



Das Lebensministerium



Nutzung von Biomasse

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft
Heft 7 – 9. Jahrgang 2004

Abschlussberichte zu den Themen

Untersuchung der Verwertungsmöglichkeiten von Biomasse aus der Landschaftspflege

(Das diesem Bericht zugrunde liegende Projektvorhaben wurde mit Mitteln des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft gefördert.)

Herstellung und Prüfung von Baumschutz aus Holz

Rauchgasreinigung durch Ionisation und elektrische Abscheidung bei Kesseln mit Pellet- und Getreidefeuerung

Untersuchung der Verwertungsmöglichkeiten von Biomasse aus der Landschaftspflege

Prof. Dr.-Ing. K. Nendel, Dr.-Ing. B. Clauß, Dipl.-Ing. A. Nendel,
 TU Chemnitz, Institut für Allgemeinen Maschinenbau und Kunststofftechnik, Chemnitz
 Dipl.-Ing. H. Tepper,
 Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Institut für Apparate und Umwelttechnik, Magdeburg
 Dipl.-Ing. agr. H. E. Brandt, Dipl.-Ing. (FH) M. Piller, K. Bochmann
 LPV Westsachsen e. V., Neukirch

1	Einführung in den Untersuchungsgegenstand	1
1.1	Problem- und Zielstellung	1
1.2	Begriffe und Vorbemerkungen	2
1.3	Übersicht der Verwertungsmöglichkeiten für Biomasse aus der Landschaftspflege	2
2	Charakterisierung des Untersuchungsgebietes und der Biomasse	5
2.1	Potentialanalyse und Charakterisierung der Biomassen	5
2.2	Flächenanalyse bezüglich Mäh- und Transportarbeiten	13
2.2.1	Gesamtübersicht	13
2.2.2	Ausgewählte Flächen	18
2.3	Mäh- und Pflorgetechnik für die Landschaftspflege	27
2.3.1	Vorbemerkungen	27
2.3.2	Handgeräte	29
2.3.3	Selbstfahrende Mäher einschließlich Mähwerk	29
2.3.4	Schwaden und Aufnahme von Landschaftspflegeschnittgut	35
2.3.5	Schlussfolgerungen zum Technikeinsatz für das Untersuchungsgebiet	36
2.4	Zusammenfassende Bemerkungen zum Biomasseaufkommen und zur -ernte	37
3	Aufbereitung von Landschaftspflegegut für die energetische Nutzung	39
3.1	Stand der Technik	39
3.2	Charakterisierung des Verdichtungsverhaltens	42
3.3	Herstellung von Pellets mittels Kollergangverfahren	46
3.3.1	Anlagenbeschreibung und Gutarten	46
3.3.2	Herstellungsbedingte Besonderheiten	47
3.4	Herstellung von Pellets mittels Hohlwalzenpressverfahren	49
3.4.1	Verfahrensübersicht	49
3.4.2	Verfahrensmodul zur Aufbereitung	50
3.4.3	Verfahrensmodul zur Kompaktierung	53
3.4.4	Verfahrensbedingte Besonderheiten	56

3.5	Mechanische Pelleteigenschaften	59
3.5.1	Dichte und Schüttdichte	59
3.5.2	Abriebverhalten	63
3.5.2.1	Versuchsdurchführung und Prüfeinrichtung	63
3.5.2.2	Abriebwerte	65
3.6	Schlussfolgerungen zur Pelletierung	66
4	Verbrennungsverhalten von Pellets aus Landschaftspflegegut	68
4.1	Einleitung	68
4.2	Brennstoffanalysen	69
4.2.1	Immediatanalysen	69
4.2.2	Elementaranalysen	70
4.2.3	Heizwerte	71
4.3	Verbrennungsuntersuchungen	72
4.3.1	Versuchsanlage	72
4.3.2	Versuchsstrategie	75
4.3.3	Versuche zur Variation der Sekundärluftmenge	76
4.3.4	Versuche zur Variation des Abgassauerstoffgehaltes	78
4.3.5	Versuche zur Variation der Feuerungswärmeleistung	79
4.3.6	Versuche zur Variation der Sekundärluftzugabehöhe	81
4.3.7	Versuche zur Variation der Betttemperatur	81
4.4	Zusammenfassung der Verbrennungsuntersuchungen	84
5	Baumschutzelemente als Beispiel der stofflichen Nutzung	85
5.1	Einführung	85
5.2	Gutarten und Versuchsplan	86
5.3	Herstellungsverfahren und Versuchsdurchführung	91
5.4	Ergebnisse aus den experimentellen Untersuchungen	94
5.4.1	Materialproben	94
5.4.2	Baumscheiben	99
5.4.3	Baumschutzmanschetten	103
5.5	Freilandtests der Baumschutzelemente	106
5.6	Weitere Möglichkeiten zur stofflichen Nutzung	208
5.6.1	Nutzung als Mulch	109
5.6.2	Herstellung von kompostierbaren Pflanzgefäßen	109
6	Anwendungsmöglichkeiten im LPV Westsachsen e. V.	111
6.1	Anforderungen und Voraussetzungen für die eingesetzte Biomasse	111
6.2	Logistik	112
6.3	Verarbeitungslinien	112
6.4	Technik	115

7	Zusammenfassung und Ausblick	115
	Literaturverzeichnis	118

Anlagen:	Datenblätter zu den Verbrennungsversuchen	120
----------	---	-----

Herstellung und Prüfung von Baumschutz aus Holz

Prof. Dr.-Ing. K. Nendel, R. Trinks, Dipl.-Ing. U. Schneevoigt

TU Chemnitz, Institut für Allgemeinen Maschinenbau und Kunststofftechnik, Chemnitz

1	Einleitung	121
2	Neuartige Baumschutzelemente	122
3	Herstellung der Baumschutzelemente	123
4	Haltbarkeitsuntersuchungen	123
4.1	Standort- und Probenauswahl	123
4.2	Auswertung	126
4.3	Freilandtest von Baumschutzmanschetten	127
5	Schlussfolgerungen	128

Rauchgasreinigung durch Ionisation und elektrische Abscheidung bei Kesseln mit Pellet- und Getreidefeuerung

Dipl.-Ing. R. Heidenreich

129

Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH, Dresden

Abkürzung:

LPV Landschaftspflegeverband

1 Einführung in den Untersuchungsgegenstand

1.1 Problem- und Zielstellung

Von den Belangen des Natur- und Landschaftsschutzes her sowie im Sinne einer nachhaltigen Flächenbewirtschaftung ist es unabdingbar, den anfallenden Pflegeschnitt von den Landschaftspflegeflächen zu entfernen. Pflegeschnitte sind notwendig, um einer Verbrachung und Verunkrautung entgegenzuwirken.

Deshalb ist als wissenschaftliches und technisches Ziel des Projektes vorgesehen, eine Lösung für eine sinnvolle Verwertung der bei Landschaftspflegevorgängen anfallenden Biomasse zu finden. Dabei sollen für das Gut entsprechende Erntetechnologien gefunden und ein Konzept für den Transport und die Lagerung („Logistikkonzept“) erstellt werden. Einzubeziehen ist nicht nur das anfallende Halmgut aus der Pflege von Wiesen, sondern auch das Pflegematerial aus dem Strauch- und Baumbeschnitt.

Das meist heterogen vorliegende Gut (z. B. Gras, Baumschnitt) ist so aufzubereiten, dass entweder eine energetische Nutzung als schüttfähiger Biobrennstoff oder eine stoffliche Nutzung als Produkt für den Landschaftspflegeverband selbst oder Forst- und Gartenbaubetriebe erfolgen kann. Aus den Anwendungsfällen heraus sollen entsprechende Aufbereitungsverfahren entwickelt und Labor- bzw. Funktionsmuster konstruiert, gebaut und getestet werden. Anschließend werden die Qualität und die Eigenschaften der hergestellten Produkte (Biobrennstoffe, Formkörper u. ä.) wie z. B. die Transport- und Lagerfähigkeit oder das Verbrennungsverhalten, in entsprechenden Untersuchungen analysiert.

Schließlich sollen die gefundenen Lösungen für Ernte, Logistik und Aufbereitung praxisnah zusammen mit einem Landschaftspflegeverband erprobt und Schlussfolgerungen für die allgemeine Anwendbarkeit gezogen werden.

Die aus der Zielstellung sich ergebenden unterschiedlichen Aufgaben wurden von dem jeweiligen Projektpartner unter der Gesamtleitung der TU Chemnitz durchgeführt und gliedern sich wie folgt:

Projektpartner	Aufgabengebiet
<ul style="list-style-type: none">• TU Chemnitz, Institut für Allgemeinen Maschinenbau und Kunststofftechnik	Projektleitung Mitarbeit an der Flächen- und Biomassecharakterisierung, Entwicklung der Aufbereitungsverfahren zur energetischen und stofflichen Nutzung (Profilhohlwalzenpresse, Baumscheibenpresse), Bau der Funktionsmuster, Untersuchung der Qualität der Produkte, Logistikkonzept
<ul style="list-style-type: none">• Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Institut für Apparate und Umwelttechnik	Brennstoffanalysen und Verbrennungsuntersuchungen
<ul style="list-style-type: none">• Trockenwerke Venusberg und Zwönitz	Pelletherstellung
<ul style="list-style-type: none">• Lehmann Maschinenbau Jocketa	Bau Doppelschneckenextruder
<ul style="list-style-type: none">• Landschaftspflegeverband Westsachsen e. V. Crimmitschau	Materialbereitstellung, Mitarbeit an der Flächen- und Biomassecharakterisierung

1.2 Begriffe und Vorbemerkungen

Biomassen

Als Untersuchungsgebiet für das Projekt werden die Flächen des Landschaftspflegeverbandes Westsachsen festgelegt. Damit entsprechen die zu untersuchenden Biomassen den Aufwüchsen dieser Flächen. Die Biomassen werden allgemein als Landschaftspflegegut bezeichnet, wobei die grobe Spezifizierung in Gras- bzw. Grünschnitt und Holz- bzw. Heckenschnitt erfolgt. Der Begriff Gras oder Grünschnitt bezieht sich auf die von Wiesen gemähte Biomasse mit einem späten Mähtermin (z. Vgl.: kein niedriger kommunal anfallender Rasenschnitt, keine Futterpflanzen). Auch die z. T. als Hackschnitzel bezeichnete Biomasse stammt aus der Heckenpflege, wurde jedoch mit einem Hacker bzw. Häcksler zerkleinert.

Landschaftspflege

Unter dem Begriff Landschaftspflege werden Flächen zusammengefasst, deren Ertrag (noch) keiner wirtschaftlichen Nutzung zugeführt wird. Die Landschaftspflege dient der Erhaltung und Schaffung von Lebensräumen für heimische Tier- und Pflanzenarten und der natürlichen Lebensgrundlagen Boden, Wasser und Luft und unterstützt damit ungestörte Abläufe in der Natur [1]. Somit sind viele der Landschaftspflege zuzuordnende Flächen sensible Ökosysteme. Der Grad der Pflege bzw. Bewirtschaftung (Weide) hängt zuerst vom Naturschutz und den daraus resultierenden rechtlichen Vorschriften ab. So wird der Termin für die Mahd des Untersuchungsgebietes einschließlich der Flächeneinstufung jährlich vom Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung neu festgelegt.

Insgesamt stellen die im Projekt erhaltenen Ergebnisse Vorschläge für eine Nutzung der anfallenden Biomasse dar, den Ausschlag für deren Umsetzung geben jedoch naturschutzrechtliche Belange. Die Prüfung der rechtlichen Situation und des Schutzcharakters der jeweiligen Fläche obliegt dem zuständigen LPV, die Beurteilung der anfallenden Biomasse und der Flächen erfolgte von den Autoren unter rein verwertungstechnischen Gesichtspunkten.

1.3 Übersicht der Verwertungsmöglichkeiten für Biomasse aus der Landschaftspflege

Bei der Verwertung von Biomasse aus der Landschaftspflege sind zwei wesentliche Aspekte zu beachten:

- Die Ernte des Gutes (bzw. Pflege der Flächen) erfolgt in einem begrenzten Zeitraum, damit ist es nicht möglich, Biomasse kontinuierlich über das ganze Jahr bereitzustellen.

- Mit den Spätsommer- und Herbstmonaten als Erntezeitraum ist es z. T. nicht möglich, die Biomasse im Freien ausreichend zu Trocknen, damit eine Lagerfähigkeit ohne Schimmelbefall gewährleistet ist. Es müssen demnach Möglichkeiten zur Zwischenlagerung und ggf. Nach-trocknung geschaffen werden.
- Das Vorliegen von trockenem Gut (Feuchtegehalt max. 20%) ist eine unabdingbare Voraus-setzung für die Lagerung und Weiterverarbeitung.

Als Verwertungsmöglichkeiten für den anfallenden Landschaftspflegeschnitt kommen Varianten zur stofflichen wie auch energetischen Nutzung in Betracht, Abbildung 1-1.

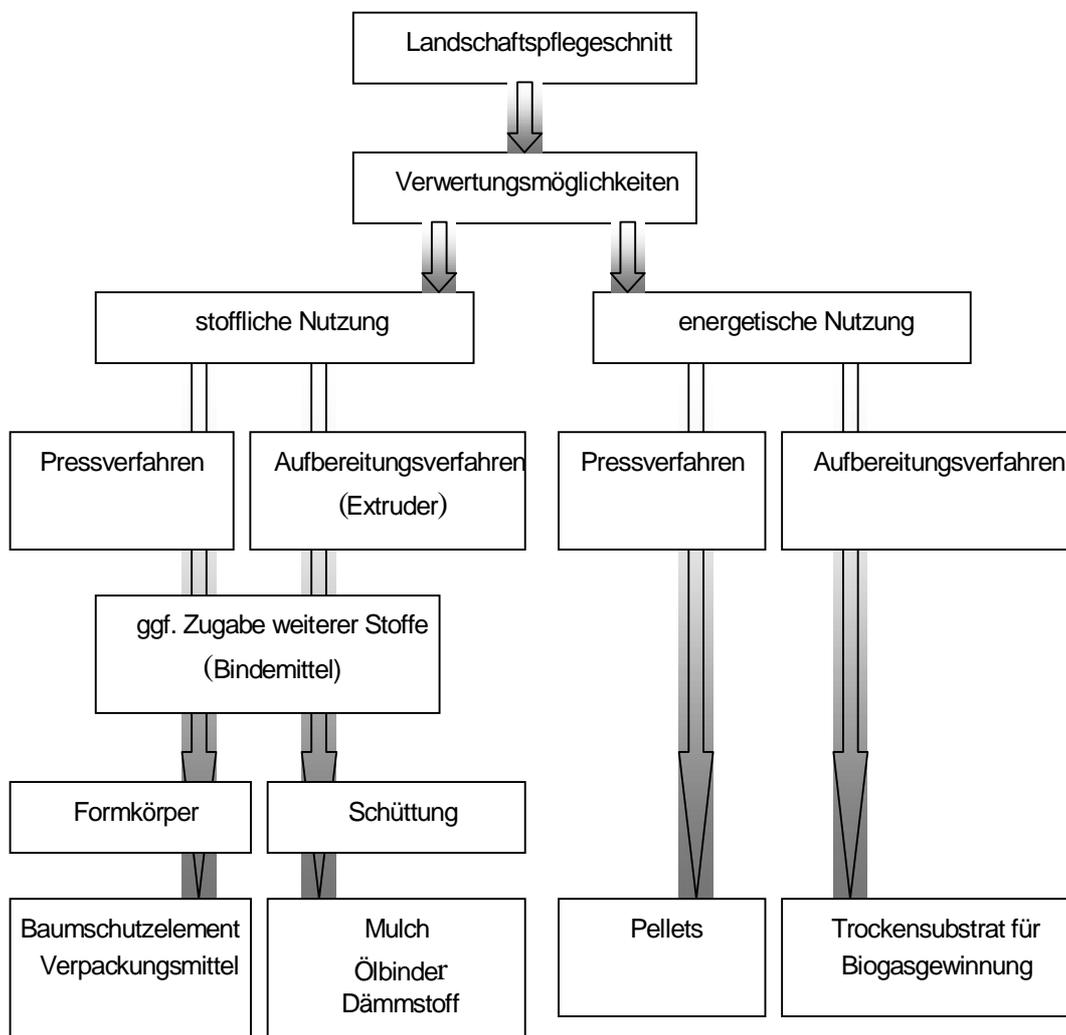


Abbildung 1-1: Übersicht Verwertungsmöglichkeiten

Die folgenden Aspekte dienen als Ausgangspunkt der Betrachtungen zur Nutzung des anfallenden Landschaftspflegeschnittes:

- Bedingt durch die Beschaffenheit des Gutes ist nur eine begrenzte Nutzung gegeben. Eine stoffliche Nutzung als hochwertiges Produkt, wie z. B. Faserverbundbauteile oder Baumaterialien ist auszuschließen.
- Mit einer stofflichen oder energetischen Verwertung des anfallenden Pflegeschnittes soll die Arbeit der LPV aufgewertet werden. Durch die Herstellung und die Vermarktung von Produkten kann die finanzielle Situation verbessert werden. Die Vermarktung könnte am Sitz des LPV erfolgen.
- Die Auswahl der möglichen Produkte soll sich demnach nach dem Einsatzzweck richten, also vorwiegend in der Region des Anfalles bleiben. Damit bieten sich Produkte für den Landschafts- und Gartenbau sowie Brennstoffpellets an.
- Die Herstellung von Pellets auf herkömmlichen Kollergangpressen ist eine effektive Technologie. Damit könnten sog. Energiepellets produziert und als Energieträger vor Ort oder im nahen Umkreis eingesetzt werden. Probleme sind z. T. durch die heterogene Biomassezusammensetzung und hohe Holzanteil zu erwarten.
- Für die stoffliche Nutzung bieten sich biologisch abbaubare Produkte für den Landschafts- und Gartenbau an, wie Baumscheiben, Baumschutzmanschetten, Mulch zur Bodenverbesserung oder Pflanztöpfe. Diese Produkte können z. T. im LPV selbst zum Einsatz kommen.

In die Bearbeitung des Projektes wurden die an der TU Chemnitz vorhandenen Labormöglichkeiten zur Verarbeitung von Biomasse einbezogen. Damit ist eine Herstellung diverser Formkörper, von Faserstoff bzw. Mulch sowie das Verdichten im Labormaßstab möglich. Zudem sind regional vorhandene Kollergangpressen zur Pelletherstellung einbeziehbar.

Die im Labor bzw. im Praxisbetrieb in den Trockenwerken erhaltenen Ergebnisse können in die Entwicklung und Gestaltung neuer Verfahren zur Pelletherstellung einfließen. Zudem können vorhandene Versuchsanlagen modifiziert und damit an das spezielle Verarbeitungsgut angepasst werden.

2 Charakterisierung des Untersuchungsgebietes und der Biomasse

2.1 Potentialanalyse und Charakterisierung der Biomassen

Dem LPV Westsachsen sind verschiedene Gras- und Streuobstflächen im Gebiet um Neukirchen/Crimmitschau zugeordnet. In der Tabelle 2-1 sind für verschiedene Flächen die typischen Pflanzenarten aufgeführt.

Tabelle 2-1: Flächenanalyse: Potential und Gutarten

Fläche	Größe [ha]	mittlere Wuchshöhe 2002 [cm]	Grasmenge 2002 [m ³]	Bodenbeschaffenheit; Bewuchs
Beiersdorf, Forbriger Teiche	0,17		170	Wiese; Grasfläche an Teichrand
	1,0		1 000	
Beiersdorf, Poppen Pöhl	0,4	60	250	trocken, Wiese mit einzelnen (Laub)Bäumen; Wiesenklee, Große Brennnessel, Knäuelgras, Glatthafer, Löwenzahn, Wilde Möhre, Krauser Ampfer, Wolliges Honiggras, Schafschwingel, Wiesenschwingel
Schweinsburg, Tannersberg	0,43		430	Wiese bzw. Grasfläche
Culten, Cultener Grund	0,62	120	620	nass/trocken, Wiese mit einzelnen Bäumen bzw. Sträuchern; Wiesenklee, Grosse Brennnessel, Knäuelgras, Glatthafer, Löwenzahn, Wilde Möhre, Krauser Ampfer, Wolliges Honiggras, Schafschwingel, Wiesenschwingel, Flockenblume, Schafgarbe, Scharfer Hahnenfuß
Leubnitz, Rohrteich	0,33	50	330	nass, Grasfläche an Teichrand; Wiesenklee, Große Brennnessel, Knäuelgras, Glatthafer, Löwenzahn, Krauser Ampfer, Schafgarbe
Neukirchen, Hangwiese	0,22	90	770	trockene Wiese bzw. Grasfläche; Brennnessel, Kugeldistel, Ackerkratzdistel, Schilfgras, Binsen, Löwenzahn
Neukirchen, Dö- bitzbachwiese	1,8	150	550	Feuchtwiese, sumpfig; Brennnessel, Schilfgras, Wiesenbärenklau, Große Klette, Löwenzahn, Klee, Ampfer, Vogelmiere, Breitwegewich, Schafgarbe, Flockenblume, Pfefferminze, Wilde Erdbeere, Brombeere
Neukirchen, Pflaumenberg	3,2	170	2 200	trockene Streuobstwiese; Orchideen, Brennnesseln, wilde Nelken, Scharfer Hahnenfuß, Gras, Wiesenklee, Große Klette

Tabelle 2-1: (Fortsetzung)

Neukirchen, Schiedelbüsche	1,33	50	1 330	trockene Wiese mit einzelnen Bäumen bzw. Sträuchern; Wiesenklee, Große Brennnessel, Knäuelgras, Glatthafer, Löwenzahn, Wilde Möhre, Krauser Ampfer, Wolliges Honiggras, Schafschwingel, Wiesenschwingel, Flockenblume, Schafgarbe, Scharfer Hahnenfuß
Neukirchen, Kirschberg	5,25	160	5 250	trockene Streuobstwiese; Orchideen, Große Brennnessel, Löwenzahn, Wilde Nelken, Wilde Möhre, Scharfer Hahnenfuß, Knäuelgras, Glatthafer, Wiesenklee, Große Klette
Steinpleis, Römertal mit Teichen	0,36	60	360	feuchte Wiese; Grasfläche an Teichrand; Große Brennnessel, Schilfgras, Wilde Orchideen, Disteln, Klettenlabkraut, Weidelgras, Wiesenrispe, Wiesenschwingel, Weißklee, Spitzwegewich, Löwenzahn
Mark Sahnau, Feuchtwiese Sahnwald	1,06	190	1 060	Feuchtwiese; Brennnessel, Schilfgras, gefleckter Schierling, Klettenlabkraut, wilde Orchideen, Brombeerbüsche, Silberdistel, Ackerkratzdistel, Wiesenschaumkraut, Sumpfcalla, Wassersellerie, Wasserschierling, wilde Möhre, Handelswurz, Sumpfkatzdistel, Sumpfbinsen, Gras
Rudelswalde, Ufergehölz	0,45	150	450	Feuchtwiese; Grasfläche an Teichrand mit Sträuchern; Große Brennnessel, Schilfgras, Wilde Orchideen, Disteln, Klettenlabkraut, Weidelgras, Wiesenrispe, Wiesenschwingel, Weißklee, Spitzwegewich, Löwenzahn, Pestwurz, Sumpfergissmeinnicht
Rudelswalde, Schilftümpel	1,09		1 090	Gras- bzw. Schilffläche, Feuchtwiese
Rußdorf, Lindenberg	0,3		300	Wiese
Niederaltersdorf, Koberbachgrund	0,28	70	280	feuchte und trockene Wiese; Wiesenklee, Große Brennnessel, Knäuelgras, Glatthafer, Löwenzahn, Wilde Möhre, Krauser Ampfer, Wolliges Honiggras, Schafschwingel, Wiesenschwingel, Flockenblume, Schafgarbe, Scharfer Hahnenfuß,
Niederaltersdorf, Talsperrenvorstau	0,2	70	200	trockene Wiese; teilweise Mischwald; Große Brennnessel, Gemeine Pestwurz, Gefleckter Schierling, Scharfer Hahnenfuß, Krauser Ampfer, Schafschwingel, Wolliges Honiggras, Wiesenschwingel
	0,2	70	200	
	1,15	70	1 150	

Tabelle 2-1: (Fortsetzung)

Langenreinsdorf, Talsperrenvorstau	1,9	110	1 900	trockene Wiese; Große Brennnessel, Gemeine Pestwurz, Gefleckter Schierling, Scharfer Hahnenfuß, Krauser Ampfer, Schafschwingel, Wolliges Honiggras, Wiesenschwingel
Langenreinsdorf, Koberbachgrund	2,14	110	2 140	trockene und feuchte Wiese; Große Brennnessel, Gemeine Pestwurz, Schilfgras, Wiesenbärenklau, Grosse Klette, Löwenzahn, Wiesenklee, Krauser Ampfer, Vogelmiere, Breitwegerich, Schafgarbe, Flockenblume, Pfefferminze, Wilde Erdbeere, Brombeere, Wiesenkerbel
Werdau, Kranzberggrund	5,27	90	2 770	trockene, teilweise feuchte Wiese, (Teichnähe); Brennnesseln, Schilfgras, wilde Orchideen, Disteln, Klettenlabkraut, Gras, Dt. Weidelgras, Wiesenrispe, Wiesenschwingel, Spitzwegerich, Löwenzahn, Weißklee
Gesamtsumme	42,49		24 800	
Mittelwert		106	584 m ³ /ha	

Nach Tabelle 2-1 würde ein theoretisches Potential von 24 800 m³ an Biomassen zur Verfügung stehen. Die Flächen unterscheiden sich sowohl in ihrer Größe wie auch im differenzierten Aufwuchs.

Von ausgewählten Flächen wurde die Trockenmasse des Biomasseertrages bestimmt.

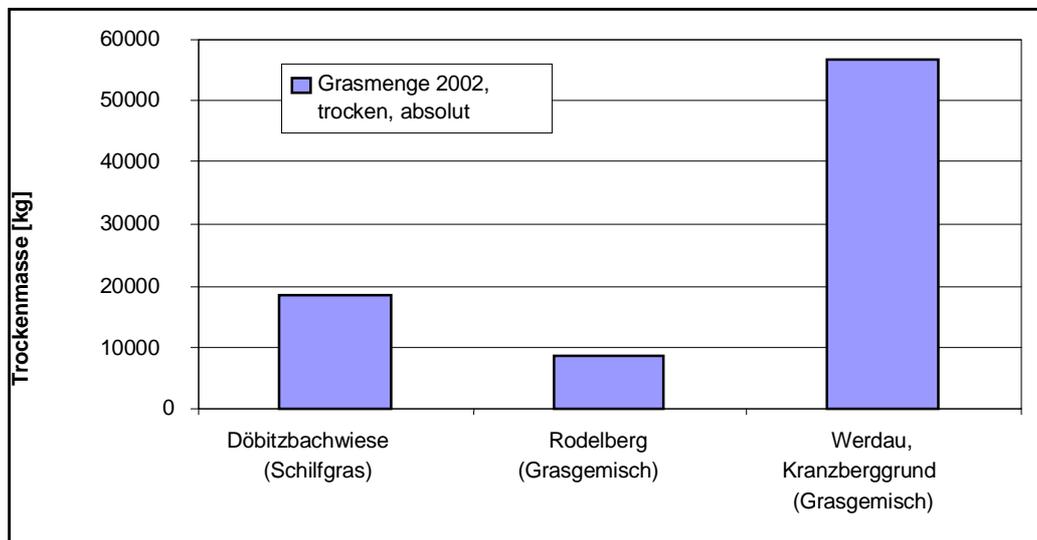


Abbildung 2-1: Aufwuchsmenge, Trockenmasse, bezogen auf die jeweilige Gesamtfläche

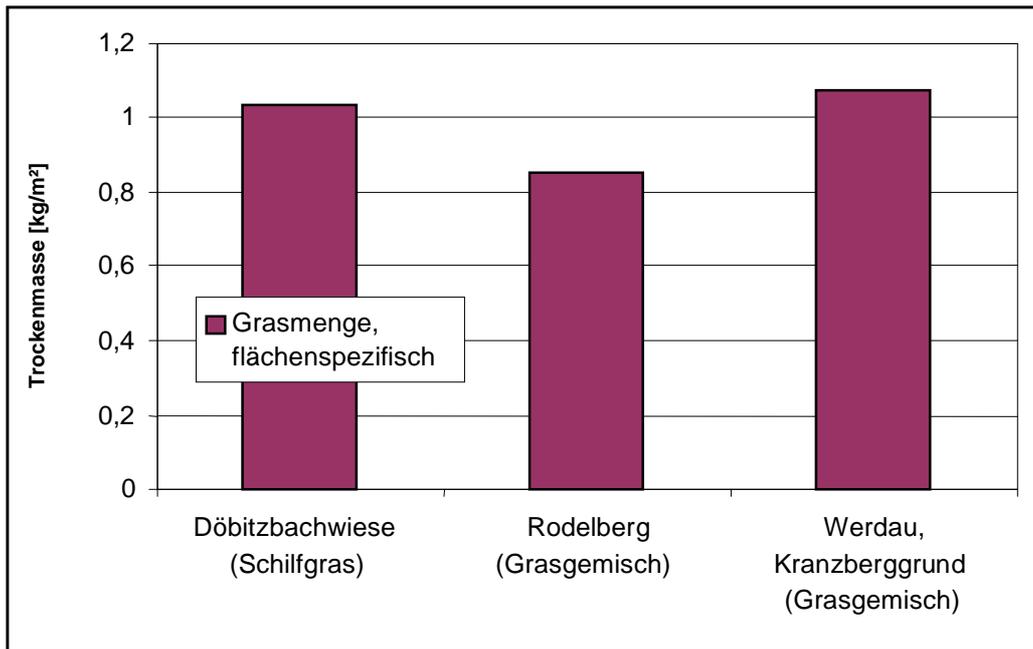


Abbildung 2-2: Durchschnittliche Aufwuchsmenge, Trockenmasse, bezogen auf 1 m²

Die höchsten Trockenmasseerträge sind demnach von ebenen, z. T. feuchten Wiesen (Kranzberggrund) zu erwarten. Karge, trockene Hanglagen (Rodelberg) haben geringere Aufwuchsmengen. Zusätzlich spielt die Pflanzenart eine Rolle, von bestimmten Arten, wie Schilfgras werden besonders hohe „Erträge“ erreicht.

Viele Pflanzenarten, wie einige Süßgräser, Schilfgras und Brennnesseln sind durch die lange Vegetationsperiode verholzt und widerstandsfähig gegen Beanspruchungen. Beim Schneiden, Mähen bzw. Pressen (Ballen) sind höhere Kräfte notwendig.

In den folgenden Abbildungen ist eine Auswahl der anfallenden Biomasse dargestellt.



Abbildung 2-3: Werdau, Kranzberggrund, Wiese



Abbildung 2-4: Kranzberggrund, Gras und Schilfgras



Abbildung 2-5: Koberbachvorstau, verschiedene Gräser



Abbildung 2-6: Koberbachvorstau, Brennnesseln



Abbildung 2-7: Tannersberg, Süßgräser (09/2002)



Abbildung 2-8: Döbitzbachwiese, Schilfgras-Brombeergemisch, in Schwad gelegt



Abbildung 2-9: Döbitzbachwiese, Schilfgras



Abbildung 2-10: Döbitzbachwiese, Gemeine Pestwurz

Die vorab gezeigten Biomassen können, wenn eine ausreichende Lagerfähigkeit durch entsprechende Trocknung sichergestellt ist, problemlos weiterverarbeitet werden.

Ist es jedoch nicht möglich die Biomasse rechtzeitig von den Flächen zu entfernen, z. B. bedingt durch regnerische Witterung (Oktober/November 2001 und 2002) und damit Verschlechterung des Zuganges zu einzelnen Flächen, ist die im Freien überwinterte Biomasse nicht mehr für eine Nutzung geeignet. Durch den Witterungseinfluss (Regen, Schnee, Frost) und mikrobiologische Prozesse im Gut (Eigenerwärmung, Fäulnis, Gärung, Kompostierung, Schimmelbefall) findet eine Veränderung der Struktur bis hin zur Zersetzung statt, Abbildungen 2-11 und 2-12.



Abbildung 2-11: Koberbachvorstau Gras/Laub nach regnerischer Witterung (11/2001)



Abbildung 2-12: Koberbachvorstau, im Haufen gelagertes Gras, ca. 5 bis 6 Monate nach Mahd (03/2002)

Betrachtung des Feuchtegehaltes der Gutarten

Der Feuchtegehalt des Gutes stellt ein wichtiges Kriterium für die Weiterverarbeitung dar.

Im Projektverlauf wurde von einer Süßgrasprobe der Fläche Werdau/Kranzberggrund der Feuchtegehalt in bestimmten Abständen sowie die Wuchshöhe bestimmt, Abbildungen 2-13 bzw. 2-14. Der Feuchtegehalt im Gut ändert sich über die Vegetationsperiode, er nimmt beim Wachstum bis zur Blüte zu und sinkt nach dem Verblühen ab, Abbildung 2-14. Damit entsteht schon auf natürliche Weise relativ trockenes und lagerfähiges Gut, das durch die richtige Wahl des Erntetermins ausgenutzt werden kann. Für die Praxis bedeutet das, der Mähtermin sollte zwischen Ende Juli/ Anfang August und Mitte September liegen, jedoch nicht vor der Blüte. Bei einer späteren Mahd nimmt das (schon trockene) Gut wieder mehr Feuchtigkeit aus der Umgebung bzw. durch die kältere, feuchtere Witterung auf. Außerdem wird das Gut mit dem beginnenden zweiten Aufwuchs durchsetzt und hat so wieder einen höheren Feuchtegehalt.

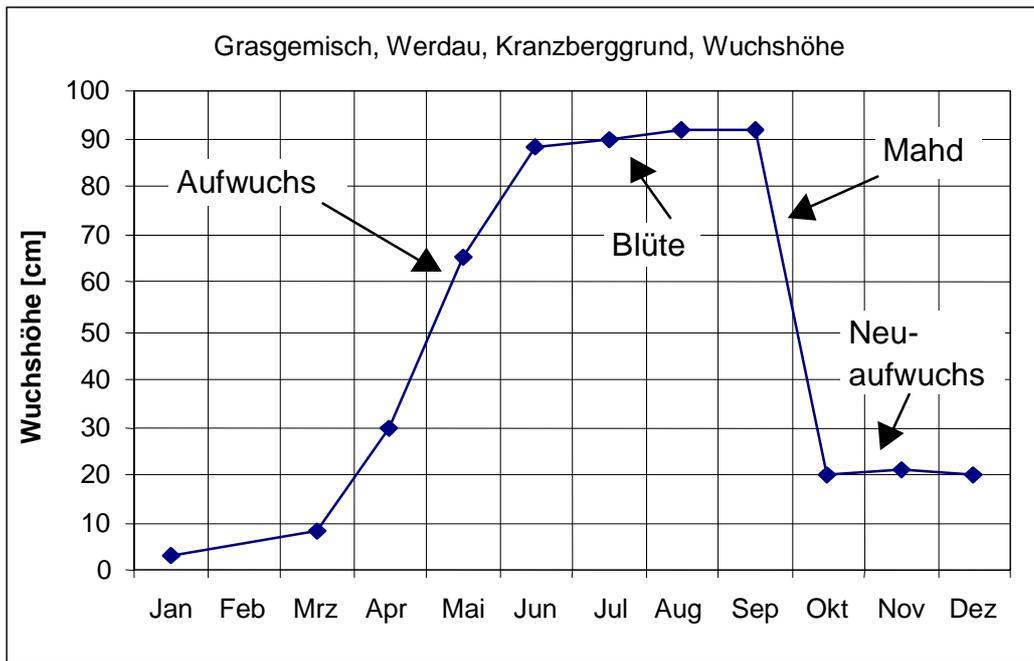


Abbildung 2-13: Wuchshöhe von Süßgräsern 2002

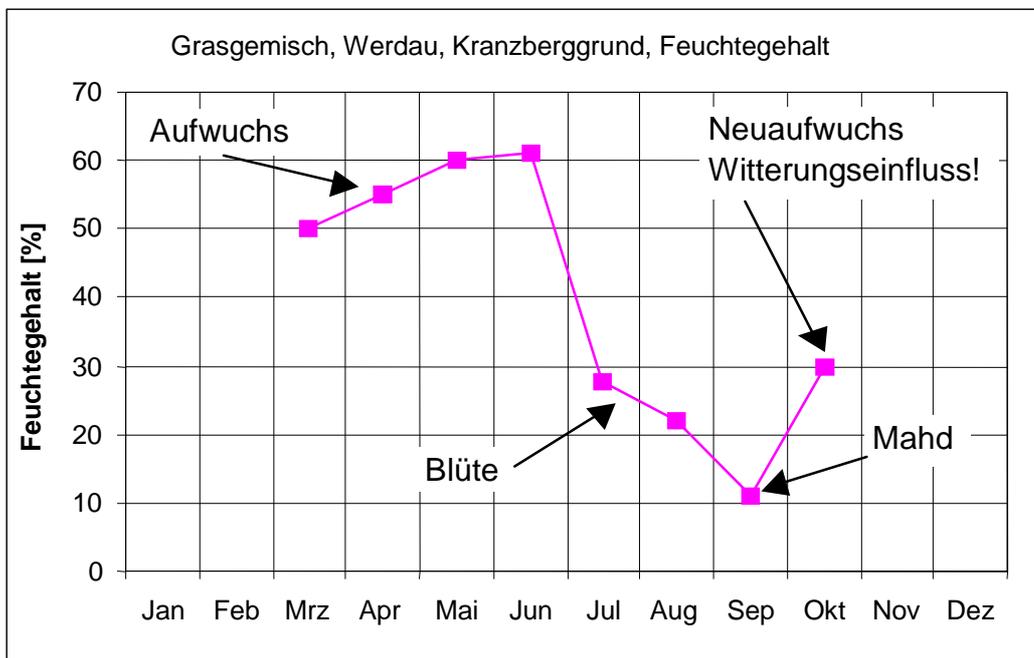


Abbildung 2-14: Gutsfeuchte über das Jahr 2002

Die folgenden Fotos zeigen den Aufwuchs im Jahresgang (Werdau, Kranzberggrund).



Abbildung 2-15: Beginn der Vegetationsperiode 03/2002



Abbildung 2-16: Aufwuchs Ende 05/2002, Süßgräser,



Abbildung 2-17: Aufwuchs 06/2002, Süßgräser, Brenneseln



Abbildung 2-18: Aufwuchs 07/2002, Süßgräser (Blüte)



Abbildung 2-19: Aufwuchs 09/2002, Süßgräser nach der Blüte, idealer Erntezeitpunkt aufgrund geringer Gutsfeuchte



Abbildung 2-20: Nach der Flächenberäumung 11/2002 Zweiter Aufwuchs

Alle Fotos zeigen die Fläche Werdau, Kranzberggrund!

2.2 Flächenanalyse bezüglich Mäh- und Transportarbeiten

2.2.1 Gesamtübersicht

Mit dem Ziel der Erstellung eines Logistikkonzeptes für die spätere Nutzung der in der Landschaftspflege anfallenden Biomasse wurden die Flächen sowie die Zufahrtswege zu den Flächen beurteilt.

Als Beurteilungskriterien kommen dabei in Betracht:

- Lage der Fläche: Allgemeine Lage (Hang, Tal u. ä.), Entfernung zu (Haupt-) Zufahrtswegen, Erreichbarkeit, Beschaffenheit und Nutzung benachbarter Flurstücke
- Bodenbeschaffenheit: Feuchtigkeit, Nähe zu Gewässern, Ebenheit des Bodens (Vorhandensein von Erdlöchern, Gruben, Erhebungen)
- Begeh- und Befahrbarkeit: Einsatzmöglichkeiten für Technik, jahreszeitbedingte Einschränkungen

Tabelle 2-2: Flächenanalyse: Charakterisierung der Zufahrt und der Pflegeart

Fläche	Größe (ha)/ Lage	Zufahrtsmöglichkeit	Bodenbeschaffenheit;	gegenwärtige Pflegeart
Beiersdorf, Forbriger Teiche	0,17	Steg/Feldweg	Grasfläche an Teichrand, feucht	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Motormäher - Schwaden von Hand - Laden/Abtransport von Hand mit Wagen einschließlich Abladen
	1	Feldweg, befahrbar	Wiese	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Schlepper - Schwaden mit Schlepper - Laden/Abtransport mit Schlepper und Ladewagen
Beiersdorf, Poppen Pöhl	0,40/eben	Straßenzugang vom Wohngebiet aus	trocken, Wiese mit einzelnen (Laub)Bäumen;	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Motorsense, z. T. Handsense - Schwaden von Hand und Transport an Feldrand
Schweinsburg, Tannersberg	0,43/eben, z. T. Hang	Straße	Wiese bzw. Grasfläche, trocken	<ul style="list-style-type: none"> - Laden/Abtransport von Hand mit Wagen einschließlich Abladen

Culten, Cultener Grund	0,62/eben, Hang	Feldweg	nass/trocken, Wiese mit einzelnen Bäumen bzw. Sträuchern;	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Gebirgsrasenmäher - Schwaden von Hand und Transport an Feldrand - Laden/Abtransport von Hand mit Wagen einschließlich Abladen
Leubnitz, Rohrteich	0,33/eben	Straße, Feldweg	nass, Grasfläche an Teichrand;	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Gebirgsrasenmäher - Schwaden von Hand und Transport an Feldrand - Laden/Abtransport von Hand mit Wagen einschließlich Abladen
Neukirchen, Hangwiese	0,22/Hang	Feldweg, Straße	trockene Wiese bzw. Grasfläche;	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Motorsense (z. T. Handsense) - Schwaden von Hand - Laden/Abtransport von Hand mit Wagen einschließlich Abladen
Neukirchen, Döbitzbachwies	1,80/eben	Feldweg, nur bei Trockenheit befahrbar	Feuchtwiese, sumpfig;	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Motormäher bzw. Motorsense - Schwaden von Hand und Transport an Feldrand - Laden/Abtransport von Hand mit Wagen einschließlich Abladen
Neukirchen, Schiedelbüsche	1,80/eben	Straße	trockene Wiese mit einzelnen Bäumen bzw. Sträuchern;	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Gebirgsrasenmäher, Motorsense, „schwierige“ Abschnitte mit Handsense - z. T. Einsatz eines (Klein-)Traktors mit Mähwerk (Steinpleis) - Schwaden von Hand und Transport an Feldrand - Laden/Abtransport von Hand mit Wagen einschließlich Abladen
Neukirchen, Pflaumenberg	3,20/Hang	Straße	trockene Streuobstwiese;	
Neukirchen, Kirschberg	5,25/Hang	Straße	trockene Streuobstwiese;	
Steinpleis, Römertal mit Teichen	0,36/eben	Straße und Feldweg	feuchte Wiese; Grasfläche an Teichrand;	
Mark Sahnau, Feuchtwiese Sahnwald Rudelswalde	1,06/eben	Straße und Feldweg	Feuchtwiese;	
Rudelswalde, Ufergehölz	0,45/eben	Straße	Feuchtwiese; Grasfläche an Teichrand mit Sträuchern;	

Rudelswalde, Schilftümpel	1,09	Feldweg	Gras- bzw. Schilffläche, Feuchtwiese	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Motormäher bzw. Motorsense - Schwaden von Hand und Transport an Feldrand - Laden/Abtransport von Hand mit Wagen einschließlich Abladen
Rußdorf, Lindenberg	0,3/Hang	Straße	Wiese, trocken	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Schlepper, Traktor mit Mähwerk
Niederabertsdorf, Koberbachgrund	0,28/eben	Feldweg	feuchte und trockene Wiese;	<ul style="list-style-type: none"> - Schwaden mit Schlepper - Laden/Abtransport von Hand mit Wagen einschließlich Abladen
Niederabertsdorf, Talsperrenvorstau	0,2/eben, Hang	Nach Ernte über das Feld, z. T. auch nicht befahrbare Wege	unterschiedliche Bodenbeschaffenheit, z. T. trockene Wiese; teilweise Mischwald; z. T. feucht, da Bachnähe	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Schlepper - Schwaden mit Schlepper - Laden/Abtransport mit Schlepper und Ladewagen
	0,2			<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Gebirgsrasenmäher - Schwaden von Hand - Laden/Abtransport von Hand mit Wagen einschließlich Abladen
	1,15			<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Gebirgsrasenmäher - Schwaden von Hand und Transport an Feldrand - Laden/Abtransport von Hand mit Wagen einschließlich Abladen
Langenreinsdorf Talsperrenvorstau	1,90/eben	Nach Ernte über das Feld	trockene Wiese;	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Schlepper - Schwaden mit Schlepper
Langenreinsdorf Koberbachgrund	2,14/eben	Feldweg	trockene und feuchte Wiese;	<ul style="list-style-type: none"> - Laden/Abtransport mit Schlepper und Ladewagen <p>bestimmte Teilflächen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Motormäher - Schwaden von Hand - Laden/Abtransport von Hand mit Wagen einschließlich Abladen

Werdau, Kranzberggrund	5,27/eben	Straße	trockene , teilweise feuchte Wiese, (Teichnähe);	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen mit Kleintraktor mit Mähwerk (Teichränder: Handsense) - Schwaden mit Schlepper - Laden/Abtransport mit Schlepper und Ladewagen
-------------------------------	-----------	--------	---	--



Abbildung 2-21: Durchführung von Pflegearbeiten

- A - mit Handsense
- B - mit Motorsense
- C - mit Gebirgsmäher

In Tabelle 2-2 wurden die für eine Nutzung der Biomasse geeigneten Flächen **fett** markiert. Ausschlaggebend für die Auswahl war in erster Linie die Erreichbarkeit mindestens mit einem Kleinladewagen. An zweiter Stelle folgte die Bodenbeschaffenheit, denn nur trockene Böden sind (überwiegend) witterungsunabhängig mit Technik beräumbar. Damit wird deutlich, dass ein Großteil der anfallenden Biomasse nicht rationell und mit Einsatz herkömmlicher Technik geborgen werden

kann. Der derzeit über eine ABM abgesicherte hohe Personalaufwand zur Flächenberäumung machte zwar im Projektverlauf die Nutzung von Schilfgras möglich, ist aber dauerhaft unwirtschaftlich. Manuelle Mäharbeiten sollten nur zur Pflege naturschutzrelevanter Flächen eingesetzt werden, wo die Nutzung bzw. die Qualität des Gutes nicht im Vordergrund steht.

Tabelle 2-3: Nutzbares Potential

Fläche	Größe [ha]	Menge [m³]	überwiegende Gutarten
Beiersdorf, Poppen Pöhl	0,40	250	Süßgräser, Brennesseln
Schweinsburg, Tannersberg	0,43	430	Süßgräser
Neukirchen, Hangwiese	0,22	770	Süßgräser, Brennesseln, Disteln
Neukirchen, Kirschberg	5,25	5 250	Streuobstwiese, Süßgräser,
Neukirchen, Pflaumenberg	3,2	2 200	Streuobstwiese, Süßgräser
Neukirchen, Schiedelbüsche	1,8	1 330	Süßgräser, Brennesseln
Rußdorf, Lindenberg	0,3	300	Süßgräser
Werdau, Kranzberggrund	5,27	2 770	Süßgräser, Brennesseln, z. T. Schilf
Nutzbare Fläche/Potential	16,87	13 300	vorwiegend Süßgräser mit Anteilen von Brennesseln, Wuchshöhe ca. 1 m
% der Gesamtfläche/-potential	39,7 %	53,6 %	

In Tabelle 2-3 sind die Flächen und Potentiale zusammengefasst, die unter der Voraussetzung einer verlustfreien Flächenberäumung für eine Weiterverwertung zur Verfügung stehen. Allerdings bezieht sich die Menge von 13.300 m³ Landschaftspflegeschnitt auf erntefrisches Gut mit einem Wasseranteil um 20 %. **Die Menge an lagerfähigem Gut (12 bis 15 % Feuchte) ist mit 10 000 bis 12 000 m³ anzusetzen.**

Bezogen auf die dem LPV insgesamt zugeordneten Flächen können demnach nur rund 40 % der Flächen bzw. 53,6 % des Aufwuchses genutzt werden. Der überwiegende Flächenanteil (60 %) ist so gelegen, dass die Erreichbarkeit mit einem PKW nicht gegeben ist, so dass auch keine Mäh-technik transportiert werden kann. Sumpfige Flächen, wie Teichränder oder Feuchtwiesen scheiden wegen der geringen Bodenfestigkeit und damit mangelnder Eignung für Motormäher aus.

Der Aufwuchs der Hangwiese wurde vorwiegend zur Herstellung von Presslingen mit dem Profilhohlwalzenpressverfahren sowie der Aufwuchs des Rodelberges für die Kollergangpellets genutzt. Der zukünftigen Nutzung der Biomasse der Fläche „Rodelberg“ steht jedoch die starke Hanglage sowie die mangelhafte Zufahrt, Abbildungen 2-24 bzw. 2-25, entgegen.



Abbildung 2-22: Neukirchen Hangwiese (Ende 07/2002)



Abbildung 2-23: Schweinsburg, Tannersberg (09/2002)



Abbildung 2-24: Neukirchen Rodelberg (Ende 06/2002)



Abbildung 2-25: „Zufahrt“ zum Rodelberg (06/2002)

2.2.2 Ausgewählte Flächen

Die folgenden Beispiele dienen zur näheren Erläuterung der im vorigen Abschnitt genannten Aussagen. Diese Analysen sollen neben positiven Aspekten (Nutzung des Aufwuchses) auch die Schwierigkeiten bei der Mahd und Bergung mit aufzeigen.

Für diese Analyse wurden folgende Flächen ausgewählt:

- *Neukirchen, Pflaumen- und Kirschberg* und *Werdau, Kranzberggrund* als Beispiele für die mögliche Nutzung des Gutes
- *Neukirchen, Döbitzbachwiese* und *Niederaltersdorf, Langenreinsdorf: Talsperrenvorstau und Koberbachgrund* als Beispiele für Probleme bei der Gutmutzung, insbesondere der Logistik (Wegesituation)

Auf den folgenden Seiten werden die gegenwärtigen Gegebenheiten (Pflege, Transport, Flächenbeschaffenheit) kurz beschrieben.

Niederalbertsdorf, Langenreinsdorf: Talsperrenvorstau und Koberbachgrund

- insgesamt ca. 5,6 ha, größte zusammenhängende Fläche ca. 2 ha (Abbildung 2-33, 2-34)
- vorwiegend Gras, Fläche eben, z. T. Mischwald, Waldboden muss z. T. mit beräumt werden (Abbildung 2-29), durch die Talsperrennähe bereitet der feuchte Boden z. T. Probleme (starke Regenfälle 08/2002)
- Fläche 1 (Abbildung 2-27) äußerst unzugänglich, keine PKW-geeignete Zufahrtsstraße
- bei Regen auch Zugang zu Fuß schwierig (Abbildung 2-28)
- Gut muss z. T. mit Plane über schmalen Steg oder Brücke geschafft werden (Abbildung 2-36) zur Zwischenlagerung
- Beräumung z. T. abhängig von der Ernte auf benachbartem Feld (Abbildung 2-33, 2-34), d. h. das Gut muss über das Feld geschafft werden, PKW-Transport kann dann von angrenzender Straße erfolgen. Die Witterung hat außerdem einen großen Einfluss, bei Regen ist das Feld nicht begehbar!
- Eine weitere Zufahrtmöglichkeit (Abbildung 2-31, 2-32) wird durch ein dauerhaft verschlossenes Tor und eine neugestaltete Rundbogenbrücke unmöglich gemacht. Wenn diese beiden Hindernisse beseitigt würden, wäre ein Abtransport des Gutes mit Kleinladewagen möglich. Derzeit wird sämtliche Mähtechnik auf einem schmalen Weg per Hand auf die Fläche gebracht.
- Fläche 2 wurde 2002 durch eine Agrargenossenschaft beräumt. Das getrocknete Gut wurde zu Rundballen verpresst und für Futterzwecke (Heu) verwendet.



Abbildung 2-26: Lage der Flächen „Talsperrenvorstau“



Abbildung 2-27: Talsperrenvorstau, Fläche 1 (06/2001)



Abbildung 2-28: „Zugang“ zu Fläche 1 (06/2001)



Abbildung 2-29: Talsperrenvorstau, Nebenfläche (09/2001)



Abbildung 2-30: PKW-taugliche Zufahrt (06/2001), endet aber mit Brücke (Abbildung 2-31) und Tor (Abbildung 2-32)



Abbildung 2-31: Neu angebrachtes Tor an Zufahrt zu Fläche 1 (Talsperrenvorstau, Fläche 1 – 06/2001)



Abbildung 2-32: Hindernis bei Zufahrt zu Fläche 1 (gemauerte Bogenbrücke, nicht PKW-tauglich) (06/2001)

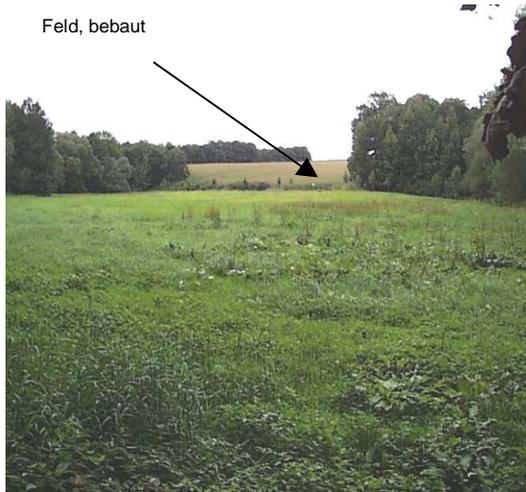


Abbildung 2-33: Talsperrenvorstau, Fläche 1 (06/2001)



Abbildung 2-34: Talsperrenvorstau, Fläche 1, gemäht (11/2001)



Abbildung 2-35: Talsperrenvorstau, Nebenfläche zu Fläche 1, Gut geschwadet (11/2001)



Abbildung 2-36: Talsperrenvorstau, Schwierigkeiten beim Beräumen der Nebenfläche (11/2001)



Abbildung 2-37: Talsperrenvorstau, Fläche 2 (06/2001)



Abbildung 2-38: Zufahrt LPG-Straße zu Fläche 2 (06/2001)



Abbildung 2-39: Talsperrenvorstau, Fläche 2 (06/2002)



Abbildung 2-40: Bewuchs (06/2002), Detail



Abbildung 2-41: Talsperrenvorstau, Fläche 2, abgeerntet Heuballen (07/2002)



Abbildung 2-42: Frischaufwuchs (09/2002)

Neukirchen, Pflaumen- und Kirschberg

- Streuobstwiesen, direkt an Ortsverbindungsstraße Crimmitschau–Werdau gelegen, damit problemloser Gutabtransport gewährleistet, Gut kann an Straße gesammelt werden (Haufen)
- homogener Grasbewuchs, wenig verholzte Stängel, wenige andere Pflanzen
- Hanglage, damit nur beschränkter Einsatz von Mähtechnik gegeben
- trockener Boden, gute Festigkeit (keine Gefahr des Einsinkens)
- Mähwerke mit größerer Breite ungeeignet (Baumabstand!)
- Befahrbarkeit des vorhandenen (Hang-)Weges vorzugsweise bei trockener Witterung (bei starkem Regen weicht der Boden auf)

Neukirchen, Döbitzbachwiese

- relativ gute Zufahrt, nur kurze Entfernung zur Ortsverbindungsstraße Neukirchen–Rudelswalde, bei Trockenheit kann der Feldweg befahren werden
- Zugang zur Wiese jedoch nur über einen Graben möglich (Abbildung 2-48 B/C)
- Boden sehr feucht (Bachnähe), für Einsatz schwerer Technik ungeeignet
- „unwegsames“ Gelände, Gefahr des Einsinkens, Hängen bleiben an Brombeerranken
- große Menge an fester Biomasse (Schilfgras, Brombeeren, Abbildung 2-48 D/Pestwurz Abbildung 2-10)



Abbildung 2-48: Neukirchen, Döbitzbachwiese 09/2001

Werdau, Kranzberggrund

- gute Zufahrmöglichkeit, gut auch mit Mähtechnik befahrbar, gute Sammel- und Abtransportiermöglichkeit
- größere zusammenhängende Flächen, vorwiegend ebener Boden, keine Einzelbäume
- vorwiegend Gras, aber auch Teichränder (Schilf)
- Trocknung einschließlich Wenden des Gutes auf der Fläche problemlos möglich
- Bei extrem feuchter Witterung (mehrere Tage Regen) sowie kurz nach der Schneeschmelze ist der Weg innerhalb der Fläche nur eingeschränkt befahrbar, Abbildung 2-52.

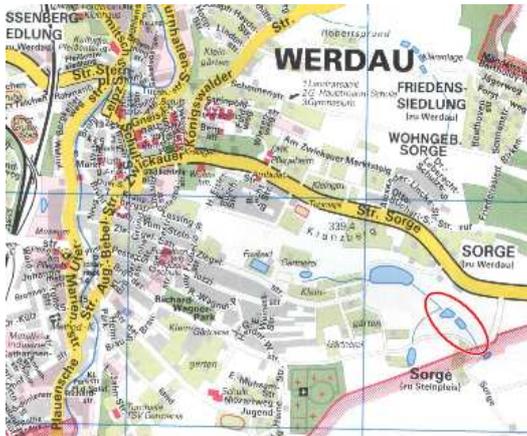


Abbildung 2-49: Lage des „Kranzberggrundes“ in der Gemarkung Werdau



Abbildung 2-50: Befestigte Zufahrtsstraße (03/2002)



Abbildung 2-51: Flächenansicht 09/2001 (ca. vier Wochen nach Mahd)



Abbildung 2-52: Detail: Zufahrtsweg bei feuchter Witterung



Abbildung 2-53: Flächenansicht 03/2002



Abbildung 2-54: Flächenansicht 06/2002



Abbildung 2-55: Flächenansicht 09/2002



Abbildung 2-56: Flächenansicht 11/2002



Abbildung 2-57: Aufwuchs an den Teichrändern 11/2001



Abbildung 2-58: Teichränder und Zufahrt 03/2002



Abbildung 2-59: Teilweise Flächenberäumung mit Mähwerk (Gut zum Trocknen liegen gelassen) 06/2002





Abbildung 2-60: Probleme durch ungenügende Beräumung

Das z. T. praktizierte Liegenlassen des Gutes auf der Fläche stellt keine Lösung zur „Biomasseent-sorgung“ dar. Durch die eingewachsenen abgestorbenen Halme werden der Neuaufwuchs behindert bzw. durch die sich bildende Schicht aus „kompostierendem“ Gras auf dem Boden in den nachfolgenden Jahren die Mäh- und Pflegearbeiten erschwert.

2.3 Mäh- und Pflegetechnik für die Landschaftspflege

2.3.1 Vorbemerkungen

Die Flächenpflege bedeutet einen Eingriff in die natürlich ablaufenden Vorgänge und zieht Auswirkungen auf die Flora und Fauna des Gebietes nach sich.

Für die Zusammensetzung einer Pflanzengemeinschaft sind die Konkurrenzverhältnisse zwischen den einzelnen Arten von größter Bedeutung. Die Mahd prägt die jeweilige Artengemeinschaft, da sie einen tiefgreifenden Einfluss auf die Konkurrenzverhältnisse ausübt. Vor allem beeinflussen Schnittzeitpunkt und -häufigkeit stark die Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaften.

- Die Mahd verdrängt Arten, deren Überwinterungsknospen nicht direkt am Boden liegen (Zwergsträucher, Sträucher, Bäume).
- Generell begünstigt die Mahd Arten, die Speichermöglichkeiten in unterirdischen Wurzeln oder unterirdischen Sprossachsen besitzen. Zu früher Schnitt verhindert das Aussamen sowie die Möglichkeit des Rücktransportes von Nährstoffen in Wurzeln, unterirdischen Sprossachsen und Stoppeln. Arten, die spät blühen bzw. bei denen der Rücktransport von Nährstoffen erst sehr spät erfolgt, werden nach und nach verdrängt.
- Bei einer Mahd im Herbst sind die Bedingungen für die in der ersten Jahreshälfte blühenden niedrigen Arten als günstig zu beurteilen. Bei einer Mahd im Sommer werden die niedrigen Herbstblüher gefördert.
- Je nach Zeitpunkt der Mahd wird die direkte Bodenfläche zu unterschiedlichen Zeiten belichtet.

Um die sinnvolle Verwertung der bei Landschaftspflegevorgängen anfallenden Biomasse zu garantieren, muss eine, den Erfordernissen entsprechende Ernte- und Ladetechnik zum Einsatz kommen. Anfallende Arbeiten sind:

1. mähen und schwaden
2. trocknen und wenden
3. aufsammeln und transportieren

Beim Einsatz von Geräten in der "mechanischen Landschaftspflege" gibt es meist die Konfliktsituation zwischen "schonender" und "ökonomischer" Vorgehensweise.

So besteht aus Naturschutzsicht in der Regel die Forderung, dass schneidend arbeitende Geräte zum Einsatz kommen. Vorausgesetzt die Messer der Schneidwerkzeuge sind scharf, garantiert dies die schonendste Behandlung eines Pflanzenbestandes. Weniger geeignet für Pflegemaßnahmen, aber aufgrund ihrer hohen Flächenleistung häufig eingesetzt sind schlagend rotierende Werkzeuge. Sie schädigen sowohl die Vegetation als auch die Kleintierwelt in erhöhtem Maße.

Ihr Einsatz sollte deshalb auf das unabdingbar notwendige Maß beschränkt bleiben. Allgemein gilt jedoch hinsichtlich ihres Einsatzes in der Landschaftspflege der Grundsatz: Je geringer der Bodendruck, den die Maschine ausübt und je weniger sie im Einsatz ist, desto besser ist sie geeignet.

Das folgende Bild gibt einen Überblick über die Gerätevariationen:

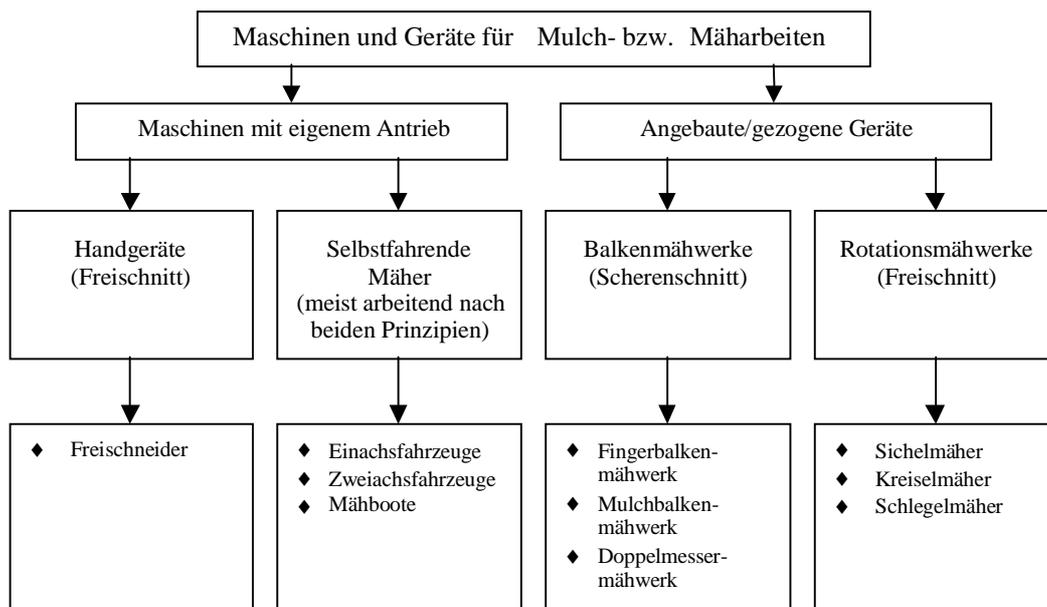


Abbildung 2-61: Maschinen und Geräte für Mäh- bzw. Mulch-Mäharbeiten, gegliedert nach Bau- und Funktionsweise [2]

Durch die unterschiedlichen Anforderungen an die Gerätetechnik auf Grund der unterschiedlichen Eigenschaften der Flächen, z. B. unterschiedlicher Pflanzenwuchs und unterschiedliche Wuchshöhe, Hangneigung der Flächen, Bodenunebenheiten, Feuchtigkeit, unterschiedlichen Zufahrtsmög-

lichkeiten zu den Flächen ist eine breite Variationsmöglichkeit der Technik zwingend. Dies spiegelt sich in einer großen Konstruktions- und Variationsvielfalt wider.

2.3.2 Handgeräte

▪ **Sense**

Bei unwegsamem, steilem oder labilem Gelände sowie der Ausmähd von völlig eingewachsenen Gehölzen findet das manuelle Sensenmähverfahren Anwendung. Es garantiert eine sehr gezielte, einzelne Pflanzen schonende Mähd. Die Schnittfläche ist umso gleichmäßiger, je exakter gearbeitet wird, d. h. je näher die Schnitte aufeinander folgen.

▪ **Freischneider**

Das Sensenmähverfahren wird durch Freischneider ersetzt, die etwa mit doppelter Leistung arbeiten. Schnittqualität und Mähbild entsprechen dem der Sense. Freischneider werden mit Fadenkopf oder verschiedenen Mähblättern angeboten, Bild 2-62 dient nur als Beispiel.

Die Handhabung des am Schultergurt getragenen Gerätes ist der einer Sense ähnlich. Die Drehung erfolgt um die Gurtaufhängung als zentralen Punkt. Bei gleicher Zahl der Schwenkbewegungen verdoppelt sich die Zahl der Schnittvorgänge zur Sense.

Der Freischneider erlaubt ein sehr selektives Arbeiten, d. h. einzelne Pflanzen können stehen gelassen werden und es kann auch direkt über dem Boden intensiv gemäht werden.



Abbildung 2-62: Motorsensen-Freischneider, Fa. Solo Sindelfingen [33]

2.3.3 Selbstfahrende Mäher einschließlich Mähwerk

Selbstfahrende Mäher bestehen häufig aus einem ein- oder zweiachsigen Grundgerät, an das ein Mähwerk angebaut bzw. vom Grundgerät gezogen wird. Dieser modulare Aufbau macht es möglich, am Trägerfahrzeug das Mähwerk mit anderen Geräten (Heuwender, Sammelwagen u. a.) zu kombinieren bzw. zu ersetzen.

Kreisel- und Schlegelmäher sowie Balkenmäherwerke werden in unterschiedlichsten Bauweisen angeboten. Kreisel- und Schlegelmäher sind nicht für die Gegebenheiten der Landschaftspflegeflächen mit großen Wuchshöhen geeignet (und sollen auch aus naturschutzrechtlicher Sicht nicht angewendet werden). Sichelmäherwerke scheiden ebenfalls aus den Betrachtungen aus, da die Mähguthöhe mit ca. 25 cm begrenzt ist.

Balkenmäherwerke sowohl an Einachs- oder Zweiachsfahrzeugen stellen eine wichtige Gerätetechnik dar. In der Landschaftspflege werden entweder **Mulchbalken- oder Doppelmessermäherwerke** eingesetzt. Fingerbalkenmäherwerke eignen sich hier nicht, da entweder schon gleichmäßig gewachsenes, stehendes Mähgut schlecht über die Stahlfinger hinweg gleitet oder niedriges, lagerndes und verfilztes Gut sich vor den Fingern staut und letztendlich das Mäherwerk verstopft. Zeitaufwendige Reinigungsarbeiten wären die Folge.

Mulchbalkenmäherwerke

Mulchbalkenmäherwerke funktionieren auch noch bei Mulchrückständen im Mähgut, im Gegensatz zu den Fingerbalkenmäherwerken.

Die Verbesserung des Scherenschnittprinzips durch den Einsatz von starren Dreiecksklingen anstelle der Stahlfinger wirkt sich positiv auf die Mähqualität und die Einsatzbreite des Gerätes aus, die Reparaturanfälligkeit ist allerdings durch die Schutzlosigkeit der Mäherwerkzeuge höher. Die Mulchbalkenmäherwerke wurden zu leistungsfähigeren Doppelmessermäherwerken weiterentwickelt. Ihr Einsatz erfolgt nur noch dort, wo aus Kostengründen kein Doppelmessermäherwerk angeschafft werden kann.



Abbildung 2-63: Hydrocut HC55 mit Mähbalken [4]



Abbildung 2-64: Hydrocut HC55 mit Mähbalken und zusätzlichem Gitterrad [4]



Abbildung 2-65: Steilhangmäher [4]



Abbildung 2-66: Balkenmäher OL 400 [3]

Die in den Bildern 2-63 bis 2-66 gezeigten Beispiele für Balkenmähwerke mit einem Einachsmotormäher kombiniert, zeichnen sich durch weitere, speziell an den Einsatz in schwierigem Gelände angepasste Konstruktionsmerkmale aus:

- gute Wendigkeit und Geländegängigkeit der Grundgeräte, wegen der geringen Ausmaße sowie kleinem Kurvenradius sind Arbeiten in sehr beengten Verhältnissen möglich; Wendung aus dem Stand möglich (Null-Wendekreis)
- Tief liegender Schwerpunkt, was für Arbeiten an Böschungen wichtig ist
- wirksame Bodenschonung durch unterschiedlich schnell drehende Antriebsräder in Kurven
- Geschwindigkeiten: vorwärts: 0 bis 12 km/h, rückwärts 0 bis 3 km/h (je nach Bereifung), elektronische und stufenlose Geschwindigkeitsverstellung je nach Arbeitsbereich auch Schrittgeschwindigkeit möglich
- sogenannte Totmannfunktion für Rückwärtsfahrt: Der Fahrhebel geht beim Loslassen von selbst sofort in Nullstellung!
- an den Untergrund und Bewuchs angepasste Bereifung, s. Bild 2-67, Zwillings- oder Drillingbereifung zur Verbesserung der Hangtauglichkeit
- Kompakte Bauweisen, relativ geringes Gewicht (135 bis 200 kg)
- Maschinen in den oberen Leistungsbereichen (ca. 6 kW bis 7,5 kW) sind zu bevorzugen.



Niederdruck/Terra-Reifen



Doppelbereifung (Stollenreifen)



Stollenreifen und Gitterrad

Abbildung 2-67: Bereifungsformen

- beidseitige Parkbremsen [4] oder Einzelradbremse [3]
- ergonomisch gestaltete Lenker, mit Höhen- und Seitenverstellung (auch während der Fahrt), blockierbare Aktivlenkung
- Schnittbreite richtet sich nach dem angebauten Mähwerk (Steckanschluss): Mähapparat mit Fingermäh-/Universalbalken (verschiedene Breiten, 130 – 165 cm), Mähapparat mit Doppelmesserbalken (verschiedene Breiten): Sichelmäher (Arbeitsbreite 127 cm), Schlegelmäher (Arbeitsbreite 108 cm), Bandheuer(-rechen) (Arbeitsbreiten 210/230 cm) und weitere Geräte für den kommunalen Einsatz

Doppelmessermähwerk

- Die Höhe des Mähgutes hat keinen Einfluss auf das Verfahren.
- Die Ablage des Schnittgutes ist ohne Schwadblech gleichmäßig.
- Grasauswuchs, auch verfilzt sowie Gehölzanflug bis max. 2 cm Stammdurchmesser kann gemäht werden.
- Arbeitsgeschwindigkeiten zwischen vorwärts: 0 bis 16 km/h, rückwärts 0 bis 5 km/h
- Massen: Leergewicht: 550 kg, zulässiges Gesamtgewicht: 900 kg [4]



Abbildung 2-68: Terracut Aebi TC07 (Dreirad)
[4]



Abbildung 2-69: Doppelmessermähwerk [31]

Tabelle 2-4: Größenstufen bei Doppelmessermähwerken im Direktanbau [2]

Arbeitsbreite [m]	Gewicht [kg]		Leistungsbedarf [kW]
	Zwischenachsenbau	Front-/Heckanbau	
1,50	45	145	12
1,90	60	165	15
2,25	75	185	18

Vorteil gegenüber den anderen Mähwerken:

- bei gleich bleibender Mähqualität höhere Arbeitsgeschwindigkeit

Nachteil der Bauweise ohne Stahlfinger:

- höhere Reparaturanfälligkeit infolge Fremdkörpereinwirkung bei höherer Geschwindigkeit und damit höhere Reparaturkosten
- höherer Verschleiß

• **Träger- und Zugfahrzeuge in der Landschaftspflege [2]**

Beim Einsatz von Schlepper-Geräte-Kombinationen in der Landschaftspflege, die selbstfahrenden Spezialmaschinen vorzuziehen sind, sollten folgende Gesichtspunkte beachtet werden:

- ✓ Allradantrieb ist dem Standardantrieb vorzuziehen.
- ✓ Schleppergewicht so gering wie möglich halten!
- ✓ Die Schlepperbereifung ist dem Gelände anzupassen.
- ✓ Die Leistungsfähigkeit des Schleppers und der Leistungsbedarf des Arbeitsgerätes sollten annähernd gleich sein.

Eingesetzt werden allgemein:

- | | |
|--|--|
| <p>1. Allradschlepper anstelle des Standardschleppers</p> <p>2. Trac-Schlepper</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Arbeitsgeschwindigkeit max. 6,5 km/h bei durchschnittlichen Bodenverhältnissen bzw. Bodenunebenheiten - Allradantrieb - vier gleich dimensionierte Räder (alle Räder lenkbar, Front-/Rückseite getrennt) - meist gefedertes Fahrwerk - Eignung für Frontanbau- bzw. Heckaufbaugeräte - Arbeitsgeschwindigkeit max. 8,5km/h bei durchschnittlichen Bodenverhältnissen bzw. Bodenunebenheiten, auf ebenen Gelände bis 40 km/h - Speziell konstruierte Zusatzgeräte sind im Angebot |
|--|--|

3. Hangschlepper

- Allradantrieb
- kompakte Bauweise
- breiter Radstand (gute Hangeigenschaften)
- tiefliegender Schwerpunkt
- gleich große Räder (geringer Bodendruck)
- Gleichwertige Anbauräume im Front- und Heckbereich
- Steigfähigkeit sowie Fahrleistung parallel zu den Höhenlinien betragen max. ca. 60 bis 70 % bei trockenen, stabilen Bodenverhältnissen sowie Differentialsperre an beiden Achsen [2]
- Bei feuchtem Untergrund oder losem Geröllboden liegt die Abrutschgrenze unter 50 % Hangneigung.

4. Einachsmotormäher

siehe unter „Balkenmäher“



Abbildung 2-70: Rasant-Geräteträger mit Anbaugeräten (Heuwender) [4]



Abbildung 2-71: Terratrac für schwieriges Gelände mit Anbaugerät [4]

Folgende Tabelle zeigt den Vergleich der Träger- und Zugfahrzeuge hinsichtlich ihrer Bodenbelastung und Hangtauglichkeit:

Tabelle 2-5: Trägerfahrzeuge für Maschinen und Geräte der aktiven Landschaftspflege, geordnet nach erzeugtem Bodendruck und Hangtauglichkeit [2]

Vergleichsparameter	Trägerfahrzeug		
	Allrad- und Frontsitzschlepper	Hangschlepper Selbstfahrladewagen	Einachsmotormäher
Erzeugter Bodendruck bei üblicher Bereifung ohne Anbaugeräte	1400 - 2300 g/cm ²	400 - 900 g/cm ²	300 - 400 g/cm ²
Steigfähigkeit bzw. Fahrleistung parallel zu den Höhenlinien bei trockenen, stabilen Bodenverhältnissen	40 - 50 % (über 40 %, wenn nur rückwärts in den Hang fahrend)	60 - 70 %	60 - 70 % (ab 50 % mit Zwillingsbereifung)

2.3.4 Schwaden und Aufnahme von Landschaftspflegeschnittgut

Zur Vermeidung häufiger Flächenüberfahrten sollte angestrebt werden, das Landschaftspflegegut in einem Arbeitsgang zu mähen und aufzunehmen, was aber aus technischen bzw. auch witterungsbedingten Gründen häufig nicht möglich ist. Das Schnittgut muss dann geschwadet werden, um aufgenommen zu werden. Das Aufnahmeverfahren belastet den Boden am meisten [2]. Deshalb sollte dabei eine möglichst große Arbeitsbreite erzielt werden.

Hierzu werden Bandheuer verwendet. Bandheuer werden neben dem Dreipunktbau auch als Einachsfahrzeuge und als Arbeitsköpfe für Einachsmotormäher sowie Auslegergrundgeräte angeboten.

Vor dem Aufnehmen sollte das Gut abgetrocknet werden, um bei der Gutaufnahme das Gewicht und damit die Bodenbelastung zu reduzieren, was aber nicht immer möglich ist (Mäharbeiten im Spätherbst).

▪ **Aufnahme mit Heuschiebegabel am Hangschlepper**

Heuschiebegabeln eignen sich zum schonenden Transport von Schnittgut aus labilen Flächen zum Rand der Fläche. Die Gabelbreite beträgt ca. 2,2 m und ist ca. 1,2 m tief [2].

Getrocknetes Schnittgut, geringe Bodenunebenheiten sowie hängiges Gelände erlauben ein Schieben des Gutes hangabwärts.

Feuchtes Schnittgut, unebenes und labiles Gelände sowie Hangaufwärtstransport erlauben nur ein Hinaustragen des Gutes aus der Fläche.

▪ **Aufnahme mit Ladewagen**

- Gezogene Hänger oder Maschinen mit eigenem Antrieb
- Gute Geländegängigkeit

Mehrfachnutzen durch die Verwendung unterschiedlicher und einfach auswechselbarer Auf- und Anbauten.

Speziell für alpine Bergwiesen wurden kleine, selbstfahrende Ladewagen entwickelt (siehe z. B. Bild 2-75). Sie eignen sich auch für Feuchtfelder. Die Schnittgutaufnahme erfolgt über ein Heckpick-up. Spurrillengefahr besteht bei feuchtem, schwerem Gut sowie labilem Gelände.

Speziell für die Landschaftspflege, d. h. für kleinere Flächen, werden Rundballenpressen, Bild 2-74, angeboten, mit denen das Gut zu 22-kg-Ballen verarbeitet werden kann [32]. Voraussetzung dafür ist der ausreichende Trocknungsgrad des Gutes, so dass während der Lagerung Schimmelpilzbefall auszuschließen ist. Als Variante zur Nutzung feuchten Gutes stehen Siloballenwickler zur Verfügung.



Abbildung 2-72: Hydrocut Aebi HC55 mit Bandrechen [4]



Abbildung 2-73: Terratrak mit Zusatzgeräten [4]



Abbildung 2-74: Ballenpresse, Fa. Rapid [32]



Abbildung 2-75: Geländegängiger Mehrzwecktransporter [4]

2.3.5 Schlussfolgerungen zum Technikeinsatz für das Untersuchungsgebiet

Insgesamt erfolgte die Pflege der Flächen während des Projektzeitraumes über eine ABM-Maßnahme, wobei die Flächen größtenteils manuell beräumt wurden.

Zum Mähen standen zur Verfügung:

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • (Hand-)Sense • Motorsense • Gebirgs- bzw. Balkenmäher in einfachster Ausführung | <div style="border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;"> <p>keine Einsatzbeschränkungen</p> <p>fester, trittsicherer Untergrund notwendig</p> <p>Einsatz auf sumpfigem bzw. feuchtem Untergrund problematisch, Schwierigkeiten auch bei Hanglage</p> </div> |
|---|--|

Der Abtransport des Gutes erfolgte mit einem (privat zur Verfügung gestelltem) PKW-Anhänger. Zum Teil konnte das Gut gar nicht von den Flächen beräumt werden (z. B. Fläche 1 Koberbachvorstau wegen fehlender Zufahrtsmöglichkeit).

Um die Pflegearbeiten des LPV zu rationalisieren und schließlich das Gut ausgewählter Flächen zur Nutzung bereitzustellen, ist mittelfristig die Anschaffung eines universell einsetzbaren Kombigerätes unumgänglich. Aus den Erkenntnissen des Projektes wäre ein Allrad-(Trac-)Schlepper (Grundgerät) mit einem Balken- bzw. Doppelmessermähwerk vorteilhaft, vgl. Bilder 2-70, 2-71, 2-73. Dessen Schnittbreite richtet sich nach der auf ebenen Grasflächen optimal möglichen Breite, da für Ausschnittarbeiten die bereits vorhandene Technik genutzt werden kann. Das für Hanglagen und schwieriges Gelände geeignete Fahrzeug könnte zusätzlich mit einem Ladewagen sowie mit einer Ballenpresse gekoppelt werden. Mit der in Bild 2-74 beschriebenen Presse könnte der Aufwuchs der Fläche Werdau-Kranzberggrund in eine platzsparende Lagerform gebracht werden.

Insgesamt ist es wichtig, dass sich aus der Flächen- und damit Bodenvielfalt heraus für ein variabel einsetzbares Kombigerät entschieden wird, das je nach Erfordernissen (die Zuständigkeiten für die Flächenpflege können sich ändern) mit Anbaugeräten ergänzt wird. Möglichkeiten zur Vermietung des Gerätes an (kleinere) Landwirte oder Forstwirtschaftsbetriebe wären auch im Sinne einer Kostenreduzierung denkbar.

2.4 Zusammenfassende Bemerkungen zum Biomasseaufkommen und -ernte

Bei der Nutzung der auf den vorab beschriebenen Flächen anfallenden Biomasse stellt die Erreichbarkeit (bzw. Befahrbarkeit) der Flächen das größte Problem dar. Während Flächen, wie Kranzberggrund/Werdau und die Streuobstwiesen in Neukirchen gut erreichbar sind, stellen Gräben (Döbitzbachwiese, Koberbachtalsperrenvorstau), neu angebrachte Tore oder umgestaltete Brücken z. T. unüberwindliche Hindernisse beim Abtransport des gemähten Gutes dar. Eine weitere Minderung des theoretischen Biomassepotentials wird durch die Bodenbeschaffenheit und mangelnden Befahrbarkeit bedingt, so dass die Nutzung des Aufwuchses einer Vielzahl von Flächen ausgeschlossen wird. Eine rationelle Beräumung ist hier nicht möglich, bei der Verwendung von Erntetechnik besteht u. a. die Gefahr des Einsinkens. Aufgrund der spezifischen Flächenbeschaffenheit (Feuchtwiese, extreme Hanglage, Wald/Gebüsch o. ä.) ist z. T. auf den nicht in Tabelle 2-3 aufgeführten Flächen nur eine manuelle Pflege (Mahd mit Sense) möglich. Damit gestaltet sich das Schwaden mit Handrechen bzw. das Sammeln des Gutes auf einem Haufen schwierig. Der hohe personelle Aufwand würde die Bereitstellung des Gutes zur Verwertung verteuern.

Des Weiteren fehlen generell Lagermöglichkeiten für das Gut vor Regen (z. B. überdachte Schauer, die sich in das Flächenbild einfügen) oder als Alternative eine Möglichkeit zur Ballenherstellung und –einlagerung. Eine kurzzeitige Lagerung des Gutes im Haufen an den Flächenrändern ist zwar bis zum Abtransport möglich, aber wirkt sich bei längerer Dauer negativ auf die Qualität aus.

Insgesamt kann die anfallende Biomasse zur Verwertung zur Verfügung stehen, wenn sie bestimmte Qualitätskriterien einhält:

Als **Qualitätskriterien** können folgende Punkte festgelegt werden:

- hoher Aufwuchs bzw. ausreichende Menge an Biomasse
- für die Weiterverarbeitung ausreichender Trocknungsgrad (bis max. 15 % für Kollergang-Pelletherstellung, bis max. 30 bis 40 % für Aufbereitung mittels Extruder und Profil-Hohlwalzenpresse)
- entsprechende Gutform (nicht zu kurze Halmlänge), Gut muss nach dem Mähen aufsammelbar sein
- kein Befall mit Schimmelpilzen

sowie

- entsprechende „Flächenqualität“, d. h. gute Zufahrt einschließlich Abtransportmöglichkeit, befahrbarer Boden und keine extreme Hanglage

Dabei ist die Trocknung der Biomasse, neben den bereits genannten Anforderungen an die Fläche, als das entscheidendste Kriterium für die Weiterverarbeitung anzusehen. Zu nasse Biomasse (über 40 % Feuchte) ist zudem nicht lagerfähig und wird leichter mit Schimmelpilzen befallen. Durch die Wahl eines günstigen Erntetermins, an dem die natürliche Gutsfeuchte ein Minimum erreicht, vgl. Abbildung 2-14, und eine (mehrtägige) Lagerung des Gutes im Schwad könnte eine Abtrocknung an der Luft erfolgen bzw. der Feuchtegehalt soweit gesenkt werden, dass eine Verarbeitung möglich ist. Die Arbeitsschritte Mähen/Schwaden und Aufsammeln sollten in jedem Fall zeitlich getrennt erfolgen.

Als Vorschlag zur Vorbereitung der Verwertung des Gutes, auch im Hinblick auf die Erarbeitung eines Logistikkonzeptes, sollen die in folgender Abbildung dargestellten Schritte dienen.

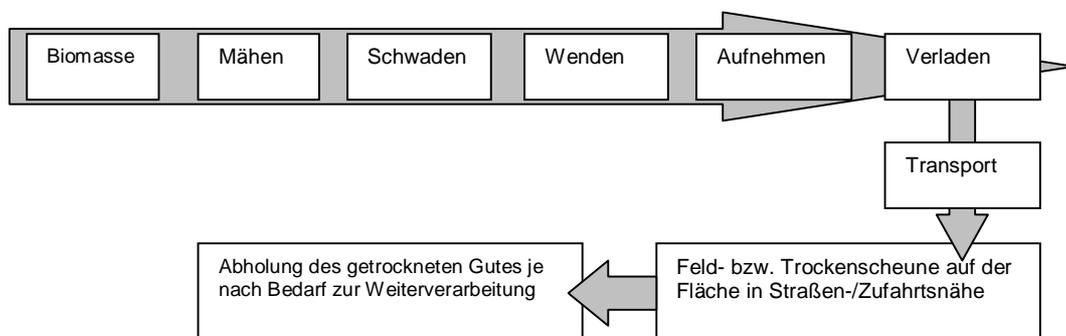


Abbildung 2-76: Mögliche Variante zur Trocknung des Gutes

Als Technik zur Pflege der Flächen und zur rationellen Guteinbringung kann ein geländegängiger Allrad-Hangschlepper mit entsprechenden Zusatzgeräten (Mähwerk, Ladewagen) sowie weitergehend eine (Klein-)Ballenpresse eingesetzt werden. Zur Gutsammlung und teilweisen Verwertung bietet sich der Gebäudekomplex des Sitzes des LPV in Neukirchen an (Mühle mit Nebengebäuden). Eine überdachte Lagerungsmöglichkeit sollte auf der Fläche in Werdau errichtet werden.

3 **Aufbereitung von Landschaftspflegeaufwüchsen für die energetische Nutzung**

3.1 **Stand der Technik**

Im folgenden sollen die für Halmgut nutzbaren Aufbereitungs- und Pressverfahren nur kurz erläutert werden. Ausführliche Angaben sind der Literatur [5] zu entnehmen.

Aufbereitungs- und Zerkleinerungsverfahren

Halmgut stellt ein schwieriges Verarbeitungsgut dar. Neben der großen Halmlänge spielt vor allem der Aufbau der äußeren Zellschichten für die Bindungen in den Presslingen eine Rolle. Raue oder mit Schuppen, Dornen u. ä. besetzte Oberflächen (Schilfgras, Beeren, Brennessel) verbinden sich leichter und haften besser aneinander als glatte wachsartige (bestimmte Süßgräser).

Insgesamt ist der Aufwuchs von Landschaftspflegeflächen ohne eine Zerkleinerung nicht handhabbar, es kommt zu Problemen in Förder- und Zuführeinrichtungen. Die bedingt durch den späten Erntetermin ausgebildeten Verholzungen im Stängel stellen dabei besondere Anforderungen an die Zerkleinerung und bewirken einen höheren Werkzeugverschleiß.

Als Zerkleinerungsverfahren kommen alle Verfahren in Betracht, die auch herkömmlicherweise für die Verarbeitung von (Futter-)Grüngut genutzt werden:

- Zerkleinerung mit **Schneid- oder Hammermühle**: Dabei erfolgt eine Verkürzung der Halmlänge vorwiegend quer zur Halmachse ohne Veränderung der charakteristischen Eigenschaften („glatte“ Teilung der Zellen). Diese Häcksel (bis 20 mm) sind zwar fließfähig, aber nur zur Verarbeitung in Kollergangpressen (Feuchtigkeitszugabe, erhöhte Temperatur) geeignet.
- Grobzerkleinerung mit **Feldhäcksler**, d. h. Verarbeitung von Langgut: Diese längeren Halmabschnitte (2 - 15 cm) können vorzugsweise in Stempelpressen verarbeitet werden. Das Bindungsverhalten beruht auf der Ausbildung von formschlüssigen Bindungen durch Verhaken, Verdrehen und Knicken der Halme, damit entsteht allerdings erhöhter Aufwand beim Pressverfahren durch Elemente der Strangformung (unzerkleinertes Gut ist nicht fließfähig!) [5][6].

und als neuentwickeltes Verfahren:

- Zerfaserung mit einer einem **Extruder** ähnlichen Aufbereitungstechnik: Zerstörung (Auffaserung) der Zellen durch die Verarbeitung des angefeuchteten Gutes bei hohen Temperaturen (80 - 100° C) unter Druck. Für die Weiterverarbeitung steht ein gut fließfähiger Faserstoff mit einer mittleren Korngröße von 3 bis 6 mm, einer Schüttdichte von 0,06 g/cm³, einem Feuchtegehalt von ca. 20 % und einer für das Bindungsverhalten vorteilhaften Temperatur von 70 bis 80° C zur Verfügung ([7] bzw. folgender Abschnitt).

- Prinzipiell wäre die Zerkleinerung zu Staub möglich, wird aber aufgrund des extremen Zerkleinerungsaufwandes, des hohen Energieeintrages und der hohen Staubbelastung der Umgebung nicht näher untersucht.

Pressverfahren

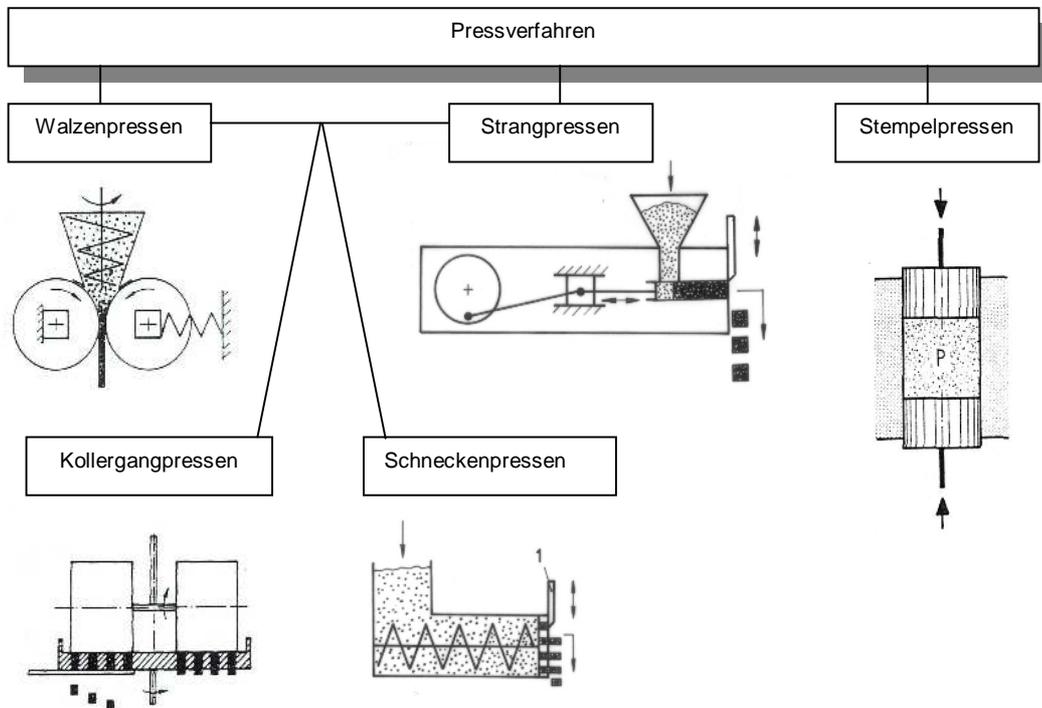


Abbildung 3-1: Übersicht: Pressverfahren [8][9][10]

- Für kontinuierliche Verfahrensprinzipien stehen Schnecken-, Walzen- und Kollergangpressen zur Auswahl. Stempel- und Strangpressen kommen zum einen wegen der diskontinuierlichen Betriebsart und zum anderen wegen der nach unten begrenzten Größe der Presslinge (vgl. Zielstellung: möglichst kleine Abmessungen) nicht in Betracht, vgl. Abbildung 3-1.
- Zudem sind noch Kombinationen aus den Wirkelementen der Koller- und Walzenpressen, sog. Zahnradpressen bekannt, bei denen das Gut mittels ineinanderkämmernden Zähnen durch Bohrungen auf der Mantelfläche von Hohlzylindern gepresst wird.
- Das Kollergangverfahren stellt die meist verbreitete Variante zur Pelletherstellung dar. Eine Kollergangpresse besteht aus einer Matrize mit einer bestimmten Anzahl von Bohrungen und einer oder mehreren umlaufenden Walzen (sog. Koller). Die Matrize kann als Flach- oder Ringmatrize ausgeführt sein, bei manchen Bauformen ist die Matrize beheizbar. Das häcksel- oder staubförmige Gut wird bei Walzendurchlauf in die Bohrungen gedrückt. Der erforderliche

Gegendruck entsteht durch die Reibung des Gutes an der Bohrungswand. An den Presslingen sind „Trennlinien“ erkennbar, sie entstehen durch den diskontinuierlichen Gutnachschiebung. Die Presslingslänge variiert stark, z. T. sind spezielle Abschneid- bzw. Ablängeeinrichtungen vorhanden.

Oft sind weitere Einrichtungen zur Zudosierung von Hilfs- und Zusatzstoffen (z. B. Kleie, Melasse, Natronlauge) und Dampf vorhanden.

- Zur Herstellung von Futtermittelpellets (Grüngut, Grüngut mit Zusätzen, spezielle Futtermittelmischungen u. ä.) hat sich das Kollergangverfahren [11][12][13] seit Jahren bewährt. Aus der Literatur [14] [15] und aus eigenen Erfahrungen [16] sind Probleme bei der bindemittelfreien Pelletierung von Stroh bekannt. Für Heu bzw. Landschaftspflegeschnitt liegen keine Angaben vor.
- Die Veränderung der Pelleteigenschaften ist vorwiegend über die stoffliche Zusammensetzung bzw. Gutarteigenschaften möglich. Kollergangpressen bieten bisher kaum Möglichkeiten, über die Veränderung der Anlagenparameter die Eigenschaften der Pellets (z. B. Dichte) zu verändern.

In Auswertung des Standes der Technik ergibt sich das in folgender Grafik dargestellte Vorgehen.

Schlußfolgerungen aus dem Stand der Technik:

- ➔ Vorab-Aufbereitung bzw. Zerkleinerung für Landschaftspflegeschnitt nicht geklärt
- ➔ Herkömmliche Preßverfahren nur z. T. geeignet (ungenügende Preßlingeigenschaften, wie Größe, Dichte, Festigkeit)

Weiteres Vorgehen zur Herstellung von Pellets aus Landschaftspflegeschnitt:

Untersuchung der **charakteristischen Eigenschaften** und des **Verdichtungsverhaltens** von Landschaftspflegeschnitt

Eignungstest des **Kollergangverfahrens** einschließlich vor- und nachgeschalteter Anlagenkomponenten mit Hinweisen für die Verfahrensumgestaltung

Neuentwicklung eines Verfahrens zur Verdichtung von Landschaftspflegeschnitt einschließlich der Aufbereitungs- und Zerkleinerungstechnik

Abbildung 3-2: Vorgehen für weitere Arbeiten

3.2 Charakterisierung des Verdichtungsverhaltens

Unter dem Begriff Verdichtungsverhalten ist die sich bei Einwirkung eines bestimmten Pressdruckes einstellende Dichte zu verstehen. Das Verdichtungsverhalten ist neben verfahrensbedingten Einflussgrößen (z. B. Art und Form des Werkzeuges) abhängig von den Eigenschaften der jeweiligen Gutart, d. h. im wesentlichen vom Pflanzenaufbau (siehe hierzu Abschnitt 2-1 bzw. 5-2), von der Gutsfeuchte und vom Zerkleinerungsgrad.

Versuchsanordnung und Durchführung

Für die folgenden Verdichtungsversuche wurden von den in Tabelle 3-1 beschriebenen Gutarten die Druck-Weg-Kurve und die Dichte-Druck-Kurve ermittelt. Als Werkzeug diente ein Stempelpresswerkzeug mit einem Durchmesser von 20 mm, Abbildung 3-3. Zur Aufnahme der Kräfte bzw. Drücke wurde die eigens hierfür angeschaffte Messtechnik (Druck- und Wegsensoren mit entsprechender Auswertetechnik) genutzt.

Tabelle 3-1: Gutarten zur Bestimmung des Verdichtungsverhaltens

Gutart	Korngröße	Charakterisierung
Heu	unzerkleinert,	erhöhter Blattanteil, weniger Süßgräser
Landschaftspflege-Gras	z. T. mehrfach geknickt, 20 - 30 cm	überwiegend Süßgräser, verholzte Stängel, wenig Blätter
Schilfgras		raue, grobe Blätter (ca. 1 cm breit)
Weide	auf 15 cm geschnitten	dünne Ästchen, relativ glatte Oberfläche

Mit der Auswahl dieser Gutarten soll ein breites Spektrum des Aufwuchses von Landschaftspflegeflächen, d. h. Halmgut und Heckenschnitt, abgedeckt werden.

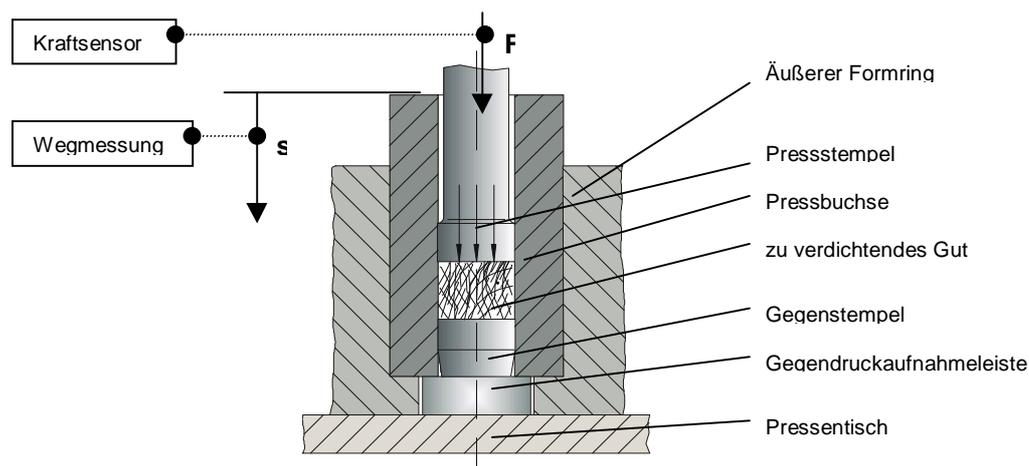


Abbildung 3-3: Versuchsaufbau zur Bestimmung des Verdichtungsverhaltens

Das Versuchswerkzeug ist in eine hydraulische Einständerpresse eingebaut. Als Messgrößen werden online der Pressweg und die anliegende Kraft bzw. der Druck sowie die Brikettkenngrößen Masse m , Länge H und Durchmesser D nach der Entformung bestimmt.

In Auswertung der Pressversuche ist der Druck-Weg-Verlauf im folgenden Abbildung dargestellt.

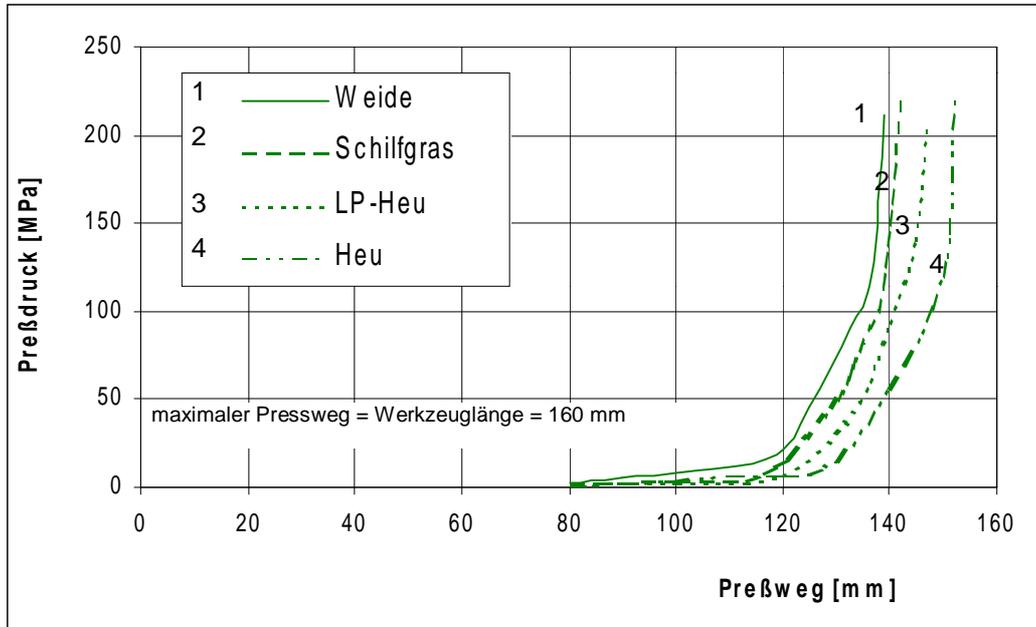


Abbildung 3-4: Druck-Weg-Verlauf bei der Verdichtung unterschiedlicher Biomassen aus der Landschaftspflege

Deutlich sind im Abbildung die unterschiedlichen Kurvenverläufe und damit der Einfluss der Gutart zu erkennen. Je mehr verholzte Zellen im Gut vorhanden sind (Weide) bzw. je grober das Gut ist (Schilfgras), um so früher tritt ein Druckanstieg ein. Zum Erreichen der Enddichte wird mit Zunahme der Gutfestigkeit ein geringerer Pressweg benötigt (vgl. Weide, Schilfgras). Güter mit eher dünnen, hohlen Halmen bzw. einem hohen Blattanteil lassen sich stärker zusammendrücken.

Zur Ermittlung der Verdichtungsgleichung wurde die Dichte ρ über

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ mit } V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H \text{ und damit } \rho = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot D^2 \cdot H} \text{ bestimmt.}$$

Diese gemessene Dichte wird in Abhängigkeit des Pressdruckes im Diagramm aufgetragen. Zusätzlich wurden diese Messwerte mit einer nach [5] ermittelten Verdichtungsgleichung ergänzt.

Dabei wird erkennbar, dass sich die Dichte einer sog. Grenzdichte annähert, d. h. dass bei weiterer Drucksteigerung keine Dichteerhöhung mehr erreicht wird. Die Briketts aus Holz bzw. Hecken-schnitt (Weide) und Heu mit einem hohen Blattanteil erreichen höhere Dichten bedingt durch die spezifische stoffliche Zusammensetzung (Lignin, markartige Holzzellen, Pektin in Blättern). Die geringfügig niedrigen Dichten von Landschaftspflege-Grashalmen beruhen im wesentlichen auf der glatten Grashalmoberfläche und auf der Widerstandsfähigkeit gegen Bruch und Knickung (bei zunehmendem Pflanzenalter). Zudem stellen die untersuchten Halme nur eine kleine Auswahl des zur Verfügung stehenden Gutes dar. Damit wären mit einer anderen Probe auch höhere bzw. Dichten im Bereich des Heckenchnittes denkbar.

Schilfgras stellt im Vergleich zu bisherigen eigenen Untersuchungen eine Ausnahme dar. Aufgrund der Gutstruktur (grobe Blätter mit rauer Oberfläche, keine Wachsschicht, keine Hohlräume) wären Dichten von 0,9 bis 1,2 g/cm³ zu erwarten gewesen. Die im Versuch erreichten, in diesem Bezug wesentlich geringeren Werte sind auf die feste und biegesteife Struktur der Schilfgrashalme zurückzuführen, die sich selbst nach dem Einwirken höherer Drücke noch stark elastisch verhalten (hohe Längsrückdehnung der Briketts).

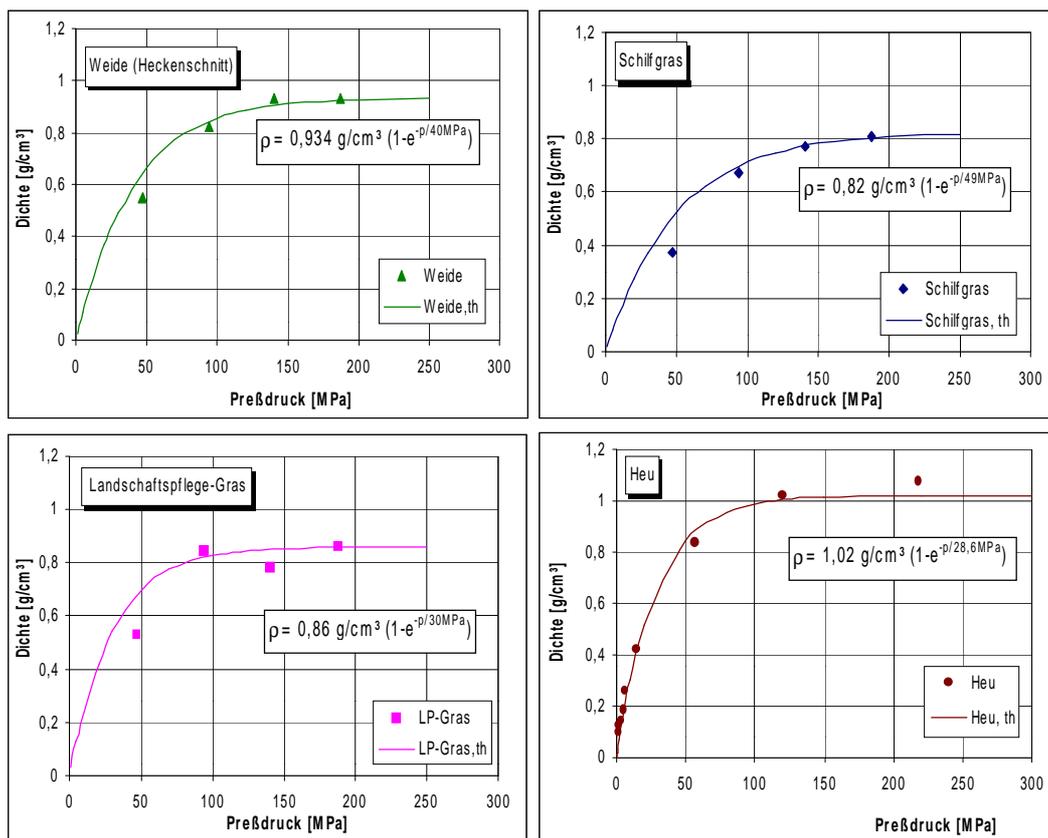


Abbildung 3-5 Verdichtungsgleichungen für unterschiedliche Güter von Landschaftspflegeflächen

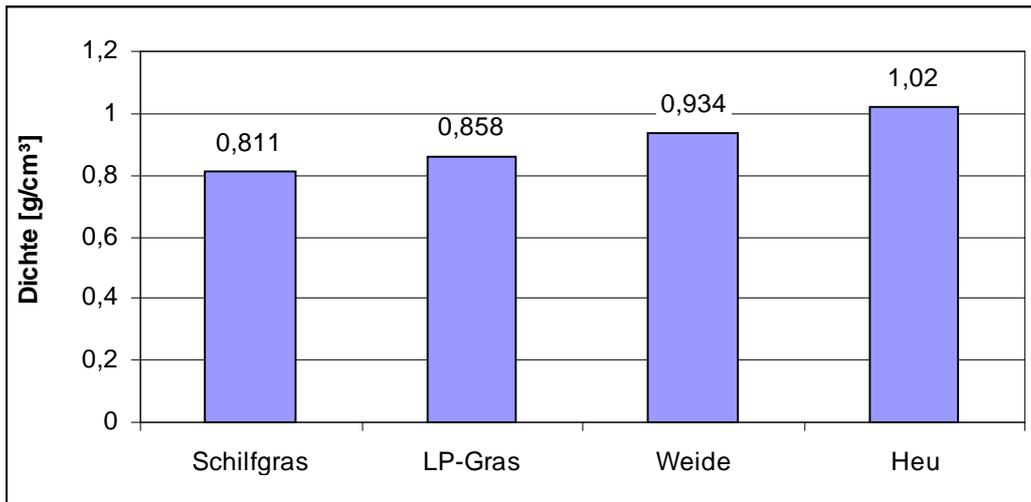


Abbildung 3-6: Grenzdichten für stempelgepresste Briketts aus Langgut (max. Feuchte 12 %)

Aus diesen Verdichtungsuntersuchungen im Labormaßstab lassen sich folgende Schlussfolgerungen für eine Maßstabsübertragung ableiten:

- Zur Herstellung von ausreichend festen und haltbaren Briketts mit dem Stempelpressverfahren sind Pressdrücke zwischen 80 und 110 MPa erforderlich. Zur Umrechnung der Pressdrücke in erforderliche (Axial-)Kräfte für Briketts (Pellets) kleineren Durchmessers dient folgendes Diagramm:

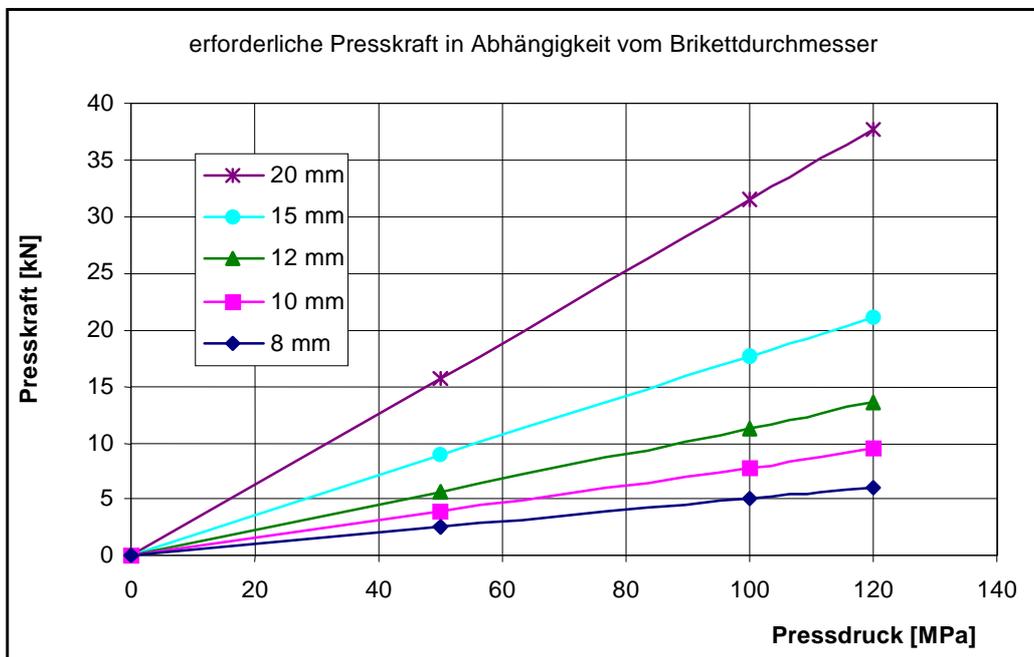


Abbildung 3-7: Umrechnung Pressdruck–Presskraft unter Einfluss des Brikettdurchmessers

Damit sind für die Herstellung von Briketts (Pellets) mit einem Durchmesser von 10 mm Kräfte von 6,3 bis 8,6 kN (entspricht 0,64 bis 0,88 t) erforderlich. Die Angabe zur Presskraft kann bei Veränderung der Verfahrensanordnung sowie des Gutes schwanken und dient nur als Richtmaß!

- Der Feuchtegehalt der verarbeiteten Gutarten lag zwischen 7 und 12 %. Für das Verpressen sollte ebenfalls nur trockenes Gut verwendet werden, um der Gefahr des Befalls mit Schimmelpilzen vorzubeugen.
- Das im Labormaßstab verwendete Prinzip der Stempelpresse ist vorwiegend für größere Brikettdurchmesser geeignet. Bei kleineren Durchmessern sind der Produktivität Grenzen gesetzt. Zudem wird es gerade bei so extrem langhalmigem Gut wie Landschaftspflegeaufwüchse schwierig, das Gut in die Pressbuchse einzuführen. Die Verwendung anderer Verdichtungsprinzipien erscheint sinnvoll.
- Im weiteren Projektverlauf wurden zur Herstellung von Pellets das Kollergangverfahren als nach dem Stand der Technik bekanntes Verfahren sowie ein an der TU Chemnitz neu entwickeltes Verfahrensprinzip („Profil-Hohlwalzenpresse“) genutzt.

3.3 Herstellung von Pellets mittels Kollergangverfahren

3.3.1 Anlagenbeschreibung und Gutarten

Die Herstellung der Pellets erfolgte auf zwei verschiedenen Anlagen, jeweils Kollergangpressen in den Trockenwerken Venusberg und Zwönitz. Der technologische Ablauf ist im folgenden Schema dargestellt:

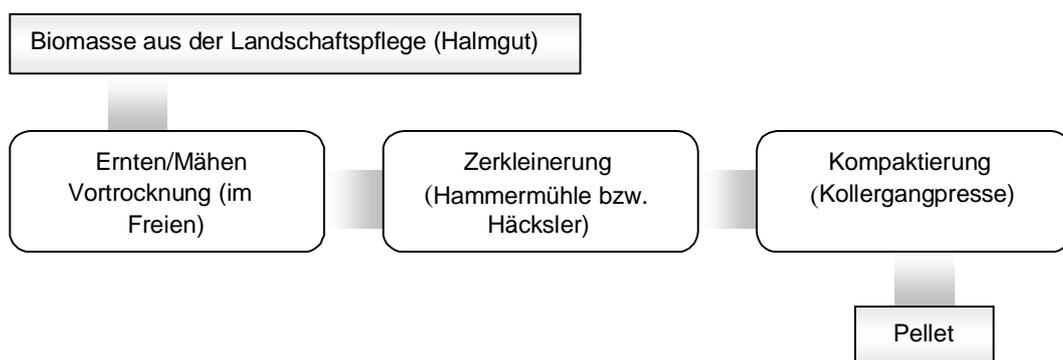


Abbildung 3-8: Herstellung von Kollergangpellets, schematisch

Die Besonderheiten der beiden Versuchsanlagen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 3-2: Besonderheiten der verwendeten Kollergangpressen, z. T. [16]

Merkmal	Trockenwerk Venusberg*	Trockenwerk Zwönitz
Gutvorzerkleinerung	Hammermühle, Siebweite 4 mm,	Häcksler (die zugehörige Hammermühle wurde nicht genutzt), Korngröße ca. 5 - 7 cm, max. 15 cm
Pressenart	Kollergangpresse mit Flachmatrize, Matrize angetrieben	
Pelletgröße	Matrizenlochung D = 10 mm	
Matrizenhöhe	70 mm (fest vorgegeben)	60 mm (variierbar von 60 - 90 mm)
Kollersatz	3 Koller, schräg zur Matrize angeordnet	4 Koller, rechtwinklig zur Matrize angeordnet
Verarbeitetes Gut (Herkunft)	Neukirchen	Rudelswalde Werdau

*) Die Presse sowie vor- und nachgeschaltete Einrichtungen sind in [16] beschrieben.

Gutarten

Insgesamt standen für die Herstellung von Pellets drei Chargen in ausreichender Menge und mit niedrigem Feuchtegehalt zur Verfügung:

- Standort Neukirchen – Kirsch- bzw. Pflaumenberg (überwiegend Gras mit Anteil Brennesseln),
- Standort Rudelswalde – Rodelberg (Gras mit einem hohen Anteil an markhaltigen Stängeln (Bärenklau) und Brennesseln)
- Gemisch von Standort Werdau – Kranzberggrund und Rudelswalde (überwiegend Gras ohne nennenswerten Blattanteil)

Die große Stängel- bzw. Halmlänge bereitet Probleme in Zuführeinrichtungen. Für die Verarbeitung des Gutes auf einer Kollergangpresse muss eine Vorzerkleinerung erfolgen, um die Fließfähigkeit des Gutes zu erhöhen.

3.3.2 Herstellungsbedingte Besonderheiten

• Pelletiersversuche im Trockenwerk Venusberg

Zur Vorzerkleinerung des Gutes wurde die vorhandene Hammermühle genutzt, die speziell für die Versuche manuell beschickt wurde¹⁾. Dabei wirkte sich die große Stängel- und Halmlänge und der Zustand bzw. die Lage der Halme und Stängel im Haufwerk (langfasrig, stark verknäuel)

¹⁾ Im üblichen Betriebsablauf wird Grüngut (Futtermittel) pelletiert. Das frisch geerntete Gut wird über einen Trommeltrockner gegeben und anschließend über pneumatische Fördereinrichtungen der Hammermühle zugeführt.

nachteilig aus. Die Hammermühle wurde mehrmals zugefahren. Für spätere Anwendungen müsste das Gut z. B. mit einem Feldhäcksler grob vorzerkleinert (Halmabschnittslänge ca. 10 - 20 cm) werden, dann erst kann eine Feinzerkleinerung mit der Hammermühle (Siebgröße 4 mm) erfolgen.



Abbildung 3-9: Pellets aus Landschaftspflegeschnitt, Aufwuchsfläche Neukirchen

Bei der eigentlichen Pelletherstellung traten keine Probleme auf. Die Pellets wurden mit einer Matrize mit Bohrungsdurchmesser 10 mm hergestellt. Die Pellets haben eine bräunliche Farbe, eine glatte, glänzende Oberfläche und eine höhere Festigkeit im Vergleich zu Strohpellets. Die Pellets haben z. T. schräge Bruchflächen, die Trennebenen von nachgeschobenem Gut sind kaum sichtbar.

Die Anlage im Trockenwerk Zwönitz ist von der Durchsatzleistung her größer im Vergleich zur Anlage in Venusberg, aus diesem Grund lohnte eine weitere Zerkleinerung des Gutes wegen der zu geringen Versuchsmenge nicht über die Hammermühle erfolgen. Die rechtwinklig zur Matrize

angeordneten Koller (Presswalzen) wirken eher ungünstig auf die Verdichtung, das Gut kann sich unter der Kollermantelfläche aufbauen und wird nicht mehr durch die Bohrungen gedrückt.

Pelletiersuche im Trockenwerk Zwönitz



Abbildung 3-10: Pellets „Rudelswalde“



Abbildung 3-11: Pellets „Werdau“

Die Kollergangpresse verfügt über ein hydraulisches System zum Andrücken des Kollersatzes, dabei kann der Druck bei einer zu großen im Pressraum befindlichen Gutmenge reduziert und das Gut besser in die Bohrungen geschoben werden. Die Pellets der Gutart „Rudelswalde-Rodelberg“ sind sehr fest, da das Gut eher eiweißreich aufgrund des hohen Anteils an Blättern und markhaltigen Stängeln ist und so eine gute Bindung bewirkt wird.

Im Vergleich dazu haben die Pellets der Gutart „Werdau“ eine geringere Festigkeit und sind eher „krümelig“, da das Gut überwiegend aus Grasstängeln bestand.

Insgesamt traten keine Probleme bei der Verarbeitung der beiden Gutartchargen auf, auf der Presse kann auch, im Gegensatz zur Anlage von Venusberg, relativ grob zerkleinertes Gut (Stängelabschnitte bis 5 cm) verarbeitet werden.

3.4 Herstellung von Pellets mittels Hohlwalzenpressverfahren

3.4.1 Verfahrensübersicht

Im Folgenden wird das an der TU Chemnitz neu entwickelte Verdichtungsverfahren beschrieben. Das Verfahren besteht aus zwei Hauptmodulen, d. h. einer Aufbereitungs- und einer Kompaktierereinheit.

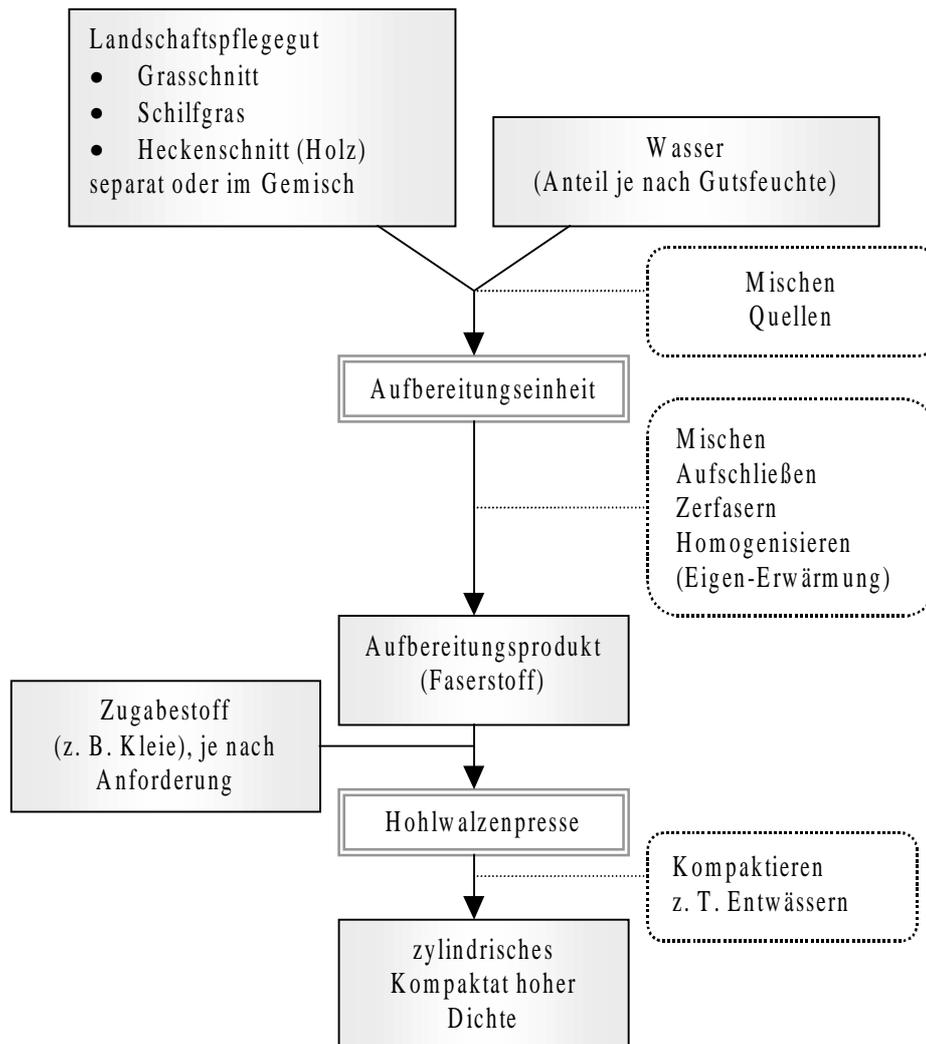


Abbildung 3-12: Verfahrensschema zum neuentwickelten Kompaktierverfahren

3.4.2 Verfahrensmodul zur Aufbereitung

Zur Aufbereitung des Landschaftspflegeschnittes wird ein spezieller, für fasrige nachwachsende Rohstoffe geeigneter Doppelschneckenextruder verwendet, Abbildungen 3-13, 3-14. Im Prozessraum des Extruders findet ein thermomechanischer Aufschluss statt, d. h. die Pflanzenzellen werden durch Wasserzugabe und bei erhöhten Temperaturen (Reibungswärme) aufgespalten. Das Gut verlässt die Aufbereitungseinheit als homogener Faserstoff mit einer Temperatur von 60 bis 70° C, einer mittleren Halmlänge von 3 bis 6 mm und einer Schüttdichte von 0,06 g/cm³. Durch die Gestaltung des Extruders ist es möglich, mehrere Gutarten (z. B. holz- und halmgutartige Biomassen) gleichzeitig zu verarbeiten und so eine gute Durchmischung zu erreichen.



Abbildung 3-13: Doppelschneckenextruder
 (1 Gutaustrag (Frontplatte mit beweglichen Schiebern),
 2 Prozessteil,
 3 Gutzuführung,
 4 Steuerungstechnik,
 5 Antriebseinheit)

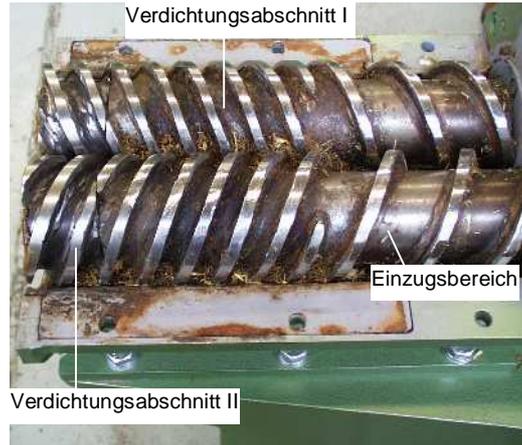


Abbildung 3-14: Prozessteil: Ansicht der Schneckenwellen

Die Technologie des Doppelschneckenextruders ist besonders für die inhomogenen Biomassen aus der Landschaftspflege geeignet, da hier vor der eigentlichen Kompaktierung eine Vergleichmäßigung des Gutes erfolgt und so die gutartsspezifischen Eigenschaften besser genutzt und kombiniert werden können.

Im folgenden sollen die in verschiedenen Versuchsreihen experimentell erhaltenen Ergebnisse kurz dargestellt werden:

- Grundsätzlich können alle in der Landschaftspflege anfallenden Gutarten mit dem Extruder zu Faserstoff aufbereitet werden. Vorteile bringt eine Verarbeitung zweier oder mehrerer Gutarten im Gemisch, da im Prozessraum eine homogene Mischung entsteht. Vorteilhaft ist es, die Gutarten (bzw. die festgelegten Anteile) vor der Zugabe in den Extruder grob zu vermengen, da im Einzugsbereich der Schnecken grobfasriges Gut besser als feinkörniges (Späne bzw. gehäckselter Heckenschnitt) mitgenommen wird.
- Die Zugabe von Kleie in erhöhten Anteilen führt zu Verklebungen im Prozessraum und erscheint nur in geringen Dosen sinnvoll.
- Der Verarbeitung von Heckenschnitt sind bei dickeren Ästen (Durchmesser 4 bis 5 cm) Grenzen gesetzt, dagegen lässt sich Halmgut mit langer Halmlänge problemlos verarbeiten.
- Erntefrisches Gut (frischer Grasschnitt, frisches Schilfgras, frischer Heckenschnitt) mit Feuchtegehalten von 60 bis 70 % sollte vor der Verarbeitung auf Wasseranteile von 40 bis 50 % abgetrocknet werden. Der aus (ernte-)frischem Gut hergestellte Faserstoff weist einen z. T. für die Kompaktierung ungenügenden Aufschlussgrad und zu hohem Wassergehalt auf (nicht zur Zwischenlagerung geeignet, Schimmelgefahr).

- Der Feuchtegehalt im Faserstoff liegt im Bereich von 20 bis 30 %. Deshalb muss, um die Eigenschaften (hohe Temperatur, Feuchte) zur Bindungsaktivierung zu nutzen, der Faserstoff möglichst sofort weiterverarbeitet werden. Zur Sicherung der Lagerfähigkeit ist eine Trocknung bei Umgebungsluft und mehrmaligem Wenden erforderlich.

Um jedoch die Zerfaserung des Gutes optimal zu ermöglichen, ist unbedingt die Zugabe von Wasser erforderlich. Das Wasser muss dabei zugegeben werden, bevor die Biomasse in den Extruder gelangt. Die Verarbeitung des befeuchteten Gutes erfolgt nach einer Quellzeit von 15 bis 30 min, d. h. wenn die Aufnahme des Wassers und die Anreicherung der Zellen sichergestellt ist. Durch die mechanische Krafteinwirkung im Extruder erhöht sich die Temperatur (Austrittstemperatur des Faserstoffes von 85 bis 90° C), das Wasser in den Zellen verdampft. Durch diese „Wasserdampfexplosion“ platzen die Zellwände, es wird eine gute Zerfaserung erreicht.

Die Wasser-Zugabemengen können gutartabhängig variieren. Gute Ergebnisse wurden mit einem (Masse-)Verhältnis Biomasse : Wasser = 1,5 : 1 erzielt. Höhere Wasseranteile sind störend für die nachfolgende Verdichtung, da das Wasser durch aufwendige Trocknung aus den Pellets wieder herausgebracht werden muss. Außerdem sind in feuchter hergestelltem Faserstoff mehr Anteile an längerem Halmabschnitten (2 bis 5 cm) vorhanden, der Faserstoff liegt als lockere Schüttung vor. Bei zu trockenen Verarbeitungsbedingungen findet dagegen keine Zerfaserung sondern nur eine rein mechanische Zerkleinerung statt. Die für die anschließende Verdichtung vorteilhaften Faserstoffeigenschaften werden nicht erzielt.



Abbildung 3-15: Faserstoff aus Landschaftspflege-Grünschnitt

In der Abbildung ist deutlich die Zerstörung der natürlichen Gutstruktur und Homogenisierung zu erkennen. Der Faserstoff ist teilweise vorverdichtet, was die Verbindung der Faserteilchen zu einem festen Pressling begünstigt.

Neben der sofortigen Weiterverarbeitung des aufbereiteten Landschaftspflegeschnittes zu Pellets ist sind auch weitere Varianten zur stofflichen Nutzung möglich.

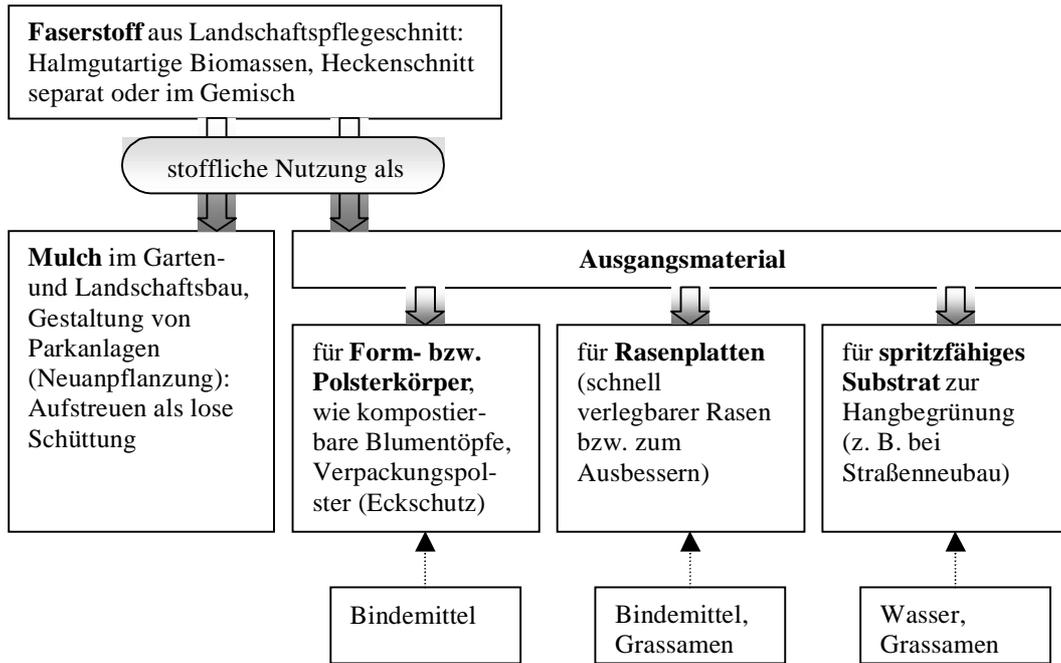


Abbildung 3-16: Stoffliche Nutzungsmöglichkeiten für aufbereiteten Faserstoff

Ergänzende Ausführungen zur stofflichen Nutzung des Faserstoffes sind in Abschnitt 5.6 beschrieben.

3.4.3 Verfahrensmodul zur Kompaktierung

Zur Kompaktierung der aufbereiteten fasrigen Rohstoffe wurde eine Walzenpresse mit leicht austauschbarem Walzenpaar konzipiert (Abbildung 3-17).

Das Arbeitselement ist als Profil-Hohlwalzenpaar („Zahnradprofil“) mit starrer Lagerung ausgeführt. Das aufbereitete Landschaftspflegegut wird von den Stegen zweier gegenläufig rotierender, im Eingriff stehender Zahnräder erfasst und durch die im Zahnzwischenraum befindlichen Bohrungen ins Innere der Walzen gedrückt und dabei verdichtet. Dabei wirken die Zahnstege zunächst als Pressstempel, das Gut wird vorverdichtet und erfährt eine Zwangsführung in den Presskanal. Die Reibung zwischen der Kanalwand und dem Gut bildet die Gegenkraft zur Normalkraft und bewirkt die Verdichtung zu einem Pressling. Mit dem Nachdrücken frischen Gutes bei der erneuten Walzenumdrehung muss die Reibungskraft überwunden und der Pressling im Kanal vorwärtsbewegt werden. Nach dem Verlassen des Presskanales dehnt sich der Pressling leicht zurück und wird mit einer Abschneideeinrichtung auf eine konstante Länge von ca. 1 cm geschnitten, Abbildung 3-19. Der abgetrennte Pressling fällt auf ein Abführband.

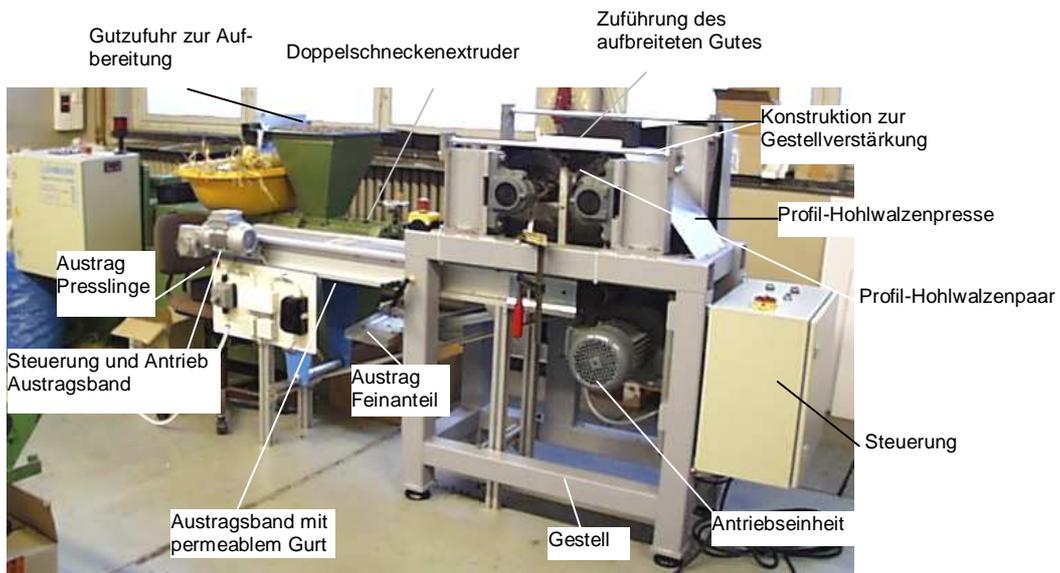


Abbildung 3-17: Gesamtanlage zur Aufbereitung und Kompaktierung von Landschaftspflegeschnitt

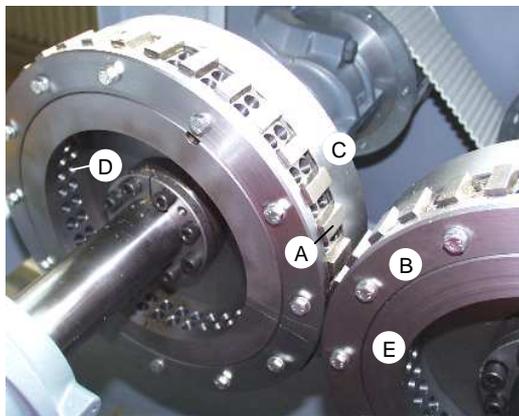


Abbildung 3-18: Profil-Hohlwalzenpaar
A Zahnsteg,
B Außenring,
C Nabenring,
D Presskanal (Bohrung),
E Matrizenring mit Zahnprofil



Abbildung 3-19: Abschneiden der Presslinge

Um ein einfaches Reinigen oder Wechseln der Arbeitselemente (z. B. leichte Austauschbarkeit des Matrizenringes) zu gewährleisten, sind die Walzenkörper modular aufgebaut. Ebenfalls wird durch diesen Aufbau die Herstellung und Montage vereinfacht. Jede Walze besteht aus einem Außenring, Nabenring und einer Matrize, Abbildung 3-18. Durch die Teilung des Walzenkörpers in Scheiben wird problemlos eine seitliche Abgrenzung der Pressräume erreicht. Außerdem besteht die Möglichkeit, die Presskanäle durch Einlegen von Lochringen zu verlängern.

Für das Funktionsmuster wurden zunächst nur zwei Lochreihen gefertigt, um einerseits den Fertigungsaufwand in einem vertretbaren Rahmen zu belassen und andererseits die für einen Versuchsdurchlauf benötigte Menge an Landschaftspflegeauswuchs auf ein sinnvolles Maß zu reduzieren.

Besonderer Vorteil der gewählten Bauweise der Hohlwalzenpresse ist, dass die Walzenkörper auf den seitlich von der eigentlichen Matrize angeordneten Ringen abrollen. Durch eine radiale Ver- spannung und eine spezielle Gestellkonstruktion (geschlossene Bauweise) kann einer Vergröße- rung des Spaltes bei der Zuführung des Gutes entgegengewirkt werden.

Zur Verknüpfung der beiden Einzelmodule, d. h. des Extruders und der Walzenpresse, ist eine entsprechende **Zuführ- und Übergabetechnik** erforderlich. Diese muss die für die Verdichtung vorteilhaften Eigenschaften des Faserstoffes (hohe Temperatur, Feuchte um 30 %) konstant halten sowie eine kontinuierliche, gleichmäßige Zuführung des Gutes mit ggf. einer Vorverdichtung ge- währleisten.

Als Lösungsprinzipien kommen Fördergurte, pneumatische Förderer, Schwingförderer oder Förder- schnecken in Frage, wobei aufgrund der guten Vorverdichtung und hohen Kontinuität Förderschne- cken die vorteilhafteste Lösung darstellen.



Abbildung 3-20: Zuführtechnik (Vibrationsför- derrinne einschließlich Zwi- schenspeicher für aufbereitete Biomasse)



Abbildung 3-21: Profil-Hohlwalzenpresse: Gut- austrag mittels permeablem Fördergurt

Im Funktionsmuster wurde letztendlich ein Fördergurt in einer Einheit mit einem Vibrationsförderer einschließlich Pufferspeicher gewählt (Abbildung 3-20), da es zwischen den beiden Modulen große Differenzen in der Ausstoßleistung gibt. Unter diesen speziellen Bedingungen, d. h. zwei im Eingriff stehende Presskanalreihen, wäre bei der Verwendung einer Förderschnecke mit Überlastungen zu rechnen. Bei der Anordnung weiterer Presskanalreihen kann dann die Zuführung ausschließlich über eine Förderschnecke erfolgen.

Nach dem Verlassen der Profil-Hohlwalzenpresse haben die Presslinge die zylindrische Endform, jedoch aufgrund des hohen Feuchtegehaltes nur eine geringe Festigkeit. Bei Einwirkung äußerer Kräfte können die Presslinge leicht zerstört werden, deshalb ist eine schonende Förderung mit der Möglichkeit zur Nachtrocknung erforderlich. Zusätzlich muss der an den Presslingen anhaftende Feinanteil abgetrennt werden.

Um diese genannten Forderungen zu erfüllen, wurde als Abführ- und Transportmöglichkeit ein **Bandförderer mit permeablem Fördergurt** (ein PTFE-Glasgewebe mit 9 x 9 mm Maschenweite) ausgewählt, Abbildung 3-21. Damit ist neben dem schonenden Transport eine vollständige Umströmung der Presslinge gewährleistet. Die Länge des Förderers richtet sich nach der Presslingsfeuchte, -dichte und -geometrie (Länge, Durchmesser). Durch Verknüpfung mehrerer Bänder und spezielle Anordnung kann die Prozessabwärme zur Trocknung ausgenutzt werden.

Die abgeschiedenen Feinanteile werden zunächst gesammelt und anschließend über Fördereinrichtungen in den Prozess zurückgeführt.

3.4.4 Verarbeitungsbedingte Besonderheiten

Mit dem Funktionsmuster der Profil-Hohlwalzenpresse konnten die Aufwüchse von Landschaftspflegeflächen problemlos zu Pellets verarbeitet werden. Durch die vorgeschaltete Aufbereitungseinheit wurde die bei anderen Verfahren störende große Halmabschnittslänge beseitigt sowie der Anteil an holzartigen festen Bestandteilen gleichmäßig in der Gutmenge verteilt. Damit können die aus den Labor-Verdichtungsuntersuchungen an der Stempelpresse zu erwartenden hohen Kräfte bei Heckenschnitt wesentlich reduziert werden, mit dem Auftreten von (extremen) Kraftspitzen ist nicht zu rechnen.

Insgesamt stellen bezüglich der Pelletqualität und Festigkeit die hohen Temperaturen und der Feuchtegehalt des Aufbereitungsproduktes (Faserstoff) die wichtigsten Verfahrenskriterien dar. Nur bei warmem, feuchtem Gut können sich unter Druck ausreichend bindungswirksame Strukturen aufbauen. Die Bindung in den Presslingen beruht vor allem auf dem Aushärten stoffeigener Bindemittel, d. h. spezieller Biomasseinhaltsstoffe (Pektin, Lignin u. a.).

Die Presslinge verlassen die Presse im feucht-warmen Zustand mit einem relativ hohen Feuchtegehalt (z. T. bis 40 %). Die Bindungen in den Presslingen sind noch nicht vollständig ausgebildet und die Oberfläche der Presslinge ist „weich“. Die Presslinge sind ca. 3 h nach dem Auswerfen in geringem Maße transportfähig (keine hohen mechanischen Belastungen). Da sich die endgültige Festigkeit erst nach vollständiger Durchtrocknung einstellt, muss eine Nachtrocknung an der Umgebungsluft erfolgen, um zum einen die Bindungen zu verfestigen (aushärten) und zum anderen eine dauerhafte Lagerung ohne Schimmelbefall zu gewährleisten.

Der Verlauf der Feuchtigkeitsabnahme über die Lagerzeit ist in folgender Abbildung dargestellt. Dabei ist unter den gegebenen Bedingungen (Trocknung in Kalthalle bei Umgebungsluft ohne zusätzliche Beheizung) in den ersten 24 bis 48 h die größte Feuchtigkeitsabnahme zu verzeichnen. Zum Erreichen der Lagerungsbeständigkeit ist demnach eine Trocknung von mindestens 48 h in Form einer losen Schüttung bei mehrmaligem Wenden vorzusehen.

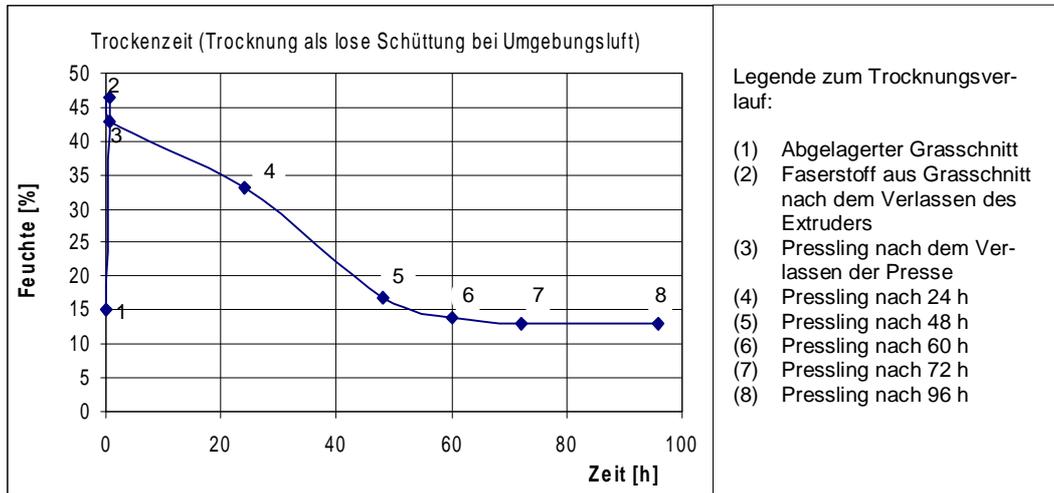


Abbildung 3-22: Trocknungsverlauf von Presslingen

Diese gegenwärtig noch zu lange Trockenzeit kann durch günstige Anordnung des Abführbandes (Nutzung der Prozessabwärme) oder spezielle Trocknungstechnik verkürzt werden. Durch konstruktive Änderungen an der Presse, besonders die Erhöhung der Antriebsleistung, wären andere Anforderungen an den zum Einsatz kommenden Faserstoff und damit ein geringerer Ausgangsfeuchtegehalt möglich.

Bei der Verwendung von abgekühltem bzw. zu trockenem Faserstoff wird keine ausreichende Presslingsfestigkeit erreicht.

Weitere Ergebnisse sind im folgenden zusammengefasst:

- Der Feuchtegehalt des aufbereiteten Gutes (Faserstoffes) muss in einen bestimmten Bereich, mindestens zwischen 35 und 45 %, liegen. Bei zu geringer Feuchte kommt es zum Aushärten des Gutes in den Bohrungen, bei zu hohem Feuchtegehalt fließt das Gut durch die Bohrungen ohne nennenswerte Verdichtung durch.
- Nach einer Anfahrphase kommt es im Dauerbetrieb zum Erwärmen der Presswalzen, dadurch wird ein höherer Gutsfeuchtegehalt erforderlich. Während des Betriebes kommt es geringfügig zum Verdunsten des Wassers.
- Zusätzlich hat die zu verarbeitende Gutart einen wesentlichen Einfluss auf die Presskanalgestaltung. Gutartabhängige Einflüsse sind besonders auf die Länge des Presskanals (Bohrungs-

länge bzw. Matrizenstärke), z. T. den Durchmesser des Presskanales (grobes Gut, wie Hackschnittel, nicht für kleine Durchmesser geeignet), die Länge des Einzugskonus, die Konizität (Verhältnis der Durchmesserreduzierung bzw. –erweiterung) sowie die Oberflächengüte des Presskanales zu erkennen.

- Presslinge aus Holz (Heckenschnitt) werden sehr fest, der am Funktionsmuster vorhandene Presskanal (Bohrungslänge) ist zu lang, d. h. die ausreichende Verdichtung ist schon vor dem Ende des Kanals erreicht. Das Weiter- bzw. Ausschieben des Kompaktates erfordert hohe Kräfte (Reibung nimmt zu) und führt schließlich zum Verstopfen der Bohrung. Daher wurde in den Versuchsreihen zur Festigkeitsbestimmung (Abschnitt 3.5) nur Holzanteile von 20 % verarbeitet, um einen störungsfreien Pressenbetrieb zu haben.
- Für die Bestimmung der Einflussgrößen auf die Presskanalgestaltung sind weiterführende experimentelle Untersuchungen notwendig, es existieren bisher keine allgemeingültigen Aussagen in der Literatur.
- Bezüglich der Verbesserung der Verpreßbarkeit, des Bindungsverhaltens (Festigkeit) und der Oberflächengüte ist die Zugabe von max. 10 % Kleie zum Grasschnitt optimal. Die Kleie muss direkt vor dem Verpressen dem Aufbereitungsprodukt zugegeben werden, nicht bereits im Extruder, da hier Verklebungen auftraten. Bei höherem Kleieanteil sinkt die Presslingsfestigkeit wieder.
- Die Zugabe eines geringen Anteiles Holz zu Grünflächen-Pflegeschnitt erhöht wesentlich die Festigkeit.
- Die Zusammensetzung der fasrigen Rohstoffe hat einen Einfluss auf die Qualität der Kompaktate, besonders auf Festigkeit und Oberflächengüte. Bei Grünschnitt aus der Landschaftspflege bewirkt ein höherer Blattanteil eine bessere Qualität, überwiegender Anteil von Stängeln dagegen geringere Festigkeit.
- Frisches Landschaftspflegegut (Mahd vor der Blüte, z. B. Anfang Juni) sollte wegen des hohen Feuchtegehaltes nicht verarbeitet werden. Die Presslinge sind zwar fest, haben aber eine sehr raue Oberfläche (Abbildung 3-23) und eine unregelmäßige Form und sind damit nicht zur automatischen Zuführung und Dosierung in Feuerungsanlagen geeignet.
- Die an der Versuchsanlage der Hohlwalzenpresse (zwei Lochreihen im Eingriff) bei mittlerer Drehzahl ermittelte **Durchsatzleistung** beträgt 40-50 kg/h. Der Durchsatz lässt sich durch die Verbreiterung der Walzen (Erhöhung der Anzahl der im Eingriff stehenden Lochreihen), die Vergrößerung des Walzendurchmessers und die Optimierung der Walzendrehzahl auf ein Vielfaches erhöhen.

Die folgenden Abbildungen zeigen aus verschiedenen Aufwüchsen hergestellte Presslinge (Durchmesser 10 mm).



Abbildung 3-23: Mit dem Hohlwalzenpressverfahren hergestellte Presslinge aus verschiedenen Gutarten

3.5 Mechanische Pelleteigenschaften

3.5.1 Dichte und Schüttdichte

Die **Dichte** der hergestellten Pellets wurde rechnerisch über die Abmaße (Durchmesser, Höhe) und die Masse bestimmt. Aufgrund der zylindrischen Form der Pellets mit einem kreisrunden Querschnitt und einer glatten Oberfläche kann dieses Verfahren angewendet werden. Allerdings mussten die Pelletstirnseiten gerade geschnitten und leicht geschliffen werden.

Die Dichte wird dann bestimmt über $\rho = \frac{m}{V}$ (mit ρ - Dichte [g/cm³], m - Pelletmasse [g], V - Pelletvolumen [cm³]).

Für V gilt das Volumen $V = \frac{\pi}{4} D^2 H$ eines Zylinders des Durchmessers D und der Höhe H.

Die Dichte der hergestellten Presslinge liegt zwischen 1,0 und 1,1 g/cm³ (Kollergangpellets) und 0,6 bis 1,0 g/cm³ (Presslinge aus der Hohlwalzenpresse), wobei gutartbedingt Unterschiede bestehen. Biomassegemische (Gras- mit Heckenschnitt-Hackschnitzel) ergeben besonders dichte Presslinge,

wogegen die Zugabe von Kleie, bezogen auf die Dichte, keine Vorteile bringt. Verfahrensbedingte Einflüsse bleiben eher gering und sind aufgrund des begrenzten Versuchsumfanges und der Vielzahl von Einflussfaktoren nicht nachweisbar.

Die nach dem Press- und anschließendem Abkühl- und Trocknungsvorgang einmal erreichte Pelletdichte bleibt dauerhaft erhalten, eine wie z. B. bei Briketts aus unzerkleinerten Halmen beobachtete Rückdehnung (Abschnitt 3.2) [5] [6] findet nicht statt.

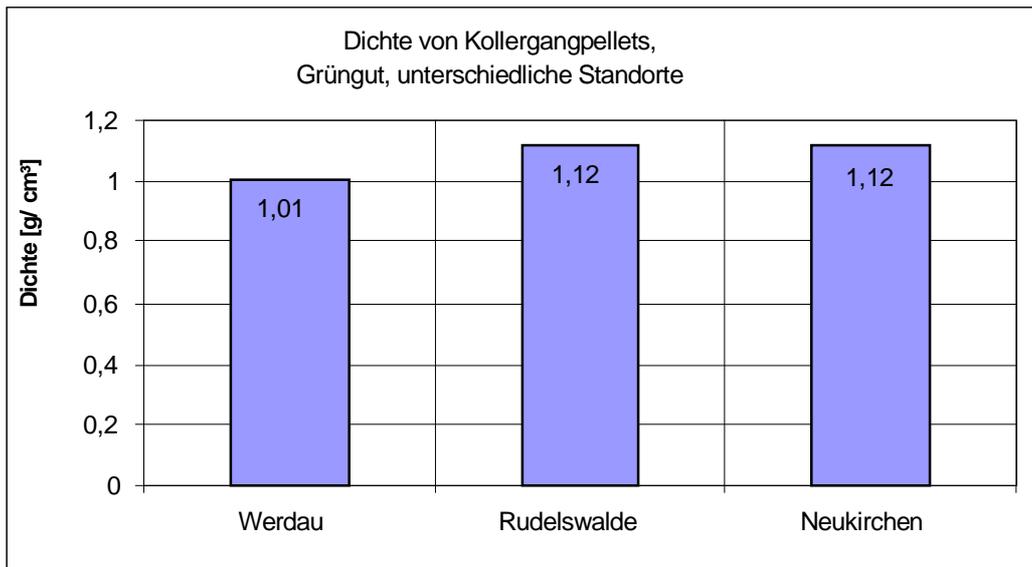


Abbildung 3-24: Dichte von Kollergangpellets

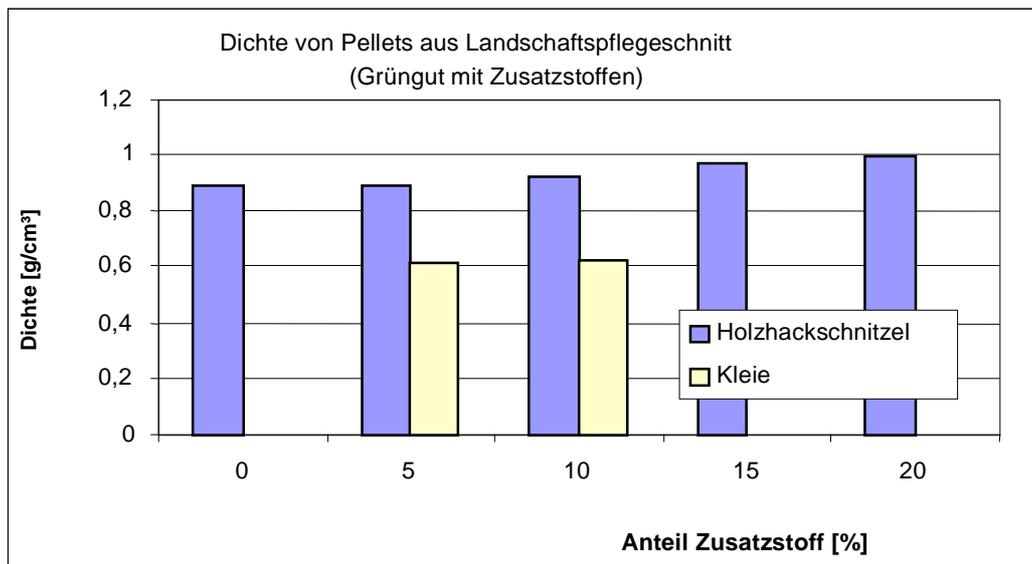


Abbildung 3-25: Dichte von Pellets nach dem Profil-Hohlwalzen-Pressverfahren

Als **Schüttdichte** wird die auf das Gesamtvolumen bezogene Masse eines porösen Systems be-

zeichnet. Die Schüttdichte ρ_{sch} [g/cm³] wird berechnet mit $\rho_{sch} = \frac{m_s}{V_{sch}}$. Dabei fließen mit m_s die

Masse des Feststoffanteils in der Schüttung (hier: Pellets) und mit V_{sch} das Volumen des Schüttdichtebestimmungsgefäßes ein.

Die Schüttdichte ist damit eine wesentliche Größe zur Bestimmung des Transportvolumens. Allerdings ist die Schüttdichte kein echter Stoffwert des jeweiligen Schüttgutes, sie ist immer abhängig vom Einfluss der Behälterwand und damit von der Größe und der Form des Schüttgutbehälters.

Zur Bestimmung der Schüttdichte existieren Normen für verschiedene Anwendungsgebiete, jedoch keine für Presslinge aus Biomasse. Die Schüttdichte wurde in Anlehnung an DIN 53466 [17] bestimmt. Dazu werden die Pellets in Form als kontinuierlicher Gutstrom in das Messgefäß eingebracht. Nach dem Einfüllen wird die Gutoberfläche durch Abstreifen mittels Schieber geebnet. Von der im Messgefäß sich befindenden Brikettmenge wird die Masse bestimmt. Während der Messung wird keine Rüttelung oder sonstige Verfestigung der Schüttung vorgenommen. Das hier verwendete Gefäß zur Bestimmung ist quaderförmig und hat die Maße 100 x 200 x 125 mm und damit ein Volumen von 2 500 cm³. Die in den Abbildungen 3-26 und 3-27 angegebenen Werte sind Mittelwerte aus fünf Messungen.

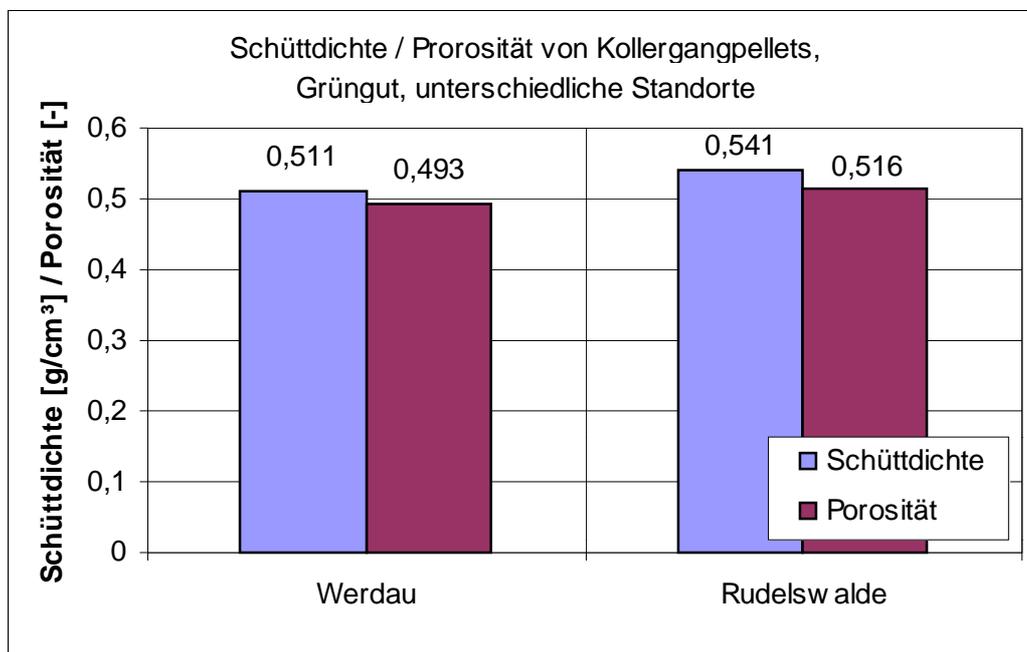


Abbildung 3-26: Schüttdichte und Porosität der Schüttung von Kollergangpellets

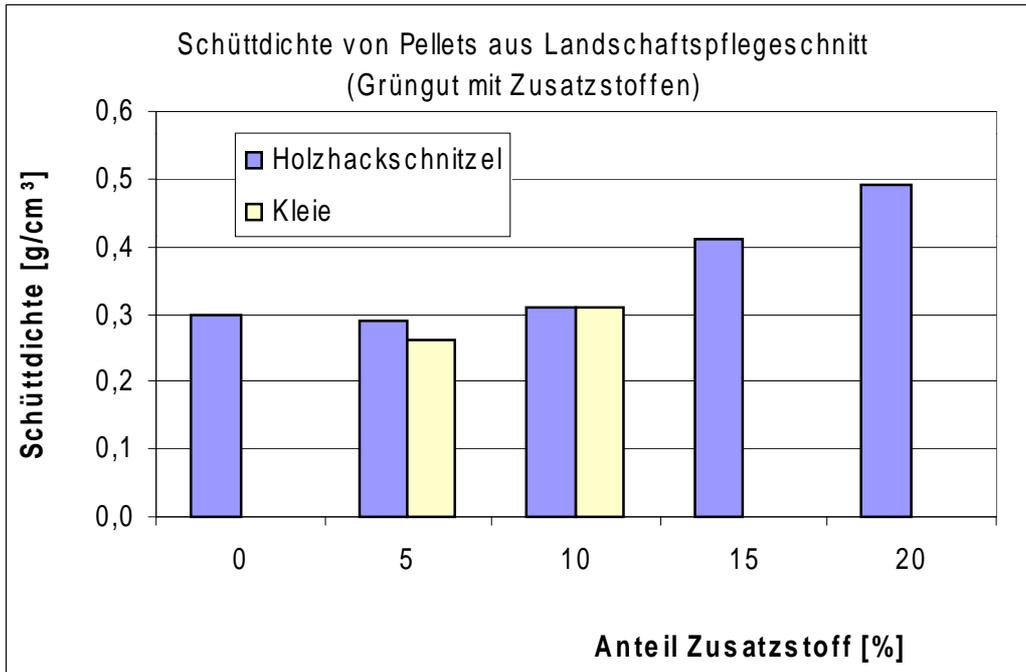


Abbildung 3-27: Schüttdichte von Pellets nach dem Profil-Hohlwalzen-Pressverfahren

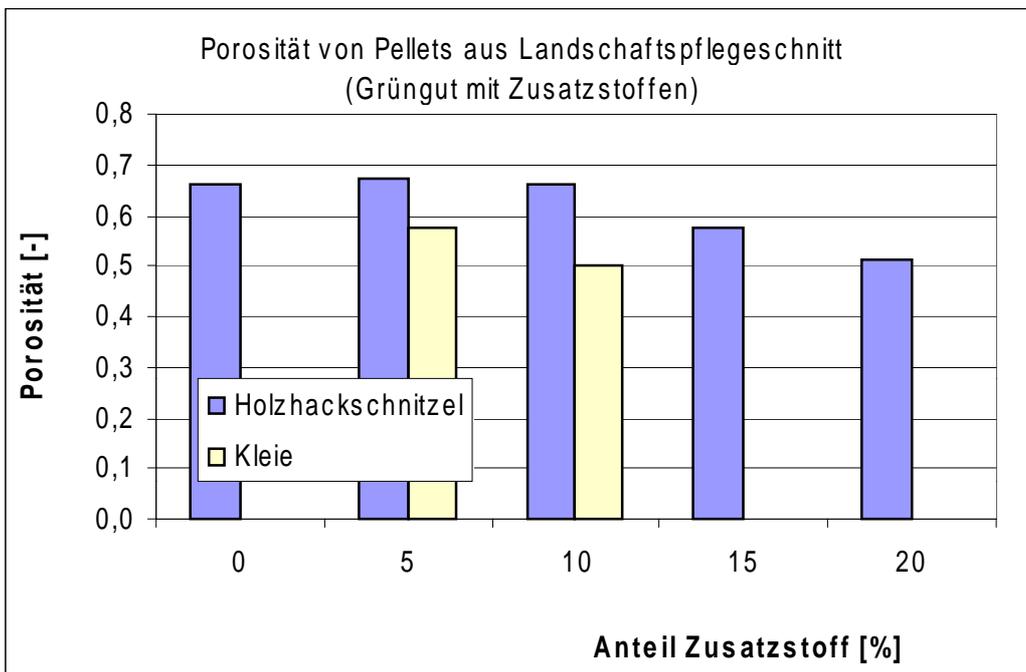


Abbildung 3-28: Porosität von Pellets nach dem Profil-hohlwalzenpressverfahren

Eine weitere Kenngröße zur Kennzeichnung einer Schüttung ist die **Porosität ε** . Sie gibt den Anteil des Hohlraumvolumens am Gesamtvolumen der Schüttung an und wird bestimmt aus

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{\rho_{sch}}{\rho_s} \right) \text{ mit } \rho_{sch} \text{ - Schüttdichte [g/cm}^3\text{] und } \rho_s \text{ - Dichte des Feststoffes (Pellet) oder}$$

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{V_F}{V} \right) \text{ mit } V_F \text{ - Feststoffvolumen (Pellets) und } V \text{ - Gesamtvolumen.}$$

Die Porosität dient als Vergleichswert für die verschiedenen Gutarten.

Die Schüttdichte und die Porosität von Kollergangpellets liegen eng beieinander, geringfügige Abweichungen sind auf eventuelle unterschiedliche Einfüllbedingungen (Messfehler) zurückzuführen. Die Werte für die Schüttdichte liegen im Bereich von 0,50 bis 0,55 g/cm³.

Bedingt durch die etwas geringeren Einzeldichten von Presslingen aus dem Profilhohlwalzenpressverfahren hat die Schüttdichte von reinen Grünschnittpellets bzw. Grünschnitt mit geringem Zusatzstoffanteil ebenfalls geringere Werte. Dagegen sind keine Unterschiede bei Presslingen mit 20 % Holzanteil festzustellen.

Die insgesamt ermittelten Schüttdichte- und Porositätswerte können nur als tendenzielle Richtwerte für reale Lagerbedingungen gewertet werden, da das Messgefäß mit einem Volumen von 2,5 l wesentlich kleiner ist als real eingelagerte Mengen. Der Randeinfluss wirkt sich bei diesem kleinen Messvolumen z. B. nachteilig aus, d. h. die unter Laborbedingungen gemessene Schüttdichte wird immer kleiner sein als die in der Praxis in größeren Schüttvolumen real vorhandene.

3.5.2 Abriebverhalten

3.5.2.1 Versuchsdurchführung und Prüfeinrichtung

Für Transport- und Umschlagvorgänge und damit auch für die Zuführung des Brennstoffes zur Verbrennungsanlage ist die Abriebfestigkeit von Bedeutung.

Für die Ermittlung des Abriebes von Pellets aus halm- und Stängelförmigen Gütern liegt gegenwärtig keine Norm (DIN) vor. Im übertragenen Sinn können jedoch die DIN 51717 „Prüfung fester Brennstoffe - Bestimmung der mechanischen Festigkeit von Steinkohlenkoks“ [18] oder der für Futtermittelpellets gültige amerikanische Standard ASAE S269.4 „Cubes, Pellets and Crumbles - Definitions and Methods for Determining Density, Durability and Moisture content“ [19] Anwendung finden.

Die o. g. Verfahren zur Bestimmung des Abriebs beruhen auf dem Prinzip, dass eine bestimmte Masse von Pellets bzw. Briketts in einem speziellen Gerät über eine vorgegebene Zeitdauer me-

chanisch beansprucht wird. Der Abrieb A [g] wird wie folgt berechnet: $A = m_{ein} - m_{aus}$ (m_{ein} - Einwaage, d. h. Masse der Pellets vor dem Trommelvorgang [g], m_{aus} - Auswaage, d. h. Masse der Briketts nach dem Trommelvorgang [g]). Oft wird eine prozentuale Angabe gemacht:

$$A = \frac{m_{ein} - m_{aus}}{m_{ein}} \cdot 100\% .$$

In der Literatur [20][21][25][26][27][28] wird der Abriebanteil von Kollergangpellets überwiegend nach dem ASAE-Verfahren bestimmt, deshalb wurde in den eigenen Untersuchungen ebenfalls dieses Verfahren angewendet, auch um eine Vergleichbarkeit der erreichten Ergebnisse zu gewährleisten.

Zur Vorbereitung der Proben werden Pellets vor dem Testbeginn wie nachher abgeseibt, wobei der Siebdurchmesser nur wenig kleiner als der Pelletdurchmesser sein soll. Überlange Pellets müssen vor Versuchsbeginn aussortiert werden. Bei dem Testverfahren wird eine Transportbewegung und -beanspruchung realitätsnah simuliert. Die Probekörper werden über Einbauten (Winkel, Vorsprünge) angehoben und fallen dann von einer gewissen Höhe nach unten.

Das Verfahren nach ASAE S 269.4 teilt die zu untersuchenden Presslinge in größere „Cubes“ (dt. „Briketts“ oder Quader) und kleinere „Pellets“ ein. Die hergestellten Presslinge sind den Pellets zuzuordnen und damit gelten folgende Bedingungen:

Versuchseinrichtung:	zentral gelagerter Kasten für Pellets, Abbildung 3-29
Mindestumdrehungszahl:	50 U/min
Zeit bzw. Umdrehungsanzahl:	10 min (bzw. 500 Umdrehungen)
Einwaage:	500 g



Abbildung 3-29: Abriebkasten nach ASAE S269.4

Die an der TU Chemnitz gebaute Vorrichtung besteht aus einem Kunststoffkasten mit einer Grundfläche von 300 x 300 mm und einer Höhe von 125 mm. Auf dem Kastenboden ist diagonal ein Metallwinkel angebracht, durch den reale Fallbewegungen bei Transportvorgängen nachgestaltet werden können. Die Versuchseinrichtung wird durch einen Getriebemotor mit der konstanten Drehzahl von 50 U/min angetrieben. Während einer Versuchsdurchführung kann der Kasten staubdicht verschlossen werden.

Bei den durchgeführten Abriebuntersuchungen wurden die Pellets jeweils vor und nach dem Trommelvorgang mit einem Sieb (Siebweite 8 mm) abgesiebt, um von der Herstellung noch anhaftende Häcksel, Pelletbruchstückchen bzw. den Abriebanteil zu entfernen.

Damit sind die nachfolgend aufgeführten Abriebwerte nur der Abrieb, der infolge (Transport-) Beanspruchung „sauberer“ aussortierter Pellets auftritt. Der verfahrens- und herstellungsbedingte Abrieb wird demnach nicht berücksichtigt. Die Gutarten ließen sich problemlos verpressen, so dass der herstellungsbedingte Abrieb bei beiden Verfahren in der Größenordnung von 10 % bis 20 % lag und somit im Vergleich zur Herstellung von Strohpellets (hier: 30 - 50 %) relativ niedrig war [16]. (Diese Werte müssten theoretisch zu den nun im Testverfahren ermittelten hinzuaddiert werden, um den Gesamtabrieb zu beschreiben.)

3.5.2.2 Abriebwerte

Die wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben durchgeführte Untersuchung zur Ermittlung der Abriebfestigkeit brachte die folgenden Ergebnisse:

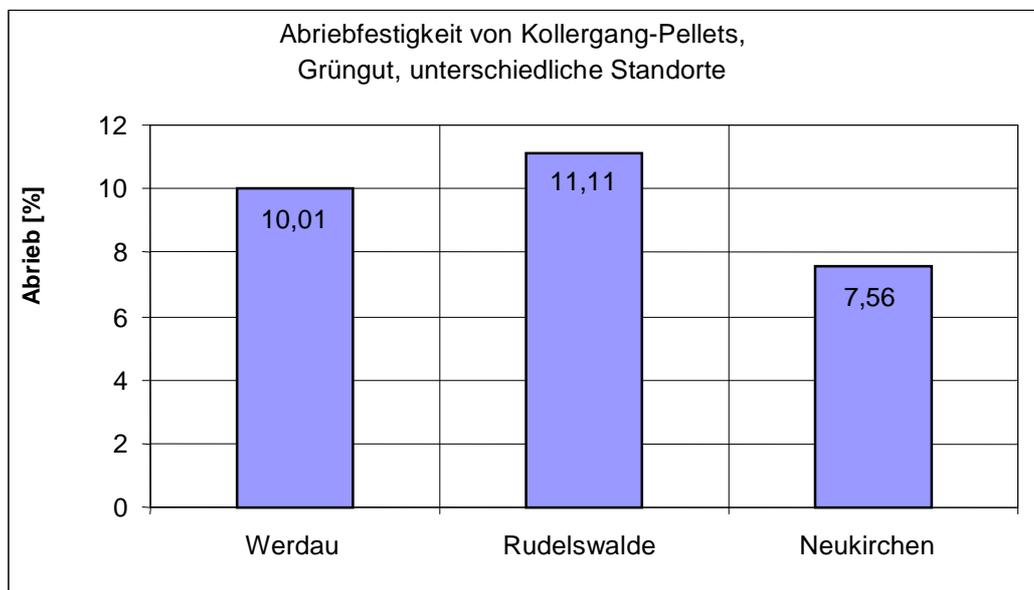


Abbildung 3-30: Abriebanteile von Kollergangpellets

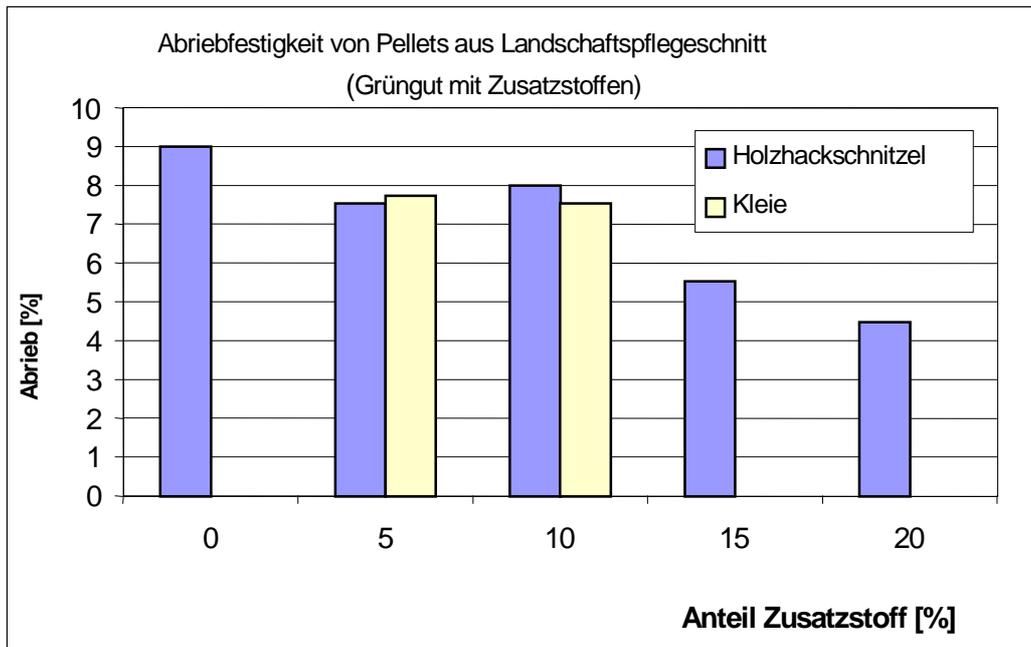


Abbildung 3-31: Abriebanteile von Pellets nach dem Profil-Hohlwalzen-Pressverfahren

Der Abrieb der Pellets setzt sich aus einer mehrlartigen Fraktion (Staub, sehr kleine Strohpartikel) und Pelletstückchen (ca. 5 x 5 x 5 mm) zusammen. Außerdem brechen längere Kollergangpellets an den deutlich erkennbaren Stellen der Verdichtungshübe (= neues Material wird in die Bohrungen auf das schon verdichtete aufgeschoben und verbindet sich nur ungenügend) auseinander. Nach der Abriebuntersuchung liegt also eine größere Anzahl kürzerer Pellets vor.

Die Abriebwerte der Kollergangpellets liegen im Bereich von 7 bis 11 %, siehe Abbildung 3-30, wobei gutartabhängige sowie anlagenbedingte Einflüsse eine Rolle spielen, vgl. die niedrigen Werte der in Venusberg hergestellten Pellets („Neukirchen“). Die Abriebwerte der Presslinge aus dem Hohlwalzenpressverfahren sind im Vergleich niedriger (4,5 bis 9 %). Damit wird der Einfluss des aufgrund der Verwendung von Faserstoff anderen Bindungsverhaltens deutlich. Zudem wird die gute Qualität von Presslingen aus Biomassegemischen (20 % Holzanteil) bestätigt

3.6 Schlussfolgerungen zur Pelletierung

Zur Herstellung von Pellets wurden das bekannte und erprobte Kollergangverfahren sowie ein neuentwickeltes Pressverfahren nach dem Prinzip der Profilhohlwalzenpresse genutzt. Aus den Versuchsreihen kann geschlussfolgert werden, dass es möglich ist, mit beiden Verfahren Landschaftspflegeschnitt zu festen Pellets zu verarbeiten. Beide Pressverfahren sind hochproduktiv, wobei es bei der Hohlwalzenpresse noch Forschungsbedarf bezüglich einer Maßstabsvergrößerung gibt. Unterschiede in der Pelletqualität sind im wesentlichen nicht feststellbar.

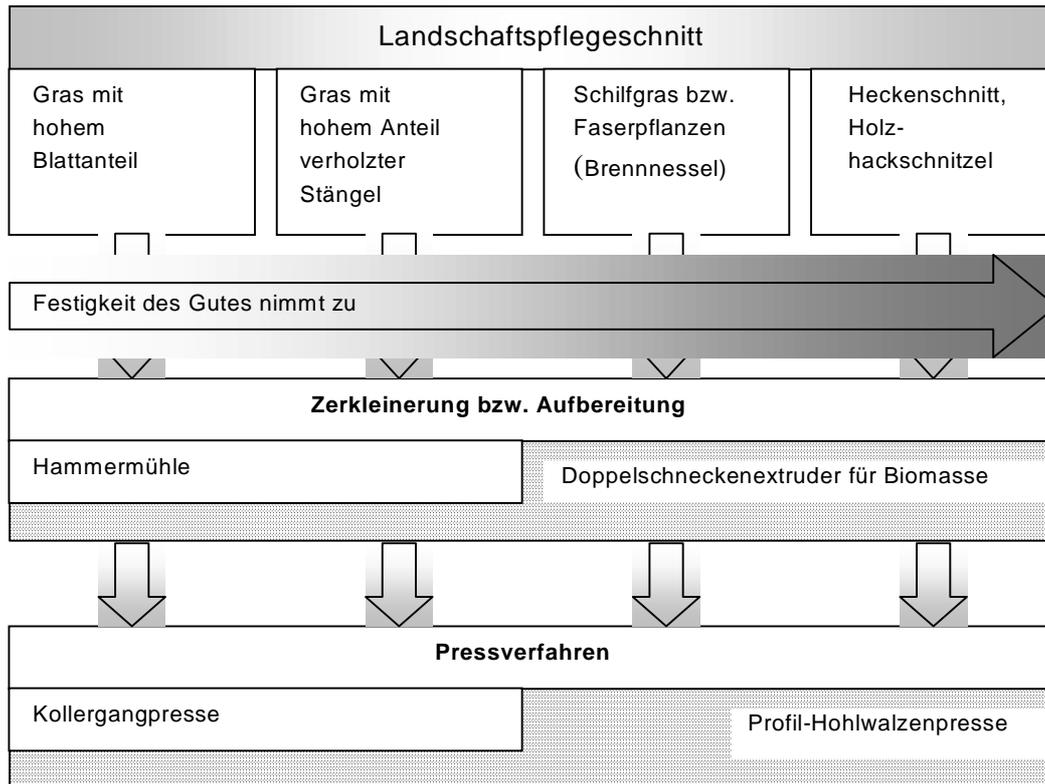


Abbildung 3-32: Zusammenhang zwischen den Gutarten und der Aufbereitungstechnik

Die Auswahl des jeweiligen Verdichtungsverfahrens hängt vor allem von der Gutartbeschaffenheit ab. Herkömmliche Kollergangpressen mit zugehöriger Zerkleinerungstechnik sind besonders gut für blattreiche, weniger feste Biomassen geeignet. Mit zunehmender Festigkeit des Gutes sind bei Kollergangpressen Grenzen gesetzt. Die Hammer- bzw. Schneidmühlen eignen sich weniger für festes, faserartiges Gut sowie rindenreichen Heckenschnitt. Hier bildet die Aufbereitung mit dem Doppelschneckenextruder zu Faserstoff eine gute Alternative.

Da die Matrizen in Kollergangpressen eher für „weiches“ Gut (Futtergras, Klee u. ä.) ausgelegt sind, ist oft der Bohrungskanal für die Verwendung holzartiger Biomassen zu lang. Eine Veränderung der Matrizenstärke ist aber aufgrund der konstruktiven Gegebenheiten meistens nicht möglich, vgl. auch [16].

Für die Verarbeitung von Biomasse-Gemischen, wie eigentlich der auf Landschaftspflegeflächen übliche Aufwuchs, ist das neuentwickelte Profil-Hohlwalzen-Pressverfahren vorteilhaft. Durch die Herstellung eines homogenen Biomassegemisches im Extruder, das keine Entmischung zeigt (im Gegensatz zur Verarbeitung „trockener“ Mischungen auf Kollergangpressen [16]) kann ein breites Spektrum von Biomassen auf der Presse verarbeitet werden. Zudem ist die Presse modular aufgebaut, so dass die Veränderung der Presskanallänge und damit Anpassung an die jeweilige Gutart durch einfaches Einlegen zusätzlicher Ringe oder den Austausch des Matrizenringes erfolgen kann.

In Kollergangpressen kann nur Biomasse mit einem Feuchtegehalt von 13 bis 15 % verarbeitet werden, d. h. das Gut muss vorher getrocknet werden. Problematisch ist diese Anforderung bei sehr zeitiger Mahd (Juni) bzw. bei regnerischer Witterung (keine Trocknung im Freien möglich), so dass erheblicher Trocknungsaufwand betrieben werden muss.

Dagegen stellt die Verarbeitung von feuchterem Gut (bis max. 40 % Feuchte) in der Hohlwalzenpresse kein Problem dar, die Feuchtigkeitsregulierung erfolgt in der vorgeschalteten Aufbereitungsstufe.

Insgesamt sollte die Biomasse jedoch keinen Fäulnis- und Schimmelbefall haben, da Pilze und Bakterien nicht während des Pelletierens zerstört werden und während der Lagerung die Pellets zersetzen, d. h. ein für die Weiterverarbeitung ausreichender Trocknungsgrad (max. 40 % Feuchte bei sofortiger Weiterverarbeitung) muss vorhanden sein.

4 Verbrennungsverhalten von Pellets aus Landschaftspflegegut¹⁾

4.1 Einleitung

Neben Holz könnten halm- und stängelförmige Biomassen einen nicht vernachlässigbaren Beitrag zur Energieversorgung Deutschlands leisten. Insbesondere bei der Landschaftspflege anfallende Biomassen stünden für die energetische Nutzung zur Verfügung, deren dezentraler Anfall den Einsatz kleiner Feuerungsanlagen prädestiniert. Jedoch stehen Eigenschaften, wie z. B. die geringe Energiedichte und die Verschlackungsneigung, einer Nutzung auf breiter Basis entgegen. Auch sind die heute verfügbaren Aufbereitungsformen (Ballen, Häcksel) als nicht anwenderfreundlich anzusehen, weshalb eine marktfähige Aufbereitungsform erforderlich ist. Die Pelletierung mittels des Kollergangverfahrens ist als eine Möglichkeit anzusehen, aus halm- und stängelförmigen Biomassen einen handelsfähigen Brennstoff mit hoher Energiedichte zu erzeugen. Neben konstanten mechanischen und chemischen Eigenschaften würden sich derart aufbereitete Biomassen auch durch ihre Eignung für automatische Beschickungseinrichtungen auszeichnen.

Im Rahmen eines Gemeinschaftsprojektes mit der Technischen Universität Chemnitz wurden an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg pelletierte Biomassen aus der Landschaftspflege hinsichtlich ihrer Eignung zur energetischen Nutzung untersucht. Dazu wurden neben Brennstoffanalysen Verbrennungsversuche an einer Wirbelschichtfeuerungs-Versuchsanlage durchgeführt. Das Hauptaugenmerk bei den Verbrennungsversuchen lag auf der Einhaltung der gesetzlichen Emissionsgrenzwerte (TA Luft) durch primäre Emissionsminderungsmaßnahmen.

¹⁾ Die Datenblätter zu den Emissionsuntersuchungen sind als Anlage beigefügt.

4.2 Brennstoffanalysen

Für die Verbrennungsuntersuchungen wurden seitens der Technischen Universität Chemnitz zwei Chargen Kollergangpellets aus Landschaftspflegegut zur Verfügung gestellt, deren Herkunft mit Werdau (Charge 1) und Rudelswalde-Rodelberg^{**) (Charge 2) angegeben wurde. Zur Vorbereitung des Gemeinschaftsprojektes wurden Vorversuche mit einer weiteren Charge (Herkunft Westsachsen/MEK Pobershau) durchgeführt. Zusätzlich wurden sechs kleinere Proben ausschließlich für Laboranalysen bereitgestellt. Im Vorfeld der Verbrennungsversuche wurden Immediat- und Elementaranalysen sowie Heizwertbestimmungen den gelieferten Biomassen durchgeführt.}

4.2.1 Immediatanalysen

Für die Immediatanalysen wurden nach DIN 38 414 der Wassergehalt, der Glühverlust und der Glührückstand der Biomassen im Anlieferungszustand (Rohzustand) mittels Trocknung, Pyrolyse und Verbrennung im thermogravimetrischen Analyseautomaten MAC-500 durchgeführt. Ergebnis dieser Analysen sind die Gehalte an Wasser, Asche, flüchtige Bestandteile und Restkohlenstoff, welche in Tabelle 4-1 für den Rohzustand und in Tabelle 4-2 für den wasser- und aschefreien Zustand zusammengefasst sind.

Tabelle 4-1: Ergebnisse der Immediatanalysen (Masse-%, Rohzustand)

	Wasser	Asche	Flüchtige	Restkoks
LSP Werdau (Charge 1)	11,70	7,56	71,29	9,45
LSP Rodelberg (Charge 2)	11,01	6,61	73,00	9,38
LSP Westsachsen/MEK Pobershau (Vorversuch)	10,80	7,42	64,95	16,83
LSP Döbitzbachwiese	8,62	6,09	75,26	10,03
LSP Pflaumenberg	8,34	4,60	75,71	11,35
LSP Rudelswalde 240	8,48	5,58	75,04	10,90
LSP Kranzberggrund	8,17	3,83	77,25	10,75
Schilfgras	7,91	6,66	75,32	10,11
Seegras	11,67	9,09	69,19	10,05

(LSP: Landschaftspflegegut)

^{**) Im folgenden wird diese Probe als „Rodelberg“ bezeichnet, da noch eine andere Probe aus Rudelswalde, Flurstück 240, zur Analyse vorlag. Die Bezeichnung „Rodelberg“ entspricht den in Zwönitz hergestellten Pellets „Rudelswalde“.}

Tabelle 4-2: Ergebnisse der Immediatanalysen (Masse-%, wasser- und aschefrei)

	Flüchtige	Restkoks
LSP Werdau (Charge 1)	88,30	11,70
LSP Rodelberg (Charge 2)	88,61	11,39
LSP Westsachsen/MEK Pobershau (Vorversuch)	79,37	20,63
LSP Döbitzbachwiese	88,24	11,76
LSP Pflaumenberg	86,96	13,04
LSP Rudelswalde 240	87,32	12,68
LSP Kranzberggrund	87,78	12,22
Schilfgras	88,17	11,83
Seegras	87,32	12,68

(LSP: Landschaftspflegegut)

Charakteristisch für Biomassen sind die hohen Gehalte an flüchtigen Bestandteilen (79 bis 89 Masse-% im wasser- und aschefreien Zustand), die für die hohe Reaktivität dieser Stoffe verantwortlich sind. Entsprechend gering ist der die Abbrandzeit limitierende Restkoksgehalt, der bei den vorliegenden Proben im Bereich von 11 bis 21 Masse-% (wasser- und aschefrei) liegt. Der Wassergehalt ist aufgrund der Trocknung nach der Ernte bzw. vor der Pelletierung gering, was hinsichtlich der Lagerungsstabilität und der Verbrennungseigenschaften positiv zu bewerten ist. Charakteristisch für halmförmige Biomassen sind außerdem die relativ hohen Aschegehalte (bis zu 9 Masse-%), die entsprechende Aufwendungen zur Ascheentsorgung/Ascheverwertung bei der energetischen Nutzung erforderlich machen.

4.2.2 Elementaranalysen

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Elementaranalysen zusammengefasst, wobei diese sowohl für den Rohzustand (Tabelle 4-3) als auch für den wasser- und aschefreien Zustand (waf, Tabelle 4-4) angegeben sind. Nach DIN 51 721, DIN 51 722 und DIN 51 724 erfolgte dabei die Bestimmung der Gehalte an Kohlenstoff (C_{waf}), Wasserstoff (H_{waf}), Schwefel (S_{waf}) und Stickstoff (N_{waf}) durch Verbrennung und nachfolgende Detektion der Verbrennungsgase mit den Elementaranalysatoren CHN-1000 und CSA-302. Der Sauerstoffgehalt (O_{waf}) wurde nicht analytisch bestimmt, sondern durch Differenzbildung berechnet ($O_{waf} = 100 - C_{waf} - H_{waf} - S_{waf} - N_{waf}$).

Tabelle 4-3: Ergebnisse der Elementaranalysen (Masse-%, Rohzustand)

	Wasser	Asche	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Schwefel
LSP Werdau (Charge 1)	11,70	7,56	38,38	4,24	36,89	1,13	0,10
LSP Rodelberg (Charge 2)	11,01	6,61	38,83	4,93	36,49	1,99	0,14
LSP Westsachsen/MEK Pobershau (Vorversuch)	10,80	7,42	41,23	4,41	34,68	1,33	0,13
LSP Döbitzbachwiese	8,62	6,09	41,80	4,82	37,24	1,41	0,16
LSP Pflaumenberg	8,34	4,60	40,96	4,64	37,68	1,92	0,09
LSP Rudelswalde 240	8,48	5,58	42,99	4,75	37,54	1,69	0,09
LSP Kranzberggrund	8,17	3,83	38,64	4,36	34,06	1,99	0,19
Schilfgras	7,91	6,66	43,25	5,16	35,24	2,16	0,13
Seegras	11,67	9,09	43,36	4,77	38,62	1,16	0,09

(LSP: Landschaftspflegegut)

Tabelle 4-4: Ergebnisse der Elementaranalysen (Masse-%, wasser- und aschefrei)

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Schwefel
LSP Werdau (Charge 1)	47,54	5,26	45,68	1,40	0,12
LSP Rodelberg (Charge 2)	47,13	5,99	44,28	2,42	0,18
LSP Westsachsen/MEK Pobershau (Vorversuch)	50,47	5,39	42,33	1,65	0,16
LSP Döbitzbachwiese	48,94	5,64	43,58	1,65	0,19
LSP Pflaumenberg	48,03	5,44	44,18	2,25	0,10
LSP Rudelswalde 240	49,37	5,46	43,12	1,95	0,10
LSP Kranzberggrund	48,76	5,51	42,98	2,51	0,24
Schilfgras	50,32	6,01	41,00	2,52	0,15
Seegras	49,28	5,42	43,88	1,32	0,10

(LSP: Landschaftspflegegut)

Hauptbestandteile der wasser- und aschefreien Substanz der Biomassen sind Kohlenstoff und Sauerstoff mit 47 bis 50 bzw. 41 bis 46 Masse-% (wasser- und aschefrei). Wasserstoff als drittes Hauptelement ist mit Gehalten von 5 bis 6 Masse-% in der wasser- und aschefreien Substanz vertreten. Bei den Gehalten an Spurenelementen weisen die untersuchten halmförmigen Biomassen im Vergleich zu anderen Biobrennstoffe wie naturbelassenes Holz wesentliche Unterschiede auf. So enthalten die untersuchten Proben erhebliche Mengen an Stickstoff (1,4 bis 2,5 Masse-%_{owat}), welche bei der Verbrennung zu hohen NO_x-Emissionen durch den Umsatz des Brennstoffstickstoffs führen können. Die Schwefelwerte (0,12 – 0,24 Masse-%_{owat}) sind zwar größer als bei naturbelassenem Holz, können aber als problemlos hinsichtlich der Höhe Schwefeldioxidemission bei der Verbrennung angesehen werden.

4.2.3 Heizwerte

Durch Verbrennung von Brennstoffproben in einem Bombenkalorimeter wurden nach DIN 51 900 die in Tabelle 4-5 zusammengefassten oberen Heizwerte bestimmt, bzw. daraus die unteren Heizwerte berechnet. Aufgrund der geringen Wassergehalte sind die ermittelten (unteren) Heizwerte von 13,5 bis 15,6 MJ/kg_{roh} für Biomassen ausgezeichnet und lassen eine energetische Nutzung auch in kleinen Feuerungsanlagen zu. Da die Heizwerte stark vom Wassergehalt beeinflusst werden, sind in Tabelle 4-5 auch die auf 15 Masse-% Wassergehalt normierten Heizwerte aufgelistet.

Tabelle 4-5: Ergebnisse der Heizwertbestimmung (kJ/kg)

	Rohzustand		normiert auf 15 % Wassergehalt	
	unterer Heizwert	oberer Heizwert	unterer Heizwert	oberer Heizwert
LSP Werdau (Charge 1)	14 549	15 759	12 561	13 825
LSP Rodelberg (Charge 2)	14 348	15 692	13 326	14 727
LSP Westsachsen/MEK Pobershau (Vorversuch)	14 572	15 804	13 770	15 060
LSP Döbitzbachwiese	15 033	16 276	13 617	14 961
LSP Pflaumenberg	15 025	16 247	13 275	14 590
LSP Rudelswalde 240	15 461	16 701	13 985	15 319
LSP Kranzberggrund	13 463	14 699	13 107	14 396
Schilfgras	15 490	16 823	14 710	16 130
Seegras	15 606	16 844	13 956	15 293

(LSP: Landschaftspflegegut)

4.3 Verbrennungsuntersuchungen

4.3.1 Versuchsanlage

Für die Untersuchungen wurde die stationäre Wirbelschichtfeuerungsversuchsanlage SWSF 100 des Technikums (Geb. 15.2) der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg verwendet. Im Abbildung 4-1 ist die Gesamtanlage verfahrenstechnisch dargestellt.

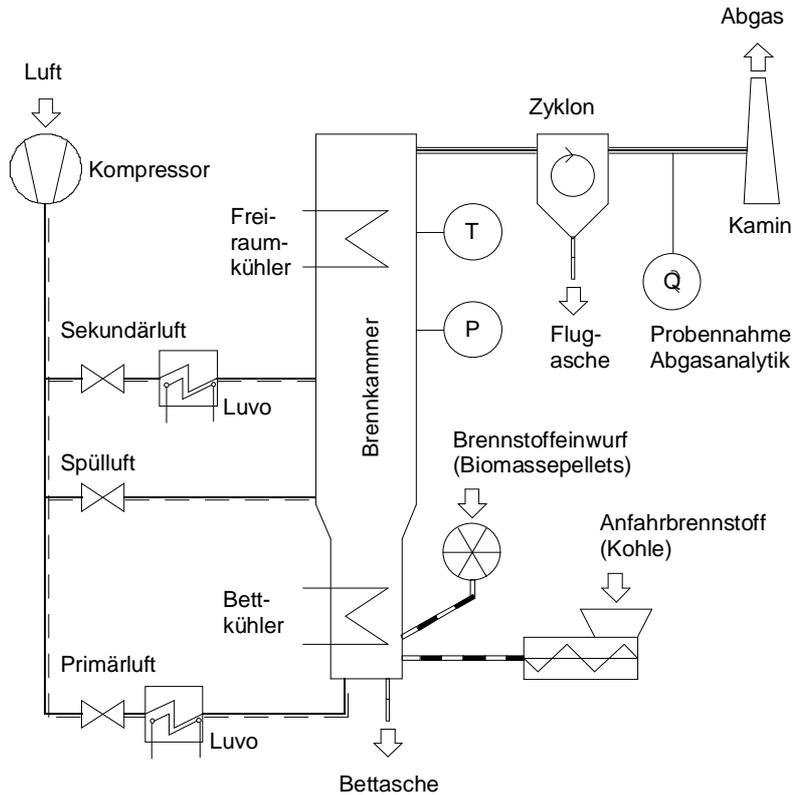


Abbildung 4-1: Vereinfachtes verfahrenstechnisches Fließbild der Wirbelschichtfeuerungsversuchsanlage SWSF 100

Die Verbrennungs- und Hilfsluft werden durch einen Kompressor bereitgestellt und über eine Ringleitung verteilt. In der Brennkammer selbst herrscht nur ein geringer Überdruck, welcher erforderlich ist, um den Anlagendruckverlust zu überwinden - folglich kann von einer atmosphärischen Feuerung gesprochen werden. Zur Vorwärmung der Primär- und Sekundärluft stehen geregelte und ungerelgte elektrische Luftvorwärmer zur Verfügung, welche eine maximale Vorwärmtemperatur von 700 °C zulassen. Die Primärluft wird über einen Lochboden und die Sekundärluft über eine mit Düsen besetzte Lanze zugegeben, wobei die Einblasrichtung der Sekundärluft variiert werden kann. Darüber hinaus wird Luft zur Spülung zweier Schaugläser zugegeben. Als Startbettmaterial wurde Quarzsand (800 bis 1 200 µm) verwendet, welcher über eine Schleuse auch während des Betriebes zugegeben werden kann. Biomassepellets wurden über eine Zellenradschleuse auf das

Wirbelbett aufgeworfen. Die zum Anfahren der Anlage verwendete Trockenbraunkohle wurde über ein Schneckendosiergerät in das Wirbelbett endosiert. Zur Kühlung der Brennkammer ist die Anlage mit luftbeaufschlagten Kühlern im Bett- und Freiraumbereich versehen. Die Rauchgase werden nach einer Staubabreinigung mittels Zyklon, welcher auch zur Probennahme von Flugasche dient, über einen Kamin abgeführt. Zur kontinuierlichen Messung der Rauchgaszusammensetzung und Schadstoffemissionen erfolgt die Entnahme von Rauchgasproben zwischen Zyklon und Kamin. Über eine beheizte Leitung wurden diese den Analysegeräten zugeführt (ROSEMOUNT Gas-Analyse-System), welche die gleichzeitige Bestimmung der in Tabelle 4-6 aufgeführten Gaskomponenten im trockenen Rauchgas (bzw. feuchtem Rauchgas für H₂O und C_mH_n) gestatten. Die Messwertanzeige erfolgt direkt am Messsystem und auf einem Computer zur Anlagenüberwachung in der Messwarte. Letzterer übernimmt auch die AD-Wandlung und Speicherung der Messwerte der Betriebsmesstechnik (Drücke, Temperaturen).

Die stationäre Wirbelschichtfeuerung SWSF 100 (Abbildung 4-2) besitzt eine Feuerungswärmeleistung von 15 kW. Die zylindrische Brennkammer hat bei einer Höhe von 4,24 m im Bettbereich einen Durchmesser von 100 mm, welcher sich im Freeboard auf 160 mm erweitert. Sie ist komplett aus hitzebeständigem Edelstahl gefertigt und zur Umgebung dreischichtig wärmegeämmt. Diese Bauweise ist bei den hohen Laständerungsgeschwindigkeiten der Versuchsanlage von Vorteil. Zur Temperaturmessung sind acht Messstellen an der Brennkammer und weitere zwei an peripheren Baugruppen installiert. Druckverluste über die Brennkammer werden über acht Differenzdruckmessstellen erfasst. Zur Zufuhr von Sekundärluft und zur Entnahme von Messgasproben dienen acht 1¼“-Stutzen. Die Brennkammer ist mit regelbaren Mantelheizern versehen, welche einen Ausgleich von Temperaturschwankungen und Wärmeverlusten ermöglichen.

Tabelle 4-6: Analysatoren des ROSEMOUNT-Gas-Analyse-Systems

Komponente	Messbereiche	Messfehler ⁽¹⁾	Probenzustand	Messverfahren
O ₂	0 - 21 Vol.-%	± 1 %	trocken	paramagnetisch
H ₂ O	0 - 20/100 Vol.-%	± 2 %	feucht	photometrische Messung
CO ₂	0 - 20 Vol.-%	± 2 %	trocken	photometrische Messung
CO	0 - 5 Vol.-% 0 - 200/10000 ppm	± 2 %	trocken	photometrische Messung
NO ₂	0 - 50/300 Vol.-%	± 2 %	trocken	photometrische Messung
NO	0 - 300/3 000 ppm	± 2 %	trocken	photometrische Messung
N ₂ O	0 - 300 ppm	± 2 %	trocken	photometrische Messung
SO ₂	0 - 500/5 000 ppm	± 2 %	trocken	photometrische Messung
C _n H _m	0 - 10 ppm 0 - 100 ppm 0 - 1 000 ppm 0 - 10 000 ppm 0 - 100 000 ppm	± 1 %	feucht	Flammenionisationsdetektor

(1) bezogen auf den Messbereichsendwert

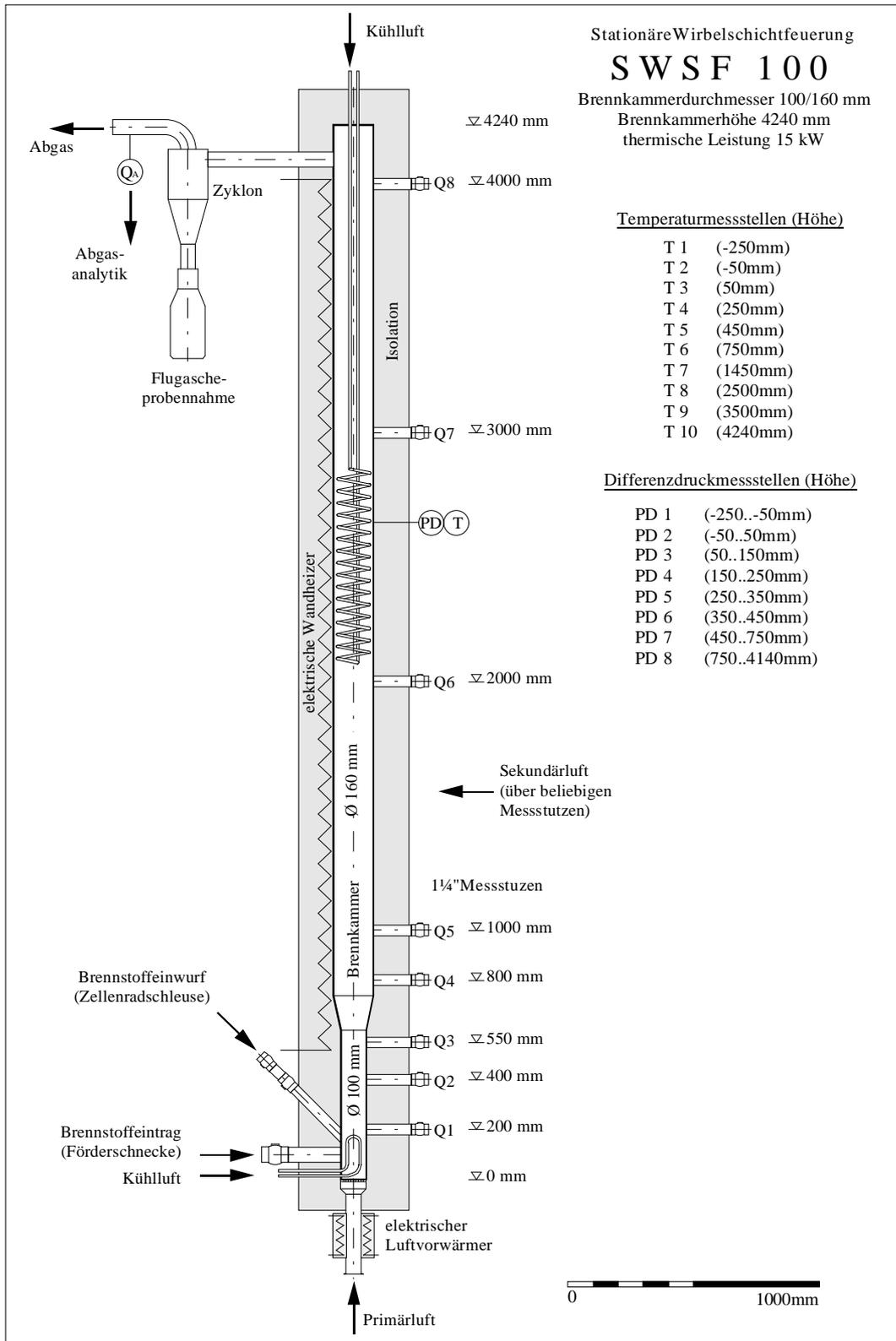


Abbildung 4-2: Schnittdarstellung der stationären Wirbelschichtfeuerung SWSF 100

4.3.2 Versuchsstrategie

Die Versuchsdurchführung wurde von der Frage nach der Eignung von Kollergangpellets aus Landschaftspflegegut zur energetischen Nutzung in Wirbelschichtfeuerungsanlagen und darüber hinaus auch in anderen Feuerungstypen (insbesondere Rostfeuerungen) geprägt. Kernpunkte waren die schadstoffarme Verbrennung unter Berücksichtigung der Verschlackungsneigung der Brennstoffasche. Aufgrund der Ergebnisse der Laboranalysen und Erfahrungen aus vorangegangenen Projekten zur energetischen Nutzung ähnlicher Biomassen wurden hinsichtlich der schadstoffarmen Verbrennung Kohlenmonoxid (CO) und Stickoxid (NO_x) als die kritischen Schadgase identifiziert, welche insbesondere im Arbeitsbereich von Wirbelschichtfeuerungen gegenläufige Tendenzen aufweisen. Obwohl die verwendete Versuchsanlage aufgrund ihrer kleinen Feuerungswärmeleistung nicht unter die TA Luft fällt, wurden die Tagesgrenzwerte dieser als Vergleichsmaßstab zur Bewertung der gemessenen Emissionen gewählt (Tabelle 4-7). Die Wahl des strengen Bewertungsmaßstabes wurde vor dem Hintergrund der möglichen zukünftigen Verschärfung der Emissionsanforderungen auch für Klein- und Kleinanlagen getroffen.

Tabelle 4-7: Tagesgrenzwerte nach TA Luft für biogene Brennstoffe in Wirbelschichtfeuerungen (Auszug), Sauerstoffbezugswert 11 Vol.-%_{tr}

Kohlenmonoxid	Stickoxide	Schwefeldioxid	Kohlenwasserstoffe
CO	NO _x ⁽¹⁾	SO ₂	C _n H _m
250 mg/m ³ _{i.N.}	300 mg/m ³ _{i.N.}	400 mg/m ³ _{i.N.}	250 mg/m ³ _{i.N.}

(1) als NO₂

Tabelle 4-8: Basisbetriebsparameter

Parameter	Basiseinstellung	Bemerkung
Betttemperatur	780 °C	+/- 10 K
Abgassauerstoffgehalt	6 Vol.-% _{tr}	entspricht λ von ca. 1,4
Gesamtluftmenge	11 m ³ _{i.N./h}	entspricht Feuerungswärmeleistung von ca. 9 kW
davon Primärluft	7 m ³ _{i.N./h}	
Sekundärluft	3 m ³ _{i.N./h}	
Spülluft	1 m ³ _{i.N./h}	
Sekundärluftzugabeort	1 000 mm über Anströmboden	entspricht dimensionslose Höhe von 0,236

Die Versuchsstrategie sah die Variation von fünf Betriebsparametern (Sekundärluftmenge, Sekundärluftzugabeort, Sauerstoffgehalt, Feuerungswärmeleistung und Betttemperatur) bei weitestgehender Konstanzhaltung der anderen Parameter vor. Die dabei gewählten Basisparameter sind in der Tabelle 4-8 zusammengefasst. Zur Versuchsdurchführung standen zwei Chargen Kollergangpellets (12 mm) aus Landschaftspflegegut (Charge 1 Herkunft Werdau, Charge 2 Herkunft Rodel-

berg) sowie eine kleinere Menge aus einer Voruntersuchung zur Verfügung (Herkunft Westsachsen/MEK Pobershau). Mit beiden Brennstoffchargen wurde zunächst Einzelserien zur Variation des Sekundärluftanteiles und des Abgassauerstoffgehaltes gefahren. Die nach diesen beiden Versuchspunkten verbliebene Brennstoffrestmenge (ca. 1/3 der Ausgangsmenge) wurde für die Variation der Feuerungswärmeleistung (mit Charge 2 – Rodelberg) und des Sekundärluftzugabeortes (mit Charge 1 – Werdau) verwendet. Von beiden Chargen verblieben minimale Restmengen, welche gemischt für die Variation der Betttemperatur verwendet wurden. Die Versuchsstrategie ist mit den Bezeichnungen aller durchgeführten Einzelversuche in der Tabelle 4-9 zusammengefasst. In den folgenden Kapiteln sind die einzelnen Versuchspunkte beschrieben und deren Ergebnisse dargestellt. Im Anhang zu diesem Bericht befinden sich die Protokolle der Einzelversuche in chronologischer Reihenfolge. Für jeden Einzelversuch wurden alle wesentlichen Informationen in einem Datenblatt zusammengefasst. Diese enthalten neben allgemeinen Informationen zum Versuch, die eingestellten Betriebsparameter und die Mittelwerte der während des Versuches aufgezeichneten Daten (Temperaturen, Abgaszusammensetzung). Brennstoffmassenstrom und Luftzahl wurden errechnet. Es sind die zeitlichen Verläufe der Abgasbestandteile O₂, CO₂, H₂O, CO, SO₂ und NO sowie der Bett- und Freiraumtemperatur dargestellt. Neben diesen zeitlichen Verläufen ist das Temperaturprofil über die Brennkammerhöhe dargestellt. Alle in ppm erfassten Schadstoffkonzentrationen sind in mg/m³_{i.N.} umgerechnet und wurden auf 11 Vol.-% Bezugssauerstoff bezogen. Die Stickoxide NO und NO₂ wurden zu NO_x zusammengefasst, wobei Stickstoffmonoxid mit der molaren Masse von Stickstoffdioxid umgerechnet wurde.

Tabelle 4-9: Kurzübersicht über die durchgeführten Versuche

Variationsparameter	Brennstoffcharge	Versuche ⁽¹⁾
Sekundärluftanteil	Westsachsen/MEK Pobershau	0-1, 0-2, 0-3 (Vorversuche)
	Werdau	1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6
	Rodelberg	2-1, 2-2, 2-3, 2-7, 2-8, 2-9
Abgassauerstoffgehalt	Werdau	1-4, 1-7, 1-8, 1-9
	Rodelberg	2-4, 2-5, 2-6, 2-7
Feuerungswärmeleistung	Rodelberg	3-1, 3-2, 3-3, 3-4, 3-5
Sekundärluftzugabehöhe	Werdau	1-4, 3-6, 3-7, 3-8
Betttemperatur	Mischung Rodelberg-Werdau	3-9, 3-10, 3-11
	Werdau	1-4 (Referenzversuch)
	Rodelberg	2-7, 3-3 (Referenzversuche)

(1) Bezeichnung der Versuche: Erste Ziffer Versuchstag, zweite Ziffer laufende Versuchsnummer am Versuchstag.

4.3.3 Versuche zur Variation der Sekundärluftmenge

Wesentliches Instrument zur Minimierung der Stickoxidemissionen ist die gestufte Luftzuführung, wodurch es in Wirbelschichtfeuerungsanlagen möglich ist, den Grenzwert nach TA Luft zu unterschreiten. Wie in der Abbildung 4-3 ersichtlich, sinken die Stickoxidemissionen von ca. 600 mg/m³_{i.N.} (reine Primärluftfahrweise) bereits bei 20 % Sekundärluftanteil in Grenzwertnähe.

Entgegen den Erwartungen steigen die NO_x-Emissionen ab 40 % Sekundärluftanteil wieder an und überschreiten teilweise den Grenzwert, was nur auf Temperaturspitzen in der sich ausbildenden Sekundärflamme zurückgeführt werden kann. Die Reduktion der Stickoxidemissionen durch die Sekundärluftzugabe wird vom gegenläufigen Ansteigen der Kohlenmonoxidemissionen überlagert, so dass von dieser Seite die Sekundärluftmenge und insbesondere der Sekundärluftzugabeort (Abs. 4.3.6) limitiert wird. Die tendenzielle Abhängigkeit der Kohlenmonoxidemissionen vom Sekundärluftanteil bei der Zugabehöhe von 1 m über Anströmboden, was bei 4,24 m Gesamthöhe einer dimensionslosen Zugabehöhe von 0,236 entspricht, lag im betrachteten Bereich unterhalb des Grenzwertes. Lediglich der CO-Wert von Versuch 1 – 5 überschritt den Grenzwert, was auf einige Ausreißer im Versuchsverlauf bei sonst plausiblen Werten um 50 mg/m³_{i.N.} zurückzuführen ist (siehe Anhang). Bei den Versuchen zur Sekundärluftmengenvariation (Tabelle 4-10) wurden erwartungsgemäß Schwefeldioxidwerte weit unterhalb des Grenzwertes gemessen. Die in der Tabelle 4-10 nicht aufgeführten Emissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen lagen bei allen Versuchen im Bereich des Analysatormessfehlers. Als Zwischenergebnis der Sekundärluftmengenvariation kann ein emissionsminimaler Parameterbereich von 20 bis 40 % Sekundärluftanteil bei der untersuchten Zugabehöhe festgestellt werden.

Tabelle 4-10: Versuche zur Variation der Sekundärluftmenge (Zugabe 1 000 mm ü. Boden)

Ver- such	Brennstoff- charge	Luft			Sekun- därluft- anteil ⁽¹⁾	Bettemp.		O ₂		Schadstoffemission ⁽²⁾		
		Primär.	Sekun.	Spül		Soll	Ist	Soll	Ist	CO	NO _x	SO ₂
		($m^3_{i.N./h}$)			($^{\circ}C$)		(Vol-% _{tr})		(mg/m ³ _{i.N., 11% O₂)}			
0 – 1	West. ⁽³⁾	10,0	0	1,0	0 %	780	782	6,0	6,26	29	650	34
0 – 2	West. ⁽³⁾	8,0	2,0	1,0	20 %	780	780	6,0	6,41	97	319	42
0 – 3	West. ⁽³⁾	6,0	4,0	1,0	40 %	780	783	6,0	5,89	129	118	106
1 – 1	Werdau	10,0	0	1,0	0 %	780	775	6,0	6,69	20	562	34
1 – 2	Werdau	9,0	1,0	1,0	10 %	780	779	6,0	6,15	11	437	27
1 – 3	Werdau	8,0	2,0	1,0	20 %	780	778	6,0	6,34	15	286	23
1 – 4	Werdau	7,0	3,0	1,0	30 %	780	778	6,0	6,00	29	155	13
1 – 5	Werdau	6,0	4,0	1,0	40 %	780	777	6,0	6,20	281	156	20
1 – 6	Werdau	7,0	5,0	1,0	50 %	780	775	6,0	6,35	152	329	31
2 – 1	Rodelberg	10,0	0	1,0	0 %	780	781	6,0	6,40	10	620	36
2 – 2	Rodelberg	9,0	1,0	1,0	10 %	780	781	6,0	5,95	11	409	18
2 – 3	Rodelberg	8,0	2,0	1,0	20 %	780	778	6,0	5,42	19	219	15
2 – 7	Rodelberg	7,0	3,0	1,0	30 %	780	778	6,0	5,99	114	141	13
2 – 8	Rodelberg	6,0	4,0	1,0	40 %	780	779	6,0	5,97	30	224	13
2 – 9	Rodelberg	7,0	5,0	1,0	50 %	780	781	6,0	6,41	13	364	30

(1) bezogen auf die Gesamtluftmenge aus Primär- und Sekundärluft, ohne Spülluft

(2) Grenzwertüberschreitungen fett markiert

(3) Westsachsen/MEK Poberschau (Vorversuche)

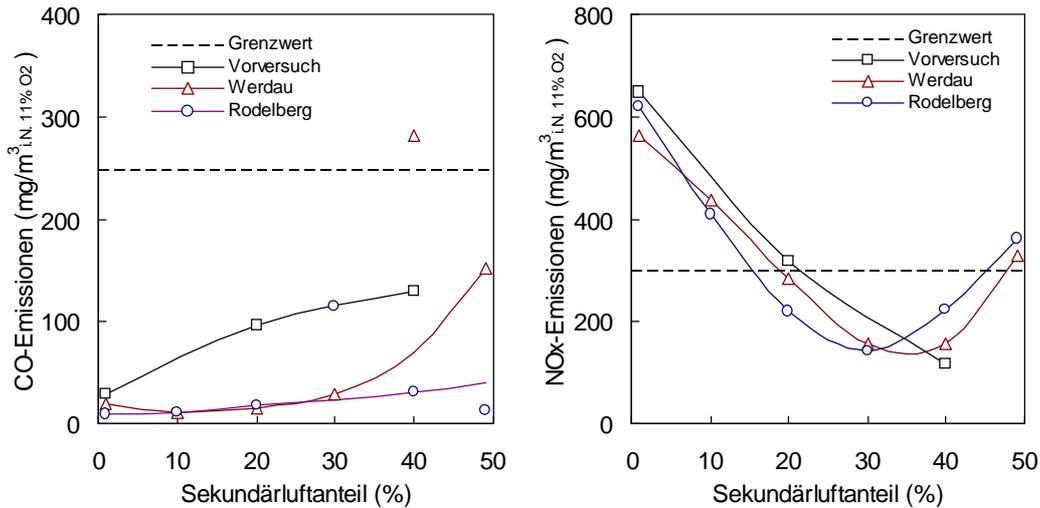


Abbildung 4-3: CO- und NO_x-Emissionen bei der Variation des Sekundärluftanteiles (Zugabe 1 m über Boden, 780 °C Betttemperatur, 6 Vol.-%_{tr} O₂)

4.3.4 Versuche zur Variation des Abgassauerstoffgehaltes

Tabelle 4-11: Versuche zur Variation des Abgassauerstoffgehaltes

Ver-such	Brenn-stoff-charge	Luft			Sekun-därluft-anteil ⁽¹⁾	Betttemp. Soll Ist	O ₂		Schadstoffemission ⁽²⁾		
		Primär.	Sekun.	Spül			Soll	Ist	CO	NO _x	SO ₂
		(m ³ _{i.N./h})			(°C)		(Vol.-% _{tr})		(mg/m ³ _{i.N., 11% O₂})		
1-4	Werdau	7,0	3,0	1,0	30 %	780 778	6,0	6,00	29	155	13
1-7	Werdau	7,0	3,0	1,0	30 %	780 778	10,0	10,10	56	437	16
1-8	Werdau	7,0	3,0	1,0	30 %	780 781	8,0	7,61	84	208	8
1-9	Werdau	7,0	3,0	1,0	30 %	780 781	4,0	3,89	32	145	64
2-2	Rodelberg	7,0	3,0	1,0	30 %	780 776	8,0	7,99	105	222	15
2-5	Rodelberg	7,0	3,0	1,0	30 %	780 780	10,0	9,73	317	348	17
2-6	Rodelberg	7,0	3,0	1,0	30 %	780 778	4,0	4,22	85	115	15
2-7	Rodelberg	7,0	3,0	1,0	30 %	780 778	6,0	5,99	114	141	13

(1) bezogen auf die Gesamtluftmenge aus Primär- und Sekundärluft, ohne Spülluft

(2) Grenzwertüberschreitungen fett markiert

Wie Abbildung 4-4 verdeutlicht, können mittels der Sauerstoffkonzentration im (trockenen) Rauchgas sowohl die Stickoxid- als auch die Kohlenmonoxidemissionen beeinflusst werden. Mit beiden Brennstoffchargen wurden dazu Versuche mit Abgassauerstoffgehalten von 4 bis 10 Vol.-%_{tr} durchgeführt (Tabelle 4-11), was λ-Zahlen von ca. 1,2 bis 2,0 entspricht. Sauerstoffgehalte oberhalb dieses Bereiches werden als für Wirbelschichtfeuerungen energetisch fragwürdig betrachtet, Sauerstoffgehalte unterhalb sind mit der relativ kleinen Versuchsanlage nicht stabil darstellbar. Die

anderen Betriebsparameter wurden entsprechend der in Tabelle 4-8 aufgeführten Vorgaben konstant gehalten. Dies betraf auch die Luftstufung, woraus die simultane Grenzwertunterschreitung sowohl für CO als auch NO_x im Bereich von 4 bis 8 Vol.-%_{tr} Abgassauerstoffgehalt resultiert. Lediglich bei höheren Sauerstoffgehalten (10 Vol.-%_{tr}) waren Grenzwertüberschreitungen zu verzeichnen, wobei die Kohlenmonoxidtendenz nicht den Erwartungen entsprach. Die Emissionen von Schwefeldioxid (max. 64 mg/m³_{i.N.}) und unverbrannten Kohlenwasserstoffen (im Bereich des Messfehlers) lagen bei allen Versuchen weit unterhalb der Grenzwerte.

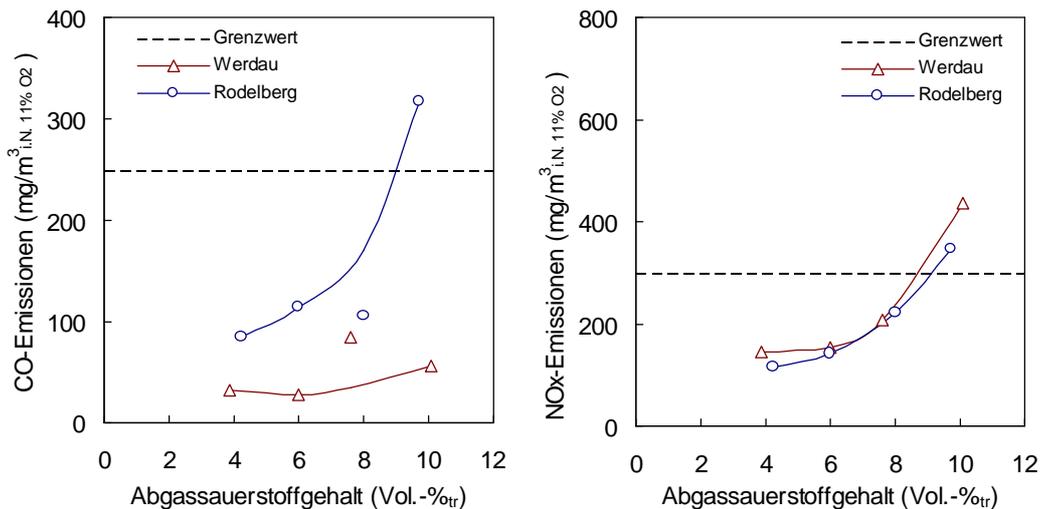


Abbildung 4-4: CO- und NO_x-Emissionen bei der Variation des Abgassauerstoffgehaltes (780 °C Betttemperatur, 30 % Sekundärluft 1 m über Boden)

4.3.5 Versuche zur Variation der Feuerungswärmeleistung

Um das Emissionsverhalten bei verschiedenen Lastzuständen (insbesondere bei Teillast) beurteilen zu können, wurden Versuche mit variierender Gesamtluftmenge (7 bis 15 m³_{i.N./h}) mit der Brennstoffcharge Rodelberg gefahren. Um dabei die Abgassauerstoffkonzentration konstant auf 6 Vol.-%_{tr} zu halten, war eine Anpassung des Brennstoffmassenstromes im Bereich von 1,4 bis 3,0 kg/h und somit eine Anpassung der Feuerungswärmeleistung (FWL), welche aus dem Produkt von Brennstoffmassenstrom und Brennstoffheizwert gebildet wird, notwendig. Wie der Tabelle 4-12 zu entnehmen, wurde die Feuerungswärmeleistung von 5,6 bis 11,2 kW variiert, was - setzt man die Basiseinstellung (Tabelle 4-8) gleich 100 % - einer Modulation von 60 bis 130 % der Nennleistung entspricht. Die dabei gemessenen Emissionen von Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen lagen in diesem Variationsbereich weit unterhalb der Grenzwerte. Lediglich der Stickoxidgrenzwert wurde bei den Versuchen mit hoher Feuerungswärmeleistung überschritten (Abbildung 4-5).

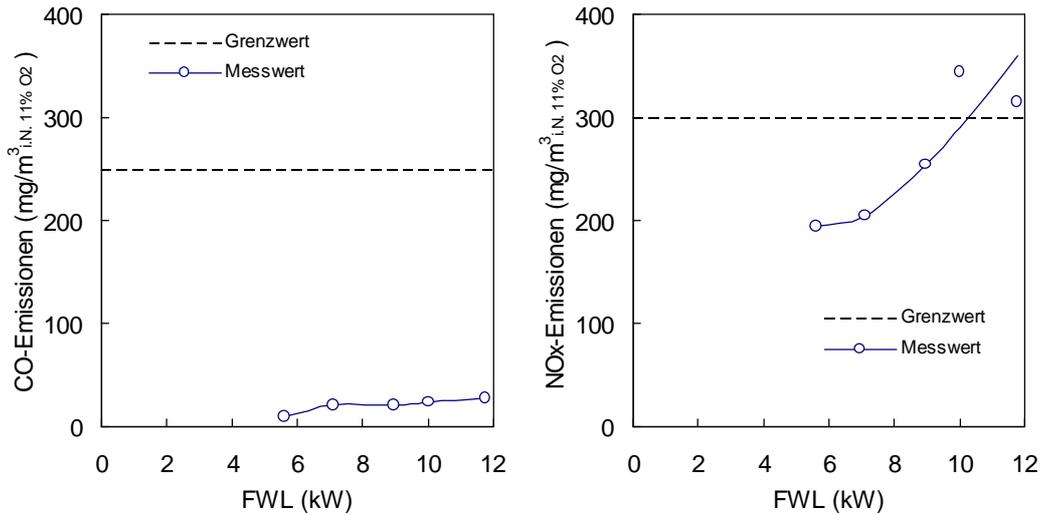


Abbildung 4-5: CO- und NO_x-Emissionen bei der Variation der Feuerungswärmeleistung FWL (780 ° C Betttemperatur, 6 Vol.-%_{tr} O₂, 30 % Sekundärluft 1 m über Boden)

Tabelle 4-12: Versuche zur Variation der Feuerungswärmeleistung

Ver-such	Brennstoff-charge	Luft				Σ ⁽¹⁾	Sekun-därluft-anteil ⁽²⁾	FWL ⁽³⁾ (kW)	T _{Bett} ⁽⁴⁾ (° C)	O ₂ ⁽⁴⁾ (% _{tr})	Schadstoffemis-sion ⁽⁵⁾		
		Primär.	Sekun.	Spül	(m ³ _{i.N./h})						CO	NO _x	SO ₂
3-1	Rodelberg	4,2	1,8	1,0	7,0	30 %	5,62	781	5,92	10	194	52	
3-2	Rodelberg	5,6	2,4	1,0	9,0	30 %	7,09	780	6,21	21	204	25	
3-3	Rodelberg	7,0	3,0	1,0	11,0	30 %	8,97	780	5,72	21	253	19	
3-4	Rodelberg	8,4	3,6	1,0	13,0	30 %	10,00	781	6,57	24	345	18	
3-5	Rodelberg	9,8	4,2	1,0	15,0	30 %	11,92	784	6,14	28	316	15	

(1) Gesamtluftmenge (Primär-, Sekundär- und Spülluft)

(2) bezogen auf die Gesamtluftmenge aus Primär- und Sekundärluft, ohne Spülluft

(3) FWL: Feuerungswärmeleistung

(4) Sollwerte: Betttemperatur 780 ° C, Abgassauerstoffgehalt 6,0 Vol.-%_{tr}

(5) Grenzwertüberschreitungen fett markiert

Tabelle 4-13: Versuche zur Variation der Sekundärluftzugabehöhe

Ver-such	Brenn-stoff-charge	Luft			Sekundärluft		T _{Bett} ⁽³⁾ (° C)	O ₂ ⁽³⁾ (% _{tr})	Schadstoffemission ⁽²⁾			
		Primär.	Sekun.	Spül	-anteil ⁽¹⁾	-zugabehöhe (mm [-] ⁽⁴⁾)			CO	NO _x	SO ₂	C _n H _m
1-4	Werdau	7,0	3,0	1,0	30 %	1 000 [0,24]	778	6,00	29	155	13	0
3-6	Werdau	7,0	3,0	1,0	30 %	2 000 [0,47]	779	6,58	1 136	95	36	4
3-7	Werdau	7,0	3,0	1,0	30 %	3 000 [0,71]	776	6,50	8 713	61	272	402
3-8	Werdau	7,0	3,0	1,0	30 %	550 [0,13]	780	5,98	8	720	51	0

(1) bezogen auf die Gesamtluftmenge aus Primär- und Sekundärluft, ohne Spülluft

(2) Grenzwertüberschreitungen fett markiert

(3) Sollwerte: Betttemperatur 780 ° C, Abgassauerstoffgehalt 6,0 Vol.-%_{tr}

(4) dimensionslose Höhe in eckigen Klammern

4.3.6 Versuche zur Variation der Sekundärluftzugabehöhe

Nicht nur die Sekundärluftmenge ist für die simultane Unterschreitung der Emissionsgrenzwerte von CO und NO_x entscheidend, sondern auch der Zugabeort der Sekundärluft. Zwar ist es durch eine sehr späte Sekundärluftzugabe (hohe Zugabestelle) möglich, stabile Stickoxidemissionswerte weit unterhalb des Grenzwertes (bis 60 mg/m³_{i.N., 11% O₂}) zu erreichen, was jedoch mit extremen Kohlenmonoxidemissionen erkauft wird (siehe Abbildung 4-6). Dies ist zum einen auf die zu geringe Restverweilzeit nach der späten Sekundärluftzugabe, zum anderen auf die für den Kohlenmonoxidabbrand ungenügenden Temperaturen im Bereich der oberen Sekundärluftzugabestellen zurückzuführen. Dabei werden neben Kohlenmonoxid auch Kohlenwasserstoffe nicht ausreichend umgesetzt, was zu der in Tabelle 4-13 dokumentierten Grenzwertüberschreitung führte. Als hinsichtlich der Schadgasemissionen optimal ist für die verwendete Versuchsanlage ein Sekundärluftzugabebereich von ca. 0,20 bis 0,35 dimensionsloser Höhe anzusehen, was einer absoluten Zugabehöhe von 0,8 bis 1,5 m über Anströmboden entspricht.

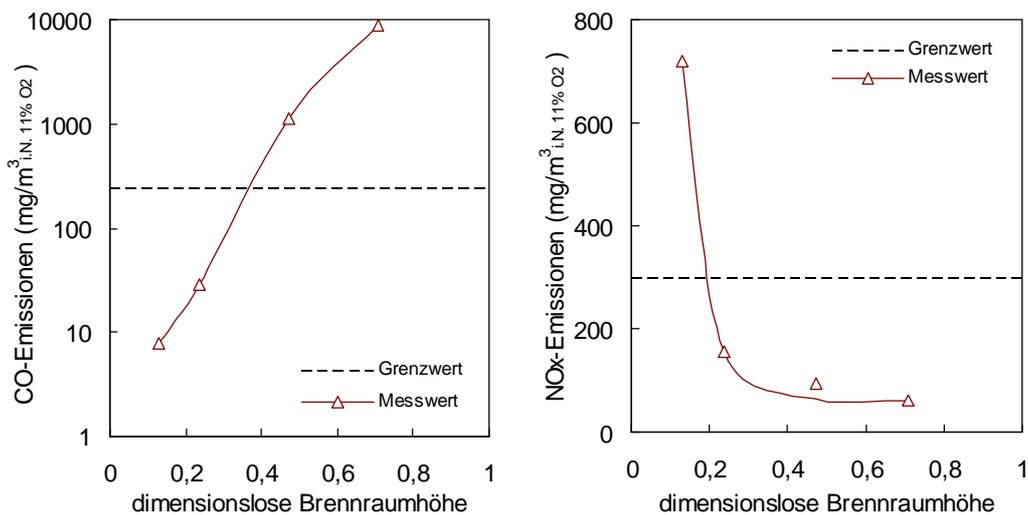


Abbildung 4-6: CO- und NO_x-Emissionen bei der Variation der Sekundärluftzugabehöhe (780 °C Betttemperatur, 6 Vol.-%_{tr} O₂, 30 % Sekundärluft)

4.3.7 Versuche zur Variation der Betttemperatur

Nach der Durchführung der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Versuche verblieb eine Restmenge von 2,5 kg der Brennstoffcharge Werdau und 1,5 kg der Brennstoffcharge Rodelberg. Um mit der Betttemperatur eine weitere emissionsrelevante Einflussgröße untersuchen zu können, wurden beide Restmengen als Mischung für die in Tabelle 4-14 aufgelisteten Versuche 3 – 9 bis 3 – 10 verwendet, wobei beim letzten Versuch der Brennstoff zur Neige ging und nur eine auswertbare Versuchszeit von 16 statt der üblichen 30 Minuten zuließ. Um die dabei gewonnenen

Daten zu untermauern, sind in Abbildung 4-7 die Ergebnisse vorangegangener Versuche mit dargestellt. Zwar lassen sich Tendenzen erkennen, welche allerdings nicht den Erwartungen entsprechen. Hier muss festgestellt werden, dass die 200 bis 250 K heißere Sekundärflamme im Freiraumbereich einen wesentlich höheren Einfluss auf die Kohlenmonoxid- und Stickoxidemissionen hat. Die Darstellung der Emissionen über die mittlere Freiraumtemperatur (Abbildung 4-8) lässt wesentlich plausible Tendenzen erkennen. So fällt die Kohlenmonoxidemission mit steigender Freiraumtemperatur, während die Stickoxidemission wächst. Weitere Untersuchungen zum Freiraumeinfluss sind zu empfehlen.

Tabelle 4-14: Versuche zur Variation der Betttemperatur

Versuch	Brennstoffcharge	Luft				Temperatur		O ₂		Schadstoffemission ⁽²⁾		
		Primär	Sekun.	Spül	Sekundärluftanteil ⁽¹⁾	Bett ⁽⁵⁾	Frei ⁽⁶⁾	Soll	Ist	CO	NO _x	SO ₂
		(m ³ _{i,N} /h)				(°C)		(Vol-% _{tr})		(mg/m ³ _{i,N, 11% O₂)}		
3 – 9	Misch. ⁽³⁾	7,0	3,0	1,0	30 %	752	784	6,0	5,44	9	335	99
3 – 10	Misch. ⁽³⁾	7,0	3,0	1,0	30 %	810	781	6,0	6,07	17	255	61
3 – 11	Misch. ⁽³⁾	7,0	3,0	1,0	30 %	840	763	6,0	5,88	136	186	52
1 – 4 ⁽⁴⁾	Werdau	7,0	3,0	1,0	30 %	778	761	6,0	6,00	29	155	13
2 – 7 ⁽⁴⁾	Rodelberg	7,0	3,0	1,0	30 %	778	749	6,0	5,99	114	141	13
3 – 3 ⁽⁴⁾	Rodelberg	7,0	3,0	1,0	30 %	780	740	6,0	5,72	21	253	19

(1) bezogen auf die Gesamtluftmenge aus Primär- und Sekundärluft, ohne Spülluft

(2) Grenzwertüberschreitungen fett markiert

(3) Mischung aus Charge Werdau und Charge Rodelberg

(4) Referenzversuche

(5) Vorgaben: 750, 780, 810 und 840 °C

(6) mittlere Freiraumtemperatur

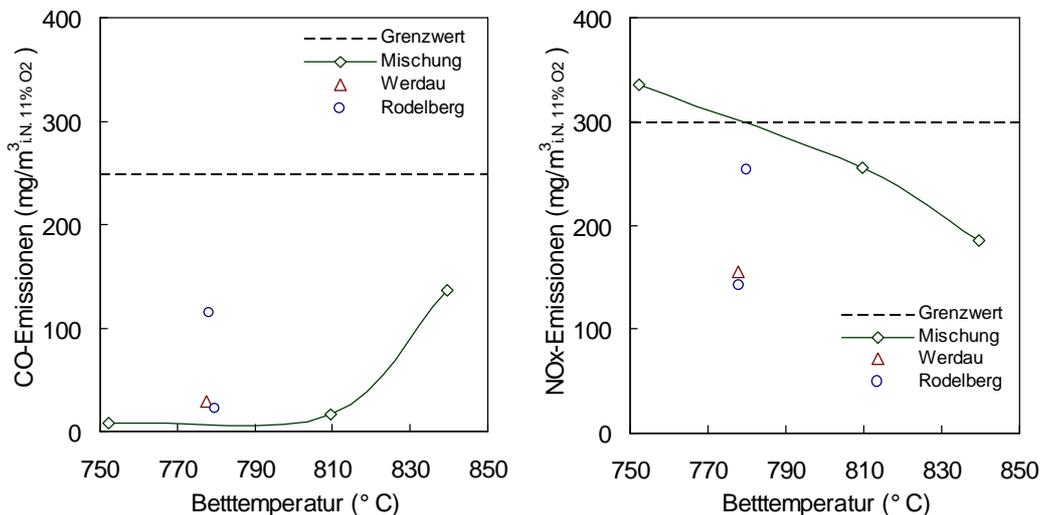


Abbildung 4-7: CO- und NO_x-Emissionen bei der Variation der Betttemperatur (6 Vol.-%_{tr} O₂, 30 % Sekundärluft 1 m über Boden)

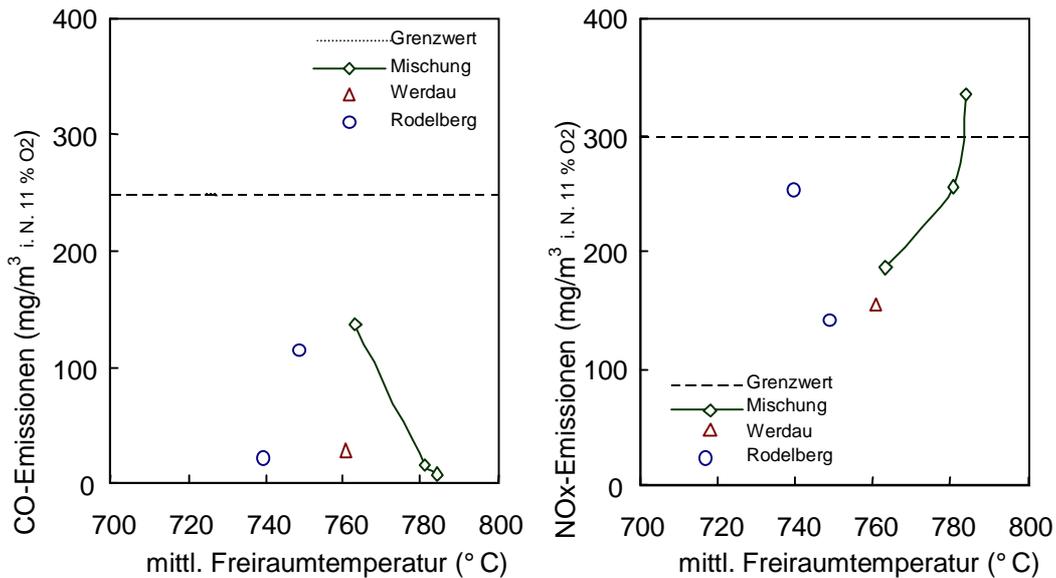


Abbildung 4-8: CO- und NO_x-Emissionen bei der Variation der Betttemperatur, dargestellt über die mittlere Freiraumtemperatur (6 Vol.-%_r O₂, 30 % Sekundärluft 1 m über Boden)

Im Zusammenhang mit der Betttemperatur ist die Verschlackungsproblematik zu beachten. Wider Erwarten konnten alle Versuche ohne verschlackungsbedingte Störungen durchgeführt werden. Lediglich Wandverschmutzungen mit leichten Verschlackungserscheinungen konnten während der Versuche im Betttemperaturbereich unter 800 °C beobachtet werden. Dies im Vergleich zu anderen halmförmigen Biomassen (insbesondere Stroh) gutmütige Verschlackungsverhalten kann wahrscheinlich dem relativ hohen Aschegehalt der verwendeten Versuchschargen zugeschrieben werden. Es liegt die Vermutung nahe, dass durch mineralische Verschmutzung des Landschaftspflegegutes während des Wachstums und der Ernte/Aufbereitung der Aschegehalt steigt und somit verschlackungskritische Komponenten „verdünnt“ werden. Bei der Anlagenrevision nach Beendigung aller Versuche wurden jedoch ernstzunehmende Anbackungen im Bereich des Freiraumkühlers (Bereich der höchsten Temperaturen) festgestellt. In diesen Anbackungen konnte auch Bettmaterial wiedergefunden werden, welches mit Sicherheit bei den Versuchen mit erhöhter Feuerungswärmeleistung dorthin getragen wurde. Insbesondere vor dem Hintergrund langer Reisezeiten wird damit die strikte Temperaturlimitierung sowohl im Bett- als auch im Freiraumbereich deutlich. Was die am leichtesten zu steuernde Betttemperatur betrifft, so kann auf Basis der in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Ergebnisse ein Bereich von 750 bis max. 800 °C empfohlen werden.

4.4 Zusammenfassung der Verbrennungsuntersuchungen

Mit Biomassen aus der Landschaftspflege wurden am Institut für Apparate- und Umwelttechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg feuerungstechnische Untersuchungen durchgeführt. Neben Laboruntersuchungen zur Zusammensetzung (Immediatanalyse, Elementaranalyse) und zur Heizwertbestimmung wurden hauptsächlich Verbrennungsversuche an einer stationären Wirbelschichtfeuerungsanlage durchgeführt. Dabei wurden die Biomassen in Form von Kollergangpellets mit 10 mm Durchmesser eingesetzt.

Das Hauptaugenmerk lag bei diesen Versuchen auf der simultanen Unterschreitung der durch die TA Luft vorgegebenen Grenzwerte gasförmiger Schadstoffe (CO , NO_x , SO_2). Während die Schwefeldioxidemissionen aufgrund der geringen Schwefelgehalte der verwendeten Biomassen weit unterhalb des Grenzwertes lagen, erforderten die Stickoxidemissionen Primärmaßnahmen zu deren Minderung. Dabei wurden Luftstufungen (Sekundärluftzugabe) eingesetzt, womit ein Unterschreiten des Tagesgrenzwertes nach TA Luft von $300 \text{ mg/m}^3_{\text{i.N.}}$ erreicht wurde. Die infolge der Sekundärluftzugabe ansteigenden Kohlenmonoxidemissionen lagen bei den meisten Versuchsserien unterhalb des Grenzwertes von $250 \text{ mg/m}^3_{\text{i.N.}}$. Zur genaueren Untersuchung wurden die Parameter

- Sekundärluftmenge,
- Sekundärluftzugabeort,
- Abgassauerstoffgehalt,
- Feuerungswärmeleistung,
- Betttemperatur

variiert.

Aus den gewonnenen Ergebnissen können folgende optimale Betriebsbereiche für die verwendete Feuerungsanlage geschlussfolgert werden, welche tendenziell auch auf andere Anlagen übertragbar sind:

- | | |
|----------------------------|--|
| - Betttemperatur | 750 – max. 800 ° C, |
| - Abgassauerstoffgehalt | 4 – 8 Vol.-% _{tr} , |
| - Sekundärluftanteil | 20 – 40 %, |
| - Sekundärluftzugabestelle | 0,8 – 1,5 m (0,20 – 0,35 dimensionslose Höhe), |
| - Feuerungswärmeleistung | 6 – 9 kW. |

5 Baumschutzelemente als Beispiel der stofflichen Nutzung

5.1 Einführung

Die Herstellung von Baumschutzelementen trägt zur Zielstellung bei, möglichst Produkte zu schaffen, die später im LPV eingesetzt werden können. Baumschutzelemente kommen vorwiegend bei Neuanpflanzungen zur Anwendung, um die Jungbäume zum einen vor Fremd- bzw. Konkurrenzpflanzen sowie vor Wildverbiss zu schützen. Es wäre aber auch ein Einsatz zum Schutz von besonders naturschutzrelevanten seltenen Arten denkbar, um diesen überhaupt einen Lebensraum zu ermöglichen.

Damit ergeben sich im wesentlichen zwei Formen von Baumschutzelementen:

1. eine um den Stamm auf den Boden gelegte Scheibe (Baumschutzscheibe)
2. ein am Stamm befestigtes Element (Baumschutzmanschette).

Diese Verwendung fordert bestimmte Eigenschaften der hergestellten Elemente:

- Stabilität, kein Verbiegen, Brechen beim Transport und der Auslegung
- bestimmte Masse, die das Wegwehen verhindert
- umweltneutrales Verhalten, Freiheit von Schadstoffen, biologisch abbaubar
- Beständigkeit, Haltbarkeit über zwei bis drei Jahre
- wasser- und luftdurchlässig, darf den Jungbaum im Aufwuchs nicht behindern
- und außerdem: kostengünstige Herstellung

Durch die bisher im Handel angebotenen Baumschutzelemente werden diese geforderten Eigenschaften gar nicht oder nur z. T. erfüllt, siehe auch [22]. Das zur Herstellung der handelsüblichen Baumschutzelemente verwendete Material stellt dabei das Hauptproblem dar. Elemente aus Pappe bzw. Papierverbunden neigen zum Wegwehen und haben eine z. T. zu kurze Haltbarkeit. Kunststoffteile (z. B. um den Stamm gelegte Spiralen) verrotten dagegen gar nicht und wachsen in den Stamm ein, wenn keine (kostenaufwendige) Entfernung erfolgt. Die in letzter Zeit aus anderen Forschungsarbeiten hervorgegangenen Agrotexilien [23], ein Verbund aus Faservlies, „Mineralschicht“ und Papierschicht, sind gegenwärtig noch zu teuer und aufwendig in ihrer Herstellung.

Die im folgenden beschriebenen Untersuchungen bauen auf das an der TU Chemnitz bearbeitete Projekt „*Entwicklung von biologisch abbaubaren Baumschutzelementen aus nachwachsenden Rohstoffen sowie deren Herstellungsverfahren*“ [22] auf, in dem die Grundlagen für die Herstellung von Baumschutzelementen, besonders für das Herstellungsverfahren, gelegt wurden. Im Rahmen des o. g. Projektes entstand die für die beschriebenen Untersuchungen genutzte Laborversuchsanlage. Die Zielstellung für diese weiterführenden Untersuchungen besteht in der Anpassung der Grundlagentechnologie, die auf die Verwendung von (Alt-)Holz ausgerichtet war, auf die Verarbeitung von Landschaftspflegeschnitt als Ausgangsmaterial. Damit ergibt sich eine Vielzahl an abzu-

klärenden Parametern und Kenngrößen in der Verfahrensführung und der Zusammensetzung, wie z. B. das optimale Mischungsverhältnis von Bindemittel und nun halmgutförmiger Biomasse, der Einfluss der anderen Struktur des Landschaftspflegeschnittes im Vergleich zum Altholz, die erforderliche Korngröße, die Pressdauer und der Pressdruck u. a.

5.2 Gutarten und Versuchsplan

Für die Herstellung der Baumschutzelemente wurde halmgutartige Biomasse von verschiedenen Flächen des Gebietes des LPV verwendet, Aufwüchse aus 2001 (Mahd 08/01 bis 11/01) und 2002 (vor allem Schilfgras 07/02) sowie holzartige Biomasse (Heckenschnitt 01/02).

Die Gutarten wurden nach

- ihrem Anfallzustand (Feuchte, ggf. Befall mit Schimmelpilzen)
- der vorliegenden Korngröße bzw. dem Zerkleinerungsgrad
- der Struktur (z. B. Halmstärke)
- der Aufwuchsfläche

beurteilt und geordnet.

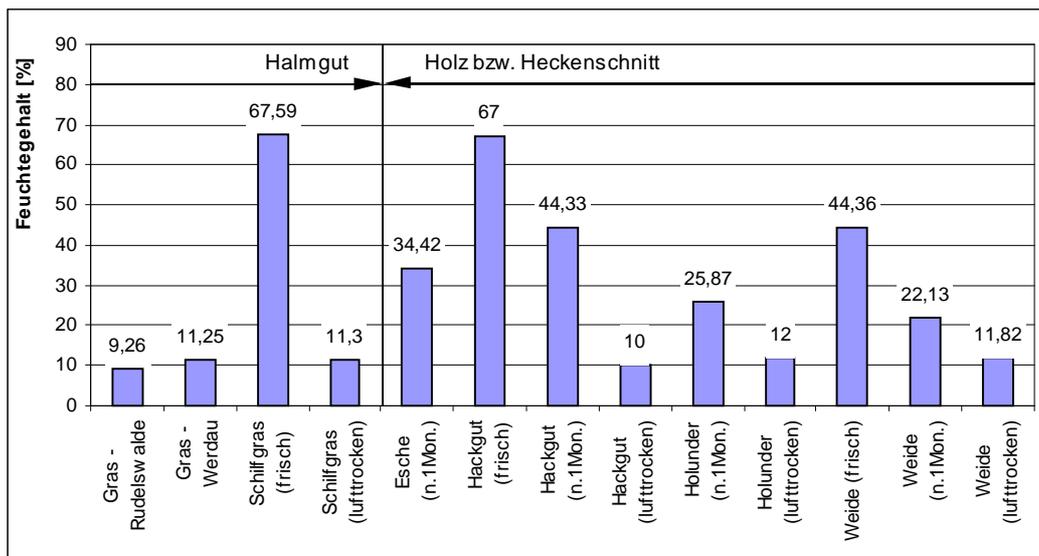


Abbildung 5-1: Feuchtegehalt der Gutarten (n. 1 Mon. bedeutet: Lagerung einen Monat in einem gut belüfteten Raum, lufttrocken: Trocknung bei Normalklima abgeschlossen)

Während die halmgutartige Biomasse von den Wiesenflächen (Werdau, Rudelswalde) abgetrocknet und mit einem durchschnittlichen Feuchtegehalt von 10 bis 12 % vorlag, war die holzartige Biomasse „erntefrisch“, Abbildung 5-1.

Der Feuchtegehalt der verwendeten Gutarten liegt in einem relativ großen Bereich, wobei deutlich die Unterschiede zwischen erntefrischen und eingelagerten Gütern zu erkennen sind. Durch die

Lagerung in einem gut belüfteten, kalten Raum lässt sich schon innerhalb eines kurzen Zeitraumes der Feuchtegehalt beim Heckenschnitt wesentlich senken, vgl. Werte von Weide bzw. Hackgut.

Der hohe Feuchtegehalt der holzartigen Biomassen stellt im allgemeinen kein Problem bezüglich der Weiterverarbeitung dar. Im Gegensatz zu den halmgutartigen Biomassen setzen beim Holz nicht sofort Fäulnis und Zersetzungsprozesse ein. Für die Verarbeitung sind jedoch Biomassen im erntefrischen Zustand, d. h. mit Feuchtegehalten über 60 %, nicht geeignet. Bei dieser hohen Gutsfeuchte sind die Zellen so stark mit Wasser angereichert, dass das (flüssige) Bindemittel kaum aufgenommen wird, auch bei einer Verlängerung der Quellzeit nicht. In Folge dessen findet beim Formungsprozess keine Verbindung zwischen den Gutteilchen statt. Die Verarbeitung des Gutes ist nur bis zu Feuchtegehalten von 45 % möglich. Zum Erreichen dieses Wertes ist eine Trocknung (Lagerung in einem belüfteten Raum) erforderlich. Bei höheren Feuchten (20 bis 45 %) ist der erhöhte (schon im Gut vorhandene) Wasseranteil bei der Herstellung des Bindemittels zu beachten, d. h. der Wasseranteil im Bindemittel kann geringer sein im Vergleich zur Verarbeitung luftgetrockneter Gutes.

Demnach ist der erforderliche (optimale) Feuchtegehalt von der späteren Nutzung abhängig. Erfolgt die Verarbeitung zu Formkörpern oder Baumscheiben (feuchter Ansatz), muss bei erhöhter Gutsfeuchte mit einer längeren Trocknungszeit gerechnet werden, um späteren Schimmelbefall auszuschließen. Bei der Herstellung von Faserstoff bzw. Mulch ist dagegen der Einfluss der Gutsfeuchte von geringer Bedeutung, zum Prozess (Abschnitt 5-3) muss weniger Wasser zugegeben werden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Gutarten sowie Schlussfolgerungen für die Weiterverarbeitung zusammengefasst.

Tabelle 5-1: Beschreibung der Gutarten

Charakterisierung und Abbildung	
<p>Rudelswalde⁷⁾ (Rodelberg bzw. Fl.-st. 240)</p> <ul style="list-style-type: none"> • vorwiegend Gras • sehr lange Halme (Mahd mit Sense) • unzerkleinert nur für größere Formkörper geeignet 	
	
z. T. als Häcksel (grob)	

Tabelle 5-1 (Fortsetzung)

⁷⁾ Die Bezeichnung der vorwiegend halmgutartigen Biomasse mit nahezu gleicher Struktur erfolgt nach der Aufwuchsfläche.

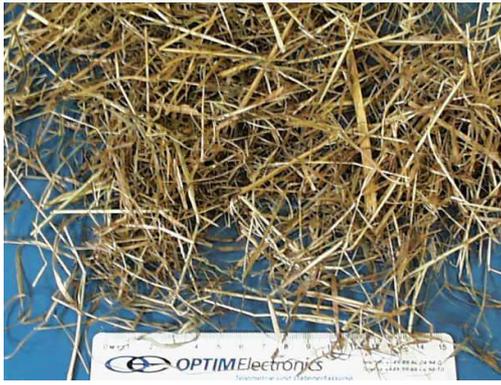
<p>Werdau (Kranzberggrund)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Halmabschnittslänge ca. 20 cm • überwiegend Gras • ohne weitere Zerkleinerung verarbeitbar 	
<p>Schilfgras (Döbitzbachwiese)</p> <ul style="list-style-type: none"> • lange, flache, dünne Blätter mit grober Struktur • nahezu keine (hohlen) Halmanteile • Korngröße bis zu 1 m • unzerkleinert nur für größere Formkörper geeignet 	
	
<p>zerkleinert in Schneidmühle (Siebweite 20 mm)</p>	
<p>Hackgut</p> <ul style="list-style-type: none"> • Heckenschnitt, mit maschineller Pflagechnik geschnitten und anschließen gehäckselt • Korngröße ca. 1 bis 3 cm • wird üblicherweise auf der Fläche breitgeblasen • Gutart nicht exakt bestimmbar, scheinbar Pappel • sehr nass im Anfallzustand, ggf. Trocknung erforderlich, wenn nicht sofort verarbeitbar • Zerkleinerung nicht notwendig 	

Tabelle 5-1 (Fortsetzung)

Holunder

- dünne (ca. 3 bis 5 mm) Zweige
- ca. 15 bis 30 cm lang
- innen markhaltig
- Zerkleinerung erforderlich



zerkleinert in Schneidmühle (Siebweite 20 mm)

Esche

- Astabschnitte mit sehr unterschiedlichen Aststärken (5 mm bis 5 cm)
- Länge ca. 20 cm
- Zerkleinerung erforderlich
- dicke Aststücke nicht zur Weiterverarbeitung im Labormaßstab geeignet, Zerkleinerung auch im Extruder schwierig



zerkleinert in Schneidmühle (Siebweite 20 mm)

Weide

- sehr dünne (ca. 2 bis 3 mm) Äste
- ca. 15 bis 30 cm lang
- Zerkleinerung vorteilhaft



zerkleinert in Schneidmühle (Siebweite 20 mm)

Der Heckenschnitt (Äste) wurde vor der Verarbeitung in einer Labormühle zerkleinert. Hinsichtlich

des Astdurchmessers sind hier bei ca. 2 cm Grenzen gesetzt, d. h. dickere Äste müssten mit einem Gartenhäcksler o. ä. geschreddert werden.

Unzerkleinerte Äste wurden nur als Stabilisierung in Baumschutzscheiben eingelegt, nicht aber in der Materialmischung mit angesetzt.

Tabelle 5-2: Versuchseinstellungen

Parameter	Größe
• Quellzeit	5, 10, 15, 20, 30 min
• Pressdruck	0,05 - 0,24 MPa
• Presszeit	0,5 - 5 min
• Verhältnis Biomasse : Bindemittel	1 : 1, 1 : 0,75, 1 : 0,5
• Wasseranteil im Bindemittel	68,7 % bzw. 75 %
• Biomassegutart	Gras (Aufwuchs von verschiedenen Flächen), Schilfgras, Heckenschnitt (Pappel, Weide, Esche, jeweils frisch und abgelagert)
• Biomassezusammensetzung (Verhältnis Halmgut : Holz)	1 : 1, 0,25 : 1,
• biogene Zusatzgutarten	Flachsschäben, Hanfschäben, Kleie
• Verstärkungsmaterial	Weidenäste zur Stabilisierung (ca. 30 cm) Jute-Gewebe (Maschenweite 1,5 cm) für Baumschutzmanschette sowie Bindeband
• Korngröße	lang (unzerkleinert – mit Sense gemäht), ca. 20 cm (mit Mulchmäher gemäht) ca. 2 bis 5 cm (Heckenschnitt, geschreddert) ca. 2 cm (mit Labormühle zerkleinert)
• Pressform	Probekörper (10 x 10 cm Grundfläche) Baumscheibe (Durchmesser 50 cm Grundfläche) Baumschutzmanschette (25 x 50 cm Grundfläche)

Aus den vorab beschriebenen Gutarten wurden zunächst Materialproben hergestellt. Die Herstellung dieser Probekörpern (bzw. Materialproben) war erforderlich, um eine erste Abgrenzung und Festlegung der Technologieparameter durchzuführen und die Eignung der jeweiligen Materialmischung zu testen.

Erst danach erfolgte die Verarbeitung der für geeignet befundenen Mischung zu Baumscheiben und –manschetten unter Variation der Zusammensetzung sowie der Technologieparameter, siehe Tabelle 5-2, mit dem Ziel der Ermittlung der optimalen Verfahrensparameter zur Herstellung ausreichend fester und haltbarer Baumschutzelemente.

In den folgenden Abbildungen sind die hergestellten Formen schematisch dargestellt.

Abbildung 5-2: Probekörper, schematisch

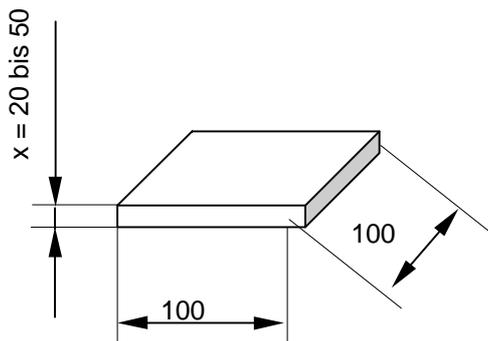


Abbildung 5-3: Baumscheibe, schematisch

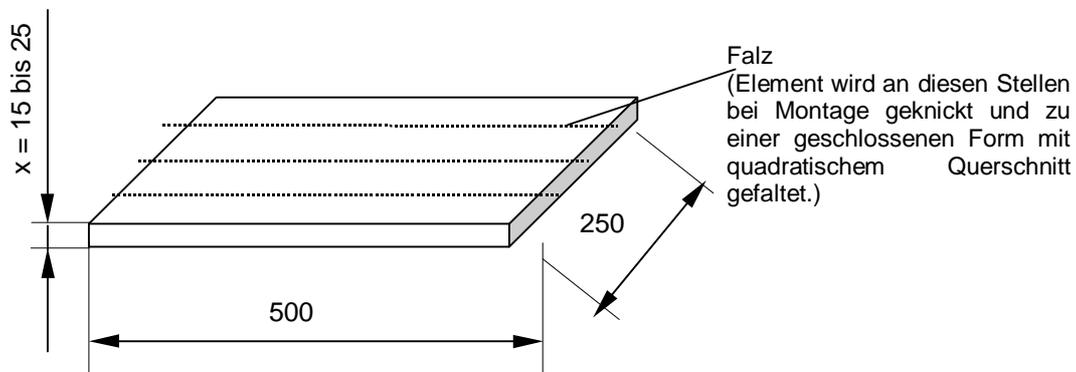
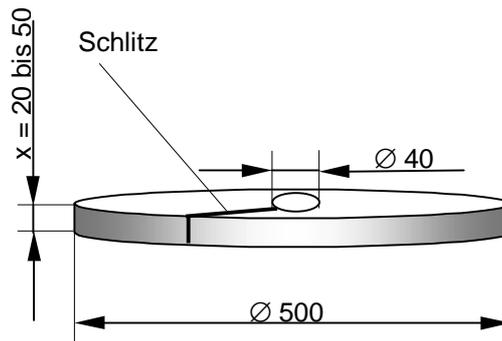


Abbildung 5-4: Baumschutzmanschette, schematisch

Insgesamt erfolgte die Versuchsdurchführung mit dem Ziel der Kostenminimierung, d. h. der Einsatz von Energie (Pressdruck, Press- und Trockenzeit) und Material (vor allem Kautschuk) sollte so sparsam wie möglich erfolgen.

5.3 Herstellungsverfahren und Versuchsdurchführung

Die Technologie zur Herstellung von Baumschutzelementen und die zu ermittelnden Verfahrensparameter sind in folgender Abbildung dargestellt. Für Baumschutzscheiben sind keine zusätzlichen Materialien erforderlich, dagegen wird bei der Herstellung von Baumschutzmanschetten ein grobes, netzartiges Jutegewebe während des Formungsprozesses auf die Außenfläche sowie Material zur späteren Befestigung am Baum aufgebracht.

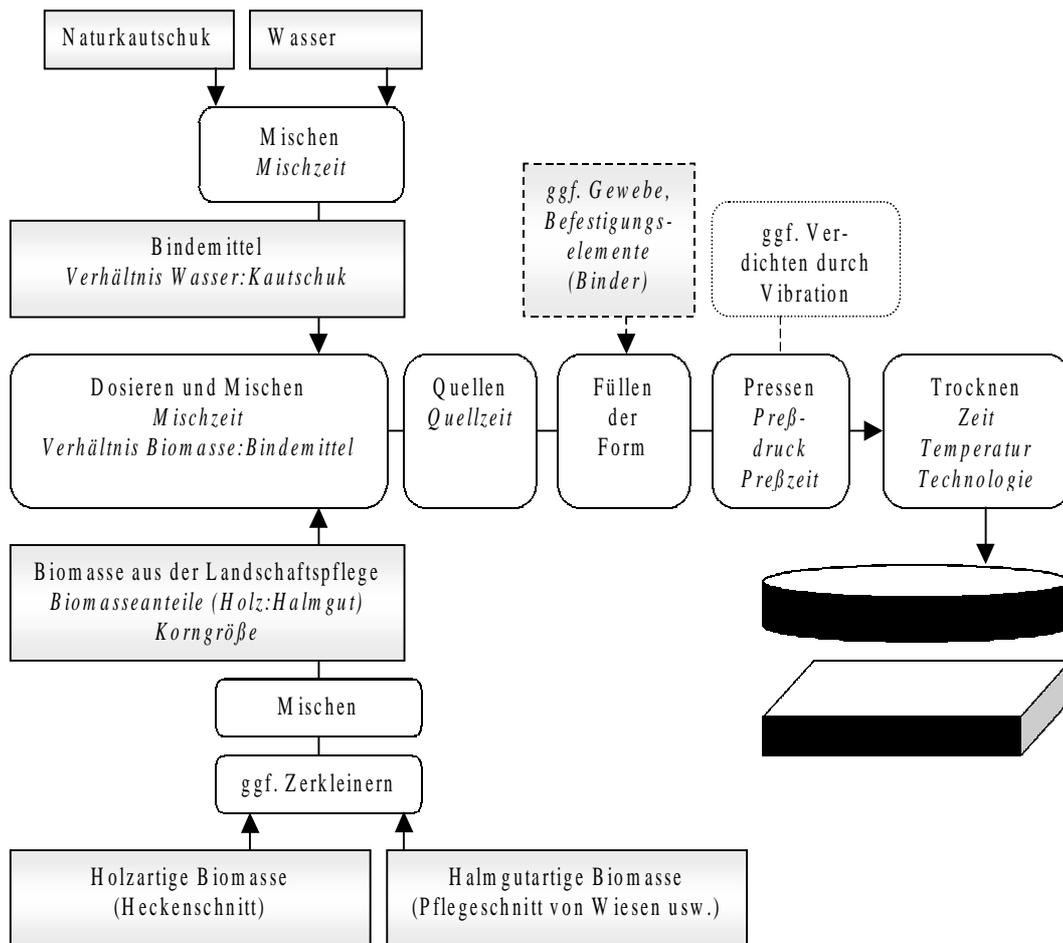


Abbildung 5-5: Verfahrensschema zur Herstellung von Baumschutzelementen

Als Naturkautschuk kommt das Produkt GIVUL MR, ein vorvulkanisiertes Naturlatex-Konzentrat mit mittlerem Modul und Ammoniak stabilisiert [24], zum Einsatz, das sich bereits bei der Herstellung von Baumschutzelementen auf der Basis von Altholz als vorteilhaft gegenüber anderen biologisch abbaubaren Bindemitteln erwiesen hat [22]. Der Naturkautschuk wird vor der Zugabe zur Biomasse mit der entsprechenden Menge Wasser vermischt.

Als Presseinrichtung wird die in [22] ausführlich beschriebene Stempelpresse sowie die dazugehörigen Formen genutzt, Abbildungen 5-6 bis 5-9. Zur Trocknung stehen ein Umluftofen, Mikrowelle sowie Durchströmungstrockner zur Verfügung, wobei sich der Umluftofen als günstigste Variante (bezogen auf die Versuchsdurchführung) erwiesen hat.

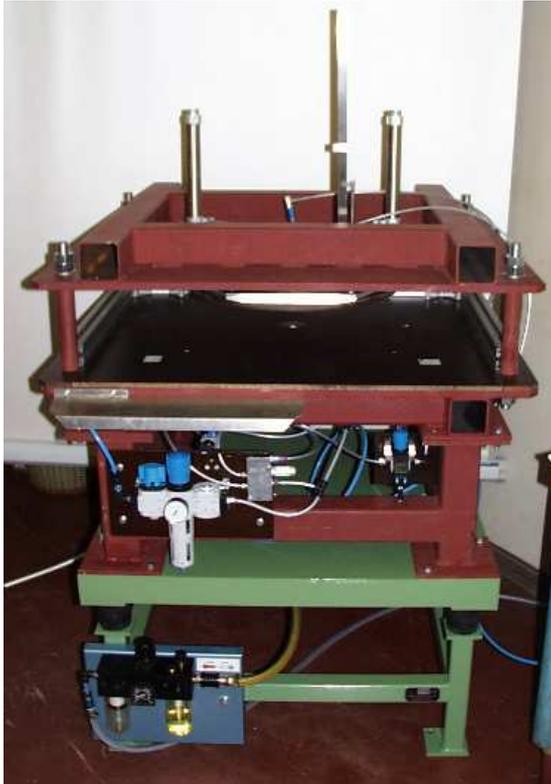


Abbildung 5-7: Presse



Abbildung 5-6: Werkzeug für Materialproben



Abbildung 5-8: Werkzeug für Baumscheibe D = 50 cm



Abbildung 5-9: Werkzeug für Baumschutzmanschette

Legende

- 1 Rahmen
- 2 Grundplatte
- 3 Einlegekern
- 4 Einlegestäbe (für Falzlinien)

Der jeweilige Pressstempel ist fest an der Presse montiert!

Die **Durchführung eines Versuches zur Herstellung von Baumschutzelementen** läuft wie folgt ab:

Das Landschaftspflegegut wird entsprechend der Größe des Elementes abgewogen und das Bindemittel (Naturkautschuk-Wasser-Gemisch) zugegeben. Der Bindemittelanteil richtet sich wiederum nach der Zusammensetzung und dem Einsatzzweck des Elementes. Während der anschließenden Quellung (15 bis 30 min) wird das Gut mehrfach gemischt bzw. geknetet, um eine gute Aufnahme des Bindemittels zu gewährleisten. Das Gemisch wird in eine Form gefüllt. Bei der Herstellung von

Baumschutzmanschetten wird das Gut in der Form mit einem Jutegewebe abgedeckt, das sich während des Pressens fest mit der Biomasse verbindet. Anschließend erfolgt das Pressen (Stempelpressprinzip) bei Drücken bis zu 0,1 MPa. Dabei kann Presswasser bzw. Bindemittel austreten. Nach dem Entformen ist der Pressling relativ feucht und nur wenig stabil. Der Pressling wird getrocknet (Umluftofen, Durchströmungstrockner, Mikrowelle u. a.) bei 105° C. Die Trockenzeit richtet sich nach der Dicke und Größe des Elementes. Vorteilhaft ist, wenn die Trocknung in mehreren Stufen erfolgt, d. h. mit Zwischenabkühlung. Die Endform und Dichte ist erreicht, wenn keine Masseunterschiede zwischen den Trocknungsschritten mehr auftreten.

Nach der Trocknung und einer Abkühl- bzw. Lagerzeit von mindestens 24 h, d. h. das Bindemittel ist vollständig vernetzt und gehärtet, erfolgt eine augenscheinliche Bewertung der Formkörper bezüglich der Oberflächenbeschaffenheit, Formabweichung und ggf. Restfeuchte/Schimmelbefall sowie ein Test der Festigkeit durch einen Biegeversuch mit der Hand. Baumschutzmanschetten werden an den als Kerbe sichtbaren Falzlinien gefaltet (Funktionsnachweis).

5.4 Ergebnisse aus den experimentellen Untersuchungen

Grundsätzlich konnten nach der gewählten Technologie haltbare Baumschutzelemente hergestellt werden, deren Anwendbarkeit durch einen Test im Freiland nachgewiesen wurde.

Die folgenden Abbildungen zeigen eine Auswahl der hergestellten Materialproben, Baumschutzscheiben und -manschetten.

5.4.1 Materialproben

- *Variation der Herstellungsparameter*



Probe A (5 min, 0,24 MPa, 2 min)

Quellzeit zu kurz, Bindemittel nicht vollständig aufgenommen, Oberfläche schief und uneben, Halme stehen ab

Probe D (20 min, 0,24 MPa, 2 min)

gute Oberflächenqualität und Festigkeit durch längeres Quellen



Probe E (20 min, 0,24 MPa, 2,5 min)



Probe H (20 min, 0,24 MPa, 0,5 min)

keine gravierenden Unterschiede bei Verlängerung/Verkürzung der Presszeit,
 Probe E etwas fester bzw. starrer als Probe H



Probe J (20 min, 0,048 MPa, 2 min)

sehr locker, Zusammenhalt zwischen den Halmen noch vorhanden, unebene Oberfläche



Probe 6 (30 min, 0,24 MPa, 3 min)

sehr fest, starr, wenig elastisch
 Quellzeit, Pressdruck, -zeit könnten verringert werden



Probe L (20 min, 0,16 MPa, 2 min)

Verhältnis Biomasse : Bindemittel 1 : 0,5
 (75 %Wasser im Bindemittel)

sehr locker durch geringen Bindemittelanteil



Probe K (20 min, 0,16 MPa, 2 min) Verhältnis

Biomasse : Bindemittel 1 : 1 (75 %Wasser im Bindemittel)

gute Festigkeit, kein Unterschied zu Proben mit 68 % Wasser im Bindemittel

Abbildung 5-10: Probekörper (Pflegeschnitt „Werdau“) mit unterschiedlichen Verfahrensparametern hergestellt; Werte unter den Bildern (Quellzeit, Pressdruck, Presszeit)

Die Eigenschaften der hergestellten Proben aus der gleichen Biomasse lassen sich durch die Veränderung der Verfahrensbedingungen beeinflussen, Abbildung 5-10. Unzureichende Festigkeiten wurden bei zu kurzer Quellzeit (vgl. Probe A), bei zu niedrigem Pressdruck (Probe J) sowie bei zu geringem Bindemittelanteil (Probe L) festgestellt. Dagegen hat die Presszeit keinen entscheidenden Einfluss auf die Festigkeit der Probe.

- **Variation der Zusammensetzung**

Mit den aus den vorab beschriebenen Versuchen als optimal ermittelten Herstellungsparametern (Quellzeit 20 min, Pressdruck 0,24 MPa, Presszeit 2 min, 68 % Wasser im Bindemittel) wurden nun weitere Proben mit unterschiedlicher Biomassezusammensetzung gefertigt, Abbildung 5-11. Bis Probe M wurde ein Verhältnis Biomasse : Bindemittel von 1 : 1 eingehalten. Tendenziell sind Proben mit höherem Holzanteil weniger biegsam und erfordern eine Erhöhung des Bindemittelanteils (Holz nimmt mehr Bindemittel auf als Gras). Die Zugabe von Fasern (Hanf bzw. Flachs) wirkt festigkeits- und steifigkeitserhöhend. Schilfgras konnte wegen der kleinen Abmaße der Probekörper-Pressform nur im gehäckselten Zustand verarbeitet werden, deshalb wurden nur unzureichende Festigkeiten erreicht (brüchig, Halmabschnitte fallen von der Oberfläche ab).



Probe 23 (Werdau : Esche = 1 : 4, jeweils gehäckselte)

höhere Einwaagemenge erforderlich (durch hohen Holzanteil), fest, aber wenig biegsam



Probe 16 (Schilfgras, gehäckselte)

brüchig, zerfällt bei Biegebelastung



Probe 19 (Werdau : Hackgut = 1 : 1)

gute Qualität, aber z. T. unregelmäßige Verteilung der Hackschnitzel



Probe 12 (Werdau : Weide = 1 : 1)

gute Qualität



Probe 11 (Werdau : Hanf = 1 : 1)
sehr fest, starr



Probe M (Verhältnis Biomasse : Bindemittel = 1 : 0,75; Werdau : Holunder : Esche : Weide : Hackgut = 1 : 1 : 1 : 1 : 1;)
sehr locker, beim Biegetest fallen Partikel ab
wahrscheinlich zu wenig Bindemittel bei diesem hohen Holzanteil

Abbildung 5-11: Probekörper mit unterschiedlicher Materialzusammensetzung (Herstellungsparameter: Quellzeit 20 min, Pressdruck 0,24 MPa, Presszeit 2 min, 68 % Wasser im Bindemittel)

- **Struktur**

Von einigen ausgewählten Proben wurden lichtmikroskopische Aufnahmen angefertigt, um stoffliche Verbindungen und Strukturen darzustellen, Abbildungen 5-12 bis 5-17. (Die Bildausschnitte sind im Original jeweils 3 x 4 mm groß.)

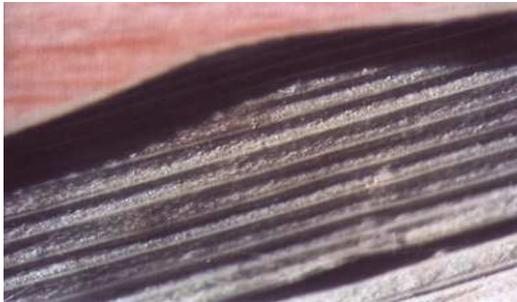


Abbildung 5-12: Schilfgras-Halm



Abbildung 5-13: Schilfgras-Halm mit GIVUL MR überzogen



Abbildung 5-14: Probe C (Heu)



Abbildung 5-16: Probe 10 (Heu/Hanf)



Abbildung 5-15: Probe 23 (Heu/Esche)



Abbildung 5-17: Probe 22 (Heu/Holunder)

Deutlich ist auf den Proben die Vernetzung der einzelnen Halme miteinander oder mit Hackschnitzeln zu erkennen. Das Bindemittel bzw. der Naturkautschuk legt sich um die Halmoberfläche und bildet eine Netzstruktur ähnlich einem räumlichen festen Spinnennetz aus, die so die biogenen Bestandteile in ihrer Lage fixiert. Durch diese Netzstruktur werden die Bestandteile auf Abstand gehalten, die Elemente bleiben dauerhaft elastisch und die Wasser- und Luftdurchlässigkeit wird gewährleistet.

- **Wasseraufnahme**

Eine Auswahl der hergestellten Materialproben wurde mit Wasser besprüht bzw. in Wasser getaucht, um die Wasseraufnahme zu beurteilen mit dem Hinblick eines späteren Freilandensatzes.



Abbildung 5-18: Probe 8 (Heu) nach kurzzeitiger Lagerung im Wasser



Abbildung 5-19: Probe 16 (Schilfgras) nach kurzzeitiger Lagerung im Wasser

Die Proben haben keine nennenswerte Menge an Wasser aufgenommen (keine Wasserspeicherung) und sich nur geringfügig in ihrer Form verändert. Selbst die wenig stabile Probe 16 (Schilfgrashäcksel) ist nicht zerfallen. Die Proben waren nach 24 h wieder getrocknet im Ausgangszustand, d. h. durch die Wassereinwirkung sind augenscheinlich keine Veränderungen eingetreten.

5.4.2 Baumscheiben



Werdau/Rudelswalde unzerkleinert



Werdau/Rudelswalde unzerkleinert und Hackgut im Verhältnis 1 : 1



Werdau/Rudelswalde unzerkleinert und Heckenschnitt (Weide, Holunder, Esche, Hackgut) im Verhältnis 1 : 1



Werdau/Rudelswalde unzerkleinert und Schilfgras im Verhältnis 1 : 1



Schäben mit Weidenästen zur Stabilisierung (Detail) Gras mit Anteil Hanffasern (Detail)



Gras : Weide : Esche (1 : 0,5 : 0,5) – Detail Gras : Kleie (1 : 1) – Detail

Abbildung 5-20: Baumscheiben mit unterschiedlicher Zusammensetzung (Auswahl)

Von jeder Zusammensetzungsvariante wurden mehrere Baumscheiben hergestellt.

Alle in der Abbildung 5-20 dargestellten Baumscheiben hatten eine für den Transport und die Auslegung ausreichende Festigkeit, die Dichte der Proben lag um $0,2 \text{ g/cm}^3$. Alle Proben ließen sich ohne Probleme mit der Bandsäge sägen (Montageschlitz).

Die gezeigten Proben wurden auf verschiedenen Standorten zum Test der Eigenschaften unter Freilandbedingungen ausgelegt.

Im Ergebnis der Versuchsreihen zur Herstellung von Baumschutzscheiben sind folgende Tendenzen erkennbar:

- Im Gegensatz zu holzartiger Biomasse wird eine geringere Einwaage an Halmgut pro Formkörper benötigt, bedingt durch die geringere (Roh-)Dichte des Halmgutes, Abbildung 5-21. Außerdem sind durch das Füllvolumen der Pressform der Einwaagemenge Grenzen gesetzt. Gutarten mit einer höheren Schüttdichte wie Holz (Heckenschnitt), Flachsschäben oder Kleie tragen zu einer Erhöhung der Einfüllmenge bei im Vergleich zur Verwendung von grasartiger Biomasse (Landschaftspflegeheu, Schilfgras), bezogen auf ein Element der gleichen Höhe.

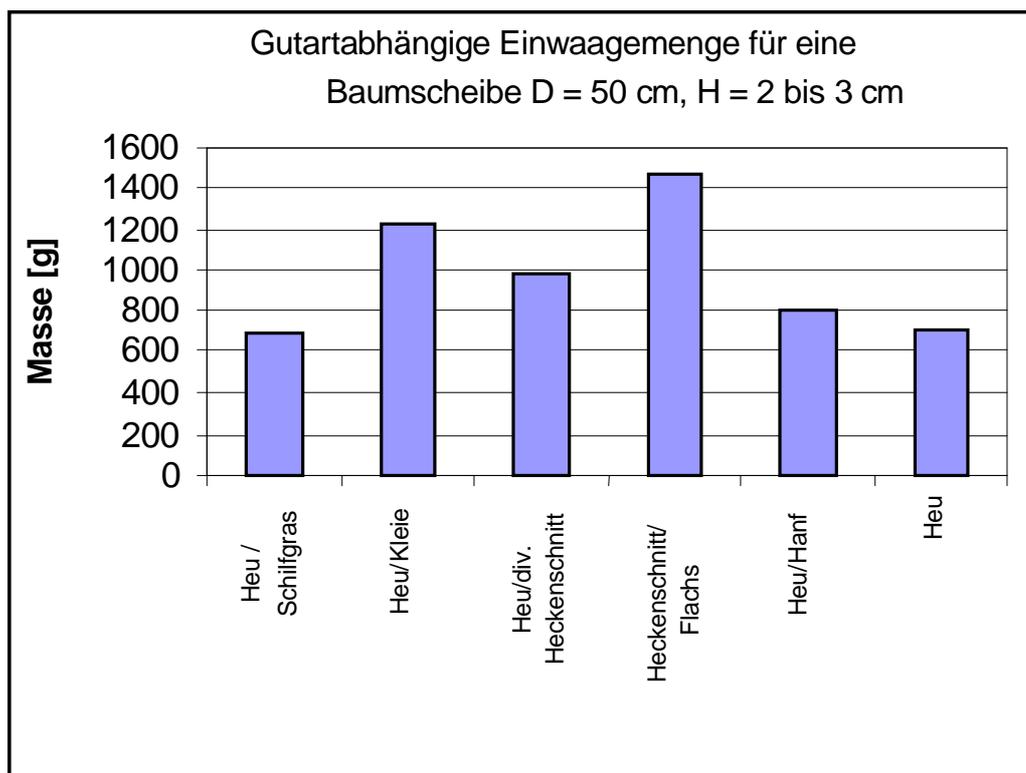


Abbildung 5-21: Gesamt-Einwaagemengen für eine Baumschutzscheibe mit einem Biomasse- und Bindemittelanteil von jeweils 50 %

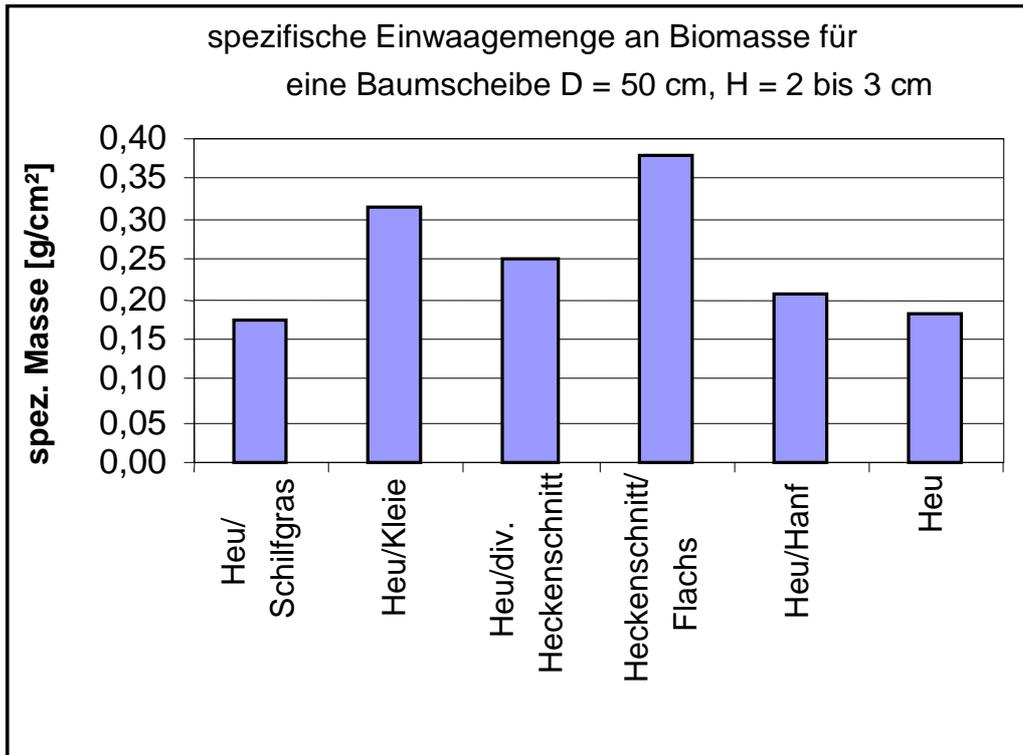


Abbildung 5-22: spezifische Einwaagemenge an Biomasse für eine Baumschutzscheibe

- Als Richtwert für ein Element mit einer Endhöhe von 2 bis 3 cm kann eine **spezifische Einwaage an Biomasse von 0,18 bis 0,38 g/cm²** bezogen auf die Grundfläche des Elementes angenommen werden (abhängig von der Gutart, Abbildung 5-22). Bei der Verwendung eines höheren Anteils an langhalmigem Gut verringert sich die spezifische Einwaage, bei einem höheren Anteil holzartigem Gut (Heckenschnitt) erhöht sie sich. Demnach ist für eine Baumscheibe D = 50 cm eine Halmguteinwaage von 340 g oder eine Einwaage von Halmgut-Heckenschnitt-Gemisch von 600 bis 700 g erforderlich.
- Die Zugabe von Bindemittel sollte das Verhältnis **Biomasse : Bindemittel = 1 : 1** nicht überschreiten, d. h. es darf höchstens soviel Bindemittel wie Biomasse verwendet werden (massebezogen), sonst wird überschüssige Flüssigkeit während des Pressens aus der Form gedrückt. Da das Halmgut im Vergleich zu Holz weniger Flüssigkeit aufnimmt, ist dieses Verhältnis als obere Grenze anzusehen, selbst bei einem Biomasse-Bindemittel-Verhältnis von 1 : 0,5 wurde noch ein ausreichend fester Formkörper hergestellt. Bei bestimmten Gutarten oder Gutartanteilen, wie feuchter Heckenschnitt (Weide, Esche) kann die Verringerung der Bindemittelzugabe auf 1 : 0,75 erfolgen, da bei diesen Proben während des Pressens viel Bindemittel austrat.
- Der **Wasseranteil im Bindemittel** sollte zwischen **68 % und 75 %** liegen, bei beiden Versuchseinstellungen wurde an den Probekörpern nahezu keine Unterschiede bezüglich der Festigkeit festgestellt. Das Maximum an Wasser (bzw. das Minimum an Kautschuk) ist weiter-

hin vom Abbau bzw. der Zersetzung der Baumscheibe nach der Auslegung abhängig und kann erst nach den Freilandtests endgültig festgelegt werden.

- Die Verarbeitung zu Baumschutzelementen gelang mit allen verwendeten Gutarten, wobei keine Probekörper aus 100 % Holz (Heckenschnitt) hergestellt wurden. Die nach ersten Erkenntnissen vorteilhafteste Struktur (porös, gut luftdurchlässig) und beste Festigkeit wurde bei der Verarbeitung von einem **hohen Anteil an langhalmigem unzerkleinertem Gut** (Gras, z. T. auch Schilfgras) erreicht. Das Langgut bildet zusammen mit dem gehärteten Bindemittel ein „Grundgerüst“, in das die kurzen Holzabschnitte eingebunden werden und für die Struktur und Festigkeit sorgen. Während die Verarbeitung von reinem, zerkleinertem Gut (Korngröße 20 mm, sowohl Halme als auch Holz) nicht zu empfehlen ist (starre unelastische Körper, keine Lufteinschlüsse) trägt die Zugabe von nur 20 % Langgut zu einer wesentlichen Erhöhung der Festigkeit bei.
- Vor dem eigentlichen Pressvorgang muss das Bindemittel mit allen Halm- bzw. Holzoberflächen in Kontakt kommen. Das wird durch eine **Quellzeit** von optimal **10 bis 15 min** erreicht, in der das Gut mehrmals gewendet und gemischt werden sollte. Bei geringerer Quellzeit entstehen zwar auch feste Körper, eine geringere Haltbarkeit (Freiland) ist jedoch nicht auszuschließen.
- Der **Pressdruck** steht in direktem Bezug zur erhaltenen Enddichte des Körpers, d. h. je höher der Pressdruck, um so dichter und luftundurchlässiger der Körper. Da sofort nach der Entlastung eine Rückdehnung (Dichteverringern) einsetzt, sollte der Pressdruck nicht zu gering sein, d. h. nicht unter 0,08 MPa liegen. Zu hoher Druck dagegen bewirkt ein Auspressen des Bindemittels. Gute Ergebnisse wurden mit Drücken zwischen **0,1 und 0,24 MPa** erreicht, wobei Untersuchungen zur Optimierung noch anstehen.
- Die Einwirkungszeit des Druckes, die **Presszeit**, sollte **1 bis 2 min** betragen, in dieser Zeit kann das Bindemittel vollständig vernetzen. Bei längerer Presszeit wird das Bindemittel herausgedrückt, der Körper verliert seine Elastizität und hat eine geringere Festigkeit.
- Nach dem Pressen ist die Baumscheibe instabil und sollte keinen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt werden. Die endgültige Fixierung erfolgt bei der Trocknung, wobei gute Ergebnisse mit der Verwendung eines Umluftofens und einer **Trockenzeit von 20 bis 30 min bei 105° C** erzielt wurden. Die längeren Trockenzeiten beziehen sich auf die Verarbeitung von Halmgut und Holz im Gemisch.

5.4.3 Baumschutzmanschetten

Im Gegensatz zu den Baumscheiben wird die Außenschicht der Baumschutzmanschetten durch ein Jutegewebe fixiert und verfestigt. Gleichzeitig werden Befestigungselemente angebracht, im Laborversuch zunächst Jute- bzw. Leinenfäden. Bei der Herstellung dieser Elemente werden durch die in das Werkzeug eingelegten scharfkantigen Metall-Stäbe die Knickstellen für die Montage vorgegeben. An diesen Stellen muss das Element biegsam sein, darf jedoch bei der Biegung nicht brechen.

Besonders dünne Gräser wurden durch die Metallstäbe zerschnitten, der Zusammenhalt war nur noch durch das Gewebe gegeben.

Demnach sind zur Herstellung von Baumschutzmanschetten nur gröbere, feste Biomassen geeignet, wie Holz (Heckenschnitt) oder Schilfgras oder Biomassegemische. Von der Verwendung von reinem Grasschnitt ist abzusehen. Da die Manschetten im Montagezustand vorwiegend einer axialen Belastung ausgesetzt sind (stehen senkrecht am Baum im Gegensatz zur belastungsfrei dem Boden liegenden Scheibe), ist eine „selbsttragende“ Konstruktion anzustreben. Diese Einsatzbedingungen verlangen z. B. bei der Verwendung von Gras bzw. Schilfgras eine Versteifung durch längsgerichtete Äste, die das Zusammenfallen verhindern. Holz sollte nicht zu fein zerkleinert werden, Abschnitte im Bereich 2 bis 5 cm sind ideal. Schilfgras wird ebenso unzerkleinert verwendet. Zur Stabilisierung kann das Schilfgras zickzackförmig gelegt werden.

Zusätzlich ist eine Änderung der Zusammensetzung durch die höheren Anforderungen an die Elastizität des Elementes (Knicken, Biegen beim Anlegen an den Baum) notwendig. Das Verhältnis Biomasse : Bindemittel sollte 1 : 1 bis 1 : 1,5 oder größer sein, abhängig von der Aufnahmefähigkeit der Biomassegutart. Entscheidend für die Festigkeit und Elastizität ist der Wasseranteil im Bindemittel, der auf max. 50 % verringert wird, d. h. der Anteil des Naturkautschuks steigt ebenfalls auf 50 %.

Die Richtwerte für die Einwaage pro Element liegen zwischen 120 bis 150 g (Schilfgras) und 300 g (Heckenschnitt, Holz). Die anderen Verfahrensparameter sind analog der Herstellung von Baumscheiben.



Abbildung 5-23: Baumschutzmanschette aus Heckenschnitt-Häckseln (20 mm) - Detail



Abbildung 5-24: Außenseite der Baumschutzmanschette mit Jute-Gewebe



Abbildung 5-25: Baumschutzmanschette aus Heckenschnitt-Häckseln (20 mm) - Montagezustand



Abbildung 5-26: Baumschutzmanschette aus Schilfgras - Montagezustand

Verschluss
mit Binde-
band



Abbildung 5-27: Baumschutzmanschette aus Schilfgras - Detail



Abbildung 5-28: Baumschutzmanschette aus Schilfgras - Draufsicht (Montagezustand)

5.5 Freilandtests der Baumschutzelemente



Abbildung 5-29: Baumschutzscheiben 14 Tage nach der Auslegung (zeitiges Frühjahr, regnerische Witterung)

Im Jahr 2002 wurden Baumschutzscheiben verschiedener Zusammensetzung (Tabelle 5-3) einem längeren Freilandtest unterzogen. Die Proben wurden auf normal-feuchten Wiesenböden an verschiedenen Orten (LPV Neukirchen, private Gärten) ohne besonderen Schutz vor Witterungseinflüssen, d. h. nicht in Heckennähe oder unter größeren Bäumen, ausgelegt.

Tabelle 5-3: Probenbeschreibung (Abbildung 5-20)

Probennr.	Zusammensetzung der Biomasse
25	100 % Gras unzerkleinert (Rudelswalde/Werdau)
27	50 % Gras unzerkleinert (Rudelswalde/Werdau), 50 % grob (20 mm) zerkleinerter Heckenschnitt (Weide, Esche, Holunder, Hackgut)
28	50 % Gras unzerkleinert (Rudelswalde/Werdau), 50 % Schilfgras



Abbildung 5-30: Baumscheiben nach einem Vierteljahr (Frühling/Frühsummer)



Abbildung 5-31: Baumscheiben nach einem Dreivierteljahr (Herbst)

Alle Baumscheiben blieben über den Testzeitraum erhalten und liegen gegenwärtig noch aus.

Zusammengefasst brachte die Freilandauslegung folgende Ergebnisse und Tendenzen:

- Die Baumscheiben haben aufgrund ihrer Struktur eine gute Wasserdurchlässigkeit und liegen fest auf dem Boden (kein Wegwehen). Der Schutz des Jungbaumes vor Konkurrenz wuchs wird ohne Einschränkungen des eigenen Wachstums gewährleistet.
- Nach ca. zwei Monaten beginnt der Abbauprozess des Naturkautschuks (Bindemittelbestandteil), wobei feucht-warme Witterung begünstigend wirkt (im Test: Fröhsummer). Der Abbauprozess würde im Winter weniger beschleunigt ablaufen. Durch das Aufbrechen eines Teils der Kautschukvernetzungen wird die Funktion und Haltbarkeit der Baumscheibe nicht beeinträchtigt, das Gut liegt weiterhin fest auf dem Boden. Eine Abnahme bzw. Entfernung der Scheibe ist nun mit größerem Aufwand verbunden (Auseinanderziehen der Halme), ist aber anwendungsbedingt nicht vorgesehen.

- Durch die Wasseraufnahme bei Regen quellen die Proben leicht, d. h. die Höhe der Scheiben nimmt zu. Die Baumscheiben trocknen an der Oberfläche relativ schnell, die Unterseite bleibt länger feucht. So könnten die Scheiben das Austrocknen des Bodens um den Jungbaum verhindern und Regenwasser länger zurückhalten. Durch die luftdurchlässige Struktur wird ein Feuchtestau vermieden.
- Die Vegetation unter der Baumscheibe wird nicht zerstört, sondern nur im Wachstum durch den verminderten Lichteinfall behindert. Nach ca. einem halben Jahr nach der Auslegung wachsen vereinzelt Grashalme durch die Scheiben durch, die vorwiegend aus Gras bestehen. Bei Schilfgras wurde kein Durchwachsen festgestellt.
- Insgesamt haben die Scheiben aus Gras-Holz-Gemisch und aus Schilfgras eine bessere Qualität und längere Haltbarkeit. Alle Proben wurden im Untersuchungszeitraum nicht durch mikrobiologische Prozesse abgebaut. Bei Schilfgras sind nahezu keine Verrottungserscheinungen festzustellen. Scheiben aus Gras lagen vor dem Winterbeginn nur noch als lose, um den Baumstamm gelegte Halme vor. Zukünftig sollte Landschaftspflegegras nur im Gemisch als Ausgangsmaterial verwendet werden.

Um eine Rückkopplung auf die Herstellung der Baumschutzelemente zu ziehen, haben sich die in den vorherigen Abschnitten genannten Verarbeitungsbedingungen bestätigt. Besonders geeignet zur Herstellung von Baumschutzelementen sind alle anfallenden Materialien, die gute Festigkeitseigenschaften haben und schlecht kompostierbar sind, d. h. Schilfgras, Heckenschnitt sowie Fasern und Faserabfälle (Flachs-, Hanfschäben) zur weiteren Stabilisierung. Der relativ geringe Anteil von Kautschuk im Bindemittel (ca. 25 bis 32 %) ist zur Herstellung von Baumscheiben durchaus ausreichend, da die Halme und Holzstücke auch ohne „Zwangsverbindung“ um den Baum liegen bleiben.

Baumschutzmanschetten erscheinen aus dieser Sicht problematischer, da der Stamm auf eine Länge von 50 cm geschützt werden muss und die Manschette nicht zusammenrutschen darf. An diesem Punkt besteht noch weiterer Forschungsbedarf zum Bindemittel, d. h. zur Zusammensetzung (Kautschukart) und zur Haltbarkeit bzw. Abbaudauer einschließlich Einflussgrößen auf die Abbauintensität.

5.6 Weitere Möglichkeiten zur stofflichen Nutzung

An dieser Stelle sollen kurz weitere Möglichkeiten zur stofflichen Nutzung der anfallenden Biomassen, vor allem im Garten- und Landschaftsbau, beschrieben werden. Ziel ist es, diese Varianten aufzuzeigen, d. h. was gemacht werden könnte, ohne eine ausführliche theoretische und experimentelle Betrachtung durchzuführen, die ohnehin aufgrund der begrenzten Projektlaufzeit nicht möglich war.

5.6.1 Nutzung als Mulch

Die Herstellung des als Mulch verwendbaren Faserstoffes (Abbildung 3-15) erfolgt mit dem in Abschnitt 3.4.2 beschriebenen Doppelschneckenextruder.

Über die zugegebene Wassermenge ist es möglich, die Fließeigenschaften des Faserstoffes zu bestimmen. So können auch spritzfähige Substrate, denen Grassamen zugegeben wurde, zur Hangbegrünung hergestellt werden.



Abbildung 5-32: Mulch nach der Ausbringung



Abbildung 5-33: Mulch nach 6 Monaten

In einer Testpflanzung wurde der Mulch auf den Boden aufgebracht, um die Pflanzen vor Konkurrenz wuchs zu schützen. Durch die lockere Mulchschüttung wird eine luft- und wasserdurchlässige Abdeckung des Bodens gewährleistet, die den Fremdpflanzen wuchs mindert.

Im Vergleich zu Rindenmulch verrottet Mulch aus überwiegend grasartigem Landschaftspflegeschnitt schneller, in Pflanzanlagen (Parks, Gärten) muss die Mulchschicht jährlich erneuert werden.

Durch die Vielfalt der in der Landschaftspflege anfallenden Biomasse ist es auch möglich, durch eine gezielte Mischung der Gutarten (Heckenschnitt, Gras) die Verrottungszeit zu verlängern. Durch den begrenzten Zeitrahmen des Projektes konnten hierzu keine umfassenden Untersuchungen durchgeführt werden, insbesondere Angaben zum Langzeitverhalten im Freien fehlen.

5.6.2 Herstellung von kompostierbaren Pflanzgefäßen

Nach den an der TU Chemnitz entwickelten Verfahren zur Herstellung von biologisch abbaubaren Polsterkörpern auf Basis von Getreidestroh bzw. -kleie [28][29][30] ist analog eine Herstellung von diversen Formkörpern (z. B. Pflanzgefäße, Floristik-Steckunterlagen) möglich.

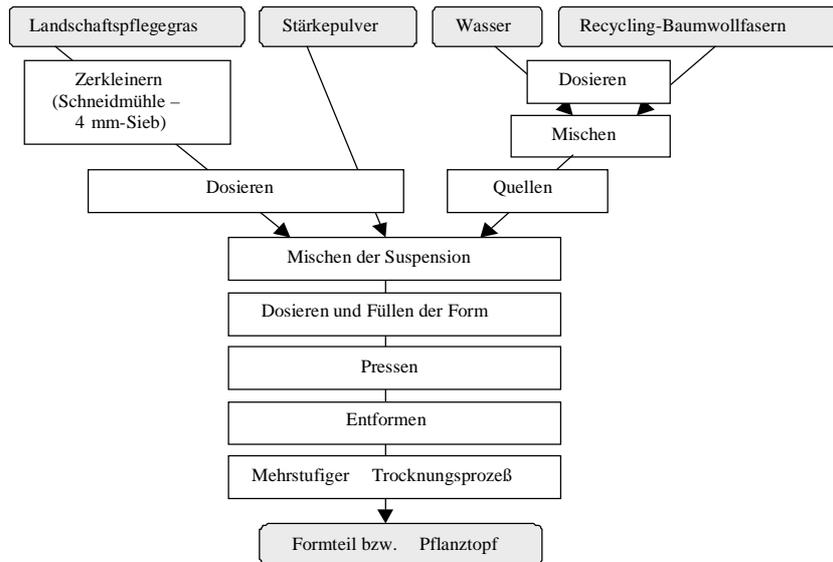


Abbildung 5-34: Verfahrensschritte zur Herstellung eines Pflanztopfes (aus der Suspension), analog [30]

Die Herstellung von Formkörpern stellt vor allem Anforderungen an die Gestaltung des Presswerkzeuges bzw. der Pressform und ist daher aufwendiger im Vergleich zur Herstellung von Baumschutzelementen. Nach eigenen Erfahrungen ist der Aufbau einer solchen Herstellungstechnologie (einschließlich der erforderlichen Anlagen und Geräte) wirtschaftlich derzeit nur sinnvoll, wenn die Arbeitskräfte im Rahmen einer ABM arbeiten und für den zwingend notwendigen Praxiseinsatz (Testreihen) ein Garten- oder Forstbaubetrieb gewonnen werden kann.

Zusätzlich besteht noch Forschungsbedarf hinsichtlich:

- der optimalen Gestaltung der Pressformen einschließlich der Abgrenzung der möglichen Geometrien und der möglichen Wandstärken (wichtig bei Pflanztöpfen bezüglich der Stabilität und Bruchsicherheit)
- der jeweiligen Verfahrensparameter, d. h. Misch- und Quellzeit, Pressdruck, Presszeit, Trocknungszeit u. a.
- der Zusammensetzung der Formkörper, d. h. des Stärke-, Faser- und Wasseranteiles, ggf. des Austausches dieser Komponenten oder des Hinzufügens weiterer Bindemittelkomponenten
- der Verträglichkeit des zum Einsatz kommenden Landschaftspflegegutes mit den Jungpflanzen, da bestimmte Pflanzenabsonderungen (Vergiftung!) oder zu lange Standzeiten (natürlicher Zersetzungsprozess der Pflanztöpfe setzt nicht ein) das Wachstum behindern können.
- der Anwendbarkeit in der Praxis (Transportfestigkeit, Haltbarkeit über den vorgegebenen Zeitraum, biologische Abbaubarkeit).

Die Realisierbarkeit der Herstellung von Formkörpern muss durch den LPV geprüft (Rahmenbedingungen, Gutbereitstellung, vorhandene Räumlichkeiten, Abnehmer usw.) und nach positiver Bewertung die Grundlagenuntersuchungen zur Technologie durch eine Forschungseinrichtung betreut werden.

6 Anwendungsmöglichkeiten im LPV Westsachsen e. V.

6.1 Anforderungen und Voraussetzungen an die eingesetzte Biomasse

In den vorherigen Abschnitten wurden Varianten zur Nutzung der auf Landschaftspflegeflächen anfallenden Biomassen vorgestellt und jeweils eine Möglichkeit der energetischen sowie stofflichen Nutzung näher untersucht. Erste, unabdingbare Voraussetzung an die Umsetzung dieser Varianten ist das Vorliegen der Biomasse in einer entsprechenden Qualität.

Unter diesen **Qualitätskriterien** können zusammengefasst werden:

- ein für die jeweilige Weiterverarbeitung ausreichender **Trocknungsgrad**:
Bei einer Weiterverarbeitung mit dem Doppelschneckenextruder darf die maximale Feuchte im Bereich zwischen 30 und 40 % liegen. Kollergangpressen zur Pelletherstellung erfordern Gutsfeuchten unter 15 %. Für die Herstellung von Baumschutzelementen sollte die Feuchte 25 bis 30 % ebenfalls nicht überschreiten.

Damit sind entweder späte Erntetermine (wenn die natürliche Feuchte ihren Minimalwert erreicht hat) oder entsprechende Guttrocknung erforderlich.
- stabiler **Zustand der Biomasse**:
Die Biomasse darf nicht von Pilzen befallen sein, natürliche Zersetzungsprozesse, wie z. B. bei längerer Lagerung ungeschützt im Freien, dürfen noch nicht eingesetzt haben. Demnach ist für eine witterungsgeschützte Lagerung zu sorgen, evtl. im Freien unter einem Schauer oder in einem Gebäude (Scheune).
- **Halmlänge bzw. Hackschnitzelgröße** entsprechend des Weiterverarbeitungsverfahrens
Die Biomasse muss abhängig von der Weiterverarbeitung angeliefert werden, d. h. vor allem bei Heckenschnitt muss schon durch die Pflorgetechnik ein entsprechender Zerkleinerungsgrad erreicht werden. Die nachträgliche Zerkleinerung von größeren Ästen erfordert erhöhten Verfahrensaufwand. Bei Halmgut sind die Anforderungen an die Halmlänge weiter gefasst, die Zerkleinerung erfolgt erst in der unmittelbaren Verarbeitungsstufe (Hammermühle, Extruder bzw. unzerkleinerte Verarbeitung).
- **Zusammensetzung** der Biomasse
Die Biomasse liegt im Anfallzustand als heterogenes Gemisch mit einer großen Artenvielfalt vor (Holz, Halmgut). Bei den vorgestellten Verfahren stellen die unterschiedlichen Gutarten bzw. –gemische kein Problem dar, jedoch dürfen in der Biomasse keine Fremdstoffe, wie unverhältnismäßig hoher Erd- und Wurzelanteil, Steine, Sand, Kunststoffabfälle und keine überproportional großen Holzstücke enthalten sein.

6.2 Logistik

Als Hauptaugenmerk für die Weiternutzung der Biomasse (neben der Qualität) wird die Flächenzugänglichkeit, d. h. das Vorhandensein von befahrbaren Wegen angesehen. Nach diesem Kriterium sowie der Bodenbeschaffenheit wurden die zur Nutzung des Gutes empfohlenen Flächen (Tabelle 2-3) ausgewählt.

Grundsätzlich kann eine Einteilung der Flächen in das Gebiet „Neukirchen“ und das Gebiet „Werdau“ erfolgen, wobei Beiersdorf „Werdau“ zugeordnet wird.

- **Gebiet Neukirchen**

Der Großteil der ausgewählten Flächen des Untersuchungsgebietes (Tabelle) liegt im Gebiet um Neukirchen/Crimmitschau, damit kann der Sitz des LPV Westsachsen e. V. (historische Mühle mit mehreren Nebengebäuden) als zentrale Sammel- und Verwertungsstelle genutzt werden. Die Nebengebäude bieten sich in den Untergeschossen neben dem Unterstellen der Ernte- und Lade-technik zur Aufstellung von Anlagen zur Verwertung der Biomasse an. Die Dach- und Obergeschosse können zur Lagerung und z. T. Nachtrocknung der Biomasse genutzt werden. Der Transport der Biomasse von den Flächen zur Sammelstellen kann mit einem Kleinladewagen (oder PKW-Hänger) erfolgen. Da die Entfernungen zwischen den Flächen eher gering sind, ist eine vorherige Verdichtung zu Ballen nicht (unbedingt) erforderlich.

- **Gebiet Werdau**

Die Fläche Werdau – Kranzberggrund besteht aus einer (vorwiegend) ebenen Fläche mit drei Teichen und einigen Büschen/Hecken (kein Wald!). Von der Lage der Fläche her ist es möglich, das Gut breit liegend auf der Fläche zu trocknen. Auf der Fläche, z. B. an den Hecken- oder Gebüschrändern könnte aus Holz ein einfacher Schauer errichtet werden, in dem das Gut vor Regen und Schnee geschützt bis zur Verwertung gelagert werden kann. Diese Sammelstelle könnte dann ebenfalls für die vergleichsweise geringe Gutmenge aus Beiersdorf genutzt werden. Nach dem Erreichen des erforderlichen Trocknungsgrades bzw. nach Bedarf kann das Gut von Werdau per Ladewagen zur zentralen Sammelstelle nach Neukirchen gefahren werden.

Wegen der Minimierung des Transportvolumens wäre das Einbeziehen einer Klein-Ballenpresse (in Lohnarbeit) sinnvoll.

Durch die Lage der ausgewählten Flächen und die Straßennähe kann das Gut mit einem Ladewagen problemlos transportiert werden.

6.3 Verarbeitungslinien

In welchem Umfang die im Bericht aufgezeigten Vorschläge realisiert werden können, hängt zunächst von den personellen Kapazitäten des LPV ab. Im folgenden sollen die Vor- und Nachteile der energetischen und stofflichen Biomassenutzung dargestellt werden.

- **Herstellung von Brennstoffpellets**

Vorteile

- Einsatz der hergestellten Pellets als Brennstoff im LPV, Einsparung von Heizkosten
- Verkauf (Wertschöpfung!) von Pellets
- perspektivisch Möglichkeit der Biomasseannahme (Entsorgungserlös) von Pflegebetrieben (z. B. Heckenschnitt aus der Straßenrand- und Bankettpflege)
- verbesserte Homogenisierung und Zerkleinerung des Gutes durch Faserstoffextruder, verbesserte Pelletqualität

Nachteile

- Investitionen für eine Kollergangpresse zu hoch und unrentabel (mangelnde Auslastung durch zu geringe Biomasse mengen)
- Kosten für Lohnpelletierung
- Investitionen in Extruder und neues Pressverfahren, Forschungsbedarf

Die „einfachste“ Variante der Nutzung von Biomassen aus der Landschaftspflege stellt die Herstellung von Brennstoffpellets in der Form einer Lohnpelletierung in einem Trockenwerk dar, Voraussetzung dafür ist allerdings das Vorhandensein einer geringen Gutsfeuchte. Bei dem gegenwärtig hohen Ölpreisniveau sind Pelletierkosten von 100 bis 120 EUR/t vertretbar, wenn zusätzlich noch Transportkosten bis zu 40 EUR/t anfallen. Mit diesem Ansatz könnte ein dem Heizöl vergleichbarer Wärmepreis erzielt werden, unter der Voraussetzung eines entsprechend hohen Kesselwirkungsgrades.

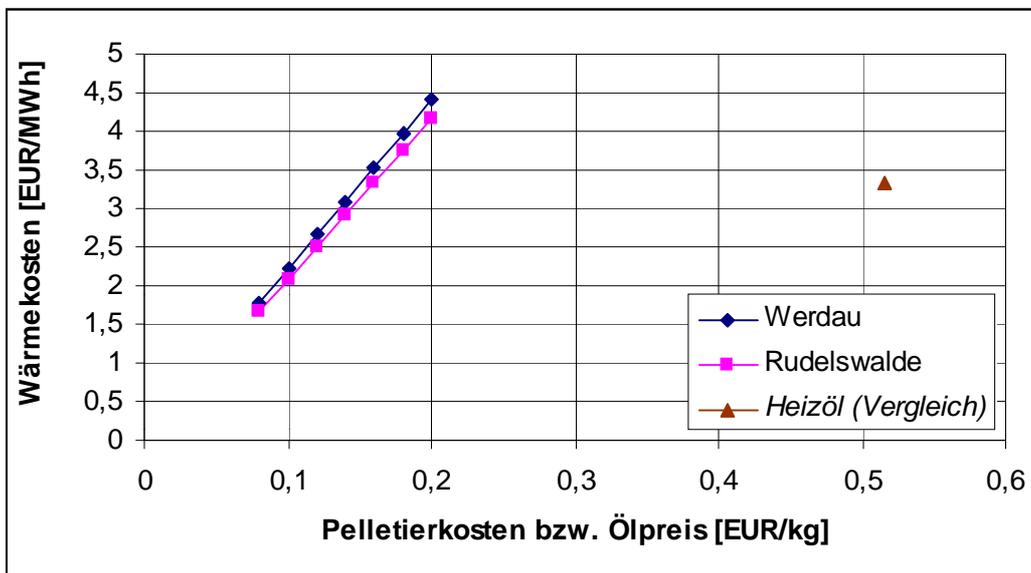


Abbildung 6-1: Wärmekosten im Vergleich

Das neuentwickelte Aufbereitungs- und Pressverfahren bietet Vorteile gerade bei der Verarbeitung des inhomogenen Landschaftspflegegutes. Für den (einzelnen) LPV sind die erforderlichen Gesamtanlagen zu teuer und können durch die geringen Mengen nicht voll ausgelastet werden.

Perspektivisch wäre ein Zusammenschluss mehrerer LPV oder das Einbeziehen von Landwirten denkbar, denen dann eine Lohn-Pelletierung ihres Halmgutes für energetische Zwecke angeboten wird.

- **Herstellung von Baumschutzelementen**

Vorteile

- Einsatz der hergestellten Elemente direkt im LPV
- Schutz von Neupflanzungen
- Verkauf (Wertschöpfung!) an Forst- und Gartenbaubetriebe
- perspektivisch Schaffung von Arbeitsplätzen
- verschiedene Varianten der Elemente möglich, bedarfsgerechte Gestaltung (z. B. kleinere Elemente für Tomaten...)

Nachteile

- zunächst Investitionen für Presse und Formen erforderlich
- Forschungsbedarf bzgl. Praxiseinsatz
- Naturkautschuk-Zukauf
- Personalaufwand

Die Kosten für die Herstellung einer Baumschutzscheibe würden sich auf 1,16 EUR bzw. einer –manschette auf 1,28 EUR belaufen. Die Kosten wurden überschlägig analog [22] ermittelt und basieren auf folgenden Einzelpunkten (jeweils pro Element):

- Materialeinsatz: Kautschuk (ca. 100 bis 110 g/Element) ca. 0,31 EUR, Wasser ca. 0,003 EUR, Gewebe (nur bei Manschette) ca. 0,12 EUR
- (Press-)Energie- und Trocknungskosten (ca. 20 min Trocknung im Umluftofen): 0,30 EUR
- Lohnkosten: 0,55 EUR

Kosten für die Biomasse werden nicht berücksichtigt. Die Kosten können sich bei einer Veränderung der Trocknungstechnologie (Mikrowelleneinsatz) verringern. Der Kautschukpreis verringert sich ebenfalls mit der Abnahme größerer Mengen.

Im Vergleich mit anderen angebotenen Baumschutzelementen sind die Elemente aus Landschaftspflegeaufwüchsen kostengünstiger (unter der Voraussetzung der Dauernutzung der Technik ohne Investitionsabschreibung).

Die Herstellung von Baumschutzelementen ist aus gegenwärtiger Sicht nur über eine ABM sinnvoll, um den (noch) relativ hohen manuellen Anteil in der Herstellungstechnologie zu kompensieren. Zukünftig, d. h. bei Interesse von Forst- und Gartenbaubetrieben könnte die Herstellung von Baumschutzelementen zur Schaffung eines Arbeitsplatzes beitragen.

6.4 Technik

Die gegenwärtig im LPV vorhandene Pflege- und Erntetechnik ist mit Hinblick auf eine mögliche Verwertung des als unzureichend einzustufen.

Zunächst, um eine rationellere Ernte und Bergung des Gutes zu gewährleisten, müsste ein Hangmäher (Zweiachser) mit Ladewagen als Kombigerät angeschafft werden, der auf größeren Flächen sowohl zum Mähen des Gutes wie auch zum Transport genutzt werden kann. Für kleinere „schwierige“ Flächen mit dichtem Baumbestand kann die vorhandene Motorsense oder ein Gebirgsmäher mit kleiner Schnittbreite genutzt werden.

Für die Aufbereitung bzw. Verarbeitung des Gutes hat sich der Doppelschneckenextruder bewährt, da Holz und Halmgut gleichzeitig verarbeitet werden kann. Das Gut wird homogenisiert und zerkleinert (zerfasert), wobei auch Gut mit höheren Feuchtegehalten eingesetzt werden kann. Der mit dem Doppelschneckenextruder hergestellte Faserstoff dient als Ausgangsmaterial für Pellets, Mulch oder Formelemente.

Des Weiteren könnte Technik zur Herstellung von Baumschutzelementen u. a. Formkörpern angeschafft werden, wenn im LPV dauerhaft ABM realisiert werden. Diese Technik kann z. B. im Rahmen eines „Demonstrationszentrums“ für nachwachsende Rohstoffe zum Einsatz kommen und Schüler u. a. an die Problematik der Verwertung nachwachsender Rohstoffe heranführen. In diesem Zusammenhang könnte auch ein Demonstrationskessel zum Heizen mit den „eigenen“ Pellets aufgestellt werden.

Insgesamt richten sich die Investitionen nach dem im LPV vorhandenen Mitteln und nach potentiellen Partnern, die ein im größeren Rahmen angelegtes Konzept zur Biomassennutzung mit unterstützen würden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Gesamtzielstellung des Forschungsvorhabens bestand darin, Verwertungsmöglichkeiten für die anfallende Biomasse aus der Landschaftspflege aufzuzeigen. Einerseits besteht für die den LPV zugeordneten Flächen eine Pflege- bzw. Beräumungspflicht, andererseits liegt aus u. a. naturschutzrechtlichen Gründen der Mähtermin relativ spät im Jahr, so dass schon der Reifezustand der Pflanzen (meist Halmgüter) eine Nutzung als Tierfutter ausschließt.

Zunächst wurde eine Charakterisierung der Flächen und der darauf anfallenden Biomasse sowie eine Potentialanalyse durchgeführt. Als größtes Problem bei der Nutzung von Biomasse aus der Landschaftspflege stellt sich, neben der eingeschränkten Einsetzbarkeit von Mähtechnik (z. T.: feuchte Böden), die schlechte Erreichbarkeit der Flächen mit Fahrzeugen dar. Bedingt durch die Lage der Flächen ist oftmals ein rationeller Gutabtransport nicht möglich. So bleiben zur Nutzung nur rund 50 % (ca. 13 300 m³ vorwiegend Gras) der insgesamt anfallenden Biomassemenge übrig, d. h. nur rund 40 % der Flächen, die in der Betreuung des LPV Westsachsen e. V. stehen. Diese Flächen sind Grasflächen bzw. Streuobstwiesen, die an (befestigten) Wegen oder Straßen liegen mit nicht zu großer Hangneigung. Die Nutzung der Aufwüchse von Feuchtwiesen, Teichrändern,

Sumpfböden oder stark verkrauteten Waldböden kann wegen des mangelnden Technikeinsatzes nahezu ausgeschlossen werden. Damit ergibt sich für den Biomasseanfall eine Aufteilung in ein Gebiet um Neukirchen, wo z. B. die Gebäude des LPV als Sammel- und Verwertungsstelle dienen könnten und ein Gebiet in Werdau, wo das Gut in einem neu zu errichtenden Schuppen oder Schauer bis zur Verarbeitung witterungsgeschützt gelagert werden kann.

Als Hauptlinien der Verwertung des Landschaftspflegeschnittes bleiben die Herstellung von Presslingen zur energetischen Nutzung und von diversen Formkörpern, wie z. B. Baumschutzelemente für die Forstwirtschaft oder die Landschaftspflege selbst oder Töpfe für den Gartenbau. Die Verwertungslinien zur Herstellung von Pellets und Baumschutzelementen wurden näher untersucht.

Als wichtigste Voraussetzung für eine Verwertung des anfallenden Gutes ist dessen Bereitstellung in ausreichender Qualität, d. h. verfahrensabhängig muss ein bestimmter Trocknungsgrad vorhanden und die Biomasse darf nicht mit Schimmelpilzen befallen sein.

Die Ergebnisse zur energetischen Nutzung zeigen, dass die Herstellung von Pellets auf herkömmlichen Kollergangpressen möglich ist, unter der Voraussetzung eines ausreichenden Trocknungsgrades (Gutsfeuchte 13 bis 15 %). Grenzen des Einsatzes von Kollergangpressen sind bei der Verarbeitung von Gut mit erhöhtem Anteil an verholzten Bestandteilen (dicke Stängel, Heckenschnitt) und Schilfgras bzw. Faserpflanzen (Brennnesseln) zu sehen. Bei diesen Gutarten wird außerdem die für die Verarbeitung erforderliche Zerkleinerung mit einer Hammermühle (oftmals Bestandteil einer Anlage in Trockenwerken) nicht mehr erreicht.

Das neu entwickelte zweistufige Aufbereitungs- und Pressverfahren eignet sich besonders für die in der Landschaftspflege anfallenden Biomassen heterogener Zusammensetzung. In einem Doppelschneckenextruder wird das Gut gemischt, zerkleinert und zu einem homogenen Faserstoff verarbeitet, der anschließend einer Profil-Hohlwalzenpresse zur Herstellung von Pellets zugeführt wird. Die Presse ist zudem modular aufgebaut, so dass problemlos eine Anpassung, z. B. der Presskanallänge, an unterschiedliche Gutarten erfolgen kann. Mit diesem Verfahrensprinzip ist die Verarbeitung feuchteren Gutes (bis 40 % Feuchte) möglich.

Die nach beiden Verfahren hergestellten Pellets ($D = 10 \text{ mm}$) haben Dichte zwischen $0,9$ und $1,1 \text{ g/cm}^3$, die Dichte lässt sich durch das Mischen von Gutarten (z. B. Zugabe von Heckenschnitt) noch erhöhen. Die ermittelten Abriebwerte liegen bei Kollergangpellets zwischen $7,5$ und $11,1 \%$ und bei Pellets (Profil-Hohlwalzenpresse) zwischen $4,5$ und 9% . Damit ist die Transportfähigkeit der Pellets gegeben.

Aus den durchgeführten Verbrennungsuntersuchungen geht hervor, dass die Pellets als Brennstoff geeignet sind und durch eine entsprechende Verfahrensführung (Zugabe von Sekundärluft) die simultane Unterschreitung der Grenzwerte nach TA Luft bei den Emissionsparametern (CO , NO_x , SO_2) erreicht werden kann.

Als Möglichkeit der stofflichen Nutzung wurde die Herstellung von Baumschutzelementen beschrieben. Nach der Beurteilung von Materialproben unterschiedlicher Zusammensetzung wurden die Technologieparameter zur Herstellung von Baumschutzscheiben $D = 50 \text{ cm}$ und Baumschutzmanschetten (Grundfläche $20 \times 50 \text{ cm}$) festgelegt. Die Biomasse wird im Verhältnis $1 : 1$ mit einem Bindemittel (70% Wasser und 30% Naturkautschuk für Scheiben, jeweils 50% Wasser und Natur-

kautschuk für Manschetten) gemischt, nach einer Quellzeit von 10 bis 15 min verpresst und anschließend zur Fixierung und Stabilisierung im Umluftofen 20 bis 30 min getrocknet. Die im Labormaßstab gefertigten Elemente weisen eine ausreichende Festigkeit und Stabilität auf. Die Eignung der Scheiben als Schutz von Jungbäumen vor Fremdwuchs wurde in einem Freilandtest nachgewiesen, der zur umfassenden Klärung der Haltbarkeitsdauer bzw. der biologischen Abbaubarkeit noch mindestens ein Jahr bzw. in einem Folgeprojekt fortgeführt werden muss.

Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass eine energetische wie auch stoffliche Nutzung der Aufwüchse von Landschaftspflegeflächen möglich ist, wobei wesentliche Hindernisse in der Charakteristik der Flächen liegen, d. h. in der mangelnden Möglichkeit der Gutberäumung z. B. aufgrund feuchter Böden und im Fehlen PKW-tauglicher Zufahrtswege. Diese Situation muss als gegeben hingenommen werden, da eine Veränderung dieser Bedingungen (z. B. Trockenlegung, Errichtung befestigter Wege) nicht mit dem Naturschutzrecht vereinbar wäre.

Für den LPV selbst bleibt als wirtschaftlichste Variante die Herstellung von Pellets aus den Aufwüchsen gut zugänglicher und rationell zu mähender Flächen, z. B. als Lohnpelletierung in einem Trockenwerk. Mit den Pellets könnten die Gebäude des LPV beheizt werden.

Varianten zur stofflichen Nutzung lohnen sich aus gegenwärtiger Sicht nur, wenn ein Teil des noch recht hohen Anteiles an manueller Arbeit durch eine ABM abgedeckt wird. Zudem sind noch Forschungsarbeiten erforderlich, um eine Maßstabsübertragung bis hin zur kleintechnischen Produktion durchzuführen.

Perspektivisch könnte mit Landwirten, in deren Bewirtschaftung ähnliche Restflächen (z. B. Hanglagen) stehen, und potentiellen Produkthanwendern (Gartenbau- und Forstwirtschaftsbetriebe) eine „Erzeugergemeinschaft“ gebildet werden, die sowohl einen Technikstützpunkt (Mäh- und Transporttechnik zum Verleih) wie auch Verarbeitungsmaschinen (z. B. Presse für Formkörper) umfasst. In diesem Rahmen wäre die Schaffung von ein bis zwei Arbeitsplätzen denkbar.

Gegenwärtig stehen gesetzliche Regelungen zur Zulassung von Halmgut als Regelbrennstoff sowie die Überarbeitung von Normen bezüglich der Brennstoffeigenschaften (z. B. Asche, Inhaltsstoffe, Festigkeit, Größenklassifizierung) noch aus [33][34]. Durch die zum Holz abweichenden Eigenschaften von Halmgut sind die angebotenen (Holz-)Kessel nicht geeignet, auch hier ist noch Forschungsbedarf vorhanden. Zudem wird bei den halmgutartigen Brennstoffen immer Getreidestroh im Vordergrund stehen, wegen des größeren Potentials und des ausgereiften Standes der Ernte-technik und Logistik. Im Vergleich zu Landschaftspflegeaufwüchsen liegen bei Getreidestroh die Eigenschaften, besonders die chemische Zusammensetzung, nicht in einem so großen Bereich und sie sind außerdem durch Düngung und Standort beeinflussbar. Die energetische Nutzung von Biomassen aus der Landschaftspflege wird daher nur eine zusätzliche Variante bleiben und auf spezielle Regionen zugeschnitten sein.

Literaturverzeichnis

- [1] BRANDT, H. E., PILLER, M., BOCHMANN, K.: Projektarbeiten und persönliche Mitteilung. LPV Westsachsen e. V., Neukirchen. 2000-2003
- [2] JEDICKE, E.: Praktische Landschaftspflege: Grundlagen und Maßnahmen. Stuttgart: Ulmer. 1993; ISBN 3-8001-4091-8
- [3] Firmenschrift OEHLER MASCHINEN, Windschläger Str. 105-107, D-77652 Offenburg-Windschläg, www.oehlermaschinen.de
- [4] Firmenschrift Aebi & Co. AG, Maschinenfabrik CH-3401 Burgdorf; www.aebi.com
- [5] CLAUß, B.: Beitrag zur Kompaktierung von unzerkleinertem Halmgut für die energetische Nutzung. Dissertation, TU Chemnitz, 2002
- [6] NENDEL, K., CLAUß, B., BÖTTGER, U. u.a.: Kopplung von Aufbereitung und energetischer Verwertung von Biomassen – Erhöhung der Wirtschaftlichkeit. Abschlußbericht, Chemnitz, Magdeburg, Radebeul 1999 (gefördert durch das BML – FKZ 95NR035-F)
- [7] NENDEL, K., CLAUß, B., LEHMANN, TH., HESSEL, TH.: Entwicklung eines kontinuierlichen hochproduktiven Aufbereitungs- und Kompaktierverfahrens für fasrige Rohstoffe. Abschlußbericht an die AiF (FKZ KA 0012601ASR0) Chemnitz 2002
- [8] DIALER, K. (Hrsg.): Grundzüge der Verfahrenstechnik und Reaktionstechnik. Carl Hanser Verlag, München, Wien 1984
- [9] SCHUBERT, H. ET AL: Mechanische Verfahrenstechnik I und II. VEB Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig 1979
- [10] STIEß, M.: Mechanische Verfahrenstechnik 1 und 2. Springer Verlag Berlin, Heidelberg 1992
- [11] HEIJFT, R.: Beitrag über den Einfluss ausgewählter technisch-technologischer Parameter auf den Pressvorgang von Futtermitteln. Dissertation, TU Dresden 1983
- [12] FRIEDRICH, W., ROHBOHM, K.-F.: Pressversuche mit Ligninsulfonat-Bindemitteln. Kraftfutter 53 (1970) 7, S. 344-349
- [13] BOSSEL, U. (Hrsg.): Brikettieren und Pelletieren von Biomasse. Tagung 8./9.3.83 Göttingen. SOLENTEC-Fachbuchvertrieb Adelebsen 1983
- [14] QUANDT, W.: Wirkung von Presshilfsmitteln auf die Festigkeit beim Kompaktieren von Strohkonzentratgemischen. Dissertation. Universität Rostock. 1983
- [15] SCHOLZ, V., FÜRLL, C.: Physikalisch-mechanische Eigenschaften von Strohpellets. agrartechnik 28 (1978) 6, S. 259-262
- [16] NENDEL, K., CLAUß, B., TEPPER, H.: Weiterentwicklung des Kollergangverfahrens zur Herstellung von Pellets für die energetische Nutzung. Abschlußbericht an das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, (FKZ FB3-36-4331.10/23/187-99) Chemnitz 2000
- [17] DIN 53466: Bestimmung des Füllfaktors, der Schüttdichte und der Stopfdichte von Formmassen. Beuth Verlag GmbH, Berlin 1984

- [18] DIN 51717: Prüfung fester Brennstoffe - Bestimmung der mechanischen Festigkeit von Steinkohlenkoks. Beuth Verlag GmbH, Berlin 1994
- [19] ASAE-Standard S269.4: Cubes, Pellets and Crumbles – Definitions and methods for determining density, durability and moisture content. dec.1991
- [20] HARTMANN, H.: Analyse und Bewertung der Systeme zur Hochdruckverdichtung von Halmgut. Reihe Gelbes Heft Nr. 60, Freising 1997
- [21] SCHOLZ, V.: Methoden zur Bestimmung der mechanischen Festigkeit von Futtermittelpellets. agrartechnik 26 (1976) 11, S. 515-517
- [22] NENDEL, K., TRINKS, R., BRANDT, H., SCHNEEVOIGT, U.: Entwicklung von biologisch abbaubaren Baumschutzelementen aus nachwachsenden Rohstoffen sowie deren Herstellungsverfahren. Abschlußbericht an das SMUL, Chemnitz 2002
- [23] ILLING-GÜNTHER, H., GLAWE, A., MÖHRING, U.: Wiederbegrünung umgestalteter Flächen mit Hilfe funktioneller Agrotexilien. In: TU Bergakademie Freiberg (Hrsg.). Freiburger Forschungshefte A866 „Stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen“ – Vorträge zur 9. Internationalen Tagung Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe 20./21.03.2002, S. 89-99
- [24] Datenblatt zu GIVUL MR unter www.kautschukgesellschaft.de/kautschuk/givul_mr.htm
- [25] ORTH, H.W.: Untersuchungen zur Hochdruckverdichtung von Stroh. Grundlagen der Landtechnik, Bd. 29 (1979) Nr. 2, S. 61/64
- [26] FRIEDRICH, W., ROHBOHM, K.-F.: Die Abriebfestigkeit von Pellets und ihre Abhängigkeit vom Pressprozess, insbesondere der Kühlung. Kraftfutter 51 (1968) 2, S. 59-64
- [27] FRIEDRICH, W., ROHBOHM, K.-F.: Bestimmung der Abriebkennzahl zur Charakterisierung der Pelletfestigkeit. Mühlen- und Mischfutter-Jahrbuch 89/90 (1978/1979) S. 162 - 170
- [28] ANSORGE, TH.: Beitrag zur Entwicklung von Herstellverfahren für ein stoßabsorbierendes Verpackungsmaterial auf Basis von Getreidekleie, Dissertation, TU Chemnitz, 1998
- [29] NENDEL, K., BÖTTE, J., CLAUß, B., ROLLE, TH. u.a.: Entwicklung und Herstellung von Verpackungsformteilen aus Getreidekleie. Abschlußbericht an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Chemnitz 2000
- [30] NENDEL, K., BRANDT, H., BÖTTGER, U.: Schaffung produktionstechnischer Voraussetzungen für die Verarbeitung von Mahlprodukten nachwachsender Rohstoffe, insbesondere Stroh zu Formelementen. Abschlußbericht. Chemnitz, 1999
- [31] Firmenschrift Reformwerke Bauer & Co. GmbH, A-4600 Wels, Haidestr. 40. www.reformwerke.at/pages/metrac-dm.html
- [32] Firmenschrift Rapid Technic AG, Ch-89853 Dietikon, www.rapid.ch
- [33] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hrsg.): Eigenschaften biogener Festbrennstoffe. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Band 17; Tagung am 07./08.11.2000 Stuttgart. Tagungsband
- [34] KTBL (Hrsg.): Energetische Nutzung von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen. Tagung am 12./13.02.2003 in Petersberg-Almendorf (bei Fulda), Tagungsband

Anlage:

Versuchsprotokolle und Datenblätter zu den Verbrennungsversuchen

Herstellung und Prüfung von Baumschutz aus Holz

Prof. Dr.-Ing. Klaus Nendel, R. Trinks, Dipl.-Ing. U. Schneevoigt

Pflanzenschutz, nachwachsende Rohstoffe, biologisch abbaubar, Altholzverwertung, Freilandtest

Zusammenfassung

Die bisher verfügbaren Baumschutzelemente zum Schutz gegen konkurrierende Wildpflanzen und Wildschäden erfüllen die gestellten Anforderungen nur unzureichend. So behindern sie die Zuführung von Regenwasser zum Wurzelbereich, sind teilweise nicht biologisch abbaubar und verunreinigen nach deren Ablösung vom zu schützenden Baum die Umwelt.

Zur Beseitigung der o. g. Nachteile werden völlig neue Baumschutzscheiben und –manschetten entwickelt, die aus nachwachsenden Rohstoffen herstellbar sind und nach begrenzter Nutzungsdauer biologisch abgebaut werden.

Um die Stabilität dieser Baumschutzelemente zu überprüfen, wurden mit einer vorteilhaften Materialzusammensetzung mehrere unterschiedliche Herstellungsparameter variiert. Die dabei entstandenen Baumschutzscheiben kamen an den verschiedensten Einsatzorten zur Anwendung (von ständig gepflegtem Grünland bis hin zu völlig ungepflegtem Gelände). In dem Beobachtungszeitraum konnte festgestellt werden, dass bei freistehenden Jungbäumen mit gut gepflegtem Rasenschnitt die Haltbarkeit wesentlich höher war, als bei Baumschutzscheiben, welche unter dem Einfluss stark konkurrierenden Pflanzenwuchses zum Einsatz kamen. Des Weiteren sind ganzflächig beschichtete Baumschutzscheiben transportstabiler als nur mit Gewebe belegte. Manuell gefertigte Baumschutzmanschetten, welche bereits im Herbst 2001 zur Beobachtung an einen Jungbaum angebracht worden sind, schützten diesen auch noch im Herbst 2003 vor Wildverbiss.

1 Einleitung

Wirtschaftliche Verluste an jungen Anpflanzungen können u. a. durch Wildschäden und Konkurrenzvegetation auftreten. Die für den Schutz der Jungpflanzen bisher angewendeten Baumschutzmanschetten gegen Wildschäden und Scheiben aus verschiedenen Materialien gegen konkurrierenden Pflanzenwuchs erfüllen die an sie gestellten Anforderungen nur bedingt. So werden die spiralförmigen Manschetten während der Gebrauchsphase durch Licht- und Windeinflüsse stark geschädigt und bereits nach wenigen Monaten vom Baumstamm abgelöst bzw. zerstören durch Einwachsen den zu schützenden Baum. Die bisher bekannten Baumschutzscheiben werden entweder durch Wind abgetragen bzw. haben durch einen wasserundurchlässigen Aufbau den Nachteil, dass eine Zuführung des Regenwassers zum Wurzelbereich verhindert wird. Solche Baumschutzelemente zeigt Abbildung 1.



Abbildung 1: Handelsübliche Baumschutzelemente

2 Neuartige Baumschutzelemente

Die Vorteile der neuartigen Baumschutzelemente (Abbildung 2) sind u. a.:

- Stoffliche Nutzung von unkontaminiertem Altholz sowie Rest- und Abfallholz
- Stoffliche Verwertung weiterer biologisch abbaubarer Abfälle
- Direkter Einbau von Düngestoffen und Schädlingsbekämpfungsmitteln
- Abwasserfreie Herstellung
- Rückstandsfreie Verrottung nach Anwendung
- Gute Wasserdurchlässigkeit und gutes Feuchtespeichervermögen
- Gute Anpassung an das Bodenrelief

Die neuartigen Produkte stellen eine Alternative zu den bisher verwendeten Baumschutzelementen dar.

Sie werden zum einmaligen Gebrauch an den zu schützenden Baum angebracht und unterliegen dann einem natürlichen Rotteprozess.



Abbildung 2: Neuartige Baumschutzelemente

3 Herstellung der Baumschutzelemente

Beide Arten der Baumschutzelemente, d. h. Baumschutzscheiben und Baumschutzmanschetten, werden nach dem gleichen technologischen Prinzip gefertigt. Abbildung 10 zeigt den Verfahrensablauf zur Herstellung der Baumschutzelemente.

Es kommen zerkleinerte Abfälle aus unbehandeltem Holz (z. B. Holzabfälle aus der Holzbe- und -verarbeitung, Verpackungsabfälle) zum Einsatz. Diese werden mit biologisch abbaubarem Bindemittel aus Naturkautschuk, Stärke und Wasser zu einer Baumschutzscheibe bzw. -manschette gepresst. Hauptaugenmerk wird bei der Herstellung der Baumschutzelemente auf einen reproduzierbaren Pressvorgang gelegt. Dazu wurde ausgehend von bisherigen Ergebnissen Baumschutzelemente hergestellt, die mit höherer Presskraft (45 kN) geformt und bei 130 °C (vorher 105 °C) getrocknet wurden. Eine sich dem Trocknungsprozess anschließende Behandlung der Baumschutzelemente mit einem biologisch abbaubaren Beschichtungsmittel ist für die Widerstandserhöhung gegenüber dem Rotteprozess vorteilhaft. Die Baumschutzscheiben werden zusätzlich durch eine spanende Bearbeitung mit einem Anlegeschlitz und eventuellen Perforationen am Innenloch versehen.

4 Haltbarkeitsuntersuchungen

4.1 Standort- und Probenauswahl

Die Standortwahl erfolgte nach möglichen späteren Einsatzfällen. So sollen die Baumschutzelemente in allen Gebieten der Landschaftsgestaltung eingesetzt werden können. Einsatzgebiete sind Parkerneuerungen, Garten- und Grünanlagenpflege und als extremster Anwendungsfall der Einsatz zur Aufforstung von Waldgebieten. Abbildung 3 bis Abbildung 6 zeigen die Standorte, an denen Baumschutzscheiben zur Langzeituntersuchung ausgelegt wurden.



Abbildung 3: Dauergrünland



Abbildung 4: Feldgehölz von Ackerland/ Getreidefeld umgeben



Abbildung 5: Gartenbereich



Abbildung 6: Gehölzschutzstreifen mit Neuanpflanzungen

Auf Grund der vielfältigen Variationen der Einstellungen der Pressvorrichtung wurden verschiedene Presskräfte zur Herstellung der Baumschutzscheiben verwendet. Zur mechanischen Stabilisierung wurde beidseitig geotextiles Gewebe eingearbeitet. Biologisch abbaubares, an der TU Chemnitz entwickeltes Beschichtungsmittel wurde bei einigen Versuchen beidseitig und ganzflächig bei anderen Versuchen nur zur Randversteifung angewendet. In eine Versuchsreihe wurde ein Fungizid gemischt, um den Schimmelpilzbefall zu reduzieren. Von allen Versuchsreihen wurde an jedem Standort eine Baumschutzscheibe zum Einsatz gebracht.

4.2 Auswertung

Bei freistehenden Jungpflanzen, wo ungehindert Wind und Sonne zur Oberfläche der Baumschutzelemente gelangen können, ist ein langsamerer Rotteprozess zu beobachten, als bei Jungpflanzen im geschlossenen Pflanzverband mit starker Konkurrenzflora. Die Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen, dass der Einsatz der Baumschutzscheiben auf Flächen mit unregelmäßiger oder ohne Grünschnittpflege und schnellwachsenden Konkurrenzpflanzen wenig vorteilhaft ist. Die Konkurrenzpflanzen wachsen neben der Baumschutzscheibe hoch, fallen von oben über die Jungpflanze und bedecken diese. Für einen solchen Einsatzzweck wäre es nötig, größere Baumschutzscheiben einzusetzen und in der Einwachphase des Jungbaumes ein gelegentliches Freischneiden durchzuführen. Dabei kann die Baumschutzscheibe als Schneidschutz gegen zu dichtes Heranmähen fungieren. Bei dem Einsatz der Baumschutzscheiben auf regelmäßig gepflegtem Grünschnitt haben die Baumschutzscheiben gute Voraussetzungen, ihre Schutzfunktion zu erfüllen.



Abbildung 7: Baumschutzscheibe schützt Jungpflanze gegen Konkurrenzvegetation



Abbildung 8: Baumschutzscheibe von Konkurrenzvegetation bedeckt

4.3 Freilandtest von Baumschutzmanschetten

Die biologische Haltbarkeit der Baumschutzmanschetten wurde an bereits im Herbst 2001 an Jungbäumen angebrachten, manuell gefertigten Manschetten beobachtet. Abbildung 9 zeigt den Komplettschutz eines Jungbaumes mit neuartigen Baumschutzelementen. Auf Grund der recht langen Haltbarkeit von über 24 Monaten ist für Manschetten, die mit der Presse hergestellt werden können eine wesentlich längere Haltbarkeit voraussagbar.

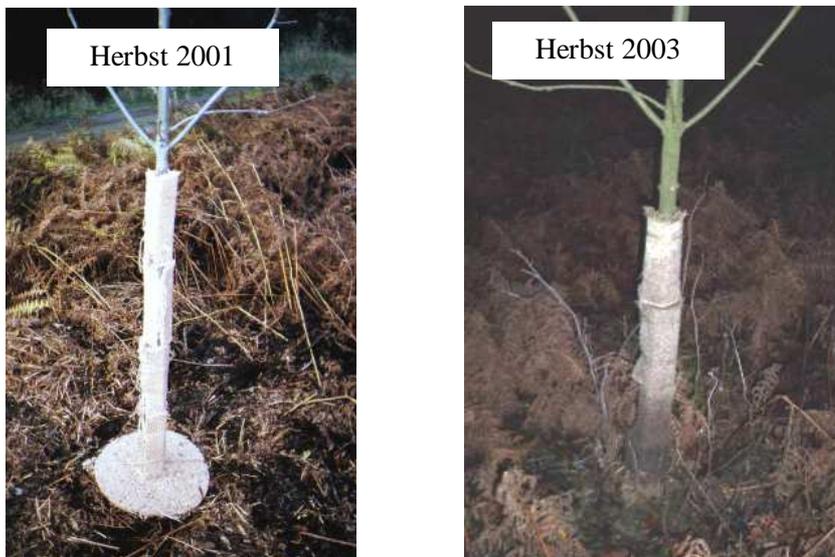


Abbildung 9: Komplettschutz eines Jungbaumes

5 Schlussfolgerungen

Es lässt sich schlussfolgern, dass mit der Pressvorrichtung stabile Baumschutzelemente herstellbar sind. Der durchgeführte Freilandtest zeigte, dass bereits mit der Zusammensetzung der Baumschutzelemente ein Optimum gefunden worden ist. Nach Variation des Pressvorgangs, dem Einbau von geotextilem Gewebe und der Beschichtung mit biologisch abbaubarem Beschichtungsmittel sind die ausgelegten Scheiben gründlichen Beobachtungen unterzogen worden. Unbeschichtete Baumschutzscheiben sind demnach instabiler und schneller abgebaut als beschichtete. Die mechanische und biologische Haltbarkeit ist an sonnigen Standorten höher als an ungepflegten und feuchten Standorten. Von Vorteil ist das hohe Feuchtigkeitsspeichervermögen der Scheiben und damit des Untergrundes. Somit sind im heißen Sommer 2003 mit Baumschutzscheiben geschützte Jungpflanzen vorm Austrocknen gerettet worden.

Als Nachteil für die Baumschutzscheiben an Standorten mit geringer oder ohne Grünschnittpflege muss der hohe Nagetierbefall aufgezeigt werden. Auf Grund des durch Kleinlebewesen aufgelockerten Erdreiches unter der Baumschutzscheibe, können die Mäuse ungehindert Gänge legen und an die Wurzel der Jungpflanze gelangen und diese schädigen.

Die Baumschutzscheiben mit dem Fungizid zeigen eine gewisse Resistenz gegenüber Schimmelpilzbefall sowohl bei der Lagerung als auch bei der Anwendung. Ein Einsatz diesbezüglich ist also qualitätsverbessernd. Auch die Zugabe anderer Roh- und Hilfsstoffe ist denkbar.

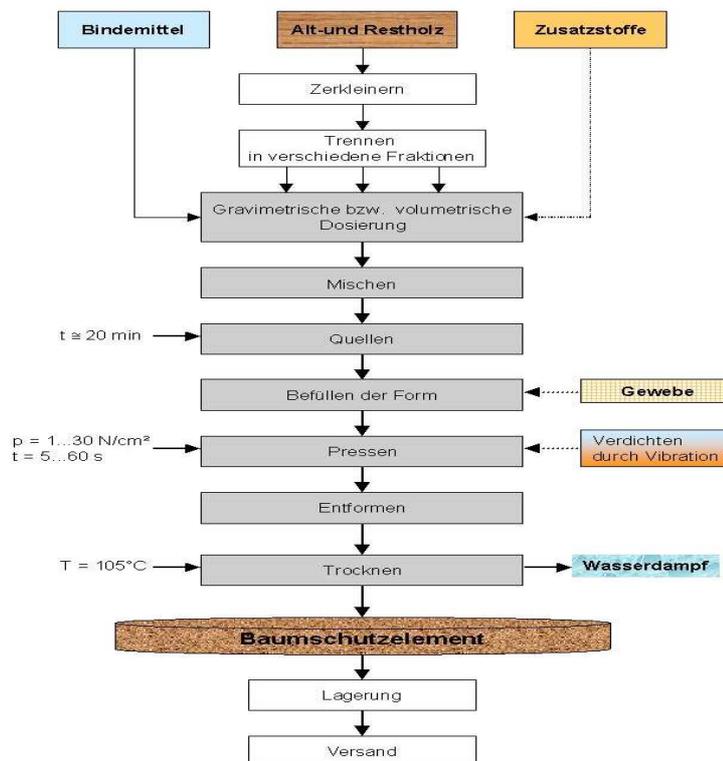


Abbildung 10: Verfahrensschema

Rauchgasreinigung durch Ionisation und elektrische Abscheidung bei Kesseln mit Pellet- und Getreidefeuerung

Dipl.- Ing. Ralf Heidenreich

Biomasse, Stroh, Kleinkessel, thermische Nutzung, Rauchgasreinigung, Emission, Feinstaub

In Deutschland soll bis zum Jahr 2010 der Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch von heute 2 auf 4 % und an der Stromerzeugung von heute fünf auf 10 % verdoppelt werden. Bis 2050 sollen 50 % der Primärenergie regenerativ erzeugt werden. Hierbei kommt der energetischen Nutzung von Biomasse, dazu gehört auch Stroh, eine herausragende Rolle zu.

Die Bundesinitiative BioEnergie BBE hat in Kooperation und Zusammenarbeit mit den über 300 Delegierten aus allen Kontinenten und Regionen der Welt als Ergebnis der 1. Welt-Pellets-Konferenz vom 2. bis 4. September 2002 in Stockholm eine Resolution zur verstärkten Nutzung von Bioenergie und Biomasse-Pellets verabschiedet. Darin wird mit Nachdruck darauf hingewiesen, dass die Biomasse weltweit die größte und bedeutendste erneuerbare Energiequelle ist. Das Angebot und die Marktanteile von Bioenergie auf dem Strom-, Wärme- und Treibstoffmarkt können langfristig zur größten weltweiten Energieangebotsquelle werden.

Andererseits wurde mit der Verabschiedung der Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität durch die Europäische Gemeinschaft der Rahmen für die künftige Rechtsentwicklung im Bereich der Luftqualität vorgegeben.

Angeregt durch die in Sachsen jährlich für die thermische Nutzung zur Verfügung stehende Menge von über 700 000 t Stroh begannen im Jahre 1999 im ILK Untersuchungen zum Verbrennungsverhalten von unterschiedlichen biogenen Brennstoffen in Kleinkesseln. Eine größere Zahl Kleinkessel bis 100 kW Leistung könnte einen nicht unwesentlichen Beitrag zur Nutzung von regenerativen Energien leisten. Die Verbrennung von halmartigen Brennstoffen in Pelletform stellt jedoch an die Feuerung besondere Anforderungen, die den Verbrennungsraum und die Betriebsführung betreffen. Es zeigte sich zudem, dass die emittierten Stäube sehr fein sind, was eine besonders anspruchsvolle Aufgabe hinsichtlich der Entstaubung darstellt.

Emissionen bei der Verbrennung von halmartiger Biomasse und Getreide

Die thermische Nutzung von halmartigen Brennstoffen ist gekennzeichnet durch ein komplexes Themenfeld von Kessel, Brennstoff, Verbrennungsführung und Emission.

Während sich die Emissionen der gasförmigen Schadstoffe durch Optimierung der Verbrennung auf einem niedrigen Niveau einstellen lassen, ist die verbrennungsseitige Senkung der Emission von Stäuben kaum beherrschbar.

Zahlreiche am ILK Dresden durchgeführte Verbrennungsversuche mit unterschiedlichen Brennstoffen zeigten, dass die Emissionskonzentrationen von Stäuben in der Regel über den gesetzlichen Vorgaben liegen.

Dabei bestehen allerdings Unterschiede, die von der Getreideart und der Qualität der Pellets abhängen. Abbildung 1 zeigt die ermittelten Staubemissionen für einen Querschnitt eingesetzter Brennstoffe.

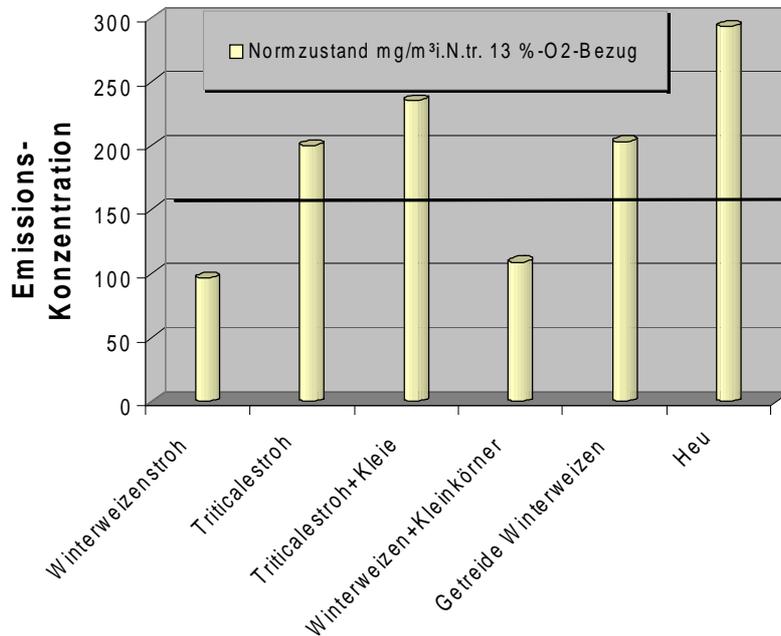


Abbildung 1: Staubseitige Emissionsparameter eines 49-kW-Kessels für verschiedene Brennstoffe

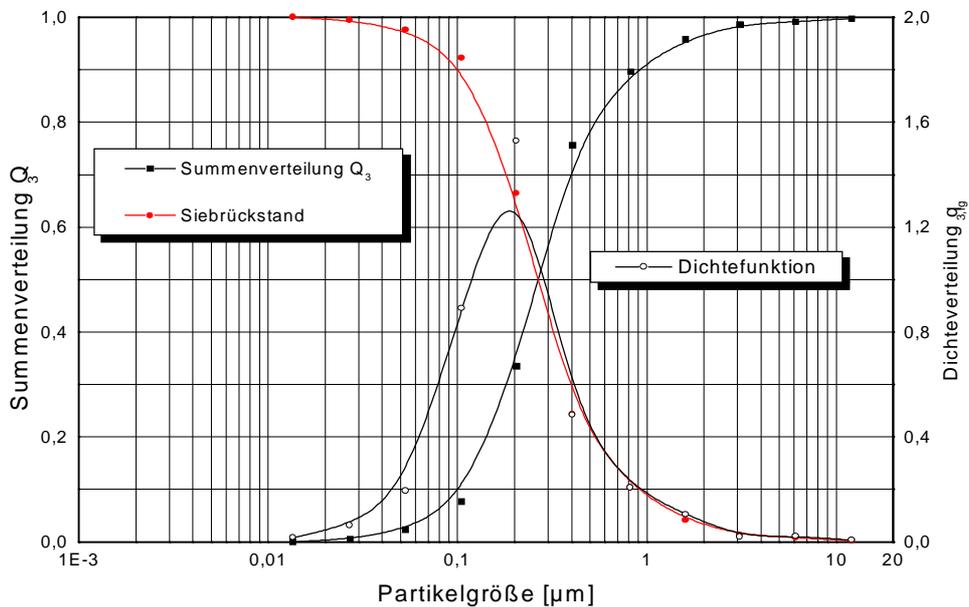


Abbildung 2: Partikelgrößenverteilung der bei Verbrennung von Heu emittierten Stäube

Aus lufthygienischer Sicht und nach Maßgabe der neuen EU-Richtlinien zum Immissionsschutz ist neben der emittierten staubförmigen Gesamtfracht auch die Partikelgröße der emittierten Stäube von Bedeutung. Die Auswertungen der Kaskadenimpaktormessungen zeigen (Abbildung 2), dass die Partikelgrößenverteilungen zwischen 0,2 µm und 0,4 µm ein Maximum aufweisen. Damit wird bestätigt, dass die hauptsächlichen Anteile der emittierten Stäube unterhalb von 0,5 µm einzustufen sind.

Die Zuordnung eines Staubabscheiders scheint für die thermische Nutzung von Stroh im Hinblick auf die ermittelten Emissionskonzentrationen von 100 bis 300 mg Staub je Normkubikmeter Abgas unumgänglich.

Insbesondere für Kleinkessel sind darüber hinaus die Anforderungen hinsichtlich des Druckverlusts zu beachten. Aus diesen Anforderungen heraus wurde im Rahmen eines von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft geförderten Forschungsvorhabens ein elektrostatisches Filter zur Entstaubung von Kleinkesseln entwickelt.

Entwicklungsanforderungen und Voruntersuchungen

Auf Grund der Partikelfinheit und des abzuschheidenden Staubmassenstromes ist für die Abscheideaufgabe die elektrostatische Abscheidung am besten geeignet. Allerdings sind für die in der Industrie üblichen Ausführungen mit Gassenbreiten um 200 mm sehr hohe Spannungen erforderlich. Damit sind hohe Investitionskosten verbunden. Ziel der Entwicklung ist aber eine preiswerte Abscheideeinrichtung, welche einen breiten Einsatz der Kleinkessel ermöglicht.

Aus diesem Grund wurde auf Hochspannungsbereiche unterhalb von 15 kV orientiert.

Theoretische Betrachtungen der Wanderungsgeschwindigkeit zeigen sehr deutlich, wie sich die Verfahrensparameter der Elektroabscheidung wie Feldstärke, Gassenbreite und Gasgeschwindigkeit auf den Abscheidegrad auswirken (Abbildung 3).

Auf Grund der beschränkten Feldstärke und der übrigen Randbedingungen wurde für die Abscheidergestaltung eine Gasgeschwindigkeit unter 2 m s^{-1} favorisiert.

Um eine möglichst hohe Ionisierungswirkung zu erreichen, müssen Sprühdrähte mit einem sehr kleinen Durchmesser verwendet werden. Zum Einsatz kommen Spezial-Drähte mit einem Durchmesser von 100 µm.

Die Aufnahme der Strom/Spannungscharakteristik erfolgte für Rohrdurchmesser von 80, 100 und 120 mm bei zwischen Niederschlagselektrode und Sprühdraht angelegter Hochspannung von 0 bis 20 kV.

Aus den Quotienten Potentialdifferenz zu Elektrodenabstand und Stromstärke zu Niederschlags-
elektrodenfläche konnten weiterhin Feldstärke bzw. Stromdichte als charakteristische Größen er-
rechnet werden.

Die errechnete Feldstärke (FS) und Stromdichte für die am höchsten eingestellte Potentialdifferenz
von 20 kV(negativ) ist in Tabelle 1 dargestellt.

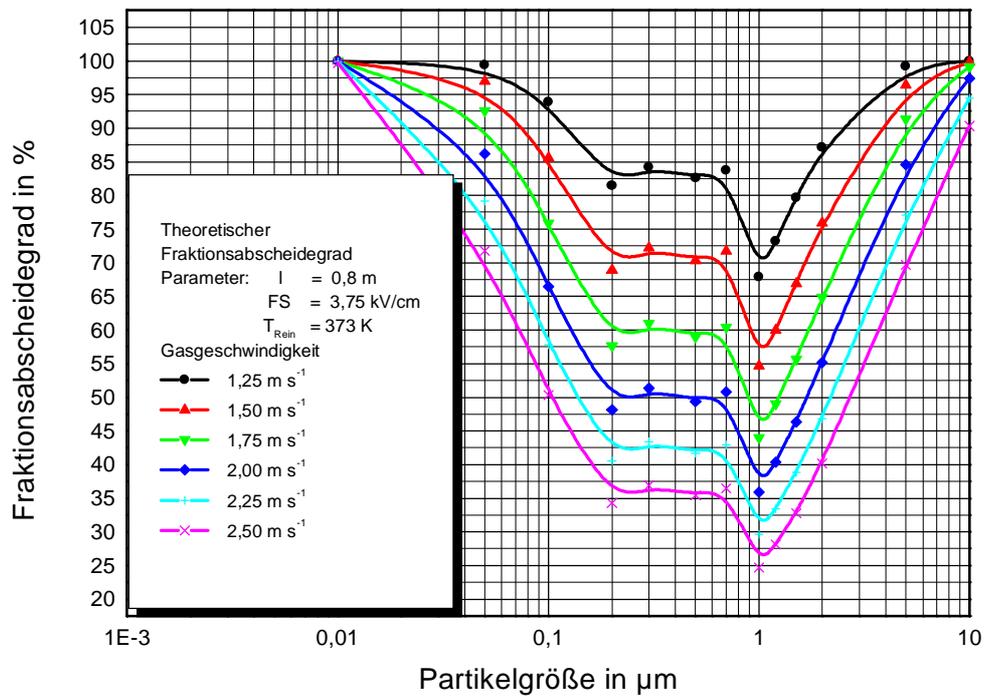


Abbildung 2: Abhängigkeit des Fraktionsabscheidegrades von der Gasgeschwindigkeit

Tabelle 1: Feldstärke und Stromdichte bei verschiedenen Rohrdurchmessern

Rohrdurchmesser [mm]	Feldstärke [kV/cm]	Stromdichte [mA/m ²]
80	5,0	9,75
100	4,0	4,77
120	3,33	2,65

Inbetriebnahme des Abscheiders

Nach Fertigstellung der Komponenten des elektrostatischen Abscheiders wurde dieser am Kessel-
prüfstand im Bypass installiert.

Der Kesselprüfstand mit Filter ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

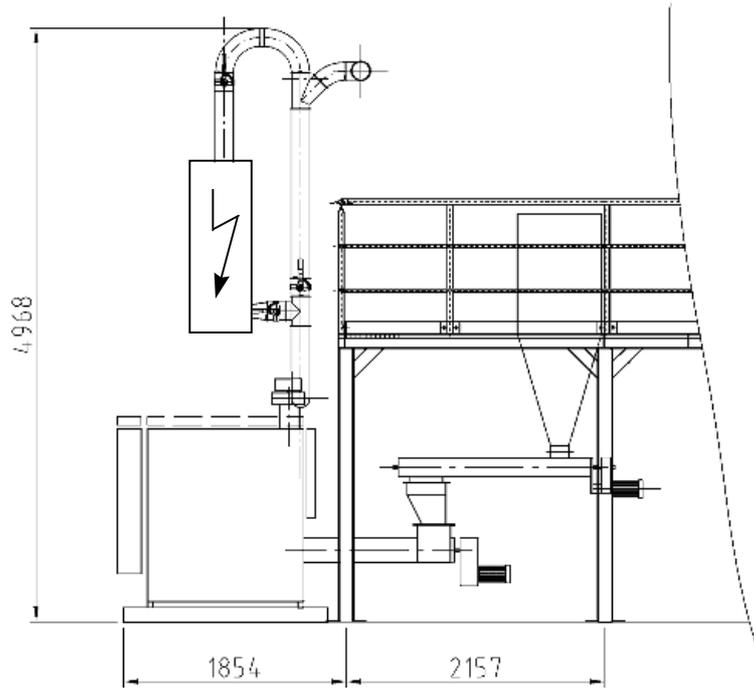


Abbildung 3: Einbindung des Versuchsfilters in den Kesselprüfstand des ILK Dresden

Der Prüfstand mit angeschlossenem elektro-statischem Abscheider ist in Abbildung 6 dargestellt.

In Abbildung 5 ist der Isolator zur Halterung des Sprühdrahtes abgebildet.

Der Eintritt des Gasstromes in den Versuchsabscheider erfolgt tangential. Die Gasströme werden nach Passieren der Messstrecke wieder zusammengeführt und in die Atmosphäre abgeleitet.

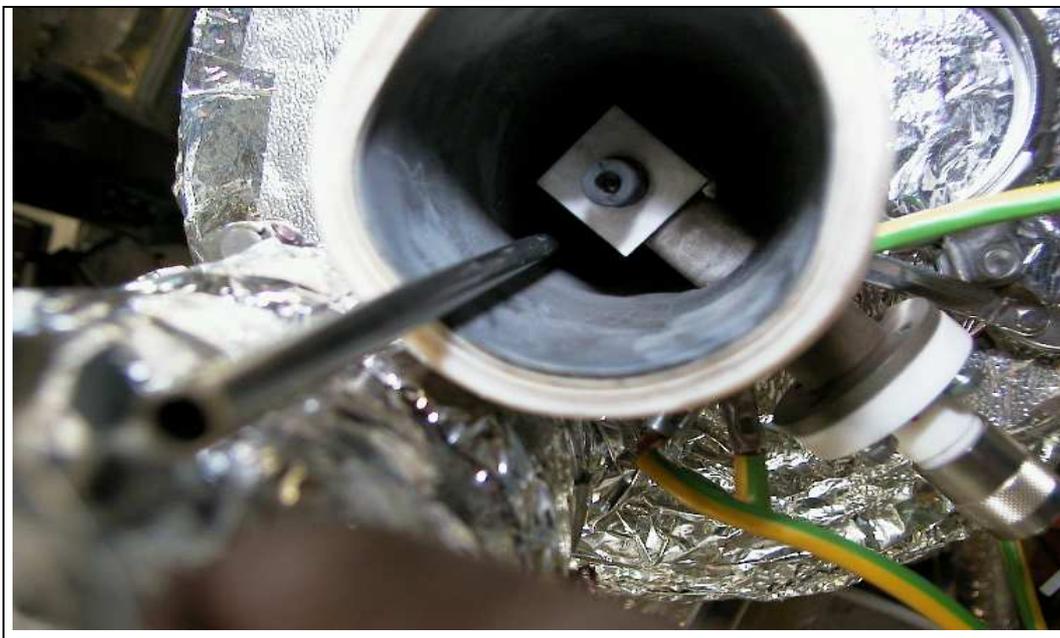


Abbildung 4: Filterröhre-Ansicht von oben

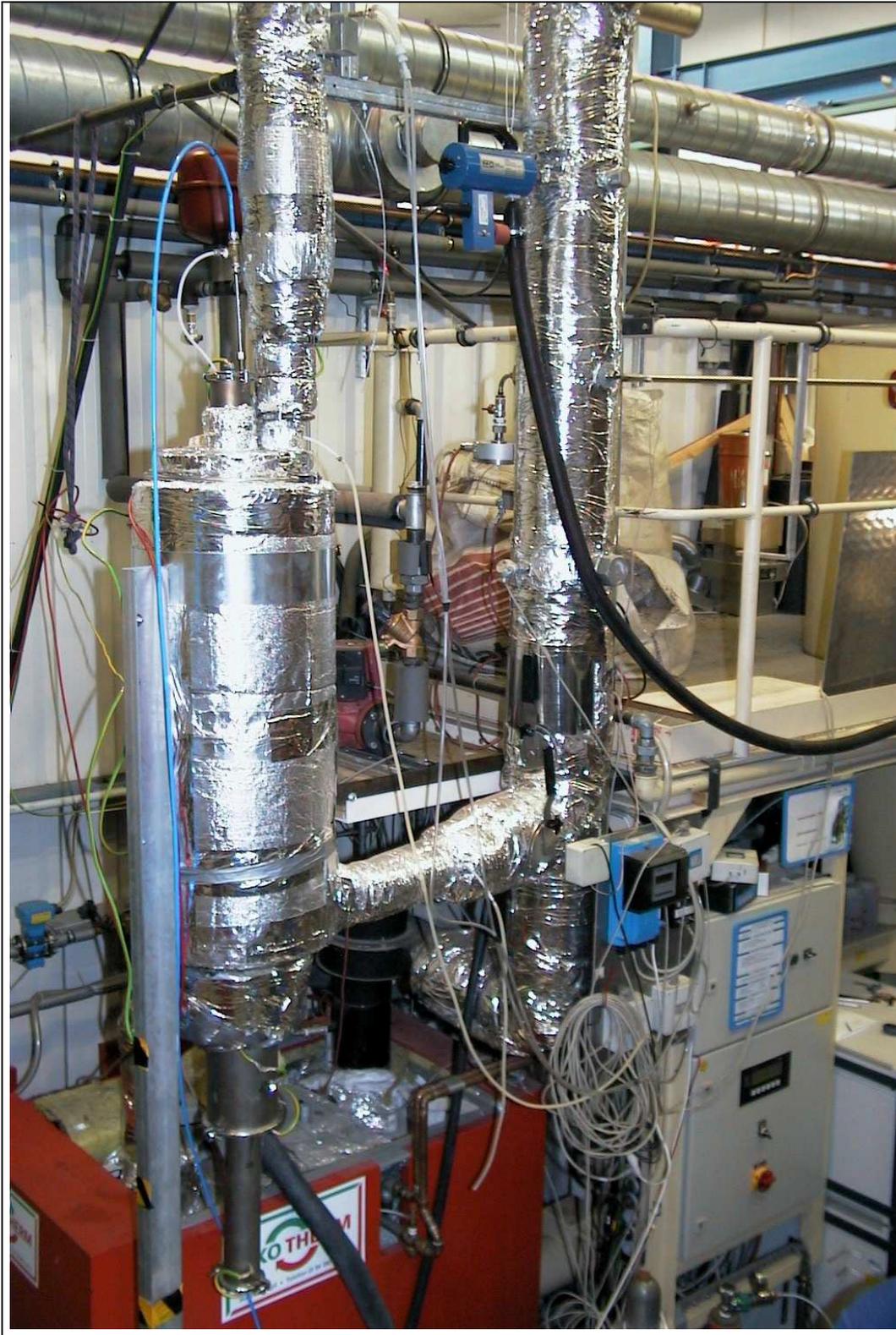


Abbildung 5: Ansicht des Kesselprüfstands mit der Abscheideranordnung

Ausführungsformen der Versuchsabscheider

Der Versuchsabscheider ist aus zwei Stufen aufgebaut - einer Vorabscheidestufe und dem eigentlichen Rohrelektrofilter.

Mit dem Vorabscheider sollen mehrere Effekte erreicht werden:

- Abscheidung größerer Partikel, Schutzfunktion für die Elektrofilter-Röhre,
- Vergleichmäßigung und Beruhigung des Rauchgases, welches dem Elektroabscheider zugeführt wird,
- Abscheidung von Funken.

Dazu wird im Außenmantel eine partielle Wirbelströmung erzeugt.

Im elektrostatischen Abscheider werden die Feinst-Partikel abgeschieden.

Mit den Erkenntnissen aus den Vorversuchen wurde die Konstruktion verbessert und der Abscheider neu gefertigt.

In der End-Variante erfolgt die Abreinigung der Sprüh- und Niederschlagsselektrode mit Druckluft. Zusätzlich wird die Gasströmung mehrfach umgelenkt, so dass Agglomerationseffekte die Abscheidung unterstützen.

Die Versuche mit dem ersten Abscheider hatten ergeben, dass sich die an der Niederschlagsselektrode durch erhebliche Haftkräfte auszeichnen.

Um eine weitgehend vollständige Reinigung der Niederschlagsselektrode während des Betriebes zu ermöglichen, wurde eine Beschichtung ausgewählt, welche zum einen leitend ist und zum anderen eine sehr glatte Oberfläche bietet.

Abbildung 7 zeigt die Ausführung der Niederschlagsselektrode mit Beschichtung von Innen.



Abbildung 6: Niederschlagsselektrode mit Beschichtung

Für die Regenerierung wurde die Lösung gefunden, dass die Niederschlagselektrode nach einer gewissen Betriebszeit, welche abhängig ist von der Staubbelastung des Rohgases, mit einem Druckluftstoß regeneriert wird.

Sprühdraht und Niederschlagselektrode werden gleichzeitig der mittels Druckluft über einen Düsenkranz, welcher oberhalb des Hochspannungsanschluss befindet, gespült.

Dabei wird die Sprüh-Elektrode durch Druckluft, welche aus dem Hochspannungsanschluss tritt, gleichzeitig in Schwingung versetzt, was die Wirksamkeit der Regenerierung erhöht. Diese Anordnung zur Regenerierung des Sprühdrahtes ist durch ein Patent des ILK geschützt.

Staubabscheide- und Betriebsverhalten

Druckverlustverhalten

Das aerodynamische Verhalten des elektrostatischen Abscheiders wurde durch Differenzdruckmessung im Rauchgas ermittelt. Der Druckverlust für die erste Abscheidervariante wurde bei einem Gasdurchsatz von 40 m³/h zu rund 60 Pa ermittelt, bei Variante zwei war der Druckverlust doppelt so hoch. Allerdings liegt der Strömungswiderstand damit weiterhin sehr niedrig. Der Verlauf der Kennlinie ist in Abbildung 7 dargestellt.

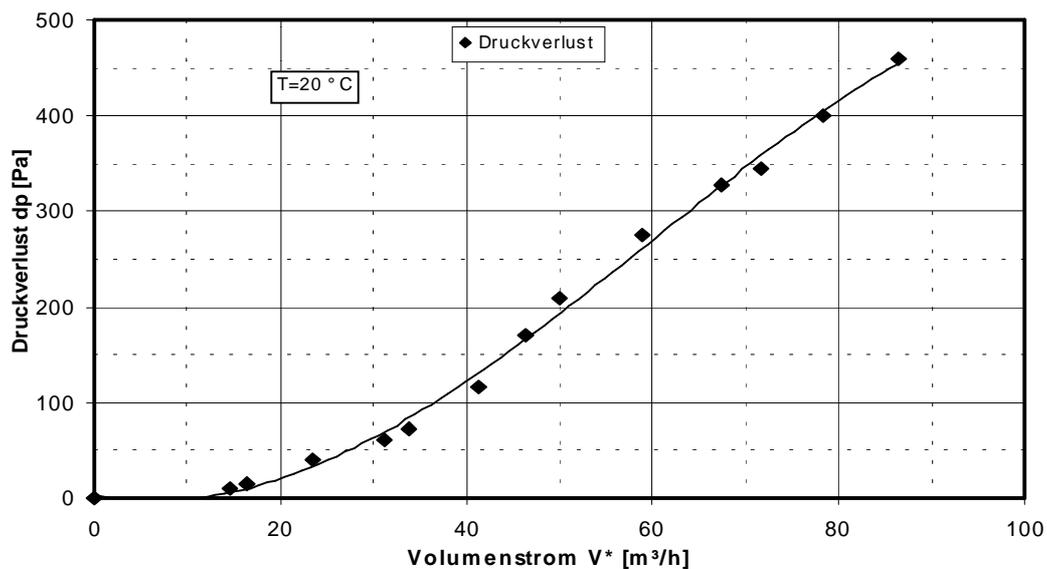


Abbildung 7: Druckverlustkennlinie bei 20 °C

Strom-/Spannungskennlinien

Es zeigen sich typische Kurvenverläufe von Elektrofiltern mit einer Einsatzspannung von 5 kV (Abbildung 10). Die Durchbruchsspannung wurde nicht erreicht. In der Abbildung rechts oben ist der Sprühdraht mit Koronaentladung, darunter der Abscheiderkopf mit Isolator und Druckluftzuführung abgebildet.

Entsprechend der angestellten Voruntersuchungen wurde ein Röhrenelektrofilter mit einer Gassenbreite von 40 mm und einer Anströmgeschwindigkeit von 1,5 bis 2 m s⁻¹ konzipiert und gebaut.

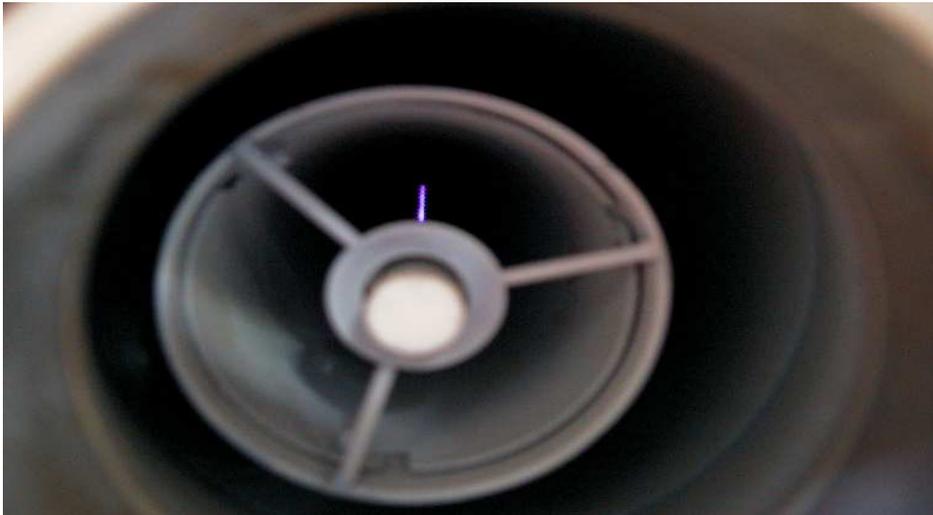


Abbildung 8: Filter-Röhre mit Sprühdraht und Coronaentladung

Abbildung 9 zeigt das Elektro-Röhrenfilter mit der typischen Corona-Entladung bei einer Spannung von 15 kV. Die Strom-Spannungs-Kennlinie für diese Variante in Abbildung 9 dargestellt. Dabei wird deutlich wie gering der Energieeinsatz beim Betrieb eines Elektrofilters dieses Typs ist. Bei einer Betriebsspannung von 15 kV stellt sich eine Sprühstromstärke von 1,25 mA ein. Damit beträgt die aufzuwendende elektrische Leistung rund 19 Watt.

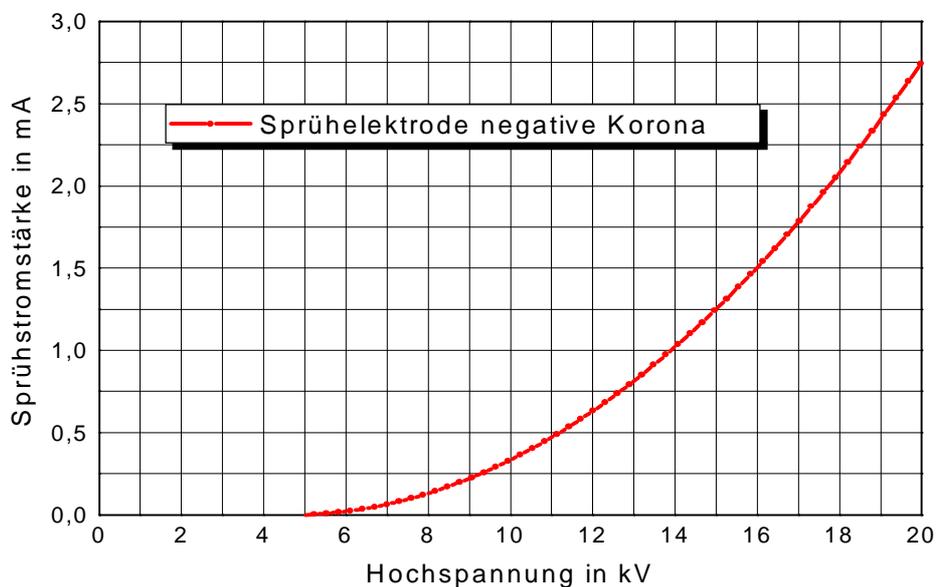


Abbildung 9: Strom/Spannungskennlinie des Versuchsfilters

Staubabscheideleistung

Die Untersuchungen erstreckten sich neben der Ermittlung von Staubabscheideleistung und Abscheidegrad auch auf das Verhalten des Filters bei Einsatz unterschiedlicher Brennstoffe. Weiterhin waren für den störungsfreien Betrieb des Filters die Regenerierung der Niederschlagsflächen und das Vermeiden von Spannungsdurchschlägen von besonderer Bedeutung. Den Versuchsplan für die Untersuchungen zeigt Abbildung 10.

Wesentlich dabei waren vor allem die Untersuchungen zur Abscheideleistung und zur Regenerierung der Niederschlagselektrode bei laufendem Abscheiderbetrieb. Hier wurde eine ganze Reihe von Varianten experimentell erprobt. Im Ergebnis wurde die Regenerierung der Niederschlagselektrode mittels Druckluft favorisiert.

Die Erprobung des Filters zeigte, dass ein stabiles Abscheideverhalten mit Reingasstaubgehalten unter 5 mg/m^3 möglich ist (Abbildung 11).

Dabei lag der Gasdurchsatz für die gewählte Einröhrenanordnung bei $40 \text{ m}^3/\text{h}$.

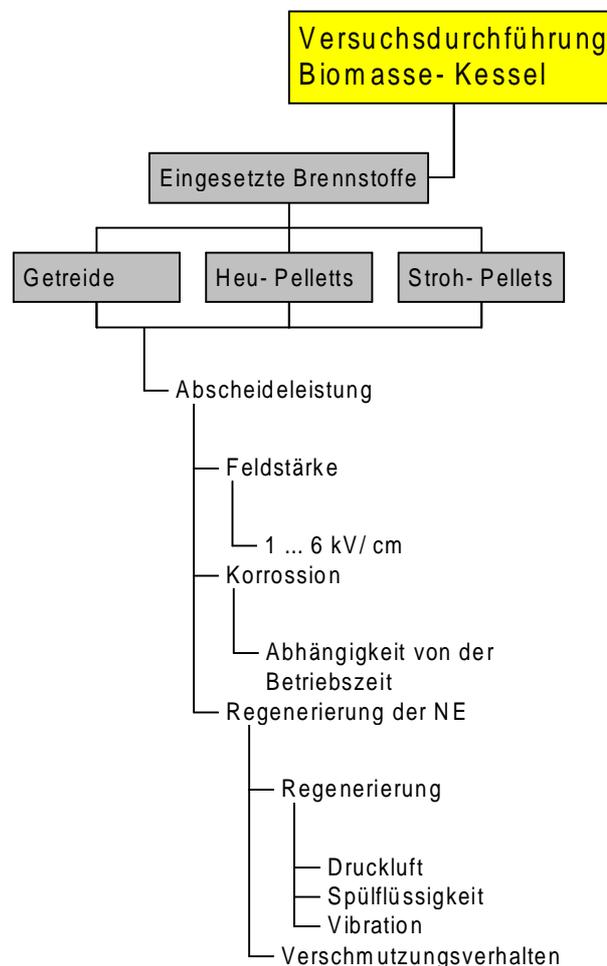


Abbildung 10: Versuchsplan für die Untersuchungen am Kessel-Versuchsstand

Allerdings bilden sich bei ungünstiger Verbrennungsführung (Ruß) fest haftende Beläge die sich schwer entfernen lassen.

Von Bedeutung ist dabei auch bei Einsatz von nachgeschalteten Gasreinigungsstufen eine optimale Verbrennungsführung mit maximalem Ausbrand der Rauchgase.

Die erreichten Abscheideleistungen sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Dabei lag die Rohgasstaubkonzentration im Mittel bei 200 mg/ Nm³.

Es zeigten sich keine wesentlichen Unterschiede und Abhängigkeiten der Abscheideleistung von der Brennstoffart.

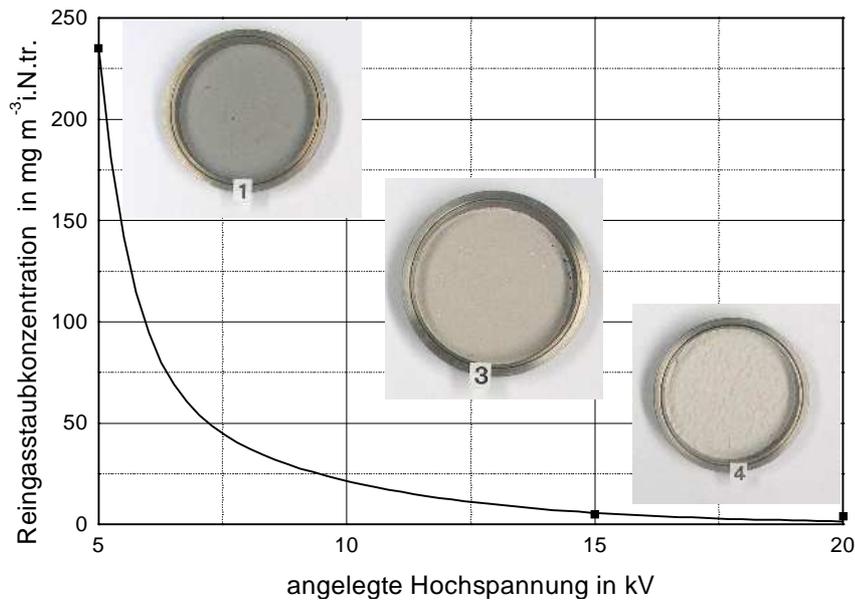


Abbildung 11: Reingasstaubkonzentrationen beim Einsatz verschiedener Potentiale

Tabelle 2: Abscheidegrad in Abhängigkeit verschiedener Betriebsbedingungen

Spannung in kV	Abscheidegrad in %	
	positiv	negativ
12	-	94,1 ± 0,6
	-	94,9 ± 0,5
13,5	-	96,1 ± 0,5
15	95,7 ± 0,5	97,1 ± 0,6
20	-	99,4 ± 0,6

Korngrößenverteilung und Fraktionsabscheidegrad

Besonders interessant für die Beurteilung der Abscheideleistung des elektrostatischen Abscheiders ist der Fraktionsabscheidegrad. Die Verteilungsfunktionen der Partikelgrößenverteilungen in Roh- und Reingas wurden dabei aus den gravimetrisch ermittelten Staubmengen auf den Impaktorfolien eines Niederdruck-Kaskadenimpaktors nach Prof. Berner ermittelt.

In Abbildung 13 sind mit Staub beladene Impaktorfolien abgebildet.
 Von links nach rechts werden die Trennkorngrößen der Impaktorstufen kleiner.

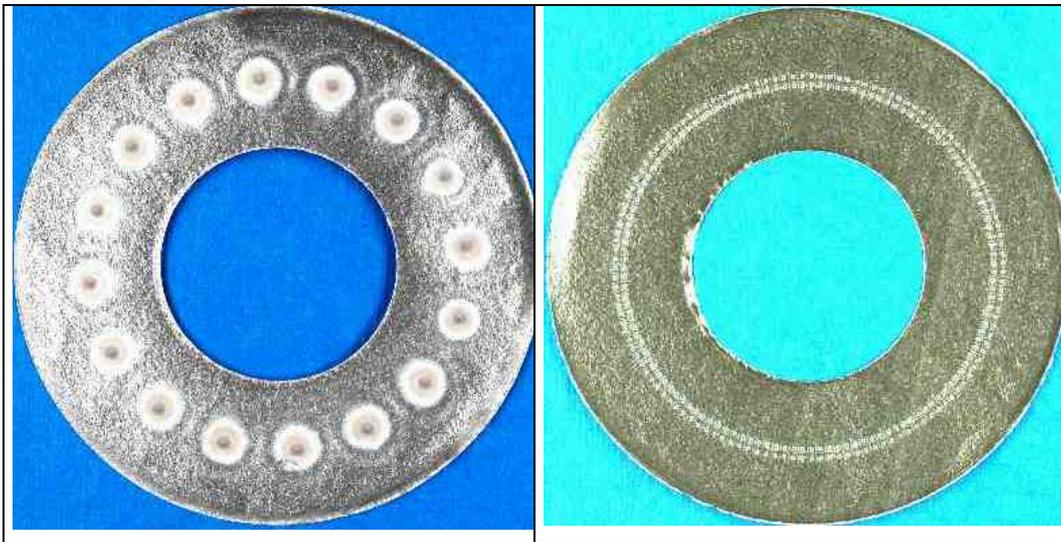


Abbildung 12: Verschiedene Impaktorfolien mit Staub

In Abbildung 14 bis Abbildung 16 sind beispielhaft Roh- und Reingaspartikelgrößenverteilungen, sowie der Fraktionsabscheidegrad dargestellt. Diese Abbildungen zeigen die enorme Feinheit der emittierten Partikel. Es wird auch deutlich, dass der elektrostatische Abscheider eine sehr gute Abscheideleistung insbesondere für diese Partikel erzielt. Die Abscheideleistung ist vor allem von der erzielten Feldstärke abhängig.

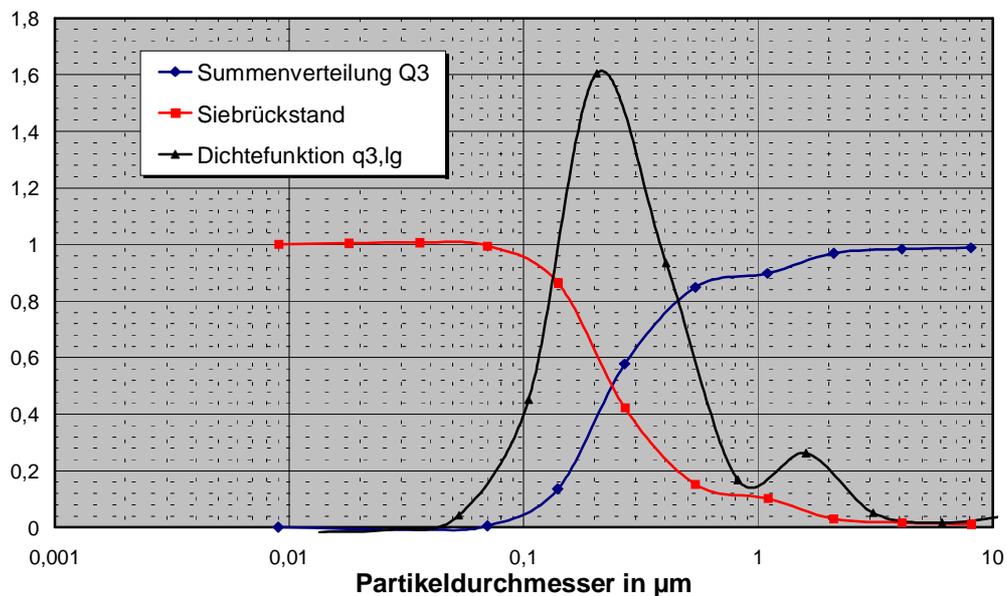


Abbildung 13: Partikelgrößenverteilung Reingas

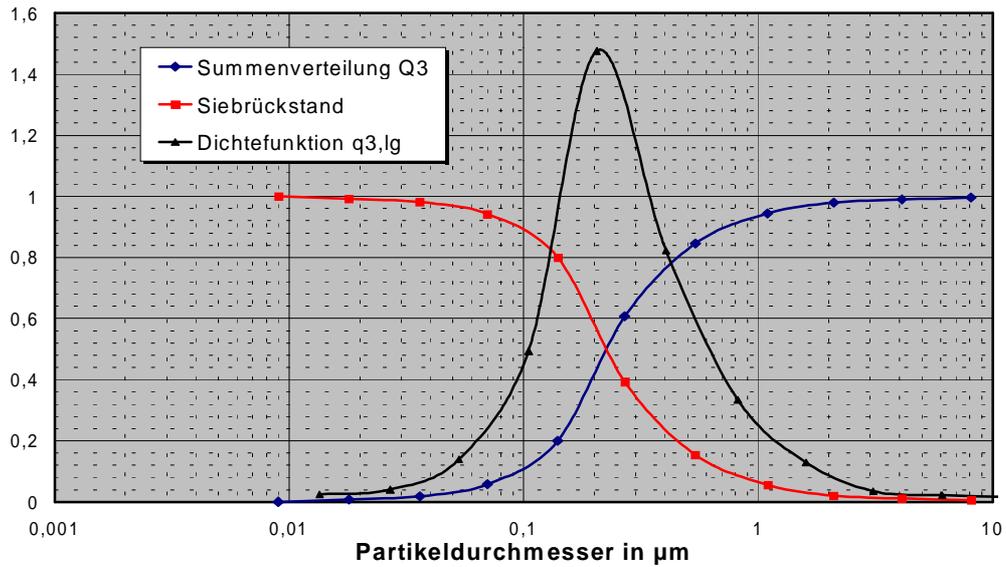


Abbildung 14: Partikelgrößenverteilung Rohgas

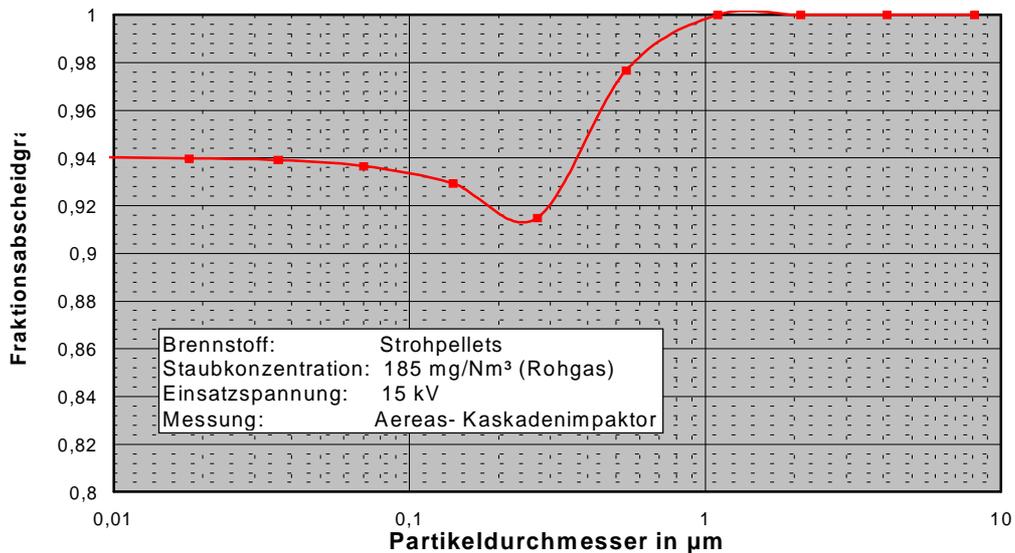


Abbildung 15: Fraktionsabscheidegrad des elektrostatischen Abscheiders

In Auswertung der gemessenen Fraktionsabscheidegrade können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Abscheidegrad und angelegte Hochspannung sind proportional
- Durch Druckluftabreinigung der Niederschlagselektrode wird die Abscheidung verbessert
- Die Abscheideleistung mit einer negativen Corona ist höher.
- Charakteristisch für den Fraktionsabscheidegrad ist eine sehr gute Abscheidung im Bereich von 10 bis 1 µm, ein Minimum im Bereich von 1 bis 0,1 µm und eine gute Abscheidung im Bereich von 0,1 bis 0,01 µm.

Dioxin-Messungen

Zur Überprüfung der Emission von Dioxin wurden Roh- und Reingasseitig mehrere Messungen zur Bestimmung der Konzentration im Abgas durchgeführt.

Dabei ergaben sich folgende Mittelwerte:

Tabelle 2: Ergebnisspiegel Dioxinmessungen

Rohgas	Reingas
0,021 ng TE-l/ m ³ i.N.tr.	0,016 ng TE-l/ m ³ i.N.tr.

Demnach werden die allgemeinen Richt- und Grenzwerte von 0,1 ng TE/m³ sowohl in Roh- als auch im Reingas klar unterschritten. Durch den Betrieb des Elektrofilters ergibt sich keine Veränderung der Dioxin-Konzentration im Abgas.

Diskussion

Die Untersuchung der Korngrößenverteilung bestätigt den hohen Feinkornanteil der Partikel im Rauchgas von Strohpelletfeuerung. Es zeigt sich, dass das Elektrofilterprinzip eine gute Reinigungsleistung im Feinkornbereich erzielt.

Die ermittelten Abscheidegrade für den VersuchsfILTER sind größer als 90 %. Um aus Kostengründen eine niedrigere Hochspannung einsetzen zu können, muss die Reinigungswirkung des Filters auch bei niedriger Potentialdifferenz ausreichend hoch sein. Besondere Bedeutung hat die Regenerierung der Sprüh- und Niederschlagselektrode. Ohne ausreichende Regenerierung lässt sich auf Dauer keine zufriedenstellende Abscheideleistung erreichen.

Eine Lösung wurde durch die Beschichtung der Niederschlagselektrode und einer Druckluft-Regenerierung der Niederschlagselektrode und der Sprühelektrode geschaffen.

Nutzen des Themas

Durch die Entwicklung eines leistungsfähigen Staubabscheiders für den Einsatz an Kleinfeuerungsanlagen wurde ein Weg zur Nutzung der vorhandenen Potentiale an Stroh und Ganzpflanzen, insbesondere in Sachsen, aufgezeigt.

Eine Nutzung dieser Energieträger ist nur dann möglich, wenn auch eine Anlagentechnik verfügbar ist, die ihrerseits umweltschonend und emissionsarm funktioniert.

Der im ILK Dresden entwickelte Staubabscheider ist für den Kessel-Leistungsbereich bei 49 kW geeignet.

Der Nutzen des Themas liegt nun darin, dass nun eine Technik zur effizienten und emissionsarmen thermischen Nutzung vorliegt.

Eine wesentliche Aufgabe besteht nun darin, zunächst den Abscheider an einer Prototypanlage unter Praxisbedingungen zu testen. Hierzu haben bereits Anbahnungen zu einer geeigneten Erprobungsstätte stattgefunden.

Danach muss ein geeigneter Hersteller für das Produkt interessiert werden.

Die Kompetenz des ILK Dresden auf dem Gebiet der Biomasse-Nutzung konnte weiter gestärkt werden. Das Know-how kann in weitere Themen mit einfließen. Eine weitergehende Nutzung der Ergebnisse im Rahmen einer Prototypanlage befindet sich derzeit in der Planungsphase. Für eine breitere Nutzung ist es notwendig, Kesselhersteller für die Herstellung eines Komplettsystems unter Nutzung des im Vorhaben entwickelten Abscheiders zu gewinnen.

Literatur

HEIDENREICH, R.: Untersuchungen zur Emission bei der Verbrennung von unterschiedlichen Getreidekörnern. Fachbericht ILK-B-33/01-997

NEIDEL, REIMER, LIST, u. a.: Abschlussbericht „Rauchgasreinigung bei der Biomasse-Verbrennung“ ILK 1995

LIST, M.: Abgasreinigung bei kleineren Feuerungs- und Verbrennungsanlagen. VDI-KUT- Jahrbuch 1996/97, S. 244-251

LIST, M.; HEIDENREICH, R.; LIST, S.: Rauchgasreinigung bei kleineren Feuerungs- und Verbrennungsanlagen. 1. Rauchgaskolloquium der BTU Cottbus, 14.-15.9.98

HEIDENREICH, R.: Untersuchungen zur Emission bei der Verbrennung von unterschiedlichen Stroh-pellets. Fachbericht ILK-B-33/02-1042

HEIDENREICH, R.; HARTIG, P.; LIST, M.: Biomasse-Verbrennungs-Abschlussbericht -Fachbericht ILK-AB-33/02-1038

Impressum

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Internet: www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl
- Autoren:** Prof. Dr.-Ing. K. Nendel, Dr.-Ing. B. Clauß, Dipl.-Ing. A. Nendel, Dipl.-Ing. Ulrike Schneevoigt, Dipl.-Ing. H. Tepper, Dipl.-Ing. agr. H. E. Brandt, Dipl.-Ing. (FH) M. Piller, Frau K. Bochmann, Rüdiger Trinks, Dipl.-Ing. R. Heidenreich
- Redaktion:** TU Chemnitz
Institut für Allgemeinen Maschinenbau und Kunststofftechnik
09107 Chemnitz
Prof. Dr.-Ing. K. Nendel
e-mail: klaus.nendel@mb.tu-chemnitz.de
Telefon: 0371/531 - 23 23
Telefax: 0371/531 - 23 24
- Otto-von-Guericke Universität Magdeburg
Institut für Apparate und Umwelttechnik
PF 41 20
39016 Magdeburg
- LPV Westsachsen e. V.
Pestalozzistraße 21
08459 Neukirchen
- Entsorgungsgesellschaft Zschopau mbH
Gerbergasse 13
09405 Zschopau
- Endredaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Thomas Freitag, Ramona Scheinert
Telefon: 0351/2612 - 138
Telefax: 0351/2612 - 151
E-mail: thomas.freitag@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de
- Redaktionsschluss:** September 2004
- Satz:** Christlich-Soziales Bildungswerk Sachsen e. V. Miltitz
- Druck:** Sächsisches Digitaldruck Zentrum GmbH Dresden
- Auflage:** 140 Exemplare
- Bezug:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Öffentlichkeitsarbeit
August.-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Fax: 0351/2612 - 151
E-Mail: poststelle@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de
- Schutzgebühr:** 12,78 EUR

Diese Broschüre wurde auf chlorfrei gebleichtem sowie alterungsbeständigem Papier (ISO 9706) gedruckt. Die Alterungsbeständigkeit beträgt laut Zertifikat mehr als 200 Jahre.

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:
Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.