

Landgraf, D. (Hrsg.)



2. ERFURTER TAGUNG

Schnellwachsende Baumarten – Erntetechniken, –verfahren und Logistik

vom 28.02. – 01.03.2019

Impressum

Herausgeber

© Fachhochschule Erfurt
Fakultät Landschaftsarchitektur, Gartenbau und Forst
Altonaer Str. 25
99085 Erfurt
Telefon +49(0)361/6700-0
Telefax +49(0)361/6700-703
www.fh-erfurt.de

Verantwortlich für den Inhalt:

Prof. Dr. Dirk Landgraf

Gestaltung:

Heidi Pfeifer, Karoline Schwandt, Dirk Landgraf

Druck:

Handmann Werbung GmbH
Heinrich – Credner – Str. 2
99087 Erfurt

ISSN:

Print 2567-8922
Online 2627-9908

Stand:

Februar 2019

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages und des Autors unzulässig. Dies gilt insbesondere für die elektronische oder sonstige Vervielfältigung, Übersetzung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Inhaltsverzeichnis

1	Begrüßung und Einführung in die Tagung "Schnellwachsende Baumarten - Erntetechniken, -verfahren und Logistik" - Thüringer Bioenergietag vom 28.02. - 01.03.2019 in Erfurt	3
2	Grußwort – 2. Erfurter Tagung "Schnellwachsende Baumarten - Erntetechniken, -verfahren und Logistik"	10
3	Nachhaltige Bereitstellung von energetisch nutzbarem Holz	11
4	Effiziente Verfahren zur Lagerung und Trocknung von Holz aus Kurzumtriebsplantagen.....	22
5	Erste Ergebnisse des Biomasse-Asche-Monitorings (BAM)	33
6	Erfahrungen aus 12 Jahren KUP-Ernte – ein Praxisbericht.....	43
7	Verbrennungsverhalten von KUP-Brennstoffen	52
8	Robinie – neue Einblicke und wissenschaftliche Erkenntnisse - Biomasse, Blüte, Konkurrenz, Invasivität	65
9	Aspekte der Sortenprüfung bei Pappeln mit unterschiedlichen Produktionszielen	79
10	Geflügelhaltung und Energieholz als Agroforst-System: Erfahrungen aus 10 Jahren.....	88
	Posterbeiträge	95
11	Umbruchfreie Begründung von KUP auf Moorböden.....	96
12	Durchgewachsene KUP garantiert wirtschaftlichen Verlust.....	97
13	Ergebnisse aus den Agroforstsystem Dornburg	99
14	Dendromass4Europe: Developing Bark-based, Eco-fungicidal Packaging Materials	100
15	Reaktionen von Pappel-Klonen auf Trockenheit und Frost – Grundlage für Verwendungsempfehlungen und weiterführende Züchtungsmaßnahmen	102

1 Begrüßung und Einführung in die Tagung "Schnellwachsende Baumarten - Erntetechniken, - verfahren und Logistik" - Thüringer Bioenergietag vom 28.02. - 01.03.2019 in Erfurt

Dirk Landgraf

Fachhochschule Erfurt, Leipziger Straße 77
99085 Erfurt, Deutschland

1.1 Begrüßung

Sehr geehrte Damen und Herren,

Ich begrüße Sie ganz herzlich zur 2. Erfurter Tagung "Schnellwachsende Baumarten - Erntetechniken, -verfahren und Logistik", welche in diesem Jahr erstmalig mit dem traditionsreichen „Thüringer Bioenergietag“ kombiniert wurde. Dieser wurde seit vielen Jahren von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) – die nach einer Reform in das Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR) integriert wurde – veranstaltet.

Gestatten Sie mir für die diesjährige Tagung ein paar einleitende Worte:

1.2 Einleitung

Der Anbau schnellwachsender Baumarten in Europa unterlag in den letzten Jahrzehnten einer wellenförmigen (sinuskurvenartigen) Dynamik. Mit schnellwachsenden Baumarten in unterschiedlichen Landnutzungssystemen beschäftigte sich die Forschung und Praxis immer dann, wenn durch eine verstärkte Nutzung von holzartiger Biomasse ein entsprechender Versorgungsengpass drohte (LANDGRAF, 2017).

Auch wenn in der letzten „Hochphase“ (Euphorie) bei weitem nicht die angestrebten Flächengrößen mit schnellwachsenden Baumarten in Deutschland etabliert wurden, schätzt die FNR (2018) die Anbaufläche mit Pflanzen für Festbrennstoffe im Jahr 2017 auf 11.000 ha. Steht man der Pflanze Riesen-Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*) 1.000 ha zu, verbleiben somit 10.000 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche, welche mit Kurzumtriebsplantagen (KUP) unterschiedlicher schnellwachsender Baumarten bestockt wurden. Damit wurde einerseits zumindest eine von der Deutschen Landwirtschaftlichen Gesellschaft e.V. (DLG) geforderte Mindestgröße für Deutschland erreicht (SETZER, 2010). Andererseits wurde damit eine Flächengröße in Deutschland erreicht, die ein größerer Energiekonzern mal ganz allein und das auch noch in einem Zeitraum von 3 bis 4 Jahren erreichen wollte (LANDGRAF UND WINKELMANN, 2010).

Die Datenlage über den Anbau schnellwachsender Baumarten ist jedoch so ungenau und lückenhaft, dass Niemand sagen kann, wie groß die tatsächliche Fläche ist, geschweige denn, mit welchen Baumarten und deren Sorten diese Flächen in welchem Anbausystem und welcher Rotationsvariante bestockt sind. Man kann davon ausgehen, dass die Größe der Anbaufläche stagniert. Das bedeutet jedoch nicht, dass überhaupt keine Flächen mehr mit KUP etabliert werden: es bedeutet, dass sich Flächenneuetablierung und Flächenaufgabe/Rekultivierung mehr oder weniger die Waage halten. Dabei müssen wir davon ausgehen, dass die meisten Flächenaufgaben von Flächenbesitzern vorgenommen werden, die einmal für größere Energieversorger in der Mini-Rotation angelegt wurden. Hinzugekommen sind in den letzten Jahren hingegen Flächen, bei denen das Holz zur Nutzung des Flächenbesitzers selbst gedacht

ist, und damit einer regionalen Energieversorgung in der urreigensten Form dient. Dies fand und findet hauptsächlich in den südlichen Bundesländern statt.

Auch wenn keine gesicherte Datengrundlage existiert, gehe ich davon aus, dass der überwiegende Teil der etablierten 10.000 ha KUP in Deutschland in der sogenannten Mini-Rotation angelegt wurde. Bei dieser Bewirtschaftungsvariante werden – baumartenbedingt – zwischen 6.500 und 16.000 Bäume pro ha ausgebracht (LANDGRAF, 2013). Diese Rotationsvariante verursacht somit schon allein durch die Stückzahl der Steckhölzer oder bewurzelten Sämlinge die höchste Anfangsinvestition von allen drei Rotationsvarianten. Diese Bäume müssen, in Abhängigkeit vom Standort, in einem Intervall von 2 bis 4 Jahren beerntet werden (LANDGRAF UND SETZER, 2012). Die dafür notwendige und vorgesehene Technik stammt aus der Landwirtschaft, ist sehr leistungsfähig (SCHWEIER, 2019), aber auch entsprechend teuer und nur für größere Flächen auch wirklich rentabel.

Stellt sich die Frage, warum wurde der überwiegende Teil der KUP in dieser Rotationsvariante angelegt?

Der größte Teil der KUP-Flächen wurde von und/oder für größere und große Energieversorger in den unterschiedlichsten Bewirtschaftungsmodellen deutschlandweit etabliert (LANDGRAF UND WINKELMANN, 2010; ENERGY CROPS, 2012). Ziel dieser Bewirtschaftungsmodelle war und ist eine gesicherte, planbare und kontinuierliche Versorgung der Energieversorger mit Holzhackschnitzeln.

Zudem entsprach diese Bewirtschaftungsform – die Erzeugung von Holz auf landwirtschaftlichen Flächen – am ehesten dem Selbstverständnis von Landwirten. Auch wenn ein in den 1990er Jahren von vielen Landwirtschaftsministern auf Landes- und Bundesebene propagierter Werbeslogan: „Vom Landwirt zum Energiewirt“ den Strukturwandel in der Landwirtschaft in die politisch gewünschte Richtung transportieren sollte und dabei gleichzeitig die Bevölkerung von der Wichtigkeit dieser Berufsgruppe informieren sollte – immerhin arbeiten nur noch 1,74 % der Erwerbstätigen in Deutschland in der Landwirtschaft (STATISTA, 2018): Tendenz weiter fallend – und immerhin gehen 41 % der EU-Ausgaben in die Landwirtschaft (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2019).

Dennoch wurde diese Energieerzeugung im ländlichen Raum mit mehr oder weniger traditionellen – oder zumindest bekannten – Pflanzen durchgeführt. Zudem lassen sich diese annuellen Kulturen, wie Raps, Mais und Co., relativ problemlos in vorhandene Fruchtfolgen integrieren. Vorhandene Technik konnte problemlos weiterverwendet werden.

Schon mehrjährige Kulturen, z.B. Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) oder das schon eingangs erwähnte Riesen-Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*) hatten es mit der Akzeptanz bei den Landwirten deutlich schwerer. Und jetzt sollten auch noch Bäume auf den Acker!

Wie immer, wenn etwas nicht gewollt wird, werden viele Argumente in die Waagschale geworfen, die nicht immer nachvollziehbar sind, oft nur Halbwahrheiten wiedergeben, Vorurteile klar herausstellen und eigentlich nur die Angst vor etwas Neuem erkennen lassen: „Was der Bauer nicht kennt, das frisst er nicht“ (Anonymus). Im Rahmen einer Dissertation (NEUBERT, 2017) wurden unter anderem auch die Ursachen für die ablehnende Haltung der Landwirte gegenüber dem Anbau schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen untersucht. Die Aussagen der Landwirte lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bäume hagern den Boden aus,
- Bäume lassen sich nicht in die Fruchtfolge integrieren,
- mit einem langfristigen Landnutzungssystem (KUP) kann man nicht auf die Erfordernisse des Marktes reagieren,
- die Anfangsinvestition ist zu hoch,
- keine entsprechende Technik auf dem Markt verfügbar,
- der wirtschaftliche Ertrag einer KUP ist geringer als der von Ackerkulturen,

- kaum Erfahrungen bei der Bewirtschaftung von KUP,
- KUP bieten Unterstand für das Wild und erhöhen damit die Wildschäden in umliegenden Ackerkulturen,
- Misstrauen gegenüber dem Umweltschutz bezüglich künftiger Nutzungseinschränkungen

All diese Faktoren führten dazu, dass bei Weitem nicht die angestrebten Flächengrößen zusammenkamen. Dies und die Einstellung der amtierenden Bundesregierung hin zur Dekarbonisierung der Gesellschaft (BMUB, 2016) (mit dem EEG 2016/2017 wurde erstmals der Ausbau der erneuerbaren Energien nach oben gedeckelt; mit der Einführung des GREENING wurden nachwachsende Rohstoffe nachrangig bewertet, etc.) führten dazu, dass sich viele Initiatoren auch von dem Thema schnellwachsende Baumarten, KUP, etc. abwandten.

Bedingt durch niedrige Preise fossiler Energieträger einerseits und diverser Schadereignisse auf forstlichen Flächen in vielen Bundesländern andererseits sind die Holzpreise momentan unter sehr starkem Druck.

Am 18.01.2018 fegte der Orkan „Friederike“ mit Windböen von bis zu 203 km ha⁻¹ über den Westen, die Mitte und den Norden Deutschlands: 8 Menschen verloren dabei ihr Leben. Mit seinen Schäden in dreistelliger Millionenhöhe gilt er als der verheerendste Sturm seit „Kyrill“ im Jahr 2007 (SPIEGEL ONLINE, 2019). Natürlich hatte dieses Ereignis auch Auswirkungen auf den Forstbereich: erste Hochrechnungen gehen von mindestens 8 Mio. Fm Holz aus (Heidingsfeld, 2018), genaue Zahlen für die gesamte Republik sind bis heute noch nicht verfügbar.

Der darauffolgende extrem trockene Sommer 2018 führte in deutschen Wäldern zu Schäden in Millionenhöhe. Leider liegt bis heute keine Statistik über die Waldbrände in diesem Jahr vor. Es dürfte jedoch als sicher gelten, dass der bislang abnehmende Trend in der Waldbrandstatistik damit erst einmal gebrochen ist. Besonders erschreckend sind dabei die Flächengrößen, die durch die Waldbrände zerstört wurden. So erreichte der Waldbrand im August 2018 bei Treuenbrietzen (Brandenburg) eine Größe von ca. 400 ha. Auch wenn damit noch keine kalifornischen Verhältnisse erreicht wurden, kann man jedoch mit Fug und Recht von einer neuen Dimension sprechen.

Hinzu kommen noch die immensen Schäden, welche durch den Borkenkäfer in vielen Bundesländern verursacht wurden. So rechnet der Holzkurier (2018) bundesweit mit über 27 Mio. Fm Schadholz, das ist die Hälfte des Jahreseinschlages an Holz der Bundesrepublik Deutschland.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass im Jahr 2018 ca. ¼ des Jahresholzeinschlages durch Sturm und Käfer „unkontrolliert“, in kurzen Zeiträumen und nicht in den gewünschten Sortimenten auf den Markt gelangten. Das führte dazu, dass der Holzmarkt in Deutschland mit Holz unterschiedlichster Qualitäten aus diesen Schadereignissen gesättigt ist. Eine logische Konsequenz davon sind die sehr niedrigen Holzpreise. Somit können bei einer momentan durchzuführenden Ernte einer KUP kaum die Erntekosten hereingeholt werden. Jeder KUP-Besitzer oder -Bewirtschafter, der in dieser Zeit aus technologischen Gründen seine Plantage beernten muss und die anfallenden Holzhackschnitzel nicht selbst verwerten kann, trifft somit auf eine sehr ungünstige Marktkonstellation.

Das führt dazu, dass einige Flächenbewirtschafter von KUP die anstehende Ernte hinauszögern. Das dies zu gravierenden technologischen und damit schlussendlich auch zu negativen betriebswirtschaftlichen Resultaten von KUP führt, wird im Tagungsbeitrag KRATOFIL et al. (2019) eindeutig belegt. Nicht mit Zahlen zu belegen ist hingegen der immense Imageschaden, der dadurch entsteht: eine landwirtschaftliche Nutzfläche, deren Erntegut nicht beerntet und einer zielgerichteten Verwertung zugeführt wird!

Somit wird ein Landnutzungssystem, welches gerade einmal seine „kritische Masse“ (Setzer, 2010) erreicht hat, und immer noch um Akzeptanz bei Praktikern und Behörden ringen muss, unnötig diskreditiert.

Dabei spielen nach meiner Meinung schnellwachsende Baumarten in den unterschiedlichsten Landnutzungssystemen, – wie alle anderen nachwachsenden Rohstoffe auch – im Kanon der erneuerbaren Energien eine wichtige Rolle. Ich finde es wichtig, dass die amtierende Bundesregierung noch vor Ende ihrer Legislaturperiode nicht nur zur Kenntnis nimmt, dass sie ihre selbst gesteckten Klimaschutzziele mit den bisherigen Strategien nicht erreichen wird, sondern auch entsprechende wegweisende Entscheidungen trifft. Dazu gehört auch die regionale Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen aus der Land- und Forstwirtschaft für eine stoffliche und energetische Nutzung.

Empfehlungen aus Wissenschaft und Forschung lassen sich durch politische Entscheidungsträger der unterschiedlichsten Ebenen ganz bequem ignorieren und beiseitelegen. Aus diesem Grund finde ich es begrüßenswert, dass die jüngste Generation angefangen hat, ihre Zukunftsängste in lautstarken Schülerstreiks (Friday for Future) zu artikulieren und zukunftsweisende Entscheidungen zu verlangen.

Ein wichtiger Schritt in die richtige Richtung ist dabei die Empfehlung zum Ausstieg aus der Braunkohlennutzung bis zum Jahr 2038 (Kohlekommission, 2019). Da der Energiebedarf in den nächsten Jahren nach allen Prognosen weiter steigen wird, müssen bekannte und neue regenerative und umwelt- und klimafreundliche Energiequellen erschlossen werden. Dazu benötigen sowohl die Wissenschaft als auch die umsetzenden Praktiker verlässliche Vorgaben von der Politik, die etwas von dem Vertrauen wiederbringen mögen, welches in den letzten Jahren oftmals allzu leichtfertig verspielt wurde.

Hinzu kommt, dass mit dem Anbau schnellwachsender Baumarten & Co. auch andere wichtige Herausforderungen unserer Zeit begegnet werden können. Nennen möchte ich an dieser Stelle folgende:

- Schaffung von vielfältigen Lebensräumen für Insekten,
- Etablierung von Trittsteinen und Wegekorridoren für Säugetiere (z.B. Wildkatze, etc.),
- aktiver Bodenschutz durch Bodenruhe (z.B. geringere Befahrungsintervalle bei KUP, verminderte Winderosion bei Agroforstsystemen, etc.),
- Schutz der Ökosysteme, des Bodens und des Grundwassers durch minimierten Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln sowie die
- Initiierung von regionalen Kreisläufen zur nachhaltigen und klimafreundlichen Versorgung der Bevölkerung mit Energie.

1.3 Ausblick

Nach der positiven Resonanz zur 1. Erfurter Tagung „Schnellwachsende Baumarten“ im Jahr 2017 soll auch die heute und morgen stattfindende 2. Tagung "Schnellwachsende Baumarten - Erntetechniken, -verfahren und Logistik“ als zentraler Treffpunkt für Experten aus Wissenschaft und Praxis für Erkenntnisgewinn und Wissensvermittlung in allen Zusammenhängen mit schnellwachsenden Baumarten in Deutschland und Europa sorgen. Ich wünsche Ihnen dabei viel Spaß und Erfolg und uns allen eine interessante und spannende Veranstaltung.

Danksagung

Für die Möglichkeit zur Ausrichtung dieser Tagung möchte ich mich an erster Stelle bei meiner eigenen Hochschule, der FH Erfurt, bedanken.

Für die finanzielle und sachlich-moralische Unterstützung gilt mein Dank dem Fachbeirat Nachwachsende Rohstoffe des Thüringer Ministeriums für Infrastruktur und Landwirtschaft. Ohne die finanzielle sowie fachlich-organisatorische Unterstützung des Landesamtes für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR), im Besonderen der Herren Thorsten Graf und Thomas Hering wäre die Tagung nicht zustande gekommen.

Für die unermüdliche und akribische Hilfe bei der Organisation der Tagung möchte ich mich ganz herzlich bei Heidi Pfeifer, Simon Thomas und Karoline Schwandt bedanken.

Quellen

ANONYMUS (OHNE JAHR): Sprichwort, dessen Herkunft nicht geklärt ist und das die Angst vor etwas Unbekanntem ausdrückt

BMUB (2016): Klimaschutzplan 2050 Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung.; Berlin; pp. 92; www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf; letzter Aufruf: 21.02.2019

ENERGY CROPS (2012): Partnerschaft von Wert. Kooperationsmodell der Energy-Crops GmbH mit Landwirten, <https://www.energy-crops.de/kooperationsmodell>; letzter Aufruf: 19.02.2019

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2019): Haushalt der EU – Mythen und Fakten.; http://ec.europa.eu/budget/explained/myths/myths_de.cfm; letzter Aufruf: 19.02.2019

FNR – FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (2018): Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland 2015 – 2017 (in ha); <https://www.mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/anbauflaeche-fur-nachwachsende-rohstoffetabelle.html>; letzter Aufruf: 15.01.2019

HEIDINGSFELD, N. (2018): Logistische Herausforderungen nach Friederike., Holzkurier 02/2018; <https://www.holzkurier.com/rundholz/2018/02/der-markt-nach-friederike.html>; letzter Aufruf: 20.02.2019

HOLZKURIER (2018): Schadholanfall 2018 in Zentraleuropa.; <https://www.forstpraxis.de/schadholanfall-2018-in-zentraleuropa/>; letzter Aufruf: 19.02.2019

KOHLEKOMMISSION (2019): Abschlussbericht der Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ vom 26.01.2019; https://www.kommission-wsb.de/WSB/Redaktion/DE/Downloads/abschlussbericht-kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung.pdf?__blob=publicationFile&v=4; letzter Aufruf: 20.02.2019

KRATOFIL, A., SCHWANDT, K. UND D. LANDGRAF (2019): Durchgewachsene KUP garantiert wirtschaftlichen Verlust. In: LANDGRAF, D. (HRSG.) 2. Erfurter Tagung Schnellwachsende Baumarten - Erntetechniken, -verfahren und Logistik“ - Thüringer Bioenergetag vom 28.02. - 01.03.2019 in Erfurt; S. 97-98

LANDGRAF, D. UND A. WINKELMANN (2010): 10.000 ha Kurzumtriebsplantagen der RWE für Deutschland – Illusion oder Vision? In: KNUST, C. UND A. BEMMANN (Hrsg.): AGROWOOD – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag Berlin, ISBN: 978-3-89998-159-9, 332-333

LANDGRAF, D. UND F. SETZER (2012): Kurzumtriebsplantagen: Holz vom Acker – So geht’s. DLG-Verlag, ISBN: 978-3-7690-2005-2, pp. 71

LANDGRAF, D. (2013): Etablierung von Kurzumtriebsplantagen. In: BEMMANN, A. UND BUTLER MANNING, D. (Hrsg.): Energieholzplantagen in der Landwirtschaft. Erling Verlag, ISBN: 978-3-86263-081-3, 53-58

LANDGRAF, D. (2017): Begrüßung und Einführung in die 1. Erfurter Tagung "Schnellwachsende Baumarten". In: LANDGRAF, D. (Hrsg.) 1. Erfurter Tagung „Schnellwachsende Baumarten - Etablierung, Management und Verwertung“; S 1 - 7; ISSN: 2567-8922

NEUBERT, F. P. (2017): Sozio-ökonomische Entscheidungskriterien zu Kurzumtriebsplantagen in Bioenergieörfern aus kommunaler und nationaler Perspektive., Diss. der TU Dresden

SCHWEIER, J. (2019): Nachhaltige Bereitstellung von energetisch nutzbarem Holz. In: LANDGRAF, D. (HRSG.) 2. Erfurter Tagung Schnellwachsende Baumarten - Erntetechniken, -verfahren und Logistik“ - Thüringer Bioenergetag vom 28.02. - 01.03.2019 in Erfurt; S. 13-21

SETZER, F. (2010): Wissenstransfer in die Praxis – Erfahrungen der DLG.; Agrarholz-Symposium Berlin; http://veranstaltungen.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/Agrarholz2010/04_0_2_Beitrags_Setzer.pdf; letzter Aufruf: 15.01.2019

SPIEGEL ONLINE (2018): Bilanz nach Orkantief "Friederike" - Sturm und bang.; <http://www.spiegel.de/panorama/wetter-sturmtief-friederike-acht-tote-und-schaeden-in-millionenhoeh-a-1188736.html>; letzter Aufruf: 20.02.2019

STATIST (2018): Anteil der Erwerbstätigen in der Landwirtschaft an Gesamtzahl der Erwerbstätigen in Deutschland in den Jahren 1991 bis 2013; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/242859/umfrage/anteil-der-erwerbstaetigen-in-der-landwirtschaft-in-deutschland/>; letzter Aufruf: 19.02.2019

2 Grußwort – 2. Erfurter Tagung "Schnellwachsende Baumarten - Erntetechniken, -verfahren und Logistik“

Ingo Zopf
Thüringer Ministeriums für Infrastruktur und Landwirtschaft
Werner-Seelenbinder-Str. 8 | 99096 Erfurt

Sehr geehrte Damen und Herren,

wir wissen, dass wir unsere Energieversorgung, insbesondere auch die Wärmeversorgung, auf erneuerbare Energien umstellen müssen. Wir wissen, dass eine „Wärmewende“ nur mit Holz geht. Wir wissen, dass dafür das nachhaltig nutzbare Holz aus dem Wald nicht ausreicht. Wir wissen, dass Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsysteme nachgewiesene positive ökologische Wirkungen haben, sie sehr energieintensiv zu betreiben sind und das Erntematerial emissionsarm in der Verbrennung ist. Ihr Eutrophierungspotenzial ist vernachlässigbar, sie können für viele Tierarten einen vielfältigen Lebensraum bieten und werten insbesondere intensiv genutzte und ausgeräumte Landschaften auf.

Schnellwachsende Baumarten – diesem Thema widmet sich das Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum seit vielen Jahren. Auch die Fachhochschule Erfurt mit ihrer Fachrichtung Forstwirtschaft beschäftigt sich seit einigen Jahren mit dieser Thematik und hatte 2017 diese Tagungsreihe aus der Taufe gehoben, um aktuelle wissenschaftliche und Praxisergebnisse zu diskutieren und bekannt zu machen.

Bundesweit befassen sich zahlreiche weitere Akteure mit diesem Thema und haben in den letzten Jahren eine Menge Wissen und praktische Erfahrungen zusammengetragen. Die vielfältigen positiven Wirkungen von Kurzumtriebsplantagen oder Agroforstsystemen auf Ökosysteme oder Klimaschutz sind bekannt. Trotzdem stagniert der Anbauumfang seit mehreren Jahren. Die FNR weist für 2015 bis 2017 in Deutschland gesamt einen Anbauumfang von jeweils etwa 11.000 ha Pflanzen für Festbrennstoffe aus, davon sind etwa 6.600 ha Kurzumtriebsplantagen. Auf etwa 4.400 ha wird Miscanthus angebaut. In Thüringen haben wir aktuell etwa 120 ha Kurzumtriebsplantagen. Der Durchbruch dieser Landnutzungsform lässt also nach wie vor auf sich warten. Woran liegt das? Hintergründe und Ursachen, aber auch Lösungsansätze für eine Steigerung des Energieholzanbaus in Thüringen und ganz Deutschland will die Erfurter Tagung „Schnellwachsende Baumarten“ heraus arbeiten.

3 Nachhaltige Bereitstellung von energetisch nutzbarem Holz

Janine Schweier

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Werthmannstraße 6, 79085 Freiburg, Deutschland

Abstract. In den letzten Jahren ist ein deutlicher Anstieg bei Produktion und Nutzung von Biomasse für energetische Zwecke zu verzeichnen. In diesem Zusammenhang sind Kurzumtriebsplantagen interessant, denn Ergebnisse von Ökobilanzen zeigen, dass zwar insbesondere die Prozesse Ernte und Transport zum Abnehmer energieintensiv sind, insgesamt jedoch alle Umweltwirkungen und auch der Energieaufwand an fossiler Energie für die Bereitstellung von Energie aus KUP deutlich geringer sind gegenüber der Generierung von Energie aus fossilen Quellen.

Keywords: LCA, Energieaufwand, Gehölmähhäcksler, Mähsmmler

3.1 Kontext

Die Entwicklung der Holzverwendung seit den 1990-er Jahren zeigt, dass vor allem die energetische Nutzung um ein Vielfaches angestiegen ist und Holz in Deutschland aktuell etwa zu gleichen Anteilen stofflich und energetisch verwertet wird (Mantau 2018). Für den insgesamt steigenden Verbrauch gibt es mehrere Gründe, wie zum Beispiel die starke Nachfrage nach Holz für den Bau- und Konstruktionsbereich, die zunehmende Herstellung moderner bio-basierter Produkte (Stichwort Bioökonomie) (BMBF 2010, BMBF & BMEL 2014) oder die Bestrebungen der Bundesregierung, den Anteil der erneuerbaren Energien (EE) am Energieverbrauch zu steigern (BMU 2009); beispielsweise sollen 40-45 % des Stromverbrauchs im Jahr 2025 gegenüber 17 % in 2010 und 31 % in 2015 aus EE generiert werden (UBA 2018 a).

Unter allen erneuerbaren Energieträgern nimmt die hölzerne Biomasse einen großen Anteil ein. Sie lag in der erneuerbaren Wärmebereitstellung bei fast 70 % im Jahr 2017 (UBA 2018 b). Gegenüber anderen erneuerbaren Energieträgern hat Biomasse einige Vorteile, beispielsweise ist sie nachwachsend, ihre Bereitstellung erfolgt unabhängig vom Wetter und von saisonalen Schwankungen und sie kann gelagert werden. Im Gegensatz zu Wind- oder Solarenergie kann Biomasse daher eine Grundlastversorgung bereitstellen.

Studien prognostizieren, dass die Holzverwendung und somit der Holzbedarf weiter steigen werden, wenn auch mit einer geringeren Dynamik (MANTAU 2012). Jedoch ist das Potential von Biomasse aus dem Wald limitiert, aufgrund technischer Einschränkungen, ökologischer Restriktionen und auch aufgrund der Nachhaltigkeitsprinzipien einer multifunktionalen Forstwirtschaft. Bedarfsvorausschätzungen für die stoffliche und für die energetische Nutzung von Holz rechnen mit einer jährlichen Deckungslücke von deutschlandweit ca. 30 Millionen m³.

In diesem Zusammenhang wird der Anpflanzung von Kurzumtriebsplantagen (KUP) eine hohe Bedeutung beigemessen (HOOGWIJK et al. 2003, DBFZ 2011). Gründe dafür sind zunächst ökologischer Natur, beispielsweise wenn durch KUP Strukturelemente in homogenen, „ausgeräumten“, Agrarlandschaften entstehen (z.B. Mühlhausen 2010). Weitere Triebkräfte

sind Aspekte des Klimaschutzes, denn mit KUP ist es möglich, Biomasse effizient zu produzieren (HOFFMANN & WEIH 2005).

Die Verwendung der in KUP produzierten Biomasse, auch Energieholz genannt, kann dazu beitragen, die prognostizierte Holzdeckungslücke zu reduzieren. Gleichzeitig führt die verstärkte Verwendung des Energieholzes schrittweise zu einer Substituierung fossiler Energieträger und damit zu einer größeren Unabhängigkeit von Energieimporten (DECKMYN et al. 2004, WBGU 2009). Für die Energiebereitstellung werden regionale Verarbeitungskapazitäten geschaffen bzw. erweitert, was zu einer Stabilisierung und Entwicklung des ländlichen Raumes führt (MÜLLER-SÄMANN et al. 2002, WBGU 2009).

Neben den genannten positiven Eigenschaften werden vor allem zwei Aspekte auch kritisch und divergent diskutiert. Zu nennen ist insbesondere die Nutzungskonkurrenz der für den Anbau von KUP beanspruchten Flächen, die in gleichem Maße auch für die Nahrungsmittelproduktion geeignet sein könnten. Auch wird weiterhin die Frage diskutiert, inwieweit der Anbau und die Verwendung der Biomasse aus KUP nachhaltig erfolgen (ABRAHAMSON et al. 1998). So wird sich ein Bioenergiesystem langfristig nur dann erfolgreich etablieren, wenn Wertschöpfung im ländlichen Raum generiert wird und für die Herstellung eines Produktes weniger fossile Energie benötigt, als für die Herstellung des substituierten Produktes gebraucht wird (MATTHEWS 2001). Das Gesamtsystem soll nicht als Kohlenstoffquelle wirken, d.h. es muss gewährleistet sein, dass weniger treibhausgasrelevante Emissionen entstehen, als in den substituierten fossilen Systemen (z.B. van DAM et al. 2008).

3.2 Herleitung theoretischer Flächenpotentiale

Aktuell liegt die Anzahl der KUP-Flächen in Deutschland bei unter 10.000 ha, allerdings zeigen Studien, dass es theoretisch ein deutlich höheres Flächenpotential gibt. Beispielsweise führte Aust im Rahmen seiner Dissertation eine umfangreiche Potentialabschätzung für KUP auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland durch (siehe AUST 2012 und AUST et al. 2014). Untersuchungsgegenstand waren dabei Acker- und Grünlandflächen. Auf letztere wird jedoch aufgrund der Umbruchsregelung für Dauergrünland nach EG-Verordnung 1782/2003 im Weiteren nicht näher eingegangen.

Aust (2012) nahm an, dass verschiedene standörtliche, technische, ethische, ökologische und ökonomische Restriktionen Einfluss auf das KUP-Potential haben. Im ersten Schritt erfasste er Einschränkungen, welche sich durch standörtliche Gegebenheiten (Boden-, Relief- und Klimaverhältnisse) ergeben. In Anlehnung an die Literatur unterstellte er, dass die Wasserverfügbarkeit eines Standortes der wesentlichste Einflussfaktor auf das Wachstum von KUP ist. Diese wird dabei mittels der reliefabhängigen klimatischen Wasserbilanz und der nutzbaren Feldkapazität beschrieben.

Aust (2012) erstellte ein Ertragsmodell auf Basis von 50 mindestens dreijährigen KUP-Praxis- und Versuchsflächen, um das Ertragspotential von Pappeln und Weiden in Abhängigkeit der Wasserverfügbarkeit abschätzen zu können. Anhand der erhobenen Daten bestimmte er die Abhängigkeit des Höhenwachstums von der Wasserverfügbarkeit des jeweiligen Standortes sowie die Korrelation der Triebhöhe zum Triebgewicht und stellte darauf aufbauend den durchschnittlichen Trockenmassezuwachs pro Jahr und Hektar in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit dar. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden fünf KUP-Standortklassen von „sehr günstig“ bis hin zu „ungeeignet“ gebildet, die das Ertragspotential eines Standortes wiedergeben. Reduktionen des Zuwachses durch niedrigere Jahresmitteltemperaturen, wie sie zum Beispiel in höheren Lagen gegeben sind, wurden ebenfalls berücksichtigt.

Anschließend konnte auf Grundlage verfügbarer Bodenübersichtskarten, langjähriger Klimadaten und digitaler Höhenmodelle die geographische Verteilung der KUP-Standortklassen bestimmt und außerdem mit der durchschnittlichen Jahresmitteltemperatur

verschnitten werden. Aus technischer Sicht wurde berücksichtigt, welche Flächen aufgrund ihrer Hangneigung nur bedingt oder gar nicht maschinell befahrbar sind. Mittels digitaler Höhenmodelle erfolgte eine Einstufung der Ackerflächen in drei Hangneigungsklassen (<10 %; 10-20 %; >20 %). Ferner berücksichtigte Aust unter dem Gesichtspunkt ethischer Aspekte, dass Ackerflächen mit hoher Bodengüte den Vorrang für Nahrungs- und Futtermittelanbau gegenüber der Anlage von KUP bekommen. Als Vorzugsstandorte für KUP hingegen wurden Flächen mit geringer Bodengüte, aber gleichzeitig guter Wasserverfügbarkeit angesehen, denn auf ihnen können mit KUP hohe Erträge erzielt werden. Anhand der Ackerzahlen erfolgte eine Beurteilung der Bodengüte und die Einteilung der Ackerflächen in drei Ackerzahlklassen (<33; 33-63; >63).

Verschnet man die aufgeführten Restriktionen mit dem standörtlichen Flächenpotential, so zeigt sich, dass theoretisch ca. 5,7 % (680.000 ha) der Ackerflächen in Deutschland gut geeignet für den Anbau von KUP sind.

3.3 Bewirtschaftung von KUP

3.3.1 Flächenanlage und -Pflege

Im Folgenden werden kurz die wichtigsten Bewirtschaftungsprozesse erläutert, die während der Standzeit einer KUP anfallen. Für detaillierte Angaben sei an dieser Stelle auf den Beitrag von LANDGRAF et al. (2018) verwiesen.

Die Flächenvorbereitung setzt sich aus den Arbeitsgängen Bodenbearbeitung, die bereits im Herbst vor der Flächenbegründung stattfindet, und Pflanzenschutz zusammen. Trotz intensiver landwirtschaftlicher Nutzung mit entsprechendem Herbizideinsatz stellt sich oftmals kurz nach Änderung der Nutzungsart eine üppige Ackerbegleitflora ein (HOFMANN 1998), weshalb auf Flächen mit starkem Unkrautbesatz (unter Beachtung des Pflanzenschutzgesetzes) im Herbst vor der Pflanzung Totalherbizide ausgebracht werden (BUHLER et al. 1998, Hofmann 1998, Scholz et al. 2008). Im Frühjahr erfolgt die Pflanzbettbereitung. Als Pflanzmaterial haben sich Steckhölzer durchgesetzt (BOELCKE 2006, UNSELD et al. 2008, SCHILDBACH et al. 2009).

Die Pflanzung erfolgt, sobald der Boden im Frühjahr befahrbar ist, damit die noch vorhandene Bodenfeuchtigkeit optimal zur Wurzelbildung genutzt werden kann (BEMMANN & KNUST 2010). Man unterscheidet die eingesetzte Pflanztechnik in händische und maschinelle Pflanzverfahren. Die händische Pflanzung erfolgt meist bei kleinparzellierter Flächenstruktur (< 2 ha) (HOFMANN 2009, FNR 2012). Weiterhin gibt es Flächen, die aufgrund der technischen Befahrbarkeit keine maschinelle Pflanzung zulassen, etwa bei geneigten Lagen oder wegen geringer Bodentragfähigkeit (z.B. hoher Grundwasserstand). Für die maschinelle Pflanzung wurden Maschinen eigens für die Anlage von KUP entwickelt. In der Praxis werden jedoch häufig herkömmliche land- oder forstwirtschaftliche Pflanzmaschinen verwendet, die oftmals durch den Landwirt leicht modifiziert werden, etwa um die erforderliche Pflanztiefe zu erzielen (MURACH et al. 2008). Dabei wird z.B. ein Setzpflug von einem Schlepper gezogen, der dabei einen Pflanzspalt erzeugt, in den das Eingeben der Stekhölzer händisch erfolgt. Die Anlage der KUP erfolgt in Einzel- oder in Doppelreihen. Innerhalb der Reihe betragen die Pflanzabstände mindestens 40 cm (FNR 2012), häufig sind es 70 cm (SCHILDBACH et al. 2010). Die Wahl des Pflanzverbandes ist jedoch auch durch die bei der späteren Ernte zum Einsatz kommende Technologie bedingt (SCHILDBACH et al. 2010).

Nach der Pflanzung ist die Konkurrenz durch Ackerbegleitflora besonders kritisch für den Anwuchserfolg. Zwischen den Pflanzreihen wird deshalb eine mechanische Bodenbearbeitung, z.B. durch Reihenfräsen, empfohlen. Innerhalb der Reihen wird nur bei hochwachsender Konkurrenzvegetation, z.B. durch Auskesseln eingegriffen, weil die Unkrautregulierung innerhalb der Reihen technisch schwierig ist und eines sehr hohen manuellen Arbeitsaufwands bedarf.

In vielen Studien wird darauf hingewiesen, dass eine Ausbringung von Dünger zur Steigerung von Wachstum und Ertrag in KUP nicht unbedingt notwendig ist. Bisherige Forschungsergebnisse lassen darauf schließen, dass die Bäume, insofern die Fläche zuvor in einer landwirtschaftlichen Nutzung war, in den ersten 10-15 Jahren gut nährstoffversorgt sind (HOFMANN-SCHIELLE et al. 1999, LIBERLOO et al. 2006). Eine Stickstoffdüngung würde dann allenfalls zu einer erhöhten Auswaschung von Stickstoff in den Boden führen (KERN et al. 2010, BALASUS et al. 2012).

3.3.2 Ernte

In der Literatur werden für KUP anwendbare Ernteverfahren nach dem Mechanisierungsgrad, der Kopplung der Teilarbeitsschritte, den vorgegebenen Sortimenten oder nach der Umtriebsdauer systematisiert (z.B. HARTMANN & THUNEKE 1997, SCHOLZ et al. 2008). Die Ernte erfolgt generell im unbelaubten Zustand, d.h. in der Vegetationsruhe. Im Folgenden werden kurz verschiedene Ernteverfahren, gegliedert in Abhängigkeit von der Kopplung der Teilarbeitsschritte, beschrieben.

Die Ernte im einstufigen Verfahren ist eine praxisgängige Lösung. Das Material wird in einem Arbeitsgang gefällt und durch Hacken zerkleinert, d.h. die Hackschnitzel sind erntefrisch und haben einen hohen Wassergehalt von 50-60%. Oftmals werden für die Ernte umgebaute selbstfahrende landwirtschaftliche Feldhäcksler, so genannte Gehölzmähhäcksler, eingesetzt, bei denen die Biomasse mit Hilfe eines Gehölzschneidevorsatzes geerntet und zerkleinert wird. Die Bäume werden dabei unter Vorspannung einer horizontalen Einzugswalze zugeführt. Die Hackschnitzel werden über den Auswurf auf einen Anhänger geblasen, der an der Erntemaschine oder an einem parallel fahrenden Traktor angehängt wird (KTBL 2006). Nach der Ernte werden die Hackschnitzel mittels der Schleppergespanne direkt zu einem Zwischenlager oder nahe gelegenen Hof oder mittels Schaufelradlader in einen LKW umgeladen und zu dem Ort der Verwertung transportiert. Je nachdem, für welche Verwendung die Hackschnitzel vorgesehen sind und ob sie gelagert werden, kann also im Anschluss an die Ernte eine Trocknung notwendig sein (GARSTANG et al. 2002).

Neben den Gehölzschneidevorsätzen für selbstfahrende Feldhäcksler gibt es Mähhackler, die als Ernteggregat im Frontanbau an einen herkömmlichen landwirtschaftlichen Schlepper montiert werden können, so genannte Anbaumähhackler. Diese sind zwar weniger leistungsstark erfordern jedoch auch geringere Investitionskosten und sind außerdem weniger kraftstoffintensiv. Bei den Anbaumähhackern befinden sich das Sägeblatt und die Hackschnecke auf einer gemeinsamen vertikalen Ebene, so dass die Bäume ohne Vorspannung vertikal eingezogen und gehackt werden können.

Neben der Ernte im einstufigen Verfahren können KUP auch im sogenannten zweistufigen Verfahren geerntet werden. Das bietet sich vor allem bei längeren Umtriebszeiten an, wenn die Grenzdurchmesser, die von auf landwirtschaftlicher Technik basierenden Maschinen bewältigt werden können, überschritten werden oder eine Lagerung von Ganzbäumen als vorteilhaft erachtet wird. Innerhalb der zweistufigen Verfahren gibt es verschiedene Möglichkeiten: der Einsatz forstlicher mechanisierter oder motormanueller Holzertetechnik und der Einsatz von Mähsammlern.

Die konventionelle forstliche Holzertetechnik ist grundsätzlich eine Option, insbesondere weil sie zumeist flächendeckend verfügbar ist. Dabei werden die Bäume entweder einzeln oder durch Mehrfach-Fällung gefällt, oder es kommen Harvester mit Fäller-Bündler-Aggregaten zum Einsatz, die mit Hilfe von Greifklauen mehrere Bäume nacheinander greifen, abschneiden und dann als lockere Bündel zwischen den Reihen oder am Feldrand ablegen.

Ist eine Fläche sehr klein oder zersplittert gelegen, so dass ein Großmaschineneinsatz nicht wirtschaftlich ist oder die Fläche aus anderen Gründen, z.B. wegen Nässe für o.g. Techniken nicht geeignet ist, so ist die motormanuelle Ernte eine Option. Bei ihr wird in einem ersten Teilarbeitsschritt das Fällen durch einen Motorsägenschnitt oder, je nach Durchmesser, auch

mit einem Freischneider durchgeführt. Üblicherweise wird die Biomasse durch eine zweite Arbeitskraft händisch auf Poltern vorkonzentriert. Das Rücken der Biomasse bis zum Ort der Zwischenlagerung bzw. der später folgenden Hackung erfolgt durch einen Schlepper mit Rungenwagen oder Forwarder. Da die Zielsortimente bei der Ernte von KUP in der Regel Hackschnitzel sind, müssen die Rundhölzer, Ruten oder Bündel anschließend mit einem mobilen Hacker zerkleinert werden.

Als weitere Option können KUP mit Mäh-sammlern geerntet werden, welche die Bäume in einem Arbeitsgang fällen und sammeln. Dabei werden die Bäume während der Fahrt kontinuierlich vom Stock getrennt und mit Hilfe einer Laufschiene direkt auf die Ladefläche der Erntemaschine befördert. Von dort werden die Bäume bündelweise am Feldrand abgelegt. Je nach Durchmesser und Reihenlänge der Plantage kann auf der Ladefläche die Biomasse von jeweils einer Reihe abgelegt werden, so dass das Material entsprechend an beiden Seiten des Feldrandes abgeladen wird. Dort wird es, gegebenenfalls nach einer Zwischenlagerung, mit einem mobilen Hacker gehackt. Diese Erntemethode eignet sich für Stämme von ca. 15-20 cm Schnitthalsdurchmesser und ist weniger störanfällig bei Hangneigungen als die einstufigen Ernteverfahren, da kein parallel fahrender Traktor mit Container nötig ist.

3.3.3 Transport

In Abhängigkeit vom eingesetzten Ernteverfahren wird das Erntegut üblicherweise entweder direkt gehackt und abtransportiert oder erst an den Feldrand gerückt, gelagert und ggf. nach der Zwischenlagerung und Austrocknung dort gehackt und weitertransportiert. Variationen innerhalb dieser Bereitstellungssysteme sind möglich. Verschiedene Transportoptionen sind detailliert in der Literatur beschrieben (z.B. KALTSCHMITT et al. 2009). Das am häufigsten in der Praxis in Verbindung mit dem Einsatz von Gehölmähhäckslern angewandte Transportverfahren ist das „Parallelverfahren“, bei welchem die Hackschnitzel während der Ernte kontinuierlich auf einen parallel fahrenden Schlepper mit Anhänger geblasen werden. Sobald dieser gefüllt ist, fährt der Schlepper zu einem zentralen Platz, um die Hackschnitzel abzuladen, während zeitgleich bereits ein weiteres Schleppergespann bereitgestellt und befüllt wird. Nach HARTMANN & THUNEKE (1997) wird in diesem System die Anzahl der Transporteinheiten im Wesentlichen durch die Transportentfernung und -geschwindigkeit, die Belade- und Abladedauer und durch das Ladevolumen der Anhänger bestimmt. Laut KTBL (2006) reichen bei Aufwüchsen mit durchschnittlichen Dimensionen und bei Transportentfernungen von weniger als vier Kilometern zwei Transporteinheiten aus. Als Vorteile dieses Verfahrens können die Auslastung der in den Betrieben vorhandenen Maschinenketten angesehen werden und dass diese Art der Feldtransportlogistik bekannt und erprobt ist. Als Nachteile sind jedoch zu nennen, dass die Erntemaschine und die Transporteinheit voneinander abhängig sind und beide Maschinen parallel zueinander gefahren werden müssen, was eine große Konzentration der Fahrer erfordert, z.B. wegen möglicher Zerstörungen der Stöcke oder der Reifen. Arbeitsunterbrechungen wirken sich auf beide Fahrzeuge aus, so dass die Auswirkungen auf die Systemleistung dementsprechend gravierend sind.

Grundsätzlich wird die Logistik auch durch die Erntemenge am Einsatzort bestimmt. Transporte mit Schleppergespannen finden überwiegend bei kleineren Flächen und lokaler Verwendung der Hackschnitzel Anwendung. Ab einer Transportdistanz von ca. 25 km ist der Straßentransport durch landwirtschaftliche Schlepper mit Häckselgutcontainern unwirtschaftlich und ein LKW (80-90 m³) vorzuziehen. Damit wird bei einstufigen Verfahren ein Umladen der Hackschnitzel notwendig, weil straßengängige LKW nicht parallel zum Gehölmähhäcksler auf dem Feld fahren können

3.3.4 Lagerung

Der Wassergehalt von erntefrischen Hackschnitzeln liegt bei 50- 60%, so dass eine Trocknung notwendig wird, sofern eine Lagerung der Hackschnitzel vorgesehen ist. Untersuchungen zeigen, dass es bei der Lagerung zu hohen Trockenmasseverlusten kommt (SCHWEIER et al. 2017). Mit Hinblick auf den folgenden Beitrag wird an dieser Stelle nicht weiter auf die Lagerung von Hackschnitzeln eingegangen.

3.4 Umweltwirkungen und Energieaufwand

Um die mit einem Produkt (in diesem Falle Energie aus Biomasse) verbundenen potentiellen Umweltauswirkungen zu erfassen und zu bewerten, hat sich die Methode der Ökobilanz durchgesetzt, die praktisch unter der englischen Bezeichnung Life Cycle Assessment (LCA) bekannt ist. Eine LCA ist definiert als eine „Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und produktionsspezifischen potentiellen Umweltauswirkungen“ (z.B. KLÖPFER & GRAHL 2007). Im Kontext von KUP geht es darum, den Energiegehalt des Energieträgers (z.B. Hackschnitzel) den bei der Produktion verbrauchten Energien gegenüberzustellen und so den Netto-Energiegehalt des Produktes zu ermitteln. Ein weiterer Aspekt ist eine vergleichende Abschätzung der bei der Produktion und der Verbrennung verschiedener Energieträger freigesetzten Treibhausgase (z.B. CO₂).

Die Grundlagen für die Erstellung einer LCA bilden die europäischen Normen DIN En ISO 14040-44. Darin sind Prinzipien und allgemeine Anforderungen an die Durchführung und Berichterstattung festgelegt. Diese Standardisierung ist wichtig, denn sie ermöglicht, die Umweltwirkungen eines Produktes auf eine Weise zu evaluieren, die transparent und nachvollziehbar ist. Auch kann der Einfluss einzelner Teilprozesse (z.B. Ernte) erfasst und bewertet werden. Entsprechend den DIN-Normen wird eine LCA in folgende vier Schritte unterteilt: Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen; Sachbilanz; Wirkungsabschätzung und Auswertung. Wichtig ist dabei, dass der gesamte Lebensweg eines Produktes betrachtet wird.

Die Ergebnisse der Ökobilanz zeigen, dass die Höhe der Umweltwirkungen und der Energieaufwand an fossiler Energie maßgeblich durch die Prozesse Ernte und Transport zum Abnehmer bestimmt werden. Die Umweltwirkungen der anderen Prozesse, wie z.B. Stecklingsproduktion, Anpflanzung und Herbizidmaßnahmen sind verhältnismäßig gering. Der direkte Vergleich der reinen Erntemaßnahmen zeigt, dass der Gehölzmähhäcksler trotz seines hohen Kraftstoffverbrauchs die geringsten spezifischen Umweltwirkungen verursacht. Ein Mähssammler hat zwar einen geringeren Kraftstoffverbrauch, jedoch müssen die Ruten nach der Ernte in einem zweiten Arbeitsgang auch gehackt werden. Dieses Ergebnis ist jedoch so noch nicht vollständig, denn für den Erntefortschritt des Gehölzmähhäckslers werden Schleppergespanne benötigt und ihr Einsatz wiederum verursacht ebenfalls Umweltwirkungen. Vergleicht man also die Umweltwirkungen der gesamten Bereitstellungskette, so verursacht die Variante mit dem Gehölzmähhäcksler höhere Umweltwirkungen und ist nicht so effizient wie die alternativen Erntemöglichkeiten. Vor allem der Transportprozess hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Ergebnisse. Die „Schwachstelle Transport“ könnte umgangen werden, indem Hackschnitzel vor dem Transport getrocknet werden. Wenn ein Mähssammler bei der Ernte eingesetzt wird, können die Ruten vor dem Hacken am Feldrand gelagert werden, so dass der Effekt der natürlichen Lufttrocknung ausgenutzt wird. Nach etwa vier Monaten liegt der Wassergehalt bei rund 30 %. In der Folge sinkt die Anzahl der Tonnenkilometer, wodurch der LKW-Transport über die gleiche Distanz deutlich besser abschneidet. Der Energieaufwand für den Transport luftgetrockneter Hackschnitzel ist ebenfalls geringer.

3.5 Zusammenfassung

Grundsätzlich belegen die vorgestellten Ergebnisse und auch zahlreiche weitere Studien, dass die Energiebereitstellung durch verholzte Biomasse nachhaltig gewährleistet werden kann. Umweltwirkungen bei der Produktion von Biomasse werden maßgeblich durch den Verbrauch von Treibstoff verursacht. Dazu kommt es, weil von den eingesetzten Verbrennungsmotoren sehr klimawirksame Kohlendioxidemissionen, Stickoxide und Schwefeldioxide in die Luft emittiert werden. Grundsätzlich sollte bei Biomasseprodukten die Transportdistanz so kurz wie möglich gehalten werden. Da man jedoch nicht immer Einfluss auf die Distanz nehmen kann, gilt es, die „Schwachstelle Transport“ anders zu umgehen. Hier kommt der Wassergehalt der Hackschnitzel ins Spiel, der ebenfalls von entscheidender Bedeutung ist: erntefrisches Material ist deutlich schwerer als getrocknetes, führt zu einem erhöhten Spritverbrauch und verursacht deshalb mehr Treibhausgasemissionen als der Transport von Hackschnitzeln mit einem niedrigeren Wassergehalt. Es sollte also eingeplant werden, dass das Erntegut erst nach einigen Wochen bis Monaten der natürlichen Lufttrocknung gehackt wird, vorzugsweise wenn der Wassergehalt max. 30% beträgt. Das bringt gleichzeitig die Vorteile mit sich, dass die Hackschnitzel auch von kleineren Heizwerken ohne aufwändige Vortrocknungsprozesse verwertet werden können, zur Lagerung befähigt sind und einen erhöhten Energiegehalt haben. Neben dem Transportprozess fallen entlang der Bereitstellungskette weitere Teilprozesse aufgrund ihres hohen Kraftstoffbedarfs ins Gewicht. Zu nennen sind hier vor allem die Holzerte und (sofern es erfolgt) das Hacken. Der Einsatz einer Forstmaschine stellt im täglichen Betrieb den Prozessschritt mit dem höchsten Energieinput dar. Grundsätzlich gilt, dass der Einsatz hochmechanisierter Ernte- und Bringungsverfahren trotz des absolut höheren Kraftstoffverbrauchs insgesamt zu geringeren Umweltwirkungen führt und somit günstiger zu bewerten ist, weil auch eine entsprechend höhere Leistung erzielt wird.

Eine weitere vorteilhafte Wirkung von Biomasse liegt vor allem in der dezentral ausgerichteten Produktions- und Verwertungskette. Hackschnitzelabnehmer generieren Wärme aus der Region, die aufgrund kurzer Transportdistanzen einen geringen „ökologischen Fußabdruck“ hat. Der Ausbau von Biomasseheizwerken führt überdies zu einer steigenden Energieunabhängigkeit und es werden regionale Verarbeitungskapazitäten und damit auch Quellen regionaler Wertschöpfung im ländlichen Raum geschaffen und erweitert. Auch könnten beispielsweise Waldbesitzer und Landwirte in eigene Hackschnitzelheizanlagen investieren, damit den eigenen Hof heizen und so z.B. Heizöl substituieren. Selbst wenn alle Bewirtschaftungsprozesse und deren Inputs berücksichtigt werden, die während der über 20-jährigen Lebenszeit einer KUP anfallen (z.B. Bodenvorbereitung, Pflanzung, Pflege, Ernten, Transporte der Hackschnitzel zum Heizwerk, Verbrennung im Werk, Rückumwandlung der Fläche), sind die resultierenden Umweltwirkungen mit 17-35 kg CO₂-Äq./GJ deutlich geringer als die fossiler Energieträger: beispielsweise liegen die Umweltwirkungen von Erdgas bei 70-85 kg CO₂-Äq./GJ, von Heizöl sind es 90-120 kg CO₂-Äq./GJ und von Kohle rund 110-150 kg CO₂-Äq./GJ. D.h. wenn z.B. Heizöl durch Hackschnitzel substituiert wird, können rund 80 kg CO₂-Äq. je Gigajoule Wärme eingespart werden. Diese Option ist ökonomisch vorteilhaft, schafft Energieunabhängigkeit und ist aus umweltbezogener Sicht zu befürworten.

Quellen

ABRAHAMSON, ROBISON, VOLK, WHITE, NEUHAUSER, BENJAMIN, PETERSON (1998): Sustainability and environmental issues associated with willow bioenergy development in New York (U.S.A.). *Biomass and Bioenergy* (15) 1, 17-22.

AUST (2012): Abschätzung der nationalen und regionalen Biomassepotentiale von Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland. Dissertation. Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 167 S.

AUST, SCHWEIER, BRODBECK, SAUTER, BECKER, SCHNITZLER (2014): Land availability and potential biomass production with poplar and willow short rotation coppices in Germany. *Global Change Biology Bioenergy*, 6, 521-533.

BALASUS, BISCHOFF, SCHWARZ, SCHOLZ, KERN (2012): Nitrogen fluxes during the initial stage of willows and poplars in shortrotation coppices. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* (175), 729-738.

BEMMANN, KNUST (Hrsg.) (2010): AGROWOOD. Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäischen Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin 2010. 340 S.

BOELKE (2006): Schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen. Leitfaden zur Erzeugung von Energieholz. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (Hg.). Schwerin.

BUHLER, NETZER, RIEMENSCHNEIDER, HARTZLER (1998): Weed management in short rotation poplar and herbaceous perennial crops grown for biofuel production. *Biomass and Bioenergy* (14) 4, 385-394.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2009): Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland. Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energieversorgung. Online verfügbar unter https://www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/files/private/active/0/Biomasseaktionsplan_Deutschland_2009.pdf (21.02.2019).

BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF) (2010): Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. Unser Weg zu einer bio-basierten Wirtschaft. 54 S. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Nationale_Forschungsstrategie_Biooekonomie_2030.pdf (21.02.2019).

BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF) und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2014): Bioökonomie in Deutschland - Chancen für eine biobasierte und nachhaltige Zukunft. 3. Auflage, 206 S. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Biooekonomie_in_Deutschland.pdf (21.02.2019).

DECKMYN, MUYS, GARCIA QUIJANO, EMANS (2004): Carbon sequestration following afforestation of agricultural soils: comparing oak/beech forest to shortrotation poplar coppice combining a process and a carbon accounting model. *Global Change Biology* (10), 1482-1491.

DEUTSCHES BIOMASSE FORSCHUNGS ZENTRUM (DBFZ) (2011): Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der Biomassenutzung. DBFZ Report Nr. 4. 194 S.

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (2012): Energieholz aus der Landwirtschaft. 52 S.

GARSTANG, WEEKES, POULTER, BARTLETT (2002): Identification and characterization of factors affecting losses in the large-scale, non-ventilated bulk storage of wood chips and development of best storage practices. DTI/Pub URN 02/1535. London: First Renewables Ltd. for DTI. pp 119.

HARTMANN und THUNEKE (1997): Ernteverfahren für Kurzumtriebsplantagen – Maschinenerprobung und Modellbetrachtung. *Landtechnik-Bericht* (29), 1-98.

HOFMANN (1998): Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen im Kurzumtrieb. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten Hann. Münden. Band 11.

HOFMANN-SCHIELLE., JUG, MAKESCHIN, REHFUESS (1999): Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. I. Site-growth relationships. *Forest Ecology and Management* (121), 41-55.

HOFFMANN und WEIH (2005): Limitations and improvement of the Potential utilization of woody biomass for energy derived from short rotation woody crops in Sweden and Germany. *Biomass and Bioenergy* (18), 267-269.

HOOGWIJK, FAAL, DE VRIES, TURKENBURG (2008): Exploration of regional and global cost – supply curves of biomass energy from short-rotation crops at abandoned cropland and rest land under four IPCC- SRES land-use scenarios. *Biomass and Bioenergy* (33), 26-43.

KALTSCHMITT, HARTMANN, HOFBAUER H. (Hrsg.) (2009): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2., neu bearb. und erw. Aufl., korrigierter Nachdr. Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann und Hermann Hofbauer (Hg.). Berlin: Springer. 1030 S.

KERN, HELLEBRAND, SCHOLZ, LINKE (2010): Assessment of nitrogen fertilization for the CO₂ balance during the production of poplar and rye. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (14), 1453-1460.

KLÖPFER UND GRAHL (2009): Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf, Wiley-VCH Verlag, Weinheim. 426 S.

KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT) (2006): Energiepflanzen. Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus. 1. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.). Darmstadt. 372 S.

LANDGRAF, BÄRWOLFF, BURGER, PECENKA, HERING, SCHWEIER (2018). Produktivität, Management und Nutzung von Agrarholz. In: Veste und Böhm (Hrsg.), Agrarholz – Schnellwachsende Bäume in der Landwirtschaft. Springer-Verlag, S. 447-510.

LIBERLOO, CALFAPIETRA, LUKAC et al. (2006): Woody biomass production during the second rotation of a bio-energy Populus plantation increases in a future high CO₂ world. *Global Change Biology* (12), 1094-1106.

MANTAU (2012): Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2015, Hamburg, 65 S. (2018 aktualisierte Auflage, noch unveröffentlicht).

MATTHEWS (2001): Modelling of energy and carbon budgets of wood fuel coppice systems. *Biomass and Bioenergy* 21 (1), 1-19.

MÜHLHAUSEN (2010): Die Struktur macht's. Naturschutz in Kurzumtriebsplantagen. *Energie Pflanzen* (4), 35- 36.

MÜLLER-SÄMANN, REINHARDT, VETTER, GÄRTNER (2002): Nachwachsende Rohstoffe in Baden-Württemberg: Identifizierung vorteilhafter Produktlinien zur stofflichen Nutzung unter besonderer Berücksichtigung umweltgerechter Anbauverfahren. 270 S.

MURACH, KNUR, SCHULTZE (Hg.) (2008): DENDROM – Zukunftsrohstoff Dendromasse. Systemische Analyse, Leitbilder und Szenarien für die nachhaltige energetische und stoffliche Verwertung von Dendromasse aus Wald- und Agrarholz. Endbericht. 514 S.

SCHILDBACH, GRÜNEWALD, WOLF, SCHNEIDER (2009): Begründung von Kurzumtriebsplantagen. Baumartenwahl und Anlageverfahren. In: Reeg et al. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley- VCH- Verlag. Weinheim. S.57-71.

SCHILDBACH, HOFMANN, WOLF (2010): Anlage und Etablierung von Kurzumtriebsplantagen. In: Bemann & Knust (Hrsg.). AGROWOOD. Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag. S.65- 73.

SCHOLZ, BOELKE, BURGER, HOFMANN, HOHM, LORBACHER (2008): Produktion von Pappeln und Weiden auf landwirtschaftlichen Flächen. KTBL-Heft 79. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.

SCHWEIER (2013): Erzeugung von Energieholz aus Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Marginalstandorten in Südwestdeutschland– Umweltbezogene und

ökonomische Bewertung alternativer Bewirtschaftungskonzepte unter besonderer Berücksichtigung verschiedener Holzernteverfahren. München. Dr. Hut Verlag. 289 S.

SCHWEIER, MOLINA-HERRERA, GHIRARDO, GROTE, DÍAZ-PINÉS, KREUZWIESER, HAAS, BUTTERBACH-BAHL, RENNENBERG, SCHNITZLER, BECKER (2017): Environmental impacts of bioenergy wood production from poplar short rotation coppice grown at a marginal agricultural site in Germany. *Global Change Biology Bioenergy*, 9(7), 1207-1221.

UMWELTBUNDESAMT (UBA) auf Basis der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien - Statistik (AGEE-Stat) (2018a): Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch und am Bruttoendenergieverbrauch, Stand 12/2018. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/02-energie_ener-04_erneuerbare-energien_abbildung.pdf (21.02.2019).

UMWELTBUNDESAMT (UBA) auf Basis der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien - Statistik (AGEE-Stat) (2018b): Wärmeverbrauch aus erneuerbaren Energien im Jahr 2017, Stand 12/2018. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen?sprungmarke=waerme#waeerme> (21.02.2019).

UNSELD, MÖNDEL, TEXTOR (2008): Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsflächen in Baden-Württemberg. Herausgegeben von Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg. FVA. Freiburg. 49 S.

VAN DAM, JUNGINGER, FAALJ, JÜRGENS, BEST, FRITSCHKE (2008): Overview of recent developments in sustainable biomass certification. *Biomass and Bioenergy* (32), 749-780.

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (WBGU) (2009): Welt im Wandel. Zukunftsfähige Bioenergie

4 Effiziente Verfahren zur Lagerung und Trocknung von Holz aus Kurzumtriebsplantagen

Hannes Lenz, Ralf Pecenka

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB),
Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam

Abstract. Um Hackschnitzel aus Kurzumtriebsplantagen ökonomisch sinnvoll zu nutzen, ist eine Optimierung des Lagerungsprozesses in Abhängigkeit der geplanten Verwertungsrichtung notwendig. Ziel jeder Lagerung sind hohe Trocknungserfolge bei möglichst geringen Trockenmasseverlusten.

Schon die eingesetzte Erntetechnik hat maßgeblichen Einfluss auf das Erntegut und dessen Lagereigenschaften. Die Bäume können entweder in verschiedene Formate gehackt werden oder als Ganzbäume aufgepoltert werden. Die Lagerung und Trocknung von Hackschnitzeln kann in einfachen Mieten natürlich oder durch Fremdenergie beschleunigt stattfinden.

Zum Vergleich unterschiedlicher Lagermethoden wurden in den letzten Jahren 4 Lagerversuche im Praxismaßstab angelegt und hinsichtlich ihres Einflusses auf Trocknung, Masseverluste und Hackschnitzelqualität sowie des erforderlichen technischen Aufwands unter Praxisbedingungen miteinander verglichen:

1. Vliesabgedeckte Hackschnitzellagerung von Fein-, Mittel- und Grobhackschnitzeln
2. Ganzbaumlagerung
3. Lagerung von Hackschnitzeln im DOM-Belüftungsverfahren
4. Belüftungstrocknung von Hackschnitzeln

Die besten Ergebnisse erzielte die sensorgesteuerte Belüftungstrocknung (4.) mit Wassergehalten um 18 % bei Trockenmasseverlusten < 2 % in nur 2 Lagermonaten, die jedoch einen erhöhten technischen als auch energetischen Aufwand mit sich bringt. Als ideales Hackformat zur Ernte hinsichtlich des Trocknungserfolgs stellten sich die mähackerproduzierten vliesabgedeckten Mittelhackschnitzel heraus. Sie trockneten innerhalb von 7 Monaten ohne Fremdenergie auf einen Wassergehalt von 26 %. Die Trockenmasseverluste betragen jedoch 17 %. Entgegen der Erwartungen trocknen ganze Pappeln innerhalb von 7 Lagermonaten nur auf maximal 42 %. Der Vorteil der Ganzbaumlagerung wird daher vorwiegend in den geringeren Trockenmasseverlusten von < 10 % gesehen.

Keywords: Lagerung, Trocknung, Ernte, Kurzumtriebsplantage, Pappel, Masseverluste

4.1 Einleitung und Problemstellung

Vorraussetzung für eine zunehmende Akzeptanz des Energieholzbaus in der Landwirtschaft sind neben der Wirtschaftlichkeit der Holzproduktion die umweltgerechte nachhaltige Erzeugung, die Verfügbarkeit geeigneter Technologien und die Konkurrenzfähigkeit gegenüber anderen Energiepflanzen sowie traditionellen Feldfrüchten (WIRKNER, 2010). Trotz der nachgewiesenen ökologischen Vorteile von Kurzumtriebsplantagen (Fritsche & Wiegmann, 2008) sind sie derzeit in Deutschland nur auf ca. 7.000 ha etabliert (FNR, 2016). Ursachen

hierfür werden nicht nur in administrativen, traditions- und marktbedingten Hemmnissen, sondern auch in der begrenzten Verfügbarkeit praxistauglicher Ernte- und Lagerverfahren gesehen (SETZER, 2013; EHLERT et al., 2012; PECENKA et al., 2012).

Die Produktion von Holz auf landwirtschaftlichen Flächen umfasst die Verfahrensabschnitte Anlage, Pflege, ggf. Düngung, Ernte, Lagerung, Transport und Rodung. Neben dem Abschnitt der Flächenneubegründung ist die Ernte als am kostenintensivsten zu betiteln und zugleich maßgeblich für die Produkteigenschaften verantwortlich.

Kurzumtriebsplantagen werden bei Vegetationsruhe im Zeitraum November – März geerntet. Ideal bei Frost, um den Boden beim Befahren mit der schweren Erntetechnik so wenig wie möglich zu beeinträchtigen. Üblicherweise werden Hackschnitzel jedoch erst mit Wassergehalten um 30 % nachgefragt. Bei natürlicher Trocknung ist dazu eine ca. 6-monatige Lagerdauer nötig (SCHOLZ et al., 2011).

Das kostengünstigste Lagerverfahren ist, die Hackschnitzel auf großen Mieten unter freiem Himmel ggfs. vliesabgedeckt aufzuschieben, um den natürlich einsetzenden Trocknungsprozess zu nutzen. Die Temperatur innerhalb der Miete kann dabei zeitweise auf über 60 °C ansteigen (FERRERO et al., 2011; PECENKA et al., 2014, PARI et al., 2015). Gründe werden in der Restatmung abgestorbener Holzzellen und in mikrobiologischen sowie thermochemischen Prozessen vermutet, die bis zu 30 % Trockenmasseverluste verursachen können, die sich wiederum negativ auf die Rentabilität des Gesamtverfahrens auswirken.

In zahlreichen vorangegangenen Untersuchungen konnte in kleintechnischem Maßstab (10 m³) gezeigt werden, dass mit steigendem Hackformat Trockenmasseverluste reduziert und gleichzeitig die Trocknung beschleunigt werden kann (SCHOLZ & IDLER, 2005; KRISTIN & WETZEL, 2016). Gesicherte Empfehlungen zur optimalen Hackgutlagerung und -trocknung im Praxismaßstab (> 100 m³) konnten damit jedoch noch nicht gegeben werden.

Ziel der Forschung im Bereich Ernte und Lagerung von Agrarholz ist es daher, nicht nur geeignete Technologien für die Feldholzernte zu entwickeln, sondern diese Erntetechnik so zu modifizieren, dass sich das erzeugte Erntegut unter minimalen Lagerverlusten in hoher Qualität bereitstellen bzw. lagern lässt. In den nachfolgenden Versuchen sollen Trocknungserfolg und Trockenmasseverluste bei unterschiedlichen Ernte- und Lagerverfahren im Praxismaßstab einander gegenübergestellt werden.

4.2 Erntetechnik

Die unterschiedlichen Erntetechniken lassen sich entweder in die Hackschnitzellinie (s. Abb. 1) oder in die Ganzbaumlinie (Abb. 2) einordnen.

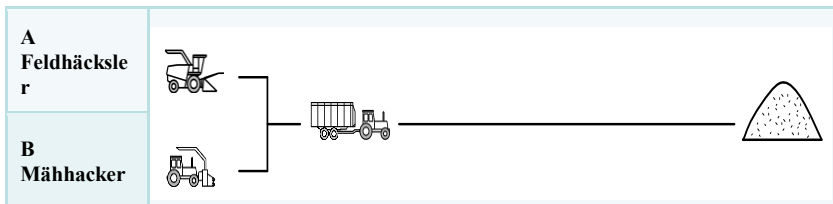


Abb. 1: Hackschnitzellinie

Die Erntemaschinen der Hackschnitzellinie sägen den Baum ab, zerkleinern ihn und fördern das frische Material direkt auf ein Begleitfahrzeug in einem Arbeitsschritt. Die Hackschnitzellinie wird von modifizierten Feldhäckslern mit Gehölzvorsätzen dominiert (s. Abb. 2). Diese sind langjährig erprobt und sehr leistungsfähig, können i.d.R. aber nur Feinhackschnitzel produzieren. Am Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB) wurde auf Basis langjähriger Erfahrungen ein Anbau-Mähacker mit neuartigem

Wirkprinzip entwickelt, der auch in der Lage ist, Grobhackschnitzel (75 mm bzw. 120 mm) mit günstigeren Lagereigenschaften zu produzieren (s. Abb. 3).



Abb. 2: Feldhäcksler mit Gehölvorsatz (Claas Jaguar 900 mit Wimatic HV1400)



Abb. 3: ATB-Mähacker als Anbaugerät für Standardtraktoren

In der Ganzbaumlinie hingegen wird jeder Arbeitsschritt (Fällen, Poltern, Zerkleinern) von anderen Maschinen durchgeführt (s. Abb. 5 und Abb. 6). Dadurch steigen zwar die Erntekosten, die Bäume können jedoch unzerkleinert und damit verlustärmer zwischengelagert und durch Wind und Sonne effektiv getrocknet werden.

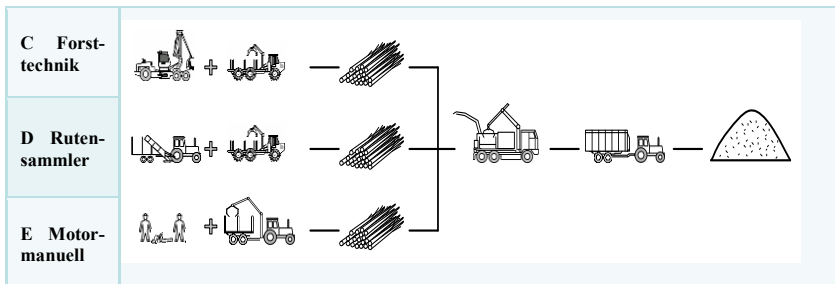


Abb. 4: Ganzbaumlinie



Abb. 5: Traktor mit Rutenmähsammler (Stemster MK III)



Abb. 6: Jenz LKW-Forsthacker

Die Wahl der Erntetechnik sollte keinesfalls dem Zufall überlassen werden, sondern der geplanten Verwendungsform des Erntegutes angepasst werden. Da die Eigenschaft des Erntegutes u.a. durch die genutzte Erntetechnik maßgeblich beeinflusst wird, sollte diese bei Gegenüberstellungen unterschiedlicher Lagerverfahren immer berücksichtigt werden.

4.3 Lagerverfahren

Für den Vergleich unterschiedlicher Verfahrenslinien hinsichtlich der Lagerungseigenschaften des erzeugten Erntegutes wurden i.d.R. 3- und 4-jährige Pappelbestände (Klone Max) in Sachsen und Brandenburg in den Jahren 2012 bis 2017 mit unterschiedlicher Technik geerntet und anschließend über mehrere Monate gelagert. Aus den Lagerhaufen wurden in regelmäßigen Abständen Proben entnommen, um insbesondere den zeitlichen Verlauf von Trocknung und den entstehenden Masseverlusten ermitteln zu können.

4.3.1 Vliesabgedeckte Lagerung von Fein-, Mittel- und Grobhackschnitzeln

Im Jahr 2015 wurden in Brandenburg 3 vliesabgedeckte Mieten a 500 m³ unterschiedlicher Hackformate aus Pappel für 7 Monate eingelagert (s. Abb. 7).



Abb. 7: Lagerversuch mit vliesabgedeckten Freihäufen (Jahr 2015)

Die Feinhackschnitzel (P16) lieferte ein modifizierter Feldhäcksler, die Mittel- (P31) und Grobhackschnitzel (P45) der ATB-Anbau-Mäh Hacker. Alle Mieten wurden mit Messsäulen (LENZ et al., 2015) ausgestattet, die u.a. mit Temperaturloggern und Bilanzbeuteln versehen wurden, um alle 4 Wochen den Trocknungsverlauf und die Lagerverluste zu analysieren und auszuwerten (s. Abb. 8).

Abbildung 8 zeigt, dass unabhängig vom Hackformat die Trockenmasseverluste in allen Mieten ausschließlich innerhalb der ersten 3 – 4 Lagermonate entstanden. Danach gab es keinen nennenswerten Anstieg mehr.

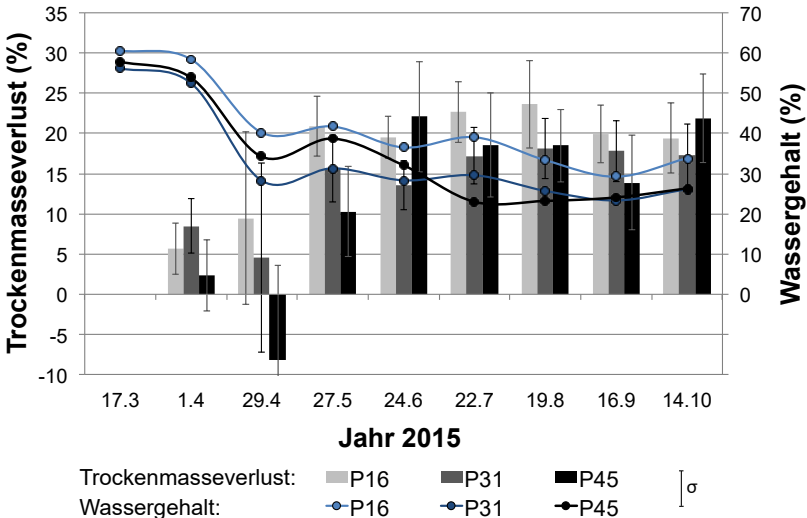


Abb. 8: Trocknungsverlauf und Lagerverluste während der Lagerung von frischen Fein-, Mittel- und Grobhackschnitzeln in vliesabgedeckten Freihäufen

Zu Versuchsende nach 7-monatiger Lagerung wurden bei den Feinhackschnitzeln (P16) Trockenmasseverluste von 19 % gemessen, bei den Mittelhackschnitzeln (P31) wurden etwas geringere um 17 % und bei den Grobhackschnitzeln (P45) etwas höhere um 22 % ermittelt.

Die Wassergehalte der Hackschnitzel lagen zur Einlagerung zwischen 56 – 61 %. Am Ende der Lagerung lag der Wassergehalt der Feinhackschnitzel (P16) bei 34 %. Die Mittel- (P31) und Grobhackschnitzel (P45) trockneten nicht nur schneller, sondern erreichten mit Wassergehalten von 26 % auch ein deutlich niedrigeres Niveau.

4.3.2 Ganzbaumlagerung

Die Lagerung ganzer Bäume stellt das größte Lagerformat dar. Im Jahr 2014 und 2017 wurden mit dem Ziel, die Trockenmasseverluste weiter zu reduzieren, Ganzbaumlagerversuche in Brandenburg (250 m³) und Sachsen (400 m³) angesetzt. Die Ernte der 4- bzw. 8-jährigen Pappeln erfolgte motormanuell und die Bäume wurden mit Hilfe eines Teleskopladlers oder Forwarders zur Lagerung gepoltet (s. Abb. 9).



Abb. 9: Ernten, Poltern und Probenahme ganzer Bäume

Jede Miete wurde mit präparierten Probenbäumen ausgestattet, von denen einige alle 8 Wochen mittels Teleskoplader herausgezogen und analysiert wurden (s. Abb. 10).

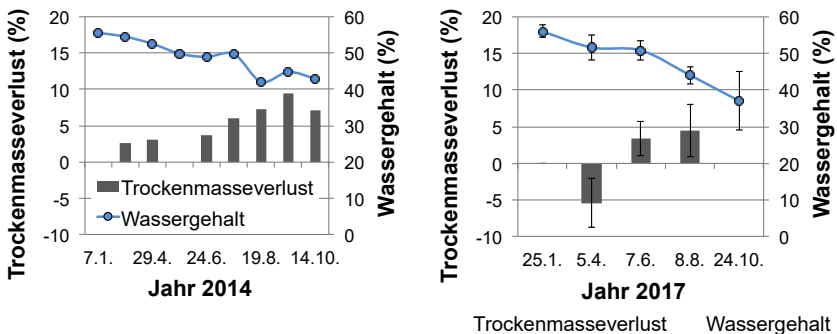


Abb. 8: Trocknungsverlauf und Lagerverluste v Brandenburg (links) und Sachsen (rechts)

Aus beiden Abbildungen wird ersichtlich, dass trocknen. Nach 7 Monaten Lagerung lagen die Wä nach 9-10 Monaten Lagerung im Versuch 2017 (5 %).

Der wesentliche Vorteil dieses Verfahrens lag bei stiegen in 2014 über die gesamte Lagerdauer nicht über 10 %, im 2017 nicht über 5 %.

4.3.3 Lagerung von Hackschnitzeln im DOM-Belüftungsverfahren

Das DOM-Belüftungsverfahren ist eine fremdenergiefreie Trocknungstechnologie, bei der in die Miete eingebrachte Zu- und Abluftdome gezielt feuchte Luft aus dem Haufwerk herausführen sollen (BRUMMACK, 2011). Die Funktion dieses kombinierten Verfahrens zur Lagerung von Hackschnitzeln bei gleichzeitiger Trocknung wurde in 2012 in Sachsen anhand einer 500 m³ Miete aus Feinhackschnitzeln über 7 Monate untersucht (s. Abb. 9).

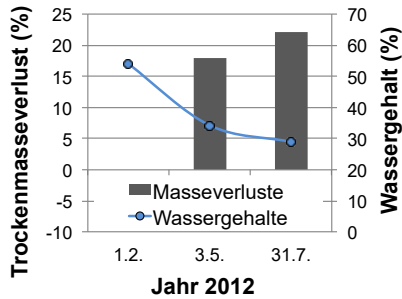


Abb. 9: Trocknungsverlauf und Lagerver im DOM-Belüftungsverfahren in Sachsen

Vergleicht man die Ergebnisse mit Feinhackschnitzelmitte, wird deutlich, da zur Beschleunigung der Trocknungs- und ist sowohl der Wassergehalt mit 30 % a denen aus der unbelüfteten Feinhackschnitzi

4.3.4 Belüftungstrocknung von Hackschnitzeln

Neben den genannten natürlichen Trocknungsverfahren kann die technische Trocknung mit Außenluft mittels Belüftungskanal in der Hackschnitzelmitte eine attraktive Alternative darstellen (s. Abb. 10).

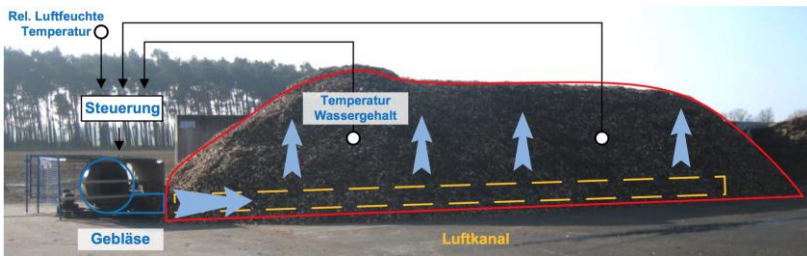


Abb. 10: Prinzip der Belüftungstrocknung

Das Gebläse ist nach Mietentemperatur ($> 0 \text{ }^\circ\text{C}$) und relativer Außenluftfeuchte ($< 77 \%$) geregelt. Der natürliche Anstieg der Mietentemperatur auf über $60 \text{ }^\circ\text{C}$ wird so verhindert und die Miete gleichzeitig optimiert belüftet. Bei der Lagerung und Belüftung von 140 m^3 Mittelhackschnitzel in Brandenburg reduzierte sich nach nur 2 Monaten Lagerung der Wassergehalt von 54 auf 18 %, bei Trockenmasseverlusten von weniger als 2 % (s. Abb. 11). Bei diesem Beispiel lag der elektrische Energiebedarf $< 4,4 \text{ MWh}$ bei einer Heizwertsteigerung der Hackschnitzel um $27,1 \text{ MWh}$.

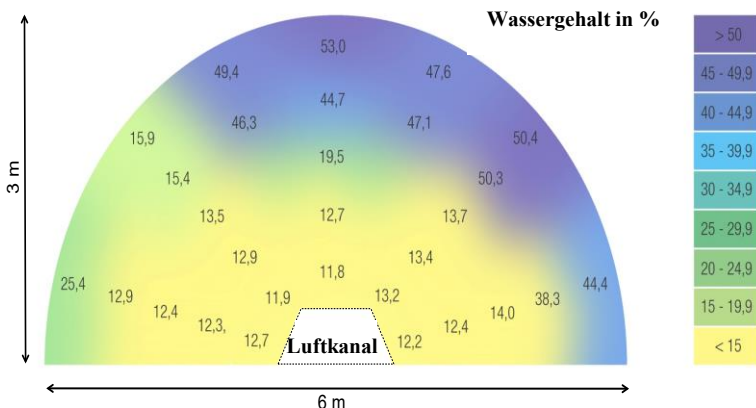


Abb. 11: Mietenquerschnitt nach 2 Monaten Lagerung von Mittelhackschnitzeln mittels einer Belüftungstrocknung in Brandenburg

4.4 Schlussfolgerungen und Ausblick

In den durchgeführten Lagerversuchen ohne Fremdenergie konnten die besten Trocknungserfolge bisher bei der Lagerung von vliesabgedeckten Mittelhackschnitzeln im Freien erzielt werden (s. Abb. 12). Dieses Verfahren könnte durch die Zugabe von Additiven (z.B. Kalk) weiter verbessert werden.

Verfahren:	Mittelhack-schnitzel	Ganzbaum	DOM-Verfahren	Belüftungstrocknung
Lagerdauer:	7 Monate	7 Monate	7 Monate	2 Monate
Wassergehalt:	26%	43%	30%	18%
Trockenmasseverluste:	17%	5 - 10%	22%	<2%
Vorteile:	Erntekosten↓ Feinanteil↓	TMV↓, Qualität↑ Zuwachs↑	Trocknung↑	TMV↓ Qualität↑↑
Nachteile:	TMV↑	Erntekosten↑↑ Feinanteil↑	TMV, Aufwand↑↑	Aufwand, Energie↑
Optimierungspotential:	Additiv? Lagerform?	Abdeckung?	Lagerform?	Steuerungsoptimierung?

Steht die Reduzierung von Trockenmasseverlusten im Vordergrund, ist die Ganzbaumlagerung mit Werten < 10% zu empfehlen.

Mit einem Wassergehalt von 18 % und einem Trockenmasseverlust unter 2 % erzielt die technische Variante der sensorgesteuerten Belüftungstrocknung insgesamt die besten Ergebnisse und das in nur 2 Monaten. Gegenwärtig werden weitere Steuerungsoptimierungen für dieses Verfahrens durchgeführt, um das Aufwand-Nutzen-Verhältnis des Verfahrens (technischer Aufwand und Einsatz kostenintensiver Elektroenergie) weiter zu verbessern.

Quellen

- BRUMMACK, J. (2011): Innovative Hackguttrocknung. Fachveranstaltung des LfULG Sachsen „Energieholzernte in der Praxis“, 03.02.2011 Köllitsch.
- EHLERT, D., PECENKA, R., WIEHE, J. (2012): Harvesters for Short Rotation Coppices: Current Status and New Solutions. International Conference of Agricultural Engineering CIGR-Ageng; 8.-12. Juni 2012 Valencia.
- FERRERO F., MALOW M., NOLL M. (2011): Temperature and gas evolution during large scale outside storage of wood chips. *European Journal of Wood and Wood Products* 69 (4) 587–595.
- FNR (2016) – Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. Daten und Fakten: Bioenergie. <https://mediathek.fnr.de>, Zugriff am 14.06.2016. [German]
- FRITSCHKE, U.R., WIEGMANN, K. (2008): Treibhausgasbilanzen und kumulierter Primärenergieverbrauch von Bioenergie-Konversionspfaden unter Berücksichtigung möglicher Landnutzungsänderungen. Expertise für das WBGU-Hauptgutachten „Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung“. Darmstadt, Berlin
- KRIGSTIN S., WETZEL S. (2016): A review of mechanisms responsible for changes to stored woody biomass fuels. *Fuel* 175. 75–86.
- LENZ H., IDLER C., HARTUNG E., PECENKA R (2015): Open-air storage of fine and coarse wood chips of poplar from short rotation coppice in covered piles, *Biomass & Bioenergy* 83. 269–277.
- PARI L., BRAMBILLA M., BISAGLIA C., DEL GIUDICE A., CROCE S., SALERNO M., GALLUCCI F. (2015): Poplar wood chip storage: Effect of particle size and breathable covering on drying dynamics and biofuel quality. *Biomass & Bioenergy* 81. 282–287.
- PECENKA, R., IDLER, C., LENZ, H., KERN, J., SCHOLZ, V. (2012): Optimization of harvest and storage technology for efficient production of bioenergy from short rotation coppice on farmland. International Conference of Agricultural Engineering CIGR-Ageng; 8.-12. Juni 2012 Valencia.
- PECENKA R, LENZ H, IDLER C, DARIES W, EHLERT D. (2014): Development of bio-physical properties during storage of poplar chips from 15 ha test fields. *Biomass & Bioenergy* 65 13–19.
- SCHOLZ V., IDLER C. (2005): Energieverlust und Schimmelpilzentwicklung bei der Lagerung von Feldholz- Hackgut. *Bornimer Agrartechnische Berichte* 39. 1–153.
- SCHOLZ V., HEIERMANN M., KERN J., BALASUS A. (2011): Environmental impact of energy crop cultivation. *Archives of Agronomy and Soil Science* 57 (8) 805–837.
- SETZER, F. (2013): Wissenstransfer in die Praxis – Erfahrungen der DLG. Internationaler Kongress – Agrarholz, 19.-20.02.2013, Berlin

WIRKNER, R. (2010): Energieholzproduktion im Kurzumtrieb - Chancen und Probleme bei ihrer Umsetzung – Eine Analyse unter Einbeziehung von Experteninterviews. Dissertation, Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, Brandenburgische Technische Universität Cottbus.

5 Erste Ergebnisse des Biomasse-Asche-Monitorings (BAM)

Roland Bischof¹, Jan Schlegel¹, Thomas Hering¹

¹ Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR)

Naumburger Straße 98, 07743 Jena, Deutschland

Abstract. Bei der Verbrennung naturbelassener, holz- bzw. halmgutartiger Biomasse fallen in den entsprechenden Konversionsanlagen Aschen mit nennenswerten Anteilen düngungsrelevanter Nährstoffe (P, K, Ca, Mg) an. Biomasseaschen werden grundsätzlich nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz als Abfall definiert, dessen Verwertung Vorrang vor der Entsorgung hat. Im vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderten Projekt Biomasse-Asche-Monitoring (BAM) untersucht das Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR) bundesweit die Eignung dieser Aschen für eine landwirtschaftliche Verwertung. Schwerpunkt der Untersuchungen liegt auf den Aschen halmgutartiger Brennstoffe. Um Biomasseaschen als Dünger verwenden zu dürfen, sind sie auf ein breites Spektrum an Schadstoffrückständen zu prüfen. Außerdem sind je nach Düngemitteltyp bestimmte Nährstoffmindestgehalte zu erreichen. Ausgewählte Aschen bzw. -fraktionen hielten gesetzlich geforderte Schadstoffgrenzwerte sowie Nährstoffmindestgehalte nach Düngemittel- und Bioabfallverordnung ein und somit lassen sich somit einem definierten Düngemitteltyp zuordnen. Geeignete Rohaschen wurden nach eingehender Prüfung gemäß den rechtlichen Anforderungen aufbereitet. In Gefäßversuchen wurde ihre Phosphor- und Kaliumdüngewirkung sowie Neutralisationswirkung geprüft und mit entsprechenden Mineraldüngern verglichen. Hinsichtlich der Wirkung dieser Nährstoffe erreichten mehrere Biomasseaschen (nahezu) die Qualität der Vergleichsprodukte.

Keywords: Biomasse, Asche, Monitoring, Halmgut, Düngung, Gefäßversuche

5.1 Einleitung

Im Zuge der Energiewende sind viele kleine und große Biomasseheiz(kraft)werke installiert worden. Viele Aschen derartiger Anlagen werden gegenwärtig entsorgt. Vereinzelt finden sie bereits heute als Dünger Anwendung. Grundsätzlich entspricht eine Rückführung von Biomasseaschen in landwirtschaftliche Produktionskreisläufe dem „Cradle-to-Cradle“-Prinzip nach MCDONOUGH & BRAUNGART (2002). Die in manchen Betrieben zunehmende Entkopplung von Tier- und Pflanzenproduktion resultierte in einer zum Teil rückläufigen Rückführung von Wirtschaftsdüngern. In Kombination mit der Intensivierung von Produktionssystemen (Marktfrucht- und Energiepflanzenanbau) führte dies in den letzten 20 Jahren zu einer deutlich verschlechterten P- und K-Versorgung der Ackerböden (ZORN et al., 2008; ZORN & SCHRÖTER, 2009). Durch die Rückführung von Rückständen aus der energetischen Biomassenutzung (Aschen und Gärreste) ließen sich entstehende Nährstoffdefizite im Sinne einer gesteigerten Ressourceneffizienz und einer nachhaltigen Bewirtschaftung teilweise schließen. Potentialanalysen weisen für den Sekundärrohstoff „Stroh“ in Deutschland ein unter Berücksichtigung der Humusbilanz nachhaltig nutzbares

Potential von 7 bis 13 Mio. Tonnen Frischmasse aus (WEISER et al., 2011; ZELLER et al., 2011). Eine Maßnahme zur Absicherung einer nachhaltigen Pflanzenproduktion könnte die Ausbringung von Biomasseaschen darstellen (Zorn et al., 2011). Die Düngewirkung der Asche wurde bereits teilweise im FNR-Projekt zu „Rinde-Asche-Presslingen“ mittels Gefäß- und Freilandversuchen mit Holzaschen nachgewiesen (ETTL et al., 2009). Auch von Strohaschen ist eine positive Düngewirkung bekannt (EICHLER-LÖBERMANN & SCHIEMENZ, 2010; BIERTÜMPFEL et al., 2010). Von der Ausbringung der Biomasse-Aschen sind über die reine Nährstoffwirkung hinausgehende, weitere Einflüsse auf die Bodenfruchtbarkeit zu erwarten. Daher werden im Biomasse-Asche-Monitoring Verbrennungsrückstände von elf Biomasseanlagen systematisch beprobt und analysiert. Dabei wurde deren Eignung als Düngemittel geprüft und die Pflanzenverfügbarkeit in Gefäßversuchen getestet.

5.2 Material und Methoden

5.2.1 Bioenergieanlagen und deren Beprobung

Einzelne, geprüfte Konversionsanlagen unterscheiden sich u.a. in Art und Leistung des Feuerungssystems, installierter Abscheidetechnologie (Aschefractionen) bzw. Entaschungssystem (Nass- oder Trockenentaschung). Des Weiteren findet in den Anlagen ein breites Brennstoffspektrum Verwendung (Tab. 1).

Tabelle 1: Beprobte Anlagen - Feuerungswärmeleistung (FWL), eingesetzte Brennstoffe sowie Art des Feuerungs- bzw. Entaschungssystems

Nr.	FWL [kW]	Brennstoff	Feuerungssystem	Entaschungssystem
1	950	Stroh (Ballen, Häcksel)	Rost	trocken
2	800	Rohrglanzgras, Schilf (Ballen, Häcksel)	Rost	trocken
3	630	Landschaftspflegeheu (Ballen, Häcksel)	Rost	trocken
4	550	Stroh (Ballen, Häcksel)	Drehrohr	trocken
5	500	Miscanthus (Häcksel)	Mulde	trocken
6	180	Stroh (Pellets)	Mulde	trocken
7	19.500	Holz (Hackschnitzel)	Rost	nass
8	49.800	Stroh (Ballen, Häcksel)	Rost	nass
9*	550	Landschaftspflegeholz (Hackschnitzel)	Rost	trocken
10**	2 x 160	Stroh (Pellets)	Rost	trocken
11***	600	Miscanthus (Häcksel)	Mulde	trocken

*: Ersatz für Nr. 4, **: Ersatz für Nr. 6, ***: Ersatz für Nr. 5

Halmgutkonversionsanlagen sind aufgrund der niedrigen Ascheschmelzpunkte dieser Brennstoffe mit wassergekühlten Feuerräumen ausgestattet. Beprobte Brennstoffe, anfallende (zugängliche) Aschefractionen sowie evtl. anfallende Schlacken. Die Aschen der einzelnen Anlagen gliedern sich in folgende Fraktionen:

- A - Brennraumaschen
- B - Zyklonaschen
- C - Gewebefilteraschen und
- D - Mischaschen (A+B, A+C, A+B+C, B+C)

Dabei lagen Mischaschen verschiedener Kombinationen der Fraktionen A bis C vor. Die Probenahme erfolgte analog des Verfahrens der Bundesgütegemeinschaft Holzasche nach Vorschrift der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA PN 98).

Hierbei wurde besonders auf die Art und Weise der Entaschung und die Lagerung der Aschen geachtet. Situations- und anlagenbedingt wurden die Brennraumaschen auf unterschiedliche Weise gelagert, z.B. in losen Haufwerken im Freien, in BigBags oder in Containern mit Volumina von 800 l bis 7 m³ (Abb. 1).



Abb. 1. Aschelagerung im losen Haufwerk (links), im Container (rechts).

Deren Beprobung erfolgte repräsentativ entsprechend der Vorschrift, indem je nach Haufwerksgröße und Aschekörnung mindestens 8 Einzelproben per Edelstahlschaufel bzw. Probenahmespeer (Abb. 2) entnommen, homogenisiert und reduziert wurden.



Abb. 2. Entnahme von Einzelproben (links), Probenahmespeer (rechts)

Auf diese Weise gewonnene Ascheproben wurden hinsichtlich aller düngemittelrechtlich relevanten Schad- und Nährstoffe untersucht.

5.2.2 Charakterisierung und Bewertung der Biomasseaschen gemäß Düngemittel-, Bioabfall- und Deponieverordnung

Grundsätzlich sind ausschließlich Brennraumaschen naturbelassener, pflanzlicher Ausgangsstoffe für eine landwirtschaftliche Verwertung zu verwenden und keine Aschen aus dem Rauchgasweg, ausgenommen der ersten filternden Einheit (z.B. Zyklonasche). Dabei sind definierte, maximale Schadstofffrachten entsprechend der Grenzwerte der Düngemittelverordnung (DüMV) einzuhalten (Tab. 2). Dies betrifft Konzentrationen der Schwermetalle Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg) und Thallium (Tl) sowie Gehalte an Dioxinen (PCDD/F & dl-PCB) und perfluorierten Tensiden (PFT).

Tabelle 2: Kennzeichnungs- sowie Grenzwerte für Schadstoffe laut Düngemittelverordnung 2012 (DüMV Anl. 2 Tab. 1.4), *WHO-TEQ 2005

Schadstoff	Einheit	Kennzeichnungswert	Grenzwert
Arsen (As)	mg / kg TM	20	40
Blei (Pb)	mg / kg TM	100	150
Cadmium (Cd)	mg / kg TM	1	1,5
(Cd) für DüM > 5 % P ₂ O ₅ (FM)	mg / kg P ₂ O ₅	20	50
Chrom (ges.)	mg / kg TM	300	-
Chrom (CrVI)	mg / kg TM	1,2	2
Nickel (Ni)	mg / kg TM	40	80
Quecksilber (Hg)	mg / kg TM	0,5	1
Thallium (Tl)	mg / kg TM	0,5	1
Perfluorierte Tenside (PFT)	mg / kg TM	0,05	0,1
Σ PCDD/F & dl-PCB *	ng / kg TM	-	30 (8)

Liegen diese Konzentrationen unterhalb der vorgeschriebenen Grenzwerte, ist eine Verwendung der jeweiligen Fraktion möglich, gegebenenfalls sind einzelne Parameter kennzeichnungspflichtig. Für die Zuordnung zu einem definierten Düngemitteltyp (mineralische Ein- oder Mehrnährstoffdünger, organisch-mineralische Düngemittel) müssen Biomasseaschen spezielle Mindestnährstoffgehalte aufweisen (Tab. 3). Des Weiteren sind unterschiedliche Bestimmungen zur weiteren Aufbereitung einzuhalten (Korngröße, Staubbinding etc.). Kalkdünger aus der Verbrennung naturbelassener, pflanzlicher Stoffe müssen beispielsweise einen Siebdurchgang von 90 % bei 6,3 mm sowie 70 % bei 3,15 mm aufweisen und granuliert oder staubgebunden vorliegen.

Tabelle 3: Zuordnung der Biomasseaschen zu einem Düngemitteltyp nach DüMV anhand enthaltener Mindestnährstoffgehalte

Düngemitteltyp	Bezeichnung	Mindestgehalt	Bestimmungen
Mineralische Einnährstoff- Dünger (DüMV Anl. 1, Abschn. 1)	Kaliumdünger aus Ascheaufbereitung Kalkdünger aus Verbrennung pflanzlicher Stoffe	10 % wsl. K ₂ O 15 % CaO i.d. TM. 2 % P ₂ O ₅ , 3% K ₂ O	Brennraumaschen naturbelassener, pflanzlicher Ausgangsstoffe. Keine Aschen aus Rauchgasweg, ausgenommen 1. filternde Einheit. Keine Kondensatfilterschlämme.
	PK-Dünger		Granuliert bzw. staubgebunden. Sieb- durchgang: 90 % < 6,3 mm, 70 % < 3,15 mm.
Mineralischer Mehrnährstoff- dünger (DüMV Anl. 1 Abschnitt 2)		3% K ₂ O 3% P ₂ O ₅	Durch Mischen, Lösen oder Suspendieren hergestellt. Pflanzliche Ausgangsstoffe.
	K-Dünger P-Dünger PK-Dünger	0,5% P ₂ O ₅ , 1 % K ₂ O	Granulierung bei trockenem Material, Abgabe granuliert / staubgebunden. Siebdurch- gang: bei 0,1 mm ≤ 0,2 %, bei 50 µm ≤ 0,05 %, bei 10 µm ≤ 0,005 %.
Organisch- Mineralische Düngemittel (DüMV Anl. 1 Abschnitt 3)			10 % Organische Substanz (TM). Toleranzen: 50 % des Nährstoff-gehalts (max. 1%), 50 % der organischen Substanz (max. 5%).

Biomasseaschen mit Nährstoffkonzentrationen unterhalb der Anforderungen an mineralische Ein- oder Mehrnährstoffdünger nach DüMV lassen sich als organisch-mineralischer Dünger nach Bioabfallverordnung (BioAbfV) verwerten, wenn sie deren Anforderungen ebenfalls erfüllen. Die Bioabfallverordnung stellt im Vergleich zur Düngemittelverordnung erhöhte Anforderungen an die Grenzwerte für Nickel und Gesamtchrom und schließt zusätzlich Kupfer und Zink ein. Um als mineralisch-organischer Dünger laut BioAbfV ausgebracht zu werden, sind der Asche mindestens 10 % Organische Substanz, z. B. in Form von Kompost oder Stroh, beizumengen. Kommt eine Verwertung einzelner Biomasseaschefractionen nicht in Frage, so sind diese hinsichtlich eines geeigneten Entsorgungsweges zu prüfen (Abb. 3).

Für Gefäßversuche zur Prüfung der P- und K-Düngewirkung wurden abgesiebte Rohaschen sowie Granulate in zwei Konzentrationsstufen auf zwei verschiedenen Böden untersucht und mit den Mineralnährstoffdüngern Triple-Superphosphat (TSP) bzw. Kornkali (K60) verglichen. Für alle Düngungsversuche wurden mit P und/oder K unterversorgte Böden ausgewählt und mit 1/3 Quarzsand gemischt, um einen möglichst starken Düngungseffekt zu erzielen. Die Gefäßversuche sollen Erkenntnisse zur optimalen Ausbringungsmenge der Aschen sowie zu geeigneten Fruchtarten für die Aschedüngung liefern.

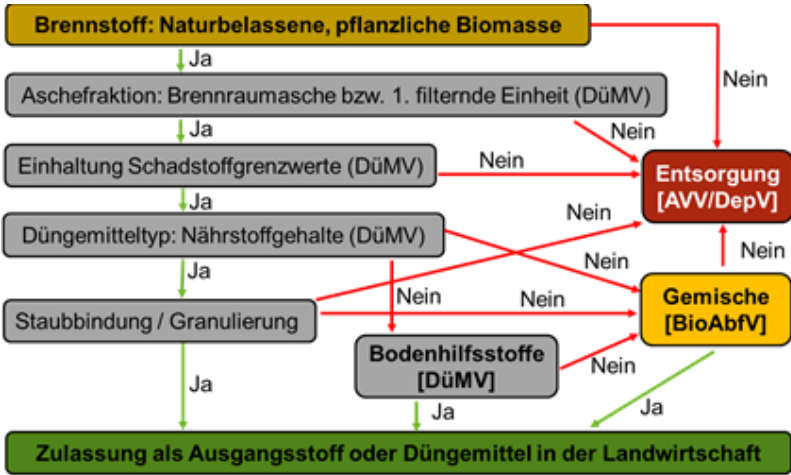


Abb. 3. Schematische Darstellung der Verwertbarkeitsprüfung für Biomasseaschen. Rechtsgrundlagen: Düngemittelverordnung (DüMV), Bioabfallverordnung (BioAbfV), Abfallverzeichnisverordnung (AVV) sowie Deponieverordnung (DepV)

5.3 Ergebnisse aus der ersten Beprobungsphase

In allen elf beprobten Anlagen wurden ausschließlich naturbelassene, pflanzliche Biomassen eingesetzt. Neun Feuerungen nutzten halmgutartige Brennstoffe (Stroh, Miscanthus, LaPf-Heu) und zwei Anlagen verwendeten Holz (Hackschnitzel). In sechs der beprobten Anlagen fielen dabei reine Brennraumaschen, in drei Anlagen Brennraum- und Zyklonasche-Mischungen und in zwei Anlagen konstruktionsbedingt Mischaschen inklusive weiterer filternder Einheiten an. Formell wären Letztere nicht als Düngemittel zu verwerten. Bei der überwiegenden Anzahl der untersuchten Anlagen (sieben von elf), bei 68% der untersuchten Aschefractionen sowie bei den Parametern Arsen, Blei, Gesamt-Chrom, Quecksilber, Thallium und Perfluorierte Tenside gab es keine Überschreitungen der nach Düngemittelverordnung geforderten Grenzwerte (Abb. 4). Vereinzelt Überschreitungen fanden sich bei den Parametern Cadmium, Chrom_{VI}, Nickel sowie Dioxinen (PCDD/F & dl-PCB). Eine systematische Überschreitung des Chrom-VI-Grenzwertes wurde in einer Holzasche festgestellt. Eine Reduktion dieses Gehaltes in Holzaschen ist jedoch durch Aufbereitung der Asche technisch möglich, sodass eine Verwertung nicht generell auszuschließen ist. Bei 5 von 11 untersuchten Anlagen besteht hinsichtlich der anfallenden Aschequalität Optimierungsbedarf. Für eine Verwertung in der Landwirtschaft und Deklaration als Düngemittel oder dessen Ausgangsstoff gemäß DüMV müssen Biomasseaschen bestimmte Nährstoffkonzentrationen enthalten.

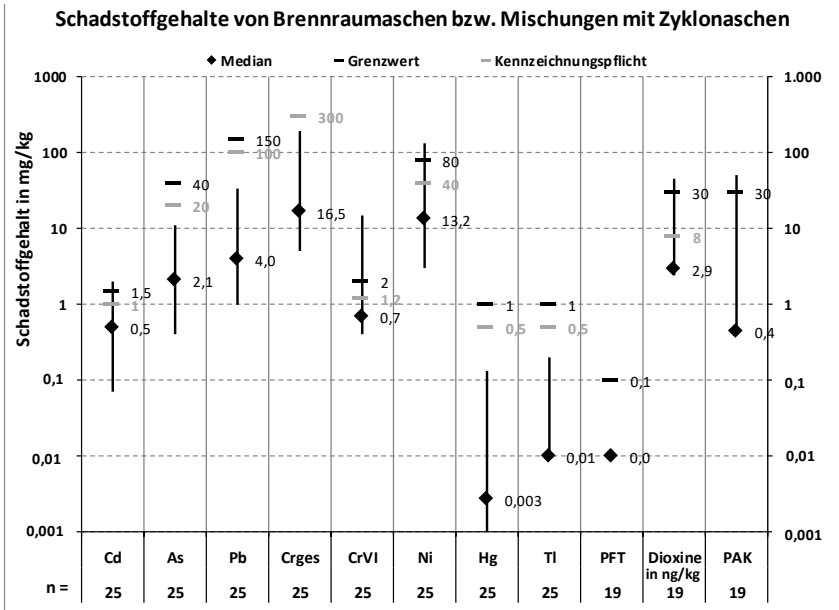


Abb. 4. Schwankungsbreiten (Median, Min., Max.) der im Rahmen des Monitorings nach DüMV zu untersuchenden Schadstoffkonzentrationen von Brennraumaschen bzw. Mischungen mit Zyklonaschen der beprobten Feuerungsanlagen.

Anhand dieser sind sie einem definierten Düngemitteltyp zuzuordnen. Mit Ausnahme einer nassentaschten Stroh- und einer -pelletasche waren alle geprüften Aschen einem mineralischen Ein- bzw. Mehrnährstoffdünger zuzuordnen (Abb. 5). Sie enthielten dabei zwischen 2 und 14% wasserlösliches Kalium, 1 bis 5 % Phosphat und 3,5 bis > 40 % Kalk in Form von Kalzium- und/oder Magnesiumoxid. Zwei Holz- und vier Halmgutaschen entsprachen dem mineralischen Düngemitteltyp Kalkdünger. Ebenfalls sechs Biomasseaschen ließen sich als PK-Dünger einstufen. Fünf Halmgutaschen entsprachen den Anforderungen an Kaliumdünger. Neben dieser Einstufung als mineralischer Ein- oder Mehrnährstoffdünger ist auch die Verwertung als organisch-mineralischer Ein- oder Mehrnährstoffdünger nach Bioabfallverordnung (BioAbfV) denkbar. Für diesen Düngemitteltyp ist grundsätzlich ein Anteil von 10% organischer Substanz notwendig. Da bei keiner der geprüften Fraktionen ein derartiger Anteil organischen Materials vorlag, müsste dieser zugesetzt und anschließend analysiert und bewertet werden. Alle beprobten Aschen enthielten ausreichend Nährstoffe, um nach Aufbereitung diesem Düngemitteltyp nach DüMV bzw. BioAbfV zu entsprechen. Sechs ausgewählte Biomasseaschen wurden abgesiebt und entsprechend der Anforderungen der DüMV (Anlage 2, Tab. 6,7) granuliert.

Typenbezeichnung	Mindestgehalt	Anlage I Toleranz	Stroh (B)	Stroh** (B)	Stroh (B)	Stroh (P)	Stroh (P)	LAPF-Heu	LAPF-Heu	Miscantus	Miscantus	Holz** (HS)	Holz (HS)
K-Dünger (1.3.4)	10 % ws. K ₂ O	1%	✓	x	✓	x	x	x	x	✓	✓	x	x
Kalkdünger (1.4.6)	15 % CaO	CaO 3% MgO -2,5% MgO +5% ges.:4%	x	x	x	✓	x	✓	✓	x	✓	✓	✓
PK-Dünger (min.)	2% P ₂ O ₅ 3% K ₂ O	0,2% 0,3%	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	✓
K-Dünger (org.-min.)*	3% K ₂ O	1%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
P-Dünger (org.-min.)*	3% P ₂ O ₅	1%	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	✓
PK-Dünger (org.-min.)*	0,5% P ₂ O ₅ 1 % K ₂ O	0,25% P ₂ O ₅ , 0,5 % K ₂ O	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Abb. 5. Zuordnung der Biomasseaschen zu Düngemitteltypen. * Zumischung von mindestens 10 % Organik, ** nass entascht; B = Ballen, P = Pellets, HS = Hackschnittzel

Die Versuche zur Staubbinding verliefen erfolgreich: alle sechs in Gefäßversuchen untersuchten Biomasseaschen ließen sich im geforderten Körnungsband (2-5mm) granulieren, drei von sechs Granulaten zeigten mit Mineraldüngern vergleichbare Kornfestigkeiten (20-40 N). Die P-Düngewirkung von Halmgutaschen erreichte auf beiden Böden, für beide Aufbereitungsformen und Konzentrationen 60-100% des Niveaus von Mineraldüngern (Tab. 3). Die K-Düngewirkung der Halmgutaschen war in vielen Fällen sogar mit dem Mineraldünger vergleichbar (80 bis >100%). Die sehr basischen Holzaschen hemmten das Pflanzenwachstum jedoch teilweise stark. Eine Granulierung sowie geringere Aufwandmengen verbesserten deren Düngewirkung. In geringer Konzentration, als Granulat erreichen Holzaschen ebenfalls eine gute K-Düngewirkung, wobei die Granulierung zu verzögerter Nährstoffverfügbarkeit führte.

Tabelle 3: Relativer Biomassertrag (%) im Vergleich zu Mineraldünger (MD = 100%). Niedrige Konzentration (I): erster Wert, hohe Konzentration (II): „Wert in Klammern“, P-Versuch: MD = TSP, I: 0,3 g P, II: 0,9 g P; K-Versuch: MD = K60, I: 1,5 g K, II: 4,5 g K, RA = Rohasche, GR = Granulat

Versuch	P-Düngewirkung				K-Düngewirkung	
	Sl3		Tu3		Sl3	
Bodenart	RA	GR	RA	GR	RA	GR
Holzasche 1	22 (6)	8 (17)	47 (39)	30 (31)	45 (0**)	94 (75)
Strohasche 1	93 (82)	76 (82)	91 (91)	65 (73)	101 (95)	100 (101)
Heuhasche 1	78 (79)	74 (81)	80 (90)	62 (67)	93 (85)	89 (86)
Holzasche 2*	12 (11)	15 (21)	42 (41)	44 (52)	83 (26)	101 (24)
Strohasche 2*	76 (85)	101 (74)	67 (77)	99 (76)	105 (94)	- (-)
Heuhasche 2	91 (80)	85 (75)	79 (89)	69 (75)	108 (104)	109 (94)
Kontrolle	27 (25)	27 (25)	38 (31)	38 (31)	62 (54)	62 (54)

5.4 Ausblick

Zwei Drittel der geprüften, ersten Aschefractionen erfüllten alle Prüfkriterien der Düngemittel- bzw. Bioabfallverordnung. Sie sind prinzipiell zur landwirtschaftlichen Verwertung geeignet. Diese Fraktionen hielten geforderte Schadstoffgrenzwerte und Nährstoffmindestgehalte nach DüMV ein. Sie ließen sich einem definierten Düngemitteltyp zuordnen sowie durch Siebung, evtl. Trocknung, Aufmahlung, Kompaktierung bzw. Staubbinding aufbereiten. Bei der Hälfte der Anlagen besteht nach erster Einschätzung Optimierungsbedarf. **Diese ersten Ergebnisse sind durch weitere Beprobungen in der nächsten Heizperiode abzusichern. Des Weiteren sind Brennstoffanalysen und Untersuchungen zum Emissionsverhalten zur weiteren Einschätzung der Aschequalitäten zu ergänzen.**

Quellen

AVV (Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis - Abfallverzeichnis-verordnung) i. d. F. vom 10. Dezember 2001, BGBl. I S. 3379.

BIERTÜMPFEL, A.; HEIDRICH, R.; GRAF, T.; VETTER, A. (2010): Düngung mit Presskuchen und Strohasche - Auswertung 14jähriger Versuchsergebnisse, Eigenverlag der TLL, 10 S.

BIOABFV (Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden - Bioabfallverordnung) i. d. F. vom 4. April 2013, BGBl. I S. 658.

DEPV (Verordnung über Deponien und Langzeitlager - Deponieverordnung) i. d. F. vom 27. April 2009, BGBl. I S. 900.

DÜMV (Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Boden-Hilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln - Düngemittelverordnung) i. d. F. vom 5. Dezember 2012, BGBl. I S. 2482.

EICHLER-LÖBERMANN, B.; SCHIEMENZ, K. (2010): Nutzung von Biomasseaschen für die Phosphor-Versorgung im Pflanzenbau, FNR (FKZ: 22016206).

ETTL, R.; WEIS, W.; A. GÖTTLEIN (2009): Rinden-Asche-Presslinge - ein Lösungsansatz für ein ökologisch verträgliches Ascherecycling, Forst u. Holz 64, 24-30.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. (2002): Cradle to Cradle. Remaking the way we make things, North Point Press, 193 S.

WEISER, CH.; REINICKE, F.; ZELLER, V.; VETTER, A.; THRÄN, D.; WAGNER, B. (2011): Bestimmung des deutschlandweiten Getreidestrohpotenzials auf Landkreisebene unter Anwendung verschiedener Humusbilanzmethoden, Eigenverlag der TLL, 8 S.

ZELLER, V.; WEISER, CH.; HENNENBERG, K.; REINICKE, F.; SCHAUBACH, K.; THRÄN, D.; VETTER, A.; WAGNER, B. (2011): Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe zur Bioenergiebereitstellung, Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, Band 2, S. 18.

ZORN, W.; SCHRÖTER, H., HEB, H. (2008): Auswirkungen langjährig suboptimaler P- und K-Düngung im Ackerbau - Schlussfolgerungen für einen erweiterten Anbau von Energiepflanzen, VDLUFA-Schriftenreihe 64/2008, S. 454-461.

ZORN, W., SCHRÖTER, H. (2009): Auswirkungen suboptimaler P- und K-Düngung im Ackerbau. Tagungsbericht ALVA-Jahrestagung 2009 Salzburg St. Virgil, S. 125-127.

ZORN, W.; SCHRÖTER, H., HEB, H. (2011): P- und K-Düngung bei Energiepflanzenanbau, Neue Landwirtschaft 9/2011, S. 50-52.

6 Erfahrungen aus 12 Jahren KUP-Ernte – ein Praxisbericht

Hans-Moritz von Harling

¹ Viessmann Werke GmbH & Co KG, 31307 Allendorf, Deutschland

Abstract. Viessmann hat im Jahre 2007 einen land- und forstwirtschaftlichen Versuchsbetrieb mit ca. 160 ha KUP gegründet. Als Pionier musste man sich der Herausforderung stellen, daß es keine erfahrenen Berater in der Branche gab. Es galt vieles eigenständig zu probieren. Dazu gehörten neben der Auswahl der Pflanzen und Pflégetechniken vor allem immer wieder der Einsatz verschiedenster Erntetechnologien. Die in diesem Zuge erlangten Praxiserfahrungen werden in diesem Bericht aufgezeigt und diskutiert.

Keywords: KUP, Ernte, Praxis, Viessmann, Mäh Hacker, Fäll er-Bündler

6.1 Vorbemerkung

6.1.1 Viessmann

Als Familienunternehmen in dritter Generation bekennt sich Viessmann zur gesellschaftlichen Verantwortung und zur Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen zukünftiger Generationen. Ressourcen- und umweltschonende Maßnahmen im Sinne nachhaltigen Handelns sind ebenso Bestandteil der Unternehmenskultur wie die stetige Erhöhung der Effizienz entlang der gesamten Prozesskette vom Zulieferer bis zum Endkunden.

6.1.2 Gelebte Nachhaltigkeit

Als Familienunternehmen legt Viessmann besonderen Wert auf verantwortungsvolles und langfristig angelegtes Handeln, die Nachhaltigkeit ist bereits in den Unternehmensgrundsätzen fest verankert. Gelebte Nachhaltigkeit bedeutet für Viessmann, Ökonomie, Ökologie und soziale Verantwortung im ganzen Unternehmen in Einklang zu bringen, sodass die heutigen Bedürfnisse befriedigt werden, ohne die Lebensgrundlagen kommender Generationen zu beeinträchtigen.

Gelebte Nachhaltigkeit

Ressourceneffizienz, Klimaschutz und Standortsicherung bei Viessmann



Als Umweltpionier und technologischer Schrittmacher der Heizungsbranche liefert Viessmann schon seit Jahrzehnten besonders schadstoffarme und energieeffiziente Heizsysteme für Öl und Gas sowie Solarsysteme, Holzfeuerungsanlagen und Wärmepumpen. Viele Viessmann Entwicklungen gelten als Meilensteine der Heiztechnik.

6.1.3 Umweltmanagement seit langem etabliert

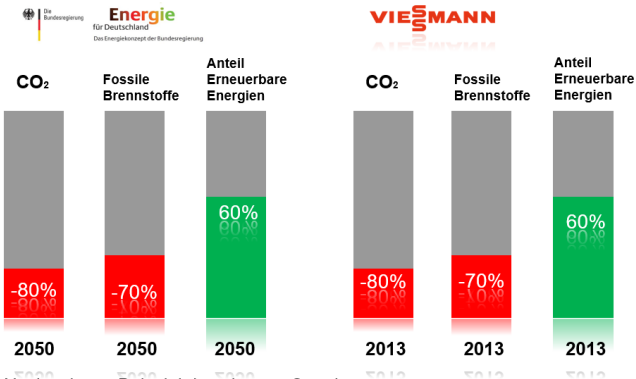
Das Erreichen der aus der Umweltpolitik abgeleiteten Ziele wird ständig überprüft. In Deutschland sind alle Viessmann Standorte und die Vertriebsniederlassungen nach DIN EN ISO 14001 zertifiziert. Als erstes Unternehmen der Heiztechnik-Branche und als zweites Unternehmen der Bundesrepublik sind 1995 die Viessmann Werke nach der europäischen Öko-Audit-Verordnung EMAS zertifiziert worden.

6.1.4 Effizienter Energieeinsatz zahlt sich als Wettbewerbsvorteil aus

Als einer der international führenden Hersteller von intelligenten, komfortablen und effizienten Systemen für Wärme, Dampf, Kälte und dezentrale Stromversorgung bietet Viessmann seinen Kunden innovative Produkte, die durch Spitzenqualität, Energieeffizienz und Langlebigkeit überzeugen. Mit Viessmann Technik können die energie- und klimapolitischen Ziele für 2050 bereits heute erreicht werden.

Effizienz Plus

Ergebnis 2013 im Vergleich zu politischen Zielen 2050



Nachweis am Beispiel des eigenen Standorts, dass die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung für 2050 bereits heute, mit marktverfügbarer Technik, erreichbar sind.

Vor mehr als 40 Jahren wurde am Hauptsitz in Allendorf (Eder) damit begonnen, energie- und rohstoffsparende Produktionsanlagen einzurichten. Durch kontinuierliche Einsparungen und Effizienzsteigerungen wurden seitdem zahlreiche Meilensteine hervorgebracht.

6.1.5 Biomasse aus eigenem Anbau

Zur Gewinnung der Biomasse pflanzt Viessmann auf Kurzumtriebsplantagen schnellwachsende Pappeln an, die nach wenigen Jahren geerntet und zu Holzhackschnitzeln verarbeitet werden und in der werkseigenen Energiezentrale am Stammsitz Allendorf (4.500 Mitarbeiter) zur Produktion von Strom- und Wärme genutzt werden.

Der Ertrag pro Hektar und Jahr entspricht der Energiemenge von bis zu 5000 Litern Heizöl. Der Betrieb der Kurzumtriebsplantagen gibt dem Unternehmen zudem die Möglichkeit, Erfahrungen mit dieser Art der Energieerzeugung über die gesamte Prozesskette zu gewinnen und diese weiter zu optimieren.

Ertrag der gepflanzten Stecklinge

Zuwachs: jährlich ca. 10 t Trockenmasse (TM*) pro ha
Energiegehalt: 5 MWh pro t TM
⇒ jährlicher Energiezuwachs = 50 MWh = 50.000 kWh

Öläquivalent: 10 kWh pro Liter Heizöl
(50.000 kWh / 10 kWh/Lit. = 5.000 Liter)

⇒ **Ernteertrag:**
5000 Liter Heizöl-Äquivalent
wachsen pro Jahr und Hektar



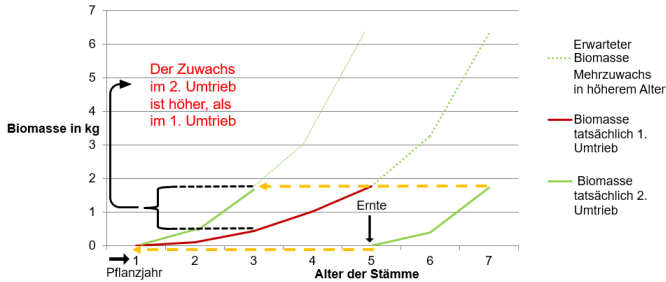
6.2 Erkenntnisse aus Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen

Als KUP-Pionier hatte Viessmann immer den Anspruch Partner für Forschung & Praxis zu sein. Die in der großflächigen Bearbeitung erlangten Praxisbedingungen wurden regelmäßig von Forschungseinrichtungen begleitet. Dabei wurden auch immer wieder andere Schwerpunkte beleuchtet.

Langfristige Partner waren bzw. sind dabei vor allem das Institut für Stoffstrommanagement (IfAS) Birkenfeld sowie die Hochschule Weihenstephan (HSWT).

In diesem Zusammenhang soll vor allem verwiesen werden auf das Verbund-Forschungsprojekt ELKE. Der Abschlußbericht (https://www.landnutzungsstrategie.de/wp-content/uploads/2018/07/2013-10-31_Schlussbericht_ELKE_III_JB.pdf) gibt detailliert Auskunft über Boden-, Käfer- und Ornithologische Untersuchungen.

Kontinuierliche Steigerung der durchschnittl. Jahreszuwächse Biomassezuwachs, Einzelbaum ^{*)}

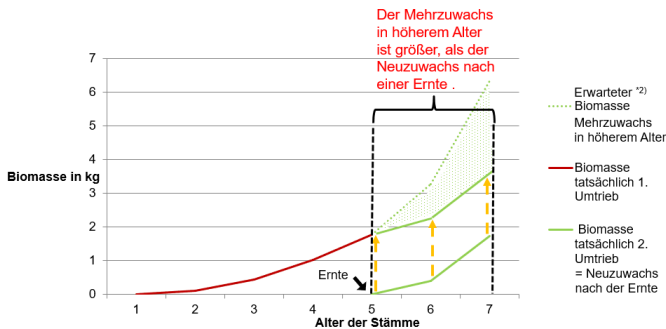


Die jährlichen Zuwächse eines Wurzelstockes steigen mit dem Alter an!
Die durchschnittlichen Erträge bezogen auf die Gesamtleistung (hier: 20-Jahres-Zeitraum) steigen mit fortschreitendem Wurzelwachstum (Laufzeit).

*) Hier am Beispiel: KUP Battenfelder Driescher, Schlag 11
Quelle: Projektwoche der HSWT bei Viessmann, März 2015

Zudem konnten in jährlich wiederkehrenden Projektwochen Langzeit-Datenreihen über Zuwachsmengen ermittelt und ausgewertet werden. Hieraus wurde eine Biomasse-Wachstumsformel entwickelt, mit deren Hilfe die Zuwächse auf Stichprobenbasis hinreichend genau bestimmt werden können. Auch wurden die zunächst kalkulierten 3-Jahres-Rhythmen für die Ernte neu diskutiert und vielerorts verlängert.

Entscheidung zum Erntezeitpunkt Biomassezuwachs, Einzelbaum ^{*)}



Die KUP-Pappeln haben im Alter 5 noch nicht ihren höchsten Zuwachs (t/a) erreicht.

Der Erntezeitpunkt sollte verschoben werden, und zwar bis der Zuwachs kulminiert, d.h. der lfd. jährliche Zuwachs (t/a) maximal ist! (vermutlich ca. 8-11 Jahre)

*) Hier am Beispiel: KUP Battenfelder Driescher, Schlag 11. Quelle: Projektwoche der HSWT bei Viessmann, März 2015
*) aus: Züchtung, Anbau und Leistung der Pappel, Fröhlich u. Grosscurth, 1973

6.3 Ernteerfahrungen

Am Standort Allendorf wurden wertvolle, bundesweit einzigartige Erfahrungen mit der großflächigen Beerntung von Agrarholzbeständen gesammelt. Unter anderem zeigte sich die Praxistauglichkeit des absätzigen Ernteverfahrens mit dem Ganzbaumernter „Stemster“ in Kombination mit einer Feldrandtrocknung der gebündelten Bäume und einem späteren Hacken. Allerdings ist diese Technik aktuell in Deutschland noch kaum verfügbar und nur einsetzbar, wenn ausreichend Erntefläche vorhanden ist. Die Vollerntetechnik mit Gehölmähhackern ist bewährt, in Deutschland weiter verbreitet, integriert in einem Arbeitsgang den Hackprozess und ist daher energieeffizienter als das absätzige Verfahren. Diese Ernte- und Aufbereitungsketten müssen noch intensiver untersucht und analysiert werden.

Ernteverfahren

Ernte mit Fäller-Sammler „Stemster“

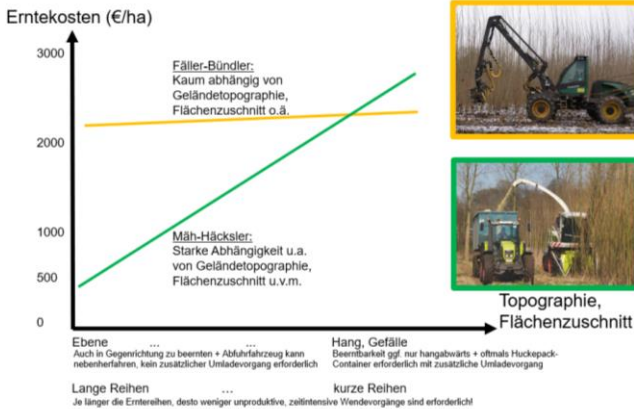


6.3.1 Die Anfänge

In den ersten Jahren kamen vor allem bewährte Entwicklungen großer Häckslhersteller zum Einsatz. Es zeigte sich, daß diese Technologien zwar den reinen Gutfluß hervorragend beherrschten, den übrigen Bedingungen jedoch oftmals nicht gewachsen waren: Befahrbarkeit des Bodens, witterungsbedingte Kälte, Hackschnitzelqualität. Auch konnten die Vorteile des Direkthäcksels auf den kleinen Flächen nicht zum Tragen kommen

Erntekosten pro Fläche

Abhängigkeit von Topographie und Flächenzuschnitt



6.3.2 Weitere Versuche / Fäller-Bündler

Vor diesem Hintergrund wurden in den Folgejahren immer häufiger auch Maschinen eingesetzt, die zunächst unbekannt oder nicht sonderlich erfolgversprechend schienen. Dazu gehören vor allem sog. Fäller-Bündler, die aus der Landschaftspflege bekannt sind. Oftmals auf Ketten fahrend, können diese Geräte bei fast jeder Witterung zum Einsatz kommen. Deren Leistung ist jedoch sehr stark vom Kenntnisstand des Fahrers abhängig.

Ernteverfahren

Fäller-Bündler-Zange „woodcracker 250“ an Minibagger

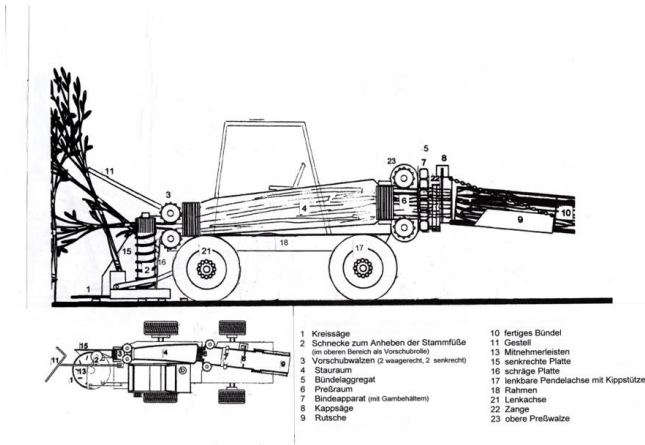


6.3.3 Projekt Mäh-Bündler

Nicht verschwiegen werden sollte der Umstand, daß sich Viessmann sehr frühzeitig mit der Idee einer Eigenentwicklung beschäftigte. Unter Leitung von Forstamtsleiter i.R. Karl Döhrer wurde ein Mäh-Bündler entwickelt. In Zusammenarbeit mit Fa. Krone Landtechnik konnte ein erster Prototyp entwickelt werden. Die zu erwartende, sehr niedrige Stückzahl (Schätzung < 5 pro Jahr) ließ das Projekt letztlich dann doch scheitern

Ernteverfahren

Selbstfahrender Mäh-Bündler, Prototypenzeichnung (Karl Döhrer)



6.3.4 Fazit / Aktueller Status

Über die Jahre zeichnete sich immer mehr ab, daß ein Direktthäcksler eine gute Alternative darstellt, solange folgende Eigenschaften optimiert werden:

- Kleiner Wendekreis
- Anhäckseln auch in der Bestandsmitte möglich
- Breite Reifen , ggf. Ketten nachrüstbar
- Möglichkeit zur Materialaufnahme durch eigenen Bunker um die zwingende Erfordernis nebenherfahrender Fahrzeuge auszuschliessen.
- Hackmesser die zu sehr groben Hackschnitzelqualitäten führen

Ein in Zusammenarbeit zunächst mit Fa. Jenz, später mit Fa. Kluge entwickelter Anbau-Mäh-Hacker scheint diesen Anforderungen am nächsten zu kommen. Unter stetiger wissenschaftlicher Begleitung des Instituts Agrartechnik Bornim (ATB) konnte gemeinsam mit dem Maschinenring Waldeck-Frankenberg eine praxistaugliche Maschine entwickelt werden. Der Kauf eines Aggregates bietet zudem seit 2018 die Möglichkeit Ernteeinsätze witterungsbedingt auch sehr kurzfristig zu planen und durchzuführen. Dies vermeidet heute langfristige Absprachen mit weit anreisenden Lohnunternehmen.

Ernteverfahren III

JENZ-Gehölmähhacker GMHS 100 + Class Xerion 3800



7 Verbrennungsverhalten von KUP-Brennstoffen

Daniel Kuptz¹, Claudia Schön¹, Robert Mack¹, Elisabeth Rist¹, Elke Dietz², Hans Hartmann¹

¹ Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für
Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)

² Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)

Abstract. Bei der Produktion von KUP-Hackschnitzeln kommt es je nach Baumart, Klon, Standort, Umtriebszeit, Erntetechnik und Aufbereitung zu unterschiedlichen Brennstoffqualitäten. Die Hackschnitzel unterscheiden sich dabei wesentlich von Waldhackschnitzeln und variieren u. a. im Wassergehalt und in ihrer chemischen Zusammensetzung. Bei der Verbrennung von KUP-Hackschnitzeln ist daher mit höheren Emissionen an Kohlenmonoxid (CO), Stickoxiden (NO_x) und Staub zu rechnen. Feuerungsversuche an Kleinfeuerungsanlagen (30 kW und 50 kW) am TFZ zeigten, dass geeignete Maßnahmen, z. B. die Trocknung, die Siebung oder die Pelletierung (inkl. Additivierung mit Kaolin) helfen könnten, die Brennstoffqualität zu verbessern. Eine weitere Empfehlung ist die Verwendung moderner Feuerungstechnik, vor allem die Nutzung elektrostatischer Staubabscheider.

Keywords: Brennstoffqualität, Verbrennungsverhalten, Holzhackschnitzel, Pellets, Kaolin, Emissionen

7.1 Einleitung

Viele Land- und Forstwirte betreiben eine eigene Hackschnitzelfeuerung. Den Brennstoff produzieren sie oft selbst, z. B. in Kurzumtriebsplantagen (KUP). Aber sind KUP-Hackschnitzel als Brennstoff für die eigene Heizung überhaupt zu empfehlen und in wie weit ist eine weiterführende Aufbereitung durch Trocknung, Siebung oder Pelletierung sinnvoll? Dieser Frage haben sich die Forscherinnen und Forscher des Technologie- und Förderzentrums (TFZ) in mehreren Projekten gestellt.

7.2 Material und Methoden

7.2.1 Brennstoffgewinnung und Brennstoffaufbereitung

Um die allgemeine Bewertung der Brennstoffqualität von KUP-Brennstoffen zu ermöglichen, wurde in mehreren Projekten am TFZ Brennstoffproben von KUP-Flächen gesammelt und analysiert. Daneben wurde auf bestehende Daten bereits abgeschlossener Projekte mit TFZ-Beteiligung zurückgegriffen. Auf diese Weise kamen, je nach Brennstoffparameter, bis zu 80 Datensätze zusammen.

Ein Teil der Brennstoffe wurde für Feuerungsversuche am Prüfstand des TFZ eingesetzt. Hierzu wurden die Brennstoffe durch Trocknung, Siebung oder Pelletierung aufbereitet. Für die Brennstofftrocknung kamen am TFZ selbstgebaute Niedrigtemperatur-Satztrocknerboxen zum Einsatz. Die jeweilige Gesamtprobe wurde in eine eigens konstruierte Holzkiste (1.160 × 390 × 790 mm) gefüllt. Als Bodenplatten für die Holzkiste wurden Lochsiebe mit 15 mm Lochdurchmesser verwendet. Die Trocknung erfolgte durch Belüftung der Probe mittels eines

mobilen Gebläses. Zwischen Gebläse und Trocknungskiste wurde ein Heizregister geschaltet und die Temperatur der Trocknungsluft auf 40 °C eingestellt. Der Zielwassergehalt variierte je nach Fragestellung des jeweiligen Projekts, betrug aber in allen Fällen < 35 m-%. Anschließend wurde die getrocknete Probe homogenisiert.

Ein Teil der Brennstoffchargen wurde nach der Trocknung mit einem ebenfalls selbstgebauten Trommelsieb mit der Lochweite von 8 mm (Rundloch) vorbehandelt. Die Siebung verringert somit hauptsächlich den Feinanteil. Anschließend wurde die gesiebte Probe homogenisiert.

Die Herstellung von KUP-Pellets mit einem Durchmesser von 6 mm erfolgte mit der Pelletieranlage am TFZ (Amandus Kahl GmbH & Co. KG, Typ 33-390). Hierbei handelt es sich um eine Flachmatrizenpresse. Ein Teil der Brennstoffe wurde zur Reduzierung der partikelförmigen Emissionen sowie zur Verbesserung des Ascheschmelzverhaltens additiviert. Als Additiv wurde das aluminiumbasierende Tonmineral Kaolin ausgewählt, welches zu 87 % aus reinem Kaolinit bestand. Die benötigte Menge an Additiv wurde stöchiometrisch ermittelt. Das Mischungsverhältnis betrug 1,5 m-% Kaolin zu 98,5 m-% KUP-Pappel (bezogen auf die Trockenmasse).

7.2.2 Brennstoffanalysen nach DIN EN ISO Norm für biogene Festbrennstoffe

Alle Brennstoffe wurden hinsichtlich ihrer physikalischen und inhaltsstofflichen Brennstoffeigenschaften (Wassergehalt, Aschegehalt, Heizwert, Schüttdichte, Partikelgrößenverteilung, Inhaltsstoffe) nach DIN EN ISO Norm (Tabelle 1) analysiert. Die physikalischen Analysen erfolgten am TFZ. Die Analyse der chemischen Inhaltsstoffe erfolgte in den Laboren des jeweiligen Projektpartners sowie in weiteren externen Laboren.

Tabelle 2: Analysemethoden für biogene Festbrennstoffe (wf = wasserfrei)

Qualitätsparameter	Labor	Methode (DIN EN ISO)
Wassergehalt (in m-%)	TFZ	18134-2/3
Aschegehalt (in m-%, wf)	TFZ	18122
Heizwert (in MJ/kg, wf)	TFZ	18125
Schüttdichte (in kg/m ³)	TFZ	17828
Partikelgrößenverteilung (in m-%)	TFZ	17827-1
Mechanische Festigkeit von Pellets (in m-%)	TFZ	17831-1
Gesamtgehalt an C, H und N (in m-%, wf)	extern	16948
Hauptelemente (in mg/kg, wf)	extern	16967
Spurenelemente (in mg/kg, wf)	extern	16968
Chlor und Schwefel (in m-%, wf)	extern	16994

7.2.3 Feuerungsversuche an Kleinfeuerungsanlagen

Für die Untersuchung des Emissionsverhaltens von KUP-Hackschnitzeln kam in einer ersten Versuchsreihe eine 50 kW Kipprostfeuerung (HDG Compact 50) mit seitlichem Einschub zum Einsatz. In einer zweiten Versuchsreihe wurde ein 30 kW Biomassekessel (Guntamatic Powerchip 20/30) mit Treppenrost und seitlichem Einschub verwendet. In diesem wurden sowohl Pellets als auch Hackschnitzel aus Pappel verbrannt. Neben reinen Brennstoffen und additivierten Pellets konnte Kaolin über eine separate Förderschnecke direkt in die Zuführung des Kessels eingetragen werden. Somit kamen zusätzlich Brennstoffe zum Einsatz, die erst nach ihrer Produktion mit 1,5 m-% Kaolin (bezogen auf die Trockenmasse) vermischte wurden. Alle Messungen wurden auf dem Feuerungsprüfstand des TFZ durchgeführt. Der Aufbau der Abgasmessstrecke für die Bestimmung der Zusammensetzung der Abgase sowie der Gesamtstaubemissionen ist in Abbildung 1 dargestellt. Der Brennstoffvorratsbehälter befand sich auf einer Plattformwaage für die kontinuierliche Bestimmung des Brennstoffmassenstroms. Der Versuchsaufbau bestand abgaseitig aus einer senkrechten Messstrecke mit allen notwendigen Messöffnungen für die Bestimmung von Abgastemperatur, Förderdruck, Abgasgeschwindigkeit, gasförmigen Bestandteilen sowie für die Probenahme zur Bestimmung des Gesamtstaubgehalts gemäß VDI 2066, Blatt 1.

Im Rahmen des Messprogramms wurden folgende Anlagenparameter und Emissionsmessgrößen erfasst: Kohlenstoffmonoxid (CO), Stickoxide (NO_x), flüchtige organische Kohlenwasserstoffe (Org.-C), Gesamtstaub, Sauerstoff (O_2), Kohlendioxid (CO_2), Wasserdampfgehalt im Abgas (H_2O), Wärmeleistung, Kesselwirkungsgrad, feuerungstechnischer Wirkungsgrad, Abgastemperaturen sowie der Förderdruck.

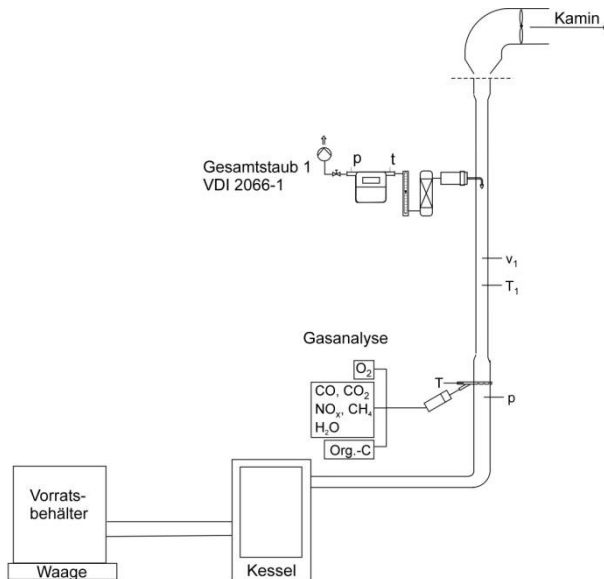


Abb. 2. Versuchsaufbau für die Feuerungsversuche am TFZ, Skizze nicht maßstäblich

7.3 Ergebnisse und Diskussion

7.3.1 Brennstoffqualität von KUP

Die Brennstoffqualität von KUP-Hackschnitzeln ist in vielen Punkten, z. B. im Aschegehalt, im Heizwert oder im Feinanteil zunächst ähnlich der Qualität von Hackschnitzeln aus Waldrestholz (siehe Tabelle 2). Auffällig war neben einem typischerweise für KUP-Hackschnitzel erhöhten Wassergehalt ein hoher Gehalt an verbrennungskritischen Inhaltsstoffen, vor allem an Stickstoff oder an aerosolbildenden, d. h. für die Feinstaubbildung mitverantwortlichen chemischen Elementen (Summe aus Kalium, Natrium, Blei und Zink). Besonders das Kalium ist als Feinstaubbildner relevant. Ebenso waren die Schwermetalle Cadmium und Zink im Vergleich zu Waldholz erhöht.

Tabelle 3: Mittlere Brennstoffqualität von KUP-Hackschnitzeln aus Pappel und Weide im Vergleich zum Grenzwert nach DIN EN ISO 17225-4 (Spezifikationen B1 und B2) sowie zu Hackschnitzeln aus Waldrestholz und Energierundholz (Quelle: Bericht aus dem TFZ Nr. 56, wf = wasserfrei)

Parameter	Einheit	DIN EN ISO 17225-4 B1/B2	Pappel	Weide	Waldrestholz (Wrh)	Energierundholz (Er)
Wassergehalt	m-%	-	53,6	51,0	47,2	50,7
Aschegehalt	m-%, wf	3,0	2,0	2,1	2,1	1,0
Heizwert	MJ/kg, wf	-	18,40	18,26	18,85	18,64
Feinanteil	m-%	10,0 (15,0)	6,4	5,6	14,2	8,9
Stickstoff	m-%, wf	1,00	0,33	0,48	0,33	0,16
Schwefel	m-%, wf	0,10	0,03	0,04	0,03	0,02
Chlor	m-%, wf	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
Cadmium	mg/kg, wf	2,0	0,33	0,85	0,19	0,14
Zink	mg/kg, wf	100	38	70	27	18
Aerosolbildner *	mg/kg, wf	-	2.954	2.648	1.661	1.112
davon Kalium	mg/kg, wf	-	2.898	2.570	1.610	1.076

* Aerosolbildner = Summe der Elemente Kalium, Natrium, Blei und Zink in mg/kg

Der Wassergehalt bei erntefrischen KUP-Hackschnitzeln lag im Mittel bei 53 m-% (Pappel) bzw. bei 51 m-% (Weide). Damit war der Wassergehalt von KUP-Hackschnitzeln höher als die mittleren Wassergehalte erntefrischer Hackschnitzel aus Waldrestholz und Energierundholz (KUPTZ & HARTMANN 2015). Eine Verbrennung von KUP-Hackschnitzeln im erntefrischen Zustand ist daher für kleine Feuerungsanlagen nicht zu empfehlen. Von Kesselherstellern wird meist ein maximaler Wassergehalt von 30 m-% bis 35 m-%, häufig sogar deutlich unter 25 m-% vorgeschrieben. Folglich müssen die Hackschnitzel getrocknet werden.

Der Aschegehalt der KUP-Brennstoffe lag im typischen Bereich für Hackschnitzel aus Waldrestholz bzw. war minimal erhöht (Tabelle 2, KUPTZ & HARTMANN 2015). Bei den Brennstoffproben aus KUP konnte eine Bandbreite von ca. 1 bis 3 m-% festgestellt werden. Der Mittelwert lag bei ca. 2 m-%. Die meisten Hackschnitzel aus KUP konnten in die Spezifikation A3.0 nach DIN EN ISO 17225-4 (Aschegehalt < 3,0 m-%, wf) eingeordnet werden.

Die wasserfreien Heizwerte der KUP-Proben lagen im Mittel bei 18,4 MJ/kg und waren damit geringfügig niedriger als die Heizwerte der Referenzproben aus Waldrestholz und Energierundholz (Tabelle 2). Die Referenzproben bestanden vornehmlich aus Nadelholz. Der höhere Heizwert lässt sich somit auf die gegenüber Laubholz in Nadelholz tendenziell höheren Gehalte an Lignin und Harz zurückführen. Analog lagen die Heizwerte der Referenzproben aus Laubholz im Mittel ebenfalls bei ca. 18,4 MJ/kg (KALTSCHMITT et al. 2016).

Der Feinanteil der KUP-Proben lag häufig unterhalb der Werte der Waldhackschnitzel (Tabelle 2). Dies lag neben einem hohen Nadelanteil bei den Waldrestholzproben vor allem an der Hackertechnik. KUP-Proben, die mit einem Feldhäcksler geerntet wurden, hatten häufig sehr niedrige Feinanteile (Mittel: 4,0 m-%, Max: 7,4 m-%, n = 8). Im Vergleich dazu hatten KUP-Hackschnitzel, die im abgesetzten Verfahren mit einem konventionellen Trommelhacker produziert wurden, mittlere Feinanteile von 7,1 m-% (Max: 14,0 m-%, n = 17).

Die Schüttdichte (auf wasserfreier Bezugsbasis) der KUP-Proben lag bei durchschnittlich 170 kg/m³ und damit um ca. 30 bzw. 40 kg/m³ niedriger als bei Energierundholz oder Waldrestholz. Dies lässt sich vor allem auf unterschiedliche Rohdichten der Holzarten zurückführen, wobei vor allem die Proben aus harten Laubhölzern (z. B. Buche, Eiche) der Referenzproben deutlich über den Werten von Pappel und Weide lagen (244 kg/m³, n = 9). Nadelholzproben lagen dagegen mit 195 kg/m³ (n = 21) nur leicht höher als die Brennstoffe aus KUP.

Die Stickstoffgehalte (N) lagen in allen KUP-Proben unterhalb des Grenzwerts der DIN EN ISO 17225-4 von 1,0 m-% (Tabelle 2). Die Werte der Pappel waren im Mittel vergleichbar mit den Werten für Waldrestholz (DIETZ et al. 2016), die Stickstoffgehalte von Weide lagen i. d. R. darüber. Bei den Pappelproben der längeren Umtriebe (7 bis 10 Jahre) waren geringere Gehalte an Stickstoff im Brennstoff zu finden als bei den Proben aus dem kürzeren Umtrieb (0 bis 6 Jahre). Die Schwefelgehalte (S) lagen bei den untersuchten KUP-Sortimenten mit Pappel und Weide auf der Höhe der Vergleichsproben aus Waldrestholz, jedoch über den Proben aus Energierundholz (Tabelle 2, DIETZ et al. 2016). Im Mittel lagen die S-Gehalte bei der Weide etwas höher als bei Pappel und Waldrestholz. Der Grenzwert der DIN EN ISO 17225-4 von 0,1 m-% wurde aber in keiner der Proben überschritten.

Hohe Gehalte an aerosolbildenden Elementen (Kalium, Natrium, Blei, Zink) wirken sich direkt auf die zu erwartenden Feinstaubemissionen bei der Verbrennung aus (vgl. Unterkapitel 5.4, SOMMERSACHER et al. 2013, BRUNNER et al. 2015, SCHÖN et al. 2017, MACK et al. 2018, ZENG et al. 2019). Sowohl Pappel als auch Weide zeigten deutlich erhöhte Gehalte an aerosolbildenden Elementen im Vergleich zu den Proben aus Waldrestholz und Energierundholz (DIETZ et al. 2016). Somit ist bei der Verbrennung von KUP-Hackschnitzeln mit zum Teil höheren Staubemissionen zu rechnen (vgl. Unterkapitel 5.4). Im Mittel waren die Gehalte an Aerosolbildnern bei Pappel und Weide etwa gleich hoch. Aufgetrennt nach einzelnen Elementen machte Kalium erwartungsgemäß den Großteil der aerosolbildenden Elemente aus (94,5 bis 98,5 m-%). Trotz insgesamt höherer Konzentrationen im Vergleich zu Waldrestholz und Energierundholz (Tabelle 2) entsprach diese Beobachtung der Verteilung aerosolbildender Elemente in naturbelassenem Holz (DIETZ et al. 2016). Die Elemente Natrium, Blei und Zink spielen mit maximal 4,5 m-% nur eine untergeordnete Rolle.

Die Ergebnisse zur Brennstoffqualität weisen darauf hin, dass es zu Problemen bei der Verbrennung kommen könnte, z. B. zu erhöhten Emissionen an Staub, Stickoxiden (NO_x) oder zu der Bildung von Schlacke in der Brennkammer. Insgesamt konnten aber die Grenzwerte der aktuell gültigen internationalen Norm für Holzhackschnitzel, der DIN EN ISO 17225-4 (Spezifikation B1 und B2), jedoch eingehalten werden. Hackschnitzel aus KUP sind somit als naturbelassener Brennstoff einzuordnen.

Im Fall von NO_x sind die gemessenen Emissionen direkt auf den Stickstoffgehalt im Brennstoff zurückzuführen (Abbildung 3). Eine Verringerung des Gehalts an N durch Siebung führte dementsprechend zu einer Verringerung an NO_x (SOMMERSACHER et al. 2013, BRUNNER et al. 2015). Analog führte eine Absiebung von Nadeln aus Waldrestholzhackschnitzeln im Projekt „qualiS“ ebenfalls zu einer Reduzierung des Stickstoffgehalts und zu geringeren NO_x -Emissionen bei einer 30 kW-Feuerung (ZENG et al. 2019).

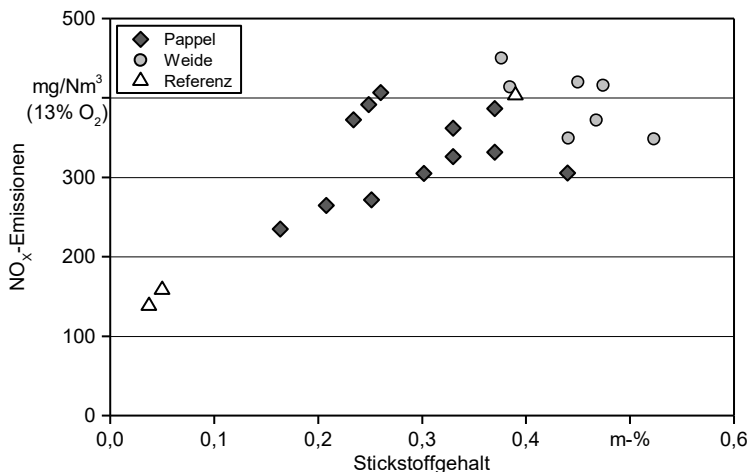


Abb. 4. Stickoxidemissionen in Abhängigkeit vom Stickstoffgehalt des Brennstoffs bei der Verbrennung in einer 50 kW Kipprostfeuerung (HDG Compact 50)

Die Emissionen an Gesamtstaub waren direkt abhängig vom Gehalt an aerosolbildenden Elementen im Brennstoff, von denen das Kalium den Hauptanteil ausmachte (Abbildung 4, Tabelle 2). Folglich verringert sich bei einer Siebung der Brennstoffe häufig zusammen mit dem Anteil an aerosolbildenden Elementen auch die Staubemission (ZENG et al. 2019).

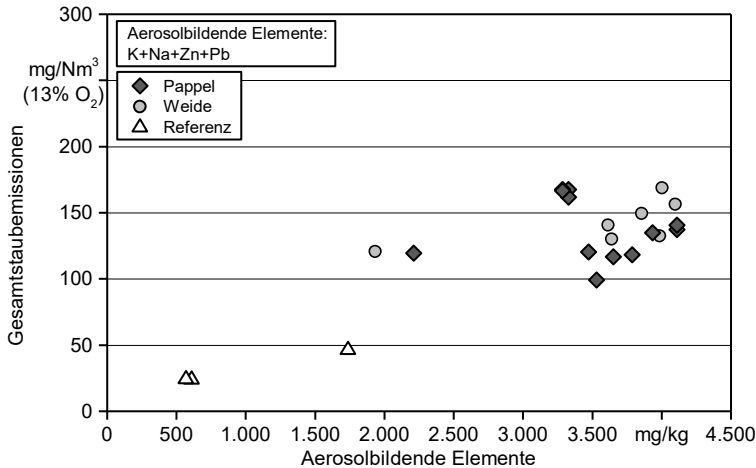


Abb. 5. Gesamtstaubemissionen in Abhängigkeit vom Gehalt der aerosolbildenden Elemente (auf wasserfreier Bezugsbasis) bei der Verbrennung in einer 50 kW Kipprostfeuerung (HDG Compact 50)

Gesamtstaubemissionen können auch aufgrund einer unvollständigen Verbrennung erhöht sein (KALTSCHMITT et al. 2016). Dabei bilden sich vornehmlich Rußpartikel. Folglich nahm analog zu den Emissionen an CO auch der Gesamtstaub bei höheren Wassergehalten in der 50 kW Kipprostfeuerung zu. Den größten Effekt auf die Rußbildung dürfte dabei aber eine zu hohe Brennraumbelastung des Kessels unter Vollast haben. Wie schon beim CO diskutiert, könnte es durch eine Überlastung des Kessels aufgrund der geringeren Energiedichte von KUP zu einer unvollständigen Verbrennung gekommen sein. Somit könnte sich auch beim Gesamtstaub eine andere Kesselführung, aber auch ein Teillastbetrieb positiv auf das Verbrennungsverhalten von KUP-Brennstoffen auswirken (siehe oben).

Kritisch zu bewerten ist, dass in keinem Fall bei den Versuchen mit KUP-Hackschnitzeln die Emissionsgrenzwerte der 2. Stufe der 1. BImSchV (CO: 400 mg/Nm³, Staub: 20 mg/Nm³, jeweils bei 13 % O₂) mit der hier verwendeten Feuerung annähernd eingehalten werden konnte. Dies konnte mit den gewählten Einstellungen, aber auch bei der Verwendung von Hackschnitzeln aus Waldrestholz nicht gewährleistet werden.

7.3.3 Verbrennungsverhalten von Pellets und Hackschnitzel aus Pappel in einem 30 kW Biomassekessel

In einer zweiten Versuchsreihe wurden sowohl Pellets als auch Hackschnitzel aus Pappel in einer 30 kW Treppenrostfeuerung (Guntamatic Powerchip 20/30) am Feuerungsprüfstand des TFZ verbrannt (MACK et al. 2018). Zum Einsatz kamen dabei auch Pappel-Brennstoffe, die mit Kaolin (1,5 m-%) additiviert wurden. Als Referenz wurden ENplus-Pellets (Qualität A1) aus Nadelholz verwendet.

Die am TFZ produzierten Pellets aus Pappel (7-jähriger Umtrieb) zeigten in vielen Fällen typische Werte für Holzpellets auf. Ihr Wassergehalt lag bei zwischen 8,4 und 8,6 m-%, ihre Schüttdichte zwischen 690 und 700 kg/m³ und ihre mechanische Festigkeit zwischen 98 und 99 m-%. Der Heizwert lag bei einem für Pappel typischen Wert von 18,4 MJ/kg. Der Aschegehalt der reinen Pappelpellets lag bei 2,3 m-% (wasserfrei), der Aschegehalt der mit 1,5 % Kaolin additivierten Pellets bei 3,1 m-% (wasserfrei). Somit konnten sowohl die reinen

als auch die additvierten Pellets aufgrund des Aschegehalts nicht nach DIN EN ISO 17225-2 oder nach ENplus eingeordnet werden. Die Gehalte an aerosolbildenden Elemente in den Pellets beliefen sich auf 3130 bis 3260 mg/kg. Die Stickstoffgehalte lagen in beiden Varianten bei ca. 0,3 m-% (MACK et al. 2018).

Analog der Versuche mit der 50 kW-Feuerung verursachte die Verbrennung von Pappelbrennstoffen hohe CO-Emissionen in dem 30 kW-Kessel. Reine Pappelpellets verursachten CO-Emissionen von durchschnittlich 1.389 mg/Nm³ (siehe Abbildung 5). Diese lagen deutlich über dem Grenzwert von 400 mg/Nm³ der 1. BImSchV. Durch die Additivierung vor der Pelletierung mit 1,5 m-% Kaolin ließen sich die CO-Emissionen auf 118 mg/Nm³ und damit um 92 % reduzieren. Die Zugabe der 1,5 m-% Kaolin nach dem Pelletieren führte mit 355 mg/Nm³ ebenfalls zu einer deutlichen Reduzierung der CO-Emissionen um rund 74 % und somit zur Einhaltung der Grenzwerte für CO.

Bei der Verbrennung der Pappelhackschnitzel betragen die CO-Emissionen 886 mg/Nm³. Sie lagen somit unter den Werten der reinen Pappelpellets. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre, dass der Guntamatic PowerChip 20/30 als Hackschnitzelkessel auf diese Brennstoffform optimiert ist. Durch die Zugabe der ca. 1,5 m-% Kaolin über die Schnecke der Brennstoffzufuhr reduzierten sich auch bei Hackschnitzeln die CO-Emissionen auf 47 mg/Nm³ und damit um 95 % verglichen mit den reinen Pappelbrennstoffen. Somit konnten die CO-Emissionen durch Additivierung vor der Pelletierung und durch einfache Zugabe von 1,5 m-% Kaolin vor der Verbrennung unter den Grenzwert von 400 mg/Nm³ (Stufe 2 der 1. BImSchV) verringert werden.

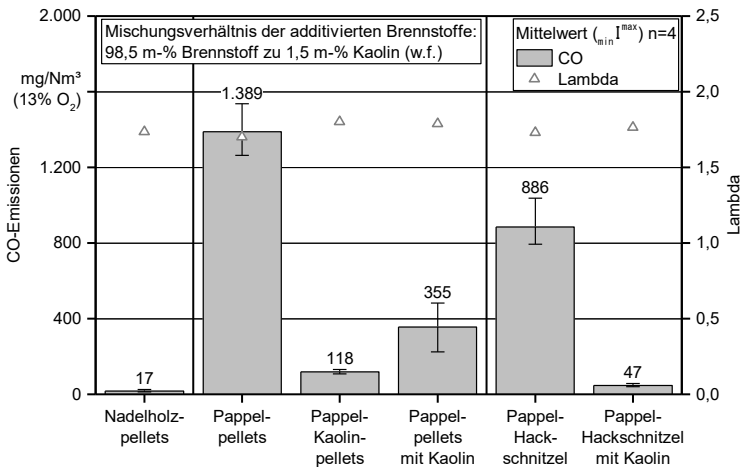


Abb. 6. CO-Emissionen von Pappelbrennstoffen bei der Verbrennung in einer 30 kW Treppenrostfeuerung (Guntamatic Powerchip 20/30)

Der Grund für diese drastische CO reduzierende Wirkung des Kaolins ist noch nicht abschließend geklärt. Ähnliche Beobachtungen wurden schon von anderen Forschern beschrieben (Topfbrenner, Getreidefeuerung, bewegter Treppenrost, siehe BÄFVER et al. 2009, BRUNNER et al. 2015, XIONG et al. 2008, MACK et al. 2018). Eine mögliche Erklärung könnte ein katalytischer Effekt des Kaolins sein (HERAVI et al. 2008, KOCI et al. 2011). Eine weitere denkbare Erklärung wäre möglicherweise der positive Effekt des Kaolins auf die Glutbettstruktur durch verringerte Schlackebildung (Porosität).

Bei der Verbrennung reiner Papppellets wurden 215 mg/Nm³ NO_x emittiert, während für die Hackschnitzel aus dem gleichen Pappelmaterial mit 261 mg/Nm³ höhere Emissionen aufwiesen. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte die bei Hackschnitzeln höhere Brennraumbelastung, also das im Brennraum befindliche Brennstoffvolumen im Verhältnis zum Brennraumvolumen sein (KALTSCHMITT ET AL. 2016). Für Papppellets (Abbildung 6) steigen die NO_x-Emissionen durch die Zugabe von 1,5 m-% Kaolin zur Pelletierung minimal um 13 mg/Nm³ und um 15 mg/Nm³, wenn das Kaolin nach der Pelletierung zudosiert wird. Im Gegensatz dazu werden beim Einsatz von Nadelholzpellets lediglich 104 mg/Nm³ freigesetzt.

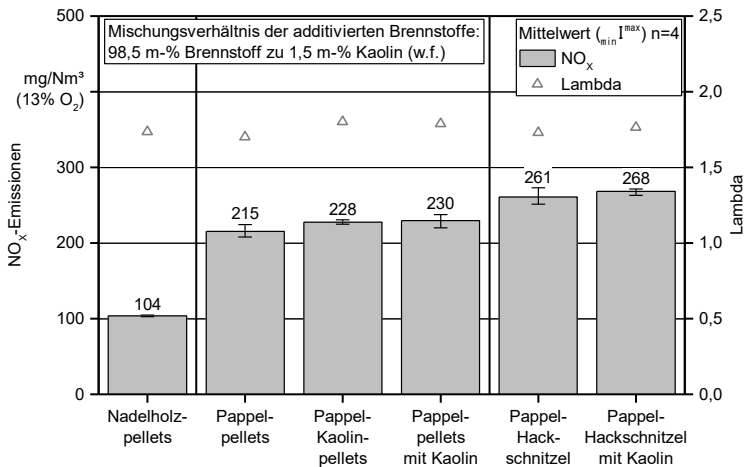


Abb. 7. NO_x-Emissionen von Pappelbrennstoffen bei der Verbrennung in einer 30 kW Treppenrostfeuerung (Guntamatic Powerchip 20/30)

Die Gesamtstaubemissionen der reinen Papppellets lagen mit 156 mg/Nm³ auf einem hohen Niveau und entsprachen dem 6,5-fachen Wert der Holzpellets. Bei der Additivierung mit anschließender Pelletierung ließen sich die Gesamtstaubemissionen auf 46 mg/Nm³ und damit um ca. 71 % reduzieren (Abbildung 7). Durch die nachträgliche Additivierung der Papppellets betragen die Gesamtstaubemissionen 69 mg/Nm³ und lagen immer noch ca. 56 % niedriger als bei reinen Papppellets. Bei der Verwendung purer Pappelhackschnitzel lagen die Gesamtstaubemissionen bei 179 mg/Nm³. Dabei fiel auf, dass die Gesamtstaubemissionen der Pappelhackschnitzel signifikant höher ausfielen als bei der Verbrennung der reinen Papppellets. Durch die Zugabe von 1,5 m-% Kaolin über die Brennstoffförderschnecke konnten die Gesamtstaubemissionen auf 101 mg/Nm³ gesenkt werden.

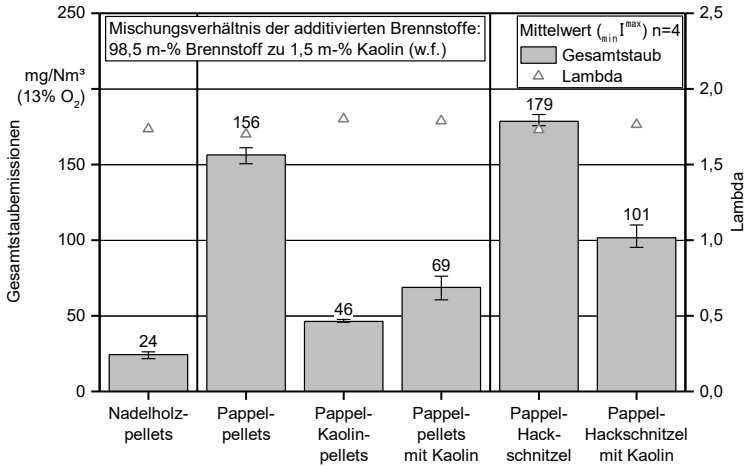


Abb. 8. Gesamtstaubemissionen von Pappelbrennstoffen bei der Verbrennung in einer 30 kW Treppenrostfeuerung (Guntamatic Powerchip 20/30)

Als Gründe für die Verringerung der Emissionen an Gesamtstaub ist vor allem die Fixierung des aerosolbildenden Elements Kalium durch das Additiv in die Asche zu sehen (HÜLSMANN et al. 2018, MACK et al. 2018). Die Additivierung der Brennstoffe mit Tonmineralen stellt somit eine gute Möglichkeit dar, das Emissionsverhalten von KUP-Brennstoffen deutlich zu verbessern. Insgesamt lagen dennoch alle Gesamtstaubemissionen oberhalb des Grenzwertes der 1. BImSchV von 20 mg/Nm³. Demnach müsste z. B. zusätzlich ein Elektroabscheider nachgerüstet werden. Hinsichtlich der gasförmigen Emissionen sowie einer Entlastung des Elektroabscheiders bei derartig hohen Staubkonzentrationen wäre eine Kombination aus Additivierung und Elektroabscheider aber dennoch ein denkbarer Lösungsansatz, um Brennstoffe wie Pappel aus dem Kurzumtrieb in Kleinf Feuerungsanlagen sicher nutzen zu können.

7.4 Schlussfolgerung

Insgesamt zeigt sich, dass Brennstoffe aus dem Kurzumtrieb in Kleinf Feuerungsanlagen als anspruchsvoller Brennstoff einzuordnen ist. Eine Trocknung auf den passenden Wassergehalt ist prinzipiell erforderlich. Ebenso sollte der Kesselbetrieb auf den Brennstoff gezielt eingestellt werden.

Die Einhaltung strenger Emissionsgrenzwerte bleibt aber eine Herausforderung, wenn nicht gleichzeitig auf eine moderne Anlagentechnik mit Staubminderungsmaßnahmen zurückgegriffen wird. Hier ist die Verwendung von elektrostatischen Staubabscheidern zu empfehlen. Moderne, sich teilweise noch in der Entwicklung befindliche primärseitige Neuerungen, z. B. Hackschnitzelkessel mit konsequenter Vorvergasung oder mit Brennwerttechnik, könnten hier ebenfalls Abhilfe schaffen. Generell erweisen sich KUP-Brennstoffe allerdings v. a. für größere Heizwerke bei entsprechendem Wassergehalt geeignet, da hier die notwendigen technischen Maßnahmen zur Luftreinhaltung leichter wirtschaftlich darstellbar sind.

Danksagung

Die Studien wurden über das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) und über das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) finanziert. Sie fanden häufig in enger Zusammenarbeit mit der Abteilung „Forsttechnik, Betriebswirtschaft, Holz“ der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) statt. Die Ergebnisse wurden bereits teilweise als TFZ-Bericht Nr. 56 veröffentlicht (Download unter www.tfz.bayern.de).

Quellen

- BÄFVER, L. S., et al (2009).: Particle emission from combustion of oat grain and its potential reduction by addition of limestone or kaolin. *Fuel Processing Technology* 90(3), S. 353–359
- BRUNNER T, et al. (2015).: Additivations Guideline - How to Utilise Inorganic Additives as a Measure to Improve Combustion Related Properties of Agricultural Biomass Fuels: ETA-Florence Renewable Energies; 2015.
- DIETZ, E., et al. (2016).: Berichte aus dem TFZ Nr. 46 –Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern, Technologie- und Förderzentrum, 141 Seiten
- HERAVI, M. M. et al. (2008): Kaolin. A recyclable catalyst for the synthesis of 1,5-benzodiazepines. *Heteroatom chemistry* 19(2), S. 215-217
- HUELSMANN T, et al.(2018).: Influence of kaolinite on the PM emissions from small-scale combustion. *Biomass Conversion and Biorefinery*, Online First, 16 Seiten
- KALTSCHNITT, M, et al. (2016).: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Technik und Verfahren. Springer, 1755 Seiten
- KOČÍ K, et al. (2011): Comparison of the pure TiO₂ and kaolinite/TiO₂ composite as catalyst for CO₂ photocatalytic reduction. *Catalysis Today* 161(1), S. 105–9
- KUPTZ, D., et al. (2018).: Berichte aus dem TFZ Nr. 56 – Holzhackschnitzel aus dem Kurzumtrieb), Technologie- und Förderzentrum, 163 Seiten
- KUPTZ, D. & HARTMANN, H. (2015).: The effect of raw material and machine setting on chipping performance and fuel quality – a German case study. *International Journal of Forest Engineering* 26:1, S. 60-70
- MACK, R. et al. (2018).: Combustion behaviour and slagging tendencies of kaolin additivated agricultural pellets and of wood-straw pellet blends in a small scale boiler. *Tagungsbandbeitrag zur EU BC&E 2018*, S. 408-417
- SCHÖN, C. et al. (2017).: Influence of wood chip quality on emission behavior in small-scale wood chip boilers. *Biomass Conversion and Biorefinery*, Online First, 14 Seiten
- SOMMERSACHER, P., et al. (2013).: Application of novel and advanced fuel characterization tools for the combustion related characterization of different wood/kaolin and straw/kaolin mixtures. *Energy & Fuels*, Jg. 27, Nr. 9, S. 5192-5206
- XIONG, S., et al. (2008).: Slagging Characteristics during combustion of corn stovers with and without kaolin and calcite. *Energy & Fuels* 22(5), S. 3465–3470
- ZENG, T., et a. (2019).: Impact of adhering soil and other extraneous impurities on the combustion and emission behavior of forest residue wood chips in an automatically stoked small-scale boiler. *Biomass Conversion and Biorefinery*, Online First, 18 Seite

8 Robinie – neue Einblicke und wissenschaftliche Erkenntnisse - Biomasse, Blüte, Konkurrenz, Invasivität

Christin Carl^{1,2}, Dirk Landgraf¹, und Hans Pretzsch²

¹ Fachhochschule Erfurt, Leipziger Straße 77, 99085 Erfurt,
christin.carl@fh-erfurt.de, dirk.landgraf@fh-erfurt.de

² Technische Universität München, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde,
Hans Carl-von-Carlowitz-Platz, 85354 Freising, Deutschland,
christin.carl@tum.de, Hans.Pretzsch@lrz.tum.de

Abstract. Die Robinie kann sich sowohl generativ, als auch vegetativ vermehren. Generativ über Samen ab einem Alter von sechs Jahren und vegetativ über Wurzelbrut und Stockausschläge. Für die Samenbildung blüht die Robinie sehr intensiv Ende Mai. Auf einer acht jährigen Kurzumtriebsplantage (KUP) wurden im Jahr 2017 insgesamt 5,3 Millionen Blüten je Hektar mit Hilfe einer Drohne detektiert. Diese Anzahl an Blüten produziert im Durchschnitt 87 kg Nektar. Von dieser Menge könnte ein durchschnittliches Bienenvolk 70 kg Honig produzieren und ein Jahr überleben (ohne Zufütterung und Honigentnahme). Aus den Blüten werden Samen, die sich in einer schotenartigen Samenhülle befinden. Die Samen sind 1–2 mm groß und haben eine sehr harte Samenschale. Bei Keimungsexperimenten im Jahr 2018 mit Samen von zwei achtjährigen Robinien KUP's zeigt sich, je stärker die Temperaturen in kurzen Zeiträumen schwanken und je mehr die Samenschale verletzt wird, desto mehr Samen keimen. Bei der Analyse der Wurzelbrut via Drohnen-Luftbilder zeigt sich, dass die Ausbreitung ansteigt mit steigender Lichtverfügbarkeit. Die Fähigkeit zum Stockausschlag ist und war ein Kriterium für die Etablierung der Robinie in KUP's. Jedoch nimmt die Anzahl der Stockausschläge mit zunehmenden Alter ab. Dieser „Absterbe“-Prozess steht in Zusammenhang mit der intraspezifischen Konkurrenz und effektiven Ressourcenallokation zwischen den Stockausschlägen der gleichen Basiswurzel. Bei der Betrachtung und Modellierung des radialen Wachstums in die Richtung zu den „Geschwisterstockausschlägen“ fällt auf, dass das relative Wachstum reduziert ist. Zudem ist die Intensität der Konkurrenz um ober- und unterirdische Ressourcen zwischen Robinien abhängig von der Wasser- und Phosphorverfügbarkeit im Boden. Bei hohen Wasser- und Phosphorgehalten im Boden weisen die stärker dimensionierten Stämme einen deutlich höheren Zuwachs im Vergleich zu den schwächer dimensionierten Bäumen auf. Aus diesen Erkenntnissen hervorgehend und bei der Betrachtung der oberirdischen, holzigen Biomasseleistung der Robinie auf 14 verschiedenen Standorten zeigt sich, dass es signifikante Unterschiede gibt zwischen Bergbaufolgeflächen und ehemaligen ackerbaulich genutzten Flächen sowie zwischen Kernwuchs (ungeerntet) und Stockausschlag (geerntet). Für die Biomassebetrachtungen sollten zukünftig Standort- und Konkurrenzparameter einbezogen werden. Zudem lohnt sich ein umfassender Blick auf die Baumart Robinie um ihr Potential und ihre Risiken bewerten zu können.

Keywords: Robinie, generative und vegetative Vermehrung, Ressourcenallokation

8.1 Einleitung

Seit dem Beginn des 17. Jahrhunderts wächst die aus Nordamerika stammende Baumart Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) in europäischen Parks, Städten und in Wäldern (VADAS 1914, ERNYEY 1927). Als schnellwachsende, trockenheitsresistente und stockausschlagende Baumart wurde und wird die Robinie in Plantagen weltweit angebaut (KERESZTESI und BALLA 1988). Im nordostdeutschen Tiefland wurde die Robinie vor allem auf sandigen und zumeist nährstoffarmen Standorten etabliert. Da die Robinie als nicht heimische Baumart von unterschiedlichen Standpunkten aus unterschiedlich bewertet wird, ist ein allumfassender Blick für eine ausgewogene Einschätzung dieser Baumart essentiell. Die Robinie vermehrt sich sowohl generativ über Samen als auch vegetativ über Wurzelbrut und Stockausschläge. Ab einem Alter von ca. sechs Jahren blüht die Robinie sehr intensiv (REDEI 2013). Aus diesem Grund wird sie von vielen Imkern als Bienenweide sehr geschätzt (REDEI 2013). Es stellt sich jedoch die Frage, (1) wie viele Blüten blühen in einer Robinien-KUP und können somit als Nahrungsquelle für Honigbienen dienen? Aus den Blüten bilden sich hartschalige Samen, die denen der Bohnen (Fabaceae = Leguminose) ähneln, jedoch mit 1-2 mm deutlich kleiner sind (ROLOFF et al. 2010). Die Muster variieren von getriggerten Gelbtönen bis zu schwarz. In dieser Studie wurde mit Hilfe von Keimungsexperimenten die folgende Forschungsfrage fokussiert: (2) wie hoch ist die Keimfähigkeit der Robinien Samen von KUP's mit unterschiedlichen Vorbehandlungen? Neben der generativen Vermehrung ist die vegetative Vermehrung und die Ausbreitung über Wurzelbrut ein Hauptaspekt für die Einstufung der Robinie als invasive Spezies in Europa, dargestellt in verschiedenen Studien (z.B. Europäische Kommission 2017). Jedoch ist die Ausbreitung der Wurzelbrut von Robinien-KUP's auf Nachbarflächen unbekannt. Diese Wissenslücke führt zur dritten Forschungsfrage: (3) wie intensiv breitet sich die Robinie auf Nachbarflächen aus, in Abhängigkeit von deren Ökosystemstruktur? Neben der Wurzelbrut zeigt die Robinie ein intensives Stockausschlagvermögen nach Verletzungen oder einer Ernte. Es wurde beobachtet, dass die Anzahl der überlebenden Stockausschläge mit zunehmenden Stockalter abnimmt (ZECKEL 2007, ERTLE et al. 2008). Jedoch fehlen bisher Untersuchungen zum „Absterben“ einzelner Robinienstockausschläge in KUP's. Die vierte Forschungsfrage lautet daher: (4) wie verändert sich die Anzahl der Stockausschläge je Stubben mit zunehmendem Alter in Robinien-KUP's? Des Weiteren ist die Ressourcenallokation von Stockausschlägen bisher unbekannt. Mit Hilfe der Analyse des radialen Zuwachses wurde die Ressourcenallokation in die Richtung zu Stöcken derselben Basiswurzel und unterschiedlicher Stubbenzugehörigkeit untersucht: (5) wie stark ist das relative und absolute Radialwachstum von Stockausschlägen in die Richtung der jeweiligen Nachbarstockausschläge? Die Allokation der ober- und unterirdischen Ressourcen wurde bereits bei Pflanzen und Bäumen mit Hilfe der Größen-Zuwachs-Beziehung analysiert (WEINER und THOMAS 1986, WEINER 1990, PRETZSCH und BIBER, 2010 etc.). Darüber hinaus stellt sich für die Robinie jedoch die Forschungsfrage: (6) was sind die Schlüsselressourcen für das Robinienwachstum und das intraspezifische Konkurrenzverhalten? Für den Menschen ist seit jeher der Rohstoff Holz bzw. die oberirdische, holzige Biomasse eines Baumes von enormer Bedeutung. Die Robinie zählt bezüglich der Dauerhaftigkeit (DIN EN 350:2016 Dauerhaftigkeitsklasse 1-2) zu einem der besten Hölzer in Europa. Jedoch gilt zu beachten, dass es Unterschiede zwischen juvenilen und adulten Holz gibt (DÜNISCH et al. 2007, KOCH und DÜNISCH 2008, DÜNISCH et al., 2010, LATORRACA et al. 2011). Bei der Betrachtung der Biomasseproduktion der Robinie in KUP's soll die folgende Forschungsfrage beantwortet: (7) gibt es Unterschiede zwischen Bergbaufolgeflächen und ehemaligen landwirtschaftlichen Flächen sowie Kernwuchs und Stockausschlag? Diese Studie hat das Ziel einen umfassenden Überblick über die Baumart Robinie in KUP's in den Themenbereichen Vermehrung, Konkurrenz und Biomasse zu geben.

8.2 Material und Methoden

Die Untersuchungsflächen befanden sich im nordostdeutschen Tiefland der Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Brandenburg. Insgesamt wurden 20 Standorte untersucht (Abb. 1). Die Standorte waren durch vormalige Braunkohleaktivitäten geprägt, wurden zuvor ackerbaulich genutzt, oder sind Forststandorte. Das Alter der Untersuchungsbestände schwankte von einem Jahr bis 32 Jahren. Der Untersuchungszeitraum war von November 2016 bis August 2018.

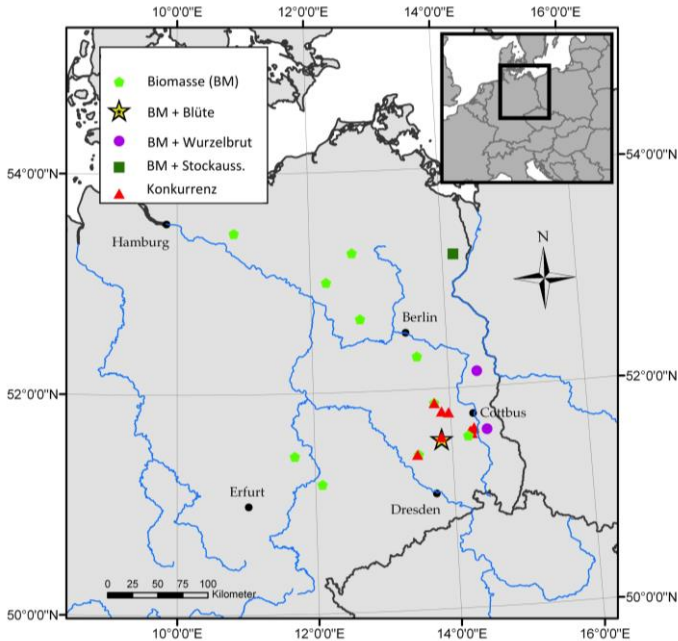


Abb. 9. Übersichtskarte zu den 20 Untersuchungsflächen in Deutschland, BM = Biomasse Untersuchungen, Blüte = Blüten Analyse, Wurzelbrut = Untersuchung der Ausbreitung der Robinie auf Nachbarflächen, Stockausschlag = Untersuchung des radialen Zuwachses von Stockausschlägen, Konkurrenz = Untersuchung der Schlüsselressourcen für die Konkurrenz zwischen Robinien (Quelle: CARL et al., 2017a, 2017b, 2018).

Die Blütenanalyse ist in drei Teilbereiche untergliedert (Abb. 2); vertikale und horizontale Analyse, sowie die Blütenbaumanalyse. Die vertikale und horizontale Analyse wurde mit Hilfe einer Drohne durchgeführt. Die vertikale Analyse diente der Einschätzung der optimalen Flughöhe. Die horizontale Analyse und die Analyse der Blütenbäume dienen der Hochrechnung der Anzahl der Blüten je Hektar. Die Analyse der Blütenbäume erfolgte manuell. Dazu wurden die Blüten gezählt, fotografiert und gewogen. Mit Hilfe der Fotos und der Verwendung der Open-Source-Software ImageJ (SCHINDELIN et al. 2012, SCHNEIDER et al. 2012) konnte die Oberfläche berechnet werden. Es wurde von jeder Blüte das Gesamtgewicht und jeweils das Gewicht eines 1 cm² großen ausgestanzten Blütenbereiches gewogen. Mit

diesen beiden Werten konnte das Volumen der Blüten errechnet werden. Mit Hilfe der in der Literatur beschriebenen Werte wurde aus der Blütenanzahl ein durchschnittlicher Nektar- sowie Honigwert für die Untersuchungsfläche berechnet. Zudem wurde die Anzahl der Bienen, die davon ein Jahr überleben könnten, kalkuliert. Weitere Details der Blütenanalyse sind in CARL et al. (2017b) beschrieben.

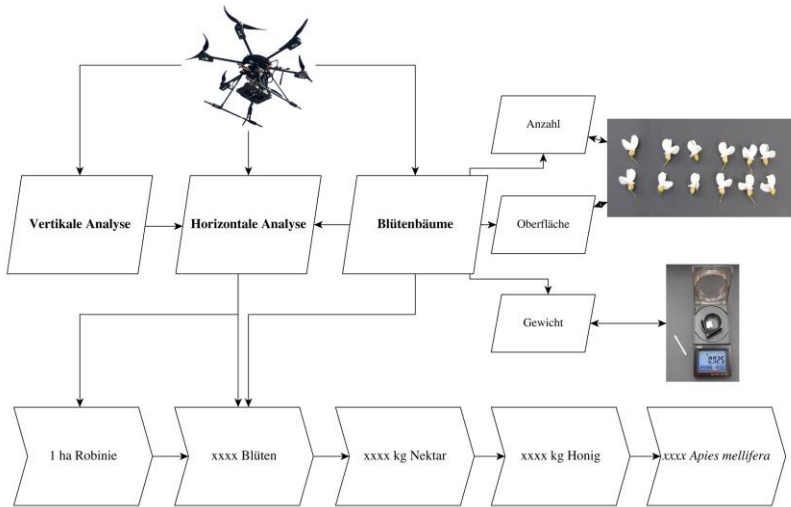


Abb. 10. Methodenübersicht zur angewendeten Blütenanalyse der Robinie (Quelle: CARL et al., 2017b).

Die Samen (Abb. 3) wurden nach der jeweiligen Vorbehandlung in Pflanzboxen mit sandigen Mineralboden gesät. Es wurden 100 Samen mit fünf Wiederholungen in sechs verschiedenen Vorbehandlungsvarianten untersucht, somit waren es insgesamt 3.000 Samen. Die Samenexperimente wurden in der folgenden Reihenfolge durchgeführt:

- A. Gesät und gegossen,
- B. Einweichen für 24 Stunden bei einer Raumtemperatur von 18°C, danach gesät und gegossen,
- C. Erhitzen der Samen bei 45°C für 2 Stunden, danach abkühlen bei -20°C für weitere 2 Stunden, dann gesät und gegossen,
- D. Erhitzen der Samen bei 60°C für 2 Stunden, danach abkühlen bei -20°C für weitere 2 Stunden, dann gesät und gegossen,
- E. Überbrühen, gesät und gegossen, und
- F. Verletzung der Samenschale mit einer Nagelzange (Stratifizieren), gesät und gegossen.



Abb. 11. Robiniansamen zweier achtjähriger KUP's, sowie eines 3-tägigen Robinienkeimlings (rechts unten) (Fotos: Carl, 2018).

Die Analyse der Wurzelbrut bzw. der Ausbreitung der Robinie von einer KUP auf die umliegenden Nachbarflächen wurde mit Hilfe einer Drohne durchgeführt. Dafür wurden die letzten Pflanzreihen der KUP im Gelände mit GPS eingemessen. Von dieser letzten Pflanzreihe wurde der Bedeckungsgrad der Robinie und die durchschnittliche Ausbreitungsdistanz berechnet.

Die Analyse der Stockausschläge in Abhängigkeit vom Stockalter erfolgte mit Hilfe von Probekreisen. In diesen Probekreisen wurde die aktuelle Anzahl an Stöcken ermittelt und der ursprünglichen ausgebrachten Pflanzenanzahl gegenübergestellt. Insgesamt wurden für den Zusammenhang der Anzahl der Stockausschläge zum Alter des Stockes insgesamt 5.244 Stöcke untersucht.

Die Ressourcenallokation zwischen Stockausschlägen wurde mit der Analyse von Stammscheiben bestimmt. Dafür wurde das Radialwachstum via ImageJ (SCHINDELIN et al. 2012, SCHNEIDER et al. 2012) in definierte Richtungen vermessen. Es wurde das radiale Wachstum in die Richtung zu allen Nachbarstockausschlägen und in die geografischen Himmelsrichtungen analysiert. Richtungsspezifische Zusammenhänge wurden modelliert und der Einfluss der gemeinsamen Basiswurzel untersucht. Insgesamt wurden dafür 22 Stockausschläge analysiert.



Abb. 12. Zuwachsmaßbänder an Robinien einer forstwirtschaftlich genutzten Fläche in Calau (Brandenburg) für die Analyse des Konkurrenzverhaltens. (Foto: Carl, 2017)

Für die Analyse des Konkurrenzverhaltens und der ober- und unterirdischen Schlüsselressourcen wurden zehn Robinienstandorte mit ähnlichem Klima aber unterschiedlichen Bodenparametern untersucht. Es wurden für jeden Standort Bodenproben bis in eine Tiefe von 1 m entnommen. Im Labor wurden die Nährstoffgehalte, sowie die Textur des Bodens analysiert. Daraus konnte dann die Wasserverfügbarkeit berechnet werden. Zudem wurde der Zuwachs mit Hilfe von Zuwachsmaßbändern ermittelt (Abb. 4). Anschließend erfolgte die Modellierung des Größen-Zuwachs-Verhältnisses in Abhängigkeit von den ober- und unterirdischen Ressourcen. Weitere Details der Studie zum Konkurrenzverhalten sind in CARL et al. (2018) beschrieben.

Die oberirdische, holzige Biomasse wurde mit Hilfe von Probekreisen und der Erfassung der ertragskundlichen Parameter sowie des Gewichtes (gesamt und Teilstichprobe) ermittelt. Die Proben wurden danach gehäckselt und bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und gewogen. Insgesamt wurden 9.729 Robinien analysiert. Bei der Modellierung der Biomasse wurde zwischen der Vornutzung = Bergbaufolge und Landwirtschaft, sowie der Wuchsform = Kernwuchs und Stockausschlag unterschieden. Weitere Details zur Analyse und Modellierung der Biomasse sind in CARL et al. (2017a) beschrieben.

8.3 Ergebnisse

In der Abb. 5 sind die Ergebnisse aus der Blütenanalyse dargestellt. Auf einer achtjährigen Robinien KUP wurden 5,3 Millionen Blüten detektiert. Diese produzieren im Durchschnitt 87 kg Nektar. Von dieser Nahrungsmenge könnte ein Bienenvolk 70 kg Honig produzieren und ein Jahr, ohne Zufütterung und Honigentnahme, leben.



Abb. 13. Anzahl Robinienblüten auf einer achtjährigen Robinien KUP, sowie der sich daraus ergebende Anteil an Nektar und Honig, sowie die Anzahl an Honigbienen (CARL et al., 2017b).

Die Keimungsexperimente zeigen, dass die Keimfähigkeit in der Nullvariante 6% beträgt. Die Kalt-Warm Behandlungen zeigen zwischen 20% – 70% keimende Robiniensamen. Je stärker die Temperaturen in kurzen Zeiträumen schwanken und je mehr die Samenschale verletzt wird, desto mehr Samen keimen.

Bei der Analyse der Wurzelbrut via Drohnen-Luftbilder zeigt sich, dass die Ausbreitung mit steigender Lichtverfügbarkeit ansteigt. Der größte Anteil und die höchste durchschnittliche Ausbreitungsdistanz erreicht die Robinie, wenn die Nachbarflächen einen Wiesen oder einen Feldwegcharakter aufweisen. Geringer Ausbreitungen zeigt die Robinie in die Richtungen zu den Nachbarflächen Wald und Feld (Ackerbau).

Die Anzahl der Stockausschläge sinkt mit zunehmenden Stockausschlagalter. Ein Jahr nach der letzten Ernte wurden durchschnittlich 4,2 Stockausschläge je Stubben festgestellt. Zwei Jahre nach der letzten Ernte reduziert sich die Anzahl auf 3,6 Stöcke und drei Jahre nach der Ernte auf 2,2 Stöcke je Stubben.

Das radiale Wachstum in die Richtung zu den Stockausschlägen mit einer gemeinsamen Basiswurzel ist reduziert. Diese Reduzierung tritt verstärkter auf bei stärker dimensionierten Stockausschlägen.

Die Schlüsselerressourcen für das Wachstum der Robinie sind Wasser und Phosphor. Die Intensität der Konkurrenz zwischen Robinien um ober- und unterirdische Ressourcen ist abhängig von der Wasser- und Phosphor-Verfügbarkeit im Boden. Bei hohen Wasser- und Phosphorgehalten im Boden weisen die stärker dimensionierten Stämme einen deutlich höheren Zuwachs im Vergleich zu den schwächer dimensionierten Bäumen auf. Die Konkurrenz um Licht steigt und die stärker dimensionierten Bäume oder Stöcke profitieren. Bei geringer Wasser und Phosphor-Verfügbarkeit wachsen stärker dimensionierte Bäume langsamer bzw. symmetrischer zu den schwächer dimensionierten Bäumen (Abb. 6).

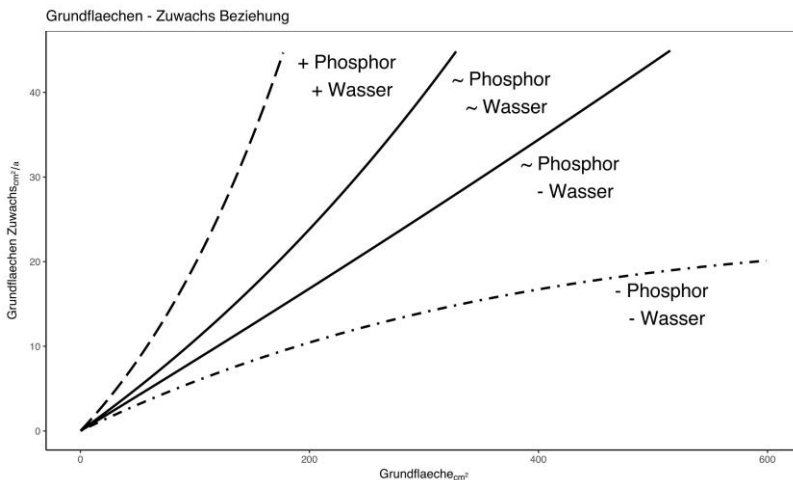


Abb. 14. Konkurrenzverhalten zwischen Robinien in Abhängigkeit zur Wasser- und Phosphor-Verfügbarkeit. (Quelle: CARL et al., 2018)

Die durchschnittliche Biomasseleistung der Robinie in KUP's beträgt 5,7 Tonnen (atro) je Hektar und Jahr. Zudem variiert die oberirdische, holzige Biomasse der Robinie signifikant zwischen Bergbaufolgefleichen und ehemaligen landwirtschaftlichen Flächen sowie Kernwuchs und Stockausschlag. Spezifische allometrische Biomassemodell sind in CARL et al. (2017a) beschrieben und unter folgenden Link <https://www.fh-erfurt.de/pub/BiomassekalkulatorRobinie/> anwendbar.

8.4 Diskussion

Die Robinie, eine nicht heimische Baumart, in KUP's steht im Fokus dieser Studie. Die Untersuchung der Blüten zeigt das Potenzial der Robinie in Bezug auf die Förderung der Biodiversität und des Nahrungsangebotes für Honigbienen (Imkerei) und viele weitere Hautflügler und Insekten. Bei der Analyse der Blüten in einer achtjährigen KUP wurden 5,3 Millionen Blüten detektiert. Die während der Blütezeit im Durchschnitt 87 kg Nektar produzieren und von Honigbienen in 70 kg Honig umgewandelt werden könnten. Verglichen mit Zahlen aus Ungarn ist diese Menge jedoch als gering einzustufen. Die maximale Honigproduktion beträgt 418 kg auf einem Hektar Robinien-Plantage (REDEI 2013). Droege beschreibt, dass die Honigproduktion von Robinien zwischen 195 bis 1.000 kg je Hektar schwanken kann. Aus den Blüten werden hartschalige Samen. Die große Anzahl an Blüten lässt eine große Menge an Samen vermuten. MARJAI (1995) und VITKOVA et al. (2017) beschreiben, dass 12.000 Samen/m² in Robinien Beständen registriert wurden. Die Keimfähigkeit dieser Samen schwankt von Jahr zu Jahr und in Abhängigkeit vom Alter der Robinie (REDEI 2013). In den Keimungsexperimenten dieser Studie wurde festgestellt, dass die Keimfähigkeit in der Nullvariante (direkt gesät und gegossen) bereits mit 6% hoch ist, in Bezug auf Spekulationen, dass die Robinie sich in Deutschland nicht über Samen vermehren könne. Die Kalt-Warm Behandlungen zeigen zwischen 20% – 70% keimende Robiniensamen. Es scheint als würden bei der Kalt-Warm Behandlung Mikrorisse in der Samenschale entstehen, durch die das Wasser eindringt und der Lichtreiz die Samen zum Keimen bringt. Das Überbrühen mit heißem Wasser erhöht weiterhin die Keimfähigkeit. Die

Temperaturunterschiede während des Überbrühens und beim Abkühlen sind noch größer als zwischen den angewendeten Kalt-Warm Behandlungen, auch hier scheinen Mikrorisse den Keimungsprozess zu ermöglichen. Die meisten Samen keimen, wenn die Samen stratifiziert werden. Das heißt, dass die Samenschale direkt verletzt und geöffnet wird. Die ansteigende Keimfähigkeit bei Stratifizierung ist auch bei VELKOV (1968) und BOGORODITSKII und SHOLOKHOV (1975) beschrieben. Des Weiteren nimmt die Ausbreitung der Robinie mit zunehmender Lichtverfügbarkeit zu. Dies ist darauf zurück zu führen, dass die Robinie eine Lichtbaumart ist und das Wachstum stark von der Lichtverfügbarkeit abhängt (XU et al. 2009). CROSTI et al. (2016) zeigten, dass die Ausbreitung der Robinie in Italien am stärksten auf verlassenem landwirtschaftlichen Flächen stattfindet, Streuobstwiesen für die Regulierung gut geeignet sind und im Wald ist die Robinie zu konkurrenzschwach (CROSTI et al. 2016). HUNTLEY (1990) und Grese (1992) beschreiben, dass die Wurzelbrutbildung in einem Alter von 4 Jahren beginnt und verstärkt auf offenen, zumeist sandigen Standorten auftritt. Problematisch ist, dass diese Flächen oft hohe Relevanz für den Naturschutz und die Erhaltung seltener Arten haben (Fischer und Stöcklin 1997). Neben der räumlichen Verdrängung und Ausdünnung verändert die Robinie die Zusammensetzung der Bodenchemie (VAN MIEGROET und COLE 1984, MONTAGNINI et al. 1991, MALCOLM et al. 2008), insbesondere als Leguminose (Fabaceae) ist die Robinie in der Lage Luftstickstoff mit Hilfe von Knöllchenbakterien zu fixieren (HOFFMANN 1961 & 1964) und im Boden anzureichern. Neben der Wurzelbrut ist die zweite vegetative Vermehrungsform der Stockausschlag. Die Anzahl der Stöcke je Stubben sinkt mit der Zunahme des Alters der Stöcke. Dieser Zusammenhang wurde bereits von ZECKEL (2007) und ERTL et al. (2008) für Robinien im Wald beschrieben. ZECKEL (2007) zählte 13 Stöcke und ERTL et al. (2008) sieben Stöcke ein Jahr nach der letzten Ernte. Beide (ZECKEL 2007, ERTL et al. 2008) beschreiben sechs Stöcke je Stubben bei zwei Jahre alten Stöcken und vier bei drei jährigen Stöcken. In der analysierten KUP sind es im Durchschnitt 4,2 im ersten Jahr, 3,6 im zweiten Jahr und 2,2 im dritten Jahr. Diese Differenz zwischen den Stockausschlägen der Robinien im Wald und in einer KUP könnte mit der Anzahl an Pflanzen pro Flächeneinheit in Zusammenhang stehen, die auf den entsprechenden Flächen begründet und somit geerntet wurden. Die meisten der untersuchten KUP's wurden mit 8.000 – 10.000 Pflanzen begründet und im Wald stocken zumeist 2.000 – 3.000 Robinien Pflanzen (LANDGRAF 2013). Die Abnahme der Stockausschläge je Stubben steht auch in Zusammenhang mit der intraspezifischen Konkurrenz und der Ressourcenallokation der Basiswurzel. Diese Studie zeigt, dass das relative radiale Wachstum zu den Stockausschlägen mit der gemeinsamen Basiswurzel reduziert ist. Diese relative Reduktion ist bei stärker dimensionierten Stockausschlägen stärker als bei schwächer dimensionierten Stockausschlägen. Diese Wachstumsreduzierung kann zwei Ursachen haben. Zum einen wird ein Schutzmechanismus vermutet, um ein Zusammenwachsen der Stöcke zu vermeiden und zum anderen ist die Krone in die Richtung zum „Geschwisterstockausschlag“ geringer ausgebildet und die Allokation in den gegenüberliegenden Bereichen ist in Folge dessen reduziert. In diesem Bereich gilt es, weitere Forschungsanstrengungen zu unternehmen, um das Wissen zu erweitern.

Die Verfügbarkeit von Wasser und Phosphor im Boden beeinflussen das Wachstum und das Konkurrenzverhalten um ober- und unterirdische Ressourcen der Robinie am stärksten. Die starke Abhängigkeit der Robinie von der Phosphor-Verfügbarkeit basiert mit hoher Wahrscheinlichkeit darauf, dass die Knöllchenbakterien von Leguminosen viel Energie und Phosphor benötigen um Luftstickstoff zu fixieren (OLIVERA et al. 2004, HERNANDEZ et al. 2009, ROTARU and SINCLAIR 2009, CABEZA et al. 2014). Dieses Ergebnis stellt eine wichtige Erkenntnis dar, um die Biomasseproduktion und das Konkurrenzverhalten zwischen einzelnen Robinien in unterschiedlichen Anbausystemen besser einschätzen zu können.

Aus all diesen bereits beschriebenen Erkenntnissen und der Untersuchung von ca. 10.000 Robinien zeigt sich weiterhin, dass die oberirdische, holzige Biomasse der Robinie signifikant zwischen Bergbaufolgefleichen und ehemaligen landwirtschaftlichen Flächen sowie

zwischen Kernwuchs und Stockausschlag variiert. Diese Studie und die dazugehörigen veröffentlichten Publikationen (CARL et al. 2017a, 2017b, 2018) geben ein Überblick über die Robinie in KUP's und können die Basis für weitere Forschungsanstrengungen sein.

8.5 Zusammenfassung

Diese Studie gibt einen Überblick über die Themengebiete Vermehrung, Konkurrenz und Biomasse der Robinie in Kurzumtriebsplantagen. Die Robinie blüht sehr intensiv und dient unter anderem als Nahrungsquelle für Honigbienen. Die Samen sind hartschalig und die Keimfähigkeit steigt mit der Zunahme der Verletzung der Samenschale. Die Ausbreitung der Wurzelbrut steigt, wenn die Lichtverfügbarkeit zunimmt und keine Bodenbearbeitung (Ackern) auf der angrenzenden Nachbarfläche erfolgt. Die Anzahl der Stockausschläge nimmt mit zunehmenden Stockalter ab und das radiale Wachstum ist in die Richtung zu den Stockausschlägen mit gemeinsamer Basiswurzel reduziert. Die Intensität des intraspezifische Konkurrenzverhalten ist primär von der Verfügbarkeit von Wasser und Phosphor abhängig. Zudem variiert die Biomasseproduktion der Robinie in Abhängigkeit vom Standort (Bergbaufolge, ehemalige landwirtschaftliche Flächen) und dem Wuchs (Kernwuchs, Stockausschlag). Der Anbau der Robinie weist sowohl Potentiale als auch Risiken auf. Diese Studie ist ein Teilbeitrag für die Beurteilung der Robinie in KUP's.

Danksagung

Die Erstellung dieser Publikation wurde durch die Finanzierung der Fachhochschule Erfurt ermöglicht, welcher wir an dieser Stelle danken möchten. Zudem geht ein herzlicher Dank an die Technische Universität München, welche dieses Thema im Rahmen einer Promotion ermöglichte. Des Weiteren danken wir der Energy Crops GmbH, der Schradenholz UG sowie der Brandenburgisch Technischen Universität Cottbus-Senftenberg und der Technischen Universität Dresden für die konstruktive Zusammenarbeit. Für die tatkräftige Unterstützung bei den Feldarbeiten danken wir Constantin Faatz, Jan Zimmermanns und Jan R. K. Lehmann.

Quellen

BOGORODITSKII, I. I.; SHOLOKHOV, L. V. (1975).: (German: Feuchtigkeitsregime von Robinia pseudoacacia Samen, vorbereitet für die Saat durch Vakuum-Wasser-Sättigungsmethode und durch Brühen in kochendem Wasser). Tr. Novocherkas. Inzh.-Melior. Inta 16.3, 115–118 (Original Russian).

CABEZA, R.A., LIESE, R., LINGNER, A., VON STIEGLITZ, I., NEUMANN, J., SALINAS-RIESTER, G., POMMERENKE, C., DITTERT, K., SCHULZE, J. (2014).: RNA-seq transcriptome profiling reveals that Medicago truncatula nodules acclimate N₂ fixation before emerging P deficiency reaches the nodules. J. Exp. Bot. 65, 6035–6048.

CARL, C., BIBER, P., LANDGRAF, D., BURAS, A., PRETZSCH, H. (2017a).: Allometric Models to Predict Aboveground Woody Biomass of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Short Rotation Coppice in Previous Mining and Agricultural Areas in Germany. Forests, 8(9), 328.

CARL, C., LANDGRAF, D., VAN DER MAATEN-THEUNISSEN, M., BIBER, P., PRETZSCH, H. (2017b).: *Robinia pseudoacacia* L. Flower Analyzed by Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Remote Sens. 9(11), 1091.

CARL, C., BIBER, P., VESTE, M., LANDGRAF, D., PRETZSCH, H. (2018).: Key drivers of competition and growth partitioning among *Robinia pseudoacacia* L. trees. For. Ecol. Manag. 430, 86-93.

CROSTI, R.; AGRILLO, E.; CICCARESE, L.; GUARINO, R.; PARIS, P.; TESTI, A. (2016).: Assessing escapes from short rotation plantations of the invasive tree species *Robinia pseudoacacia* L. in Mediterranean ecosystems: a study in central Italy. IFOREST e1–e8.

DIN EN 350:2016-12: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Prüfung und Klassifizierung der Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten gegen biologischen Angriff, Beuth Verlag.

DÜNISCH, O.; KOCH, G.; DREINER, K. (2007).: Verunsicherung über die Eigenschaften von Robinienholz. Holz-Zentralblatt 39, 1061–1062.

DÜNISCH, O.; RICHTER, H.-G.; KOCH, G. (2010).: Wood properties of juvenile and mature heartwood in *Robinia pseudoacacia* L. Wood Sci. Technol. 44 (2), 301–313.

GRESE, R. (1992).: The landscape architect and problem exotic plants. In: Burley, J. B., ed. Proceedings, American Society of Landscape Architects' open committee on reclamation:reclamation diversity; 1991 October 29; San Diego, CA. [Washington, DC]: [American Society of Landscape Architects]: 7-15. On file with: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory, Missoula, MT.

HERNANDEZ, G., VALDES-LOPEZN, M., RAMIREZ, M., GOFFARD, N., WEILLER, G. (2009).: Global changes in the transcript and metabolic profiles during symbiotic nitrogen fixation in phosphorus-stressed common bean plants. Plant Physiol. 151, 1221–1238.

HOFFMANN, G. (1961): Die Stickstoffbindung der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.). Archiv f. Forstwesen 10, 627–632.

HOFFMANN, G. (1964): Effektivität und Wirtsspezifität der Knöllchenbakterien von *Robinia pseudoacacia* L. Archiv f. Forstwesen 13, 563–574.

HUNTLEY, J. C. (1990): *Robinia pseudoacacia* L. In: Burns, R. M., Honkala, B. H. (Coord.): Silvics of North America, Vol. 2, Hardwoods., USDA, For. Serv., Agric. Handbook 654, Washington DC, pp. 755–761.

KOCH, G.; DÜNISCH, O. (2008): Juvenile wood in Robinie - Qualität von Robinienholz (*Robinia pseudoacacia* L.) und Folgerungen für Holzbearbeitung und Produktqualität: Abschlussbericht für das DGfH/AIF-Forschungsvorhaben, Fraunhofer IRB Verl., Stuttgart.

LATORRACA, J. V. F., DÜNISCH, O.; KOCH, G. (2011): Chemical composition and natural durability of juvenile and mature heartwood of *Robinia pseudoacacia* L. Anais da Academia Brasileira de Ciências 83 (3), 1059–1068.

ERNYEY, J. (1927): Die Wanderwege der Robinie und ihre Ansiedlung in Ungarn. Magy. Botan. Lapok, 25, 161–191.

ERTLE, C.; BÖCKER, L.; LANDGRAF, D. (2008): Wuchspotenzial von Stockausschlägen der Robinie. AFZ-DerWald 63, 994–995.

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2017): European Commission under the Sixth Framework Programme through the DAISIE Project. Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe—Species Factsheet *Robinia Pseudoacacia*. Available online: <http://www.europealiens.org/speciesFactsheet.do?speciesId=11942> (accessed on 29 June 2017).

FISCHER, M.; STÖCKLIN, J. (1997): Local extinctions of plants in remnants of extensively used calcareous grasslands 1950–1985. Conserv. Biol. 11, 727–737.

KERESZTESI, B.; BALLA, I. (1988): The black locust, Akadémiai Kiadó: Budapest, ISBN 963-054-696-5.

LANDGRAF, D. (2013): Etablierung von Kurzumtriebsplantagen. In: Energieholzplantagen in der Landwirtschaft. Bemann, A.; Butler Manning, D. Hannover: Agrimedia, ISBN. 978-3-86263-081-3.

MALCOLM, G.M.; BUSH, D.S.; RICE, S.K. (2008): Soil nitrogen conditions approach preinvasion levels following restoration of nitrogen-fixing black locust (*Robinia pseudoacacia*) stands in a Pine-oak ecosystem. Restor. Ecol. 16, 70–78. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00263.x>.

MARJAI, Z., (1995): Az akác-magbank. Erdészeti Lapok 130, 311–313.

MONTAGNINI, F.; HAINES, B.; SWANK, W.T. (1991).: Soil-solution chemistry in black locust, pine mixed-hardwoods and oak hickory forest stands in the Southern Appalachians, USA. *For. Ecol. Manage.* 40, 199–208.

OLIVERA, M., TEJERA, N., IRIBARNE, C., OCANA, A., LLUCH, C. (2004).: Growth, nitrogen fixation and ammonium assimilation in common bean (*Phaseolus vulgaris*): effect of phosphorus. *Physiol. Plant.* 121 (3), 498–505.

PRETZSCH, H., BIBER, P. (2010).: Size-symmetric versus size-asymmetric competition and growth partitioning among trees in forest stands along an ecological gradient in central Europe. *Can. J. For. Res.* 40 (2), 370–384.

RÉDEI, K. (2013).: Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) growing in Hungary. Hungarian Forest Research Institute: Sarvar, Hungary.

ROLOFF, A.; WEISGERBER, H.; LANG, U.; STIMM, B. (2010).: Bäume Nordamerikas—Von Alligator-Wachholder bis Zuckerahorn. Alle Charakteristischen Arten im Porträt; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, Germany, ISBN 978-3-527-32825-3.

ROTARU, V., SINCLAIR, T.R. (2009).: Interactive influence of phosphorus and iron on nitrogen fixation by soybean. *Environ. Exp. Bot.* 66, 94–99.

SCHNEIDER, C.A.; RASBAND, W.S.; ELICEIRI, K.W. (2012).: NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat. Methods* 9, 671–675.

SCHINDELIN, J.; ARGANDA-CARRERAS, I.; FRISE, E. (2012).: Fiji: An open-source platform for biological-image analysis. *Nat. Methods* 9, 676–682.

VADAS, E. (1914).: Das Lehrrevier und der botanische Garten der königl. ung. forstl. Hochschule als Versuchsfeld. Banská Stiavnica.

VELKOV, D. (1968).: Influence of high temperatures on the water regime and viability of black locust (*Robinia pseudoacacia*L.) seeds. Proceedings of the Intern. Symposium on Seed Physiology of Woody Plants at Kornik, Panstwowe, Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, Poznan 111–119.

VÍTKOVÁ, M.; MÜLLEROVÁ, J.; SÁDLO, J.; PERGL, J.; PYŠEK, P. (2017).: Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe. *For. Ecol. Manag.* 384, 287–302.

VAN MIEGROET, H.; COLE, D.W. (1984).: The impact of nitrification on soil acidification and cation leaching in a red alder ecosystem. *J. Environ. Qual.* 13, 586–590.

WEINER, J., THOMAS, S.C. (1986).: Size variability and competition in plant monocultures. *Oikos* 211–222.

WEINER, J. (1990).: Asymmetric competition in plant populations. *Trends Ecol. Evol.* 5 (11), 360–364.

XU, F.; GUO, W.; WANG, R.; XU, W.; DU, N.; WANG, Y. (2009): Leaf movement and photosynthetic plasticity of black locust (*Robinia pseudoacacia*) alleviate stress under different light and water conditions. *Acta Physiol Plant* 31(3), 553–563.

ZECKEL, C. (2007): Betrachtung des Ertragspotenzials von Stockausschlägen der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) von verschiedenen Waldstandorten geogenen und anthropogenen Ausgangssubstrates in der Niederlausitz unter Berücksichtigung ihrer energetischen Nutzung. Thesis Diplomarbeit Brandenburgische Technische Universität Cottbus, 38–39.

9 Aspekte der Sortenprüfung bei Pappeln mit unterschiedlichen Produktionszielen

Martin Hofmann, Christoph Stiehm, Steffen Fehrenz, Christina Fey

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

Abstract. Im Rahmen des Verbundvorhabens FastWOOD wurden an der Abteilung Waldgenressourcen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt leistungs- und resistenzorientierte Neuzüchtungen von Pappel- und Weidenhybriden durchgeführt. Die genetische Basis des für den Anbau auf Kurzumtriebsplantagen zur Verfügung stehenden Vermehrungsguts wurde deutlich erweitert. Unter den Züchtungsergebnissen befindet sich eine Reihe von Klonen, die über den reinen Kurzumtrieb hinaus auch für längere Produktionszeiträume geeignet erscheinen. Unterschiedliche Produktionszeiträume und damit unterschiedliche Produktionsziele erfordern teilweise abweichende Merkmalskombinationen, die in eigens dafür angelegten Versuchsserien geprüft werden. Es ist davon auszugehen, dass aus diesen Sortenprüfungen weitere Klone hervorgehen, die auch für längere Umtriebszeiten empfohlen werden können.

Keywords: Pappel, Stammholz, Sortenprüfung, Neuzüchtungen

9.1 Einleitung

Gemäß den Bestimmungen über Forstliches Vermehrungsgut (FoVG) darf bei den Pappeln nur Pflanzmaterial in Verkehr gebracht werden, das eine Sortenprüfung nach festgelegten Kriterien durchlaufen hat. Neben dem wissenschaftlichen Interesse an den Ergebnissen von Züchtungsbemühungen steht deshalb bei der Sortenprüfung von Pappeln immer auch die „Zulassung nach FoVG“ mit im Fokus. Neben Pappelsorten mit unbeschränkter Zulassung, existieren inzwischen auch solche, deren Zulassung mit dem Zusatz „nur für Kurzumtrieb“ versehen ist. Daraus kann allerdings nicht abgeleitet werden, dass diese Sorten etwa für längere Umtriebszeiten weniger gut geeignet seien. Diese Einschränkung ist zunächst einmal einer relativ kurzen Prüfdauer geschuldet, in der wesentliche Merkmale wie Stammform oder Astigkeit noch nicht ausreichend beurteilt werden konnten. Andererseits ist es offensichtlich, dass unterschiedliche Produktionszeiträume und damit unterschiedliche Produktionsziele abweichende Merkmalskombinationen erfordern können.

Nach einer längeren Phase ohne Pappelneuzüchtungen in Deutschland wurden im Verbundvorhaben FastWOOD wieder leistungs- und resistenzorientierte Neuzüchtungen von Pappel- und Weidenhybriden durchgeführt. Im Rahmen des Vorhabens wurde die genetische Basis des für den Anbau auf Kurzumtriebsplantagen zur Verfügung stehenden Vermehrungsguts deutlich erweitert. Die Abteilung Genressourcen der NW-FVA war mit der Koordination des Gesamtvorhabens betraut und bearbeitete ein Teilvorhaben mit dem Ziel, für die Erzeugung von Biomasse im Kurzumtrieb geeignete Schwarz- und Balsampappeln- sowie Weiden-Sorten zu züchten. Vielversprechende Neuzüchtungen sollen auch auf ihre Eignung zur Stammholzerzeugung in längeren Umtriebszeiten geprüft werden.

Neben konventionellen Ansätzen und bereits vorliegenden Erfahrungen wurden neue Methoden erprobt und genutzt. Zur Erzeugung geeigneter Sorten wurden inter- und intraspezifische Kreuzungen unter Erweiterung der Elternbasis fortgeführt. Dies war möglich, weil die unterschiedlichen Pappelarten über eine außerordentlich große morphologische, physiologische und ökologische Amplitude verfügen. Ein besonders hohes genetisches Potenzial – vor allem bei Arten mit großen Verbreitungsgebieten – in Verbindung mit der meist leichten generativen Vermehrbarkeit prädestiniert die Pappeln für eine züchterische Bearbeitung (WEISGERBER, 2000).

Mit diesen Zusammenhängen befasst sich die forstliche Forschung in Hann. Münden seit 1962. Zunächst standen hier Sorten- und Züchtungsfragen bei Pappeln und anderen schnell wachsenden Baumarten im Mittelpunkt des Interesses. Später wurde auch die Anbautechnik für den Kurzumtrieb näher untersucht. Bereits 1976 wurde im Wesertal ein erstes Versuchsfeld mit Pappeln im Kurzumtrieb, das Haferfeld, angelegt. Das Haferfeld ist ein Sortenvergleich, in dem Kreuzungsnachkommenschaften unterschiedlichster Herkunft und einige Selektionen auf ihre Anbaueignung für den Kurzumtrieb untersucht wurden. Es wird bis heute im zwei- bis dreijährigen Ernteturnus bewirtschaftet und gibt wichtige Hinweise für die potenzielle Standdauer von Pappelplantagen.

Von Hann. Münden gingen in den folgenden Jahrzehnten wichtige Impulse für den Anbau schnellwachsender Baumarten insbesondere von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb aus. Dabei lag der Schwerpunkt auf der Frage, welche Sorten für einen wirtschaftlichen Anbau unter den hiesigen Standorts- und Klimabedingungen in Frage kommen und wie die Sortenbasis erweitert werden kann.

Insbesondere die von Natur aus nur in Asien und Nordamerika verbreiteten Balsampappeln haben sich als besonders geeignet erwiesen für den Anbau auch auf grundwasserfernen Lagen. Auch im mesotrophen Standortsbereich und auf wechselfeuchten Böden können hohe Zuwachseleistungen erbracht werden. Für den Kurzumtrieb waren bisher inter- und intrasektionelle Kombinationen aus den Arten *P. trichocarpa*, *P. maximowiczii*, *P. koreana*, *P. nigra* und *P. deltoides* erfolgreich (vgl. JANBEN et al., 2015). Dabei unterscheiden sich die anbauwürdigen Sorten dieser Sektionen durchaus in ihren Ansprüchen an Klima und Boden.

Durch die vegetative Vermehrung leistungsfähiger Sorten über Steckhölzer, Steckkruten oder Setzstangen entstehen genetisch einheitliche Bestände, in denen der Züchtungsfortschritt in vollem Umfang nutzbar wird. In der Sortenwahl liegt deshalb der Schlüssel für wuchsfreudige und gesunde Plantagen und damit für den Erfolg des Pappelanbaus. Ertragsleistung und Ertragssicherheit stehen dabei an vorderster Stelle. Sofern längere Produktionszeiträume angestrebt werden, kommen Qualitätsmerkmale hinzu, wie Astigkeit, Stammform, Holzfarbe und möglicherweise auch bestimmte Holzeigenschaften.

9.2 Biotische Schäden

Mit Veränderungen des Klimas gehen Veränderungen der ökologischen Bedingungen für das Baumwachstum einher. Hierdurch rücken Aspekte der Krankheitsresistenz bzw. -toleranz immer stärker in den Vordergrund. Auch hier kann teilweise nach dem Produktionsziel differenziert werden.

Pappeln werden von einer Vielzahl von Blatt- und Rindenkrankheiten befallen oder von Insekten geschädigt. Einige dieser biotischen Schadfaktoren sind von erheblicher wirtschaftlicher Relevanz. Daher fordert der "Sachverständigenbeirat für Geprüftes Vermehrungsgut" als Grundlage für seine Zulassungsempfehlungen bei Pappelklonen

regelmäßig Informationen und Ergebnisse zum Gesundheitszustand der Klone ein. Die Erreichung einer dauerhaften Resistenz gegenüber dem Erreger des Pappelblattrostes *Melampsora larici-populina*, bedeutet für die Pappelzüchtung in Mitteleuropa eine besondere Herausforderung, da dieser Pilz schon junge Pappelpflanzen befallen und neben Wachstumseinbußen auch schwere Schäden bis hin zum Absterben der Pflanzen verursachen kann. Über viele Jahre haben sich die Züchter in Europa und Nordamerika nahezu ausschließlich auf interspezifische Hybriden mit mono- oder digener qualitativer Resistenz gestützt, die von *P. deltoides* vererbt wird (DOWKIW und BASTIEN, 2007). Konsequenter, hoher Selektionsdruck, wahrscheinliche Mutationen und genetische Rekombinationen in den Pathogen-Populationen haben zu dem Auftreten neuer virulenter Pathotypen geführt. Keiner der *P. × interamericana*-Hybridklone, vor allem von *P. deltoides* × *P. trichocarpa*, blieb länger als fünf Jahre nach der Zulassung zum Handel frei von Rostbefall (PINON und FREY, 2005). Bei Umtriebszeiten über 10 Jahren und dem Produktionsziel „Stammholz“ gewinnt die Resistenz gegenüber dem Erreger des Pappelkrebses *Xanthomonas populi* an Bedeutung. Diese Bakterienkrankheit tritt unter natürlichen Infektionsbedingungen etwa ab dem Alter 15 auf und verursacht bei den Pappeln Ast- und Stammnekrosen. Diese Schäden führen zu Zuwachsverlusten und holztechnologischer Entwertung und können anfällige Klone zum Absterben bringen. Durch Schwächung der Pflanzen durch den Pappelblattrost kann es jedoch als Sekundärbefall schon in früheren Jahren zu Infektionen mit dem Pappelkrebs kommen.

9.3 Pappelzüchtung innerhalb und zwischen den Sektionen *Aigeiros* (Schwarzpappel) und *Tacamahaca* (Balsampappel) mit dem Ziel der Zulassung neuer Sorten

Im Rahmen von FastWOOD sind insgesamt rund 513 Kreuzungskombinationen durchgeführt worden. Das Programm fokussierte sich dabei auf die Sektionen *Aigeiros* und *Tacamahaca* und innerhalb dieser vor allem auf die Arten *Populus trichocarpa*, *P. maximowiczii*, *P. deltoides* und *P. nigra*. Die aus diesen Kreuzungen erzeugten Nachkommenschaften wurden in mehreren Schritten auf ihre Eignung zum Anbau in KUP selektiert. Selektionskriterien waren hauptsächlich die Wuchsleistung, die Toleranzeigenschaften gegenüber dem Hauptschaderreger, dem Pappelblattrost *Melampsora larici-populina*, die Wiederausschlagfähigkeit, Dichtstandstoleranz und Vitalität. Dabei wurde anfangs auf Individuen zurückgegriffen, bei denen es sich um Altklone oder Nachkommen aus vergangenen Züchtungsprogrammen, wie z. B. die des Forschungsinstitutes für schnellwachsende Baumarten (kurz: FSB), handelt. Anschließend wurde zusätzlich Material aus freier Abblüte von vorausgewählten oder bereits bewährten Elternbäumen gewonnen. Die Väter konnten bei einem Großteil der Nachkommen durch genetische Elternschaftsanalysen ermittelt werden.

Darüber hinaus wurden Klone als Nachkommen gelenkter Kreuzungen erzeugt. Als Eltern wurden hier wiederum Individuen verwendet, die sich hinsichtlich der Zuchtziele bereits bewährt haben. Auch konnte Pollen von ausländischen Arten und Klonen beschafft werden, welcher für gezielte Kreuzungen im Kreuzungsprogramm genutzt wurde. Die Kreuzungen wurden inter- und intrasektionell sowie inter- und intraspezifisch durchgeführt. Geographisch gesehen wurden hierbei Europa, Asien und Nordamerika abgedeckt. Abbildung 1 gibt sowohl

einen Überblick über die zur Kreuzung verwendeten Arten als auch über die durchgeführten Kreuzungen.

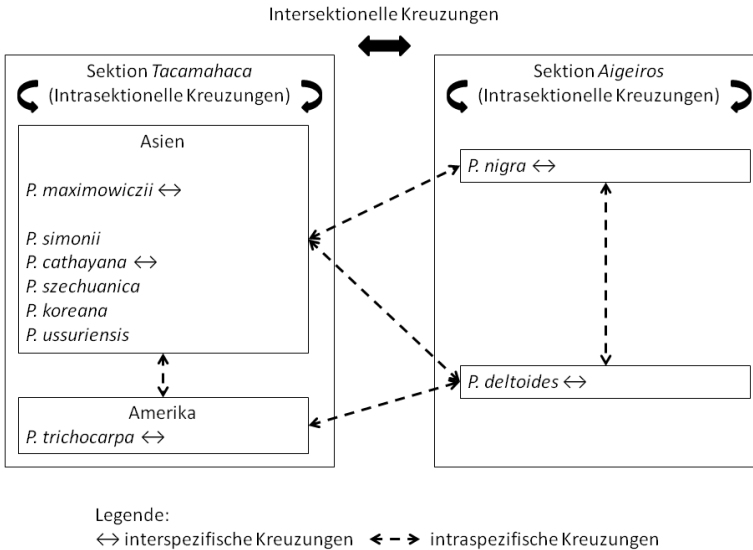


Abb 1: Überblick über die zur Kreuzung verwendeten Arten und die durchgeführten Kreuzungen

Die Nachkommen aus gelenkten Kreuzungen sind nach der Selektion und den Vorprüfungen in unterschiedliche Versuchsserien aufgegangen. In jeder Serie stellen Nachkommen aus der interspezifischen Kreuzung von *P. maximowiczii* × *P. trichocarpa* den größten Anteil an der Gesamtprüflichzahl dar. Noch zu erwähnen sind größere Anzahlen von artreinen *P. trichocarpa* Klonen und von *P. trichocarpa* × *P. maximowiczii* Kreuzungen. In allen Serien wurden bewährte Sorten, als Referenzprüflieder und zum Teil als Kontrollgruppe für die schließende Statistik mit angebaut. Bei GROTEHUSMANN et al. (2017, 2015) findet sich ein Überblick über die Auswertung der Versuche sowie die Prüfung der einzelnen Klone. Als Kontrollgruppe wurden in den Auswertungen von GROTEHUSMANN et al. (2017) stets 'Hybride 275' und 'Max 1' verwendet.

Während der dritten Projektphase von FastWOOD wurden weitere ca. 60 Kreuzungen durchgeführt, darunter auch intraspezifische Kreuzungen mit *P. trichocarpa* und *P. cathayana*. Aus bislang völlig neuen Kreuzungsversuchen mit *P. simonii* und *P. szechuanica* sind 28 Sämlinge entstanden. Auch interspezifische Kreuzungen erfolgten wieder, aus denen 15 Sämlinge entstanden. Erfolgreich konnten die Kombinationen *P. nigra* × *P. cathayana*, *P. deltoides* × *P. cathayana*, *P. deltoides* × *P. maximowiczii* und *P. szechuanica* × *P. nigra* gekreuzt werden. In der Vorprüfung zeigte sich rasch die Überlegenheit der interspezifischen

Kreuzung zwischen *P. szechuanica* und *P. cathayana*, aus der ein Nachkomme als bester Klon aus den Kreuzungen 2015 hervorging (Klon NW17-0671C). Überdies zeichnet sich dieser Klon durch hohe Wuchsleistung, Geradschaftigkeit und Rosttoleranz aus.



Abb 2: „Trimax“ Klon NW15-0326N, gekennzeichnet durch sehr geraden, wipfelschäftigen Wuchs mit einem stabilen Trieb.

Eine weitere vielversprechende Artkombination stellt die zu den "Matrix"-Hybriden (*P. maximowiczii* × *P. trichocarpa*) reziproke Kreuzungskombination "Trimax" (*P. trichocarpa* × *P. maximowiczii*) dar. In den Versuchsserien konnten zehn erfolgreiche "Trimax"-Kreuzungen aus den Kreuzungsjahren 2010 und 2011 ausgebracht werden. Bei diesen Prüfgliedern zeigen sich überlegene Eigenschaften besonders hinsichtlich Wipfelschäftigkeit, Geradschaftigkeit und Triebstabilität (s. Abb. 2).

Die genannten Eigenschaften prädestinieren diese Genotypen für den Anbau in längeren Umtriebszeiten mit dem Ziel einer stofflichen Verwertung. Es bleiben die Ergebnisse weiterer Versuchsserien in Midi- und Maxirotation abzuwarten. Die Anfälligkeit hinsichtlich Pathogenbefall ist bei diesen Klonen ebenfalls noch weiter zu evaluieren. Bislang kann sehr gutes Anwuchsverhalten kombiniert mit einem homogenen windstabilen Aufwuchs konstatiert werden.

9.4 Prüfung von Klonen in längeren Umtriebszeiten

9.4.1 Versuchsfläche Midirotation

Im April 2016 wurde in der Nähe von Hann. Münden eine Versuchsfläche im Midirotationszyklus angelegt. Geplant ist eine fünf- bis siebenjährige Umtriebszeit. Da sich Baumweiden ebenso wie Pappeln für längere Rotationsperioden eignen, wurden die neu gezüchteten Pappelklone 'Fastwood 1' und 'Fastwood 2' für die Anlage ausgewählt. Ergänzt wurde die Auswahl durch vier Baumweiden Altsorten (*S. alba*), die Baumweiden-Sorten 'Drago' und 'Levante' (beide *S. matsudana* × *S. spec.*) sowie vier im Projekt gezüchtete *Salix alba* Klone (alle Klon-Nummern beginnend mit NW13 und entsprechender Artangabe) und eine *S. malisii* × *S. alba* Hybride. Als Referenz dienen die Pappelklone 'Skado', 'Bakan' und

'Matrix 49'. Diese Fläche wurde im üblichen Steckholzpflanzverfahren mit 20 cm langen Steckhölzern händisch abgesteckt.

Der belgische Klon 'Bakan' wurde hierbei zum ersten Mal in einen Feldversuch mit aufgenommen. Er erwies sich als überaus wüchsig und vital. Sowohl hinsichtlich Höhen- als auch Durchmesserwachstum zeigt sich 'Bakan' allen anderen Prüfliedern überlegen. 'Fastwood 1' und 'Fastwood 2' schneiden ebenfalls bei Höhe und BHD überdurchschnittlich ab. Die Astigkeit kann unter verschiedenen Aspekten beurteilt werden. Sie kann eine höhere Lichtinterzeption der Klone bewirken und so ursächlich für besseres Wachstum sein und kann andererseits zu höherem Feinanteil im Hackgut führen, was eine geringere Brennstoffqualität impliziert. Beim Anbau in längeren Umtriebszeiten bleibt die Astigkeit nie ohne Auswirkungen auf die Holzqualität und ist dann gesondert zu beurteilen.

9.4.2 Versuchsfläche Maxirotation

Mit dem Ziel, 16 Pappel- und 4 Baumweidenklone in 20-jähriger Umtriebszeit auf ihre Anbaueignung zu prüfen, wurde im Mai 2014 erstmalig eine Maxirotation-Versuchsfläche „Seeburger See“ in Südniedersachsen angelegt.

Insgesamt 18 Klone und pro Klon 144 Steckruten wurden im Verband 4 x 2 m gesteckt. Bei vierfacher Wiederholung ergaben sich 72 Parzellen mit jeweils 36 Pflanzen. Die Pflanzenzahl beträgt somit pro Hektar 1.250 Ruten. Eine Einzelparzelle setzt sich aus sechs Reihen mit jeweils sechs Pflanzen zusammen. Die Fläche in Seeburg wurde im Gegensatz zu den bisher in FastWOOD verwendeten 20 cm Steckhölzern erstmalig mit Steckruten begründet. Diese wurden bis zu 150 cm in die Erde gepflanzt und nach der Pflanzung oberirdisch bei 1 m gekürzt (s. Abbildung 3).



Abb. 3: Baggerpflanzung mittels Locheisenvorstecher bis 150cm Tiefe, anschließendes Einsetzen der Setzrute und verfüllen des Pflanzloches.

Nach Abschluss der Vegetationsperiode wurde die Fläche planmäßig gemessen. Die höchsten Höhen der einjährigen Aufwüchse wurden von *Salix alba*, Klon „5_76“ mit 3,42m und dem Pappelklon 'Matrix 11' mit 3,21m erreicht. Die Pflanzenausfälle betragen nur 1%.

Der weite Pflanzverband ermöglichte eine sehr einfache, mechanische Bodenbearbeitung, durch mehrmaliges Grubbern längs und quer zu den Reihen mit einem Baumschulschlepper. Bereits im ersten Standjahr sind die Versuchspflanzen durch ihren Höhenzuwachs aus der Zone der Begleitvegetation heraus gewachsen und die Pflege der Fläche beschränkt sich im Folgejahr der Anlage auf ein einmaliges Mulchen, um die Begehrbarkeit für die Versuchsflächenaufnahme und die Beikrautregulierung wegen Samenflug auf landwirtschaftliche Nachbarflächen zu sichern. Im dritten Standjahr war keine weitere Pflege mehr erforderlich.

Ebenso wie auf der Midirotationsfläche wurden in Seeburg die Zuwachparameter erhoben. Die Klone 'Hybride 275' und 'Trichobel' schneiden überdurchschnittlich ab, während sich für die anderen Klone bisher keine deutliche Staffelung ergibt. Hinsichtlich des Dickenwachstums liegen vier Klone an der Spitze, 'Matrix 11', NW07-0208E (beide PMT) sowie die beiden reinen *P. trichocarpa* Klone 'Trichobel' und 'Weser 4'. Das Dickenwachstum der Weiden-Prüfglieder war insgesamt unterdurchschnittlich.

Nach der vierten Vegetationsperiode sind die Zuwächse in Seeburg als sehr gut zu beurteilen, was darin begründet sein dürfte, dass es sich um einen sehr guten Ackerstandort mit hoher nutzbarer Feldkapazität (nFK) und optimaler Nährstoffausstattung handelt. Hinzu kommt ein relativ weiter Pflanzverband von 4 x 2 m wodurch den Einzelbäumen ausreichend Straundraum zur Verfügung steht. Durch die zusätzlich tiefe Pflanzung konnten alle Klone von Anfang an ihr maximales Potenzial entfalten. Lediglich der Baumweidenklon NW12-0464B hatte einen schlechteren Start durch teilweise zu geringe Rutendurchmesser des Pflanzmaterials. Er zeichnet sich aber durch einen hervorragenden, geradschaftigen Wuchs, ähnlich dem Pappelklon 'Trichobel' und 'Robusta' aus. Der wüchsigste Klon NW07-0208E hat eine durchschnittliche Durchmesserzunahme von 3 cm pro Jahr in 1,3 m Höhe. Geht man von einer linearen Entwicklung aus, könnten bereits nach 10 Jahren Stärkeklassen im Bereich 25 cm bis 29 cm erzielt werden, die beispielsweise für die Palettenherstellung interessant wären.

Der Bestand in Seeburg wurde im zweiten Standjahr durch ein Sommergewitter (26.07.) schwer geschädigt. Die Sturmchadensbonitur ergab ein nach Klonen differenziertes Bild. Klone mit schmalkronigem Habitus und eher kleinen Blättern wiesen die geringsten Schäden auf. Leider gehörten diese nur in wenigen Fällen zu den wüchsigen Sorten. Die reinen *P. trichocarpa* – Klone und die Baumweidenklone bogen sich eher um, als das sie abbrachen, dies aber teilweise schon vom Boden aus. Dies betrifft die Pappelaltklone NW07-0605C 'Muhle-Larsen', NW07-0622X 'Androskoggin', NW07-0728Z 'Hybride 275', NW07-0735G 'Weser 4' und NW07-0786T 'Trichobel'.

Bei den Pappeln erwies sich der Balsampappelklon 'Trichobel' als besonders windtolerant und schnitt hier am besten ab. Dieser Klon blieb gerad- und wipfelschäftig, selbst am windexponierten Waldrand zeigt er noch gerade Wuchs. Zwei der vier Silberweidenklone zeigten starke Biegeschäden. Die Hybridpappeln brachen vorwiegend bei ca. 2 m Höhe ab. Am stärksten betroffen war hier der Klon NW09-0226B 'Fastwood2' und 'Matrix 49'.

Die Bruchsschäden hatten sich nach zwei bis drei Jahren bereits sehr gut ausgewachsen. Geplant ist mit dem ersten Durchforstungseingriff im Alter 10 Jahre die selektive Entnahme der schlechtformigen Aufwüchse, um so den Zuwachs auf die geradschaftigen

Bestandesglieder zu lenken. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Extremwetterereignisse müssen die Beobachtungen zur Sturmfestigkeit der Prüfglieder ebenso wichtig eingeschätzt werden wie Trockenereignisse im Hinblick auf Zuwachseinbußen, Stammentwertungen und Vitalität.

9.5 Ausblick

Die Ergebnisse aus den Versuchen mit längeren Umtriebszeiten müssen zunächst noch im engen Zusammenhang mit den vorherrschenden Versuchsbedingungen, wie Standort, Pflanztechnik und Standraum interpretiert werden. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse auf weitere Bewirtschaftungsvarianten in Kurzumtriebsplantagen ist bislang nur eingeschränkt möglich.

Derzeit wird eine abschließende Versuchsserie mit den neuesten im Projekt Fastwood entstandenen Klonen vorbereitet. Das Konzept sieht die Pflanzung im Weitverband für eine zwanzigjährige Umtriebszeit vor. Die Flächenanlage soll mit bewurzelter Material erfolgen. In die Sortenvergleichsprüfung werden ausschließlich Klone aufgenommen, die sich in den Vorversuchen für längere Umtriebszeiten geeignet zeigten. Es ist davon auszugehen, dass weitere neue Klone auch für längere Umtriebszeiten empfohlen werden können.

Quellen

- GROTEHUSMANN, H., JANBEN, A., HAIKALI, A., HARTMANN, K.-U., HÜLLER, W., KAROPKA, M., SCHILDBACH, M., SCHIRMER, R., SCHUPPELIUS, T., TÖPFNER, K., 2015. Pappelsortenprüfungen im Projekt FastWOOD. Forstarchiv 67–79. <https://doi.org/10.4432/0300-4112-86-67>
- GROTEHUSMANN, H., STIEHM, C., JANBEN, A., HARTMANN, K.-U., LIST, J., KAROPKA, M., MOOS, M., SCHILDBACH, M., SCHIRMER, R., 2017. Pappelsortenprüfungen im Projekt FastWOOD – Ergebnisse nach 2. Rotation. Forstarchiv 47–54. <https://doi.org/10.4432/0300-4112-88-47>
- WEISGERBER, H., 2000. Monoklonkulturen und Formenvielfalt bei Pappeln – Über das Phänomen der Tolerierung vermeidbarer Anbaursiken. Holzzucht 53, 1–4.
- JANBEN, A., FEY-WAGNER, C., 2015. Verbundvorhaben „FastWOOD“, in: Liesebach, M. (Ed.), FastWOOD II: Züchtung Schnellwachsender Baumarten Für Die Produktion Nachwachsender Rohstoffe Im Kurzumtrieb – Erkenntnisse Aus 6 Jahren FastWOOD, Thünen Report. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, pp. 9–14.
- PINON, J., FREY, P., 2005. Interactions between poplar clones and *Melampsora* populations and their implications for breeding for durable resistance, in: Pei, M.H., McCracken, A.R. (Eds.), Rust Diseases of Willow and Poplar. CABI, Wallingford, Oxfordshire, UK ; Cambridge, MA, USA, pp. 139–154.
- DOWKIW, A., BASTIEN, C., 2007. Presence of defeated qualitative resistance genes frequently has major impact on quantitative resistance to *Melampsora larici-populina* leaf rust in *P. × interamericana* hybrid poplars. Tree Genet. Genomes 3, 261–274. <https://doi.org/10.1007/s11295-006-0062-0>

10 Geflügelhaltung und Energieholz als Agroforst-System: Erfahrungen aus 10 Jahren

Göran Spangenberg¹, Sebastian Hein¹ und Joachim Schneider²

¹ Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, Schadenweilerhof, 72108 Rottenburg, Deutschland

² Hofgut Martinsberg, Riegelwiese 6, 72108 Rottenburg, Deutschland

Abstract. Das nachfolgend beschriebene Praxisbeispiel einer 7,1 ha großen Agroforstfläche zeigt, dass der kombinierte Anbau von Gehölzen mit der Legehennenhaltung auf einer Fläche vielfältige positive Wechselwirkungen bietet. Konzipiert und angelegt wurde die vom Bioland-Betrieb Hofgut Martinsberg bei Rottenburg bewirtschaftete Fläche in enger Kooperation mit der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg.

Damit die Legehennen die gesamte Auslauffläche nutzen, wurde mithilfe von schnellwachsenden und im Kurzumtrieb bewirtschafteten Baumarten ein strukturreicher Auslauf geschaffen. Neben der Legehennenhaltung ist dadurch auch die Produktion von Energieholz möglich. Als Baumarten wurden verschiedene Sorten aus den Gattungen der Pappeln und Weiden gewählt.

Die Rahmenbedingungen für die Anlage der Gehölzstreifen waren sehr anspruchsvoll: Herbizidverzicht und häufig flachgründige Böden mit einem z.T. hohen Tonanteil. Auf der Agroforstfläche wurden deshalb verschiedene Verfahren zur herbizidfreien Begründung untersucht.

Keywords: Agroforst, Auslauf, Weide, Pappel, Legehennen, Wechselwirkungen, Energieholz, Praxisbeispiel

10.1 Hintergründe und Ziele

In den letzten Jahren finden verstärkt Diskussionen über die negativen Auswirkungen statt, die mit der in weiten Teilen Europas überwiegenden intensiven Form der Nahrungsmittelproduktion verbunden sind (z.B. zu den Themenfeldern artgerechte Tierhaltung, Biodiversität / Insektensterben, Nachhaltigkeit). Agroforstsysteme kombinieren den Anbau von Bäumen und Sträuchern mit landwirtschaftlichen Nutzungen auf einer Fläche und können bei geeigneter Anlage durch ihre positiven Wechselwirkungen Beiträge u.a. für eine Ressourcen schützende und tiergerechte Landwirtschaft liefern und das Landschaftsbild aufwerten (GRÜNEWALD, REEG, 2009; UNSELD et al., 2011). Für das hier vorgestellte Praxisbeispiel stellen diese Erwartungen wichtige Leitlinien dar.

Durch die Änderung der EG-Öko-Verordnung war für den Bioland-Betrieb Hofgut Martinsberg bei Rottenburg eine Umstellung der Stall- auf Freilandhaltung nötig. Aufgrund von Übergangsbestimmungen gab es für den Betrieb eine Frist bis 2014. Herr Schneider, der Betriebsleiter des Hofguts, wollte dabei nicht nur geltende EU- und Bioland-Vorschriften erfüllen, die beispielsweise einen Freilandauslauf von mindestens 4 m² pro Henne verlangen (BMEL, 2019). Zusätzlich sollten weitere Ziele erreicht werden:

- die Schaffung optimal tierartgerechter Haltungsbedingungen und
- keine Übernutzung stallnaher Bereiche, wie bei der herkömmlichen Freilandhaltung häufig festzustellen ist (DETER, 2017; ELBE, 2006), sondern Nutzung des gesamten Auslaufs durch die Hühner mit regelmäßigen Erholungszeiten für den Boden.

Das sollte sich positiv auf die Tiere, den Boden und die Hygiene auswirken und dazu beitragen, dass sich die Stickstoffzufuhr aus dem Hühnerkot besser auf der Fläche verteilt (DETER, 2017; KRATZ et al., 2004).

Das Konzept, mit dem diese Ziele umgesetzt werden sollten, besteht aus zwei sich ergänzenden Bestandteilen (Abb. 1): Eine Komponente bilden mobile Hühnerställe. In einem rotierenden System können diese mehrfach im Jahr ihren Standort wechseln und dadurch sowohl dem Boden als auch der Vegetation die Möglichkeit zum Regenerieren geben.



Abb. 1. Gehölzstreifen und Mobilställe schaffen die Voraussetzungen für eine tierartgerechte und bodenschonende Hühnerhaltung. (Foto Spangenberg)

Die patentierten Mobilställe wurden von Herrn Joachim Schneider und seinen Mitarbeitern entwickelt und gefertigt. In ihnen verbringen die Tiere die Nacht, legen Eier und werden zusätzlich zum Grünauslauf gefüttert. Die Stallinneneinrichtungen sind ausgestattet mit einer mehretagigen Voliere, Scharräumen und Legenestern, Eiersammelbändern und Kotbändern. Durch die Zerlegbarkeit in drei Teilmodule sind die Ställe auch über öffentliche Straßen fahrbar und leicht zu reinigen.

Den Hühnern wird damit aber noch kein Anreiz gegeben, auch die weiter vom Stall entfernten Auslaufbereiche zu nutzen. Eine zweite Komponente des Konzeptes sollte deshalb für die dafür notwendige Deckung und Auslaufstruktur sorgen. Das Bankivahuhn, von dem das Haushuhn abstammt, bevorzugt in seiner Heimat in Südostasien halboffene, strukturreiche Landschaften

wie z.B. Waldrandbereiche. Frühere Ansätze und Vorschläge für eine natürlichere und artgerechte Auslaufgestaltung - z.B. eine Kombination aus Hühnerzucht und Forstwirtschaft, entwickelt vom dänischen Gutsbesitzer Ulrik (REDAKTION NEUE FORSTLICHE BLÄTTER, 1902) - passten scheinbar nicht zu den landwirtschaftlichen Intensivmethoden und gerieten in den letzten Jahrzehnten mehr und mehr in Vergessenheit.

Zunächst testete Herr Schneider Mais und Sonnenblumen als Struktur und Deckung gebende Auslauf-Elemente. Dies stellte sich jedoch als Misserfolg heraus, da nicht nur eine jährliche Einsaat nötig ist, sondern die Tiere die Pflanzen zerstörten. In den Fokus der Überlegungen kamen jetzt Gehölze. Gemeinsam mit der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg wurden verschiedene Varianten angedacht. Bei diesen Überlegungen halfen die praktischen Erfahrungen der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg von anderen herbizidfrei begründeten Kurzumtriebsplantagen (SPANGENBERG, HEIN, 2011).

10.2 Flächenkonzeption

Anfang 2009 wurde das Konzept für die Gehölzstreifen vom Fachbereich Waldbau erarbeitet. Eine gut durchdachte und an die Besonderheiten des Standortes angepasste Planung ist entscheidend, da Fehler bei der Anlage nur mit erheblichen Kosten und Zeitverzug zu korrigieren sind. Im Frühjahr 2009 erfolgten die ersten Pflanzungen. Die Hochschule Rottenburg hat die Umsetzung nicht nur wissenschaftlich betreut, sondern half auch bei der Flächenanlage mit.

Die 7,1 ha große Fläche wurde gleichmäßig in 18 ca. 0,4 ha große rechteckige Parzellen aufgeteilt. An den zwei Längsseiten jeder Parzelle und an einzelnen Querseiten wurden Energieholzstreifen angelegt. Zwischen diesen Baumstreifen wurde ausreichend Platz für die mobilen Hühnerställe eingeplant. Jeder der sechs mobilen Hühnerställe ist für 1.000 – 1.230 Tiere konzipiert und kann ohne großen Aufwand zwischen drei benachbarten Parzellen verschoben werden.

Als Baumarten wurden zunächst verschiedene Sorten aus der Gattung der Weiden verwendet, da aufgrund der Wuchsform keine Gefahr von Ansitzmöglichkeiten für den Habicht bestand. Nach erfolgreichen Vorversuchen mit Pappeln wurden diese in den letzten Jahren wegen der Standortverhältnisse bevorzugt gepflanzt. Sowohl Weiden als auch Pappeln haben bereits in den ersten Jahren ein schnelles Wachstum, die Pflanzung ist mit vergleichsweise preisgünstigen Steckhölzern möglich und sie gelten in Deutschland aus rechtlicher Sicht als geeignete Baumarten für Kurzumtriebsplantagen (BMJV, 2019), sodass eine landwirtschaftliche Nutzung vorliegt und die Gesamtfläche später problemlos wieder als Ackerland genutzt werden kann.

Die Bäume werden alle vier bis sechs Jahre geerntet und treiben anschließend erneut aus. Mit einer einmaligen Pflanzung kann das System über 20 bis 30 Jahre genutzt werden, ohne dass die Gehölze zu groß werden. Dadurch bieten die Bäume keine Ansitzmöglichkeiten für Greifvögel, da insbesondere der Habicht durch die Nähe zum Wald im Gebiet häufig vorkommt.

10.3 Bisherige Erfahrungen

Mit den schnellwachsenden Baumarten gelang es bereits nach zwei Vegetationsperioden eine naturnahe Umgebung und ausreichend Deckungsschutz zu schaffen. Dadurch nutzen die Tiere die gesamte Auslauffläche, flüchten beim Erscheinen großer Greifvögel unter die Bäume und halten sich gerne in deren Schatten auf (Abb. 2). Von den Festen verursachte Schäden wurden bisher nur in minimalem Umfang an recht kleinen Bäumen festgestellt.



Abb. 2. Die Legehennen nutzen durch die Gehölzstreifen die gesamte Auslaufläche. (Foto Spangenberg)

Außerdem werden vorrangig in der Vegetationszeit von den Pappeln und Weiden noch weitere Funktionen erfüllt:

- Sicht- und Windschutz,
- Erzeugung nachwachsender Rohstoffe,
- Aufnahme von Stickstoff aus dem Hühnerkot,
- ansprechende Integration der Gesamtfläche in das Landschaftsbild des FFH-Gebietes.

Die Gehölze sollen einen möglichst großen Teil der von den Tieren ausgeschiedenen Nährstoffe in Form von Energieholz binden. Erste Untersuchungen an Weiden zur Stickstoffaufnahme der Bäume aus dem Boden sind recht vielversprechend: Je nach Standort und Aufenthaltsdauer der Ställe auf der Teilfläche hätten durch eine Ernte im Winter 2016 zwischen 26 % und 51 % des von den Hühnern im Auslauf ausgeschiedenen Stickstoffes dem System entzogen werden können (NIES, 2016). Dabei wurden die bis zum Stichtag 31.01.2016 tatsächlichen Mobilstall-Belegungen je Parzelle und die ermittelten Biomassezuwächse und Stickstoffgehalte im Holz zu Grunde gelegt. Diese Stickstoff-Entzüge sind nur eine erste Orientierung, da sich das Agroforst-System weiterentwickelt und sich dadurch die Rahmenbedingungen ändern: Zusätzliche Bäume wurden gepflanzt, der Zuwachs hat sich aufgrund des Alters der Gehölze geändert und die Legehennen waren in den ersten beiden Jahren nach Anlage der Gehölze noch nicht auf der Fläche. Die Frage, ob die stickstoffreiche „Hühnerdüngung“ zu einer Zuwachssteigerung der Weiden und Pappeln führt, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht beantwortet werden. Einerseits fehlt dazu eine Nullfläche. Andererseits

wurden bei Untersuchungen auf Kurzumtriebsplantagen unterschiedliche Wirkungen einer Stickstoff-Düngung auf das Baumwachstum festgestellt (BALASUS, 2014).

Bei der Konzeption und Umsetzung gab es auch Schwierigkeiten zu meistern. Zunächst galt es in bestimmten genehmigungsrechtlichen Fragen Rechtssicherheit zu bekommen. Außerdem wurde das System optimiert und weiter an die schwierigen Bodenverhältnisse mit einem z.T. hohen Tonanteil und stellenweise flach anstehendem Grundgestein angepasst. Insbesondere im Anlagejahr bestand ein Ausfallrisiko infolge von Trockenheit. Außerdem war der auf herkömmlichen Kurzumtriebsplantagen im Zuge der Pflanzung übliche Herbizid-Einsatz zur Regulierung der Konkurrenzvegetation nicht möglich.

Diese standortsbedingten hohen Ausfallrisiken im Begründungsjahr wurden mithilfe von Mulchfolie gelöst. Die Folie unterdrückt nicht nur die hindernde Begleitflora im Nahbereich der Steckhölzer, sondern hält den Boden durch den Evaporationsschutz feucht und krümelig (Forschungsgemeinschaft biologisch abbaubare Werkstoffe, 2008). Als nachteilig erwies sich allerdings das später notwendige, sehr aufwändige Entfernen der zunächst eingesetzten PE-Folie. Deshalb wurden verschiedene biologisch abbaubare Mulchfolien getestet. Da jedoch im Unterschied zu einjährigen Kulturen keine spätere Einarbeitung der Folie in den Boden möglich ist, kam es zu deutlichen Verzögerungen beim Abbau der Folien. In mehreren Jahren durchgeführte Pflanzungen ohne Folie, dafür aber mit mechanischer Pflege, führten oft zu erheblichen Ausfällen.

Seit drei Jahren werden die Bäume geerntet. Damit genügend Deckung bleibt, können immer nur Teilbereiche geerntet werden. Ein Teil der daraus erzeugten Hackschnitzel wurde als Einstreu in unmittelbarer Umgebung der Mobilställe verwendet, ein anderer Teil als Energieholz verkauft. Die Erlöse für die Hackschnitzel waren bisher sehr gering im Vergleich zu den Kosten für die Gehölzstreifen. Die durch die Anlage und Bewirtschaftung der Bäume entstehenden Mehrkosten sind für Herrn Schneider aber zweitrangig. Im Vordergrund stehen die vielfältigen Vorteile der naturnahen Freilandhaltung, für die die Gehölzstreifen unverzichtbar sind.

10.4 Fazit

Gehölze bilden auf der beschriebenen Agroforstfläche die wesentliche Komponente zur Schaffung tierartgerechter Auslaufstrukturen. Zusammen mit den Mobilställen schaffen die Pappeln und Weiden die Voraussetzung, dass die Hühner die gesamte Auslauffläche nutzen und dem Boden regelmäßige Erholungszeiten gegeben werden. Die Haltungsbedingungen für die Tiere wurden deutlich verbessert. Das Agroforstsystem erfüllt die Erwartungen. Der Landwirt ist mit dieser Form der Legehennen-Haltung und über die Kooperation mit der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, die die Umsetzung der Gehölzstreifen bei diesem Projekt erst richtig ermöglicht hat, sehr zufrieden. Die Kosten der auf diese Art mit Mobilställen produzierten Eier sind höher als bei einem größenmäßig vergleichbaren Feststall nach Bio-Richtlinien. Die Wirtschaftlichkeit ist trotzdem gegeben, da die Eier mit einem Mehrwert erzeugt werden und dieser auch am Markt gut wieder abgebildet werden kann.

Quellen

BALASUS, A. (2014): Umwelt- und Ertragswirkungen der Stickstoffdüngung beim Anbau von Weiden und Pappeln auf Ackerflächen unter Berücksichtigung phytopathologischer Aspekte. Dissertation, Universität Dresden, 126 S.

BMEL (2019): Durchführungsverordnung (EG) Nr. 889/2008 in der Version vom 12.02.2019 mit Durchführungsvorschriften zur EG-Öko-Basisverordnung (EG) Nr. 834/2007, https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/OekologischerLandbau/889_2008_EG_Durchfuhrungsbestimmungen.pdf?__blob=publicationFile.

BMJV (2019): Direktzahlungen-Durchführungsverordnung, Anlage 1 zu §§ 3 und 30 Absatz 1, Version vom 12.02.2019, https://www.gesetze-im-internet.de/direktzahldurchfv/anlage_1.html.

DETER, A. (2017): Böden in Hühnerausläufen überdüngt. Bericht über Forschungsprojekt von Prof. Jürgen Heß (Universität Kassel/Witzenhausen) in top agrar online,

<https://www.topagrar.com/management-und-politik/news/boeden-in-huehnerauslaeuften-ueberduengt-9572885.html>.

ELBE, U. (2006): Freilandhaltung von Legehennen unter besonderer Berücksichtigung der Auslaufnutzung, des Stickstoff- und Phosphoreintrags in den Boden und des Nitratreintrags in das Grundwasser. Dissertation, Universität Göttingen, Sierke Verlag, Göttingen, 212 S.

FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT BIOLOGISCH ABBAUBARE WERKSTOFFE E.V.; STAATLICHE FORSCHUNGSANSTALT FÜR GARTENBAU WEIHENSTEPHAN (Hrsg.) (2008): Biologisch abbaubare Mulchfolien aus nachwachsenden Rohstoffen. Hannover, Freising, 59 S.

GRÜNEWALD, H.; REEG, T. (2009): Überblick über den Stand der Forschung zu Agroforstsystemen in Deutschland. In: Reeg, T.; Bemann, A.; Konold, W.; Murach, D.; Spiecker, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. WILEY-VCH Verlag, Weinheim, S. 233-239.

KRATZ, S.; ROGASIK, J.; SCHNUG, E. (2004): Changes in Soil Nitrogen and Phosphorus under Different Broiler Production Systems. In: Journal of Environment Quality Vol. 33, S. 1662-1674.

NIES, J. (2016): Holzmasseerträge und erntebedingt möglicher Stickstoffentzug in einem Agroforstsystem. Bachelorarbeit, HFR Rottenburg.

REDAKTION NEUE FORSTLICHE BLÄTTER (1902): Nachrichten. Neue forstliche Blätter Nr. 22, S. 175.

SPANGENBERG, G.; HEIN, S. (2011): Herbizidfreie Begründung von Kurzumtriebsflächen. AFZ-DERWALD NR. 10, S. 18-20.

UNSELD, R., REPPIN, N., ECKSTEIN, K., ZEHLIUS-ECKERT, W., HOFFMANN, H., HUBER, T. (2011): Leitfaden Agroforstsysteme – Möglichkeiten zur naturschutzgerechten Etablierung von Agroforstsystemen. München, 44 S.

Posterbeiträge

11 Umbruchfreie Begründung von KUP auf Moorböden

Frank Burger

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising

E-Mail: Frank.Burger@lwf.bayern.de

Im Jahr 2013 legte die LWF auf dem ehemaligen Moorversuchsgut Karolinenfeld der Staatlichen Versuchsgüterverwaltung Grub Kurzumtriebsplantagen auf Grünland an. Wichtigstes Ziel des Vorhabens war es, verschiedene Varianten für einen umbruchfreien Anbau von KUP auf den ehemaligen Weideflächen zu testen. Darüber hinaus sollten produktive Kurzumtriebsplantagen begründet werden, um die Versorgung der Versuchsgüterverwaltung mit Energiehackschnitzeln für die Zukunft zu sichern.

Die Auswertung der erhobenen Daten zeigt, dass die Begründung von KUP auf Grünland ohne jegliche Maßnahmen wie Bodenbearbeitung und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zum Scheitern verurteilt ist. Der Einsatz einer kompostierbaren Folie zur Ausschaltung der konkurrierenden Begleitvegetation sichert dagegen bei sorgfältiger Anwendung den Kulturerfolg. Auch das streifenweise Fräsen der Pflanzbahnen wirkt sich positiv auf das Anwachsen der Stecklinge aus und garantiert in Kombination mit einer mechanischen Begleitwuchsregulierung im selben Jahr das Überleben der Kultur. Allerdings war die klassisch begründete Kurzumtriebsplantage mit vorherigem Pflügen, Eggen und einem maßvollen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sowohl in der Anwuchsrate der Stecklinge als auch beim Höhenwachstum den beiden recht kostenintensiven Varianten Folie und Fräsen deutlich überlegen.

Im Rahmen eines Tastversuchs wurden als Alternativen zu Folie und streifenweisem Fräsen das Abstecken von einjährigen Setzruten und zweijährigen Pappel-Setzstangen ausprobiert sowie Grau- und Schwarzerle gepflanzt. Die Begründung wird dadurch wesentlich kostenintensiver als bei der klassischen KUP, da die einjährigen Setzruten etwa das Fünffache von Stecklingen kosten und damit im Rahmen von bewurzelten Pflanzen liegen. Die alternativen Pflanzsortimente wuchsen auf den gut wasserversorgten Böden sehr gut an und waren gegenüber der Begleitvegetation wesentlich widerstandsfähiger als eine Stecklingskultur. Grau- und Schwarzerlen haben darüber hinaus ökologische Vorteile auf diesem aus Naturschutz-Sicht wertvollen Standort.

12 Durchgewachsene KUP garantiert wirtschaftlichen Verlust

Alina Kratofil, Karoline Schwandt und Dirk Landgraf

Fachhochschule Erfurt, Leipziger Straße 77, 99085 Erfurt, Deutschland

Keywords: schnellwachsende Baumarten, KUP, Pappel

Die Grundlagen zur Bewirtschaftung einer Kurzumtriebsplantage (KUP), das Ernteverfahren, der dadurch bedingte Pflanzverband und die Erntezyklen sind eigentlich jedem Praktiker bekannt. Trotzdem existieren in Deutschland KUP-Flächen, die nicht rotationsgemäß bewirtschaftet werden. Wie gestaltet sich die Wirtschaftlichkeit einer durchgewachsenen KUP, die nicht im vorgesehenen 3-jährigen Zyklus geerntet wird?

Diese Frage wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit im Studiengang Forstwirtschaft und Ökosystemmanagement an der FH Erfurt anhand einer KUP in Kirchheim (Hessen) untersucht. Die Fläche befindet sich in der Nähe von Kirchheim im Landkreis Hersfeld-Rotenburg in Hessen. Sie liegt an einem südlich exponierten Hang auf einer Höhe von 360 m ü.NN. Sie ist charakterisiert durch eine mittlere Jahresdurchschnittstemperatur von 7,4°C und einen durchschnittlichen Jahresniederschlag von 640 mm (RONSDORF, 2012). Im Frühjahr 2011 wurden auf drei Teilflächen die Pappelsorten Max und Androscoggin mit einer Gesamtgröße von 25 ha etabliert. Die Konzeption sah eine Nutzung in der Mini-Rotation (dreijähriger Umtrieb) vor, jedoch erfolgte bis heute (April 2018) keine Ernte. Damit ist sie vier Jahre über die erste Rotation hinausgewachsen und hätte bereits zweimal geerntet werden können.

Die errechnete Biomasse beträgt für Androscoggin und Max $46 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1}$, für Max am Oberhang $52 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1}$ und für den Unterhang $90 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1}$. Bezogen auf ihre Biomasseleistung liegen alle drei Flächen dicht beieinander. Damit ähnelt der berechnete DGZ Ergebnissen von BIERTÜMPFEL UND HERING (2017) aus Thüringen. Diese Versuche zeigen zudem eine Steigerung der Biomasseleistung in den Folgerotationen von $15 - 20 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (BEMMANN et al., 2010). Auch Versuche mit Pappeln im dreijährigen Umtrieb in Sachsen zeigen immer eine Verdoppelung des Zuwachses von der ersten zur zweiten Rotation (DIETZSCH, 2011). Für die untersuchte KUP in Hessen hätte demnach ebenfalls mit einer deutlichen Steigerung der Biomasseleistung gerechnet werden können. Zudem kann der verlorene Mehrzuwachs nach der ersten Ernte durch den um vier Jahre verschobenen Umtrieb nicht mehr aufgeholt werden (VOIGT UND LANDGRAF, 2016).

Die Gegenüberstellung der Standdauer der Bäume ergibt bei der Einhaltung der vorgesehenen Rotationsdauer einen Deckungsbeitrag von insgesamt $42 \text{ € t}_{\text{atro}}^{-1}$, nach zweimaliger Ernte mit Feldhäcksler. Die Ernte zum jetzigen Zeitpunkt, nach siebenjähriger Standdauer und dem Einsatz eines Fäller-Bündlers, erwirtschaftet ein Ergebnis von $8 \text{ € t}_{\text{atro}}^{-1}$. Deutliche Unterschiede sind auch bei der aktuell gemessenen Biomasse von $55 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1}$ und einem DGZ von $7 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im Gegensatz zu simulierten $65 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1}$ Biomasse und $21 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Zuwachs, summiert für zwei Umtriebe, zu verzeichnen. Durch die Erhöhung der Biomasse im zweiten Umtrieb steigt der Deckungsbeitrag der regulären Variante, trotz sinkender Hackschnitzelpreise. Da beim „Durchwachsen“ keine Erhöhung der Triebzahl und der damit verbundene Zuwachsanstieg

erfolgt, können die weiter gesunkenen Hackguterlöse nicht durch die längere Standdauer ausgeglichen werden. Der Vergleich stellt die konzeptkonforme Ernte bei der Mini-Rotation als deutlich bessere Variante im Gegensatz zum „Durchwachsen“ dar. Die Handlungsweise führte zum Verlust des Mehrzuwachses an Biomasse während der zweiten Rotation und zum Einsatz eines Ernteverfahrens mit geringerem Deckungsbeitrag.

Bereits bei der Anlage der KUP wird durch den Pflanzabstand, den daraus resultierenden Pflanzanzahlen und dem festgelegten Ernteintervall die Erntetechnik bestimmt. Welche Auswirkungen das Ignorieren der angedachten Rotationszeit hat, wird bei der untersuchten KUP deutlich. Die verpassten Ernten führen durch Konkurrenzdruck und dem Ausbleiben von Stockausschlägen zu Verlusten bei der Ertragsleistung. Zusätzlich kann durch die zu großen Wurzelhalsdurchmesser nicht mehr mit dem ursprünglichen Ernteverfahren gearbeitet werden. Dadurch kommt es zu Einbußen beim Deckungsbeitrag, die das „Durchwachsen“ einer KUP im Gegensatz zur Durchführung des regulären Konzeptes als wirtschaftlich ungünstige Variante herausstellen.

Quellen

BIERTÜMPFEL, A. UND T. HERING (2017). Energieholzanbau in Thüringen – Erträge und Praxiserfahrungen. In: Landgraf, D. (Hrsg.) Tagungsband. 1. Erfurter Tagung. Schnellwachsende Baumarten - Etablierung, Management und Verwertung. Vom 16.11. - 17.11.2017. Erfurt.

RONSDORF, S. (2012). Auswirkungen eines Hanges auf den Zuwachs der Pappelorte „Androsoggin“ in einem einjährigen und zweijährigen Bestand im Kurzumtrieb. Diplomarbeit. Fachhochschule Erfurt.

BEMMANN, A. (HRSG.) (2010). AGROWOOD. Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Berlin: Weissensee-Verl. (Ökologie).

DIETZSCH, A. (2011). Nutzung kontaminierter Böden. Anbau von Energiepflanzen für die nachhaltige ressourcenschonende und klimaverträgliche Rohstoffabsicherung zur Erzeugung von Strom, Wärme und synthetischen Biokraftstoffen der zweiten Generation. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Dresden.

VOIGT, K. UND LANDGRAF, D. (2016): Durchgewachsene KUP - und nun? AFZ - Der Wald 16/2016, 25 - 27

13 Ergebnisse aus den Agroforstsystem Dornburg

C. Rudolf, A. Biertümpfel, T. Graf

Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR), Apoldaer Str. 4
07774 Dornburg/Camburg

E-Mail: carolin.rudolf@tlllr.thueringen.de

Keywords: Agroforst, Kurzumtriebsplantage, Erträge Ackerkultur, Zuwachsrate Pappel, Ernte

Die Integration von streifenförmigen Kurzumtriebsplantagen in Ackerflächen als produktiver Wind- und Erosionsschutz bietet insbesondere für Mitteleuropa eine Möglichkeit, die Qualität der hochproduktiven Ackerstandorte für die Zukunft zu erhalten und den vorhergesagten Auswirkungen des Klimawandels zu begegnen.

Deshalb wurde in Dornburg im Rahmen eines Pilot- und Demonstrationsvorhabens des Freistaats Thüringen im Frühjahr 2007 auf einer Fläche von ca. 51 ha ein Agroforstsystem mit sieben Energieholzstreifen angelegt. Diese bestehen hauptsächlich aus Pappeln Klon ‚Max 1, 3, 4‘ und nehmen etwa 10 % der Fläche ein. Ein Teil der Streifen ist mit 10.000 Bäumen/ha für einen 4-jährigen Umtrieb, ein weiterer mit 2.222 Bäume/ha für einen bei 8-jährigem Umtrieb konzipiert.

Während der bisherigen Laufzeit wurden auf der gesamten Ackerfläche sowie in definierten Teilbereichen in unterschiedlichen Abständen (1, 4, 7, 24 m) vom Energieholzstreifen die Erträge und Qualitäten der jeweiligen Ackerkultur erfasst und bewertet. Auf der Ackerfläche erfolgt die Bewirtschaftung mit der Fruchtfolge Sommergerste, Sommergerste, Winterraps, Winterweizen. Begleitend dazu wird eine Referenzfläche, angrenzend an das Agroforstsystem, mit gleicher Fruchtfolge bewirtschaftet und betrachtet.

Die Kornträge der Sommergerste fielen im Nahbereich der Gehölzstreifen geringer aus. Möglicherweise ist dieser Effekt auf Licht- und Wasserkonkurrenz durch die Gehölze zurückzuführen. Die Ernteparzellen 4 m und 7 m zeigten die höchsten Erträge. In der Mitte des Ackerstreifens, bei 24 m, gingen die Erträge wieder zurück. Als Ursache könnten Unterschiede im Boden in Frage kommen. Möglich wäre auch eine nachlassende Windschutzwirkung der Gehölzstreifen.

Die Rapsträge fielen im Nahbereich der Gehölzstreifen ebenfalls geringer aus, wobei dieser Effekt auf die Licht- und Wasserkonkurrenz durch die Gehölze zurückzuführen ist. Des Weiteren war ein Durchwuchs von Unkräutern und starkes Lager im Nahbereich der Gehölzstreifen zu beobachten, was sich ebenfalls negativ auf die Ertragshöhe ausgewirkt haben dürfte. Die Erträge stiegen mit zunehmender Entfernung zu den Baumstreifen an. Bei 24 m waren die Erträge also am höchsten. Die Erntedaten, welche mit dem Parzellenmähdrescher ermittelt wurden, zeigen auf der Referenzfläche die höchsten Erträge.

Im Winterweizen konnten bei 7 m Entfernung zum Baumstreifen die höchsten Erträge festgestellt werden.

Gleichzeitig erfolgen kontinuierliche Messungen der jährlichen Zuwachsraten der Pappeln, die bisher im kurzen Umtrieb drei-, im mittleren Umtrieb einmal zur Ernte kamen. Auf Grund der sehr trockenen Witterung 2018, waren 2018 nur sehr geringe Zuwachsraten im Vergleich zu den Vorjahren bei den Pappeln festzustellen.

Auf dem Poster werden ausgewählte Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen vorgestellt.

14 Dendromass4Europe: Developing Bark-based, Eco-fungicidal Packaging Materials

Javane Oktaee¹, Daniela Einer¹, Bernhard Torger², Martina Bremer²,
Steffen Fischer², André Wagenführ¹

¹Technische Universität Dresden, Institut für Naturstofftechnik, Lehrstuhl für Holztechnik und Faserwerkstofftechnik, Marschnerstr. 39, 01307 Dresden, Deutschland

²Technische Universität Dresden, Institut für Pflanzen- und Holzchemie, Piener Str.19, 01737 Tharandt, Deutschland

E-Mail: javane.oktaee@tu-dresden.de

Keywords: Short-rotation plantation, Bark, Poplar, Fiber molding, Eco-fungicides

The project “Dendromass4Europe” (2017 – 2022) aims at establishing sustainable, Short Rotation Coppice (SRC)-based, regional cropping systems for woody biomass, production on marginal agricultural land. The primary goal of both institutes in this project is to detect and extract potential antifungal substances in the bark of poplar hybrids from SRCs and eventually establishing a treatment method to apply these fungicidal substances to fiber molded packaging material. The final bio-based fungicidal product should prevent the growth of molds on packaging material for at least six months. To achieve this two approaches were considered; either to add bark, straight to the structure of the fiber-molded parts or to apply the isolated substances to finished products.

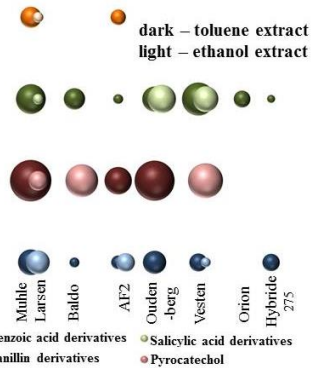
To add the bark straight to the structure of the packaging material, the content of extractable fibers in the bark of different hybrids were measured with macroscopic methods (samples at breast height, min. 10 trees). The results were as presented in the following chart.

In the second method fungicidal substances in the bark of various poplar clones were identified, using the soxhlet extraction with solvents of different polarities (hexane, toluene, ethanol, acetone, water), followed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results are shown in the following graph.

Left: Bark structure

Right: Chemical substances in the bark

Clone	Outer bark thickness [mm]	Inner bark thickness [mm]	Bast fibre in inner bark [%]
Max 1	0.10 ± 0.02	1.31 ± 0.23	13.47 ± 2.44
Muhle Larsen	0.10 ± 0.02	1.33 ± 0.18	13.30 ± 2.66
Fritzi Pauley	0.32 ± 0.42	3.96 ± 0.45	10.61 ± 1.66
Hybride 275	0.11 ± 0.09	1.36 ± 0.14	13.88 ± 2.65
Oudenberg	0.15 ± 0.02	1.32 ± 0.12	16.31 ± 1.34



Primary results showed the presence of the antifungal substances in the bark of SRC poplars and feasibility of extraction and combination of bark fibers to the packaging material. In the second phase of the research, establishment of a method for applying these fungicidal substances to packaging material is under investigation.

15 Reaktionen von Pappel-Klonen auf Trockenheit und Frost – Grundlage für Verwendungsempfehlungen und weiterführende Züchtungsmaßnahmen

Heino Wolf¹, Kai-Uwe Hartmann¹, Marek Schildbach¹

¹ Staatsbetrieb Sachsenforst, Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft, Referat Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung, Bonnewitzer Str. 34, 01796 Pirna, Deutschland

Keywords: Hybridpappel-Klone, Aspe, Trockenheit, Frost, Widerstandsfähigkeit

Für eine erfolgreiche Verwendung von Pappeln zur Erzeugung nachwachsender Rohstoffe unter sich ändernden Klimabedingungen sind letztendlich zwei Aspekte entscheidend: die Leistungsfähigkeit des Vermehrungsgutes und seine Betriebssicherheit. Die Betriebssicherheit lässt sich u. a. durch Prüfung von Klonen und Nachkommenschaften auf ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber Trockenheit und Frost verbessern.

Von Oktober 2008 bis August 2018 förderte das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. das Verbundvorhaben FastWood. In drei Projektphasen konnte bei Sachsenforst ein Set von Methoden aus Feldversuchen, Gewächshaus- und Laboruntersuchungen etabliert werden, mit dessen Hilfe ca. 70 Hybridpappel-Klone in Hinsicht auf ihre Reaktionen auf Trockenheit, in eingeschränktem Umfang auch auf Frost untersucht werden konnten.

Die untersuchten Hybridpappel-Klone zeigten sowohl bei ihrem Wachstum unter Trockenheit (laufender Zuwachs unter Trockenheit) als auch bei ihrer unmittelbaren Reaktion auf Trockenheit (Blattverfärbung) eine große Variation. Die zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführten Erhebungen zum Wachstum bei Trockenheit korrelierten auf den Versuchsflächen einerseits und bei den Gewächshausexperimenten andererseits sehr stark. Zwischen Feld- und Gewächshausversuch ist die Korrelation deutlich schwächer, stimmt jedoch für die besonders stark oder besonders schwach reagierenden Klone überein. Eine Reihe von Klonen zeigte zwischen den Feld- und Gewächshausversuchen eine große Streuung. Die Ergebnisse der Erhebungen zu den unmittelbaren Reaktionen der Hybridpappel-Klone zeigten eine ähnliche Tendenz, allerdings sind die Korrelationen der Ergebnisse zu verschiedenen Aufnahmezeitpunkten auf den Versuchsflächen und im Gewächshaus weniger stark. Grundsätzlich neigten Klone mit sehr gutem Wachstum bei Trockenheit zu stärkeren unmittelbaren Reaktionen bei Trockenheit als Klone mit geringerem Wachstum, die schwächere Reaktionen aufwiesen.

Die Untersuchungen zur Leitfähigkeit des Xylems von Hybridpappel-Klonen zeigten die grundsätzliche Eignung dieses Verfahrens, Klone in Hinsicht auf ihre Trockenstressreaktion auszuwählen.

Die Untersuchungen zur Reaktion von Hybridpappel-Klonen auf Früh- und Spätfrost ergaben vor allem beim Spätfrost eine sehr starke Korrelation zwischen phänologischem Zustand und Schädigungsgrad.

Auf Grundlage der Ergebnisse wurde für insgesamt 36 Klone ein Übersichtskatalog zu den Reaktionen auf Trockenheit und Frost erstellt. Diese Daten sind Bestandteil von Produktdatenblättern, in denen neu gezüchtete Pappel-Klone beschrieben und

Anbauempfehlungen gegeben werden. Für mehr als 30 weitere Klone liegen umfassende Datensätze vor.

Die Ergebnisse der Untersuchungen an Aspen-Nachkommenschaften zu ihrer Reaktion auf Trockenheit und Frost ergaben eine sehr große Streuung der Werte innerhalb der jeweiligen Nachkommenschaft, die die Streuung zwischen den Nachkommenschaften deutlich überstieg. Im Falle der Aspen erfolgte im Gegensatz zu den Pappel-Klonen eine Auslese der unter Trockenheit am besten wachsenden Individuen als Grundlage für eine In-vitro-Vermehrung. Im Laufe des Vorhabens konnten ca. 75 Klone ausgelesen werden, von denen sich bis zum Berichtszeitpunkt bereits 27 in der Feldprüfung befinden.

