



LÄNDERKOOPERATION Biomasse für SunFuel®

Projektlaufzeit: 2009 - 2014

Eine Forschungskoooperation der Länder Niedersachsen, Brandenburg, Hessen, der FNR und der Volkswagen Aktiengesellschaft



Niedersachsen



HESSEN



VOLKSWAGEN

AKTIENGESELLSCHAFT



Impressum

Herausgeber:

Forschungskooperation der Länder Niedersachsen, Brandenburg, Hessen der FNR und der Volkswagen Aktiengesellschaft
Oktober 2014

Fotos: Titels. 2. Bild o.: 3N e.V. | Titels. o. re.: Volkswagen AG | Titels. u. M. und S. 77: Deichacht Norden | Titels. u. li.: Birgit Kieker | Titels. u. re.: Margit Camille | S. 39: HAWK | S. 1: Hans-Jürgen Heuer | S. 26 und Rücks. u. re.: Markus Schmidt | S. 56: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt | S. 86, 87, 88, 89: CUTEC Institut

Umsetzung: mit freundlicher Unterstützung von 3N Kompetenzzentrum e.V.

Layout: Margit Camille

LÄNDERKOOPERATION
**Biomasse für
SunFuel®**

Projektlaufzeit: 2009 - 2014

Vorwort der Initiatoren

Bereits vor 10 Jahren trafen sich die Vertreter der Bundesländer Brandenburg und Niedersachsen mit der Volkswagen Konzernforschung in Wolfsburg, um eine gemeinsame Vereinbarung über die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit zur Entwicklung und Einführung einer Technologie zur synthetischen Herstellung von Kraftstoffen aus Biomasse zu unterzeichnen.

Im Jahr 2006 schloss sich mit dem Land Hessen ein weiterer kompetenter Partner dieser Vereinbarung an.

Ursprüngliches Ziel der Kooperation war es, eine wirtschaftliche Produktion von Biomass-to-Liquid (BtL)-Kraftstoffen bzw. SunFuel® sowie die dafür erforderlichen Technologien zu fördern. Auch wenn aus heutiger Sicht die Kommerzialisierung der BtL-Technologie unsicher ist, sind die generellen Fragestellungen zur Erschließung von Potenzialen nachhaltiger Biokraftstoffe und zu geeigneten Erzeugungspfaden für Biomasse noch heute aktuell und werden in Gesellschaft und Politik intensiv diskutiert.

Der Weg zu einer nachhaltigen Mobilität muss aktiv dazu beitragen, den globalen Ausstoß klimarelevanter Gase zu senken und nicht zuletzt die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu beschränken. Die Elektrotraktion in Verbindung mit Elektrizität aus regenerativen Quellen ist ein Weg zur nachhaltigen Mobilität. Gleiches gilt für verbrauchsoptimierte Verbrennungsmotoren – besonders in Kombination mit nachhaltigen Biokraftstoffen. Durch die physikalische Begrenzung der Effizienz des Fahrzeugantriebs kommt der Bereitstellung nachhaltiger Biokraftstoffe eine besondere Bedeutung zu.

Biokraftstoffe müssen einer Vielzahl gesetzlicher Anforderungen genügen. Neben dem Schutz von ökologisch wertvollen und umweltrelevanten Flächen gehört hierzu auch die Forderung, in hohem Maße Einsparungen bei der Emission von Treibhausgasen im Vergleich zum Einsatz von fossilen Kraftstoffen zu erzielen. Die gesellschaftlichen Erwartungen an die Biokraftstoffe haben sich in den letzten 10 Jahren gewandelt. Dies führte dazu, dass die Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen wiederholt diskutiert und in Folge auch die Rahmenbedingungen zur Förderung des Einsatzes von Biokraftstoffen geändert wurden.

Im Zuge dieses Diskussionsprozesses sind auch die Arbeiten der Forschungskooperation zu sehen:

So lag in einer ersten Phase der Kooperation von 2004 bis 2009 der Schwerpunkt der Arbeiten auf Produktionssystemen und Logistik für einjährige Energiepflanzen.

In der zweiten Phase von 2009 bis 2014 wurde der Fokus auf Rohstoffe gelegt, die nicht zur Nahrungsmittelproduktion benötigt werden. Dazu gehören schnell wachsende Energiehölzer, aber auch bisher nicht verwertbare Reststoffe, die in der Wald- und Landschaftspflege anfallen. Untersucht wurden außerdem Treibselpotenziale an den niedersächsischen Küsten und die Möglichkeit der Nutzung kommerziell produzierter Algen.

Neben dem bereits 2009 veröffentlichten Band zu den Ergebnissen der Kooperation von 2004 bis 2009, möchten die Ministerien der beteiligten Bundesländer sowie die Volkswagen Konzernforschung mit diesem zweiten Band die einzelnen Projektergebnisse von 2009 bis 2014 nochmals kompakt zusammengefasst den interessierten Akteuren zur Verfügung stellen. Allen, die an seiner Erstellung mitgewirkt haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Unser Dank geht weiterhin an das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), das die Forschungskooperation zusätzlich über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) finanziell und inhaltlich unterstützte.



Anita Tack

Brandenburgische Ministerin für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz



Priska Hinz

Hessische Ministerin für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz



Christian Meyer

Niedersächsischer Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz



Stefan Wenzel

Niedersächsischer Minister für Umwelt, Energie und Klimaschutz



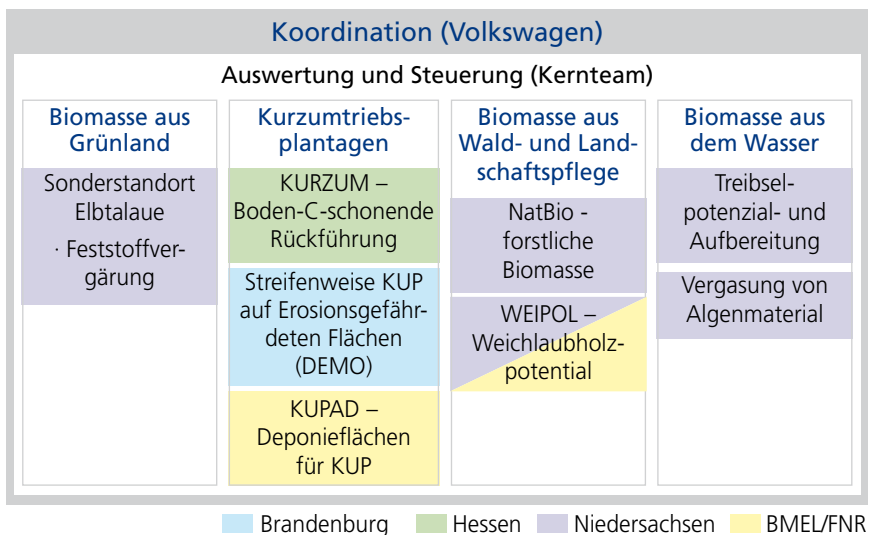
Prof. Dr. Jürgen Lehold

Forschungsleiter Volkswagen Aktiengesellschaft

Das Vorhaben »Biomasse für SunFuel®«

Die Bundesländer Brandenburg, Niedersachsen und Hessen befassen sich im Rahmen einer Wissenschaftskooperation mit der Volkswagen Konzernforschung in Wolfsburg mit Fragen zur Ermittlung des Biomassepotenzials und zur Entwicklung einer Biomasseninfrastruktur.

Während der Schwerpunkt in der ersten Phase der Forschungskooperation von 2004-2009 auf der landwirtschaftlichen Produktion von einjährigen Energiepflanzen lag, wurde in der Fortsetzung der Kooperation die bislang weniger erprobte Erzeugung von so genannten schnell wachsenden Energiehölzern und überwiegend holzartigen Reststoffen in den Vordergrund gerückt. Der Fokus der Forschungsarbeiten liegt auf Biomasse, die für Nahrungs- oder Futtermittelnutzung ungeeignet ist. Dazu gehört auch bisher nicht verwertbare Biomasse, die zum Beispiel in der Wald- und Landschaftspflege anfällt. Die Nutzung solcher Rohstoffe hat im Vergleich zur Anlage von Plantagen den Vorteil, dass keine zusätzlichen Investitionen in Form von Energie, Dünger oder Arbeitskraft erforderlich sind.



Die Vorräte von Weichlaubhölzern werden heute praktisch ungenutzt im Wald belassen. In Niedersachsen wurden in zwei Projekten gerade diese ungenutzten Rohstoffpotenziale technisch, ökonomisch und ökologisch bewertet. Auch Biomasse von schwermetallbelasteten Grünlandstandorten, die aufgrund der Belastung zunehmend schwieriger zu bewirtschaften sind,

könnten potentielle Rohstoffe für die energetische Verwertung darstellen. Als weitere Themen der niedersächsischen Kooperationsfortsetzung spielen Roh- und Reststoffe wie Algenmaterial und Treibgut («Treibsel») an den Küsten eine Rolle.

Brandenburgs Landwirtschaft ist gekennzeichnet durch eher große zusammenhängende Agrarflächen, die teilweise besonders erosionsgefährdet sind. In einem Demonstrationsvorhaben wird Kurzumtriebsholz streifenweise als Windschutz auf einer dieser Flächen angebaut. Neben der Windschutzwirkung wird untersucht, ob der Humusgehalt, die Biodiversität und das Landschaftsbild verbessert werden können.

Das hessische Forschungsprojekt beschäftigt sich mit der Frage, wie eine optimale Rückführung von Flächen mit Kurzumtriebsplantagen in eine landwirtschaftliche Nutzung vor dem Hintergrund der C-Dynamik des Bodens gestaltet werden kann. Im Mittelpunkt steht dabei die Überprüfung der Annahme, ob durch eine reduzierte Bodenbearbeitung die Mineralisierung von organischer Bodensubstanz gemindert werden kann und dies aus pflanzenbaulicher Sicht auch in der Praxis umsetzbar erscheint.

In der folgenden Seiten werden die wesentlichen Ergebnisse der Projekte kompakt zusammengefasst. Zusätzliche Informationen sind über die Autoren und Berichte zu den Projekten erhältlich.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen

Machbarkeitsuntersuchung zur Monovergärung von Grassilagen schadstoff-kontaminierter Standorte am Beispiel der eingesetzten Biomasse von Grünlandflächen aus dem Deichvorland der Elbe **1**

1. Hintergrund und Zielsetzung 1
2. Ergebnisse 2
3. Schadstoffe im Gärrest 4
4. Rückführung von Gärresten 5

Dynamik von Boden C-Fractionen und pflanzlicher Produktivität während der Überführung von Kurzumtriebsplantagen in Acker- oder Grünlandnutzung **7**

1. Einleitung und Zielsetzung 7
2. Ergebnisse 8
 - 2.1 Ausgangszustand 10
 - 2.2 Unmittelbare Auswirkungen des Umbruchs auf Boden C-Fractionen 12
 - 2.3 Auswirkungen des Umbruchs auf Boden C-Fractionen in den Folgejahren 13
 - 2.4 Auswirkungen des Umbruchs auf Ertragsleistung auf Acker- und Grünland 17
3. Zusammenfassung 19
4. Literatur 20

Schutzstreifen mit schnell wachsenden Gehölzen zur Erosionsminderung und Kohlenstoffsequestrierung in ausgeräumten Landschaften | Laufzeit: 2010 bis 2014 **23**

1. Einleitung und Zielsetzung 23
2. Material und Methoden 23
3. Ergebnisse 27
 - 3.1 Gehalt an organischem Kohlenstoff im Oberboden 27
 - 3.2 Wachstum der Bäume 27
 - 3.3 Mikrometeorologische Messungen auf der windabgewandten Seite des Windschutzstreifens 29

3.4 Wasserhaushalt der Gehölze und der annuellen Kulturen auf der windabgewandten Seite des Gehölzstreifens	32
4. Zusammenfassung	33
Literatur	35
Kurzumtriebsplantagen zur nachhaltigen Biomassebereitstellung auf Deponieflächen / Altdeponien - KUPAD -	37
1. Flächenpotentialanalyse	38
2. Versuchsflächenanlage und Felduntersuchungen	38
3. Anwuchs, Überlebensrate, Bonitur	39
4. Bodenuntersuchung	41
Literaturverzeichnis	45
Potenzialanalyse zur Bereitstellung von natürlicher Biomasse (NatBio)	45
1. Hintergrund und Zielsetzung	45
2. Methoden der Potenzialabschätzung durch Fernerkundung	45
3. Ergebnisse & Ausblick	47
4. Flächenpotenzial	49
5. Ernteverfahren	49
»Weichlaubholz – ungenutztes Rohstoffpotenzial« - Herleitung von Nutzungspotenzialen	51
1. Einleitung und Zielsetzung	51
2. Arbeitspaket 1: Herleitung von Nutzungspotenzialen (NW-FVA)	52
2.1. Zustandserfassung der ALn Vorkommen	52
2.2. Abschätzung des Nutzungspotentials	53
2.2.1. Methodik	53
2.2.2. Ergebnisse	56
Literatur	59
»Weichlaubholz – ungenutztes Rohstoffpotenzial« - Holzernte und Logistik	61
1. Grundsätzliches	61
2. Die Arbeitssysteme	61
3. Tarife	64

4. Decision Support System	65
5. Konsequenzen für die Weichlaubholzernte	66
Fundstellen	68
»Weichlaubholz – ungenutztes Rohstoffpotenzial« - Ökonomische Analyse und Bewertung	71
1. Verwertung von Weichlaubhölzern in Nordwestdeutschland	71
2. Produktion von Weichlaubhölzern auf Waldflächen	72
2.1 Roterle	73
2.2 Birke	74
3. Fazit	74
Literatur	75
Treibsel an den niedersächsischen Küsten - Aufkommen, Zusammensetzung und Möglichkeiten zur nachhaltigen klimaneutralen Verwertung	77
Erweiterung des Biomassepotentials zur energetischen Nutzung um kommerziell produzierte Algen	83
Zusammenfassung	83
1. Aufgabenstellung	83
2. Situation	84
3. Einbringung und Aufbereitung	85
4. Thermochemische Umsetzung zu Synthesegas	87
5. Betriebserfahrungen	89
6. Fazit und Ausblick	90
7. Danksagung	90
Die Länderkooperation: Lenkungsreis Beteiligte Institutionen	93
Notizen	94

Verwendete Abkürzungen

<i>BBM</i>	<i>Biogasanlage Siemke in Breese in der Marsch</i>
<i>C</i>	<i>Kohlenstoff</i>
<i>C mik</i>	<i>Mikrobielle Biomasse</i>
<i>KUP</i>	<i>Kurzumtriebsplantage</i>
<i>KUP</i>	<i>Kurzumtriebsplantage. Eine prämienberechtigte landwirtschaftliche Dauerkultur mit zugelassenen schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb (bis max. 20 Jahre).</i>
<i>LF</i>	<i>Leichte Fraktion</i>
<i>NI</i>	<i>Normliter</i>
<i>OTM</i>	<i>Organische Trockenmasse</i>
<i>REM</i>	<i>Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen</i>
<i>TM</i>	<i>Trockenmasse Trocknung bei 105°C</i>

Machbarkeitsuntersuchung zur Monovergärung von Grassilagen schadstoff-kontaminierter Standorte am Beispiel der eingesetzten Biomasse von Grünlandflächen aus dem Deichvorland der Elbe

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen, Fachgruppe Nachhaltige Landnutzung und Ländliche Entwicklung; Redaktion Hans-Jürgen Heuer, Bernhard Ende, Franz-Josef Flögel

1. Hintergrund und Zielsetzung

Seit dem Hochwasser im Sommer 2002 ist bekannt, dass die Böden der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe eine hohe Belastung an Dioxinen und Schwermetallen aufweisen. Trotz der Einhaltung von speziellen fachlichen Vorgaben zur Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe kommt es immer wieder zu einer Höchstwertüberschreitung in Futtermitteln und Lebensmitteln. Dies kann gravierende Auswirkungen für die Existenz des landwirtschaftlichen Betriebes haben.

Um den landwirtschaftlichen Betrieben bei der Nutzung des Grünlandes im Deichvorland eine Alternative zur Lebensmittelproduktion unterbreiten zu können, wurde eine Machbarkeitsuntersuchung zur Monovergärung von Grassilagen schadstoffkontaminierter Standorte am Beispiel der eingesetzten Biomasse von Grünlandflächen aus dem Deichvorland der Elbe durchgeführt.

In der Studie war zu beurteilen und zu prüfen, ob die Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe im Sinne einer innerbetrieblichen Kreislaufbewirtschaftung bei einer energetischen Verwertung der Biomasse wirtschaftlich genutzt werden können. Aufgrund naturschutzfachlicher Vorgaben und einer hohen Konzentration an Schadstoffen auf dem Grünland im Deichvorland der Elbe erfolgte die Fermentation der Biomasse nach einem Monovergärungsverfahren.

Die verfahrenstechnische Prüfung wurde in einer Praxisbiogasanlage vor Ort durchgeführt. Die Fermentation der Biomasse wurde in der Biogasanlage in sieben baugleichen Fermentern nach dem System der Trockenfermentation (Bioferm) im Batch-Verfahren vorgenommen. Für die Fermentation von ausschließlich nur Grassilagen aus dem Deichvorland wurde ein Fermenter für eineinhalb Jahre aus dem Regelbetrieb herausgelöst.

Abb. 1: Garagen-Trockenfermentationsanlage
Siemke in Breese



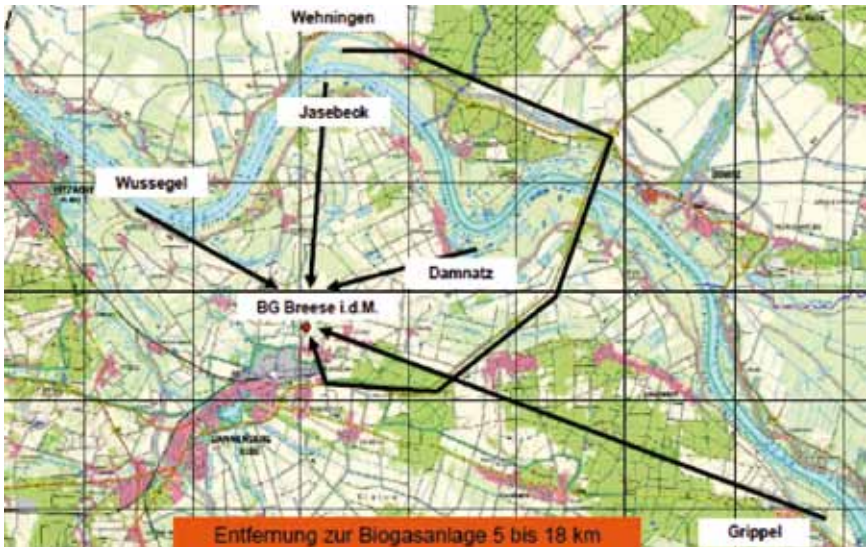


Abb. 2: Rohstoffbereitstellungsraum

2. Ergebnisse

Bei der Beurteilung, wie sich naturschutzfachliche Vorgaben bei der Bewirtschaftung von Grünlandflächen auf die erzielbare Biogasmenge auswirken, ergibt sich folgendes Ergebnis: Das Leistungsvermögen pro Hektar an Grünmasse-, Biogas- und Methanertrag ist bei der Grassilage aus dem Deichvorland der Elbe im Vergleich zu einer intensiv geführten Grünlandfläche nur halb so hoch. Die Grassilagen der extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen aus dem Deichvorland haben im Vergleich zu einer mittleren Grassilage nach KTBL¹ 5 % weniger Biogas und 14 % weniger Methan an energetischer Leistung in NI/kg oTM geliefert.

Das geringere Leistungsvermögen pro Hektar wird ursächlich durch naturschutzfachliche Vorgaben bei der Bewirtschaftung der Grünlandflächen im Deichvorland der Elbe bewirkt. Die landwirtschaftlichen Betriebe erhalten für die Bewirtschaftungseinschränkung auf dem Grünland einen finanziellen Ausgleich.

Bei dem vierstufigen Abbau von Biomasse auf Basis der Monovergärung über die gesamte Projektlaufzeit trat keine so erhebliche Störung ein, dass die mikrobielle Verstoffwechslung inaktiv wurde. Der Praxisversuch zeigte jedoch, dass die Grassilagen auf Basis von standardisierten Qualitätsanforderungen bereitzustellen sind, um eine störungsfreie Fermentation zu erreichen.

Es konnte nicht nachgewiesen werden, ob hohe Schadstoffkonzentrationen in den Grassilagen einen Einfluss auf die Prozessbiologie hatten. Wenn es einen Einfluss gab, wurde dieser von den anderen Faktoren überlagert.

Die für die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage angehaltene Leistungsgröße von 770 m³ Biogasertrag pro Tag und Fermenter wurde mit den eingesetzten Grassilagen im Mittel um 25,6 % unterschritten.

Neben der heterogenen Qualität, die die Grassilagen aus dem Deichvorland aufwiesen, ist eine Ursache für den Minderertrag an Biogas auch darin zu sehen, dass lediglich 1,08 t oTM pro Tag für die mikrobielle Umsetzung zur Verfügung standen. Mit einem Mischsubstrat, wie es bei der Biogasanlage BBM zum Einsatz kommt, werden im Mittel 1,32 t OTM pro Tag und Fermenter zur Verfügung gestellt. Die Differenz zwischen eingesetzter Biomasse mit Mischsubstraten und der eingebrachten Biomasse auf Basis der Monovergärung mit Grassilagen beträgt 0,24 t oTM pro Tag oder auch 18,2 %. Die fehlende Menge an organischem Inputmaterial konnte somit auch nicht zu Biogas umgesetzt werden.

Die geringere Einbringungsmenge an OTM pro Tag ist damit zu begründen, dass die Grassilage im Vergleich zur Maissilage eine geringere Schüttdichte und beim Aufschichten im Fermenter ein größeres Volumen hat. Vor diesem Hintergrund und in Abhängigkeit vom TS-Gehalt konnten deshalb zeitweise gerade mal 55 % der erforderlichen Menge an organischer Biomasse in den Fermenter eingebracht werden.

Ein technischer und wirtschaftlicher Betrieb kann nach dem Monovergärungsverfahren erreicht werden, wenn die Fermenter bei diesem Anlagentyp um 30 % vergrößert werden. Die höchste Effektivität ist bei einer Verbreiterung der Fermenter um 2 Meter gegeben. Dadurch wird erreicht, dass die erforderliche Menge an organischer Trockenmasse in den Fermenter eingebracht werden kann und eine größere Oberfläche beim organischen Umsetzungsprozess gegeben ist.

Leichtabbaubare Kohlenhydrate und Zucker können sich dadurch in kürzerer Zeit umsetzen. Dies wirkt sich positiv auf den angestrebten Biogasertrag aus und es wird sich zu Beginn der Biogasproduktion, wie bei einem Mischsubstrat mit Maissilage, ein Biogasertrag in Höhe von 130 bis 150 % ergeben. Im Mittel der Gärphase kann dadurch eine Biogasquote um die 100 bis 105% erreicht werden.

Bei einem verbreiterten Fermenter dürften sich die Herstellungskosten für den umbauten Raum nach einer Einschätzung des Biogasanlagenbetreibers um ca. 15 % erhöhen.

Der wirtschaftliche Erfolg einer Biogasanlage ist ganz wesentlich von der Bereitstellung qualitativ hochwertiger Rohstoffe abhängig. Grassilagen liefern in der Regel einen geringeren Energieertrag im Vergleich zum Mais.

Dementsprechend muss nach einer Einschätzung durch den Biogasanlagenbetreiber bei Grassilagen gegenüber dem Auszahlungspreis für Maissilagen ein Abschlag in Höhe von ca. 15 bis 20 % vorgenommen werden. Die höheren Herstellungskosten für den Fermenterraum, die geringere Biogasausbeute bei Grassilagen von extensiv geführten Grünlandflächen und eine anspruchsvollere Logistik bei der Abnahme von Grassilagen aus dem Deichvorland gegenüber dem sonstigen Rohstofflieferraum, werden die Rohstoffbereitstellung in Höhe von ca. 5 bis 10 % zusätzlich belasten. In der Gesamtbetrachtung ergibt sich so gegenüber dem Auszahlungspreis für Maissilagen ein um 20 bis 30 % geringer anzusetzender Auszahlungspreis für die Beispielanlage Siemke.

Für die Rohstoffbereitstellung sind folgende Qualitätsmerkmale vorzugeben:

- a) Es sind frühe und somit optimale Schnitttermine anzustreben, um Gräser mit einem geringen Rohfasergehalt (optimal 22 bis 25 %) und mit einer hohen Energiedichte zu ernten. Optimal ist in dieser Hinsicht eine Beernung der Grünlandflächen bereits Mitte bis Ende Mai.
- b) Das Erntegut ist nach dem Schwaden von einem Häcksler aufzunehmen und auf eine Schnittlänge <4 cm zu häckseln, um die Vergärbarkeit zu optimieren. Der Einsatz eines Ladewagens ist in dieser Hinsicht nicht geeignet.
- c) Es ist ein Trockensubstanzgehalt in der Grassilage zwischen 30 bis 40 % anzustreben.
- d) Der Verschmutzungsgrad, gekennzeichnet durch den Rohaschegehalt, sollte 10 % nicht überschreiten.
- e) Nach dem Abdecken der Silagemiete, also dem Verschließen des Siliergutes, sollte vor dem erstmaligen Einsatz in einer Biogasanlage ein Zeitraum von 6 bis 9 Monaten vergangen sein, damit sich die entsprechenden Säuren in der Grassilage bilden konnten, wodurch der Gärprozess in der Biogasanlage begünstigt wird (Bischoff, M., 2010).²

3. Schadstoffe im Gärrest

Im Rahmen des Projektes wurden bei der Fermentation ca. 60 % der organischen Trockenmasse abgebaut. Dies wurde als Grundlage genommen, um einen Proportionalitätsfaktor zu ermitteln. Auf dieser Grundlage wurde die

mittlere Schadstoffkonzentration im Gärrest anhand von Analysedaten der eingesetzten Grassilage abgeleitet. Der so ermittelte Proportionalitätsfaktor sollte jedoch lediglich als grobe Orientierungshilfe verwendet werden, da aufgrund der Bezugsmenge an Untersuchungsdaten keine allgemein verbindliche Aussage getroffen werden kann.

Für die Inhaltsstoffe Blei, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Arsen und die Dioxine ergibt sich ein Proportionalitätsfaktor von 2,75. Der Proportionalitätsfaktor für Zink beträgt 2,1 und für die Begleitstoffe Cadmium, Nickel und den dl-PCB 1,7. Herr Dr. Severin (LWK Niedersachsen) vertritt den fachlichen Standpunkt, dass eine Verwertung der Gärreste zum Zwecke der Düngung nur vorgenommen werden sollte, wenn neben der Einhaltung der zulässigen Höchstgehalte für Schwermetalle nach der Düngemittelverordnung eine Dioxinkonzentration im Gärrest von 5 ng Teq/kg TM nicht überschritten wird. Auf Basis des ermittelten Proportionalitätsfaktors konnten 80 % der eingesetzten Grassilagen diese Anforderung erfüllen. Bei einer strikten Anwendung der guten fachlichen Praxis bei der Futterbergung wird angenommen, dass ca. 90 bis 95 % der im Deichvorland geernteten Grassilagen die Anforderungen erfüllen werden.

4. Rückführung von Gärresten:

Der Feldversuch einer Rückführung von Gärresten auf das Grünland im Deichvorland der Elbe zeigt auf, dass die technische Umsetzung sehr anspruchsvoll ist und das Flächenangebot aufgrund von naturschutzfachlichen Vorgaben nicht ausreicht. Bei einer energetischen Verwertung von Grassilagen aus dem Deichvorland dürfen die eingesetzten Grassilagen nur eine geringe Belastung mit Schadstoffen aufweisen, damit eine Verwendung der Gärreste im Deichhinterland erfolgen kann.

Der komplette Abschlussbericht ist auf der Homepage des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (www.ml.niedersachsen.de) als Download unter Themen → Nachwachsende Rohstoffe erhältlich.

¹ Quelle: KRBL - Datensammlung Energiepflanzen 2006: Kuratorium für Technik u. Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. ISBN 13: 978-3-939371-21-2

² Quelle: Mündliche Mitteilung im Rahmen der Erörterung der labortechnischen Biogasdaten, LUFA Niedersachsen, Standort Oldenburg

Dynamik von Boden C-Fractionen und pflanzlicher Produktivität während der Überführung von Kurzumtriebsplantagen in Acker- oder Grünlandnutzung

Dr. Christine Wachendorf¹, M. Sc. Charlotte Tönshoff¹;

Dr. Reinhold Stülpnagel²

¹ Universität Kassel, Fachgebiet Bodenbiologie und Pflanzenernährung

² Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe

1. Einleitung und Zielsetzung

Durch den wachsenden Bedarf an erneuerbaren Rohstoffen als Energieträger hat das Interesse an der Produktion holziger Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen (KUP) mit Pappeln und Weiden zugenommen. KUPs sind dichte, reihenartige Anpflanzungen schnellwachsender Baumarten wie Pappeln oder Weiden auf landwirtschaftlichen Flächen zur Produktion holziger Biomasse. Nach einmal erfolgter Kulturbegründung wird in regelmäßigen Umtriebszeiten von 2 bis zu 20 Jahren die oberirdische Sprossmasse wiederholt geerntet [1, 2]. Die Biomasse der Pappeln und Weiden kann als Energieholzhackschnitzel, Pellets oder Papierholz verwertet werden. Bei einer energetischen Verwendung des Holzes wird die Sprossmasse in der Regel in Intervallen zwischen 2 und 6 Jahren geerntet, wohingegen bei einer stofflichen Verwertung des Holzes die Bewirtschaftung mit längeren Umtriebszeiten erfolgt [3]. Durch die verringerte Bodenbearbeitung und den erhöhten Eintrag von Streu- und Wurzelresten können langjährig bewirtschaftete KUPs zu einer Akkumulation von organischem Kohlenstoff (C) im Boden führen [4, 5] und somit eine temporäre Kohlenstoffsinke darstellen.

Nach 20-30 Jahren der Bewirtschaftung der KUPs, nimmt die Produktivität der Bäume allerdings ab und die Plantagen müssen neu angelegt oder können in landwirtschaftliche Nutzung rückgeführt werden [4, 6]. Während der Rückumwandlung von KUPs in herkömmliche landwirtschaftliche Nutzung erfolgt zur Saatbettvorbereitung der Nachfolgekulturen eine intensive Bodenbearbeitung mittels tiefen Fräsen, um die Wurzeln (Wurzelstubben und Grobwurzeln) und oberirdische Erntereste, die nach der letztmaligen Ernte auf den Flächen verbleiben, zu zerkleinern und in den Boden einzuarbeiten. Diese intensive Bodenbearbeitung erhöht die Mineralisierung der organischen Bodensubstanz, andererseits werden dem Boden hohe C-Mengen mit den Ernteresten zugeführt und C-Verluste des Mineralbodens im Zuge des fortschreitenden Abbaus der Erntereste möglicherweise gemindert. Gängige Methoden, um den Abbau organischer Bodensubstanz in der Landwirtschaft

zu mindern, sind die Reduzierung der Bodenbearbeitungstiefe oder die Nutzung als Grünland [7].

Im KURZUM Projekt wurde daher an zwei Standorten der Frage nachgegangen, wie sich verschiedene Bearbeitungstiefen von 5, 15 und 30 cm Tiefe während der Rückführung von KUPs in konventionelle Acker- und Grünlandnutzung auf die Kohlenstoffdynamik des Bodens auswirken. Es wurde insbesondere überprüft, ob durch eine reduzierte Bodenbearbeitung und eine nachfolgende Grünlandnutzung das Ausmaß des Abbaus der organischen Substanz vermindert und die akkumulierten C-Mengen in möglichst großem Umfang im Boden erhalten werden können. Dazu wurden vor dem Umbruch die Kohlenstoffvorräte in der ober- und unterirdischen Biomasse der Bäume und des Bodens der KUPs erfasst und die unmittelbaren Auswirkungen des Umbruchs auf den Bodenkohlenstoff untersucht sowie die Menge und Qualität der Erntereste ermittelt, die dem Boden bei der Rückführung zugeführt wurden. Ausgehend von diesem Zustand direkt nach dem Umbruch erfolgte in den beiden Folgejahren nach dem Umbruch eine erneute Untersuchung der C-Mengen im Mineralboden und den eingearbeiteten Ernteresten.

Um auch die landwirtschaftliche Praxis dafür zu gewinnen, dass KUP angelegt werden und diese Flächen später wieder mit anderen landwirtschaftlichen Kulturen zu nutzen, wurden zusätzlich zu den bodenkundlichen Fragestellungen auch pflanzenbauliche Erkenntnisse gewonnen. Neben der Realisierbarkeit einer nur flachen oder mitteltiefen Bearbeitung des Bodens im Rahmen des Umbruchs und in der Folgezeit, ist die Ertragsleistung auf diesen reduziert bearbeiteten Flächen im Vergleich zu den auf Pflugtiefe bearbeiteten Flächen entscheidend.

2. Ergebnisse

Die Untersuchungen erfolgen am Standort Georgenhof bei Diemelstadt (51°27'N, 9°0'O, 320 m ü. N.N.) auf einer mit Pappeln und einer mit Weiden bestandenen KUP. Die Böden beider Untersuchungsflächen sind verbraunte Haftpseudogleye aus einer Lössfließerde über Buntsandstein, die auf der Weidenfläche in den ersten 30 cm durch 28% Sand, 61% Schluff und 11% Ton, gekennzeichnet ist, während sich die Textur auf der Pappelfläche aus 19% Sand, 64% Schluff und 17% Ton zusammensetzt. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 7,9°C bei mittleren Jahresniederschlagssummen von 740 mm. Die zweite Untersuchungsfläche in Wachstum liegt südwestlich von Cloppenburg (52°47'N, 7°44'O, 22 m ü. N.N.), die Jahresmitteltemperatur beträgt 9,0°C, der durchschnittliche jährliche Niederschlag 815 mm. Als Bodentyp liegt ein tiefumgepflügter Gley-Podsol aus holozänen Flugsanden,

als Bodenart ein schwach schluffiger Sand mit 76% Sand, 20% Schluff und 4% Ton vor. Lange vor Etablierung der KUP wurden an diesem Standort Niedermoorrester tief in den Boden eingepflügt.

Die Plantagen wurden 1987 (Georgenhof) bzw. 1989 (Wachstum) auf ehemaligen Ackerflächen als Versuchsflächen vom ehemaligen Institut für schnellwachsende Baumarten angelegt, zunächst um verschiedene Weiden- (*Salix* spp.) und Pappelklone (*Populus* spp.) zu testen. Bis 1998 wurden sie in 3 bis 4-jährigen Rotationsperioden bewirtschaftet. Danach wurden die Flächen vom Papierhersteller Stora Enso gepachtet und weiter bewirtschaftet. Eine Ernte erfolgte seit Übernahme der Flächen nicht mehr, da das Holz einer stofflichen Verwertung für die Schleifholzgewinnung zugeführt werden sollte, was höhere Stammdurchmesser erforderte. Die ursprüngliche Pflanzdichte betrug auf der Weidenfläche am Georgenhof 15.385 Bäume ha⁻¹ (Pflanzenabstand 1.3 x 0.5 m), auf der Pappelfläche 10.000 Bäume ha⁻¹ (1 x 1 m). Auf der Pappelfläche in Wachstum wurden die Klone in Pflanzverbänden mit Abständen von 2.2 x 1.2 (3.788 Bäume ha⁻¹) und 3.0 x 1.2 m (2.777 Bäume ha⁻¹) gepflanzt. Aufgrund der Ausdünnung der Bestände nach der Jugendphase und zu den bisherigen Ernten sowie einer hohen Sterberate, betrug die Pflanzdichte vor der letzten Ernte 1.296 Bäume ha⁻¹ auf der Weidenfläche am Georgenhof, 1.905 Bäume ha⁻¹ auf der Pappelfläche am Georgenhof und 1.942 Bäume ha⁻¹ auf der Pappelfläche in Wachstum.

Zur Rückführung der Flächen in herkömmliche landwirtschaftliche Nutzung wurden nach der Ernte in einem ersten Arbeitsgang überstehende Wurzelstöcke und auf der Fläche verbliebenes Stamm- und Kronenholz mit einem Forstmulcher zerkleinert. Infolge der langen letzten Umtriebszeit von 12 Jahren fielen bei den Pappeln größere Mengen an oberirdischen Ernteresten in Form von höher geschnittenen Wurzelstöcken und abgebrochenen Ästen und bei den Weiden mehr Totholz an, als bei einer KUP Bewirtschaftung zur energetischen Verwendung des Holzes mit kürzeren Umtriebszeiten zu erwarten ist. In einem zweiten Arbeitsgang wurden die Flächen mit einer Rodungsfräse in drei Streifen mit jeweils einer Tiefe von 5 cm (flach), 15 cm (mittel) und 30 cm (tief) gefräst und dabei die im Boden verbliebenen Wurzelstöcke zerkleinert und das gemulchte oberirdische Holz in den Boden eingearbeitet. Nach Einebnung der gefrästen Flächen mittels Kreiselegge erfolgte mit der Einsaat von Mais Delitop (Reifegruppe 220, 10 Pflanzen/m²) und Weidelgras (36 kg/ha, 50% Country 2001 + 50% Country-Energy 2023) in jeweils dreifacher Wiederholung je Frästiefe die Bestellung als Acker- oder Grünland. Vor dem Hintergrund, mikrobiologische Prozesse im Boden nicht durch eine externe Nährstoffversorgung zu überlagern, aber dennoch ein Pflanzenwachstum zu erreichen, wurden die Flächen nach dem Umbruch

mit 50 kg N ha⁻¹, 50 kg P₂O₅ ha⁻¹, 100 kg K₂O ha⁻¹ und 32 kg MgO ha⁻¹ gedüngt. Im Herbst 2011 erfolgte eine Kalkung der Flächen mit CaO von 4 dt ha⁻¹ auf den Grünlandparzellen am Georgenhof und 6 dt ha⁻¹ in Wachstum. Die Ackerparzellen am Georgenhof erhielten 12 dt CaO ha⁻¹, die in Wachstum 6 dt CaO ha⁻¹, um die für die Bodenart und Nutzung spezifischen, empfohlenen Ziel-pH-Werte zu erreichen. Weiteres methodisches Vorgehen ist von Toenshoff et al. [8, 9] beschrieben.

2.1 Ausgangszustand

Nach der langjähriger KUP-Bewirtschaftung zeigten sich an allen Standorten deutliche Tiefengradienten der physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften. Der erhöhte Eintrag an organischem Material, das Wurzelwachstum und Bioturbation führten zu geringen Lagerungsdichten im Oberboden (Abb. 1).

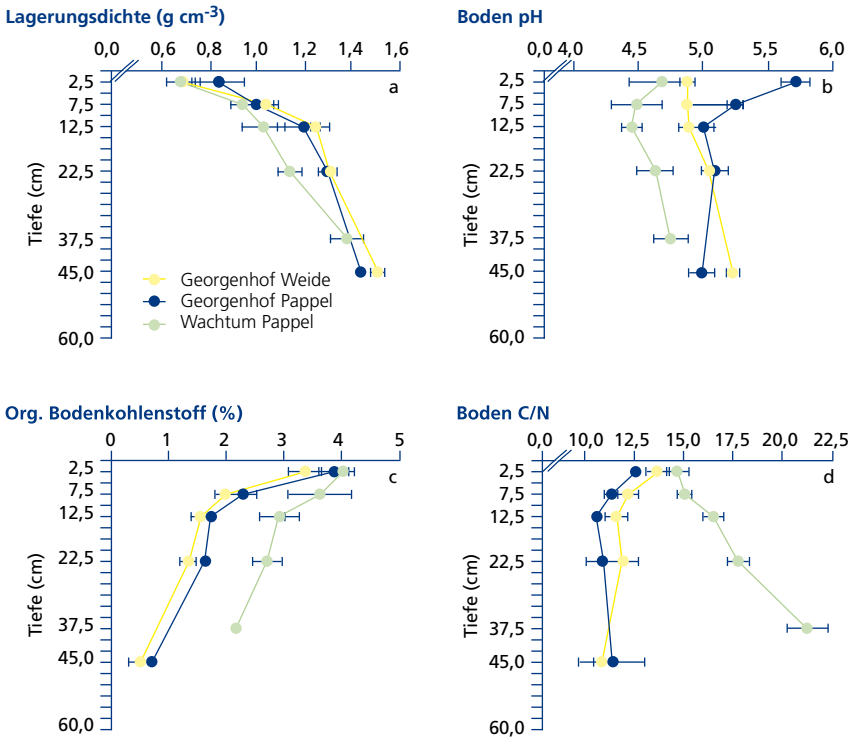


Abb. 1 Mittelwerte der (a) Lagerungsdichten, (b) Boden pH, (c) C-Gehalt des Mineralbodens und (d) Boden C/N in verschiedenen Tiefen der Plantagen, Fehlerbalken zeigen Standardfehler (n = 3)

Tab. 1: Organischer Kohlenstoff (t C ha⁻¹) in verschiedenen Baumkompartimenten sowie in Totholz, Streuauflage und Mineralboden (0-30 cm) von KUPs vor dem Umbruch

	Georgenhof Weide	Georgenhof Pappel C (t ha ⁻¹)	Wachstum Pappel
Krone		13,7	11,2
Stamm	15,3 [§]	56,7	38,8
Wurzelstubben	0,6	4,6	3,6
Grobwurzeln > 5 mm	0,4	2,8	3,2
Feinwurzeln < 5 mm	0,1	1,2	0,7
Totholz	0,4 (0,1)	0,9 (0,1)	0,8 (0,4)
Streuauflage	0,8 (0,1)	1,4 (0,1)	1,7 (0,6)
Boden (0-30 cm)	58,5 (10,3)	68,9 (3,9)	92,1 (15,9)
Summe	76,1	150,2	152,2

[§] Stamm und Triebe

Die in der oberirdischen Biomasse gespeicherten C-Mengen betragen 15 t C ha⁻¹ auf der Weidenfläche sowie 71 t ha⁻¹ für Georgenhof Pappel und 50 t ha⁻¹ in Wachstum. Deutlich weniger C war in den Wurzeln in der Tiefe 0-30 cm gespeichert, wobei die C-Mengen der Wurzeln in der Rangfolge Wurzelstubben > Grobwurzel > Feinwurzeln abnahmen [1]. Das C/N Verhältnis der Erntereste unter Pappel nahm von den Wurzelstubben (470), Krone (292), Grob- und Feinwurzel (101 und 69), zum Totholz und der Streuauflage (49 und 22) ab. Die organische Auflage war unter allen KUPs durch eine nur wenig zersetzte Streuschicht gekennzeichnet und war entsprechend der höheren oberirdischen Biomasse der beiden Pappelflächen höher als für die Weidenfläche. Der Anteil der Wurzeln an den gesamten unterirdischen C-Mengen beträgt bis zu 10% des organischen Kohlenstoffs unter langjährig bewirtschafteten KUPs.

2.2 Unmittelbare Auswirkungen des Umbruchs auf Boden C-Fractionen

Tab. 2: Organischer Kohlenstoff des Mineralbodens (0-30 cm), Wurzeln der KUPs und der Erntereste (> 2 mm) nach Umbruch sowie mikrobieller Biomasse C und Anteil der leichten organischen Fraktion (LF-C) am C des Mineralbodens der KUPs und nach dem Umbruch in drei Frästiefen

	Boden C _{org}	Wurzel- und Erntereste C	mikrobieller Biomasse C	LF-C
	(t ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)	(% C _{org})
Georgenhof Weide				
KUP	60	1.1	920	2.9
Flach	65 a	15.5 [§] a	1260 a	13.0 [§] a
Mittel	64 a	18.8 [§] a	1460 a	10.3 [§] ab*
Tief	79 a	17.5 [§] a	1990 a	7.5 b
Georgenhof Pappel				
KUP	71	8.6	1020	1.9
Flach	71 a	17.0 [§] a	1950 [§] a	8.0 [§] a
Mittel	66 a	19.7 [§] a	1620 a	7.4 [§] a
Tief	73 a	27.2 [§] a	1770 a	9.0 [§] a
Wachstum Pappel				
KUP	95	7.5	480	80.6 [†]
Flach	89 a	20.9 [§] a	1080 a	85.1 [†] a
Mittel	96 a	12.9 a	980 a	89.9 [†] a
Tief	103 a	37.0 [§] a	1620 [§] a	91.5 [†] a
CV (± %)	19	45	30	30

C_{org} = organischer Boden C; fLF = freie leicht organische Fraktion; CV = Variationskoeffizient zwischen Wiederholungen (n = 3); † freie und okkludierte leichte Fraktion; § signifikanter Unterschied zwischen den Frästiefen und dem Wert unter KUP; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Unterschiede zwischen den Frästiefen (P < 0,05)

Auf keiner Fläche und in keiner Fräsvariante zeigte sich ein Unterschied in den C-Mengen des Mineralbodens unmittelbar nach dem Umbruch in 0-30 cm Tiefe (Tab. 2). Der Anteil Erntereste stieg nach Umbruch gegenüber den unter KUP bestimmten Wurzeln im Oberboden durch den hohen Eintrag an

oberirdischen Ernteresten an, möglicherweise wurde auch die Wurzelbiomasse unter KUP unterschätzt. Der Anteil der LF-C am Gesamtkohlenstoff des Bodens stieg auf allen Flächen, wobei der Anstieg in Wachstum nicht signifikant war. Dennoch zeigte der Anstieg der leichten organischen Fraktion, dass ein Teil der Erntereste auf Partikelgrößen < 2 mm zerkleinert wurde. Entsprechend des hohen Eintrags und Zerkleinerung von Ernteresten stieg die mikrobielle Biomasse an, ein Unterschied zwischen den Frästiefen konnte jedoch nicht festgestellt werden. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass mögliche Veränderungen in der C-Menge des Bodens infolge der unterschiedlichen Frästiefe kleiner sind als die räumliche Variabilität des C-Gehalt des Bodens im Feld.

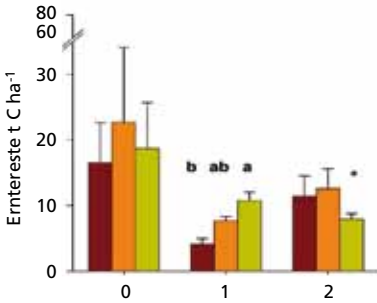
2.3 Auswirkungen des Umbruchs auf Boden C-Fractionen in den Folgejahren

Auch wenn hohe C-Verluste infolge einer erhöhten Mineralisierungsaktivität durch den Umbruch vermutet wurden, nahm der Gesamtkohlenstoffgehalt des Mineralbodens nicht ab. Es zeigte sich keinerlei Einfluss von der Frästiefe oder der Nachnutzung auf die C-Menge im Boden. Da sich in den beiden Folgejahren kein Einfluss der Nachnutzung zeigte, sind die Werte der C-Menge der Erntereste gemittelt über beide Nutzungen in der jeweiligen Frästiefe dargestellt (Abb. 2). Innerhalb eines Jahres hat der in den Ernteresten festgelegte C um bis zu 23 t C ha^{-1} abgenommen. Da sich trotz der Abnahme der Erntereste der C-Gehalt des Bodens nicht veränderte, kann nicht ausgeschlossen werden, dass der während des Abbaus der Erntereste freigesetzte C mögliche C-Verluste aus dem Mineralboden ausgeglichen hat [10]. 2 Jahre nach dem Umbruch ließ sich in der tiefen Fräsvariante der Weidenfläche eine signifikante Abnahme gegenüber dem Zeitpunkt direkt nach dem Umbruch feststellen, wohingegen sich in der flachen und mittleren Frästiefe sowie in allen Frästiefen auf der Pappelfläche Georgenhof gegenüber dem 1. Jahr nach Umbruch keine weiteren Abnahmen in der C-Menge der Erntereste zeigte, was vermutlich auf die bereits beschriebene hohe heterogene Verteilung der Erntereste im Feld zurückzuführen ist. Demgegenüber zeigte sich in Wachstum im 2. Jahr nach dem Umbruch eine weitere Abnahme in der C-Menge der Erntereste.

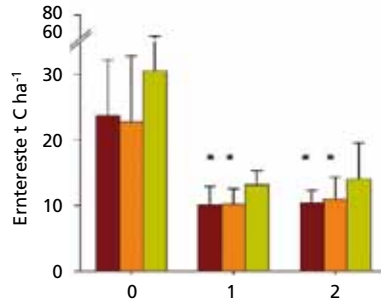
Die Mikrobielle Biomasse (C_{mik}) betrug unmittelbar nach dem Umbruch auf allen Flächen zwischen 1.000 und 2.000 kg ha^{-1} und nahm innerhalb eines Jahres im Mittel der Frästiefen um 800 kg ha^{-1} auf beiden Flächen am Georgenhof und um 400 kg ha^{-1} in Wachstum ab (Tabelle 3). Sinkende C_{mik} -Gehalte im Boden können ein erster Indikator für Veränderungen im gesamten organischen Bodenkohlenstoff sein und sind hier auf die Abnahme leicht abbaubarer organischer Verbindungen, die infolge der Bodenbearbei-

tung während des Umbruchs für die Mikroorganismen verfügbar wurden, zurückzuführen. Dies wird auch an einem sinkenden Cmik/Corg-Verhältnis deutlich. Im 2. Jahr nach dem Umbruch war auf beiden Flächen am Georghof eine leichte Zunahme der mikrobiellen Biomasse sowie des Cmik/Corg Verhältnisses festzustellen. Möglicherweise profitierten die Mikroorganismen von den, gegenüber den holzigen Ernteresten, leichter abbaubaren Pflanzenresten der beiden Nachfolgekulturen.

Georghof Weide



Georghof Pappel



Wachtum Pappel

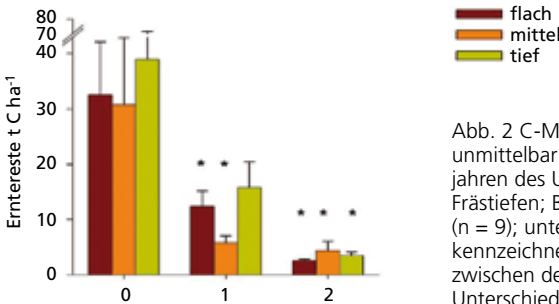


Abb. 2 C-Mengen der Erntereste > 2 mm unmittelbar und in den beiden Folgejahren des Umbruchs der KUPs mit drei Frästiefen; Balken zeigen Standardfehler (n = 9); unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Frästiefen; * signifikanter Unterschied zum Jahr 0 (P < 0,05)

Veränderungen im C-Gehalt des Bodens lassen sich nur schwer im Gesamtkohlenstoffgehalt des Mineralbodens nachweisen. Daher wurde die Verteilung des C in den Fraktionen der wasserstabilen Aggregate untersucht. Innerhalb eines Jahres nach dem Umbruch nahm an allen Standorten der mit Makroaggregaten assoziierte C auf den Ackerparzellen um rund 9% ab, wobei keine Unterschiede zwischen den Frästiefen auftraten. Die Bodenbearbeitung der Ackerparzellen führte zu einer Zerstörung der Makroaggregate und ging mit einem Anstieg der Mikroaggregate einher, da diese aus den Makroaggregaten freigesetzt wurden (Abb. 3). Demgegenüber zeigte sich durch die ausbleibende Bodenbearbeitung unter Grünlandnutzung auf beiden Flächen am Georghof keine weitere Abnahme des C in den Mak-

roaggregaten. In Wachstum nahm der mit dem Makroaggregaten assoziierte C nicht nur unter Acker, sondern auch unter Grünland um 11% innerhalb eines Jahres aufgrund der geringeren Aggregatbildung des sandigen Bodens ab. Dies liegt vor allem darin begründet, dass an diesem Standort sehr hohe Mengen organischer Substanz sehr schwach an geringe Mengen Mineralpartikel gebunden sind und daher leichter abgebaut werden können. Somit ist neben der humifizierten organischen Substanz auch die physikalische Stabilisierung der Erntesterne an diesem Standort als sehr gering einzustufen.

Tab. 3: Mengen an mikrobieller Biomasse C (C_{mik}) und C_{mik}/C_{org}-Verhältnis des Mineralbodens (0-30 cm) unmittelbar und in den beiden Folgejahren des Umbruchs der KUPs mit drei Frästiefen

	Mikrobielle Biomasse (C kg/ha) Jahr nach Umbruch			C _{mik} /C _{org} Jahr nach Umbruch		
	0	1	2	0	1	2
Georgenhof Weide						
Flach	1557 a	962 a	1659 a	2,0 a	1,2 ab*	1,97 a
Mittel	1769 a	1213 a*	1772 a	2,3 a	1,5 a*	2,07 a
Tief	2099 a	745 a*	1686 a	2,5 a	0,9 b*	2,00 a*
Georgenhof Pappel						
Flach	2261 a	1196 a*	1968 a	2,8 a	1,6 a*	2,30 a
Mittel	1864 a	1425 a	1720 a	2,4 a	2,0 a	2,07 a*
Tief	2022 a	1036 a	1683 a	2,3 a	1,4 a	2,30 a
Wachstum Pappel						
Flach	1495 a	861 a*	789 a*	1,4 a	0,8 a*	0,8 a*
Mittel	1015 a	1159 a	804 a*	1,0 a	1,1 a	0,8 a*
Tief	1774 a	1012 a	625 a*	1,6 a	0,8 a*	0,8 a*
CV (± %)	31	27	23	28	26	33

CV = mittlerer Variationskoeffizient zwischen den Wiederholungen (n = 3); unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Frästiefen im jeweiligen Jahr; * signifikanter Unterschied zum Jahr 0 (P < 0,05)

Zur Beurteilung des Einflusses der mineralischen N-Gehalte auf die Mineralisierung der Erntereste wurde ein Inkubationsexperiment durchgeführt, in dem Wurzel- und Kronenstreu (CN 94 und 285) unterschiedlicher Partikelgrößen (1-5 mm und <1 mm) verglichen wurde [11]. Die Ergebnisse der kumulativen C-Mineralisierung der Streureste zeigten, dass nach 42-tägiger Inkubation im Mittel 29% der Kronen- und 27% der Wurzelstreu abgebaut wurden. Trotz des deutlich geringeren C/N-Verhältnisses der Wurzelstreu unterschied sich die Mineralisierung der Kronen- und Wurzelstreu ohne N-Zugabe nicht. Die N-Zugabe erhöhte die kumulative C-Mineralisierung der Kronenreste von 26% ohne N-Zugabe auf 29% mit N-Zugabe, wohingegen die C-Mineralisierung der Wurzelstreu nicht durch eine erhöhte N-Verfügbarkeit beeinflusst wurde. Beide Beobachtungen werden mit der biochemischen Struktur der Wurzel und dadurch geringeren Abbaubarkeit [12] erklärt.

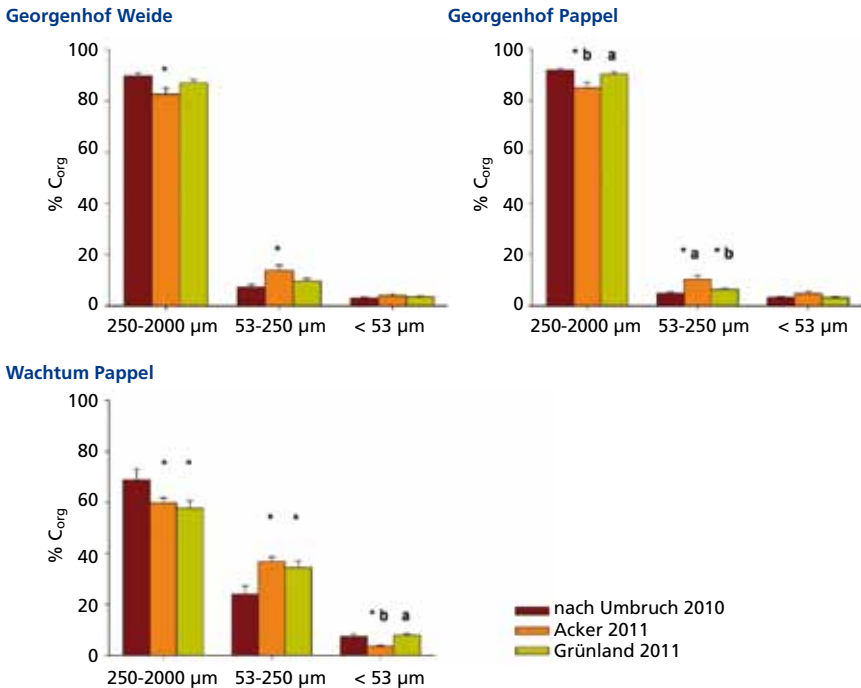


Abb. 3 Anteil der Aggregatfraktionen des Mineralbodens (0-30 cm) zum Gesamtbodenkohlenstoff (C_{org}) unmittelbar und ein Jahr nach der Rückführung der Flächen in Acker- und Grünland gemittelt über alle drei Frästiefen, Fehlerbalken zeigen Standardfehler ($n = 9$), * signifikanter Unterschied zwischen den Jahren, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen Acker und Grünland ($P < 0,05$)

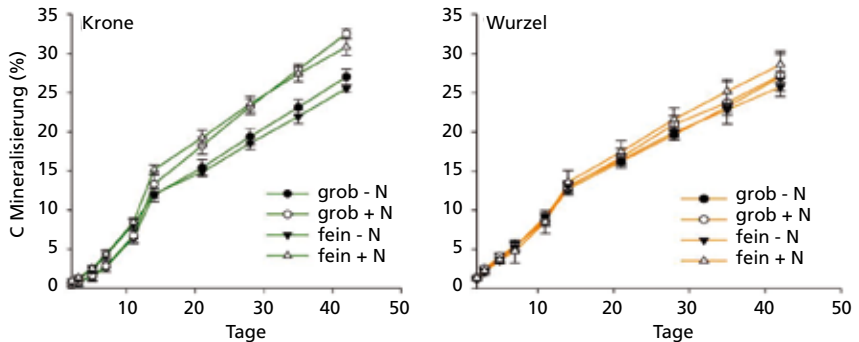
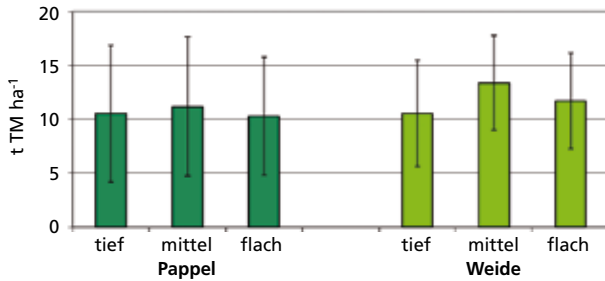


Abb. 4 kumulative Netto C-Mineralisierung von Kronen- und Wurzelstreu in zwei Partikelgrößen ohne (schwarze Symbole) und mit N-Zugabe (weiße Symbole) ($20 \mu\text{g NH}_4\text{NO}_3\text{-N g}^{-1}$) während der 42-tägigen Inkubation, Fehlerbalken zeigen Standardfehler ($n = 4$)

Die Einarbeitung der Kronen- und Wurzelstreu führte in allen Varianten zu einer N-Immobilisierung und war für feiner gemahlene Streureste höher als für größere Partikel. Beim Abbau holzreicher Erntereste konnte im Inkubationsversuch eine N-Immobilisierung nachgewiesen werden.

2.4 Auswirkungen des Umbruchs auf Ertragsleistung auf Acker- und Grünland

Für die Realisierung in der Praxis und für die Beurteilung der Ertragsleistung in Abhängigkeit von der Frästiefe ist zunächst aus den Versuchen am Georgenhof und in Wachstum festzustellen, dass bei allen Umbruchtiefen eine ackerbaulichen Nutzung mit den Geräten, die zur Minimalbestelltechnik konzipiert sind, uneingeschränkt möglich ist und ohne Zusatzkosten realisiert werden kann. Dies gilt ebenso für die nachfolgenden Pflege- und Erntearbeiten. Auch bei einer Ansaat der Flächen mit Gräsern und Nutzung als Grünland ist die Praktikabilität gegeben-, sowie die Grasernte uneingeschränkt möglich, wenn nach dem Umbruch die eventuell an der Bodenoberfläche verbliebenen groben Wurzelstücke als potenzielle Störquelle für die Erntegeräte entfernt werden. Sie können z. B. vor der Saat mittels Egge zu Schwaden zusammengezogen und von der Fläche abtransportiert werden.



Vornutzung (Baumart) und Frästiefe beim Umbruch

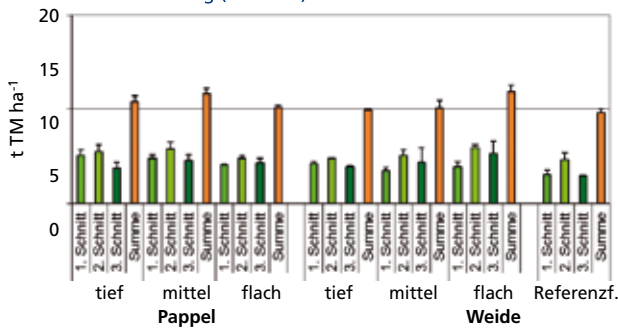
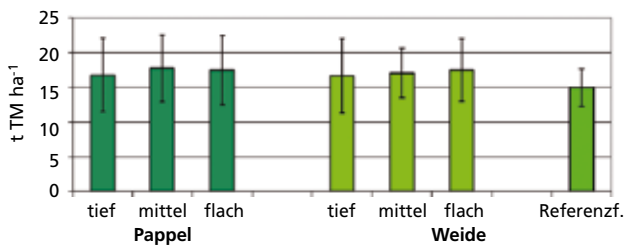


Abb. 5 Trockenmasseertrag (t TM ha⁻¹) von Mais (oben) und Gras (in drei Schnitten und Jahressumme; unten) am Standort Georgenhof in Abhängigkeit von der Vornutzung und Frästiefe sowie auf der Referenzfläche im Mittel der Jahre 2010-2012, Fehlerbalken zeigen Standardfehler (n = 3)



Vornutzung (Baumart) und Frästiefe beim Umbruch

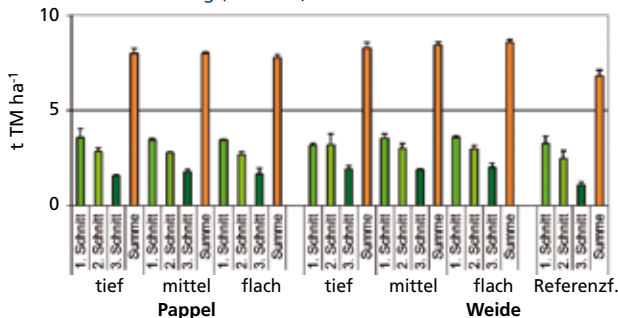


Abb. 6 Trockenmasseertrag (t TM ha⁻¹) von Mais (oben) und Gras (in drei Schnitten und Jahressumme; unten) am Standort Wachtum in Abhängigkeit von der Vornutzung und Frästiefe sowie auf den Referenzflächen im Mittel der Jahre 2010-2012, Fehlerbalken zeigen Standardfehler (n = 3)

Die Ertragsleistungen, die auf den Ackerflächen mit Mais und auf den neu angelegten Grünlandflächen mit Gras mit drei Schnitten in Abhängigkeit von der Umbruchtiefe erzielt wurden, sind in Abb. 5 für den Versuchsstandort Georgenhof und in Abb. 6 für den Versuchsstandort Wachstum im Mittel der drei ersten Versuchsjahre dargestellt. An beiden Standorten führte eine Reduktion der Umbruchtiefe im Vergleich zum tiefen Umbruch sowohl beim Acker als auch beim Grünland zu keiner Ertragsminderung. Eine solch vorsichtige Interpretation der Versuchsergebnisse ist zunächst aufgrund großer Streuungen, insbesondere in den Maiserträgen, angezeigt. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass auf dem Ackerland die Versuchsergebnisse nur mit Mais gewonnen wurden und allgemein eine im Vergleich zur Praxis geringere Nährstoffversorgung der Pflanzen gewählt wurde, um mikrobielle Prozesse im Boden nach dem Umbruch möglichst wenig zu beeinflussen. Vor diesem Hintergrund werden die Untersuchungen für weitere drei Jahre unverändert fortgeführt, um die Prozesse im Boden in Abhängigkeit von der Umbruchtiefe und Nutzungsform weiter prüfen zu können und die Erträge in den Folgejahren weiter miteinander vergleichen zu können.

3. Zusammenfassung

Im KURZUM Projekt wurde in einem Feldversuch auf drei langjährig als KUP bewirtschafteten Flächen untersucht, wie sich unterschiedliche Bodenbearbeitungstiefen (5, 15 und 30 cm) während der Rückführung der KUPs in Acker- und Grünlandnutzung auf die C-Dynamik im Boden und die Erträge der Nachfolgekulturen auswirken. Im Mittelpunkt stand dabei die Überprüfung der Annahme, ob durch eine reduzierte Bodenbearbeitung die Mineralisierung von organischer Bodensubstanz gemindert werden kann und dies aus pflanzenbaulicher Sicht auch in der Praxis umsetzbar erscheint.

Die Untersuchung vor Umbruch der KUPs zeigte, dass mehr als 90% der unterirdischen organischen Kohlenstoffmenge langjährig bewirtschafteter KUPs im Mineralboden und weniger als 10% in der Wurzelbiomasse gespeichert ist. Die langjährige Bodenruhe und der hohe Streueintrag führten zur Herausbildung deutlicher Tiefengradienten der mikrobiellen Biomasse und des organischen Bodenkohlenstoffs. Nach der letzten Holzernte verblieben hohe Mengen an grob zerkleinerten Kronen- und Stammresten auf den Flächen, die während des Umbruchs der KUPs in den Boden eingearbeitet wurden. Dies führte dem Boden, neben der in der zerkleinerten Wurzelbiomasse gespeicherten C-Menge, im Mittel rund 14 t ha⁻¹ an zusätzlichem C zu. Bereits ein Jahr nach der Rückführung der KUPs in landwirtschaftliche Nutzung deuten sich C-Verluste aus den labilen Bodenfraktionen, wie der leichten organischen Fraktion, der mikrobiellen Biomasse sowie der Makroaggregate

an. Dies schlug sich aber sowohl im 1. als auch im 2. Folgejahr des Umbruchs nicht auf den Gesamtkohlenstoffgehalt des Mineralbodens nieder. Es ließ sich kein Einfluss der unterschiedlichen Frästiefen auf die C-Fractionen im Mineralboden feststellen, so dass sich im Hinblick auf die anfangs gestellte Annahme einer verringerten C-Mineralisierung durch reduzierte Bodenbearbeitung noch keine Aussage treffen lässt. Die ausbleibende Bodenbearbeitung unter Grünlandnutzung resultierte am Standort Georgenhof jedoch in einer besseren Stabilisierung des C in Makroaggregaten. Eine Quantifizierung des Abbaus der Erntesterne in Abhängigkeit der Einarbeitungstiefe oder Nachnutzung wurde durch die sehr heterogene Einarbeitung in den Boden erschwert. Im Inkubationsversuch wurde das hohe N-Immobilisierungspotential der eingearbeiteten Erntesterne zu Beginn des Abbaus nachgewiesen, was durch eine zusätzliche mineralische N-Zugabe weiter anstieg.

Der Anbau der Pflanzen erfolgte in allen drei Jahren mit reduzierter N-Versorgung, um die Abbau- und Umbauprozesse von organischer Substanz im Boden in Abhängigkeit von der Umbruchtiefe und Folgenutzung unbeeinflusst prüfen zu können. Die ermittelten Erträge wiesen eine hohe Variabilität zwischen den Wiederholungen auf. Unterschiede zwischen den Varianten, die in den einzelnen Jahren gegeben waren, konnten daher nicht statistisch abgesichert werden. Die Ertragsunterschiede waren aber in den drei Jahren nicht gleichgerichtet, sodass im Mittel der drei Jahre keine signifikanten Ertragsunterschiede in Abhängigkeit von der Bearbeitungstiefe auf Ackerland mit Mais und auf dem Grünland festzustellen waren.

4. Literatur

[1] Knust C (2009) Kurzumtriebsplantagen - Stand des Wissens. In: Reeg T, Bennmann A, Konold W, Murach D, Spiecker H (Hrsg.) Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Seiten 3–8. Wiley-VHC, Weinheim

[2] Dimitriou I, Baum C, Baum S, Busch G, Schulz U, Köhn J, Lamersdorf N, Leinweber P, Arons-son P, Weih M, Berndes G (2009) The impact of Short Rotation Coppice (SRC) cultivation on the environment. *Landbau-forschung - vTi Agriculture and Forestry Research* 59: 159–162

[3] Kauter D, Lewandowski I, Claupein W (2003) Quantity and quality of harvestable biomass from *Populus* short rotation coppice for solid fuel use - a review of the physiological basis and man-agement influences. *Biomass Bioenergy* 24:411–427

[4] Kahle P, Baum C, Boelcke B, Kohl J, Roland U (2010) Vertical distribution of soil properties under short-rotation forestry in Northern Germany.

J Plant Nutr Soil Sci 173:737–746

- [5] Jug A, Makeschin F, Rehfuss KE, Hofmann-Schielle C (1999) Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. III. Soil ecological effects. *Forest Ecol Manag* 121:85-99
- [6] Grogan P, Matthews R (2002) A modelling analysis of the potential for soil carbon sequestration under short rotation coppice willow bioenergy plantations. *Soil Use Manag* 18:175–183
- [7] Kushwaha CP, Tripathi SK, Singh KP (2001) Soil organic matter and water-stable aggregates under different tillage and residue conditions in a tropical dryland agroecosystem. *App Soil Ecol* 16: 229–241
- [8] Tönshoff C., Jörgensen, RG., Stülpnagel, R, Wachendorf C. (2013): Carbon in plant biomass and soils of poplar and willow plantations – implication for C distribution after re-conversion to arable land. *Plant Soil* 367: 407–417
- [9] Tönshoff C., Jörgensen, RG., Stülpnagel, R, Wachendorf C. (2013): Dynamics of soil organic carbon fractions one year after the re-conversion of poplar and willow plantations to arable use and grassland. *Agroecosystems and environment* 174: 21– 27
- [10] Sanchez FG, Coleman M, Garten CT, Luxmoore RJ, Stanturf JA, Trettin C, Wulschleger SD (2007) Soil carbon, after 3 years, under short-rotation woody crops grown under varying nutrient and water availability. *Bio-mass Bioenergy* 31:793–801
- [11] Tönshoff C., Jörgensen, RG., Stülpnagel, R, Wachendorf C. (2013): Initial decomposition of post-harvest crown and root residues of poplars as affected by N availability and particle size. *In press: Bio Fertil Soils* DOI 10.1007/s00374-013-0882-7
- [12] Abiven SRS, Reyes V, Oliver R (2005) Mineralisation of C and N from root, stem and leaf - residues in soil and role of their biochemical quality. *Biol Fertil Soils* 42:119–128

Schutzstreifen mit schnell wachsenden Gehölzen zur Erosionsminderung und Kohlenstoffsequestrierung in ausgeräumten Landschaften

Laufzeit: 2010 bis 2014

*Prof. Dr. Dieter Murach, Holger Hartmann, Rainer Schleppehorst,
Markus Schmidt*

*Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Fachbereich
für Wald und Umwelt*

1. Einleitung und Zielsetzung

Im PIK Report No. 83 (GERSTENGARBE et al. 2003) wird die klimatische Entwicklung in Brandenburg bis zum Jahr 2055 und deren Auswirkungen zusammengefasst. Im Hinblick auf die Bewertung von Wetterextremen halten es die Autoren für wahrscheinlich, dass auch in Brandenburg vermehrt Stürme im Winter und Starkregenereignisse im Sommer auftreten werden, die zu einer höheren Hochwassergefährdung führen können. Aufgrund des Klimawandels und der standörtlichen Verhältnisse erhöht sich damit in Brandenburg für die Landwirtschaft das Risiko für Wind- und Wassererosion. In Brandenburg werden bereits jetzt schon 75% der Ackerflächen als mittel- bis hoch gefährdet gegenüber Winderosion betrachtet (RICHTER & GENTZEN, 2011). Es droht ein vermehrter Verlust an organischer Substanz im Boden und damit auch eine Abnahme der Bodenfruchtbarkeit, da die organische Substanz für die Nährstoff- und Wasserspeicherefähigkeit der Brandenburger Sandböden eine große Bedeutung hat.

Ziel des vorliegenden Vorhabens war der Nachweis, dass durch einen streifenförmigen Anbau von schnellwachsenden Gehölzen im Kurzumtrieb auf einer windexponierten Ackerfläche in Brandenburg neben dem Erosionsschutz auch eine Sequestrierung von Kohlenstoff im Boden, die Strukturierung der Landschaft sowie eine Erhöhung der Biodiversität und eine Verbesserung des Mikroklimas erreicht werden kann. Darüber hinaus sollte untersucht werden, ob die energetische Nutzung der schnell wachsenden Hölzer eine wirtschaftliche Alternative zum Anbau einjähriger Kulturpflanzen darstellt. Aus den Projektergebnissen sollen allgemein gültige Empfehlungen für die Praxis abgeleitet werden.

2. Material und Methoden

Dazu wurde eine streifenförmige Kurzumtriebsplantage (KUP) bei Casekow, im Nordosten des Landkreises Uckermark im Frühjahr 2010 durch die Cho-

ren Industries GmbH im Rahmen des OPTFUEL Projektes etabliert (Standort Blumberg3). Ab 2011 erfolgte die weitere Bewirtschaftung des Bestandes durch den Flächeneigentümer, die Randow Welse GmbH & Co. Agrarproduktions KG. Der Gehölzstreifen ist zweigeteilt, unterbrochen durch ein Feldsoll (vgl. Abbildung 1). Jeder Einzelstreifen weist eine Breite von etwa 40 m und eine Länge von etwa 350 m auf. Der Bestand zerteilt einen ca. 90 ha großen, konventionell genutzten Acker Schlag mit einer Ackerzahl von etwa 30, in Nord-Süd-Richtung. Hauptwindrichtung ist Westen.

Abb. 1: Lage und Abgrenzungen des Windschutzstreifens nordwestlich von Casekow. Koordinaten des Gehölzstreifens sind: 53.221050,14.169680. Quelle: www.bing.com (31.01.2014)



Bei der Anlage des Bestandes wurden unterschiedliche Baumarten und -klo-
ne, sowie unterschiedlichen Pflanzverbände berücksichtigt (vgl. Tabelle 1).
Ziel war es, den Mittelteil des Streifens mit Pappeln in einer längeren Um-
triebszeit zu bewirtschaften als seine Ränder. Die Randbereiche mit Pappeln
und Weiden sollten nach 3 bis 4 Jahren geerntet werden, während die Pap-
peln im Mittelteil des Bestandes mit einem Pflanzverband von 2x1m für eine
längere Bewirtschaftungsrotation vorgesehen waren (5 bis 8 Jahre), um auf-
grund ihrer dann größeren Höhen einen stärkeren Windschutzeffekt auf der
in Lee angrenzenden Ackerfläche zu bewirken. Die Pflanzverbände wurden

dementsprechend an die innerhalb der Rotationszeiten voraussichtlich erzielbaren Baumdimensionen angepasst. Darüber hinaus erfolgt ein Wechsel in der Anordnung der verschiedenen Arten und Klone im Rand und Kernbereich des Bestandes (vgl. Abbildung 2).

Tab.: 1: Verwendete Baumarten, Klone und Pflanzverbände im Gehölzstreifen

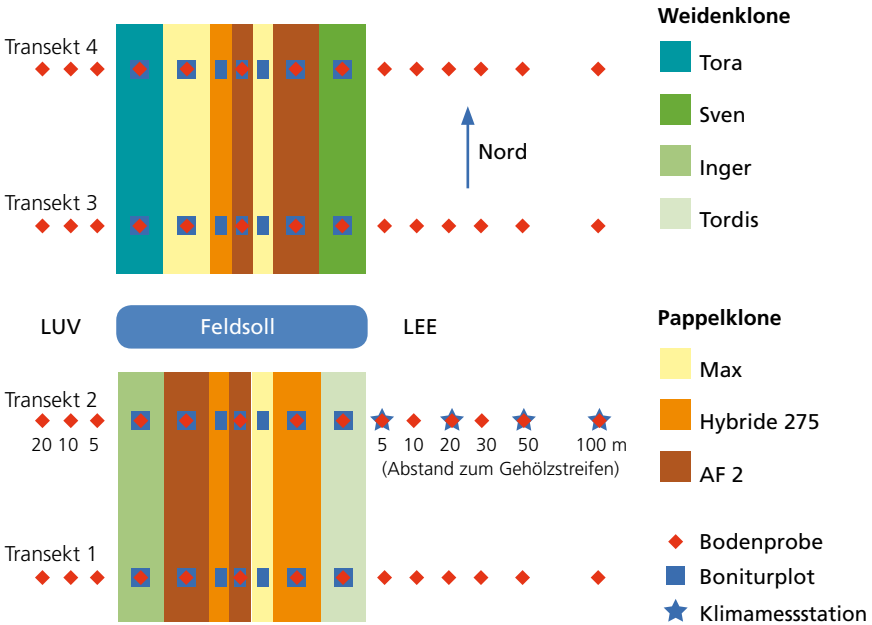
Art	Klon	Pflanzverband	Pflanzdichte	Umtriebszeit
Pappel	Max (Klonmischung), Hybride 275, AF 2	Einzelreihe; 2 x 1 m	5.000 Bäume pro ha	5 bis 8 Jahre
	Max (Klonmischung), Hybride 275, AF 2	Doppelreihe; 0,75/ 1,8 m x 0,8 m	9.800 Bäume pro ha	3 bis 4 Jahre
Weide	Tora, Tordis, Inger, Sven	Doppelreihe; 0,75/ 1,8 m x 0,6 m	13.070 Bäume pro ha	3 bis 4 Jahre

Für die Durchführung von Zeitreihenuntersuchungen wurden vier permanente Transekte quer zu den Streifen eingerichtet (vgl. Abbildung 2). Die Transekte queren jeweils alle Arten und Klone, sodass eine vergleichende Betrachtung von Plots mit annähernd gleichen Standortverhältnissen im selben Transekt möglich ist.

Der Boden wurde im Herbst 2010 auf allen vier Transekten im Hinblick auf seinen Kohlenstoffgehalt an insgesamt 56 Punkten in Luv und Lee und im Streifen selbst, bis zu einer Tiefe von 100 cm beprobt. Es erfolgte eine Bestimmung der organischen Bodensubstanz und des organischen Kohlenstoffgehaltes mit Hilfe des Glühverlustes an einer Mischprobe aus 3 Einstichen mit einem Pürckhauer-Bohrstock.

In den Jahren 2011, 2012 und 2013 wurden nach Abschluss der Vegetationsperiode ertragskundliche Untersuchungen in den Plots auf den vier Transekten durchgeführt. Mit Hilfe von klonspezifischen Biomassefunktionen, die von der Arbeitsgruppe im Projekt BIODER erarbeitet wurden, konnten aus diesen Daten die Zuwachseleistungen der einzelnen Klone berechnet werden. Der Ertrag der annualen Kulturen auf dem Acker östlich des Gehölzstreifens wurde vom Agrarbetrieb bei der Ernte automatisch erfasst und dem Projekt bereitgestellt.

Abb. 2: Anordnung der Baumarten und Klone, sowie Lage der Bodenproben, Boniturplots und Klimamessstationen auf den Transekten.



Vier Klimamessstationen wurden in Abständen von 5, 20, 50 und 100 m auf dem Ackerschlag auf der windabgewandten Seite von Transekt 2, östlich des Gehölzstreifens installiert. Windgeschwindigkeit und -richtung wurden an jeder Station erfasst, die Niederschlagsmenge und die Globalstrahlung nur an der Station in 20 m Entfernung zum Gehölzstreifen (s. Abbildung 3).

Abb. 3: Drei der vier Klimastationen östlich des Windschutzstreifens (vorn in 20 m Entfernung vom Rand der KUP mit Niederschlagsmesser, im Hintergrund die Stationen in 50 und 100 m Entfernung vom Rand der KUP).

Im Rahmen des Projekts ZIM AgroForst wurde detaillierter untersucht, welchen Einfluss der Windschutzstreifen auf den Wasserhaushalt der angrenzenden annuellen Kulturen hat und ob er deren Erträge beeinflusst (MURACH et al. 2014).

Dazu wurden Standrohre für FDR-Sonden (AP1.7) in der Nähe der Klimastationen in 10 m, 20 m, 50 m, 100 m sowie in dem Windschutzstreifen selbst und an der Grenze von KUP und Acker (0 m) installiert. Außerdem wurden Temperatur-, Luftfeuchte- und Bodenfeuchtefühler in der Nähe der Klimastationen angebracht. Weiterer Strahlungssensoren wurden in 0 m und 10 m Entfernung zur KUP installiert, um den Schattenwurf der KUP zu erfassen.

3. Ergebnisse

3.1 Gehalt an organischem Kohlenstoff im Oberboden

Bei der Analyse der Bodenproben vom Herbst 2010 konnten für 0 bis 100 cm Tiefe Ausgangswerte an organischem Kohlenstoff von 0,64 % bis 1,51 % ermittelt werden.

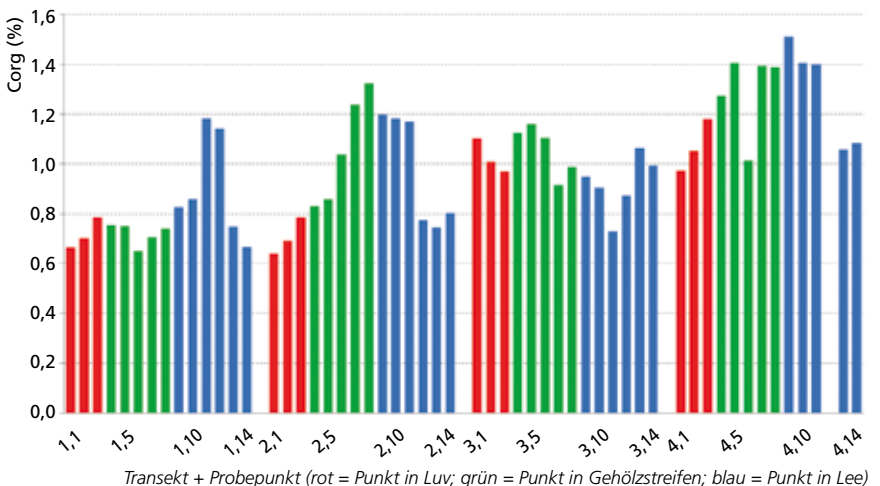


Abb. 4: Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden (0-100 cm) für die Probepunkte auf den vier Transekten im Gehölzstreifen und auf den benachbarten Ackerflächen im Herbst 2010.

3.2 Wachstum der Bäume

Die Anwuchsrate bei der Etablierung des KUP-Windschutzstreifens im Jahr 2010 lag bei allen Klonen bei fast 100%. Nur bei der Pappelsorte AF 2 traten stärkere Ausfälle auf, was im Wesentlichen auf eine schlechte Qualität der

Steckhölzer zurückzuführen war. Die nachträglichen Ausbesserungen konnten die Lücken bei diesem Klon nicht schließen, was sich deutlich auf die Erträge der Folgejahre ausgewirkt hat.

Die Weiden weisen nach vier Jahren die höchsten oberirdischen Biomassevorräte auf, was vor allem auf die im Vergleich zu den Pappeln wesentlich engeren Pflanzverbände (ca. 13.000 Stck ha⁻¹) zurückzuführen ist. Die durchschnittlichen jährlichen Zuwächse liegen bei den Weiden bereits nach der ersten Rotationsperiode bei 7 – 10 t TM ha⁻¹ a⁻¹ (vgl. Abbildung 5). Die höchsten Erträge zeigt der Weidenklon Tora mit etwa 10 t TM ha⁻¹ a⁻¹. Diese Erträge sind für die erste Rotation als hoch einzustufen, da erfahrungsgemäß die Erträge der zweiten Rotation, die nicht mehr durch die Etablierungsphase beeinflusst werden, deutlich höher liegen.

Insbesondere bei den Weidenklonen Inger und Tordis gibt es keine Unterschiede mehr bei den durchschnittlichen Gesamtzuwächsen nach dem 3. und 4. Jahr. Das deutet darauf hin, dass der laufende Zuwachs schon innerhalb der ersten drei Jahre kulminiert ist, worauf auch das bereits einsetzende Absterben von Seitenzweigen bei den Weiden hindeutet. Für die Weide hat die Ernte im Februar 2014 somit zum richtigen Zeitpunkt stattgefunden.

Ertrag Blumberg3 (WSS), 1. Rotation, 3. und 4. Wuchsjahr

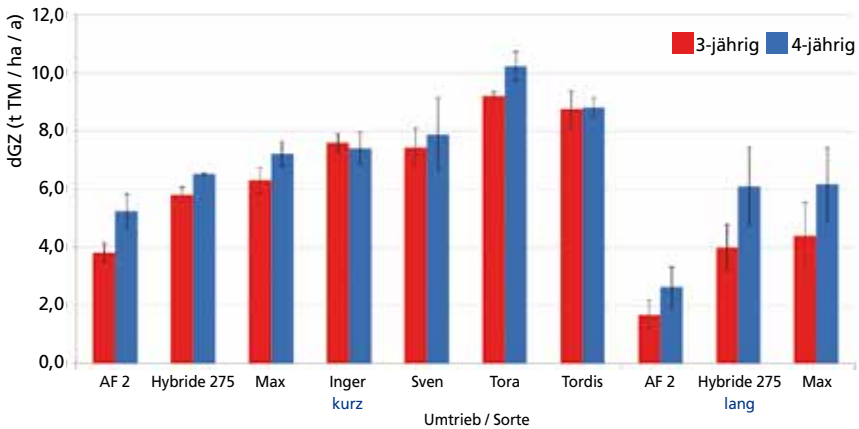


Abb. 5: Mittlere durchschnittliche Gesamtzuwächse der Baumarten und -klone im Gehölzstreifen nach 3 bzw. 4 Jahren Wachstum (zu den zugehörigen Pflanzverbänden und Umtriebszeiten siehe Tabelle 1).

Die Pappeln erreichen im kurzen Umtrieb mit durchschnittlichen jährlichen Gesamtzuwächsen von 5 – 7 t TM ha⁻¹ a⁻¹ nicht die Erträge der Weiden. Dies liegt u.a. an der geringeren Pflanzenzahl (9.800 Stck. ha⁻¹) als auch an der späteren Zuwachskulmination der Pappeln im Vergleich zu den Weiden. Im 4. Wuchsjahr wurde der durchschnittliche Gesamtzuwachs bei allen drei Pappelsorten noch gesteigert. Die Ernte erfolgte daher bei der Pappel vor der Kulmination des Gesamtzuwachses.

Beim längeren Umtrieb der Pappel ist die Steigerung der durchschnittlichen jährlichen Gesamtzuwächse vom 3. zum 4. Wuchsjahr noch deutlicher. Dies lässt erwarten, dass auch noch in den nächsten Jahren mit steigenden durchschnittlichen jährlichen Gesamtzuwächsen zu rechnen ist. Dies ist vor allem auf die geringere Pflanzenzahl (5.000 Stck. ha⁻¹) zurückzuführen. Hier wurde der Standraum nach 3 Jahren von den Bäumen noch nicht voll erschlossen. Im 4. Wuchsjahr befinden sich die Pappelklone Max (Klonmischung) und Hybride 275, die im Pflanzjahr keine Ausfälle aufwiesen, im Langumtrieb mit ca. 6 t TM ha⁻¹ a⁻¹ auf fast dem gleichen Ertragsniveau wie die Pappeln im Kurzumtrieb, die mit höheren Stückzahlen begründet wurden. Das weist auf ein stärkeres Einzelbaumwachstum im weiteren Verband hin.

3.3 Mikrometeorologische Messungen auf der windabgewandten Seite des Windschutzstreifens

Der Wind kam für den Zeitraum 27.03.2012–16.09.2013 zu 46–56 % der Zeit aus einer Richtung, bei der aufgrund der Ausrichtung der Kurzumtriebsplantage ein Lee-Effekt auf die Ackerfläche zu erwarten ist (181–339° für die verwendeten Windrichtungsgeber, welche die Windrichtung in 16 Sektoren von je 22,5° angeben; Tabelle 2).

Tab. 2: Häufigkeiten der Windrichtungen, bei denen die KUP potenziell einen Lee-Effekt auf die angrenzenden annuellen Kulturen haben sollte (181–339°). 11290 Datenpunkte (Halbstundenwerte).

Windrichtungsklassen	Relative Häufigkeiten			
	Lee_5m	Lee_20m	Lee_50m	Lee_100m
181–339°	0,55	0,56	0,49	0,46
0-159°	0,45	0,44	0,51	0,54

Für diese Westwinde war die Windgeschwindigkeit in 5 m Entfernung von der KUP am deutlichsten reduziert, nämlich im Durchschnitt um 2/3 auf 1,2 m s⁻¹ (im Vergleich zu dem Maximalwert von 3,6 m s⁻¹ für 50 m Entfernung

von der KUP). In 20 m Entfernung von der KUP war die Windgeschwindigkeit noch um etwa 25 % reduziert (s. Abb. 6), in 50 m Entfernung lag bereits das Maximum der gemessenen Windgeschwindigkeiten, so dass ein Einfluss des Windschutzstreifens nur bis maximal 50 m Entfernung von der KUP deutlich erkennbar ist. Bei Ostwinden ist ein Effekt nur im unmittelbaren Randbereich der KUP auszumachen.

Blumberg 3, NE-Brandenburg 2013

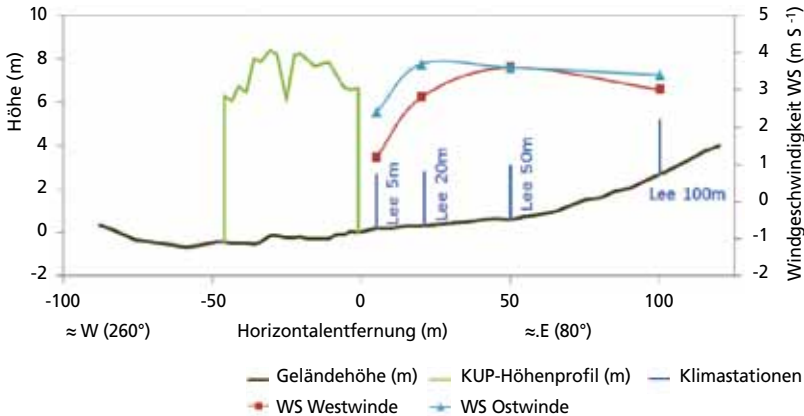


Abb. 6: Durchschnittliche Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Windrichtung und Entfernung von der KUP. Die Höhen der Bäume wurden im September 2013 aufgenommen.

Die Abbildung 7 zeigt weitere mikrometeorologische Größen in Abhängigkeit von der Entfernung zum Rand der KUP.

Die niedrigste absolute Tagestiefsttemperatur in der Vegetationszeit wurde mit (-1,9)°C am 04.05.2013 in 20 m Entfernung vom Rand der KUP gemessen, in unmittelbarer Nachbarschaft zur KUP die höchste (-0,8 °C), in 5 und 10 m Entfernung intermediäre Werte. In 100 m Entfernung zur KUP betrug die absolute Tagestiefsttemperatur -1,4 °C. Allein aufgrund der Topographie wäre die tiefste Temperatur am Rand der KUP (bzw. in der KUP) zu vermuten gewesen. Die KUP bot also bis etwa 10 m auf den Acker hinaus nächtlichen Ausstrahlungsschutz für die Ackerkultur.

Für das Maximum der Tageshöchsttemperatur wurde direkt neben der KUP (0 m) der niedrigste Wert beobachtet (35,4 °C), in größeren Entfernungen lagen die Werte zwischen 37,3 und 37,6 °C. Die mittlere Tageshöchsttemperatur war mit 25,6 °C in 5 m Entfernung vom KUP-Rand am höchsten und nahm sowohl zur KUP hin als auch auf die Ackerfläche hinaus ab auf etwa 24,7 °C. Der niedrigste Wert wurde in 100 m Entfernung gemessen

(24,4 °C). So reduzierte die KUP also die Temperatur auf der Ackerfläche in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft wohl durch Beschattung, wohingegen die höhere mittlere Tageshöchsttemperatur in 5 m durch Windstau im Lee der KUP verursacht worden sein könnte.

Blumberg3, Winterweizen 2013

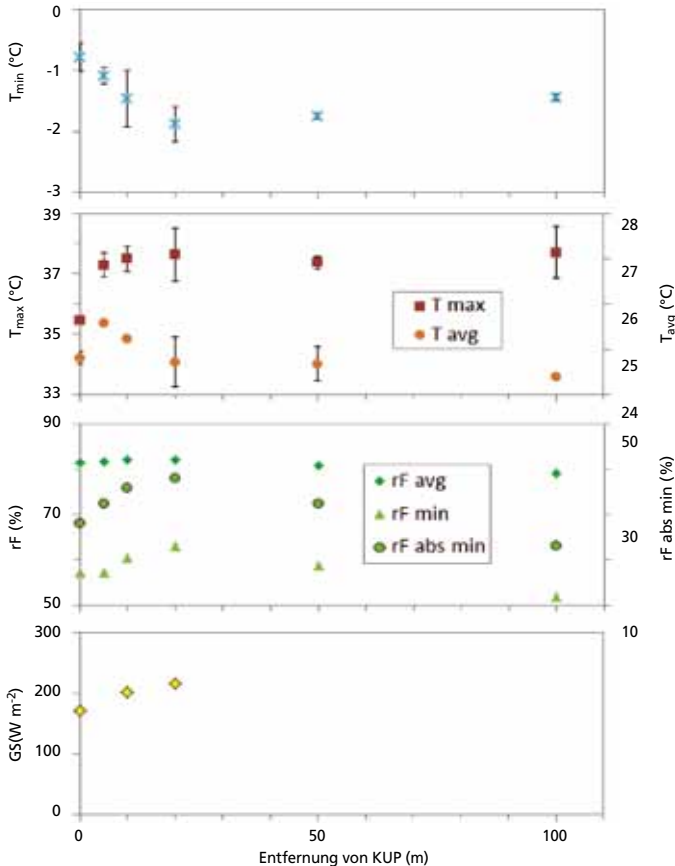


Abb. 7: Mikrometeorologische Bedingungen über dem Winterweizenfeld in Abhängigkeit von der Entfernung zum Rand der KUP.

(Minimum der Tagestiefsttemperatur (T_{min}), Tageshöchsttemperatur: maximale (T_{max}) und mittlere (T_{avg} ; rechte Ordinate), relative Luftfeuchtigkeit: Tagesdurchschnitt (rF_{avg}), mittleres Tagesminimum (rF_{min}), absolutes Tagesminimum ($rF_{abs\ min}$; rechte Ordinate), sowie Tagesmittel der Globalstrahlung (GS, nur 3 Sensoren), Blumberg3 vom 24.04.–31.07.2013. Balken sind ± 1 Standardabweichung wo mehr als ein (Temperatur-) Fühler installiert war.)

Das Tagesmittel der relativen Luftfeuchtigkeit unterschied sich bis in 20 m Entfernung vom KUP-Rand kaum (81,4-82,1 %) und nahm in 50 m (80,8 %)

und 100 m (79,1 %) zunehmend ab. Das mittlere Tagesminimum der relativen Luftfeuchtigkeit war in 20 m Entfernung am höchsten (63,0 %) und nahm in beide Richtungen ab, mit minimalen 51,8 % in 100 m Entfernung. Das absolute Tagesminimum zeigte denselben Trend. Eine reduzierte Luftfeuchtigkeit bei gleichzeitig meist reduzierter Temperatur nahe der KUP könnte durch niedrigere Transpirationsraten aufgrund von Bodentrockenheit begründet sein. Die Globalstrahlung nahm im Tagesmittel von 20 m Entfernung zum Rand der KUP hin ab, ein unmittelbarer Effekt der Beschattung durch die Bäume, die zur Zeit der Messungen (24.04. – 31.07.2013) etwa 6 m hoch waren.

3.4 Wasserhaushalt der Gehölze und der annualen Kulturen auf der windabgewandten Seite des Gehölzstreifens

Im Laufe der Vegetationsperiode 2012 trocknete der Boden auf dem Transekt 2, östlich des Gehölzstreifens am stärksten bei den Messpunkten in 10 m, 20 m und 50 m aus, während der Vegetationsperiode 2013 in 0 m, 10 m und 50 m Entfernung vom Rand der KUP (Abbildung 8). Dabei unterschieden sich die Tiefenstufen von 10 bis 30 cm kaum.

Am Anfang der Vegetationsperiode 2012 (3.5.–30.5.12) kann man insbesondere bei den Bäumen in 20 cm und v.a. 30 cm Bodentiefe erkennen, wie der schnelle Austrieb einer großen Blattfläche zu einer deutlichen Abnahmerate der Bodenwassergehalte führt (rote Signatur). Aber auch auf den Ackerflächen führen geringe Niederschläge und eine zunehmende Blattfläche zu einer deutlichen Abnahme der Wassergehalte im Boden bis in den Juli hinein. Eine Differenzierung der Wassergehalte mit zunehmender Entfernung von dem Windschutzstreifen lässt sich infolge der großen Heterogenität des Bodensubstrates nicht belegen. Lediglich der Verlauf der Wassergehalte bei den Bäumen innerhalb des Windschutzstreifens im Spätsommer in den beiden Messjahren deutet an, dass selbst intensive Niederschlagsereignisse sich kaum in 30 cm Tiefe bemerkbar machen, was sowohl auf einen stärkeren Wasserentzug durch die Bäume hindeutet als auch dadurch bedingt ist, dass das Rapsfeld 2012 Ende Juli geerntet wurde. Im Juli 2013 nahm unter KUP der Bodenwassergehalt in 20 und 30 cm Tiefe wiederum stärker ab als unter dem Acker, zu einem Zeitpunkt, als der Winterweizen bereits reif war (Ernte Anfang August). So spiegelte sich bei der Austrocknung die unterschiedliche Transpiration von KUP und annualer Ackerkultur, bei der Wiederbefeuchtung die unterschiedliche Interzeption wider.

Blumberg3

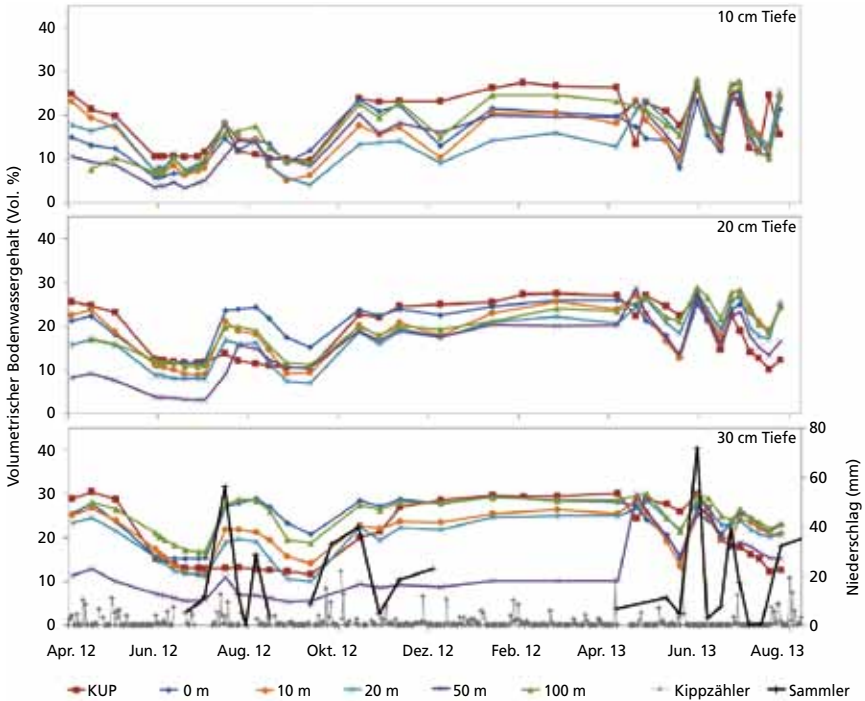


Abb. 8: Volumetrischer Bodenwassergehalt 2012-2013 entlang des Transektes 2, im Windschutzstreifen und östlich davon (Klima-Messstationen). (Bodenwassergehalt in drei Messtiefen an sechs verschiedenen Messstellen entlang des Transektes von KUP bis in 100 m Entfernung [PR2/6 Profilsonde, Delta-T, England; FDR-Technologie] sowie Niederschlag [Kippzähler mit Tageswerten und Sammler in etwa wöchentlicher Auflösung, ähnlich den Bodenfeuchtemessungen]).

4. Zusammenfassung

Im Projekt wurde ein Windschutzstreifen aus schnell wachsenden Baumarten in der Uckermark untersucht, der im Frühjahr 2010 etabliert wurde und einen großen Ackerschlag in nordsüdlicher Richtung teilt. Im Streifen wurden Weiden und Pappeln mit unterschiedlichen Pflanzdichten und Umtriebszeiten gepflanzt. Im Rahmen des Projektes wurde der Einfluss des Windschutzstreifens auf die benachbarten Ackerflächen untersucht.

Im Vordergrund standen von 2010 bis 2013 ertragskundliche Untersuchungen im Gehölzstreifen sowie meteorologische und auf den Wasserhaushalt bezogene Untersuchungen an den Gehölzen und an den annualen Kulturen auf der windabgewandten Seite östlich des Gehölzstreifens.

Die durchschnittlichen Gesamtwuchsleistungen der Bäume nach der ersten Rotation von vier Jahren lassen auf hohe zukünftige Erträge schließen, die deutlich über 10 t TM ha⁻¹ liegen sollten. Nach der ersten Rotation liegen die durchschnittlichen Gesamtwuchsleistungen der Weiden deutlich über denen der Pappeln, was sich durch die höheren Pflanzenzahlen und die frühere Kulmination des laufenden Zuwachses erklären lässt. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Pappeln im Kurzumtrieb in den nächsten Rotationsperioden auch die durchschnittlichen Gesamtwuchsleistungen der Weiden erreichen oder sogar übertreffen werden.

Bereits im Alter von drei Jahren lässt sich ein deutlicher Lee-Effekt des Windschutzstreifens mit verminderten Windgeschwindigkeiten bis etwa 50 m Entfernung vom Rand des Windschutzstreifens und abgeschwächten Temperaturminima und -maxima im unmittelbaren Nahbereich des Windschutzstreifens nachweisen. Ein Einfluss des Windschutzstreifens auf den Bodenwasserhaushalt der benachbarten Ackerfläche ist infolge der großen Heterogenität der Bodenarten, der organischen Substanz im Boden und der Wurzelverteilung auf der Fläche bisher nicht nachweisbar.

In 2014 sollen tierökologische Untersuchungen der Brutvogelfauna das Untersuchungsprogramm ergänzen. Es ist zudem vorgesehen, die Entwicklung der Erträge der annualen Kulturen auf der windabgewandten Seite zu analysieren und zusammenfassend eine ökonomische Bilanzierung des Windschutzstreifens durchzuführen.

Literatur

GERSTENGARBE, F.-W. et. al. (2003): *Studie zur Klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven*. - PIK Report No. 83. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK). 78 Seiten.

MURACH, D., SCHMIDT, M., MOLLNAU, C., RADEMACHER, P., BÖHME, T., KRÄMER, S., HARTMANN, H. (2014): *Endbericht zum Forschungsvorhaben »ZIM AgroForst - Optimierung des Gehölzanbaus in der Land- und Forstwirtschaft im Hinblick auf Klimawandel und Bioenergie mit Hilfe des ZIM Plant Technology Systems«*. Unveröffentlicht.

RICHTER, M. und GENTZEN, U. (2011). *Ist der Boden noch zu retten? Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenerosionsprozesse am Beispiel von Ostdeutschland*. Proceedings, Tagung »Erosion und Massenbewegungen«, 11 Feb, 2011, Christian Albrechts University, Kiel, Germany.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kompetenzzentrum
Niedersachsen • Netzwerk
Nachwachsende Rohstoffe e.V.



NW-FVA

Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Kurzumtriebsplantagen zur nachhaltigen Biomassebereitstellung auf Deponieflächen / Altdeponien - KUPAD -

Bettina Kietz, Iris Schmiedel, Volker Zelinski, Finn Ahrens

Mit der Zielsetzung des Europäischen Rates und der Bundesregierung, den Biomasseanteil am Primärenergiebedarf bis zum Jahr 2020 deutlich zu erhöhen, wurde 2009 der Nationale Biomasseaktionsplan verabschiedet. Dieser sieht unter anderem den Ausbau der energetischen Nutzung schnellwachsender Hölzer vor. Zukünftig soll der Flächenumfang im fünfstelligen Bereich liegen. Um den Konflikt der Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungsmittelproduktion und energetischer Nutzung nicht auszuweiten, ist es notwendig auf andere, bisher ungenutzte Standorte auszuweichen und diese auf ihre Verwendbarkeit zu prüfen.

Im Rahmen des Förderprogrammes »Nachwachsende Rohstoffe« des BMEL startete am 01.04.2012 das Forschungsprojekt »Kurzumtriebsplantagen zur nachhaltigen Biomassebereitstellung auf Deponieflächen/Altdeponien« (KUPAD). Beantragt wurde das Projekt bei der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) vom Fachbereich NEUTec der HAWK Göttingen, Fakultät Ressourcenmanagement unter der Leitung von Frau Prof. Dr. Kietz. Am Projekt beteiligt sind außerdem die Fachbereiche Bodenkunde und Regionalmanagement der HAWK, das 3N-Kompetenzzentrum e.V. und die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt. Untersuchungsgegenstand sind abgeschlossene Deponiestandorte, für die es bisher keine wirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten gab. Durch die Bepflanzung mit Pappeln und Weiden zur Energieholzerzeugung, könnte auf diesen Flächen ein ökologisch und ökonomisch sinnvoller Beitrag zur Oberflächengestaltung geleistet werden. Das Konzept wird zunächst bis Ende 2014 auf vier ausgewählten Deponiestandorten des Landkreises Göttingen, des Werra-Meißner Kreises und der Region Hannover erprobt. Im Einzelnen sind die Ziele des Forschungsvorhabens:

1. Erhebung des Flächenpotenzials auf Deponien und Deponierandgebieten für eine Beispielregion, die aufgrund der geologischen oder sonstigen Gegebenheiten nicht für die landwirtschaftliche Nutzung, jedoch für den Anbau schnellwachsender Baumarten geeignet sind.
2. Entwicklung eines Landnutzungskonzeptes zur Bereitstellung von Biomasse zur energetischen Nutzung auf Flächen, die nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung stehen.
3. Erstellung eines Konzeptes zur energetischen Verwertung der Biomasse.

Im Folgenden sind die bislang vorliegenden Ergebnisse dargestellt:

1. Flächenpotentialanalyse

Den zuständigen Entsorgungsträgern von 109 stillgelegten bzw. stillzulegenden Deponien in Niedersachsen wurden im Sommer 2013 Fragebögen zur weiteren Eingrenzung des Flächenpotenzials für den Anbau von KUP auf (Alt-) Deponien zugesandt. Rund 70 % der 109 Flächen konnten näher identifiziert werden. In Summe beträgt die potenzielle, theoretische KUP-Anbaufläche hier rund 660 ha. Allerdings ist dieses theoretische Potenzial deutlich einzugrenzen, da der Anbau von schnellwachsenden Gehölzen auf Deponieflächen mit entsprechenden Abdichtungssystemen kritisch gesehen wird, sofern hierzu keine gesonderten Erkenntnisse vorliegen (DGGT, 2010; BRÄCKER, 2012).

Nach Ausschluss der potenziellen Flächen auf Standorten der Deponiekategorie II (nach DepV) in Niedersachsen verringert sich das Flächenpotenzial auf rund 200 ha. Jedoch bestehen hier weiterhin Defizite in der Flächenidentifikation, aufgrund fehlender Angaben einzelner Umfrageteilnehmer. Im weiteren Projektverlauf wurden sog. Altablagerungen in die Flächenpotentialanalyse einbezogen. Für die Recherche dieser Potenzialflächen wurde das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) in der Funktion als Geologischer Dienst für Niedersachsen (LBEG) kontaktiert. Vom LBEG wurde im Dezember 2013 ein Datensatz der Altablagerungsstandorte Niedersachsens zur Verfügung gestellt. Dieser ausführliche Datensatz umfasst Angaben von mehr als 9.000 Altablagerungsstandorten in Niedersachsen. Nach einer ersten Durchsicht des Datensatzes und Filterung hinsichtlich des Attributs »unbebaut« ergibt sich eine potenzielle Anbaufläche von rund 32 ha.

Das bisher erhobene Flächenpotenzial liegt derzeit bei rund 230 ha für das Land Niedersachsen. Die Flächenpotentialanalyse ist jedoch noch nicht abgeschlossen. Aufgrund der relativ geringen Anzahl der Umfrageteilnehmer wird die Umfrage bei den Entsorgungsträgern, die bisher keine Angaben gemacht haben, erneut durchgeführt. Auch die Daten der LBEG werden genauer analysiert und mit Fokus auf die jeweils abgelagerten Abfallarten an den unbebauten Altablagerungsstandorten geordnet und ausgewertet.

2. Versuchsflächenanlage und Felduntersuchungen

Im Frühjahr 2012 wurden für das KUPAD Projekt drei Versuchsflächen angelegt. Im Landkreis Göttingen waren dies zwei Standorte mit Altablagerungen, zum einen einer ehemalige Bauschutt- und zum anderen einer ehemaligen Hausmülldeponie. Beide Standorte (Holzerode und Nesselröden) wurden in den 70er Jahren mit einer 1 m mächtigen Schicht Boden unbekannter Herkunft und Zusammensetzung abgedeckt (PIPER 2012). Auf den Flächen fand vor der Pflanzung eine Bodenbearbeitung statt. Im Auftrag der Landkreise wurden die Weiden- und Pappelstecklinge Mitte April von Unternehmern manuell gesteckt. Das Flächendesign richtete sich nach dem ebenfalls durch die FNR geförderten Proloc Projekt (Klon-Standortwechselwirkungen von Pappeln und Weiden). Es wurden pro Parzelle 400 Stecklinge im Abstand von 1,8 x 0,5 m im Einzelreihenverband in den Boden gebracht (ca. 11.000 Pflanzen/ha). Bei den Klonen handelt es sich um die Sorten »Max 1« (Pappel) und »Inger« (Weide). Zum Schutz vor Wildverbiss wurden alle 3 Versuchsflächen gezäunt. Im Jahr 2013 wurde mit einem Jahr Verspätung auch die 4., laut Projektantrag vorgesehene, Versuchsfläche auf der Deponie Burgdorf vom aha Zweckverband Abfallwirtschaft Region Hannover auf 0,5 ha angelegt.

3. Anwuchs, Überlebensrate, Bonitur

Auf allen Parzellen der ersten drei Versuchsstandorte waren im Juni 2012 (nach 7 Wochen) über 92 % der Stecklinge ausgetrieben. Von den im Mai in der Versuchsanlage Hannover gesteckten 2076 Stecklingen waren bis Anfang Juli 2013 (nach 5 Wochen) 88 % aufgelaufen. Weitere 2076 Stecklinge wurden erst im Juli gesteckt und sind aufgrund dieser langen Lagerungszeit und wegen fehlerhafter Einbringung bis auf wenige Ausnahmen komplett ausgefallen.

Die Bonitur im Winter 2013/2014 ergab in Eschwege für den mittleren Brusthöhendurchmesser (BHD) der Pappel 8 mm und für die mittlere Höhe des Haupttriebes 223 cm (Mediane). Für die Weiden wurde ein mittlerer BHD von 13,5 mm und eine mittlere Höhe von 333,5 mm berechnet (Mediane). Die mittlere Absterberate in Bezug auf das Vorjahr betrug 0,9 %.

In der Versuchsanlage Holzerode war die mittlere Ausfallrate in Bezug auf das Vorjahr mit 4 % deutlich höher als in Eschwege. Insgesamt sind jedoch noch 85 % der 1.998 Stecklinge vorhanden. Die Bonitur im Januar 2014 ergab für die Pappeln einen mittleren BHD von 29 mm bei einer mittleren Höhe von 460 cm (Mediane). Die Weide war zwar mit 22 mm im mittleren BHD etwas schwächer, jedoch im Höhenwachstum, mit einer mittleren Wuchshöhe von 472 cm, den Pappeln etwas voraus.

Auf der Versuchsfläche Nesselröden betrug die mittlere Ausfallrate im Januar 2014 in Bezug auf die Vorjahresbonitur 3,6 %. In den Parzellen 2 bis 6 waren noch über 87 % der gesteckten Pflanzen vorhanden (im Mittel 89 % von insgesamt 2.402 Stecklingen). Der mittlere BHD der Pappelpflanzen betrug zum Zeitpunkt der 2. Winterbonitur 9 mm, bei einer mittleren Wuchshöhe von 223,5 cm (Mediane). Die Weide erreichte mit 12 mm einen leicht stärkeren mittlerer BHD und war im Mittel einen halben Meter höher als die Pappel (Mediane).

Tab. 1: Wuchsdifferenzen zwischen den Baumarten Pappel und Weide und mittlere absolute Zuwächse der beiden Baumarten auf den einzelnen Standorten, grün = Weide überlegen, orange = Pappel überlegen

mittlere Differenz zwischen den Baumarten				mittlerer Zuwachs zwischen 1. und 2. Bonitur			
Bonitur 2012		Bonitur 2013		BHD [mm]		Höhe [cm]	
BHD [mm]	Höhe [cm]	BHD [mm]	H [cm]	Pappel	Weide	Pappel	Weide
über alle Standorte							
1.2	57	3.3	98.5	4.3	6.4	104.5	146
Eschwege							
0.3	49	5.5	110.5	1.3	6.5	85	146.5
Holzerode							
1.6	32	7	12	16.4	11	196	176
Nesselröden							
1	41	3	52	4	6	92.5	103.5

Insgesamt zeigen die Pappeln und Weiden ein sehr gutes Wachstum auf den Versuchsflächen, so dass die Nutzung von Kurzumtriebsplantagen auf diesen Standorten vor dem Hintergrund der Leistungsfähigkeit der Standorte sinnvoll erscheint.



Abb. 1: Wuchsleistung der KUP-Pflanzen auf der Versuchsfläche Holzerode in der ersten Vegetationsperiode

4. Bodenuntersuchung

Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

Die bodenchemischen Untersuchungen richteten sich nach der Methodenbeschreibung des Handbuches der Forstlichen Analytik (BMELV, 2009).

- **Bodenacidität:** pH H₂O und KCL (Handbuch der Forstlichen Analytik 3.1.1.2 und 3.1.1.4)
- **Kohlenstoff- und Stickstoff Gesamtgehalte** (Handbuch der Forstlichen Analytik D3.1.1)
- **Schwermetalle: Cadmium, Blei, Chrom, Nickel, Kupfer** (Handbuch der Forstlichen Analytik 3.3.4 HNO₃-Extrakt unter Druck); Atomadsorptionsspektrometer(AAS)
- **Pflanzenverfügbare Nährstoffe:** Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium (Handbuch der Forstlichen Analytik 3.2.1.2 potentielle (totale) Kationenaustauschkapazität Akt)
- **Pflanzenverfügbare Schwermetalle: Cadmium, Blei, Chrom, Nickel, Kupfer** (Handbuch der Forstlichen Analytik A3.2.3.2 Ammoniumnitrat-Extrakt)

Als bodenphysikalische Parameter wurden die Korngröße nach dem Handbuch der Forstlichen Analytik (BMELV, 2009) und die Kennwerte des Bodenwasserhaushalts nach der Methodik von HARTGE UND HORN (2009) untersucht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass auf allen vier Standorten hohe pH-Werte im schwach alkalischen Bereich (basengesättigt) vorgefunden wurden (siehe Tabelle 2). Auf den Standorten Nesselröden und Eschwege ließ sich ein engeres mittleres C/N Verhältnis nachweisen als auf den Versuchsanlagen Hannover und Holzerode (siehe Tabelle 2). Wie nach der Bodenbearbeitung zu erwarten, waren keine großen Unterschiede zwischen Ober- (0-30 cm) und Unterboden (30-60 cm) festzustellen.

Tab. 2: Zusammenfassung der Ergebnisse der pH-Wert-, Kohlenstoffgehalts- und Stickstoffgehaltsanalysen (Mediane)

Versuchsfläche	pH (H ₂ O)	pH(KCl)	C (%)	N (%)	C/N
Eschwege	8	7.7	0.9	0.1	16.1
Holzerode	7.7	7.6	3.7	0.2	19.2
Nesselröden	7.9	7.5	1.1	0.1	12.7
Hannover	7.8	7.8	2.6	0.1	19.5

Wie zuvor erwartet ergab die Analyse der Schwermetallgehalte, dass auf den technischen Substraten der Deponien Eschwege und Hannover die niedrigsten Konzentrationen vorliegen. In Holzerode konnten nicht nur deutlich höhere Konzentrationen im Boden nachgewiesen werden, die starke Streuung zwischen den einzelnen Proben macht auch die Heterogenität der Belastung auf der Fläche deutlich. Der Median der Cadmium-Bodengehalte der VF Holzerode (0,51 mg/kg TS) ist um das 3,6 fache höher als auf den anderen 3 Standorten. Bezüglich der Kupfergehalte betragen die Hälfte aller Holzeroder Messwerte das 3,3 fache, beim Blei sogar das 5 fache der mittleren Schwermetallgehalte der übrigen Versuchsflächen. Der mittlere Wert für Nickel war nur um das 1,8 fache höher. Bei den Chromgehalten wurde jedoch der höchste mittlere Wert für den Boden der VF Nesselröden festgestellt. (siehe Tabelle)

Tab. 3: Übersicht der mittleren Schwermetallgehalte in den Bodenproben der jeweiligen Versuchsflächen (VF) (Median)

VF	Schwermetallgehalte im Boden [mg/kg TS] (HNO ₃ -Aufschluss)				
	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni
Holzerode	0,51	44,43	34,44	96,54	27,73
Nesselröden	0,13	46,95	12,23	21,18	21,27
Eschwege	0,1	33,89	7,97	13,86	18,85
Hannover	0,19	11,28	10,55	23,77	6,03

Auf dem Standort Holzerode nehmen die Schwermetallgehalte in der Tiefe zu. Als Grenzwerte für eine tatsächliche Belastung des Bodens können die Vorsorgewerte der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) (UMWELT-BUNDESAMT, 1999) herangezogen werden (siehe Tabelle 4). Da diesen jedoch eine andere Methodik (Königswasser(KW)-Aufschluss) zugrunde liegt, mussten die hier ermittelten Totalgehalte zunächst nach der Methode von UTERMANN ET AL. (BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE, 2013) umgerechnet werden. Bei den hohen pH-Werten kann jedoch davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der Metalle immobil im Boden vorliegt und somit kaum eine Gefahr für die Umwelt besteht. Zur Zeit laufen die Analysen der ober- und unterirdischen Pflanzenteile hinsichtlich der Aufnahme von Schwermetallen.

Tab. 4: Anzahl der Proben, welche die Vorsorgewerte nach BBodSchV (1999) überschreiten, zur Herstellung der Vergleichbarkeit mit den Vorsorgewerten der BBodSchV wurden die Totalgehalte mittels dem Berechnungstool der BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2013) nach der Methode von UTERMANN ET AL. (2005) in Königswasser-Extraktionsgehalte übertragen

	Cadmium	Kupfer	Blei	Nickel	Chrom
Vorsorgewert <i>Schluff</i> (BBodSchV) [mg/kg TS]	1	40	70	50	60
	Anzahl Überschreitungen				
Holzerode (n=17)	3	3	9	4	0
Nesselröden (n=14)	0	1	0	1	0
Vorsorgewert <i>Sand</i> (BBodSchV) [mg/kg TS]	0.4	20	40	15	30
	Anzahl Überschreitungen				
Eschwege (n=10)	0	0	0	10	0
Hannover (n=14)	0	1	0	1	0

Um genauere Aussagen über die Pflanzenverfügbarkeit der Schwermetallfraktionen zu erhalten, wurden die Bodenproben zusätzlich mittels Ammoniumnitrat-Extrakt hinsichtlich ihrer extrahierbaren Cd-, Cr-, Cu-, Ni- und Pb- Ionen analysiert. Die extrahierten Bleigehalte aller Bodenproben unterschritten den für die Methode vorgegebenen Mindestwert für die Nachweisbarkeit von 0,0025. Am Standort Holzerode konnten für Nickel, Kupfer und Cadmium im Vergleich zu den anderen Standorten deutlich größere Spannweiten festgestellt werden. Für Kupfer und Cadmium lagen mehr als die Hälfte aller Holzeroder Messwerte deutlich über den Messniveaus der anderen Standorte.

Die statistische Auswertung der Kornfraktionen auf den einzelnen Standorten ergab Standardabweichungen von unter 10 %. Man kann daraus schließen, dass die Böden der Standorte an sich eine sehr homogene Zusammensetzung aufweisen. Die Tabelle 5 und die Abbildung 10 gibt die gemittelten Anteile der einzelnen Kornfraktionen auf den jeweiligen Versuchsstandorten im Überblick wieder.

Tab. 5: Mittelwerte der relativen Korngrößen und die daraus resultierende Bodenart der einzelnen Versuchsstandorte

VF	Sand	Schluff	Ton	Bodenart
Holzerode	37.85	37.87	24.27	Ls3 mittel sandiger Lehm
Nesselröden	32.79	48.51	18.71	Ls2 schwach sandiger Lehm
Eschwege	44.33	40.73	14.93	Slu schluffig lehmiger Sand
Hannover	86.475	8.95	4.575	Ss reiner Sand

Tabelle 6 zeigt eine zusammenfassende Übersicht der bodenphysikalischen Analyseergebnisse. Die Wertung erfolgte anhand von Richtwerttabellen der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005). Demnach weist der Boden der VF Holzerode im Vergleich zu den anderen beiden Flächen eine deutlich geringere Lagerungsdichte und ein dafür höheres Gesamtporenvolumen auf. Die nutzbare Wasserspeicherkapazität ist auf allen 3 Standorten trotz der unterschiedlichen Bodenarten sehr ähnlich und als hoch einzustufen.

Tab. 6: Parameter zur Herleitung der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe); Ld=Lagerungsdichte, nWSK =nutzbare Wasserspeicherkapazität

VF	nWSK [V %]	Bodenart	Ld in Stufen*	eff. Durchwurzelungstiefe* [dm]	Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht [dm]	Skelettanteil [m%]	nFKWe [mm]	Deutung*
Holzerode	23,11	Ls3	1/2	13	5	10	115	mittel
Nesselröden	22,75	Ls2	3	10	6.5	8	147	hoch
Eschwege	22,42	Slu	3	9	10	6	201	sehr hoch

* Einstufung laut Bodenkundlicher Kartieranleitung (Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden, 2005)

Literaturverzeichnis

- AD-HOC-AG BODEN (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 5. Aufl., Hannover.
- BRÄCKER (2012), staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, persönliche Mitteilung Oktober 2012
- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2013): *Programm zur Berechnung von Beziehungen zwischen Totalgehalten und königwasserextrahierbaren Gehalten in Böden*. Online Zugriff am 20.03.2013 unter http://www.bgr.de/app/FISBoBGR_Stoffhaushalt/kw-total_a.php?check=1&box=1&checkbox=1&radio=pb
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2009): *Handbuch Forstliche Analytik*, 4. Ausgabe, Download am 10.10.2012 unter <http://www.bmelv.de/SharedDocs/Standardartikel/Landwirtschaft/Wald-Jagd/WaldBodenZustand/Handbuch-Forstliche-Analytik.html>
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOTECHNIK E.V. (DGGT) (2010): *Gestaltung des Bewuchses auf Deponien*. <http://www.gdaonline.de/pdf/E2-32.pdf> vom 12.09.2013
- HARTGE, K. H.; HORN, R. (2009): *Die physikalische Untersuchung von Böden*. 4. Auflage; E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (LBEG) (2013): *Datensatz der Altablagerungen in Niedersachsen*. Pers. Mitt. Dezember 2013
- PIPER, D. (2012): *Landkreis Göttingen Umweltamt, mündliche Mitteilung zur Vorgeschichte der Göttinger Standorte*
- UMWELTBUNDESAMT (1999): *Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) Vom 12. Juli 1999*, Download vom 05.02.2013 unter <http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/altlast/web1/deutsch/bboschv.pdf>

Potenzialanalyse zur Bereitstellung von natürlicher Biomasse (NatBio)

*Dr. Lutz Fehrmann, Dr. Jens Wegener, Tim Exner, Anna-Maria Engel
Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Waldinventur und Fernerkundung und Abteilung Agrartechnik*

1. Hintergrund und Zielsetzung

Die Bedeutung von Informationen über Landschaftselemente wie z.B. Feldgehölze, Hecken und Bäume in der Agrarlandschaft nimmt in verschiedenen Zusammenhängen zu. Informationen zu holziger Biomasse und dessen Potenzial in der Landschaft sind eine wichtige Grundlage für eine nachhaltige Bewirtschaftung, Pflege und den Schutz der natürlichen Ressourcen. Gleichzeitig stellt die holzartige Biomasse in Form von Landschaftspflegematerial eine interessante Rohstoffquelle zur energetischen Verwendung dar. Im Zusammenhang mit der aktuellen europäischen Agrarpolitik sind Informationen über den Flächenanteil von Landschaftselementen mehr den je von Bedeutung.

Die vorhandenen Datengrundlagen sind bislang nur bedingt geeignet, den aufkommenden Informationsbedarf zu befriedigen. Geeignete Erfassungsmethoden fehlen bisher weitgehend. Zielsetzung des Forschungsprojektes NatBio war es daher, zwei Hauptaspekte zu bearbeiten:

1. Die Entwicklung von stichprobenbasierten Methoden zur Abschätzung von Biomassepotenzialen in der Landschaft unter Einbeziehung verschiedener Fernerkundungsdaten sowie
2. eine Einschätzung der potenziellen Mobilisierung dieser Potenziale unter Berücksichtigung der vorhandenen Erntetechnik und Erntekosten

2. Methoden der Potenzialabschätzung durch Fernerkundung

Das Untersuchungsgebiet der Studie ist die Landesfläche Niedersachsen ohne die Nordseeinseln und umfasst eine Fläche von 47.812 qkm. Das im Rahmen der Studie entwickelte Stichprobendesign folgt einer zweistufigen systematischen Stichprobe und ist auf der ersten Stufe eine Erweiterung des systematischen Grundrasters der Bundeswaldinventur auf die gesamte Bezugsfläche der Studie, wobei die Rasterweite im Offenland auf 16x16 Kilometer reduziert wurde, was zu einer Anzahl von 188 systematisch verteilten Punkten führt.



Abb. 1: Stratifizierung der Landesfläche in 6 landwirtschaftliche Großregionen

Die gesamte Landesfläche wurde aus statistischen Gründen in sechs verschiedene Straten unterteilt, die landwirtschaftliche Großräume mit grundlegend unterschiedlicher Landschaftskonfiguration voneinander trennen. Insgesamt wurden für eine Zufallsauswahl der Stichprobenpunkte 99 Luftbilder zur weiteren Interpretation herangezogen.

Das verwendete Aufnahmedesign, das in jeder ausgewählten Luftbildkachel verwendet wurde, stellt eine Form des Line Intercept Sampling (Linien Abchnitts Verfahren) dar. Hierzu wird ein Cluster von Linien (Länge jeweils 400 Meter in zufälliger Ausrichtung) systematisch über die Fläche des Luftbildes verteilt und die Linienabschnitte verschiedenen Flächen- und Bestockungsklassen zugeordnet. Jedes Cluster liefert eine Schätzung der relativen Anteile der einzelnen Klassen an der Gesamtfläche (siehe Abb.2)



Relative Anteile jeder Bestockungsklasse pro Stichprobenlinie

Gemittelter Anteil einer Klasse für die jeweilige Luftbildkachel (Cluster)

Abb. 2: Aufnahme- und Schätzdesign der verwendeten Linienstichprobe.

3. Ergebnisse & Ausblick

Tabelle I zeigt die geschätzte absolute Flächengröße der ausgeschiedenen Klassen pro Stratum und über die gesamte Landesfläche. Die Auswertung der Flächenklasse lässt deutlich erkennen, dass der relativ geringe Stichprobenumfang dieser Pilotstudie zu hohen Stichprobenfehlern auf der Ebene einzelner Straten führt. Je seltener eine Klasse erfasst wurde und je kleiner der Umfang der Stichprobe pro Stratum ist, desto unsicherer ist die abgeleitete Schätzung. Wird jedoch die gesamte Landesfläche betrachtet (n=98) sind die Fehler einiger Flächenklassen relativ klein. So ist z.B. die Flächenschätzung für Ackerlandstreifen (102.782 ha, oder 2,76 % der Gesamtfläche) sehr präzise und lediglich mit einem relativen Standardfehler von $\pm 3,5$ % behaftet. Die gesamte als Ackerfläche klassifizierte Fläche wird mit 2.140.102 ha (59,59 % der Gesamtfläche) $\pm 2,06$ % geschätzt.

Tab. 1: Fläche in den einzelnen Klassen in Hektar und als relativer Anteil an der Offenlandfläche, relativer Standardfehler in Prozent (kursiv) und Stichprobenumfang in den einzelnen Straten. Bei der Berechnung der Gesamtpotenziale ist die flächenproportionale Gewichtung der Straten zu beachten. Flächen, die potenziell für den Anbau von Biomasse geeignet sind, sind mit * gekennzeichnet.

Flächenklasse	Stratum						Flächenpotential (ha)	Anteil Offenland %
	1 n=18	2 n=33	3 n=19	4 n=12	5 n=10	6 n=6		
A* Ackerland	37.268 <i>15,4</i>	41.345 <i>9,9</i>	16.935 <i>15,9</i>	13.754 <i>33,6</i>	16.386 <i>24,6</i>	6.473 <i>54,5</i>	102.782 <i>3,53</i>	2,76
B* Brachfläche	48.498 <i>32,3</i>	41.820 <i>22,8</i>	75.146 <i>70,3</i>	806 <i>100</i>	19.385 <i>64,2</i>	1.727 <i>80,6</i>	135.105 <i>10,42</i>	3,88
F* Feldweg	6.682 <i>16,5</i>	10.609 <i>13,0</i>	10.502 <i>20,3</i>	6.764 <i>18,3</i>	6.298 <i>27,2</i>	2.295 <i>62,7</i>	29.292 <i>3,97</i>	0,90
G Grünland	201.184 <i>24,0</i>	163.959 <i>22,2</i>	100.503 <i>23,8</i>	147.393 <i>40,5</i>	94.606 <i>36,5</i>	132.124 <i>35,6</i>	539.289 <i>5,94</i>	17,56
L Ackerfläche	491.253 <i>12,8</i>	954.745 <i>5,2</i>	633.183 <i>10,9</i>	393.080 <i>15,3</i>	286.160 <i>13,3</i>	90.783 <i>45,9</i>	2.140.102 <i>2,06</i>	59,59
N* Bestockt	63.937 <i>32,3</i>	64.591 <i>19,1</i>	89.077 <i>53,0</i>	15.015 <i>42,5</i>	8.740 <i>41,5</i>	34.517 <i>70,5</i>	167.929 <i>8,23</i>	6,61
O Siedlung/ Wasser	77.511 <i>31,6</i>	129.706 <i>19,9</i>	57.973 <i>27,6</i>	11.948 <i>63,1</i>	26.160 <i>37,6</i>	12.655 <i>34,4</i>	265.795 <i>7,53</i>	6,61
S* Straßenrand	13.612 <i>23,0</i>	31.044 <i>27,8</i>	11.107 <i>29,9</i>	8.305 <i>44,9</i>	4.245 <i>32,1</i>	735 <i>100</i>	58.275 <i>10,38</i>	1,44
V Verkehrsflächen	10.755 <i>38,7</i>	23.082 <i>28,6</i>	32.556 <i>47,9</i>	9.535 <i>69,4</i>	6.720 <i>39,8</i>	5.992 <i>47,1</i>	59.791 <i>9,73</i>	1,85
*Potentiell	161.315 <i>31,0</i>	160.800 <i>23,2</i>	192.282 <i>34,7</i>	37.880 <i>52,2</i>	48.756 <i>54,3</i>	43.451 <i>52,5</i>	464.091 <i>7,91</i>	19,07

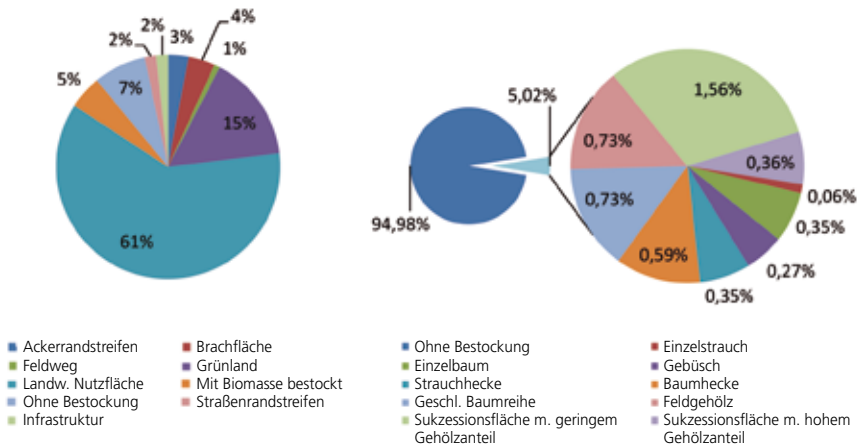


Abb. 3: Relative Flächenanteile der Flächenklassen (li.) bzw. der Bestockungsklassen (re.) für die Gesamtfläche Niedersachsens

Die vorgestellte Methodik stellt eine geeignete Methode dar, das Potenzial an natürlicher holziger Biomasse abzuschätzen. Mit Hilfe von fernerkundungsbasierten Verfahren ist die Kartierung der Lage und Ausdehnung von mit Biomasse bestockten Flächen gut möglich. Das Biomassepotenzial linearer Strukturen lässt sich mit den erprobten Methoden statistisch abgesichert erheben. Um jedoch genauere Aussagen über das Biomassevolumen zu machen, sind ergänzende Feldaufnahmen unabdingbar. So können wichtige Parameter wie Höhe, Brusthöhendurchmesser und Struktur in vertikaler Ausdehnung ermittelt werden. Ergänzt mit Angaben aus der Literatur ergibt sich daraus ein schlüssiges Gesamtpotenzial der gewachsenen Biomasse. Regressionsmöglichkeiten von terrestrischen Geländedaten hin zu Daten aus einer Luft-/Satellitenbildauswertung müssen vertieft untersucht werden, diese Möglichkeit besteht mit einer zukünftigen Ergänzung der Untersuchung mit RapidEye Satellitendaten.

Ein Überblick über eingesetzte Erntetechnik ergibt, dass das geeignete Verfahren für das Landschaftspflegematerial nicht zur Verfügung steht. Für die hier angegebene Menge der unterschiedlichen Aufwüchse gibt es eine Vielzahl angewandter Erntetechniken, aus denen im Rahmen des Projekts Nat-Bio die vier am meisten genutzten ausgewählt und theoretisch berechnet wurden. Eine Literaturrecherche vervollständigte die Darstellung der Kosten bezogen auf die einzelnen Vegetationsformen. In einem örtlich begrenzten Projekt sind eine konkrete Berechnung der aufkommenden Biomasse im Landkreis und die logistische Betrachtung bei der Verwertung dieser in ei-

nem lokalen Biomasseheizkraftwerk praktisch durchführbar. Damit besteht die Möglichkeit, konkrete Zahlen für ein praktisches Fallbeispiel zu bekommen. Dies stellt einen weiteren Arbeitsschritt im Rahmen der zu bearbeitenden Thematik zur Potenzialanalyse von holziger Biomasse und ihrer Beerntbarkeit dar, die zukünftig weiter verfolgt werden wird.

4. Flächenpotenzial

Wie deutlich an den Ergebnissen der Potenzialstudie zu sehen ist, besteht mit 464.091 ha ein erhebliches Potenzial an Fläche in Niedersachsen, die für eine energetische Nutzung zur Verfügung steht. Lediglich 5 % dieser Fläche ist bestockt. Wäre es nun möglich, auf den nicht bestockten Flächen Pflanzen für die energetische Nutzung anzubauen, könnten sowohl enorme Mengen CO₂-Emissionen eingespart werden als auch hohe Zuwächse in der Energiegewinnung aus Biomasse erzielt werden.

5. Ernteverfahren

Im Bereich der Ernteverfahren ist zu sagen, dass ein Verfahren für die vielen ausdifferenzierten Vegetationsformen nicht zur Verfügung steht. Im Bereich solch diverser Aufwüchse muss überlegt werden, welches Verfahren sich am besten eignet und auch welches überhaupt zur Verfügung steht. Allerdings wird mit den in der Studie nachzulesenden Kosten ein Überblick geschaffen, der verdeutlicht, welches Verfahren ökonomisch sinnvoll und praktikabel eingesetzt werden kann. Es wird ersichtlich, dass maschinelle Verfahren bei einer ordentlichen Auslastung wesentlich kostengünstiger einzusetzen sind als motormanuelle Verfahren. Bei prognostizierten steigenden Preisen für Holzhackschnitzel könnten sich allerdings auch diese motormanuellen Ernteverfahren als wirtschaftlich bei der Ernte von Landschaftspflegematerial erweisen.

Eine Abschätzung des technischen und ökonomischen Potenzials ist im Rahmen des Projekts nicht möglich gewesen. Dafür müsste eine genauere Klassifizierung der Flächen durchgeführt werden, die mit Hilfe der hier verwendeten digitalen Orthofotos nicht erreichbar ist. Diese Abschätzung des technischen Potenzials kann dann durchgeführt werden, wenn erkenntlich ist, welche Flächen tatsächlich beerntbar sind. Abhängig ist dies von der Gelände- und Bodenbeschaffenheit und der Hangneigung, die die Befahrbarkeit stark einschränken können, außerdem beeinflussen störende Objekte in Ackerrandstreifen, wie z. B. Steine oder Zäune o. ä., die Befahrbarkeit. An Hand der Orthofotos sind solche Eigenschaften nicht festzustellen.

Eine bessere Abschätzung ist geplant mit Hilfe einer Umfrage unter Praktikern, d.h. in erster Linie Lohnunternehmern, die Landschaftspflegemaßnahmen durchführen.

Der komplette Abschlussbericht ist auf der Homepage des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (www.ml.niedersachsen.de) als Download unter Themen → Nachwachsende Rohstoffe erhältlich.

»Weichlaubholz – ungenutztes Rohstoffpotenzial« - Herleitung von Nutzungspotenzialen

*Christoph Fischer, Birgit Kieker, Hermann Spellmann, Jürgen Nagel,
Peter Meyer
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt*

1. Einleitung und Zielsetzung

Holz als nachhaltiger und CO₂-neutraler Rohstoff bietet zahlreiche Möglichkeiten sowohl zur stofflichen als auch zur energetischen Nutzung. Die 2002 verabschiedete Charta für Holz hat eine verstärkte Nutzung heimischen Holzes zum Ziel, zugunsten von Klima, Lebensqualität, Innovationen und Arbeitsplätzen. Von Regierungsseite wird die energetische Nutzung von Holz explizit über das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG 2009 inkl. Novelle 2011) und das Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz (EEWärmeG 2009/2011) gefördert. In der Konsequenz ergab sich hieraus aber auch in den letzten Jahren eine steigende Konkurrenz zwischen der stofflichen und der energetischen Holzverwendung (Mantau 2012).

Die Entwicklungen der Einschlagszahlen entsprechen diesem Trend. Von 2001 bis 2007 nahm der bundesweite Holzeinschlag von 39 Mio. m³ (ohne Rinde) auf 77 Mio. m³ zu. Nach einem kurzfristig zu verzeichnenden Rückgang auf 48 Mio. im Jahr 2009 folgte bis 2011 wieder ein deutlicher Anstieg auf 56 Mio. m³ (BMELV 2012).

Mit Blick auf die zunehmende Verknappung der fossilen Brennstoffe und die Weiterentwicklungen im Bereich der Biokraftstoffe der zweiten Generation ist mit einer weiter steigenden Rohholznachfrage für energetische Zwecke zu rechnen. Diese Entwicklung wird die Konkurrenz zur stofflichen Verwertung weiter verstärken. Gleichzeitig werden der fortschreitende Umbau von Nadelwäldern in Laubwälder und die zunehmenden naturschutzfachlichen Restriktionen das Rohholzangebot bestimmter Sortimente reduzieren. Zur Sicherung der Rohholzversorgung erscheint es notwendig, bisher noch nicht systematisch genutzte Rohholzpotenziale einer planmäßigen Nutzung zuzuführen. Ein solches Potenzial stellen die Vorräte der Weichlaubhölzer (syn. ALn = andere Laubhölzer mit niedriger Produktionszeit) dar. Zu ihnen zählen die Baumarten(gruppen) Birke, Erle, Pappel, Weide und Eberesche.

Nach den Ergebnissen der Bundeswaldinventuren von 1987 und 2002 stocken vor allem in den norddeutschen Bundesländern bemerkenswert hohe ALn-Vorräte, die bisher im Vergleich zu den Hauptbaumarten kaum genutzt wurden. So betrug in Niedersachsen der Anteil der jährlich genutzten Holzmasse am Zuwachs bei Buche 52 %, bei Fichte 43 % und bei Kiefer 31 %, bei

während er beim ALn lediglich 13 % erreichte. Bisher fehlen für die Weichlaubhölzer sowohl großräumige Analysen zur Charakterisierung der ALn-Vorkommen, als auch Prognosen des mittelfristigen Holzaufkommens. Diesen Aufgaben stellt sich das Verbundprojekt WEIPOL, das in Zusammenarbeit von drei Forschungseinrichtungen geplant und durchgeführt wurde. Es gliedert sich in die Arbeitspakete (AP):

- AP 1: Herleitung von Nutzungspotenzialen (NW-FVA, Göttingen)
- AP 2: Holzernte inklusive Mobilisierung und Logistik (IFA der Uni Göttingen)
- AP 3: Ökonomische Analyse und Bewertung (FORECON der Uni Göttingen)

Ziel der Forschungspartner war es, die tatsächlich nutzbaren Potenziale an ALn in Nordwestdeutschland (Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Sachsen-Anhalt) abzuschätzen und nachhaltige Anbau-, Pflege- und Verwertungskonzepte für diese Baumartengruppe zu entwickeln. Dabei galt es, die bisher nicht genutzten Potenziale auf ihre Verfügbarkeit zu überprüfen, in umweltverträglicher Weise zu erschließen und die Kosten-, Erlös- und Verwertungsverhältnisse zu analysieren. Während die Teilprojekte TP 1 (Nutzungspotenziale) und TP 2 (Holzernte inkl. Mobilisierung & Logistik) unter Beachtung der natur- und bodenschutzfachlichen Restriktionen die Rohstoffbasis für die stoffliche und energetische Verwertung der Weichlaubhölzer analysieren, beschäftigt sich das Teilprojekt 3 mit den bisherigen Hemmnissen der Weichlaubholz mobilisierung. Es erfasst zudem den ökonomischen Status der Verwertung durch eine Untersuchung der Kosten- und Erlösverhältnisse der Forstbetriebe und der Marktstrukturen der Weichlaubholz verarbeitenden Unternehmen.

2. Arbeitspaket 1: Herleitung von Nutzungspotenzialen (NW-FVA)

2.1. Zustandserfassung der ALn Vorkommen

Anhand der systematischen Großrauminventuren BWI1 und BWI2 lassen sich stratifizierte Aussagen für verschiedene Befundeinheiten treffen. Ein wesentliches Merkmal für forstliche Fragestellungen stellt dabei das Holzaufkommen dar. Bisher wurde auf die Gruppe der Weichlaubhölzer (ALn) im Rahmen veröffentlichter Standardauswertungen nur selten Bezug genommen, so dass für die hier vorliegende Fragestellung eine genauere Betrachtung sinnvoll erscheint.

Zum Stichjahr der BWI1 1987 stockten in den alten Bundesländern rund 80 Mio. m³ an Laubholz mit niedriger Umtriebszeit. Bis 2002 erfolgte ein Anstieg

um 30% auf 112 Mio. m³. Für das gesamte Bundesgebiet beträgt der ALN-Vorrat im Jahr 2002 ca. 180 Mio. m³ und bis 2008 lässt sich tendenziell eine weitere Zunahme beobachten. Bezogen auf den gesamten Laubholzvorrat besitzt die ALN-Gruppe zu den beiden letzten Inventurzeitpunkten einen Anteil von 15%. Die gegenüber der BWI1 festzustellende Zunahme des Anteils lässt sich nicht allein durch eine überproportionale Zunahme des ALN-Vorrats im Vergleich zum übrigen Laubholzaufkommen erklären. Zwar kann in allen Ländern, in denen eine Wiederholungsinventur vorliegt, ein Anstieg an ALN beobachtet werden (Abbildung 1a), wesentlich ist jedoch, dass bei der BWI2 auch die neuen Bundesländer einbezogen sind. Flächenstaaten wie Bayern, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen weisen absolut betrachtet mit 20 - 30 Mio. m³ den höchsten Vorrat an ALN auf, anteilsbezogen sind aber besonders die neuen Bundesländer hervorzuheben. So beträgt in Brandenburg der ALN-Anteil am Laubholzvorrat 40%, in Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen knapp 35% und in Sachsen-Anhalt rund 25% (Abbildung 1b). In den walddreicheren südlichen Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz und Thüringen besitzen Weichlaubebäume dagegen Anteile von unter 10%, bzw. 15% (Bayern).

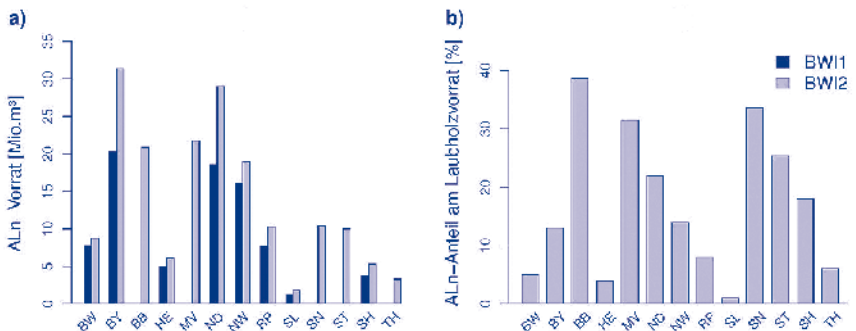


Abb. 1: Vorräte an ALN nach Bundesländern bei der BWI1 (nur altes Bundesgebiet) und BWI2 (a). Anteile an ALN am Laubholzvorrat nach Bundesländern bei der BWI2 (b). BW: Baden-Württemberg, BY: Bayern, BB: Brandenburg, HE: Hessen, MV: Mecklenburg-Vorpommern, ND: Niedersachsen, NW: Nordrhein-Westfalen, RP: Rheinland-Pfalz, SL: Saarland, SN: Sachsen, ST: Sachsen-Anhalt, SH: Schleswig-Holstein, TH: Thüringen

2.2. Abschätzung des Nutzungspotentials

2.2.1. Methodik

Grundlage für die Prognose des Nutzungspotentials an ALN war zunächst die Entwicklung von Einzelbaumzuwachsmo­dellen für die entsprechenden Baumarten. Diese wurden in das Softwaresystem »WaldPlaner« (NW-FVA

2012) implementiert, das für simultane waldbauliche Szenariensimulationen für eine große Anzahl an Waldbeständen konzipiert wurde. Als Datenbasis zur Aufkommensprognose an ALn wurden die Erhebungen der BWI2 aus der gemessenen Winkelzählprobe (WZP4) zugrunde gelegt. Für jede der 1469 Traktecken der BWI2, an der mindestens ein Baum aus der ALn-Gruppe in die Stichprobe fiel, wurde ein kreisförmiger Modellbestand mit einer Flächengröße von 0,2 ha generiert (1469 Modellbestände). Durch das systematische Inventurdesign der Bundeswaldinventur kann unterstellt werden, dass die Modellbestände das Vorkommen an ALn im Untersuchungsgebiet repräsentativ abbilden. Für diese Modellbestände wurden zwei Szenarien der künftigen Waldentwicklung mit dem Softwaresystem »WaldPlaner« für einen Zeitraum von 30 Jahren berechnet:

1. Variante ohne Einschränkungen (Standardvariante)
2. Variante unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher Restriktionen (Restriktionsvariante)

Durch den Vergleich beider Szenarien sollte herausgestellt werden, inwieweit sich die Berücksichtigung von Naturschutzrestriktionen auf das prognostizierte ALn-Aufkommen auswirkt.

Grundsätzlich ist zu erwarten, dass Weichlaubholzbestände in besonderem Maße naturschutzfachlichen Restriktionen unterliegen. Für die Einschätzung der Nutzungsrestriktionen wurden alle 1469 Traktecken anhand der Standortinformation und der Einschätzung der potentiellen natürlichen Vegetation einem Biotoptyp zugeordnet. Um die Zuverlässigkeit der theoretisch abgeleiteten Biotoptypen abschätzen zu können, wurden zufällig Stichproben ausgewählt und vor Ort überprüft. Bei den im Gelände aufgesuchten Traktecken wurden neben der Biotoptypeneinstufung auch Detailinformationen zur Bodenvegetation, Struktur und Deckung der Gehölzvegetation, Beeinträchtigungen durch anthropogene Eingriffe wie auch die Größe der Biotope erfasst.

Die theoretisch abgeleitete Biotoptypenverteilung zeigt einen hohen Vorratsanteil von ALn auf organischen Nassstandorten (Abbildung 2). Hier treten mit 15 Mio. m³ ca. ein Drittel der Vorräte auf. Als Biotoptyp dominieren mehr oder weniger stark entwässerte Bruchwälder. Auf den übrigen Standorten dominieren Laub- und Nadelforste, sowie Birken-Aspen-Pionierwälder.

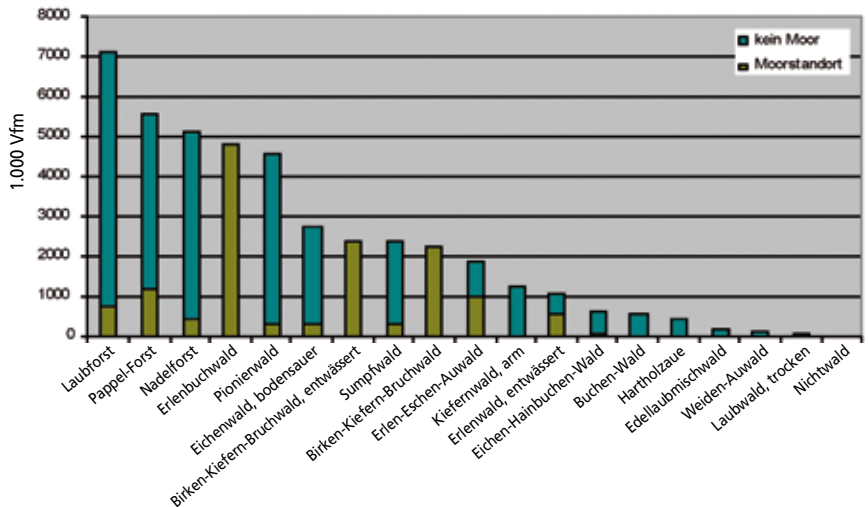


Abb. 2: Verteilung der ALn-Vorräte auf Biotypengruppen

Die Implementierung von Naturschutzrestriktionen im Simulationssystem wurde durch verschiedene Vorgaben realisiert:

- anzustrebender Waldentwicklungstyp (WET), Festlegung der Baumartenanteile
- Eingriffsstärke u. -art
- Art der Endnutzung (Zielstärkennutzung, Schirmschlag, Kahlschlag)
- Anzahl Habitatbäume/ha
- Minderheitenschutz ja/nein

Die in die Restriktionsvariante integrierten naturschutzfachlichen Nutzungseinschränkungen zielen in erster Linie darauf ab, geschützte Biotope und FFH-Waldlebensraumtypen schonend und mit der Zielrichtung einer naturnahen Baumartenzusammensetzung zu bewirtschaften. Die Erhaltung und Förderung der typischen Baumarten wurde durch die Einstellung eines entsprechenden WET gewährleistet. Dieser basiert auf den Richtlinien zur Baumartenwahl in Niedersachsen und Schleswig-Holstein und entspricht damit einer Zielbestockung, die auf Grundlage des Standortes empfohlen wird.

Die Eingriffsstärke wurde in den geschützten Biotopen mittels einer erhöhten Grundflächenhaltung und einer gegenüber dem Standardszenario reduzierten maximalen Eingriffsstärke abgesenkt. Zusätzlich wurde ggf. die Zahl der Habitatbäume je Hektar auf drei eingestellt. Berücksichtigt wurden dabei

nur Lebenraumtypen, die typischerweise Weichlaubholzanteile aufweisen. Minderheitenschutz für Baumarten mit geringem Mischungsanteil wurde nur für forstlich geprägte Biotypen (Laubforst, Nadelforst) in öffentlichen Wäldern aktiviert, um zu verhindern, dass lebensraumuntypische Gehölzarten, die dann ebenfalls dem Minderheitenschutz unterlägen, in naturnahen Biotopen verbleiben.



Abb. 3: Birken-Bruchwald im niedersächsischen Tiefland

Besonders seltene, insbesondere an nasse und nährstoffarme Bedingungen gebundene Biotypen wurden ebenso aus der forstlichen Nutzung genommen, wie durch Schutzverordnungen von der Nutzung ausgenommene Flächen. Von den 1469 Traktecken (Modellbeständen) waren davon 137 betroffen. 485 Bestände wurden mit Nutzungseinschränkungen, am häufigsten Minderheitenschutz im öffentlichen Wald, simuliert. Bei 847 Traktecken wurden abgesehen von der WET-Festlegung keinerlei Restriktionen vorgenommen.

2.2.2. Ergebnisse

In Abbildung 4 sind die Simulationsergebnisse zusammengefasst. Dabei werden baumartenweise die prognostizierten Nutzungsmengen den Zuwächsen gegenübergestellt. Bei der Birke beträgt der Derbholzzuwachs je 5-Jahres-Intervall im Mittel 3 Mio. m³, wobei sich kaum Unterschiede zwischen dem Standardszenario und der Restriktionsvariante zeigen. Die anfallende Nutzungsmenge im Simulationszeitraum verteilt sich ebenfalls relativ gleichmäßig und liegt bei rund 2 Mio. m³/ 5 Jahre. Es lassen sich eindeutige Tendenzen erkennen, wonach die Nutzung im Standardszenario geringfügig höher ausfällt. Etwas ausgeprägter sind diese Unterschiede bei der Erle. Die Implementierung der Einschränkungen wirkt sich hier stärker aus und führt außerdem zu erhöhtem Zuwachs gegenüber der Standardvariante. Auffallend ist weiterhin, dass die Nutzungsmenge zwar stets geringer ist als der Zuwachs, jedoch kontinuierlich abnimmt, was vorerst auf einen Rückgang der Anzahl hiebsreifer Bestände bzw. Bestandesteile hindeutet. Ähnliches ist bei der Pappel zu beobachten. Die anfangs hohen Nutzungsmassen von etwa 2 Mio. m³ zeigen einen rückläufigen Trend, allerdings übertrifft die Nutzung stets den Zuwachs. Die Ursache dafür ist, dass ein Großteil des Pappelaufkommens zu Beginn des Prognosezeitraums bereits in den stärkeren Durchmesserklassen stockte und entsprechend der Zielstärkenvorgabe in den ersten Simulationsschritten entnommen wird.

Bedingt durch veränderte Waldbaustrategien werden Bestandesbegründungen mit Pappel langfristig kaum eine Rolle spielen. Das künftige Aufkommen wird deutlich abnehmen und sich auf das natürliche Auftreten im Bereich der Auwälder sowie auf kleinflächige Beimischungen der Aspe in unterschiedlichen Waldgesellschaften beschränken. Bei der Eberesche zeigt sich eine gegenteilige Entwicklung. Die Nutzungsmenge ist verglichen mit dem Zuwachs sehr gering, was einerseits durch die Vorgabe der Zielstärke (35 cm) begründet ist. Innerhalb der Prognoseperiode erreicht bis zum Jahr 2027 nur ein geringer Anteil der Bäume den Zielstärkenbereich oder wird im Rahmen einer Vornutzung entnommen. Im Jahr 2032 tritt dann eine verstärkte Nutzung ein. Andererseits bewirken die über den WET gesteuerte Mischungsregulierung sowie der Minderheitenschutz, dass die Eberesche in zahlreichen Modellbeständen aus der Verjüngung in den Hauptbestand einwächst bzw. bei vereinzelt Vorkommen im Hauptbestand verbleibt und somit auf den Zuwachs einwirkt. Beim Vergleich der beiden Szenarien treten bei der Eberesche kaum Unterschiede auf. Praktische Erfahrungen, wonach eine gezielte Bewirtschaftung der Eberesche in der Regel nicht erfolgt und die extensive Nutzung eher zufällig stattfindet, lassen sich gut mit den aufgezeigten Simulationsergebnissen vereinbaren. Bei der Weide ergibt sich ein uneinheitliches Bild.

Während anfangs der Zuwachs von der Nutzungsmenge deutlich übertroufen wird, ist dieser Unterschied im übrigen Zeitraum deutlich schwächer oder teilweise aufgehoben. Ebenso wie für die Eberesche gilt für die Weide einerseits, dass die Vorräte und Nutzungsmengen im Vergleich zu den anderen Baumarten nur sehr gering sind und andererseits aufgrund vereinzelter Vorkommen bzw. Beimischungen eine Nutzung in der Praxis sporadisch erfolgt, im Simulationssystem hingegen ab einer festen Zielstärke einsetzt.

Bei einer Gesamtbetrachtung der ALn-Gruppe wird deutlich, dass sowohl der Zuwachs als auch die genutzte Derbholzmasse rückläufige Tendenzen aufweisen. Während die Simulationsergebnisse für das Jahr 2012 eine theoretische Nutzungsmenge von rund 6 Mio. m³ angeben, fallen im Jahr 2032 noch 4 bis 4,5 Mio. m³ an. Ein Nutzungsverzicht bzw. eingeschränkte Nutzung bewirken im Vergleich mit dem Standardszenario eine Reduktion der Nutzungsmasse um etwa 10 %, der Zuwachs wird hingegen kaum beeinflusst. In beiden Szenarien liegt der prognostizierte Zuwachs stets über Nutzungsmenge, d.h. die unterstellten Eingriffsszenarien führen mittelfristig nicht zu einem Vorratsabbau im verbleibenden Bestand, wenngleich es zu Verschiebungen der Vorratsanteile zwischen den Arten kommt.

Das bisherige Nutzungsverhalten lässt sich anhand der ALn-Einschlagsmenge zwischen 1987 und 2002 aus den Daten der BWI1 und BWI2 herleiten. Die Analyse zeigt, dass in Niedersachsen und Schleswig-Holstein zusammengekommen im Durchschnitt bezogen auf einen 5-Jahres-Zeitraum etwa 1 Mio. m³ ALn genutzt wurde. Unterstellt man zusätzlich für Sachsen-Anhalt näherungsweise eine Nutzungsmenge 0,2 - 0,3 Mio. m³ pro 5-Jahres-Intervall, so wird deutlich, dass die prognostizierte Nutzungsmenge deutlich darüber liegt. In beiden Szenarien ergibt sich über den gesamten Zeitraum ein Nutzungsaufkommen von mindestens 4 Mio. m³ Derbholz je 5-Jahres-Intervall. Bezogen auf das theoretisch verfügbare Potenzial und unter Vernachlässigung der Markthemmnisse wäre gemäß Simulationsergebnissen mittelfristig eine Vervierfachung der zwischen 1987 und 2002 identifizierten Nutzungsmenge möglich, ohne dabei den Zuwachs des verbleibenden Bestandes abzuschöpfen.

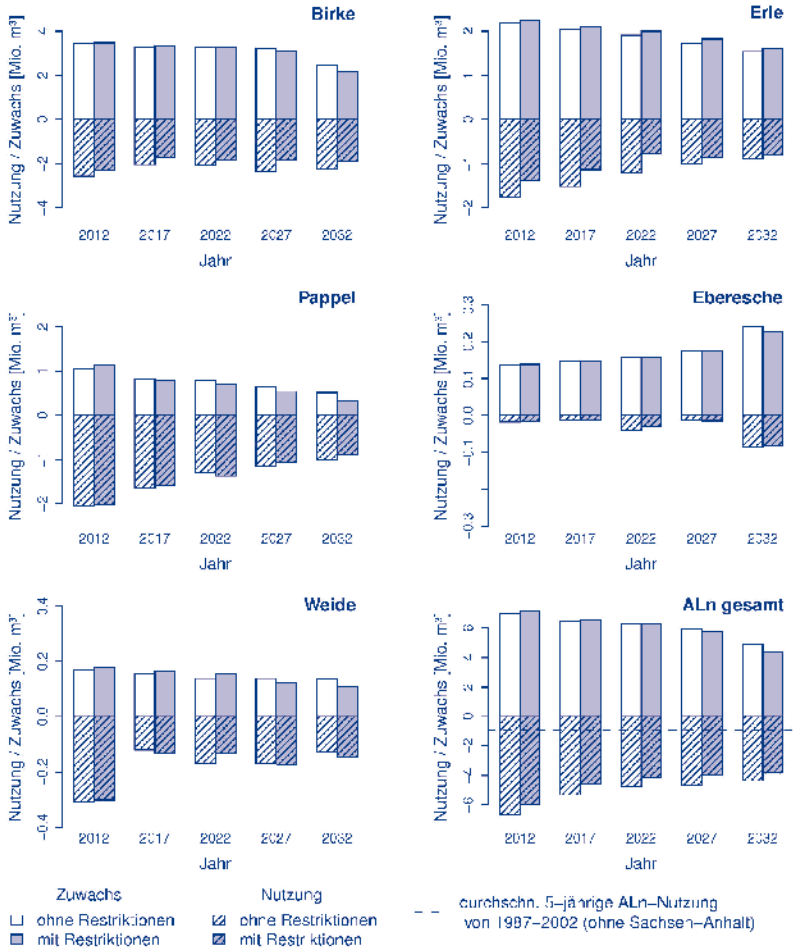


Abb. 4: Prognose des Zuwachses und der Nutzungsmenge mit und ohne Berücksichtigung von Restriktionen. Der Referenzwert für die durchschnittliche ALN-Nutzung in Niedersachsen und Schleswig-Holstein von 1987 bis 2002 (unten rechts) wurde aus den BWI-Daten abgeleitet.

Literatur

BMELV- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2012). Holzmarktbericht 2011. <http://www.bmelv-statistik.de/de/fachstatistiken/forst-und-holzwirtschaft/>. 15.12.2012

Mantau, U. (2012). Holzrohstoffbilanz Deutschland. Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015. Zentrum f. Holzwirtschaft, Hamburg

NW-FVA- Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (2012). Der Waldplaner 2.0. <http://www.nw-fva.de/?id=216>, 15.10.2012

»Weichlaubholz – ungenutztes Rohstoffpotenzial« - Holzernte und Logistik

Heribert Jacke, Meinolf Lau, Stephan Willems

*Georg August Universität Göttingen - Fakultät für Forstwissenschaften und
Waldökologie - Abteilung Arbeitswissenschaft u. Verfahrenstechnologie*

1. Grundsätzliches

Baumarten, die hierzulande unter der Bezeichnung »Weichlaubholz« zusammengefasst und in der amtlichen Forstplanung (Einrichtung) oft undifferenziert berücksichtigt werden, kommen selten in größeren Reinbeständen vor: einzelbaum- oder bestenfalls horstweise Beimischungen bilden die Regel. Dies bedeutet, dass auch der eigentliche Input von Arbeitssystemen zur Holzernte sich häufig an Verfahren orientieren wird, die nicht (zumindest nicht vorrangig) für Laubhölzer besagter Gruppe konzipiert worden sind¹. Ein grundsätzliches Problem erwächst für unsere Fragestellung daraus nicht, da sich die Verfahren zwischen Baumarten oder Baumartengruppen ähneln – bis auf die Produktivitäten, die dabei erzielt werden können.

Die Produktivitäten² einer wahren Fülle oft artenspezifischer Arbeitssysteme sind zumindest arbeitswirtschaftlichen Experten bekannt. Die Verfahrenskomponenten dieser Systemfülle unterscheiden sich allerdings oftmals in schwer erkennbaren Details, und unsere WEIPOL-Forschung begann demnach damit, wenige und dabei charakteristische Systeme zu bestimmen, die für die Forderung nach zusätzlicher Mobilisierung der Weichlaubholzvorräte exemplarisch in Frage kommen.

Wer letztendlich diese ausgewählten Systeme (als z. B. Schätzhilfe für ähnlich konzipierte Systemvarianten) nutzen will, um aus verfügbaren Datenbanken und ähnlichen Sammlungen Schlüsse auf Mobilisierungskosten zu ziehen, braucht ein einheitliches Bezugsmaß für die Produktivitäten (und darin steckender Planzeiten) – und das ist oftmals pro toto nur der Brusthöhendurchmesser. Der Bezug verfügbarer Planzeiten auf das Minimum hierzu aus geostatistischen Kollektiven greifbarer Größen war die größte Herausforderung in der der Abteilung Arbeitswissenschaft (ifa) übertragenen Aufgabe.

2. Die Arbeitssysteme

Die Recherche der NW-FVA hat deutlich gezeigt, dass die norddeutschen Weichlaubholzvorräte nicht nur sehr unterschiedlich dimensioniert sind, sondern darüber hinaus hinsichtlich ihrer Beerntungsmöglichkeit auf sehr ungleichen Standorten stocken. Schon deshalb leuchtet ein, dass eine Auswahl geeigneter Arbeitssysteme ein breites Spektrum von Mechanisierungs-

graden abdecken wird. Sechs Systeme, die in summa die Anforderungen erfüllen, werden im Folgenden vorgestellt.

1. Rund die Hälfte des in Deutschland geernteten Holzes wird frei Waldstraße motormanuell bereitgestellt: Fällen, Entasten und Zopfen erfolgen mittels Motorsäge, auf eine Einkürzung weiterer Sortimente im Hieb verzichtet man, um die Rückekosten nicht ausufern zu lassen: das klassische Erntesystem wird also sehr extensiv interpretiert. Das Rücken erfolgt gelöst und schleifend (skidding) mit hierfür geeigneten Spezialtraktoren oder aufgerüsteten Schleppern aus nichtforstlichen Anwendungsbereichen zunächst zur befahrbaren Gasse, von dort zu Polternischen am lkw-fähigen Waldweg.
2. Das zweite System umfasst Verfahren, bei denen besagte Langholzschlepper synchron mit den Fällungsarbeiten im Hieb eingesetzt werden: das Rücken (evtl. mit Zufallbringen) wird den Arbeiten im Hieb integriert, und der Transport zum Wegepolter erfolgt in systematisch »frisch« gefällten und vorsortimentierten Lasten. Eine regelrechte Tradition haben die Integrierten Systeme hierzulande in typischen Durchforstungsbeständen mit Ursprung im Laubholz. Auch in unserer Auswahl sehen wir genau dort den Schwerpunkt.
3. Die in den 1970er Jahren in Schweden und Finnland entwickelte »Cut To Length«-Holzernte (CTL-Mode³) hat sich in ganz Mitteleuropa etabliert. Auch Laubbäume werden per Vollernte gefällt, entastet, verkaufsgerecht eingekürzt und nach zumindest provisorischer Vermessung in Sortimenten getrennt am Rande der Rückegasse in Kleinpoltern deponiert, später (also gelöst) mit Tragschleppern zu größeren Wegepoltern endgerückt (forwarding). Typisch für Radharvester, die das Metier eindeutig dominieren, ist nach wie vor die Länge des Auslegers: mehr als 10 m werden auch in absehbarer Zukunft aus Stabilitätsaspekten der Trägermaschine nicht machbar sein. Das bedeutet zugleich, dass CTL-Ernte in Reinkultur einen Gassenabstand in früheren Eingriffen von maximal 20 m erlaubt. Auch wir unterstellen in unseren Modellen diesen Standard.
4. Die Neigung des mit den Maschinen zu befahrenden Geländes setzt der CTL-Ernte Grenzen. Auch wenn mit Traktions-Bogiebändern ausgestattete Maschinen unter günstigen Bodenbedingungen Steigungen von bis zu 70 % bewältigt werden können, sieht man im zentraleuropäischen Bereich 35 % als oberen Wert des Planbaren. Systematisch kann man diese Grenze auf knapp über 50 % heraufsetzen, wenn man die Harvester und Forwarder auf extreme Hangbedingungen trimmt. Zentrales Bauteil dieser kostspieligen Aufrüstung ist eine »Traktionswinde« (zuweilen auch

»Hilfswinde« genannt), die mit dem Endantrieb der Maschine synchronisiert wird und somit eine fast schlupflose Befahrung steiler Hänge erlaubt. Die obere Neigungsgrenze dieses Systems orientiert sich an vorsichtigen Ansätzen der Seil-Bruchlasten.

5. Auch Traktionswinden verlieren einen vertretbaren Sinn, wenn selbstfahrende Maschinen auf weichen (in aller Regel vernässten) Untergründen selbst mit »schonenden Fahrwerken« tiefe Spuren hinterlassen oder gar einsinken. Wenn sich unter diesen Bedingungen noch die motormauell arbeitenden Menschen bewegen können, hilft selbst in ebenen Lagen nur noch das »Yarding«, der Einsatz von Seilsystemen, um das auf solchen Standorten stockende Holz überhaupt ernten zu können. Systeme mit stationärem Tragseil (Seilkrane) haben sich eindeutig etabliert. Die mindestens 4 m breiten Rückegassen bislang vorgestellter Systeme werden dabei durch etwa halb so breite Seillinien ersetzt, zwischen denen eine Distanz von rund 30 m liegt. Drei-Seil-Systeme, die neben dem Trag- und Zugseil noch eine zusätzliche Seilwinde allein für die Bewegung des Laufwagens aufweisen, sind in der Ebene notwendig, aber auch in steilen Lagen mehr und mehr verbreitet. Wir setzen in unseren Kalkulationen auf mobile Anlagen, die Vollbäume rücken, am Weg mit Prozessoraggregaten entasten, vermessen und sortimentieren. Die eingekürzten Sortimente werden mit einem Forwarder in der Umgebung des Anlandeplatzes endgepoltert.
6. Bis hierher haben wir Arbeitssysteme vorgestellt, deren m. o. w. extensive Sortimentierung zwischen den späteren Verwendungsmöglichkeiten des Holzes nicht differenziert: stoffliche oder energetische Nutzung sind denkbar. Das ändert sich in der letzten der hier vorzustellenden Systemgruppen. Skandinavische und deutsche Erhebungen haben gezeigt, dass ausgesprochen frühe Eingriffe wirtschaftlich vertretbar (allerdings nach gewissen Zertifizierungs-Standards verboten) sind, wenn man mit einem Energieholzaggregat am Ausleger eines Harvesters oder eines Forwarders arbeitet. Die als Fäller-Sammler (auch Fäller-Bündler) ausgelegten Maschinen stellen ein eventuell eingekürztes Sortiment bereit, das unvermessen und bestenfalls sehr grob entastet vornehmlich der energetischen Nutzung nach Zerspanung vorbehalten bleibt. In unseren Rechnungen wird das frühestens am Waldweg angedachte Zerspanen nicht mehr berücksichtigt.

3. Tarife

Für die Erstellung von Produktivitätsmodellen und daraus herleitbaren Tarifen bleibt, wenn man auf kostspielige und langwierige eigene Zeitstudien verzichten muss, letztlich nur der Weg einer modifizierten Meta-Analyse: man betreibt eine umfangreiche Recherche auf induktiv und deduktiv zusammengetragene Tarifunterlagen oder auf von namhaften Experten gutgeheiene Studien-Resultate, die man algebraisch-analytisch auf die eigenen expliziten Fragestellungen trimmt.

Bei solchen Analysen wird rasch deutlich, dass Modelle, die sich auf Arbeitssysteme erstrecken, in denen der »Produktionsfaktor (menschliche) Arbeit« eine herausragende Rolle spielt (Konventionelle Holzernte, Integrierte Systeme, Yarding) schon deshalb mühevoll zu formulieren sind, weil die Leistung des Menschen signifikant von viel mehr Faktoren beeinflusst wird, als dies bei relativ hochmechanisierten Varianten der Fall ist.

Die umfassendste Sammlung von Zeitstudienresultaten für das konventionelle System bietet der EST⁴ - dies allerdings mit dem Nachteil, dass die dem Tarif »angehängten« Vorgabezeiten mühsam vom zuvor entwickelten »Baumtarif« (mit dubiosem BHD-Bezug) auf Durchmessern an definierten Sortimentsabschnitten gewandelt worden waren. Die Reduktion auf den Bezug »Brusthöhendurchmesser« als allseits verfügbare geostatistische Eingangsgröße erwies sich als eine der größten Herausforderungen im WEIPOL-Projektteil, den das ifa zu bewältigen hatte. Der Weg über die betagten Jahresstatistiken der Sortimentsverteilung und des zugehörigen Zeitbedarfs der westlichen Bundesländer mit differential-geometrischen Angleichungen zwischen heute kaum noch aktuellen Sortimenten, der Verschnitt allometrischer Biomassemodelle mit Stammform-Reihen zum Schluss vom Stckvolumen auf den BHD wird detaillierter beschrieben in [4].

Die Einbindung des Produktivittsmodells für die Integrierten Systeme war schon deshalb einfacher, weil unsere Beschränkung auf das Modifizierte Goldberger Verfahren (MGV) den Rückgriff auf einen Baumtarif gestattete. Die Flle möglicher Zuschläge für MGV und vor allem für den EST und das im konventionellen System damit verbundene Langholzrcken wurde über Regressionsmodelle aufgefangen. Kein Produktivittsmodell des ifa greift auf Tabellen aus Datenbanken zurück.

Auch über das Yarding gibt es deutsche Publikationen, aber es wäre vermessen, hier nicht auf das Basis-Wissen der Alpenländer zurückzugreifen. Hierfür sah das bewilligte Drittmittelkontingent einen Betrag vor, der einer sterreichischen Forstlichen Ausbildungsstätte zugeschlagen wurde. Dort erstellte man einen wohl umfassenden Überblick [7] neuerer Publikationen

zum Seilkraneinsatz, konkretisiert auf solche, die Produktivitätsdaten oder bereits zugehörige Regressionsmodelle lieferten. Keine dieser Gebirgs-Studien widmete sich allerdings Laubhölzern, keine berücksichtigte den Seilkraneinsatz in der Ebene. Selbst die Österreichischen Kollegen sahen sich an diesen Stellen gezwungen, uns abschätzende Faktoren zu empfehlen. Die Vielfalt der leistungsrelevanten Faktoren ist bei den immensen Arbeiterzeiten der Seilsysteme enorm, und auch hier mussten wir Modelle sehr simplifizieren, um sie für eine Abschätzung zu erwartender Produktivitäten in einem vielseitig orientierten Kalkulationssystem handhabbar zu machen.

Die grundsätzlich einfacher (weil in ihrer robusten Technik weniger beeinflussbaren) Leistungen der Hochmechanisierten Verfahren (CTL incl. Steilhangvariante) sind in den rechnerischen Grundlagen dargestellt in [5], die vergleichbaren Prinzipien des Energieholz-Systems (mit Fäller-Sammler-Aggregaten) findet man in [6].

Die Produktivitäten aller sechs Holzerntesysteme sind im Abschlussbericht [8] des umfassenden WEIPOL-Projektes als Gleichungen auf die Zielgröße »Zeitbedarf je Festmeter« zu finden. Die Zielgröße wird dabei separat ausgewiesen für systemrelevante Betriebsmittel und damit agierende Menschen. Die Verquickung mit geo-statistischen Baumdaten setzt voraus, dass man die ebenfalls dort beschriebenen Einsatzgrenzen der Systeme heuristisch hinterfragt, um unsinnigen Resultaten (z. B. teures Yarding in problemlos befahrbareren Lagen) vorzubeugen. Für den »sofortigen Hausgebrauch« liegen die Systemgleichungen mit zugehörigen Abfragen auf Plausibilität in einer EXCEL-formatierten Arbeitsmappe vor.

4. Decision Support System

Für eine abschließende Phase des hier beschriebenen Projektteiles war vorgesehen, die Zeitbedarfsdaten mit Kosten der Arbeiter und Maschinen zu verschneiden. Informationen zu den Kalkulationsschemata der Großmaschinen sind ausführlich dargelegt in [9], isoliert abrufbar unter [11], Hinweise auf die Kalkulation der Betriebsstundenkosten tragbarer Kleinmaschinen findet man mit weiterführenden Quellen in [10].

Die Einsatzgrenzen unserer sechs Systeme, sämtliche Zeitbedarfs-Modelle mit ihren Zuschlagsgleichungen und die Maschinenkalkulationsschemata sind innerhalb einer etwa sechsmonatigen Entwicklungs- und Testphase in ein dialogfähiges Programm (geschrieben in C) überführt worden. Das Programm steht unter [13] zum kostenlosen Download parat. Bereits mit wenigen Basis-Eingaben kann man sich damit am Monitor Einblicke in das Kostengefüge verschaffen, das dann optional im hier beschriebenen Rah-

men präzisiert werden kann. Maschinenkosten dürfen im Programmablauf kategorisch geändert, oder auch in ihren kalkulatorischen Grundlagen modifiziert werden.

Besagtes Programm firmiert in [13] unter der Bezeichnung »Laubholzernte«, und diese Bezeichnung ist gerechtfertigt, weil wir im Nachhinein die auf Weichlaubholz zugeschnittenen Resultate unserer Studie auf das gesamte Laubholzspektrum erweitert haben. Einzelheiten zur Theorie und zur Entwicklung des Programmes sind in [12] beschrieben.

Dieser letzte Schritt des ifa im WEIPOL-Projekt mag insofern als vielleicht wichtigster beurteilt werden, weil er jedem Nutzer die Möglichkeit offeriert, künftig mit einem effizienten Entscheidungs-Unterstützungs-System (Decision Support) zu arbeiten, wenn es um die Planung von Holzerntemaßnahmen im Laubholz geht.



Abb. 1:
Startseite des Decision Support Systems, abrufbar unter [13]

5. Konsequenzen für die Weichlaubholzernte

Die grundsätzliche Idee des ifa im WEIPOL-Projekt war, die (zunächst auf Laubholz beschränkte) Holzernte mit wenigen Modellgleichungen abzubilden, also auf tabellarisch strukturierte Datenbanken zu verzichten und bei Wahl einfacher, verbreiteter Bezugsgrößen rasch Leistungen und Kosten kalkulieren zu können. Diese Grundlagen liegen nunmehr vor. Man könnte (mit plausibler Unschärfe, aber immerhin) die Gleichungen nutzen, um aus den geo-basierten Unterlagen der Forsteinrichtung und Standorterkundung für beliebige Regionen (Nord-) Deutschlands den zeitlichen und monetären Aufwand abzuschätzen, den eine gezielte Weichlaubholzentnahme verursachte, die bisherige Praktiken deutlich übersteigt. Vielleicht war das sogar ein Ziel des gesamten WEIPOL-Projektes.

Das aus den Modellgleichungen entwickelte Decision-Support-System erlaubt neben der konkreten Planungshilfe auch ökonomisch interessante Vergleiche zwischen den sechs Holzertesystemen – und das mit fast sämtlichen Freiheitsgraden in der oft umstrittenen Wahl kalkulatorischer Grundlagen. Ein Beispiel liefert Abbildung 2, in der für 5 cm breite BHD-Stufen zwischen 15 und 30 cm die festmeterbezogenen Kosten für die konventionell motormanuelle, die integrierte Holzernte (Modifiziertes Goldberger Verfahren) und die von Harvester und Forwarder praktizierte CTL-Ernte abgeschätzt werden.

Alle Verfahren zeigen den typischen Hyperbel-Trend des Stückvolumengesetzes im Hintergrund. Besonders im schwächeren Baumbereich dominiert die CTL-Technologie, aber die Näherung der Kosten bei schon 30 cm BHD zeigt, dass die unangefochtene Dominanz der hochmechanisierten Lösung inzwischen wankt. Die CTL-Variante näherte sich deutlich und auf breiter Front ihrer »Konkurrenz«, wenn man ihren vollflächig möglichen Einsatz bei größeren Rückegassenabständen unterbände (mit »Laubholzernte« übrigens nicht möglich). Bedenkt man ferner die Organisationsempfindlichkeit hochmechanisierter Systeme, so versteht man vielleicht, dass selbst Großmaschinen-Enthusiasten inzwischen von einem absehbaren »Zeitalter der Motorsäge« in der Holzernte sprechen!

Das lediglich auf die Ernte gesparten Energieholzes zugeschnittene System mit Fäller-Sammler-Aggregat (Nr. 6 der oben beschriebenen Systeme) erscheint wegen der unterstellten Schnittdurchmessergränze in der Grafik lediglich über dem schwächsten (gewählten) BHD von 15 cm – dort allerdings mit monetär unschlagbaren Folgen.

Kosten der (Weich-) Laubholzernte

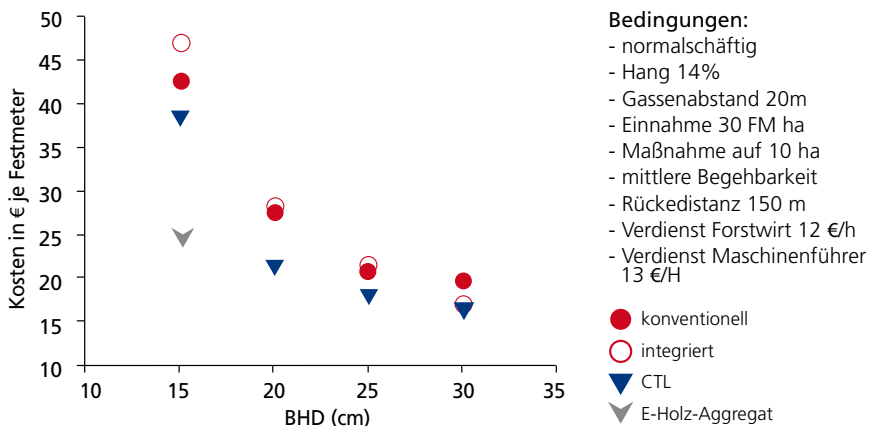


Abb. 2: Kostenvergleich von Holzertesystemen in befahrbaren Lagen

Simuliert man schließlich (außerhalb der in Abb. 2 vorgestellten Randbedingungen!) eine Ernte des Weichlaubholzes auf ausgesprochenen Nassstandorten, die mit Maschinen nicht befahren werden sollten (oder können), so erkennt man rasch, dass nur noch abgehobene Scheitholzpreise positive Deckungsbeiträge (der 1. Stufe!) erwarten lassen. Auf solchen Standorten soll allerdings – auch eine WEIPOL-Erkenntnis – ein beachtlicher Teil der lange Zeit unterschätzten Weichlaubholzvorräte stocken: auch hier stoßen Mobilisierungsansätze schnell an ihre Grenzen.

Fundstellen

- [1] AUTORENKOLLEKTIV: *Arbeitsstudien, Arbeitsorganisation und Qualitätsmanagement in der Forstwirtschaft*; REFA-Fachbuchreihe Arbeitsgestaltung, Hrsg. REFA-Fachausschuss Forstwirtschaft, Darmstadt 1998
- [2] AUTORENKOLLEKTIV: *EST – Erweiterter Sortentarif; Duplikat einer Vorlage der Waldarbeiterschule des Landes Nordrhein-Westfalen für den Gebrauch in der Vorlesung »Bereitstellungsprozesse für Waldholz«* (JACKE, H.), Göttingen 2002
- [3] JACKE, H.: *Der EST in Kurven; Skriptum für die Vorlesung »Bereitstellungsprozesse für Waldholz«, Göttingen 2002*
- [4] JACKE, H., WILLEMS, S., LAU, M.: *Planzeiten für die konventionelle Laubholzernte (Ein Ansatz für die Entscheidung zwischen alternativen Arbeitssystemen)*; Holz-Zentralblatt, in Druckvorbereitung, Stuttgart 2014
- [5] JACKE, H.: *Zeitbedarfstarife für die hochmechanisierte Holzernte: Ein Klärungsversuch*; Forst und Technik, Heft 10, Seiten 24 – 27, Berlin 2013
- [6] EBERHARDINGER, A.: *Innovative Verfahrenstechnik bei der Bereitstellung von Waldhackgut zur thermischen Verwertung; Dissertationsschrift, verfasst an der TUM, München 2011*
- [7] JIRIKOWSKI, W., NEMESTOTHY, N., TARTAROTTI, C.: *Leistungs- und Kostenwerte für Seilbringungssysteme; Bericht an das ifa, Göttingen, Gmunden 2011, unveröffentlicht*
- [8] LAU, M.: *Abschlussbericht des ifa zum WEIPOL-Projekt (Beitrag zur umfassenden Publikation der NWFVA)*, Göttingen 2014
- [9] JACKE, H., GESKE, H.: *Alternative Kalkulation von Forst-Maschinenkosten [Prinzipien, Konsequenzen und deren (subjektive) Wertung]*, Holz-Zentralblatt, Heft 49, Seiten 1215 – 1218, Stuttgart 2013
- [10] JACKE, H.: *Bereitstellungsprozesse für Waldholz, Vorlesungsunterlagen, unveröffentlicht, Göttingen 2013*

[11] JACKE, H.: Kalkulationsframe für Großmaschinen, abrufbar unter <http://www.uni-forst.gwdg.de/forst/iwfl/index.html>

[12] JACKE, H., LAU, M.: Auswahl von Arbeitssystemen in der Laubholzernte (Eine software-gestützte Entscheidungshilfe aus Göttingen); Holz-Zentralblatt, in Druckvorbereitung, Stuttgart 2014

[13] JACKE, H., LAU, M., WILLEMS, S., QUENTIN, A.: Laubholzernte – eine Entscheidungshilfe; interaktive Software, aufruf- und herunterladbar aus <http://www.uni-forst.gwdg.de/forst/iwfl/index.html>

- 1 Zur Differenzierung der Begriffe »Arbeitssystem«, »Arbeitsverfahren« und »Arbeitsmethode« siehe REFA
- 2 Der Begriff »Produktivität« ist deckungsgleich mit dem der »Leistung«, oft ausgedrückt über deren Inversum »Zeitbedarf je Produktionseinheit«.
- 3 Zu Deutsch: Kurzholz-Modus, in dessen hoch-mechanisierten Rahmen Harvester und Forwarder eingesetzt werden.
- 4 EST: Erweiterter Sortentarif, letzter bundesweit für Mitglieder der Tarifgemeinschaft Deutscher Länder gültiger Akkord-Tarif, der auf der Datenbasis seines Vorgängers HET fußt, für den in den 1960er Jahren an rund 20.000 Bäumen (West-) Deutschlands Zeitstudien kooperativ zwischen den Tarifpartnern erhoben worden sind. Tarifdaten findet man in [2], Ausgleichsmodelle über den Sortimentsdurchmesser in [3].

»Weichlaubholz – ungenutztes Rohstoffpotenzial« - Ökonomische Analyse und Bewertung

Projektbearbeiter: Johannes Gerst,

Projektverantwortlich: Prof. Dr. Bernhard Möhring

*Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abteilung für Forstökonomie
und Forsteinrichtung, Georg-August-Universität Göttingen*

Weichlaubhölzer bilden in der Forstwirtschaft eine bisher »betriebswirtschaftlich vernachlässigte« Baumartengruppe. Im Gegensatz zu der Vielfalt von Untersuchungen über Kurzumtriebs-Plantagen auf landwirtschaftlichen Flächen liegen nur wenige ökonomische Untersuchungen zur Bewirtschaftung von Weichlaubhölzern auf Waldflächen vor. Im Hinblick auf eine rentable Bewirtschaftung stellen Weichlaubhölzer für Forstbetriebe eine besondere Herausforderung dar. Ursachen hierfür sind u.a. hohe Holzerntekosten auf befahrungsempfindlichen Böden, vergleichsweise niedrige durchschnittliche Holzerlöse, vergleichsweise geringe natürliche Produktivität sowie das Vorkommen von gesetzlich geschützten Lebensräume oder Arten.

Ziel des Teilprojekts »WEIPOL Arbeitspaket 3 Ökonomische Analyse und Bewertung« war es insbesondere

1. den Status der Verwertung von Weichlaubhölzern in Nordwestdeutschland zu erfassen und
2. langfristige Behandlungs- und Nutzungskonzepte für Weichlaubholzbestände darzustellen und ökonomisch zu bewerten.

Ausgewählte Hauptergebnisse des Teilprojekts werden im Folgenden kurz dargestellt.

1. Verwertung von Weichlaubhölzern in Nordwestdeutschland

Für die Analyse der derzeitigen Verwertungsverhältnisse bei Weichlaubhölzern in Nordwestdeutschland wurden forstbetriebliche Quellen wie Holzverkaufs- und Holzeinschlagsstatistiken genutzt. Es konnte auf Daten aus dem Staatswald der Länder Niedersachsen und Schleswig-Holstein, der Landwirtschaftskammer (LWK) Niedersachsen und des Betreuungsförstamts Westliche-Altmark des Landesbetriebs für Privatwaldbetreuung und Forstservice Sachsen-Anhalt der Jahre 2008-2011 zurückgegriffen werden. Insgesamt betreuen diese Organisationen eine Waldfläche von etwa 1 Mio. ha. Den Auswertungen liegt eine verkaufte Weichlaubholzmenge von knapp 220.500 Efm zugrunde.

- Die verkaufte Weichlaubholzmenge ist in den betrachteten Ländern in den Jahren 2008 bis 2011 kontinuierlich angestiegen.
- Lediglich Pappel wird in nennenswerten Umfang als Stammholz verwertet.
- Das Holz der übrigen Baumarten wird nahezu vollständig als Industrie- oder Energieholz verkauft.

Da die Landesforstverwaltungen als Preisführer im Rohholzmarkt gelten, können die Ergebnisse als repräsentativ für die Entwicklung des Weichlaubholzmarktes in Nordwestdeutschland angesehen werden^[1].

Um die Potenziale und Perspektiven der Stammholzverwendung für das Weichlaubholz abschätzen zu können wurde zusätzlich eine Analyse der Struktur und Anforderungen der Weichlaub-Stammholzkunden durchgeführt. Hierfür wurden im Rahmen strukturierter Interviews 30 holzverarbeitende Unternehmen befragt. Die Ergebnisse zeigen: Die befragten Unternehmen

- kaufen überwiegend regional, verkaufen überwiegend national,
- erwarten mehrheitlich gleichbleibendes oder sinkendes Holzangebot bei gleichbleibender oder sinkender Nachfrage nach Laubholzprodukten,
- planen überwiegend keine Änderungen ihres gegenwärtigen Produktportfolios und keine Ausweitung ihrer Produktionsmenge,
- schätzen mögliche Erfolge von Maßnahmen zur Förderung der stofflichen Verwendung von Laubholz sehr unterschiedlich ein.

2. Produktion von Weichlaubhölzern auf Waldflächen

Vor dem Hintergrund dieser und anderer Informationen müssen Forstbetriebe strategische Produktionsentscheidungen fällen, also entscheiden, wie Weichlaubholzbestände am besten mittel- bis langfristig zu bewirtschaften sind. Zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit unterschiedlicher Bewirtschaftungsmodelle können Betriebsklassensimulationen ^[2] für nachhaltig bewirtschaftete Betriebsklassen herangezogen werden. Hierfür wurde ein Excel-Tool entwickelt, das es ermöglicht, anhand empirischer Bestandes- und Nutzungsdaten individuell (also in Abhängigkeit von Baumart, Leistungsklasse, Umtriebszeit, Wertklasse, Bestockungsgrad, Risikosituation etc.) die wichtigsten betrieblichen Rentabilitäts- bzw. Liquiditätskennziffern zu berechnen, Einflussfaktoren zu erfassen und ihre langfristigen Auswirkungen abzuschätzen.

Da die Baumartengruppen Birke und Erle in den betrachteten Bundesländern mit ca. 40 % bzw. 30 % den größten Anteil am gesamten Weichlaubholz-Vorrat haben, wurden fünf unterschiedliche Bewirtschaftungsmodelle für die Baumarten Roterle und Sand- bzw. Moorbirke untersucht, die sich

durch die angestrebten (Holz-)Zielsortimente voneinander unterscheiden. Da Birken und insbesondere Erlen sowohl auf ganzjährig befahrbaren Standorten, wie auch auf beschränkt oder gar nicht befahrbaren Nassstandorten vorkommen, wurde zusätzlich die Befahrbarkeit der Standorte in die Betrachtungen mit einbezogen. [3]

Die ersten drei Bewirtschaftungsmodelle verfolgen eine klassische Stammholzproduktion nach Pflanzung, wobei auf Grund der Befahrbarkeiten der Standorte unterschiedliche Holzerntetechnologien unterstellt wurden. Den drei Modellen zur Stammholzproduktion wurden zwei Bewirtschaftungskonzepte zur ausschließlichen Produktion von Industrie- bzw. Brennholz gegenübergestellt, die einer niederwaldartige Bewirtschaftung ähnlich sind. Auch hierbei wird zwischen der Produktion auf befahrbaren und schwer befahrbaren Standorten unterschieden. Eine gezielte Pflanzung wird nur bei der Stammholzproduktion der Erle vorgesehen, bei den übrigen Bewirtschaftungsmodellen wird auf mehrfache Bestandespflege bzw. Vornutzungen verzichtet. Bei der Produktion von Industrie- bzw. Brennholz erfolgt lediglich eine einmalige Stammzahlreduktion, in deren Rahmen die Bestandesdichte soweit abgesenkt wird, dass der Bestand zum Zeitpunkt der Endnutzung wieder volle Bestockung aufweist.

Die Produktionsmodelle basieren in Abstimmung mit dem Teilprojekt 1 auf den insbesondere in Nordostdeutschland in der Forsteinrichtung gebräuchlichen Roterlen und Birken Ertragstafeln I. Ekl. nach Lockow [4, 5, 6]. Für alle fünf Bewirtschaftungskonzepte wurden die Volumina des verbleibenden und ausscheidenden Bestandes ermittelt und abhängig vom Durchmesser betriebswirtschaftlich bewertet

2.1. Roterle

- Bei der Roterle können alle dargestellten Bewirtschaftungsmodelle einen Beitrag zur Deckung der Fixkosten leisten, unter günstigen Standortbedingungen sind nachhaltig Reinerträge möglich.
- Sobald die Befahrbarkeit der Standorte soweit eingeschränkt ist, dass nur noch Spezial- und erst recht Seilkrantechnik eingesetzt werden kann, sinken die waldbaulichen Deckungsbeiträge erheblich.
- Auf schwer befahrbaren Standorten können die Deckungsbeiträge aus der Produktion von Industrie- bzw. Brennholz (NV-Betrieb) höher sein als bei Stammholzproduktion (Extensivierungsstrategie).
- Der Einsatz von Seilkrantechnik »rechnet« sich nur dann, wenn es gelingt positive erntekostenfreie Holzerlöse in einer Größenordnung von durchschnittlich mindestens 11,50 €/Efm zu realisieren.

- Industrieholzproduktion auf nicht befahrbaren Standorten unter Zuhilfenahme von Seilkrantechnik scheidet unter den gegebenen Kosten- und Erlösverhältnissen aus.

2.2. Birke

- Auch bei der Sandbirke können alle dargestellten Bewirtschaftungsmodelle einen Beitrag zur Deckung der Fixkosten leisten, auch nachhaltiger Reinerträge sind möglich.
- Unter den gegebenen Kosten- und Erlösverhältnissen ist der waldbauliche Deckungsbeitrag bei Produktion von Industrie- bzw. Brennholz auf schwer befahrbaren Standorten höher als bei der klassischen Stammholzproduktion.
- Eine zielgerichtete langfristige Bewirtschaftung der Baumart Moorbirke erscheint betriebswirtschaftlich kaum sinnvoll.
- Lediglich auf Risikostandorten kann es vorteilhaft sein, auf sich natürlich einstellende Moorbirkenverjüngung zu bauen.

3. Fazit

Weichlaubholz ist ein (stark anwachsendes) Massenprodukt mit spezifischen Eigenschaften (baumartenspezifischen Stärken). Kurzfristig ist nicht mit einer steigenden Stammholznachfrage beim Weichlaubholz zu rechnen. Es kann davon ausgegangen werden, dass Weichlaubhölzer auch in den nächsten Jahren überwiegend als Nichtstammholz vermarktet werden und somit für eine industrielle oder energetische Verwendung zur Verfügung stehen. Dieses ist für die vom Nadelholz dominierte Holzwerkstoffindustrie, die kurz- bis mittelfristig mit einer drastischen Verknappung beim Fichten- und Kiefernholz konfrontiert sein wird, ein wichtiges Signal, um auch langfristig eine inländische Produktion aufrecht erhalten zu können.

Bei der Holzverarbeitung sollte (insbes. in der Holzwerkstoffindustrie) weiterhin nach technischen Innovationen gesucht werden, um technologische Stärken der Weichlaubhölzer zu nutzen.

Forstseitig zeigt sich die Notwendigkeit Mengen zu bündeln und die Qualitäten zu homogenisieren. Bei der Konzeption konkreter Behandlungs- und Nutzungskonzepte für Weichlaubholzbestände sind ökonomische Bewertungskriterien von großer Wichtigkeit, denn obwohl erhebliche Weichlaubholz-Nutzungspotentiale bzw.-reserven vorhanden sind, sind die ökonomischen Grenzen im Wald schnell erreicht. Vor einer Umkehrung des Rationalitätsprinzips, also davor, dort den größten waldbaulichen Einsatz zu zeigen, wo die geringsten ökonomischen Erfolge zu erwarten sind, sei hier an dieser Stelle gewarnt.

Eine Intensivierung der Weichlaubholz-Nutzung sollte insbesondere befahrbare Lagen in den Fokus nehmen (dort sind rationelle Verfahren der hochmechanisierten Holzernte möglich). Naturschutzfachlich intendierte Flächenstilllegungen sollten vorrangig auf die schwierigen Standorte mit geringem Ertragspotential gelenkt werden.

Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt (2014): Index der Erzeugerpreise der Produkte des Holzeinschlags (Staatsforsten). https://www.destatis.de/DE/Meta/AbisZ/Erzeugerpreise_Forstwirtschaft.html
- [2] Möhring, B. (1986): *Dynamische Betriebsklassensimulation. Ein Hilfsmittel für die Waldschadensbewertung und Entscheidungsfindung im Forstbetrieb. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme. Bd. 20. Göttingen*
- [3] Finckenstein, Bernhard Graf v.; Gerst, Johannes (2013): *Forstökonomische Überlegungen zur Bewirtschaftung nasser Waldstandorte. AFZ-DerWald 68 (18). S. 20-22*
- [4] Lockow, Karl-Willi (1996): *Ertragstafel für die Roterle (Alnus glutinosa [L.] Gaertn.) in Mecklenburg-Vorpommern. Ministerium für Landwirtschaft und Naturschutz Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin*
- [5] Lockow, Karl-Willi (1997): *Ertragstafel für die Moorbirke in Mecklenburg-Vorpommern. Ministerium für Landwirtschaft und Naturschutz Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin*
- [6] Lockow, Karl-Willi (1997): *Die neue Sandbirken-Ertragstafel – Aufbau und Bestandesbehandlung. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie 31, 75–84*

Treibsel an den niedersächsischen Küsten - Aufkommen, Zusammensetzung und Möglichkeiten zur nachhaltigen klimaneutralen Verwertung

Ahrens, F.; Wallmann, R.; Loewe, K.

Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Fachhochschule
Hildesheim / Holzminden / Göttingen, Fakultät Ressourcenmanagement
Fachgebiet Nachhaltige Energie- und Umwelttechnik (NEUTec)

Als Treibsel oder auch Teek (niederdeutsch: Zeichen) werden Pflanzenreste bezeichnet, die vor allem nach Sturmfluten an die Küsten geschwemmt werden und einen Flutsaum am Strand bzw. am Deich bilden. Das angesammelte Treibsel auf den Deichen schädigt die Grasnarbe und gefährdet somit die Wehrhaftigkeit der Deiche. In Folge eines einsetzenden Rotteprozesses wird die Schädigung zusätzlich verstärkt. Im Zuge der Deicherhaltung müssen diese Pflanzenreste entfernt werden. Hierdurch entstehen den zuständigen Deichverbänden beim Entsorgen bzw. Verwerten des Treibselns erhebliche Kosten.



Die Motivation zur Durchführung dieses Forschungsprojektes entstand aus der Fragestellung wie das jährlich in unterschiedlichen Mengen und in verschiedener Qualität anfallende Treibsel nachhaltig und klimaneutral verwertet werden kann. Es wurde untersucht, ob sich Treibsel energetisch nutzen lässt, da die bisherigen Methoden zur Treibselentsorgung, bspw. das Verbrennen am Deich, als nicht mehr zeitgemäß anzusehen sind.

Zu Beginn des Forschungsprojektes wurde eine Umfrage bei den beteiligten Akteuren, hauptsächlich den niedersächsischen Deichverbänden, zur Ermittlung des Treibselauflkommens durchgeführt. Durch diese Umfrage konnten das Treibselauflkommen des Zeitraums 2004 bis 2011 größtenteils ermittelt werden. Die anlandenden Treibselmengen variieren auf Grund annueller Ereignisse (Sturmflutereignisse, Windrichtung etc.) und konstanter Bedingungen (geographische Lage des Deiches, Vorhandensein eines Sommerdeiches etc.) relativ stark. Die erhobenen Daten haben gezeigt, dass es an den niedersächsischen Küsten einige Bereiche bzw. Deichverbandsgebiete gibt, an denen ein vergleichbar erhöhtes Treibselauflkommen vorherrscht. Dies zeigt Abbildung 1 beispielhaft für das Jahr 2008. Die in 2008 angeschwemmten Mengen in den Bereichen der niedersächsischen Deichverbände zeigt Tabelle 1.

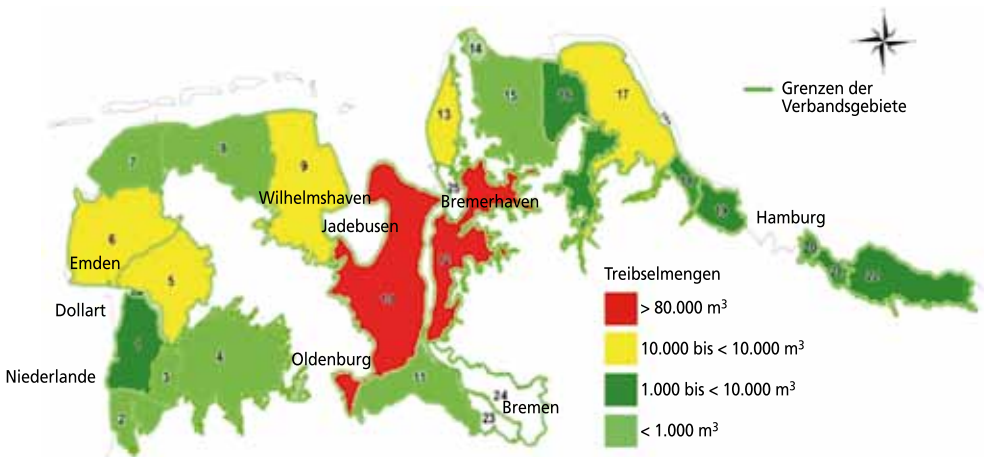


Abb. 1: Treibselauflkommen an den niedersächsischen Küsten 2008

Im Verlauf des Projektes wurden nach umfangreichen Probenahmen in 2010 und 2011 sowohl Untersuchungen zur thermischen Verwertung als auch zur Biogasgewinnung durchgeführt. Die thermische Verwertung von Treibsel kann, aufgrund der teilweise relativ hohen Schwermetallbelastungen und des gegenüber anderen Biobrennstoffen erhöhten Gehalts an Chlor und Schwefel, nicht empfohlen werden. Sollten dennoch thermische Entsorgungs- bzw. Verwertungsverfahren eingesetzt werden, sind zumindest besondere Vorkehrungen zum Schutz der Verbrennungstechnik vor Verschlackung und Korrosion sowie zum Schutz der Umwelt und der Menschen vor dem Eintrag schädlicher Emissionen zu treffen. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag folglich bei der als deutlich geeignetere Verwertungsmethode bewerteten bio-chemischen Konversion, der Biogasgewinnung. Gerade diese Verwer-

tungsmethode wurde für Treibsel der niedersächsischen Küsten bislang nicht ausreichend untersucht. Die Zahl der Biogasanlagen ist in den vergangenen Jahren stark angestiegen. Allein in Niedersachsen waren laut Fachverband Biogas e. V. im Juni 2011 über 1.000 Biogasanlagen in Betrieb. Damit einher geht die Suche nach Substraten und die Weiterentwicklung und Verbesserung der Vergärungstechnologie.

Tab. 1: Treibselaufkommen in einzelnen niedersächsischen Deichverbandsgebieten 2008

Nr.	Deichverband	Treibselaufkommen (m ³)	Nr.	Deichverband	Treibselaufkommen (m ³)
1	Rheider Deichacht	2.500	14	Cuxhavener Deichverband	150
2	Deichverband Heede- Aschendorf-Papenburg	900	15	Hadelner Deich- u. Uferbauverband	200
3	Overledinger Deichacht	2.500	16	Ostedeichverband	3.000
4	Leda-Jümme-Verband	900	17	Deichverband Kehdingen Oste	25.000
5	Moormerländer Deichacht	10.000	18	Deichverband I. Meile d. Alten Landes	*1.830
6	Deichacht Krummhörn	16.000	19	Deichverband II. Meile d. Alten Landes	*1.765
7	Deichacht Norden	50	20	Harburger Deichverband	*1.010
8	Deichacht Esens-Harlingerland	120	21	Deich- u. Wasserverband Vogtei Neuland	*1.100
9	III. Oldenburgischer Deichband	35.000	22	Artienburger Deichverband	600
10	II. Oldenburgischer Deichband	80.000	23	Bremischer Deichverband links d. Weser	
11	I. Oldenburgischer Deichband	78	24	Bremischer Deichverband rechts d. Weser	
12	Deichband Osterstader Marsch	87.407	23	bremenports GmbH & Co. KG	
12	Deichband Land Wursten	87.407	Summe:		290.029

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden an der HAWK in Göttingen drei verschiedene Vergärungsverfahren mit Treibsel untersucht. Die herkömmliche Art der einstufigen Nassvergärung, wie sie in der Praxis für Mais und ähnliche Rohstoffe am häufigsten genutzt wird, brachte vergleichsweise geringe Gaserträge. Deutlich bessere Ergebnisse wurden in der Festbett-Feststoff-Fermentation erzielt. Dieses Verfahren ist an das praxiserprobte Garagenverfahren mit Perkolation, wie etwa bei der Vergärung von Bioabfall verwendet, angelehnt, unterscheidet sich jedoch durch den Einsatz einer Festbettschüttung von herkömmlichen Garagenverfahren. Mit diesem Verfahren konnten aus Treibsel Methanerträge von ca. 360 LN/kg oTS erzielt werden, die mit Mais vergleichbar sind. Allerdings erfolgte der Abbau sehr langsam, so dass das Abbruchkriterium erst nach 135 Tagen erreicht wurde. In einer dritten Versuchsreihe mit dem Verfahren der kontinuierlichen zweistufigen Vergärung wurde Treibsel als Co-Substrat eingesetzt. Die durchschnittliche Verweildauer des Treibsel betrug nur 13 Tage, während das in dieser Zeit gewonnene Biogasvolumen in der Größenordnung der Untersuchungen im Biogasertragstest

nach 80 Tagen lag. Da jedoch die Gaserträge des Gasertragstests als sehr niedrig zu bewerten sind, wird vermutet, dass das Potential durch eine Verlängerung der Verweilzeit besser ausgeschöpft werden könnte.

Die beiden letzteren Vergärungsversuche belegen, dass Treibsel

- a) ein hohes Biogaspotenzial besitzt und
- b) durch eine Anpassung der Technologie beschleunigt umgesetzt werden kann.

Zusammenfassend ist Treibsel als ein vergleichsweise langsam zu vergärendes Substrat zu bewerten, dass zur Bildung von Schwimmschichten in volldurchmischten Fermentern neigt und eine angepasste Vergärungstechnologie erfordert, um das Gasbildungspotenzial weitgehend ausschöpfen zu können. Da es bisher kein etabliertes Verfahren für die Vergärung von Treibsel gibt, besteht auf diesem Gebiet noch weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Verkürzung der Verweilzeit und der Steigerung der Gaserträge. Denkbar ist in diesem Zusammenhang auch die Sinnhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Aufschlussverfahren.

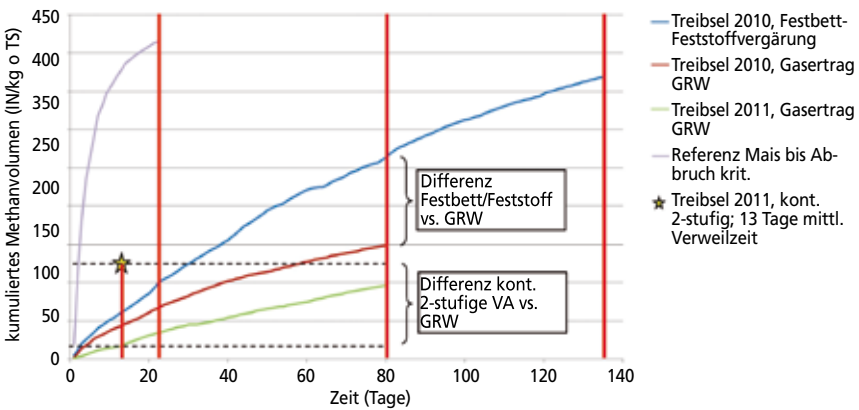


Abb. 2: Gasertragsvergleiche unterschiedlicher Testsysteme mit Maissilagerferenzprobe

Besonders vor dem Hintergrund des unregelmäßigen Anfalles von Treibsel, sollte die Vergärung von Treibsel als Co-Substrat zu ähnlich strukturiertem Material, wie z. B. zu Pferdemist, in Betracht gezogen werden. Weitere Untersuchungen müssen u. a. darüber angestellt werden, wie sich eine Anreicherung von Chlor und anderen anorganischen Bestandteilen des Treibselns im Perkolationswasser, auf den Fermentationsprozess auswirkt.

Zur Umsetzung der biochemischen Konversion des Niedersächsischen Treibseles sollte auf Basis des durchgeführten Logistikkonzeptes eine weitergehende Recherche und Analyse der bestehenden Vergärungsanlagen in der Küstenregion erfolgen.

Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes durchgeführten Untersuchungen zur Konversion des Treibseles mittels Pyrolyse zu Pflanzenkohle oder mittels Hydrothormaler Carbonisierung zu HTC-Kohle, eröffnen weitere, vielversprechende neue Wege, die jedoch frühestens in einigen Jahren im größeren Maßstab eingesetzt werden könnten. Bis dahin ist noch sehr viel Grundlagenforschung bezüglich der Erzeugung, der Verwendung und den Auswirkungen der neuen Kohlen zu leisten. Hiervor ist es sinnvoll, die Vergärung von Treibsel in großtechnischem Maßstab zu untersuchen und bestehende Technik und bewährte Verfahren zur energetischen Verwertung zu nutzen und einen bisher ungenutzten Stoffstrom in Wert zu setzen.

Erweiterung des Biomassepotentials zur energetischen Nutzung um kommerziell produzierte Algen

Dr.-Ing. Stefan Vodegel, Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH

Zusammenfassung

An einigen Küsten Europas können Strandalgen im Sommer in hohen Mengen anfallen. Sie stellen ein schwieriges Entsorgungsproblem dar. In einem Forschungsprojekt der Länderkooperation, gefördert durch die Volkswagen AG und die NBank des Landes Niedersachsen, führte die Trocknung und mechanische Aufbereitung durch die Fa. Phytolutions zu einem rieselfähigen Gut. Mittels Wirbelschichtreaktor ließ sich die Umsetzung zu Synthesegas beim CUTEC Institut bewerkstelligen. Der Wirkungsgrad der thermochemischen Konversion war gering wegen des hohen Siliziumanteils in den Algen. Aber etliche Vorteile waren zu verzeichnen. So fand sich der Nährstoffreichtum der Algen in der Filterasche wieder, welche feinkörnig im Heißgasfilter aufgefangen werden konnte. Die Inhaltsstoffe der Algen verursachten katalytische Reaktionen mit hohem Wasserstoff-Anteil im Produktgas. Dies ist für Synthesen z.B. zu synthetischem Diesel (»BtL«) interessant. Bei kommerziellen Anwendungen ist eine Mischung mit ascheärmer Biomasse wie Holz notwendig. Dann kann der SiO₂-Anteil sogar als Bettmaterial sinnvoll genutzt werden. Attraktiv für eventuelle Anwender ist das Material durch seine schwierige Entsorgungssituation mit entsprechendem Preis.

1. Aufgabenstellung

Strandalgen können vor einer thermischen Nutzung nicht einfach per Radlader zusammengeschoben und in einen Ofen geworfen werden. Im Unterschied zu den künstlich gezüchteten Mikroalgen, welche für die CO₂-Reduzierung in Kraftwerken oder als Kraftstoffquelle dienen sollen, handelt es sich vor allem um Makroalgen. Diese liegen als lange, nasse Fasern im Gemisch mit Sand, Muscheln, Steinen und Siedlungsabfall vor. Im ersten Schritt ist eine effektive Einbringung und Aufbereitung, sprich spezielle Entsandung, Trocknung und Zerkleinerung, notwendig. Im Folgeschritt sollte im hier beschriebenen Vorhaben die thermo-chemische Umsetzung zu heizwertreichem Synthesegas erfolgen. Zielstellung war eine Gasqualität, welche die Herstellung von synthetischem Diesel (»BtL«) durch Fischer-Tropsch Synthese ermöglicht.

Der Innovationsgehalt liegt in dem Umstand, dass die thermische Zersetzung der Ganzpflanze zum Synthesegas zum ersten Mal ausprobiert wird. Im Falle des Gelingens würde sich für Anlagen zur thermischen Nutzung von Biomasse die Palette an nachwachsenden Rohstoffen erweitern. Untersucht werden sollten daher im Rahmen der Auswertung:

- Wirkungsgrade (Kaltgas, Kohlenstoffumsatz, Vergaserwirkungsgrad)
- Synthesegaszusammensetzung, H_2 : CO - Verhältnis
- Partikelmorphologie von Filter- und Siphonaschen
- Betriebserfahrungen.

Eingesetzt wurden Mischungen aus Laboralgen im μm -Bereich und Meeresalgen. Partner der Lieferungen war die Fa. Phytolutions aus Bremen. Die Fa. Volkswagen schloß einen Liefervertrag mit dem Unternehmen ab und stellte die Algen dem Vorhaben zur Verfügung.

2. Situation

Mit dem durch die Ereignisse in Japan absehbar schnelleren Ausstieg aus der Atomenergie wird der Bedarf nach stromerzeugenden Alternativen größer. Die traditionellen Ressourcen der regenerativen Energien als reine Naturprodukte aber sind begrenzt. Neue Quellen müssen erschlossen werden. Dies gilt insbesondere für biologische Materialien. Nur zu bestimmten Zeitpunkten, auf einzelne Regionen begrenzte oder in geringen Mengen anfallende Abfälle können einen Beitrag zur künftigen Energieversorgung leisten. Dies gilt auch für schwierige Biomassen: Strandgut fällt an Meeresstränden besonders nach Stürmen oder sonnenreichen Zeiten an manchen Orten in hoher Menge an. Seine Entsorgung ist wegen des hohen Wassergehaltes, der Vermischung von Organik mit Siedlungsabfall, des Salzgehaltes und der schnellen biologischen Abbauprozesse nicht einfach. EU-weit können sich die Kosten zur Entsorgung auf über 100 €/m^3 belaufen. Besonders die langkettigen Strandalgen verursachen immer wieder Schreckensberichte in Zeitungen, in denen Begriffe wie »Killer-« oder »Mörderalgen« auftauchen wegen ihrer angeblich giftigen Einflüsse auf Fische und Menschen. Durch den hohen Wassergehalt bieten sich Biogasanlagen als Verarbeiter an. Dazu müssen die Algen allerdings vorbehandelt werden. Die mikrobiologischen Vorgänge vertragen den Eintrag der Vielzahl an Chemikalien nicht ohne weiteres. Für die Entsorgung in der Müllverbrennung ist der Heizwert gering und der Preis hoch. Auf diese Weise enden die meisten Strandalgen entweder auf gesonderten Ablagerungsorten der Gemeinden oder sie werden als Dünger auf zugelassenen Flächen eingesetzt.

Als Kohlenstoffträger und nachwachsender Rohstoff bieten Strandalgen das Potential, einen Beitrag zur energetischen Versorgung zu liefern. Dies insbesondere, da die politische Vorgabe der Bundesregierung, dass Erneuerbare Energien bis zum Jahr 2050 einen Beitrag von 60 % des deutschen Energieverbrauchs liefern müssen, ein hochgestecktes Ziel ist. Biomasse als einzig speicherbare Energiequelle wird dazu einen wesentlichen Beitrag leisten

müssen. Die verfügbare Fläche zum Anbau von Energiepflanzen reicht europaweit nicht annähernd aus; die Nutzung von Äckern für Nahrungsmittel ist ethisch fragwürdig. Daher sind alle Potentiale an biologischen Reststoff- und Nebenproduktströmen zu heben.

3. Einbringung und Aufbereitung

Die Vorbereitung der Biomasseeinbringung erfolgte bereits am Strand durch die geeignete Wahl des zu erntenden Strandabschnitts und der Sammeltechnologie. Hier kam das Fachwissen der Fa. Phytolutions zum Einsatz. Es musste darauf geachtet werden, dass bei der Aufnahme möglichst wenig Sand abtransportiert wird. Ort und Zeitpunkt der Entnahme wurde bei optimalen Vorbedingungen mittels Fernerkundung im Vorfeld geklärt. So wurde sichergestellt, dass der Sandanteil gering ausfiel. Die organische Masse wurde mittels spezieller Trocknung vom Sand getrennt und getrocknet. Die Restfeuchte des Ausgangsmaterials für die nachfolgende thermische Konversion lag bei kleiner 10 %. Zusätzlich wurden in diesem Projekt auch bis zu 5 % Mikroalgen aus der Produktion an einem Kohlekraftwerk zur Verbesserung der Konversionseigenschaften beigefügt. Allerdings war bei diesem Gemisch nicht gesichert, dass die Mikroalgen gleichmäßig in der Gesamtbiomasse verteilt worden sind.

Durch die Aufbereitung konnte der Heizwert der Algen deutlich angehoben werden. Die Werte im Bereich von 8 bis 9 MJ/kg liegen zwar noch weit unterhalb der charakteristischen Werte von Holz ($\approx 15-17$ MJ/kg) oder Stroh ($\approx 14-15$ MJ/kg), ermöglichen aber schon eine eigenständige thermische Umsetzung ohne Zusatz fossiler Energie. Trotzdem blieb der Aschegehalt hoch. Mit Schwefel, welches bei der Vergasung u.a. als Schwefelwasserstoff frei wird, und Chlor lagen zwei korrosionsfördernde Elemente vor (Tabelle 1).

Tabelle 1: Brennstoff- und Elementaranalyse

	H _u MJ/kg	Wasser Ma.-%	Asche Ma.-%	C Ma.-%	H Ma.-%	N Ma.-%	S Ma.-%	Cl Ma.-%
Klasse A	5,9	8,6	58,0	16,2	1,9	1,4	0,5	0,7
Klasse B	8,5	11,5	41,1	21,4	2,4	2,4	1,1	0,8

Klasse A: Trocknung und einfache Aufbereitung, Klasse B: Trocknung und mehrfache Siebung

Bemerkenswert sind die Gehalte an Calcium, Kalium, Magnesium und Natrium (Tabelle 2). Kalium und Natrium lagen in einer Konzentration vor, welche den Ascheschmelzpunkt der silikatischen Phase stark herabsetzen

können, während Calcium diesen Wert heraufsetzt. Unter dem Aschemikroskop wurden für die aufbereiteten Algen eine Erweichungstemperatur von ca 1.075°C und ein Schmelzpunkt von ca 1.300°C gemessen. Für die angestrebte Reaktortemperatur von 770 bis 800°C sind dies unkritische Werte. Auffällig war, dass bei den Mehrfachbestimmungen eine große Spreizung der Werte vorlag.

Tabelle 2: Spurenanalyse

	Ca [mg/g]	K [mg/g]	Mg [mg/g]	Na [mg/g]	Si [mg/g]
Klasse A	31,2	16,5	4,8	13,1	44,6
Klasse B	49,0	16,0	7,0	10,7	56,0

Die Glührückstände zeigten v.a. a) Sand und kleine Muschelbruchstücke in der Feinfraktion und b) Steine und Muscheln in der größten Fraktion sowie Muschelreste (Abbildung 1).



Abb. 1: Glührückstände aufbereiteter Strandalgen

Der Großteil der unbrennbaren Bestandteile war in der Feinfraktion der aufbereiteten Algen enthalten. Mit fast 40 % Asche besaß die Klasse kleiner 200 µm den mit Abstand höchsten Ascheanteil (Abbildung 2).

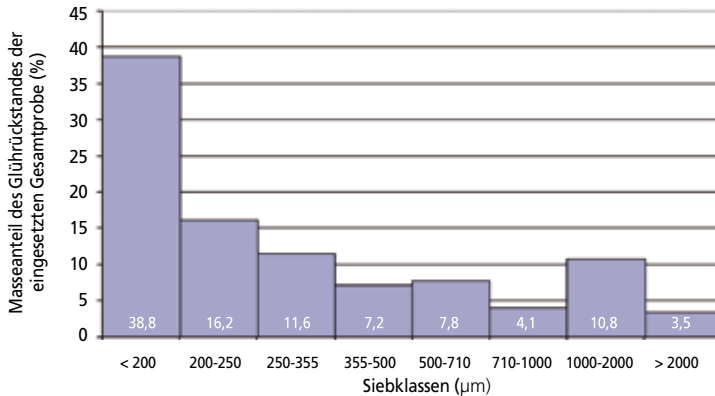


Abb. 2: Korngrößenverteilung des Glührückstandes aufbereiteter Strandalgen (Klasse B)

4. Thermochemische Umsetzung zu Synthesegas

Für die Gaserzeugung wurde eine Zirkulierende Wirbelschicht als Reaktor eingesetzt. Die Fahrweise war autotherm unter Einsatz von Sauerstoff und Dampf. Die thermische Leistung lag bei 300 kW, was einem Massenstrom von ca 130 kg/h Algen erforderte. Bei makroskopischer Betrachtung der umlaufenden Asche waren die Körner abgerundet und ohne Schmelzerscheinungen (Abbildung 3). Dieser Eindruck ändert sich, wenn die Betrachtung in den mikroskopischen Bereich schwenkt. Hier sind Bereiche zu finden, die zumindest deutliche Sintererscheinungen aufweisen. Das Wirbelbett war unter der angewendeten Temperatur stabil.

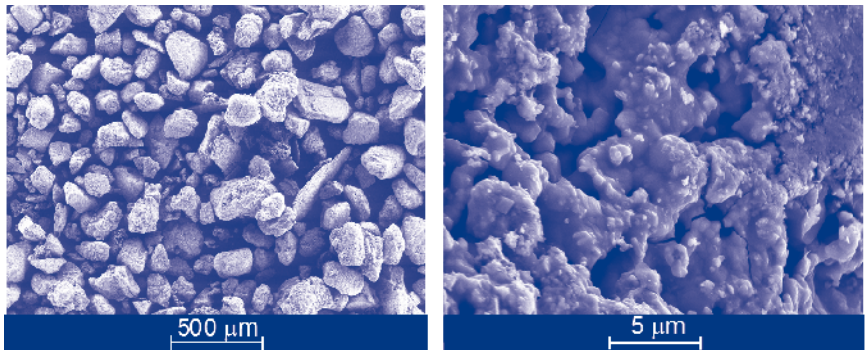


Abb. 3: links: umlaufende Asche des Reaktors, rechts: Aschepartikel in μm -Auflösung

Der hohe Anteil an Inertem in der Biomasse führte dazu, dass ein relativ großes Maß an Teilverbrennung notwendig war, um die Reaktortemperatur

von 800°C zu erreichen. Der Heizwert des Gases lag mit ca 8,7 MJ/Nm³ für eine Dampf/Sauerstoffvergasung am unteren Ende des üblichen Bereichs. Bemerkenswert gut war das H₂:CO-Verhältnis von ca 1,75:1. Dies reicht für eine Fischer-Tropsch Synthese mit eisenbasierten Katalysator aus (Abb. 4).

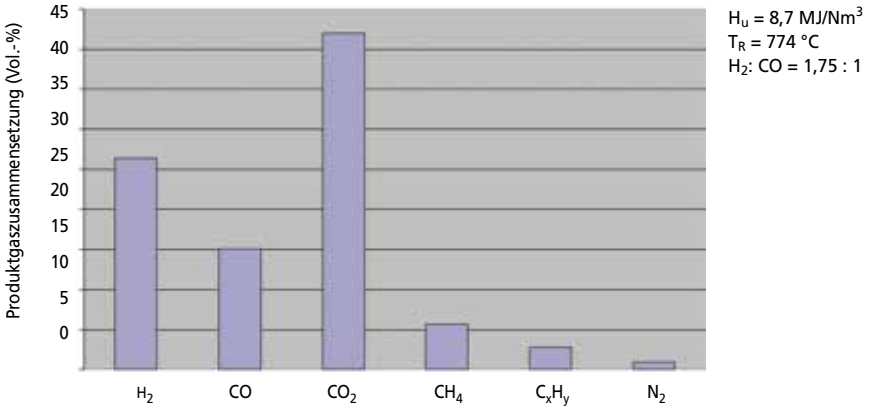


Abb. 4: Gaszusammensetzung

Die in der Synthesegasreinigung abgeschiedene Filterasche bestätigte, dass die Gaserzeugung aus Algen unter minimaler Beeinflussung des Feststoffgerüsts stattfand. In REM-Aufnahmen läßt sich deutlich der zusätzliche Eintrag von schalenbildenden Mikroalgen wiederfinden (Abbildung 5). Aber auch das auskristallisierte Salz des Meerwassers ist anhand seiner Plattenform zu erkennen.

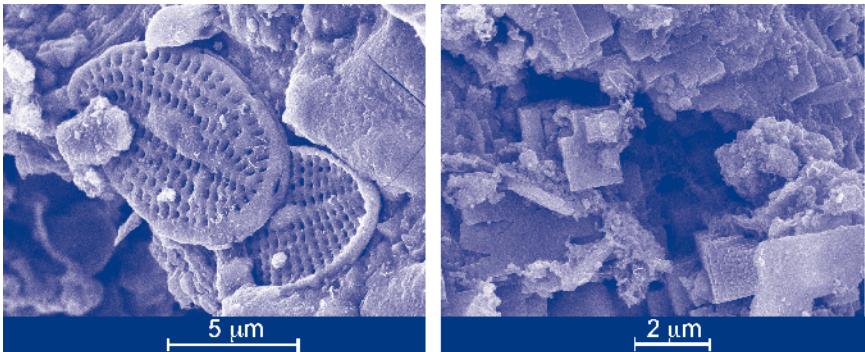


Abb. 5: links: Silikatgerüst von Mikroalgen in den Strandalgen, rechts: auskristallisiertes Salz

5. Betriebserfahrungen

Das getrocknete Material ließ sich gut über das Eintragungssystem störungsfrei in den Reaktor fördern. Die Doppelschnecke förderte das rieselfähige Gut bis zu 150 kg/h ohne Stockungen oder große Hohlräume (Abbildung 6).



Abb. 6: Eintragschnecke beim Aufnehmen der Schneckenkennlinie

Nach einem Versuchszeitraum von ca. 50 Stunden musste in der zweiten Versuchswoche der Betrieb unterbrochen werden, da über den Bettascheausstrag kein Material abgelassen werden konnte. Nach dem Öffnen der Wirbelschicht stellte sich heraus, dass der Reaktor über die gesamte Höhe mit einer ca. 3 cm dicken Materialschicht ausgekleidet war. Diese Verbackungen resultierten offensichtlich aus einer Überschreitung des Ascheschmelzpunktes (Abbildung 7).



Abb. 7: Verbackungen nach Entfernung aus der Wirbelschicht

Vermutlich hat sich die Biomasse beim Eintritt in die heiße Wirbelschicht und das zirkulierende Wirbelbett von dem inerten Sandanteil sehr schnell getrennt. Aufgrund der hohen Gehalte an Mineralien wie Kalium und Natrium könnte der Ascheschmelzpunkt der reinen Organik um einiges niedriger liegen als die ermittelten Werte anzeigen. Ursache: Bei der Ermittlung des Ascheschmelzverhaltens wird aus einer vorher veraschten Probe ein Quader geformt. Dieser wird langsam erwärmt und die Änderung der Form mikroskopisch festgehalten. Aufgrund des hohen Anteils an Sandpartikeln haben diese vermutlich die Quaderform in der Analyse aufrecht erhalten, während die Organik bereits geschmolzen ist.

6. Fazit und Ausblick

Ergebnis des Projektes ist, dass aufbereitete Strandalgen als Energierohstoff nutzbar sind. Das Material ist preislich interessant, wenn Abwärme zur Trocknung billig zur Verfügung steht. Als Ergänzung zu aschearmen Biomassen ist seine thermische Nutzung eine Alternative zu einer Entsorgung. Der Siliziumeintrag durch die Algen ließe sich als Bettmaterial für die Wirbelschicht nutzen, wenn Biomasse wie naturbelassenes Holz als Hauptmaterial zum Einsatz käme. Noch zu untersuchen ist, ob Anteile der beigefügten Mikroalgen durch kaliumreiche Silikate vor der thermo-chemischen Konversion eingebunden werden. Für weitere Versuche müssen die Feinsand- und Siliciumanteile in der Biomasse weiter reduziert und die Mikroalgen besser mit der Gesamtbiomasse vermischt werden.

7. Danksagung

Das Vorhaben Erweiterung des Biomassepotentials zur energetischen Nutzung um kommerziell produzierte Algen wurde finanziert von der Volkswagen AG (Wolfsburg) und der Investitions- und Förderbank Niedersachsen (NBank, Hannover), FKZ W3-80028034, 2009-10.

Die Algenmischungen wurden von der Fa. Phytolutions GmbH (Bremen) mit großem Fachwissen hergestellt.

Die Länderkooperation

Lenkungsreis

Volkswagen Aktiengesellschaft, Konzernforschung, Antriebsenergie (K-EFAB/K)

Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg

Referat Klimaschutz, Erneuerbare Energien, Umweltbezogene Energiepolitik, Emissionshandel

Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Referat VII 10 »Stoffliche Nutzung von Biorohstoffen, Biokraftstoffe«

Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Referat »Nachwachsende Rohstoffe und Bioenergie«

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz

Referat 52 – Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Speicher

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Beteiligte Institutionen

Brandenburg

Hochschule für nachhaltige Entwicklung (FH) Eberswalde

FB Wald und Umwelt

Hessen

Universität Kassel, Fachgebiet Bodenbiologie und Pflanzenernährung

Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe

Niedersachsen

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Georg-August Universität Göttingen

Abt. Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnologien

Georg-August Universität Göttingen, Abt. Forstökonomie und Forsteinrichtung

Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH, (CUTEC-Institut GmbH)

Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst HAWK

Fachgebiet Nachhaltige Energie- und Umwelttechnik NEUTec

Georg-August Universität Göttingen

Abt. Agrartechnik Abteilung Waldinventur und Fernerkundung

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Anteilige Unterstützung erhielt das Vorhaben durch das BMEL:

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Notizen

