

Untersuchung der Holzdichte von Aspen und Hybridaspen mittels Pilodyn

Christian Heimpold*, Kathrin Heimpold*, Volker Schneck*, Rainer Tölle** und Mirko Liesebach***

Zusammenfassung

Bei der energetischen und stofflichen Nutzung von Holz aus Kurzumtriebsbeständen spielt die Rohdichte der angebauten Bäume eine wesentliche Rolle. Untersuchungen zur Rohdichte von Aspen aus Kurzumtriebsbeständen fehlen bislang jedoch weitestgehend.

Das Pilodynverfahren nutzt die Eindringtiefe eines 2,5 mm starken Stahlstiftes, der mittels einer definierten Energie von 6 J in den Baum getrieben wird, zur indirekten Bestimmung der Rohdichte. Zwischen Eindringtiefe und Rohdichte besteht eine enge negative Korrelation. Die seit den 1970er Jahren angewendete Methode gilt als zerstörungsfrei.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden an 17 Aspen-nachkommenschaften Rohdichteuntersuchungen durchgeführt. Die Untersuchungen auf drei Standorten in Brandenburg, Sachsen und Schleswig-Holstein im Alter 9 zeigten z.T. signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern. Hybridaspen haben i.d.R. eine geringere Rohdichte als reine Europäische Aspen. Im Mittel beträgt die Eindringtiefe bei den Europäischen Aspen 23 mm, bei den Hybridaspen 24 mm und bei den Amerikanischen Aspen 25 mm. Ebenso ist erkennbar, dass gleiche Nachkommenschaften auf besseren Standorten mit einem einhergehenden besseren Wachstum geringere Rohdichten aufweisen.

Die Tatsache, dass zwischen den einzelnen Nachkommenschaften signifikante Unterschiede in der Rohdichte nachgewiesen werden konnten, kann für die zukünftige züchterische Bearbeitung der Aspe genutzt werden, indem gezielt Nachkommenschaften mit gutem Wuchs und hoher Dichte erzeugt werden. Weitere Untersuchungen sind jedoch erforderlich, um den Pilodynwerten reale Rohdichten zuordnen zu können.

Schlüsselwörter: Kurzumtrieb, *Populus*, Zitter-Pappel, Holzdichte, Pilodynwert

Abstract

Investigation of wood density of aspen and hybrid aspen with Pilodyn

Wood produced in short rotation coppices is used for energetic and material purposes. In both cases, wood density is an essential parameter as a proxy for energy content and heat value. Despite this importance, studies on the density of wood produced in short rotation coppices are still missing.

The Pilodyn-method indirectly determines wood density by using the penetration depth of a 2.5 mm steel pin, which is driven into the tree by a defined energy of 6 J. The close negative correlation between the two parameters allows using penetration depth as a proxy for density. The method is considered non-destructive and can therefore be used on living trees.

We tested wood density in 17 different aspen progenies (age 9 years) grown in short rotation coppices at three locations in Brandenburg, Saxony and Schleswig-Holstein using the Pilodyn-method.

In general, density is lower in hybrid aspen compared to European aspen. On average the penetration depth of the Pilodyn measures 23 mm in European aspen, 24 mm in hybrid aspen, and 25 mm in American aspen. Plants of identical progeny show higher growth rates and lower densities under more favorable site conditions. The ability to detect significant differences in wood density between progenies can be used in future breeding activities by selecting progenies with good growth and high density. However, further investigations are necessary to calculate real wood densities from the Pilodyn values.

Keywords: Short-rotation coppice, *Populus*, trembling aspen, wood density, Pilodyn value

* Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Forstgenetik, Eberswalder Chaussee 3A, 15377 Waldsiedersdorf

** Humboldt-Universität zu Berlin, Lebenswissenschaftliche Fakultät, Unter den Linden 6, 10099 Berlin

*** Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Forstgenetik, Sieker Landstraße 2, 22927 Großhansdorf

1 Einleitung

Die Europäische Aspe (*Populus tremula* L.) und Hybridaspes (*P. × wettsteinii* = *P. tremula* × *P. tremuloides*/ *P. tremuloides* × *P. tremula*) gehören zu den Pappeln der Sektion *Populus* und wachsen in Deutschland auf 81.063 ha der Waldfläche, dies entspricht einem Anteil 0,7% an der Gesamtwaldfläche (Thünen-Institut, 2012). Die Aspe ist in Deutschland eine Nebenbaumart (Ebert, 1999) und deshalb derzeit von geringer wirtschaftlicher Bedeutung (Wühlisch, 2016). Aspenholz ist jedoch vielseitig verwendbar und eignet sich für die Papier- und Zellstoffindustrie zur Erzeugung hochwertiger Papiere, für die Furnierproduktion, aber auch für die Herstellung von Faserplatten und Holzwole-Leichtbauplatten (Schneck, 1985; Ebert, 1999). In der jüngeren Vergangenheit wird zunehmend die Eignung der Aspen und hier insbesondere die der wüchsigeren Hybridaspes zur Erzeugung von Dendrobiomasse zur energetischen Nutzung auf landwirtschaftlichen Grenzertragsstandorten auf sogenannten Kurzumtriebsplantagen (KUP) geprüft (Liesebach et al., 1999; Liesebach et al., 2000; Liesebach et al., 2012; Schneck und Liesebach, 2015).

Untersuchungen zu holzphysikalischen Eigenschaften wie der Rohdichte sind teuer und zeitaufwändig (Cown, 1978; Wu et al., 2010). Die Rohdichte ist ein entscheidendes Kriterium bei der Beurteilung der Eignung einer Baumart für stoffliche und energetische Verwendungszwecke (Cown, 1978). Sie ist vom Wassergehalt abhängig und wird in Gramm je Kubikzentimeter [g/cm^3] gemessen (DIN 52182). Im Rahmen dieser Arbeit wird die Rohdichte immer für absolut trockenes (darrtrockenes) Holz mit einer Holzfeuchte von 0% (r_0) angegeben. In der Literatur finden sich bereits Angaben zur Rohdichte bei Aspen (Tabelle 1). Dabei bewegen sich die Angaben in Abhängigkeit von dem Untersuchungsmaterial und der Methodik zwischen $0,35 \text{ g}/\text{cm}^3$ und $0,60 \text{ g}/\text{cm}^3$, wobei der überwiegende Teil der Werte zwischen $0,37 \text{ g}/\text{cm}^3$ und $0,46 \text{ g}/\text{cm}^3$ liegt.

Scholz (1972) stellt fest, dass ein standörtlich bedingtes besseres Wachstum auch eine geringere Rohdichte zur Folge

hat. Er konnte ebenfalls nachweisen, dass zwischen einzelnen Nachkommenschaften statistisch gesicherte Unterschiede in der Rohdichte bestanden. Dies bedeutet, dass die Rohdichte genetisch festgelegt ist und somit züchterisch beeinflusst werden kann.

Die Bestimmung der Holzdicke ist ein zeit- und kostenintensiver Vorgang. Laboranalysen gehen zudem mit der Zerstörung des Probebaumes einher, der für weitere Untersuchungen nicht mehr zur Verfügung steht. Das seit den 1970er Jahren angewendete sogenannte Pilodynverfahren wurde von der Schweizer Firma Proceq entwickelt und diente ursprünglich der Untersuchung von Leitungsmasten auf die unsichtbare Moderfäule (englisch: „soft rot“). Es ist heute eine etablierte Methode zur zerstörungsfreien Bestimmung der Holzdicke an stehenden Bäumen (Zhang et al., 2017; Nunes et al., 2017; dos Santos et al., 2016; Hai et al., 2015; Chen et al., 2015; Le Dinh et al., 2012; Mishima et al., 2011; Wu et al., 2010; Zhu et al., 2009; Wang et al., 2008; Ishiguri et al., 2008).

Die Rohdichte eines Baumes ist jedoch nicht nur vom Wassergehalt und genetischen Ursachen abhängig. Sie wird nach Wu et al. (2010) auch von der Himmelsrichtung beeinflusst. Ebenso spielt die Jahreszeit (Lewark, 1984) und die Höhe am Baum (Raymond und MacDonald, 1998) eine Rolle. Kube und Raymond (2002) nennen für das Pilodynverfahren Kosten pro Baum von 1,50 \$, für laboranalytische Rohdichtebestimmungen veranschlagen sie 10,50 \$ pro Baum. Bei gleichem Kostenrahmen kann der Stichprobenumfang bei Anwendung des Pilodynverfahrens um den Faktor 7 gesteigert werden, was für die statistische Auswertung eine größere Datengrundlage ermöglicht.

Da die Rohdichte den Trockenmassegehalt und den Heizwert je Volumeneinheit beeinflusst, spielt sie sowohl bei der stofflichen, als auch bei der energetischen Nutzung von Aspenholz eine entscheidende Rolle. Bei der Werkseingangsvermessung von Industrieholz, die auf der Trockenmassebestimmung beruht, ist sie direkt abrechnungsrelevant (Steiner und Dunkel, 2017). Die bisherigen Untersuchungsmerkmale Überlebensrate, Durchmesser, Höhe, Form und Vitalität

Tabelle 1

Übersicht zu Rohdichteangaben bei Aspe in der Literatur (absolut trocken mit einer Holzfeuchte von 0% (r_0))

Art	Rohdichte	Quelle	Bemerkung
Europäische Aspe	$0,43 \text{ g}/\text{cm}^3$ - $0,45 \text{ g}/\text{cm}^3$	Haasemann (1964)	
Europäische Aspe	$0,37 \text{ g}/\text{cm}^3$ - $0,52 \text{ g}/\text{cm}^3$ $0,41 \text{ g}/\text{cm}^3$	Bosshard (1982)	
Europäische Aspe	$0,368 \text{ g}/\text{cm}^3$ - $0,438 \text{ g}/\text{cm}^3$	Scholz (1972)	
Europäische Aspe	$0,395 \text{ g}/\text{cm}^3$ - $0,420 \text{ g}/\text{cm}^3$	Schneck (1985)	Ermittlung an Bohrkernen
Hybridaspe	$0,46 \text{ g}/\text{cm}^3$	Sachsse und Melchior (1984)	Hybridaspennachkommenschaft ('Holsatia')
Amerikanische Aspe	$0,42 \text{ g}/\text{cm}^3$	Gonzales (1990)	
Europäische Aspe	$0,36 \text{ g}/\text{cm}^3$ - $0,56 \text{ g}/\text{cm}^3$ $0,45 \text{ g}/\text{cm}^3$	Großer und Teetz (1998)	
Europäische Aspe	$0,40 \text{ g}/\text{cm}^3$ - $0,60 \text{ g}/\text{cm}^3$ $0,49 \text{ g}/\text{cm}^3$	Großer (2006)	
Hybridaspe	$0,35 \text{ g}/\text{cm}^3$	Bütow (2009)	5-jährigen Aspen von einer KUP-Versuchsfläche, Ermittlung an Stammscheiben
Europäische Aspe	$0,38 \text{ g}/\text{cm}^3$	Bütow (2009)	5-jährigen Aspen von einer KUP-Versuchsfläche, Ermittlung an Stammscheiben

sollen durch Serien-Dichteuntersuchungen mittels Pilodyn ergänzt werden, da diese Informationen für Aspennachkommenschaften auf KUP-Flächen bislang weitestgehend fehlen. Diese Arbeit leistet einen Beitrag zur Klärung dieses Sachverhaltes anhand 9-jähriger Aspen.

2 Material und Methoden

Auf drei im Jahr 2010 im Rahmen des Verbundprojektes FastWOOD (Borschel et al., 2012; Liesebach, 2015) vom Thünen-Institut für Forstgenetik mit einjährigen Sämlingen angelegten Aspen-Nachkommenschaftsprüfungen in Altlandsberg (Brandenburg), Thammenhain (Sachsen) und Trenthorst (Schleswig-Holstein) wurden zwischen dem 29.03.2017 und dem 13.04.2017 Dichteuntersuchungen durchgeführt. Dabei wurde das als zerstörungsfrei geltende Pilodynverfahren (Cown, 1978; Görlacher, 1987; Proceq, 2003) angewendet. Es nutzt die Eindringtiefe eines 2,5 mm starken Stahlstiftes, der mittels einer definierten Energie von 6 J in den Stamm getrieben wird, zur indirekten Bestimmung der Rohdichte. Mittlere Eindringtiefe und Rohdichte stehen dabei in einem engen negativen Zusammenhang.

Als Untersuchungsmaterial dienten Aspen der im Frühjahr 2010 angelegten Versuchsserie. Der Versuch ist als vollständige Blockanlage mit 4 (Thammenhain) bzw. 5 (Altlandsberg, Trenthorst) Wiederholungen angelegt. Der Pflanzverband beträgt 2,00 x 0,75 m. Jede Parzelle besteht aus 40 Einzelbäumen (4 Reihen á 10 Bäume). Die Lage der Flächen ist Tabelle 2 zu entnehmen. Eine detaillierte standörtliche und klimatische Beschreibung der Versuchsstandorte findet sich in Heimpold (2017).

Die Flächen AS 10/1 (Altlandsberg) und Bio 11 (Trenthorst) wurden im Winter 2015/2016, also im Jahr vor der Pilodyn-messung, durchforstet. Dabei wurde die Stammzahl um etwa 50% reduziert. Die Fläche AS 10/2 (Thammenhain) ist undurchforstet. Die Pilodyn-messung in 1,3 m Höhe erfolgte an allen Bäumen mit einem Brusthöhendurchmesser > 50 mm. Jeder Baum wurde zweifach mit dem Pilodyn-gerät beprobt, die erste Messung erfolgte aus südlicher (im Reihenverlauf), die zweite Messung aus östlicher Richtung (quer zur Reihe). Die Werte wurden bei der späteren statistischen Auswertung gemittelt. Die Pilodyn-Messungen wurden bei allen Bäumen mit Rinde durchgeführt, da die untersuchten Bäume auf den

drei Versuchsflächen im ähnlichen BHD-Bereich lagen und noch keine Borke ausgebildet war. Zusätzlich erfolgte die Ermittlung des Brusthöhendurchmessers jedes Probebaumes durch Einfachklappung (Liesebach et al., 2017).

Die vorliegende Arbeit wertet die Daten der 17 auf allen drei Versuchsflächen gemeinsam vorkommenden Prüfgliedern aus. Insgesamt flossen die Daten von 1.843 Bäumen in die Auswertung ein. Der Stichprobenumfang je Prüfglied und Versuchsfläche ist Tabelle 3 zu entnehmen. Die Tabelle gibt gleichzeitig die Zuordnung der einzelnen Prüfglieder zu den Artgruppen farblich wieder. Die Einzelbaumabsaat Pinneberg dient als Kontrolle.

Die statistische Auswertung erfolgte mittels Varianzanalyse über alle Versuchsorte nach folgendem Modell:

$$y_{ijk} = \mu + b_k [b_j] + a_i + b_j + (ab)_{ij} + e_{ji}$$

Dabei sind y_{ijk} der Prüfmerkmalswert der Nachkommenschaft i im Block k in Versuch j , μ das Gesamtmittel, a_i der fixe Effekt der Nachkommenschaft auf Stufe i , b_j der fixe Effekt des Versuchs auf Stufe j , $b_k [b_j]$ der fixe Effekt des Blockfaktors auf Stufe k im Versuch j , $(ab)_{ij}$ die Wechselwirkung zwischen der i -ten Nachkommenschaft und dem j -ten Versuch und e_{ji} der Zufallseffekt. Die Berechnung erfolgte mit der Prozedur MIXED des Programmpaketes SAS 9.3 unter Verwendung der ADJUST=SIMULATE Option der LSMEANS Anweisung.

Die grafischen Darstellungen wurden mit dem Programm Microsoft Excel 2010 angefertigt.

Mit der Korrelationsanalyse (Produkt-Moment-Korrelation) wurde berechnet, ob zwischen den Merkmalen BHD und Pilodyn-Wert ein Zusammenhang besteht.

3 Ergebnisse

Aufgrund der standörtlichen Unterschiede zeigen die Aspen-Nachkommenschaften auf den einzelnen Versuchsflächen unterschiedliche Durchmesserleistungen. Ebenso zeigen sich auf den gleichen Flächen unterschiedliche Leistungsniveaus in Abhängigkeit von den Nachkommenschaften der Elternkombination. Die Auswertung über alle Versuche (Tabelle 4) erfolgt getrennt nach Europäischen Aspen, Hybrid Aspen und Amerikanischen Aspen und die Versuchsflächen. Die drei Gruppen sind in Abbildung 1 verschiedenfarbig hervorgehoben.

Tabelle 2

Beschreibung der im Frühjahr 2010 angelegten Versuchsflächen des Verbundprojektes FastWOOD

Versuchsfläche	Bundesland	Bodentyp	Ackerzahl	Geogr. Länge	Geogr. Breite	Höhe über NN [m]	Anzahl Prüfglieder	Anzahl Wiederholungen (aufgenommen) [n]	Aufnahmedatum
Altlandsberg (AS 10/1)	Brandenburg	Braunerde	28	13°69'O	52°54'N	57	32	5 (4)	11.-13.04.2017
Thammenhain (AS 10/2)	Sachsen	Pseudogley-Braunerde	48	12°84'O	51°43'N	149	27	4 (2)	29.-30.03.2017
Trenthorst (Bio 11)	Schleswig-Holstein	Pseudogley	58	10°51'O	53°78'N	45	28	5 (3)	05.-06.04.2017

Tabelle 3

Übersicht über die 17 auf allen drei Flächen gemeinsam angepflanzten Prüfglieder (PG) und die je Prüfglied und Versuchsfläche (AS 10/1 = Altlandsberg, AS 10/2 = Thammenhain, Bio11 = Trenthorst) erhobenen Stichprobenumfänge

Artgruppe	PG	Elternkombination	AS 10/1 [n]	AS 10/2 [n]	Bio 11 [n]	Σ [n]
ta	1	W 1 × W 52	9	17	37	63
	16	Uhyst 27 × L 311	10	25	45	80
	21	L 47 × L 317	18	8	41	67
	28	Pinneberg	6	15	11	32
ta x ts	2	Brauna 11 × Turesson 141	42	48	51	141
	3	Brauna 11 × T 46-60	56	53	54	163
	4	GrDubrau 5 × Turesson 141	32	39	44	115
	5	GrDubrau 5 × Drinkwater Rd.	47	44	45	136
	6	GrDubrau 5 × T 46-60	45	48	50	143
	7	W 1 × Turesson 141	44	48	62	154
	8	W 1 × T 46-60	39	53	58	150
	13	W 1 × Ihl 1	42	42	45	129
	20	L 4 × T 44-60	31	20	51	102
22	L 47 × Turesson 141	15	11	45	71	
ts x ta	9	T 5-61 × W 52	43	45	53	141
ts	10	T 5-61 × Turesson 141	6	42	57	105
	12	T 5-61 × T 46-60	15	52	47	114

Farblich hervorgehoben sind die drei Artgruppen (grün = Europäische Aspe, blau = Hybridaspes, rot = Amerikanische Aspe; ta = *Populus tremula*, ts = *P. tremuloides*)

Tabelle 4

Minimaler, mittlerer und maximaler BHD der Nachkommenschaften in den drei Artgruppen und auf den drei Versuchsflächen

Art	BHD Min ... Mittel ... Max [mm]			
	Altlandsberg	Thammenhain	Trenthorst	Mittel
Europäische Aspe	57...59...61	61...64...67	55...59...63	55...61...67
Hybridaspes	62...73...82	69...76...79	61...76...85	61...75...85
Amerikanische Aspe	58...60...62	63...63...63	56...63...69	56...62...69
Mittel	57...68...82	61...71...79	55...71...85	55...70...85

Tabelle 5

Minimale, mittlere und maximale Eindringtiefe bei den Nachkommenschaften in den drei Artgruppen und auf den drei Versuchsflächen

Art	Eindringtiefe Min ... Mittel ... Max [mm]			
	Altlandsberg	Thammenhain	Trenthorst	Mittel
Europäische Aspe	20...21...22	22...24...25	23...25...26	20...23...26
Hybridaspes	20...22...25	23...26...29	23...25...31	20...25...31
Amerikanische Aspe	19...21...23	25...26...27	25...26...26	19...24...27
Mittel	19...22...25	22...25...29	23...25...31	19...24...31

Abbildung 1 stellt die mittleren BHD-Werte der gemeinsamen Prüfglieder absteigend sortiert dar. Prüfglied 6 (GrDubrau 5 × T 46-60) weist über alle drei Flächen betrachtet mit 82 mm den höchsten BHD auf, gefolgt von PG 7 (W 1 × Turesson 141) und PG 9 (T 5-61 × W 52) mit jeweils 78 mm. Den letzten Rang belegt PG 28 (Kontrolle), eine freie Abblüte einer

Europäischen Aspe mit 59 mm. Der mittlere BHD über alle Prüfglieder beträgt 70 mm. Die vorderen 10 der 17 Ränge werden von Hybridaspes belegt (blaue Säulen). Auf Rang 11 folgt eine Amerikanische Aspe (PG 10: T 5-61 × Turesson 141). Die Europäischen Aspen belegen die Plätze 13 bis 15 und 17.

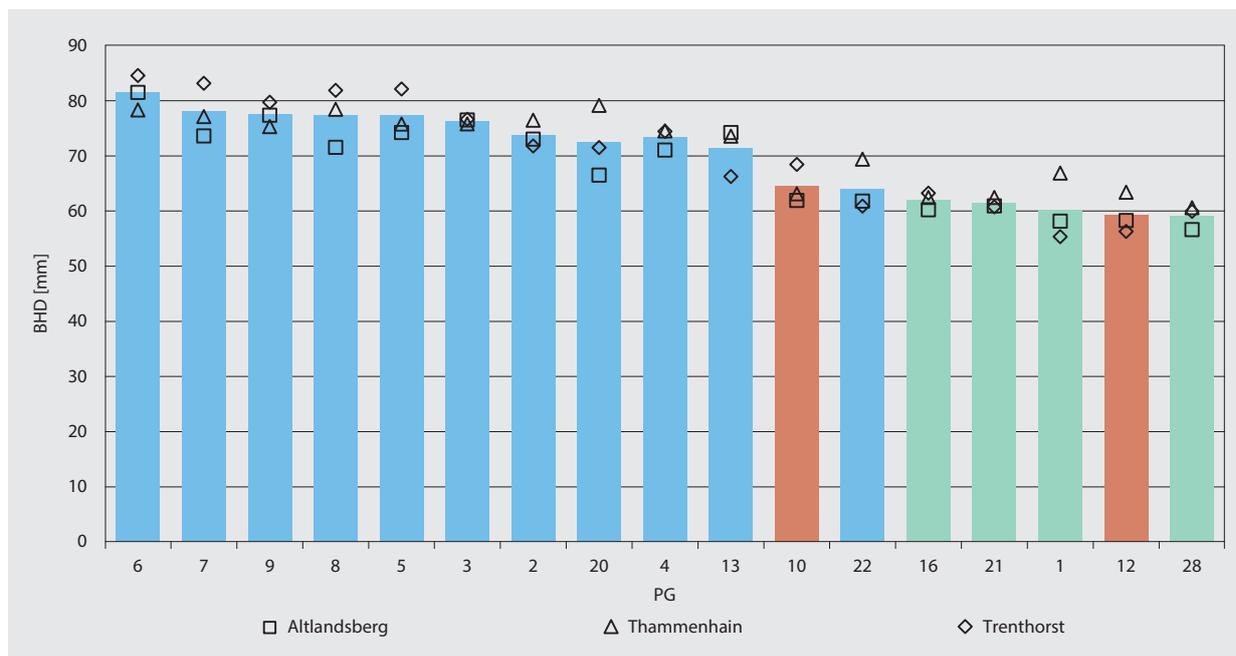


Abbildung 1

Überblick über die 17 gemeinsamen Prüfglieder (PG) mit Darstellung des Durchschnittswertes (Säule) absteigend nach BHD sortiert und der Mittel auf den 3 Versuchsflächen (grün = Europäische Aspe, blau = Hybridaspes, rot = Amerikanische Aspe)

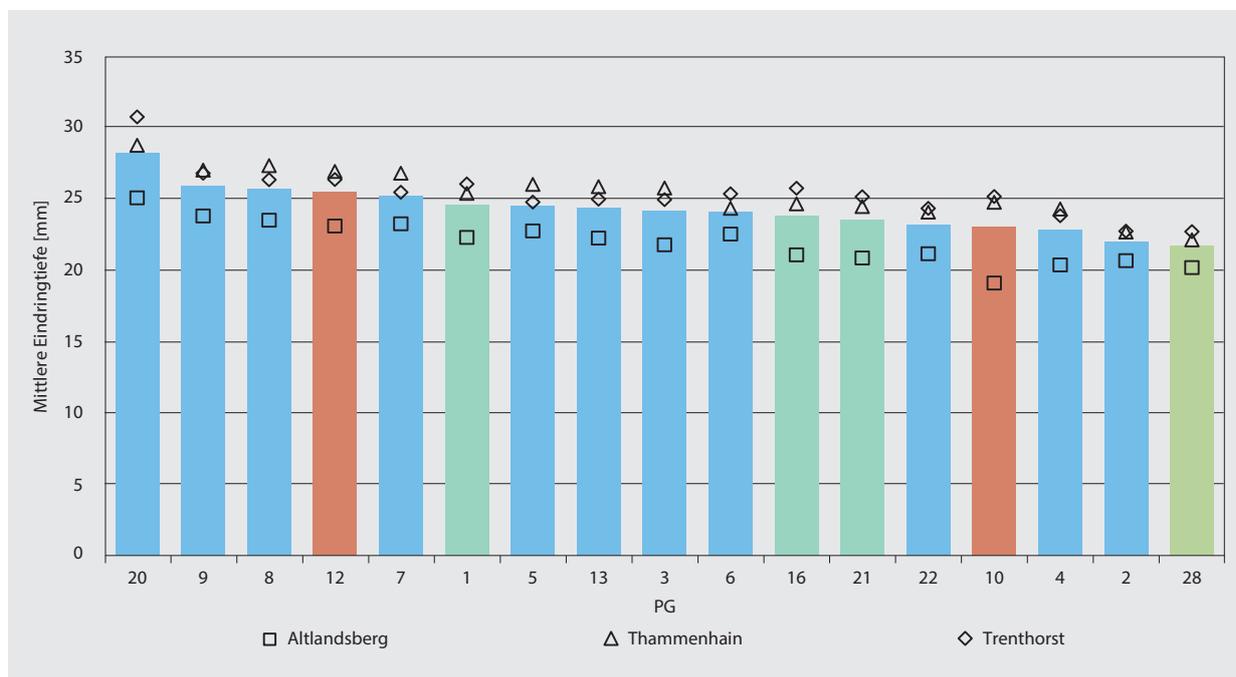


Abbildung 2

Mittelwerte der mittleren Eindringtiefe über die Versuchsserie (Säule) und für die Einzelversuche (Symbole) der 17 gemeinsamen Prüfglieder absteigend sortiert (grün = Europäische Aspe, blau = Hybridaspes, rot = Amerikanische Aspe)

Die mittlere Eindringtiefe bewegt sich bei den Europäischen Aspen zwischen 22 mm (PG 28: Kontrolle Pinneberg) und 25 mm (PG 1: (W 1 × W 52)). Im Mittel beträgt die Eindringtiefe bei den Europäischen Aspen 23 mm. Bei den Hybridaspes besitzt das PG 20 (L 4 × T 44-60) mit 28 mm die höchste mittlere Eindringtiefe, das PG 2 (Brauna 11 × Turesson 141) mit

22 mm die geringste Eindringtiefe. Im Mittel beträgt die Eindringtiefe bei den Hybridaspes 25 mm. Bei den Amerikanischen Aspen schwankt die mittlere Eindringtiefe zwischen 25 mm (PG 12: T 5-61 × T 46-60) und 23 mm (PG 10: T 5-61 × Turesson 141). Die mittlere Eindringtiefe der Amerikanischen Aspen liegt bei 24 mm (Tabelle 5, Abbildung 2).

Tabelle 6

Paarweise Mittelwertdifferenzen der mittleren Eindringtiefe der gemeinsamen Prüfglieder der drei Versuchsflächen, signifikante Unterschiede ($\alpha \leq 0,05$) gelb hervorgehoben

		PG																
		1	16	21	28	2	3	4	5	6	7	8	13	20	22	9	10	12
PG	1		1,4	1,0	3,1	2,7	0,8	2,9	0,1	1,2	-0,4	-0,6	1,1	-3,0	1,3	-0,9	2,2	0,4
	16			-0,4	1,7	1,3	-0,6	1,5	-1,3	-0,2	-1,8	-2,0	-0,3	-4,4	-0,1	-2,3	0,8	-1,0
	21				2,0	1,7	-0,2	1,9	-0,9	0,2	-1,4	-1,6	0,1	-4,1	0,2	-1,9	1,2	-0,6
	28					-0,3	-2,2	-0,2	-2,9	-1,8	-3,5	-3,7	-2,0	-6,1	-1,8	-3,9	-0,8	-2,7
	2						-1,9	0,2	-2,6	-1,5	-3,1	-3,4	-1,6	-5,8	-1,5	-3,6	-0,5	-2,4
	3							2,1	-0,7	0,4	-1,3	-1,5	0,2	-3,9	0,4	-1,7	1,4	-0,5
	4								-2,8	-1,7	-3,3	-3,5	-1,8	-5,9	-1,6	-3,8	-0,7	-2,5
	5									1,1	-0,6	-0,8	0,9	-3,2	1,1	-1,0	2,1	0,2
	6										-1,6	-1,8	-0,1	-4,2	0,0	-2,1	1,0	-0,8
	7											-0,2	1,5	-2,6	1,7	-0,5	2,7	0,8
	8												1,7	-2,4	1,9	-0,3	2,9	1,0
	13													-4,1	0,2	-2,0	1,2	-0,7
20														4,3	2,2	5,3	3,4	
22															-2,1	1,0	-0,9	
9																3,1	1,3	
10																	-1,9	
12																		

Die drei Prüfglieder mit der höchsten mittleren Eindringtiefe sind allesamt Hybridaspes. Die höchste mittlere Eindringtiefe hat das PG 20 (L 4 x T 44-60) mit 28 mm, gefolgt von PG 9 (T 5-61 x W 52) und PG 8 (W 1 x T 46-60) mit jeweils 26 mm. Auch die statistische Auswertung bestätigt die Ergebnisse, mit Ausnahme von PG 9 (T 5-61 x W 52) ist die mittlere

Eindringtiefe von PG 20 (L 4 x T 44-60) im Vergleich zu allen anderen Prüfgliedern signifikant größer (Tabelle 6). Die geringste mittlere Eindringtiefe hat PG 28 (Kontrolle) mit 22 mm.

Über alle drei Flächen und die drei Arten gibt es einen schwachen Zusammenhang zwischen BHD und Pilodyn-

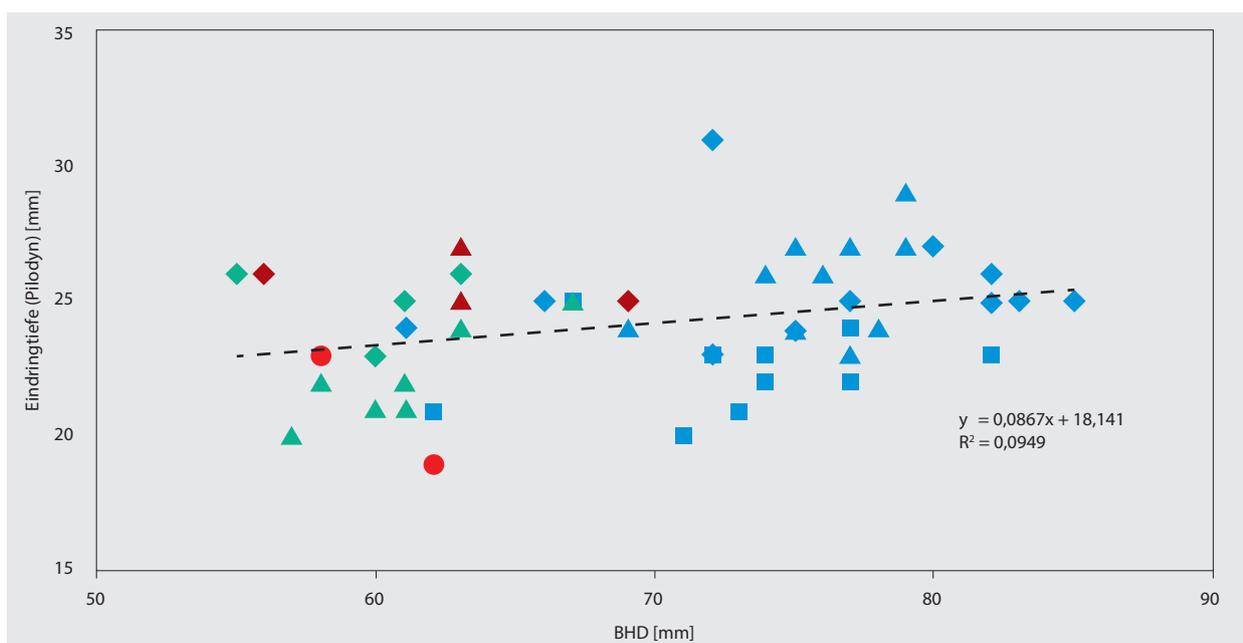


Abbildung 3

Zusammenhang zwischen BHD und Pilodyn-Wert (Flächen: Raute = Trenthorst, Quadrat = Altlandsberg, Dreieck = Thammenhain; Art: grün = Europäische Aspe, blau = Hybridaspe; rot = Amerikanische Aspe)

Tabelle 7

Zusammenhang zwischen dem BHD und der Pilodyn-Eindringtiefe (Pearson's Korrelationskoeffizient, ns = nicht signifikant $\alpha \leq 0,05$) für Flächen und Artgruppen

		Pearson's Korrelationskoeffizient
Fläche	Trenthorst	0,0859 ns
	Altlandsberg	0,4269 ns
	Thammenhain	0,4201 ns
Artgruppe	Europäische Aspe	0,3277 ns
	Hybridasphe	0,2844 ns
	Amerikanische Aspe	0,0489 ns

Wert (Abbildung 3). Auch bei getrennter Betrachtung der Flächen bzw. Arten (Tabelle 7) zeigt sich ein nur schwacher und nicht signifikanter Zusammenhang zwischen dem Durchmesser und der Eindringtiefe.

Auch innerhalb der Prüfglieder einer Versuchsfläche ergab die Untersuchung der Beziehung zwischen den Merkmalen BHD und mittlere Eindringtiefe nur in drei Fällen einen statistisch gesicherten Zusammenhang. In allen anderen Fällen war die Eindringtiefe nicht durchmesserabhängig.

4 Diskussion

In der untersuchten Versuchsserie bestätigen sich die Aussagen von Joachim (1991), Wettstein-Westerheim (1933), Melchior (1985), Wühlisch (2006) sowie Schneck und Liesebach (2015), dass die Hybridasphe oft wüchsiger sind als reine Aspen. So belegen bei der Bildung einer absteigend nach BHD sortierten Rangordnung die ersten 10 Ränge der 17 ausgewerteten Prüfglieder ausschließlich Hybridasphe. Joachim (1991) begründet das bessere Wachstum der Hybridasphe unter anderem mit einer um bis zu 6 Wochen verlängerten Wuchsperiode durch einen früheren Austrieb und einen späteren Laubfall im Vergleich zu reinen Europäischen Aspen sowie dem Heterosiseffekt.

Die mittlere Eindringtiefe und die Rohdichte stehen in einem umgekehrt proportionalen Zusammenhang. Proceq (2003) nennt für das Pilodynverfahren einen an Kiefern-

klonen ermittelten Korrelationskoeffizienten von $r = -0,96$. Cown (1978) gibt für das Pilodynverfahren für seine Untersuchungen an *Pinus radiata* D.Don. einen Korrelationskoeffizienten von $r = -0,86$ an. Im Rahmen einer Pilotstudie von Heimpold (2018, unveröffentlicht) auf der Fläche AS 10/2 (Thammenhain) konnte ein Korrelationskoeffizient von $r = -0,93$ ermittelt werden.

Das Pilodynverfahren als etablierte Methode zur Bestimmung der Holzdicke am lebenden Stamm hat zahlreiche Vor- und Nachteile. Hansen (2002) beschreibt in seiner Veröffentlichung die Vor- und Nachteile des Pilodynverfahrens (Tabelle 8).

Laut Mohrdiek (1979) und Bonnemann (1979) liegen die Rohdichten der Hybridasphe im Mittel höher als die der reinen Aspen. Dieser Sachverhalt ließ sich mit unseren Untersuchungsergebnissen nicht bestätigen. Im Mittel betrug die Eindringtiefe bei den Europäischen Aspen 23 mm, bei den Hybridasphe 24 mm und bei den Amerikanischen Aspen 25 mm. Die Differenzen lassen sich statistisch nicht sichern.

Die auf den Flächen Altlandsberg und Trenthorst durchgeführte Durchforstung hatte einen positiven Einfluss auf den Durchmesserzuwachs des verbleibenden Bestandes. Inwiefern sich dieser Mehrzuwachs auf eine verringerte Rohdichte ausgewirkt hat, konnte im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht quantifiziert werden.

Hansen (2002) führt an, dass die Richtung der ersten Messung zufällig erfolgen soll, um systematische Einflüsse des Zugholzes, beispielsweise aufgrund der Hauptwindrichtung, zu verhindern. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgängig aus südlicher und östlicher Richtung durchgeführten Messungen könnten somit zu einer Verzerrung geführt haben.

Die Verletzung des Stammes durch die Prüfnadel des Pilodyn 6J Forest ist dabei so gering, dass das Verfahren als zerstörungsfrei gilt (Görlacher, 1987; Proceq, 2003). Dies ist besonders von Vorteil, da es sich um Untersuchungen auf Versuchsflächen handelt, die ihren Versuchszweck noch nicht erfüllt haben und weiter beobachtet werden sollen.

Das Pilodynverfahren stellt ein geeignetes Verfahren zur kostengünstigen Beurteilung der Rohdichte von Aspen und Hybridasphe dar. Auch ohne Umrechnung in die Rohdichte [g/cm^3] ermöglicht es die Bildung von Rangfolgen unter den einzelnen Prüfgliedern. Das Pilodynverfahren stellt eine

Tabelle 8

Vor- und Nachteile des Pilodynverfahrens (verändert nach Hansen, 2002)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> gute Korrelation (oft 0,8-0,9) zwischen Rohdichte und Eindringtiefe bei Betrachtung von Familien 	<ul style="list-style-type: none"> misst nur die äußeren Jahrringe (bis max. 40° mm)
<ul style="list-style-type: none"> zerstörungsfreies Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> nicht bei Frost anwendbar
<ul style="list-style-type: none"> zeit- und kostensparend 	<ul style="list-style-type: none"> Korrelation auf Einzelbaumebene geringer → sicheres Werkzeug zur Auswahl von Familien, weniger von Einzelbäumen mit bestimmten Dichteigenschaften
<ul style="list-style-type: none"> keine Temperatur- und tageszeitlichen Unterschiede in der Messung 	<ul style="list-style-type: none"> Unterschiede in der Eindringtiefe im Jahresverlauf bei dickborkigen Bäumen Entfernung der Rinde erforderlich

Möglichkeit dar, verwendungsrelevante holzphysikalische Parameter am stehenden Stamm zu bestimmen und als zusätzliche Informationsquelle bei der Selektion von Plusbäumen für zukünftige Züchtungsschritte zu nutzen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde der Pilodynwert als eng mit der Rohdichte korrelierendes Maß verwendet. Eine direkte Aussage zur Rohdichte kann aber nicht getroffen werden. Weiterführende Untersuchungen sind deshalb erforderlich.

Danksagung

Die Projekte „FastWOOD“, „FastWOOD 2“ und „FastWOOD 3“ wurden bzw. werden durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft über die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. gefördert (FKZ: 22011107, 22002611 und 22000514), dafür sei an dieser Stelle gedankt. Ebenso sei den Herren Stefan Jenczik und Paul Reim, beide Thünen-Institut für Forstgenetik, gedankt, die bei den Datenaufnahmen mitgewirkt haben.

Literatur

- Bonnemann A (1979) Die Eigenschaften des Pappelholzes : 6: Physikalische Eigenschaften: Rohdichte. Holz-Zentralblatt 105:1728-1731
- Borschel M, Fey-Wagner C, Janßen A (2012) Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb : Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung. Göttingen : Univ-Verl, 346 p, Beitr NW-FVA 8
- Bosshard HH (1982) Mikroskopie und Makroskopie des Holzes. Basel : Birkhäuser, 224 p
- Bütow U (2009) Wachstum und Entwicklung unterschiedlicher Aspennachkommenschaften für die Nutzung als nachwachsender Rohstoff. Hohenheim : Univ, 46 p
- Chen Z-Q, Karlsson B, Lundqvist S-O, García Gil MR, Olsson L, Wu H X (2015) Estimating solid wood properties using Pilodyn and acoustic velocity on standing trees of Norway Spruce. *Ann For Sci* 72(4):499-508
- Cown DJ (1978) Comparison of the Pilodyn and torsionmeter methods for the rapid assessment of wood density in living trees. *J For Sci* 8(3):384-391
- dos Santos GA, Nunes ACP, de Resende MDV, Silva LD, Higa A, de Assis TF (2016) An index combining volume and Pilodyn penetration to study stability and adaptability of *Eucalyptus* multi-species hybrids in Rio Grande do Sul, Brazil. *Australian For* 79(4):248-255
- Ebert H-P (1999) Die Behandlung von nicht häufig vorkommenden Baumarten (Nebenbaumarten). Rottenburg : FHR, 177 p, Schr Fachhochschule Rottenburg 10
- Gonzales JS (1990) Wood density of Canadian tree species. Edmonton, Alberta : Northern Forestry Centre, 130 p, Inform Rep 315
- Görlacher R (1987) Zerstörungsfreie Prüfung von Holz : ein "in situ"-Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte. Holz Roh- Werkst 45:273-278
- Großer D, Teetz W (1998) Einheimische Nutzhölzer : Pappel ; Blatt 14. Bonn : CMA, 6 p
- Großer D (2006) Das Holz der Pappeln – Eigenschaften und Verwendung [online]. Zu finden in <<https://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/holzverwendung/038606/index.php>> [zitiert am 03.09.2018]
- Haasemann W (1964) Untersuchungen zur genetisch bedingten Variation verschiedener Holzeigenschaften an Aspe (*Populus tremula* L.). Zellst Pap (4):108-111
- Hai PH, Duong LA, Toan NQ, Ha TTT (2015) Genetic variation in growth, stem straightness, pilodyn and dynamic modulus of elasticity in second-generation progeny tests of *Acacia mangium* at three sites in Vietnam. *New Forests* 46(4):577-591
- Hansen CP (2002) Application of the Pilodyn in forest tree improvement. Humblebaek : Danida Forest Seed Centre, 11 p, Techn Note / Danida Forest Seed Centre 55
- Heimpold K (2017) Untersuchungen zur zerstörungsfreien Bestimmung der Rohdichte von Pappeln der Sektion *Populus* auf landwirtschaftlich genutzten Flächen (Kurzumtriebsbestände) in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen und Schleswig-Holstein. Berlin : Humboldt-Univ, 49 p
- Ishiguri F, Matsui R, Iizuka K, Yokota S, Yoshizawa N (2008) Prediction of the mechanical properties of lumber by stress-wave velocity and Pilodyn penetration of 36-year-old Japanese larch trees. Holz Roh- Werkst 66(4):275-280
- Joachim H-F (1991) Hybridaspens : schnellwüchsige, leistungsfähige und vielseitig einsetzbare Baumarten. Eberswalde-Finow : Inst Forstwiss, 46 p, IFE-Ber Forsch Entwickl 22
- Kube PD, Raymond CA (2002) Selection strategies for genetic improvement of basic density in *Eucalyptus nitens* [online]. Zu finden in <https://www.researchgate.net/publication/237512362_Selection_strategies_for_genetic_improvement_of_basic_density_in_Eucalyptus_nitens> [zitiert am 03.09.2018]
- Le Dinh K, Harwood CE, Duc Kien N, Baltunis BS, Hai ND, Thanh HH (2012) Growth and wood basic density of *Acacia* hybrid clones at three locations in Vietnam. *New Forests* 43(1):13-29
- Lewark S (1984) Korrekturfaktoren für Messwerte eines Pilodyn-Holzprüfgerätes aus verschiedenen Monaten. Holz Roh- Werkst 42(11):431
- Liesebach M, Wühlisch G von, Muhs H-J (1999) Von Aspenhybriden für die Biomasseerzeugung in Kurzumtriebsplantagen. In: Hofmann M (ed) Modellvorhaben „Schnellwachsende Baumarten“ : zusammenfassender Abschlussbericht. Münster : Landwirtschaftsverl, pp 240-313, Schr Nachw Rohst 13
- Liesebach M, Wühlisch G von, Muhs H-J (2000) Überlegenheit von Aspen-Arthybriden bei der Biomasseproduktion im Kurzumtrieb. Holzzucht 54(1):11-18
- Liesebach M, Schneck V, Wolf H (2012) Züchtung von Aspen für den Kurzumtrieb. In: Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb : Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung. Göttingen : Univ-Verl, pp 71-90, Beitr NW-FVA 8
- Liesebach M (ed) (2015) FastWOOD II: Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb – Erkenntnisse aus 6 Jahren FastWOOD. Braunschweig : Johann Heinrich von Thünen-Institut, 210 p, Thünen Rep 26, DOI: 10.3220/REP_26_2015
- Liesebach M, Ahrenhövel W, Janßen A, Karopka M, Rau HM, Rose B, Schirmer R, Schneck D, Schneck V, Steiner W, Schüler S, Wolf H (2017) Planung, Anlage und Betreuung von Versuchsflächen der Forstpflanzenzüchtung : Handbuch für die Versuchsanstellung. Braunschweig : Johann Heinrich von Thünen-Institut, 80 p, Thünen Rep 49, DOI:10.3220/REP1496222427000
- Melchior GH (1985) Die Züchtung von Aspe und Hybridaspens und ihre Perspektiven für die Praxis. *Allg Forst Jagdzeitg* 156:112-122
- Mishima K, Iki T, Hiraoka Y, Miyamoto N, Watanabe A (2011) The evaluation of wood properties of standing trees in sugi (*Cryptomeria japonica*) plus tree clones selected in Kanto breeding region. *J Jpn Wood Res Soc* 57(5):256-264
- Mohrdiek O (1979) Zur Holzdichte und Faserlänge bei *Populus-Leuce*-Arten. Holzzucht 33:23-26
- Nunes ACP, de Resende MDV, dos Santos GA, Alves RS (2017) Evaluation of different selection indices combining Pilodyn penetration and growth performance in *Eucalyptus* clones. *Crop Breed Appl Biotechnol* 17(3):206-213
- Proceq (2003) Holzprüfgerät PILODYN 6J für die Prüfung von Leitungsmasten [online]. Zu finden in <http://www.hoskinscientifique.com/uploadpdf/Instrumentation/Proceq/hoskin_Pilodyn_d_e4120c22b6e547.pdf> [zitiert am 05.09.2018]
- Raymond CA, MacDonald AC (1998) Where to shoot your pilodyn : within tree variation in basic density in plantation *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in Tasmania. *New Forests* 15:205-221
- Sachsse H, Melchior GH (1984) Über das Holz der Hybridaspensfamilie „19/51“ ('Holsatia') von zwei Versuchsorten. *Holzforschung* 38:297-308

- Schneck H (1985) Neuzüchtungen zur Ertragssteigerung des Aspenanbaus auf mittleren Standorten im Pleistozän der DDR. *Beitr Forstwirtschaft* 19(2):74-77
- Schneck V, Liesebach M (2015) Potenziale von Aspe im Kurzumtrieb. *Thünen Rep* 26:15-27
- Scholz E (1972) Vorschlag für die Anerkennung einer Hochzuchtsorte der Aspe. Forschungs- und Entwicklungsarbeit am Institut für Forstwissenschaften Eberswalde (unveröffentlicht)
- Steiner W, Dunkel K (2017) Holzvermessungsanweisung (HVA) : Grundsatzanweisung zur Vermessung von Rohholz für alle Holzverkäufe durch den Landesbetrieb Landesforsten Rheinland-Pfalz [online] Zu finden in <https://www.wald-rlp.de/index.php?eID=tx_securedownloads&u=0&=0&t=1877716779&hash=a9842e2eb0de8f2c2bb27dd745bcacdae-074ab1c&file=fileadmin/website/downloads/vermarktung/rva.pdf> [zitiert am 03.09.2018]
- Thünen-Institut (2012) Dritte Bundeswaldinventur : Ergebnisdatenbank ; Auftragskürzel: 77Z1JL_L657of_2012_bi_LB [online]. Zu finden in <<https://bwi.info>>, Archivierungsdatum: 2014-7-22 8:24:31.947, Überschrift: Waldfläche (gemäß Standflächenanteil) [ha] nach Land und Laubbaumart, Filter: Jahr=2012 [zitiert am: 05.09.2018]
- Wang J-H, Zhang S-G, Zhang J-G, Sun X-M, Zhu J-L, Liang B-S, Qi W-Y (2008) Research on applying the pilodyn in wood property breeding of *Larix kaempferi*. *Linye Kexue Yanjiu* 21(6):808-812
- Wettstein-Westerheim W von (1933) Die Methode der gelenkten Kreuzung und die Beschreibung von F1-Hybriden bei Pappel. *Z Pflanzenzücht* 18:597-626
- Wu S, Xu J-M, Li G-Y, Vuokko R, Lu Z-H, Li B-Q, Wang W (2010) Use of the pilodyn for assessing wood properties in standing trees of *Eucalyptus* clones. *J Forestry Res* 21:68-72
- Wühlisch G von (2006) Ergebnisse der Züchtung von Pappeln und Aspen in Großhansdorf : Perspektiven für die Energie- und Rohstoffherzeugung. *Vortr Pflanzenzüchtung* 70:157-170
- Wühlisch G von (2016) Pappeln und Weiden in Deutschland : Bericht der Nationalen Pappelkommission 2012-2015. Braunschweig : Johann Heinrich von Thünen-Institut, 15, XVIII p, Thünen Working Paper 62, DOI:10.3220/WP1471853422000
- Zhang S, Luan Q, Jiang J (2017) Genetic variation analysis for growth and wood properties of slash pine based on the non-destructive testing technologies. *Linye Kexue/Scientia Silvae Sinicae* 53(6):30-36
- Zhu J-L, Wang J-H, Zhang S-G, Zhang J-G, Sun X-M, Liang B-S, Zhao K (2009) Using the pilodyn to assess wood traits of standing trees *Larix kaempferi*. *Linye Kexue Yanjiu* 22(1):75-79

