

Arbeitskreis Biomasse: Verfahrensempfehlungen zur Methodik der Biomasseermittlung in Kurzumtriebsbeständen

Heinz Röhle,

Inst. für Waldwachstum und Forstliche Informatik, Technische Universität Dresden, Pienners Str. 8, 01737
Tharandt

1 Vorbemerkung

Der Arbeitskreis Biomasse innerhalb der Sektion Ertragskunde des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten hat bisher zwei Arbeitstreffen (20.11.2006 und 19.07.2007) abgehalten. Auf der ersten Sitzung wurden einleitend einige Ergebnisse von Fallstudien zu Biomasseuntersuchungen an Bäumen unterschiedlichen Alters vorgestellt sowie theoretische Überlegungen zur Methodik präsentiert. Nach einer ausführlichen Diskussion beschloss der Arbeitskreis, sich zuerst auf die Methodik der Biomasseermittlung in Kurzumtriebsbeständen zu konzentrieren und hier den Schwerpunkt auf die Bestimmung der Trockensubstanz des oberirdischen Baumkörpers (Holz- und Rindenmasse von Schaft, Ästen und Zweigen) im unbelaubten Zustand zu legen. Als grundsätzlich geeignete Methoden wurden das Probebaumverfahren (vgl. Abschnitt 3.3) und die Regressionsmethode (vgl. Abschnitt 3.4) klassifiziert, vor einer abschließenden Wertung beider Verfahren jedoch die Durchführung einer vergleichenden methodischen Studie angeregt. Beim zweiten Treffen wurden die beiden genannten Verfahren eingehend besprochen, ihre Vor- und Nachteile herausgearbeitet und erste, vorläufige Resultate zum Verfahrensvergleich präsentiert.

Im Rahmen einer Diplomarbeit (NIEMANN 2008) auf einer Pappel-Versuchsfläche in Südbrandenburg wurde dieser Verfahrensvergleich durchgeführt. Außerdem erfolgte eine Abstimmung mit der Arbeitsgruppe um Prof. Murach an der Fachhochschule Eberswalde, die sich ebenfalls mit methodischen Aspekten bei der Ertragsbestimmung in Kurzumtriebsbeständen befasst. Mittlerweile liegt eine Buchpublikation aus dem Wiley-Verlag vor (REEG et al. 2009), die wesentliche Aspekte aus den drei Forschungsverbänden *DENDROM* (Fachhochschule Eberswalde), *AGROWOOD* (Technische Universität Dresden) und *AGROFORST* (Universität Freiburg) zusammenfasst und die auch einen Beitrag zur Biomassebestimmung in Kurzumtriebsbeständen enthält (RÖHLE et al. 2009). Aufbauend auf die dort getroffenen Feststellungen und die Beratungen im Arbeitskreis Biomasse werden im Folgenden mögliche Verfahren zur Biomassebestimmung in Kurzumtriebsbeständen behandelt.

2 Hintergrund

In Hochwaldbeständen kann zur Erfassung von Vorrat und Zuwachs auf eine breite Palette bestens erprobter und akzeptierter Verfahren und Instrumente wie z. B. Ertragstafeln, Formzahl- und Volumenfunktionen, Einheitshöhenkurven usw. zurückgegriffen werden, weshalb sich der Messaufwand zur Ertragsermittlung, i. W. des Holzvolumens, im konkreten Einzelfall auf ein Minimum beschränkt. Für schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb liegen derartige Schätzhilfen bisher noch nicht vor, die Ermittlung aller relevanten Ertragsgrößen gestaltet sich deshalb ungleich zeit- und kostenintensiver als im Hochwald. Außerdem ist bei der Kurzumtriebswirtschaft nicht das Holzvolumen, sondern die produzierte Holzmasse¹ von primärem Interesse, was den erforderlichen Aufwand bei der Ertragsermittlung weiter steigert.

Aus prinzipiellen Gründen lassen sich die für Hochwälder entwickelten Ertragstafeln zur Ertragsschätzung in Kurzumtriebsplantagen nicht einsetzen, weil die Ertragstafeln erstens nur Angaben zum Vorrat (Festmeter), nicht aber zur Trockestoffproduktion enthalten, zweitens nicht auf kurze Umtriebszeiten ausgerichtet sind, sondern Produktionsleistungen erst für Alter von 20 Jahren und darüber bereitstellen, und drittens wesentlich geringere Baumzahlen (Bestandsdichten) zugrundelegen. Auch können die aus der Landwirtschaft bekannten Methoden der Vollernte zur Ertragsermittlung einjähriger Kulturen in Kurzumtriebsbeständen nur sehr beschränkt Anwendung finden: Da es sich bei Baumplantagen um mehrjährige Kulturen handelt, ist zu einer umfassenden Leistungsbeurteilung nicht nur die zum Zeitpunkt der Ernte produzierte Biomasse von Interesse, vielmehr müssen, z. B. zur Herleitung zuwachsoptimaler Bestandsdichten und Rotationslängen, auch während des Heranwachsens der Bestände Angaben zum aktuellen Biomasseertrag bzw. zur Entwicklung der Biomassevorräte über der Zeit bereitgestellt werden.

Die enorme Bandbreite des Leistungsvermögens von Kurzumtriebsbeständen ist in erster Linie auf standörtliche Faktoren (Nährstoffausstattung, Wasserverfügbarkeit, Temperatugeschehen) und Bestandscharakteristika

¹ Um Leistungsvergleiche zwischen verschiedenen Baumarten, Klonen und Standorten zu ermöglichen und Verzerrungen durch abweichende Holzfeuchtegehalte zu vermeiden, wird die Biomasse im Allgemeinen in Tonnen Trockensubstanz (t_{trock}) angegeben. Das absolute Trockengewicht kennzeichnet die Masse eines Holzkörpers, der bei 103,5 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet wurde. Als Leistungsgröße findet der durchschnittliche Gesamtzuwachs an Biomasse in Tonnen Trockensubstanz pro Hektar und Jahr Verwendung ($dGz_{\text{trock}}/[\text{ha} \cdot \text{a}]$, oberirdische Biomasse im unbelaubten Zustand).

(Baumarten und Klone, Bestandsdichte) zurückzuführen. Allerdings sind im Einzelfall auch verfahrensbedingte Einflüsse nicht gänzlich auszuschließen, da zur Ermittlung des Biomasseertrages verschiedene Methoden eingesetzt werden, die nicht immer zu übereinstimmenden Ergebnissen führen. Ohne Kenntnis der Aufnahmemethodik sind die in der Literatur von verschiedenen Autoren aufgeführten Biomasseerträge schnellwachsender Baumarten deshalb nicht uneingeschränkt vergleichbar.

3 Verfahren zur Biomassebestimmung in Kurzumtriebsbeständen

Zur Biomassebestimmung in Kurzumtriebsbeständen werden derzeit verschiedene Verfahren eingesetzt. Da für die einzelnen Verfahren noch keine einheitliche Nomenklatur existiert, sind neben dem vom Autor bevorzugten Terminus weitere, synonym verwendete Begriffe in Klammern aufgeführt

- Vollerntemethode (Wägung ganzer Parzellen)
- Teilerntemethode (Probeflächenverfahren)
- Probebaumverfahren (Stockerntemethode, Probestammverfahren)
- Regressionsmethode (Biomassefunktion mit destruktivem Ansatz)

Vorab sei noch bemerkt, dass alle vier genannten Methoden destruktiven Charakter besitzen, d. h. die Entnahme von Probematerial zwingend voraussetzen, weshalb sie derzeit in erster Linie für wissenschaftliche Zwecke genutzt werden. Um auch für eine breite Anwendung in der Praxis geeignet zu sein, müssten allgemeingültige Schätzer entwickelt werden, die zerstörungsfrei arbeiten (d. h. ohne Entnahme von Probematerial auskommen). Zur Herleitung allgemeingültiger Schätzfunktionen könnte im Prinzip eine ähnliche Herangehensweise wie bei der Aufstellung von Volumenfunktionen oder Massentafeln in der Forstwirtschaft gewählt werden. Dass die Aufstellung übertragbarer Funktionen mit der Regressionsmethode grundsätzlich realisierbar erscheint, konnte von RÖHLE et al. (2006) für Pappelversuchsfelder in Ostdeutschland nachgewiesen werden (vgl. Abschnitt 3.4).

3.1 Vollerntemethode (Wägung ganzer Parzellen)

Bei diesem in der Landwirtschaft üblichen Verfahren wird eine Fläche komplett beerntet und das Erntegut verwogen (Abb. 1). Durch Trocknung einer Stichprobe des Erntegutes wird der Feuchtegehalt bestimmt und mit dessen Hilfe die Trockenbiomasse des gesamten geernteten Materials berechnet. Dieses Verfahren liefert sehr präzise Resultate, hat jedoch neben dem hohen Aufwand den entscheidenden Nachteil, dass jede Fläche nur einmal, nämlich bei der Ernte, beprobt werden kann. Da Kurzumtriebsplantagen mehrjährige Kulturen sind, kommt die Vollerntemethode nur in seltenen Fällen zur Anwendung. Steht eine Plantage jedoch turnusmäßig zur Nutzung an, kann die Schätzgenauigkeit von Stichprobenverfahren (Teilerntemethode, Probebaumverfahren, Regressionsmethode) anhand der dann bekannten, tatsächlichen Biomasse des Erntegutes überprüft werden.

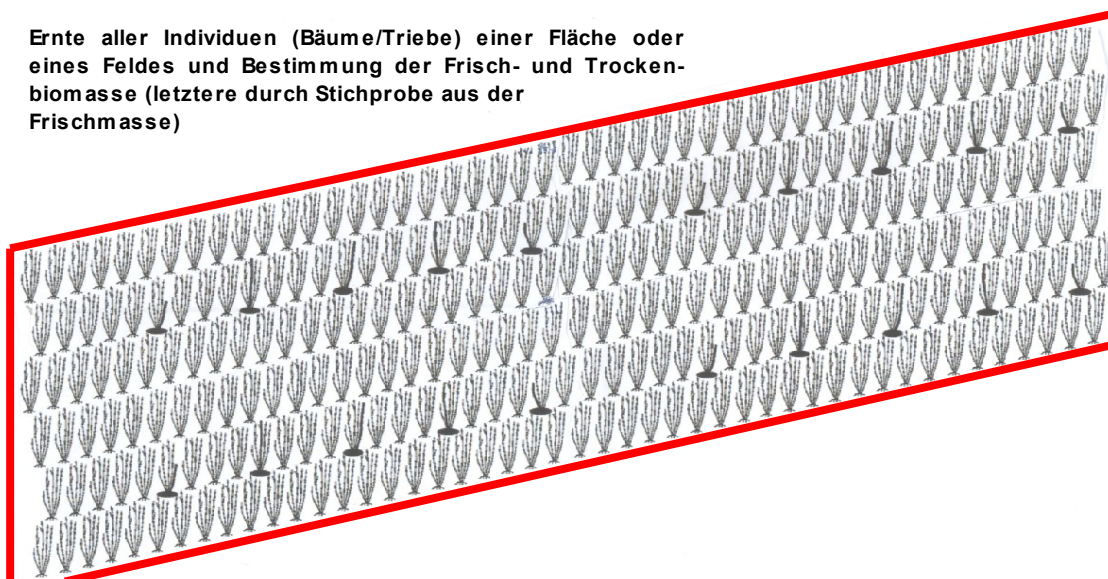


Abb. 1: Vorgehen bei der Vollerntemethode: Alle Individuen innerhalb der umrandeten Gesamtfläche werden entnommen.

3.2 Teilerntemethode (Probeflächenverfahren)

Bei der Teilerntemethode werden in dem zu beprobenden Bestand Stichprobenflächen systematisch oder zufällig ausgewählt und alle Individuen auf diesen Stichprobenflächen geerntet (Abb. 2). Bei der Trockengewichtsbestimmung des Erntegutes wird wie unter 3.1 geschildert vorgegangen und anschließend die Gesamtbiomasse des Bestandes über das Verhältnis von Stichprobenfläche zu Gesamtfläche hergeleitet. Auch dieses Verfahren liefert präzise Resultate, wenn Stichprobenflächen in ausreichender Anzahl beerntet wurden. Allerdings darf hierbei der Aufwand nicht unterschätzt werden, außerdem verringert sich die Gesamtfläche nach jeder Beprobung um die Größe der beernteten Stichprobenflächen, weshalb diese Methode nur bei sehr großen Beständen geeignet sein dürfte (das betrifft insbesondere Bestände mit Rotationslängen von acht und mehr Jahren, bei denen z. B. im Ein- oder Zweijahresturnus eine Beprobung zur Ertragskontrolle stattfinden soll).

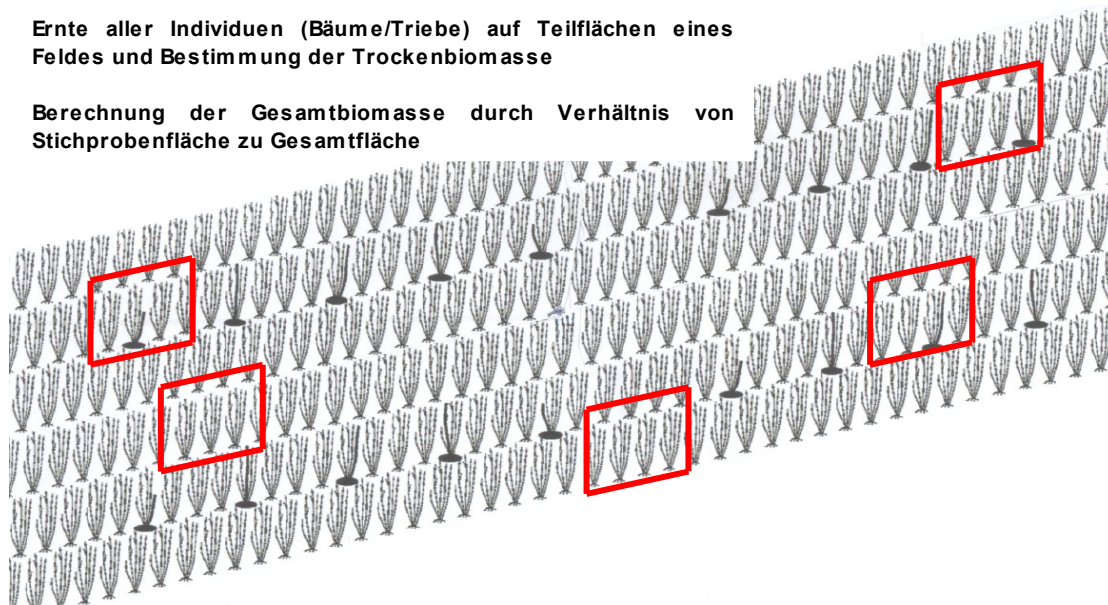


Abb. 2: Vorgehen bei der Teilerntemethode: Alle Individuen innerhalb der umrandeten Stichprobenflächen werden entnommen.

3.3 Probebaumverfahren (Stockerntemethode, Probestammverfahren)

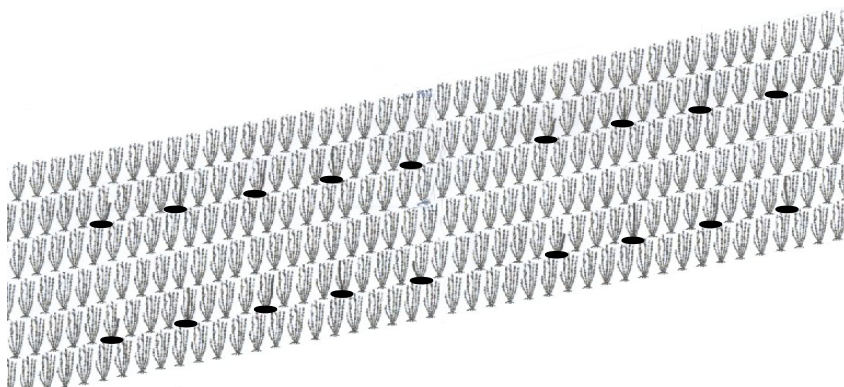


Abb. 3: Vorgehen beim Probebaumverfahren: Alle mit schwarzen Füßen markierten Individuen (hier Stöcke mit einer Vielzahl von Austrieben) werden komplett geerntet

Diese Methode basiert auf der Auswahl und Beerntung einer Stichprobe von Individuen (Bäumen bzw. Stöcke ab der zweiten Rotation) eines Bestandes (Abb. 3). An den beprobten Individuen erfolgt die Bestimmung des Frisch- und Trockengewichtes. Im Einzelnen fallen folgende Arbeitsschritte an:

1. Ermittlung der Individuenanzahl (Bäume bzw. Stöcke) auf der Fläche
2. Entnahme einer Stichprobe (systematische oder zufällige Auswahl der zu beprobenden Individuen)

3. Ermittlung der Frischgewichte der beprobten Individuen
4. Trocknung bei 103.5 °C bis zur Gewichtskonstanz und Herleitung des Durchschnittstrockengewichts (DTG) der beprobten Individuen (mittleres Baum- bzw. Stockgewicht)
5. Berechnung der Biomasse in t_{atro} durch Multiplikation der Individuenanzahl (Bäume/Stöcke) mit dem DTG

Nach WALOTEK & MURACH (2006) ist bei dieser Methode insbesondere die Schätzung der Stockanzahl (Pflanzverband) mit Unsicherheiten behaftet, falls die Verbandsweite nicht streng gleichmäßig ist und/oder eine größere Anzahl der Steckhölzer nach der Pflanzung ausgefallen sind. Wie Untersuchungen von NIEMANN (2008) zeigen, kann die Anzahl der erforderlichen Stöcke je nach Homogenität oder Heterogenität des Bestandes sowie maximal zulässigem Fehler des mittleren Stockgewichtes durchaus Größenordnungen von bis zu 100 zu beprobenden Individuen (Stöcken) annehmen, was den zu veranschlagenden Aufwand an Zeit und Kosten stark nach oben treibt.

3.4 Regressionsmethode (Biomassefunktion mit destruktivem Ansatz)

Bei der Regressionsmethode werden Beziehungen zwischen dem Baum- oder Triebgewicht und anderen, leicht messbaren Dimensionsgrößen (z. B. Durchmesser, Baumhöhe) aufgestellt und mit Hilfe von Regressionsgleichungen beschrieben (VERWIJST & TELENUS 1999). Diese Gleichungen werden als Biomassefunktionen bezeichnet. Diese Methode basiert ebenfalls auf der Auswahl und Beerntung einer Stichprobe von Individuen (Bäumen bzw. Trieben ab der zweiten Rotation). An diesen Individuen erfolgt die Bestimmung des Frisch- und Trockengewichtes (Abb. 4). Im Einzelnen fallen folgende Arbeitsschritte an:

1. Bhd-Messung aller Individuen (Bäume bzw. Triebe) auf der Gesamtfläche oder einer repräsentativen Teilfläche eines Bestandes
2. Ernte von Individuen über das gesamte Bhd-Spektrum
3. Bestimmung des Frischgewichtes der geernteten Individuen
4. Trocknung der Proben bei 103,5 °C bis zur Gewichtskonstanz und Ermittlung des Trockengewichts
5. Aufstellung einer Biomassefunktion (Beziehung zwischen dem Bhd und der Trockenbiomasse) anhand der Daten der geernteten Individuen
6. Berechnung der Flächen- bzw. Hektardaten durch Einsetzen der Bhd-Werte aller Individuen in die Biomassefunktion

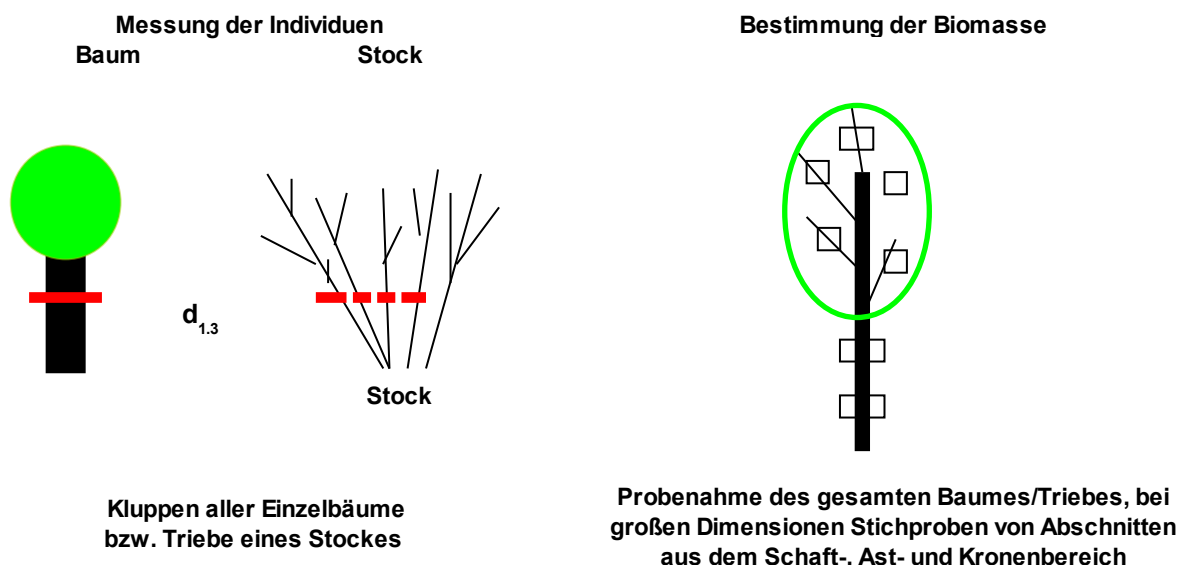


Abb. 4: Aufnahmeeinheiten bei der Regressionsmethode: Bhd-Messung der Individuen zur Berechnung der Flächen- und Hektardaten (linke Grafik) sowie Beprobung ausgewählter Individuen über das gesamte Bhd-Spektrum (rechte Grafik).

Untersuchungen von RÖHLE et al. (2006) an Versuchsfeldern in Pappelplantagen in Ostdeutschland zeigten, dass eine Vielzahl von Funktionstypen mit unterschiedlichen Erklärungsvariablen die meist sehr straffen Beziehungen

zwischen Einzelbaumbiomasse und Dimensionsgrößen zufriedenstellend beschreibt (adjustiertes Bestimmtheitsmaß $R^2 > 0.95$). Neben dem Durchmesser (Bhd) führt die Einbeziehung der Baumhöhe und/oder des h/d-Wertes allerdings zu keiner signifikanten Steigerung des Bestimmtheitsmaßes. Als geeignete Standardfunktion bietet sich die allometrische Gleichung $b = a_0 \cdot d^{a_1}$ an², die mit dem Durchmesser nur eine Eingangsgröße erfordert und von einer Vielzahl von Autoren an verschiedenen Baumarten erfolgreich verwendet wurde (Abb. 5).

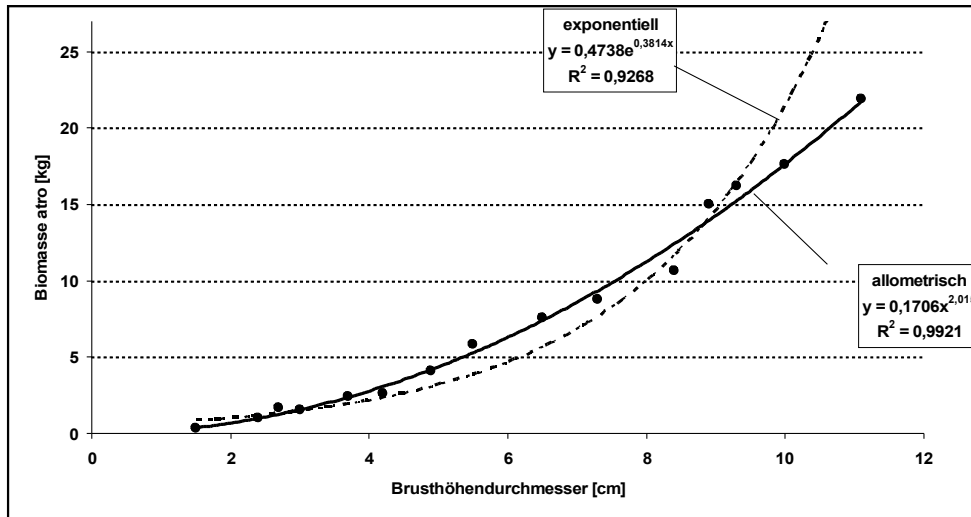


Abb. 5: Biomassefunktion für Pappel (die bessere Anpassung der allometrischen Gleichung an die Messwerte im Vergleich zu einer Exponentialfunktion ist klar ersichtlich).

Außerdem wurde deutlich, dass die Werte der Koeffizienten a_0 und a_1 der allometrischen Funktion keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den auf den Versuchsfeldern vorkommenden und beprobten Klonen aufweisen. Vielmehr konnten signifikante Einflüsse sowohl der Bestandsmittelhöhe als auch der Bestandsdichte auf die Koeffizienten belegt werden. Die dabei gefundenen Abhängigkeiten sind plausibel und ertragskundlich gut interpretierbar (Abb. 6): So verlagern sich die Biomassefunktionen mit zunehmender Mittelhöhe leicht nach oben (höhere Bäume haben bei gleichem Bhd eine größere Biomasse). Außerdem nimmt die Biomasse von Bäumen bei Konstanthaltung von Bhd und Höhe mit abnehmender Bestandsdichte zu, da Bäume mit gleichen Schaftdimensionen bei geringeren Bestandsdichten eine größere Krone ausbilden und infolgedessen eine höhere Biomasse besitzen. Diese zumindest für die Untersuchungsstandorte vorgefundenen Beziehungen zwischen den Koeffizienten der allometrischen Funktion und den Bestandescharakteristika dürfte die Möglichkeit zur Aufstellung verallgemeinerbarer Biomassefunktionen eröffnen, bei deren Anwendung neben den Einzelbaumdurchmessern nur wenige, leicht bestimmbare Bestandsparameter erhoben werden müssen.

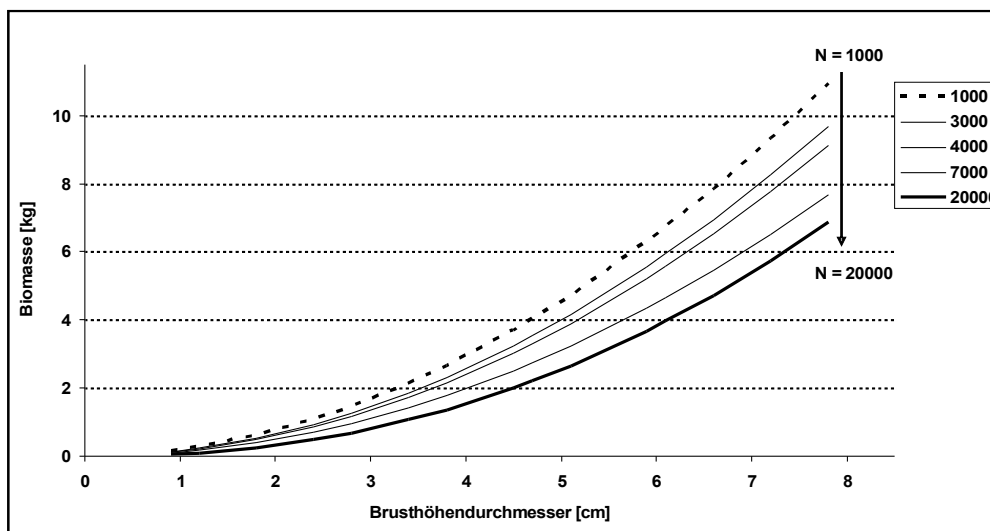


Abb. 6: Modellhafte Darstellung von Biomassefunktionen für Pappelklone in Sachsen bei unterschiedlichen Bestandsdichten (Stammzahl von 1000/ha bis 20000/ha).

² Mit b : Trockenbiomasse, d : Brusthöhendurchmesser und a_0 , a_1 : Regressionskoeffizienten
DVFFA – Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 2009

4 Gegenüberstellung von Probebaumverfahren und Regressionsmethode

Untersuchungen von NIEMANN (2008) auf der Pappel-Versuchsfläche Großthiemig in Südbrandenburg ermöglichen einen Vergleich von Probebaumverfahren und Regressionsmethode an demselben Objekt. Auf diesem bereits mehrfach beernteten Mutterquartier wurden für zwei Pappelklone (Androscoggin und Muhle-Larsen) je eine temporäre, aus einer Doppelreihe bestehende streifenförmige Versuchsfläche eingerichtet, die wiederum auf ganzer Länge in 10 m lange Parzellen unterteilt waren. Auf diesen Flächen wurden beide Pappelklone ertragskundlich beprobt und über das Durchmesserpektrum verteilte Triebe zur Herleitung von Biomassefunktionen (Regressionsmethode) entnommen. Zur Berechnung der klon-spezifischen mittleren Stockgewichte (Probebaumverfahren) dienen nach systematischen Kriterien ausgewählte Stöcke, bei denen nach der Entnahme eine Bestimmung des Frisch- und Trockengewichts erfolgte.

Wie Abbildung 7 am Beispiel des Klons Muhle-Larsen zeigt (und ein gepaarter T-Test bestätigt), bestehen zwischen den tatsächlichen Trockengewichten der entnommenen 18 Stöcke und den mit Hilfe der Regressionsmethode geschätzten Stockgewichten keine statistisch signifikanten Unterschiede (die Durchmesser der Triebe aller Stöcke auf der Versuchsfläche, sowohl der beernteten als auch der übrigen, wurden für die Biomassebestimmung mit der Regressionsmethode gemessen). Das Gewicht einzelner Stöcke lässt sich demzufolge mit der Regressionsmethode mit hoher Genauigkeit schätzen.

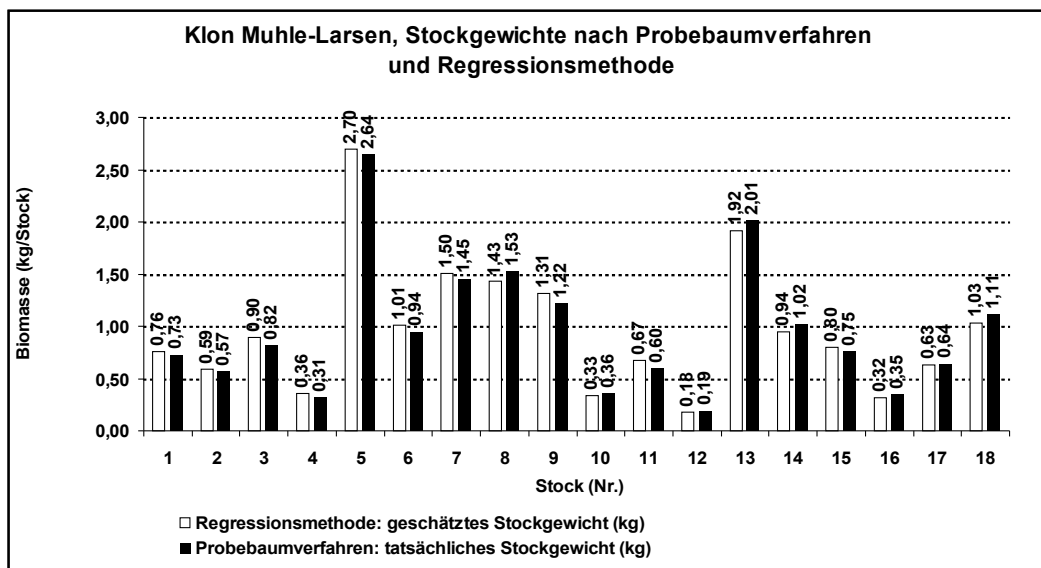


Abb. 7: Vergleich der tatsächlichen Trockengewichte der 18 beernteten Stöcke nach dem Probebaumverfahren (schwarze Säulen) mit den geschätzten Trockengewichten nach der Regressionsmethode (weiße Säulen) für den Klon Muhle-Larsen. Ergänzend sind die gemessenen bzw. geschätzten Trockengewichte in kg über den Säulen angegeben.

Vollkommen konträr sind jedoch die Ergebnisse für den Gesamtvorrat an Biomasse: Hier ergibt die Regressionsmethode eine Biomasse von $4.41 t_{\text{atro}}/\text{ha}$, das Probebaumverfahren dagegen von $5.33 t_{\text{atro}}/\text{ha}$, was immerhin eine Differenz von etwa 20 % darstellt. Betrachtet man die für alle 10 m langen Parzellen nach beiden Methoden berechneten Biomassen (Abb. 8), so fällt auf, dass erstens die Biomasse auf den 28 Parzellen der Versuchsfläche des Klons Muhle-Larsen stark variiert (nach dem Probebaumverfahren in einem Bereich zwischen $1.2 t_{\text{atro}}/\text{ha}$ und $8.3 t_{\text{atro}}/\text{ha}$), und zweitens auf einigen Parzellen mit der Regressionsmethode, auf anderen mit dem Probebaumverfahren höhere Biomassen geschätzt werden. Ursächlich dafür ist die Inhomogenität dieser Versuchsfläche, weshalb die Entnahme von 18 Stöcken keine ausreichend genaue Schätzung der Biomasse ermöglicht. Im vorliegenden Fall lag das mit einer systematischen Stichprobe von 18 Stöcken ermittelte Stockmittelgewicht höher als der tatsächliche Gewichtsmittelwert (der zwar nicht gemessen wurde, aber mit der Regressionsmethode hinreichend genau geschätzt werden konnte, vgl. oben). Bei Akzeptanz eines Fehlers von $\pm 10\%$ wäre für den Klon Muhle-Larsen ein Stichprobenumfang von 97 Stöcken erforderlich gewesen.

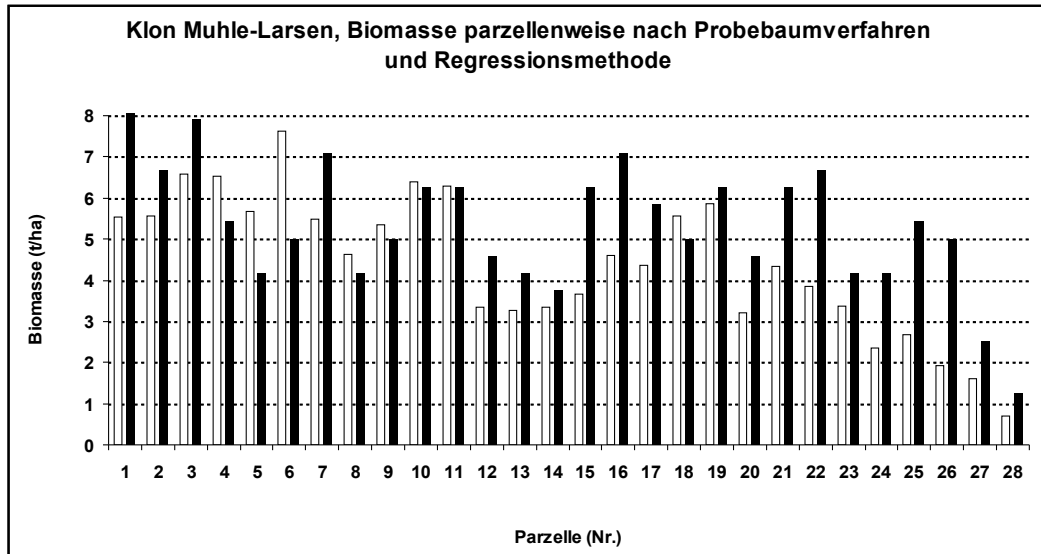


Abb. 8: Vergleich der Biomassen der 28 Parzellen der Versuchsfläche nach den Ergebnissen der Probebaumverfahren (schwarze Säulen) und der Regressionsmethode (weiße Säulen) für den Klon Muhle-Larsen.

5 Fazit

Praxistaugliche Verfahren zur raschen Bestimmung der Biomasse von Kurzumtriebsbeständen liegen in Deutschland noch nicht vor: Sie sind jedoch unverzichtbare Grundlage für die Etablierung der Kurzumtriebswirtschaft, da auf ihrer Basis alle fachspezifischen (Baumarten- und Standortwahl) sowie ökonomischen Entscheidungen (Bestandsdichte, Rotationslänge) getroffen werden.

Zur Ermittlung der Biomasse des aufstockenden Bestandes bieten sich in mehrjährigen Kulturen aus Gründen der Anwenderfreundlichkeit, aber auch aus Zeit- und Kostenaspekten, nur zerstörungsfreie Verfahren an, die auf der Basis einfach zu ermittelnder Ertragsgrößen die Biomasse hinreichend genau schätzen. Diesem Anspruch wird im engeren Sinne nur die Regressionsmethode gerecht. Deshalb sollten künftig alle Anstrengungen darauf ausgerichtet sein, allgemein anwendbare und damit klon- und standortübergreifend gültige Biomassefunktionen für Kurzumtriebsplantagen zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

- NIEMANN, R.: Methodische Untersuchungen zur Biomassebestimmung in Kurzumtriebsplantagen. Diplomarbeit, Fachrichtung Forstwissenschaften, TU Dresden, 61. S., 2008
- REEG, T.; BEMMANN, A.; KONOLD, W.; MURACH, D.; SPIECKER, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 355 S., 2009
- RÖHLE, H.; HARTMANN, K.-U.; GEROLD, D.; STEINKE, C.; SCHRÖDER, J.: Überlegungen zur Aufstellung von Biomassefunktionen für Kurzumtriebsbestände. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 177: S. 178-187, 2006
- RÖHLE, H.; HARTMANN, K.-U.; STEINKE, C.; MURACH, D.: Leistungsvermögen und Leistungserfassung von Kurzumtriebsbeständen. In: REEG, T. et al. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, S. 41-55, 2009
- VERWIJST, T.; TELENUS, B.: Biomass estimation procedures in short rotation forestry. Forest Ecology and Management 121, S. 137-146, 1999
- WALOTEK, P.; MURACH, D.: Methoden bei der ertragskundlichen und pflanzenökologischen Auswertung von Feldgehölzen. 1. Fachtagung: Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen, Tagungsbericht, S. 65-74, 2006