

Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Erfassung von Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten – ProLoc (Ertrags - Programm - Locus) - Projektphase II

Zuwendungsempfänger:

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt – Abt. C-Waldgenressourcen

Förderkennzeichen:

22012112

Laufzeit:

04.05.2012 bis 31.12.2015

Datum der Veröffentlichung:

21.03.2017

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Projektleiter: Dr. Alwin Janßen

Bearbeiter:
Christoph Stiehm
Dr. Martin Hofmann
Dr. Christian Schmidt
Dr. Alwin Janßen

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6, 34346 Hann. Münden



NW-FVA

Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Klimadaten in Kooperation mit:

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ii
Tabellenverzeichnis	v
1 Ziele	1
1.1 Aufgabenstellung	3
1.1.1 Arbeitspaket 1	3
1.1.2 Arbeitspaket 2	12
1.2 Stand der Technik	19
1.2.1 Wissenschaftlicher Stand an den angeknüpft wurde	19
1.2.2 Verwendete Fachliteratur	22
1.2.3 Benutzte Informations- und Dokumentationsdienste	22
1.3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	23
1.3.1 Teilprojekt Bodenkunde	23
1.3.2 Kooperationspartner im Verbund	24
1.3.3 Schnittstellen mit anderen Forschungsprojekten	24
2 Ergebnisse	26
2.1 Erzielte Ergebnisse	26
2.1.1 Arbeitspaket 1	27
2.1.2 Arbeitspaket 2a	57
2.1.3 Arbeitspaket 2b	63
2.1.4 Zusammenfassung	72
2.2 Verwertung	74
2.3 Erkenntnisse von Dritten	76
2.4 Veröffentlichungen	77
2.4.1 Erfolgte Veröffentlichungen	77
2.4.2 Geplante Veröffentlichungen	78
3 Anhang	80
Literaturverzeichnis	84

Abbildungsverzeichnis

1.1	Übersicht der Arbeitspakete und ihre Relevanz für die Modellentwicklung (verändert nach GALLARDO ET AL. 2012, unveröffentlicht).	2
1.2	Übersichtskarte der in ProLoc I angelegten und in ProLoc II fortgeführten Versuchsfelder (Ländergrenzen aus Hijmans et al. (2015)).	6
1.3	Beispielhaftes Versuchsdesign einer AP1 Versuchsfelder bestehend aus 20 Einzelparzellen.	7
1.4	Beispielhafter Parzellenplan einer Einzelparzelle im AP1. Die Pfeile kennzeichnen die Aufnahmeorientierungen.	7
1.5	Beispielhaftes Versuchsdesign einer AP2a Versuchsfelder bestehend aus 12 Einzelparzellen. Die Pfeile kennzeichnen die Aufnahmeorientierungen.	13
1.6	Übersichtskarte der in ProLoc II angelegten AP2 Versuchsfelder (Ländergrenzen aus Hijmans et al. (2015)).	15
1.7	Vergleich der Distanzen und Höhenunterschiede zwischen Wetterstationen und Versuchsfelder.	23
1.8	Kooperationsbereiche zwischen den FNR-Projekten ProLoc und FastWOOD (verändert nach GALLARDO ET AL. 2012, unveröffentlicht).	25
2.1	Jahresverlauf der monatlichen Niederschlagssummen an allen DWD Stationen nahe den Versuchsfelder getrennt nach Versuchsjahren.	28
2.2	Niederschlagssummen in der forstlichen Vegetationsperiode über den Versuchszeitraum an den ausgewählten DWD Stationen.	28
2.3	Jahresverlauf der monatlichen Mitteltemperaturen an allen DWD Stationen nahe den Versuchsfelder getrennt nach Versuchsjahren.	30
2.4	Summe an Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur über 5 °C (li.) bzw. über 10 °C (re.) getrennt nach Jahren.	30
2.5	Temperatursumme in der forstlichen Vegetationsperiode an den Versuchsfelder nach Jahren getrennt.	31
2.6	Mittlere Anzahl der Stockausschläge je Versuchsparzelle getrennt nach Klonen und Jahren.	33
2.7	Verteilung der BHD getrennt nach Klonen im Jahr 2013 im AP1.	33
2.8	Entwicklung der Bestandesgrundfläche je Parzelle getrennt nach Klonen in den Versuchsjahren zum Wiederaustrieb.	37
2.9	Entwicklung der Bestandesmittelhöhe je Parzelle getrennt nach Klonen über die Versuchsjahre.	37

2.10 Entwicklung der Überlebensraten je Parzelle getrennt nach Klonen über die Versuchsjahre.	38
2.11 Mittlere Trockensubstanzgehalte je Parzelle aus den Mischproben getrennt nach Prüfgliedern und Jahren.	40
2.12 Mittlere Einzelbaumtrockenmasse je Parzelle zur Ernte in der ersten und zweiten Rotation nach Klonen getrennt.	40
2.13 Trockenmasse über Grundfläche der Einzelbäume im Jahr 2013 nach Klonen getrennt.	42
2.14 Bestandestrockenmasse über Bestandesgrundfläche in 2013 nach Klonen getrennt.	43
2.15 Abweichungen zwischen der Ertragsberechnung basierend auf dem Aufnahme- raster und der gesamten Kernparzelle sowie Verteilung der Abweichungen.	44
2.16 Gegenüberstellung der Verteilung des dGz bezogen auf die erste bzw. zweite Ro- tation getrennt nach Klonen.	46
2.17 dGz im ersten und zweiten Umtrieb nach Klonen und in drei Bodenzahl-Gruppen getrennt.	47
2.18 Entwicklung der Erträge von der ersten zur zweiten Rotation nach Klonen und Bo- dentyp getrennt.	49
2.19 Ertragssteigerungs-Faktor in Abhängigkeit vom dGz der ersten Rotation nach Pap- peln und Weiden getrennt.	53
2.20 Entwicklung der Überlebensraten je Parzelle getrennt nach Klonen in 2014.	58
2.21 Verteilung der BHD getrennt nach Klonen im Jahr 2013 im AP2a.	58
2.22 Entwicklung der Bestandesmittelhöhen je Parzelle getrennt nach Klonen über die Versuchsjahre im AP2a.	59
2.23 Entwicklung der Bestandesgrundfläche je Parzelle getrennt nach Klonen über die Versuchsjahre im AP2a.	60
2.24 Anwuchsprozent je Parzelle getrennt nach Pflanzverbänden und Klonen nach dem dritten Versuchsjahr.	64
2.25 Bestandesmittelhöhe je Parzelle getrennt nach Pflanzverbänden und Klonen nach dem dritten Versuchsjahr.	64
2.26 Bestandesgrundfläche je Parzelle getrennt nach Pflanzverbänden und Klonen nach dem dritten Versuchsjahr.	65
2.27 Mittlere Trockensubstanzgehalte je Parzelle aus den Mischproben getrennt nach Prüfgliedern im Winter 2014 im AP2b.	67
2.28 Trockenmasse über BHD der Einzelbäume im Jahr 2014 im Verband 1.8 m x 0.5 m nach Klonen getrennt am Standort 203 Calau.	68
2.29 Parameter der allometrischen Funktion nach Bestandesdichten im AP2b in 2014. .	69
2.30 Gegenüberstellung der Verteilung des dGz bezogen auf die erste bzw. zweite Ro- tation getrennt nach Klonen.	70
3.1 Erträge als dGz der zweiten Rotation über der Bodenzahl nach Klonen getrennt .	80

3.2	Entwicklung der Bestandesgrundfläche je Parzelle getrennt nach Klonen über die Versuchsjahre für die Standorte an denen durchgängig Messungen durchgeführt wurden (n = 18)	81
3.3	Entwicklung der Bestandesmittelhöhe je Parzelle getrennt nach Klonen über die Versuchsjahre für die Standorte an denen durchgängig Messungen durchgeführt wurden (n = 18)	81
3.4	Erträge als dGz für beide Rotationen nach Hauptbodenartgruppen getrennt. . . .	82

Tabellenverzeichnis

1.1	Übersicht der in ProLoc I und II verwendeten Prüfglieder.	4
1.2	Übersicht der in ProLoc I angelegten Versuchsflächen im Arbeitspaket AP1.	5
1.3	Übersicht der in ProLoc II erhobenen Messgrößen.	9
1.4	AP1 Standorte an denen Wiegunen der gesamten Kernparzelle durchgeführt wurden.	10
1.5	Übersicht der in ProLoc II angelegten Versuchsflächen im Arbeitspaket AP2a.	14
1.6	Versuchsflächendesign der Verbandsvergleiche im AP2b.	16
1.7	Übersicht der in ProLoc II angelegten Versuchsflächen im AP2b.	17
1.8	Übersicht der auf den AP2 Flächen durchgeführten Analysen der Bodenproben.	17
2.1	Ergebnisse der paarweisen Vergleiche aller Standorte untereinander (verändert nach Stiehm et al. (2015)).	51
2.2	Variablen als potenzielle Prädiktoren zum Input in der multiplen linearen gemischten Regression.	54
2.3	Zusammenfassung der als geeignet identifizierten Modelle aus der schrittweisen Regression.	55
2.4	Zusammenfassung des als geeignet identifizierten Modells aus der schrittweisen Regression im AP2a.	61
3.1	Erträge als dGz in t_{atro} ha^{-1} a^{-1} für die erste (10) und zweite (13) Rotation der fünf Prüfglieder in ProLoc.	83

1 Ziele

Die politisch und gesellschaftlich geforderte Energiewende in Deutschland wird geprägt durch die forcierte Abkehr von der Kernenergie und eine angestrebte Reduzierung fossiler Energieträger. Nachwachsende Rohstoffe werden in Zukunft eine zunehmend bedeutende Rolle in der Deckung des Energiebedarfs aber auch in der stofflichen Verwertung einnehmen. Der daraus resultierende zu erwartende Bedarf an Holzbiomasse wird sich nach Studien von Mantau et al. (2010); Mantau (2012) nicht alleine durch eine verstärkte Mobilisierung von Waldholz decken lassen. Der Anbau von schnellwachsenden Baumarten in kurzen Umtriebszeiten auf landwirtschaftlichen Standorten kann hier eine Alternative zur Bereitstellung eines homogenen Brennguts darstellen, die zur Entlastung der traditionellen Forstwirtschaft beiträgt. Wesentliche Vorteile dieses als Kurzumtriebsplantagen (kurz: KUP) bezeichneten Anbausystems ist u.a. die günstige CO₂-Bilanz (Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (WBA), 2007). Bei niedrigen CO₂ Vermeidungskosten kann gleichzeitig eine hohe Vermeidungsleistung realisiert werden.

Bisherige Forschungsvorhaben in den 1970er bis 1990er Jahren haben sich vorrangig mit der Beantwortung von Fragestellungen zur Anbautechnik und Leistungsverbesserung durch Züchtung befasst. Untersuchungen zur Standortleistungsschätzung und Klon-Standort-Wechselwirkung stellen einen eigenen, zentralen Schwerpunkt dar, da für einen nachhaltig gewinnbringenden Anbau eine verlässliche Einschätzung von Ertragspotenzialen benötigt wird. Mehrere Arbeiten haben sich bereits mit dieser Thematik befasst. Die Ergebnisse sind aber meist nur auf die untersuchten Regionen und deren Standortbedingungen sowie ein beschränktes Sortenspektrum begrenzt. Darüber hinaus fehlt es oft an langfristigen Beobachtungen und Versuchszeiträumen. Das Pro-Loc Verbundvorhaben setzt in dieser Lücke an, um mit einem homogenen Ansatz basierend auf einer breiten Amplitude standörtlicher Bedingungen einen allgemein gültigen Ertragsschätzer zu entwickeln. Das Projekt wurde 2008 in einer ersten Förderphase mit einem Netzwerk zahlreicher Kooperationspartner initialisiert. Ein definiertes Spektrum an Pappel- und Weidenklonen wurde dazu nach einheitlicher Vorgabe in mehreren Versuchsflächen in einem dreijährigen Rotationsmodus ausgepflanzt. Die Flächen wurden fortlaufend wissenschaftlich betreut und vermessen, um eine belastbare Datenbasis zu schaffen. Mit Abschluss des ersten Umtriebs nach drei Jahren erfolgte die Auswertung und anschließende Veröffentlichung der Ergebnisse.

Um die langfristige Entwicklung und Dynamik der Erträge weiter zu untersuchen, konnte das Projekt in eine zweite Förderphase geführt werden, für die dieser Bericht gilt. Es wurden vor Beginn der zweiten Phase zwei Arbeitsschwerpunkte formuliert: Das erste Arbeitspaket beinhaltete die fortgeführte Beobachtung der in der ersten Periode angelegten Versuchsflächen mit einer der

1 Ziele

Wachstumsdynamik angepassten Methodik. Ziel hierbei war die Erweiterung der Grundlagendaten für die Validität des Modells bei fortlaufenden Rotationen sowie die Verifizierung der Standortseignung für den Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Im zweiten Arbeitspaket war die Anlage von 15 neuen Versuchsflächen mit zehnjähriger Rotation vorgesehen. Die drei Pappelprüfglieder, die bereits in den etablierten Versuchsflächen in dreijähriger Rotation enthalten waren, wurden hierbei in einer geringeren Pflanzdichte und angepasst größeren Probeflächen ausgebracht. Zielstellung war die Erweiterung des Ertragsmodells auf längere Umtriebszeiten in Korrelation mit den schon bisher etablierten Probeflächen des Projektes. Darüber hinaus sollte der Anbau marktgerechter Sortimente in Einzelbaumdimension inklusive möglicher Industrieholzsortimente auf Ackerstandorten untersucht werden. Die längeren Umtriebszeiten sind auch auf Ackerflächen für den Landwirt rechtlich abgesichert und ermöglichen in der Praxis durch die erzeugten höheren Stückmassen die Erzeugung von Holzsortimenten für die stofflich/energetische Verwendung. Die Bewertung einer zweiten Rotationsphase der zehnjährigen Flächen wurde angestrebt. Im Rahmen des Arbeitspaketes 2 wurden weiterhin drei Verbandsprüfungen angelegt. Im dreijährigen Umtrieb wurden dieselben Prüfglieder wie in den bestehenden Versuchsflächen verwendet. Im 10jährigen Umtrieb wurden nur die drei Pappelprüfglieder ausgebracht. Ziel war es, die identifizierte Klon-Standort-Wechselwirkung um die Wahl optimierter Bestandesdichten für verschiedene Umtriebszeiten zu ergänzen und in einem Ertragsmodell zu implementieren. Die Messmethodik in den neuen Arbeitspaketen wurde an den bestehenden Vorgaben der ersten Projektphase entwickelt. Ein externes Teilprojekt im Fachgebiet Bodenbiologie und Pflanzenernährung wurde zusätzlich an der Universität Kassel durchgeführt.

Die Abbildung 1.1 stellt eine Übersicht der Datengenerierung, Modellierung und der Modellanwendung auf Basis der beschriebenen Arbeitspakete dar.

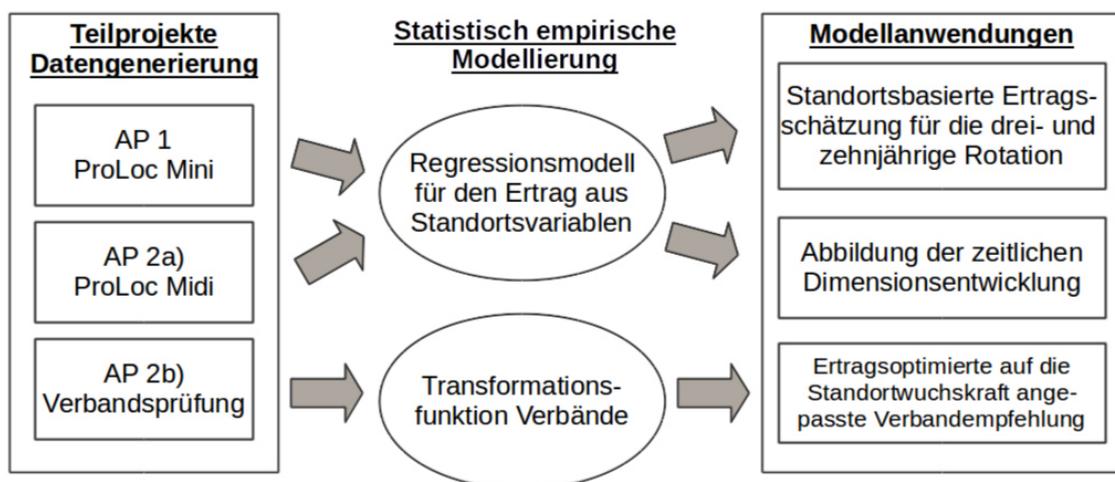


Abb. 1.1: Übersicht der Arbeitspakete und ihre Relevanz für die Modellentwicklung (verändert nach GALLARDO ET AL. 2012, unveröffentlicht).

1.1 Aufgabenstellung

Die drei beschriebenen Arbeitspakete des Projekts werden im Folgenden bezüglich ihrer Aufgabenstellung und der Ergebnisse getrennt dargestellt.

1.1.1 Arbeitspaket 1

Das Gesamtziel des ersten Arbeitspakets (kurz: AP1) sah die Weiterführung der ProLoc-Flächen zur Modellerweiterung und Validierung vor. Gemeint sind hiermit die in ProLoc I in 2008 bereits angelegten Versuchsflächen, die im Winterhalbjahr 2010/2011 zum ersten Mal beerntet wurden (Auflistung s. 1.2). Im zentralen Fokus des AP1 in Projektphase II steht die für Kurzumtriebsplantagen besondere Ertragsdynamik durch Stockausschlag nach Rückschnitt und die zu erwartenden Ertragszunahmen (Boelcke, 2006; Ribeiro u. Betters, 1995; Willebrand et al., 1993). Folgende Einzelziele wurden bei Antragsstellung für dieses Arbeitspaket formuliert:

Ziele

- Quantifizierung der Ertragsvariation der zweiten Folgerotation gegenüber der ersten Ertragsrotation bei Pappel und Weide
- Untersuchung des Einflusses des Erntevorgangs auf die Mortalität und den Stockausschlag (Anzahl an Nebentrieben) der geprüften Sorten
- Analyse der Gattungs- und Sortenunterschiede in den genannten Parametern
- Anpassungsparametrisierung des Ertragsmodells für die zweite Rotation und Optimierung der Modelloberfläche

Aus diesen Zielen wurde ein Arbeitsprogramm für die dreijährige Projektlaufzeit abgeleitet:

Arbeitsprogramm

- Jährliche Aufnahme der Zuwachsparemeter Höhe, Brusthöhendurchmesser sowie der Anzahl der Höhentrieb gemäß Methodenhandbuch – angepasst an die veränderten Datenaufnahmebedingungen.
- Jährliche Aufnahme der Anwuchs-Überlebensrate durch die Projektpartner
- Vitalitätsuntersuchungen durch die Partner
- Ernte der Bestände und Ertragsermittlung im Winter 2013/14 durch die Projektpartner
- Entwicklung bzw. Anpassung der Modellalgorithmen für die zweite Rotation, aus den Zuwachs-, Klima- und Standortsergebnissen

Prüfglieder

Als Prüfglieder wurde in ProLoc II das auf den Versuchsfeldern vorhandene Spektrum in Form von 3 Pappel- und 2 Weidenklonen weiter verwendet und nicht variiert (s. Tabelle 1.1). Der Hintergrund für diese Auswahl bestand darin, dass zum einen Sorten verwendet werden sollten, die bereits im Praxisanbau verbreitet sind. Zum anderen sollten Hybride ausgewählt werden, die unterschiedliche Kreuzungseltern aufweisen, um verschiedene Züchtungslinien abzubilden und deren mögliche Wechselwirkung von Leistungsfähigkeit und standörtlichen Bedingungen zu untersuchen.

Tab. 1.1: Übersicht der in ProLoc I und II verwendeten Prüfglieder.

Prüfglied	Sortenname	Artnamen Kreuzung
1	Max 1	<i>P. nigra</i> x <i>P. maximowiczii</i>
2	Hybride 275	<i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i>
3	AF2	<i>P. deltoides</i> x <i>P. nigra</i>
4	Inger	<i>S. triandra</i> x <i>S. viminalis</i>
5	Tordis	(<i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i>) x <i>S. viminalis</i>

Versuchsfelder

Tabelle 1.2 enthält eine Übersicht über die in ProLoc I angelegten und in ProLoc II fortgeführten Versuchsfelder, den jeweiligen betreuenden Institutionen und ob die Versuchsfeldfläche noch aktiv betreut wurde zum Projektabschluss. Im Arbeitspaket 1 musste während der Projektlaufzeit die Fläche 9 Löwenberg in 2014 aufgegeben werden, da die Ernte im Winterhalbjahr 2013/2014 nicht durchgeführt wurde. Aufgrund erschwelter Vergleichbarkeit der durchgewachsenen Fläche mit den restlichen Flächen aus dem Arbeitspaket wurde die Fläche nicht weiter untersucht. Andere im Arbeitspaket nicht mehr aktive Flächen wurden bereits in der ersten Projektphase aufgegeben. Die Gründe hierfür umfassen Abweichungen in den Managementvorgaben oder wiederholte flächige Ausfälle nach Kulturbegründung. Die genaue Auflistung ist der Arbeit Amthauer Gallardo (2014) zu entnehmen. Weitere Flächen konnten nach dem Übergang von ProLoc I zu II nicht mehr fortgeführt werden. Die Daten dieser Versuchsfelder standen in ProLoc II noch zur Verfügung, sind aber nicht in die fortgeführte Auswertung mit eingegangen. Abbildung 1.2 enthält eine Übersicht über die Verortung der einzelnen Versuche im Bundesgebiet.

Versuchsfeldendesign und Datenaufnahme

Das Design einer einzelnen AP1-Versuchsfeldfläche wurde in 20 Einzelparzellen mit vollrandomisierter Zuordnung in vierfacher Wiederholung je Prüfglied realisiert. Auf einem Großteil der Standorte konnte das Versuchsdesign als randomisierte vollständige Blockanlage umgesetzt werden (wie auch in Abbildung 1.3 zu sehen). Da dies aber nicht durchgängig der Fall war, wurde in der Analyse vom erstgenannten Fall ausgegangen. Für die Formulierung der Modelle (s. 2) ist dies von

Tab. 1.2: Übersicht der in ProLoc I angelegten Versuchsflächen im Arbeitspaket AP1.

VFL-Nr.	Versuchsfläche	Betreuende Institution	Aktiv
1	Emmendingen	FVA Baden-Württemberg	Aktiv
2	Liliental	FVA Baden-Württemberg	Aktiv
3	Aulendorf	LTZ Augustenberg	Aktiv
4	Forchheim	LTZ Augustenberg	Aktiv
5	Ladenburg	LTZ Augustenberg	Aufg.
6	Kupferzell	LTZ Augustenberg	Aktiv
7	Kaisheim	LWF Bayern	Aktiv
8	Energiewald Welzow	BTU Cottbus	Aktiv
9	Löwenberg	BTU Cottbus	Aktiv
10	Neuruppin	BTU Cottbus	Aufg.
11	Cahnsdorf	HNE Eberswalde (FH)	Aufg.
12	Kummerow	HNE Eberswalde (FH)	Aktiv
13	Grünewalde	FIB Finsterwalde	Aktiv
14	Welzow Süd	FIB Finsterwalde	Aktiv
15	Potsdam Bornim	ATB Potsdam	Aktiv
16	Lehmkaute	JLU Gießen	Aktiv
17	Unterrieden	Universität Kassel	Aktiv
18	Gülzow	LFA Mecklenburg-Vorpommern	Aktiv
19	Werlte	3N Kompetenzzentrum Niedersachsen	Aktiv
20	Borlinghausen	MR Hörter-Warburg	Aktiv
21	Dollendorf	LWK Nordrhein-Westfalen	Aufg.
22	Haus Düsse	LWK Nordrhein-Westfalen	Aufg.
23	Wildbergerhütte	ZebiO - Zentrum für Bioenergie	Aufg.
24	Königshovener Höhe	RWE / RFWU Bonn	Aktiv
25	Campus Klein Altendorf	RFWU Bonn	Aktiv
26	Am Kandel	FH Trier	Aufg.
27	Bärenrode	LLFG Sachsen-Anhalt	Aktiv
28	Bernburg	LLFG Sachsen-Anhalt	Aktiv
29	Hayn	LLFG Sachsen-Anhalt	Aktiv
30	Iden	LLFG Sachsen-Anhalt	Aktiv
31	Pommritz	LFULG Sachsen	Aktiv
32	Thammenhain I	TU Dresden	Aufg.
33	Thammenhain II	TU Dresden	Aufg.
34	Zschadrass	TU Dresden	Aufg.
35	Trenthorst	TI - Fachinstitut für Forstgenetik Großhansdorf	Aktiv
36	Lohberg	Baumschulen Oberdorla GmbH	Aktiv
37	Dornburg	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft	Aktiv
38	Heiliges Marpingen	FH Trier	Aufg.

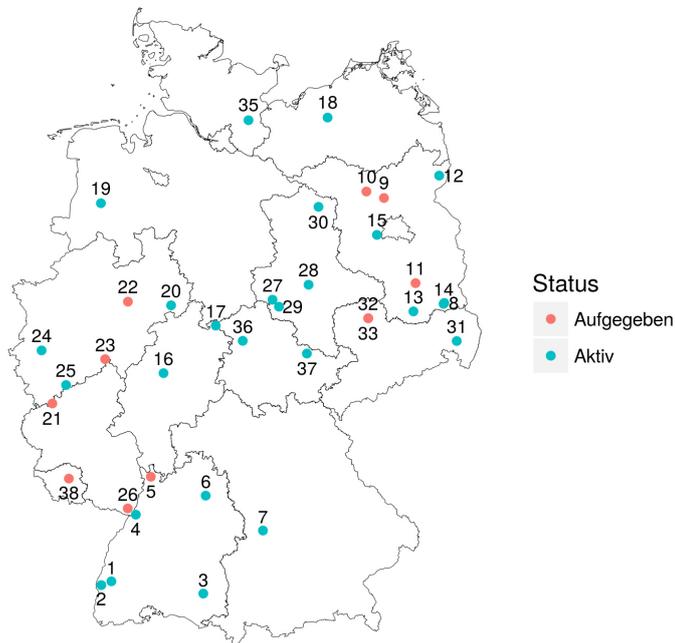


Abb. 1.2: Übersichtskarte der in ProLoc I angelegten und in ProLoc II fortgeführten Versuchsflächen (Ländergrenzen aus Hijmans et al. (2015)).

Bedeutung. Um jeden Versuch wurde bei Anlage ein Randstreifen von maximal 5 m Breite frei gehalten. Der Rand wurde außerhalb eingezäunt, um mögliche Störeinflüsse durch z.B. Wildverbiss oder andere Randeffekte durch die Umgebung auszuschließen.

Die Gestaltung des Pflanzverbands zwischen und innerhalb den Parzellen erfolgte, wie für KUP üblich, in Reihenform. Die Pflanzabstände innerhalb der Reihe wurden auf 0,5 m und zwischen den Reihen auf 1,8 m festgesetzt. Je Parzelle sind 5 Reihen vorzufinden, entlang einer Reihe sind 20 Bäume dieser Versuchseinheit zugehörig. Zur Veranschaulichung ist Abbildung 1.4 ein beispielhafter Parzellenplan zu entnehmen. Die Reihen werden bei hintereinander liegenden Parzellen geeigneter Weise fortgesetzt, damit sich eine zusammenhängende Flächenstruktur und eine Hauptaufnahmerichtung entlang der Parzellenreihen ergibt. Die Aufnahmerichtung soll idealerweise von Süd nach Nord in den Reihen und von West nach Ost zwischen den Reihen eingerichtet werden, Abweichungen können sich durch die Geländeexposition am jeweiligen Standort ergeben.

Pro Parzelle ergibt sich damit aus 5 Reihen je 20 Einzelbäumen eine Gesamtzahl von 100 Individuen. Um Randeffekte zwischen den Parzellen zu vermeiden wurden Messungen nur in einem ausgewiesenen Parzellenkern durchgeführt. Dieser beinhaltet pro Parzelle 48 Pflanzen, die für Messungen in Frage kommen, die äußeren 2 Reihen sowie 2 Pflanzplätze zum Beginn und Ende

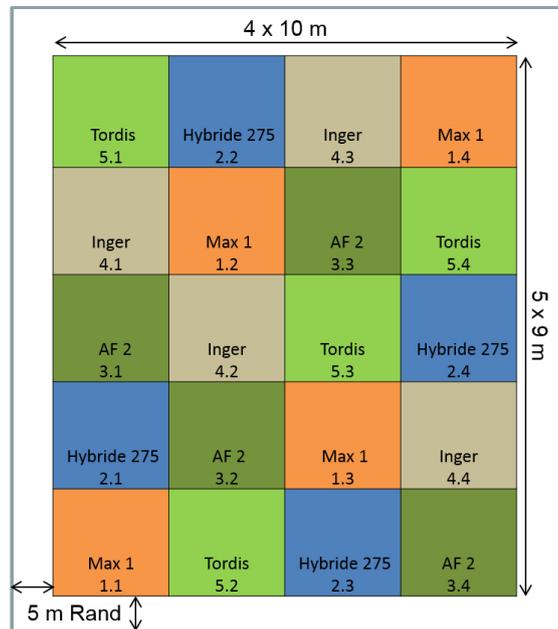


Abb. 1.3: Beispielhaftes Versuchsdesign einer AP1 Versuchsfläche bestehend aus 20 Einzelparzellen.

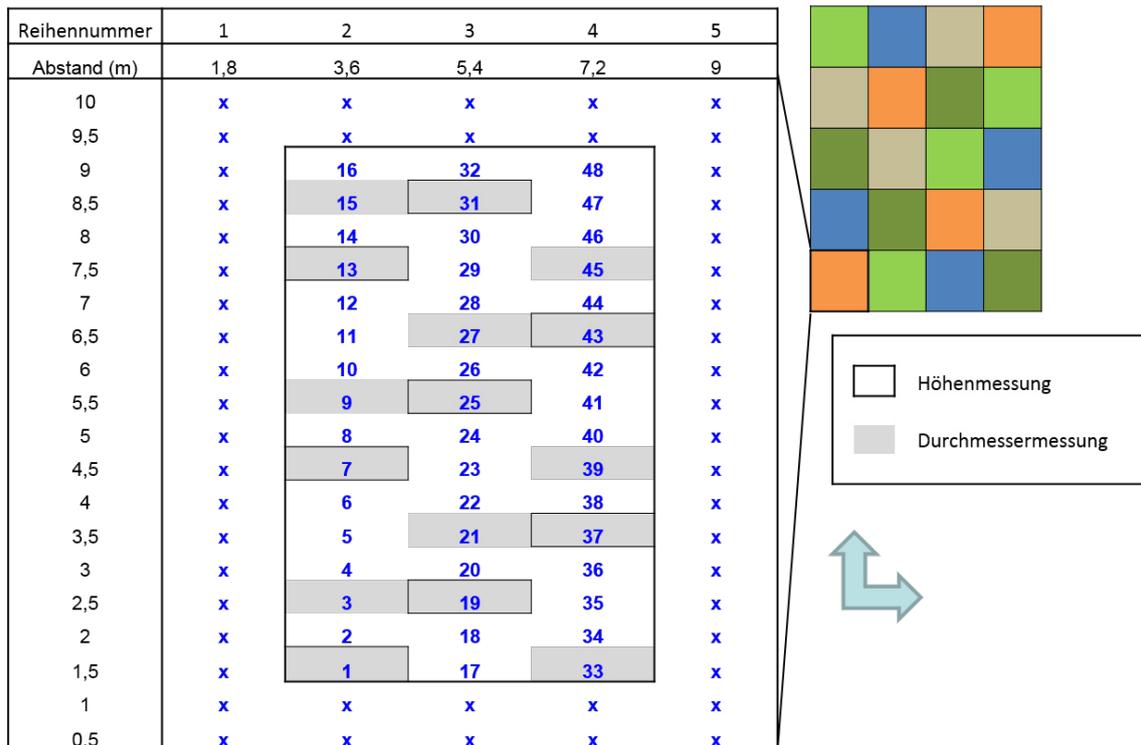


Abb. 1.4: Beispielhafter Parzellenplan einer Einzelparzelle im AP1. Die Pfeile kennzeichnen die Aufnahmegerichtungen.

jeder Reihe wurden bewusst nicht berücksichtigt. Die Kennzeichnung der einzelnen Versuchseinheiten erfolgte in ProLoc I auf den Ebenen Versuchsfläche; Klon; Wiederholung; Baumnummer. Die Baumnummern wurden im Parzellenkern laufend vergeben und je Klon zwischen den Wiederholungen fortgesetzt. Bis zur Versuchseinheit Einzelbaum lassen sich die Individuen durch eine Pflanzplatz-Identnummer identifizieren, die sich aus den Kennziffern der anderen Versuchseinheiten zusammen setzt.

Zur Messung der verschiedenen Parameter wurde ein Aufnahmeraster auf den Parzellenkern angewendet, da eine Aufnahme aller 48 Pflanzen je Kern einen zu großen Aufwand dargestellt hätte. Die Aufnahmeraster sahen für die Parameter Brusthöhendurchmesser (kurz: BHD) und Frischmasse ein enges Raster vor, dass jeden zweiten Baum des Parzellenkerns beginnend beim ersten berücksichtigte. Für die Längen-/Höhenmessung und die Rostbonitur wurde auf jeden sechsten Baum, beim ersten beginnend, zurückgegriffen. Aufgrund des hohen Messaufwandes, der sich nach Rückschnitt durch den Stockausschlag noch zusätzlich erhöht hat, wurde zu Beginn der zweiten Projektphase beschlossen, dass das engere Raster für die Durchmesser- und Massenermittlung weiter gefasst wird und jeder sechste Baum ausgehend vom fünften nicht mehr vermessen wird (s. Abbildung 1.4). Andere gleichmäßigere Verteilungen des Aufnahmerasters wurden ebenfalls diskutiert, nur durch die beschriebene Form ließ sich eine wiederholte Aufnahme bereits vermessener Individuen aus ProLoc I realisieren, bei gleichzeitiger Reduktion des Umfangs von 24 auf 16 Pflanzen. In der ersten Projektphase wurden zusätzlich Abweichungen vom Aufnahmeraster in der jährlichen Erhebung der Zuwachsdaten zugelassen, d.h. dass bei Ausfall einer Pflanze auf die nächste Pflanze im Bestand zurückgegriffen wurde, auch wenn diese nicht im Raster stand. Bei der Biomasseerhebung zur ersten Ernte wurde dagegen das Raster eingehalten, d.h. bei fehlenden Pflanzen wurde nicht auf benachbarte Pflanzen zurückgegriffen, um den Ausfall in den Massensummen zu berücksichtigen (s. Formel zur dGz Berechnung unten). In der zweiten Projektphase wurden diese Abweichungen homogenisiert, indem bei allen Aufnahmen nur noch die Pflanzen des Rasters berücksichtigt wurden. Bei Mittelwerten müssen jedoch die teils unterschiedlichen Stichprobenumfänge in den Rotationen berücksichtigt werden. Die gemessenen Parameter und ihr jeweiliger Stichprobenumfang je Parzellenkern sind nach den Boniturarten gegliedert in Tabelle 1.3 dargestellt.

Die Daten wurden nach einheitlicher Vorgabe der Projektkoordination in Form von Boniturhandbüchern erhoben. Die Aufnahmeregeln wurden in Anlehnung an die Projektphase I formuliert, die sich wiederum an Standards für forstliche Inventuren nach Kramer u. Akça (2008) orientieren. Von Beginn der zweiten Projektphase bis zur Ernte im Winterhalbjahr 2013/2014 wurden je Pflanzplatz im Winter der Brusthöhendurchmesser in 1,3 m Höhe sowie die Länge eines Triebes (einzelner Stockausschlag) gemessen. Im Winter 2014/2015 wurden der BHD sowie die Gesamthöhe (Distanz von der Achsenspitze bis zum Boden in der Lotrechten) des Pflanzplatzes gemessen. Als Aufnahmegrenze für den BHD wurde eine Stärke von 10 mm festgesetzt. Die Messung des Wurzelhalsdurchmessers wurde in der zweiten Projektphase aufgegeben. Vorgaben zum Messverfahren bei abnormen Schaftformen sind den Methodenhandbüchern zu entnehmen, orientieren sich jedoch auch an den Vorgaben forstlicher Inventuren. Im Zuge der Rostbonitur wurden die Befallsstufe durch 5 Boniturnoten, die den Anteil des Befalls an der Blattoberfläche in Prozentanteilen

Tab. 1.3: Übersicht der in ProLoc II erhobenen Messgrößen.

Bonitur	Parameter	Einheit	Turnus der Aufnahme	n je AP1-Parzelle
Biomasse	Frischmasse	[g]	zur Ernte im Winterhalbjahr	24/16
Biomasse	Trockensubstanzgehalt	[%]	zur Ernte im Winterhalbjahr	4
Zuwachs	Achsenanzahl	[n]	jährlich im Winterhalbjahr	24/16
Zuwachs	Achsen-Brusthöhendurchmesser	[mm]	jährlich im Winterhalbjahr	24/16
Zuwachs	Achsenlänge	[dm]	jährlich im Winterhalbjahr	8
Zuwachs	Höhe Pflanzplatz	[dm]	jährlich im Winterhalbjahr	8
Überlebensrate	Aufwuchs	[%]	jährlich im Winterhalbjahr	100
Vitalität	Rostbefall in 5 Befallsstufen	[%]	jährlich in KW 28 und 33	8
Vitalität	Befallslage	-	jährlich in KW 28 und 33	8
Beikraut	Arten	-	Nach Pflanzung und Ernte	-
Beikraut	Bedeckung in 4 Boniturstufen	[%]	Nach Pflanzung und Ernte	-
Beikraut	Höhe der Beikrautschicht	[dm]	Nach Pflanzung und Ernte	-

wiedergeben, erfasst. Die Befallslage wurde zusätzlich in 4 Stufen nach der Lage am Blatt oder am Spross angesprochen. Weitere Schadensquellen wie Insektenfraß, Wildverbiss, Frost- oder Trocknisschäden wurden zusätzlich aufgenommen. Der Turnus für die Blattrostbonitur war auf die 28. und 33. Kalenderwoche jedes Jahres festgesetzt. Das Vorkommen an Begleitvegetation wurde für die Gesamtfläche in 4 Stufen entsprechend des Bedeckungsgrades erfasst. Zusätzlich wurden die vorkommenden Beikrautarten sowie die Höhe der Beikrautschicht erfasst.

Im Rahmen der Koordinationsgespräche vor der zweiten Ernte wurde die Methodik der Erntebonitur als Kompromiss aus möglichst hoher Genauigkeit und vertretbarem Aufwand intensiv diskutiert. In der ersten Projektphase kam bereits ein Verfahren zum Einsatz, das dem von Röhle (2009) beschriebenen Probebaumverfahren entspricht. Von Amthauer Gallardo (2014) wurden darüber hinaus Biomassefunktionen zur Schätzung der Trockenmasse aus dem BHD parametrisiert. Zur Anwendung kam dabei der allometrische Ansatz.

Die Erntebonitur in ProLoc II gliederte sich in zwei Schritte: Ermittlung der einzelbaumweisen Biomassen und der klonweisen Trockensubstanzgehalte. In ProLoc I wurde zur Ermittlung der Hektarerträge in Form des dGZ [$t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}_1$] ein Stichprobeprobennraster auf jede Kernparzelle analog zum Raster der BHD-Messungen angewendet. Die Beerntung der Flächen erfolgte motorisch, an einem Pflanzplatz wurden alle Höhentriebe in 10 cm über dem Boden abgetrennt. Je Pflanzplatz wurde die Gesamtfrischmasse aller Triebe ermittelt. Dafür konnten die Triebe im Ganzen oder als Hackgut verwogen werden. Die Ablesegenauigkeit wurde auf 100 g Schritte festgesetzt. Der zweite Schritt der Ermittlung des Trockensubstanzgehaltes sah vor, dass vier vitale Pflanzplätze der maximal 16 beernteten Individuen zufällig ausgewählt wurden. Je ausgewähltem Pflanzplatz wurde eine Mischprobe von 2 kg gebildet. Lag die Gesamtmasse des Pflanzplatzes unter 2 kg wurde der vollständige Aufwuchs in die Probe gegeben. Das Material für die Probe wurde entweder aus dem Hackgut des Pflanzplatzes gewonnen oder der Aufwuchs wurde in drei gleich große Segmente geteilt und aus jedem Segment wurden 20 cm aus der Mitte als Querschnitt entnommen, also Stamm und Astmaterial beinhaltend. Das Material wurde der Länge nach zerkleinert und bei stärkeren Durchmessern zusätzlich gespalten (zwischen 3 und 5 cm Durchmesser einfach spalten, über 5 cm Durchmesser zweifach spalten). Anschließend wurde das Material wieder zu einer Gesamtprobe für den Pflanzplatz vereinigt. Die Proben wurden direkt

Tab. 1.4: AP1 Standorte an denen Wiegen der gesamten Kernparzelle durchgeführt wurden.

VFL-Nr.	Name Versuchsfläche	Betreuende Institution	Erntezeitraum
4	Forchheim	LTZ Augustenberg	Februar 2014
15	Potsdam Bornim	ATB Potsdam	Januar bis März 2014
17	Unterrieden	Universität Kassel	Januar/Februar 2014
20	Borlinghausen	MR Höxter-Warburg	Februar/März 2014
25	Campus Klein Altendorf	RFWU Bonn	Januar 2014

im Feld frisch mit einer Ablesegenauigkeit von 1 g verwogen. Anschließend erfolgte die Trocknung bei 103 °C in Trockenschränken bis zur Gewichtskonstanz der Proben in Anlehnung an die Vorgaben der DIN Norm zur Bestimmung des Feuchtegehalts durch Darrverfahren (DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2010). Die Trockenmassen der Proben wurden ermittelt und aus dem Verhältnis von Trockenmasse zu Frischmasse konnte der Trockensubstanzgehalt bestimmt werden. Die Trockensubstanzgehalte wurden je Klon und je Versuchsfläche gemittelt, anschließend wurden die Frischmassen der Pflanzplätze mit diesem Wert multipliziert, um die Trockenmasse je Pflanzplatz zu erhalten. Aus den Summen der Einzelbaumtrockenmassen je Parzelle wurden über die Bestandesdichte bei Vollbestockung Massenerträge je Hektar berechnet, die den Gesamtzuwachs Biomasse bezogen auf eine Rotation ergeben. Anschließend wird der Gesamtzuwachs durch das Alter zum Zeitpunkt t geteilt, um den durchschnittlichen Gesamtzuwachs zu erhalten. Für Kurzumtriebsplantagen geschieht dies für gewöhnlich in Bezug auf den jeweiligen Umtrieb, im AP1 also für 3 Jahre. Die so ermittelte Kenngröße entspricht damit am ehesten dem von Kramer u. Akça (2008) definierten dGz_u . Es handelt sich hier um die für Kurzumtriebsplantagen übliche Größe zur Bonitierung der Leistungsfähigkeit eines Bestandes (Röhle, 2013). Im Folgenden ist mit Ertrag der dGz bezogen auf die jeweilige Umtriebszeit gemeint.

Die Formel für die Ertragsschätzung lautet (verändert nach Amthauer Gallardo (2014)):

$$dGz[t_{atro}ha^{-1}a^{-1}] = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Trockenmasse Einzelbaum}_i[t_{atro}] * \text{Pflanzdichte}[N ha^{-1}]}{\text{Anzahl zu messender Individuen im Kern}[n] * \text{Alter des Bestandes}[a]}$$

Die nicht zu verwiegenden restlichen 84 Pflanzplätze einer Einzelparzelle wurden ebenfalls in einer Höhe von 10 cm abgetrennt. Das Erntegut wurde jeweils vollständig von den Flächen transportiert.

Auf fünf Versuchsflächen wurde zur Ernte 2013/2014 zusätzlich eine Wiegen der gesamten Kernparzelle durchgeführt (s. Tabelle 1.4). Die Wiegen konnten für das Projekt kostenneutral und z.T. in Eigenleistung der NW-FVA umgesetzt werden.

Dieses Verfahren wurde auf dem Koordinationstreffen 2013 vorgeschlagen und diskutiert, Hintergrund ist ein Vergleich der geschätzten Ertragsdaten je Hektar und Jahr bei unterschiedlichen Stichprobenumfängen. Dafür wurde für die verbleibenden Individuen der Kernparzelle ($n = 32$) mit den Bäumen im Stichprobenraster zu einer Gesamtmasse des Parzellenkerns aufsummiert. Die Formel zur Ertragsschätzung wurde hinsichtlich der Gesamtmasse und Individuenzahl ange-

passt. Der ermittelte dGz wurde mit der Schätzung basierend auf den Bäumen im Probenraster verglichen. Das Verfahren entspricht damit der von Röhle (2009) beschriebenen Vollerntemethode, da die Versuchsflächen (bis auf den Rand) komplett verwogen wurden.

Standortkartierung

Für die Modellierung der Ertragserwartung waren genaue Informationen über die standörtlichen Gegebenheiten auf den Versuchsflächen unabdingbar. In ProLoc I wurden auf den betreuten Versuchsflächen Standortkartierungen durch Profilsprachen und Probebohrungen durchgeführt. Darüber hinaus wurden Proben entnommen zur Bestimmung bodenphysikalischer und -chemischer Parameter. In der zweiten Projektphase konnte auf diese Daten für das AP1 zurückgegriffen werden. Die genauen Informationen zur Probennahme-Methodik sind dem Endbericht der ersten Projektphase oder der Arbeit von Amthauer Gallardo (2014) zu entnehmen.

1.1.2 Arbeitspaket 2

Ziel des Arbeitspaketes 2 war die Erweiterung des Gültigkeitsbereiches des Modells auf zehnjährige Rotationen und variierende Bestandesdichten. Diese Themen wurden in zwei Unterpunkten bearbeitet.

Arbeitspaket 2a: Bereich Rotation

Ziele

- Erfassung der Klon-Standort-Wechselwirkung bei Pappel in zehnjähriger Rotation
- Ertragsvergleich von zehnjähriger ggü. dreijähriger Rotation bei den Pappelprüfgliedern
- Entwicklung eines Erweiterungsmoduls für das erstellte Ertragsmodell um die zehnjährige Rotation mit Pappel

Arbeitsprogramm

- Anlage von ca. 15 Versuchsflächen à ca. 0,3 ha nach Möglichkeit angrenzend an die vorhandenen ProLoc-Versuchsflächen
- Jährliche Bestimmung der Zuwachs- und Vitalitätsparameter
- Erfassung der bodenkundlichen Eigenschaften
- Entwicklung der statistischen Modellalgorithmen zum Erweiterungsmodul für die zehnjährige Rotation

Prüfglieder

Aufgrund veränderter Produktionsziele bei Umtriebszeiten von 10 Jahren, wie z.B. das Erzielen von Stammholz zur Industrieholzproduktion (Hofmann, 2010), werden in diesem Rotationsmodus in Deutschland üblicherweise Pappeln in angepassten Bestandesdichten eingesetzt (Gerold et al., 2009; Schildbach et al., 2009). Um eine Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen des AP1 herzustellen, wurden die bereits als Standard definierten Sorten Max 1, Hybride 275 und AF2 (s. Tabelle 1.1) verwendet.

Versuchsflächendesign

Der Aufbau der AP2a Versuchsflächen wurde in Anlehnung an die AP1 Versuchsserie konzipiert. Die 3 Pappel-Prüfglieder wurden in vierfacher Wiederholung den 12 Einzelparzellen je Versuch vollrandomisiert zugeordnet. Ein 5 m breiter Randstreifen um den Versuch wurde frei gehalten und zusätzlich umzäunt.

Auf den AP2a Flächen wurde die Pflanzdichte dem geplanten Produktionsziel angepasst: In den Reihen wurde ein Abstand von 2 m und zwischen den Reihen von 4 m gewählt. Ebenfalls wie

für die Flächen im dreijährigen Umtrieb wurde eine Hauptaufnahmerichtung für den Versuchszeitraum festgelegt und die Parzellen nach Möglichkeit zueinander so angeordnet, dass eine durchgängige Flächenstruktur entsteht. Je Einzelparzelle sind 6 Reihen vorhanden, entlang der Reihen gehören wiederum 6 Bäume zu einer Einzelparzelle, woraus sich eine Individuenzahl von 36 Pflanzen je Parzelle ergibt. Als Rand wurden die beiden äußeren Reihen sowie die ersten und letzten Pflanzplätze der verbleibenden Reihen festgesetzt. Der Parzellenkern setzt sich damit aus 16 Pflanzplätzen zusammen. Eine beispielhafte Darstellung des Aufbaus einer Versuchsfläche und einer Einzelparzelle ist in Abbildung 1.5 enthalten.

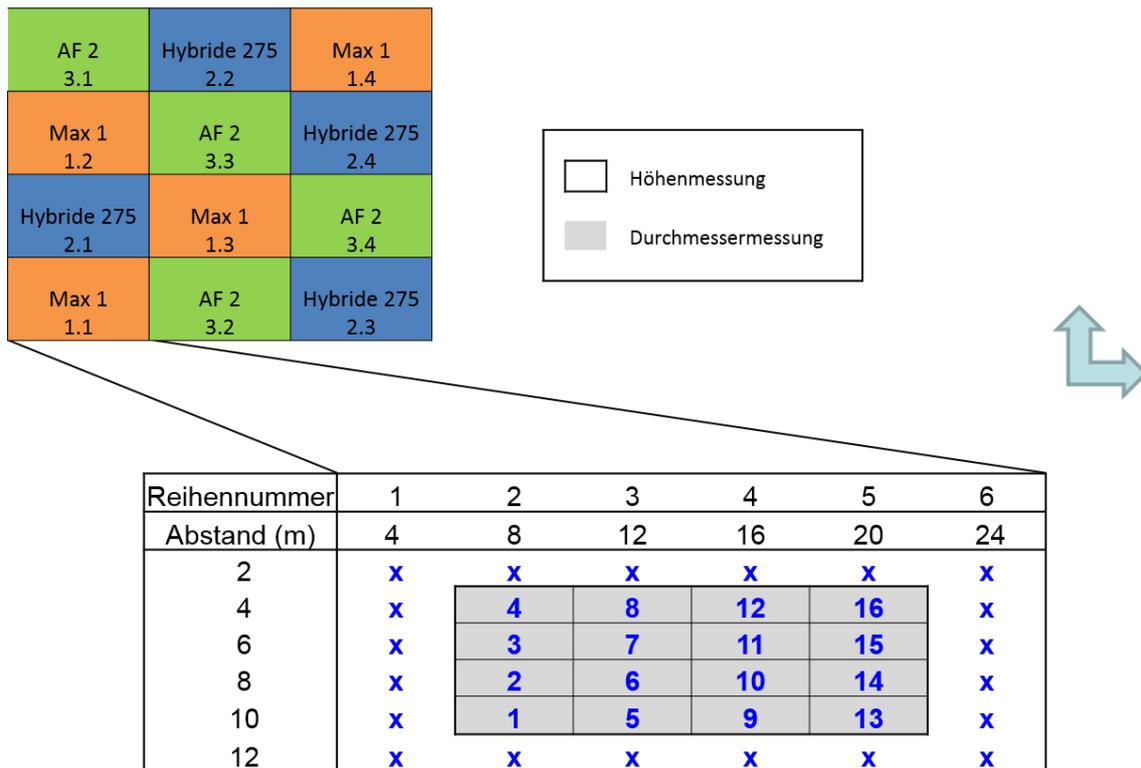


Abb. 1.5: Beispielhaftes Versuchsdesign einer AP2a Versuchsfläche bestehend aus 12 Einzelparzellen. Die Pfeile kennzeichnen die Aufnahmerichtungen.

Die Kennzeichnung der einzelnen Versuchseinheiten erfolgte analog zum Verfahren der AP1 Versuchsflächen, den Standorten wurden eigene Nummern zugewiesen, ebenso wie den Parzellen und den einzelnen Bäumen. Die zu messenden Parameter in der Datenerhebung entsprechen wiederum denen im ersten Arbeitspaket (s. Tabelle 1.3). Lediglich die Biomassenermittlung entfiel, da keine Ernte im Versuchszeitraum geplant war. Zur Bestimmung der BHD und Pflanzplatzhöhen wurden alle 16 Pflanzen je Kernparzelle herangezogen, für die Vitalitätsbonitur jede zweite Pflanze von der ersten ausgehend. Die Methodik der Messungen betreffend blieben die Vorgaben unverändert. An zwei Standorten mussten aufgrund der Ausformung der zur Verfügung stehenden Schläge abweichende Designs der Versuchsflächen in Kauf genommen werden. Am Standort Kaisheim II konnten daher nur drei statt vier Wiederholungen angelegt werden, in Dornburg

1 Ziele

II musste der Pflanzverband auf 3 m x 3 m festgesetzt werden. Nach eingehender Abwägung wurde entschieden, die Versuchsflächen trotz der Abweichungen anzulegen. Diese Bedingungen wurden bei der späteren Versuchsauswertung mit berücksichtigt.

Versuchsflächen

Insgesamt 14 Versuchsflächen konnten im Frühjahr 2012 angelegt werden, eine vollständige Auflistung ist der Tabelle 1.5 zu entnehmen. Die Fläche Dörpen wurde nach dem Winterhalbjahr 2013/2014 aufgrund zu hoher Ausfälle aufgegeben. Die Verortung der einzelnen Versuchsflächen ist in Abbildung 1.6 enthalten.

Tab. 1.5: Übersicht der in ProLoc II angelegten Versuchsflächen im Arbeitspaket AP2a.

VFL-Nr.	Name Versuchsfläche	Betreuende Institution	Aktiv
101	Campus Klein Altendorf II	RFWU Bonn	Aktiv
102	Königshovener Höhe	RFWU Bonn	Aktiv
103	Kaisheim II	LWF Bayern	Aktiv
104	Stolzenhagen	HNE Eberswalde (FH)	Aktiv
105	Grünewalde II	FIB Finsterwalde	Aktiv
106	Forchheim II	LTZ Augustenberg	Aktiv
107	Hartheim	FVA Baden-Württemberg	Aktiv
108	Borlinghausen II	MR Höxter-Warburg	Aktiv
109	Trenthorst II	TI - Fachinstitut für Forstgenetik	Aktiv
110	Dornburg II	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft	Aktiv
111	Dörpen	3N Kompetenzzentrum Niedersachsen	Aufg.
112	Lathen	3N Kompetenzzentrum Niedersachsen	Aktiv
113	Vollenschier	agraligna GmbH	Aktiv
114	Unterrieden II	Universität Kassel	Aktiv

Arbeitspaket 2b: Bereich Bestandesdichte

Analog zum AP1 und den Zielen des Teilbereichs Rotation im AP2 wurden für die Versuche zur Bestandesdichte eigene Ziele formuliert und daraus ein Arbeitsprogramm abgeleitet.

Ziele

- Identifikation ertragsoptimierter Bestandesdichten für die drei- und zehnjährige Rotation
- Einarbeitung der Erkenntnisse in ein Ertragsmodul

Arbeitsprogramm

- Anlage von je drei Verbandprüfungen in drei- und zehnjähriger Rotation
- Jeweils vier Bestandesdichten pro Rotation, vier Wiederholungen pro Variante - vollrandomisiert

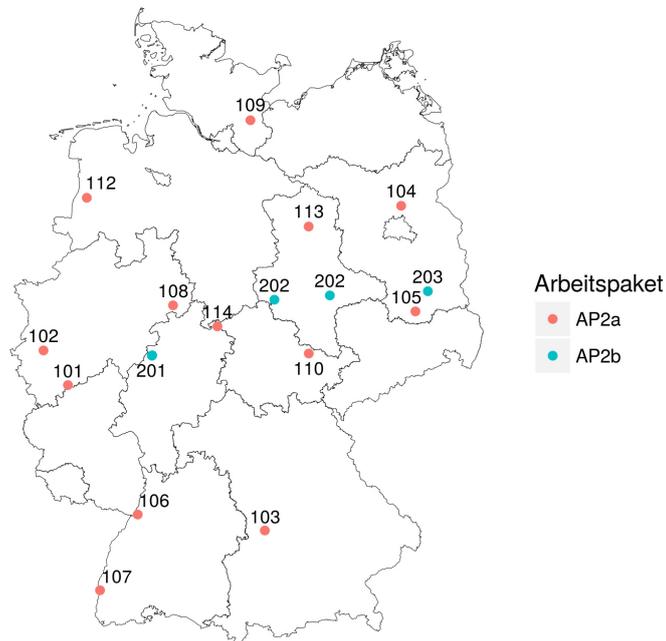


Abb. 1.6: Übersichtskarte der in ProLoc II angelegten AP2 Versuchsflächen (Ländergrenzen aus Hijmans et al. (2015)).

- bei der dreijährigen Rotation zwischen 9.523 und 16.666 Bäume pro Hektar
- bei der zehnjährigen Rotation zwischen 625 und 2.500 Bäume pro Hektar
- Bodenkundliche Charakterisierung der Standorte analog zu den dreijährigen Versuchsflächen
- Jährliche Bestimmung der Zuwachs- und Vitalitätsparameter
- Erstellung von Biomassefunktionen für die unterschiedlichen Klone bzw. Bestandesdichten
- Entwicklung der statistischen Modellalgorithmen zum Erweiterungsmodul für variierende Pflanzdichten
- Beerntung der dreijährigen Teilflächen

Prüfglieder

Für die Verbandsvergleiche im dreijährigen Rotationsmodus wurden die Pappel- und Weidenprüfglieder des AP1 verwendet, für den zehnjährigen Rotationsmodus wurden nur die Pappelprüfglieder (wie in AP2a) gepflanzt.

Versuchsflächendesign

Die Gliederung der Versuchseinheiten im AP2b lässt sich als Versuch/Teilversuche Umtriebszeit/Unterversuch Verband/Klon/Wiederholung/Einzelbaum wiedergeben.

Im dreijährigen Rotationsmodus wurden je Unterversuch Verband die fünf Prüfglieder in vierfacher Wiederholung den 20 Einzelparzellen analog zum AP1 Design zugeordnet. Das Versuchsdesign innerhalb der Parzellen unterscheidet sich jedoch darin, dass 4 Reihen à 12 Bäume jeweils eine Parzelle bilden. Wiederum wurden die äußeren Reihen sowie der erste und letzte Pflanzplatz der zweiten und dritten Reihe ausgelassen, um einen Rand zu belassen. Die Kernparzelle setzt sich damit aus 20 Pflanzen zusammen. Die Vorgaben zur Reihenstruktur und Aufnahmerichtung fanden gleiche Anwendung wie im AP1 und AP2a. An 10 der 20 Pflanzplätze, beginnend beim ersten im Parzellenkern, wurde die Länge der Triebe aufgenommen. Diese Triebe wurden später auch für die Verwiegung bei der ersten Ernte herangezogen. Das Verfahren zur Bildung der Mischproben wurde in Anlehnung an die Vorgaben der Ernte im AP1 in 2013 realisiert. Die Probenanzahl wurde allerdings variiert, um den Aufnahmearbeit zu reduzieren. Innerhalb eines Verbandsversuchs wurden daher je Klon aus der ersten und dritten Wiederholung ein Baum ausgewählt, aus dem die Mischprobe zur Bestimmung des Wassergehalts gewonnen wurde. Zur Probennahme und Trocknung kamen die gleichen Vorgaben wie im AP1 zur Anwendung. Im zehnjährigen Rotationsmodus wurden innerhalb der verschiedenen Pflanzverbände die drei Pappel-Prüfglieder analog zum AP2a in vierfacher Wiederholung 12 Einzelparzellen zugeordnet. Pro Parzelle wurden 28 Bäume in 4 Reihen gepflanzt, von denen in zwei Reihen 10 in der Kernparzelle stehen. Für sämtliche Messungen wurde der vollständige Parzellenkern herangezogen. Bezüglich der verschiedenen Pflanzverbände wurden in der dreijährigen Rotation die Abstände zwischen den Reihen variiert und in den zehnjährigen die Abstände in den Reihen. Eine Übersicht über diese Varianten ist in Tabelle 1.6 enthalten. Eine geschlossene Umzäunung wurde im AP2b für die Gesamtversuche realisiert. Auf dem Verbandsvergleich Calau hat die Flächenausformung die ursprünglich geplante Versuchsanlage eingeschränkt, daher konnten in einigen Verbänden nur drei Wiederholungen angelegt werden.

Tab. 1.6: Versuchsflächendesign der Verbandsvergleiche im AP2b.

Umtriebszeit	Pflanzverband	Bestandesdichte N ha ⁻¹	Prüfglieder	Pflanzen im Parzellenkern [n]
3	1,2 m x 0,5 m	16.666	Pappel und Weide	20
3	1,5 m x 0,5 m	13.333	Pappel und Weide	20
3	1,8 m x 0,5 m	11.111	Pappel und Weide	20
3	2,1 m x 0,5 m	9.523	Pappel und Weide	20
10	4 m x 1 m	2.500	Pappel	10
10	4 m x 2 m	1.250	Pappel	10
10	4 m x 3 m	833	Pappel	10
10	4 m x 4 m	625	Pappel	10

Versuchsflächen

Tabelle 1.7 enthält eine Übersicht über die 3 Versuche die im AP2b im Frühjahr 2012 angelegt wurden. In den Versuchen 201 Allendorf und 203 Calau befinden sich beide Teilversuche in unmittelbarer Nachbarschaft. Im Versuch 202 Repau sind der drei- und der zehnjährige Teilversuch auf zwei unterschiedliche Standorte aufgeteilt (s. Karte in Abbildung 1.6). Alle drei Versuche wurden von in ProLoc II neuen Kooperationspartnern betreut, daher konnten bis auf eine Ausnahme die Versuche nicht in unmittelbarer Nachbarschaft zu bereits vorhandenen Flächen angelegt werden. Die Ausnahme bildet der 3a Teilversuch von Versuch 202, der sich neben dem AP1 Standort Bärenrode befindet.

Tab. 1.7: Übersicht der in ProLoc II angelegten Versuchsflächen im AP2b.

VFL-Nr.	Versuchsfläche	Betreuende Institution	Aktiv
201	Allendorf	Viessmann Werke GmbH & Co. KG	Aktiv
202	Repau	Landwirtschaftsbetrieb Zschoche und Harzer Rotvieh Bärenrode GbR	Aktiv
203	Calau	P&P Dienstleistungs GmbH & Co. KG	Aktiv

Standortkartierung

Um wie im AP1 eine verlässliche Datenbasis für die Ertragsmodellierung zu erhalten, wurden die Flächen im AP2 in 2013 standörtlich kartiert. Methodisch wurde die Aufnahme an den bereits gelaufenen Kartierungen der ersten Projektphase ausgerichtet. Dazu wurden auf allen Flächen Bodenprofile angelegt und Pürckhauerbohrungen durchgeführt. Die Profilansprachen wurden nach der etablierten Methodik der Bodenzustandserhebung durchgeführt (König, 2014). Es erfolgte die Bestimmung üblicher Bodeneigenschaften wie Horizontfolge, -tiefe und -eigenschaften (Hydromorphiemerkmale, Bodengefüge, Durchwurzelung, Humusanteil, etc.). Eine Einschätzung der Gesamtbodenart und des Bodentyps wurde vorgenommen. Im Profil wurden in den Bodenschichten 0-30 cm und 30-60 cm Stechzylinderproben für eine laboranalytische Bestimmung der bodenphysikalischen Eigenschaften genommen. Die Profilansprachen wurden durch über die Versuchsflächen gleichmäßig verteilte Pürckhauerbohrungen ergänzt, um zu prüfen, ob standörtliche Gradienten vorlagen. Aus den Pürckhauerbohrungen wurden ebenfalls Mischproben für bodenchemische Analysen gewonnen. Je 10 Bohrungen zwischen den Randreihen und dem Parzellenkern

Tab. 1.8: Übersicht der auf den AP2 Flächen durchgeführten Analysen der Bodenproben.

Parameter Bodenchemie	Parameter Bodenphysik
pH Wert	Trockenrohdichte
Carbonatgehalt	Korngrößenverteilung
Gesamtgehalt an Stickstoff und Kohlenstoff (C/N Verhältnis)	Skelettgehalt
Pflanzenverfügbares P, K, Mg und Ca	

wurden in den vier Max 1 Parzellen jedes Standorts durchgeführt zur Bildung von vier Mischproben je Bodenschicht. Die Übersicht der durch Laboranalysen ermittelten Parameter ist in Tabelle

1.8 enthalten. Die Laboranalysen wurden gemäß den Standards nach den entsprechenden DIN Normen, die pflanzenverfügbaren Nährstoffe nach dem VFLUFA Methodenhandbuch und die bodenphysikalischen Untersuchungen nach einer Methodik für die BZE durchgeführt. Die Daten wurden anschließend aggregiert, um weitere Parameter wie die nutzbare Feldkapazität (nFK) zu berechnen. An den Standorten wurden weitere Metadaten wie z.B. Hangneigung und die daraus resultierende Exposition aufgenommen.

1.2 Stand der Technik

1.2.1 Wissenschaftlicher Stand an den angeknüpft wurde

Die Aufstellung eines Standortleistungsmodells als Eingang für eine Potenzialstudie zum KUP-Anbau in Sachsen wurde von Ali (2009) durchgeführt. Das Modell funktioniert zweistufig, zuerst wird die Oberhöhe basierend auf dem Alter und den Standorteigenschaften modelliert, anschließend wird die Biomasse aus der Oberhöhe und der Bestandesdichte geschätzt. Die Parametrisierung erfolgte für 4 Pappel Klongruppen getrennt, die Gruppeneinteilung wiederum nach Kreuzungseltern der Sorten sowie dem Wuchsverhalten. Die Daten zur Parametrisierung der ersten Modellstufe stammen von Aufnahmen auf sechs Versuchsfelder in Sachsen. Das Alter der untersuchten Bestände reicht von 1 bis 9 Jahren, es wurden übliche Zuwachsparmeter wie Brusthöhendurchmesser, Höhe und Masse aufgenommen. Zur Modellierung in der zweiten Stufe wurden zusätzliche Daten von weiteren Versuchsfeldern hinzugezogen. Für die Modellbildung wurde nach Prüfung die multiple-lineare Regression gewählt, als Regressoren mit signifikantem Einfluss auf die Oberhöhe stellten sich das Bestandesalter, die nutzbare Feldkapazität, die Ackerzahl sowie die mittlere Temperatur von April bis Juli und die Niederschlagssumme von Mai bis Juni heraus. Die Bestimmtheitsmaße der Regression R^2 liegen hier im Bereich über 0.97, das Modell wurde anschließend an Daten von 5 weiteren Versuchsfeldern validiert. Ali (2009) bezeichnet die Ergebnisse der Modellanalyse und die Schätzungsgüte der Funktionen als zufriedenstellend. Als ausbaufähig werden jedoch der Ausbau auf variierende Umtriebslängen und –zeiten sowie eine Parametrisierung für Weidenklone genannt. Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass das Modell für Wuchsbedingungen in Sachsen entwickelt wurde und außerhalb dessen nur bedingt oder gar nicht (z.B. Süddeutschland) angewendet werden sollte. Die Verbreiterung der Datenbasis sowie größere Variation bezüglich der Boden- und Klimavariablen werden empfohlen (Ali, 2009). Das Modell wurde in einer Webapplikation implementiert, die über den Internetauftritt der Professur für Waldwachstum und Holzmesskunde der TU Dresden erreichbar ist (Röhle, 2014). Das Programm verfügt über eine einfache Anwendungsoberfläche, die Funktionen sind in einer Bedienungsanleitung erläutert. Nach Wahl eines Bewirtschaftungssystems und der Eingabe des Alters sowie verschiedener Standortparameter, wird eine Schätzung als Einzelwert der aufstokkenden Biomasse und des durchschnittlichen Gesamtzuwachses angegeben.

Teils aufgrund der Empfehlungen von Ali (2009) hat Aust (2012) ein eigenes Ertragsmodell formuliert, das in eine KUP-Potenzialanalyse für Baden-Württemberg einfließt. Ertragsbestimmender Faktor ist die klimatische Wasserbilanz. Die Datenbasis setzt sich aus 62 Praxis- und Versuchsfeldern zusammen, die mit Pappel und Weide bestockt sind, jedoch teils verschieden bewirtschaftet werden. Parameter wie Sortenwahl, Bestandesdichte und Flächenvorbereitung bzw. Beikrautbehandlung weichen zwischen den Versuchsfeldern voneinander ab. Die Flächen, auf denen die verwendeten Daten ermittelt wurden, liegen überwiegend in Baden-Württemberg und teilweise Nordfrankreich, auf eine eingeschränkte Übertragbarkeit auf bundesweite Wuchsbedingungen wird hingewiesen (Aust, 2012). Die Ertragsschätzungen gelten für eine Rotationslänge von 3

Jahren für den ersten Umtrieb, die Ertragsdynamik nach Rückschnitt wird nicht abgebildet.

Eine zum Projektbeginn aktuelle Arbeit aus dem europäischen Ausland, die sich mit der Ertrags-schätzung von Kurzumtriebsplantagen befasst, lag von Aylott et al. (2008) vor. Basierend auf einem Netzwerk von 49 Versuchsflächen wurde ein Ertragsmodell implementiert, das für eine Po-tenzialanalyse genutzt wurde. Das Versuchsflächennetzwerk wurde über eine Dauer von sechs Jahren betreut und in zwei Umtriebszeiten von je drei Jahren Länge bewirtschaftet. Die Versuchs-anbauten wurden ähnlich wie in ProLoc auf eine breite standörtliche Amplitude verteilt. Die Ver-fahren zur Bestandesbegründung ähneln der in Deutschland üblichen Praxis, z.B. betreffend der Beikrautbehandlung. Die Flächenanlage wurde als Doppelreihensystem mit einer Individuenzahl von 10.000 N ha⁻¹ realisiert. 13 Weiden und 13 Pappel Genotypen wurden als Prüfglieder ver-wendet. Die ProLoc Klone sind nicht enthalten, auch wenn teilweise schwedische Weidenzüch-tungen verwendet wurden. Die Pappelklone setzen sich aus älteren Sorten zusammen. An den Versuchstandorten wurden unterschiedliche bodenkundliche und klimatische Parameter erhoben. Für mehrere Klone wurden eigene Biomassefunktionen entwickelt, die im Durchschnitt über ein Bestimmtheitsmaß R² zwischen 0,6 und 0,75 verfügen. Die als für den Ertrag als signifikant iden-tifizierten Standortvariablen reichen von der Höhe über NN, dem pH Wert, Bodenartenanteilen, einem Bodenqualitätsindex hin zu Klimavariablen. Letztere werden in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung beschrieben. Zum großen Teil werden Temperatur- und teils auch Niederschlagsva-riablen außerhalb der Vegetationszeit als signifikant angegeben. Die Wasserverfügbarkeit wird abschließend als entscheidender Faktor für das Wachstum ausgegeben. Aylott et al. (2008) ver-weisen darauf, dass nur ein Teil der Variabilität durch die Modelle erklärt wird und dass der ver-wendete Ansatz die Interaktionen von Standorteigenschaften nicht vollständig abbilden könnte. Darüber hinaus wird darauf verwiesen, dass das verwendete Sortenspektrum nicht mehr der üb-lichen Anbaupraxis entspreche. Die mittleren Erträge lagen zwischen 4,9 und 10,7 t ha⁻¹ a⁻¹. Für Weiden wurden generell höhere Erträge prognostiziert. Die Arbeit präsentiert einen umfang-reiches Versuchsflächennetz und vergleichbare methodische Ansätze wie in ProLoc. Die Über-tragbarkeit der Ergebnisse auf Verhältnisse in Deutschland ist allerdings als sehr eingeschränkt anzusehen aufgrund des verwendeten Sortenspektrums und der unterschiedlichen klimatischen Gegebenheiten.

Eine weitere Arbeit, an die in der Standortleistungsschätzung angeknüpft werden konnte, wurde von Bergante et al. (2010) zum KUP-Anbau für die Regionen in Zentral- und Norditalien ver-öffentlicht. Auf insgesamt 183 Pappel- und 102 Weiden-Versuchspartellen wurden Daten aus dem ersten zweijährigen Umtrieb erhoben. Neun Pappel- und vier Weidenklone wurden unter-sucht. Als abhängige Variablen wurden der jährliche Ertrag an Trockenmasse je Hektar sowie die Überlebensrate zum Ende des zweijährigen Umtriebs verwendet. Über den Ansatz einer step-wise Regression wurden die Variablen mit einem potenziell signifikanten Einfluss ausgewählt. Zur Variablenselektion wurden dabei Parameter wie Wasserverfügbarkeit, Niederschläge, mitt-lere jährliche Temperatur, Bodenart, Stickstoffgehalt sowie Managementvariablen wie z.B. Be-standesdichte verwendet. Die Wasserverfügbarkeit wurde als der zentrale ertragsbeeinflussende

Faktor identifiziert. Die erzielten Trockenmassen bewegen sich je nach Standorteigenschaften, Klon und Bestandesdichte zwischen 2 und 16 t ha⁻¹ a⁻¹. Ähnlich wie für die Untersuchung von Aylott et al. (2008) sind bei Bergante et al. (2010) die abweichenden klimatischen Bedingungen und das daran angepasst verwendete Sortenspektrum zu beachten. Es finden sich einige verwendbare methodische Ansätze, die Übertragbarkeit auf Verhältnisse im Feldholzanbau in Deutschland ist wiederum eingeschränkt. Festzuhalten ist, dass beide Veröffentlichungen die Wasserverfügbarkeit als Haupteinflussfaktor für den Ertrag nennen.

Publikationen auf die sich zum Nährstoffbedarf und -entwicklung bezogen werden konnte, stammen aus einer Arbeitsgruppe der Professur Bodenphysik und Ressourcenschutz an der Universität Rostock und der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern. Gegenstand der Untersuchung war die Beobachtung von bodenkundlichen und bodenökologischen Parametern auf zwei Versuchsflächen in Mecklenburg-Vorpommern beim Anbau verschiedener Pappel- und Weidenklone bei 2 verschiedenen Umtriebslängen nach 12 Jahren. Bei einheitlichem Versuchsdesign wurden zum einen die Biomasseleistung und der daran gebundene Nährstoffexport als auch die tatsächliche Veränderung in den Bodenvorräten über den genannten Zeitraum untersucht. Die 1993 angelegten Versuchsflächen wurden in 3 und 6 jährigem Umtrieb bewirtschaftet, unter Verwendung eines Pflanzabstandes von 1,5 x 0,5 m. Teilweise bestehen hier bereits vergleichbare Bedingungen zur Versuchsanlage im ProLoc Verbundvorhaben bezogen auf die Sortenwahl, den Pflanzabstand und die Umtriebslänge. Boelcke u. Kahle (2008) gehen besonders auf die Veränderung der Vorräte an pflanzenverfügbaren P und K ein. Die Ergebnisse zeigten keine Abhängigkeit der P- und K-Gehalte von der Umtriebslänge, dagegen aber von der Baumart. Der Nährstoffexport durch Nutzung wurde anhand von Literaturangaben in Kombination mit den Daten der Biomasseleistung geschätzt. Die Schätzungen wurden mit den Messdaten aus der Analyse der Bodenchemie verglichen. Eine Einordnung der P und K Gehalte in Boelcke u. Kahle (2008) basierend auf dem VDLUFA Rahmenschema nach Kerschberger et al. (1997) bzw. Baumgärtel et al. (1999) kommt zu dem gleichen Ergebnis, wie die in der Arbeit verwendete Einteilung nach Schweder et al. (2004). Die Standorte sind für P und K der Gehaltsklasse C bzw. D zuzuordnen, trotz der beobachteten Abnahme bewegen sich die Bedingungen nach 12 Jahren noch in den Grenzen der bei Versuchsanlage ermittelten Klasse. Folgerichtig war keine Ertragsminderung durch Nährstoffabfuhr zu erwarten und zu beobachten, ein Bedarf zur Düngung konnte nicht abgeleitet werden (Boelcke u. Kahle, 2008). Kahle et al. (2007) weisen zusätzlich auf eine Zunahme der N_t und C_{org} Gehalte nach 12 Jahren auf den Versuchsflächen und signifikante Unterschiede zu einer Acker-Kontrollfläche hin. Damit zusammenhängend sei auch die mikrobielle Aktivität im Oberboden höher als auf der Acker- und einer Stilllegungsvergleichsfläche. Als Haupt-Langzeiteffekt unter KUP wird die Akkumulation organischen Materials angeführt, die wiederum Auswirkungen auf bodenphysikalische Parameter wie eine abnehmende Rohdichte und ein daran gebundenes vergrößertes Porenvolumen hat. Boelcke u. Kahle (2008) weisen abschließend auf die Möglichkeit hin, durch KUP Bewirtschaftung den Nährstoffvorrat ehemaliger Ackerflächen schonend und extensiv zu nutzen.

1.2.2 Verwendete Fachliteratur

Eine Übersicht der für diesen Bericht verwendeten Fachliteratur ist im Literaturverzeichnis enthalten.

1.2.3 Benutzte Informations- und Dokumentationsdienste

Die Klimadaten für die Ertragsmodellierung wurden in ProLoc I vom Deutschen Wetterdienst (kurz: DWD) bezogen (Amthauer Gallardo, 2014). Die den einzelnen Versuchsfeldern nächstgelegenen Klimastationen wurden separat ermittelt, um die Daten aus dem Versuchszeitraum anzufordern. Die Variablen umfassten dabei in tagesaktueller Auflösung die Mittelwerte der Temperatur und Niederschlagssummen. Anschließend wurden die Daten je Standort in unterschiedlicher temporaler Auflösung aggregiert, um in die Modellierung einzugehen. Als zusätzlicher Parameter wurde der Ariditätsindex nach de Martonne (1926) für unterschiedliche Zeiträume berechnet (Amthauer Gallardo, 2014). In Projektphase II konnten über einen Kooperationsvertrag zwischen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt und dem DWD wiederum die Daten der gleichen Stationen für den fortgeführten Versuchszeitraum bezogen werden. Von Amthauer Gallardo (2014) wird auf die teils große Distanz zwischen den Versuchsfeldern und den Klimastationen hingewiesen. Nach Prüfung der Datenlage wurde beschlossen, dass neben den Klimastationen auch die Niederschlagsmessstationen mit betrachtet werden, da hier ein engeres Netz an Stationen existiert und somit mögliche Abweichungen durch hohe Distanzen zwischen Messstation und Versuchsfeld verringert werden konnten. Abbildung 1.7 enthält eine Übersicht der Distanzen und Höhenunterschiede der in ProLoc II betrachteten AP I Versuchsfeldern.

Durch den Einbezug der Niederschlagsmessstationen konnte eine Verkürzung der durchschnittlichen Entfernung von 12 km auf 3,65 km für die Niederschlagsmessungen erreicht werden. Die Höhenunterschiede änderten sich von im Mittel 40,74 Höhenmeter auf 21,5 Höhenmeter. Zwischen den einzelnen Standorten bestehen teils deutliche Unterschiede, während z.B. am Standort 4 Forchheim die Messstation nur 1,7 km entfernt ist, besteht für die Versuchsfeld 13 Grünwalde eine Entfernung von 12,32 km. Bezüglich der Höhenunterschiede bestand die größte Abweichung für den Standort 17 Unterrieden, hier liegt die DWD Station 159 Höhenmeter über der Versuchsfeld. Für die Temperaturwerte musste wie in ProLoc I auf das Netz der Klimastationen zurückgegriffen werden. Die Distanzen und Höhenunterschiede bleiben daher vergleichsweise ungünstig (Mittlere Distanz von 11,5 km sowie ein mittlerer Höhenunterschied von -24,5 Höhenmeter). Für die Versuchstandorte, auf denen in 2008 die Kultur bewässert wurde (vgl. Amthauer Gallardo, 2014, S. 44), wurden die Bewässerungsmenge den neu ermittelten monatlichen Niederschlagssummen in den entsprechenden Zeiträumen zugeschlagen.

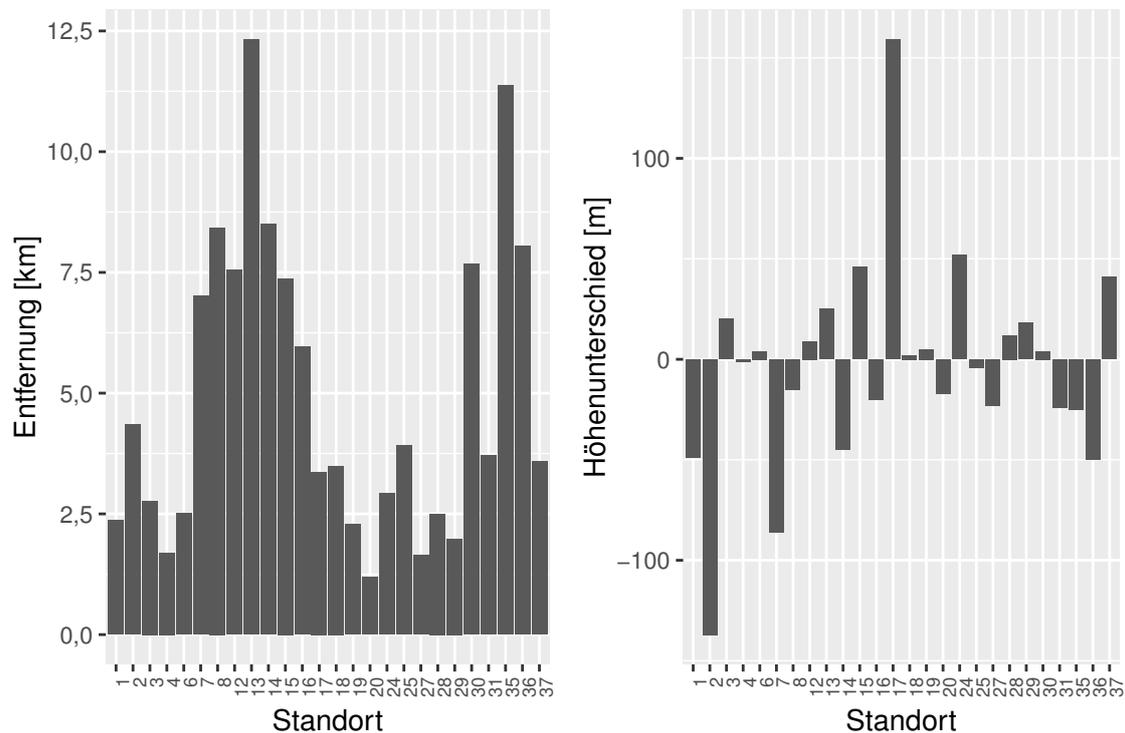


Abb. 1.7: Vergleich der Distanzen und Höhenunterschiede zwischen Wetterstationen und Versuchsflächen.

1.3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

1.3.1 Teilprojekt Bodenkunde

Sowohl in ProLoc I als auch in ProLoc II wurde die C-Dynamik in Böden unter Kurzumtriebsplantagen in einem eigenen Teilprojekt untersucht. Das Projekt wurde vom Fachgebiet Bodenbiologie und Pflanzenernährung des Fachbereichs Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel (Standort Witzenhausen) betreut. An 20 ausgewählten Versuchsflächen wurde in ProLoc I der Ausgangsstatus der Böden erhoben und die C-Dynamik untersucht. In ProLoc II wurden diese Untersuchungen an 6 ausgewählten Standorten vertieft und um die Betrachtung der N-Dynamik der Böden erweitert. Für die zweite Projektphase wurden im Teilprojekt drei bodenkundliche Arbeitsschwerpunkte formuliert:

- Erfassung der oberirdischen Streumenge und des Streuumsatzes in KUP
- Ermittlung der Beziehung zwischen der N-Dynamik im Boden und dem C/N- Verhältnis der Streu in Kurzumtriebsplantagen
- Bodenatmungsmessung in Kurzumtriebsplantagen

Die Ziele, Aufgaben, Methoden und Ergebnisse des Teilprojekts Bodenkunde sind in einem eigenen Schlussbericht zusammengefasst.

1.3.2 Kooperationspartner im Verbund

Die Betreuung der Versuchsflächen vor Ort wurde durch die Fortführung des Netzwerk an 21 Kooperationspartnern aus ProLoc I gewährleistet. Diese Verfahrensweise erforderte zwar einen erhöhten Aufwand, bezüglich der Abstimmung von Messmethodik und besonders der Datenhomogenisierung, aufgrund der großen Distanzen zwischen den Versuchsflächen waren jedoch keine anderen Modelle denkbar. Während des Anlagezeitraums umfassten die Arbeiten die Flächenvorbereitung, den Zaunbau, die Pflanzung und anschließend die Kulturpflege bzw. evtl. Nachpflanzungen. Während des darauf folgenden Versuchszeitraums umfassten die Arbeiten Datenaufnahme und -übermittlung zu den jeweiligen Bonituren, Probennahme und die Durchführung der Erntearbeiten. Die Zusammenarbeit wurde durch einzeln abgeschlossene Kooperationsverträge umgesetzt, die die Verbundpartner als Auftragnehmer und die zentrale Koordination als Auftraggeber festsetzten. Projektleitung und -Koordination sowie die wissenschaftliche Auswertung und Außendarstellung des Verbundvorhabens lagen bei der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. In Anlehnung an die erste Projektphase wurde jährlich ein Treffen zur Koordination der Projektarbeiten, der methodischen Abstimmung und Präsentation der Ergebnisse durchgeführt. Die Treffen fanden 2012, 2013 und 2014 statt. Die Hintergründe der einzelnen Verbundpartner umfassen den öffentlich-rechtlichen und privatwirtschaftlichen Bereich. Hierzu zählen unter anderem forstliche und landwirtschaftliche Landes- und Bundesforschungsanstalten, Hochschulen sowie land- und forstwirtschaftliche Unternehmen und Einzelunternehmer. Das Verbundvorhaben hat maßgeblich von diesen unterschiedlichen Hintergründen durch fachliche Eingaben in verschiedenen Disziplinen profitiert. Eine vollständige Auflistung der einzelnen Institutionen ist den Versuchsflächenübersichten in Tabelle 1.2, 1.5 und 1.7 zu entnehmen.

1.3.3 Schnittstellen mit anderen Forschungsprojekten

FastWood

Eine für das Projekt bedeutende Schnittstelle besteht nach wie vor zum Züchtungsprojekt FastWood (FKZ TP 1: 22002511). Projektträger ist ebenfalls die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft gefördert. Während der Projektlaufzeit wurde ein Austausch zur Methodik der Erfassung von boden- und ertragskundlichen Parametern etabliert und kontinuierlich weiterentwickelt. Basierend auf gleichen Bewirtschaftungsoptionen wie Umtriebszeit und Pflanzdichte der Versuchsflächen ergeben sich Möglichkeiten zum Datenaustausch zwischen beiden Projekten. Durch die Verwendung eines Teils der ProLoc Klone als Standard in FastWood zur vergleichenden Leistungsprüfung neuer Züchtungen, können die Messdaten aus FastWood zur Modellvalidierung genutzt werden. Das FastWood Vorhaben wiederum profitiert deutlich von der Entwicklung verlässlicher Ertragsschätzmethoden und ermöglicht aufgrund der inzwischen großen Anzahl an Versuchsflächen ebenfalls

die Genotyp x Umwelt Interaktion für neue Züchtungen analog zu den ProLoc Analysen zu untersuchen

Abbildung 1.8 enthält eine Übersicht der realisierten Flächen beider Projekte sowie der Ansätze zur Kooperation in der zweiten Untersuchungsperiode.

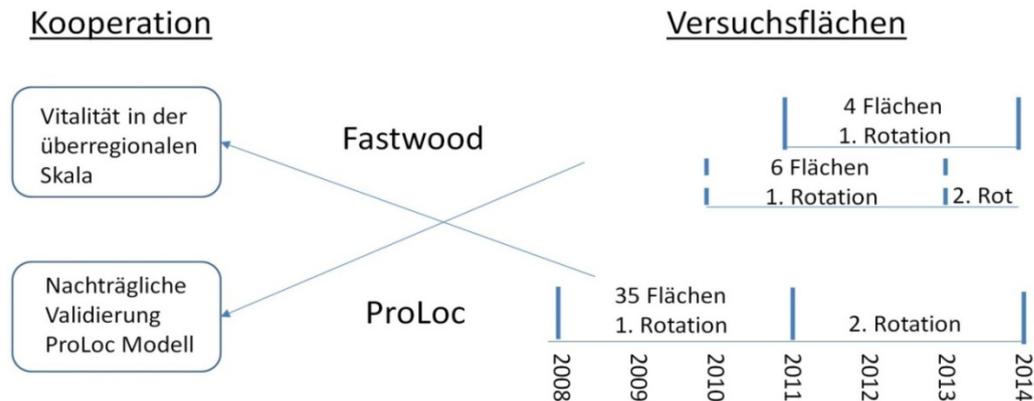


Abb. 1.8: Kooperationsbereiche zwischen den FNR-Projekten ProLoc und FastWOOD (verändert nach GALLARDO ET AL. 2012, unveröffentlicht).

Grotehusmann et al. (2015) konnten bereits nach dem ersten Umtrieb die signifikante Überlegenheit von vorhandenen Züchtungen in zwei Versuchsserien gegenüber den ProLoc Standards nachweisen. Das FastWood Verbundvorhaben endet in 2017, bis zum Abschluss des Projekts sollen die wüchsigsten neuen Züchtungen zum Sortenschutz angemeldet werden.

CF Projekt

Das Chlorophyll-Fluoreszenz-Projekt (FKZ 22030511) führt Messungen auf mehreren der bereits etablierten ProLoc AP1 Versuchsfelder durch. Für das CF Projekt wurde das Ziel gesetzt Stressindikatoren im Bereich der Chlorophyllfluoreszenz an Pappeln und Weiden zu untersuchen. Dafür werden Standorte unterschiedlicher Güte benötigt, um gestresste (z.B. durch Nährstoffmangel oder Trockenheit) und nicht gestresste Pflanzen zu untersuchen. Bereits jetzt werden die Ertragsdaten aus ProLoc bei der Untersuchung der Physiologie hinzugezogen.

2 Ergebnisse

2.1 Erzielte Ergebnisse

Statistische Methodik

Zur statistischen Analyse wurde die Programmiersprache R (R Core Team, 2015) benutzt. Die verwendeten Boxplots stellen am Strich in den Boxen den Median dar. Die oberen und unteren Grenzen der Boxen markieren den Interquartilabstand. Die Striche an den Boxen schließen Werte bis zum anderthalbfachen des Interquartilabstands ein. Werte außerhalb werden durch einzelne Punkte gekennzeichnet. In fast allen Fällen lagen für die Daten der abhängigen Variablen unterschiedliche Streubreiten innerhalb der Messungen vor und die Daten waren nicht normalverteilt. In diesem Fall wurde, wenn im laufenden Text nicht anders darauf hingewiesen wird, eine Quadratwurzel-Transformation vorgenommen, was meist zu deutlichen Verbesserungen führte und die Problematik beseitigte. Für die Varianzanalyse waren in diesen Fällen die Grundannahmen erfüllt. Da die Daten aufgrund von Ausfällen ab der Plot Ebene teils unbalanciert waren, wurde die Prozedur nach Herberich et al. (2010) in den paarweisen Vergleichen angewandt und zusätzlich eine Typ III Varianzanalyse, in Anlehnung an die SAS Prozeduren, durchgeführt, um die Ergebnisse zu bestätigen. Zusätzlich wurden auch gemischte Modelle implementiert, die gegenüber unbalancierten Designs robuster sind (Pinheiro, 2000). Gemischte Modelle enthalten neben den festen Effekten Zufallseffekte, dank derer eine Hierarchiestruktur oder Ähnlichkeiten von Werten in Longitudinalstudien besser berücksichtigt werden können (Pinheiro, 2000). Auf die Vorteile dieser Methodik für landwirtschaftliche Sortenversuche mit Randomisierung als Teil des Versuchsdesigns weisen Piepho et al. (2003) hin. Zur Identifizierung von Standortvariablen mit signifikantem Einfluss auf die Ertragsleistung wurde daher ein lineares gemischtes Modell parametrisiert. Als abhängige Variable wurden der absolute dGz der zweiten Rotation verwendet, die Ertragszunahme als Differenz aus dem dGz der zweiten und der ersten Rotation sowie die Gesamtwuchsleistung in Form der aufsummierten Biomasse je Hektar aus beiden Umtrieben. Als Zufallseffekt wurden die Versuchsstandorte verwendet. Um aus dem Pool an Standortdaten diejenigen auszuwählen, die einen signifikanten Einfluss auf die abhängigen Variablen ausüben, wurde zur Variablenselektion die Methode der schrittweisen Modellwahl (stepwise Regression) aus dem R Paket MASS (Venables et al., 2002) verwendet. Ali (2009); Amthauer Gallardo (2014); Bergante et al. (2010) haben diesen Ansatz ebenfalls erfolgreich verfolgt, um lineare Modelle zur Standortleistungsbeschreibung zu parametrisieren. Zum Vergleich der Modelle untereinander wird das Akaike Information Criterion (kurz: AIC) nach Akaike (1974) verwendet. Die Veränderung des AIC, je nachdem welche Variablen aus dem Modell entfernt werden, dient dabei zur Wahl des

geeigneten Modells, um einen Kompromiss aus Variablenanzahl und Anpassungsgüte zu finden. Die Modellannahmen der Normalverteilung und der Homoskedastizität der Residuen wurden mit QQ-Plots und der Darstellung der standardisierten Residuen insgesamt und je Standort über den geschätzten Werten geprüft. Das Signifikanzniveau ist im folgenden auf $\alpha = 0,05$ festgelegt.

2.1.1 Arbeitspaket 1

Klimadaten

Niederschlag

Bei den hier dargestellten Ergebnissen handelt es sich, wie unter 1.2.3 beschrieben, um die Rohdaten aus den Messungen der DWD Stationen. Abbildung 2.1 enthält den Jahresverlauf der monatlichen Niederschlagssummen (aufsummiert aus den Tagessummen) an allen den Versuchsfeldern zugeordneten Wetterstationen. Der betrachtete Wertebereich für Niederschläge liegt hier zwischen 0 mm und 250 mm, im Juli 2014 liegt ein Messergebnis für den Standort Emmendingen bei einer Summe von 353 mm. Aus Darstellungsgründen wurde diese Beobachtung aus der Abbildung ausgeschlossen. In den Jahren 2008 und 2009 besteht der Eindruck einer verhältnismäßig geringen Variabilität der monatlichen Summen zwischen den Standorten. Besonders hervorzuheben sind die vergleichsweise niedrigen Monatsniederschläge zur Anlage der Versuchsserie in 2008. Während im April die mittlere Niederschlagssumme noch bei 75,56 mm lag (vgl. dazu Mittel des gesamten Versuchszeitraums im April von 36,01 mm), sanken die Niederschläge im Mai auf durchschnittlich 27,79 mm (vgl. Mittel Versuchszeitraum im Mai 69,74 mm). Dies spielt vor dem Hintergrund, dass die Pflanzungen auf den Flächen verhältnismäßig spät von Ende April (23.04.2008) bis Mitte Mai (19.05.2008) stattfanden, eine zusätzlich bedeutende Rolle (vgl. auch Amthauer Gallardo, 2014, S. 46). In den folgenden Jahren nahm die Streuung der Niederschlagssummen zwischen den Standorten und zwischen den einzelnen Monaten zu, mit teils deutlich gesteigerten Niederschlägen im Sommerhalbjahr (August 2010 durchschnittlich 149,51 mm, Juli 2011 durchschnittlich 114,04 mm, Juli 2014 durchschnittlich 132,86 mm). Bezüglich der Niederschläge zum Wiederaustrieb nach Rückschnitt ist festzustellen, dass diese im Frühjahr 2011 im Mittel vergleichsweise gering ausfielen (April durchschnittlich 23,77 mm, Mai durchschnittlich 32,35 mm). In 2014 nach der zweiten Ernte zeichnet sich ein günstigeres Bild ab, mit vergleichsweise hohen mittleren Niederschlägen im Mai (83,78 mm) gefolgt von einem deutlich trockeneren Juni (44,34 mm).

Da die Zuwachsdaten im jährlichen Turnus aufgenommen wurden, bieten sich für die Wachstumsmodellierung über den Jahresverlauf zeitlich verschieden aufgelöste, aggregierte Klimavariablen an. Eine übliche Variable zum Vergleich von Standorten sind die Niederschlagssummen in der Vegetationsperiode. Im folgenden wird hierbei die forstliche Vegetationsperiode von Mai bis September (Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung u. Arbeitskreis für Standortkartierung, 2003) betrachtet. Abbildung 2.2 stellt die Verteilung der Summen in den jeweiligen Versuchsjahren dar. Über den Versuchszeitraum hinweg betrug die mittlere Niederschlagssumme in der Vegetationszeit 351,66 mm. Die höchsten Niederschlagssummen in diesem Zeitraum wurden 2010 verzeich-

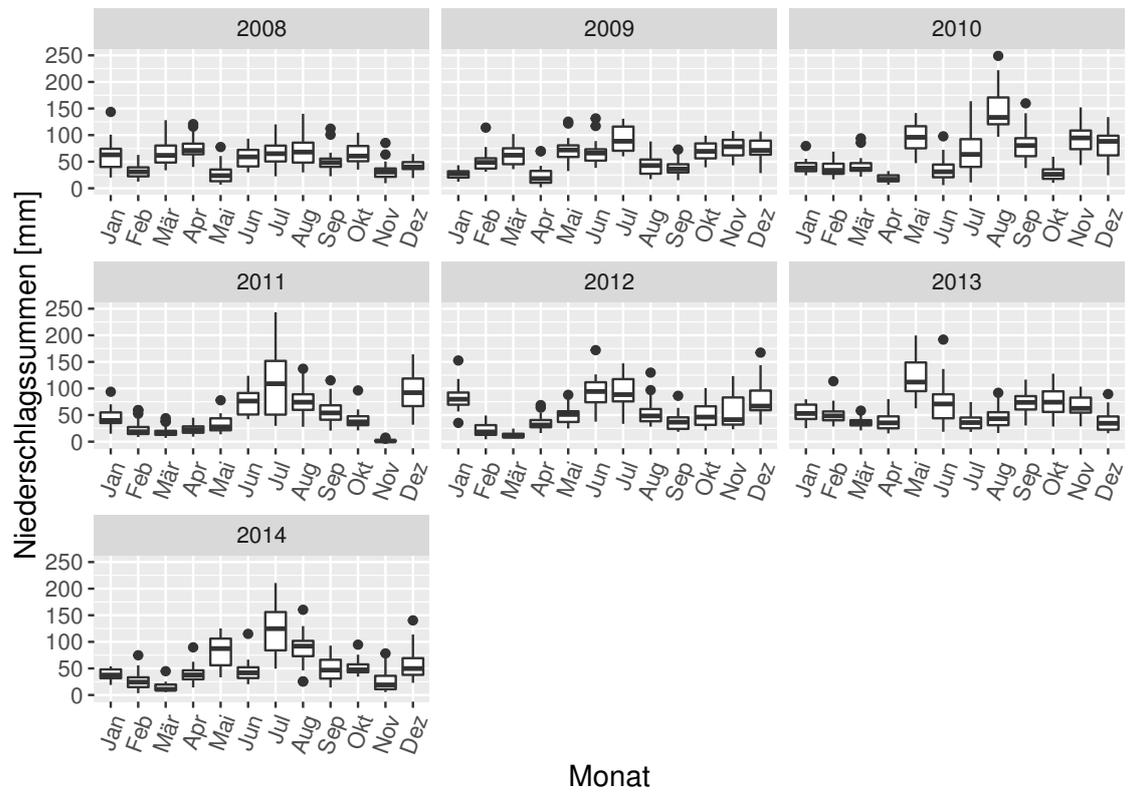


Abb. 2.1: Jahresverlauf der monatlichen Niederschlagssummen an allen DWD Stationen nahe den Versuchsflächen getrennt nach Versuchsjahren.

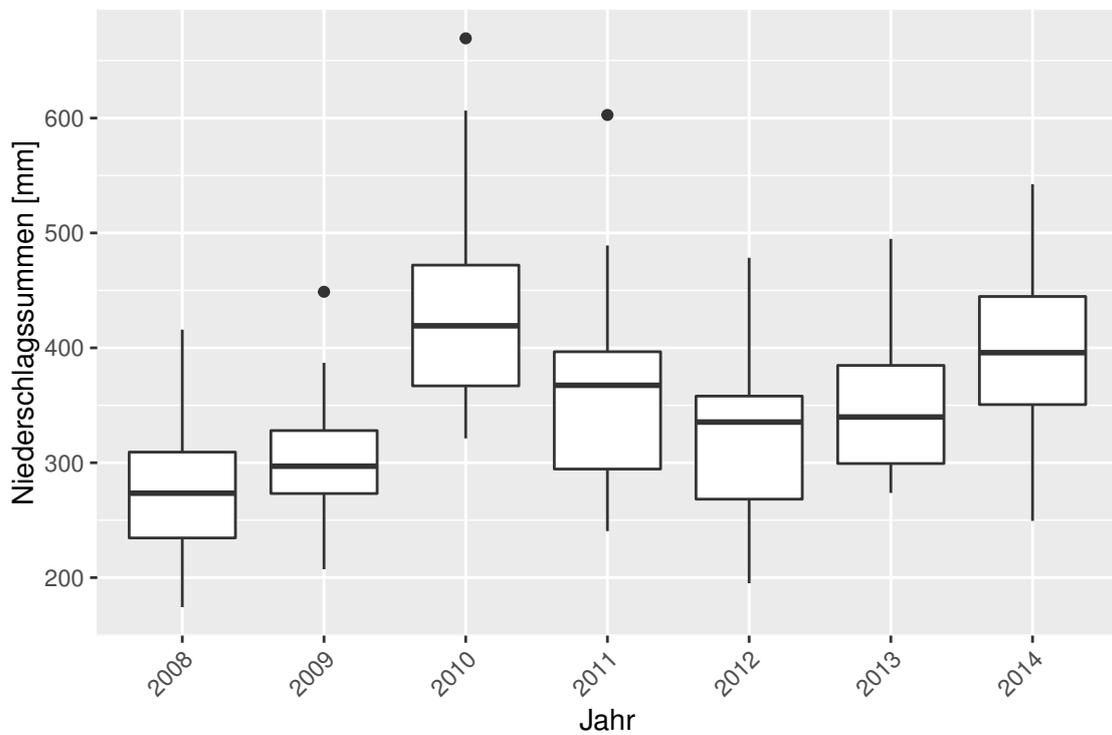


Abb. 2.2: Niederschlagssummen in der forstlichen Vegetationsperiode über den Versuchszeitraum an den ausgewählten DWD Stationen.

net (durchschnittlich 434,92 mm), die geringsten 2008 (durchschnittlich 277,63 mm). Letzteres verdeutlicht wiederum die trockene Witterung im Jahr der Anpflanzung, während die Jahre nach Rückschnitt, also zu Beginn des zweiten und dritten Umtriebs, günstiger ausfielen (2011 durchschnittlich 357,84 mm, 2014 durchschnittlich 395,17 mm). Über die gesamte Rotationslänge betrachtet lagen im ersten Umtrieb die Niederschläge in der Vegetationsperiode durchschnittlich bei 340.34 mm, im zweiten Umtrieb vergleichbar bei 348.32 mm. Es fällt jedoch die deutlich größere Streuung zwischen den Jahren im ersten Umtrieb gegenüber den homogeneren Verhältnissen im zweiten Umtrieb auf (Standardabweichung erste Rotation von 98.4 mm, zweite Rotation von 74.6 mm). Eine Varianzanalyse mit den Niederschlagssummen als abhängige Variable und den beiden Umtrieben als unabhängige, konnte dennoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Zeiträumen nachweisen.

In Bezug auf die in der Literatur häufig angeführte Grenze von 300 mm Niederschlag in der Vegetationszeit für den Pappel- und teils auch Weidenanbau (Duhme, 1989; Hofmann, 2010; von Behr et al., 2012; Petzold et al., 2010; Schildbach et al., 2009), wurde dieser Wert an einigen Standorten in verschiedenen Jahren unterschritten.

Temperatur

Neben den Niederschlägen dienen Temperaturvariablen im Rahmen der Standortleistungsschätzung der Charakterisierung von klimatischen Eigenschaften eines Standortes. Als Grundlage wurden hier die Tagesmitteltemperaturen verwendet, die dann zu verschiedenen Variablen weiter aggregiert wurden. Abbildung 2.3 enthält die Jahresverläufe der monatlichen Mitteltemperaturen aus den Tagesmitteln an allen den Versuchsfächen nahegelegenen DWD Wetterstationen.

Die Temperaturentwicklung im Jahresverlauf folgt erwartbaren Mustern und deutet auf eine monatsweise überwiegend geringe Variationsbreite zwischen den Standorten hin, abgesehen von einzelnen Ausreißern. Zwischen den Versuchsjahren lassen sich die Unterschiede für einzelne Monate ausmachen, besonders deutlich tritt dies im Winterhalbjahr hervor (z.B. Februar 2012 mit einem durchschnittlichen Monatsmittel von -2,13 °C, gegenüber Februar 2014 mit 4,78 °C). Unterschiede zwischen den verschiedenen Sommerhalbjahren lassen sich in den Zunahmen bzw. dem Verlauf zwischen den Monaten feststellen. Während z.B. in 2010 ein monatlich gleichmäßiger Anstieg zu beobachten ist, der im Juli mit einer Mitteltemperatur von 20,93 °C kulminiert, ist in 2011 dagegen ein starker Anstieg vom März (5,14 °C) in den April (12,01 °C) zu verzeichnen. Von Juni bis August bleiben die Mitteltemperaturen dagegen weitgehend konstant (17,19 °C, 16,71 °C, 18,14 °C).

Diese Unterschiede in den Verläufen in der Ertragsmodellierung mit zu berücksichtigen, stellt sich wie bei den Niederschlagsvariablen schwierig dar, da auch hier nur Jahreszuwächse basierend auf den Messungen im Winter verwendet werden können. Der einfachere Ansatz besteht darin, wiederum zeitlich aggregierte Werte zu verwenden, wie z.B. Temperaturmittel oder Wärmesummen in der Vegetationsperiode. Alternativ kann auch versucht werden die Länge der Vegetationsperiode zu charakterisieren, indem die Anzahl an Tagen mit einer Mitteltemperatur über einem bestimmten Grenzwert betrachtet wird. Abbildung 2.4 enthält eine Gegenüberstellung der

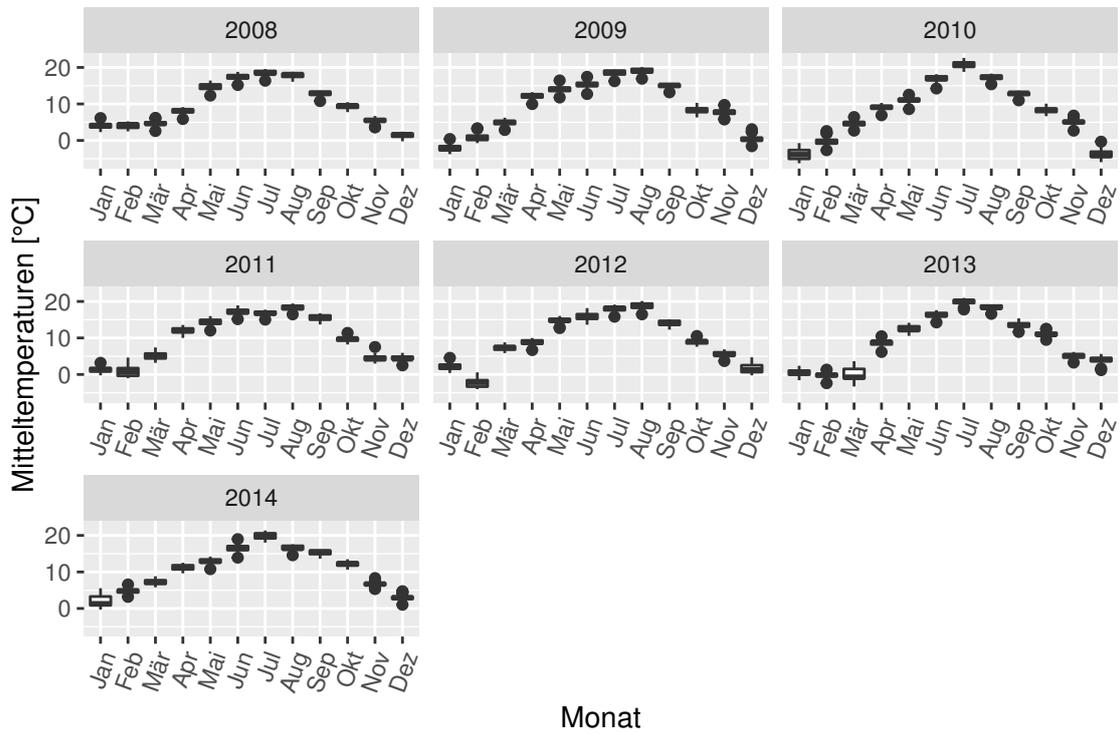


Abb. 2.3: Jahresverlauf der monatlichen Mitteltemperaturen an allen DWD Stationen nahe den Versuchsflächen getrennt nach Versuchsjahren.

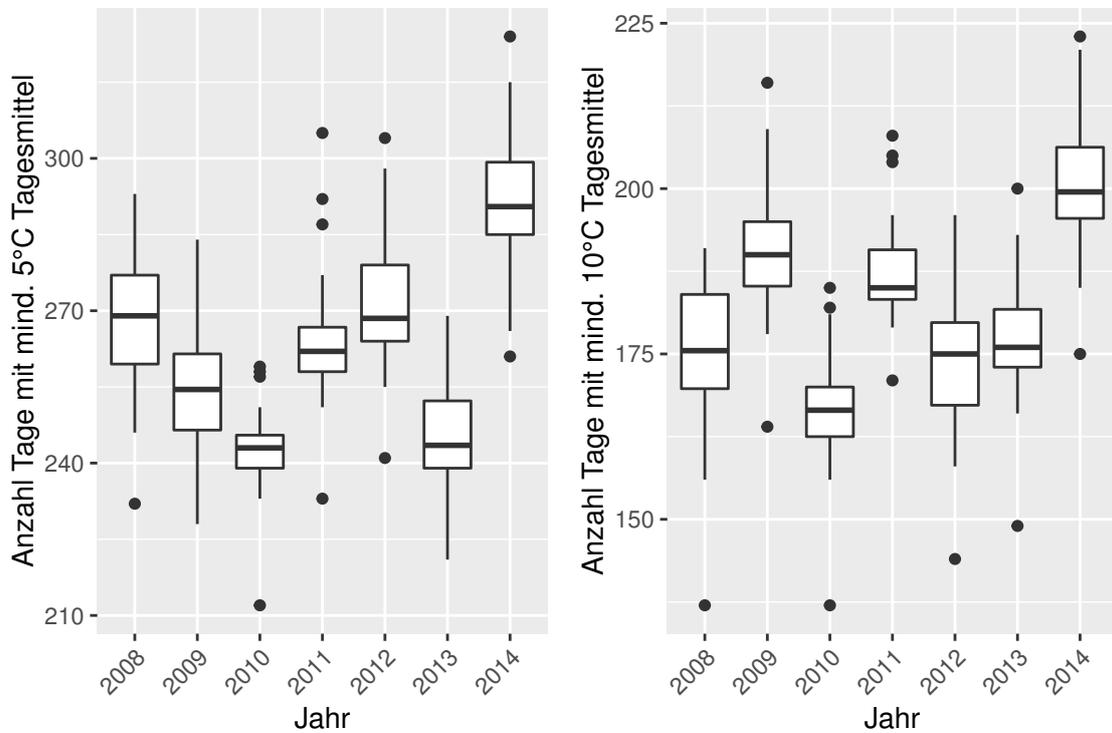


Abb. 2.4: Summe an Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur über 5 °C (li.) bzw. über 10 °C (re.) getrennt nach Jahren.

Anzahl an Tagen im Jahr, die mindestens eine Tagesmitteltemperatur von 5 °C bzw. von 10 °C aufweisen.

Die Unterschiede im dargestellten Wertebereich der Ordinate sind hier zu beachten, da erwartungsgemäß die Summe an Tagen mit Mitteltemperatur über einem Grenzwert von 5 °C größer ist als bei einem Grenzwert von 10 °C. Insgesamt liegt die Anzahl an Tagen über 5 °C im Jahr durchschnittlich bei 263 Tagen, für 10 °C bei 182 Tagen. Es fällt die deutliche Verschiebung einiger Jahre im Vergleich zwischen den Grenzwerten auf. Während für einen Grenzwert von 5 °C 2009 (ca. 256 Tage) im Durchschnitt unter 2008 liegt (ca. 268 Tage), ist dies für einen Grenzwert von 10 °C umgekehrt (2008 im Mittel ca. 175 Tage, 2009 im Mittel ca. 191 Tage). Zwischen den Jahren 2011, 2012 und 2013 sind ebenfalls unterschiedliche Tendenzen je nach Grenzwert zu identifizieren. Für die Modellierung fiel die Wahl des geeigneten Grenzwerts auf 10 °C, da hier der Einfluss der Wintermonate geringer erschien und dieser Wert in der Arbeit von Zalesny et al. (2004) zumindest für die Pappel als geeignet angegeben wurde.

Eine weitere Variable zum Input der Temperaturverhältnisse in das Modell ist mit der Summe der Tagesmitteltemperaturen in der Vegetationsperiode gegeben. Abbildung 2.5 enthält die Temperatursummen an den Standorten nach Jahren getrennt.

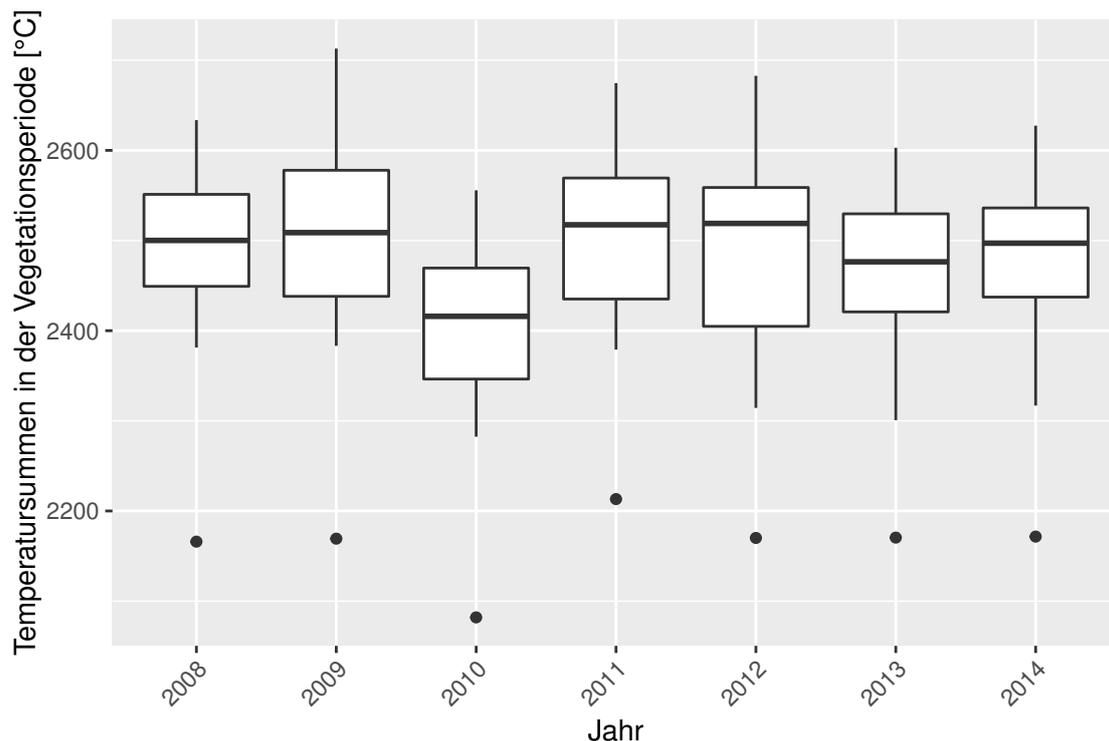


Abb. 2.5: Temperatursumme in der forstlichen Vegetationsperiode an den Versuchsflächen nach Jahren getrennt.

Insgesamt wurde über alle Jahre im Mittel eine Temperatursumme von 2476,04 °C gemessen. Das Jahr 2010 vor der Ernte weist die niedrigsten Werte auf und weicht am Deutlichsten von den

anderen Jahren ab (im Mittel 2405,81 °C). Für die Zuwächse spielt dies vor dem Hintergrund der hohen Niederschlagssummen in der Vegetationsperiode 2010 eine zusätzlich bedeutende Rolle. Albert u. Schmidt (2012) verwenden im Rahmen ihres Standort-Leistungs-Modells als Temperaturvariable die Temperatursummen (Summe aller Tagesmitteltemperaturen) in der Vegetationszeit. Letztere wird dabei dynamisch und baumartenspezifisch festgelegt. Dieser Ansatz die Vegetationsperiode dynamisch zumindest je Gattung zu ermitteln, könnte für die Modellierung in ProLoc noch geprüft werden, statt die festgelegte Vorgabe der forstlichen Vegetationszeit zu verwenden.

In Empfehlungen zur Anbaueignung von Pappeln und der Beschreibung geeigneter Standorte wird bezüglich der Temperatur häufig ein Grenzwert des Jahresmittels von 6 °C (Knust et al., 2013; Petzold et al., 2010), 6,5 °C oder 7 °C (Felipe, 2012) genannt. Bereits der Wert von 6 °C wird im Untersuchungszeitraum in keinem Jahr an keinem Standort unterschritten. Aussagen zur Gültigkeit dieses Grenzwerts können daher nur bedingt getroffen werden. Dies gilt in gleicher Weise für den von Schildbach et al. (2009) angeführten Grenzwert für Weide von 5 °C. Die Empfehlung von Fröhlich u. Grosscurth (1973) für Balsampappeln zu einer Länge der Vegetationszeit von 130 Tagen mit Tagesmitteltemperaturen über 10°C bzw. einer Mitteltemperatur von 13 °C in der Vegetationsperiode wurde ebenfalls an keinem Standort unterschritten. Für die Empfehlung zur Schwarzpappel ein Mindest-Temperaturmittel von 14,5 °C bzw. 150 Tage Vegetationszeit einzuhalten (diese Angaben sind auch bei Duhme (1989) nachzulesen), ist festzustellen, dass dies nur an der Klimastation für die zwei Standorte Hayn und Bärenrode unterschritten wurde (Lage der Klimastation auf 404 m Höhe ü. NN).

Triebanzahl

Durch den Rückschnitt der Pflanzen zur Ernte im Winterhalbjahr 2010-2011 stellte sich in der darauffolgenden Vegetationsperiode erwartungsgemäß der Wiederaustrieb aus dem Stock ein. Abbildung 2.6 verdeutlicht den Wechsel von der eintriebigen Morphologie im ersten Umtrieb beim Wachstum aus dem Steckholz, hin zur mehrtriebigen strauchartigen Morphologie im zweiten Umtrieb nach dem Rückschnitt. In 2010 zur ersten Ernte lag die mittlere Anzahl der Stockausschläge der Pappeln bei einem Trieb, die der Weiden lag bereits hier höher bei durchschnittlich 2 Trieben. Die Unterschiede innerhalb der Gattungen fallen damit geringer aus als zwischen den Gattungen. Dieser Trend setzt sich im zweiten Umtrieb fort, jedoch ist mit dem Stockausschlag nach der ersten Ernte eine deutliche Zunahme der Triebzahlen zu beobachten. Bei den Pappel-Prüfgliedern liegt im Durchschnitt die Triebanzahl in 2013 bei 4 Trieben, bei den Weiden dagegen bei 6 Trieben. Der Test auf Unterschiede zwischen beiden Gattungen ergibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Versuchsjahren 2010 und 2013, was zu erwarten war. Für 2010 ergibt eine einfache Varianzanalyse mit anschließenden paarweisen Vergleichen, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den Gattungen Pappel und Weide besteht. Beim Vergleich zwischen den Prüfgliedern untereinander wird deutlich, dass sich die Pappeln Hybride 275 und AF2 von Max 1 unterscheiden, alle 3 jedoch signifikant von den Weiden verschieden sind. Letztere wiederum unterscheiden sich auch signifikant voneinander (s. Nummern Klassifikation in Abbildung 2.6).

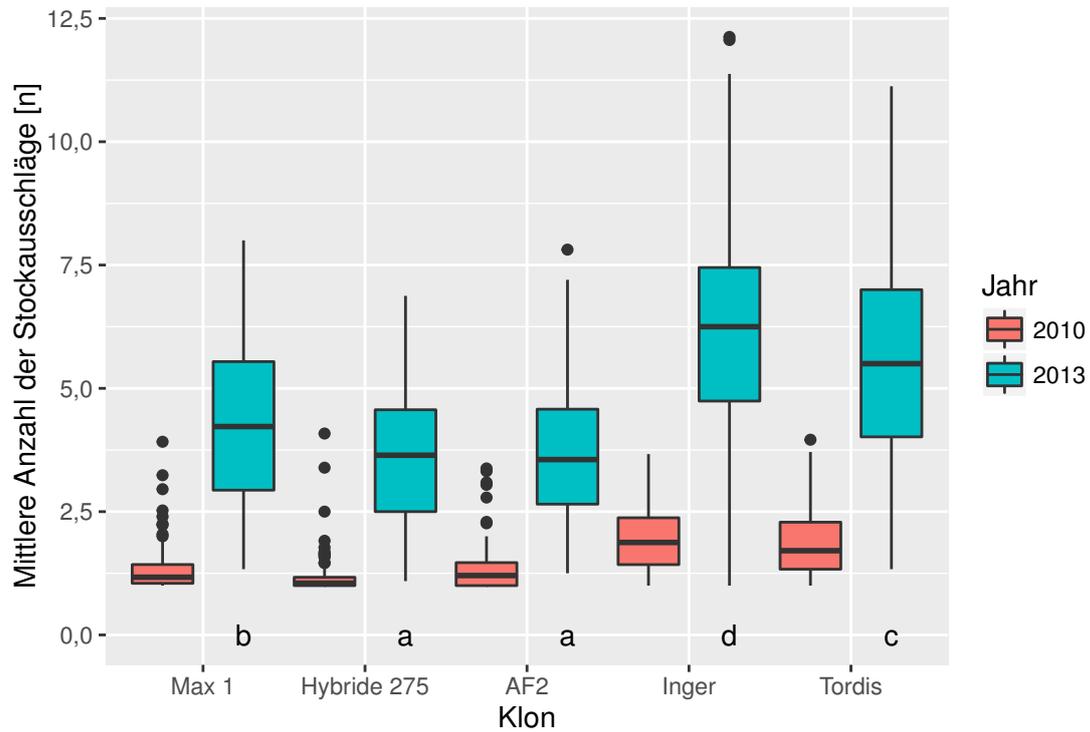


Abb. 2.6: Mittlere Anzahl der Stockausschläge je Versuchsparzelle getrennt nach Klonen und Jahren.

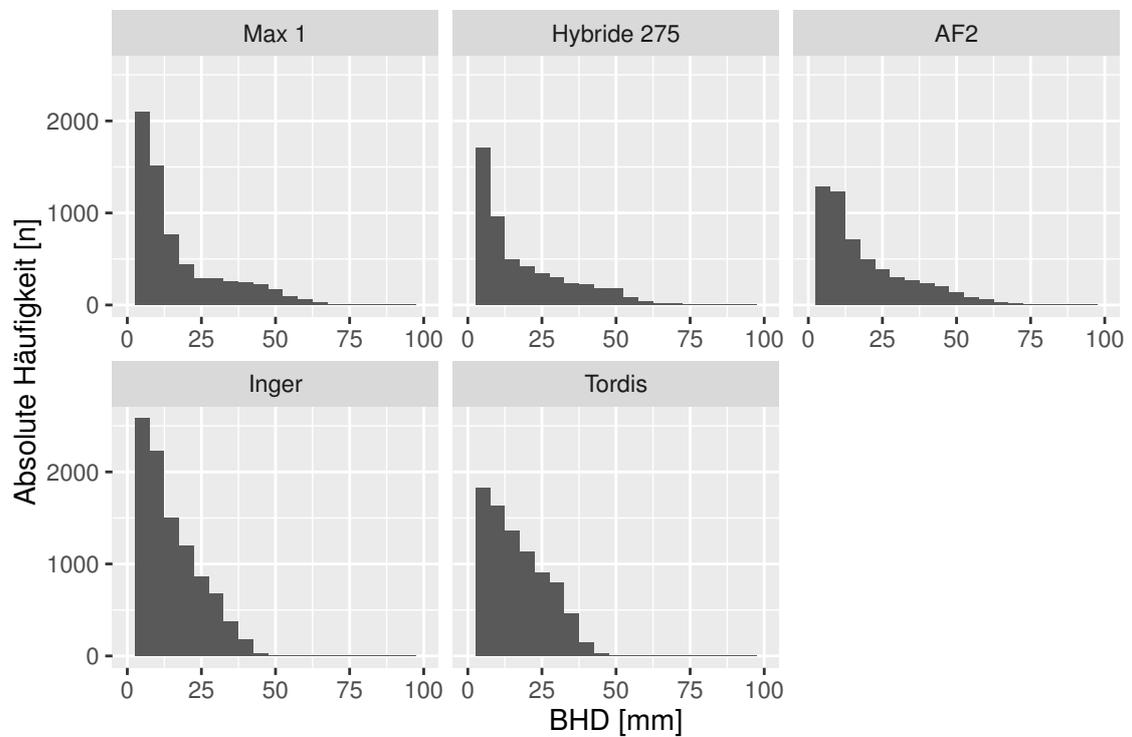


Abb. 2.7: Verteilung der BHD getrennt nach Klonen im Jahr 2013 im AP1.

Brusthöhendurchmesser

Die Verteilung der Brusthöhendurchmesser auf die Triebzahlen ist zusätzlich von Interesse, da beide Faktoren die Bildung der Biomasse des einzelnen Baumes beeinflussen. In Abbildung 2.7 sind diese Verteilungen im Jahr 2013 durch Histogramme dargestellt.

Für alle Klone ist eine deutliche rechtsschiefe Verteilung festzustellen. Dies impliziert, dass die schwachen Triebe in ihrer Anzahl in den Beständen dominieren. Die innerhalb der Gattungen höheren Maxima für Max 1 und Inger deuten sich bereits in der Darstellung der mittleren Triebanzahl pro Stock in Abbildung 2.6 an. Davon abgesehen ähneln sich die Verteilungen in ihrer Form mehr in als zwischen den Gattungen. Die Verteilungen der Durchmesser der Pappelklone besitzen alle ihr Maximum im Bereich unter 12 mm, danach fallen die Verteilungen steil ab und laufen breit aus, vereinzelt wurden starke Triebe im Bereich über 75 mm für den BHD gemessen. Der Klon Max 1 weist eine höhere Zahl an schwachen Trieben auf als Hybride 275, dieser wiederum mehr als AF2. Bei den Weidenklonen ist ein ähnlicher Verlauf zu beobachten, der Großteil der Triebe liegt ebenfalls unter 12 mm. Die Sorte Inger besitzt hier mehr Triebe als Tordis, erkennbar an dem höheren Maximum der Verteilung. Im Gegensatz zu den Pappeln fällt hier die Verteilung jedoch nicht so stark ab und ist breiter ausgebaucht. Beide Weiden-Klone weisen deutlich höhere Triebzahlen im Bereich um 25 mm auf als die Pappeln, allerdings überschreiten auch nur sehr wenige Triebe die Grenze eines BHD von 50 mm. Setzt man diese Verteilungen in Bezug zum Verhältnis von BHD und Biomasse des Einzeltriebes, nämlich dass Triebe mit stärkerem Durchmesser überproportional mehr Biomasse besitzen als schwächere Triebe (Hartmann, 2010), verdeutlichen sich hier die Unterschiede zwischen den Gattungen. Es bestehen zwei Morphologien zur Biomassebildung. Bei den Weiden geschieht dies vorrangig durch mehrere ähnlich mittelstarke Triebe. Bei den Pappel Prüfgliedern dagegen finden sich ein bis zwei deutlich stärkere, vorwüchsige Triebe und mehrere wesentlich schwächere (vgl. dazu Hofmann, 2010). Dies deckt sich mit Beobachtungen im Feld und Messungen zur Morphologie der Klone, welche im Rahmen einer Bachelorarbeit auf dem ProLoc Standort Unterrieden unternommen wurden (Plazas Cebrian, 2014).

Grundfläche

Die Grundfläche des Einzelbaums wurde aus der aufsummierten Grundfläche der Einzeltriebe gebildet. Hierfür wurde je Trieb aus dem BHD eine Kreisfläche errechnet, die der Stammquerschnittsfläche in Brusthöhe entsprechen soll, wenn der Stammquerschnitt vereinfacht als Kreisfläche angenommen wird (Gadow, 2003). Die Bestandesgrundfläche wiederum setzt sich aus der aufsummierten Grundfläche der Einzelbäume je Versuchsparzelle, die hier als eigener Bestand angesehen wird, getrennt nach Jahren zusammen. Die Grundfläche erwies sich als geeignete Stärkenvariable, um die Wuchsdynamiken der Einzelbäume sowie der Bestände bzw. Versuchspartzen bei mehrtriebigen Stöcken darzustellen. Als forstliche Kenngröße mit breiter Anwendung in der Waldwachstumsforschung (Gadow, 2003) ist die Bestandesgrundfläche gut nachzuvollziehen und bietet den Vorteil, dass bei Regressionen mit der Trockenmasse (sowohl Einzelbaum als auch Bestand) meist lineare Zusammenhänge bestehen (s. 2.1.1). Die Bestandesgrundfläche in den Parzellen wird hier auf den Hektar bezogen, um eine Vergleichbarkeit mit

externen Daten und untereinander zu erreichen.

Abbildung 2.8 verdeutlicht die Entwicklung der Parzellengrundflächen über die Versuchsjahre nach Klonen getrennt. Bei der Interpretation der Darstellung ist die abweichende Anzahl an Beobachtungen zu beachten. In den Jahren der Pflanzung bzw. nach der Ernte liegt dies z.T. daran, dass in Beständen auf ärmeren Standorten die Triebe der Bäume noch keine Höhe von 1,3 m erreicht hatten und daher keine Grundfläche ermittelt werden konnte. Für das Winterhalbjahr 2011/2012 bestand zusätzlich das administrative Problem, dass die Projektfortführung ungewiss war und keine Mittel für weitere Messungen vorhanden waren. Daten wurden daher nur auf einem Teil der Flächen ($n = 18$) und nicht im vollen Umfang erhoben, teilweise wurden nur Höhen gemessen. Bei Vergleichen der Daten aus 2011 mit anderen Jahren, wurde daher nur der Teildatensatz betrachtet. Die Darstellung der Entwicklung der Bestandesgrundflächen dieses Teildatensatzes befindet sich im Anhang. Unabhängig davon liegen die Bestandesgrundflächen in 2013 für alle Klone mit durchschnittlich $15,83 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ deutlich über denen aus 2010 mit durchschnittlich $8,27 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, was bereits Hinweise auf eine gesteigerte Biomasseleistung gibt. Die Pappeln liegen im Mittel 2013 auf einem vergleichbaren Niveau zu den Weiden (Pappeln: $15,73 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, Weiden: $16 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), in 2010 lagen die Grundflächen der Pappeln im Mittel noch etwas über denen der Weiden (Pappeln: $8,57 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, Weiden: $7,82 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Ein weiterer Effekt, der im Verlauf beider Rotationen beobachtet werden kann, ist die deutlich zunehmende Streubreite. Liegt die Standardabweichung in 2008 bei $1,52 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, ist in 2010 bzw. 2013 eine vielfach vergrößerte Standardabweichung von $6,39 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ bzw. $9,39 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ festzustellen. Die höchste Bestandesgrundfläche 2013 für die Pappeln wurde am Standort Campus Klein-Altendorf für den Klon AF2 ermittelt ($46,7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), die niedrigste dagegen für Max 1 am Standort Welzow Süd ($0,08 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Bei den Weiden lag die größte Bestandesgrundfläche am Standort Aulendorf für den Klon Tordis vor ($45,05 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), die niedrigste wurde für den Klon Inger am Standort Iden gemessen ($0,01 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Bei den sehr niedrigen Bestandesgrundflächen ist zu berücksichtigen, dass es sich hier meist um Parzellen mit hohen Ausfallraten handelt. Die breite Streuung der Grundflächen gibt bereits einen Hinweis auf den Standorteinfluss zur Wuchseistung. Bei Betrachtung der Grundflächen im Jahr nach der Bestandesbegründung bzw. Ernte (2008, 2011, 2014; s. Abbildung 3.2) wird deutlich, dass die Zuwächse in 2011 im Mittel deutlich über denen aus 2008 und sogar teilweise gleichauf mit den absoluten mittleren Grundflächen aus 2009 lagen. Darüber hinaus sind zwischen den Jahren der zweiten Rotation die Zuwächse deutlich höher als in der ersten Rotation. Die mittlere Bestandesgrundfläche in 2012 lag über alle Prüfglieder hinweg bereits über derjenigen zur Ernte im Winter 2010/2011. Geht man über die Betrachtung der ersten beiden Rotationen hinaus und zieht das erste Jahr der dritten Rotation 2014 hinzu, ist für die 18 durchgehend vermessenen Flächen für die Weiden eine weitere Steigerung des mittleren Zuwachses gegenüber 2011 festzustellen. Die Steigerung fällt hier deutlicher aus (über $8 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) als für die Pappeln. Der Klon Hybride 275 liegt 2014 im Durchschnitt etwas höher als 2011, Max 1 und AF2 liegen auf einem vergleichbaren Niveau. Hier wäre eine weitere Entwicklung der Grundflächen bzw. das Ende der dritten Rotation interessant zu beobachten, um zu beurteilen, ob sich die Wuchseistung nach wiederholter Ernte weiter steigert (vgl. dazu Biertümpfel et al., 2009; Schwarze u. Röhrich, 2006; Boelcke, 2006).

Bestandesmittelhöhen

Als Bestandesmittelhöhe wurde je Versuchsparzelle und Jahr das arithmetische Mittel aller Baumhöhen berechnet. Die Variable entspricht damit der arithmetischen Mittelhöhe nach Kramer u. Akça (2008). Die sonst für forstliche Fragestellungen bestehende Problematik, dass diese Mittelhöhe nicht zur Bonitierung geeignet sei, kann für Kurzumtriebsplantagen vernachlässigt werden, da keine rechnerische Verschiebung aufgrund von Durchforstungen existiert und es sich hier um sehr junge Bestände handelt. Da nicht in allen Jahren die Baumhöhe sondern teils auch die Trieb länge gemessen wurde, wurde zur Vervollständigung die Länge des längsten Triebes als Baumhöhe angenommen. Abbildung 2.9 enthält eine Darstellung zur Entwicklung der Bestandesmittelhöhen über den Versuchszeitraum nach Klonen getrennt. Hier gilt ähnlich wie für die Bestandesgrundfläche die Problematik des geringeren Datenumfangs in 2011, in der Darstellung durch den roten Boxplot gekennzeichnet.

Zum Ende der ersten Rotation liegt die durchschnittliche Bestandesmittelhöhe der Pappel-Prüfglieder im Schnitt niedriger als die der Weiden Prüfglieder (Pappeln: 43,4 dm, Weiden: 47,35 dm). Eine Begründung hierfür ist in den hohen Ausfällen und entsprechenden Nachpflanzungen in 2009 für den Klon Hybride 275 zu suchen (Bestandesmittelhöhe 2010 im Durchschnitt von 38,79 dm). Die Zuwächse in der ersten Rotation fallen für die anderen Prüfglieder relativ gleichmäßig aus und liegen im Mittel bei ca. 15 dm. In der zweiten Rotation kann dieser lineare Verlauf weniger deutlich beobachtet werden (auch bei der Auswahl der Standorte mit durchgehenden Messungen nicht, s. Abbildung 3.3). Die Zuwächse fallen hier von 2011 auf 2012 bei den Prüfgliedern Max 1, Hybride 275 und Tordis höher aus als von 2012 auf 2013. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Bestände sich ab diesem Punkt durch das Dickenwachstum weiter ausdifferenzieren. Diese Fragestellung ließe sich auf Einzelbaumbasis unter Berücksichtigung von Konkurrenzparametern untersuchen. In 2013 liegen die Gattungen nach dieser Entwicklung im Durchschnitt wieder auf einem vergleichbaren Niveau (Pappeln: 57,58 dm, Weiden: 56,12 dm), der Klon Hybride 275 liegt nur noch geringfügig unter den beiden anderen Pappel-Prüfgliedern (56,9 dm). Wie zu erwarten liegen die Bestandesmittelhöhen, ähnlich wie die Grundflächen, zum Ende der zweiten Rotation deutlich über denen zum Ende der ersten Rotation. Darüber hinaus kann wie bei der Grundflächenentwicklung beobachtet werden, dass die Streubreite in der ersten Rotation zunimmt, in der zweiten Rotation fällt dies weniger deutlich aus (Standardabweichung über alle Prüfglieder in 2008 bei 9,89 dm, in 2010 bei 19,06 dm bzw. in 2013 bei 19,35 dm). Die größte Bestandesmittelhöhe für die Pappeln wurde 2013 am Standort Emmendingen vom Klon Hybride 275 erreicht (93 dm), die niedrigste dagegen, ähnlich wie für die Grundfläche, am Standort Welzow Süd für den Klon Max 1 mit (14,66 dm). Bei den Weiden lag die höchste Bestandesmittelhöhe 2013 in Aulendorf bzw. Lehmkaute für den Klon Tordis vor (beide ca. 92 dm). Die niedrigste wurde wiederum in Welzow Süd für den Klon Inger gemessen (5,7 dm). Die dargestellten Unterschiede verdichten den bei den Grundflächen gewonnenen Eindruck auf den Standorteinfluss zur Wuchsleistung. Als Ausblick auf die dritte Rotation kann bei einem Vergleich der jeweiligen ersten Jahre der Umtriebe zwar eine deutliche Steigerung vom zweiten zum ersten, jedoch nicht vom dritten zum zweiten Umtrieb festgestellt werden. Dies bestätigt sich auch bei Betrachtung der Daten von den durch-

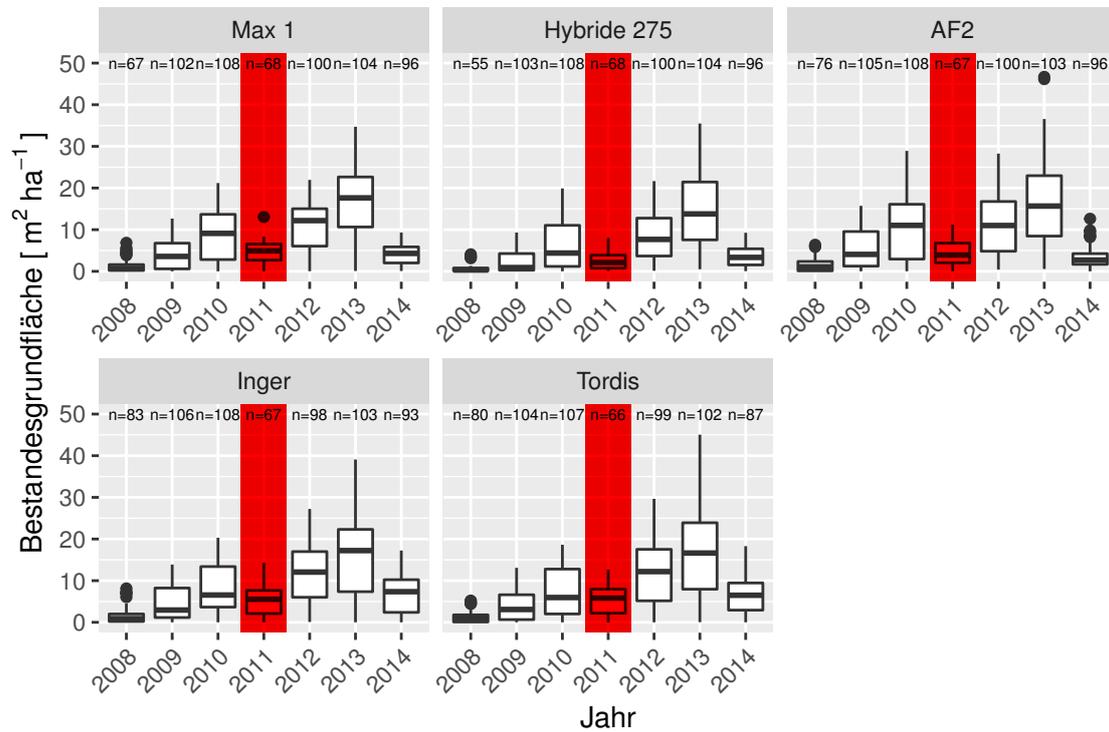


Abb. 2.8: Entwicklung der Bestandesgrundfläche je Parzelle getrennt nach Klonen in den Versuchsjahren zum Wiederaustrieb.

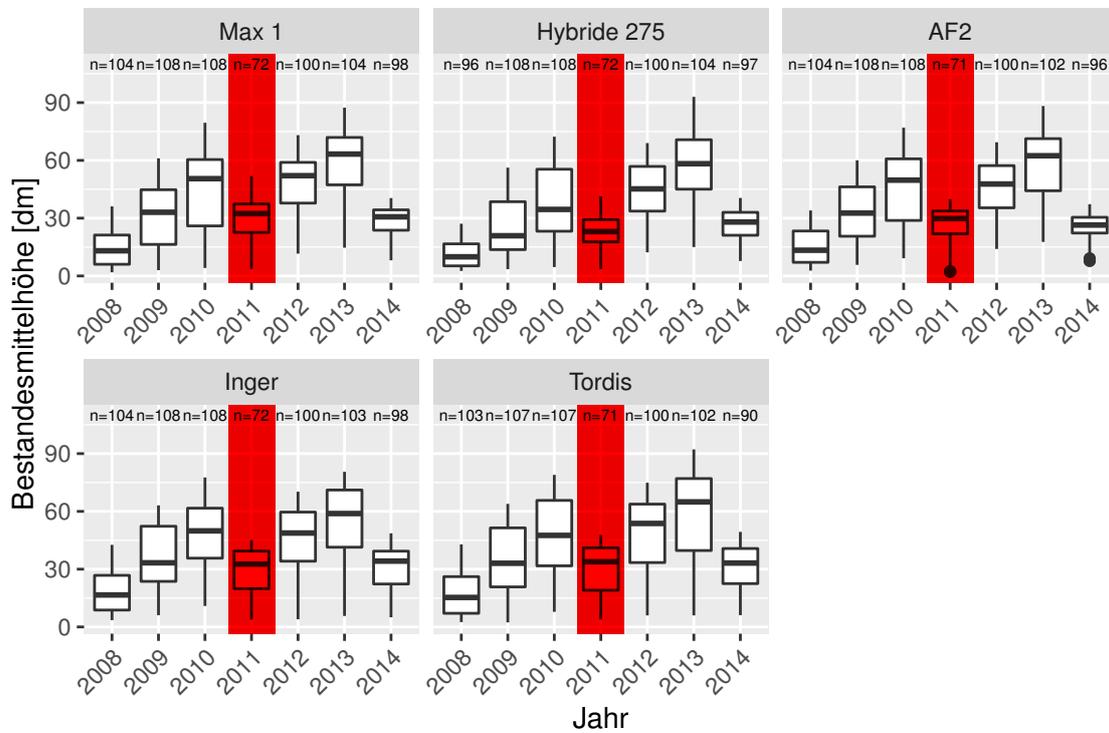


Abb. 2.9: Entwicklung der Bestandesmittelhöhe je Parzelle getrennt nach Klonen über die Versuchsjahre.

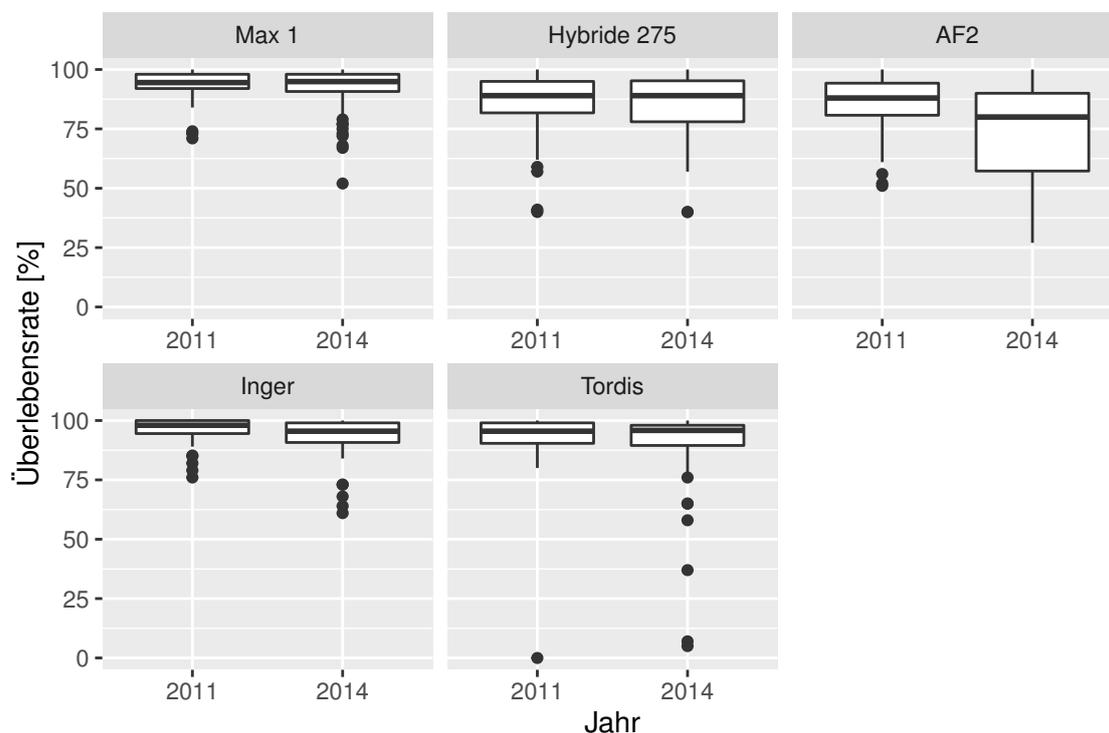


Abb. 2.10: Entwicklung der Überlebensraten je Parzelle getrennt nach Klonen über die Versuchsjahre.

gehend vermessenen Standorten. Es ist zu erwähnen, dass das Prüfglied Hybride 275 für die Pappel-Prüfglieder im Jahr 2014 nicht mehr die durchschnittlich niedrigsten Bestandesmittelhöhen aufweist (vgl. Abbildung 3.3).

Überlebensraten/Wiederaustrieb

Die Entwicklung der Überlebensraten nach Rückschnitt ist in Abbildung 2.10 getrennt nach Klonen dargestellt. Enthalten sind Daten aus den Jahren 2011 als das Wuchsjahr nach dem ersten Rückschnitt und 2014 als das Wuchsjahr nach dem zweiten Rückschnitt.

Über die Jahre ist erwartbar eine Abnahme der Überlebensraten festzustellen. 2011 nach dem ersten Rückschnitt lag das Anwuchsprozent im Mittel bei 90 % und nach dem zweiten Rückschnitt in 2014 bei 86 %. Die Entwicklung zwischen den Prüfgliedern gestaltet sich unterschiedlich deutlich. Für die Pappeln liegt in 2014 noch insgesamt eine Überlebensrate von 83 % vor. Das Prüfglied Max 1 liegt dabei am höchsten mit einer Überlebensrate von 91 %, Hybride 275 etwas niedriger mit 85 % und deutlich niedriger AF2 mit 73 %. Die Weiden schneiden 2014 im Mittel besser ab mit einer Überlebensrate von insgesamt 90 %. Der Klon Inger schneidet mit durchschnittlich 93 %, besser ab als Tordis mit 88 %. Eine Varianzanalyse mit den Arkussinus-wurzeltransformierten Prozentwerten als abhängige Variable und den unabhängigen Variablen Klon und Standort ergeben signifikante Unterschiede für die beiden abhängigen Variablen. Paarweise Vergleiche unter

den Klonen basierend auf dieser Varianzanalyse ergeben signifikante Unterschiede zwischen allen drei Pappelprügliedern, die Abstufung ist dabei analog zu den Darstellungen Max 1, Hybride 275 und AF2. Der Weidenklon Inger ist einer Gruppe mit Max 1 zuzuordnen, der Weidenklon Tordis nimmt zwischen Max 1/Inger und Hybride 275 eine Zwischenstellung ein. Bei den niedrigeren Anwuchsraten für Hybride 275 ist zu beachten, dass die Ausfälle zum Teil aus den Abweichungen bei Begründung in 2008 aufgrund des Pflanzmaterials entstanden sind. Unabhängig davon zeigen sich Max 1 und die Weidenklone in ihren Überlebensraten stabil (abgesehen von einigen Ausreißern für den Klon Tordis). Die deutliche negative Entwicklung von AF2 wäre für einen längeren Beobachtungszeitraum weiter zu verfolgen, es deuten sich hier bereits Tendenzen für die Ertragsdynamik an.

Trockensubstanzgehalte

Wie unter 1.1.1 beschrieben wurden zur Ernte die Trockensubstanzgehalte aus 4 Mischproben je Versuchsparzelle ermittelt. Eine Übersicht über die Verteilung der je Standort und Klon aggregierten Werte ist in Abbildung 2.11 enthalten. Es fallen je nach Klon und Jahr vereinzelt Trockensubstanzgehalte auf, die einen Prozentwert über 55 % aufweisen und in der Darstellung als einzelne Punkte erscheinen. Bei genauerer Betrachtung dieser Werte fällt auf, dass es sich bei 14 von 17 Werten ausschließlich um Ergebnisse der Flächen Bärenrode, Hayn und Iden handelt. Der Grund für diese verhältnismäßig hohen Werte kann nicht mit hinreichender Genauigkeit reproduziert werden, Fehler bei der Trocknung können jedoch ausgeschlossen werden. Die Buchstaben unter den Angaben zur Anzahl der Beobachtungen geben die Gruppen aus den paarweisen Vergleichen der Trockensubstanzgehalte in 2013 der Klone untereinander wieder. Die Klone Max 1 und AF2 unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, jedoch von den restlichen Klonen Hybride 275, Inger und Tordis, die sich wiederum untereinander nicht signifikant voneinander unterscheiden. Der Mittelwert für die Trockensubstanzgehalte über alle Klone in 2010 beträgt 47 %, in 2013 48 %. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Jahren konnte nicht nachgewiesen werden. Die hier vorgefundenen Trockensubstanzgehalte decken sich mit den Angaben aus anderen Arbeiten (Dimitri, 1988; Hofmann, 2010; Boelcke, 2006; Ledin, 1996).

Einzelbaummassen

Basierend auf den mittleren Trockensubstanzgehalten je Versuchsparzelle und den zur Ernte ermittelten Frischmassen je Pflanzplatz, wurden in 2010 und 2013 die Trockenmassen der Einzelbäume ermittelt. Abbildung 2.12 enthält einen Überblick über die mittleren Einzelbaummassen je Versuchsparzelle getrennt nach den einzelnen Prüfgliedern und den Jahren. Die mittlere Trockenmasse von 9,17 kg_{atro} die 2013 für den Klon AF2 gemessen wurde, ist als Ausreißer zu betrachten, da es sich um eine Parzelle mit hohem Ausfallprozent handelt. Hier wurden nur drei Bäume gemessen, die aufgrund des aus den Ausfällen resultierenden großen Standraums alle große Einzelmassen aufweisen. Die Massensumme ist in dieser Parzelle vergleichsweise gering. Ähnlich den bereits beschriebenen Bestandesparametern sind deutliche Zuwächse vom ersten zum zweiten Umtrieb zu beobachten (2010 im Mittel über alle Prüfglieder: 1,24 kg_{atro}, 2013: 2,59

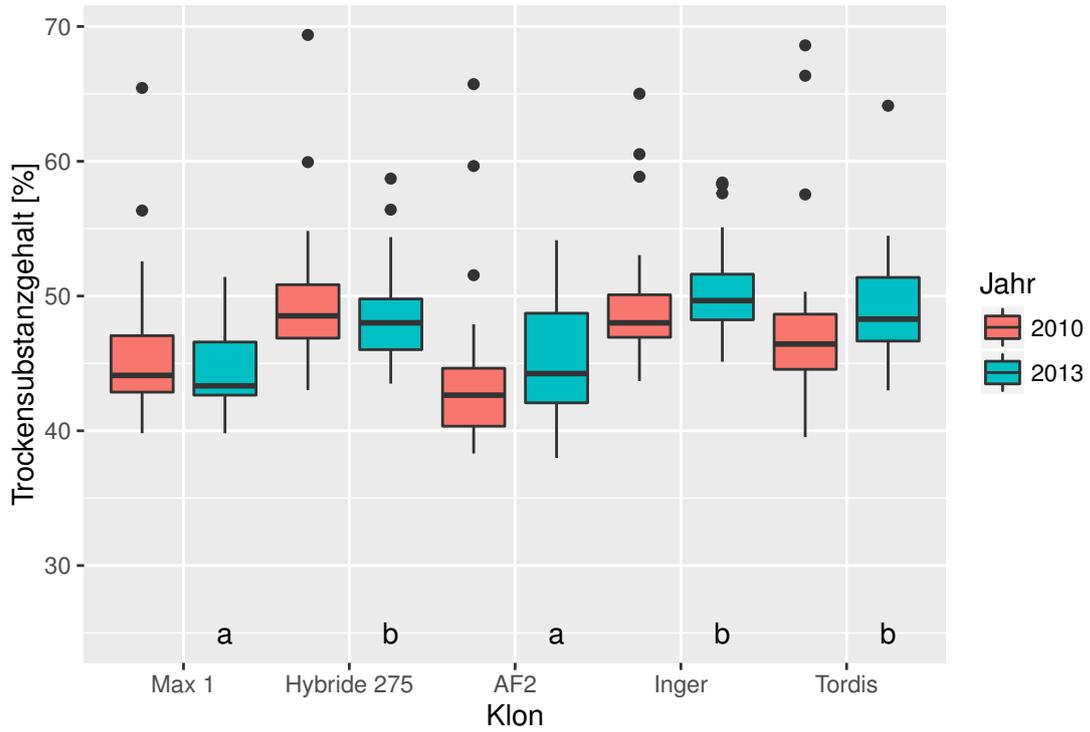


Abb. 2.11: Mittlere Trockensubstanzgehalte je Parzelle aus den Mischproben getrennt nach Prüfgliedern und Jahren.

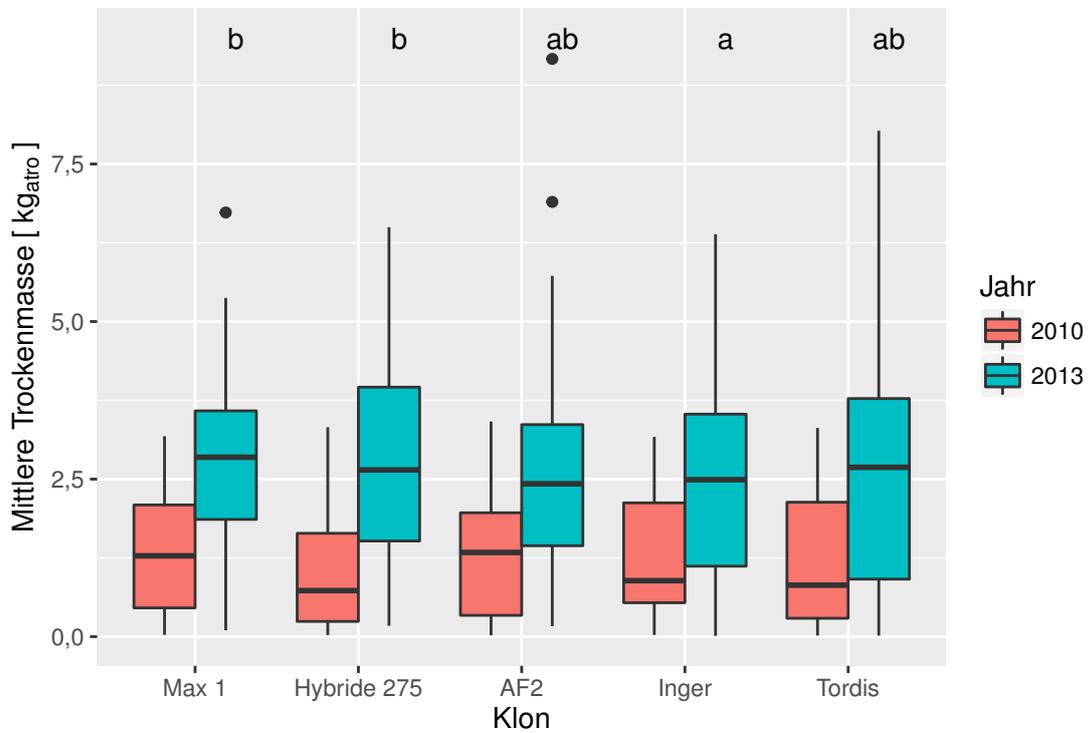


Abb. 2.12: Mittlere Einzelbaumtrockenmasse je Parzelle zur Ernte in der ersten und zweiten Rotation nach Klonen getrennt.

kg_{atro}). Auffallend ist hier, dass die Unterschiede der mittleren Einzelbaummassen zwischen den Prüfgliedern nachgelassen bzw. sich verschoben haben. In 2010 liegen die Trockenmassen für das Prüfglied Hybride 275 mit 1,02 kg_{atro} im Mittel niedriger als für die anderen beiden Pappel-Klone (Max 1: 1,36 kg_{atro}, AF2: 1,34 kg_{atro}). Die Weiden-Prüfglieder liegen im Mittel sowohl in 2010 als auch 2013 fast gleichauf (Inger 2010: 1,24 kg_{atro}, Tordis 2010: 1,23 kg_{atro}, Inger 2013: 2,37 kg_{atro}, Tordis 2013: 2,62 kg_{atro}). Über alle Versuchspartzen gemittelt liegen die Klone nach Gattungen getrennt in 2010 und 2013 gleichauf. Aus den paarweisen Vergleichen für 2013 allerdings, basierend auf einer Varianzanalyse mit den Prüfgliedern und dem Standort als unabhängige Variablen, resultiert eine Gruppierung der Klone (vgl. Buchstabenkennung in Abbildung 2.12). Zwischen den Prüfgliedern Max 1 und Hybride 275 sind keine signifikanten Unterschiede abzuleiten, beide wiederum sind signifikant verschieden vom Prüfglied Inger. Die Prüfglieder Tordis und AF2 sind nicht signifikant verschieden voneinander und nehmen zwischen Max 1/Hybride 275 eine Zwischenstellung ein.

Biomassefunktionen

Von Amthauer Gallardo (2014) wurden in Projektphase I zur Schätzung der Biomasse aus dem BHD klonweise Biomassefunktionen für den ersten Umtrieb parametrisiert. Grundsätzlich bieten sich in ProLoc für die Schätzung der Masse von Einzelbäumen im zweiten Umtrieb zwei Verfahren an. Die auf Einzeltrieben basierende Variante sieht vor, einzelne Stockausschläge zu beernten, um deren Frischmasse zu ermitteln und anschließend die Trockenmasse in Bezug zu Parametern wie verschiedenen Durchmessern oder der Triebhöhe zu setzen. Die Auswahl der Triebe erfolgt nach einem Stichprobenverfahren oder basierend auf Klupplisten, für die Triebe aus dem gesamten Durchmesserpektrum entnommen werden sollen. Zur Parametrisierung kommen meist nichtlineare Funktionen zum Einsatz, Hartmann (2010) legt den allometrischen Ansatz $b = a_0 d^{a_1}$ als Standard fest. Nach dem Vergleich von in verschiedenen Höhen gemessenen Durchmessern, wird der BHD als am geeignetsten betrachtet, die Biomasse zu schätzen. Die geschätzten Biomassen je Einzeltrieb können anschließend je Einzelbaum oder auf Bestandesebene aufsummiert werden und in Abhängigkeit von den Ausfällen zur Schätzung des dGz des Bestandes verwendet werden. Die für das Aufnahmedesign in ProLoc II einzig sinnvolle Option zur Parametrisierung von Biomassefunktionen auf Einzelbaumebene, besteht in der Schätzung der Trockenmasse aus der Grundfläche aller Triebe eines Stocks, da keine Massen für einzelne Triebe ermittelt wurden.

Abbildung 2.13 enthält die Darstellung der Trockenmassen über der Grundfläche je Einzelbaum in 2013 nach Klonen getrennt. Insgesamt sind 6467 Wertepaare enthalten.

Über alle Klone hinweg ist eine klar positive Korrelation der Variablen Grundfläche und Trockenmasse zu beobachten, die auf einen linearen Zusammenhang hinweist. Die Funktionsgerade basiert auf einem einfachen linearen Ausgleich zwischen der Trockenmasse und der Grundfläche der Einzelbäume je Klon. Gemessen an diesem Ausgleich bleibt dennoch eine sehr hohe Zahl an Ausreißern. Bei Betrachtung der Abweichung einzelner Punkte von der Funktionsgeraden wird deutlich, dass die geschätzten Werte teils um deutlich über 100 % von den gemessenen

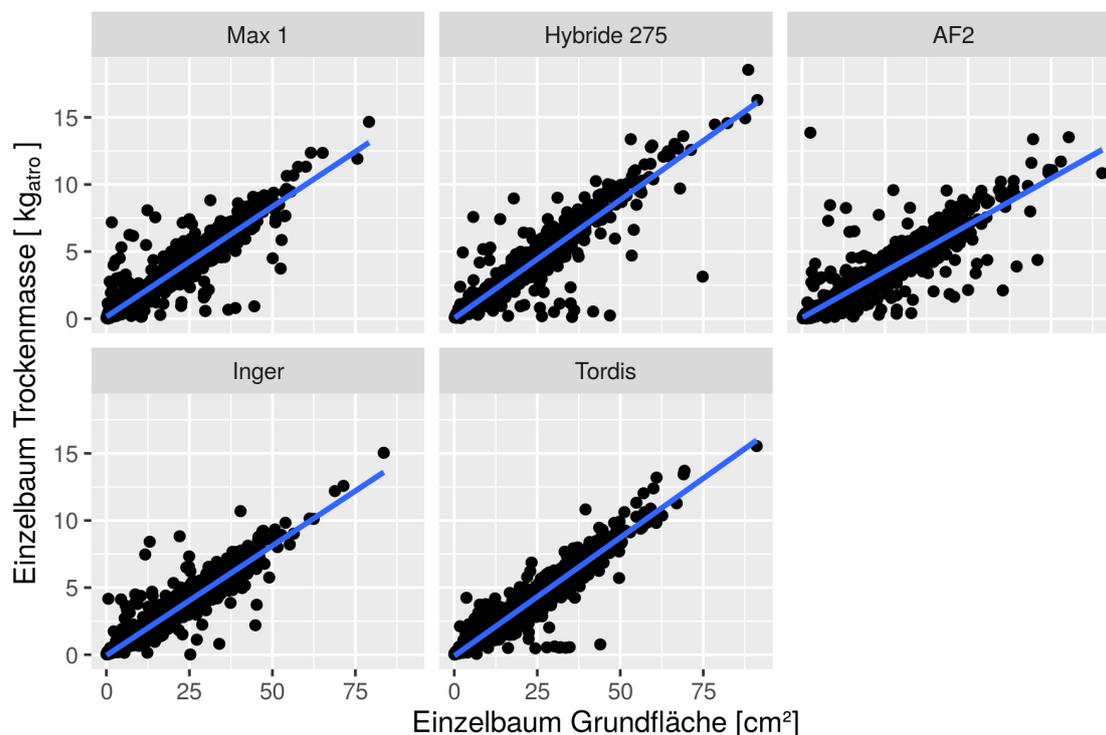


Abb. 2.13: Trockenmasse über Grundfläche der Einzelbäume im Jahr 2013 nach Klonen getrennt.

nen Werten abweichen. Ein lineares Modell, das die unabhängigen Variablen Grundfläche, Höhe des Einzelbaums, Klon und Standort beinhaltet, ergibt ein adjustiertes R^2 von 0,87. Der Standardfehler der Residuen liegt bei 0,81 kg_{atro} , dennoch beeinträchtigen die zahlreichen Ausreißer besonders im Bereich unter 5 kg_{atro} die Annahme der Varianzhomokedastizität der Residuen. Die Daten sind eingehend auf unplausible Werte innerhalb der Variablen und auch in Wechselwirkung mit anderen Variablen überprüft worden. Die hier verbleibenden Ausreißer können nicht hinreichend aus dem Datensatz erklärt werden. Ein Grund für die Abweichungen könnte in der Abhängigkeit der Grundfläche bzw. Trockenmasse je Einzelbaum in der Stärkenverteilung der Triebe je Stock bestehen. Starke Triebe besitzen eine überproportional hohe Masse gegenüber vielen kleinen Trieben, die in Summe der Grundfläche des starken Triebs entsprechen können. Zur genaueren Schätzung wäre es geeigneter in Zukunft Biomassefunktionen für Einzeltriebe zu parametrisieren, in Anlehnung an das Verfahren von Hartmann (2010). Für die potenzielle Einbindung in einen Wachstumssimulator für KUP wäre eine Datenergänzungsroutine zur Schätzung von Einzelbaummassen basierend auf Durchmesserwerten von Interesse. Für die Fragestellungen in ProLoc besteht an Biomassefunktionen kein dringender Bedarf, da sämtliche vermessenen Bäume ebenfalls verwogen wurden und daher keine Daten ergänzt werden müssen.

Ein Ansatz die Biomasse auf Bestandesebene zu schätzen wird in Abbildung 2.14 präsentiert. Die Gesamttrockenmasse ist über der Bestandesgrundfläche zum Ende der zweiten Rotation nach Klonen getrennt dargestellt.

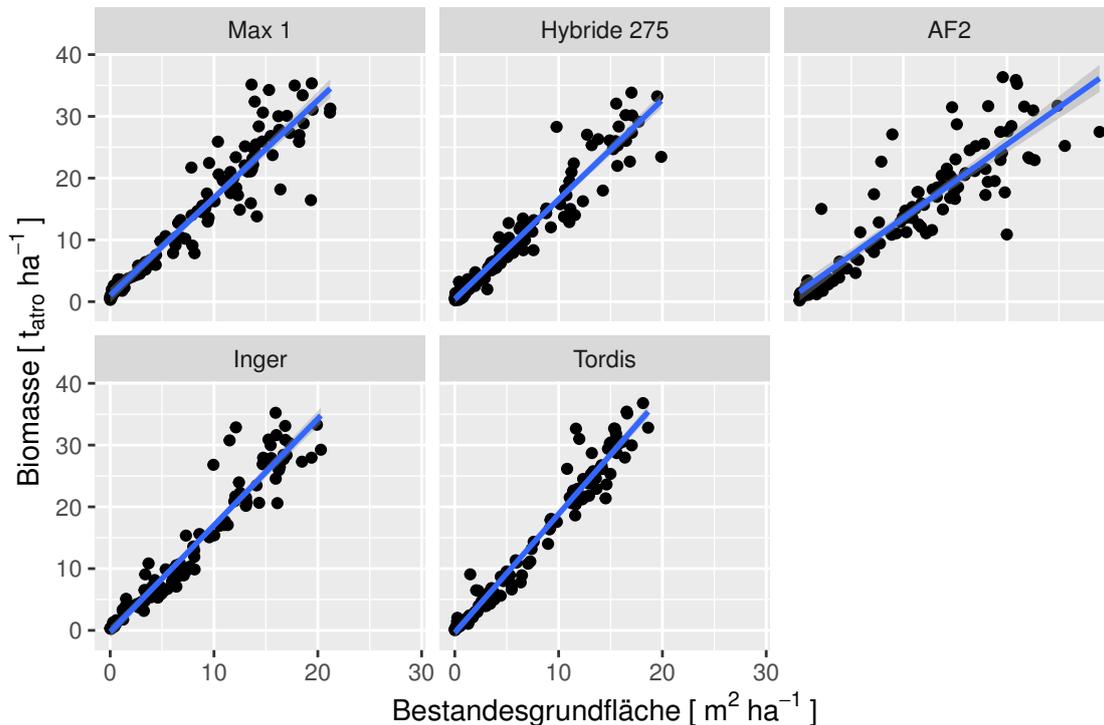


Abb. 2.14: Bestandestrockenmasse über Bestandesgrundfläche in 2013 nach Klonen getrennt.

Hartmann (2010) kommt bei einem linearen Modell mit der Biomasse als abhängiger Variable und der Bestandesgrundfläche als unabhängiger Variable zu einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,90$. Die Residuen als relative Abweichung zwischen gemessenen und geschätzten Wert werden von Hartmann (2010) teils als zu hoch eingestuft, da die Schätzwerte des Modells bis zu 100 % von den gemessenen Werten abweichen. Der Einbezug der jeweiligen Bestandesmittelhöhe in die linearen Modelle bringt Verbesserungen bezüglich der Schätzgüte (überwiegend $R^2 > 0,90$). Zusätzlich nimmt die Streubreite der relativen Abweichungen ab, es bleiben jedoch Ausreißer vorhanden, die nicht erklärt werden können. Hartmann (2010) verfolgt daher diesen Ansatz der Schätzung der Biomasse aus der Grundfläche auf Bestandesebene nicht weiter. Für den ProLoc Datensatz im zweiten Umtrieb fällt das Ergebnis dieser Vorgehensweise etwas günstiger aus. Das Bestimmtheitsmaß eines linearen Modells mit den unabhängigen Variablen Klon, Bestandesgrundfläche und Bestandesmittelhöhe ergibt ein adjustiertes Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,94$. Der Standardfehler der Residuen liegt bei $3,67 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1}$. Nichtsdestotrotz existieren auch hier einige Ausreißer, die relative Abweichung bei der größten negativen Abweichung beträgt 46 % die der größten positiven 26 %. Zur Schätzung der Biomasse aus der Grundfläche für die ProLoc Daten wäre nach einem Vergleich der Ansatz auf der Bestandesebene dem einzelbaumbasierten Ansatz vorzuziehen. Für den Wachstumssimulator bleibt noch der Vergleich inwiefern sich die Schätzungsgüten durch die Verwendung von gemischten linearen Modellen verbessern.

Methodenvergleich Ertragsberechnung

Wie unter 1.1.1 beschrieben, konnte ein Vergleich der Schätzungen der jährlichen Biomasseleistung je Hektar basierend auf unterschiedlichen Stichprobenumfängen an fünf Standorten durchgeführt werden. Für vier der fünf Standorte wurde dafür die Kernparzelle herangezogen ($n = 48$), auf dem Standort Campus Klein-Altendorf wurde die gesamte Parzelle mit Rand verwendet ($n = 100$). Die abweichenden Umfänge sind bei der Interpretation der dargestellten Ergebnisse zu berücksichtigen. Für die folgenden Darstellungen wurden die Biomasseleistung des zweiten Umtriebs sowie der zugehörige dGz jeweils nach der Formel unter 1.1.1 berechnet, wobei die Anzahl zu messender Individuen jeweils angepasst wurde. Die Trockenmassen wurden für die Standorte Potsdam und Unterrieden mit jeweils eigenen Trockensubstanzgehalten der zusätzlichen Messung ermittelt. Auf den anderen Versuchsflächen wurden dafür die Trockensubstanzgehalte verwendet, die im Rahmen der Beprobung im Aufnahme raster gewonnen wurden. Darstellung 2.15 enthält eine Gegenüberstellung der Werte beider Schätzungen, zusätzlich der Winkelhalbierenden, auf denen die Punkte im Idealfall liegen würden und einer vollkommenen Übereinstimmung beider Schätzungen entsprechen würden. Zusätzlich ist im Histogramm die Verteilung der absoluten Häufigkeiten der Differenzen aus Schätzung per Kernparzelle und Schätzung per Raster abgebildet. Die Darstellung ist nicht nach Klonen getrennt, da hier keine Tendenzen erkennbar waren.

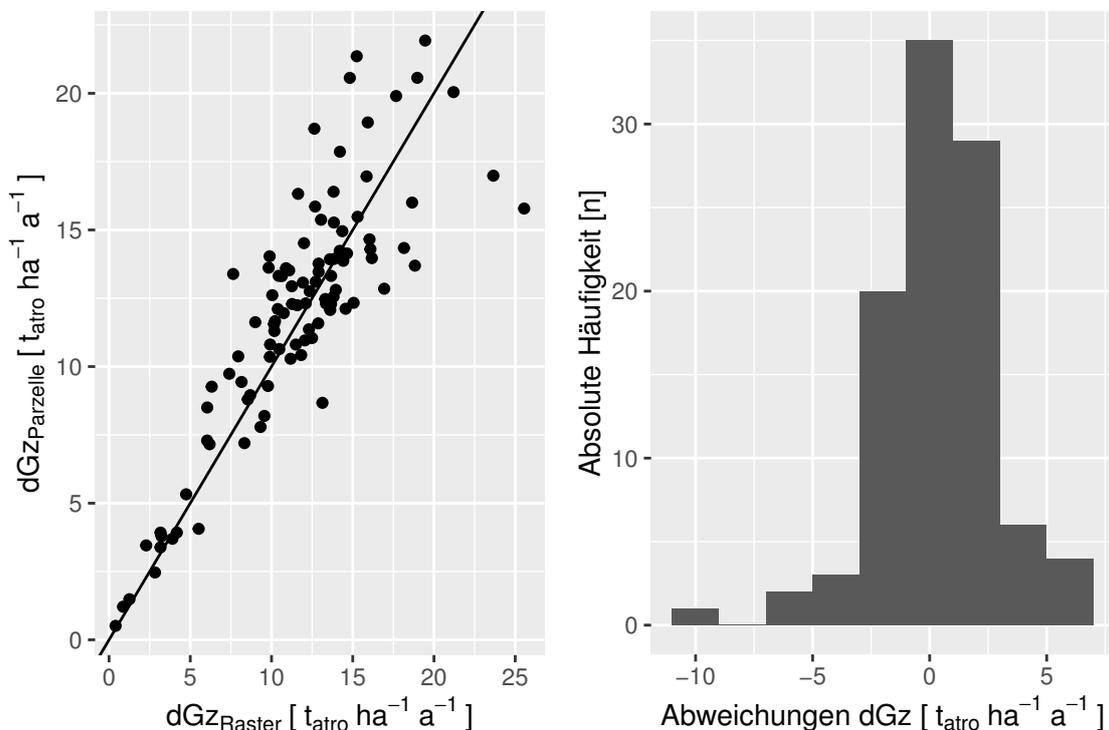


Abb. 2.15: Abweichungen zwischen der Ertragsberechnung basierend auf dem Aufnahme raster und der gesamten Kernparzelle sowie Verteilung der Abweichungen.

Im linken Teil der Abbildung 2.15 ist festzustellen, dass bei niedrigen Erträgen die Abweichungen zwischen beiden Schätzungen gering scheint, mit Zunahme des dGz nimmt jedoch auch die Streuung zu. Der Mittelwert der absoluten Differenzen beträgt $1,84 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, tendenziell unterschätzt die Stichprobe im Raster die Parzellenvariante. Die größte positive Abweichung liegt bei $6,11 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, die größte negative bei $-9,77 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Wenn die Differenzen aus beiden Schätzmethoden auf Versuchsfächenebene je Klon gebildet werden, verringert sich der Mittelwert der absoluten Abweichungen auf $0,87 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die größte negative und positive Abweichung liegen bei absolut ca. $2,5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Wie zu erwarten ist hebt sich die Streuung, die zwar zunimmt aber weitgehend gleichmäßig um das Optimum liegt, je Standort damit auf. Eine Varianzanalyse auf Unterschiede des dGz zwischen Klon, Standort und den beiden Stichprobenumfängen, ergibt die erwartbaren signifikanten Unterschiede nach Klon und Standort, jedoch nicht nach Stichprobenumfang. Werden nach den Stichprobenumfängen getrennt zwei lineare Modelle mit dem log-transformierten dGz als abhängige Variable sowie der Standort- und Klonvariable als Prädiktoren parametrisiert, liefert dies ebenfalls in der Schlussfolgerung keine unterschiedlichen Ergebnisse, da beide Varianten signifikante Unterschiede nach Klon, Standort und deren Wechselwirkung ergeben.

Ertragsdaten

Abbildung 2.16 enthält den Vergleich des dGz für den ersten und zweiten Umtrieb über alle Standorte nach Klonen getrennt.

Die Beobachtungen aus den anderen Bestandesparametern wie Bestandesgrundfläche, Bestandesmittelhöhe und durchschnittliche Einzelbaum-Trockenmasse bestätigen sich, da ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Rotationen besteht. Zwischen den Klonen bestehen in 2013 ebenfalls signifikante Unterschiede.

Das Prüfglied Hybride 275 konnte die vergleichsweise niedrigeren Erträge in der ersten Rotation aufholen und nimmt bezüglich des Ertrags in der zweiten Rotation eine Zwischenstellung zwischen Max 1 und AF2 ein. Die Erträge des AF2 Prüfglieds lagen im Mittel in der ersten Rotation fast gleichauf mit Max 1, die Ertragszunahme fällt im zweiten Umtrieb jedoch deutlich geringer aus, was sich in signifikanten Unterschieden zwischen beiden Hybriden niederschlägt. Zwei Versuchspartellen mit dGz-Werten über $20 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ fallen hier jedoch auf, von denen beide am Standort Campus Klein-Altendorf zu verorten sind. Es handelt sich hier zwar um eine der Versuchspartellen mit einem geschätzten Ertrag von $25,55 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, die jedoch im Methodenvergleich auch die deutlichste Abweichung zwischen beiden Verfahren aufweist. Innerhalb der gemittelten Werte je Klon und Versuchsfäche, weist der Standort Klein-Altendorf auch unter Berücksichtigung dieser Abweichung den höchsten Ertrag für das Prüfglied AF2 auf.

Klon-Standort-Wechselwirkung

Zur Einleitung in das Kernthema des AP1 sollen erst die Ertragsentwicklungen in Bezug zu ausgewählten Standortvariablen dargestellt und diskutiert werden. Anschließend werden die Ergebnisse der Modellierung vorgestellt.

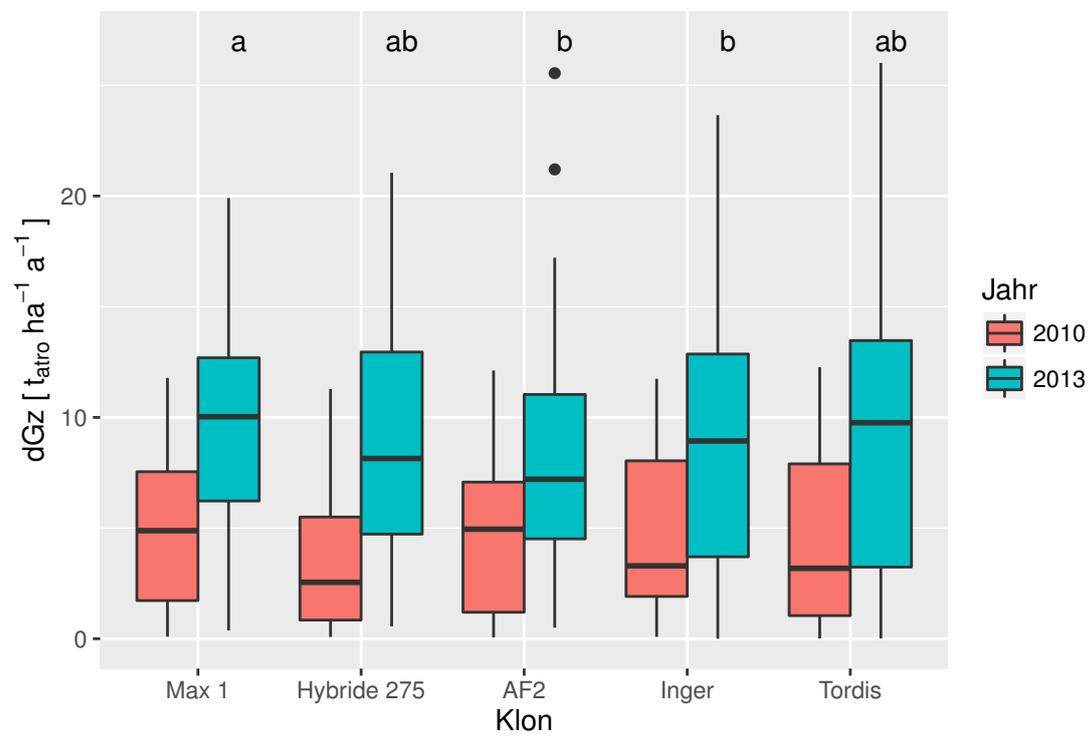


Abb. 2.16: Gegenüberstellung der Verteilung des dGz bezogen auf die erste bzw. zweite Rotation getrennt nach Klonen.

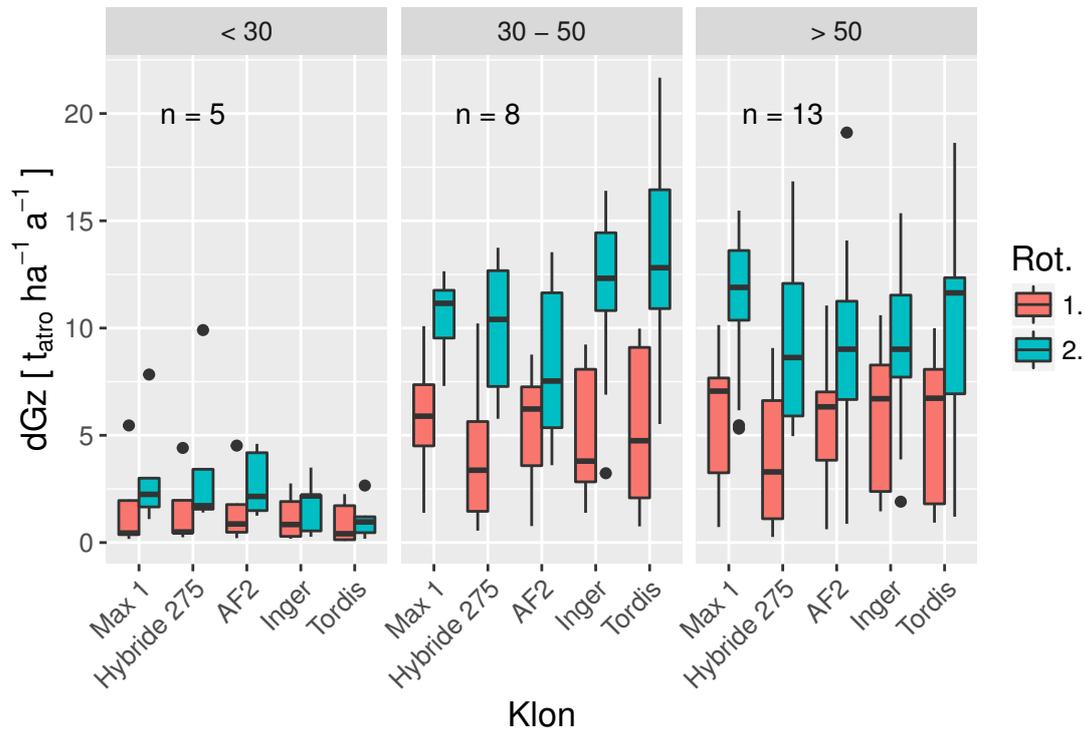


Abb. 2.17: dGz im ersten und zweiten Umtrieb nach Klonen und in drei Bodenzahl-Gruppen getrennt.

Abbildung 2.17 enthält die Entwicklung der Erträge von der ersten zur zweiten Rotation nach Klonen getrennt in drei Bodenzahlgruppen. Die Gruppierung wurde hier festgelegt für eine Bodenzahl von 1 bis 29, 30 bis 50 und 51 bis 100. Die Bodenzahlen der Einzelstandorte sind der Tabelle 2.1 zu entnehmen. In den folgenden Darstellungen sind nicht mehr die Ertragswerte je Parzelle dargestellt, sondern die gemittelten Ertragswerte je Standort und je Klon. Bei den in der Darstellung enthaltenen Anzahlen handelt es sich um die Anzahl an Standorten in der Gruppe.

In der ersten Gruppe mit Bodenzahlen unter 30 sind fünf Standorte enthalten, bei zweien davon handelt es sich um die einander nächstgelegenen Versuche Energiewald Welzow und Welzow-Süd auf Rekultivierungsflächen. Die anderen Standorte sind Forchheim, Kummerow und Iden. In dieser Gruppe schneiden die Pappel-Prüfglieder im zweiten Umtrieb besser ab als die beiden Weiden-Klone (Pappeln im Mittel $3,17 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, Weiden im Mittel $1,41 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Ertragsleistungen von über $5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ konnten nur für die Prüfglieder Max 1 und Hybride 275 am Standort Forchheim festgestellt werden. Bis auf die beiden Standorte in Welzow (5,9 bzw. 7,1) lagen die pH Werte alle unter 5, die Standorte sind bis auf die Bergbaufolge (Gruppe Lehme) den Sanden zuzuordnen. Die zweite Gruppe enthält neun Standorte von denen die Standorte Grünewalde (als Bergbaufolge), Aulendorf und Löwenberg (Moorböden) als Sonderstandorte anzusehen sind. Der Standort Löwenberg ist aufgrund der ausgebliebenen Ernte in 2013 nur in der ersten Rotation enthalten. In dieser Gruppe liegen die Weiden im Durchschnitt auf einem hö-

heren Niveau als die Pappeln (Pappeln im Mittel $9,62 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$, Weiden im Mittel $12,39 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$). Liegen im ersten Umtrieb die Prüfglieder Max 1 und AF2 gleichauf und deutlich über Hybride 275, verschiebt sich die Reihenfolge im zweiten Umtrieb, was bereits bei den Gesamtertragsdaten beobachtet werden konnte. Im Mittel leistet damit Hybride 275 unter den Pappeln die deutlichsten Zunahmen und verzeichnet am Standort Unterrieden den höchsten Ertrag der Pappeln von $13,74 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$. Der niedrigste Ertrag von $3,61 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ wurde am Standort Grünewalde ermittelt. Zusätzlich ist zu beachten, dass die Erträge für das Prüfglied Max 1 zwischen den Standorten weniger stark variieren als bei Hybride 275 oder noch deutlicher AF2. Der Vergleich der Weiden in der mittleren Gruppe untereinander deutet auf etwas höhere Erträge für Tordis hin, hier herrscht jedoch auch eine größere Varianz der Werte vor. Der Ausschlag über $20 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ liegt am Moorstandort Aulendorf vor. Der niedrigste Ertrag der Weiden wurde für beide Prüfglieder (Ausreißer bei Inger von $3,23 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$) am Standort Grünewalde ermittelt (Tordis bei $5,53 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$). Die Standorte mit einer Bodenzahl über 50 Punkten beinhalten drei Flächen, die von Amthauer Gallardo (2014) wegen Unkrautdruck bzw. Mäusefraß von der Analyse ausgeschlossen wurden (Liliental, Kaisheim, Bärenrode). Zusätzlich ist der Sonderstandort Königshovener Höhe als Bergbaufolge im rheinischen Braunkohlerevier enthalten. Ähnlich wie in der Gruppe von 30 - 50 Bodenpunkten hat sich das Ertragsniveau der Pappeln untereinander verschoben und Hybride 275 hat im Ertrag deutlich zugenommen. Der Klon Max 1 liegt zwar im Mittel am höchsten unter den Pappeln ($11 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$), der höchste Ertrag wurde allerdings mit AF2 am Standort Campus Klein-Altendorf $19,11 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ erzielt. Mit dem gleichen Prüfglied findet sich jedoch auch das Minimum am Standort Bärenrode mit einem Ertragswert von unter $1 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$. Insgesamt liegen die Pappeln im Mittel bei $10,1 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ und die Weiden bei $9,43 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$. Für die Weiden ist ein Vorsprung für Tordis (durchschnittlich $9,85 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$) gegenüber Inger (durchschnittlich $9,01 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$) zu erkennen. Der höchste Ertrag unter den Weiden mit $18,63 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ wurde am Standort Lehmkaute erzielt, der niedrigste in Bärenrode mit $1,2 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$. Eine ungruppierte Darstellung des Verlaufes der Erträge über der Bodenzahl findet sich im Anhang unter 3.1.

Duhme (1989) gibt als unteren Grenzwert für den Anbau von Schwarz- und Balsampappeln eine Bodenzahl von 50 an, die nur beim Anbau unter landespflegerischen Aspekten unterschritten werden sollte. Es wird jedoch auch darauf hingewiesen, dass die Bodenzahl nicht allein zur Bewertung herangezogen werden sollte, da z.B. Talsande, die mit niedrigen Bodenzahlen bewertet würden, bei kalkhaltigem Grundwasser gute Wachstumsleistungen hervorbringen könnten. Zum Teil existieren auch Böden mit hoher Punktzahl wie z.B. Marschböden, die aufgrund anhaltender Staunässe für den Pappelanbau ungeeignet seien. Diese Grenze kann nicht vollständig bestätigt werden. Aus der Darstellung geht hervor, dass Standorte mit Bodenpunkten unter 30 als ungünstig anzusehen sind, ab dieser Grenze ist jedoch je nach Bodentyp und Niederschlagsverhältnissen ertragreicher Anbau möglich, eine Differenzierung wird hier erforderlich. Hofmann (1997) bestätigt die Grenze einer Bodenwertzahl von 30 mit der Einschränkung, dass keine schweren oder durch anhaltende Nässe geprägte Standorte über dieser Grenze verwendet werden sollen.

Abbildung 2.18 enthält die Entwicklung der Erträge von der ersten zur zweiten Rotation nach Bodentypen. Die Bodentypen Pseudogley und Gley wurden zu Gleye zusammengefasst, die Moor-

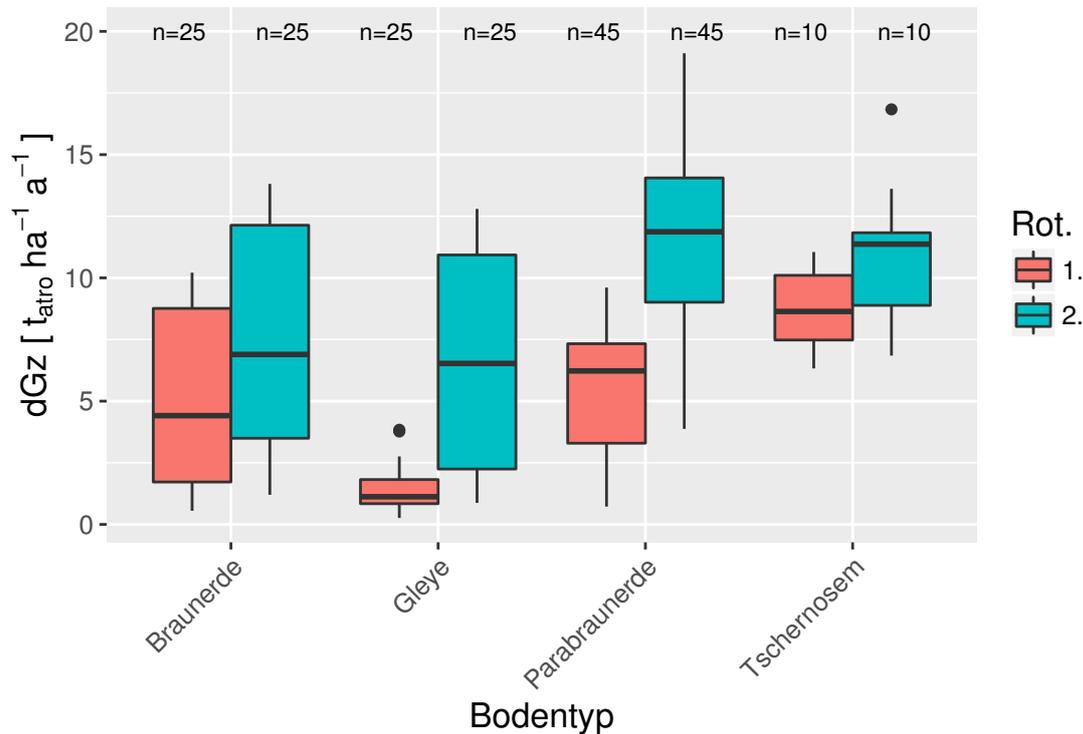


Abb. 2.18: Entwicklung der Erträge von der ersten zur zweiten Rotation nach Klonen und Bodentyp getrennt.

und Bergbaufolgestandorte sind nicht mit dargestellt.

Dem Bodentyp Tschernosem wurden zwei Standorte zugeordnet, 1 Emmendingen und 28 Bernburg. Während auf den beiden Standorten in der ersten Rotation ein vergleichsweise hohes Ertragsniveau von im Durchschnitt $8,71 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erreicht werden konnte, fällt der Zuwachs in der zweiten Rotation geringer aus als an Standorten mit anderen Bodentypen (2013 im Mittel $11,05 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Die höchsten Erträge im zweiten Umtrieb konnten auf Parabraunerden erzielt werden (2010 im Mittel $5,47 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, 2013 im Mittel $11,64 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Die Streuung nimmt im zweiten Umtrieb jedoch auch deutlich zu. Die Anzahl an Standorten, die dieser Gruppe zugeordnet sind ($n = 9$), ist zu beachten. Die Braunerden und Gleye liegen im zweiten Umtrieb in etwa gleich auf (Gleye im Mittel $6,85 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, Braunerden im Mittel $7,69 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Die Ertragssteigerung zum zweiten Umtrieb fällt jedoch für die Gleye größer aus (Gleye 2010 $1,41 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, Braunerden dagegen $4,83 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Die deutlich zugenommene Streuung innerhalb der Gleye ist zu beachten. Eine gruppierte Darstellung nach Hauptbodenarten ist im Anhang unter 3.4 enthalten.

Tabelle 2.1 enthält die Ergebnisse der paarweisen Vergleiche zwischen den Flächen basierend auf einem gemischten Modell mit der Massensumme je Parzelle im Jahr 2013 als abhängige Variable und dem Klon als unabhängige Variable. Die Zufallseffekte wurden hier auf Standortebene

festgelegt. Die Gruppen weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Standorten hin, bei signifikanten Unterschieden werden den Standorten verschiedene Nummern zugewiesen. Mehrere Nummern werden vergeben, wenn sich Standorte von anderen nicht deutlich unterscheiden.

Es fällt hier auf, dass die signifikant ertragreichsten Bestände fast ausschließlich auf Parabraunerde Standorten stocken, zuvorderst Campus Klein-Altendorf und Lehmkaute. Beide Standorte bieten über den Bodentyp hinaus vergleichbare Bodeneigenschaften. Es handelt sich um Lössböden mit der Bodenart schluffiger Lehm, die Bodenzahl beträgt in Klein-Altendorf 72 Punkte, in Lehmkaute 80. Interessant ist hier jedoch, dass jeweils die andere Gattung an beiden Standorten die ertragsstärksten Prüfglieder beinhaltet. In Klein-Altendorf erbringen die Pappel-Prüfglieder im Mittel $16,55 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, die Weiden Prüfglieder kommen auf $11,35 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. In Lehmkaute kehrt sich dieses Verhältnis um: Die Pappeln bringen durchschnittlich $12,56 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, die Weiden dagegen $16,99 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Eine mögliche Erklärung liegt in der unterschiedlichen Niederschlagsmenge an beiden Standorten. In der ersten Rotation gab es in Summe 207,6 mm mehr Niederschlag in Klein-Altendorf, in der zweiten Rotation 93,8 mm mehr. Die Mitteltemperatur in der Vegetationszeit war für beide Standorte mit $14 \text{ }^{\circ}\text{C}$ gemessen worden. Die Grundwasserstände werden für Klein-Altendorf mit 20 m und für Lehmkaute mit 5 m unter Geländeoberfläche angegeben. Von Amthauer Gallardo (2014) wird darauf hingewiesen, dass die Angaben zum Grundwasserstand mit Ungenauigkeiten behaftet sind. Zum Standort in Klein-Altendorf sei erwähnt, dass sich in unmittelbarer Nähe zur Versuchsfläche ein Bachlauf befindet. Ob dies bereits die Unterschiede zwischen diesen beiden Standorten und die unterschiedliche Ertragsdynamik beider Gattungen hinreichend begründet, kann nicht abschließend geklärt werden. Einen weiteren Sonderfall, der sich aus den paarweisen Vergleichen ergibt, stellen die beiden Standorte Potsdam Bornim und Werlte dar. An beiden Standorten weisen die Weiden einen deutlich höheren Ertrag auf als die Pappeln (Pappel-Klone in Potsdam-Bornim $12,53 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, Weiden-Klone $16,75 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, Pappel-Klone in Werlte bei $10,15 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, Weiden-Klone $16,27 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Beide Standorte besitzen ähnliche Bodeneigenschaften (Parabraunerde, Bodenzahl von 33 bzw. 36, Bodenart Su2) und tragen maßgeblich dazu bei, dass die Weiden in der Bodenartgruppe von 30 - 50 Punkten besser abschneiden als die Pappel-Klone. Der Einbezug der bodenchemischen Daten liefert hier keine umfassende Erklärung, zum Grundwasser können in Potsdam nur Vermutungen gemacht werden, für angrenzende Standorte konnte ein Grundwassereinfluss nachgewiesen werden. Der Standort Unterrieden stellt hier einen ähnlichen Fall dar, da bei vergleichsweise niedriger Bodenzahl die fünfthöchsten Erträge erzielt wurden. Möglicherweise profitiert der Standort von seiner Lage am Hangfuß und der daraus möglicherweise resultierenden Wasserversorgung. Im unteren Teil der Tabelle fallen die Standorte Liliental, Kaisheim und Bärenrode auf, die geringer wüchsig sind als andere Standorte mit vergleichbaren Bedingungen. Bei den drei Flächen handelt es sich durchweg um Standorte, an denen sich die Bestände in der ersten Rotation einer deutlichen Beeinträchtigung durch Beikrautkonkurrenz bzw. Schermausschäden ausgesetzt sahen. Ebenso unklar ist die Stellung des Standort Bernburg. Aus den Standortdaten konnte nicht reproduziert werden worin hier die höher zu erwartende Ertragsleistung der zweiten Rotation begründet liegt. Eine Besonderheit, die im Feld festgestellt wurde, war, dass im Frühjahr 2014 nach der zweiten Ernte die Pappelprüfglieder und hier besonders AF2 erhöhte Ausfälle aufzeigten bzw.

Tab. 2.1: Ergebnisse der paarweisen Vergleiche aller Standorte untereinander (verändert nach Stiehm et al. (2015)).

Lfd. Nr.	Sto-Nr.	Standortname	Bodentyp	Bodenschätzung	Bodenart 0-30 cm	Bodenart 30-60 cm	Gruppe
1	25	Klein Altendorf	Parabraunerde	L 4 LÖ 72/76	Lu	Lu	8
2	16	Lehmkaute	Parabraunerde	L 3 LÖ 80/85	Lu	Lu	8
3	15	Potsdam Bornim	Parabraunerde	SI 3 D 36/35	Su2	Su2	8
4	37	Dornburg	Parabraunerde	L 5 LÖ 62/58	Tu4	Ut4	78
5	17	Unterrieden	Braunerde	SI 3 D 39/39	SI3	SI3	78
6	29	Hayn	Parabraunerde	L 4 V 50/42	Lu	Lu	78
7	19	Werlte	Parabraunerde	S 3 D 33/37	Su2	Su2	78
8	3	Aulendorf	Niedermoor	Mo 2 46/46	Mo (Org)	Mo (Org)	78
9	1	Emmendingen	Tschernozem	L3 LÖ 77/89	Ut 4	Ut 4	78
10	31	Pommritz	Braunerde	LS 5 DV 34/35	SI2	SI3	678
11	20	Borlinghausen	Pseudogley	T 6 V 34/28	Lt3	Tu2	678
12	28	Bernburg	Tschernozem	L 1 LÖ 100/96	Ut4	Ut4	567
13	35	Threnthorst	Gley	L 5 D 55/53	Ls2	Lt2	4567
14	6	Kupferzell	Pseudogley	LT 5 V 50/45	Lt3	Tu2	3456
15	2	Liliental	Parabraunerde	L 3 LÖ 72/76	Ut 3	Ut 3	2345
16	7	Kaisheim	Parabraunerde	L 5 LÖ 64/62	Ut4	Ut4	234
17	18	Gülzow	Braunerde	SL 3 D 36/36	Ss	Ss	23
18	13	Grünwalde	Regosol	SI 3 AI 38/38	St2	St2	2
19	4	Forchheim	Braunerde	sL 4 Dg 26/30	SI2	St2	2
20	27	Bärenrode	Pseudogley	SL 4 V 55/44	Lu	Ls2	1
21	12	Kummerow	Braunerde	S 6 D 14/12	St2	St2	1
22	30	Iden	Gley	S 5 AI 19/22	Ss	Ss	1
23	14	Welzow Süd	Lockersyrosem	S 7 AI 13/9	SI4	Ss	1

teils erst sehr spät austrieben. Ein Erklärungsansatz besteht im hoch anstehenden Ausgangsgestein, dass die Wurzeltiefe der Bäume negativ beeinflusst. Aus weiteren Kartierungsdaten konnte diese Hypothese jedoch nicht abschließend erhärtet werden.

Ertragssteigerung

Abbildung 2.19 orientiert sich an einer Vorlage von Horn et al. (2013). Auf der Ordinate ist die relative Ertragssteigerung des dGz von der ersten zur zweiten Rotation dargestellt, von Horn et al. (2013) als Ertragssteigerungs-Faktor bezeichnet. Auf der Abszisse ist der dGz der ersten Rotation aufgetragen. Die Untersuchung von Horn et al. (2013) bezieht sich nur auf Pappel-Klone, hier sind zusätzlich die ProLoc-Weidenprüfglieder dargestellt.

In beiden Gattungen ist ein klar nonlinearer Verlauf zu erkennen, der mit einer Abnahme der relativen Steigerung mit zunehmendem dGz des ersten Umtriebs einhergeht. Für die Weiden Prüfglieder kann im Mittel eine schwächere Abnahme festgestellt werden bzw. streuen die relativen Steigerungen deutlicher. Während bei den Pappeln ab einem Wert von $4,5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ keine Ertragssteigerungen mehr über dem 2,5-fachen des Ertrages aus der ersten Rotation erreicht werden, wird diese Grenze bei den Weiden noch bei einem Wert von $7,2 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ überschritten (Prüfglied Tordis am Standort Aulendorf). Aus dem Verlauf ist für beide Gattungen abzuleiten, dass die Standorte, die im ersten Umtrieb niedrige dGz aufweisen, das höchste Steigerungspotenzial besitzen. Nichtsdestotrotz ist der Charakter der relativen Ertragssteigerung zu berücksichtigen, da ein ertragsschwacher Standort selbst bei dem vierfachen der Ausgangs-Ertragsleistung deutlich hinter den wüchsigen Flächen zurückbleibt, die eine geringere relative Steigerung besitzen. Darüber hinaus ist festzustellen, dass auf einigen Standorten eine relative Steigerung von unter 1 zu beobachten ist, sich also an einigen Standorten sowohl für Weide als auch Pappel Ertragsdepressionen eingestellt haben. Horn et al. (2013) verwenden einen nonlinearen Ansatz, um den Verlauf der relativen Steigerung modellhaft abzubilden. Die Funktion $y = a \frac{b}{x}$ wurde parametrisiert mit den Koeffizienten $a = 1,24$ und $b = 2,92$. Dieser Funktionstyp wurde für die ProLoc Daten ebenfalls getestet. Die nonlineare Regression ergab innerhalb der Pappeln für den Parameter die Koeffizienten $a = 1,92$ und $b = 2,11$. Die Parameter für Weide sind mit $a = 2,49$ und $b = 0,21$ gegeben. Die Parametrisierung für Inger und Tordis fällt jedoch vergleichsweise ungünstig aus. Ebenfalls ist anzumerken, dass die Residualstreuung ungleichmäßig erscheint und in höheren Bereichen beide Funktionen zum Überschätzen der relativen Ertragssteigerung neigen. Die Darstellung kann jedoch zur Orientierung bei Ertragserwartungen bei bestehenden Flächen angewandt werden. Die Tatsache, dass im Bereich eines niedrigen dGz in der ersten Rotation breite Schwankungen für die relative Ertragssteigerung auftreten, deutet auf den Standorteffekt hin. Zur absoluten Ertragssteigerung in Abhängigkeit der Standortparameter werden im folgenden Abschnitt Aussagen gemacht.

Modellierung

Wie eingangs erläutert, wurde zur Identifikation der ertragsbeeinflussenden Standortvariablen der

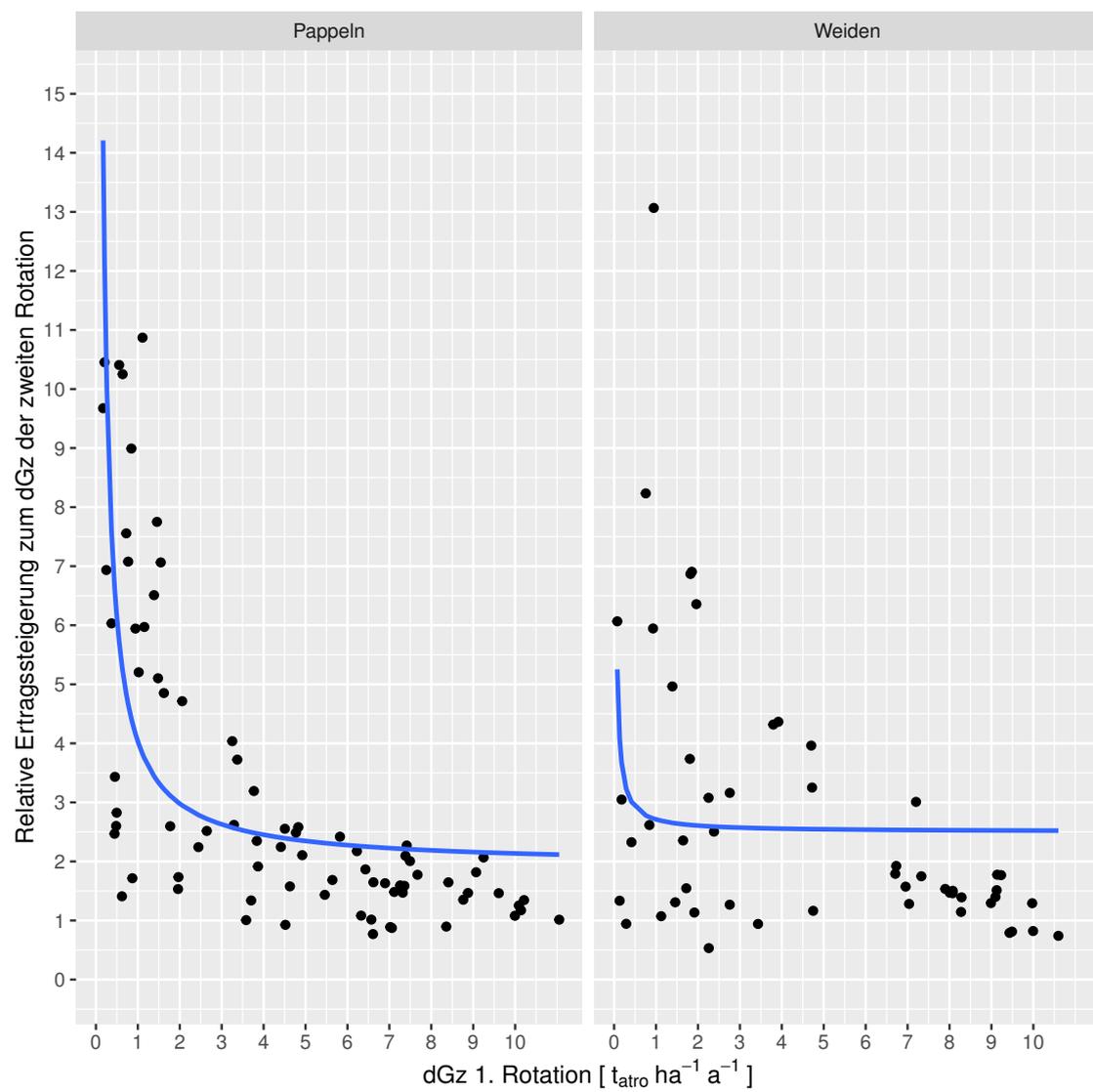


Abb. 2.19: Ertragssteigerungs-Faktor in Abhängigkeit vom dGz der ersten Rotation nach Pappeln und Weiden getrennt.

2 Ergebnisse

Ansatz der schrittweisen Variablenselektion mit einem zugrunde liegenden gemischten Modell verfolgt. Es wurden ein Startmodell mit minimaler Variablenzahl, in diesem Fall nur dem Interzept, vorgegeben. Das Ausgangsmodell wurde mit sämtlichen in 2.2 gelisteten Variablen parametrisiert, es wurde darauf geachtet, dass keine korrelierten Variablen im gleichen Durchgang getestet wurden.

Tab. 2.2: Variablen als potenzielle Prädiktoren zum Input in der multiplen linearen gemischten Regression.

Klima	Bodenphysik	Bodenchemie	Weitere
Temperatursumme	nutzbare Feldkapazität	pH-Wert	Bodenzahl
Niederschlagssumme	Luftkapazität	Stickstoffgehalt	Höhe über NN
Länge Vegetationszeit	Korngrößenverteilung (Anteile)	C/N Verhältnis	dGz der ersten Rotation
Temperaturmittel			Prüfglied

Die Klimavariablen wurden in mehreren Durchgängen in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung getestet, da sowohl Ali (2009) als auch Amthauer Gallardo (2014) signifikante Einflüsse von Niederschlags- und Temperaturvariablen im Frühsommer hervorheben. Die nutzbare Feldkapazität wurde zusätzlich nach Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe et al. (2005) in fünf Gruppen zur Einstufung der Wasserbindung von sehr gering bis sehr hoch eingeteilt. Die Variable wurde ordinal skaliert in das Modell zur Selektion gegeben. Der verwendete Datensatz für die Parametrisierung enthält nur eine Auswahl der Gesamtstandorte, in Anlehnung an Amthauer Gallardo (2014) wurden dabei die durch Beikrautauflkommen beeinträchtigen Standorte sowie Sonderstandorte ausgeschlossen. Vereinzelt ergaben sich Signifikanzen für Variablen, deren geschätzte Koeffizienten biologisch nicht sinnvoll interpretierbar waren (z.B. negatives Vorzeichen für die Luftkapazität, also Abnahme der abhängigen Variable mit Zunahme der Luftkapazität). Die Variablen wurden nach eingehender Prüfung entfernt, da es sich offensichtlich um zufällige und keine kausalen Wirkungszusammenhänge handelt. Grundsätzlich wurde zuerst ein Durchlauf der schrittweisen Regression mit allen Klone gestartet. Da sich in allen Fällen Unterschiede nach Gattung ergaben, wurde je Gattung ein einzelnes Modell parametrisiert. Alle schrittweisen Selektionen zum Ertrag der zweiten Rotation sowie der Zunahme ergaben, dass der Ertrag aus der ersten Rotation stets als hochsignifikant identifiziert wird. Die Boden- und Klimaparameter ergeben zu keinem Zeitpunkt einen zum Signifikanzniveau deutlicheren Einfluss als der Ertrag aus der vorigen Rotation. Der Koeffizient hatte je nachdem, ob der Zuwachs oder absolute dGz der zweiten Rotation verwendet wurde, ein negatives bzw. positives Vorzeichen. Letzteres deckt sich mit den bisherigen Beobachtungen, dass die Zunahme der Ertragsleistung niedriger ausfällt bei Standorten, die bereits in der ersten Rotation hohe Erträge hervorbrachten. In Betrachtung des absoluten dGz der zweiten Rotation sind die Erträge dennoch vergleichsweise hoch. Tabelle 2.3 enthält die Zusammenfassungen der Regressionsanalyse der Modelle, die im Rahmen der schrittweisen Variablenselektion als geeignet identifiziert wurden. Insgesamt haben sich aus mehreren Durchgängen vier Modelle ergeben. Zwei Modelle nach Gattungen getrennt für die Gesamtwuchsleistung als abhängige Variable und zwei Modelle für die dGz-Zunahme zwischen zweiter und erster Rotation als abhängige Variable.

Je Modell sind die unabhängigen Variablen dargestellt, die in der schrittweisen Regression nicht aus dem Modell entfernt werden konnten, ohne den AIC weiter abzusenken. Zu den jeweiligen Kovariablen sind die geschätzten Koeffizienten mit angegeben sowie der Standardfehler und der p -Wert. Die Klone gingen hier als kategorial skalierte Dummy-Variable mit ein, daher ist hier nur der p -Wert für die gesamte Variable enthalten. Die Abstufung zwischen den Faktorstufen bzw. Klonen wird weiter unten erläutert.

Tab. 2.3: Zusammenfassung der als geeignet identifizierten Modelle aus der schrittweisen Regression.

Modell-Nr.	Abhängige Variable	Gattung	Unabhängige Variablen	Koeffizient	Standardfehler	p -Wert
1	GWL	Pappel	Klon	-	-	0,01
1	GWL	Pappel	Niederschlagssumme VP	0,08	0,02	< 0,01
1	GWL	Pappel	nFK Gruppen	15,50	3,47	< 0,01
2	GWL	Weide	Niederschlagssumme VP	0,06	0,03	0,08
2	GWL	Weide	nFK Gruppen	18,03	5,14	< 0,01
3	dGz-Zunahme	Pappel	Klon	-	-	< 0,01
3	dGz-Zunahme	Pappel	dGz _{1, Rotation}	1,07	0,28	< 0,01
3	dGz-Zunahme	Pappel	dGz _{1, Rotation} ²	-0,11	0,02	< 0,01
3	dGz-Zunahme	Pappel	Bodenzahl	0,09	0,02	< 0,01
3	dGz-Zunahme	Pappel	Mittlere Temperatur VP	-1,05	0,48	0,05
4	dGz-Zunahme	Weide	Klon	-	-	0,44
4	dGz-Zunahme	Weide	dGz _{1, Rotation}	1,06	0,39	< 0,01
4	dGz-Zunahme	Weide	dGz _{1, Rotation} ²	-0,09	0,03	< 0,01
4	dGz-Zunahme	Weide	Stickstoffgehalt	21,24	7,99	0,02
4	dGz-Zunahme	Weide	Bodenzahl	0,45	0,16	0,02
4	dGz-Zunahme	Weide	Interaktion Stickstoff:Bodenzahl	-0,49	0,18	< 0,02

Für das Modell 1 Gesamtwuchsleistung in Abhängigkeit von Standortvariablen für die Pappelklone konnten Unterschiede nach Klon sowie signifikant positive Einflüsse der Niederschlagssummen über alle Vegetationsperioden sowie der gruppierten nutzbaren Feldkapazität nachgewiesen werden. Unterschiede zwischen den Klonen bestehen ebenfalls. Die Standardabweichung der Residuen liegt bei $12,46 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1}$. Zur Einschätzung der Schätzgenauigkeit ist hier die höhere Streubreite der Gesamtwuchsleistung zu beachten (Standardabweichung von $22,67 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1}$). Für die Gesamtwuchsleistung der Weiden-Prüfglieder erweisen sich nach der schrittweisen Regression die gleichen Variablen als geeignete Prädiktoren. Die Niederschlagssummen besitzen einen p -Wert über 0,05, würden bei der Entnahme aus dem Modell allerdings den AIC verschlechtern und verbleiben daher im Modell. Die nFK übt wiederum einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtwuchsleistung aus. Die Unterscheidung nach Klonen brachte in der Modellwahl keine signifikanten Unterschiede und brachte auch keine Verbesserung des AIC, daher ist die Variable hier nicht mehr enthalten. Das Modell liefert eine Standardabweichung der Residuen von $10,79 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1}$.

Aus der Verwendung der Ertragsdifferenz als abhängige Variable resultieren zwei Modelle aus der verwendeten Methodik. Für die Gattung Pappeln ergeben sich wieder Differenzen zwischen den Klonen (Variable signifikant mit $p < 0,01$). Der Einbezug des dGz und des quadrierten dGz aus der ersten Rotation liefert für beide Variablen signifikante Einflüsse (beide mit $p < 0,01$). Beide Parameter wurden hier aufgenommen, um einen nonlinearen Verlauf in den Daten approximie-

ren zu können. Da der Koeffizient für den quadrierten dGz negativ ist, ergibt sich eine Abnahme des absoluten Zuwachses mit höheren Ertragsleistungen der ersten Rotation. Die Bodenzahl übt dagegen einen signifikant positiven Einfluss auf die absolute Zunahme der Erträge im zweiten Umtrieb aus ($p < 0,01$). Für die mittlere Temperatur je Vegetationsperiode ist ein negativer Einfluss festzustellen der mit $p = 0,048$ vergleichsweise schwach signifikant ist, basierend auf dem AIC aber nicht aus dem Modell entfernt wurde. Das Modell verfügt insgesamt über eine Standardabweichung der Residuen von $2,57 t_{atro} ha^{-1}$. Für das gleiche Verfahren der Modellfindung mit den Weidenprüfgliedern ergibt sich kein signifikanter Unterschied nach Klonen ($p = 0,44$). Der Ertrag sowie der quadrierte Ertrag der ersten Rotation üben ähnlich wie bei den Pappel-Klonen einen signifikant positiven bzw. negativen Einfluss aus (beide mit $p < 0,01$). Der Stickstoffgehalt bis zur in ProLoc I beprobten Bodentiefe von 60 cm übt ebenfalls einen positiven Einfluss auf die Ertragszunahme aus ($p = 0,02$), ebenso wie die Bodenzahl ($p = 0,02$). Besonders ist hier zu beachten, dass die Interaktion aus den beiden letztgenannten Parametern einen signifikanten Einfluss ausübt. Das negative Vorzeichen des geschätzten Koeffizienten deutet hier darauf hin, dass bei niedrigen Stickstoffgehalten eine hohe Bodenzahl größere Ertragszunahmen bringt als eine niedrige. Bei einem hohen Stickstoffgehalt können dagegen niedrig bewertete Standorte höhere Ertrags-Zunahmen zwischen den Umtrieben leisten als hoch bewertete Standorte. Für Modelle der Gattung Weide ergaben sich keine Unterschiede nach Klonen, für die Pappeln dagegen konnten Unterschiede festgestellt werden. Für die Variable Ertragszunahme konnten aus den paarweisen Vergleichen, die auf dem Modell 3 beruhen, zwei Gruppen ermittelt werden, nämlich Max 1 mit Hybride 275 gegenüber dem signifikant schlechteren AF2. Zwischen Max 1 und Hybride 275 geht die Tendenz eher zu höheren Ertragssteigerungen für Hybride 275. Letzteres deckt sich mit den Beobachtungen aus den Ertragsvergleichen in Abbildung 2.16. Der Vergleich der absolut erzielten Erträge, also nicht der Zunahmen, im zweiten Umtrieb legt die überlegende Ertragskraft von Max 1 nahe. Werden paarweise Vergleiche basierend auf dem Modell 1 zur Gesamtwuchsleistung, also über beide Umtriebe, durchgeführt, bestätigt sich dieses Bild ebenfalls. AF2 und Hybride 275 bilden eine Gruppe, die signifikant schlechter als Max 1 ist. Es bleibt abzuwarten inwiefern sich diese Entwicklung fortsetzt, da in 2014 bereits deutlich geringere Anwuchsraten für AF2 nach der zweiten Ernte beobachtet wurden. Für die Weidenklone konnte im GWL Modell 2 kein Unterschied nach Klonen festgestellt werden, ebenso wie im Modell 4 für die Ertragsdifferenz. Die Tendenz deutet auf höhere Ertragssteigerungen für den Klon Tordis hin, was sich ebenfalls in Abbildung 2.16 zeigt. Eine deutliche Differenzierung der beiden Klone untereinander sollte hierauf beruhend nicht erfolgen.

2.1.2 Arbeitspaket 2a

Im Folgenden werden die Ergebnisse des AP2a vorgestellt. Wie unter 1.1.2 beschrieben, wurden 13 Versuchsflächen neu angelegt. Die Mehrzahl dieser AP2a Flächen grenzen unmittelbar an AP1 Bestände an. Mit der auf den AP2 Flächen durchgeführten Standortkartierung im Sommer 2013 konnten deshalb die Ergebnisse der Kartierung auf den AP1 Flächen validiert werden. Die zusätzlich angelegten Standorte wurden wie folgt angesprochen: Stolzenhagen als Gley-Braunerde, Hartheim als Gley und Lathen als Braunerde-Podsol. Einen Sonderfall stellt der Standort Vollenschier dar, hier ergab die Kartierung eine Substratumlagerung bis in eine Bodentiefe von 60 cm. Die Fläche liegt im Randbereich einer nahegelegenen Kiesgrube. Aus diesen anthropogenen Einflüssen resultiert eine hohe Verdichtung des Oberbodens. Zur Ermittlung der Klimadaten wurde analog zum ersten Arbeitspaket verfahren. Bei Flächen, die in unmittelbarer Nachbarschaft zu AP1 Versuchsanbauten lagen, wurden die gleichen Stationen angenommen. Für Flächen an neuen Standorten wurden die nächstgelegenen Niederschlags- und Klimamessstationen des DWD ausgewählt. Die Klimadaten sind in den Darstellungen zum AP1 enthalten.

Anwuchsraten

Für die Klone Hybride 275 und AF2 mussten in 2013 jeweils 530 Stecklinge nachgepflanzt werden. Für den Klon Max 1 wurde dies nur mit einer Anzahl von 232 Stück notwendig. Die Ausbesserungen erfolgten im Frühjahr 2013. Die Anwuchsraten zum Ende der Projektlaufzeit in 2014 sind in Abbildung 2.20 getrennt nach Klonen dargestellt.

Mit einem mittleren Wert von 82 % sind die Anwuchsraten hoch ausgefallen, was den Erfolg der Nachpflanzungen bestätigt. Zwischen den Klonen sind jedoch deutliche Abstufungen zu erkennen. Max 1 ist mit 91 % den beiden anderen Klonen überlegen. Ein Varianzanalyse mit der Arkussinus-Wurzeltransformierten Anwuchsrate als abhängige Variable und den unabhängigen Variablen Klon und Standort bestätigt signifikante Unterschiede nach Klon und Standort. Aus den paarweisen Vergleichen basierend auf diesem Modell bestätigt sich eine signifikante Überlegenheit von Max 1 gegenüber AF2 mit im Mittel 74 %. Hybride 275 liegt zwischen den beiden anderen Prüfglieder und ist mit 81 % weder von Max 1 noch Hybride 275 deutlich verschieden. Es bestätigen sich hier die Tendenzen der Anwuchsraten aus dem AP 1.

Brusthöhendurchmesser

Die Verteilung der Brusthöhendurchmesser zum Ende der dritten Vegetationsperiode nach Anlage ist in Abbildung 2.21 dargestellt.

Ähnlich wie für die Werte des dreijährigen Umtriebs ist eine rechtsschiefe Verteilung festzustellen. Die höchste Anzahl an Trieben liegt für alle drei Klone unter 25 mm, für Hybride 275 treten hier noch deutlich mehr Triebe auf als für die beiden anderen Klone. Die Verteilungen fallen um einen Wert von 25 mm für alle Klone ähnlich steil ab, streichen aber in den höheren BHD Bereich deutlich breiter aus, als dies bei den Verteilungen für die Pappeln im dreijährigen Umtrieb zu beobachten ist. Der Median für Max 1 liegt bei 32 mm, für Hybride 275 bei 26 mm und für AF2 bei

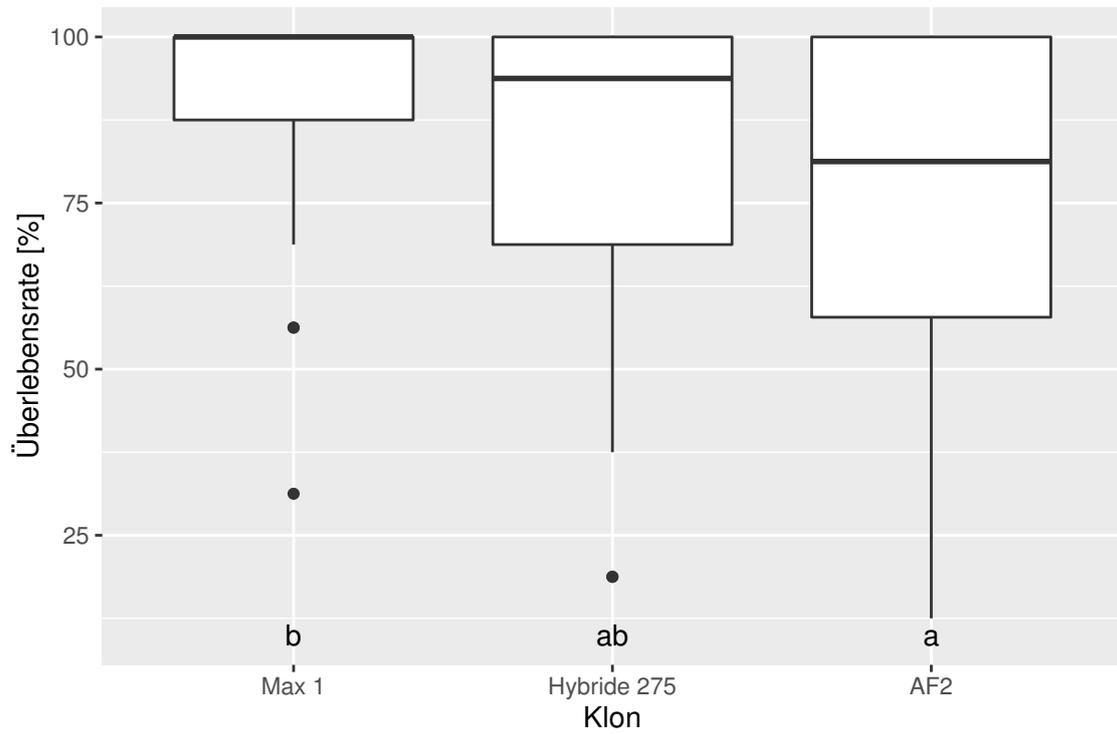


Abb. 2.20: Entwicklung der Überlebensraten je Parzelle getrennt nach Klonen in 2014.

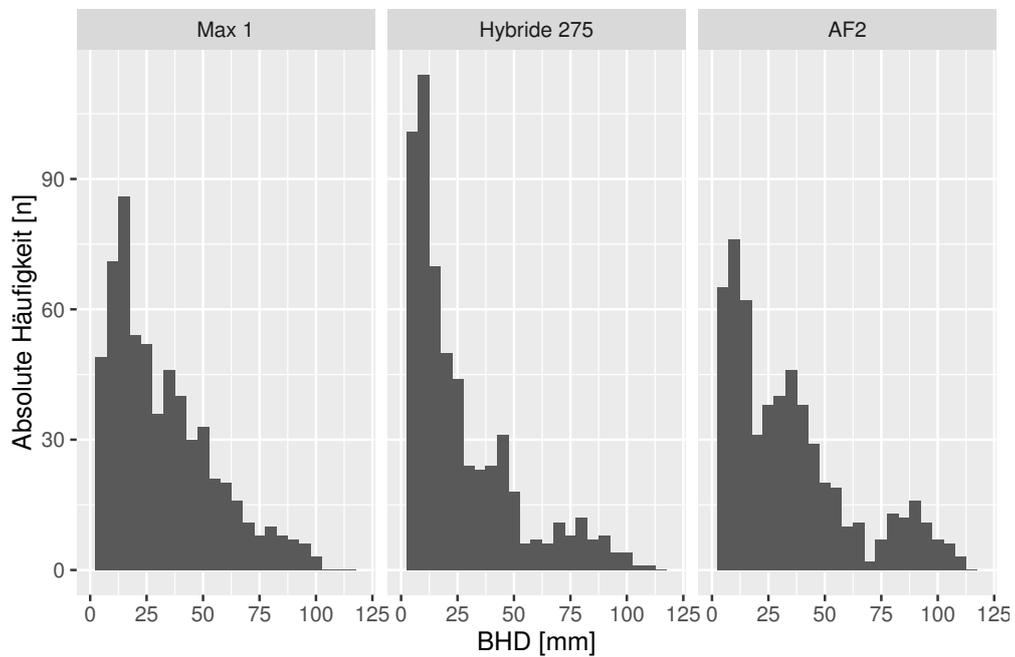


Abb. 2.21: Verteilung der BHD getrennt nach Klonen im Jahr 2013 im AP2a.

34 mm. Im Bereich um 40 mm ist bei AF2 besonders deutlich ein lokales Maximum zu beobachten. Ebenso hervorzuheben ist, dass nach drei Jahren mehr Stämme mit Stärken über 50 mm vorhanden sind, AF2 besitzt hier ebenfalls eine deutliche Ausprägung. Alle Durchmesser für alle Prüfglieder über 80 mm Stärke wurden am Standort Campus Klein-Altendorf II und Dornburg II gemessen

Bestandesmittelhöhen

Die Entwicklung der Bestandesmittelhöhen über den Versuchszeitraum wird in Abbildung 2.22 dargestellt.

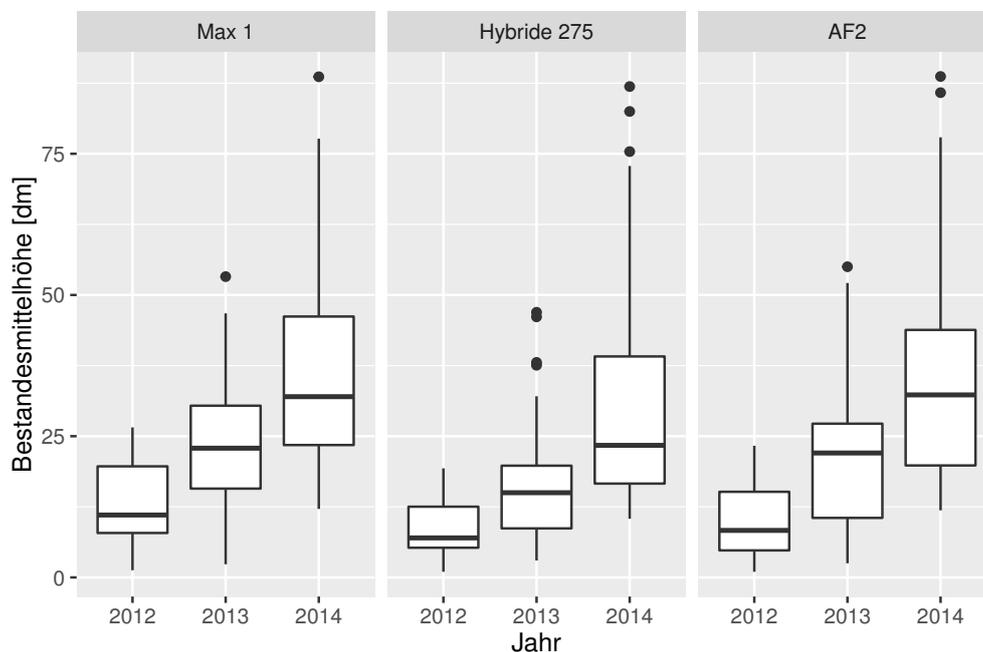


Abb. 2.22: Entwicklung der Bestandesmittelhöhen je Parzelle getrennt nach Klonen über die Versuchsjahre im AP2a.

Die Streubreite hat ähnlich der Entwicklung im dreijährigen Umtrieb von einer Standardabweichung von 6,45 dm auf 18,95 dm zugenommen. Im Gesamtdurchschnitt konnte eine Bestandesmittelhöhe von 34,15 dm erzielt werden. Max 1 liegt mit im Mittel 36,9 dm auf einem vergleichbaren Niveau mit AF2 (35,09 dm). Hybride 275 liegt mit durchschnittlich 30,52 dm darunter. Eine Varianzanalyse auf Unterschiede in der Bestandesmittelhöhe in 2014 bedingt durch Standort und Klon lieferte signifikante Unterschiede nach beiden Parametern. Darauf basierende paarweise Vergleiche ordneten die Klone Max 1 und AF2 einer Gruppe zu, die signifikant von Hybride 275 verschieden ist. Im Vergleich zu der Entwicklung der Bestandesmittelhöhen im AP1 ist hier keine deutliche Abflachung der Zuwächse festzustellen. Lediglich für AF2 scheint der Zuwachs im Mittel zwischen 2012 und 2013 höher ausgefallen zu sein als zwischen 2013 und 2014.

Grundfläche

Analog zum Verlauf der Bestandesmittelhöhen ist in Darstellung 2.23 die Entwicklung der Bestandesgrundflächen enthalten.

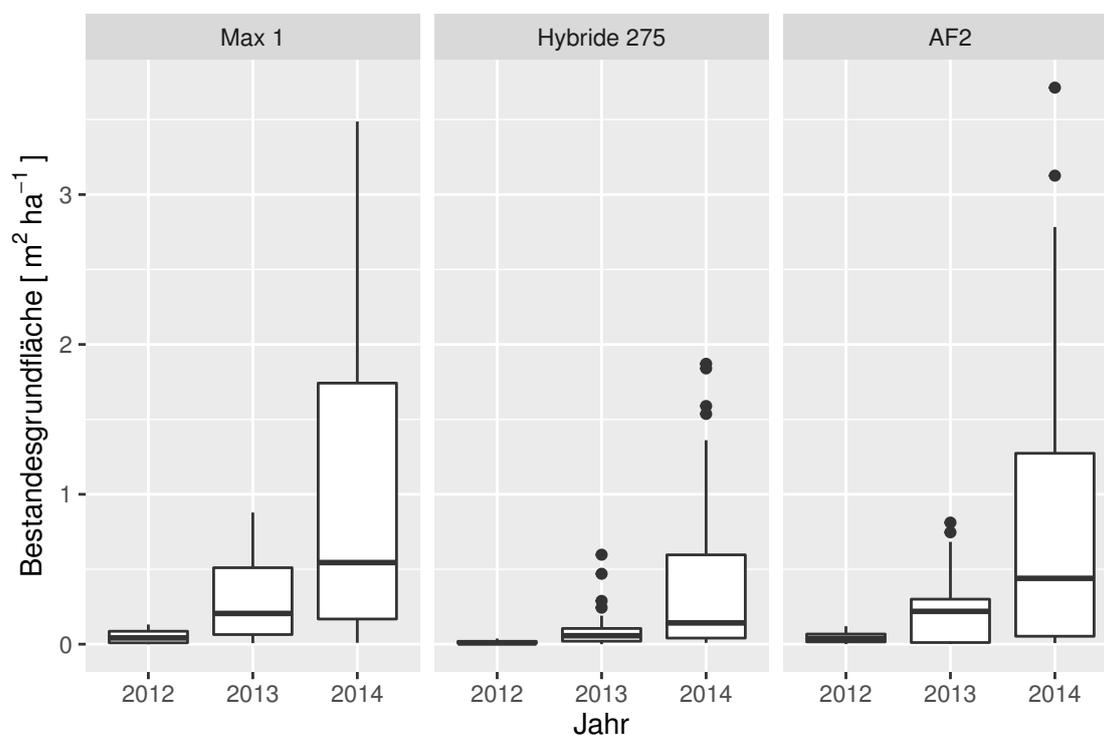


Abb. 2.23: Entwicklung der Bestandesgrundfläche je Parzelle getrennt nach Klonen über die Versuchsjahre im AP2a.

Die Entwicklung der Zuwächse fällt deutlich flacher aus, als dies bei den Bestandesmittelhöhen zu beobachten ist. Zum Teil liegt dies in den Nachpflanzungen begründet, da in diesen Fällen die Triebe erst eine Höhe von 13 dm erreicht haben müssen, um in die Grundfläche mit einzugehen. Ähnlich der Bestandesmittelhöhe hat die Streuung der Werte mit einer Standardabweichung von $0,05 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ auf $2,17 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ zugenommen. Die mittlere Grundfläche hat sich von 2012 mit $0,05 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ auf $1,34 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ gesteigert. Die mittlere Bestandesgrundfläche liegt für AF2 mit $0,69 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ am deutlich über Max 1 mit $1,39 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ und Hybride 275 mit $1,06 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Es ist hier jedoch der Einfluss der Ausreißer zu betrachten, die vom Standort Campus Klein-Altendorf II stammen. Wird der in solchen Fällen robustere Median betrachtet (wie im Boxplot dargestellt) liegen Max 1 und AF2 auf einem vergleichbaren Niveau. Die potenziell niedrigeren Werte von Hybride 275 bleiben dagegen bestehen. Die hier dargestellten Werte scheinen sich auf den ersten Blick nicht mit den dargestellten Ausfallraten zu ergänzen, da AF2 hier deutlich günstiger abschneidet. Die weitere Entwicklung wäre für eine umfassende Beurteilung bis zum Ende der geplanten Umtriebszeit abzuwarten. Teilweise existieren Parzellen, die eine niedrige Individuenzahl aufweisen, welche jedoch ihrerseits vergleichsweise hohe BHD aufweisen. Hinzu kommt, dass die Entwicklung der

Nachpflanzungen abzuwarten wäre und inwiefern besonders auf den schwächeren Standorten diese Individuen noch im weiteren Verlauf in die Grundfläche einwachsen.

Ertragsmodellierung

Zur Findung eines geeigneten Modells wurde analog zum Verfahren im AP1 vorgegangen. Als abhängige Variable kam hier die bereits besprochene Bestandesgrundfläche zum Einsatz. Die Grundfläche wurde log-transformiert, um die Grundannahmen der linearen Modellierung zu erfüllen. Es wurden wiederum Standorte mit zu starkem Beikrautdruck (Kaisheim II und Hartheim) sowie abweichender Vornutzung (Bergbaufolge Grünewalde II) nicht mit in die Auswertung aufgenommen. Alternativ wurde hier ein einfaches lineares Modell verwendet, da die Berücksichtigung von Zufallseffekten durch ein gemischtes Modell keinen Vorteil brachte, wenn beide Modelle mit gleichen festen Effekten verglichen wurden.

In Tabelle 2.4 sind die Variablen enthalten, für die ein signifikanter Einfluss auf die Bestandesgrundfläche bis zum 3. Versuchsjahr nachgewiesen werden konnte. Ebenso sind die zugehörigen geschätzten Werte der Koeffizienten, der jeweilige Standardfehler und der p -Wert mit angegeben. Es ist bei der Interpretation zu beachten, dass die Werte für die log-transformierte Bestandesgrundfläche gelten.

Tab. 2.4: Zusammenfassung des als geeignet identifizierten Modells aus der schrittweisen Regression im AP2a.

Modell-Nr.	Abhängige Variable	Unabhängige Variablen	Koeffizient	Standardfehler	p -Wert
5	log(Bestandesgrundfläche)	Klon	-	-	0,01
5	log(Bestandesgrundfläche)	Niederschlagssumme VP	0,006	0,001	< 0,01
5	log(Bestandesgrundfläche)	Schluffgehalt	0,021	0,007	< 0,01

Das in der Tabelle angegebene Modell 5 ergab sich als das aus der Variablenselektion geeignetste, um die Grundfläche zu schätzen. Da es sich um ein lineares Modell handelt, kann das Bestimmtheitsmaß zur Beurteilung der Anpassungsgüte verwendet werden. Der Wert beläuft sich für dieses Modell auf $R^2 = 0,57$. Der Standardfehler der Residuen liegt bei 1,32. Ähnlich wie für die GWL der dreijährigen Umtriebe konnte ein signifikant positiver Einfluss der Niederschlagssummen in der Vegetationsperiode nachgewiesen werden. Der Schluffgehalt in den im Rahmen der Standortkartierung untersuchten Bodenschichten bis 60 cm Tiefe übt ebenfalls einen positiven Einfluss aus. Wird statt des Schluffgehalts der Sandgehalt verwendet, kehrt sich erwartungsgemäß das Vorzeichen um und es wird ein negativer Einfluss erkennbar. Der Schluffgehalt wurde hier allerdings verwendet, da die Anpassungsgüte höher lag. Für die Variable Klon wurden basierend auf dem Modell paarweise Vergleiche der Prüfglieder untereinander durchgeführt. Der Klon Max 1 ist Hybride 275 signifikant überlegen, AF2 nimmt zwischen beiden eine Zwischenstellung ein. Dies deckt sich mit den bisherigen Beobachtungen. Es sei jedoch nochmals darauf hingewiesen, dass die Grundfläche nicht die nach Klonen verschiedene Trockensubstanzgehalte berücksichtigt. Eine Beurteilung der Klone aufgrund des Biomasseertrages könnte sich daher noch verschieben. Abschließend betrachtet liefert dieses Modell plausible Kovariablen, um

die Grundfläche zu schätzen. Die Anpassungsgüte liegt im Vergleich zu anderen Arbeiten etwas niedriger, wird aber aufgrund der betrachteten breiten standörtlichen Amplitude als akzeptabel angesehen. Darüber hinaus besitzt das Modell den Vorteil der Verwendung vergleichsweise weniger Kovariablen. Letztere üben im Modell einen biologisch sinnvoll interpretierbaren Einfluss auf die Bestandesgrundfläche aus. Der gemessen an der angestrebten Umtriebszeit relativ kurze Versuchszeitraum muss bei der Interpretation der Ergebnisse unbedingt beachtet werden und sollte zu keinen Fortschreibungen oder Extrapolationen auf die vollständige Rotationslänge verwendet werden.

2.1.3 Arbeitspaket 2b

Die Arbeiten im Bereich Bestandesdichte (AP2b) umfassten die Anlage von 3 Verbandsvergleichversuchen auf den Standorten Allendorf, Repau/Bärenrode und Calau. Unter Berücksichtigung der kurzen Beobachtungsdauer sind die erfassten Bestandeskennziffern und ersten Auswertungen deshalb als nachrichtlich einzustufen. Ersten Auswirkungen von Standraumunterschieden sind erfahrungsgemäß erst ab einem Alter von 6 Jahren zu erwarten. Da mindestens zwei der drei Verbandsvergleiche über den Zuwendungszeitraum hinaus erhalten werden, sollen weitere Untersuchungen mit Eigenmitteln der NW-FVA durchgeführt werden.

Anwuchsraten

Die Flächenanlage im AP2b war geprägt von schwierigen standörtlichen Bedingungen und ungünstigen Umwelteinflüssen, die sich im Anwuchserfolg niederschlugen. Am Standort Allendorf fielen ein niedriger Boden pH, niedrige Stickstoffwerte, hoch anstehendes Ausgangsgestein und hoher Skelettgehalt zusammen. Der Standort wurde als Ranker angesprochen. In Bärenrode stellte sich ein starker Schermausbefall ein. Auch durch Unterstützung der Abteilung Waldschutz der NW-FVA konnten die Schäden nicht eingedämmt werden, was zu hohen Verlusten besonders der Weiden führte. Abbildung 2.24 enthält die Anwuchsprozente getrennt nach Standort, Teilversuch Rotationslänge und Klon im Winter 2014 zur Ernte des Teilversuchs im dreijährigen Umtrieb.

Insgesamt wurde für die Pappeln ein Anwuchsprozent von 70 % erzielt, für die Weiden liegt der Wert etwas günstiger bei 79 %. Die Anwuchsraten am Standort Calau liegen im Vergleich zu den anderen Standorten am höchsten mit durchschnittlich 81 %. Zwischen den Teilversuchen wurde jedoch für die Pappeln im dreijährigen Modus ein höherer Anwuchserfolg realisiert. Die niedrigsten Anwuchsraten finden sich am Standort Allendorf mit durchschnittlich 63 %. Die Weiden schneiden hier im Mittel besser ab als die Pappel-Prüfglieder (Weiden: 72 %, Pappeln: 60 %). Der Anwuchserfolg auf den Standorten Repau und Bärenrode liegt insgesamt bei 75 %, die Weiden liegen wiederum im Durchschnitt etwas über den Pappeln (Weiden: 79 %, Pappeln: 73 %). Innerhalb der Pappeln schneidet der Klon Max 1 an allen Standorten mit den höchsten Anwuchsraten am günstigsten ab, der Klon AF2 liegt durchweg deutlich niedriger und bis auf am Standort Repau im Mittel unter 50 %. Eine Varianzanalyse mit der abhängigen Variable Anwuchsprozent und den unabhängigen Variablen Standort, Teilversuch und Klon liefert signifikante Unterschiede nach Standorten und Klonen, die Teilversuche sind mit einem p -Wert von 0.08 nicht signifikant. Die Ergebnisse bestätigen die Überlegenheit des Standorts Calau.

Bestandesmittelhöhen

Die Bestandesmittelhöhen nach dem dritten Versuchsjahr je Parzelle getrennt nach Pflanzverbänden und Klonen sind in Abbildung 2.25 enthalten. Im Vergleich zu den Daten aus dem Arbeitspaket AP2a wird hier bereits die standörtlich bedingte geringere Zuwachsleistung auf den AP2b Flächen deutlich. In keinem Verband konnte über alle Prüfglieder im dritten Jahr die mittlere Höhe

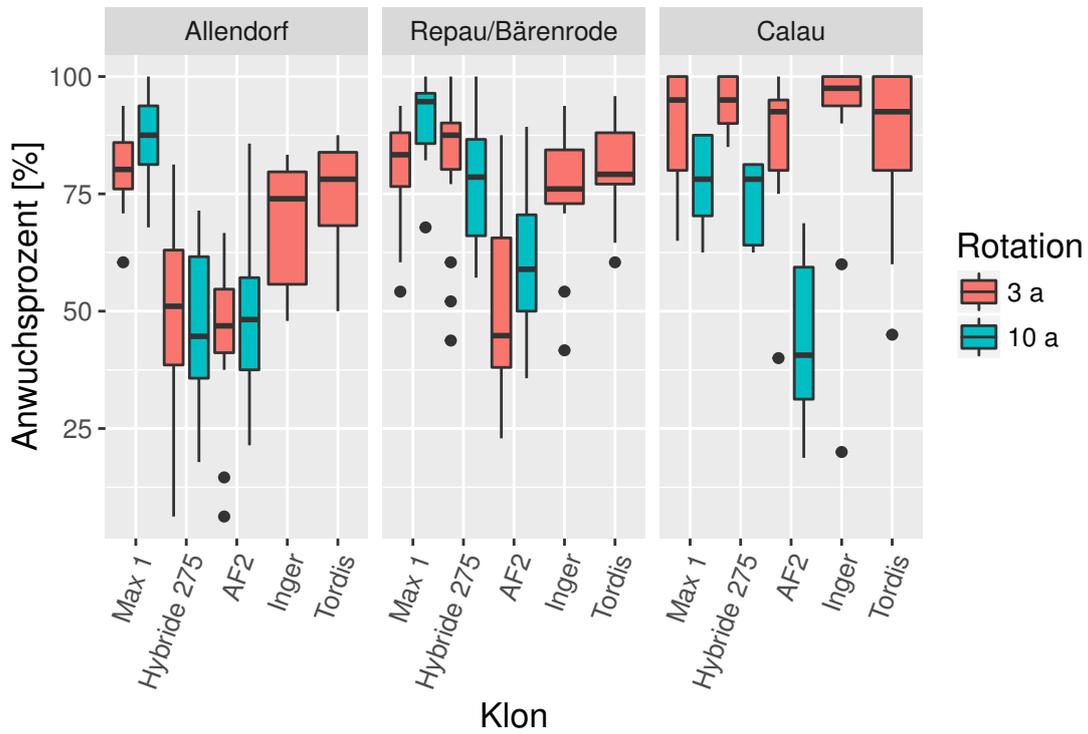


Abb. 2.24: Anwuchsprozent je Parzelle getrennt nach Pflanzverbänden und Klonen nach dem dritten Versuchsjahr.

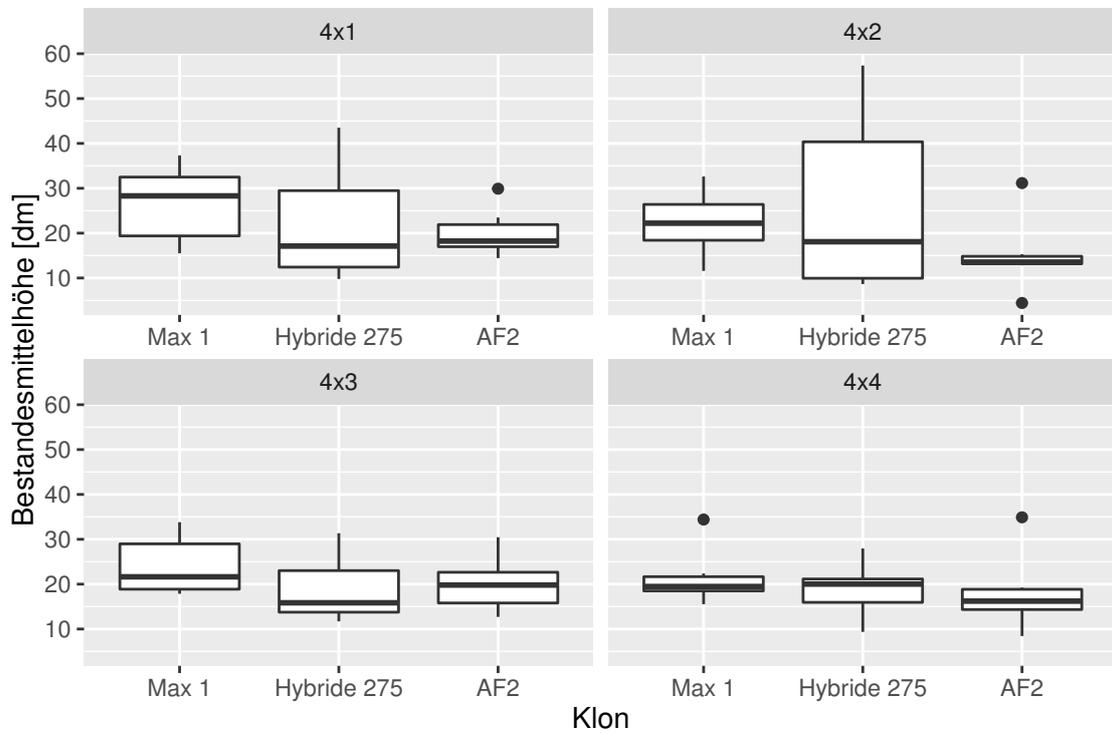


Abb. 2.25: Bestandesmittelhöhe je Parzelle getrennt nach Pflanzverbänden und Klonen nach dem dritten Versuchsjahr.

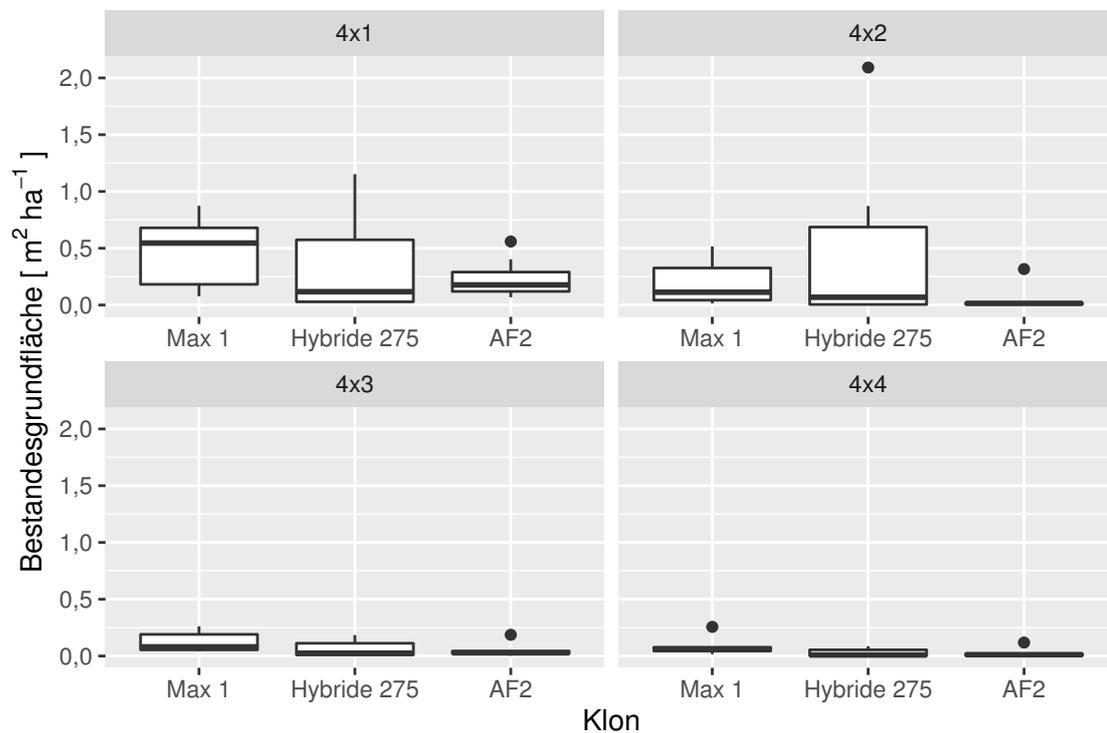


Abb. 2.26: Bestandesgrundfläche je Parzelle getrennt nach Pflanzverbänden und Klonen nach dem dritten Versuchsjahr.

von 30 dm überschritten werden (4 m x 1 m: 22,83 dm, 4 m x 2 m: 20,92 dm, 4 m x 3 m: 21,11 dm, 4 m x 4 m: 19,56 dm). In den weiteren Verbänden liegt der Klon Max 1 im Mittel vor den beiden anderen Prüfgliedern, in den engeren Verbänden liegt Hybride 275 höher. Es ist jedoch auf die teilweise deutlich zu erkennende Schiefe der Verteilungen hinzuweisen, weswegen der in den Darstellungen enthaltene Median verlässlicher zur Beurteilung scheint. Sämtliche maximalen Bestandesmittelhöhen wurden am Standort Calau erreicht: Für Hybride 275 im Verband 4 m x 1 m bei 43,52 dm und im Verband 4 m x 2 m bei 57,36 dm für Max 1. Im Verband 4 m x 3 m erzielte das Prüfglied Max 1 den höchsten Wert (33,82 dm), im Verband 4 m x 4 m das Prüfglied AF 2 (34,9 dm), wobei es sich hier offensichtlich um einen Ausreißer handelt.

Bestandesgrundflächen

Im zehnjährigen Umtrieb der Verbandsvergleiche waren keine Biomassebestimmungen vorgesehen, daher werden für diese Teilversuche die Bestandesgrundflächen betrachtet (s. Abbildung 2.26). Die Bestandesgrundflächen der Verbände im dreijährigen Umtrieb sind hier nicht dargestellt, da die Erträge der ersten Rotation für diese Versuche separat diskutiert werden. Die aufsummierten Grundflächen der Einzelbäume aus dem Parzellenkern wurden in Abhängigkeit der anvisierten Stammzahl auf den Hektar bezogen, um einen Vergleich zwischen den Verbänden zu ermöglichen.

Über die Versuche ist der geringe Trend zu erkennen, dass die Versuche mit niedrigen Pflanzdichten ebenfalls geringere Bestandesgrundflächen auf den Hektar bezogen aufweisen. In den Verbänden 4 m x 3 m und 4 m x 4 m konnte in keiner Versuchsparzelle die Grenze von 0,5 m² ha⁻¹ überschritten werden (4 m x 3 m im Mittel bei 0,08 m² ha⁻¹, 4 m x 4 m im Mittel bei 0,05 m² ha⁻¹). Im Mittel höhere Bestandesgrundflächen konnten in den engeren Verbänden erreicht werden. Der engste Pflanzverband weist durchschnittlich die höchsten Bestandesgrundflächen auf mit 0,35 m² ha⁻¹, der 4 m x 2 m Verband liegt darunter mit im Mittel 0,26 m² ha⁻¹. Während für die weiten Verbände kaum Unterschiede zwischen den Klonen auszumachen sind, deutet sich bei den beiden engeren Verbänden im geringen Maße eine Abfolge zwischen den Prüfgliedern an. Im Verband mit 1 m Abstand innerhalb der Reihen liegt der Klon Max 1 im Mittel höher (0,46 m² ha⁻¹) als Hybride 275 (im Mittel 0,36 m² ha⁻¹, Maximum für diesen Verband von 1,15 m² ha⁻¹ am Standort 203 Calau) und AF2 (0,23 m² ha⁻¹). Im Verband 4 m x 2 m verschiebt sich diese Reihenfolge: Der Klon Hybride 275 liegt im Mittel höher als die beiden anderen Prüfglieder (Max 1: 0,2 m² ha⁻¹, Hybride 275: 0,52 m² ha⁻¹, AF2: 0,06 m² ha⁻¹). Das Maximum wurde wiederum für das zweite Prüfglied am Standort Calau identifiziert (1,15 m² ha⁻¹). Auch wenn sich zwischen den Verbänden eine schwache Abstufung der Bestandesgrundfläche hin zu den geringeren Pflanzdichten darstellt, bleiben die Veränderungen marginal und liegen in einem Bereich, der keine eindeutigen Schlüsse zulässt. Die insgesamt sehr niedrigen Grundflächen liegen zum Teil darin begründet, dass im dritten Jahr einige Bäume die Grenze von 1,3 m noch nicht erreicht hatten und daher keine Grundfläche ermittelt werden konnte. Damit fällt die Summe je Parzelle geringer aus. Letzteres ist mit großer Sicherheit in der hohen Zahl an Nachpflanzungen begründet, die selbst bei Anwuchserfolg keine deutlichen Zuwächse bis 2014 mehr realisieren konnten. Das Wachstum ist an den AP2b Standorten mit sehr großer Wahrscheinlichkeit und in Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus den anderen Arbeitspaketen von den Bodeneigenschaften so stark beeinflusst, dass kein Verbandseffekt identifiziert werden kann. Ein lineares Modell mit der log-transformierten Bestandesgrundfläche als abhängige Variable und den unabhängigen Variablen Klon, Verbandsweite, Standort und deren Interaktionen für das Jahr 2014 ergab zum Signifikanzniveau von 0.05 eine schwache Überlegenheit des Standorts 203 Calau ($p = 0.04$). Die Verbandsvariable ergab im Vergleich des engsten Verbands mit dem weitesten einen p-Wert von 0.32 und damit keinen nachweisbar signifikanten Einfluss. Dass die Bestandesgrundflächen in den engeren Verbänden höher liegen, begründet sich naheliegend vor allem in der höheren Dichte, die bei der Hochrechnung auf den Hektar mit einfließt. Der kurze Beobachtungszeitraum gemessen an der Umtriebslänge ist zu bedenken. In Bezug dazu steht das Ergebnis von Hofmann (2005), dass bis zum Bestandesalter von sechs Jahren der Einfluss der Bestandesdichte auf die Durchmesserentwicklung marginal bleibt. Aus Messungen in Beständen bis zum Alter von zwölf Jahren wurde deutlich, dass sich der Einfluss erst spät bemerkbar macht und Stammzahlen um 1000 N ha⁻¹ die stärksten BHD Werte hervorbrachten.

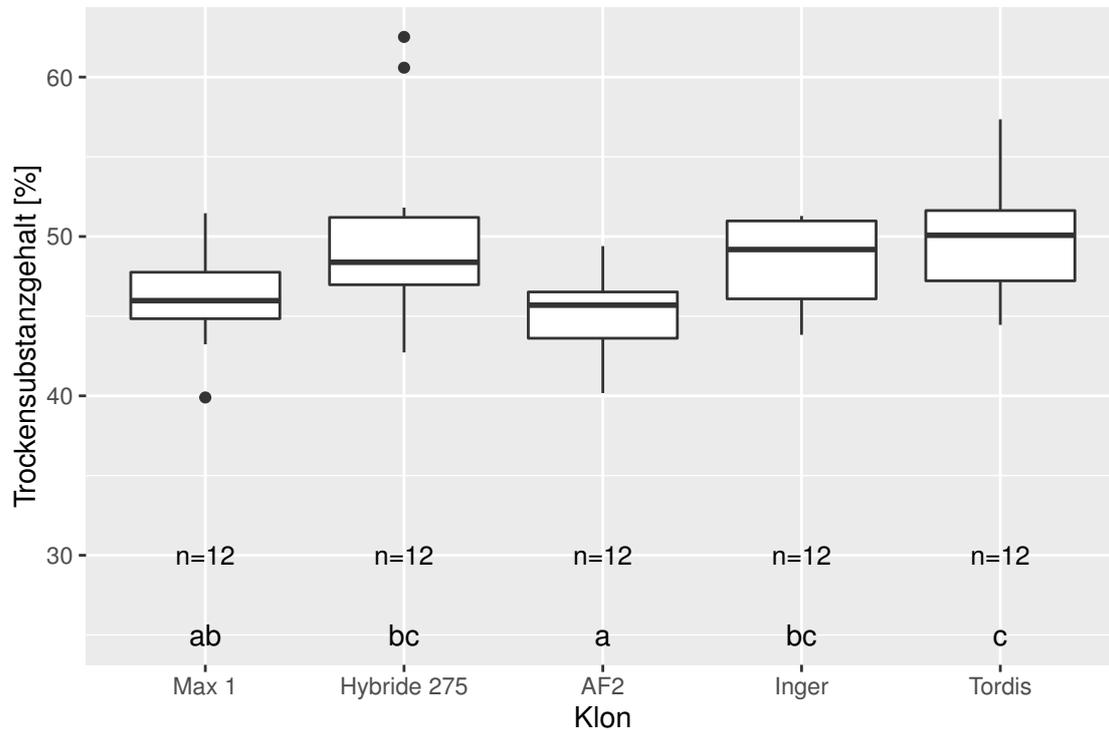


Abb. 2.27: Mittlere Trockensubstanzgehalte je Parzelle aus den Mischproben getrennt nach Prüfgliedern im Winter 2014 im AP2b.

Trockensubstanzgehalte

Zur Ernte der Verbandsvergleiche im dreijährigen Umtrieb wurden, wie unter 1.1.2 beschrieben, Masseproben zur Ermittlung des Trockensubstanzgehaltes je Standort, Verband und Klon gebildet. Die Anteile sind in Abbildung 2.27 dargestellt.

Eine Varianzanalyse mit der abhängigen Variable Trockensubstanzgehalt und den unabhängigen Variablen Standort, Verband und Klon ergab signifikante Unterschiede zwischen Standort und Klon, erwartbar nicht nach Verband. Die Ergebnisse (s. Buchstabenkennung) der paarweisen Vergleiche beruhen auf diesem Modell. Die Abstufungen erscheinen hier weniger scharf als bei den Tests der AP1 Trockensubstanzgehalte. Die Tendenzen in der Abstufung untereinander fallen aber ähnlich aus, nämlich dass die beiden Prüfglieder mit einem *Populus nigra* Kreuzungselter einen geringeren Trockensubstanzgehalt aufweisen als Hybride 275. Letzterer ähnelt den Weidenklonen, die sich wiederum von den erstgenannten Klonen unterscheiden (ausgenommen sind die geringen Ähnlichkeiten zwischen Inger und Max 1). Insgesamt liegen die Werte in einem plausiblen Bereich und decken sich mit den Ergebnissen des AP 1. Die Ausreißer über einem Anteil der Trockenmasse von über 60 % traten am Standort 201 Allendorf auf, vermutlich handelt es sich hier um geschädigte Individuen.

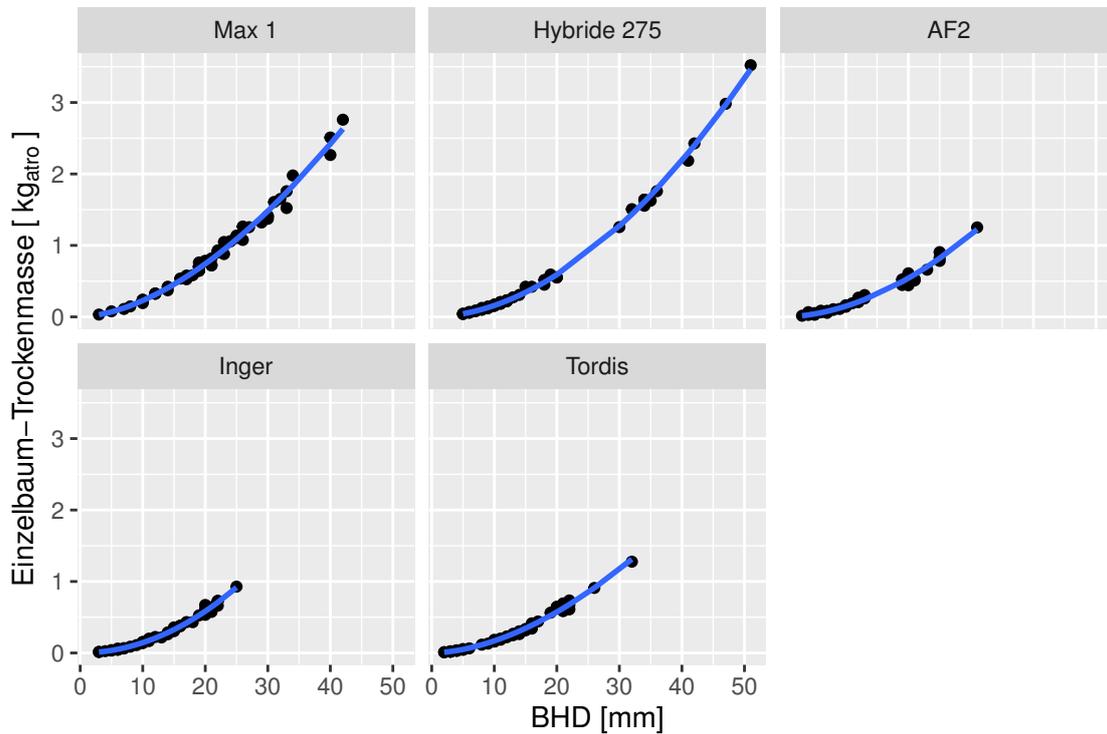


Abb. 2.28: Trockenmasse über BHD der Einzelbäume im Jahr 2014 im Verband 1.8 m x 0.5 m nach Klonen getrennt am Standort 203 Calau.

Biomassefunktionen

Ein Ziel des AP2b war es für die verschiedenen Bestandesdichten im dreijährigen Umtrieb getrennte Biomassefunktionen zu parametrisieren. Für die drei Versuchsflächen zur Ernte im Winter 2014/2015 wurden je Verbandsvergleich und je Klon die allometrische Funktion per nonlinearer Regression angepasst. Wie in den Ergebnissen zum AP1 erwähnt, hat sich dieser Ansatz nach Hartmann (2010) bewährt, zusätzlich sollen die Parameter der allometrischen Funktion auf eine mögliche Korrelation mit der Bestandesdichte getestet werden. Abbildung 2.28 enthält eine beispielhafte Darstellung der Einzelbaum-Trockenmasse über dem BHD des jeweiligen Baums. Hier ist nur eine Auswahl dargestellt, nämlich für den Standort 203 Calau im Pflanzverband 1.8 m x 0.5 m.

Die Kurven resultieren aus der Schätzung der Parameter durch die kleinste-Quadrate Methode, die Punkte stellen die tatsächlich gemessenen Werte dar, an denen die Schätzung erfolgte. Insgesamt zeigt sich hier eine sehr günstige Approximation des Zusammenhangs von Trockenmasse und Durchmesser. Mit dieser Methode konnten für 60 verschiedene Kombinationen aus Standort, Pflanzdichte und Klon Biomassefunktionen parametrisiert werden. Der Standardfehler der Residuen aller nonlinearen Regressionen liegt im Mittel bei 0,02. Die Eignung der allometrischen Funktion zur Schätzung der Trockenmasse aus dem BHD hat sich damit bestätigt.

Hartmann (2010) konnte eine Abnahme des Parameter a_0 mit zunehmender Stammzahl je Hektar

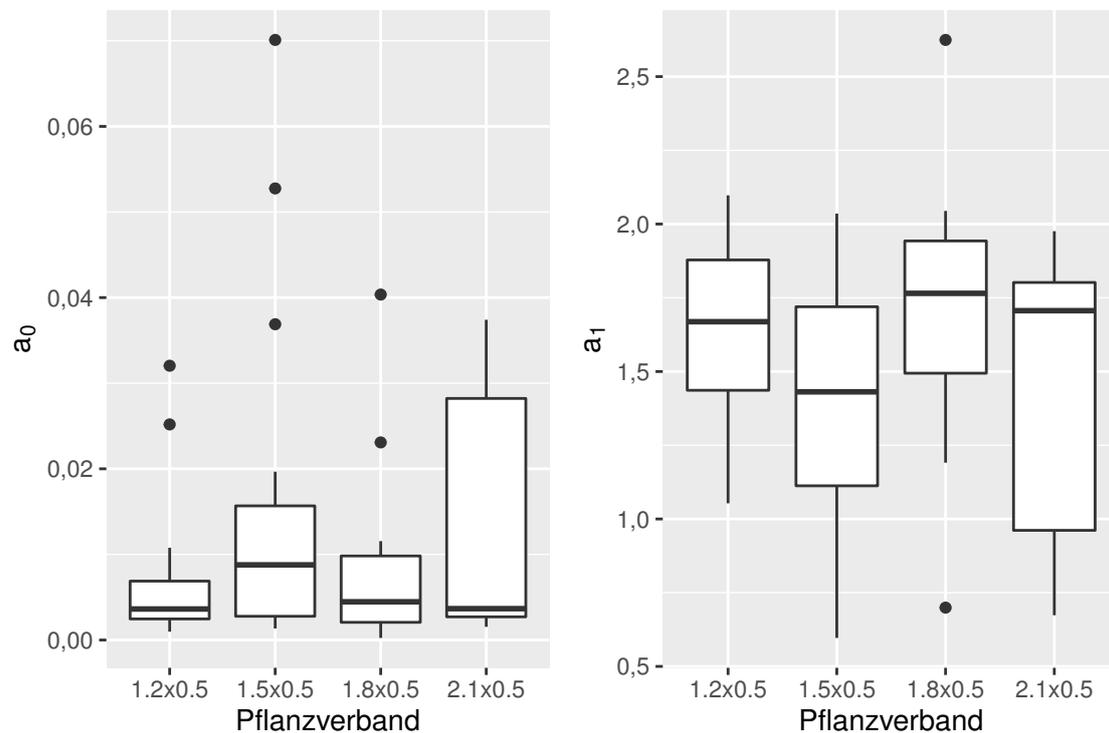


Abb. 2.29: Parameter der allometrischen Funktion nach Bestandesdichten im AP2b in 2014.

nachweisen, die sich allerdings ab einer Stammzahl über 5000 N ha^{-1} auf einem Niveau von ungefähr $0,08$ stabilisiert. Ähnliches gilt für a_1 , der über einem Wert von 5000 N ha^{-1} um $2,5$ liegt und dann ab 15000 N ha^{-1} abfällt. Der Zusammenhang der beiden Parameter mit der Bestandesdichte für die ProLoc Versuche ist in Abbildung 2.29 dargestellt.

Deutliche Trends sind zwischen den Verbandsvergleichen nicht erkennbar. Gemessen an den Ergebnissen von Hartmann (2010) liegen die Werte in einem plausiblen Bereich. Das insgesamt niedrige Niveau deutet bereits auf einen flachen Verlauf der allometrischen Funktion, also auf niedrige Trockenmassen hin. Die beiden Parameter a_0 und a_1 sind mit einem Korrelationskoeffizienten nach Pearson von $-0,86$ negativ miteinander korreliert, was sich ebenfalls mit den Ergebnissen von Hartmann (2010) deckt.

Ertragsdaten im dreijährigen Umtrieb

Abbildung 2.30 stellt den Vergleich der Ertragsdaten zur ersten Ernte auf den Verbandsvergleichen getrennt nach Klonen und Standorten dar.

Der mittlere Ertrag über alle Prüfglieder und Flächen liegt im AP2b lediglich bei $0,7 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Der Standort Calau brachte die höchsten Massen hervor mit einem dGz von $1,5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, Ailendorf mit $0,45 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und Bärenrode mit $0,36 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ lagen darunter. Der höchste dGz mit $6,51 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ wurde in Calau mit dem Prüfglied Hybride 275 erreicht. Die Pappeln erreichen höhere Erträge von im Schnitt $0,82 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ als die Weiden mit $0,5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Unter den

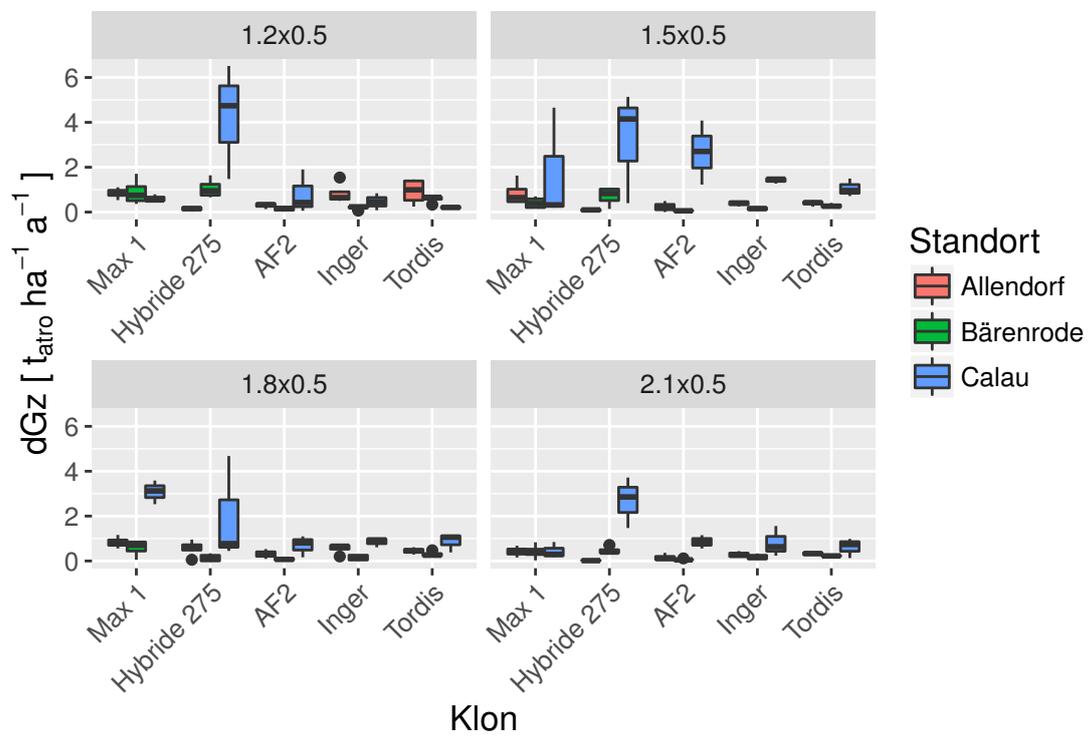


Abb. 2.30: Gegenüberstellung der Verteilung des dGz bezogen auf die erste bzw. zweite Rotation getrennt nach Klonen.

Pappeln weist das Prüfglied Hybride 275 die im Mittel höchsten Erträge ($1,14 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) gegenüber Max 1 ($0,87 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und AF2 ($0,46 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) auf. Die Weiden zeigen untereinander kaum Unterschiede (Inger: $0,49 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Tordis: $0,51 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Eine schwache Abstufung der Erträge zwischen den Bestandesdichten ist mit $0,79 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für einen Abstand zwischen den Reihen von 1,2 m, $0,81 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für 1,5 m, $0,7 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für 1,8 m und $0,49 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für 2,1 m x 0,5 m zu erkennen. Hieraus einen Trend abzuleiten wäre nicht haltbar, da ähnlich wie bei den Bestandesgrundflächen innerhalb der schwachwüchsigen Beständen keine Differenzierung durch höhere Dichten eingesetzt haben dürfte. Hier gilt lediglich, dass die engeren Verbände mehr Masse aufweisen, da hier an vergleichbar schwachen Individuen zu den anderen Verbänden, mehr Bäume auf einem Hektar aufstocken. Ein Varianzanalyse mit dem log-transformierten dGz als abhängige Variable sowie den unabhängigen Variablen Standort, Klon und Pflanzverband liefert die mit einem p -Wert von 0.01 signifikante Unterschiede nach Klon, die restlichen Parameter ergeben keinen signifikanten Einfluss (p -Wert für die Pflanzdichte von 0,59). Es wurden anschließend paarweise Vergleiche durchgeführt, die Gruppierung aus den paarweisen Vergleichen deckt sich mit den oben beschriebenen Unterschieden: Keine deutlich signifikanten Unterschiede zwischen den Weiden, Max 1 und Hybride 275 sind AF2 signifikant überlegen. Insgesamt soll hier nochmals betont werden, dass der zu ermittelnde Verbandseffekt deutlich von den standörtlichen Bedingungen und den erschwerenden Umwelteinflüssen überlagert wird. Zumindest wäre über einen längeren Versuchszeitraum zu erwarten, dass bei entsprechenden Grundflächen und Mittelhöhen die Bestandesdifferenzierung durch Konkurrenz unter den Bäumen einsetzt. Im ersten Umtrieb ist dieser Punkt in den Beständen mit Sicherheit noch nicht erreicht.

2.1.4 Zusammenfassung

Basierend auf einer Datenbasis von 27 in ProLoc I angelegten und in ProLoc II fortgeführten Versuchsflächen konnten 4 Modelle zur Ertragsschätzung parametrisiert werden. Für die fünf Prüfglieder ist dabei getrennt nach Gattung die Schätzung der Gesamtwuchsleistung nach sechs Jahren und zwei Umtrieben basierend auf den Niederschlagssummen der Vegetationsperiode und der gruppierten nutzbaren Feldkapazität möglich. Der Einfluss der Niederschlagssummen ist dabei für die Pappeln höher als für die Weiden. Mit diesen beiden Modellen kann bei gegebenen Standortbedingungen eine Ertragserwartung gebildet werden. Soll dagegen ausgehend von einem existierenden Bestand, der unter den gleichen Bedingungen wie Umtriebszeit und Bestandesdichte angelegt wurde, der Ertragszuwachs für die zweite Rotation geschätzt werden, stehen zwei weitere Modelle für Pappeln und Weiden zur Verfügung. Der Ertragsschätzung für die Pappeln liegt der dGz der ersten Rotation, sowie die Bodenzahl und mittlere Temperatur in der Vegetationsperiode zugrunde. Das Weidenmodell basiert ebenfalls auf dem Ertrag der ersten Rotation, der Bodenzahl sowie dem Stickstoffgehalt.

In Bezug auf bisherige Veröffentlichungen sind die Ergebnisse plausibel, da für einen erfolgreichen KUP Anbau Wasserangebot und Wasserspeichervermögen als die entscheidenden Einflussfaktoren gelten. Dass die Niederschlagsmengen einen größeren Einfluss auf die Ertragsbildung bei Pappeln ausüben als bei Weiden deckt sich ebenfalls mit vorhandenen Untersuchungen. Bezogen auf die Ertragsschätzung der zweiten Rotation bleibt es daher diskussionswürdig, dass sich der Niederschlag nicht als signifikant ergab. Abschließend kann dies hier nicht ergründet werden und es soll keine Empfehlung ausgesprochen werden, dass Niederschlagsmengen in der zweiten Rotation irrelevant wären. Wie bereits zur Vorstellung der Klimavariablen sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Niederschlagsverhältnisse während der zweiten Rotation weitgehend homogen waren und kein signifikanter Unterschied zwischen den Niederschlägen in der ersten und zweiten Rotation festgestellt werden konnte. Das zentrale Ergebnis der Modellierung der absoluten Zuwächse liegt vielmehr in der Abhängigkeit von den Erträgen der ersten Rotation. Maßgeblich ist ein hoher Anwuchserfolg in der ersten Rotation. Bestände, die sich einem hohen Konkurrenzdruck durch Beikrautvegetation ausgesetzt sahen, holen die Rückstände zu anderen Beständen auf vergleichbaren Standorten im zweiten Umtrieb nicht mehr ein und bleiben signifikant schlechter. Ähnliches konnte für das Prüfglied Hybride 275 aufgrund der Differenzen im Pflanzmaterial beobachtet werden. Während die Zunahmen auf einigen Standorten für diesen Klon teils deutlich waren und sich das Ertragsniveau den anderen Pappelprüfgliedern angeglichen hat, bleibt die Ertragsleistung dennoch hinter dem standörtlichen Potenzial zurück, dass bis zu diesem Zeitpunkt hätte ausgeschöpft werden können. Auf Standorten die sich potenziell höherer Trockenheit ausgesetzt sahen, konnten Weiden besser gedeihen und ihren Vorsprung im zweiten Umtrieb weiter ausbauen. Die bereits beschriebene Anbaugrenze von 30 Bodenpunkten hat sich aus den Ergebnissen verfestigt. In der Anbauplanung sollte diese Grenze zur Risikominderung berücksichtigt werden. Zu den unter AP1 bereits angesprochenen Sonderstandorten wie Marschböden können keine belastbaren Aussagen gemacht werden, da sie im Projekt nicht vor-

handen waren. Im Bereich einer Bodenzahl von 30 - 50 kann den Weiden im unteren Bereich der Bodenzahlen bei entsprechender Stickstoffversorgung der Vorrang gegeben werden, bei höheren Bodenzahlen spielt dieser Nährstoffgehalt eine geringere Rolle. Auf den Standorten mit einer Bodenzahl über 50 ist den Pappeln der Vorzug zu geben, wenn nicht mit höherer Trockenheit zu rechnen ist. Bezüglich der Bodentypen sind Parabraunerden aufgrund des potenziell besseren Wasserspeichervermögens klar zu empfehlen. Die Schwarzerden als Böden höchster landwirtschaftlicher Erträge konnten keinen Mehrertrag als die Parabraunerden aufweisen, es sei jedoch auch auf die im AP1 erwähnten Abweichungen dieser Standorte hingewiesen. Auf anderen Bodentypen sind die bereits genannten beeinflussenden Bodeneigenschaften und die Klimaverhältnisse zu prüfen und ob sich eventuell Vorteile aus externen Faktoren wie der Geländeausformung ergeben.

Es war nicht Ziel des Verbundvorhabens konkrete Sortenempfehlungen für die Prüfglieder auszusprechen, vielmehr standen hier die Kreuzungskombinationen und ihre mögliche Standortplastizität im Vordergrund. Aus den Ergebnissen lassen sich dennoch Tendenzen ableiten, die in der Anbauplanung von Bedeutung sein können. Der Klon Max 1 konnte vor allem durch den hohen Anwuchserfolg eine überlegene Position ausbauen, die sich in der ersten Rotation in höheren Erträgen äußerte und sich in die zweite Umtriebszeit fortsetzte. Auf Standorten, die nicht im Anbauoptimum liegen, wäre diesem Klon aus Sicht der Ertragsstabilität der Vorzug zu geben. Der Klon Hybride 275 kann aufgrund der genannten Schwierigkeiten bei Anlage nur eingeschränkt bewertet werden. Es wäre hier abzuwarten ob sich die hohen Zuwächse in weiteren Umtriebszeiten fortsetzen. Der Klon AF2 dagegen zeigt Anpassungsschwierigkeiten, die vermutlich vor allem auf klimatische Bedingungen zurückzuführen sind. Die Zunahme der Ausfälle wäre ein weiterer Faktor, der über einen längeren Zeitraum beobachtet werden müsste. Der einzige Standort, an dem dieser Klon seine Wüchsigkeit entfalten konnte, war Klein-Altendorf. Daher ist zu empfehlen, dass diese Sorte nur unter vergleichbaren klimatischen und bodenkundlichen, also sehr günstigen, Bedingungen angebaut werden sollte. Zwischen den Weiden ergab sich aus beiden Modellen kein signifikanter Unterschied zwischen den Klonen, sodass hier keine Rückschlüsse auf ein jeweiliges Standortoptimum gemacht werden sollten.

Die Auswertung der Bestandesdaten im AP2a lieferte ebenfalls ein Modell mit plausiblen Ergebnis. Der Einfluss der Niederschlagssummen bestätigt die Ergebnisse des AP1. Der Schluffgehalt kann als ein Indikator des Wasserhaltevermögens angesehen werden. In Anbetracht der ursprünglich geplanten Umtriebszeit wären jedoch weitere Entwicklungen abzuwarten. Wie bereits erwähnt, konnte auch bislang noch keine Abschätzung der aufstockenden Trockenmasse erfolgen. Der zweite Teil des Arbeitspaket 2 zur Prüfung des Verbandseffektes konnte innerhalb des Beobachtungszeitraumes keine deutlichen Tendenzen erkennen lassen. Ein längerer Zeitraum wäre auch hier erforderlich, um die Beeinflussung des Zuwachses durch die Bestandesdifferenzierung zu beurteilen. Der Zeitpunkt ab dem hier valide Aussagen zu treffen wäre, wurde zusätzlich durch die Schwierigkeiten in der Bestandesbegründung verzögert.

2.2 Verwertung

Das zentrale Ergebnis der Arbeitspakete 1 und 2 in ProLoc stellen die vorgestellten Modelle zur Ertragsschätzung dar. Zur Entscheidungsfindung in der Anbauberatung bieten die Ergebnisse des Projekts Möglichkeiten sowohl zur Orientierung als auch zur Prognose von Erträgen bei gegebenen Standortbedingungen. Durch die Veröffentlichung der Ergebnisse bleibt eine Förderung des standortoptimierten Feldholzanbaus zu erhoffen. Die Verbreitung soll zum Einen durch das Kooperationsnetzwerk erfolgen, da hier bereits mehrere Partner im landwirtschaftlichen Bereich fachlich tätig sind. Zum Anderen soll die Veröffentlichung in praxisrelevanten Medien die Aufmerksamkeit für die Ergebnisse erhöhen. Das Modell würde darüber hinaus maßgeblich davon profitieren, wenn entsprechende Rückmeldungen und Erfahrungen aus Anwendungsfällen kommen. Die Möglichkeiten, die sich hieraus ergeben, reichen von einer Verbesserung der Anwendbarkeit der Ergebnisse bis hin zur Validierung der bestehenden Modelle. Zu diesem Zweck steht die Projektkoordination weiter als Ansprechpartner zur Verfügung.

Um die Nutzung in der Praxis zu erleichtern, sollen die Ergebnisse in einen Wachstumssimulator überführt werden. Grundsätzlich sind die Funktionen bereits jetzt einsetzbar, erfordern dafür jedoch Kenntnisse einer Statistik-Software wie R und schränken dadurch eine benutzerfreundliche Anwendung ein. Es war ursprünglich geplant, die Ergebnisse aus ProLoc II als Ertragsmodul in ein bestehendes Programm zu integrieren. Eine vorhandene Lösung konnte aus ProLoc I leider nicht übernommen werden. Das Programmieren der Simulationssoftware soll aus diesem Grund die Ergebnisse der ersten Projektphase mit einschließen und dauert derzeit noch an. Da dies verbunden mit der Veröffentlichung der Ergebnisse in einer wissenschaftlichen Fachzeitschrift wesentliche Bestandteile der Dissertation von Herrn Stiehm sind, werden die Ansätze hier nicht abschließend dargestellt. Die Veröffentlichung erfolgt noch in 2016. Da das Programm quelloffen dokumentiert wird und frei zur Verfügung stehen soll (Open-Source Lizenzmodell), ergeben sich weitere Erfolgsaussichten der Verwertung im wissenschaftlichen und öffentlichen Bereich. Anwendungsfälle reichen von Szenarienprognosen in der Klimafolgenforschung bis hin zu Potenzialanalysen. Da das Programm in Anlehnung an bestehende Waldwachstumssimulatoren implementiert wird und dadurch über einen modularen Aufbau verfügt, können im Nachhinein weitere Modellansätze angebunden werden. Für die unmittelbar an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt ansässigen Projekte FastWood und CF-Projekt bietet sich letzteres besonders an. Aus FastWood können die Ergebnisse der bestehenden Versuchsfelder zur Validierung genutzt werden, sowie Standortleistungsmodelle für neue Sortenzüchtungen entwickelt werden. Das CF Projekt eröffnet die Möglichkeit des Verschnitts von Ertragsdaten mit im Feld erhobenen physiologischen Parametern. Erste Untersuchungen haben hier bereits bei der Messung von Stressindikatoren einen Zusammenhang zu den in ProLoc ermittelten Ertragsleistungen identifiziert. Insgesamt wäre es das Ziel, auf Dauer das Programm zu einer Plattform um den Feldholzanbau auszubauen.

Der umfangreiche Pool an in ProLoc I und II angelegten Versuchsfeldern und das etablierte Kooperationsnetzwerk waren die Basis des großen Datenfundus im Projekt. Zum Zeitpunkt der Berichtsverfassung stand bereits fest, dass die Förderung einer weiteren Projektphase in ProLoc nicht befürwortet wird. Unabhängig von dieser Entwicklung haben bereits mehrere Kooperations-

partner nach Rücksprache angekündigt ihre Versuchsflächen weiterzuführen und zu betreuen. Die zukünftige Pflege zur Forschung, als Demonstrationsfläche oder in der wirtschaftlichen Nutzung sichert damit den Erhalt eines Teils der Standorte und bietet die Möglichkeit zur Etablierung eines Langzeitversuchs. Für die AP1 Flächen wäre dies von besonderem Interesse, um die Ertragsdynamik nach weiteren Rückschnitten zu untersuchen und um zu prüfen, inwiefern sich bereits jetzt andeutende Tendenzen zwischen den Gattungen und Prüfgliedern weiterentwickeln. Für die Flächen im AP2 wäre ein fortgesetzter Beobachtungszeitraum ebenfalls von hohem Wert, da weitere Daten erhoben werden könnten, um die Ertragsentwicklung im ursprünglich geplanten Rotationsmodus zu modellieren. Aus diesem Grund soll in Zukunft von Seiten der Projektleitung der Kontakt im Kooperationsnetzwerk aufrecht erhalten werden, um weiteren Datenaustausch zu betreiben. Es wird angestrebt im kommenden Winterhalbjahr zusätzliche Messungen durchzuführen. Die Methodik könnte aufgrund der bisherigen Erkenntnisse angepasst werden, um den Aufnahme- und Kostenaufwand zu reduzieren. Der Zeitpunkt zum Jahreswechsel 2016 zu 2017 bietet sich insofern für beide Arbeitspakete an, da die Flächen im dreijährigen Rotationsmodus das Ende des dritten Umtriebes erreichen und die Flächen des AP2 nach fünf Jahren die Hälfte ihrer geplanten Umtriebszeit erreicht hätten. Einzelne Beprobungen auf den AP2 Flächen könnten eine Abschätzung der Biomasseleistung ermöglichen und die Aussagen zur Ertragserwartung weiter konkretisieren.

2.3 Erkenntnisse von Dritten

Generell ist anzumerken, dass Veröffentlichungen zur Thematik der Ertragsleistung im Vergleich zum ProLoc Projekt nicht über das umfassende Netzwerk an Versuchsflächen verfügen. Die Datenbasis ist dadurch oft wesentlich kleiner und die Anlagbedingungen sind nicht zwingend homogen. In den Zeitraum der Projektlaufzeit fiel die Veröffentlichung der Dissertation von Amthauer Gallardo (2014). Im Rahmen der Arbeit wurden weitestgehend die Ziele der ersten Projektlaufzeit in ProLoc bearbeitet. Die Ergebnisse der Projektphase ProLoc I wurden für die Entwicklung von Funktionen zur Ertragsprognose bei gegebenen Standortparametern genutzt. Mehrere Parameter wie z.B. Anwuchsrate, Bestandesmittelhöhe, mittlerer Brusthöhendurchmesser und durchschnittlicher Gesamtwuchs wurden auf ihre mögliche Beeinflussung durch standörtliche Eigenschaften untersucht. Von den 33 zu Ende der Projektphase I noch betreuten Versuchsflächen sind 20 ausgewählt worden, deren Daten nach der dritten Vegetationsperiode in die Modellierung eingeflossen sind. Als Gründe für einen Ausschluss werden eine abweichende Vornutzung, organische Böden, sehr niedriger Boden-pH, starkes Beikrautauflkommen und verspätete Anlage bzw. Neuanlage genannt (Amthauer Gallardo, 2014). Die 20 Standorte wurden nach ihrer Hauptbodenart in drei Cluster aufgeteilt. Für die Cluster ergibt sich eine unterschiedliche Anzahl an Standorten, zusätzlich sind aufgrund flächiger Nachbesserungen einzelner Klone, nicht alle Prüfglieder zu gleichen Anzahlen in den Clustern vertreten. Die Modellierung erfolgte für alle Prüfglieder insgesamt und nach Clustern getrennt. Die Clusterung verbesserte die Resultate der Regression grundsätzlich und es wurden nach Cluster für die Klone verschiedene Funktionen zur Schätzung der Erträge aufgestellt (Amthauer Gallardo, 2014). Regressoren sind dabei meist aggregierte Variablen aus bodenkundlichen und klimatischen Parametern (meist Feldkapazität, Sand oder Schluffanteil und Temperatur oder Niederschlag im Frühjahr bis Sommer). Die erzielten Ergebnisse decken sich weitgehend mit den Angaben aus der Literatur. Für eine Ertragsentwicklung in späteren Umtriebszeiten wird eine Fortschreibung/Schätzung vorgenommen (Amthauer Gallardo, 2014). Vom ersten zum zweiten Umtrieb werden die Ertragssteigerungsfaktoren von Horn et al. (2013) herangezogen, für spätere Umtriebszeiten wird eine Ertragsfunktion basierend auf den Daten von Biertümpfel et al. (2009) und Biertümpfel et al. (2012) angepasst. Es handelt sich um die Messdaten von drei Langzeitversuchen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) in Dornburg, die mit vergleichbaren Eigenschaften wie Rotationsmodus, Pflanzdichte und Sortenwahl (nur für Pappel) angelegt bzw. bewirtschaftet wurden. Die Funktionen von Amthauer Gallardo (2014) sind bisher nicht zusammenhängend in eine Software integriert worden. Für die Entwicklung der Erträge im ersten Umtrieb liefert die Arbeit von Amthauer Gallardo (2014) plausible Ergebnisse. Die belastbare Schätzung von Erträgen in späteren Umtriebszeiten konnte jedoch erst in ProLoc II mit der vorliegenden Datenbasis erfolgen.

Eine rezente Veröffentlichung zur Einbindung von KUP-Ertragsmodellen in Wachstumssimulatoren besteht durch De Groote et al. (2015). Für ein bestehendes Boden/Umwelt Modell wurde eine Erweiterung geschrieben, die auf Bestandesebene die Biomasseleistung und Kohlenstoff- sowie Energieströme einer KUP simulieren soll. Das Modell wurde an den Daten zweier Versuchsflä-

chen in Belgien parametrisiert, eine Validierung erfolgte an öffentlich verfügbaren Datensätzen über Europa verteilter Versuchs- und Praxisflächen (Njakou Djomo et al., 2015). Die Schätzungsgüte des Modells wird von den Autoren als gut eingeschätzt. Für einen praxisnahen Einsatz in der Bundesrepublik scheidet das Modell aus den Gründen aus, da der Fokus des Modells wissenschaftlicher Natur ist und die Dokumentation nur in englischer Sprache vorliegt, sowie eine Parametrisierung nicht explizit für Wuchsbedingungen in Deutschland stattgefunden hat.

2.4 Veröffentlichungen

2.4.1 Erfolgte Veröffentlichungen

- HOFMANN, M. (2015, März). Experiences with poplar afforestation. Vortrag: German - Chinese Forestry Workshop: - Silvicultural Strategies in Close-To-Nature Forest Plantations, Hamburg. <http://www.ti.bund.de/en/wf/news-and-service/news/detail/News/deutsch-chinesischer-wissenschaftsworkshop-2/>
- HOFMANN, M., SCHMIDT, C., STIEHM, C., & JANSSEN, A. (2013). Landnutzungsänderungen von traditionellen Fruchtfolgen zu Pappel- und Weiden-KUP, welche Standorte sind geeignet? - Ausgewählte Ergebnisse aus dem ProLoc-Verbund. (Bd. 43). Vortrag: Internationaler Kongress Agrarholz 2013, Berlin.
- HOFMANN, M., & STIEHM, C. (2014a). Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide - Ergebnisse aus dem Verbundvorhaben ProLoc nach zwei Umtriebszeiten. Vortrag: Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Dresden.
- HOFMANN, M., & STIEHM, C. (2014b, September). Klon Standort Wechselwirkung bei Pappel und Weide - Ergebnisse aus dem Verbundvorhaben ProLoc. Vortrag: Ackerholz im Kurzumtrieb, Simmern / Ohlweiler.
- SCHMIDT, C. (2014, Januar). The economics of Short Rotation Coppice in agroforestry systems and small sliver surfaces in urban areas. Vortrag: Central European Biomass Conference, Graz.
- STIEHM, C. (2013, September). Interconnection of an empirical and a structural model for young poplar. Vortrag: International Summer School - Modelling of Ecosystems by Tools from Computer Science, Prag.
- STIEHM, C., Hofmann, M., & Janßen, A. (2014a, Oktober). Verbundvorhaben ProLoc Projektphase II - Ergebnisse zur Modellierung der Klon-Standort-Wechselwirkung bei Pappel und Weide nach zwei Umtriebszeiten. Posterbeitrag: FNR Kongress „Mit Pflanzenzüchtung zum Erfolg“, Berlin.
- STIEHM, C., HOFMANN, M., & JANSSEN, A. (2014b, Dezember). Verbundvorhaben ProLoc Projektphase II - Erfassung von Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Wei-

de auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten. Posterbeitrag: 4. Forum Agroforstsysteme, Dornburg.

- STIEHM, C., HOFMANN, M., & JANSSEN, A. (2015, Mai). Verbundvorhaben ProLoc und FastWood: Forschungsprojekte zum Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Vortrag: Forum: Energieholz vom Acker – Verwertungswege und Fördermöglichkeiten, Hannover.
- STIEHM, C., HOFMANN, M., JANSSEN, A., KURTH, W., & NAGEL, J. (2014a, Juli). Joint Research Project ProLoc – Implementing a model for clone-site interaction of poplar and willow in short rotation coppice on a supraregional scale. Posterbeitrag: 6th International Poplar Symposium, Vancouver, BC.
- STIEHM, C., HOFMANN, M., JANSSEN, A., NAGEL, J., & KURTH, W. (2014b, September). Entwicklung eines Struktur-Modells für verschiedene Sorten junger Pappeln (*Populus* sp.) in Kurzumtriebsplantagen. Vortrag: Forstwissenschaftliche Tagung 2014, Dresden-Tharandt.
- STIEHM, C., VITALI, V., SCHMIDT, C., HOFMANN, M., & JANSSEN, A. (2013, November). Joint Research Project ProLoc – Assessment of Clone – Site Interaction of Poplar and Willow in Short Rotation Coppice on Agricultural Sites. Posterbeitrag: Probiopa Conference – Integrating biological, environmental and technical aspects for sustainable biomass production with fast growing tree species, Freising.

2.4.2 Geplante Veröffentlichungen

Folgender Vortrag wurde eingereicht und bereits angenommen.

- STIEHM, C., HOFMANN, M., GROTEHUSMANN, H., NAGEL, J., KURTH, W. & JANSSEN, A., (2016) Modellierung zur Standortleistungsschätzung bewährter Sorten und Ertragspotenziale neuer Züchtungen in Kurzumtriebsplantagen – Ergebnisse aus den Verbundprojekten ProLoc und FastWood. Vortrag: Forstwissenschaftliche Tagung 2016, 26. bis 29. September 2016, Freiburg im Breisgau.

Folgender Vortrag wurde eingereicht und steht zur Annahme noch aus:

- STIEHM, C., HOFMANN, M., & JANSSEN, A., (2016) Results from six years of the Joint Research Project ProLoc - Clone-Site Interaction and Yield Dynamics after two Rotation Cycles. Vortrag: International Poplar Commission (IPC) 25th Session, 13. bis 16. September 2016, Berlin.

Zur Veröffentlichung des Simulators ist eine weitere Publikation in einer wissenschaftlichen Fachzeitschrift vorgesehen. Darüber hinaus soll eine weitere Veröffentlichungen in einer Zeitschrift mit größerem Praxisbezug und hohem Verbreitungspotenzial unter Landwirten und potenziellen KUP-Anbauern erfolgen.

Danksagung

In den Jahren 2008 bis 2015 wurden im Verbundvorhaben ProLoc unterschiedliche Aspekte der Klon Standort - Wechselwirkung bei Pappel und Weide untersucht. Insgesamt 24 Institutionen und Einzelbetriebe aus Landwirtschaft und Forstwirtschaft betreuten zeitweise 35 über ganz Deutschland verteilte Versuchsstandorte nach einheitlichen Vorgaben. Nur durch die partnerschaftliche Zusammenarbeit aller Beteiligten war dies möglich. So wurden die nach oft engagierten Diskussionen vereinbarten Maßnahmen vor Ort immer mit Blick auf den Erfolg des Gesamtvorhabens umgesetzt. Allen an diesem Werk Beteiligten gilt deshalb unser großer Dank.

Zu besonderem Dank verpflichtet sind wir dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft für die finanzielle Unterstützung und dessen Projektträger Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) für die professionelle Projektabwicklung.

In einer schwierigen Phase des Projektes hat Dr. Schütte Weichenstellungen vorgenommen, durch die am Ende der 7-jährigen Projektlaufzeit ein belastbarer Datensatz zur Klon – Standort Wechselwirkung bei Pappeln und Weiden vorliegt, der für eine verlässliche Prognostizierung des zu erwartenden Naturalertrages geeignet ist, und der über die Projektlaufzeit hinaus noch weiter von Nutzen sein kann.

3 Anhang

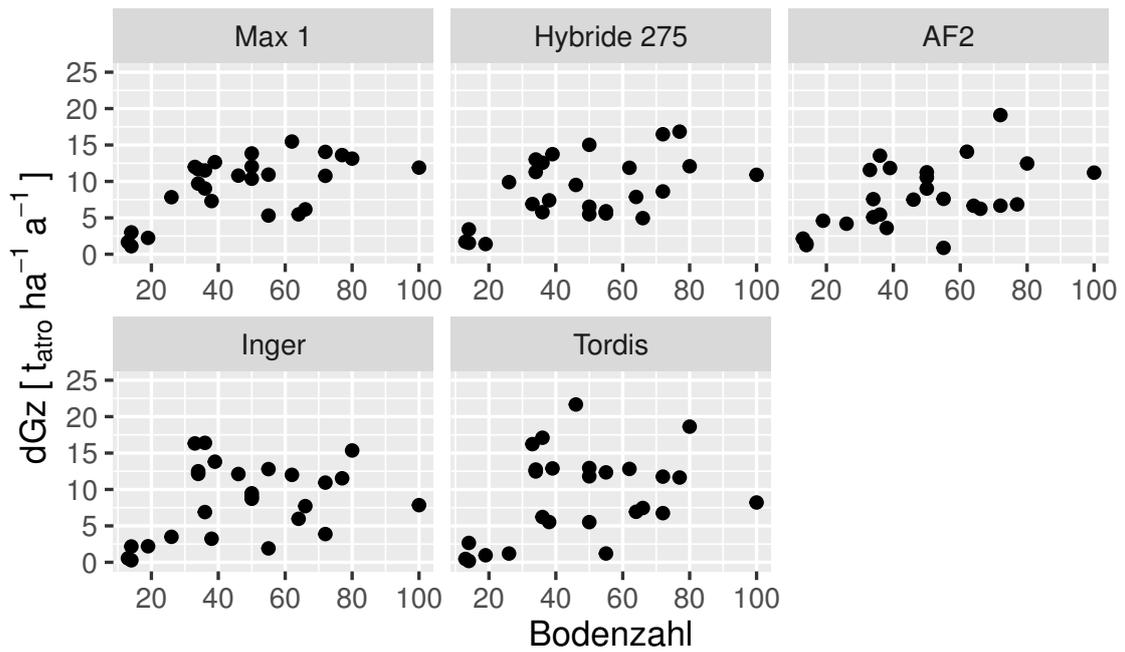


Abb. 3.1: Erträge als dGZ der zweiten Rotation über der Bodenzahl nach Klonen getrennt

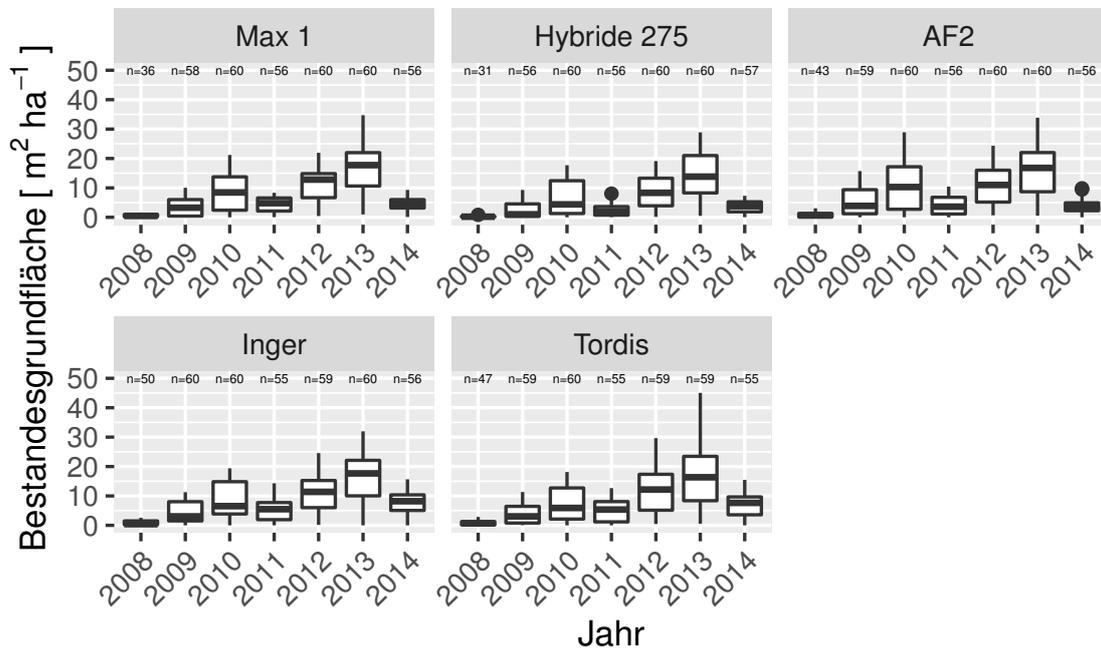


Abb. 3.2: Entwicklung der Bestandesgrundfläche je Parzelle getrennt nach Klonen über die Versuchsjahre für die Standorte an denen durchgängig Messungen durchgeführt wurden (n = 18)

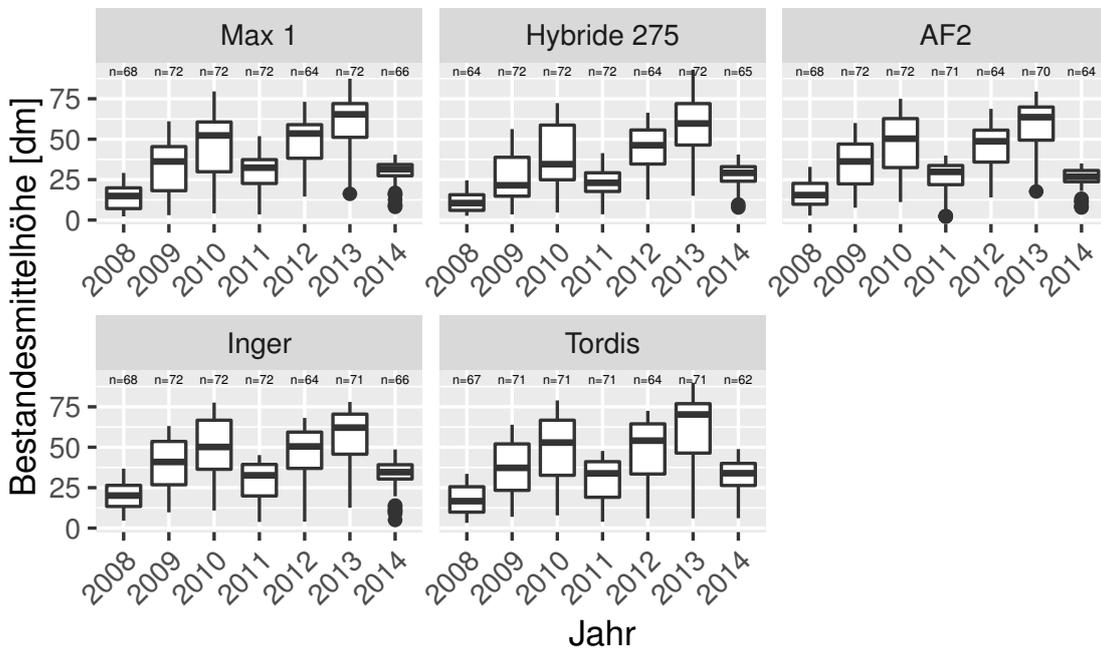


Abb. 3.3: Entwicklung der Bestandesmittelhöhe je Parzelle getrennt nach Klonen über die Versuchsjahre für die Standorte an denen durchgängig Messungen durchgeführt wurden (n = 18)

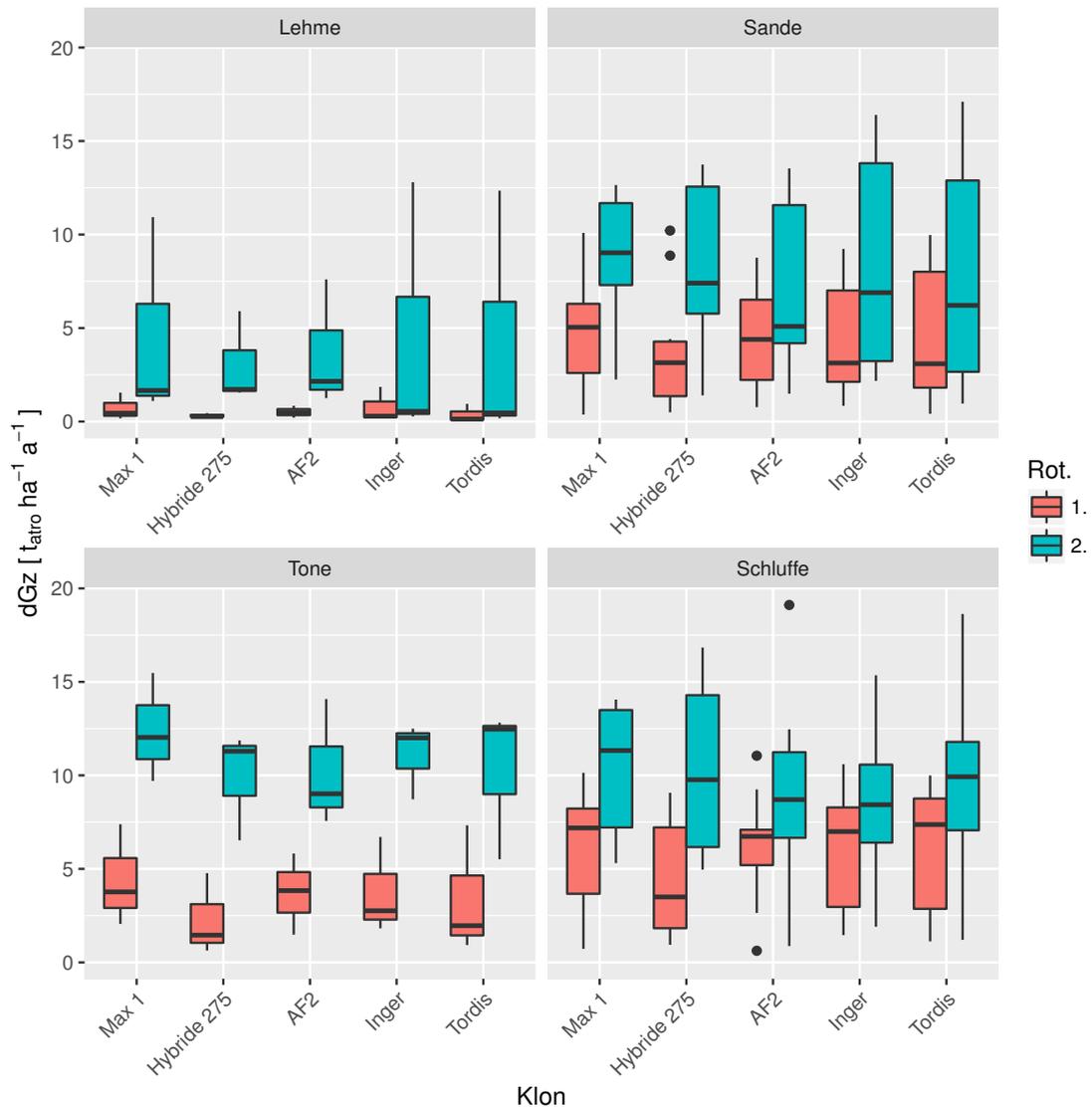


Abb. 3.4: Erträge als dGz für beide Rotationen nach Hauptbodenartgruppen getrennt.

Tab. 3.1: Erträge als dGz in $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für die erste ('10) und zweite ('13) Rotation der fünf Prüfglieder in ProLoc.

VFL-Nr.	Max 1 '10	Max 1 '13	Hyb. 275 '10	Hyb. 275 '13	AF2 '10	AF2 '13	Inger '10	Inger '13	Tordis '10	Tordis '13
1	7.67	13.61	7.42	16.84	6.33	6.85	8.29	11.53	8.99	11.64
2	7.32	10.76	3.29	8.63	6.57	6.67	1.65	3.88	1.98	6.75
3	10.00	10.80	5.64	9.51	8.36	7.50	7.90	12.12	7.20	21.67
4	5.46	7.83	4.41	9.90	4.52	4.19	2.76	3.50	2.26	1.20
6	3.77	12.03	0.64	6.53	3.84	9.01	2.76	8.72	0.93	5.52
7	0.72	5.47	1.62	7.87	2.65	6.66	2.38	5.97	2.25	6.93
8	0.44	1.10	0.45	1.56	0.48	1.25	0.29	0.27	0.13	0.18
9	5.89	-	2.92	-	4.27	-	2.83	-	2.08	-
12	1.96	3.00	1.97	3.42	0.87	1.49	1.91	2.17	1.72	2.66
13	4.63	7.30	3.87	7.40	3.58	3.61	3.43	3.23	4.75	5.53
14	0.17	1.66	0.25	1.72	0.21	2.15	0.18	0.54	0.08	0.46
15	4.51	11.51	3.37	12.56	6.23	13.53	3.80	16.40	3.92	17.10
16	3.25	13.13	1.11	12.08	4.83	12.46	4.72	15.35	4.70	18.63
17	10.09	12.65	10.21	13.74	8.76	11.84	9.13	13.81	9.97	12.89
18	1.39	9.03	0.55	5.77	0.77	5.45	1.39	6.89	0.75	6.21
19	6.43	11.99	1.15	6.89	7.26	11.57	9.23	16.32	9.14	16.23
20	2.06	9.70	1.46	11.29	1.48	7.56	1.82	12.50	1.96	12.47
24	7.06	6.17	3.70	4.96	7.02	6.24	9.49	7.71	9.43	7.46
25	9.61	14.05	9.07	16.48	9.25	19.11	6.95	10.94	8.01	11.76
27	1.02	5.31	0.94	5.60	0.62	0.87	1.46	1.91	1.12	1.20
28	10.14	11.89	8.06	10.91	11.05	11.21	10.60	7.85	9.99	8.21
29	8.41	13.84	7.49	15.02	6.90	11.25	8.28	9.47	8.08	11.80
30	0.37	2.25	0.50	1.40	1.77	4.60	0.84	2.20	0.41	0.96
31	7.36	11.68	8.88	13.01	6.61	5.09	8.08	12.14	9.10	12.73
35	1.55	10.93	0.26	5.90	0.85	7.60	1.85	12.80	0.94	12.35
36	4.92	10.36	2.45	5.48	7.12	10.56	7.04	9.01	6.73	12.95
37	7.39	15.47	4.77	11.87	5.82	14.08	6.71	12.01	7.33	12.82

Literaturverzeichnis

- [Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe et al. 2005] AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN DER STAATLICHEN GEOLOGISCHEN DIENSTE UND DER BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (Hrsg.) ; ROHSTOFFE, Bundesanstalt für Geowissenschaften u. (Hrsg.) ; SPONAGEL, Herbert (Hrsg.): *Bodenkundliche Kartieranleitung: mit 103 Tabellen und 31 Listen.* 5., verb. und erw. Aufl. Stuttgart : Schweizerbart, 2005. – ISBN 3–510–95920–5 3–510–95920–5 978–3–510–95920–4
- [Akaike 1974] AKAIKE, H.: A new look at the statistical model identification. In: *IEEE Transactions on Automatic Control* 19 (1974), Dezember, Nr. 6, 716–723. <http://dx.doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>. – DOI 10.1109/TAC.1974.1100705. – ISSN 0018–9286
- [Albert u. Schmidt 2012] ALBERT, Matthias ; SCHMIDT, Matthias: Standort-Leistungs-Modelle für die Entwicklung von waldbaulichen Anpassungsstrategien unter Klimawandel. In: *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie* 46 (2012), Nr. 2, 57–71. http://www.nw-fva.de/fileadmin/user_upload/Verwaltung/Publikationen/2012/Albert_Schmidt_Standort_Leistung_Klima_AFL_2012_2.pdf
- [Ali 2009] ALI, Wael: *Modelling of Biomass Production Potential of Poplar in Short Rotation Plantations on Agricultural Lands of Saxony, Germany.* Dresden, Technische Universität, Diss., 2009
- [Amthauer Gallardo 2014] AMTHAUER GALLARDO, Daniel: *Standortbasierte Ertragsmodellierung von Pappel- und Weidenklonen in Kurzumtriebsplantagen.* Dresden, Technische Universität, Diss., Mai 2014. [http://www.qucosa.de/recherche/frontdoor/?tx_slubopus4frontend\[id\]=14467](http://www.qucosa.de/recherche/frontdoor/?tx_slubopus4frontend[id]=14467)
- [Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung u. Arbeitskreis für Standortskartierung 2003] ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG ; ARBEITSKREIS FÜR STANDORTSKARTIERUNG: *Forstliche Standortsaufnahme: Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen.* Eching bei München : IHW-Verl., 2003. – ISBN 3–930167–55–7 978–3–930167–55–5
- [Aust 2012] AUST, Cisco: *Abschätzung der nationalen und regionalen Biomassepotentiale von Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland.* Freiburg im Breisgau, Albert-Ludwigs-Universität, Diss., Februar 2012
- [Aylott et al. 2008] AYLOTT, Matthew J. ; CASELLA, E. ; TUBBY, I. ; STREET, N. R. ; SMITH, P. ; TAYLOR, Gail: Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-rotation coppice in

- the UK. In: *New Phytologist* 178 (2008), April, Nr. 2, 358–370. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02396.x>. – DOI 10.1111/j.1469-8137.2008.02396.x. – ISSN 1469-8137
- [Baumgärtel et al. 1999] BAUMGÄRTEL, G. ; FRÜCHTENICHT, K. ; HEGE, U. ; HEYN, J. ; ORLOVIUS, K. ; VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA) (Hrsg.): *Kalium-Düngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf Richtwerte für die Gehaltsklasse C*. <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/0-8-kalium.pdf>. Version: September 1999
- [von Behr et al. 2012] BEHR, Wilken von ; BEMMANN, Albrecht ; MICHALK, Kathleen ; DLG E. V. (Hrsg.): *DLG-Merkblatt 371 Kurzumtriebsplantagen Anlage, Pflege, Ernte und Wertschöpfung*. 2012
- [Bergante et al. 2010] BERGANTE, Sara ; FACCIOTTO, Gianni ; MINOTTA, Gianfranco: Identification of the main site factors and management intensity affecting the establishment of Short-Rotation-Coppices (SRC) in Northern Italy through stepwise regression analysis. In: *Open Life Sciences* 5 (2010), Januar, Nr. 4. <http://dx.doi.org/10.2478/s11535-010-0028-y>. – DOI 10.2478/s11535-010-0028-y. – ISSN 2391-5412
- [Biertümpfel et al. 2009] BIERTÜMPFEL, A. ; RUDEL, H. ; WERNER, A. ; VETTER, A.: *15 Jahre Energieholzversuche in Thüringen*. 2009
- [Biertümpfel et al. 2012] BIERTÜMPFEL, Andrea ; GRAF, Torsten ; VETTER, Armin ; THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): *Feldversuchsbericht 2010 und 2011 - Ölfrüchte und Nachwachsende Rohstoffe / Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft*. Dornburg, 2012. – Feldversuchsbericht
- [Boelcke 2006] BOELCKE, Barbara: *Schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen - Leitfaden zur Erzeugung von Energieholz*. 2006
- [Boelcke u. Kahle 2008] BOELCKE, Barbara ; KAHLE, Petra: Energieholzproduktion mit Weiden und Pappeln - Ertragsbildung und Grundnährstoffbedarf. In: *Pflanzenbauwissenschaften* 12 (2008), Nr. 2, S. 78–85
- [De Groote et al. 2015] DE GROOTE, T. ; ZONA, D. ; BROECKX, L. S. ; VERLINDEN, M. S. ; LUYSSAERT, S. ; BELLASSEN, V. ; VUICHARD, N. ; CEULEMANS, R. ; GOBIN, A. ; JANSSENS, I. A.: ORCHIDEE-SRC v1.0: an extension of the land surface model ORCHIDEE for simulating short rotation coppice poplar plantations. In: *Geoscientific Model Development* 8 (2015), Mai, Nr. 5, 1461–1471. <http://dx.doi.org/10.5194/gmd-8-1461-2015>. – DOI 10.5194/gmd-8-1461-2015. – ISSN 1991-9603
- [Di Matteo et al. 2015] DI MATTEO, Giovanni ; NARDI, Pierfrancesco ; VERANI, Stefano ; SPERANDIO, Giulio: Physiological adaptability of Poplar clones selected for bioenergy purposes under non-irrigated and suboptimal site conditions: A case study in Central Italy. In: *Biomass and Bioenergy* 81 (2015), Oktober, 183–189. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.06.023>. – DOI 10.1016/j.biombioe.2015.06.023. – ISSN 0961-9534. – #A

- [Dimitri 1988] DIMITRI, Lyubomir: *Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb zur Energiegewinnung*. Hann. Münden, 1988 (Schriften des Forschungsinstitutes für Schnellwachsende Baumarten, Hann. Münden 4). – ISBN 978–3–927194–00–7
- [DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2010] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *Feste Biobrennstoffe - Bestimmung des Wassergehaltes - Ofentrocknung - Teil 1: Gesamtgehalt an Wasser - Referenzverfahren; Deutsche Fassung EN 14774-1:2009*. <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-14774-1/122640083>. Version: Februar 2010
- [Duhme 1989] DUHME, H. ; DUHME, J. (Hrsg.): *Die Standortansprüche der Pappeln: ein Leitfaden für Anbauer und Berater*. 1989 <http://books.google.de/books?id=ALjBPgAACAAJ>
- [Felipe 2012] FELIPE, Ruiz L.: Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb. In: *Energiepflanzen: Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus*. 2. Aufl. Darmstadt : KTBL, 2012 (KTBL-Datensammlung). – ISBN 978–3–941583–65–8, S. 368
- [Fröhlich u. Grosscurth 1973] FRÖHLICH, Hans J. ; GROSSCURTH, W.: *Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung*. Bd. 10: *Züchtung, Anbau und Leistung der Pappeln*. Sauerländer, 1973
- [Gadow 2003] GADOW, Klaus v.: *Waldstruktur und Wachstum: [Beilage zur Vorlesung im Wintersemester 2003/2004]*. Göttingen : Univ.-Verl. Göttingen, 2003 (Universitätsdrucke Göttingen). – ISBN 3–930457–32–6 3–930457–32–6 978–3–930457–32–8
- [Gerold et al. 2009] GEROLD, Denie ; LANDGRAF, Dirk ; WOLF, Heino ; SCHILDBACH, Marek: *Bewirtschaftungsstrategien von Kurzumtriebsplantagen*. In: *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*. Weinheim : Wiley-VCH, 2009. – ISBN 978–3–527–32417–0, S. 57–71
- [Grotehusmann et al. 2015] GROTEHUSMANN, Helmut ; JANSSEN, Alwin ; HAIKALI, Anna ; HARTMANN, Kai-Uwe ; HÜLLER, Wolfgang ; KAROPKA, Manuel ; SCHILDBACH, Marek ; SCHIRMER, Randolph ; SCHUPPELIUS, Thilo ; TÖPFNER, Katharina: *Pappelsortenprüfungen im Projekt FastWOOD*. In: *Forstarchiv* (2015), August, 67–79. <http://dx.doi.org/10.4432/0300-4112-86-67>. – DOI 10.4432/0300–4112–86–67. – ISSN 0300–4112
- [Hartmann 2010] HARTMANN, Kai-Uwe: *Entwicklung eines Ertragsschätzers für Kurzumtriebsbestände aus Pappel*. Dresden, Technische Universität, Diss., August 2010. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-62853>
- [Herberich et al. 2010] HERBERICH, Esther ; SIKORSKI, Johannes ; HOTHORN, Torsten: *A Robust Procedure for Comparing Multiple Means under Heteroscedasticity in Unbalanced Designs*. In: *PLoS ONE* 5 (2010), März, Nr. 3, e9788. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0009788>. – DOI 10.1371/journal.pone.0009788. – ISSN 1932–6203
- [Hijmans et al. 2015] HIJMANS, Robert ; KAPOOR, Julian ; WIECZOREK, John ; GARCIA, Nel ; MAUNAHAN, Aileen ; RALA, Arnel ; MANDEL, Alex: *GADM database of Global Administrative Areas*. <http://gadm.org/>. Version: November 2015

- [Hofmann 2010] HOFMANN, M. ; FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (FNR) (Hrsg.): *Energieholzproduktion in der Landwirtschaft*. http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_292-brosch_energieholzproduktion_2010_v04.pdf. Version:2010
- [Hofmann 1997] HOFMANN, Martin: Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben: "Bereitstellung von genetisch hochwertigem Vermehrungsgut für Kurzumtriebsbestände und energetische Bewertung der Kurzumtriebswirtschaft / Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten. Hann. Münden, Juli 1997. – Abschlussbericht. – 121–122 S.
- [Hofmann 2005] HOFMANN, Martin: *Pappeln als nachwachsender Rohstoff auf Ackerstandorten - Kulturverfahren, Ökologie und Wachstum unter dem Aspekt der Sortenwahl*. Hannoversch Münden : Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten, 2005 (Schriften des Forschungsinstitutes für schnellwachsende Baumarten Hann. Münden 8). – ISBN 978–3–927194–05–2
- [Horn et al. 2013] HORN, Hendrik ; SKIBBE, Katja ; RÖHLE, Heinz: Wuchsleistung von KUP aus Pappel in Folgerotationen. In: *AFZ-DerWald* (2013), Nr. 7, 53–55. http://www.researchgate.net/profile/Hendrik_Horn/publication/275155989_Wuchsleistung_von_KUP_aus_Pappel_in_Folgerotationen/links/55348bc90cf2f2a588b25de7.pdf
- [Kahle et al. 2007] KAHLE, Petra ; HILDEBRAND, Elke ; BAUM, Christel ; BOELCKE, Babara: Long-term effects of short rotation forestry with willows and poplar on soil properties. In: *Archives of Agronomy and Soil Science* 53 (2007), Dezember, Nr. 6, 673–682. <http://dx.doi.org/10.1080/03650340701648484>. – DOI 10.1080/03650340701648484. – ISSN 0365–0340, 1476–3567
- [Kerschberger et al. 1997] KERSCHBERGER, M. ; HEGE, U. ; JUNGK, A. ; VDLUFA: *Standpunkt - Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf*. September 1997
- [Knust et al. 2013] KNUST, Christine ; SCHUA, Karoline ; WOLF, Heino ; FEGER, Karl-Heinz: Schnellwachsende Baumarten, Klone und deren Standortansprüche. In: *Energieholzplantagen in der Landwirtschaft: eine Anleitung zur Bewirtschaftung von schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb für den Praktiker*. Clenze : Agrimedia, 2013 (Themenbibliothek Pflanzenproduktion). – ISBN 978–3–86263–081–3
- [Kramer u. Akça 2008] KRAMER, Horst ; AKÇA, Alparslan: *Leitfaden zur Waldmesslehre*. 5. Frankfurt am Main : Sauerländer, J D, 2008. – ISBN 978–3–7939–0880–7
- [König 2014] KÖNIG, Nils ; GUTACHTERAUSSCHUSS FORSTLICHE ANALYTIK (Hrsg.): *Handbuch Forstliche Analytik*. 5. Ergänzung. 2014 http://www.bmel.de/DE/Wald-Fischerei/01_Nachhaltige-Waldwirtschaft/Zustandserhebungen/_texte/Handbuch-Forstliche-Analytik.html
- [Ledin 1996] LEDIN, S.: Willow wood properties, production and economy. In: *Modelling Short Rotation Forestry Growth* 11 (1996), Nr. 2–3, 75–83. [http://dx.doi.org/10.1016/0961-9534\(96\)00022-0](http://dx.doi.org/10.1016/0961-9534(96)00022-0). – DOI 10.1016/0961–9534(96)00022–0. – ISSN 0961–9534

- [Mantau 2012] MANTAU, Udo: Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2015. Hamburg, Oktober 2012. – Forschungsbericht. – 65 S.
- [Mantau et al. 2010] MANTAU, Udo ; SAAL, Ulrike ; PRINS, Kit ; STEIERER, Florian ; LINDNER, Marcus ; VERKERK, Hans ; EGGERS, Jeannette ; LEEK, Nico ; OLDENBURGER, Jan ; ASIKAINEN, Antti ; ANTTILA, Perttu: EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Hamburg, Juni 2010. – Final Report. – 160 S.
- [Martonne 1926] MARTONNE, Emmanuel d.: *Une Nouvelle fonction climatologique. L'Indice d'aridité*. Paris : Impr. Gauthier-Villars, 1926
- [Murach et al. 2009] MURACH, Dieter ; HARTMANN, Holger ; MURN, Yasmin ; SCHULTZE, Mareike ; WAEL, Ali ; RÖHLE, Heinz: Standortbasierte Leistungsschätzung in Agrarholzbeständen in Brandenburg und Sachsen. In: *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*. Weinheim : Wiley-VCH, 2009. – ISBN 978-3-527-32417-0, S. 29-40
- [Njakou Djomo et al. 2015] NJAKOU DJOMO, S. ; AC, A. ; ZENONE, T. ; DE GROOTE, T. ; BERGANTE, S. ; FACCIOTTO, G. ; SIXTO, H. ; CIRIA CIRIA, P. ; WEGER, J. ; CEULEMANS, R.: Energy performances of intensive and extensive short rotation cropping systems for woody biomass production in the EU. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41 (2015), Januar, 845-854. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.058>. – DOI 10.1016/j.rser.2014.08.058. – ISSN 13640321
- [Petzold et al. 2010] PETZOLD, Rainer ; FEGER, Karl-Heinz ; RÖHLE, Heinz: Standortliche Voraussetzungen für Kurzumtriebsplantagen. Version:2010. http://boku.forst.tu-dresden.de/pdf/AGROWOOD_Kap_1_3_druck.pdf. In: *AGROWOOD: Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven*. Berlin : Weißensee-Verl, 2010 (Ökologie). – ISBN 978-3-89998-159-9, 44-53
- [Piepho et al. 2003] PIEPHO, H. P. ; BUCHSE, A. ; EMRICH, K.: A Hitchhiker's Guide to Mixed Models for Randomized Experiments. In: *Journal of Agronomy and Crop Science* 189 (2003), Oktober, Nr. 5, 310-322. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-037X.2003.00049.x>. – DOI 10.1046/j.1439-037X.2003.00049.x. – ISSN 0931-2250, 1439-037X
- [Pinheiro 2000] PINHEIRO, José C.: *Mixed-effects models in S and S-PLUS*. New York : Springer, 2000 (Statistics and computing). – ISBN 0-387-98957-9
- [Plazas Cebrian 2014] PLAZAS CEBRIAN, Andrea: *Datenanalyse für Strukturmodelle dreier Pappelklone auf Kurzumtriebsplantagen*. Göttingen, Georg-August Universität, Bachelorarbeit, Oktober 2014
- [R Core Team 2015] R CORE TEAM: *R: A language and environment for statistical computing*. Wien, 2015

- [Ribeiro u. Betters 1995] RIBEIRO, Carlos A. ; BETTERS, David R.: Single rotation vs coppice systems for short-rotation intensive culture plantations—optimality conditions for volume production. In: *Biomass and Bioenergy* 8 (1995), Nr. 6, S. 395–400. [http://dx.doi.org/10.1016/0961-9534\(95\)00049-6](http://dx.doi.org/10.1016/0961-9534(95)00049-6). – DOI 10.1016/0961–9534(95)00049–6. – ISSN 09619534
- [Röhle 2009] RÖHLE, Heinz: Arbeitskreis Biomasse: Verfahrensempfehlungen zur Methodik der Biomasseermittlung in Kurzumtriebsbeständen. In: *DVFFA—Sektion Ertragskunde, Jahrestagung* (2009), 220–226. http://www.nw-fva.de/~nagel/SektionErtragskunde/band2009/Tag2009_25.pdf
- [Röhle 2013] RÖHLE, Heinz: Standortleistungsschätzung und Biomasseermittlung in Kurzumtriebsplantagen. In: *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 184 (2013), Nr. 11/12, S. 237–246
- [Röhle 2014] RÖHLE, Heinz: *Ertragsschätzung von Kurzumtriebsplantagen*. http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachrichtung_forstwissenschaften/institute/ww/waldwachstum/forschung/kup-ertrag. Version: März 2014
- [Schildbach et al. 2009] SCHILDBACH, Marek ; GRÜNEWALD, Holger ; WOLF, Heino ; SCHNEIDER, Bernd-Uwe: Begründung von Kurzumtriebsplantagen: Baumartenwahl und Anlageverfahren. In: *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*. Weinheim : Wiley-VCH, 2009. – ISBN 978–3–527–32417–0, S. 57–71
- [Schwarze u. Röhrich 2006] SCHWARZE, Hartmut ; RÖHRICH, Christian: *Untersuchung zum Pappel- und Weidenanbau im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen*. Dresden-Pillnitz, 2006
- [Schweder et al. 2004] SCHWEDER, P. ; KAPE, H.-E. ; BOELCKE, Barbara: *Düngung – Hinweise und Richtwerte für die landwirtschaftliche Praxis*. 2004
- [Stiehm et al. 2015] STIEHM, Christoph ; HOFMAN, Martin ; JANSSEN, Alwin ; KURTH, Winfried ; NAGEL, Jürgen: Ergebnisse des ProLoc Verbundvorhabens Projektphase II - Implementierung eines Wachstumssimulators basierend auf der Modellierung der Klon-Standort-Wechselwirkung bei Pappel und Weide im Kurzumtrieb. In: *Multifunktionale Agrarlandschaften - Pflanzenbaulicher Anspruch, Biodiversität, Ökosystemdienstleistungen* Bd. 27. Braunschweig : Liddy Halm, September 2015 (Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften), S. 53–54
- [Venables et al. 2002] VENABLES, W. N. ; RIPLEY, Brian D. ; VENABLES, W. N.: *Modern applied statistics with S*. 4th ed. New York : Springer, 2002 (Statistics and computing). – ISBN 978–0–387–95457–8
- [Willebrand et al. 1993] WILLEBRAND, Eva ; LEDIN, Stig ; VERWIJST, Theo: Willow coppice systems in short rotation forestry: Effects of plant spacing, rotation length and clonal composition on biomass production. In: *Biomass and Bioenergy* 4 (1993), Nr. 5, 323–331.

[http://dx.doi.org/10.1016/0961-9534\(93\)90048-9](http://dx.doi.org/10.1016/0961-9534(93)90048-9). – DOI 10.1016/0961-9534(93)90048-9. – ISSN 09619534

[Williams et al. 2002] WILLIAMS, Emlyn ; MATHESON, Colin ; HARWOOD, Chris: *Experimental design and analysis for tree improvement*. Collingwood, Vic. : CSIRO, 2002. – ISBN 0-643-06259-9

[Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (WBA) 2007] WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT AGRARPOLITIK BEIM BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (WBA): *Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung - Empfehlungen an die Politik*. http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/GutachtenWBA.pdf?__blob=publicationFile. Version: November 2007

[Zalesny et al. 2004] ZALESNY, Ronald S. J. ; BAUER, E. O. ; RIEMENSCHNEIDER, R.E.: Use of Belowground Growing Degree Days to Predict Rooting of Dormant Hardwood Cuttings of Populus. In: *Silvae genetica* 53 (2004), Nr. 4-5, S. 154-160