):159–168.
- ROTH, V., DUBRAVAC, T., PILAS, I., DEKANIC, S., und BREKALO, Z. (2009). Acorn size of pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) and sessile Oak (*Quercus petraea* Liebl.) as a factor in growth and development of seedlings. *Journal of the Forestry Society of Croatia*, 133(5-6):257–266.

- RUEHLE, J. L. und KORMANIK, P. P. (1986). Lateral root morphology: A potential indicator of Seedling Quality in Northern Red oak. Technical Report Res. Note SE-44, USDA For. Serv. Southeastern For. Exp. Sta.,.
- RUSHTON, B. S. (1978). *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.: a multivariate approach to the hybrid problem, 1. Data acquisition, analysis and interpretation. *Watsonia*, 12:81–101.
- RUSHTON, B. S. (1983). An analysis of variation of leaf characters in *Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Matt.) Liebl. population samples from Northern Ireland. *Irish Forestry*, 40(2):52–77.
- RUSHTON, B. S. (1993). Natural hybridization within the genus *Quercus* L. *Annals of Forest Science*, 50(Supplement 1):73–90.
- RÖHRIG, E., BARTSCH, N., und LÜPKE, B. (2006). *Waldbau auf ökologischer Grundlage, 7. Auflage*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- SALVINI, D., BRUSCHI, P., FINESCHI, S., GROSSONI, P., KJAER, E. D., und VENDRAMIN, G. G. (2009). Natural hybridisation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus pubescens* Willd. within an Italian stand as revealed by microsatellite fingerprinting. *Plant Biology*, 11(5):758–765.
- SAVILL, P. und KANOWSKI, P. (1993). Tree improvement programs for European oaks: goals and strategies. *Annals of Forest Science*, 50:368–383.
- SCAMONI, A. (1955). Beobachtungen über den Pollenflug der Waldbäume in Eberswalde. *Silvae Genetica*, 4(4-5):113–122.
- SCHAPER, C. (1977). Eichenwirtschaft in Dänemark. *Forst- und Holzwirt*, 32(18):355–358.
- SCHAPER, C. (1978). *Das Jugendwachstum von Stiel- und Traubeneichen auf norddeutschen Standorten*. Dissertation, Forstliche Fakultät der Georg-August-Universität zu Göttingen in Göttingen.
- SCHENK, W. (1994). Eichelmastdaten aus 350 Jahren für Mainfranken - Probleme der Erfassung und Ansätze für umweltgeschichtliche Interpretationen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 165(7):122–132.
- SCHERRER, D., BADER, M. K., und KÖRNER, C. (2011). Drought-sensitivity ranking of deciduous tree species based on thermal imaging of forest canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(12):1794–1806.
- SCHLEGEL, T. K. (1978). *Frosthärteinduktion bei Eichen*. Dissertation, Fachbereich Gartenbau der Universität Hannover.

- SCHLEGEL, T. K. und SPETHMANN, W. (1999). Induktion und Persistenz der Frosthärte bei *Quercus robur* und *Quercus petraea*-Saatgut. In: SCHRÖDER, T. und WULF, A., Hrsg., *Forstschritte bei der Lagerungstechnologie von Eichensaatgut*, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 365, S. 81–103.
- SCHMIDT, A. (2007). Die Rolle der Kiefer in der Forstgeschichte. In: *Beiträge zur Waldkiefer*, LWF Wissen 57, S. 12–17. Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- SCHMIDT, O. (2013). Die Wurzeln der Nachhaltigkeit liegen im Wald. In: *Wald und Nachhaltigkeit*, LWF Wissen 72, S. 11–14. Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- SCHMIDT-VOGT, H. (1977). *Die Fichte - Ein Handbuch in zwei Bänden*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- SCHOBER, R. (1975). *Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung*. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- SCHREINER, D. (1933). Klebastbildung an Eichen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 12:406–414.
- SCHRÖK, O., KOOTZ, F. W., und HOFFMANN, K. (1954). *Forstliche Samenplantagen*. Neumann Verlag, Radebeul und Berlin.
- SCHRÖTTERER, C. (1998). Genome evolution: Are microsatellites really simple sequences? *Current Biology*, 8(4):132–134.
- SCHULZ, H. (1959). *Untersuchungen über Bewertung und Güteermerekmale des Eichenholzes aus verschiedenen Wuchsgebieten*. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und Mitteilungen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt Band 23. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- SCHUSTER, L. (1950). Über den Sammeltrieb des Eichelhähers. *Die Vogelwelt*, 71:9–17.
- SCHWARNWEBER, T., MANTHEY, M., CRIEGEE, C., BAUWE, A., SCHRÖDER, C., und WILKIM, M. (2011). Drought matters - Declining precipitation influences growth of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in north-eastern Germany. *Forest Ecology and Management*, 262(6):947–961.
- SCHÄDELIN, W. (1942). *Die Auslesedurchforstung als Erziehungsbetrieb höchster Wertleistung*. Verlag Paul Haupt, Bern, Leipzig.
- SCHÖNBACH, H. (1950). Forstpflanzenzüchtung und Vorratspflegliche Waldwirtschaft. In: HEGER, A., Hrsgg., *Lehrbuch der Vorratspflege*, Radebeul und Berlin. Neumann Verlag.
- SCHÖNBACH, H. (1952a). Fragen der Forstpflanzenzüchtung, insbesondere Anlage von Saatzuchtplantagen. *Der Wald*, 2:342–346.

- SCHÖNBACH, H. (1952b). Fragen der Forstpflanzenzüchtung, insbesondere Anlage von Saatzuchtplantagen, 1. Fortsetzung. *Der Wald*, 2:358–360.
- SCHÜLER, S. und SCHLÜNZEN, K. H. (2006). Modeling of oak pollen dispersal on the landscape level with a mesoscale atmospheric model. *Environmental Modeling and Assessment*, 11(3):179–194.
- SCHÜTE, G. (1995). Kontrollierte Kreuzungen und Entwicklung der Hybriden von Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.). In: MAURER, W. und TABEL, U., Hrsg., *Genetik und Waldbau unter besonderer Berücksichtigung der heimischen Eichenarten*, S. 38–49. Mitteilungen der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz 34.
- SCHÜTZ, J. P. (1991). *Lässt sich die Eiche in der Kleinlochstellung erziehen? Ein Beitrag zur Mischung von Lichtbaumarten*. Tagungsband Sektion Ertragskunde 13.-15. Mai in Treis-Karden/Mosel. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten.
- SCOTTI-SAINTAGNE, C., MARIETTE, S., PORTH, I., GOICOECHEA, P. G., BARRENECHE, T., BODÉNÈS, C., BURG, K., und KREMER, A. (2004). Genome Scanning for Interspecific Differentiation Between Two Closely Related Oak Species [*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.]. *Genetics*, 168(3):1615–1626.
- SEEHOLZER, M. (1934). Zur Wasserreiserfrage. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 56(13):437–447.
- SEEMANN, D., DELB, H., und SCHRÖCK, H. W. (2001). Empfehlungen zur Behandlung von durch den Zweipunkt-Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus* F.) geschädigten Eichenbeständen. *Abt Waldschutz FVA (Hrsg.): Zur Bedeutung von rindenbrütenden Insekten beim Eichensterben. Bericht zum INTERREG II-Programm "Dépérissement Forestier en Vallée du Rhin - Waldschäden im Rheintal", S. 1-3*.
- SEVILLANO, I., SHORT, I. P., GRANT, J., und O'REILLY, C. (2016). Effects of light availability on morphology, growth and biomass allocation of *Fagus sylvatica* and *Quercus robur* seedlings. *Forest Ecology and Management*, 374:11–19.
- SHARP, W. M. und CHISMAN, H. H. (1961). Flowering and Fruiting in the White Oaks. Staminate Flowering through Pollen Dispersal. *Ecology*, 42(2):365–372.
- SHARP, W. M. und SPRAGUE, V. G. (1967). Flowering and Fruiting in the White Oaks. Pistillate Flowering, Acorn Development, Weather, and Yields. *Ecology*, 48(2):243–251.
- SHAW, M. W. (1968a). Factors affecting the natural regeneration of sessile oak (*Quercus petraea*) in North Wales. I A preliminary study of acorn production, viability and losses. *Journal of Ecology*, 56(2):565–583.

- SHAW, M. W. (1968b). Factors affecting the natural regeneration of sessile oak (*Quercus petraea*) in North Wales. II Acorn losses and germination under field conditions. *Journal of Ecology*, 56(3):647–660.
- SHAW, M. W. (1974). The reproductive characteristics of Oak. In: MORRIS, M. G. und PERRING, F. H., Hrsg., *The British Oak*, S. 162–181. The Botanical Society of the British Isles.
- SILVERTON, J. W. (1980). The evolutionary ecology of mast seeding in trees. *Biological Journal of the Linnean Society*, 14(2):235–250.
- SMITH, C. P. (1914). Plurality of seeds in acorns of *Quercus prinus*. *Rhodora - New England Botanical Club*, 16:41–43.
- SORK, V. L. (1993). Evolutionary ecology of mast-seeding in temperate and tropical oaks (*Quercus* spp.). *Vegetatio*, 107-108:133–147.
- SOUTHWOOD, T. R. E. (1961). The number of species of insect associated with various trees. *Journal of Animal Ecology*, 30:1–8.
- SPELLMANN, H. (1995). Holzqualität als Beurteilungskriterium im langfristigen Versuchswesen. *Forst und Holz*, 50(23):743–747.
- SPIEKER, H. (1983). Orientierungshilfe für die Steuerung des Dickenwachstums von Eichen-Z-Bäumen. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 38(22):569–570.
- SPIEKER, H. (1991). *Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Trauben- und Stieleichen*. Selbstverlag der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Stuttgart.
- SPIEKER, H. (2015). Produktion von Eichenwertholz. *AFZ-DerWald*, 70(13):25–26.
- STEINHOFF, S. (1993). Results of species hybridization with *Quercus robur* L, and *Quercus petraea* (Matt) Liebl. *Annals of Forest Science*, 50(Supplement 1):137–143.
- STEINHOFF, S. (1998). Kontrollierte Kreuzungen zwischen Stiel- und Traubeneiche: Ergebnisse und Folgerungen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 169(9):163–168.
- STEINKELLNER, H., FLUCH, S., TURETSCHKE, E., LEXER, C., STREIFF, R., KREMER, A., BURG, K., und GLÖSSL, J. (1997). Identification and characterization of (GA/CT)<sub>n</sub> microsatellite loci from *Quercus petraea*. *Plant Molecular Biology*, 33:1093–1096.
- STEPHAN, B. R. (1996). Das deutsche Konzept zur Erhaltung forstgenetischer Ressourcen. In: GEBUREK, T. und HEINZE, B., Hrsg., *Erhaltung genetischer Ressourcen in Wald - Normen, Programme, Maßnahmen*, S. 99–109. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg.
- STERN, K. (1960). *Plusbäume und Samenplantagen*. J. D. Sauerländers Verlag, Frankfurt am Main.

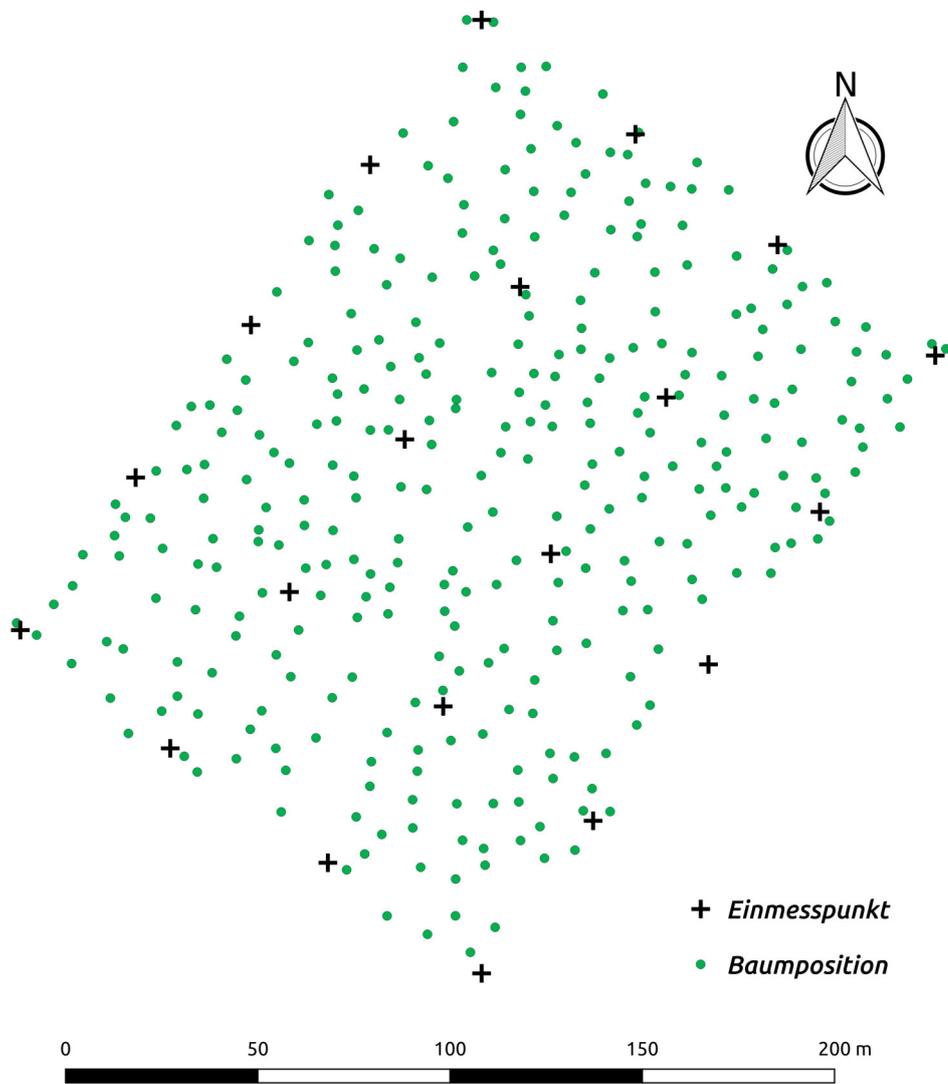
- STEVENS, G. C. und MATTHEW, K. K. (1988). *Quercus costaricensis* Liebm. and the problem of multi-seeded acorns. *Ecology*, 37(1):63–67.
- STIMM, B. und KNOKE, T. (2004). Hähersaaten: Ein Literaturüberblick zu waldbaulichen und ökonomischen Aspekten. *Forst und Holz*, 59(11):531–534.
- STREIFF, R., DUCOUSSO, A., LEXER, C., STEINKELLER, H., GLOESSL, J., und KREMER, A. (1999). Pollen dispersal inferred from paternity analysis in a mixed oak stand of *Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Matt.) Liebl. *Molecular Ecology*, 8(5):831–841.
- STREIFF, R., LABBE, T., BACILIERI, R., STEINKELLER, H., GLÖSSL, J., und KREMER, A. (1998). Within-population genetic structure in *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. assessed with isozymes and microsatellites. *Molecular Ecology*, 7(3):317–328.
- SUNER, A. und RÖHRIG, E. (1980). Die Entwicklung der Buchenverjüngung in Abhängigkeit von der Auffichtung des Altbestandes. *Forstarchiv*, 51(8):145–149.
- SYRACH-LARSEN, C. (1956). *Genetics in Silviculture*. Oliver and Boyd, Edinburgh, London.
- SÁENZ-ROMERO, C., LAMY, J. B., DUCOUSSO, A., MUSCH, B., EHRENMANN, F., DELZON, S., CAVERS, S., CHALUPKA, W., DAGDAS, S., HANSEN, J. K., LEE, S. J., LIESEBACH, M., RAU, H.-M., PSOMAS, A., SCHNECK, V., STEINER, W., ZIMMERMANN, N. E., und KREMER, A. (2017). Adaptive and plastic response of *Quercus petraea* populations to climate across Europe. *Global Change Biology*, 23(7):2831–2847.
- TABEL, U. (1996). Erhaltungsmaßnahmen in der forstlichen Praxis. In: MÜLLER-STARCK, G., Hrsgg., *Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft*. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg.
- TEISSIER DU CROS, E., KLEINSCHMIT, J., AZOEUF, P., und HOSLIN, R. (1988). Spiral Grain in Beech, Variability and Heredity. *Silvae Genetica*, 29(1):5–13.
- THOMASUS, H. (1988). Stabilität natürlicher und künstlicher Waldökosysteme sowie deren Beeinflussbarkeit durch forstwirtschaftliche Maßnahmen. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 43(8):1037–1043, 1064–1068.
- THÜNEN-INSTITUT (2012). Dritte Bundeswaldinventur - Ergebnisdatenbank. <https://bwi.info>, Aufruf am: 10.10.2018, Auftragskürzel: 77Z1JI-L235of-2012-bi, Archivierungsdatum: 2014-6-10 16:7:59:927.
- TILKI, F. (2010). Influence of acorn size and storage duration on moisture content, germination and survival of *Quercus petraea* (Mattuschka). *Journal of Environmental Biology*, 31:325–328.
- TRAINER, E. (2001). *Reproduktion in Beständen der Traubeneiche (Quercus petraea (Matt.) Liebl.)*. Dissertation, Fakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München.

- VALBUENA-CARABANA, M., GONZALEZ-MARTINEZ, S. C., SORK, V. L., COLLADA, C., SOTO, A., GOICOECHEA, P. G., und GIL, L. (2005). Gene flow and hybridisation in a mixed oak forest (*Quercus pyrenaica* Willd. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in central Spain. *Heredity*, 95(6):457–465.
- VALKONEN, S. (2008). Survival and growth of planted and seeded oak (*Quercus robur* L.) seedlings with and without shelters on field afforestation sites in Finland. *Forest Ecology and Management*, 255(3-4):1085–1094.
- VON LÜPKE, B. (1998). Silvicultural methods of oak regeneration with respect to shade tolerant mixed species. *Forest Ecology and Management*, 106(1):19–26.
- VON LÜPKE, B. (2008). Einfluss unterschiedlicher Hiebsformen auf die Naturverjüngung eines Traubeneichen-Buchen-Mischbestandes. *Forstarchiv*, 79:4–15.
- WAGNER, A. P., CREEL, S., und KALINOWSKI, ST. (2006). Estimating relatedness and relationships using microsatellite loci with null alleles. *Heredity*, 97(5):336–345.
- WAGNER, F. (2000). Die Geschichte der Kiefernwälder Ostbayerns und der Wandel ihrer Bewirtschaftung. Forstliche Forschungsberichte München 173.
- WAGNER, S., COLLET, C., MADSEN, P., NAKASHIZUKA, T., NYLAND, R. D., und SAGHEB-TALEBI, K. (2010). Beech regeneration research: From ecological to silvicultural aspects. *Forest Ecology and Management*, 259(11):2172–2182.
- WAGNER, S., FISCHER, H., und FRANKA, H. (2011). Canopy effects on vegetation caused by harvesting and regeneration treatments. *European Journal of Forest research*, 130(1):17–40.
- WARD, W. W. (1966). Epicormic Branching of Black and White Oaks. *Forest Science*, 12(3):290–296.
- WATT, A. S. (1919). On the causes of failure of natural regeneration in British oakwoods. *Journal of Ecology*, 7(3-4):173–203.
- WEISGERBER, H. (1987). Erkenntnisse und Einflussmöglichkeiten der Forstpflanzenzüchtung. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 31:801–805.
- WELANDER, N. T. und OTTOSSON, B. (1998). The influence of shading on growth and morphology in seedlings of *Quercus robur* L. and *Fagus sylvatica* L. *Forest Ecology and Management*, 107(1-3):117–126.
- WILKE, C. und LERMER, G. (2007). Eichen - Gedenken und Gedanken. In: *LWF Wissen: Beiträge zur Traubeneiche*, LWF Wissen 75, S. 30–40. Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- WILSON, B. C. und JACOBS, D. F. (2006). Quality assessment of temperate zone deciduous hardwood seedlings. *New Forests*, 31(3):417–433.

- WOHLGEMUTH, T., NUSSBAUMER, A., BURKHART, A., MORITZI, M., WASEM, U., und MOSER, B. (2016). Muster und treibende Kräfte der Samenproduktion bei Waldbäumen. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 167(6):316–324.
- WRIGHT, J. W. (1964). Flowering Age of Clonal and Seedling Trees as a Factor in Choice of Breeding System. *Silvae Genetica*, 13(1-2):21–27.
- WROŃSKA-PILAREK, D., DANIELEWICZ, W., BOCIANOWSKI, J., MALIŃSKI, T., und JANYSEZEK, M. (2016). Comparative Pollen Morphological Analysis and Its Systematic Implications on Three European Oak (*Quercus* L., Fagaceae) Species and Their Spontaneous Hybrids. *PLOS ONE*, 11(8):1–19.
- YACINE, A. und BOURAS, F. (1997). Self- and cross-pollination effects on pollen tube growth and seed set in holm oak *Quercus ilex* L (Fagaceae). *Annales des Sciences Forestieres*, 54(5):447–462.
- ZEILEIS, A., LUMLEY, T., BERGER, S., und GRAHAM, N. (2017). *sandwich: Robust Covariance Matrix Estimators*. R package version 2.4.0.
- ZENNER, E. K., KABRICK, J. M., JENSEN, R. G., PECK, J. E., und GRABNER, J. K. (2006). Responses of ground flora to a gradient of harvest intensity in the Missouri Ozarks. *Forest Ecology and Management*, 222(1-3):326–334.
- ZIEGENHAGEN, B. (1989). *Die Reaktion ein- und zweijähriger Stiel- und Traubeneichen auf unterschiedliche Strahlungsverhältnisse*. Dissertation, Hohe Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.
- ZIEGENHAGEN, B. und KAUSCH, W. (1995). Productivity of young shaded oaks (*Quercus robur* L.) as corresponding to shoot morphology and leaf anatomy. *Forest Ecology and Management*, 72(2-3):97–108.
- ZIMMERMANN, M. H. und BROWN, C. L. (1971). *Trees: Structure and Function*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- ZOBEL, B. J., BARBER, J., BROWN, C. L., und PERRY, T. O. (1958). Seed Orchards - Their Concept and Management. *Journal of Forestry*, 56(11):815–825.
- ZOBEL, B. und TALBERT, J. (1958). *Applied Forst Tree Improvement*. John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.



# Anhang



**Abbildung A.1:** Einmesspunkte (schwarze Kreuze) und Positionen (grüne Kreise) der Bäume auf der Testfläche Reinhardshagen.

**Tabelle A.1:** Prozentuale Anteile der einzelnen Merkmalsausprägungen innerhalb einer Qualitätsstufe für den Testbestand in Cottbus; Abweichungen von 100 % sind rundungsbedingt

Qualitätsstufe	Merkmal	Merkmalsausprägung			
		Stufe 1 [%]	Stufe 2 [%]	Stufe 3 [%]	Stufe 4 [%]
1	Geradschaftigkeit	100	0	0	0
	Zwiesel	100	0	0	*
	Steiläste	33	44	22	*
	Drehwuchs	100	0	0	0
	Rosen und Nägel	33	66	0	0
	Wasserreiser	11	89	0	0
2	Geradschaftigkeit	28	72	0	0
	Zwiesel	68	32	0	*
	Steiläste	66	22	12	*
	Drehwuchs	86	12	2	0
	Rosen und Nägel	48	46	4	2
	Wasserreiser	16	56	24	4
3	Geradschaftigkeit	26	44	27	2
	Zwiesel	41	22	37	*
	Steiläste	51	31	18	*
	Drehwuchs	81	17	2	0
	Rosen und Nägel	37	50	9	4
	Wasserreiser	12	55	23	10
4	Geradschaftigkeit	0	0	98	2
	Zwiesel	56	35	10	*
	Steiläste	58	23	19	*
	Drehwuchs	77	19	4	0
	Rosen und Nägel	44	42	12	2
	Wasserreiser	12	52	23	13

\* nicht ausgewiesen

**Tabelle A.2:** Prozentuale Anteile der einzelnen Merkmalsausprägungen innerhalb einer Qualitätsstufe für den Testbestand in Dassel. Abweichungen von 100 % sind rundungsbedingt

Qualitätsstufe	Merkmal	Merkmalsausprägung			
		Stufe 1 [%]	Stufe 2 [%]	Stufe 3 [%]	Stufe 4 [%]
1	Geradschaftigkeit	100	0	0	0
	Zwiesel	83	17	0	*
	Steiläste	67	33	0	*
	Drehwuchs	100	0	0	0
	Rosen und Nägel	100	0	0	0
	Wasserreiser	50	17	13	0
2	Geradschaftigkeit	29	71	0	0
	Zwiesel	90	10	0	*
	Steiläste	49	34	17	*
	Drehwuchs	95	5	0	0
	Rosen und Nägel	85	12	2	0
	Wasserreiser	24	29	39	7
3	Geradschaftigkeit	22	32	46	0
	Zwiesel	67	21	12	*
	Steiläste	59	24	17	*
	Drehwuchs	97	3	0	0
	Rosen und Nägel	88	12	1	0
	Wasserreiser	27	24	46	4
4	Geradschaftigkeit	0	0	100	0
	Zwiesel	82	14	3	*
	Steiläste	61	29	10	*
	Drehwuchs	98	2	0	0
	Rosen und Nägel	92	8	0	0
	Wasserreiser	24	32	27	16

\* nicht ausgewiesen

**Tabelle A.3:** Prozentuale Anteile der einzelnen Merkmalsausprägungen innerhalb einer Qualitätsstufe für den Testbestand in Grünenplan. Abweichungen von 100 % sind rundungsbedingt

Qualitätsstufe	Merkmal	Merkmalsausprägung			
		Stufe 1 [%]	Stufe 2 [%]	Stufe 3 [%]	Stufe 4 [%]
1	Geradschaftigkeit	100	0	0	0
	Zwiesel	100	0	0	*
	Steiläste	100	0	0	*
	Drehwuchs	100	0	0	0
	Rosen und Nägel	100	0	0	0
	Wasserreiser	75	0	25	0
2	Geradschaftigkeit	12	88	0	0
	Zwiesel	100	0	0	*
	Steiläste	76	12	12	*
	Drehwuchs	88	12	0	0
	Rosen und Nägel	82	18	0	0
	Wasserreiser	29	71	0	0
3	Geradschaftigkeit	14	29	55	2
	Zwiesel	78	13	9	*
	Steiläste	51	24	24	*
	Drehwuchs	98	2	0	0
	Rosen und Nägel	81	15	2	1
	Wasserreiser	42	16	41	1
4	Geradschaftigkeit	0	0	98	2
	Zwiesel	89	6	6	*
	Steiläste	66	19	15	*
	Drehwuchs	96	2	2	0
	Rosen und Nägel	68	28	4	0
	Wasserreiser	34	13	49	4

\* nicht ausgewiesen

**Tabelle A.4:** Prozentuale Anteile der einzelnen Merkmalsausprägungen innerhalb einer Qualitätsstufe für den Testbestand in Reinhardshagen. Abweichungen von 100 % sind rundungsbedingt

Qualitätsstufe	Merkmal	Merkmalsausprägung			
		Stufe 1 [%]	Stufe 2 [%]	Stufe 3 [%]	Stufe 4 [%]
1	Geradschaftigkeit	100	0	0	0
	Zwiesel	100	0	0	*
	Steiläste	68	32	0	*
	Drehwuchs	95	5	0	0
	Rosen und Nägel	86	14	0	0
	Wasserreiser	59	27	14	0
2	Geradschaftigkeit	23	77	0	0
	Zwiesel	89	11	0	*
	Steiläste	56	34	10	*
	Drehwuchs	97	3	0	0
	Rosen und Nägel	80	17	3	0
	Wasserreiser	51	34	14	1
3	Geradschaftigkeit	22	48	29	1
	Zwiesel	77	11	12	*
	Steiläste	64	28	7	*
	Drehwuchs	98	2	0	0
	Rosen und Nägel	78	18	4	0
	Wasserreiser	46	33	21	0
4	Geradschaftigkeit	0	0	98	2
	Zwiesel	83	12	5	*
	Steiläste	72	23	5	*
	Drehwuchs	99	1	0	0
	Rosen und Nägel	73	23	2	1
	Wasserreiser	37	37	22	4

\* nicht ausgewiesen

**Tabelle A.5:** Prozentuale Anteile der einzelnen Merkmalsausprägungen innerhalb einer Qualitätsstufe für den Testbestand in Sichelstein. Abweichungen von 100 % sind rundungsbedingt

Qualitätsstufe	Merkmal	Merkmalsausprägung			
		Stufe 1 [%]	Stufe 2 [%]	Stufe 3 [%]	Stufe 4 [%]
1	Geradschaftigkeit	100	0	0	0
	Zwiesel	100	0	0	*
	Steiläste	100	0	0	*
	Drehwuchs	100	0	0	0
	Rosen und Nägel	0	100	0	0
	Wasserreiser	66	33	0	0
2	Geradschaftigkeit	16	84	0	0
	Zwiesel	64	36	0	*
	Steiläste	80	12	8	*
	Drehwuchs	96	4	0	0
	Rosen und Nägel	36	52	12	0
	Wasserreiser	64	16	20	0
3	Geradschaftigkeit	4	40	55	2
	Zwiesel	55	25	20	*
	Steiläste	89	7	4	*
	Drehwuchs	96	4	0	0
	Rosen und Nägel	38	36	18	7
	Wasserreiser	45	22	27	5
4	Geradschaftigkeit	0	0	87	13
	Zwiesel	69	31	0	*
	Steiläste	85	15	0	*
	Drehwuchs	98	2	0	0
	Rosen und Nägel	41	26	24	9
	Wasserreiser	43	24	28	6

\* nicht ausgewiesen

## Rezepte Extraktion

### Extraktionspuffer

20 g ATMAB (Alkyltrimethylammoniumbromide)  
10 g PVP (Polyvinylpyrrolidone, 40000er und kleiner)  
40 ml EDTA (Etylendiaminotetraacetat) 0,5 M pH 8,0  
100 ml Tris/HCL (Tris(hydroxymethyl)-aminomethan) 1M, pH 8,0  
280 ml NaCl 5M  
auf 1 Liter mit 2-fach destillierten Wasser auffüllen, Autoklavieren

### DTT

20 ml Dtt-Lösung (1,4 Dithiothreit):  
3,09 g DTT  
20 ml 0,01 M NaAc, pH 5,2 Molgewicht:82,03  
DTT in dem NaAc lösen. Lösung mit DTT nicht autoklavieren, Sterilfiltrieren, in Cups bei -20°C einfrieren.

### 10 x TE-Puffer

10 mM Tris: 12,11g  
10 mM EDTA: 3,72g  
auf 1 Liter 2fach destilliertes Waaser, pH 8,0 mit HCL einstellen, Autoklavieren  
1 Liter **1 x TE Puffer** + 10ng/ml Thase

## PCR-Protokoll

**Tabelle A.6:** Mastermix Multiplex 1, Gesamtansatz 13 $\mu$ l, DNA Verdünnung 5ng/ $\mu$ l

$\mu$ l je Tube		Label	Master Mix
0,30	QrZAG112-for	Cy5	5,4
0,30	QrZAG112-rev		5,4
0,30	QrZAG96-for	Dy-751	5,4
0,30	QrZAG96-rev		5,4
1,00	QrZAG110-for	IRD700	18,0
1,00	QrZAG110-rev		18,0
0,30	QrZAG11-for	Cy5	5,4
0,30	QrZAG11-rev		5,4
0,50	dNTP		9,0
0,88	MgCl <sub>2</sub>		15,8
2,50	Puffer		45,0
4,22	H <sub>2</sub> O		76,0
0,10	Taq		1,80
1,00	DNA		

**Tabelle A.7:** Mastermix Multiplex 2, Gesamtansatz 13 $\mu$ l, DNA Verdünnung 5ng/ $\mu$ l

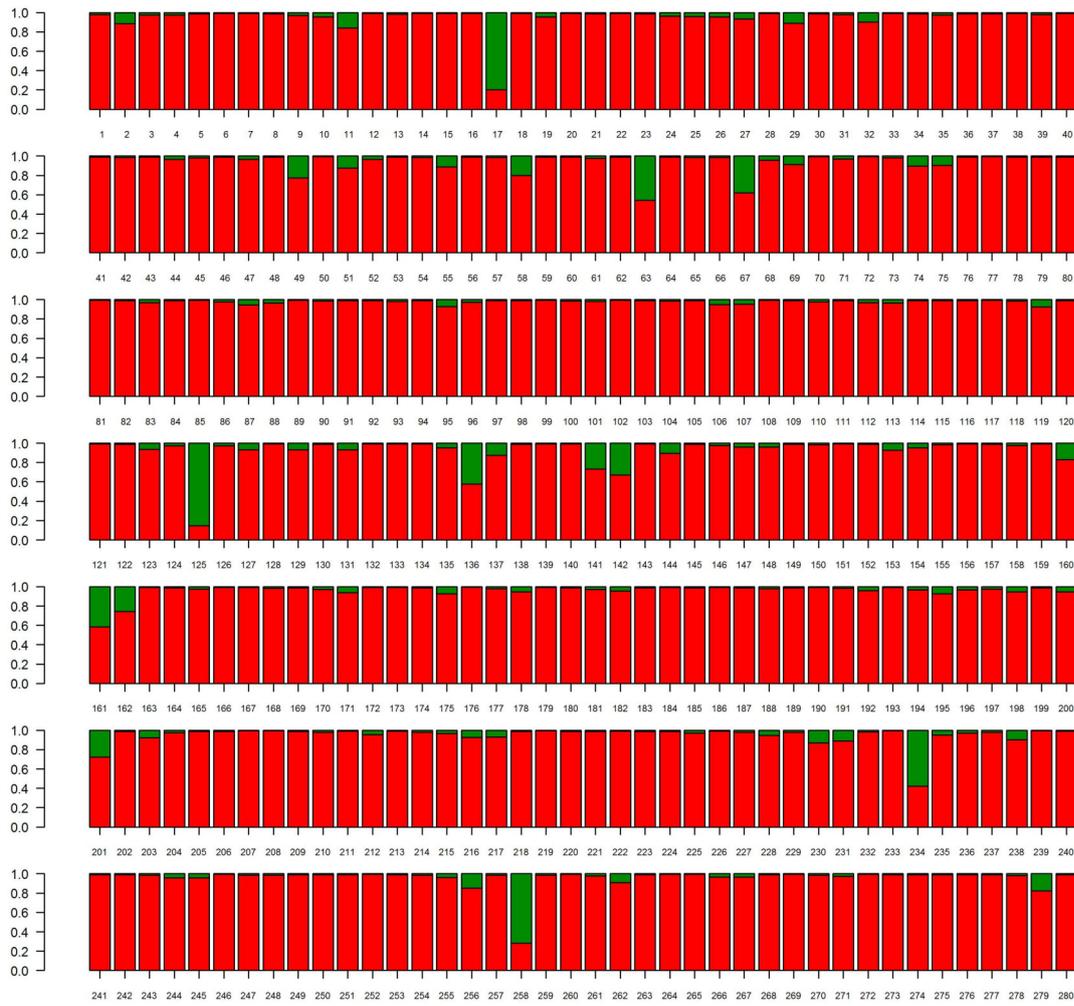
$\mu$ l je Tube		Label	Master Mix
0,10	QrZAG87-for	Cy5	1,0
0,10	QrZAG87-rev		1,0
0,75	QrZAG20-for	Dy-751	7,5
0,75	QrZAG20-rev		7,5
0,75	QrZAG5b-for	IRD700	7,5
0,75	QrZAG5b-rev		7,5
0,40	QrZAG65-for	Cy5	4,0
0,40	QrZAG65-rev		4,0
0,50	dNTP		5,0
0,88	MgCl <sub>2</sub>		8,8
2,55	Puffer		25,0
4,02	H <sub>2</sub> O		40,2
0,10	Taq		1,00
1,00	DNA		

**Tabelle A.8:** Häufigkeiten der Null-Allel-Segregation getrennt nach Testbestand und Locus

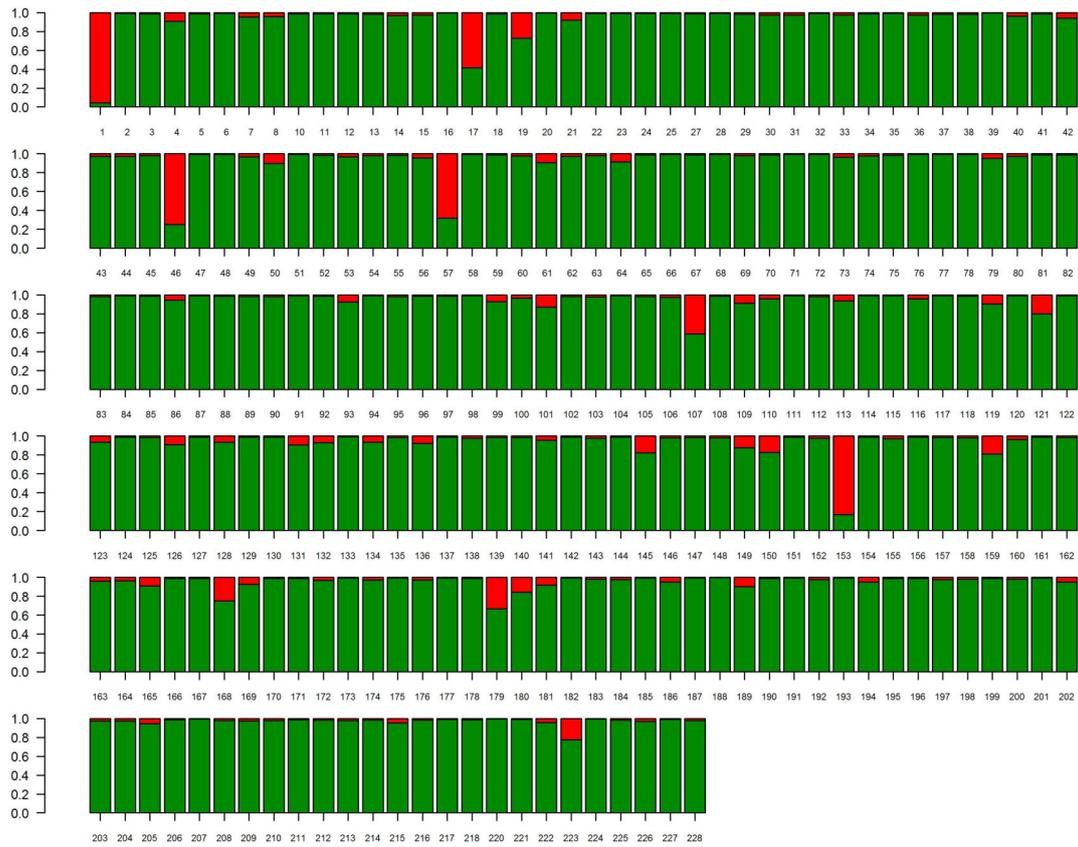
Locus	Testbestand				
	Cottbus	Dassel	Grünenplan	Reinhardshagen	Sichelnstein
112Q	-0,0110	-0,0060	0,0703	-0,0277	0,0150
96Q	0,0134	-0,0129	0,1024	-0,0157	0,0403
110Q	0,0194	0,0014	0,0039	-0,0145	-0,0237
11Q	0,0613	-0,0025	0,0614	0,0172	0,0089
87Q	-0,0049	0,0025	0,0116	0,0202	0,0031
20Q	0,0088	-0,0533	0,0305	0,0288	-0,0154
5bQ	0,0313	0,0315	0,0205	0,0141	-0,0077
65Q	0,0468	0,0419	0,0243	0,0488	0,0603

**Tabelle A.9:** Ergebnisse der Analyse mit dem STRUCTURE Harvester; K = Anzahl der Populationen

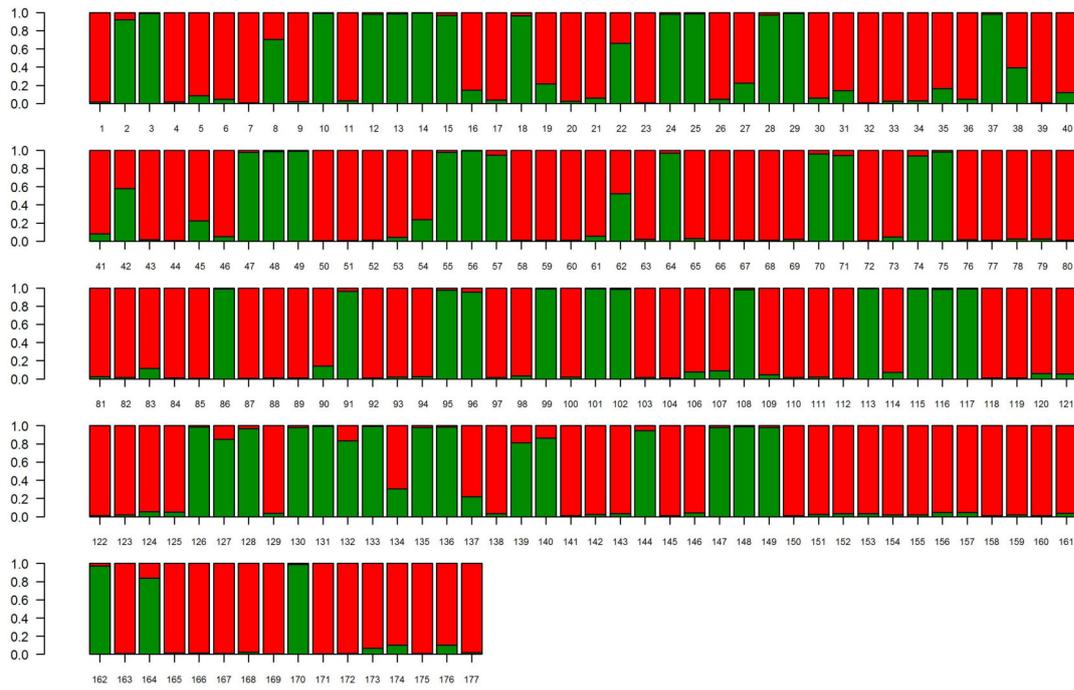
Bestand	K	Mean LnP(K)	Stdev LnP(K)	Ln'(K)	Ln“(K)	Delta K
Cottbus	1	-20011,98	1,35			
	2	-18865,80	3,18	1146,18	951,91	298,93
	3	-18671,53	6,19	194,27	88,58	14,30
	4	-18565,83	27,41	105,69		
Dassel	1	-18004,28	1,18			
	2	-17197,37	2,73	806,91	768,22	281,04
	3	-17158,69	23,64	38,69	380,61	16,10
	4	-17500,61	322,34	-341,93		
Grünenplan	1	-16231,88	0,74			
	2	-15261,22	1,26	970,66	890,69	707,57
	3	-15181,25	9,84	79,97	51,51	5,23
	4	-15049,76	41,54	131,49		
Reinhardshagen	1	-21402,56	1,40			
	2	-20579,04	2,13	823,52	701,65	329,52
	3	-20457,17	14,72	121,87	356,55	24,22
	4	-20691,86	176,01	-234,69		
Sichelnstein	1	-13937,63	0,77			
	2	-13115,17	1,71	822,46	666,84	388,85
	3	-12959,55	4,15	155,62	147,66	35,56
	4	-12951,59	328,26	7,96		



**Abbildung A.2:** Ergebnisse der Analyse mit dem Programm Structure für den Testbestand Cottbus; grün = Anteil posteriore Wahrscheinlichkeit Stiel-Eiche, rot = Anteil posteriore Wahrscheinlichkeit Trauben-Eiche



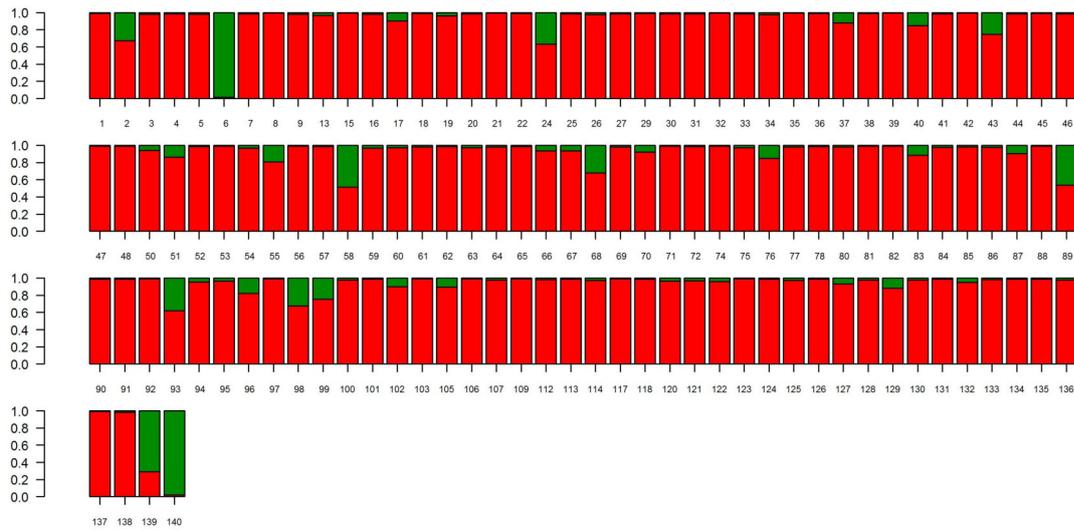
**Abbildung A.3:** Ergebnisse der Analyse mit dem Programm Structure für den Testbestand Dassel; grün = Anteil posteriore Wahrscheinlichkeit Stiel-Eiche, rot = Anteil posteriore Wahrscheinlichkeit Trauben-Eiche



**Abbildung A.4:** Ergebnisse der Analyse mit dem Programm Structure für den Testbestand Grünenplan; grün = Anteil posteriore Wahrscheinlichkeit Stiel-Eiche, rot = Anteil posteriore Wahrscheinlichkeit Trauben-Eiche



**Abbildung A.5:** Ergebnisse der Analyse mit dem Programm Structure für den Testbestand Reinhardshagen; grün = Anteil posteriore Wahrscheinlichkeit Stiel-Eiche, rot = Anteil posteriore Wahrscheinlichkeit Trauben-Eiche



**Abbildung A.6:** Ergebnisse der Analyse mit dem Programm Structure für den Testbestand Sichelstein; grün = Anteil posteriore Wahrscheinlichkeit Stiel-Eiche, rot = Anteil posteriore Wahrscheinlichkeit Trauben-Eiche

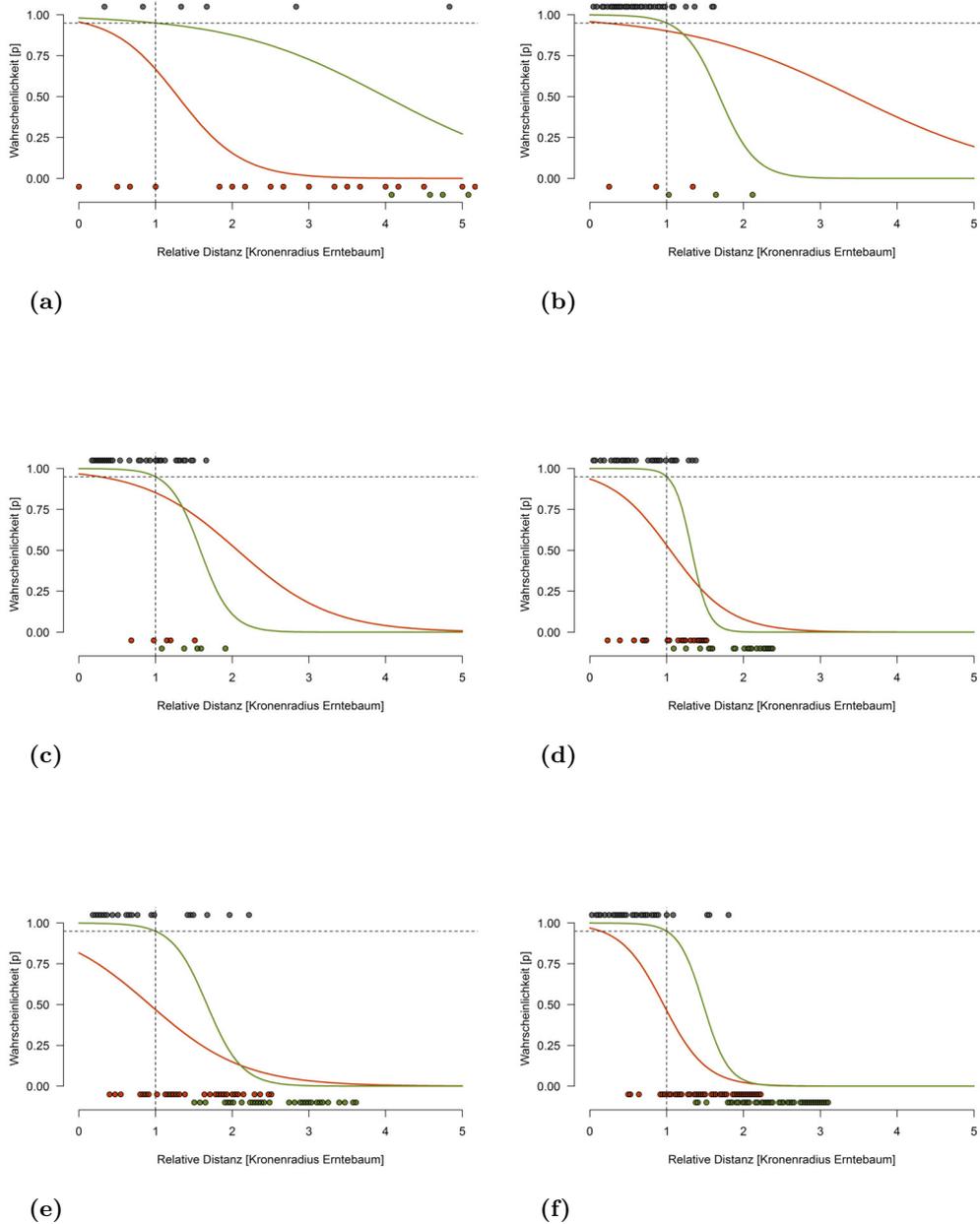
**Tabelle A.10:** Test auf Homogenität für die einzelnen Bestandespaare getrennt nach Loci (In vielen Fällen sind die Teststatistiken aufgrund von erwarteten Häufigkeiten von weniger als 5 überhöht und können fälschlicherweise die Ablehnung der Hypothese empfehlen).

Locus	Dassel-Grünenplan	Dassel-Reinhardshagen	Grünenplan-Reinhardshagen	Cottbus-Grünenplan	Cottbus-Sichelnstein	Grünenplan-Sichelnstein
1	48,81 <sup>*</sup>	59,01 <sup>**</sup>	44,84 <sup>**</sup>	44,97 <sup>***</sup>	28,77 <sup>***</sup>	30,06 <sup>***</sup>
2	18,82	45,68 <sup>**</sup>	21,87	67,22 <sup>***</sup>	92,30 <sup>***</sup>	62,29 <sup>***</sup>
3	49,87 <sup>***</sup>	44,55 <sup>*</sup>	57,69 <sup>***</sup>	47,10 <sup>***</sup>	90,65 <sup>***</sup>	38,98 <sup>*</sup>
4	80,14 <sup>***</sup>	45,12 <sup>*</sup>	87,52 <sup>***</sup>	66,11 <sup>***</sup>	67,29 <sup>***</sup>	37,55 <sup>***</sup>
5	96,10 <sup>***</sup>	80,55 <sup>***</sup>	69,42 <sup>***</sup>	89,49 <sup>***</sup>	55,42 <sup>***</sup>	35,36 <sup>***</sup>
6	44,35 <sup>**</sup>	61,08 <sup>***</sup>	30,62	84,08 <sup>***</sup>	105,46 <sup>***</sup>	45,60 <sup>***</sup>
7	81,66 <sup>***</sup>	109,95 <sup>***</sup>	75,92 <sup>**</sup>	82,08 <sup>***</sup>	84,08 <sup>***</sup>	52,11 <sup>*</sup>
8	86,55 <sup>***</sup>	46,96	70,09 <sup>**</sup>	145,10 <sup>***</sup>	122,85 <sup>***</sup>	75,43 <sup>***</sup>

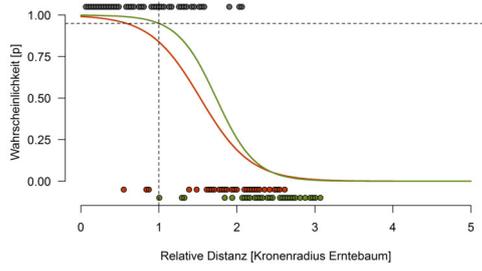
p<0,05<sup>\*</sup> ; p<0,01<sup>\*\*</sup> ; p<0,001<sup>\*\*\*</sup>

**Tabelle A.11:** Zusatzinformationen über die Ernte und nachbarbäume der eingemessenen 20 Transekte: Transekt, H-EB = Baumhöhe Erntelbaum, K-EB = Kronenansatz, D-EB = BHD Erntelbaum, H-NB = Baumhöhe Nachbarbaum, K-NB = Kronenansatz Nachbarbaum, D-NB = BHD Nachbarbaum, BA = Baumnabstand, R-EB = Kronenradius Erntelbaum, R-NB = Kronenradius Nachbarbaum

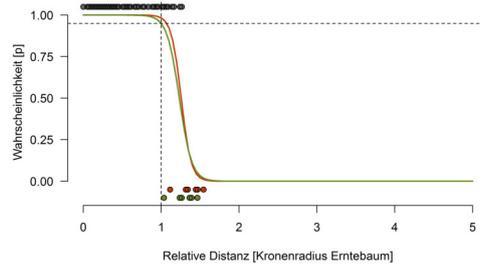
Transekt	H-EB [m]	K-EB [m]	D-EB [cm]	H-NB [m]	K-NB [m]	D-NB [cm]	BA [m]	R-EB [m]	R-NB [m]
1-1	32,20	20,60	54,0	30,10	21,20	48,5	5,30	4,70	0,60
1-2	32,20	20,60	54,0	31,10	19,00	48,0	8,20	4,40	3,80
1-3	32,20	20,60	54,0	31,10	15,00	43,0	6,90	4,10	2,90
1-4	32,20	20,60	54,0	30,60	17,20	54,0	7,10	4,35	2,75
2-1	29,90	15,40	61,0	26,10	15,40	43,5	8,15	3,60	3,15
2-2	29,90	15,40	61,0	28,80	17,40	46,5	14,40	7,90	4,70
2-3	29,90	15,40	61,0	30,10	17,70	49,0	16,50	6,80	4,70
2-4	29,90	15,40	61,0	31,10	15,40	18,0	5,90	5,10	0,90
3-1	28,80	15,50	51,5	29,00	14,80	57,0	18,00	6,60	9,30
3-2	28,80	15,50	51,5	26,10	15,40	43,5	15,55	6,80	4,15
3-3	28,80	15,50	51,5	32,60	16,50	54,5	23,00	6,00	8,60
3-4	28,80	15,50	51,5	32,20	18,90	62,5	17,55	5,70	5,75
4-1	32,80	18,90	55,5	30,40	16,20	56,0	12,15	8,10	4,05
4-2	32,80	18,90	55,5	29,90	14,10	52,5	17,05	4,80	6,75
4-3	32,80	18,90	55,5	28,10	13,80	48,5	14,10	3,60	5,20
4-4	32,80	18,90	55,5	32,40	19,70	56,0	12,70	5,90	4,20
5-1	33,60	14,80	64,0	29,90	16,50	59,0	14,35	6,50	5,05
6-1	33,50	15,50	61,0	29,30	15,10	48,5	12,10	5,50	3,30
7-1	31,50	15,20	54,0	30,20	16,10	59,0	9,00	6,30	2,00
8-1	29,90	16,50	59,0	30,30	13,40	64,5	11,40	5,90	4,20



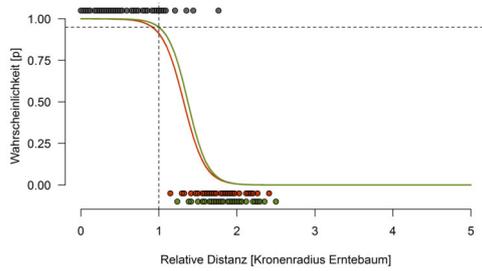
**Abbildung A.7:** Ergebnisse der logistischen Regression vor und nach der Korrektur, schwarze Punkte = Eicheln Zielbaum, rote Punkte = Eicheln Nachbarbaum vor der Korrektur, grüne Punkte = Eicheln Nachbarbaum nach der Korrektur, rote Linie = Wahrscheinlichkeit vor der Korrektur, grüne Linie = Wahrscheinlichkeit nach der Korrektur, graue senkrechte Linie = Kronentrauf Zielbaum, graue waagerechte Linie = gewünschte Saatgutreinheit 95%; (a): Transekt 1.1.81, (b): Transekt 1.2.80, (c): Transekt 1.3.80, (d): Transekt 1.4.80, (e): Transekt 1.4.82, (f): Transekt 2.1.159



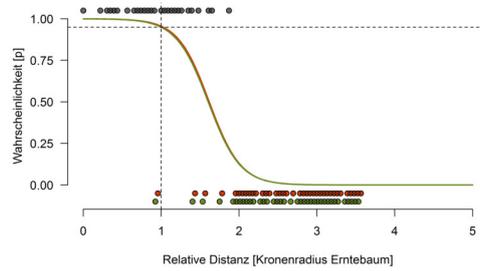
(a)



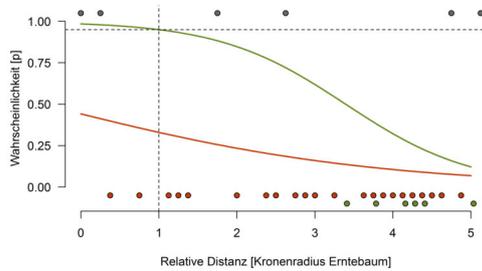
(b)



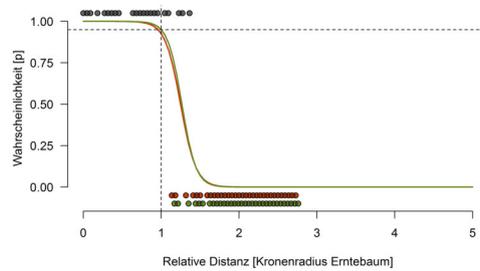
(c)



(d)

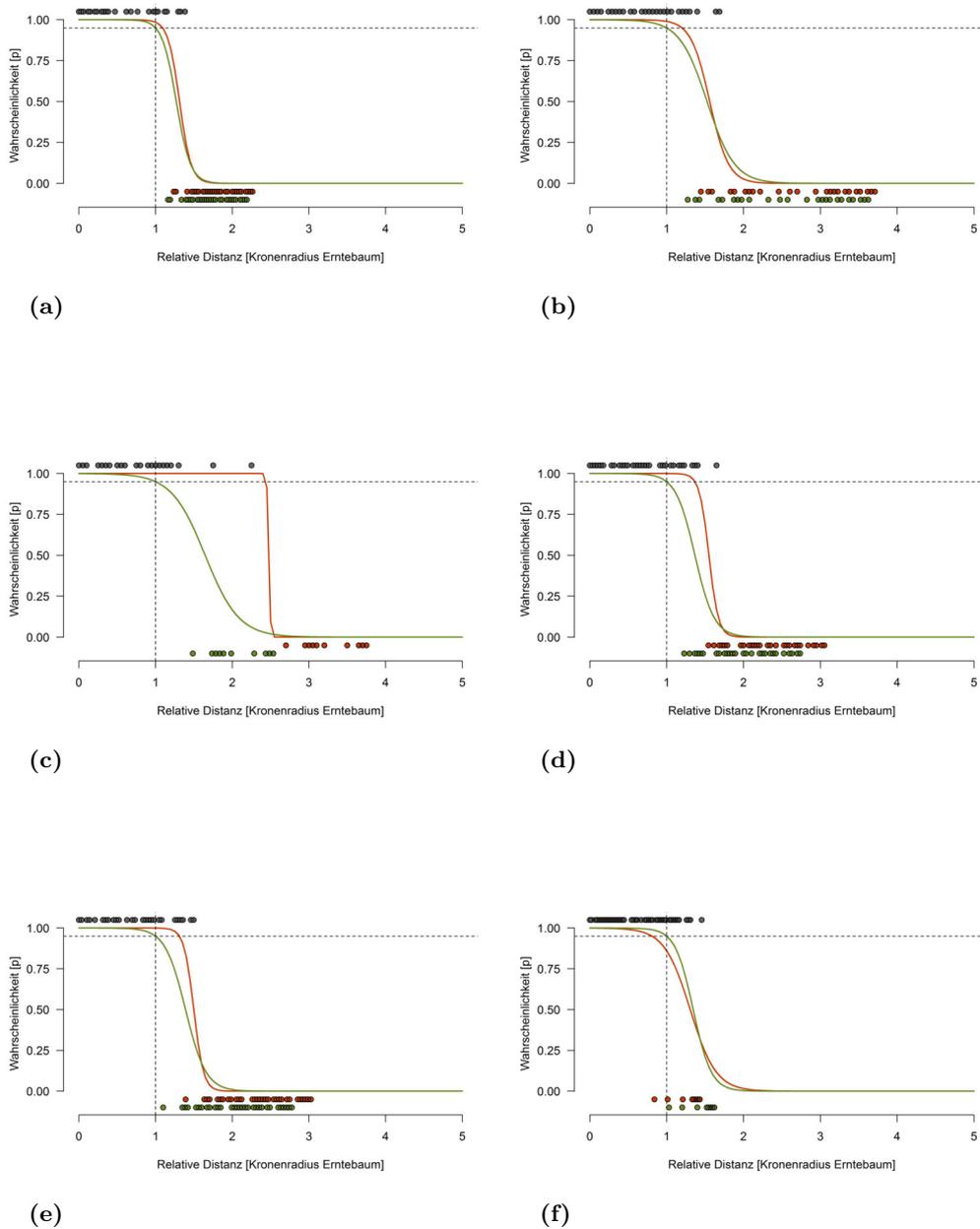


(e)

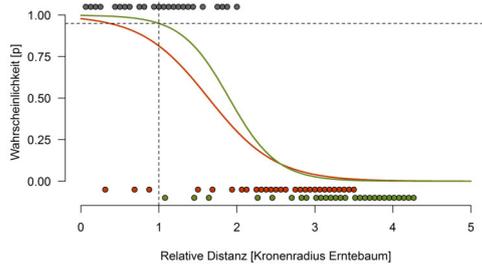


(f)

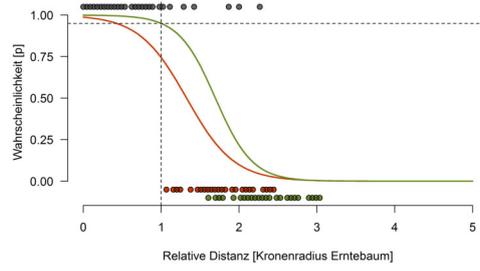
**Abbildung A.8:** Ergebnisse der logistischen Regression vor und nach der Korrektur, schwarze Punkte = Eichen Zielbaum, rote Punkte = Eichen Nachbarbaum vor der Korrektur, grüne Punkte = Eichen Nachbarbaum nach der Korrektur, rote Linie = Wahrscheinlichkeit vor der Korrektur, grüne Linie = Wahrscheinlichkeit nach der Korrektur, graue senkrechte Linie = Kronentrauf Zielbaum, graue waagerechte Linie = gewünschte Saatgutreinheit 95%; (a): Transekt 2.1.161, (b): Transekt 2.2.159, (c): Transekt 2.3.159, (d): Transekt 2.3.169, (e): Transekt 2.4.158, (f): Transekt 3.1.138



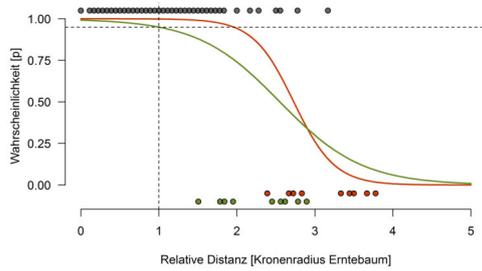
**Abbildung A.9:** Ergebnisse der logistischen Regression vor und nach der Korrektur, schwarze Punkte = Eicheln Zielbaum, rote Punkte = Eicheln Nachbarbaum vor der Korrektur, grüne Punkte = Eicheln Nachbarbaum nach der Korrektur, rote Linie = Wahrscheinlichkeit vor der Korrektur, grüne Linie = Wahrscheinlichkeit nach der Korrektur, graue senkrechte Linie = Kronentrauf Zielbaum, graue waagerechte Linie = gewünschte Saatgutreinheit 95%; (a): Transekt 3.2.138, (b): Transekt 3.2.161, (c): Transekt 3.3.138, (d): Transekt 3.4.138, (e): Transekt 3.4.162, (f): Transekt 4.1.90



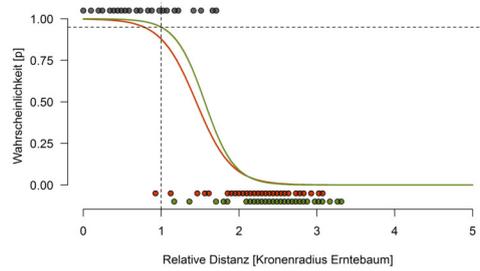
(a)



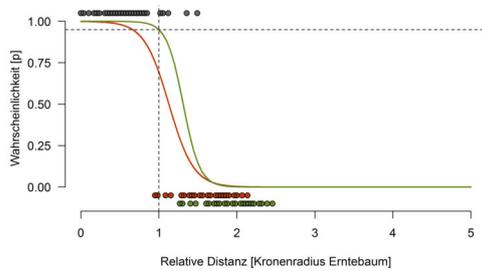
(b)



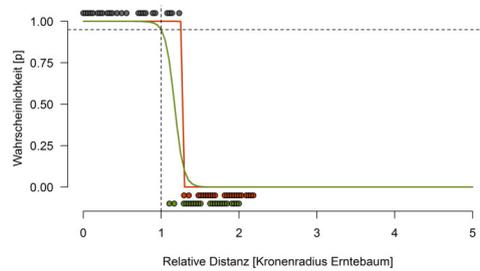
(c)



(d)

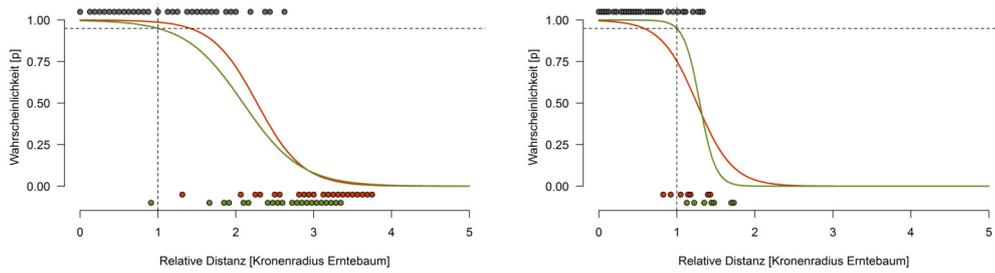


(e)



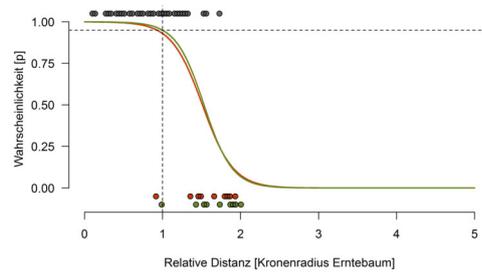
(f)

**Abbildung A.10:** Ergebnisse der logistischen Regression vor und nach der Korrektur, schwarze Punkte = Eichen Zielbaum, rote Punkte = Eichen Nachbarbaum vor der Korrektur, grüne Punkte = Eichen Nachbarbaum nach der Korrektur, rote Linie = Wahrscheinlichkeit vor der Korrektur, grüne Linie = Wahrscheinlichkeit nach der Korrektur, graue senkrechte Linie = Kronentrauf Zielbaum, graue waagerechte Linie = gewünschte Saatgutreinheit 95%; (a): Transekt 4.2.90, (b): Transekt 4.2.151, (c): Transekt 4.3.90, (d): Transekt 4.4.88, (e): Transekt 4.4.90, (f): Transekt 5.35



(a)

(b)



(c)

**Abbildung A.11:** Ergebnisse der logistischen Regression vor und nach der Korrektur, schwarze Punkte = Eichen Zielbaum, rote Punkte = Eichen Nachbarbaum vor der Korrektur, grüne Punkte = Eichen Nachbarbaum nach der Korrektur, rote Linie = Wahrscheinlichkeit vor der Korrektur, grüne Linie = Wahrscheinlichkeit nach der Korrektur, graue senkrechte Linie = Kronentrauf Zielbaum, graue waagerechte Linie = gewünschte Saatgutreinheit 95%; (a): Transekt 6.83, (b): Transekt 7.27, (c): Transekt 8.32

**Tabelle A.12:** Modellparameter der logistischen Regression Teil 1

Transekt	Zielbaum	Coefficients	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(> z )
1.1	80	Intercept	23,69	22,42	1,06	0,291
		rel-dis	-20,75	20,68	-1,00	0,316
	81	Intercept	3,93	1,94	2,02	0,043
		rel-dis	-0,98	0,38	-2,61	0,009
1.2	80	Intercept	7,22	2,77	2,61	0,009
		rel-dis	-4,28	1,94	-2,20	0,028
	78	Intercept	8,61	5,94	1,45	0,147
		rel-dis	-5,67	3,40	-1,67	0,095
1.3	80	Intercept	7,98	3,36	2,38	0,018
		rel-dis	-5,04	2,38	-2,12	0,034
	73	Intercept	11,58	7,62	1,52	0,129
		rel-dis	-8,64	5,21	-1,66	0,098
1.4	80	Intercept	11,98	4,58	2,61	0,009
		rel-dis	-9,03	3,53	-2,56	0,010
	82	Intercept	7,34	2,63	2,80	0,005
		rel-dis	-4,39	1,46	-3,01	0,003
2.1	159	Intercept	9,10	3,19	2,86	0,004
		rel-dis	-6,16	2,00	-3,08	0,002
	161	Intercept	6,95	1,65	4,20	p<0,001
		rel-dis	-4,00	0,93	-4,32	p<0,001
2.2	159	Intercept	15,61	6,69	2,34	0,012
		rel-dis	-12,66	5,55	-2,28	0,022
	170	Intercept	22,75	27,32	0,83	0,405
		rel-dis	-19,80	22,88	-0,87	0,387
2.3	159	Intercept	10,88	3,44	3,16	0,002
		rel-dis	-7,93	2,42	-3,28	0,001
	169	Intercept	7,82	2,22	3,53	p<0,001
		rel-dis	-4,88	1,36	-3,58	p<0,001

**Tabelle A.13:** Modellparameter der logistischen Regression Teil 2

Transekt	Zielbaum	Coefficients	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(> z )
2.4	159	Intercept	38,19	30,72	1,24	0,214
		rel-dis	-35,25	28,54	-1,24	0,2173
	158	Intercept	4,17	2,24	1,86	0,063
		rel-dis	-1,23	0,50	-2,44	0,015
3.1	138	Intercept	14,04	6,13	2,29	0,022
		rel-dis	-11,10	4,81	-2,31	0,021
	137	Intercept	30,32	21,24	1,43	0,154
		rel-dis	-27,37	19,06	-1,44	0,151
3.2	138	Intercept	13,85	5,28	2,62	0,008
		rel-dis	-10,91	4,04	-2,70	0,007
	161	Intercept	8,54	2,91	2,93	0,003
		rel-dis	-5,60	1,94	-2,88	0,004
3.3	138	Intercept	7,50	2,76	2,71	0,007
		rel-dis	-4,55	1,66	-2,74	0,006
	105	Intercept	*	*	*	*
		rel-dis	*	*	*	*
3.4	138	Intercept	10,95	3,87	2,83	0,005
		rel-dis	-8,01	2,83	-2,83	0,005
	162	Intercept	10,49	3,69	2,84	0,005
		rel-dis	-7,54	2,60	-2,91	0,004
4.1	90	Intercept	11,48	3,85	2,98	0,003
		rel-dis	-8,53	2,96	-2,88	0,004
	92	Intercept	13,38	10,78	1,24	0,215
		rel-dis	-10,43	8,08	-1,29	0,196
4.2	90	Intercept	6,21	1,84	3,38	p<0,001
		rel-dis	-3,27	1,00	-3,26	p<0,001
	151	Intercept	7,17	2,29	3,14	0,001
		rel-dis	-4,23	1,24	-3,43	p<0,001

**Tabelle A.14:** Modellparameter der logistischen Regression Teil 3

Transekt	Zielbaum	Coefficients	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(> z )
4.3	90	Intercept	4,84	1,40	3,46	p<0,001
		rel-dis	-1,90	0,66	-2,90	0,004
	89	Intercept	*	*	*	*
		rel-dis	*	*	*	*
4.4	90	Intercept	12,39	5,37	2,31	0,021
		rel-dis	-9,45	3,97	-2,38	0,017
	88	Intercept	8,21	2,76	2,97	0,003
		rel-dis	-5,27	1,73	-3,04	0,002
5	35	Intercept	20,24	10,11	2,00	0,045
		rel-dis	-17,30	8,60	-2,01	0,044
	32	Intercept	22,66	15,15	1,50	0,135
		rel-dis	-19,71	13,03	-1,51	0,130
6	38	Intercept	13,66	8,71	1,57	0,117
		rel-dis	-10,72	6,33	-1,69	0,090
	83	Intercept	5,64	1,53	3,69	p<0,001
		rel-dis	-2,69	0,71	-3,77	p<0,001
7	27	Intercept	12,97	6,01	2,16	0,031
		rel-dis	-10,03	4,73	-2,12	0,034
	1	Intercept	7,89	4,89	1,61	0,107
		rel-dis	-4,94	2,89	-1,71	0,087
8	32	Intercept	8,50	2,80	3,03	0,002
		rel-dis	-5,55	1,90	-2,92	0,004
	45	Intercept	11,78	10,30	1,14	0,253
		rel-dis	-8,84	7,14	-1,24	0,216

**Tabelle A.15:** Eckdaten der Eichelsammlungen

Prüfglied Nr.	Sammeldatum	Sammelmenge [kg]	Sammelzeit [min]	Thermotherapie
31	13.10.2015	5,04	66	14.10.2016
32	13.10.2015	5,78	42	14.10.2016
33	13.10.2015	4,85	59	14.10.2016
34	13.10.2015	4,50	54	14.10.2016
35	14.10.2015	6,33	40	15.10.2016
36	15.10.2015	6,65	41	16.10.2016
37	15.10.2015	5,43	40	16.10.2016
38	15.10.2015	5,83	69	16.10.2016
39	15.10.2015	6,00	42	16.10.2016
40	15.10.2015	5,98	41	16.10.2016
41	14.10.2015	5,78	41	15.10.2016
42	19.10.2015	5,30	40	21.10.2016
43	19.10.2015	5,41	56	21.10.2016
44	19.10.2015	5,52	44	21.10.2016
45	20.10.2015	5,61	42	21.10.2016
46	20.10.2015	5,47	46	21.10.2016
47	20.10.2015	5,48	50	21.10.2016

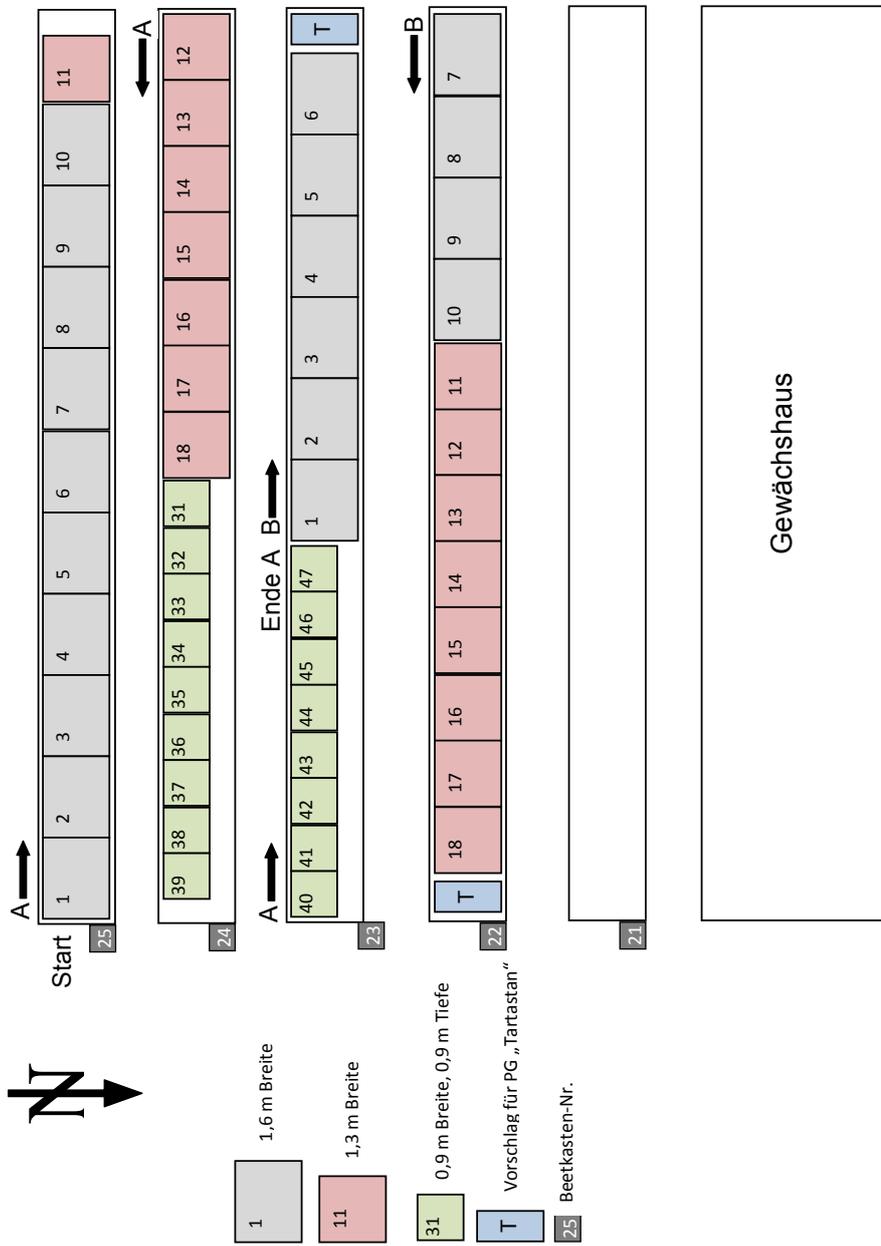


Abbildung A.12: Schema der Beetkästen 1

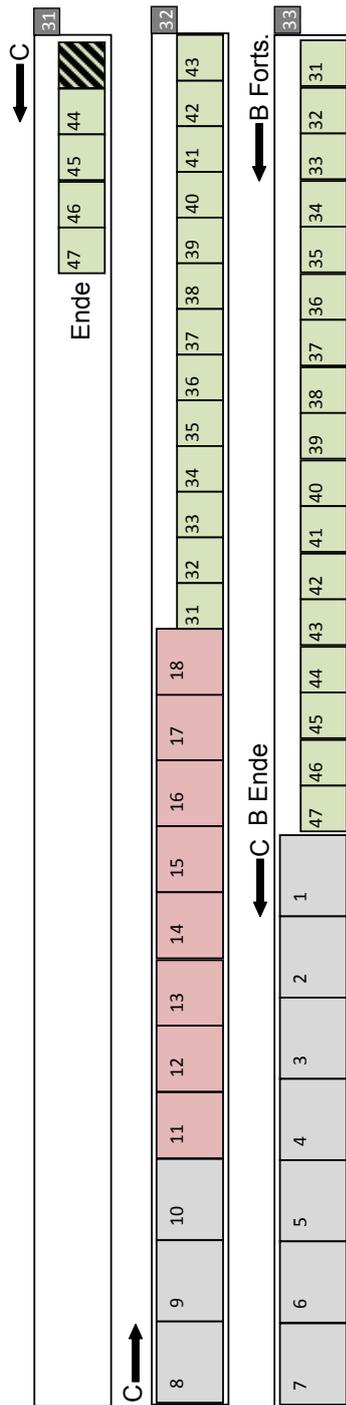


Abbildung A.13: Schema der Beekästen 2

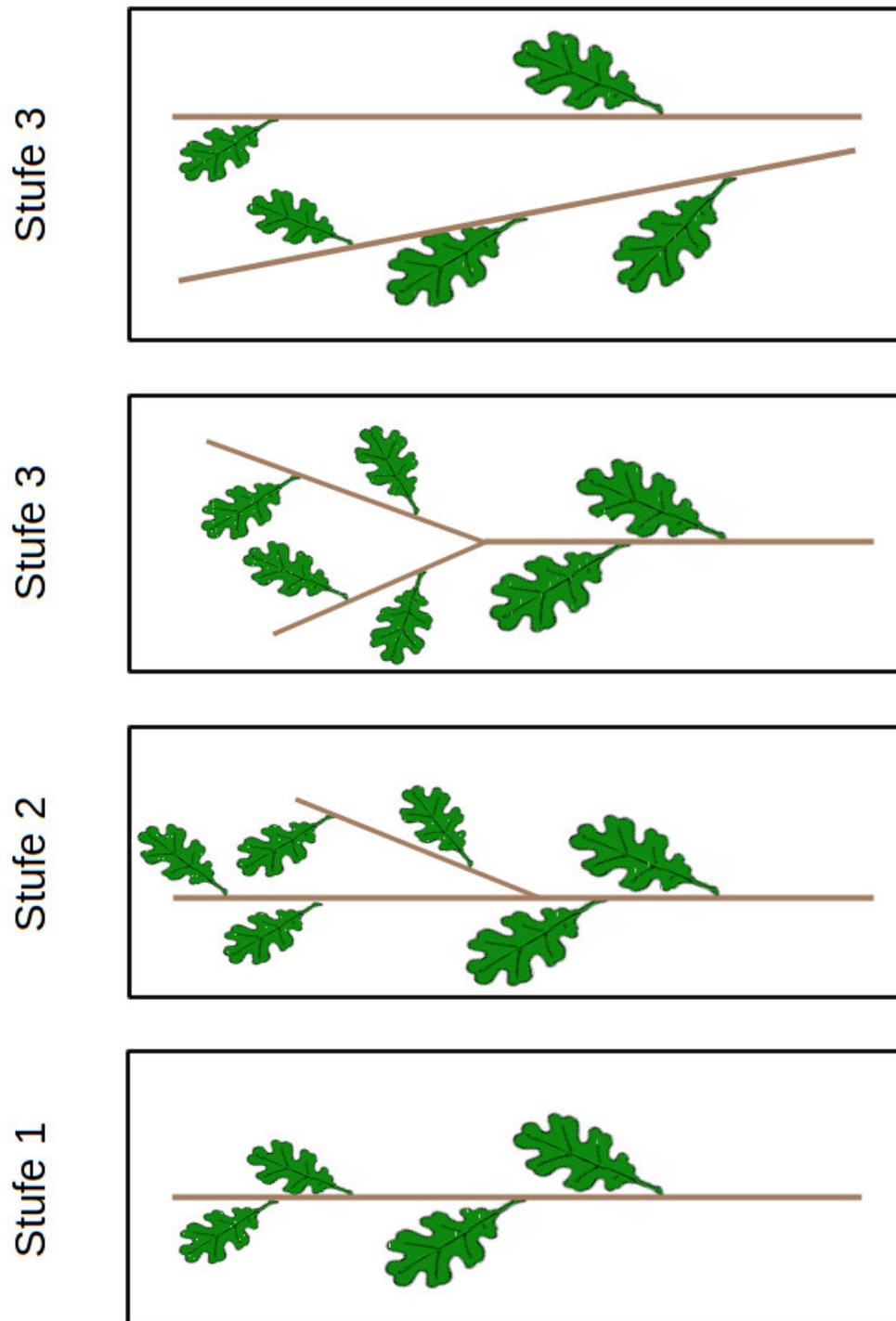


Abbildung A.14: Boniturschema der Eichensämlinge nach der ersten Vegetationsperiode

**Tabelle A.16:** Eichellängen: statistische Kennzahlen getrennt nach Prüfgliedern (PG = Prüfglied, N = Anzahl, min = Minimum, max = Maximum, mean = Mittelwert, skew = Schiefe, kurt = Wölbung, normal = Test auf Normalverteilung)

PG	N	min [mm]	max [mm]	mean [mm]	skew	kurt	normal [p-value]
31	243	11	26	17,7	-0,115	0,373	<0,001 <sup>***</sup>
32	150	14	30	22,1	-0,068	-0,349	0,059
33	284	5	22	13,3	0,150	0,311	<0,001 <sup>***</sup>
34	169	15	28	21,3	-0,218	-0,092	0,006 <sup>**</sup>
35	126	12	28	20,0	-0,099	-0,406	0,104
36	194	9	25	16,6	0,092	0,291	0,001 <sup>**</sup>
37	209	9	20	14,3	-0,114	-0,077	<0,001 <sup>***</sup>
38	274	9	23	15,0	0,054	0,149	<0,001 <sup>***</sup>
39	158	13	27	21,1	-0,498	-0,378	<0,001 <sup>***</sup>
40	164	12	27	20,0	-0,242	-0,109	0,030 <sup>*</sup>
41	147	12	25	19,5	-0,465	0,119	0,001 <sup>**</sup>
42	106	18	33	24,4	-0,173	-0,257	0,032 <sup>*</sup>
43	292	5	24	16,5	-0,444	1,096	<0,001 <sup>***</sup>
44	117	16	34	26,0	-0,231	-0,241	0,043 <sup>*</sup>
45	160	12	26	18,1	0,150	0,804	0,001 <sup>**</sup>
46	127	12	29	19,4	0,043	0,602	0,004 <sup>**</sup>
47	216	14	27	20,8	-0,309	-0,046	0,001 <sup>**</sup>

**Tabelle A.17:** Eichelbreiten: statistische Kennzahlen getrennt nach Prüfgliedern (PG = Prüfglied, N = Anzahl, min = Minimum, max = Maximum, mean = Mittelwert, skew = Schiefe, kurt = Wölbung und normal = Test auf Normalverteilung)

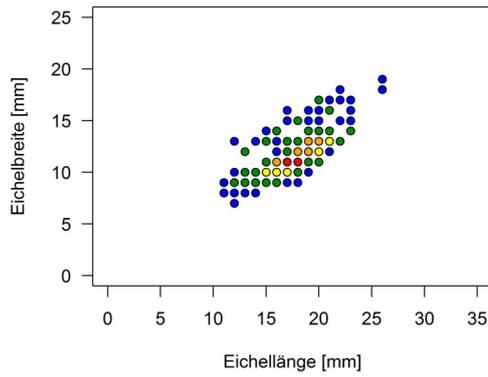
PG	N	min [mm]	max [mm]	mean [mm]	skew	kurt	normal [p-value]
31	243	7	19	11,9	0,705	0,948	<0,001***
32	150	7	20	12,4	0,285	0,599	0,054
33	284	4	15	8,9	0,606	1,594	<0,001***
34	169	10	22	13,8	1,167	3,379	<0,001***
35	126	8	17	13,1	-0,180	-0,465	0,002**
36	194	6	15	10,8	0,155	0,134	<0,001***
37	209	7	15	10,4	0,113	-0,113	<0,001***
38	274	8	15	9,5	0,524	0,092	<0,001***
39	158	11	21	15,3	0,340	0,322	<0,001***
40	164	10	21	15,1	0,318	0,122	0,001**
41	147	8	15	11,4	-0,070	-0,207	<0,001***
42	106	13	24	17,5	0,489	0,270	0,007**
43	292	4	13	8,2	0,098	0,106	<0,001***
44	117	10	21	14,9	0,415	0,793	0,001**
45	160	8	15	11,3	0,176	-0,075	<0,001***
46	127	8	25	12,8	1,456	6,730	<0,001***
47	216	10	16	12,6	0,105	-0,466	<0,001***

**Tabelle A.18:** Eichelvolumen: statistische Kennzahlen getrennt nach Prüfgliedern (PG = Prüfglied, N = Anzahl, min = Minimum, max = Maximum, mean = Mittelwert, skew = Schiefe, kurt = Wölbung und normal = Test auf Normalverteilung)

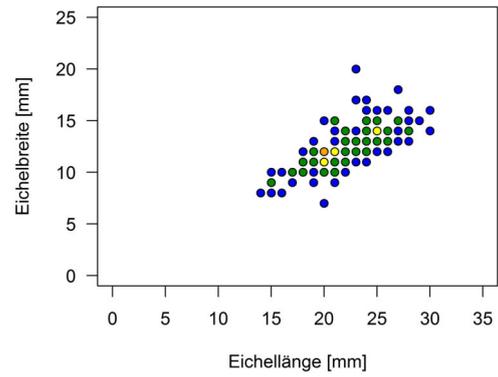
PG	N	min [cm <sup>3</sup> ]	max [cm <sup>3</sup> ]	mean [cm <sup>3</sup> ]	skew	kurt	normal [p-value]
31	243	0,34	4,79	1,39	1,657	4,475	<0,001 ***
32	150	0,47	4,82	1,90	0,678	0,334	<0,001 ***
33	284	0,42	2,53	0,61	2,202	7,915	<0,001 ***
34	169	0,92	5,57	2,23	1,225	2,397	<0,001 ***
35	126	0,50	4,09	1,90	0,397	-0,372	0,035 *
36	194	0,17	2,95	1,08	1,088	1,709	<0,001 ***
37	209	0,23	2,20	0,85	0,663	0,188	<0,001 ***
38	274	0,14	2,71	0,77	1,325	2,453	<0,001 ***
39	158	0,92	5,81	2,69	0,507	0,355	0,015 *
40	164	0,67	5,76	2,47	0,916	0,953	<0,001 ***
41	147	0,40	2,83	1,38	0,412	-0,035	0,030 *
42	106	1,55	8,24	4,04	0,579	-0,151	0,009 **
43	292	0,04	1,95	0,64	1,100	1,800	<0,001 ***
44	117	1,07	7,11	3,11	0,806	0,621	<0,001 ***
45	160	0,44	3,06	1,25	0,928	1,559	<0,001 ***
46	127	0,49	7,20	1,77	2,641	13,207	<0,001 ***
47	216	0,68	3,56	1,77	0,575	-0,029	<0,001 ***

**Tabelle A.19:** Schlankheit: statistische Kennzahlen getrennt nach Prüfgliedern (PG = Prüfglied, N = Anzahl, min = Minimum, max = Maximum, mean = Mittelwert, skew = Schiefe, kurt = Wölbung und normal = Test auf Normalverteilung)

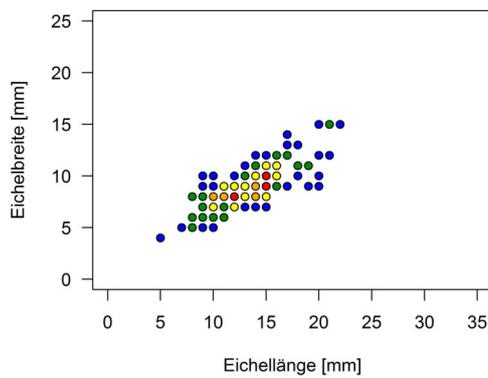
PG	N	min	max	mean	skew	kurt	normal [p-value]
31	243	0,92	1,93	1,50	-0,613	0,735	<0,001 <sup>***</sup>
32	150	1,15	2,86	1,80	0,762	4,093	<0,001 <sup>***</sup>
33	284	0,90	2,22	1,50	0,291	0,755	0,003 <sup>**</sup>
34	169	0,86	2,01	1,55	-0,646	1,757	0,001 <sup>**</sup>
35	126	1,08	1,92	1,53	-0,055	0,313	0,684
36	194	1,22	2,22	1,55	0,849	1,102	<0,001 <sup>***</sup>
37	209	1,00	2,14	1,38	1,030	2,675	<0,001 <sup>***</sup>
38	274	1,07	2,33	1,59	0,476	1,248	<0,001 <sup>***</sup>
39	158	0,71	1,84	1,38	-0,155	2,718	<0,001 <sup>***</sup>
40	164	0,73	1,79	1,33	0,133	0,956	0,005 <sup>**</sup>
41	147	1,18	2,78	1,72	0,829	4,233	<0,001 <sup>***</sup>
42	106	1,01	1,84	1,41	0,359	1,886	0,008 <sup>**</sup>
43	292	1,17	3,00	2,04	0,356	1,076	<0,001 <sup>***</sup>
44	117	1,13	2,35	1,77	-0,252	0,128	0,591
45	160	1,20	2,00	1,62	0,005	0,040	0,474
46	127	0,88	2,18	1,53	0,331	0,227	0,238
47	216	1,23	1,96	1,66	-0,514	0,145	0,004 <sup>**</sup>



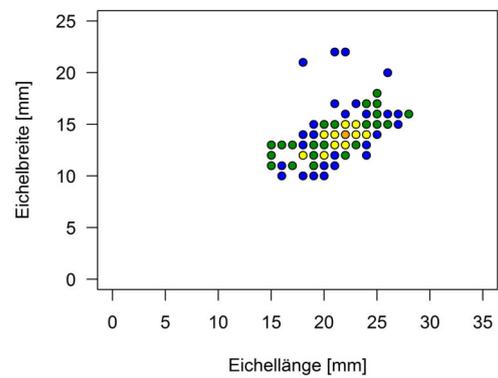
(a)



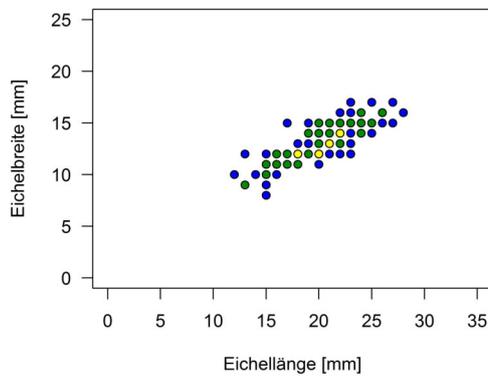
(b)



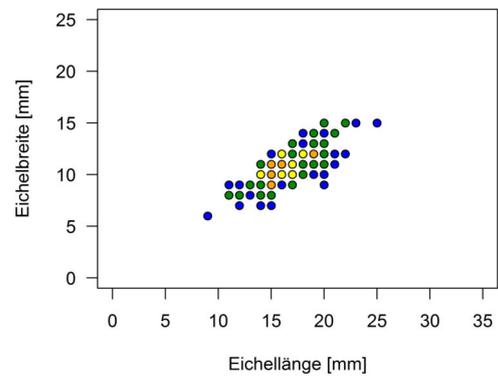
(c)



(d)

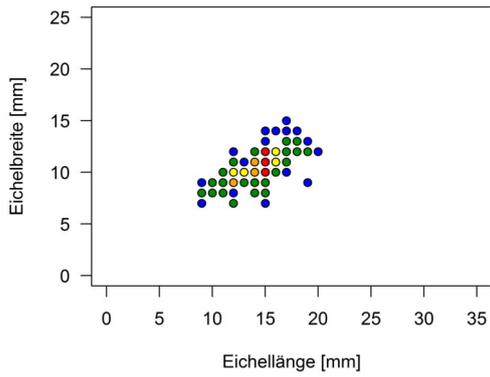


(e)

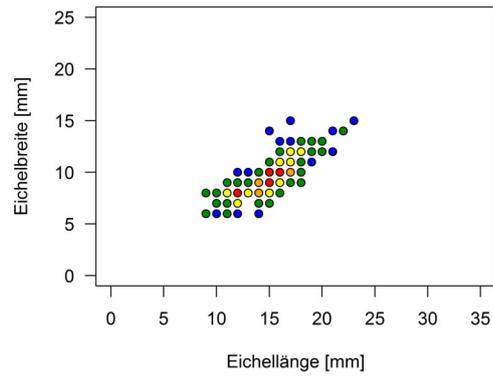


(f)

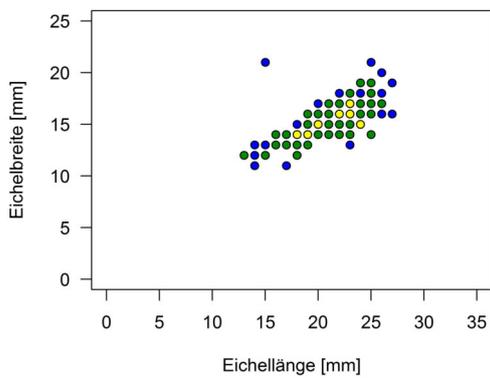
**Abbildung A.15:** Korrelation der Eichellängen und Eichelbreiten getrennt nach Prüfgliedern; blau = ein gleiches Wertepaar, grün = 2 bis 5 Wertepaare, gelb = 6 bis 10 Wertepaare, orange = 11 bis 15 Wertepaare, rot mehr als 15 gleiche Wertepaare; (a): Prüfglied 31, (b): Prüfglied 32, (c): Prüfglied 33, (d): Prüfglied 34, (e): Prüfglied 35, (f): Prüfglied 36



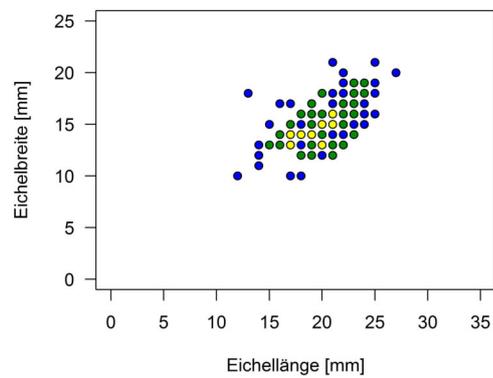
(a)



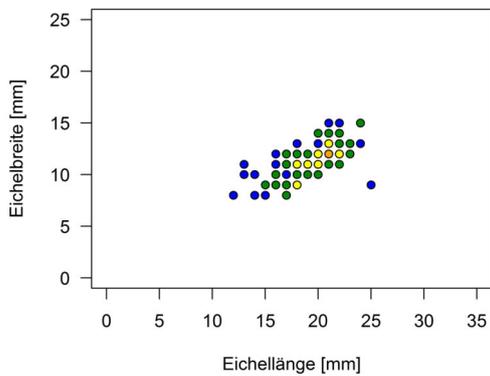
(b)



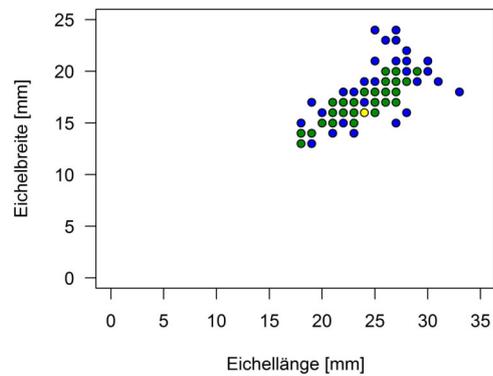
(c)



(d)

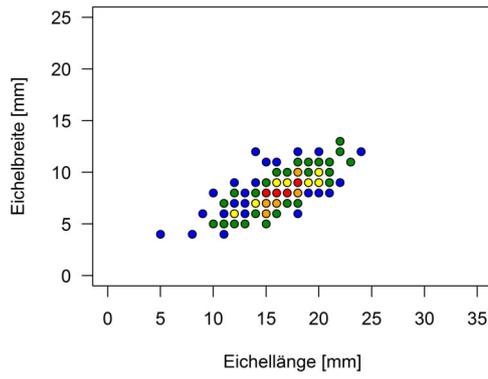


(e)

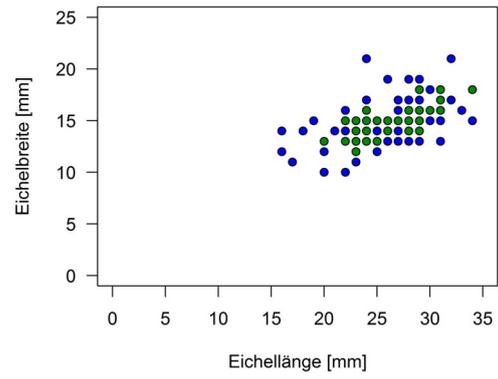


(f)

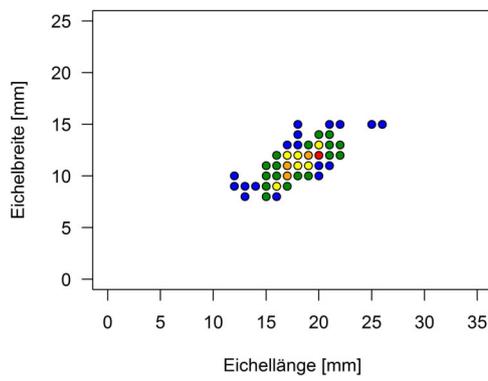
**Abbildung A.16:** Korrelation der Eichellängen und Eichelbreiten getrennt nach Prüfgliedern; blau = ein gleiches Wertepaar, grün = 2 bis 5 Wertepaare, gelb = 6 bis 10 Wertepaare, orange = 11 bis 15 Wertepaare, rot mehr als 15 gleiche Wertepaare; (a): Prüfglied 37, (b): Prüfglied 38, (c): Prüfglied 39, (d): Prüfglied 40, (e): Prüfglied 41, (f): Prüfglied 42



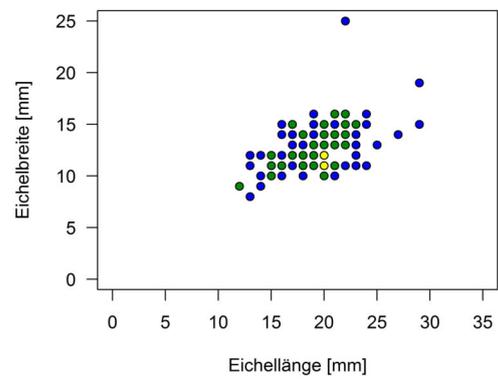
(a)



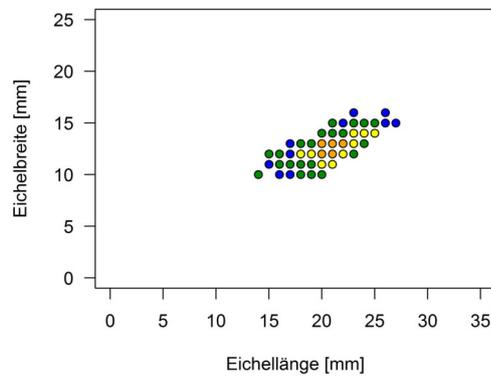
(b)



(c)

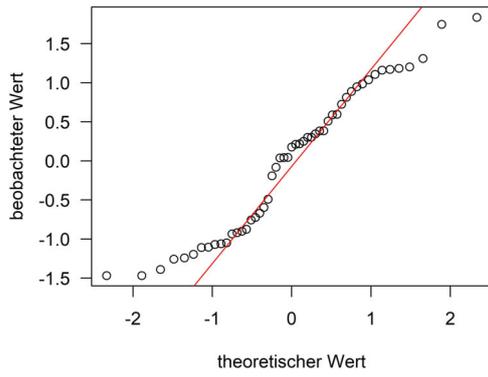


(d)

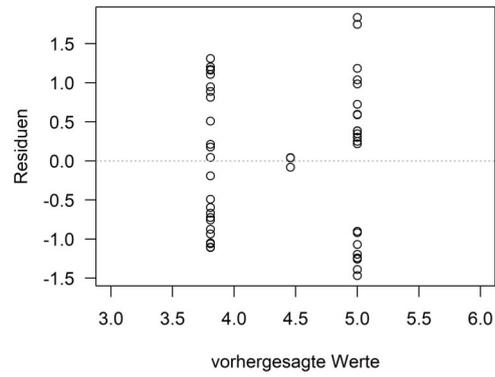


(e)

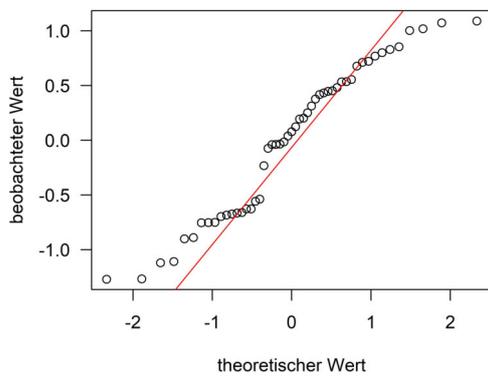
**Abbildung A.17:** Korrelation der Eichellängen und Eichelbreiten getrennt nach Prüfgliedern; blau = ein gleiches Wertepaar, grün = 2 bis 5 Wertepaare, gelb = 6 bis 10 Wertepaare, orange = 11 bis 15 Wertepaare, rot mehr als 15 gleiche Wertepaare; (a): Prüfglied 43, (b): Prüfglied 44, (c): Prüfglied 45, (d): Prüfglied 46, (e): Prüfglied 47



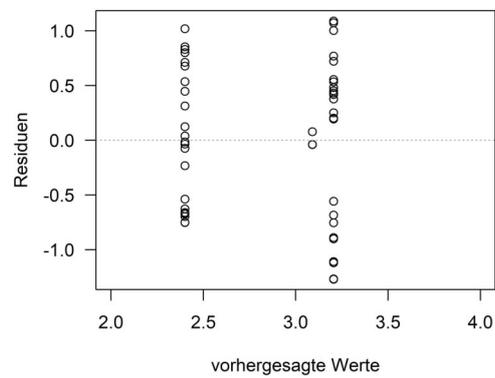
(a)



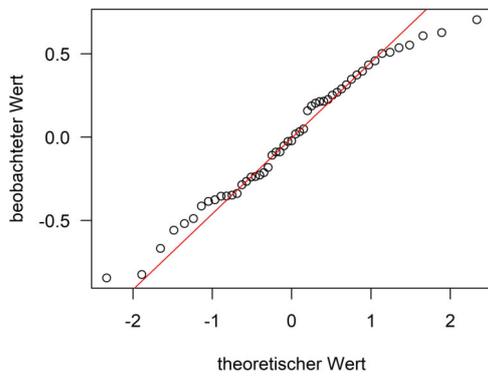
(b)



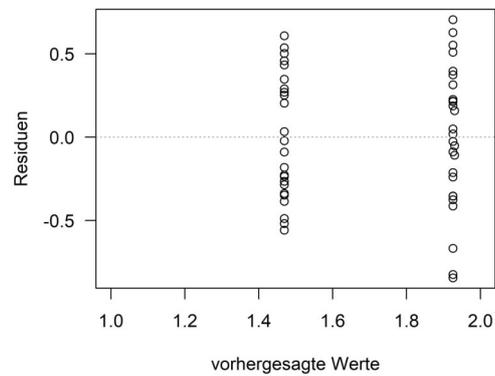
(c)



(d)

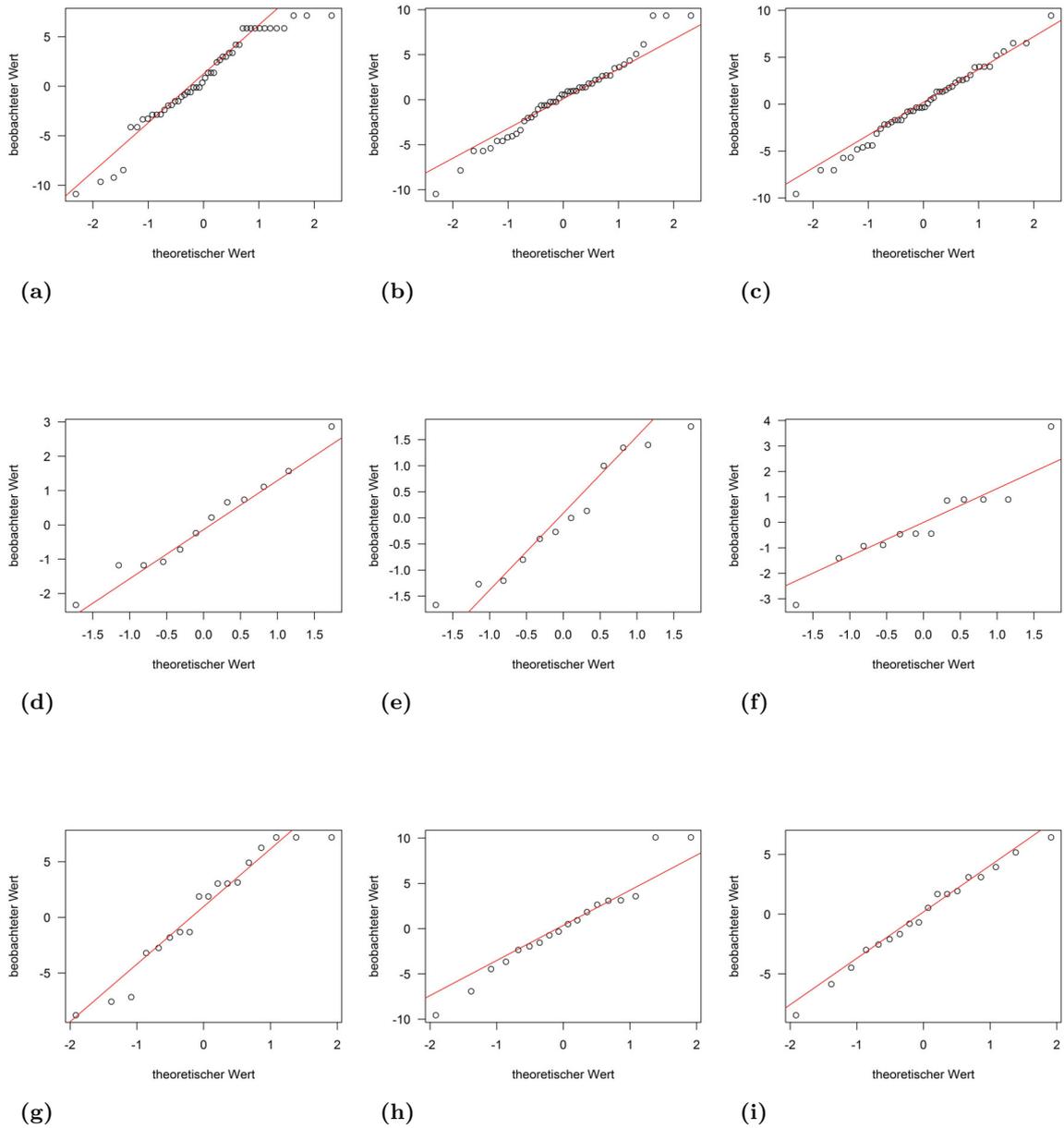


(e)

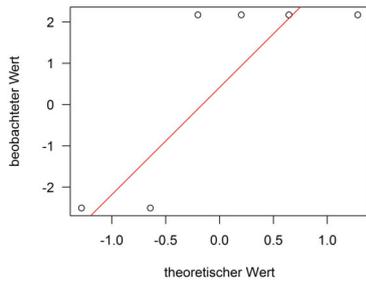


(f)

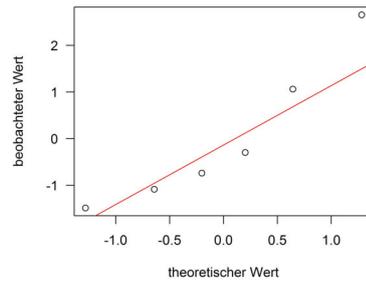
**Abbildung A.18:** Diagnoseplots für Varianzanalysen der Tausendkorngewichte (a): QQ-Plot große Sortierung, (b): Residuenplot große Sortierung, (c): QQ-Plot repräsentative Sortierung, (d): Residuenplot repräsentative Sortierung, (e): QQ-Plot kleine Sortierung, (f): Residuenplot kleine Sortierung



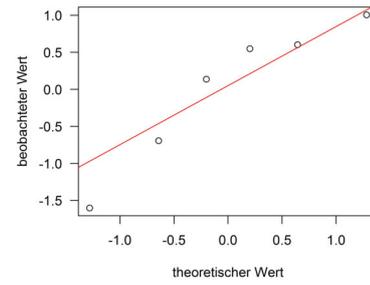
**Abbildung A.19:** QQ-Plot für die Anwuchsprozente der Einzelbaumabsaaten. (a-c) = alle Bestände: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (d-f) = Bestand 1: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (g-i) = Bestand 2: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen



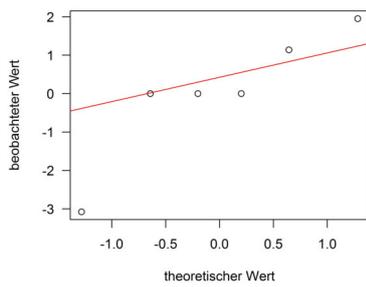
(a)



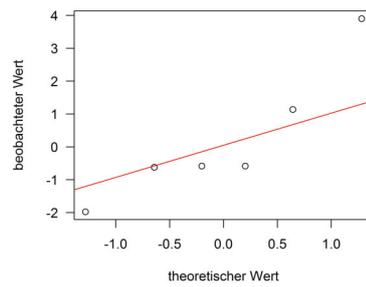
(b)



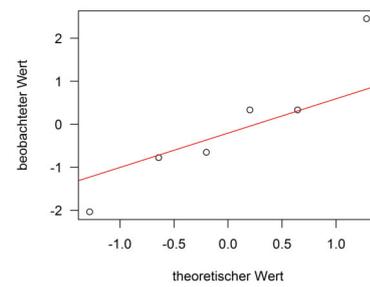
(c)



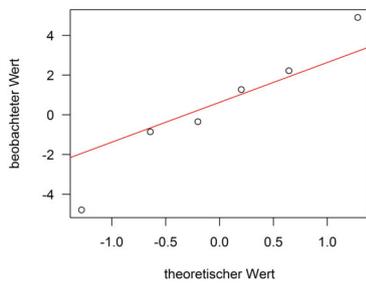
(d)



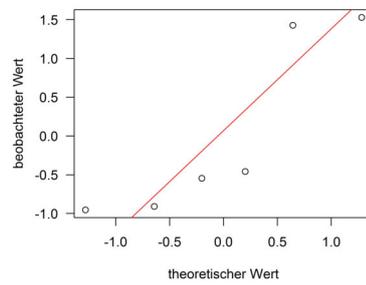
(e)



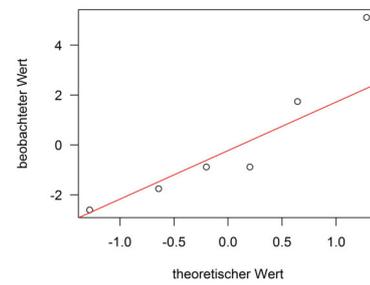
(f)



(g)

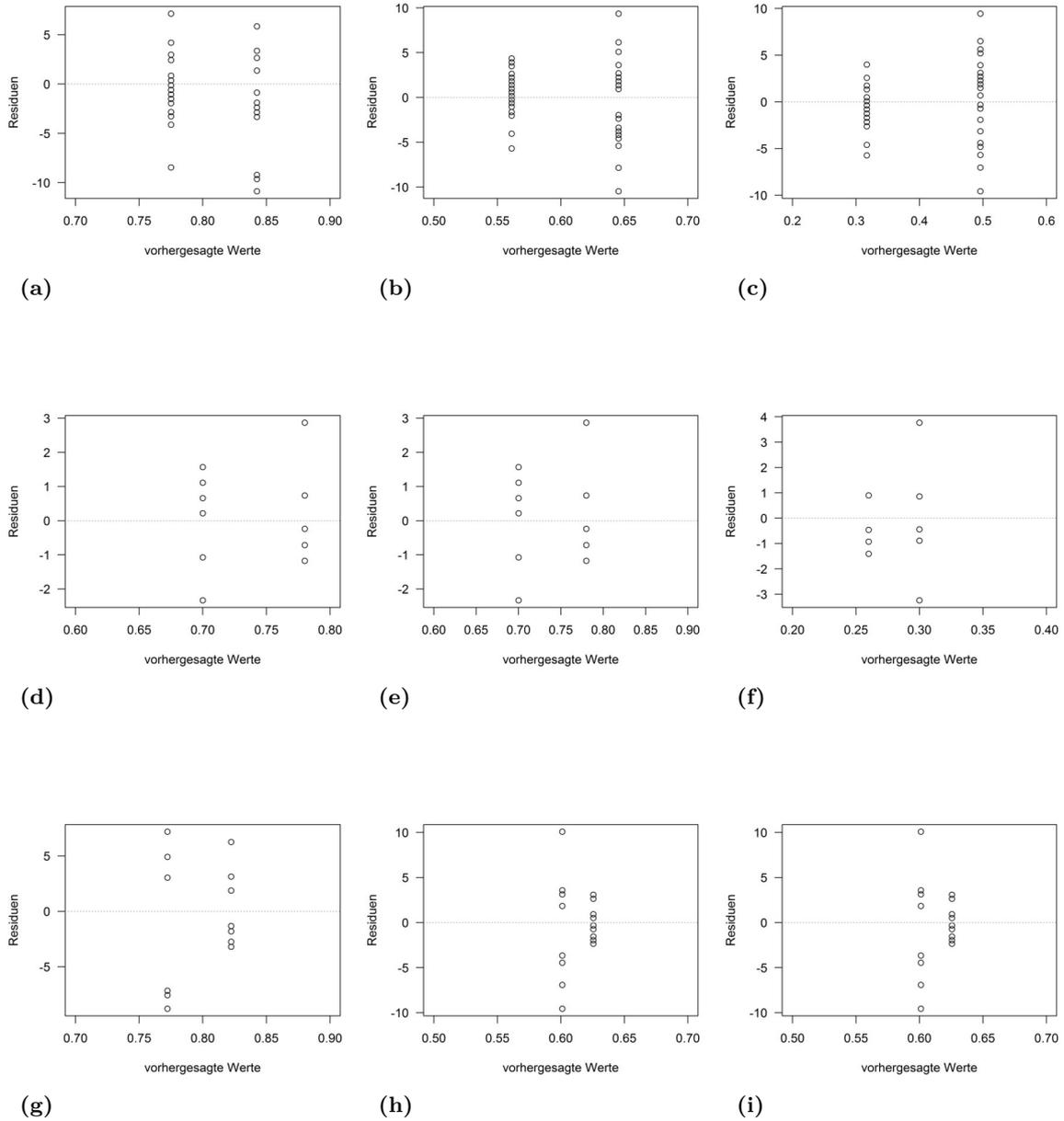


(h)

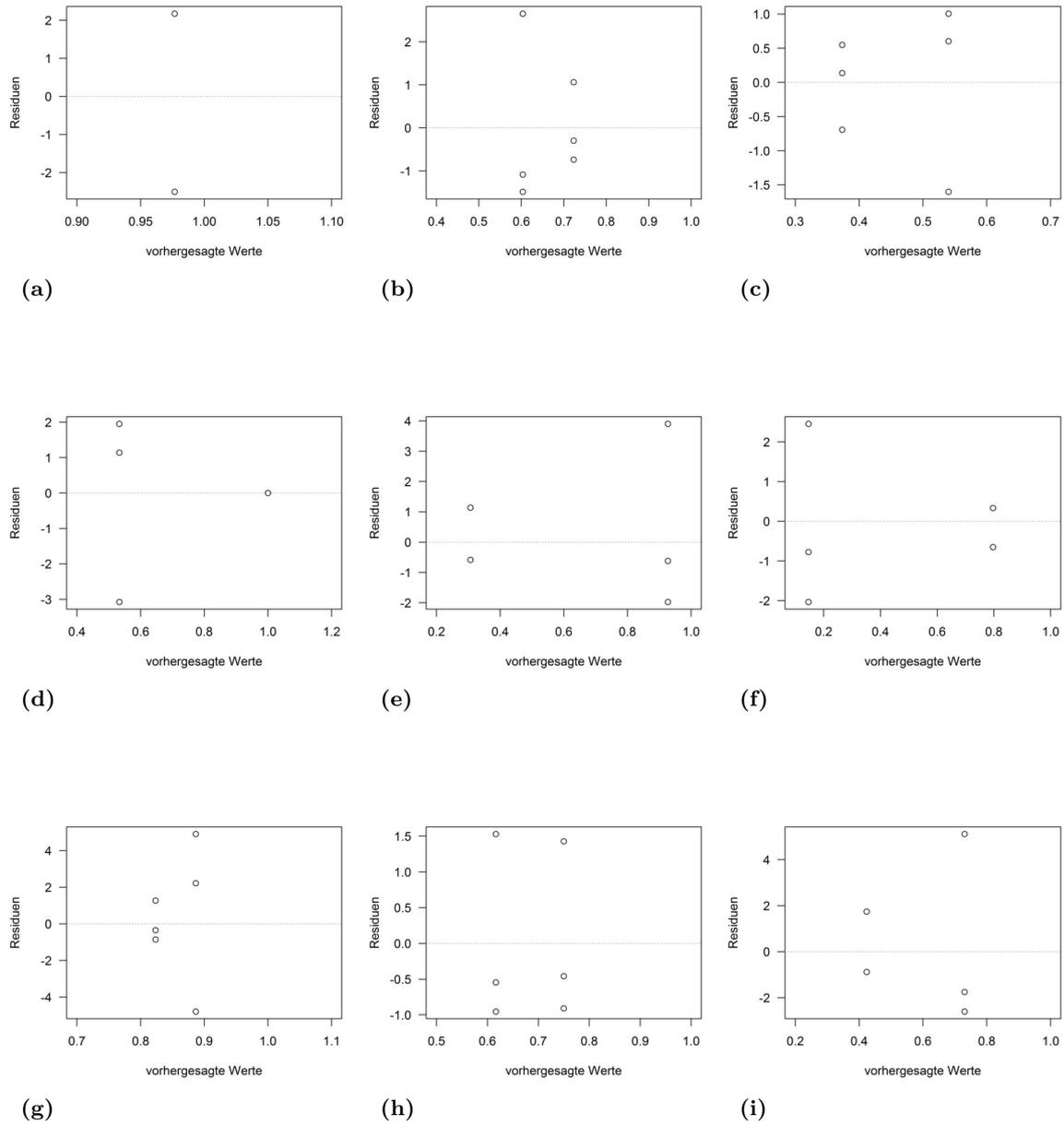


(i)

**Abbildung A.20:** QQ-Plot für die Anwuchsprozente der Einzelbaumabsaaten. (a-c) = Bestand 3: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (d-f) = Bestand 4: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (g-i) = Bestand 5: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen;



**Abbildung A.21:** Residuenplot für die Anwuchsprozente der Einzelbaumabsaaten. (a-c) = alle Bestände: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (d-f) = Bestand 1: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (g-i) = Bestand 2: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen



**Abbildung A.22:** Residuenplot für die Anwuchsprozente der Einzelbaumabsaaten. (a-c) = Bestand 3: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (d-f) = Bestand 4: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (g-i) = Bestand 5: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen

**Tabelle A.20:** Test auf Normalverteilung, Wuchshöhen der Einzelbaumabsaaten auf Bestandesebene (GK 1 = große Eichen, GK 2 = repräsentative Eichen, GK 3 = kleine Eichen, Gruppe 1 = Absaaten gute Bäume, Gruppe 2 = Absaaten schlechte Bäume, w = Wert der Teststatistik)

GK	Paarvergleich	Gruppe	w	p	Gruppe	w	p-Wert
1	alle Bestände	1	0,75	p<0,001	2	0,93	0,099
	Bestand 1	1	0,69	0,004	2	0,96	0,800
	Bestand 2	1	0,94	0,583	2	0,95	0,723
	Bestand 3	1	0,79	0,084	2	0,89	0,355
	Bestand 4	1	1,00	0,942	2	0,85	0,232
	Bestand 5	1	0,86	0,272	2	0,80	0,116
2	alle Bestände	1	0,69	p<0,001	2	0,99	0,997
	Bestand 1	1	0,96	0,785	2	0,83	0,108
	Bestand 2	1	0,92	0,434	2	0,95	0,675
	Bestand 3	1	0,85	0,247	2	0,82	0,161
	Bestand 4	1	0,98	0,743	2	0,89	0,362
	Bestand 5	1	0,99	0,861	2	0,76	0,030
3	alle Bestände	1	0,82	p<0,001	2	0,95	0,341
	Bestand 1	1	0,98	0,938	2	0,94	0,655
	Bestand 2	1	0,89	0,187	2	0,94	0,586
	Bestand 3	1	0,93	0,488	2	1,00	0,940
	Bestand 4	1	0,96	0,615	2	0,92	0,467
	Bestand 5	1	0,78	0,073	2	0,99	0,864

**Tabelle A.21:** Test auf Varianzhomogenität, Wuchshöhen der Einzelbaumabsaaten auf Bestandesebene (GK 1 = große Eicheln, GK 2 = repräsentative Eicheln, GK 3 = kleine Eicheln, F = Wert der Teststatistik, df = Freiheitsgrade)

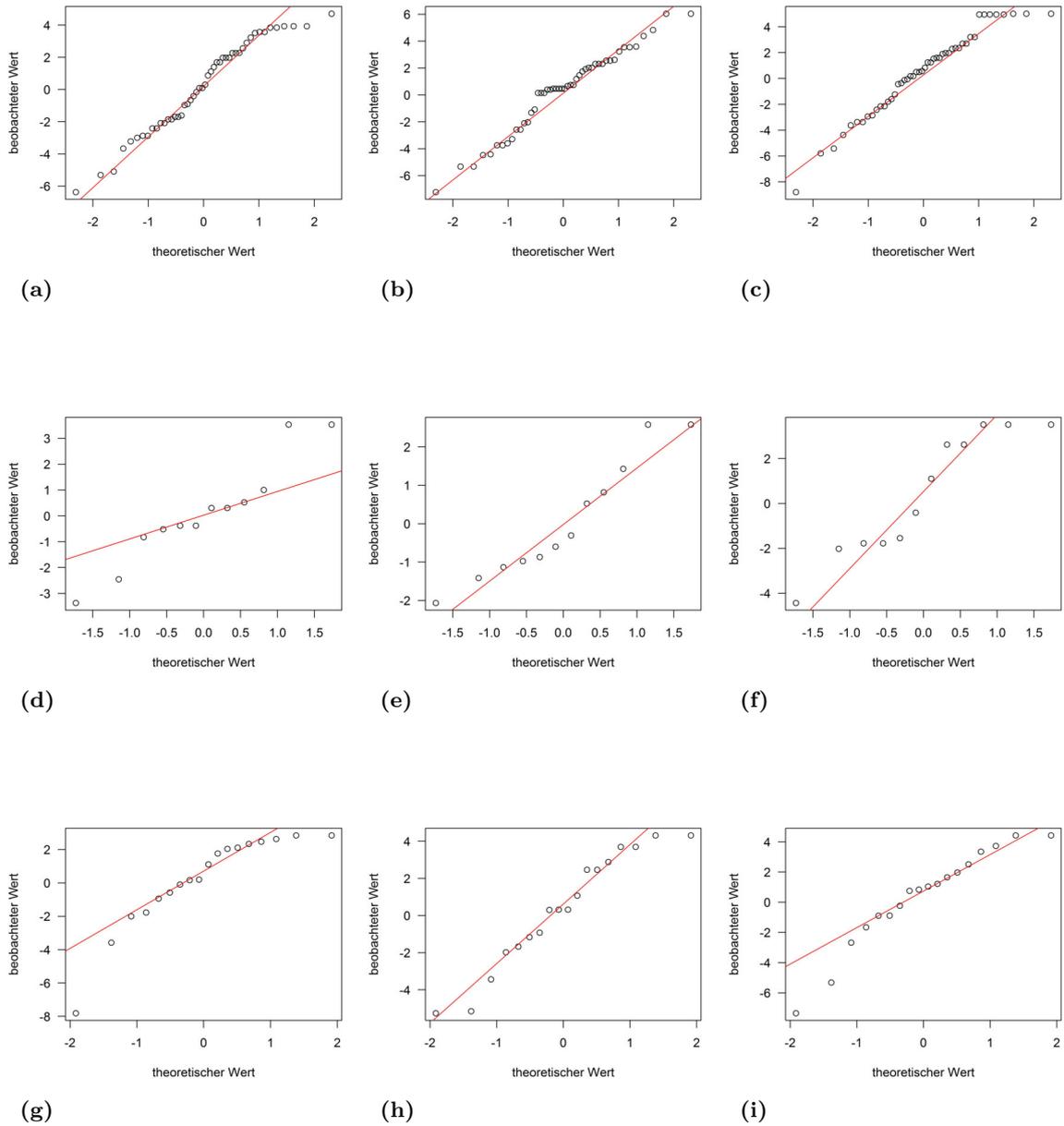
GK	Paarvergleich	F	df	p-Wert
1	alle Bestände	2,14	23	0,074
	Bestand 1	1,45	5	0,693
	Bestand 2	0,38	8	0,191
	Bestand 3	38,95	2	0,050
	Bestand 4	0,20	2	0,336
	Bestand 5	0,07	2	0,127
2	alle Bestände	2,91	23	0,013
	Bestand 1	0,23	5	0,142
	Bestand 2	0,63	8	0,526
	Bestand 3	193,04	2	0,010
	Bestand 4	2,97	2	0,504
	Bestand 5	1,93	2	0,683
3	alle Bestände	1,05	23	0,914
	Bestand 1	0,26	5	0,163
	Bestand 2	0,28	8	0,087
	Bestand 3	46,54	2	0,042
	Bestand 4	0,65	2	0,790
	Bestand 5	4,12	2	0,391

**Tabelle A.22:** Test auf Normalverteilung, Wurzelhalsdurchmesser der Einzelbaumabsaaten auf Bestandesebene (GK 1 = große Eichen, GK 2 = repräsentative Eichen, GK 3 = kleine Eichen, Gruppe 1 = Absaaten gute Bäume, Gruppe 2 = Absaaten schlechte Bäume, w = Wert der Teststatistik)

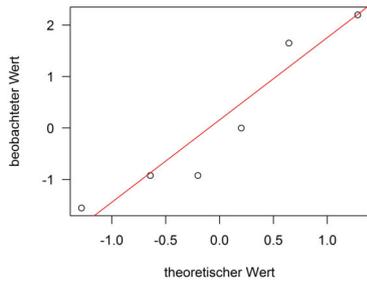
GK	Paarvergleich	Gruppe	w	p	Gruppe	w	p-Wert
1	alle Bestände	1	0,81	p<0,001	2	0,95	0,308
	Bestand 1	1	0,89	0,306	2	0,94	0,627
	Bestand 2	1	0,84	0,059	2	0,95	0,733
	Bestand 3	1	0,92	0,456	2	0,87	0,293
	Bestand 4	1	0,82	0,169	2	0,98	0,719
	Bestand 5	1	0,81	0,140	2	0,89	0,364
2	alle Bestände	1	0,85	0,002	2	0,93	0,130
	Bestand 1	1	0,89	0,303	2	0,85	0,152
	Bestand 2	1	0,86	0,099	2	0,86	0,099
	Bestand 3	1	0,82	0,174	2	0,99	0,845
	Bestand 4	1	0,97	0,643	2	0,96	0,617
	Bestand 5	1	0,96	0,614	2	0,96	0,593
3	alle Bestände	1	0,93	0,142	2	0,97	0,659
	Bestand 1	1	0,91	0,420	2	0,95	0,746
	Bestand 2	1	0,88	0,160	2	0,98	0,974
	Bestand 3	1	0,98	0,756	2	0,80	0,117
	Bestand 4	1	0,92	0,459	2	0,96	0,616
	Bestand 5	1	0,90	0,392	2	0,91	0,403

**Tabelle A.23:** Test auf Varianzhomogenität, Wuchshöhen der Einzelbaumabsaaten auf Bestandesebene (GK 1 = große Eichen, GK 2 = repräsentative Eichen, GK 3 = kleine Eichen, F = Wert der Teststatistik, df = Freiheitsgrade)

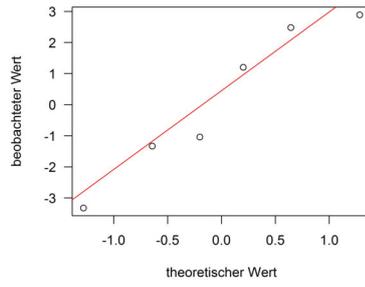
GK	Paarvergleich	F	df	p-Wert
1	alle Bestände	2,62	23	0,023
	Bestand 1	1,54	5	0,645
	Bestand 2	1,59	8	0,527
	Bestand 3	35,66	2	0,055
	Bestand 4	0,58	2	0,731
	Bestand 5	0,25	2	0,401
1	alle Bestände	4,64	23	p<0,001
	Bestand 1	0,53	5	0,499
	Bestand 2	1,38	8	0,663
	Bestand 3	45,57	2	0,043
	Bestand 4	324,51	2	0,006
	Bestand 5	0,07	2	0,128
1	alle Bestände	2,63	23	0,024
	Bestand 1	0,17	5	0,075
	Bestand 2	2,50	8	0,217
	Bestand 3	0,58	2	0,731
	Bestand 4	6,02	2	0,285
	Bestand 5	0,69	2	0,814



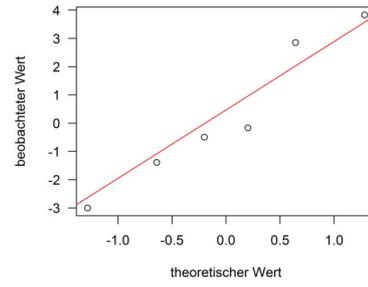
**Abbildung A.23:** QQ-Plot für die Formprozente der Einzelbaumabsaaten. (a-c) = alle Bestände: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (d-f) = Bestand 1: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (g-i) = Bestand 2: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen



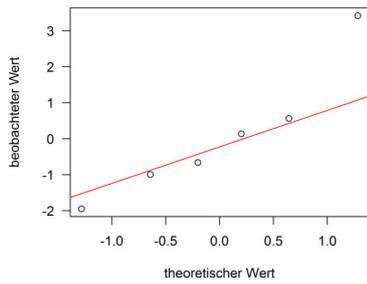
(a)



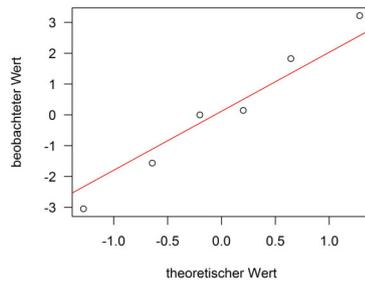
(b)



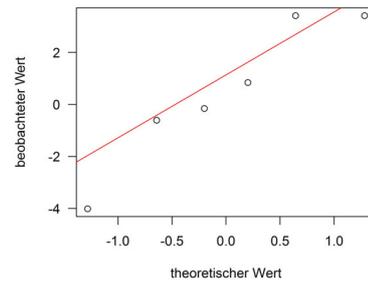
(c)



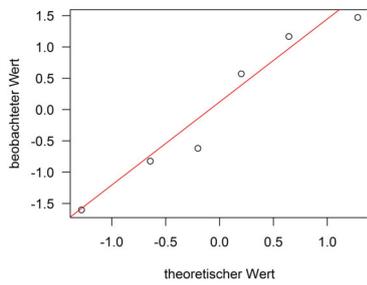
(d)



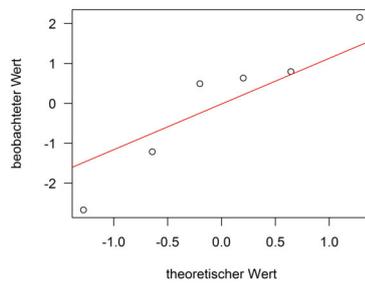
(e)



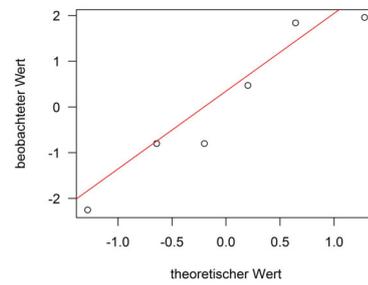
(f)



(g)

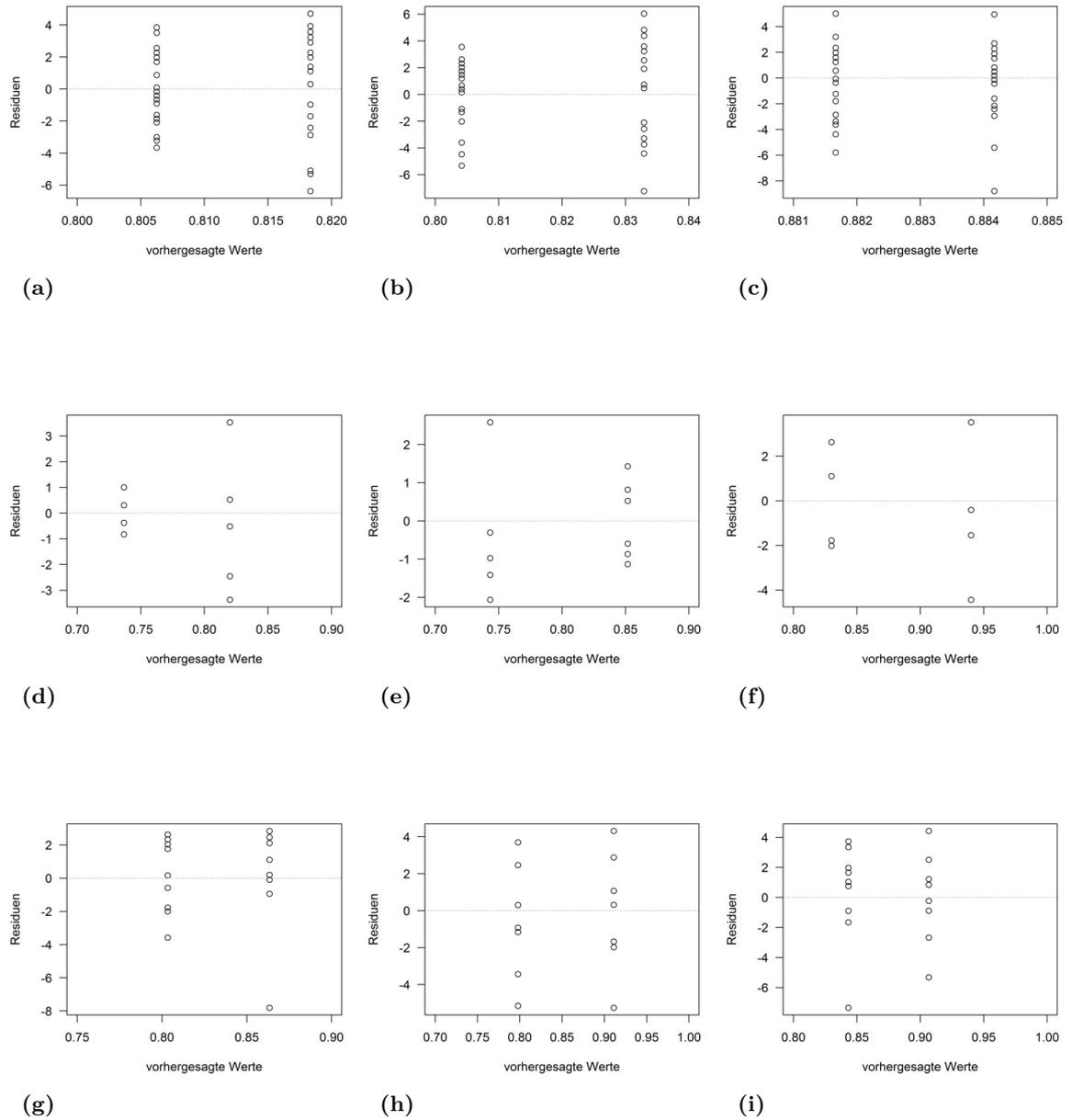


(h)

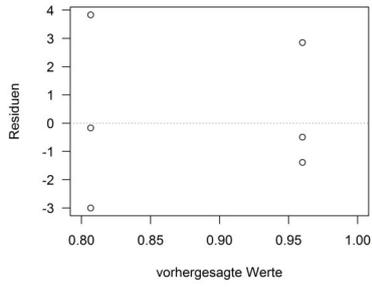


(i)

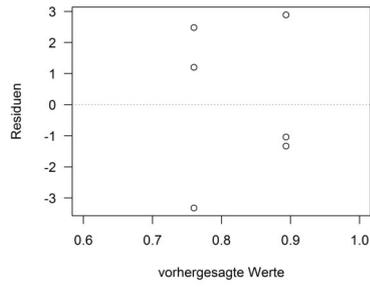
**Abbildung A.24:** QQ-Plot für die Formprozent der Einzelbaumabsaaten. (a-c) = Bestand 3: große Eicheln, repräsentative Eicheln, kleine Eicheln; (d-f) = Bestand 4: große Eicheln, repräsentative Eicheln, kleine Eicheln; (g-i) = Bestand 5: große Eicheln, repräsentative Eicheln, kleine Eicheln;



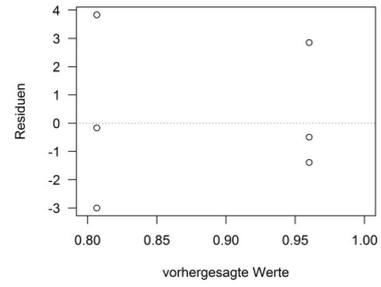
**Abbildung A.25:** Residuenplot für die Anteile an Formstufe 1 der Einzelbaumabsaaten. (a-c) = alle Bestände: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (d-f) = Bestand 1: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (g-i) = Bestand 2: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen



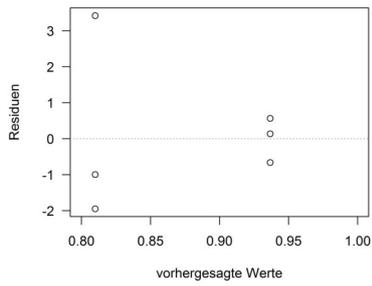
(a)



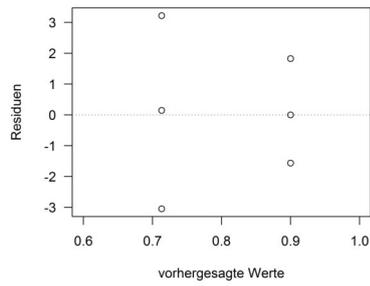
(b)



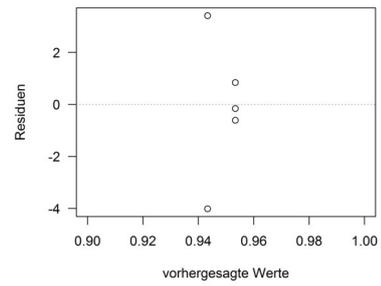
(c)



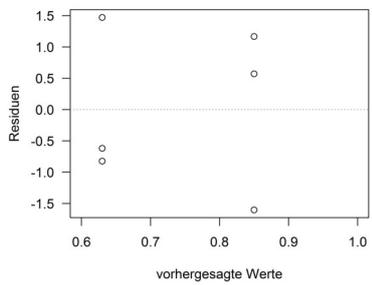
(d)



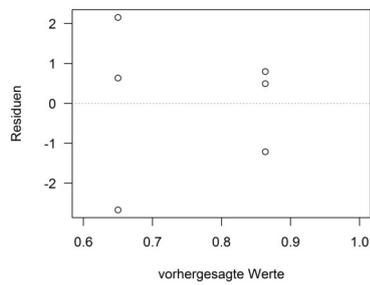
(e)



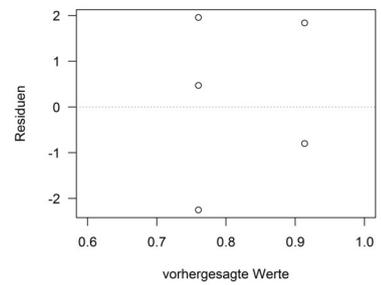
(f)



(g)



(h)



(i)

**Abbildung A.26:** Residuenplot für die Anteile an Formstufe 1 der Einzelbaumabsaaten. (a-c) = Bestand 3: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (d-f) = Bestand 4: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen; (g-i) = Bestand 5: große Eichen, repräsentative Eichen, kleine Eichen;



(a)



(b)



(c)



(d)

**Abbildung A.27:** Sämlinge nach einer Vegetationsperiode; (a): 4 Pflanzen aus einer einzelnen Eichel; (b): die gleichen Pflanzen alle mit eigener Wurzel; (c-d): verwachsene Sämlinge mit nur einem Wurzelsystem



# Abbildungsverzeichnis

1.1	Verbreitungsareale der Stiel- und Trauben-Eiche . . . . .	3
1.2	Herkunftsgebiete der heimischen Eichenarten . . . . .	15
2.1	Lager der Testbestände . . . . .	24
2.2	Klassifizierungsschema für Eichen . . . . .	27
2.3	Illustration der Baumklassifizierung . . . . .	28
2.4	Ausstattung Testbestand Dassel . . . . .	31
2.5	Ausstattung Testbestand Dassel . . . . .	34
2.6	Ausstattung Testbestand Grünenplan . . . . .	36
2.7	Ausstattung Testbestand Reinhardshagen . . . . .	39
2.8	Ausstattung Testbestand Sichelstein . . . . .	41
4.1	Auswirkungen der Behandlungsvarianten in den Stiel-Eichen Beständen . . . . .	68
4.2	Auswirkungen der Behandlungsvarianten in den Trauben-Eichen Beständen . . . . .	69
5.1	Aufnahmedesign Eicheln Fremdsamenversuch . . . . .	79
5.2	Ergebnis der logistischen Regression im Testbestand Cottbus . . . . .	84
5.3	Auswirkungen der Behandlungsvarianten in den Stiel-Eichen Beständen . . . . .	87
5.4	Auswirkungen der waldbaulichen Maßnahmen in den Trauben-Eichen Beständen . . . . .	88
6.1	ECDF-Plot der Testbestände Cottbus und Grünenplan . . . . .	99
8.1	Übersicht über die Lage der ausgewählten Saatguterntebestände . . . . .	114
8.2	Erntebäume unterschiedlicher Qualität . . . . .	116
8.3	Aussaatplan der größten sortierten Eicheln eines Prüfgliebes . . . . .	118
8.4	Systematische Aussaat der Eicheln im Saatbeet . . . . .	119
8.5	Tausendkorngewichte der Prüfglieder . . . . .	124
8.6	Pflanzenprozent der Einzelbaumabsaaten . . . . .	127
8.7	Höhenwuchsleistung der Einzelbaumabsaaten . . . . .	130
8.8	Wurzelhalsdurchmesser der Prüfglieder . . . . .	134
8.9	Formbonitur der Einzelbaumabsaaten . . . . .	137



# Tabellenverzeichnis

1.1	Saatgutaufkommen in Deutschland . . . . .	18
2.1	Eckdaten der Testbestände . . . . .	24
2.2	Formmerkmale und ihre Abstufungen . . . . .	26
2.3	Beteiligung der verschiedenen Qualitätsstufen im Altbestand an der Saatgutproduktion bei verschiedenen Behandlungsvarianten . . . . .	29
2.4	Messwerte der Qualitätsstufen im Testbestand Cottbus . . . . .	30
2.5	Prozentuale Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Cottbus . . . . .	30
2.6	Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Cottbus . . . . .	31
2.7	Messwerte der Qualitätsstufen im Testbestand Dassel . . . . .	32
2.8	Prozentuale Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Dassel . . . . .	33
2.9	Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Dassel . . . . .	33
2.10	Messwerte der Qualitätsstufen im Testbestand Grünenplan . . . . .	35
2.11	Prozentuale Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Grünenplan . . . . .	35
2.12	Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Grünenplan . . . . .	36
2.13	Messwerte der Qualitätsstufen im Testbestand Reinhardshagen . . . . .	37
2.14	Prozentuale Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Reinhardshagen . . . . .	38
2.15	Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Reinhardshagen . . . . .	38
2.16	Messwerte der Qualitätsstufen im Testbestand Sichelstein . . . . .	40
2.17	Prozentuale Häufigkeiten der phänotypischen Merkmale und ihrer Ausprägungsstärke im Testbestand Sichelstein . . . . .	40
2.18	Anteile der Qualitätsstufen im Testbestand Sichelstein . . . . .	41
2.19	Prozentualer Mehrgewinn der Varianten in den Testbeständen . . . . .	42
3.1	Loci der verwendeten Markersätze . . . . .	49
4.1	Variationsmaße der Stiel-Eichen Testbestände auf Locusebene . . . . .	60
4.2	Variationsmaße der Trauben-Eichen Testbestände auf Locusebene . . . . .	62
4.3	Variationsmaße der Testbestände auf Genpoolebene . . . . .	63
4.4	Genetischer Abstand zwischen den Beständen . . . . .	64

4.5	Variationsmaße auf Genpoolebene getrennt nach Beständen und Qualitätsstufen bei der Stiel-Eiche . . . . .	65
4.6	Variationsmaße auf Genpoolebene getrennt nach Beständen und Qualitätsstufen bei der Trauben-Eiche . . . . .	66
4.7	Genetische Differenzierung auf Genpoolebene getrennt nach Beständen und Qualitätsstufen bei der Stiel-Eiche . . . . .	66
4.8	Genetische Differenzierung auf Genpoolebene getrennt nach Beständen und Qualitätsstufen bei der Trauben-Eiche . . . . .	67
5.1	Eckdaten der Linientransekte . . . . .	80
5.2	Fremdsamenanteile der Transekte im Testbestand Cottbus . . . . .	82
5.3	Fremdsamenanteile der Transekte im Testbestand Grünenplan . . . . .	83
5.4	Freistellungsabstände der Samenbäume . . . . .	85
6.1	Übersicht der zugewiesenen Väter in den Testbeständen . . . . .	98
6.2	Anzahlen der nachgewiesenen Väter getrennt nach Erntebäumen . . . . .	100
6.3	Bestäubungserfolg in Abhängigkeit von Stammzahl und Grundfläche . . . . .	101
7.1	Gegenüberstellung der Varianten . . . . .	110
8.1	Übersicht über die beernteten Saatguteinheiten . . . . .	114
8.2	Standorteigenschaften der beernteten Saatguteinheiten . . . . .	115
8.3	Leistungs- und Formmerkmale der ausgewählten Erntebäume . . . . .	117
8.4	Gruppenzugehörigkeit der einzelnen Prüfglieder . . . . .	121
8.5	Eichelgewichte: statistische Kennzahlen der Prüfglieder . . . . .	122
8.6	Korrelation der Eichellänge und -breite . . . . .	123
8.7	Paarvergleiche der Tausendkorngewichte . . . . .	125
8.8	Paarvergleiche der Pflanzenprozente; große Eicheln . . . . .	127
8.9	Paarvergleiche der Pflanzenprozente; große Eicheln . . . . .	128
8.10	Paarvergleiche der Pflanzenprozente; große Eicheln . . . . .	128
8.11	Paarvergleiche der Höhenwuchsleistung; Einzelbäume; große Eicheln . . . . .	131
8.12	Paarvergleiche der Höhenwuchsleistung; Einzelbäume; repräsentative Eicheln . . . . .	131
8.13	Paarvergleiche der Höhenwuchsleistung; Einzelbäume; kleine Eicheln . . . . .	132
8.14	Paarvergleiche der Wurzelhalsdurchmesser; große Eicheln . . . . .	133
8.15	Paarvergleiche der Wurzelhalsdurchmesser; repräsentative Eicheln . . . . .	135
8.16	Paarvergleiche der Wurzelhalsdurchmesser; kleine Eicheln . . . . .	135
8.17	Paarvergleiche der Formanteile Stufe 1; große Eicheln . . . . .	138
8.18	Paarvergleiche der Formanteile Stufe 1; repräsentative Eicheln . . . . .	138
8.19	Paarvergleiche der Formanteile Stufe 1; kleine Eicheln . . . . .	139

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich noch bei den vielen Menschen bedanken, die mich auf dem langen Weg begleitet und unterstützt haben. Ohne ihre Hilfe wäre die vorliegende Arbeit nicht möglich gewesen.

Mein innigster Dank gilt Prof. Dr. Christian Ammer, der als immer freundlicher Doktorvater die universitäre Betreuung übernahm. Er ließ mir sehr viele inhaltliche Freiheiten, achtete aber stets auf eine zielgerichtete Bearbeitung der Fragestellungen. Seine Ratschläge und Anmerkungen haben mir stets geholfen und sehr zum erfolgreichen Abschluss der Arbeit beigetragen.

Herr PD. Dr. Ludger Leinemann, der sich als 2. Gutachter zur Verfügung stellte. Er war stets ein geduldiger Ansprechpartner und hat mir besonders in den Kapiteln mit genetischen Fragestellungen viele Ratschläge geben können. Beide zusammen, vielen Dank für das entgegen gebrachte Vertrauen, die kritische Durchsicht der Manuskripte und ein großes Verständnis für den Zeitrahmen, den ich mir privat und beruflich bedingt genommen habe.

Zu nennen wären auch Dr. Alwin Janßen und Dr. Wilfried Steiner, die mir in der damaligen Funktion als Abteilungs- und Sachgebietsleiter an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt das Promotionsthema nahe gelegt haben. Während der gesamten Dauer stand mir Dr. Wilfried Steiner zusätzlich als Betreuer und Mitglied des Betreuungsausschusses zur Seite. Besonderen Dank für die Durchsicht der Manuskripte, den vielen hilfreichen Kommentaren, den konstruktiven Gesprächen und das entgegengebrachte Vertrauen bei der Durchführung der Arbeit.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen ehemaligen und aktuellen Kollegen an der NW-FVA, die mit aufmunternden Worten und Ratschlägen zur Seite standen. Hervorzuheben sind hier besonders Dr. Aki Höltken für das Heranführen an den Umgang mit genetischen Daten und Ulrike Seifert für die „Ausbildung“ im Labor und die tatkräftige Unterstützung bei der Probenbearbeitung.

Vielen Dank an meine langjährigen Freunde Dr. Nikolas von Lüpke und Kai Feierabend für die Bereitschaft, die Dissertation Korrektur zu lesen.

Danke an meine Familie, die mich von Beginn des Studiums bis zur Promotion mit motivierenden Worten unterstützt hat.

Zum Schluss möchte ich mich im besonderen Maße bei meiner Ehefrau Marie-Theres und meinen Kindern Paulina und Phillip bedanken. In den vergangenen Jahren musstet ihr oft mit meiner Abwesenheit und meinen wechselhaften Launen leben. Ich gelobe in der Zukunft Besserung. Vielen Dank für euer unendliches Verständnis.

Die Arbeit ist auf Grundlage eines Arbeitspaketes des Verbundprojektes „FitForClim“ (För-

derkennzeichen: 28WB400701) entstanden. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages gefördert.

# Curriculum Vitae

## Persönliche Daten

---

Name	André Hardtke
Geburtsdatum	19.08.1980
Geburtsort	Salzkotten, Deutschland
Staatsangehörigkeit	deutsch

## Berufliche Praxis

---

04.2019 - heute	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Abteilung C Waldgenressourcen
03.2014 - 03.2019	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Abteilung C Waldgenressourcen, Projekt: <i>Bereitstellung von leistungsfähigem und hochwertigem Forstvermehrungsgut für den klima- und standortgerechten Wald der Zukunft</i> (FITFORCLIM) Seit dem 01.01.2017 zusätzlich im Projekt: <i>Grundlagen und Strategien zur Bereitstellung von hochwertigem und anpassungsfähigem forstlichen Vermehrungsgut im Klimawandel</i> (ADAPTFORCLIM)
03.2013 - 12.2013	Wissenschaftlicher Mitarbeiter für die Kronenzustandserhebung an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Projekt: <i>Möglichkeiten der Weiterentwicklung der Kronenzustandserhebung zu einer umfassenden Waldzustandsbeschreibung</i>
06.2012 - 02.2013	Sachbearbeiter für die Kronenzustandserhebung an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
08.1997 - 01.2001	Ausbildung als Zentralheizungs- und Lüftungsbauer

## Akademische Ausbildung

---

06.2016 - 09.2022	<b>Promotion:</b> Forstwissenschaften und Waldökologie, Abteilung Waldbau und Waldökologie der gemäßigten Zonen, Georg-August-Universität Göttingen
10.2009 - 03.2012	<b>Master of Science:</b> Forstwissenschaften und Waldökologie, Studienschwerpunkt: <i>Waldökosystemanalyse und Informationsverarbeitung</i> , Georg-August-Universität Göttingen
10.2006 - 10.2009	<b>Bachelor of Science:</b> Forstwissenschaften und Waldökologie, Georg-August-Universität Göttingen
02.2003 - 12.2006	<b>Abitur:</b> Westfalen-Kolleg Paderborn