



gefördert durch



# Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt Energiebiomasse aus Niedermooren (ENIM)

Sabine Wichmann & Wendelin Wichtmann (Hrsg.)



Schilfbestand am Greifswalder Bodden (Foto: W. Wichtmann)

ERNST MORITZ ARNDT  
UNIVERSITÄT GREIFSWALD



Wissen  
lockt.  
Seit 1456



fachhochschule  
stralsund  
university of  
applied  
sciences

**Forschungs- und Entwicklungsprojekt:**  
**„Energiebiomasse aus Niedermooren – ENIM“**

**Laufzeit:** 15.01.2007 – 14.01.2010

**Berichtabgabe:** Dezember 2009

**Finanzierung:** DBU - Deutsche Bundesstiftung Umwelt

**Projektleiter:** Prof. Dr. Michael Manthey, Institut für Botanik und Landschaftsökologie

**Koordination:** Wendelin Wichtmann, DUENE e.V.

**Kooperationspartner:**

Firma/Institution	Ansprechpartner	Adresse
Institut für Botanik und Landschaftsökologie (IfBL), Universität Greifswald	Prof. Dr. Michael Manthey Dr. Tiemo Timmermann	Grimmer Str. 88 17487 Greifswald manthey@uni-greifswald.de tiemo@uni-greifswald.de
Institut für Dauerhaft Umweltgerechte Entwicklung von Naturräumen der Erde e.V. (DUENE)	Dr. Wendelin Wichtmann Sabine Wichmann	Grimmer Str. 88 17487 Greifswald wicht@uni-greifswald.de wichtmann.sabine@gmx.de
Landentwicklung durch Agrarkultur (LedA), Die Agentur für Landwirtschaft und Naturschutz	Henning Holst	Gutshof 20/21 17498 Diedrichshagen OT Guest info@agenturleda.de
Landwirtschaftsbetrieb Hans Voigt (LWB Voigt)	Hans Voigt	Salemer Weg 3 17154 Neukalen Fax: 039956/21 273 lwb.voigt@gmx.de
Gesellschaft für Motoren und Kraftanlagen mbH (GMK)	David Horn Manfred Kremp	Reuterstraße 5 18211 Bargeshagen info@gmk.info kremp@gmk.info
Komplexlabor Alternative Energien (KAE) Fachhochschule Stralsund (FHST)	Prof. Dr. Matthias Ahlhaus Dr. Mirko Barz Alrik Wulf	Zur Schwedenschanze 15 D-18435 Stralsund barz01de@yahoo.de

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ANLASS UND ZIELSETZUNG .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>ARBEITSSCHRITTE UND ANGEWANDTE METHODEN .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>PROJEKTERGEBNISSE.....</b>	<b>13</b>
3.1	KLÄRUNG ÜBERGEORDNETER GESICHTSPUNKTE .....	13
3.1.1	<i>Akzeptanz der nassen Bewirtschaftung von Mooren (H. Holst).....</i>	<i>13</i>
3.1.2	<i>Landtechnische Herausforderungen: vorhandene Lösungen und Entwicklungsbedarf (W. Wichtmann, S. Wichmann).....</i>	<i>23</i>
3.1.3	<i>Exkurs: Schilf – ein alte Nutzpflanze (S. Wichmann).....</i>	<i>35</i>
3.2	HALMGUTARTIGE BIOMASSE AUS WIEDERVERNÄSSTEN NIEDERMOOREN .....	37
3.2.1	<i>Biomasse- und Standortskatalog (Standortpotenzial) (T. Timmermann).....</i>	<i>37</i>
3.2.2	<i>Qualitätskriterien für die Verbrennung (S. Wichmann).....</i>	<i>49</i>
3.3	BRENNSTOFF-CHARAKTERISIERUNG, VERBRENNUNGSTESTS UND ASCHEANALYSEN (A. WULF) ...	53
3.3.1	<i>Charakterisierung und Analyse der Biobrennstoffe .....</i>	<i>53</i>
3.3.2	<i>Kleintechnische Verbrennungsversuche.....</i>	<i>60</i>
3.3.3	<i>Begleitende großtechnische Verbrennungsversuche .....</i>	<i>63</i>
3.4	MÖGLICHKEITEN DER VERWERTUNG VON NMB IM HEIZKRAFTWERK FRIEDLAND (M. KREMP) ....	65
3.4.1	<i>Brennstoffanforderungen .....</i>	<i>65</i>
3.4.2	<i>Rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen.....</i>	<i>70</i>
3.4.3	<i>Möglichkeiten des Einsatzes von NMB.....</i>	<i>72</i>
3.4.4	<i>Anlagenanpassung an NMB.....</i>	<i>81</i>
3.4.5	<i>Betriebswirtschaftliche Betrachtung .....</i>	<i>81</i>
3.5	PRAKTISCHER EINSATZ VON NIEDERMOORBIOMASSE .....	83
3.5.1	<i>Einsatz von NMB im BHKW Friedland (M. Kremp).....</i>	<i>83</i>
3.5.2	<i>Möglichkeiten der Verwertung der NMB in neuen Anlagen (M. Kremp).....</i>	<i>83</i>
3.5.3	<i>Biogasproduktion (W. Wichtmann).....</i>	<i>85</i>
3.5.4	<i>BTL, Synfuels, Sunfuels (W. Wichtmann).....</i>	<i>86</i>
3.5.5	<i>Potenzialanalyse: Quantitative Versorgung mit alternativen Energieträgern und Flächenausstattung in der Region (I. Beil, W. Wichtmann, T. Timmermann).....</i>	<i>87</i>
3.6	LANDWIRTSCHAFTLICHE PRODUKTIONSKETTE - VON DER FLÄCHE BIS ZUM KRAFTWERK .....	101
3.6.1	<i>Auswahl von Saatgut und Bereitstellung von Pflanzenmaterial (T. Timmermann).....</i>	<i>101</i>
3.6.2	<i>Erprobung eines Pflanzverfahrens (T. Timmermann, T. Dahms) .....</i>	<i>102</i>
3.6.3	<i>Erprobung der Winterernte von Schilf mit herkömmlicher Landtechnik (S. Wichmann).....</i>	<i>103</i>
3.6.4	<i>Ernte, Transport und Lagerung (S. Wichmann).....</i>	<i>104</i>
3.7	BETRIEBSWIRTSCHAFT AUS SICHT DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN ERZEUGUNG .....	111
3.7.1	<i>Erhöhte Kosten bei der Gewinnung von Energiebiomasse aus Niedermooren (S. Wichmann) ....</i>	<i>111</i>
3.7.2	<i>Ernte und Bergung (S. Wichmann).....</i>	<i>111</i>
3.7.3	<i>Lagerung und Transport zum Heizwerk (S. Wichmann) .....</i>	<i>117</i>
3.7.4	<i>Bestandesetablierung (T. Dahms).....</i>	<i>117</i>
3.7.5	<i>Gesamtkosten der Bereitstellung von Niedermoorbiomasse (S. Wichmann).....</i>	<i>122</i>
3.7.6	<i>Gestaltung erzielbarer Erlöse (S. Wichmann).....</i>	<i>124</i>

3.7.7	<i>Förderung: Niedermoorbiomasse als „Koppelprodukt“ (S. Wichmann)</i> .....	126
3.7.8	<i>Vergleich mit anderen Produktionsverfahren (S. Wichmann)</i> .....	128
3.7.9	<i>Fazit zur Wirtschaftlichkeit der NMB-Produktion (S. Wichmann)</i> .....	132
3.7.10	<i>Wirtschaftliche Planungssicherheit (H. Holst)</i> .....	133
3.8	<b>ÖKOLOGISCHE BEURTEILUNG DER NASSEN BEWIRTSCHAFTUNG VON NIEDERMOOREN</b> .....	137
3.8.1	<i>Umwelt- und Naturschutzeffekte von Rohrglanzgras- und Schilfnutzung (T. Timmermann)</i> .....	137
3.8.2	<i>Einschätzung der Klimarelevanz von Paludikulturen (W. Wichtmann)</i> .....	141
3.8.3	<i>Anforderungen an die Biomassernte aufgrund naturschutzfachlicher Belange (T. Timmermann)</i> .....	146
<b>4</b>	<b>PRAXISBEISPIELE</b> .....	<b>147</b>
4.1	NEUSIEDLER SEE: ERNTE VON ALTSCHILF UND ENERGETISCHE VERWERTUNG (S. WICHMANN) ..	147
4.2	ENERGIE & LANDSCHAFTSPFLEGE BODENSEE: HEIZWERK KALTBRUNN (S. WICHMANN) .....	149
4.3	ZUKUNTSORIENTIERUNG DER LANDWIRTSCHAFT: GANZBALLENVERGASER (L. BORK) .....	151
4.4	WÄRMEERZEUGUNG FÜR DIE SCHWEINEZUCHT: STROHVERBRENNUNG IN DENNIN (H. HOLST) ...	153
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG, BEWERTUNG UND AUSBLICK</b> .....	<b>154</b>
<b>6</b>	<b>LITERATUR</b> .....	<b>158</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>168</b>
7.1	FRAGEBOGEN (H. HOLST) .....	169
7.2	BIOMASSEANALYSEN: SCHILF UND ROHRGLANZGRAS (T. TIMMERMANN) .....	172
7.3	FORMELN (T. DAHMS).....	180
7.4	TABELLEN (T. DAHMS, S. WICHMANN).....	181
7.5	ÖFFENTLICHSARBEIT UND PRÄSENTATION.....	185
7.5.1	<i>Veranstaltungen (T. Dahms)</i> .....	185
7.5.2	<i>Tagungsbeiträge</i> .....	188
7.5.3	<i>Publikationen</i> .....	189

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.2-1: Verteilung der Stichprobengrößen für lebende und tote Biomasse (BM).....	39
Tabelle 3.2-2: Untersuchte Variablen und betrachtete Stichprobengrößen für Rohrglanzgras.....	39
Tabelle 3.2-3: Untersuchte Variablen und betrachtete Stichprobengrößen für Schilf.....	40
Tabelle 3.2-4: Ökologische Optimalbereiche von Schilf und Rohrglanzgras.....	40
Tabelle 3.2-5: Typische Vegetationsaufnahme für durch leichte Vernässung und Einstellung der Düngung allmählich an Nährstoffen verarmende Rohrglanzgrasbestände.....	41
Tabelle 3.2-6: Übersicht zum Einfluss von Wasserstufe, Trophiestufe, Erntezeitpunkt und Lokalität auf die Quantität und Qualität der Biomasse von RGG und Schilf.....	44
Tabelle 3.2-7: Beziehung zwischen den Standorttypen und den mittleren TM-Erträgen.....	47
Tabelle 3.3-1: Erntezeitpunkt und Herkunft der untersuchten Proben.....	53
Tabelle 3.3-2: Übersicht der technologischen und verbrennungstechnischen Kenngrößen.....	58
Tabelle 3.3-3: Durchschnittswerte der Ascheinhaltsstoffe.....	59
Tabelle 3.3-4: Durchschnittswerte der Rauchgasmessungen.....	62
Tabelle 3.3-5: Gesamtübersicht der Rauchgasmessungen in Friedland.....	63
Tabelle 3.4-1: Elementaranalyse der Brennstoffe im Vergleich (Wulf 2008).....	68
Tabelle 3.4-2: Emissionsgrenzwerte nach 1. BImSchV und TA-Luft.....	71
Tabelle 3.4-3: Gewichtsverteilung des Brennmaterials.....	74
Tabelle 3.4-4: Mischungsverhältnisse und Brennstoffbedarf.....	75
Tabelle 3.4-5: Emissionsgrenzwerte für das BMHKW Friedland nach TA-Luft.....	78
Tabelle 3.5-1: Flächenanteile der hydrologischen Moortypen im Untersuchungsgebiet.....	89
Tabelle 3.5-2: Biotop- und Nutzungstypen der Moorflächen.....	89
Tabelle 3.5-3: Theoretisches Flächenpotenzial für eine nasse Bewirtschaftung.....	91
Tabelle 3.5-4: Prozentuale Verbuschung der einzelnen Biotop- und Nutzungstypen.....	94
Tabelle 3.5-5: Biotoptypen für eine nasse Bewirtschaftung im Umkreis von Malchin (30 km).....	95
Tabelle 3.5-6: Trophiestufenverteilung ausgewählter Biotop- und Nutzungstypen.....	96
Tabelle 3.5-7: Veränderung der Wasserstufen der Biotop- und Nutzungstypen nach Vernässung.....	97
Tabelle 3.5-8: Wasserstufenverteilung ausgewählter Biotop- und Nutzungstypen.....	97
Tabelle 3.5-9: Flächenpotenzial (ha) differenziert nach Standorttypen.....	98
Tabelle 3.5-10: Naturräumliches maximales Ertragspotenzial an Trockenmasse TM [t].....	98
Tabelle 3.5-11: Realistisches Ertragspotenzial an Trockenmasse TM [t].....	99
Tabelle 3.6-1: Technikausstattung für die Bewirtschaftung feuchter Flächen im LWB Voigt.....	105
Tabelle 3.7-1: Erntekosten von Rohrglanzgras (eigene Berechnungen nach KTBL).....	112
Tabelle 3.7-2: Erntekosten von Schilf bei Frost (eigene Berechnungen nach KTBL).....	113
Tabelle 3.7-3: Variable und fixe Kosten eines Vollernters auf Raupenbasis.....	115
Tabelle 3.7-4: Erntekosten von Schilf mit Vollernter und Tragschlepper bei mittlerem Ertrag.....	116
Tabelle 3.7-5: Transportkosten für Stroh in Abhängigkeit von der Entfernung (€/t).....	117

Tabelle 3.7-6: Anzucht des Pflanzgutes .....	118
Tabelle 3.7-7: Pflanzkosten .....	120
Tabelle 3.7-8: Kosten für die Bestandesetablierung.....	121
Tabelle 3.7-9: Produktions- und Brennstoffkosten von NMB bei mittlerem Ertragsniveau .....	122
Tabelle 3.7-10: Erträge von Rohrglanzgras (RGG) und Schilf.....	124
Tabelle 3.7-11: Brennstoffkosten von Miscanthus (KTBL 2006).....	129
Tabelle 3.8-1: Brutvögel in Niedermooren Nordostdeutschlands in Abhängigkeit von Nutzungsoption und Wasserstufe .....	139
Tabelle 3.8-2: Umwelt- und Naturschutzeffekte der energetischen Biomassenutzung (Rohrglanzgras, Schilf) sowie herkömmlicher intensiver Grünlandnutzung oder Grünlandbrache auf die Schutzgüter Artenvielfalt, Stoffhaushalt, Prozesse (Wildnis) und Landschaftsbild .....	141
Tabelle 3.8-3: Bilanz für Paludikulturen (Emissionen in CO <sub>2</sub> -Äquivalenten) .....	144
Tabelle 3.8-4: CO <sub>2</sub> -Emissionen auf Moor angebauter Energieträger bzw. von Torf und Heizöl .....	144
Tabelle 4.4-1: Innerbetriebliche Brennstoffkosten für Stroh.....	153
Tabelle 7.4-1: Erntekosten für Schilf und RGG mit herkömmlicher Landtechnik .....	181
Tabelle 7.4-2: Zeitbedarf für die Ernte von Schilf und RGG mit herkömmlicher Landtechnik .....	182
Tabelle 7.4-3: Maschinenkosten für die eingesetzte Landtechnik .....	182
Tabelle 7.4-4: Maschinenkosten.....	183
Tabelle 7.4-5: Versuchspflanzung.....	184

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1-1: Ankündigung zum Workshop am 17.10.2007 .....	19
Abbildung 3.1-2: Modifizierte Pistenraupe zur Mahd für eine energetische Verwertung .....	26
Abbildung 3.1-3: Modifizierte Pistenraupe: Mährescherschneidwerk und aufgesetzte Ballenpresse .....	27
Abbildung 3.1-4: Modifizierte Saiga-Schilferntemaschine mit Frontanbau eines Feldhäckslers zur Sommermahd von Röhrichten im Rahmen von Agrarumweltprogrammen .....	28
Abbildung 3.1-5: Versuchsweise Wintermahd eines Schilf-Röhrichts.....	29
Abbildung 3.1-6: Modifizierter Kleintraktor mit Balkenmäher zur Sommermahd von Röhrichten im Rahmen von Naturschutzmaßnahmen.....	29
Abbildung 3.1-7: Umgebauter PistenBully zur Feuchtgebietspflege.....	30
Abbildung 3.1-8: Neues Design für neue technische Lösungen: Erntefahrzeug für Schilfbiomasse....	31
Abbildung 3.1-9: Entwurf für eine Schilferntemaschine der Firma Kranemann, Blücherhof (M-V)...	32
Abbildung 3.1-10: Transportfahrzeug für Dachreet in Rozwarowo, Polen, im Hintergrund Ernteflächen .....	34
Abbildung 3.2-1: Untersuchte Bestände von Rohrglanzgras und Schilf.....	38

Abbildung 3.2-2: Trockenmasseerträge für Rohrglanzgras ( <i>Phalaris</i> ) und Schilf ( <i>Phragmites</i> ).....	41
Abbildung 3.2-3: Vegetation auf der Fläche Neukalener Wiese A (Brache, Vernässung) .....	42
Abbildung 3.2-4: Vergleich der Trockenmasseerträge von Rohrglanzgras und Schilf.....	43
Abbildung 3.2-5: Entwicklung der TM-Erträge und Stoffgehalte von RGG.....	46
Abbildung 3.2-6: Trockenmasseerträge von Schilf.....	46
Abbildung 3.2-7: „Umfallender“ Bestand des Rohrglanzgrases .....	48
Abbildung 3.2-8: Einfluss des Erntezeitpunktes auf die Brennstoffeigenschaften von RGG.....	50
Abbildung 3.3-1: Proben von Schilf (obere Reihe) und Rohrglanzgras (untere Reihe).....	54
Abbildung 3.3-2: Schütt- und Lagerungsdichten .....	55
Abbildung 3.3-3: Wassergehalt.....	55
Abbildung 3.3-4: Brennwerte.....	55
Abbildung 3.3-5: Heizwerte .....	55
Abbildung 3.3-6: Zusammenhang zwischen Heizwert und Wassergehalt.....	55
Abbildung 3.3-7: Immediatanalyse .....	57
Abbildung 3.3-8: Ascheerweichungstemperaturen .....	57
Abbildung 3.3-9: Brennstoffproben: Schilf und Rohrglanzgras (Großballen + Häcksel).....	60
Abbildung 3.3-10: Holzvergaserkessel und seine Einbindung in das Heizkreislaufsystem.....	60
Abbildung 3.3-11: Fichtenhackgut-Mischung mit wachsendem Halmgutanteil (5 bis 20 %) .....	61
Abbildung 3.3-12: Kraftwerk Friedland mit Leistungsdaten.....	63
Abbildung 3.3-13: Rauchgaswerte bei Verbrennung der Mischung 3/1 .....	64
Abbildung 3.3-14: Rauchgaswerte bei Verbrennung der Mischung 2/1 .....	64
Abbildung 3.3-15: Schematische Darstellung des Biomasseheizkraftwerks in Friedland .....	64
Abbildung 3.4-1: Stoff- und Energiefluss des BMHKW Friedland.....	65
Abbildung 3.4-2: Vorschubrostfeuerung mit Schrägrost .....	66
Abbildung 3.4-3: Schütt- und Lagerdichten mit Wassergehalt im Vergleich (Wulf 2008) .....	67
Abbildung 3.4-4: Übersicht über Gesetze und Verordnungen zur Genehmigung.....	70
Abbildung 3.4-5: Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln.....	72
Abbildung 3.4-6: Beschickung und Verstopfung des Brechers beim Brechversuch.....	73
Abbildung 3.4-7: Brennstoffaufbereitung mittels werksinternem Brecher für die Testverbrennung....	74
Abbildung 3.4-8: Verfilzung des Brennmaterials bedingt durch RGG.....	76
Abbildung 3.4-9: links: Asche der RGG-Verbrennung, rechts: Asche der Holzverbrennung .....	78
Abbildung 3.4-10: Ergebnisse der Rauchgasmessung .....	79
Abbildung 3.4-11: Fichte / Schilf 80/20 Massenprozent (Wulf 2008).....	80
Abbildung 3.4-12: Fichte / RGG 80/20 Massenprozent (Wulf 2008).....	80
Abbildung 3.5-1: Schematischer Aufbau einer Zigarrenfeuerung .....	84
Abbildung 3.5-2: Prinzip einer landwirtschaftlichen Biogasanlage unter Verwendung von Ko-Substraten (FNR 2006) .....	85

Abbildung 3.5-3: Verteilung der Moorflächen in Mecklenburg-Vorpommern.....	88
Abbildung 3.5-4: Karte der potenziellen Anbauflächen um Malchin .....	90
Abbildung 3.5-5: Eignung von Moorflächen für eine nasse Bewirtschaftung um Malchin (30 km)....	94
Abbildung 3.5-6: Szenario der Veränderungen der Feuchtestufen nach einer Wiedervernässung .....	96
Abbildung 3.6-1: Dokumentation der Anzucht der Schilfpflanzen.....	101
Abbildung 3.6-2: Schilfpflanzung mit einer einreihigen Forstpflanzmaschine.....	102
Abbildung 3.6-3: Nächtliche Tiefsttemperatur [°C] vom 19.11.2008-14.01.2009 (wetteronline.de) .	103
Abbildung 3.6-4: Probeernte von Schilf mit Mähwerk und Ballenpresse (14.01.2009) .....	103
Abbildung 3.6-5: Ernteverfahren für halmgutartige Biomasse (Hartmann 1997, In: FNR 2000).....	104
Abbildung 3.6-6: Tragschlepper aus dem Forstsektor (8 bzw. 10 Räder, mit bzw. ohne Bänder).....	106
Abbildung 3.6-7: Leichter Tragschlepper „Terri ATD“ .....	107
Abbildung 3.6-8: Transport von Schüttgutbrennstoffen (Hartmann 1997 in FNR 2000) .....	108
Abbildung 3.6-9: Mittlere Lagerungsdichten von Getreidestroh (kg/m <sup>3</sup> ) .....	109
Abbildung 3.8-1: Treibhausgaspotenzial (GWP) pro Hektar Moorfläche .....	142
Abbildung 3.8-2: Vergleich der energetischen Verwertung von Schilf bezüglich Gigajoule eingesparter Primärenergie und Tonnen eingesparter CO <sub>2</sub> -Äquivalente .....	145
Abbildung 4.1-1: Schilf-Rundballen am Neusiedler See .....	148
Abbildung 4.3-1: Herlt-Ganzballenvergaser Schnittdarstellung .....	152
Abbildung 7.2-1: Gehalte von N, P, K und Cl (links: mg/g, rechts: kg/ha) sowie C/N-Verhältnis bei Rohrglanzgras und Schilf.....	172
Abbildung 7.2-2: C-Gehalte (mg/g) von Rohrglanzgras und Schilf .....	173
Abbildung 7.2-3: N-Gehalte (mg/g) von Rohrglanzgras und Schilf .....	174
Abbildung 7.2-4: C/N-Verhältnis von Rohrglanzgras und Schilf.....	175
Abbildung 7.2-5: P-Gehalte (mg/g) von Rohrglanzgras und Schilf.....	176
Abbildung 7.2-6: K-Gehalte (mg/g) von Rohrglanzgras und Schilf .....	177
Abbildung 7.2-7: Cl-Gehalte (mg/g) von Rohrglanzgras und Schilf .....	178
Abbildung 7.2-8: Standing crop, C- und N-Gehalte, C/N-Verhältnis, P- und K-Gehalte von Rohrglanzgras und Schilf in lebender (L) und toter (T) Biomasse .....	179

**Abkürzungsverzeichnis**

Akh	Arbeitskraftstunden
atro	absolut trocken
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BM	Biomasse
BMHKW	Biomasseheizkraftwerk
BNT(K)	Biotop- und Nutzungstypen(kartierung)
CIR-Luftbilder	Color-Infrarot-Luftbilder
CO <sub>2</sub> -eq	Kohlendioxid-Äquivalente: Maß für die Klimawirksamkeit einer Gasmenge
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DUENE e.V.	Institut für Dauerhaft Umweltgerechte Entwicklung von Naturräumen der Erde
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
ELaBo	Energie und Landschaftspflege Bodensee
ENIM	Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Energiebiomasse aus Niedermooren“
et al.	und andere
FHSt	Fachhochschule Stralsund
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
FWL	Feuerungswärmeleistung
GJ	Gigajoule
GMK	Gesellschaft für Motoren und Kraftanlagen mbH
GWP	Global / Greenhouse Warming Potential (Treibhausgaspotenzial)
ha	Hektar
IfBL	Institut für Botanik und Landschaftsökologie (der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald)
in prep.	in Vorbereitung
KAE	Komplexlabor Alternative Energien
KfW	KfW Bankengruppe (früher: Kreditanstalt für Wiederaufbau)
KG	Kommanditgesellschaft
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
kW	Kilowatt
kWel	Kilowatt elektrische Leistung
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LedA	Landentwicklung durch Agrarkultur (Agentur für Landwirtschaft und Naturschutz)
LINFOS M-V	Landschaftsinformationssystem Mecklenburg-Vorpommern

LULUCF	Land Use, Land-Use Change And Forestry (Sonderbericht zum Kyoto-Protokoll über Emissionen und Senken im Bereich Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)
LUNG	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie
LWB	Landwirtschaftsbetrieb
LWBG	Landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft
MdB	Mitglied des Bundestages
MJ	Megajoule
moor_uek	Moorübersichtskartierung
M-V	Mecklenburg-Vorpommern
MW	Megawatt
MWth	Megawatt thermische Leistung
Nawaro	nachwachsende Rohstoffe
NMB	Niedermoorbiomasse
ORC	Organic Rankine Cycle: Betrieb von Dampfturbinen mit organischen Flüssigkeiten mit niedriger Verdampfungstemperatur, z.B. Silikonöl
PLENUM	Projekt des Landes zur Erhaltung und Entwicklung von Natur und Umwelt
RGG	Rohrglanzgras ( <i>Phalaris arundinacea</i> )
RL	Rote Liste
StAUN	Staatliches Amt für Umwelt und Natur (Mecklenburg-Vorpommern)
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
THG	Treibhausgas
TJ	Terajoule
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
VO	Verordnung
WBV	Wasser- und Bodenverband
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

## 1 Anlass und Zielsetzung

Durch die zunehmende Nachfrage wird das Angebot von Biomasse zur energetischen Verwertung knapper. Dies äußert sich in steigenden Preisen für Biomasse sowie in einer Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungsmittel-, Futter- und Energieproduktion. Die Produktion von Biomasse aus wiedervernässten bzw. nassen Mooren (=Niedermoorbiomasse, NMB) steht jedoch nicht in Konkurrenz zu anderen Produkten der Landwirtschaft. Vielmehr besteht ein Überschuss an Niedermoorgrünland: Flächen sind aus der Nutzung gefallen und verbuschen (Verlust von Offenland) bzw. befinden sich auf Grund von Flächen- oder Naturschutzprämien in einer Pflegenutzung. Mit dem Projekt „Energiebiomasse aus Niedermooren“ (ENIM; DBU-AZ 25165-35/0) sollten die Möglichkeiten der energetischen Verwertung von Niedermoorbiomasse (Gemeines Schilf, Rohrglanzgras) untersucht werden.

In Nordost-Deutschland existieren ausgedehnte Niedermoorflächen, die zu über 95 % entwässert sind. Durch Torfmineralisation werden hierdurch große Mengen des Klimagases CO<sub>2</sub> freigesetzt. Knapp 30 % der gesamten Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft bzw. ca. 3,7 % der gesamtwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen Deutschlands werden durch die Entwässerung und landwirtschaftliche Nutzung von Moorflächen verursacht (Hirschfeld et al. 2008). Die Bewirtschaftung der Niedermoorflächen nach Wiedervernässung ist im Gegensatz zum üblichen Biomasseanbau umweltentlastend. Der Torfabbau durch die herkömmliche Grünlandbewirtschaftung wird beendet. In semi-aquatischen Ökosystemen kann ggf. Kohlenstoff in Form von Torf gespeichert werden. Zusätzlich erfolgt durch die energetische Verwertung der Niedermoorbiomasse eine CO<sub>2</sub>-Einsparung auf Grund der Substitution fossiler Energieträger im Kraftwerk.

Die als Paludikultur (*palus* (lat.): Sumpf) bezeichnete nasse, standortgerechte Bewirtschaftung vereinbart Moor- sowie Klimaschutz mit einer landwirtschaftlichen Wertschöpfung. Eine energetische Nutzung der jährlich nachwachsenden Pflanzenbiomasse aus wiedervernässten Niedermooren wird sich jedoch nur dann durchsetzen können, wenn diese Nutzung für alle in der Verfahrenskette Beteiligte (Erzeugung bis Verwertung) technisch und wirtschaftlich durchführbar ist. Folgende Fragestellungen standen beim ENIM-Projekt im Vordergrund:

- Stoffliche Zusammensetzung und Brennstoffeigenschaften von Niedermoorbiomasse am Beispiel von Schilf (*Phragmites australis*) und Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*)
- Einsatzmöglichkeiten als Monobrennstoff oder als Beimischung zu Holz
- Landtechnische und agrarökonomische Fragen der Gewinnung von Niedermoorbiomasse
- Charakterisierung der Standortbedingungen, Ermittlung der Produktivität und Bestimmung des Flächenpotenzials wiedervernässter bzw. nasser Niedermoore
- Akzeptanz und Rahmenbedingungen der Bewirtschaftung nasser Moore aus Sicht von Naturschutz und Landwirtschaft

Die Vorgehensweise und die jeweiligen Arbeitsschritte werden im nachfolgenden Kapitel erläutert.

## 2 Arbeitsschritte und angewandte Methoden

Im Rahmen des ENIM-Projektes wurden alle Stufen der Produktion und energetischen Verwertung von Biomasse aus nassen Mooren betrachtet sowie in Praxisversuchen deren Umsetzung überprüft und verbessert. Neben dem Anbau von Schilf auf einer Versuchsfläche, verbunden mit der Untersuchung landtechnischer und agrarökonomischer Fragestellungen, wurden logistische Fragen von der Ernte bis zum Kraftwerk bearbeitet. Landwirtschaftliche und naturschutzfachliche Fragen (Ökonomie, Akzeptanz, Natur- und Umweltverträglichkeit) wurden eingehend behandelt. Eine wichtige Säule der Untersuchungen waren zudem die Versuche zur Brennstoffqualität von Material verschiedener Herkünfte mit unterschiedlich zusammengesetzten Dominanzbeständen und der versuchsweise Dauereinsatz der Niedermoorbiomasse im Kraftwerk.

Wesentlicher Projektinhalt war die beständige **Diskussion des Paludikultur-Ansatzes** und der Verwertungsmöglichkeiten für die Biomasse mit externen Fachleuten und Akteuren. Hierzu dienten im Laufe des Projektes vier Veranstaltungen folgenden Inhalts (vgl. Kapitel 7.5.1):

- Workshop I: „Energiebiomasse aus wiedervernässten Niedermooren: Einschätzung von Experten aus Verbänden, Wissenschaft und der Agrar- und Naturschutzverwaltung“ (2007)
- Workshop II: „Bewirtschaftung nasser Standorte – Herausforderung Landtechnik“ (2008)
- Wintertagung: „Moore - Nutzungsmöglichkeiten im Kontext ihrer Klimarelevanz“ (2008)
- Abschlussveranstaltung: „Heizen mit Schilf - Möglichkeiten dezentraler Wärmeenergieversorgung“

Die **Klärung übergeordneter Gesichtspunkte** der Nutzung nasser Niedermoore ist mit Kapitel 3.1 vorangestellt. Zusätzlich zur **Akzeptanz** der Praktiker wurden die Einschätzungen von Verbänden sowie Agrar- und Naturschutzverwaltungen untersucht. Hierzu wurde neben den Diskussionen im Rahmen von Workshop I eine Befragung von Einzelpersonen durchgeführt. Der im Anhang 7.1 angefügte Fragebogen diente als Leitfaden für die Durchführung von halboffenen Interviews. Es entwickelte sich in allen Gesprächen ein offener Austausch. Die über den Fragebogen hinausgehenden Ergebnisse des Gesprächs wurden separat als Kurzprotokoll festgehalten. Die Bereitschaft zur Erzeugung von Energie-Biomasse auf nassen Flächen ist eng verbunden mit der Situation im Landwirtschaftsbetrieb und der Einschätzung von Perspektiven für die weitere Entwicklung der Niedermoorflächen. Eine maßgebliche Rolle spielt die Verfügbarkeit einer an die nasse Bewirtschaftung angepassten **Landtechnik**. Der Überblick über Herausforderungen und Lösungsansätze wurde v. a. anhand vielfältiger Praxisbeispiele und der Ergebnisse des 2. Workshops erarbeitet. Ein kleiner Exkurs auf der Basis einer umfassenden Literaturstudie zeigt abschließend, dass Schilf keineswegs eine neue landwirtschaftliche Nutzpflanze ist und auch moderne Ansätze zur großflächigen Bewirtschaftung von Röhrichten und Rieden nicht unrealistisch sind.

In Kapitel 3.2 erfolgt eine Qualitäts- und Quantitätseinschätzung der **Niedermoorbiomasse** (NMB) in M-V. Sowohl die Erträge als auch die stoffliche Zusammensetzung sind artspezifisch, von den jeweiligen Standortbedingungen bestimmt und zudem abhängig vom Erntezeitpunkt. Daher wurde ein **Standort- und Produktivitätskatalog** erarbeitet, der die Standorte hinsichtlich Feuchtigkeitsverhältnissen, Nährstoffangebot und spezifischen Erträgen charakterisiert. Außerdem wurde der optimale **Erntezeitpunkt** ermittelt. Hierfür wurden Biomasseproben aus Dominanzbeständen von Rohrglanzgras und Schilf von Untersuchungspunkten im Peenetal und im Trebental gewonnen. Im Labor des IfBL der Universität Greifswald erfolgte die Analyse der Proben hinsichtlich der Parameter

Trockenmasse, C, N, P, K, Cl und C/N-Verhältnis. Im Kapitel 3.2.2 werden – als Überleitung zu den im Folgenden im Detail vorgestellten Einsatzmöglichkeiten und Brennstoffeigenschaften – die für eine Verbrennung wesentlichen Qualitätskriterien aufgezeigt. Anhand von Literaturdaten sowie Expertenbeiträgen und Diskussionen im Rahmen der Abschlussveranstaltung wird auf die Besonderheiten halmgutartiger Brennstoffe hingewiesen.

Die Charakterisierung und Analyse des neuen Brennstoffs „Niedermoorbiomasse“ bezogen auf **technologische und verbrennungstechnische Kenngrößen** seitens der Fachhochschule Stralsund wird in Kapitel 3.3 dargestellt. Untersucht wurden Proben von Rohrglanzgras, Schilf sowie das für Mischungen verwendete Fichtenhackgut. Nach Durchführung der Voruntersuchungen erfolgten **kleintechnische Verbrennungstests** im 50 kW Holzvergaserkessel. Diese beinhalteten die Verbrennung von Rohrglanzgras und Schilf in gehäckselter Form und in verschiedenen Mischungen mit Fichtenhackgut. Auf Grundlage der Erfahrungen aus den Voruntersuchungen wurden großtechnische Verbrennungsversuche in einem Biomasseheizkraftwerk (BHKW) durchgeführt. Sowohl im Labor als auch im BHKW wurden die Emissionen mit dem Rauchgas gemessen, um Aussagen zur Umweltverträglichkeit des Brennstoffs machen zu können.

Die Untersuchung der Möglichkeiten einer thermischen Verwertung von Schilf und Rohrglanzgras in einem großtechnischen Versuch erfolgte durch die Gesellschaft für Motoren und Kraftanlagen mbH (GMK) im **Biomasseheizkraftwerk Friedland** (Kapitel 3.4). Als vorbereitende Maßnahme und um das Handling der NMB zu erproben, wurde ein Brechversuch durchgeführt. Dieser ergab Kenntnisse über die Möglichkeit der **Ballenauflösung**, die Mischung der Brennstoffe mit Holzhackschnitzeln und ermöglichte Festlegungen für die anstehende Testverbrennung. Für den **Verbrennungsversuch** wurden die Mischungen nacheinander, beim kleinsten Mischungsverhältnis beginnend, hergestellt und dem Versuch zur Verfügung gestellt. Bei der Brennstoffmischung musste immer auf die Eignung in der vorhandenen Anlage geachtet werden. So wurde schnell sichtbar, dass eine Monoverbrennung der NMB bzw. eine Mischung von 1:1 der NMB mit Holz in der Anlage in Friedland ausgeschlossen werden konnte. Die hergestellten Mischungen wurden vor Einbringen in das Brennstoffsilos einer Wägung unterzogen und die spezifischen Brennstoffdaten ermittelt. Die Ergebnisse der Wägungen wurden in der Auswertung zur Mengenabschätzung herangezogen und mit dem Verbrauch von Holzhackschnitzeln verglichen. Während der Testverbrennung wurden **Rauchgasanalysen** durchgeführt, um die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte zu überprüfen. Nach der Verbrennung erfolgte eine **Ascheanalyse** nach der Düngemittelverordnung durch ein unabhängiges Labor. Vor und nach dem Test wurde eine Begutachtung des Brennraumes durchgeführt und die Ergebnisse dokumentiert.

Kapitel 3.4 gibt einen Überblick über den **praktischen Einsatz von Niedermoorbiomasse**. Neben den Verwertungsmöglichkeiten im BHKW Friedland wird die thermische Nutzung in anderen Anlagen sowie als Ausblick die Nutzung für die Erzeugung von Biogas und BtL vorgestellt. Des Weiteren wird in einer Potenzialanalyse die Flächen- und Biomasseverfügbarkeit anhand der Beispielsregion Malchin/M-V ermittelt.

In Kapitel 3.6 wird die **landwirtschaftliche Produktionskette** untersucht. Da zu Pflanzgutvermehrung und Anbau von Schilf bisher nur kleinflächige Untersuchungen vorliegen, sollte geklärt werden, welche Materialien und Verfahrensmodifikationen im Hinblick auf ein großflächig einsetzbares Verfahren effektiv und kostengünstig sind. Neben der **Pflanzenanzucht** erfolgten eine **Versuchspflanzung** von Schilf auf einer Fläche des landwirtschaftlichen Projektpartners Voigt sowie

eine **Probeernte** eines bestehenden Schilfbestandes. Zusätzlich zu den aus den Versuchen gewonnenen praktischen Erfahrungen wurden Ernteverfahren und Erntetechnik für andere, etabliertere Halmgüter hinsichtlich ihrer Verwertbarkeit für NMB analysiert.

Auf der Basis der erarbeiteten und z. T. erprobten Produktionskette erfolgt in Kapitel 3.7 die **betriebswirtschaftliche Betrachtung** der einzelnen Verfahrensschritte. Es werden Kostenkalkulationen für die Ernte von Schilf und Rohrglanzgras bei unterschiedlichen Ertragsniveaus und unterschiedlicher Erntetechnik durchgeführt. Weiterhin werden für die Option der gezielten Anpflanzung von Schilf die Kosten der Bestandesetablierung dargestellt. Für die Wirtschaftlichkeit erfolgt eine Diskussion erzielbarer Erlöse unter Berücksichtigung der Verwertung, des Vergleiches mit anderen Produktionsverfahren sowie der Planungssicherheit durch langfristige Verträge.

Eine **ökologische Beurteilung** der Auswirkungen von Wiedervernässung und energetischer Nutzung der Niedermoorbiomasse wird in Kapitel 3.8 vorgenommen. Dabei werden insbesondere Fragen des Vogel- und Klimaschutzes beleuchtet.

So wie die Abschlussveranstaltung einen Ausblick auf die praktische Umsetzbarkeit der Projektergebnisse gegeben hat, wurde im Zuge des Projektes neben Recherchen auch im Rahmen von Exkursionen immer wieder der Erfahrungsaustausch mit existierenden Praxisbeispielen der Schilfnutzung bzw. der Halmgutverbrennung gesucht. Einige **Fallbeispiele** sind abschließend in Kapitel 4 vorgestellt.

### 3 Projektergebnisse

#### 3.1 Klärung übergeordneter Gesichtspunkte

##### 3.1.1 Akzeptanz der nassen Bewirtschaftung von Mooren (H. Holst)

###### 3.1.1.1 Vorgehensweise bei der Akzeptanzuntersuchung

Akzeptanz ist ein subjektbezogener Begriff und ist damit immer individuell auf eine Person bezogen. Im vorliegenden Projekt geht es um die Akzeptanz einer neuen Zielsetzung für die Nutzung von Niedermooren. Für die wissenschaftliche Empirie ist die Frage nach der *Akzeptanz an und für sich* eine inhaltsleere Forschungsfragestellung. Sie ist nach Lucke (1995 S.90) durch die Fragestellung „*Akzeptanz von was durch wen und unter welchen Voraussetzungen und Bedingungen?*“ zu ergänzen. Diesen Akzeptanzkontext stellen z. B. maßgebliche Bezugsgruppen dar, die die Zielgruppe normativ beeinflussen (Lucke 1995). Im ENIM-Projekt haben wir uns auf eine qualitative Betrachtung der Akzeptanz beschränkt, die einen Eindruck vermitteln soll, jedoch keinen sozialwissenschaftlich / empirischen Anspruch erheben will.

In diesem Kapitel stehen Fragen nach der Akzeptanz der Bewirtschaftung nasser Flächen im Mittelpunkt. Die Wiedervernässung und deren gesellschaftliche wie betriebliche Akzeptanz sind hier nicht näher betrachtet worden. In allen Gesprächen wurde die Wiedervernässung als gegeben hingenommen. Die neuen Flächen sind da und die Wiedervernässung ist nicht umkehrbar. Entstanden sind völlig neue, meist nährstoffreiche nasse Standorte. Es war bisher kaum möglich, solche Standorte wirtschaftlich zu nutzen.

Folgende Ebenen der Bereitschaft zur Einführung und Unterstützung der untersuchten Biomasseproduktion existieren.

###### 1) Landwirtschaftliche Ebene

- Praktische Landwirtschaft – Befragung von Landwirten mit Niedermoorgrünland
- Landwirtschaftsverwaltung
- Berufsständische Vertretung
- Politische Ebene

###### 2) Naturschutz-Ebene

- Verbandsnaturschutz
- behördlicher Naturschutz

###### 3) Ebene der Verwertung des Brennstoffes

- Kraftwerksbetreiber
- Hersteller von Verbrennungsanlage

Im Zuge der Projektlaufzeit wurden ca. 63 Akteure aus unterschiedlichsten Bereichen zu den Möglichkeiten der Biomasseerzeugung, -ernte, -verwertung und der Förderung dieser nachhaltigen Produktionsrichtung befragt oder interviewt – also in die Diskussion mit einbezogen:

Akteure aus der Agrarverwaltung	10
Akteure aus Wissenschaft und Forschung	18
Akteure aus der Naturschutzverwaltung	10
Akteure aus Ingenieurbüros	6
Akteure aus der Kommunalverwaltung	6
Heizkesselproduzenten / Kraftwerksbetreiber	3
Landwirtschaftliche Unternehmer	11

So hat das Projekt unterschiedliche Interessensgruppen vernetzt und durch intensive Gespräche und Diskussionen zur Akzeptanzförderung beigetragen. Beispielsweise wurde bei den Städten Malchin und Ribnitz-Damgarten Offenheit und Interesse gegenüber dieser Produktionsrichtung erhöht. Die wichtigste Aufgabe lag jedoch in der Erfassung der Akzeptanz in der Landwirtschaft sowie in der Naturschutz- und Agrarverwaltung.

### 3.1.1.2 Situation im landwirtschaftlichen Betrieb

Die Einschätzung praktischer Landwirte ist entscheidend für die zielgerichtete Weiterentwicklung eines neuen Betriebszweiges. Mit Hilfe offener Interviews, die mit elf Landwirten, der Landwirtschaftsberatung, drei Verantwortlichen des Bauernverbands sowie vier Verantwortlichen der Ämter für Landwirtschaft geführt wurden, konnte die praktische Umsetzbarkeit einer neuen Nutzung von Niedermooren abgeschätzt werden.

Die landwirtschaftliche Situation von Niedermoorgrünland stellte sich zu Projektbeginn wie folgt dar: Der innerbetriebliche Wert von Niedermoorgrünland war insbesondere für stark ackerbaulich ausgerichtete Betriebe sehr gering. Das Hauptaugenmerk dieser Betriebe lag zumeist darauf, die Flächen nach den Cross Compliance - Richtlinien als prämieneberechtigten Flächen zu sichern. Für Milchviehbetriebe hat wiedervernässtes Grünland nur dann einen Wert, wenn es im Frühjahr und Sommer beweidet oder gemäht werden kann. Für extensiv ausgerichtete Mutterkuh- oder Schafhaltungsbetriebe haben, wie das Beispiel des Landwirtschaftsbetriebs Voigt zeigt, auch mahdfähige Flächen einen innerbetrieblichen Wert, solange sich deren Aufwuchs noch als Tierfutter eignet. Erst wenn der Energiegehalt und Ertrag so weit zurückgegangen ist, dass die Tiere nicht mehr satt werden und damit die täglichen Zunahmen unter die Wirtschaftlichkeitsgrenze sinken, hat Grünland kaum mehr einen direkten landwirtschaftlichen Nutzwert.

2007 deutete sich jedoch schon an, dass die Ertragskraft (sowohl die Energieerträge wie auch die Massenerträge) nach ca. zehn Jahren naturschutzgemäßer Nutzung deutlich zurückgehen kann. Nur Flächen, die regelmäßig überstaut werden, wodurch eine Nährstoffzufuhr besteht, sind hiervon nicht betroffen. Als Futterflächen für die landwirtschaftliche Produktion kommen die Flächen daher in absehbarer Zeit kaum noch in Frage, da nicht nur die Massenerträge sondern auch die Energieerträge sinken (Voigt, mdl. Mitteilung).

Aufgrund der Veränderungen der Agrarförderung ab 2013, besteht in der Landwirtschaft eine große Unsicherheit, wie sich die Wirtschaftlichkeit der Grünlandwirtschaft in Zukunft darstellen wird. Im Jahresverlauf 2006 lagen die Rindfleischpreise über denen der Vorjahre (BMELV 2007). Somit war die Situation in der Mutterkuhhaltung positiv. Dass der landwirtschaftliche Wert von schwer zu bewirtschaftendem Dauergrünland stetig sinkt, lässt sich auch aus der Agrarstatistik „Bodennutzung“

2008 durch die Verringerung des Anteils an Dauergrünland ablesen: Wiesen sind beispielsweise gegenüber dem Vorjahr um 4,9 % zurückgegangen (BMELV 2009). Es ist davon auszugehen, dass von dem Rückgang in Norddeutschland in starkem Maße schwer zu bewirtschaftende nasse Flächen betroffen sind. Auf der anderen Seite, ist auf Teilflächen sicher auch der (nicht gestattete) Umbruch von Grünland dafür verantwortlich zu machen.

Durch die zunehmende Bedeutung der Ackerflächen für die Energieproduktion (Nawaro) steigt die Bedeutung gut bewirtschaftbarer Grünlandstandorte mit einem hohen Ertragspotenzial dagegen eher an. Der Futterbau weicht angesichts steigender Getreidepreise zunehmend wieder auf die Grünlandstandorte aus – was besonders im Jahr 2007 spürbar war. Diese These bestätigten auch die im Rahmen des Projektes befragten Praktiker und Experten. Der zunehmende Wert von Grünlandstandorten ist auch an der Entwicklung der Pachtpreise zu erkennen. So ist in Mecklenburg-Vorpommern der Pachtpreis für Dauergrünland von 67 € im Jahr 2003 auf 101 € für Neupachten im Jahr 2008 angestiegen (MLUV M-V 2009a).

### 3.1.1.3 Bereitschaft zur Biomasseproduktion auf nassen Standorten

Bei den landwirtschaftlichen Unternehmern gibt es zu Zeit nur eine geringe Bereitschaft, sich direkt auf die Produktion von Biomasse auf nassen Standorten einzulassen. Zu groß sind hier nach ihrer Einschätzung noch die Unwägbarkeiten. Das **Wirtschaftliche Risiko** ist 80 % der befragten Betriebe zu groß, denn

- sie sehen keine landtechnischen Lösungen, die eine effiziente und kostengünstige Ernte z. B. im Winter ermöglichen könnte.
- der Preis, der sich vermutlich mit der Biomasse am Markt erzielen lässt, ist zu niedrig und deckt nicht die Kosten der Produktion, wenn größere Investitionen nötig sind. Hierzu gehören Sonderausstattungen an den Schleppern, Reifendruckregelsysteme, Zwillingsbereifung, Terrareifen für Schlepper und Maschinen oder auch eine Lagerhalle für den Brennstoff.
- der Erhalt der Zahlungsansprüche bei Schilf ist nach Aussagen der Akteure an den Ämtern für Landwirtschaft (AfL) nicht geklärt. Für die Landwirte ist der Erhalt der Zahlungsansprüche eine Bedingung.
- so lange nicht auf erste positive Erfahrungen in der Landwirtschaft verwiesen werden kann, sind kaum Landwirte bereit, das Risiko der Einrichtung eines neuen Betriebszweiges einzugehen.

Interessiert sind vor allem jene Betriebe, die Grünlandflächen bewirtschaften, die schon jetzt oder in Zukunft dauerhaft zu nass für eine traditionelle Nutzung sind. So sagte ein Landwirt: *„Die Deiche werden nicht mehr gepflegt und wenn der Deich bricht, dann müssten wir sicherlich noch einmal grundsätzlich neu nachdenken und da könnte Ihre Idee eine Chance sein.“*

### 3.1.1.4 Machbarkeit aus Sicht landwirtschaftlicher Betriebe und Einschätzung der betriebswirtschaftlichen Perspektiven aus Sicht der Praktiker

Die Landwirte und die Verantwortlichen in der Agrarverwaltung wurden zu den Rahmenbedingungen befragt, die eine Bereitschaft zur Einrichtung eines neuen Betriebszweiges erhöhen würden. Hierbei waren den Befragten die betriebswirtschaftlichen Perspektiven einer solchen Nutzung am Wichtigsten. Etwa 40 % der Befragten sahen in der Bewirtschaftung nasser Flächen grundsätzlich eine interessante Perspektive als Nischenausrichtung. Etwa 30 % sahen die ungelösten Probleme als zu groß an und das letzte Drittel sah in einer solchen Bewirtschaftung keine Perspektive. Bei letzteren handelte es sich um intensiv wirtschaftende Milchvieh- oder Bullenmastbetriebe.

#### Betriebswirtschaftliche Akzeptanz

Im Folgenden wird eine Übersicht über die häufigsten betriebswirtschaftlichen Argumente gegeben, die die Akzeptanz zur Einführung der Produktionsrichtung erhöhen würden:

- Es muss einen Markt für den erzeugten Rohstoff geben.
- Es muss einen Markt geben mit unterschiedlichen Abnehmern. Das Risiko, sich auf einen einzelnen Abnehmer zu verlassen, erschien den meisten Landwirten zu groß. Als Beispiele für Abnehmer unterschiedlicher Verwertungsbereiche wurden genannt:
  - Qualitätsschilf
  - Baumaterial
  - Verbrennungsmaterial
  - Pelletierung
- Der Prämienanspruch auf den Flächen muss langfristig gesichert sein:
  - Dies ist für Rohrglanzgras kein Problem, wenn der Betrieb über ausreichend Prämienrechte verfügt.
  - Schilfflächen sind zurzeit nicht prämienberechtigt.
  - Schilfflächen, die im Jahr 2008 oder später auf prämienberechtigten Flächen etabliert werden, sind laut EU VO Nr. 73/2009, Artikel 34 (2) unter bestimmten Voraussetzungen prämienberechtigt (Vogelschutz-Richtlinie, FFH-Richtlinie, Wasserrahmenrichtlinie)<sup>1</sup>.

Alle befragten Landwirte und auch die Verbandsvertreter sahen es als sehr wichtig an, dass für die Biomasse ein funktionierender Markt existiert. D. h. es müssen genügend, möglichst unterschiedliche Abnehmer für die Biomasse vorhanden sein. Der ökonomische Erfolg muss größer sein als durch traditionelle Nutzungsformen wie die Mutterkuhhaltung, die durch unterschiedliche Prämien staatlich stark gestützt wird. Als Beispiel nannten fünf der Befragten die Lieferung von Biomasse an Biogasanlagen.

---

<sup>1</sup> „Im Sinne dieses Titels bezeichnet der Ausdruck „beihilfefähige Hektarfläche“ [...] jede Fläche, für die im Jahr 2008 Anspruch auf Zahlungen im Rahmen der Betriebsprämienregelung oder der Regelung für die einheitliche Flächenzahlung bestand und die infolge der Anwendung der Richtlinie 79/409/EWG des Rates vom 2. April 1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten, der Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen sowie der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik nicht mehr der Begriffsbestimmung für „beihilfefähig“ entspricht.“

Das Thema **Sicherheit** spielte in den Überlegungen der Landwirte eine große Rolle. Kein Landwirt erwartet hohe oder sehr hohe Hektar-Deckungsbeiträge. Daher waren Begriffe wie „Dauerhaftigkeit“ und „sicherer Absatzmarkt“ bei allen Befragten von hoher Bedeutung. Die Unternehmen, deren Flächen bereits von hohen Wasserständen betroffen sind und die diese Teile ihres Grünlands nicht mehr nutzen können, sind erwartungsgemäß eher bereit, ein etwas höheres Risiko einzugehen. Allerdings betonen auch sie, dass der Anbau von Schilf nur unter der Voraussetzung des Erhalts der Flächenprämien denkbar ist.

### **Wärmenutzung im Betrieb oder Verkauf direkt vom Betrieb**

Unter den Befragten war ein Landwirt, der seit 16 Jahren eine Strohheizung (600 kW) betreibt und damit den eigenen Schweinestall sowie die Betriebsgebäude und die Getreidetrocknung mit Wärme versorgt (vgl. Kapitel 4.4). Der Betriebsleiter betonte die Vorteile solch einer Heizung:

- sichere Wärmequelle – in den 16 Jahren gab es keinen großen Ausfall
- Unabhängigkeit vom Heizölmarkt und damit ein relativ konstanter Preis
- Durch die lange Laufzeit der Heizung ergibt sich für seinen Betrieb eine deutliche Kostenersparnis gegenüber einer Ölheizung.

Den innerbetrieblichen Wert einer Tonne Stroh bezifferte der Landwirt mit etwa 69 €. Bei diesem Preis wären also die Kosten gedeckt, die durch zusätzliche Düngung (Nährstoffausgleich) und die Abfuhr entstehen. Zusätzlich ist ein Risikoaufschlag von 10-15 % notwendig. Daher muss der Verkaufspreis je Tonne bei mindestens 79 € liegen. Der Landwirt sagte, dass er sich durchaus vorstellen könnte, anstelle von Stroh Schilf oder Rohrglanzgras zu verbrennen. Auf dem Betrieb selbst stehen jedoch ausreichend nasse oder wiedervernässbare Niedermoorflächen nicht zur Verfügung.

Eine Wärmenutzung im eigenen Betrieb hat den gewichtigen Vorteil, dass der Absatz bzw. die ökonomische Verwertung der Biomasse gesichert ist. Im Zusammenhang mit Naturschutzaufgaben sahen 4 von 11 Landwirten hier eine gute Möglichkeit der sinnvollen Flächennutzung. Dieses Argument der innerbetrieblichen Verwertung bekam durch die negativen Projekterfahrungen mit den beiden großen Kraftwerkspartnern aus Demmin und Friedland, die beide letztlich die Biomasse nicht wie ursprünglich vereinbart verbrennen konnten, ein noch größeres Gewicht.

Ein befragter Landwirt hatte durch eine gemeinschaftlich betriebene Biogasanlage Erfahrungen im Aufbau eines Nahwärmenetzes von 30 Abnehmern (1,2 MW) gesammelt. Der organisatorische Aufwand am Anfang ist seiner Ansicht nach enorm hoch und für die meisten Landwirte kaum zu realisieren. Daher sind größere Abnehmer erforderlich, die eine ganzjährige Wärmeproduktion ermöglichen. Im Bereich der Nahwärmeversorgung sind noch große Potenziale vorhanden, die über die Zusammenarbeit und Unterstützung der Kommunen genutzt werden können. In diesem Bereich wird jedoch für alle Beteiligten Neuland betreten. Das wirtschaftliche Risiko ist aufgrund der geringen Erfahrungswerte vergleichsweise hoch. Wenn solche Modelle bzw. Konzepte in Zukunft erfolgreich gestartet werden sollen, müssen die unternehmerischen Pioniere beispielsweise durch Investitionsbeihilfen oder konkrete Beratungs- und Vernetzungsangebote gestützt werden, um so ihr wirtschaftliches Risiko erfolgreich zu mindern.

In diesen Zusammenhang passt auch ein Ergebnis von ENIM. Der Projektpartner Landwirtschaftsbetrieb Hans Voigt plant den Bau und Betrieb eines Kraftwerks, das ganz mit Biomasse aus nassen Niedermooren betrieben werden soll und das z.B. in Kooperation mit der Stadt Malchin als Abnehmer der Wärme gebaut werden könnte (vgl. Kapitel 4.3). Die Stadt kann mit diesem Konzept gleichzeitig

die Pflege der städtischen Niedermoorflächen sicherstellen und die Wertschöpfung in der Region fördern. Hier ergeben sich also über die Wärmeproduktion hinaus Synergieeffekte für die beteiligten Akteure, da über die Offenhaltung der Landschaft und somit den Erhalt der touristischen Attraktivität des Raumes auch ein mittelbarer Vorteil für die Region entsteht.

### **Bewirtschaftungsmöglichkeiten (Wasserstände)**

Bei den technischen Möglichkeiten einer Nutzung sahen alle Praktiker große Probleme und sie sind der Ansicht, dass diese Probleme zuerst gelöst werden müssten. Vor allem betonten sie, dass zunächst eine klare Beschreibung der Erntekette mit belastbaren Zahlen zur Wirtschaftlichkeit vorliegen müsste. Bei Wintermahd erwähnten sie insbesondere das Risiko eines Ernteausfalls in Jahren mit einem nassen, milden Winter ohne ausreichend Frosttage – also Situationen, wie sie während der Projektwinter 2006/2007 und 2007/2008 auftraten.

Eine Nutzung von Rohrglanzgrasheu im Sommer oder Spätsommer wurde dagegen positiver gesehen. Die Produktion von Heu ist eine gängige landwirtschaftliche Praxis und die gesamte Erntekette kann von den Betrieben geplant und kalkuliert werden. Ein befragter Landwirt sagte jedoch, dass die Produktion von Heu gar nicht in seinen Arbeitsablauf passt, da sämtliche Arbeiter voll ausgelastet sind und die gesamte Technik auf die Produktion von Silage (für Biogas und Futter) ausgerichtet ist. Die Heuproduktion führt zu einer höheren Arbeitsbelastung und zu einer Erhöhung des Risikos und ist daher nicht zusätzlich leistbar.

### **Integration in den Betriebsablauf**

Betriebe mit einer Hauptausrichtung auf den Ackerbau entlassen einen Teil ihrer Arbeiter im Winter in die Arbeitslosigkeit, um sie dann im Frühjahr wieder einzustellen. Zwei der befragten Betriebe konnten sich ein Modell vorstellen, in dem sie die Arbeiter auch in der Wintermahd weiter beschäftigen und somit ein zusätzliches betriebliches Standbein schaffen.

Unternehmen, die Ihre Mitarbeiter ganzjährig beschäftigen sind arbeitsmäßig üblicherweise auch ganzjährig ausgelastet. Hier stößt die zusätzliche Arbeit schnell an arbeitswirtschaftliche und bei einer Neueinstellung auch an betriebswirtschaftliche Grenzen. Ein Landwirt, der genau dieses Problem für das eigene Unternehmen sieht, wurde sehr konkret in seinen Aussagen zur betriebswirtschaftlichen Umsetzung. Folgende Parameter müssen seiner Ansicht nach stimmen:

Der Preis je Tonne Biomasse muss nach seiner Berechnung bei 80,00 Euro und mehr liegen. Außerdem muss davon eine volle Arbeitskraft bezahlt werden können. Daher muss so ein Betriebszweig mindestens 1.500 Akh (Arbeitskraftstunden)/a bezahlen können. Außerdem muss es eine langfristige Perspektive geben, damit Investitionen und innerbetriebliche Umstrukturierungen gerechtfertigt sind.

Gewinne müssen am Anfang nicht erwirtschaftet werden und auch die notwendigen Investitionen spielen seiner Ansicht nach keine Rolle („Wir sind es gewohnt viel Geld in die Hand zu nehmen“), wenn denn die Perspektive da sei, die Biomasse zu verkaufen.

### 3.1.1.5 Einschätzung von Verbänden und der Agrar- und Naturschutzverwaltung

Als Datengrundlage für dieses Kapitel gehen die Ergebnisse des 1. Workshops vom 17.10.2007 (Abbildung 3.1-1), der Befragung während der gesamten Projektlaufzeit sowie weitere Erkenntnisse aus dem 2. Workshop vom 30.04.2008 zum Thema Landtechnik ein (vgl. Kapitel 7.5.1).

Am 1. Workshop nahmen 9 Experten aus Ämtern für Landwirtschaft, Naturschutz und aus dem Ministerium, 13 Experten und Expertinnen von Fachverbänden von Landwirtschaft und Naturschutz, praktische Landwirte und Wissenschaftler teil. Ihre Einschätzung sowie Fragen waren u. a. wesentlich für die weitere konkrete Ausrichtung des Projektes.

**Organisatorisches**  
Die Organisation des Regionalen Freizeitsportvereins  
Ländchen Spielmann e.V.  
Friedstraße 11, 17109 Grebbel  
Tel: 0393-117123

**Projektbeteiligte**  
GEM, Gesellschaft für Meeres- und Küstenschutz, Flörsbek  
IFDL, Institut für Daten- und Landschaftsökologie, Greifswald  
DUENE e.V., Institut für dauerhaft umweltgerechte Entwicklung von Naturräumen der Erde, Greifswald  
KRE, Komplexlabor Alternative Energien, Flörsbek  
LeNA, Agentur für Landwirtschaft und Naturschutz, Greifswald  
Landwirtschaftsbetrieb Hans Vogt, Neukalen  
Gefördert durch  
DBU

**Workshop am 17.10.2007**

**Energiebiomasse aus wiedervernässten Niedermooren**  
Einschätzung von Experten aus Verbänden, Wissenschaft und der Agrar- und Naturschutzverwaltung

**DUENE e.V.**  
Dr. Ingrida Pfahlschmann  
DUENE e.V., Institut für dauerhaft umweltgerechte Entwicklung von Naturräumen der Erde  
Ludwig-Platz 1, 17109 Greifswald  
Telefon: 0393-117123  
E-Mail: info@duene.de

Abbildung 3.1-1: Ankündigung zum Workshop am 17.10.2007

### Moorschutz nicht gleich Naturschutz

Der Moorschutz zielt direkt auf Erhalt und Entwicklung der Funktionsfähigkeit von Mooren ab und darf daher nicht mit dem Naturschutz gleichgesetzt werden. So kann es in einzelnen Fällen auch zu Diskussionen innerhalb des Naturschutzes um die Umsetzung konkurrierender Flächennutzung kommen, die geprägt ist von dem Ziel der Förderung bestimmter Pflanzen- und/oder Tierartengruppen oder den Anliegen des Moorschutzes (Prozessschutz) oder der Nutzung. Diesem Konflikt muss man sich nach Ansicht einzelner Experten aus Naturschutz und Landwirtschaft offen stellen. Dahinter steht die Frage nach der Ausrichtung auf ein konkretes Ziel. (vgl. Kapitel 3.8)

Eine Beerntung der Flächen im Spätwinter (Februar oder März) führt zu verringerten Akzeptanzproblemen mit dem Naturschutz. Die Bestände bleiben in der Brutsaison ungestört. Darüberhinaus ist Schilf ein wichtiges Überwinterungs- und Nahrungshabitat im Winter. Somit mindern frühere Mahdtermine die Winter-Nahrungsgrundlage zahlreicher Tierarten stärker. Allerdings ist die Mahd in jedem Fall ein starker Eingriff, der die Artenzahlen um bis zu 20 % verringern kann. Die Auswirkungen so einer Nutzung auf die Artenvielfalt sollten konkret untersucht und negative Effekte so weit wie möglich vermindert werden.

### **Gesellschaftliche Akzeptanz**

Die Akzeptanz gegenüber Wiedervernässungsmaßnahmen steigt vermutlich wie im Naturschutz allgemein üblich mit der Entfernung der Wohnorte an (als regionales Beispiel siehe v. Schilling 2003). Wiedervernässung kann zu einer erheblichen Veränderung des persönlichen Lebensumfeldes führen. Meist beklagen die Menschen vor allem „den Verlust des produktiven Landes“, das bewirtschaftet und gepflegt wurde und damit den Menschen über Jahrzehnte Arbeit und sinnvolle Beschäftigung gab. Daher ist insbesondere die Nichtnutzung der Areale für die meisten schwer zu verstehen und schwer zu akzeptieren. Eine wirtschaftliche Nutzung der Flächen zur Biomasseproduktion kann daher dazu beitragen, diesen Konflikt zu entschärfen. Für 10.000 ha braucht man mindestens 20.000 h Arbeitsleistung für Mahd, Pressen und Transport. Dies sind allein in der Produktion schon 10 Voll-Arbeitskräfte. Zusätzlich entstehen weitere Arbeitsplätze an den Kraftwerken.

#### **3.1.1.6 Möglichkeiten zur Erhöhung der Akzeptanz**

##### **Naturschutz / Landwirtschaft**

Die Nutzung nasser Niedermoore ist schon konzeptionell ein Ansatz, der die Ziele von Naturschutz und Landwirtschaft integrieren will. Daher sollten Naturschutz-, Umweltschutz-, Moorschutz- und Landwirtschaftsinteressen gemeinsam betrachtet werden. Die Vertreter des behördlichen Naturschutzes betonen, dass für die Moore in M-V seit 10 Jahren eine gute Zusammenarbeit zwischen der Naturschutzverwaltung und den Landwirten innerhalb des Moorschutzprogramms besteht. Daher ist das Konfliktfeld im Bereich Naturschutz / Landwirtschaft im Niedermoor kleiner geworden. In dieser Beurteilung sind sich die Verwaltungen und Verbände einig. Danach ist die Zeit der Polarisierung zwischen Naturschutz und alternativer Nutzung vorbei und existiert nur noch vereinzelt.

Die Entwicklung integrierender Nutzungskonzepte (z. B. Produktion von Nawaro auf wiedervernässten Niedermooren) trägt, wie sich in sämtlichen projektbegleitenden Gesprächen und während der Workshops, Tagungen und Sitzungen gezeigt hat, entscheidend zur Förderung der Akzeptanz bei. Die Verknüpfung von Schutz- und Nutzungszielen leistet einen Beitrag zur Förderung der Biodiversität sowie außerdem zur ökonomischen Absicherung der dort lebenden Menschen.

##### **Zukunftsfähigkeit aktueller Nutzungssysteme**

Bei der Frage nach der Einschätzung der wirtschaftlichen Zukunftsfähigkeit aktueller Nutzungssysteme sind die Meinungen sehr heterogen. Waren z. B. die Aussagen zur Zukunftssicherheit der Milchproduktion zu Beginn des Projektes bei den Verbandsverantwortlichen und Landwirte noch eher verhalten bis positiv, so hat sich die Lage der Milchbauern mittlerweile drastisch verschlechtert. Von Verbandsseite wird „um das Überleben der Betriebe gekämpft“ und zwei Betriebe konnten nur telefonisch (und kurz) befragt werden, da sie aufgrund der aktuellen Entwicklung keine Aussagen zu neuen Einkommensmöglichkeiten treffen wollten: „*Wir sind Milchproduzenten und wollen das grundsätzlich auch bleiben*“.

Die Wirtschaftlichkeit der extensiven Rindfleischerzeugung mittels Mutterkuhhaltung hat laut Maack & Heilmann (2006) wirtschaftliche Nachteile gegenüber einer Intensivierung, da im extensiven Verfahren mehr Grünlandfläche und auch mehr Arbeitskräfte benötigt werden und somit das Verfahren insgesamt teurer wird. Maack und Heilmann schließen aus dieser Entwicklung: „*Hinsichtlich des Natur- und Landschaftsschutzes sowie dem Erhalt und Ausbau leistungsfähiger ländlicher Räume sind zusätzliche Probleme und Konfliktfelder abzusehen.*“ Diese Entwicklung konterkariert die

Bemühungen, die Ziele des Naturschutzes in der Landwirtschaft zu fördern (vgl. Rühls et al. 2005). Dies gilt in besonderem Maße für Niedermoorböden, da hier die Konsequenzen einer Intensivierung besonders weitreichende Folgen für den Natur-, Moor- und Klimaschutz haben.

Die Wirtschaftlichkeit der Schafhaltung soll an dieser Stelle nicht grundsätzlich betrachtet werden, da hier das persönliche Engagement in der Vermarktung der Schafe den Unternehmenserfolg viel wesentlicher mitbestimmt.

### **Wiedervernässung von Niedermooren**

Die Wiedervernässung von Niedermooren, die als Grünland genutzt werden und, wie vier Landwirte von ihren Flächen berichteten, gute Erträge liefern, stößt bei diesen Landwirten auf deutlichen Widerstand. *„Es kann doch nicht so falsch sein, dass unsere Vorfahren dieses Land urbar gemacht haben. Und das können wir doch nicht einfach so wieder hergeben.“* Flächentauschprogramme in Wiedervernässungsgebieten können erfolgreich zur Umsetzung von Moorrenaturierungsprogrammen eingesetzt werden. So konnten beispielsweise Milchviehbetriebe im Polder „Große Rosin“ (M-V) ihre Futterproduktion verstärkt auf gute Grünlandstandorte und auf den Acker verlagern.

### **Anreizsysteme für die Landwirtschaft**

Aus den Diskussionen und Vorträgen während der Workshops und den Interviews sind einige Ideen und Vorschläge für veränderte Anreizsysteme hervorgegangen, die eine Umsetzung der wirtschaftlichen Nutzung wiedervernässter Niedermoorstandorte (vgl. auch Kapitel 3.7.7) beschleunigen könnten:

- Prämienrechte können auch für wirtschaftlich genutzte Schilfflächen geltend gemacht werden. Dies ist nach den Veränderungen der EU VO Nr. 73/2009, Artikel 34 (2), für Flächen, auf denen 2008 noch Prämienansprüche lagen, möglich (s. o.). Es muss sich jedoch noch in der Praxis zeigen, in welcher Form die neue Verordnung umgesetzt wird.
- Entwicklung und finanzielle Unterstützung von Beratungs- und Vernetzungsangeboten für Landwirte, Kommunen und Energieerzeuger: Da es sich um eine neue Produktionsrichtung mit eigenen Anforderungen und Gesetzmäßigkeiten handelt, gibt es einen großen Informations- und Beratungsbedarf.
- Unterstützung der Etablierung eines Marktes. Gezielte Unterstützung der Abnehmerseite z. B. durch die Förderung geeigneter Kraftwerke, die Unterstützung der Etablierung geeigneter Technik zur Aufbereitung und Veredlung des Brennstoffes (z. B. Pelletierung oder auch Vergasung) oder auch Förderung der stofflichen Verwertung z. B. als Baumaterial.
- Entbindung der Flächen von den Abgaben an den Wasser- und Bodenverband (WBV). Wenn Flächen in freier Vorflut sind, entfallen die wichtigen Pflege- und Vorsorgeaufgaben des WBV. Gemäß § 24 Gesetz über Wasser- und Bodenverbände sollte den Mitgliedern eine Aufhebung ihrer Mitgliedschaft für Flächen unter freier Vorflut ermöglicht werden.
- Entwicklung konkreter Richtlinien zur Bewirtschaftung nasser Niedermoore unter Beteiligung der unterschiedlichen Interessenvertretungen von Naturschutz, Landwirtschaft und Energieerzeugern.

### Offene Fragen

Bei den hier vorgestellten ersten Untersuchungen zur Akzeptanz der Bewirtschaftung von nassen Niedermoorflächen sind einige wichtige Fragestellungen aufgetaucht, deren Klärung einer Umsetzung dieses Konzeptes sehr förderlich wäre:

- Beteiligung von Flächeneigentümern. Die rechtzeitige Beteiligung dieser Gruppe an großen landschaftlichen Veränderungen oder auch grundsätzlichen Änderungen der wirtschaftlichen Nutzbarkeit der Flächen unterstützt die Akzeptanz und damit eine einvernehmliche Umsetzung von Wiedervernässungs- und Moorschutzprojekten mit nachhaltiger Nutzung.
- Der Wille der Beteiligung von Anwohnern ist eine grundsätzliche Frage, die hier nur sehr knapp gestreift werden kann. Hier soll daher nur auf die Chancen geeigneter Beteiligungsverfahren hingewiesen werden. Die Identifikation der Bevölkerung mit landschaftlichen Veränderungen unterstützt eine regionale Ausrichtung (Fokussierung), mindert das Konfliktpotenzial und unterstützt damit die nachhaltige Entwicklung der Region.
- Es sind noch zahlreiche landwirtschaftliche Fragen offen geblieben. Hierzu zählen z. B.:
  - Landtechnische Entwicklungen, technischer Fortschritt
  - Fragen des Schilf- und Rohrglanzgrasanbaus
  - Fragen der Flächenpflege und der Optimierung der Erträge, wie z. B. die Frage nach der Möglichkeit einer Kaliumdüngung

### Ergebnisse

Eines der praktischen Ergebnisse des ENIM-Projektes ist - neben den ersten Erfahrungen in der Verbrennung in Großkraftwerken und den Möglichkeiten von Anbau, Ernte und Belieferung - die konkrete Planung einer Zusammenarbeit zwischen dem Landwirtschaftsbetrieb Hans Voigt und dem Amt Malchin am Kummerower See zum Bau eines Biomasseheizkraftwerkes im Amtsbereich. Die Städte Malchin und Neukalen sind Eigentümer zahlreicher wiedervernässter Flächen und haben ein touristisch-wirtschaftliches Interesse am Erhalt der offenen Landschaft rund um den Kummerower See. Hierfür wurden die Flächen an den Landwirtschaftsbetrieb Hans Voigt verpachtet, der sie in den vergangenen zehn Jahren gepflegt und offen gehalten hat. Da der Futterwert des Erntegutes von den Flächen jedoch stetig sinkt, ist damit auch die Fütterung und Haltung der Mutterkühe, die den Aufwuchs bisher genutzt haben, ein wirtschaftliches Auslaufmodell. Damit steht im Umkehrschluss auch die Pflege und Offenhaltung der Flächen zur Disposition. Eine Nichtnutzung hätte durch Verbuschung und Bewaldung eine starke landschaftliche Veränderung zur Folge mit der auch der touristische Wert der Region in Frage gestellt würde.

### **3.1.2 Landtechnische Herausforderungen: vorhandene Lösungen und Entwicklungsbedarf (W. Wichtmann, S. Wichmann)**

#### **3.1.2.1 Landtechnik für die Nutzung nasser Moore**

Die herkömmliche landwirtschaftliche Bewirtschaftung von Niedermooren ist gebunden an die Absenkung der Grundwasserstände. Die Entwässerung ermöglicht das Befahren der Flächen mit konventioneller Landtechnik. Aus ökologischer und klimapolitischer Sicht sollten langfristig möglichst alle Moore nach Wiedervernässung aufgelassen oder in eine umweltverträgliche Bewirtschaftung überführt werden (Wichtmann & Koppisch 1998). Kurzfristig sind insbesondere diejenigen Niedermoorflächen für alternative Nutzungsformen interessant, deren Bewirtschaftung derzeit nur mit Hilfe von Förderungen aufrechterhalten wird oder die bereits bei weiterhin wirksamen Entwässerungsmaßnahmen nicht mehr genutzt werden.

Für die Landtechnik stellen sich bei der Paludikultur-Nutzung zwei Herausforderungen: zum einen die Anpassung an die nassen Standorte und zum anderen die Anpassung an die energetische bzw. stoffliche Verwertung der Biomasse (schlagkräftige Erntekette). Lösungsansätze lassen sich aus den Erfahrungen der Dachreet-Ernte sowie der Landschaftspflege ableiten. Bereits 1997 fordern Kraut et al. eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Landwirtschaft und Naturschutz, um Anforderungen zur ökologisch vorteilhaften Gestaltung von Landtechnik und deren Einsatz zu formulieren, um diese dann bei künftigen Neu- und Weiterentwicklungen zu berücksichtigen. Der vorliegende Text gibt einen Überblick über vorhandene Lösungsansätze und weist auf den Forschungs- und Entwicklungsbedarf hin.

#### **3.1.2.2 Herkömmliches Management von nassen Mooren**

Das Ziel der Bewirtschaftung nasser oder wieder vernässter Moore ist, neben einer sinnvollen Alternative zur umweltunverträglichen konventionellen Nutzung, die wirtschaftliche Ernte und der Abtransport großer Mengen Biomasse – also die betriebswirtschaftlich effiziente Nutzung der Flächen. Die wichtigsten herkömmlichen Argumente für eine Bewirtschaftung sind z. B. die Offenhaltung der Landschaft, die Erhaltung von Lebensräumen (floristische Artenvielfalt) oder der Nährstoffexport aus der Fläche (Oligotrophierung zur Gestaltung von Lebensräumen für bestimmte Zielarten (Insekten, Vögel, Säugetiere).

#### **Niedermoorgrünland**

Mäßig entwässerte Moore (mittlere Sommergrundwasserstände bei -30 bis -40 cm, Wasserstufe 2+) werden zurzeit oft im Rahmen der „normalen“ Bewirtschaftung offen gehalten, um EU-Direktzahlungen zu generieren. Dafür ist es nach den Vorschriften der Cross-Compliance entweder erforderlich, die Flächen mindestens alle zwei Jahre zu mähen und das Erntegut abzufahren oder die Flächen jährlich zu mulchen. Daneben kommen diese Standorte für eine zeitweise extensive Beweidung mit Mutterkühen, Jungrindern oder Trockenstehern in Frage. Je nasser die Flächen sind, umso weniger geeignet sind tiergebundene Verfahren oder die herkömmliche Grünlandtechnik, die mit ihren Anpassungsmöglichkeiten wie z. B. Luftdruckreduzierung oder Zwillingsbereifung an ihre Grenzen stößt.

### **Schützenswerte Feucht- und Nasswiesen**

Feuchtwiesen (Wasserstufe 3+) werden häufig zum Erhalt und zur Entwicklung schützenswerter Biotope und Arten bewirtschaftet. Hier sind aufgrund oft nährstoffarmer Verhältnisse meist nur geringe Erträge zu erwarten. Auf nasseren Flächen (mittlere Sommergrundwasserstände bei 0 bis -30 cm, Wasserstufe 3+/4+) erfolgt maximal eine einschürige Mahd im Spätsommer zur Pflegenutzung aus Naturschutzgründen. Zum Teil erfolgt die Mahd halbautomatisch oder sogar per Hand. In der Regel wird in der Landschaftspflege kleine, leichte Technik eingesetzt, durch deren Einsatz der Standort weitestgehend geschont wird, der es jedoch an Schlagkraft fehlt.

### **Röhrichte**

Die Bewirtschaftung von Röhrichten auf sehr nassen bis flach überstauten Flächen (Wasserstufen 5+/6+) dient traditionell der Gewinnung von Qualitätsschilf für die Rohrdachdeckerei oder zur Produktion von Schilfmatten und -platten. Die eingesetzten Erntemaschinen sind an die Bewirtschaftung der nassen Standorte angepasst und zudem auf die speziellen Anforderungen an die geerntete Biomasse ausgerichtet. Daher ist meist nur eine geringe Flächenleistung möglich.

Als neue Nutzungsoption tritt die Beerntung von Röhrichten und Rieden zur Gewinnung von Energie- oder Industrierohstoffen hinzu (Paludikultur). Mit dem Begriff Paludikultur, dem eine klare ökonomische Zielsetzung innewohnt, werden die bisherigen Begriffe wie z. B. „Pflegenutzung“ oder „Biotopmanagement“ abgelöst. Im Gegensatz zu den Qualitätsanforderungen bei der Gewinnung von Dachrohr (einjährige Halme bestimmter Länge, Stärke und Stabilität) bestehen hier – außer einem hohen Gehalt an Trockensubstanz – keine besonderen Anforderungen an die geerntete Biomasse. Es ist eine hohe Flächenleistung der Erntegeräte erforderlich, die jedoch Veränderungen der Technik in Bezug auf das Erntegut voraussetzt.

#### **3.1.2.3 Erntekette für nasse Niedermoore**

Ähnlich der Bewirtschaftung von Grünland sollte für die nasse Niedermoorbewirtschaftung eine „Verarbeitungskette“ zur Verfügung stehen, die neben der Mahd das ggfs. notwendige Trocknen, das Verdichten sowie den Abtransport und die Lagerung der Biomasse umfasst (Wichtmann et al. 2000). Die besondere Herausforderung besteht in der Anpassung einer effizienten Verarbeitungskette an die geringe Tragfähigkeit bzw. die schwierige Befahrbarkeit nasser Niedermoorböden.

Die Tragfähigkeit von Niedermoorgrünland wird durch die Bodenfeuchte (Wasserstand) und die Vegetationsdecke (Pflanzenarten, Geschlossenheit der Narbe) bestimmt. Dabei ist die Befahrbarkeit laut Prochnow & Kraschinski (2001) weniger ein technisches als vielmehr ein ökonomisches Problem: Die für eine Bewirtschaftung nasser Moore erforderliche Anpassung der Technik kann in Form leichter Maschinen und Sonderausstattungen erfolgen. Sie geht jedoch mit einer Verringerung der Leistungsfähigkeit, einer Erhöhung des Arbeitszeitbedarfs und einer Erhöhung der Maschinenkosten einher.

Weiterhin ist zu beachten, dass die Tragfähigkeit der Pflanzendecke durch mehrfaches Befahren reduziert wird. Zusätzlich zu den Anpassungen der Technik kann es daher erforderlich sein, häufig genutzte Zugangsstellen zu den Moorflächen sowie Fahrstrecken von ggf. eingesetzten Transportfahrzeugen zu befestigen, um Bodenschäden zu vermeiden. Dies kann z. B. mit Material aus einer Entbuschungsmaßnahme erfolgen, die einer großflächigen Beerntung u. U. vorausgeht. Hierfür sei auf Erfahrungen des Forstsektors verwiesen, wo mit Reisigdecken (> 25 cm dick) in Rückegassen eine Verteilung der Radlasten auf eine größere Fläche erzielt wird (vgl. Hauck 2001).

### 3.1.2.4 „Ausgereifte“ Verfahren

Verschiedene Verfahren für die Mahd und den Abtransport von Biomasse aus Rieden und Röhrichten sind vorhanden. Sie werden mit langjähriger Erfahrung z.B. in der Beerntung von Schilfröhrichten zur Gewinnung von Qualitätsschilf oder zur Landschaftspflege auf meist kleineren Flächen eingesetzt. Es mangelt ihnen aber meist an der für die Massenproduktion von Brennstoffen notwendigen Schlagkraft.

#### **Dachschilfernte**

Das Verfahren für die Ernte von Schilf zur Verwendung als Dachbedeckungsmaterial oder für die Matten- bzw. Dämmstoffherstellung ist annähernd ausgereift (Schäfer 1999, Wichtmann 1998). Weiterentwicklungen in den letzten Jahren beziehen sich auf eine Vorverlagerung des bisher am Feldrand stattfindenden Kämmens auf den Ernteprozess: Das geerntete Schilf wird direkt nach dem Schnitt mittels rotierender Bürsten ausgekämmt, automatisch zu vorgereinigten Bündeln gebunden und per Förderband oder per Hand zur Ladefläche transportiert. Dadurch wird weniger nicht verwertbares Mähgut geladen und transportiert. Hinsichtlich der Anpassung an die zu bewirtschaftenden Standorte sind zwei Fahrwerkstypen zu unterscheiden:

Der *Saiga-Maschinen-Typ*: Dabei handelt es sich um relativ leichte, zwei- bzw. dreiachsige Fahrzeuge mit Niederdruck-Ballonreifen. Der dänische Hersteller hat die Produktion inzwischen eingestellt; es erfolgen jedoch weiterhin Nach- und Umbauten durch Rohrwerber.

Der *Pistenraupen-Typ*: Andere Praktiker favorisieren Raupenlaufwerke und bauen Pistenfahrzeuge (Hersteller z.B. Kässbohrer, Wildemann, Ratrac, Leitner) für die Schilfernte um. Da der Markt begrenzt ist und die Anforderungen an die Schilferntetechnik in Abhängigkeit von Wasserständen, deren Regulierbarkeit und Frostsicherheit regional unterschiedlich sind, stellen die eingesetzten Maschinen individuell optimierte Einzellösungen dar (vgl. Rechberger 2003).

Allerdings ist die Werbung der Biomasse in Bündeln für die energetische Verwertung ungeeignet und zudem der Arbeitskraftbedarf mit zwei bis fünf Personen pro Maschine zu hoch.

#### **Landschaftspflege**

Für die Pflege von Nass- und Feuchtwiesen sind verschiedene technische Lösungen vorhanden. Die Palette reicht vom einachsigen Balkenmäher über Kleinschlepper mit Zwillingsbereifung bis hin zu selbstfahrenden Maschinen mit Biomassebunker. Auch hier ist ein Trend in Richtung höherer Schlagkraft festzustellen. Da die im Rahmen von Naturschutzverträgen zu pflegenden Flächen in Deutschland meist recht klein sind (< 10 ha), werden aber meist kleine Maschinen mit geringen Gesamtgewichten eingesetzt. Der überbetriebliche Einsatz und eine leichte Transportierbarkeit der Geräte von einer Fläche zur anderen stehen hier im Vordergrund. Außer bei den Maschinen, die über einen eigenen Biomassebunker verfügen, sind oft die Trocknung und der spätere Abtransport der Biomasse ein Problem. Neben Heuwendern und Schwadern kommen oft die vergleichsweise leichten HD-Kleinballenpressen zum Einsatz, die von doppelbereiften kleinen Pflegeschleppern gezogen werden.

### 3.1.2.5 Schlagkräftige Bewirtschaftung größerer Flächeneinheiten (Praxisbeispiele)

Gegenüber den oben genannten Verfahren existieren bei der Beerntung großer Flächen z. T. andere Probleme. Die Biomasse stellt kein Qualitätsprodukt dar und fällt mit hohem Volumen bei geringen Gewichten an. Diese Kriterien erschließen neue Möglichkeiten, sind aber auch mit Problemen verbunden. Auf der Basis vorhandener Verfahren werden in verschiedenen Mooren – meist im Rahmen der Landschaftspflege – bereits großflächige Biomassebeerntungen durchgeführt. Einige solcher Praxisbeispiele sollen im Folgenden bezüglich ihrer Spezifikationen vorgestellt und der Entwicklungsbedarf für eine großflächige Bewirtschaftung zur Biomassernte für die energetische Verwertung abgeleitet werden.

#### **Biomasse-Ernte mit Maschinen auf der Basis einer Pistenraupe**

*Fallbeispiel Biebrza-Nationalpark, Nord-Ost-Polen:* Im Gebiet der Biebrza in Nordostpolen wurde die Flächennutzung nach dem politischen Umbruch in den 90-er Jahren großflächig aufgegeben. Heute werden wieder weiträumige Niedermoorgebiete im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen bewirtschaftet. Hier kommen z.B. umgebaute Pistenraupen zum Einsatz, bei denen vorn ein Balken-Mähwerk angebaut wurde (Abbildung 3.1-2).



**Abbildung 3.1-2: Modifizierte Pistenraupe zur Mahd für eine energetische Verwertung**

(Foto: Piotr Marczakiewicz, Biebrza-Nationalpark)

*Fallbeispiel Neusiedler See, Österreich:* Die umfangreichen Schilfflächen am Neusiedler See werden nur zu ca. 10-15% für die Dachschild-Gewinnung beerntet. Nicht zuletzt um die Verlandung des Sees zu verlangsamen, die Wasserqualität zu verbessern und den Schilfgürtel als Lebensraum zu erhalten, sollen auch die zunehmenden Bestände von Altschilf genutzt werden. Für die kostengünstige Ernte von Biomasse zur stofflichen oder energetischen Verwertung hat die Landesregierung des Burgenlandes in Zusammenarbeit mit einem lokalen Rohrwerber eine Schilferntemaschine auf Basis einer Pistenraupe entwickelt (Abbildung 3.1-3). Das Maschinengewicht von ca. 10 t verteilt sich auf eine Auflagefläche von zweimal 5 m \* 1 m (100 g/cm<sup>2</sup>). Im Frontanbau befindet sich ein modifiziertes Mähdrescher-Schneidwerk mit einer Arbeitsbreite von 3 m. Die Biomasse wird zu einer aufgesetzten Rundballenpresse (ø 1,6 m) weiterbefördert. Gleichzeitig kann die Maschine vier fertige Ballen transportieren: drei auf der Ladefläche und einen in der Ballenpresse.



**Abbildung 3.1-3: Modifizierte Pistenraupe: Mähdrescherschneidwerk und aufgesetzte Ballenpresse**

(Foto: Sabine Wichmann)

### **Biomasse-Ernte mit Maschinen auf der Basis einer Saiga-Schilferntemaschine**

*Fallbeispiel Rozwarowo, Nordwest-Polen:* In Rozwarowo in der Nähe der Insel Wolin wird seit einigen Jahren großflächig Schilf (>1000 ha) für die Rohrdachdeckung geerntet. Ausgedehnte Schilfröhrichte haben sich nach Auflassung von Weiden und Wiesen bereits vor Jahrzehnten entwickelt. Weitere Flächen wurden aktiv wiedervernässt, um geeignete Schilfrohr-Erntestandorte zu entwickeln. Die Ernteflächen stellen den letzten nennenswerten Lebensraum für die pommersche Population des global bedrohten Seggenrohrsängers dar (Tanneberger et al. 2009). Versuchsweise werden im Rahmen eines EU-Life-Projektes Teilflächen im Sommer gemäht, um zu überprüfen, ob die auf diese Weise bewirtschafteten Flächen ebenfalls von den Seggenrohrsängern genutzt werden. Dazu wurde bei einem Nachbau einer Saiga-Erntemaschine das Schneidwerk durch einen Feldhäckslervorsatz ersetzt (Abbildung 3.1-4). Die geerntete Biomasse fällt als loses Häckselgut an. Die Ladefläche kann mit Seitenwänden aufgebaut bzw. ein Container aufgesetzt werden, um ein größeres Transportvolumen zu ermöglichen.



**Abbildung 3.1-4: Modifizierte Saiga-Schilferntemaschine mit Frontanbau eines Feldhäckslers zur Sommermahd von Röhrichten im Rahmen von Agrarumweltprogrammen**

(Foto: Wendelin Wichtmann)

### **Biomasse-Ernte mit Maschinen auf der Basis von „konventioneller“ Grünlandtechnik**

Die vermutlich „günstigste“ Lösung für eine großflächige Bewirtschaftung von nassen Niedermoorflächen ist die Verwendung von in der Grünlandwirtschaft oder bei der Biomasseproduktion „üblichen“ Maschinen. Auf der anderen Seite ist deren Einsetzbarkeit durch die niedrige Tragfähigkeit der Böden begrenzt (s. o.). Trotzdem ist deren Verwendung unter bestimmten Bedingungen auch auf Nassstandorten denkbar.

*Fallbeispiel Neukalen, Mecklenburg-Vorpommern:* Der Landwirtschaftsbetrieb Voigt in Neukalen bewirtschaftet > 350 Hektar Niedermoorflächen im Rahmen von Bewirtschaftungsverträgen mit dem Naturschutzgroßprojekt Peenetal-Landschaft. Teilflächen werden mit Mutterkühen beweidet. Die nasserer Standorte werden zur Heu/Streugewinnung mit einem konventionellen Schlepper (Claas Ares 557) im Sommer gemäht. Dieser ist mit den breitesten Reifen ausgestattet, die ohne konstruktive Veränderung an diesem Traktor anbaubar sind (Bereifung vorn: 540/65 R 38, hinten 800/65 R 32). Daneben ist der Schlepper mit einer vom Fahrerhaus einstellbaren Reifendruckregulation ausgestattet. Der gleiche Schlepper wird auch für das Wenden und Schwaden verwendet. Für das Pressen steht eine Festkammer-Rundballenpresse (Krone Round Pack 1250 MultiCut) zur Verfügung, die mit einer Tandemachse und Breitreifen ausgestattet ist. Der Abtransport der Großballen ist unmittelbar nach dem Pressen erforderlich, um ein „Vollsaugen“ der Ballen mit Wasser zu vermeiden.

Die gleiche Technik wurde versuchsweise (ohne Wenden und Schwaden) im Januar 2009 bei flurnahen Grundwasserständen und etwa 8 cm gefrorenem Boden erfolgreich in einem Schilfröhricht eingesetzt (Abbildung 3.1-5). Hier wurde die Biomasse für den versuchsweisen Einsatz in einem Ballenvergaser geerntet (vgl. Abschnitt 4.3).



**Abbildung 3.1-5: Versuchswise Wintermahd eines Schilf-Röhrichts**

(Foto: Sabine Wichmann)

*Fallbeispiel Ferne Wiesen, Murchiner Wiesen, Mecklenburg-Vorpommern:*

In den Fernen und Murchiner Wiesen sowie auf der Insel Schadefähre im Unteren Peenetal bei Anklam werden im Rahmen des EU-Life Projektes „Schutz des Seggenrohrsängers in Polen und Deutschland“ ca. 150 ha Röhrichte und Riede in Sommermahd bewirtschaftet. Ziel ist, die Flächen in einen für eine Wiederbesiedlung durch den Seggenrohrsänger geeigneten Zustand zu überführen. Hier werden verschiedene Kleintraktoren (Landini, Kubota) mit Balkenmähern eingesetzt, die mit Doppelbereifung ausgestattet sind (Abbildung 3.1-6). Eine Abfuhr des Erntegutes konnte bisher nur versuchsweise realisiert werden. Es wird angestrebt, die Biomasse von den im Sommer gemähten Flächen einer Biogasanlage zuzuführen.



**Abbildung 3.1-6: Modifizierter Kleintraktor mit Balkenmäher zur Sommermahd von Röhrichten im Rahmen von Naturschutzmaßnahmen**

(Foto: Wendelin Wichtmann)

**Weitere Beispiele für technische Lösungen:**

Der *New Wetland Harvester*, von Loglogic (GB) ist speziell für die Beerntung verschiedener Pflanzengesellschaften von Feuchtgebieten (Norfolk Broads) entwickelt worden. Durch den sehr geringen Bodendruck der flexiblen Gummibänder werden Schäden gering gehalten. Der 2,25 m breite Mähbalken ist mit einer automatischen Sperre ausgestattet, um Schäden durch z.B. Baumstümpfe zu vermeiden. Der Häcksler kürzt das Erntegut auf 10-40 mm mittlere Länge. Das Häckselgut wird in einen aufgebauten Vorratsbunker (8 m<sup>3</sup>) geblasen. Von der Firma Loglogic werden noch weitere Spezialmaschinen (Softtrack, Wetland Blower) für die Bewirtschaftung von Feuchtgebieten angeboten (<http://www.loglogic.co.uk/wetlandharvester.php>, Rechberger 2003).

Bei der *Erntemaschine der Firma Meili* aus der Schweiz handelt es sich um einen Geräteträger mit Raupenantrieb, der mit verschiedenen Erntegeräten ausgerüstet werden kann. Messerbalken oder Scheibenmäher können an das Raupenfahrzeug angebaut werden. Als Bunker ist ein Container aufgebaut, in den das Häckselgut eingeblasen wird. Als möglicher Bodendruck werden 48 g/cm<sup>2</sup> angegeben (Rechberger 2003).

Die Firma Mera Rabeler aus Stelle/Ashausen (D) bietet unterschiedliche Spezialmaschinen zur Reet- oder Biomasseernte in Feuchtgebieten an. Als Beispiel für die Biomasseernte sei hier der PistenBully 240 genannt, der von der Firma Meyer-Luhdorf zur Pflege von Naturschutzflächen eingesetzt wird (Abbildung 3.1-7). Dieser ist mit Wurfschlägelmäher und Kippbehälter ausgerüstet. Diese Maschinen basieren auf *Kässborer Pistenraupensystemen*. (<http://www.mera-rabeler.de/site/pistenbully.php>). Ähnliche technische Lösungen mit sehr niedrigem Bodendruck (ca. 50 g/cm<sup>2</sup>) werden ebenfalls durch Kässbohrer selbst mit Pisten-Bully-Fahrzeugen realisiert (z. B. Kässbohrer 100 All Season: [http://www.pistenbullyusa.com/special\\_apps.html](http://www.pistenbullyusa.com/special_apps.html)).

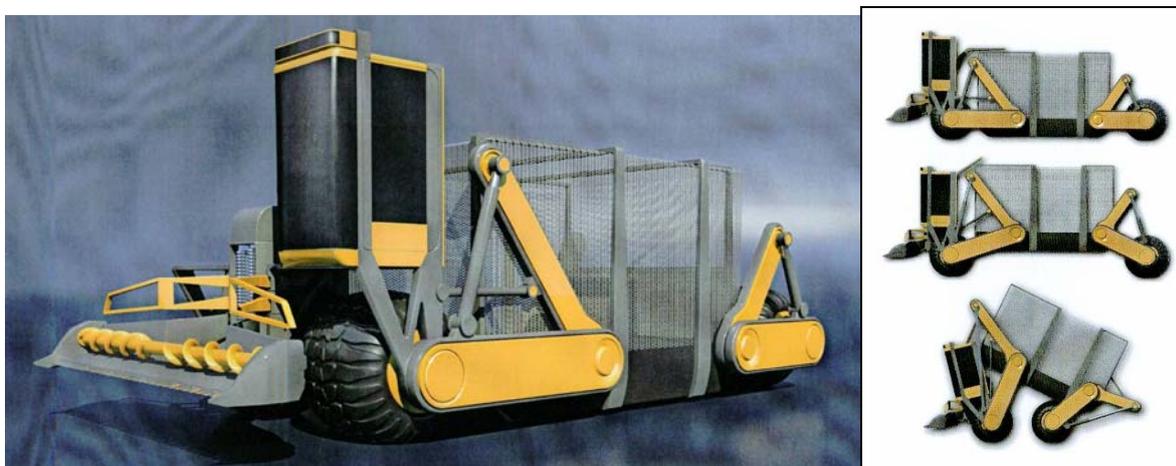


**Abbildung 3.1-7: Umgebauter PistenBully zur Feuchtgebietspflege**

(Foto: Sabine Wichmann)

### Neue Entwicklungen

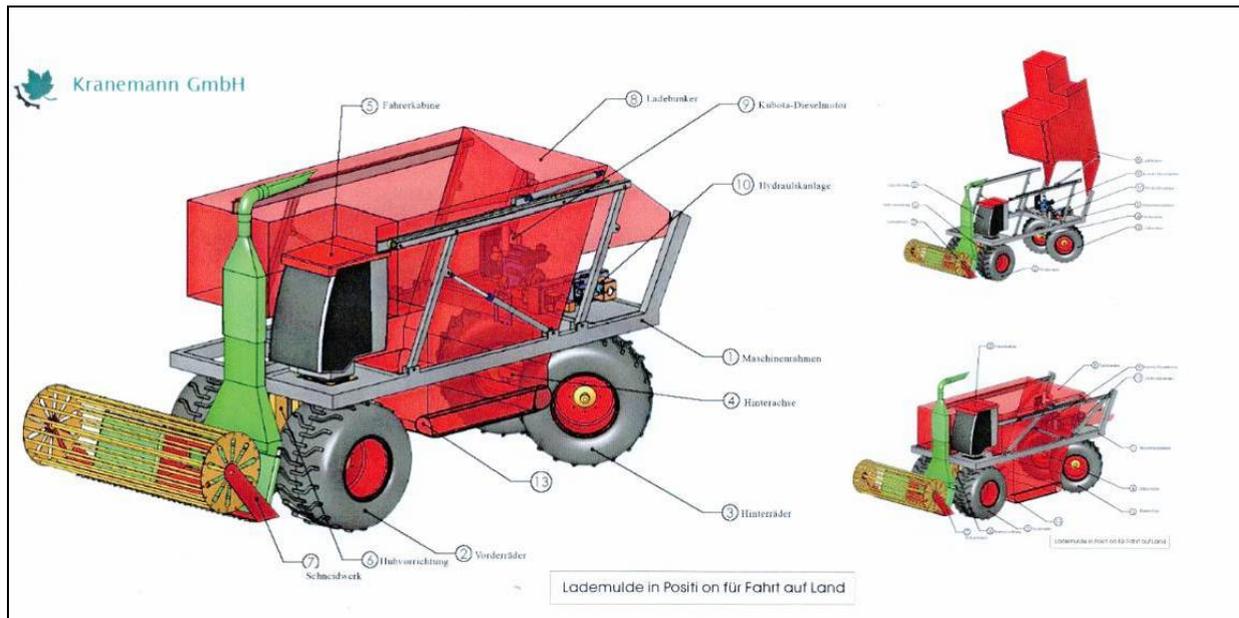
Im Rahmen eines kürzlich abgeschlossenen Projektes der Kunsthochschule Berlin-Weißensee wurden in enger Abstimmung mit dem ENIM-Projekt Entwürfe für neue Schilferntemaschinen entwickelt, die für die großflächige Beerntung von Röhrichten und Rieden geeignet sein sollen. Ein Ergebnis dieser Studien ist in Abbildung 3.1-8 dargestellt. Die Maschine wäre mit einem Schneidwerk mit 3,1 m Arbeitsbreite ausgestattet und 6,8 m lang. Sie kann schwimmen (rechte Seite der Abbildung, obere Darstellung) wenn durch Absenkung des Biomassebunkers Auftriebskräfte entstehen. Der Motor und der Treibstofftank sind unten im hinteren Bereich des Bunkers angebracht, um gut ausbalancierte Verhältnisse zu schaffen. Die Fahrsituation ist in der mittleren Abbildung rechts dargestellt, die Kipp-Position in der unteren Darstellung.



**Abbildung 3.1-8: Neues Design für neue technische Lösungen: Erntefahrzeug für Schilfbiomasse**

Entworfen von Andreas Grasmück, Student der Kunsthochschule Berlin-Weißensee (Palloks & Mainz 2009).

Die in der Abbildung 3.1-9 gezeigte Schilferntemaschine wurde von der Firma Kranemann, Blücherhof, Mecklenburg-Vorpommern, entwickelt. Dieser Betrieb ist auf die Entwicklung von Spezial-Landmaschinen ausgerichtet. Bei dem Entwurf dieser Maschine wurden Anregungen der Autoren des vorliegenden Berichts berücksichtigt. Die Terrareifen verursachen nur einen geringen Bodendruck. Die Maschine wird durch hydraulische Einzelradantriebe angetrieben. Ihre Ladekapazität beträgt 3 Tonnen. Der Nachteil dieser Maschine besteht, wie bei vielen der anderen vorgestellten Maschinentypen darin, dass die Biomasse lose im Bunker transportiert wird und die Maschine zum entladen jeweils an den Moorrand fahren muss. Daher sind die zu fahrenden Wegstrecken deutlich länger als bei Erntemaschinen, die mit einer Verdichtungseinheit (Ballenpresse) kombiniert sind.



**Abbildung 3.1-9: Entwurf für eine Schilferntemaschine der Firma Kranemann, Blücherhof (M-V)**

(Palloks & Mainz 2009)

### 3.1.2.6 Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Die hier aufgeführten Beispiele zeigen sehr unterschiedliche Lösungen für die Beerntung nasser Flächen. Die Unterschiede sind zum größten Teil auf die verschiedenen Beweggründe für die Flächenbeerntung und die regionalen bzw. standörtlichen Besonderheiten zurückzuführen.

Im Rahmen der weiteren Optimierung der Bewirtschaftung nasser Niedermoorstandorte müssen zwei Schwerpunkte berücksichtigt werden. Einerseits ist die weitestgehende Schonung der Standorte zu beachten:

- Vermeidung mechanischer Bodenstörungen
- Verhinderung von Rhizomschäden
- Erhaltung der Vegetation bzw.
- Initiieren einer gelenkten Entwicklung der Vegetation entsprechend spezifischer Entwicklungsziele
- Berücksichtigung der standorttypischen Biodiversität.

Auf der anderen Seite ist eine Erhöhung der Schlagkraft unumgänglich, um Kosten zu reduzieren und eine langfristige Wirtschaftlichkeit der Biomasseernte zu gewährleisten. Somit muss die Entwicklung insbesondere auf Verbesserungen der Technik abzielen, die den Teil der Ernte nach dem Schnitt der Biomasse bis hin zur Ablage oder Verladung des Ernteguts am Feldrand betrifft.

Für den weiteren Entwicklungsbedarf lassen sich folgende Schlüsselbereiche identifizieren:

a) Geringer Bodendruck:

Maßgebliche Anpassung ist die Reduzierung des Gewichts und des Leistungsbedarfs aller Komponenten in Kombination mit einer möglichst großen Auflagefläche (z.B. Raupenlaufwerk). Diese Anforderung steht dem herkömmlichen Trend in der Landtechnikentwicklung hin zu größeren, leistungsstärkeren und damit immer schwereren Maschinen gegenüber. Lösungsansätze hinsichtlich der Laufwerke finden sich bei der Schilferntetechnik bzw. den Praxisbeispielen. Die Saigas mit ihren Ballonreifen schwimmen bei hohen Wasser-

ständen auf, sind dann schwer zu manövrieren und können durch Schlupf Schäden auf der Fläche verursachen. Die Pistenraupen haben eine große Auflage zur besseren Verteilung des Gewichts, können allerdings bei engem Manövrieren Schäden durch Abschären bewirken. Verbesserungsmöglichkeiten sind z. B. hinsichtlich bodenschonender Laufwerkblätter denkbar.

b) Mahd:

In den Praxisbeispielen werden mit Doppelmessermähbalken, Rotationsmäherwerk oder Mäh-drescherschneidwerk verschiedene Komponenten erprobt. Wichtige Entscheidungskriterien sind Gewicht und Leistungsbedarf der Mähvorrichtungen. Zu berücksichtigen ist zudem ein höherer Wartungsaufwand durch Abnutzung der Schneidwerkzeuge auf Grund möglicher hoher Silicium-Gehalte der Biomasse.

c) Trocknung/Schwaden:

Das Einbringen trockener, d.h. lagerfähiger Biomasse auf nassen Flächen kann problematisch sein. Falls die Biomasse nicht trocken geerntet wird (Wintermahd: Schilf, Großseggen, Rohrglanzgras) bzw. das Material nicht auf der Fläche getrocknet werden kann (Sommermahd: Heu), ist eine Abfuhr des frischen Mahd- bzw. Häckselgutes im Biomassebunker möglich. Für eine Lagerung wäre eine Silierung oder aber eine Trocknung, ggf. mittels Trocknungs- oder Pelletierungsanlage, erforderlich.

d) Komprimierung:

Energiebiomasse muss in den meisten Fällen zur Verbesserung von Transport, Lagerung und „Handling“ verdichtet werden. Die von den Schilferntemaschinen produzierten Bunde aus ganzen Halmen sind hierfür ungeeignet. Die Technik zur Pelletierung (z. B. Selbstfahrer-Prototyp Biotruck 2000) oder zur Produktion von großen Quaderballen (vgl. Strohverbrennung in Dänemark) ist hingegen für Moorböden zu schwer und erfordert einen zu hohen Leistungsbedarf. Als Kompromiss ist die Erzeugung von Rundballen oder Kleinballen (Hochdruckballen) oder eine Verlagerung der Verdichtung auf einen Standort außerhalb des Moores denkbar.

e) Aufnahme und Abtransport:

Auf nassen Flächen ist das Ablegen der trockenen Ballen nicht möglich. Um ein Vollaugen der Ballen mit Wasser zu verhindern, ist ein Transport auf dem Erntefahrzeug denkbar. Eine Effizienzsteigerung würde durch separate, leichte Transportfahrzeuge erreicht werden, die die Ballen direkt vom Erntegerät aufnehmen und zu einem trockenen Lagerplatz am Flächenrand bringen, der für herkömmliche Transportfahrzeuge erreichbar ist. Das Verladen der Großballen kann sowohl mit einem Schlepper mit Frontlader erledigt werden, als auch mit einem auf dem Transportfahrzeug aufgebauten Hydraulikhubarm. Die zweite Lösung ist eleganter, weil ein häufiges Manövrieren mit dem Verladefahrzeug und damit eine zu starke Belastung des Bodens entfällt. Für den Transport auf der Fläche könnte ggf. auf Technik zurückgegriffen werden, die an Berglandschaften angepasst ist oder z. B. beim Abtransport von Qualitätsschilf im Beispiel Rozwarowo Verwendung findet. Hier wurden ein leichter Schlepper und ein Anhänger mit Saiga-Breitreifen umgerüstet (Abbildung 3.1-10).



**Abbildung 3.1-10: Transportfahrzeug für Dachreet in Rozwarowo, Polen, im Hintergrund Ernteflächen**

(Foto: Achim Schäfer)

f) Naturschutz:

Sollen gleichzeitig mit der Bewirtschaftung auch Ziele des Naturschutzes verfolgt werden, sind – spezifisch für die zu fördernden Arten – bestimmte Nutzungsregimes abzustimmen. Diese können z. B. durch eine zeitliche Beschränkung der Mahd oder durch Auslassen von Teilflächen (z. B. zur Erhaltung von Altschilf zur Förderung der Rohrdommel) gekennzeichnet sein. Da die großflächige „Umwidmung“ von aufgelassenen Mooren und mehr oder weniger intensiv bewirtschafteten Grünlandflächen zu Paludikulturen eine neue Entwicklung darstellt, sind hier naturschutzgerechte Programme neu zu entwickeln.

Die Bewirtschaftung von Röhrichten und Rieden kann zu Änderungen in der Vegetationszusammensetzung führen (z. B. durch Fahrschäden Entwicklung von Rohrkolben- anstelle von Schilfröhrichten), was sowohl aus Sicht des Bewirtschafters als auch aus Sicht des Naturschutzes problematisch sein kann. Daher sind für die jeweils gewünschten Vegetationszusammensetzungen entsprechende Nutzungsregimes zu entwickeln. Auf der anderen Seite kann eine solche Veränderung der Vegetation auch naturschutzfachlich begründetes Ziel der Bewirtschaftung sein (Entwicklung einer Feuchtwiese oder eines Seggenriedes aus einem Schilfröhricht durch Sommermahd).

Der Entwicklung einer sowohl an die Standorte als auch die Biomasse angepassten, effizienten Erntekette kommt die Schlüsselstellung für die Wirtschaftlichkeit der Nutzung nasser Niedermoore zu. Die Nachfrage nach Energie- und Rohstoffen steigt. Technologische Lösungen für die Verwertung von NMB als Papiergrundstoff, Isoliermaterialien, Baustoff und Brennstoff sind vorhanden. Das aktuell zur Verfügung stehende Spektrum der stofflichen Verwertungsoptionen ist weiter ausbaufähig. Im Gegensatz zu anderen nachwachsenden Rohstoffen oder Energie-Pflanzen steht die Produktion nicht in Konkurrenz zur Erzeugung von Nahrungsmitteln. Allein in M-V kommen als Paludikultur-Wertschöpfungsflächen über 75.000 ha in Frage. Für Schleswig-Holstein, Brandenburg und Niedersachsen ist von ähnlichen Größenordnungen auszugehen (Wichtmann 2003). Das erforderliche Bindeglied zwischen dem existierenden Biomasse-Potential und der vorhandenen Roh- bzw. Brennstoff-Nachfrage bildet eine bisher nur in Einzellösungen vorhandene Landtechnik für nasse Niedermoore.

### 3.1.3 Exkurs: Schilf – ein alte Nutzpflanze (S. Wichmann)

Wie vielfältig Schilf bereits seit der Sesshaftigkeit des Menschen in Europa genutzt wird, beschreibt u. a. Rodewald-Rudescu (1974): An in vorgeschichtlicher Zeit bevorzugten, wassernahen Siedlungsplätzen war das Schilf häufig und wurde zum Hausbau (Dachdeckung, Bodenbelag, Hauswände, Stallungen, Zäune, Windschutzwände), für Fischabsperungen / Fischfallen, aber auch bereits als Brennstoff verwendet (s. u.). Im grünen Zustand geschnitten wurde Schilf als Viehfutter genutzt, getrocknet als Einstreu (Bittmann 1953).

Bis in die heutige Zeit ist das Reet- bzw. Rohrdach eine kulturhistorische Bauform, die an der Nord- und Ostseeküste, aber auch im Binnenland weit verbreitet ist. International hat das Volk der Ma'dan (Marsch-Araber) eine beeindruckende Schilf-Kultur bewahrt. Sie bewohnen die Inseln und Ufer des Sumpfbereichs von Euphrat und Tygris im Süden des Irak. Die Ma'dan bauen ihre Häuser und Boote aus Schilf und betreiben eine Verjüngung der Bestände durch kontrolliertes Abbrennen.

Für viele traditionelle sowie neue Schilfnutzungen wird Schilfrohr in neuerer Zeit mechanisiert gewonnen und industriell verarbeitet oder angewendet (Bittmann 1953; Rodewald-Rudescu 1974; Björk & Granéli 1978; Wichtmann, Gensior & Zeitz 1997; Wichtmann 1999; Gaudig 2003):

- Bauindustrie (z. B. Dachrohr, Wand- und Deckenverkleidungen, Putzträger, Pressplatten, Schall- und Wärmedämmung)
- Garten- und Landschaftsbau (Matten als Frost-/Wind-/Sonnenschutz; Böschungsbefestigung; Formkörper)
- Zellulose- und Papierindustrie (Pappe, Wellkarton)
- Ackerbodenproduktion in Poldern (Ijsselmeergebiet/Niederlande)
- Wasserbau (Uferbefestigung, Renaturierung)
- Abwasserbehandlung und Klärschlammvererdung
- Sanierung degradierter Niedermoore.

Demgegenüber wurde die traditionelle energetische Nutzung von Schilf jedoch bisher kaum für die großtechnische Verbrennung weiterentwickelt. Rodewald-Rudescu (1974) beschrieb das in früherer Zeit verbreitete Heizen mit Schilf:

*„Aber auch als Heizmaterial spielt das Schilfrohr in diesen gewöhnlich waldarmen Gebieten eine große Rolle und ist dort oft das einzige Heizmaterial im langen Winter. [...] es [ist] ein guter Ersatz für Holz und wurde seit Jahrtausenden in den Haushalten zum Heizen und Kochen benützt. [...] Die jahrtausendelange Erfahrung der Bewohner schilfrohrreicher Gegenden hat zur Konstruktion von speziellen langgestreckten Öfen geführt, in die die Bündel mit der dicken Endseite eingeführt und dann langsam verbrannt und nachgestoßen werden, während die erzeugte Wärme durch Kanäle aus Lehmziegeln unter die Betten und in die Zimmer geführt wird und so eine angenehme, langandauernde Wärme erzeugt. Der Ofen wirkt hier wie eine kleine Thermozentrale; er wird gewöhnlich vom Korridor aus gespeist, so dass kein Schmutz in die Zimmer eindringt, während die Kanäle eine Art Zentralheizung des ganzen Hauses ermöglichen. So kann man mit einem Ofen 2-4 Zimmer angenehm beheizen, wofür 3-4 Bündel Schilfrohr an kalten Wintertagen genügen.“*

Weitergehend schlug Rodewald-Rudescu schon 1974 die Verwendung von Schilf als Heizmaterial im verkokten Zustand bzw. die Pressung von Heizbriketts aus Schilfrohrresten der Plattenindustrie vor. Björk & Granéli wiesen bereits 1978 auf die Problematik fossiler Brennstoffe mit sinkenden Vorräten und steigenden Preisen sowie das daraus resultierende Interesse an alternativen Energiequellen hin. Sie diskutierten die Kultivierung von Schilf zur Gewinnung von Heizmaterial und schlugen die Zermahlung zu Pulver in einer mobilen Mühle vor. In einer späteren Arbeit stellt Granéli (1984) die Möglichkeit der Komprimierung von Schilf in Form von Ballen, Pellets oder Briketts und deren Verbrennung in Anlagen für Stroh oder andere Festbrennstoffe vor. Schuster (1985) veröffentlicht Untersuchungen zur Verwertung von Schilf am Neusiedler See (u. a. als Heizmaterial in Form von Pellets). Vom Neusiedler See sind auch aus neuerer Zeit mehrere Studien zur Schilfverbrennung bekannt (u. a. Hofbauer et al. 2001; Eder et al. 2004). Trotz Forschungsprojekten und Initiativen in mehreren Ländern konnte im Zuge des Projektes kein Heiz(kraft)werk ermittelt werden, das Schilf bereits standardmäßig als Brennstoff einsetzt (vgl. Kapitel 4.1 und 4.2).

## 3.2 Halmgutartige Biomasse aus wiedervernässten Niedermooren

### 3.2.1 Biomasse- und Standortskatalog (Standortpotenzial) (T. Timmermann)

#### 3.2.1.1 Zielsetzung und Datengrundlage

Der Begriff ‚Standortpotenzial‘ ist mehrdeutig. Darum wird eine Begriffsdefinition voran gestellt: Unter Standortpotenzial wird hier – qualitativ – das standörtliche Spektrum der betrachteten Arten Rohrglanzgras und Schilf verstanden. Gemeint sind somit die Bereiche (Amplituden) der relevanten Umweltfaktoren (s. oben). Die Ergebnisse zum Standortpotenzial („Standortskatalog“) sind in diesem Kapitel dargestellt.

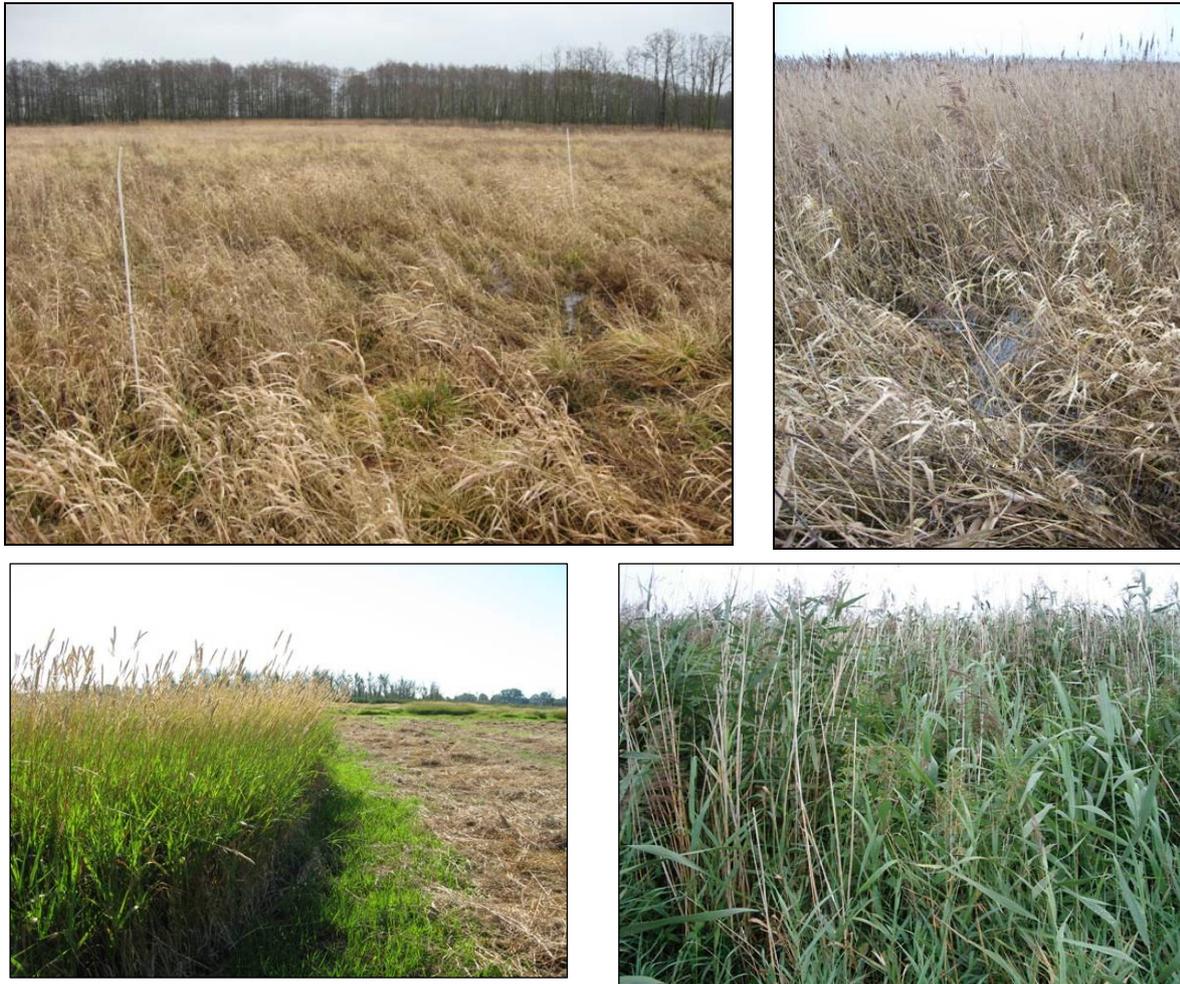
Mit dem Begriff Flächenpotenzial wird demgegenüber – quantitativ – die Flächengröße charakterisiert, auf der Rohrglanzgras und Schilf Dominanzbestände bilden können. Für das Flächenpotenzial sollen hier (a) das *naturräumliche*, rein theoretische, (maximale) Flächenpotenzial, (b) das *tatsächliche* Areal (kein Potenzial im strengen Sinne) und (c) das angesichts der Rahmenbedingungen (Zuwegungen, Wirtschaftlichkeit, Ausgangsvegetation, verfügbare Erntetechnik, Eigentumsverhältnisse, Akzeptanz etc.) vorhandene oder herstellbare *realistische* Flächenpotenzial unterschieden werden. Die Ergebnisse zum Flächenpotenzial sind in Kapitel 3.5.5 dargestellt.

Ziel der Untersuchungen zum Standortpotenzial war die Charakterisierung der Produktivität und stofflichen Zusammensetzung halmgutartiger Biomasse von Rohrglanzgras (RGG) und Schilf sowie ihre Beziehung zu wesentlichen Standortfaktoren wie Wasserversorgung (Wasserstufe nach Koska 2001), Nährstoffverfügbarkeit (Trophiestufe nach Succow & Joosten 2001), Erntezeitpunkt und Wuchsort (Lokalität).

Folgende Fragen sollten beantwortet werden:

- Welche Trockenmasseerträge sind für Schilf bzw. Rohrglanzgras auf wiedervernässten Niedermoorstandorten zu erzielen?
- Welche Qualität hat die geerntete Biomasse im Hinblick auf die energetische Verwendung?
- Wie stark schwanken die Erträge und Stoffgehalte je nach Art und Standortbedingungen und sind sie in der Zeit stabil?
- Unter welchen Standortbedingungen sind die Standortparameter hinsichtlich Biomassequantität und -qualität optimal kombiniert?
- In welchem Umfang stehen Flächen geeigneter Standorte in Norddeutschland zur Verfügung?

Für die Untersuchungen zur Biomasse wurden drei Datensätze genutzt. Datensatz A wurde im Rahmen des ENIM-Projekts neu erstellt und umfasst Dominanzbestände von fünf Untersuchungspunkten im Peenetal: Neukalener Wiesen A und B, Kummerower See (Hafen Salem), Polder Randow-Rustow und Ferne Wiesen. Datensatz B enthält den Datensatz A sowie zusätzlich noch Werte aus vier weiteren Gebieten im Peene- und Trebeltal (Anklamer Stadtbruch, Polder Pentin, Polder Ziethen, Polder Jargelin, Recknitz), die im Rahmen anderer Untersuchungen in wiedervernässten Mooren gewonnen wurden (Schulz et al. in prep., Steffenhagen et al. 2008, Timmermann et al. 2006a, Timmermann et al. in prep.). Datensatz C enthält ausschließlich Daten zur lebenden Biomasse (Sommer) aus vier Untersuchungsgebieten (Polder Jargelin, Menzlin und Zarnekow im Peenetal sowie Polder Beestland-Wendewiesen im Trebeltal, vgl. Steffenhagen et al. 2008).



**Abbildung 3.2-1: Untersuchte Bestände von Rohrglanzgras und Schilf**

Rohrglanzgras:	Neukalener Wiesen A (Brache) (links oben), Polder Randow-Rustow (einmalige Mahd) (links unten)
Schilf	Uferröhricht Kummerower See/Hafen Salem (rechts oben) Polder Zartenstrom/Anklamer Stadtbruch (rechts unten)

Die Biomasseproben wurden aus Dominanzbeständen von Rohrglanzgras und Schilf (Deckung der Dominanzart > 75 %, Trockengewichtsanteil der Dominanzart > 95 %) gewonnen, wobei jeweils 5-8 zufällig verteilte Probeflächen von je 0,25 m<sup>2</sup> abgeerntet wurden. Im Labor des IfBL wurden die Proben über 48 h bei 80°C getrocknet, in einer Schlagkreuzmühle zerkleinert, sodann zu Pulver gemahlen und erneut getrocknet. Anschließend wurden die Parameter Trockenmasse, C, N, P, K, Cl und C/N-Verhältnis bestimmt. Die Analysen erfolgten für P nach DIN EN ISO 6878, für K nach DIN ISO 9964-3, für C nach DIN ISO 10694, für N nach DIN ISO 13878. Chlorid wurde mittels eines pH/mV Taschenmessgeräts (pH315i von WTW) in Kombination mit einer Chloridelektrode (Typ 17-377 von DPST Behnert GmbH) und einer Ag/AgCl-Referenzelektrode (Typ 10-201, DPST Behnert GmbH) bestimmt. Die Messungen erfolgten im unfiltrierten Extrakt der Proben in deionisiertem Wasser.

Lebende und tote Pflanzenteile wurden zusammengefasst ausgewertet, da diese auch bei der Ernte durch einen Landwirtschaftsbetrieb nicht trennbar wären. Die Anteile lebender und toter Biomasse schwankten naturgemäß erheblich in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt. Für die Darstellung der Unterschiede zwischen lebender und toter Biomasse wurden aus beiden Datensätzen Aufnahmen mit ausschließlich toter Biomasse (Winter) ausgewählt und Werten eines weiteren Datensatzes. (Steffenhagen et al. 2008, Schulz, unpubl.) mit ausschließlich lebender gegenübergestellt.

**Tabelle 3.2-1: Verteilung der Stichprobengrößen für lebende und tote Biomasse (BM)**

(Datensätze A & B) sowie ausschließlich lebende BM (Datensatz C)

	Lebende & tote BM (A&B)	Lebende BM (C)
Rohrglanzgras	n: 212	n: 100
Schilf	n: 171	n: 100

Tabelle 3.2-1 gibt einen Überblick über die Stichprobengrößen für lebende (= grüne) und tote Biomasse (Datensätze A und B), (ausschließlich) tote Biomasse (Auszug aus Datensätzen A und B) sowie (ausschließlich) lebende Biomasse (Datensatz C). Die Tabelle 3.2-2 und Tabelle 3.2-3 zeigen die untersuchten Variablen und die betrachteten Stichprobengrößen für beide Arten (Datensätze A und B).

**Tabelle 3.2-2: Untersuchte Variablen und betrachtete Stichprobengrößen für Rohrglanzgras**

(Datensatz A & B)

		TS [t/ha]	C [mg/g]	C [kg/ha]	N [mg/g]	N [kg/ha]	C/N	P [mg/g]	P [kg/ha]	K [mg/g]	K [kg/ha]	Cl [mg/g]	
1. Erntezeitpunkt	Sommer	116	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	
	Winter	96	95	95	95	95	95	94	94	76	76	30	
	<b>Gesamt</b>	<b>212</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>154</b>	<b>154</b>	<b>136</b>	<b>136</b>	<b>30</b>	
	Januar	24	23	23	23	23	23	23	23	8	8	7	
	Februar	24	24	24	24	24	24	24	24	21	21	7	
	März	16	16	16	16	16	16	15	15	16	16	-	
	Mai	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	
	Juni	32	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	
	Juli	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	
	September	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	
	November	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
	Dezember	24	24	24	24	24	24	24	24	24	23	23	8
	<b>Gesamt</b>	<b>168</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>154</b>	<b>154</b>	<b>136</b>	<b>136</b>	<b>30</b>	
2. Wasserstufe	4+	174	125	125	125	125	125	124	124	106	106	30	
	5+	38	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-	
	<b>Gesamt</b>	<b>212</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>154</b>	<b>154</b>	<b>136</b>	<b>136</b>	<b>30</b>	
3. Trophiestufe	k	48	32	32	32	32	32	31	31	22	22	-	
	r	134	93	93	93	93	93	93	93	84	84	30	
	sr	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-	
	<b>Gesamt</b>	<b>212</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>154</b>	<b>154</b>	<b>136</b>	<b>136</b>	<b>30</b>	
4. Polder	Bugewitz	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-	
	Ziethen	38	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-	
	Jargelin	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Neukalner Wiesen	64	63	63	63	63	63	62	62	45	45	-	
	Pentin	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Randow-Rustow	48	32	32	32	32	32	32	32	31	31	30	
	Recknitz	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<b>Gesamt</b>	<b>212</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>154</b>	<b>154</b>	<b>136</b>	<b>136</b>	<b>30</b>	

**Tabelle 3.2-3: Untersuchte Variablen und betrachtete Stichprobengrößen für Schilf**  
(Datensatz A & B)

		TS [t/ha]	C [mg/g]	C [kg/ha]	N [mg/g]	N [kg/ha]	C/N	P [mg/g]	P [kg/ha]	K [mg/g]	K [kg/ha]	CI <sub>(mg/g)</sub>
1. Erntezeitpunkt	Sommer	131	76	76	76	76	76	76	76	76	76	11
	Winter	40	16	16	16	16	16	16	16	16	16	10
	<b>Gesamt</b>	<b>171</b>	<b>92</b>	<b>21</b>								
	Januar	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Februar	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	10
	März	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mai	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-
	Juni	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	11
	Juli	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-
	September	75	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-
<b>Gesamt</b>	<b>171</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>21</b>	
2. Wasserstufe	4+	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5+	94	62	62	62	62	62	62	62	62	62	21
	6+	45	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-
	<b>Gesamt</b>	<b>171</b>	<b>92</b>	<b>21</b>								
3. Trophiestufe	k	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	3
	r	95	54	54	54	54	54	54	54	54	54	18
	sr	68	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-
	<b>Gesamt</b>	<b>171</b>	<b>92</b>	<b>21</b>								
4. Polder	Bugewitz	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	7
	Zartenstrom	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	-
	Ferne Wiesen	32	16	16	16	16	16	16	16	16	16	11
	Ziethen	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jargelin	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	3
	Neukalen	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Pentin	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Randow-Rustow	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Recknitz	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>Gesamt</b>	<b>171</b>	<b>92</b>	<b>21</b>								

### 3.2.1.2 Standortansprüche von Schilf und Rohrglanzgras

Schilf und Rohrglanzgras weisen hinsichtlich ihrer Standortansprüche breite Überschneidungen auf, sind aber dennoch durch unterschiedliche Optimalbereiche und Breiten ihrer Standortamplitude deutlich ökologisch getrennt. So verträgt das Rohrglanzgras weder lang anhaltenden Überstau noch längere Trockenphasen (Mittelwasserstände von ca. > 60 cm unter Flur) und benötigt stets nährstoff- und basenreiche Standorte. Tabelle 3.2-4 veranschaulicht die ökologischen Ansprüche beider Arten.

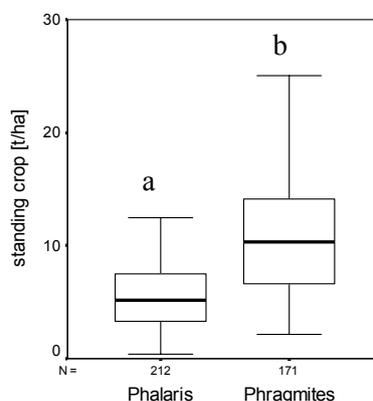
**Tabelle 3.2-4: Ökologische Optimalbereiche von Schilf und Rohrglanzgras**

Wasser-, Trophie- und Säure-Basenstufen nach Succow & Joosten 2001, Koska et al. 2001  
 a = arm, za: ziemlich arm, m: mittel, k: kräftig, r: reich, ser: sehr reich bis extrem reich  
 sa: sauer, su: subneutral, ka: kalkhaltig

	Wasserstufe					Trophiestufe					Säure-Basenstufe		
	6+	5+	4+	3+	2+	za	m	k	r	ser	sa	su	ka
Grundwasserstand (Jahresmedian in cm über Flur)	40	10	-10	-35	-60	meso- troph		eu- troph		poly- troph	pH < 4,8	pH 4,8 – 6,8	pH > 6,8
<b>Schilf</b>													
<b>Rohrglanzgras</b>													

### 3.2.1.3 Trockenmasseerträge für Schilf und Rohrglanzgras

Schilf und Rohrglanzgras wiesen mit mittleren Trockenmassenerträgen (TM standing crop) von 12,46 und 5,76 t/ha eine hohe bis sehr hohe Produktivität auf (Abbildung 3.2-2). Beide Arten unterschieden sich hinsichtlich ihrer TM-Erträge signifikant ( $p=0,05$ ). Zwar schwankten die Erträge stark, doch lag das 90 %-Quantil beider Arten relativ eng am Mittelwert, d. h., die potenziellen Ertragshöhen wären mit geringem Risiko kalkulierbar.



**Abbildung 3.2-2: Trockenmasseerträge für Rohrglanzgras (*Phalaris*) und Schilf (*Phragmites*)**

Die Übersicht vereint sämtliche Proben der Datensätze A und B (vgl. Tabelle 3.2-2 und Tabelle 3.2-3). Unterschiedliche Buchstaben (a,b,c usw.) bezeichnen das Vorhandensein, übereinstimmende Buchstaben das Fehlen signifikanter Unterschiede ( $p=0,05$ ).

Betrachtet man die standörtlichen Abhängigkeiten des Trockenmasseertrags, so fällt auf, dass die Erträge bei beiden Arten positiv mit der Wasserstufe korreliert sind. Eine deutlich positive Korrelation besteht ebenfalls mit der Nährstoffversorgung (Trophiestufe), konnte jedoch nur für Rohrglanzgras statistisch abgesichert werden. Zu bedenken ist insbesondere bei Rohrglanzgras, dass Dominanzvorkommen auf nassen Standorten (5+) relativ selten und oftmals nicht über mehrere Jahre stabil sind. Es handelt sich meist um erst seit wenigen Jahren vernässte Standorte, auf denen das Rohrglanzgras mittelfristig eine rückläufige Tendenz zeigt und somit bald keine Dominanzbestände mehr bilden dürfte (vgl. Timmermann et al. 2006a). Typisch für derartige Bestände ist eine Abnahme hochwüchsiger Grasarten, insbesondere von Rohrglanzgras, verbunden mit einer Zunahme von Seggen sowie kleinwüchsigen Kräutern (vgl. Tabelle 3.2-5 und Abbildung 3.2-3).

**Tabelle 3.2-5: Typische Vegetationsaufnahme für durch leichte Vernässung und Einstellung der Düngung allmählich an Nährstoffen verarmende Rohrglanzgrasbestände**

Neukalener Wiese A, 05.08.2008 (100 m<sup>2</sup>), Gesamtdeckung 98 %, Deckungsschätzsкала nach Braun-Blanquet (Pfadenhauer 1997)

<i>Phalaris arundinacea</i> 3	<i>Cirsium vulgare</i> +	<i>Lythrum salicaria</i> +
<i>Deschampsia cespitosa</i> 1	<i>Hydrocotyle vulgaris</i> +	<i>Polygonum amphibium</i> +
<i>Equisetum fluviatile</i> 2b	<i>Thalictrum flavum</i> +	<i>Potentilla anderina</i> +
<i>Mentha aquatica</i> 2b	<i>Juncus articulatus</i> +	<i>Hypericum tetrapterum</i> +
<i>Carex acuta</i> 1	<i>Galium uliginosum</i> +	<i>Epilobium parviflorum</i> +
<i>Carex disticha</i> 1	<i>Cirsium palustre</i> +	<i>Lychnis flos-cuculi</i> +
<i>Carex nigra</i> 1	<i>Iris pseudacorus</i> +	<i>Drepanocladus aduncus</i> +
<i>Poa palustis</i> +	<i>Juncus effusus</i> +	<i>Calliergonella cuspidata</i> 2a
<i>Lotus pratensis</i> +	<i>Sonchus oleraceus</i> +	
<i>Epilobium palustre</i> +	<i>Scrophularia umbrosa</i> +	

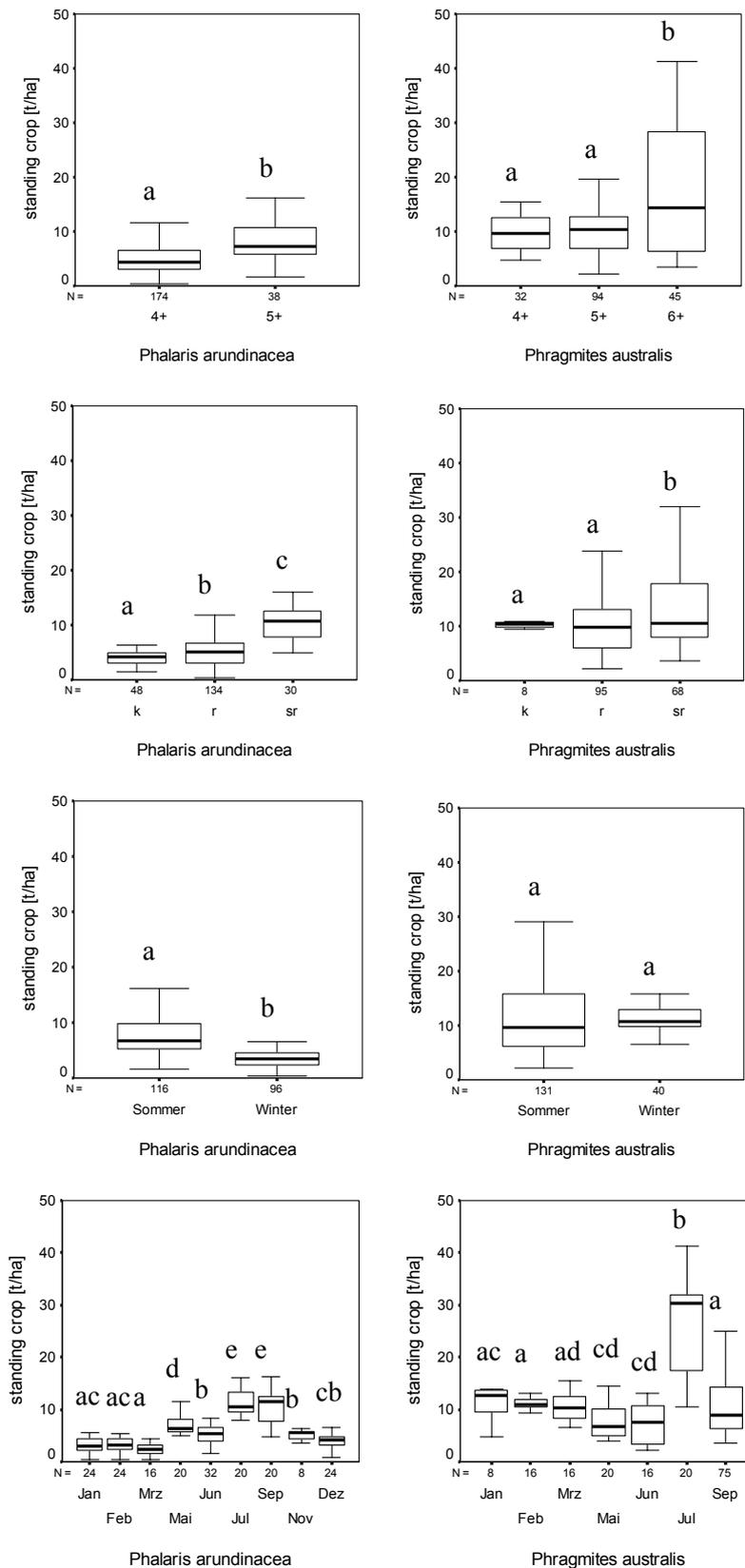


**Abbildung 3.2-3: Vegetation auf der Fläche Neukalener Wiese A (Brache, Vernässung)**

Zurückdrängung von Rohrglanzgras durch Vernässung und Nährstoffmangel:  
*Mentha aquatica*, *Equisetum fluviatile*, *Epilobium palustre*, *Hydrocotyle vulgaris*,  
*Carex disticha* und *Calliergonella cuspidata* (August 2008)  
(Foto: Tiemo Timmermann)

Bemerkenswert sind die geringen Unterschiede in der TM unterschiedlich nährstoffversorgter Standorte beim Schilf. Allerdings ist hier zu bedenken, dass in der Trophiestufe ‚kräftig‘ nur ein Bestand beprobt wurde, die Aussagen also nicht als repräsentativ anzusehen sind.

Eine besonders starke Abhängigkeit zeigt die TM auch vom Erntezeitpunkt. Dies wird insbesondere deutlich bei Betrachtung des Erntemonats. Rohrglanzgras zeigt von April/Mai bis Juli/September einen Anstieg und fällt danach kontinuierlich bis zum März ab. Beim Schilf erfolgt der Anstieg erst ab Juni. Das Ertragsmaximum liegt vermutlich im August/September und unterscheidet sich im Allgemeinen (entgegen dem scheinbaren Trend in Abbildung 3.2-4) nicht so deutlich von den Werten des Winterhalbjahrs wie beim Rohrglanzgras. Zwar lässt die Stichprobendichte hierzu keine belastbaren Aussagen zu, doch entsprechen die Befunde den vorhandenen Erkenntnissen (Schieferstein 1997, Vymazal & Kröpfelova 2005).



**Abbildung 3.2-4: Vergleich der Trockenmasseerträge von Rohrglanzgras und Schilf**

In Abhängigkeit von (von oben nach unten): Wasserstufe, Trophiestufe, Halbjahr (Sommer: Mai – Oktober, Winter: November – April) und Erntemonat.

Unterschiedliche Buchstaben (a,b,c usw.) bezeichnen das Vorhandensein, übereinstimmende Buchstaben das Fehlen signifikanter Unterschiede ( $p=0,05$ ).

### 3.2.1.4 Stoffliche Charakterisierung der Biomasse (Biomassequalität)

Im Folgenden soll nur auf die Stoffgehalte (Konzentrationen) in der Biomasse eingegangen werden. Die jeweiligen Stoffkonzentrationen sind im Anhang in Abbildung 7.2-1 bis Abbildung 7.2-7 dargestellt.

Die stofflichen Biomasseparameter verhielten sich bei Rohrglanzgras und Schilf weitgehend parallel: Die Gehalte an Nährstoffen blieben im Winterhalbjahr relativ konstant. Nur P schwankte stärker und wies ein deutliches Sommermaximum (Juni) beim Schilf auf sowie ein schwaches Maximum im November beim Rohrglanzgras (Abbildung 7.2-5). Die Chloridgehalte hatten ihr Maximum im Sommer und fielen zum Frühjahr ab. Sie unterschieden sich wenig und waren nur auf einem mit Brackwasser überfluteten Standort (Ferne Wiesen, Peenemündung) erhöht (im Mittel 0,7 % in der TM). Die absoluten Gehalte stiegen mit den Trockenmasseerträgen und der Wasser- und Nährstoffversorgung.

Signifikante Unterschiede bestehen zwischen beiden Pflanzenarten bei den Phosphor-, Kalium- und Chloridgehalten. Die Chloridwerte sind jedoch aufgrund der geringen Stichprobenzahl und der starken Abweichung eines mit Brackwasser überfluteten Schilfbestandes (Ferne Wiesen) schlecht interpretierbar (s. Tabelle 3.2-3).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Rohrglanzgras stärkere Quantitäts- und Qualitätsunterschiede zeigt als Schilf (s. Tabelle 3.2-6). Einflussreichster Faktor für beide Arten ist der Erntezeitpunkt, gefolgt von Lokalität und Wasserstufe.

**Tabelle 3.2-6: Übersicht zum Einfluss von Wasserstufe, Trophiestufe, Erntezeitpunkt und Lokalität auf die Quantität und Qualität der Biomasse von RGG und Schilf**

Schwache aber dennoch signifikante ( $p=0,05$ ) Beziehungen, die jedoch ohne praktische Relevanz sein dürften, sind eingeklammert.  
 ++ = sehr starke positive Korrelation, + = klare positive Korrelation, (+) = schwache positive Korrelation, O = keine eindeutige Korrelation

	Rohrglanzgras		Schilf	
	Quantität	Qualität	Quantität	Qualität
Wasserstufe	+	C, (C/N), (K)	(+)	(C/N), (P), (K)
Trophiestufe	+	C, (C/N), (P), K	(+)	(C), (N), (C/N), (P), (K), (Cl)
Erntezeitpunkt	++	C, N, C/N, (P), (K), Cl	+	N, C/N, P, K, Cl
Lokalität	+	C, N, C/N, (P), (K)	(+)	(C), N, C/N, P, K, Cl

### Vergleich lebender und toter Biomasse

Signifikante Unterschiede zwischen lebender und toter Biomasse zeigte das Rohrglanzgras bei den Parametern TM und C (vgl. Abbildung 7.2-8 im Anhang). Hier lagen die Werte im Winter deutlich unter denen des Sommers. Beim Schilf traten Unterschiede insbesondere bei den Nährstoffgehalten (N, P) zu Tage, wogegen die TM im Winterhalbjahr kaum geringere Werte aufwies, als im Sommer.

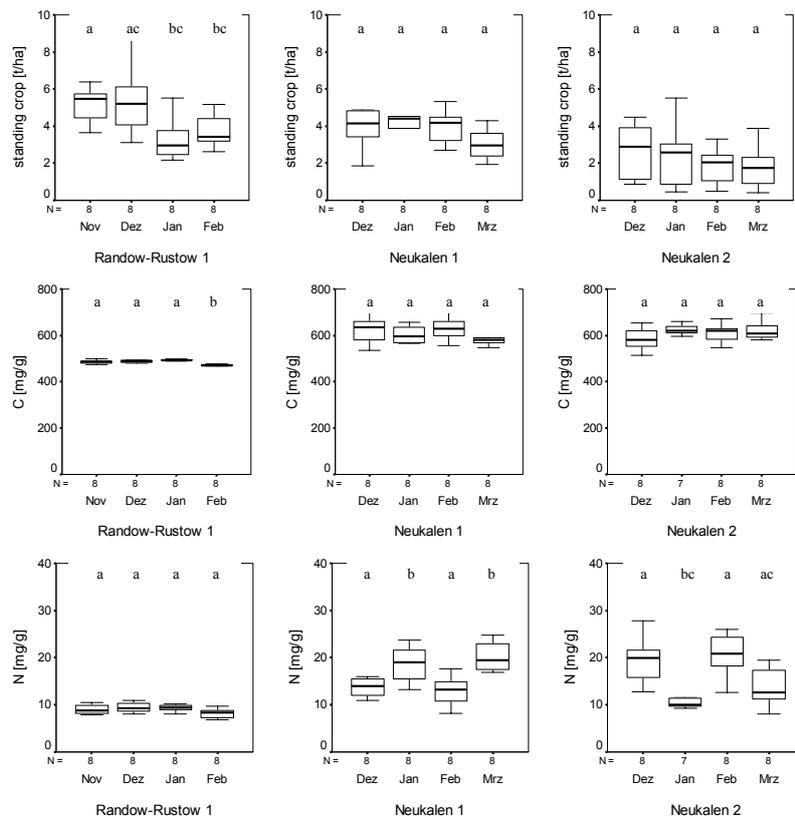
### 3.2.1.5 Zeitliche Abhängigkeit der Biomasseerträge und -qualität

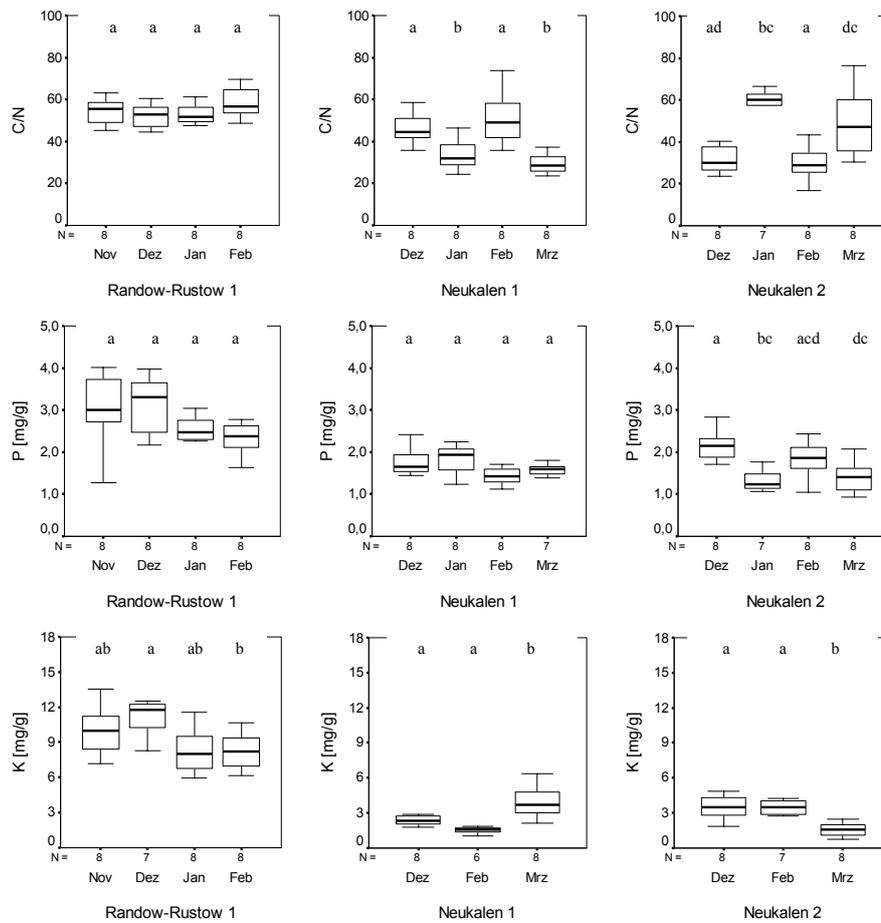
#### Zeitreihe Rohrglanzgras (Neukalener Wiesen 2006 – 2008)

Im Folgenden wird die Entwicklung der Trockenmasseerträge und Biomassequalität von Rohrglanzgras am Beispiel der Neukalener Wiesen (Winter 2006/2007, Standort 1: ungemäht, Standort 2: gemäht) sowie des Polders Randow-Rustow (Winter 2007/2008) dargestellt. Zusätzlich wird für den Standort Neukalener Wiesen 1 die Entwicklung der Trockenmasseerträge bis Sommer 2008 dargestellt.

Die oberirdische Trockenmasse (TM) nahm an allen Standorten vom Beginn (November/Dezember) bis zum Ende des Winters (Februar/März) kontinuierlich ab. Im Mittel betrug der Ertrag auf den Brachen im Dezember rund 4 t/ha und sank bis zum Ende des Winters auf 2,5 t/ha ab (Abbildung 3.2-5). Betrachtet man nur den Standort Neukalen 1, für den Messungen über zwei Winter sowie Sommerwerte vorliegen, zeigt sich, dass die Erträge in beiden Jahren im Januar und Februar nahezu identisch waren. Der Sommerertrag lag etwa 50 % höher als der Winterertrag, was mit den Ergebnissen in Abschnitt 3.2.1.3 übereinstimmt.

Sämtliche untersuchten Stoffgehalte mit Ausnahme des Phosphors blieben weitgehend konstant und zeigten keine klare Tendenz (s. Abbildung 3.2-5). Der Phosphorgehalt nahm auf zwei der drei Flächen leicht ab.





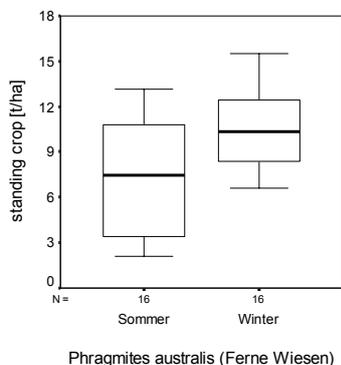
**Abbildung 3.2-5: Entwicklung der TM-Erträge und Stoffgehalte von RGG**

Standort Neukalener Wiesen 1 (Dez. 2006 bis Juli 2008)

Unterschiedliche Buchstaben (a,b,c usw.) bezeichnen das Vorhandensein, übereinstimmende Buchstaben das Fehlen signifikanter Unterschiede ( $p=0,05$ ).

**Sommer/Winter-Vergleich Schilf (Ferne Wiesen 2008/2009)**

Der Vergleich der TM eines Schilfbestandes in den Fernen Wiesen (Peene) zeigt ein zunächst überraschendes Ergebnis, nämlich höhere Werte im Winterhalbjahr als im Sommerhalbjahr. Ursache dafür ist, dass die Sommerernte bereits Ende Juni erfolgte, also ca. 2-3 Monate vor dem Ertragsmaximum des Schilfs (vgl. 3.1.1.2, sowie Abbildung 3.2-6).



**Abbildung 3.2-6: Trockenmasseerträge von Schilf**

Standort Ferne Wiesen im Juni 2008 und Januar 2009

### 3.2.1.6 Charakterisierung von Standorten mit optimaler Verbindung von Biomassequantität und -qualität

#### Biomassequantität (Erträge)

Der Standortkatalog (Tabelle 3.2-7) stellt die Beziehung zwischen den Standorttypen (charakterisiert durch Wasser- und Trophiestufe) und den mittleren TM-Erträgen zusammenfassend dar. Bei der Interpretation der Ertragswerte ist insbesondere zu berücksichtigen, dass die Stichprobengrößen variieren und dass alle Erntezeitpunkte zusammengefasst wurden (vgl. die Betrachtung einzelner Variablen in Abschnitt 3.2.1.4).

**Tabelle 3.2-7: Beziehung zwischen den Standorttypen und den mittleren TM-Erträgen**

Wasser- und Trophiestufe nach Succow & Joosten (2001)

#### Rohrglanzgras

Wasserstufe	4+	5+	6+
<b>Trophiestufe</b>			
K (eutroph-kräftig)	4,19	-	-
R (eutroph – reich)	4,82	8,54	-
Sr (polytroph)	11,84	9,41	-

#### Schilf

Wasserstufe	4+	5+	6+
<b>Trophiestufe</b>			
K (eutroph-kräftig)	-	10,31	-
R (eutroph – reich)	9,08	9,83	16,15
Sr (polytroph)	11,32	12,88	18,5

#### Optimale Erntestandorte und –zeitpunkte hinsichtlich Biomassequantität und -qualität

Im Optimalfall weist die Biomasse maximale TM und geringstmögliche Cl-Gehalte auf. Die Chloridgehalte liegen nur bei Schilf von durch Brackwasser beeinflussten Standorten teilweise im kritischen Bereich (ca. > 0,5 %). Bei allen sonstigen Proben von Rohrglanzgras und Schilf bewegen sich sämtliche untersuchten Parameter im für eine energetische Verwendung unkritischen Bereich (unterhalb 0,3 %) und zeigen den typischen Jahresverlauf (Lewandowsky et al. 2003, Tonn et al. 2007). Da Schilf deutlich höhere und stabilere Erträge auf nassen Standorten erbringt (5+, 6+), sollte für alle 5+ Standorte (auf denen zumindest für einige Jahre auch Rohrglanzgras angebaut werden könnte) die Schilfnutzung angestrebt werden.

Optimale Erntestandorte sind somit für beide Arten (a) nicht mit Brackwasser beeinflusst, (b) möglichst nass (innerhalb der hier betrachteten Wertespanne, d. h. maximaler Mittelwasserstand für Rohrglanzgras bei ca. 0 cm und für Schilf bei ca. 30 cm über Flur) und (c) mit möglichst dauerhaft hohem Nährstoffangebot (ausreichende Nährstoffnachlieferung). In überfluteten Schilfbeständen besteht jedoch die Gefahr, dass nach der Mahd in die hohlen Halme eindringendes Wasser den Wiederaustrieb verhindert (vgl. Weisner & Granéli 1989).

#### **Optimale Erntezeitpunkte:**

- Schilf kann hinsichtlich seiner stofflichen Eignung ganzjährig geerntet werden. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass insbesondere eine späte Sommermahd (August, September) das Schilf allmählich zurückdrängen wird (Güsewell et al. 2000). Dieser Prozess kann bereits innerhalb weniger Jahre zu einer Verminderung der Erträge und schließlich (frühestens nach etwa 10-20 Jahren) zum Verschwinden der Bestände führen. Daher empfiehlt sich für das Schilf eine Wintermahd (Dezember – März).
- Rohrglanzgras: Da die Ertragsmaxima im Sommer und Herbst liegen und Rohrglanzgras auch bei jährlicher Mahd stabile Erträge aufweist (Geber 2002), liegt der optimale Erntezeitraum zwischen Juli und Dezember (je nach gewünschtem Wassergehalt der Biomasse). Ein späterer Zeitpunkt verbessert die Biomassequalität (Tonn et al. 2007, Xiong et al. 2008), jedoch nimmt etwa ab November das Risiko zu, dass sich die Halme schräg stellen oder sogar ganz ‚umkippen‘, z. B. durch Regen, Wind oder Schneebedeckung (Abbildung 3.2-7). Sie lassen sich dann nicht mehr vollständig abmähen. Inwieweit ein Belassen des Mähgutes auf der Fläche die stofflichen Eigenschaften beeinflusst, kann hier nicht beurteilt werden. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Qualität der gemähten Biomasse eine ähnliche Tendenz zeigen wird, wie ungemähte Bestände (s. Tonn et al. ebd.).



**Abbildung 3.2-7: „Umfallender“ Bestand des Rohrglanzgrases**

Polder Randow-Rustow im Januar 2008

### 3.2.2 Qualitätskriterien für die Verbrennung (S. Wichmann)

Niedermoorbiomasse unterscheidet sich als halmgutartige Biomasse in ihren Brennstoffeigenschaften deutlich von holzartiger Biomasse. Dies muss insbesondere bei der Wahl angepasster Feuerungsanlagen (z. B. Biomassezuführung und Ascheaustrag) beachtet werden. Darüber hinaus bestehen auch innerhalb der Gruppe der halmgutartigen Biomassen z. T. deutliche Unterschiede hinsichtlich der für eine Verbrennung wichtigen Eigenschaften. Diese Heterogenität in Bezug auf Qualitätskriterien soll im Folgenden vorgestellt werden.

Als Substitute für Biomasse von Niedermoorstandorten (Schilf, Rohrglanzgras, Seggen) können Erzeugnisse des Ackerbaus wie Stroh, Getreideganzpflanzen und Chinaschilf (*Miscanthus*) betrachtet werden. Ebenfalls relevant ist Landschaftspflegeheu, das sowohl von Mineralböden als auch von entwässerten Niedermoorstandorten stammen kann. Wesentliche Qualitätskriterien für halmgutartige Biomasse zur Verbrennung sind:

- Heizwert
- Wassergehalt
- Anteil problematischer Inhaltsstoffe (Cl, S, N, Si)
- Aschegehalt und Ascheschmelzpunkt
- Aufbereitungsform der Biomasse
- Bewirtschaftungsfähigkeit der Bestände

Der **Heizwert** von halmgutartiger Biomasse liegt zwischen 16,4 MJ/kg (Rohrschwengel) und 17,8 MJ/kg (*Miscanthus*) und damit nur wenig unter demjenigen von Holz (18,2 – 18,8 MJ/kg) (Hartmann 1999 in FNR 2000). Schilf weist mit 17,5 MJ/kg (Eder et al. 2004) bzw. 17,7 MJ/kg (Barz et al. 2006) einen Heizwert im oberen Bereich auf. Für Rohrglanzgras geben Kastberg & Burvall (1998) einen Heizwert von 16,9 MJ/kg an.

Rode et al. (2005) betonen, dass der Heizwert stärker durch den **Wassergehalt** als durch die Art der Biomasse bestimmt wird. Für halmgutartige Biomasse ist eine Feuchte von  $\leq 15\%$  anzustreben.<sup>2</sup> Mit zunehmendem Wassergehalt verringert sich sowohl der Heizwert als auch die Lagerfähigkeit. Ab ca. 16 % werden biologische Abbauprozesse in Gang gesetzt, die Substanzverlust und Pilzsporenbildung zur Folge haben können. (Rode et al. 2005). Gleichzeitig erhöhen sich mit der Feuchte bestimmte Abgaskomponenten (Weiss 2001).

Problematische **Inhaltsstoffe** können sowohl zu schnellerem Verschleiß der Aufbereitungs- und Verbrennungsanlagen als auch zu kritischen Emissionen führen. Ihr Gehalt in der Biomasse ist stark abhängig von den Standortbedingungen (Trophie, Hydrologie, Salzgehalt) und der Bewirtschaftung (Düngung, Erntezeitpunkt). Als kritisch können sich die im Vergleich zu Holz höheren Gehalte an **Chlor** (HCL, hochtoxische halogenorganische Verbindungen, Erhöhung des Dioxinbildungspotenzials) und **Schwefel** (SO<sub>x</sub>) erweisen. Sie können zur Luftverschmutzung beitragen und durch die

---

<sup>2</sup> In Ausnahmefällen kann die gewünschte Feuchte der halmgutartigen Brennstoffe in Abhängigkeit von demjenigen des Ko-Brennstoffs auch über diesem Wert liegen. Im Kraftwerk Friedland wurden Verbrennungsversuche von Rohrglanzgras in Kombination mit Holzhackschnitzeln mit einem Feuchtegehalt von ca. 30-40 % durchgeführt. Da die Anlage auf Brennstoff mit diesem Wassergehalt eingestellt ist und sich zudem eine vorzeitige Verbrennung der deutlich trockeneren halmgutartigen Bestandteile (maximaler Beimischungsgrad von ca. 25 %) negativ auf den Brennprozess auswirkte, wäre Halmgut mit entsprechend höherer Feuchte laut Kraftwerksbetreiber geeigneter gewesen. (vgl. Kapitel 3.4.1.3)

Bildung von Säuren außerdem zu Korrosionsschäden an der Feuerungsanlage führen (Barz et al. 2006). Diese Gefahr besteht insbesondere bei der Verbrennung von Biomasse aus Anbaukulturen auf Mineralbodenstandorten, deren Erträge i. d. R. durch den Einsatz von Mineraldünger (z. B. Kaliumsulfat, Kaliumchlorid) gesichert werden. Ein erhöhter Schwefel-Gehalt betrifft insbesondere Rapsstroh, da Kreuzblütler für eine optimale Ertragsbildung eine Schwefeldüngung benötigen (Vetter 2001). Für den Chlorgehalt ist zudem der Erntezeitpunkt von Bedeutung, da er nach Abreife der Pflanzen sinkt. Die S- und Cl-Gehalte für *Miscanthus* liegen im Mittel unter denjenigen von Stroh und auch Ganzpflanzengetreide; die Standortvariabilität ist jedoch groß (vgl. Vetter 2001). Bei ungedüngten, spät geernteten Beständen wie Rohrglanz und Schilf, ist von geringen Problemen auszugehen, zumal deren Standorte natürlicherweise einen geringen Gehalt an Chloriden und Sulfaten aufweisen. Eine Ausnahme bilden semiaride Standorte wie z. B. der Neusiedler See, wo hohe Verdunstungsraten zu einer Anreicherung von Salzen im Seewasser und somit zu erhöhten Salzgehalten auch in der Schilfbiomasse führen. Auch für Küstenüberflutungsstandorte sind erhöhte Chlorgehalte anzunehmen (vgl. Abschnitt 3.2.1). Mortensen (1998) zeigte für Rohrglanzgras eine Verringerung der Chlorgehalte auf ca. 10 % bei einem verzögerten Erntetermin (Oktober: 0,485 % → März: 0,042 % der Trockenmasse). Ebenfalls für Rohrglanzgras zeigten Burvall & Hedman (1998) die Auswirkungen eines verzögerten Erntezeitpunkts auf Chlor- und S-Gehalt, aber u. a. auch für Stickstoff und Kalium (vgl. Abbildung 3.2-8). Zu beachten ist, dass die ausgewerteten Proben von gedüngten Beständen auf Mineralboden stammen. Für Niedermoorstandorte ist mit geringeren Ausgangswerten zu rechnen.

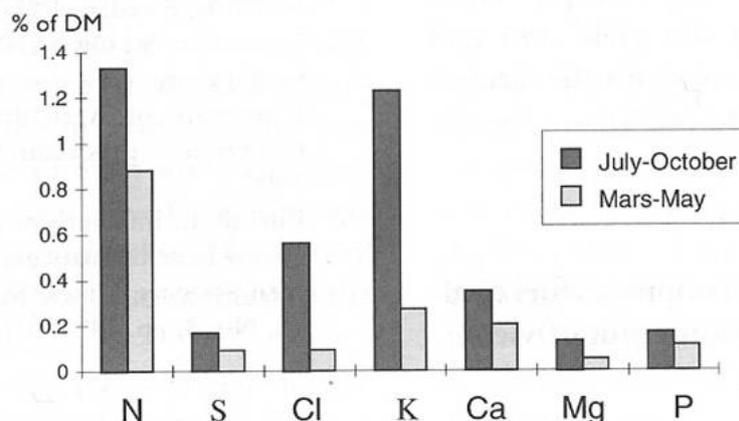


Figure I. Influence of harvest time on fuel characteristics for RCG.

### Abbildung 3.2-8: Einfluss des Erntezeitpunktes auf die Brennstoffeigenschaften von RGG

Quelle: Burvall & Hedman 1998; DM- Dry Mass, RCG – Reed Canary Grass

Abhängig von der Düngung und v. a. von dem verfügbaren Bodenstickstoff sind die **Stickstoff-**Emissionen ( $\text{NO}_x$ ), die bei der Verbrennung von Ganzpflanzengetreide (hoher N-Gehalt der Körner) oder auch Rapsstroh eine Schwierigkeit darstellen können (Vetter 2001). Sonstige Stroharten und *Miscanthus* bleiben nach Vetter (2001) unter dem kritischen Wert (N: <0,6 % der Trockenmasse). Für Schilf sind auf Grund des niedrigen Stickstoff-Gehalts keine Probleme mit  $\text{NO}_x$ -Emissionen zu erwarten (Barz et al. 2008). Neben der fehlenden Düngung lässt sich dies auch durch die winterliche Mahd von Schilf erklären.

Ein hoher Silikatanteil birgt die Gefahr der starken Abnutzung von z.B. Zerkleinerungswerkzeugen bei Erntetechnik oder Brennstoffaufbereitung (Ballenauflösung). Silicium erhöht den Ascheschmelzpunkt und ist Hauptaschebildungselement (Vetter 2001). Hofbauer et al. (2001) weisen auf eine relativ „hohe Konzentration der Elemente Kupfer und Blei in der Schilf-(labor-)asche“ hin, die eine „effektive Staubabscheidung“ durch „Elektro- und Schlauchfilter“ erfordert.

Halmgutartige Biomasse weist deutlich höhere **Aschegehalte** auf als holzartige Biomasse, was das Prozessmanagement erschweren kann (Wulf et al. 2008). Aschegehalte für Schilf von durchschnittlich 8,5 % (Untersuchungen im ENIM-Projekt, vgl. 3.3) bzw. 5,1 % (Eder et al. 2004) sind erheblich höher als diejenigen für z. B. Kiefernholz (0,3 %, Barz et al. 2006). Dies muss bei der Anlagenkonstruktion (Ascheaustrag, Staubabscheidung) berücksichtigt werden. Der gegenüber Holz niedrigere **Ascheschmelzpunkt** kann zu problematischer Schlackebildung führen. Dies betrifft in erster Linie Getreidekörner. Für Getreideganzpflanzen, Miscanthus und gelbes Stroh wurde ein niedrigerer Ascheschmelzpunkt festgestellt als für graues Stroh (Vetter 2001). Bei einer Wintermahd von Schilf ist der Kaliumgehalt verringert, was zu einer Erhöhung des Ascheschmelzpunktes führt (vgl. Barz et al. 2006). Eine ähnliche Rolle wird Silicium zugeschrieben.

Die **Aufbereitungsform** der Biomasse bestimmt die physikalischen Brennstoffeigenschaften und ist somit ein wesentliches Qualitätskriterium sowohl für die Feuerung als auch für Lagerung und Transport. Als Komprimierungsformen halmgutartiger Brennstoffe kommen Häckselgut, Quaderballen, Rundballen oder Pellets in Frage. Häckselgut und Pellets können direkt in Schüttgutfeuerungen verbrannt werden. Pellets haben den höchsten Komprimierungsgrad und somit den geringsten Platzbedarf für Transport bzw. Lagerung pro Energieeinheit. Sie erfüllen am ehesten die Anforderungen an einen Brennstoff: hohe Schütt- und Energiedichte, mechanische Stabilität, Handhabbarkeit für automatische Brennstoffzuführung, definierte Korngrößen für ein vorteilhaftes Emissions- und Abbrandverhalten (Nendel 2002). Studien zeigen, dass eine Pelletierbarkeit der halmgutartigen Biomasse technisch möglich ist, jedoch u. U. den Zusatz von Bindemitteln erfordert und mit erhöhten Kosten verbunden ist (Eder et al. 2004). Eigene Untersuchungen der FH Stralsund im Rahmen des vorliegenden Projektes zeigten eine unkomplizierte zuschlagstofffreie Pelletierbarkeit sowohl von Schilf als auch von Rohrglanzgras. Pellets sind aus Kostengründen nur für kleinere Anlagen von Bedeutung; in größeren Anlagen finden Großballen, i. d. R. Quaderballen, Anwendung (Vetter 2001). (s. a. Abschnitt 3.6.4.2)

Die Beerntbarkeit von Schilf- und Rohrglanzgrasbeständen ist nicht uneingeschränkt gegeben. Die **Bewirtschaftung** von Niedermoorflächen erfordert Frost (Witterungsrisiko) und / oder angepasste Maschinen (siehe Abschnitte 3.1.2 und 3.6). Die Substitute Stroh (Koppelprodukt) und Getreideganzpflanzen hingegen werden auf Mineralböden mit der im Ackerbau etablierten, schlagkräftigen Landtechnik produziert. Miscanthus wird ebenfalls auf Mineralböden angebaut, wobei sich Produktionsverfahren und Erntetechnik noch in der Etablierungsphase befinden.

Da die Brennstoffeigenschaften von Halmgütern stark schwanken können, wurde auf der ENIM-Abschlussveranstaltung am 18.05.2009 eine **Normierung** der Brennstoffe diskutiert, die die Angaben der wichtigsten Eigenschaften enthalten sollte. Möglich ist eine Spezifikation nach CEN 14961, die Angaben zu energieträgerspezifischen Brennstoffeigenschaften (z. B. Heizwert, Wasser- und Aschegehalt), chemischen Brennstoffeigenschaften (z. B. Schwefel-, Chlor-, Stickstoffgehalt) und physikalischen Brennstoffeigenschaften (z. B. Durchmesser, mechanische Festigkeit, Schüttdichte) enthalten würde. Begründet wird diese Forderung insbesondere mit einer Verbesserung der Handel-

barkeit halmgutartiger Biomassen, einer Erleichterung bzgl. einer Gewährleistung des Anlagenherstellers sowie mit der Sicherung der Einhaltung der Emissionsgrenzwerte: Anlagenbetreiber hätten beim Brennstoffeinsatz eine Grundlage für eine Risikoabschätzung und Brennstofflieferanten hätten eine rechtliche Absicherung, falls beim Anlagenbetrieb Probleme auftauchen. Demgegenüber wird befürchtet, dass insbesondere bei inhomogener Biomasse wie z. B. „Naturschutzwiesen-Heu“ eine Normierung nicht praktikabel, zeitlich zu aufwändig und die Messungen zu teuer seien. Vielmehr müsse der Fokus auf der Entwicklung einer Anlagentechnik liegen, die mit einer großen Varianzbreite der Brennstoffe umgehen könne. Darüber hinaus wurde betont, dass die Eignung als Brennstoff bereits vom Landwirt berücksichtigt werden müsse und über Düngung, Ernte und Lagerung positiv beeinflusst werden kann. Hierdurch können z. B. Emissionswerte und Wartungskosten reduziert werden. Für eine betriebsinterne Verwertung von Biomasse ist die Normierung von Brennstoffen hinsichtlich der Gewährleistung und Einhaltung von Grenzwerten sicher sinnvoll, stellt aber für den Betreiber einen zusätzlichen Kostenfaktor dar.

Nichtsdestotrotz ist es für den Anlagenbetreiber wichtig zu wissen, wie die eingesetzte Biomasse beschaffen ist. Daher sind – auch wenn eine Normierung nicht Ziel der Charakterisierung der eigenen Biomasse sein soll – Untersuchungen der kritischen Inhaltsstoffe anzuraten. Zumindest sollte die Biomasse von regelmäßig beernteten Standorten, die sich deutlich bezüglich ihrer Wasserstände, ihrer Produktivität und ihrer Pflanzensammensetzung unterscheiden, auf die wichtigsten Parameter untersucht werden. Soll Biomasse von unbekanntem oder sehr inhomogenen Flächen verwertet werden, sollten diese Partien jeweils analysiert werden, bevor sie zum Einsatz gebracht werden. Werden Inhaltsstoffkonzentrationen festgestellt, die den Einsatz einschränken, kann durch eine Mischung mit unkritischen Biomassen ein Verdünnungseffekt erzeugt werden. Anderenfalls ist durch Beigabe von Zuschlagsstoffen z. B. eine Ascheerweichung bereits bei niedrigen Temperaturen zu verhindern (z. B. Zusatz von Kalk).

### 3.3 Brennstoff-Charakterisierung, Verbrennungstests und Ascheanalysen (A. Wulf)

#### 3.3.1 Charakterisierung und Analyse der Biobrennstoffe

Untersucht wurden insgesamt 13 Proben von Rohrglanzgras, Schilf und dem für Mischungen verwendeten Fichtenhackgut. 10 Proben (5 Proben von Rohrglanzgras und 5 Proben von Schilf) sind vom Institut für Botanik und Landschaftsökologie der Universität Greifswald von verschiedenen Versuchsflächen und unterschiedlichen Erntezeitpunkten bereitgestellt worden (Tabelle 3.3-1). Darüber hinaus wurden je ein Großballen Schilf und ein Großballen Rohrglanzgras analysiert, die für die späteren Verbrennungversuche verwendet wurden (vgl. Abschnitt 3.3.2) sowie das in unterschiedlichen Mischungen mit Halmgut eingesetzte Fichtenhackgut.

**Tabelle 3.3-1: Erntezeitpunkt und Herkunft der untersuchten Proben**

Nr.	Probe	Erntezeit	Probeninformation / Ernteort
	Fichtenhack	2005	als Fichtenleisten im Frühjahr 2005 geliefert und gehäckselt
Probe 1	Schilfrohr	12.02.2006	Uferröhricht Kummerower See
Probe 4	Schilfrohr	12.2007	Uferröhricht Kummerower See
Probe 7	Schilfrohr	12.2007	Uferröhricht Kummerower See
Probe 8	Schilfrohr	20.02.2007	Mischprobe A Klon 9 C4/D3 Biesenbrow
Probe 9	Schilfrohr	20.02.2007	Mischprobe B 8 B / 7 C Biesenbrow
Probe 12	Schilfrohr	03.2007	Großballen von Schilfdachdeckerei, Peenetal (Bargischow)
Probe 11	Rohrglanzgras	09.2006	Rundballen Neukalener Wiesen (Lagerung in Scheune)
Probe 2	Rohrglanzgras	15.12.2006	Probe A Brache Neukalener Wiesen
Probe 3	Rohrglanzgras	15.12.2006	Probe B mit Vornutzung (ohne Köpfe; gemäht) Neukalener Wiesen
Probe 5	Rohrglanzgras	19.01.2007	Mischprobe neben 8 Neukalen West II
Probe 6	Rohrglanzgras	19.02.2007	Sammelprobe bei Probe 8
Probe 10	Rohrglanzgras	30.03.2007	Mischprobe Neukalener Wiesen II

Für die Charakterisierung des Halmgutes als Brennstoff wurden die nachstehenden Kenngrößen ermittelt:

#### Technologische Kenngrößen

- Aussehen, Form, Größe
- Schütt-, Lagerungsdichte
- Rohdichte
- Wassergehalt nach Ernte und Lagerung

#### Verbrennungstechnische Kenngrößen

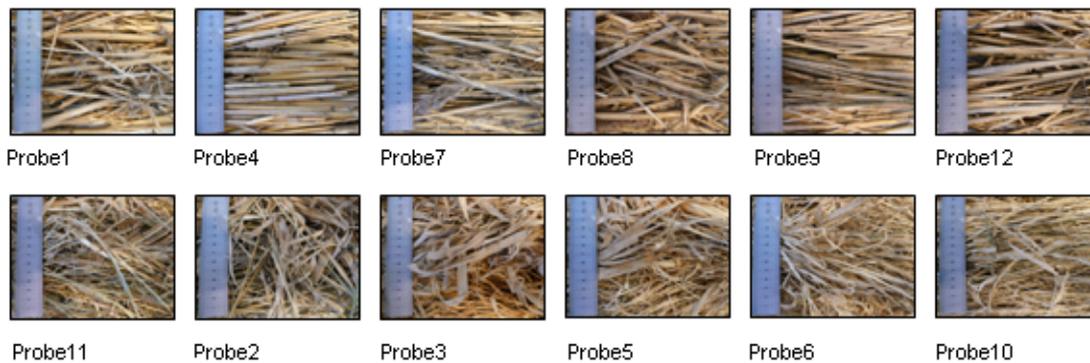
- Heiz-, Brennwert
- Immediatanalyse: Wassergehalt, flüchtige Bestandteile, fixer Kohlenstoff, Aschegehalt
- Elementaranalyse
- Ascheschmelzverhalten
- Ascheinhaltsstoffe

Alle Messwerte der im Folgenden vorgestellten Analysen sind zusammengefasst in Tabelle 3.3-2 am Abschnittsende dargestellt. Eine detailliertere Aufbereitung und ausführlichere Erläuterung der Ergebnisse bietet der Endbericht des Teilprojektes der FH Stralsund (Wulf 2008).

### 3.3.1.1 Technologische Kenngrößen

#### Aussehen, Form und Größe der Proben und Brennstoffe

Aussagen zur Form und Größe des Schilfrohres und des Rohrglanzgrases waren nur begrenzt möglich, da der Zustand der Proben variierte. Diese Unterschiede können durch einen Zerfall bei Ernte, Zwischenlagerung und Transport entstanden sein. Bei den Schilfproben wurden Halmdurchmesser von bis zu 7 mm festgestellt. Innerhalb der Proben waren keine signifikanten Unterschiede zu erkennen. Die Rohrglanzgras-Proben wiesen erkennbare Unterschiede hinsichtlich der Blattbreite auf: Bei den Proben 2, 3 und 5 war sie bis zu 1 cm groß. Bei den restlichen Proben waren nur sehr selten solche Breiten feststellbar.



**Abbildung 3.3-1: Proben von Schilf (obere Reihe) und Rohrglanzgras (untere Reihe)**

#### Schütt- und Lagerungsdichte

Die Durchführung der Schüttdichtebestimmung erfolgte in Anlehnung an die DIN 51705. Sie wurde für die Halmgüter in loser, gestapelter und gehäckselter Form ermittelt. Zur Bestimmung der Lagerdichte der Großballen wurde bei bekanntem Gewicht das Volumen abgemessen. Ergänzend wurden die Dichten für den wasserfreien Zustand berechnet (vgl. Abbildung 3.3-2). Fichtenhackgut hat als holzartige Biomasse im Vergleich zum Halmgut die höchste Schütt- bzw. Lagerungsdichte. Schilf und Rohrglanzgras haben als Großballen die höchste Lagerungsdichte und unterscheiden sich nur wenig. Lose geschüttete Halmgüter wiesen aufgrund der vielen Luftzwischenräume nur geringe Schütt- und Lagerungsdichten auf. Zwischen losem und gehäckseltem Rohrglanzgras bestehen kaum Unterschiede, da sich die Struktur nach dem Häckseln nur wenig verändert. Im direkten Vergleich mit den Schilfhäckseln hat RGG in gehäckselter Form ein höheres Volumen mit mehr Lufträumen und demnach eine geringere Schüttdichte. Dies wirkt sich auch in den Mischungen mit Fichtenhackgut aus: Bei hohem Holzanteil von 95 % mit Schilf und RGG ist die Schüttdichte etwa gleich. Mit abnehmendem Anteil des Fichtenhackgutes verringert sich die Dichte der Mischung mit RGG in höherem Maße. Durch Pelletierung werden sowohl für Holz als auch für Halmgüter mit ca.  $630 \text{ kg/m}^3$  deutlich höhere Schütt- und Lagerungsdichten (wasserfrei) erzielt.

#### Rohdichte

Die Rohdichte der Brennstoffe wurde mit einem Pyknometer ermittelt. Mit Hilfe des gemessenen Wassergehalts wurde der Rohdichtewert jeder Probe auf den wasserfreien Zustand umgerechnet, der auch als Darrdichte bezeichnet wird. Das Fichtenhackgut als holzartige Biomasse hat die höchste Rohdichte. Das Schilf hat mit ca.  $330 \text{ kg/m}^3$  Rohdichte bzw.  $300 \text{ kg/m}^3$  Darrdichte erkennbar höhere Dichten als das Rohrglanzgras mit durchschnittlich  $260$  bzw.  $230 \text{ kg/m}^3$ . Unterschiede in Zusammenhang mit den unterschiedlichen Erntezeitpunkten konnten nicht festgestellt werden.

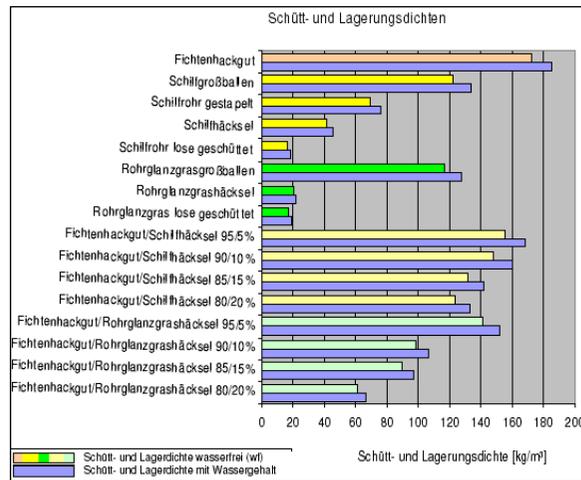


Abbildung 3.3-2: Schütt- und Lagerungsdichten

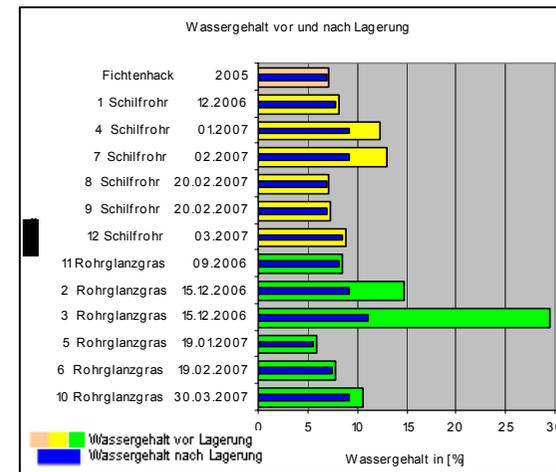


Abbildung 3.3-3: Wassergehalt

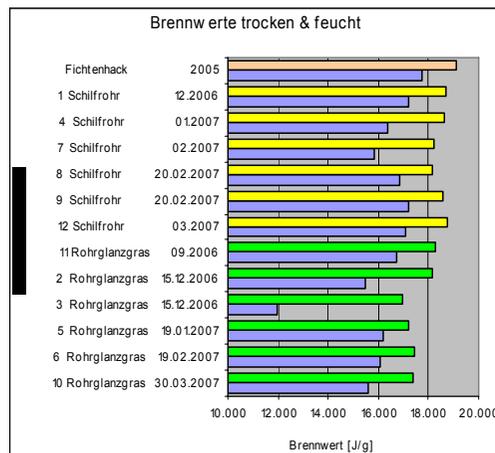


Abbildung 3.3-4: Brennwerte

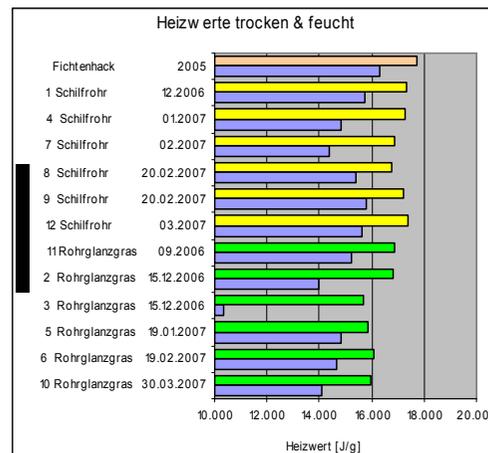


Abbildung 3.3-5: Heizwerte

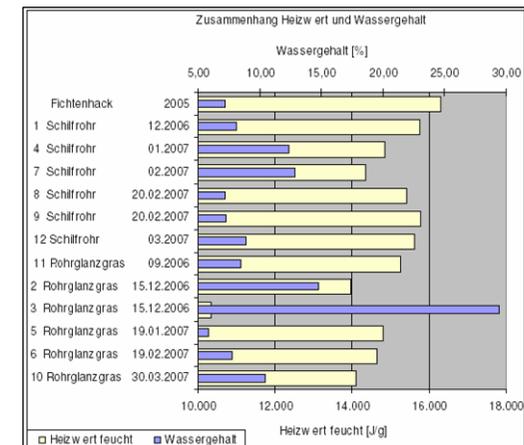


Abbildung 3.3-6: Zusammenhang zwischen Heizwert und Wassergehalt

### **Wassergehalt nach Ernte und Lagerungszeit**

Bei Anlieferung im Labor wurde bei allen Proben eine thermogravimetrische Analyse durchgeführt mit der u. a. der Wassergehalt ermittelt werden kann. Nach einer Lagerungszeit der Proben von ca. einem halben Jahr im überdachten Außenlager wurde der Wassergehalt erneut gemessen. Da das Fichtenhackgut seit dem Frühjahr 2005 gelagert wird, war der Wassergehalt bereits vor der ersten Messung entsprechend gering und änderte sich nach der Lagerzeit kaum. Bei den Schilf- und RGG-Proben änderte sich der Wassergehalt nur bei den Proben wesentlich, die bei der ersten Messung einen Wassergehalt von über 10 % aufzeigten, da hier die Witterung noch einen stärkeren Trocknungseinfluss bewirkt (vgl. Abbildung 3.3-3). Bei den restlichen Proben waren nur noch geringe Unterschiede nach der Lagerung feststellbar.

### **3.3.1.2 Verbrennungstechnische Kenngrößen**

#### **Heiz- und Brennwerte**

Die Ermittlung der Heiz- und Brennwerte wurde mit der Kalorimetrie (Normung nach DIN 51900) durchgeführt. Im Labor wurde mit dem Kalorimeter der Brennwert der feuchten Probe gemessen und daraus der Brennwert der trockenen Probe (vgl. Abbildung 3.3-4) sowie der Heizwert (vgl. Abbildung 3.3-5) errechnet. Bezogen auf die Trockensubstanz ergaben die Messungen bei Schilf mit durchschnittlich 18.500 J/g Brennwert und 17.200 J/g Heizwert höhere Werte als bei RGG mit durchschnittlich 17.600 J/g Brennwert und 16.200 J/g Heizwert. Der Einfluss des Wassergehaltes auf den Heizwert ist deutlich erkennbar. So fällt z. B. der Heizwert bei Probe 3 des Rohrglanzgrases mit einem Wasseranteil von nahezu 30 % entsprechend gering aus (Abbildung 3.3-6).

#### **Immediatanalyse**

Die Immediatanalyse (Kurzanalyse) beinhaltet die Ermittlung des Wassergehaltes, der flüchtigen Bestandteile, des fixen Kohlenstoffes und des Ascheanteils. Zur Ermittlung dieser Anteile wurde das Verfahren der Thermogravimetrie nach DIN 51006 angewendet. Bei dieser Methode werden die Masseänderungen einer Probe in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit gemessen und in Milligramm oder Prozent bezogen auf die Ausgangsmasse angegeben. Das Fichtenhackgut hat den höchsten Anteil brennbarer Stoffe der Proben und mit ca. 0,5 % einen sehr geringen Ascheanteil. Die Schilfproben zeigen höhere Anteile an flüchtigen Bestandteilen und fixem Kohlenstoff bei geringeren Aschewerten (ca. 4 %) als die Rohrglanzgras-Proben (ca. 8,5 %) (vgl. Abbildung 3.3-7).

#### **Elementaranalyse**

Einen entscheidenden Einfluss auf die verbrennungstechnischen und physikalisch-mechanischen Eigenschaften hat die Zusammensetzung der Brennstoffe. Auch für die Schadstoffbildung spielt die Zusammensetzung eine wichtige Rolle und muss bei der Nutzung beachtet werden. Mit Hilfe der Elementaranalyse werden die in organischen Verbindungen enthaltenen Elemente festgestellt. Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bilden die wichtigsten Bausteine organischer Stoffe und sind die Hauptbestandteile der Verbrennung. Weiterhin enthalten biogene Festbrennstoffe Anteile an Stickstoff, Chlor und Schwefel. Chlor und Schwefelanteilen muss besondere Aufmerksamkeit zukommen, da sie Korrosion in der Feuerungsanlage fördern

Die Elementaranalyse der Proben wurde im Institut für Energietechnik an der Technischen Universität Berlin durchgeführt. Die Werte für Chlor wurden der Literatur<sup>3</sup>, die Werte für Asche der Immediatanalyse entnommen. Die Hauptbestandteile Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff sind im Fichtenhackgut am höchsten. Die Schilfproben zeigen bei diesen Bestandteilen höhere Anteile als die Rohrglanzgrasproben (vgl. Tabelle 3.3-2).

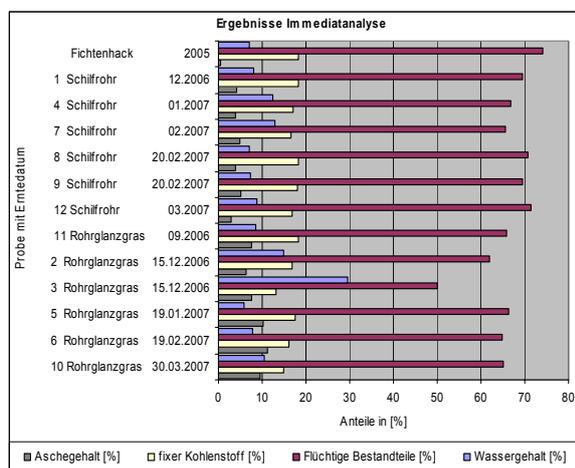


Abbildung 3.3-7: Immediatanalyse

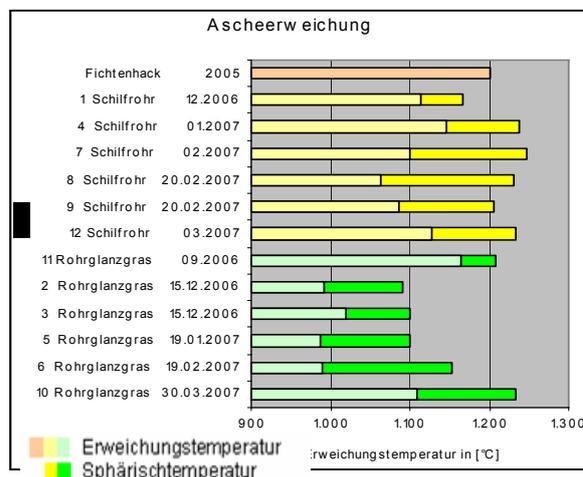


Abbildung 3.3-8: Ascheerweichungstemperaturen

### Ascheschmelzverhalten

Die Kenntnis des Ascheschmelzverhaltens und der Ascheinhaltsstoffe ist von Bedeutung, da die Gefahr der Verschlackung besteht. Verschlackungen an den Wärmetauscherflächen wirken sich negativ auf die Anlagentechnik und Anlagenfunktion aus. Damit wird die Effizienz der Verbrennung beeinträchtigt und der Wartungsaufwand erhöht sich. Das Ascheschmelzverhalten ist durch verschiedene Temperaturangaben gekennzeichnet und wird per Sichtkontrolle durchgeführt. Das Rundwerden der Kanten und Blähen des Körpers kennzeichnet die Erweichungstemperatur. Hat der Körper eine kugelhähnliche Form erreicht und ist noch so hoch wie seine Grundlinie, so ist die Sphärischtemperatur erreicht. Ist der Körper nur noch halb so hoch wie seine Grundlinie und hat die Form einer Halbkugel, so ist die Halbkugeltemperatur erreicht. Wenn der Probekörper nur noch etwa ein Drittel der Höhe bei Halbkugeltemperatur hat, so ist die Fließtemperatur erreicht. Der Bereich zwischen Halbkugel- und Fließtemperatur ist der Schmelzbereich. Der Bereich davor ist der Erweichungsbereich.

Die Untersuchungen zum Ascheschmelzverhalten wurden in einem Röhrenofen, in dem Temperaturen bis 1200°C erreicht werden, durchgeführt. Der Versuch wurde für jede Probe dreimal wiederholt und der Durchschnittswert für jede Probe ermittelt (vgl. Abbildung 3.3-8). In den Untersuchungen konnte nur die Sphärischtemperatur ermittelt werden. Die Halbkugeltemperatur und Fließtemperatur liegen vermutlich oberhalb der mit dem Versuchsaufbau maximal erreichbaren 1.200°C. Deutlich wurde, dass erste Erweichungserscheinungen bei den Rohrglanzgrasproben ab 980°C auftraten, bei den Schilfproben bei 1060°C. Bei den Proben des Fichtenhackgutes wurde der Erweichungsbeginn bei 1200°C festgestellt.

<sup>3</sup> Chlorwerte: [http://www.fpp.at/pics/download/methoden\\_energieholz.pdf](http://www.fpp.at/pics/download/methoden_energieholz.pdf)

→ vgl. eigene Erhebungen im ENIM-Projekt (Abschnitt 3.2.1.6)

Tabelle 3.3-2: Übersicht der technologischen und verbrennungstechnischen Kenngrößen

Quelle für Chlor-Werte: [http://www.fpp.at/pics/download/methoden\\_energieholz.pdf](http://www.fpp.at/pics/download/methoden_energieholz.pdf)  
vgl. zu Chlor eigene Erhebungen im ENIM-Projekt in Abschnitt 3.2.1.6

Untersuchungsparameter	Einheit	Kenngröße	Fichtenhackgut	Schilf (Phragmites australis)		Rohrglanzgras (Phalaris arundinacea)	
			Mittelwert	von bis	Mittelwert	von bis	Mittelwert
Schütt- und Lagerdichte	[kg/m <sup>3</sup> ]	Schilf und Rohrglanzgras als Großballen (wf)	172,29	-	121,89	-	116,73
Rohdichte	[kg/m <sup>3</sup> ]		486,00	322,30 - 335,22	330,00	238,06 - 287,78	260,00
Wassergehalt vor Lagerung	[%]		7,20	7,17 - 12,93	9,50	5,85 - 29,46	13,00
Wassergehalt nach Lagerung			6,90	6,86 - 9,18	8,00	5,57 - 11,15	8,50
Immediatanalyse	[%]	Wassergehalt	7,20	7,17 - 12,93	9,50	5,85 - 29,46	13,00
		Flüchtige Bestandteile	74,10	65,56 - 71,41	69,00	49,96 - 66,25	62,50
		Kohlenstoff fix	18,20	16,91 - 18,40	17,50	13,13 - 18,29	16,00
		Aschegehalt	0,50	2,82 - 5,10	4,00	6,41 - 11,15	8,50
Brenn- und Heizwerte	[MJ/kg]	Brennwert feucht	17,70	15,8 - 17,2	16,80	11,9 - 16,7	15,50
		Brennwert trocken	19,00	18,1 - 18,7	18,50	16,9 - 18,3	17,50
		Heizwert feucht	16,30	14,3 - 15,7	15,50	10,3 - 15,3	14,00
		Heizwert trocken	17,70	16,7 - 17,3	17,50	15,6 - 16,9	16,50
		Heizwert wf	19,10	17,4 - 18,1	18,00	16,9 - 18,3	17,50
Elementaranalyse	[%]	C	48,67	45,5 - 49,9	46,82	42,19 - 44,68	43,29
		H	6,70	6,03 - 6,63	6,30	4,36 - 6,28	5,79
		O	43,66	38,3 - 43,0	41,57	37,01 - 39,32	38,17
		N	0,40	0,36 - 0,57	0,44	0,95 - 1,45	1,17
		S	0,04	0,1 - 0,2	0,14	0,11 - 0,34	0,19
		Cl	0,00	0,23	0,23	1,39	1,39
		Asche (wf)	0,53	3,1 - 5,5	4,51	7,5 - 12,1	10,00
Ascheschmelzverhalten	[°C]	Erweichungsbeginn	1200	1050 - 1160	1106	960 - 1183	1044
		Sphärischtemperatur	k.A.	1157 - 1260	1220	1080 - 1250	1147
		Halbkugelpunkt	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
		Fließpunkt	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Ascheinhaltsstoffe	[%]	CaO	39,83	2,60 - 4,07	3,39	2,90 - 9,19	5,46
		MgO	8,62	0,86 - 1,76	1,16	0,92 - 5,49	1,94
		K <sub>2</sub> O	0,89	0,33 - 2,11	1,28	0,50 - 3,90	1,33
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6,80	1,00 - 1,46	1,26	1,31 - 3,61	2,87
		Na <sub>2</sub> O	1,71	0,26 - 1,81	1,22	0,39 - 2,36	0,85
		SiO <sub>2</sub>	21,11	85,55 - 92,46	89,11	73,42 - 91,91	85,61
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,32	0,08 - 0,20	0,14	0,05 - 0,23	0,15
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,30	0,10 - 0,20	0,14	0,09 - 0,19	0,14
		MnO	9,02	0,10 - 0,18	0,13	0,06 - 0,20	0,12
		TiO <sub>2</sub>	0,10	0,01 - 0,02	0,02	0,01 - 0,02	0,02

### 3.3.1.3 Ascheanalysen

Der Gehalt an Ascheinhaltsstoffen ist abhängig von der Brennstoffart sowie dem Verbrennungsverfahren. Er ist ein wichtiges Kriterium dafür, ob die bei der Verbrennung anfallende Asche als Dünger genutzt werden kann oder ob sie entsorgt werden muss. Unterschieden werden erwünschte Inhaltsstoffe (Pflanzennährstoffe), die eine Nutzung der Asche als Dünger zulassen und nicht erwünschte Inhaltsstoffe z.B. bestimmte Schwermetalle.

Die Aschen wurden in Laboren der Universität Greifswald auf Nährstoffgehalte wie Kalzium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K), Phosphor (P) und Natrium (Na) untersucht. Weiterhin wurde der Gehalt an essentiellen Spurenelementen wie Mangan (Mn), Eisen (Fe), Silizium (Si) und Aluminium (Al) sowie der Gehalt an giftigem Schwermetall Thallium (Ti) getestet. Wichtigste Stoffe für die Verwendung als Dünger sind die Elemente Kalzium, Kalium und Phosphor. Die Stoffe wurden als Oxide ermittelt.

**Tabelle 3.3-3: Durchschnittswerte der Ascheinhaltsstoffe**

Kenngröße [%]	Fichtenhackgut	Schilf (Phragmites australis)	Rohrglanzgras (Phalaris arundinacea)	Mix 4/1 Holz/Rohrglanzgras	Mix 3/1 Holz/Rohrglanzgras
CaO	39,83	3,39	5,46	9,07	8,01
MgO	8,62	1,16	1,94	0,98	0,94
K <sub>2</sub> O	0,89	1,28	1,33	3,41	3,44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6,80	1,26	2,87	0,77	0,73
Na <sub>2</sub> O	1,71	1,22	0,85	1,23	1,09
SiO <sub>2</sub>	21,11	89,11	85,61	77,10	78,17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,32	0,14	0,15	1,86	1,92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,30	0,14	0,14	4,66	4,54
MnO	9,02	0,13	0,12	0,07	0,07
TiO <sub>2</sub>	0,10	0,02	0,02	0,24	0,25

Unterschiede in der Konzentration der Ascheinhaltsstoffe zeigt das Fichtenhackgut im Vergleich zum Halmgut. Schilf und Rohrglanzgras weisen wesentlich geringere Mengen an Kalzium auf als das Fichtenhackgut. Auch die Gehalte an Magnesium und Phosphor fallen bei den Halmgütern geringer aus. Bei der Betrachtung der übrigen Inhaltsstoffe sind beim Fichtenhackgut - im Vergleich zu Schilf und Rohrglanzgras - wesentlich höhere Anteile an Eisen, Aluminium, Mangan und feststellbar. Im Gegensatz dazu sind die Siliziumgehalte bei beiden Halmgutsorten sehr hoch.

Die Untersuchung auf Inhaltsstoffe von Mix 4/1 und Mix 3/1 wurden von Ascheproben der Verbrennungsversuche in Friedland durchgeführt. Es handelt sich um Mischungen von Holz mit Rohrglanzgras im Verhältnis 4:1 und 3:1. Die Inhaltsstoffe zeigen ähnliche Konzentrationen wie die von Schilf und Rohrglanzgras.

### 3.3.2 Kleintechnische Verbrennungsversuche

#### 3.3.2.1 Brennstoffe

Um die Verbrennungsversuche am Festbrennstoffkessel durchführen zu können wurde ein Teil der Rohrglanzgrasballen und Schilfballen mit einem herkömmlichen Gartenhäcksler zerkleinert (vgl. Abbildung 3.3-9). Die Längen des Häckselgutes betragen nach der Zerkleinerung bis zu 15 cm. Das Fichtenhackgut wies Längen bis 10 cm und Breiten bis 5 cm auf. Nach der Zerkleinerung wurden Mischungen von Rohrglanzgrashäcksel mit Fichtenhackgut bzw. Schilfhäcksel mit Fichtenhackgut in 5% -Schritten hergestellt.



Abbildung 3.3-9: Brennstoffproben: Schilf und Rohrglanzgras (Großballen + Häcksel)

#### 3.3.2.2 Verbrennung

Für die Durchführung der Verbrennungsversuche stand ein 50 kW-Holzvergaserkessel (Prinzip der Sturzbrandtechnik) vom Typ thermi<sup>nat</sup>or50 zur Verfügung. Der Kessel ist an einen Heizkreislauf mit integriertem Wärmespeicher angeschlossen und hat zur Wärmeabfuhr eine Verbindung zum Kühlteich (vgl. Abbildung 3.3-10).

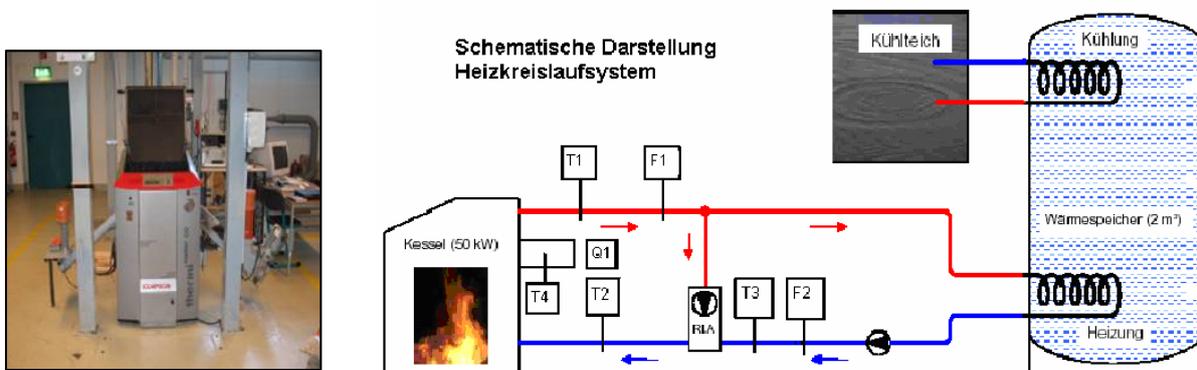
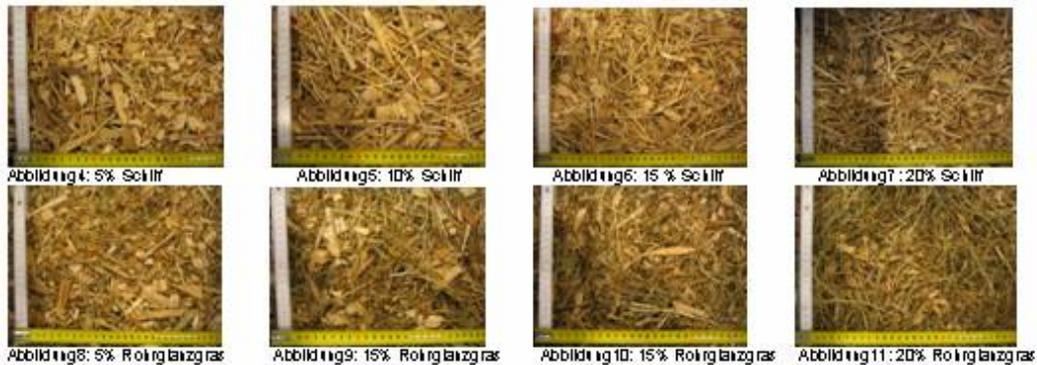


Abbildung 3.3-10: Holzvergaserkessel und seine Einbindung in das Heizkreislaufsystem

Automatische Fördereinrichtungen am Kessel erlauben einen kontinuierlichen stationären Betrieb der Feuerung, der für die Bewertung des späteren Verbrennungsverhaltens im Kraftwerk Friedland wesentlich ist. Um einen Referenzwert für die Verbrennungsversuche zu erhalten, wurde zunächst nur Fichtenhackgut verbrannt. Eine Monoverbrennung der Halmgüter Schilf oder Rohrglanzgras war allerdings nicht möglich, da mit den gegebenen Fördereinrichtungen der Versuchsanlage (Förderschnecken für Hackgut und Pellets) und der geringen Energiedichte der losen Schüttung nicht genügend Brennstoff für einen kontinuierlichen Betrieb in den Brennraum eingebracht werden konnte. Durch die große Oberfläche verbrennt das Halmgut zudem so schnell, dass die maximal einstellbaren Förderzyklen zu langsam sind, um genug Brennstoff nachzufördern.

Der hohe Ascheanteil und die Struktur der Asche beider Brennstoffe behindern außerdem bei länger andauerndem Versuchsbetrieb den weiteren Verbrennungsprozess, da sie auf dem Rost liegen bleiben und nicht abgeführt werden. Die Messwertaufnahme musste nach kurzer Zeit beendet werden.

Für die weiteren Verbrennungsversuche wurde Fichtenhackgut in 5 %-Schritten mit Schilf und Rohrglanzgras bis zu einem maximalen Halmgutanteil von 20 % gemischt. Die Dominanz des Halmgutes wird schon bei einem Anteil von 5 % deutlich (vgl. Abbildung 3.3-11).



**Abbildung 3.3-11: Fichtenhackgut-Mischung mit wachsendem Halmgutanteil (5 bis 20 %)**

Die Verbrennungstests der Mischungen im 50 kW Kessel haben gezeigt, dass bei diesem Versuchstand maximal 10 % Schilf oder Rohrglanzgras unter bestimmten Voraussetzungen beigemischt werden können. Bei höherem Halmgutanteil besteht die Gefahr, dass Asche den Rost blockiert und damit den Verbrennungsprozess behindert. Ein bewegtes Rost und ein automatischer Ascheaustrag (wie bei Halmgutfeuerungen üblich) würden diese Probleme ausschließen.

### 3.3.2.3 Rauchgasmessung

Zur Ermittlung der Rauchgaszusammensetzung wurde ein Rauchgasanalysegerät (Typ IM 2000 P) eingesetzt. Die Ergebnisse der Rauchgasmessungen sind in Tabelle 3.3-4 dargestellt. Um einen Vergleich der Messdaten zu ermöglichen, wurden die ermittelten Werte gemäß der 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (1. BImSchV) bzw. der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) für eine Anlagengröße von 50 kW (Holzvergaserkessel) auf einen Bezugssauerstoffgehalt von 13 % und für eine Anlagengröße 0,1 bis < 5 MW (Biomasseheizkraftwerk Friedland) auf einen Bezugssauerstoffgehalt von 11 % umgerechnet (vgl. Grenzwerte in Tabelle 3.4-2).

Für die Verbrennungsversuche im 50 kW-Kessel wurden keine Überschreitungen der zulässigen Emissionsgrenzwerte nach der 1. BImSchV festgestellt. Der Grenzwert für Kohlenmonoxid für Stroh und ähnliches pflanzliches Material liegt z. B. bei 4.000 mg/m<sup>3</sup>. Durch die nur geringen Anteile des Halmgutes innerhalb der Brennstoffmischung sind zudem keine Probleme durch Schwefel- und Chloranteile im Brennstoff in Bezug auf Korrosion zu erwarten.

Tabelle 3.3-4: Durchschnittswerte der Rauchgasmessungen

RAUCHGAS gemessen								
Brennstoff	Messung	Sauerstoff O <sub>2</sub> Ø [%]	Kohlen- wasserstoff HC Ø [%]	Kohlen- monoxid CO Ø [mg/m <sup>3</sup> ]	Stickstoff- monoxid NO Ø [mg/m <sup>3</sup> ]	Stick- oxid NO <sub>x</sub> Ø [mg/m <sup>3</sup> ]	Kohlen- dioxid CO <sub>2</sub> Ø [%]	Schwefel- dioxid SO <sub>2</sub> Ø [mg/m <sup>3</sup> ]
Fichtenhack 100%	Werte gemessen	10,64	0,30	238,80	334,46	537,31	9,99	0,00
	BimSchV	13,00	0,23	184,40	258,27	414,91	7,71	0,00
	TA-Luft	11,00	0,29	230,50	322,84	322,84	9,64	0,00
Fichtenhack 95% Schilfhäcksel 5%	Werte gemessen	12,78	0,37	144,96	262,99	422,49	7,92	0,00
	BimSchV	13,00	0,36	141,08	255,95	411,18	7,71	0,00
	TA-Luft	11,00	0,45	176,35	319,94	513,98	9,64	0,00
Fichtenhack 90% Schilfhäcksel 10%	Werte gemessen	12,88	0,36	200,99	249,54	400,89	7,82	0,00
	BimSchV	13,00	0,35	198,02	245,85	394,97	7,70	0,00
	TA-Luft	11,00	0,44	247,52	307,32	493,71	9,63	0,00
Fichtenhack 85% Schilfhäcksel 15%	Werte gemessen	12,94	0,42	318,23	202,22	324,87	7,76	3,18
	BimSchV	13,00	0,42	315,86	200,71	322,44	7,70	3,16
	TA-Luft	11,00	0,52	394,83	250,89	403,05	9,63	3,95
Fichtenhack 80% Schilfhäcksel 20%	Werte gemessen	12,00	0,42	270,32	234,41	376,58	8,68	5,78
	BimSchV	13,00	0,37	240,28	208,36	334,73	7,72	5,14
	TA-Luft	11,00	0,47	300,36	260,46	418,43	9,64	6,42
Fichtenhack 95% Rohrglanzgras 5%	Werte gemessen	13,24	0,40	78,70	263,43	423,20	7,47	0,00
	BimSchV	13,00	0,41	81,34	271,58	436,29	7,70	0,00
	TA-Luft	11,00	0,52	101,42	339,47	545,36	9,63	0,00
Fichtenhack 90% Rohrglanzgras 10%	Werte gemessen	15,94	0,32	1013,14	136,58	219,42	4,85	47,17
	BimSchV	13,00	0,51	1601,80	215,94	346,91	7,67	74,58
	TA-Luft	1,01	0,63	2002,25	269,92	433,63	9,59	93,22
Fichtenhack 85% Rohrglanzgras 15%	Werte gemessen	13,43	0,31	409,32	185,06	297,30	7,28	22,58
	BimSchV	13,00	0,33	432,57	195,57	314,18	7,69	23,86
	TA-Luft	11,00	0,41	540,71	244,46	392,72	9,62	29,83
Fichtenhack 80% Rohrglanzgras 20%	Werte gemessen	12,52	0,52	461,82	255,75	410,86	8,17	25,79
	BimSchV	13,00	0,49	435,68	241,27	387,60	7,71	24,33
	TA-Luft	11,00	0,61	544,60	301,59	484,50	9,63	30,41

### 3.3.3 Begleitende großtechnische Verbrennungsversuche

Das Biomasseheizkraftwerk der Firma GMK (Gesellschaft für Motoren und Kraftanlagen mbH) in Friedland (vgl. Abbildung 3.3-12 sowie Abbildung 3.3-15) nutzte bisher ausschließlich Holzhack-schnitzel zur Wärme- und Stromerzeugung.



Biomasseheizkraftwerk Friedland  
 Elektrische Leistung: bis 0,5 MW  
 Thermische Leistung: bis 3,3 MW  
 Brennstoffbedarf: 6.000 – 20.000 t p.a.  
 (Holzfeuchte 50%)  
 Betriebsdauer: 7.500 h p.a.

Abbildung 3.3-12: Kraftwerk Friedland mit Leistungskennndaten

In Friedland wurden eine Woche lang Verbrennungsversuche durchgeführt, bei denen Rohrglanzgras in Mischungen mit Fichtenhackgut als Brennstoff eingesetzt wurde. Die Mischungsverhältnisse Holz/Halmgut betragen 4,5:1, 3:1 und 2:1. Um die Mischungen zu realisieren wurden die Rohrglanzgrasballen in einem vorhandenen Brecher in den entsprechenden Verhältnissen mit dem Holz zerkleinert und in die Anlage befördert. (vgl. Kapitel 3.4)

An vier Tagen wurden dabei begleitend Rauchgasmessungen von der FH Stralsund durchgeführt (vgl. Tabelle 3.3-5). Gemäß der maßgeblichen Emissionsgrenzwerte der TA Luft (vgl. Tabelle 3.4-2) wurden die Kohlenmonoxidwerte, Stickoxide sowie Schwefeloxide näher betrachtet.

Tabelle 3.3-5: Gesamtübersicht der Rauchgasmessungen in Friedland

RAUCHGAS Friedland Gesamtübersicht								
Brennstoff- verhältnis	Messung	Sauerstoff	Kohlen- wasserstoff	Kohlen- monoxid	Stickstoff- monoxid	Stick- oxid	Kohlen- dioxid	Schwefel- dioxid
		O <sub>2</sub> Ø [%]	HC Ø [%]	CO Ø [mg/m <sup>3</sup> ]	NO Ø [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> Ø [mg/m <sup>3</sup> ]	CO <sub>2</sub> Ø [%]	SO <sub>2</sub> Ø [mg/m <sup>3</sup> ]
Holzhackgut 4,5 Rohrglanzgras 1	Werte gemessen	11,05	0,09	14,23	152,89	245,62	9,58	0
	BimSchV	13	0,07	11,44	122,93	197,49	7,7	0
	TA-Luft	11	0,09	14,3	153,66	246,85	9,63	0
Holzhackgut 4,5 Rohrglanzgras 1	Werte gemessen	10,98	0,07	13,36	168,34	270,44	9,67	0
	BimSchV	13	0,06	10,67	134,4	215,91	7,72	0
	TA-Luft	11	0,07	13,33	168	269,89	9,65	0
Holzhackgut 3 Rohrglanzgras 1	Werte gemessen	10,04	0,13	20,65	177,39	284,98	10,57	0,56
	BimSchV	13	0,09	15,07	129,48	208,01	7,72	0,41
	TA-Luft	11	0,12	18,84	161,85	260,01	9,64	0,51
Holzhackgut 2 Rohrglanzgras 1	Werte gemessen	11,16	1,22	21,82	169,23	271,87	9,48	0,13
	BimSchV	13	0,99	17,74	137,59	221,04	7,71	0,11
	TA-Luft	11	1,24	22,17	171,98	276,29	9,63	0,13

Für das Mischungsverhältnis mit einem RGG-Anteil von 3:1 sowie 2:1 sind die Ergebnisse der Rauchgasmessung (bezogen auf 11 % O<sub>2</sub>) zusätzlich in Abbildung 3.3-13 bzw. Abbildung 3.3-14 als Diagramm dargestellt. Offensichtlich ist, dass die CO-Emissionen (gelbe Kurve) deutlich unter dem Grenzwert liegen (rote Linie). Weiterhin ist ein Ansteigen der Kohlenwasserstoffwerte (HC) mit zunehmendem RGG-Anteil zu sehen. Während bei der Mischung 4,5:1 noch keine Schwefeldioxid-Werte gemessen werden konnten, treten SO<sub>2</sub>-Emissionen in den Mischungen 3:1 und 2:1 auf.

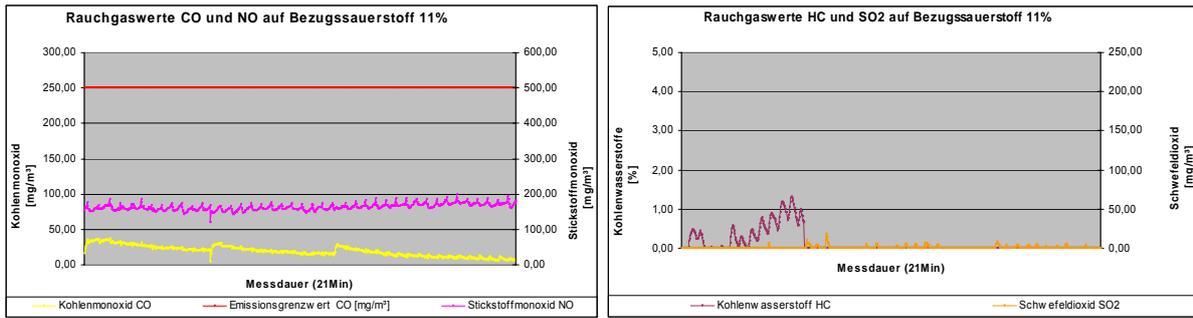


Abbildung 3.3-13: Rauchgaswerte bei Verbrennung der Mischung 3/1

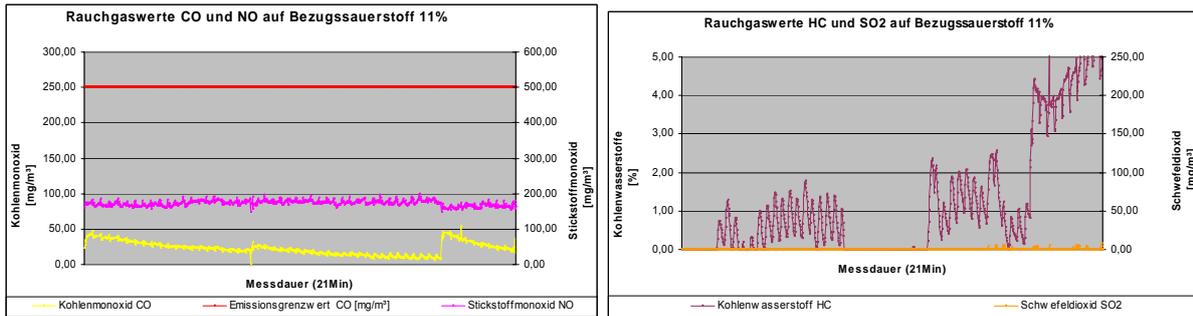


Abbildung 3.3-14: Rauchgaswerte bei Verbrennung der Mischung 2/1

Die Messungen haben eine sehr gute Verbrennung mit nur geringen Emissionen von Kohlenmonoxid aufgezeigt, die sich weit unterhalb der Emissionsgrenzwerte befanden. Der berechnete Durchschnittswert an Stickoxid liegt deutlich unter der vorgegebenen Grenze von  $500 \text{ mg/m}^3$ , ebenso die Werte für Schwefeldioxid. Bei allen gemessenen Mischungen traten keine Überschreitungen der zulässigen Grenzwerte nach der geltenden Technischen Anleitung Luft (TA Luft) auf.

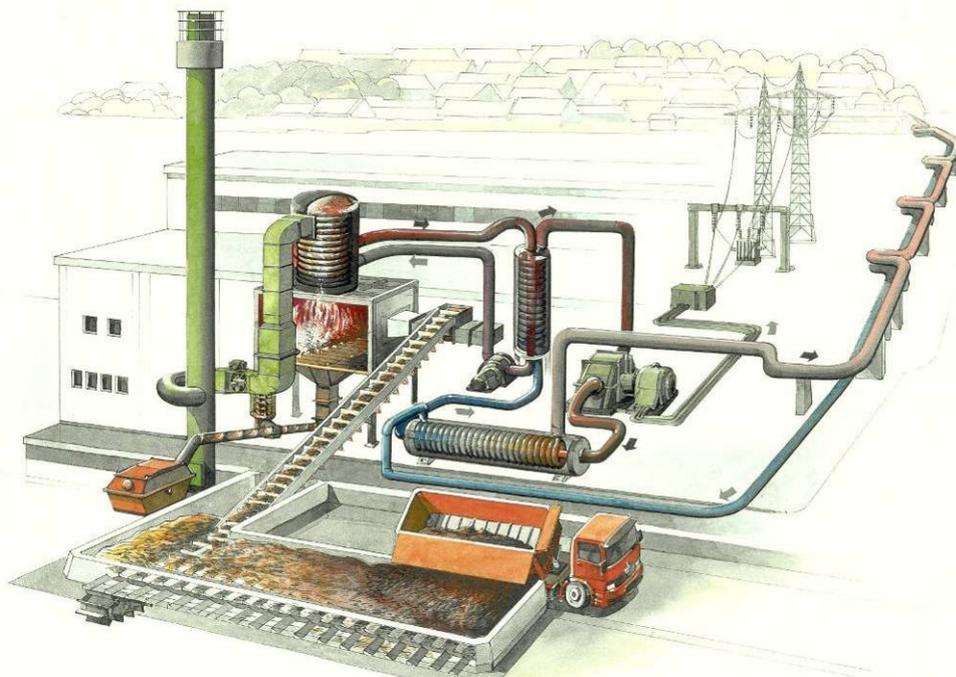


Abbildung 3.3-15: Schematische Darstellung des Biomasseheizkraftwerks in Friedland

### 3.4 Möglichkeiten der Verwertung von NMB im Heizkraftwerk Friedland (M. Kremp)

#### 3.4.1 Brennstoffanforderungen

##### 3.4.1.1 Verbrennungsanlage

Die Brennstofflogistik im Kraftwerk sowie die daraus resultierenden Besonderheiten und Anforderungen an den Brennstoff stehen in engem Zusammenhang mit der vorhandenen Anlagentechnik. Die nachstehende Abbildung 3.4-1 zeigt den schematischen Aufbau der Feuerungsanlage, die Stoff- und Energieströme und die eingesetzten Anlagentechniken.

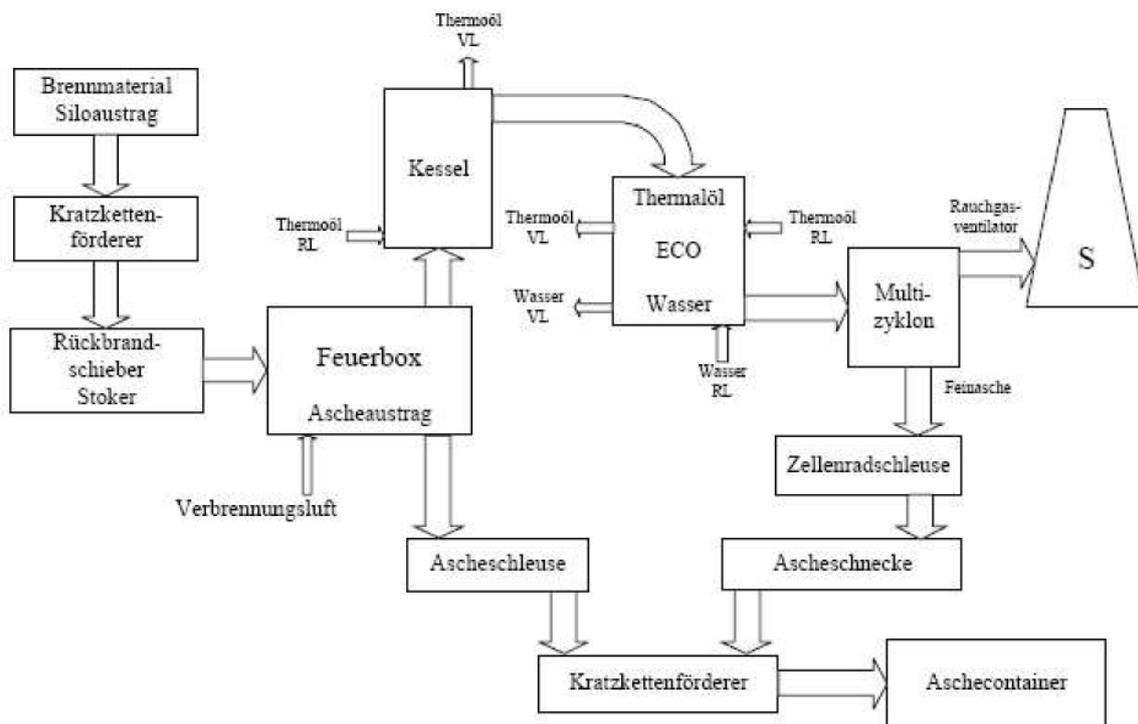


Abbildung 3.4-1: Stoff- und Energiefluss des BMHKW Friedland

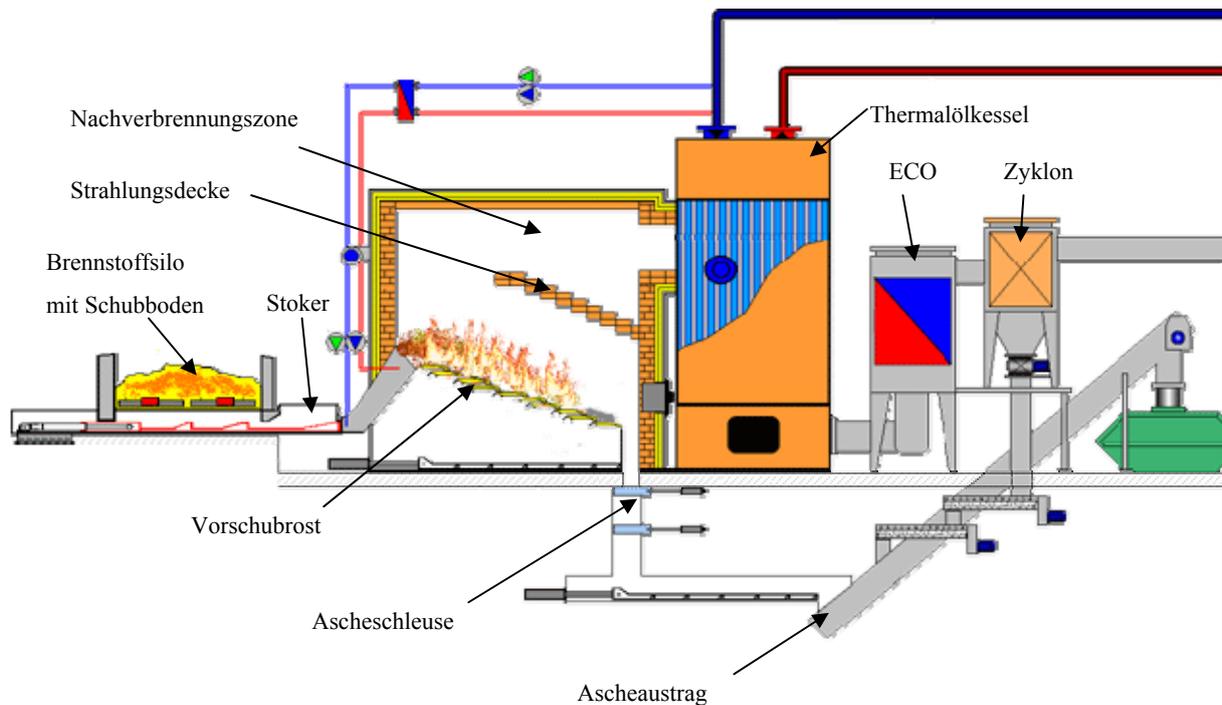
#### Funktionsweise der Brennstoffförderung

Die aufbereiteten Brennstoffe werden mit einem Radlader vom Lager in das Brennstoffsilo gegeben. Anschließend erfolgt über hydraulisch angetriebene, axial bewegte Schubstangen der Austrag aus dem Brennstoffsilo auf einen Kratzkettenförderer. Am Ende des Kratzkettenförderers fallen die Brennstoffe in den Fallschacht und anschließend in den hydraulischen Stoker. Der Stoker ist bei diesem Vorgang in Ausgangsstellung (in vorderer Position stehend und geschlossen) und der Rückbrandschieber geöffnet.

Der Fallschacht ermöglicht durch seine Speicherwirkung eine konstante Brennstoffzufuhr und ein gutes Regelungsverhalten der Feuerungsanlage. Der Stoker ist zur Steigerung der Transporteigenschaften mit Schneidmessern versehen und befördert den Brennstoff durch die Kompressionszone in den Feuerraum. Zusätzlich bewirkt der Stoker, dass große Brennstoffteile abgeschert und problemlos der Feuerung zugeführt werden können.

## Feuerbox

Die thermische Brennstoffverwertung wird durch die Verbrennungskammer der Vorschubrostfeuerungsanlage mit Schrägrost realisiert. Die Bewegung des Brennstoffes zum Rauchgas verläuft nach dem Gegenstromprinzip. Nachstehend ist ein Schema einer Vorschubrostfeuerung mit Schrägrost dargestellt.



**Abbildung 3.4-2: Vorschubrostfeuerung mit Schrägrost**

Das Brenngut durchläuft nach der Aufgabe über den hydraulischen Stoker zwei voneinander getrennte hydraulische Vorschubrostfelder, wo die Trocknung, Vergasung und primäre Verbrennung des Brennstoffes mit einer Luftüberschusszahl  $\lambda < 1$  durch die Primärluftzufuhr vollzogen wird.

Die Primärluftzufuhr erfolgt in drei Bereichen unterhalb der Rostfläche, welche jeweils einen eigenen Ventilator besitzen. Dies gewährleistet eine optimale Verwertung des Brennstoffes in den jeweiligen Stufen Trocknung, Vergasung und Ausbrand. Die Verbrennung der Brenngase verläuft in der räumlich getrennten, ungekühlten Nachverbrennungszone unter der Zufuhr von Sekundärluft ( $\lambda > 1,4$ ). In diesem Bereich wirken die Parameter (Temperatur, Verweilzeit, Durchmischung mit Luft) zur Gewährleistung einer vollständigen Verbrennung.

Am unteren Ende des Rostes befindet sich eine Ascheschleuse mit Abwurfschacht, in welchen das Restmaterial fällt und über Ascheschubstangen ausgetragen wird. Die vollautomatische Brennstoffdosierung, Brennstoffabdeckung der Roste, sowie der Ascheaustrag ermöglichen einen kontinuierlichen Betrieb der Anlage. Durch die Automatisierung wird eine geregelte Verbrennung mit optimaler Brennstoffausnutzung und minimalen Emissionen erreicht.

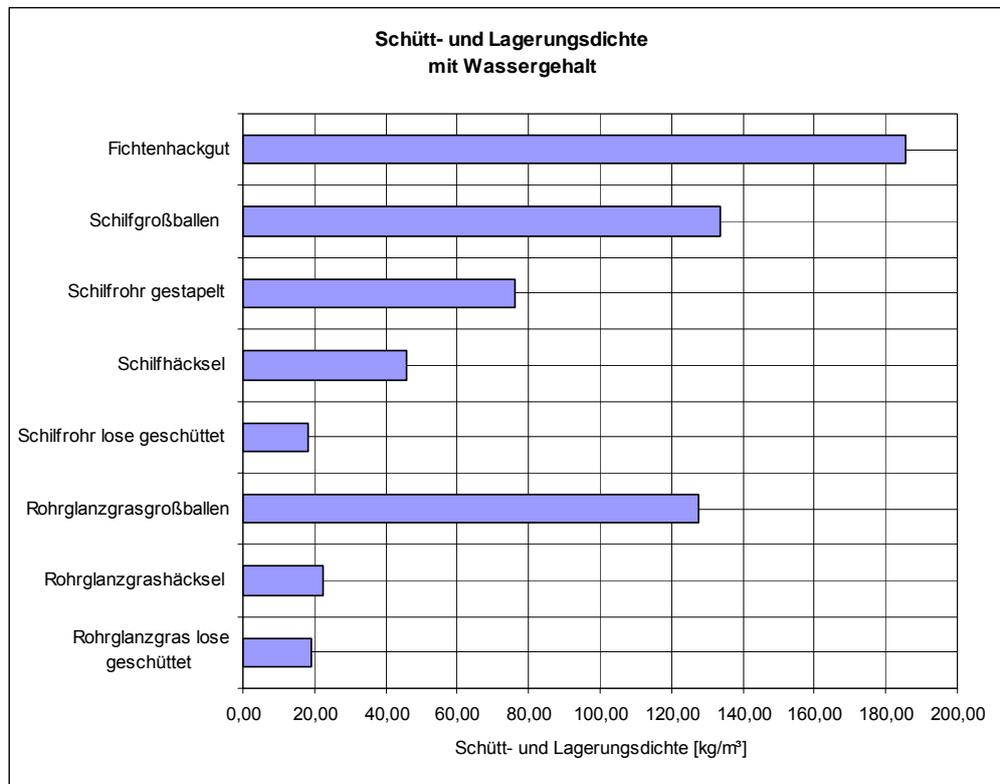
### 3.4.1.2 Brennstofflogistik

Erste Ergebnisse der Brennstoffanalysen durch die Fachhochschule Stralsund (FHSt) gaben Kenntnis über die physikalischen und chemischen Brennstoffeigenschaften. Besonders die Energiedichte des Brennmaterials ist für die Logistik und die Fördertechnik im Kraftwerk von hoher Bedeutung. Aus logistischen Gründen ist die Anlieferung der Materialien in Form von Ballen zwingend erforderlich, da die Halmgüter eine sehr geringe Energiedichte aufweisen. Eine Pelletierung des Materials ist für den Einsatz in Kraftwerken zu kostenintensiv, jedoch für den Hausgebrauch anwendbar.

Die Lagerung der Ballen kann unmittelbar an der Anlage im Freien oder an einer entsprechenden Sammelstelle erfolgen. Eine zusätzliche Überdachung der Ballen ist nicht erforderlich. Lediglich der Aspekt der Verrottens bzw. des Zerfallens der Ballen kann sich für einen späteren Transport negativ auswirken. Die Lagerung von Brennstoffen birgt jedoch Risiken, welche einkalkuliert werden müssen. So entstehen:

- Gefährdungsrisiken (Selbstentzündung),
- Gesundheitsrisiken (Pilzwachstum und Pilzsporenbildung),
- Umweltrisiken (Geruchsbelästigung),
- Qualitätsrisiken (Wiederbefeuchtung bzw. Umverteilung des Wassergehaltes),
- Verlustrisiken (Substanzverlust durch biologische Prozesse).

Die nachstehende Abbildung 3.4-3 zeigt die Schütt- und Lagerdichten der NMB je nach Anlieferungs- bzw. Aufbereitungszustand. Im Vergleich sind die Werte für Hackschnitzel dargestellt.



**Abbildung 3.4-3: Schütt- und Lagerdichten mit Wassergehalt im Vergleich (Wulf 2008)**

Erfolgt die Anlieferung der Materialien in Form von Ballen kann je nach Art der Verwertungsanlage (Vorschubrostfeuerung oder Zigarrenbrenner) eine Ballenauflösung erforderlich sein. Hier kommen Ballenauflöser, Häcksler oder Brecher zum Einsatz. Für den Betreiber der Anlage bedeutet das jedoch immer einen personellen und wirtschaftlichen Mehraufwand gegenüber der reinen Holzverbrennung.

Die Ballenauflösung ist durch eine starke Volumenzunahme und durch ein Absinken der spezifischen Energiedichte geprägt. Die Struktur des Brennmaterials ändert sich dabei je nach Verfahren der Ballenauflösung, worauf die anschließenden Fördertechniken (Kratzketten, Schnecken oder Schubstangen) ausgerichtet sein müssen. Die Erfahrungen in Friedland zeigen, dass die Ballenauflösung und Mischung der Materialien eine Verfilzung verursachen. Dies kann zu Problemen bei der Förderung und an der Anlagentechnik führen.

Als entscheidender Unterschied biogener gegenüber fossilen Energieträgern ist die geringere Energiedichte zu nennen. Dieser Aspekt wirkt sich vor allem auf die Lager- und Transportkapazitäten der biogenen Festbrennstoffe aus und beschränkt deren Erschließung auf die dezentrale Nutzung im Bereich kleiner und mittlerer Leistung. Bei der Verwertung von naturbelassenen, festen Biomassen ist nach derzeitigem Stand der Technik die technische, ökonomische und ökologische Grenze bei einer Anlagengröße von 60 MW thermischer Leistung gegeben. Diese Leistung entspricht einem Brennstoffeinsatz von ca. 21 t/h (63 m<sup>3</sup>/h) waldfischem Fichtenholz. Bei größeren Leistungen der Bioenergieanlage ist deshalb mit zunehmenden Problemen bei der Logistik und der Brennstofflagerung zu rechnen.

### 3.4.1.3 Brennstoffqualität

Für die Qualität der Brennstoffe sind neben den physikalischen Eigenschaften, die vor allem die Logistik und Aufbereitung betreffen, auch chemische Eigenschaften ausschlaggebend. Die chemische Zusammensetzung der Brennstoffe wurde ausführlich durch die FHSt analysiert und dargestellt (vgl. Kapitel 3.3). Hier werden ausschließlich die feuerungsrelevanten Eigenschaften erläutert.

Biogene Festbrennstoffe bestehen aus Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Stickstoff (N) und diversen Spurenelementen. Für die Verbrennung und den Heizwert sind vor allem die erstgenannten Stoffe maßgebend. Die Spurenelemente und Schwermetalle werden mit der Asche und durch die Rauchgase ausgetragen. Vor allem die Spurenelemente Schwefel und Chlor sind für den Emissionsausstoß von hoher Bedeutung.

**Tabelle 3.4-1: Elementaranalyse der Brennstoffe im Vergleich (Wulf 2008)**

\* Quelle für Chlor-Werte: [http://www.fpp.at/pics/download/methoden\\_energieholz.pdf](http://www.fpp.at/pics/download/methoden_energieholz.pdf)  
vgl. zu Chlor eigene Erhebungen im ENIM-Projekt in Abschnitt 3.2.1.6

Elementaranalyse									
Probe	Heizwert	Wassergehalt	C	H	O	N	S	Cl	Asche
	MJ/kg atro	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Fichtenhack	19,1	30 - 50	48,67	6,70	43,66	0,40	0,037	0,003	0,53
Schilfrohr	18,0	9,5	46,82	6,30	41,57	0,44	0,140	0,230*	4,51
Rohrglanzgras	17,5	13	43,29	5,79	38,17	1,17	0,190	1,390*	10,00

Die o. g. Tabelle verdeutlicht, dass die Halmgüter gegenüber Holz erhöhte Chlor- und Schwefelgehalte aufweisen. Das Chlor bewirkt neben den Emissionen eine Absenkung des Ascheerweichungspunktes und sorgt für Korrosion an der Anlagentechnik. Die hier angeführten Chlor-Werte sind insbesondere für RGG als hoch einzustufen. Aus anderen Literaturquellen bzw. eigenen Erhebungen im Rahmen des ENIM-Projektes (vgl. Kapitel 3.2.1 sowie 3.2.2) sind deutlich niedrigere, unkritische Cl-Gehalte bekannt. Deutlich wird hierbei, dass die Höhe der Cl-Werte stark von Standort und Erntezeitpunkt abhängig sind. Dieser Aspekt ist beim Ankauf der Biomasse seitens des Anlagenbetreibers zu berücksichtigen.

Die enthaltenen Spurenelemente stellen zusätzlich einen Indikator für naturbelassenen oder nicht naturbelassenen Brennstoff dar und können anhand von Schnelltests nachgewiesen werden. Sie bestimmen die Eigenschaften der bei der Verbrennung anfallenden Asche und entscheiden maßgebend über die Verwertung gemäß der Anlage 1 der Düngemittelverordnung (DüMV 2004) oder die Beseitigung gemäß der Abfallablagereungsverordnung (AbfAbIV 2002).

Der Wassergehalt für Holz entspricht den vorgegebenen Werten des Feuerungsherstellers. Zu trockene Brennstoffe sind für die meisten Feuerungsanlagen nicht geeignet, da sie einen Anstieg der Feuerraumtemperaturen in unzulässige Bereiche verursachen und das Ascheschmelzen begünstigen. Zur Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte muss die Anlage in Teillast betrieben werden. Außerdem verschlechtert sich die Wärmeübertragungseigenschaft des Rauchgases mit sinkendem Wassergehalt.

Die trockenen Halmgüter verbrennen deutlich schneller als Holz und verursachen somit hohe Feuerraumtemperaturen. Vorteil ist, dass durch die trockenen Halmgüter bei einer homogenen Mischung eine Brennstoffaufwertung gegenüber zu nassen Holzhackschnitzeln erfolgen kann. In einem geeigneten Mischungsverhältnis (10 % Halmgut) bleiben die Emissionen von Chlor und Schwefel unterhalb der vorgegebenen Grenzwerte. Eine Emissionsmessung ist jedoch zwingend erforderlich und vom Gesetzgeber vorgeschrieben.

#### **3.4.1.4 Aschegehalt und Ascheerweichung**

Das erhöhte Aufkommen an Asche bei der Verwertung von Halmgütern (4 – 10 %) gegenüber Holz (0,6 %) bedeutet eine stärkere Belastung und Beanspruchung der Anlagentechnik (Abrasion, Ascheaustrag) sowie einen erhöhten Reinigungsaufwand durch das Personal. Zusätzlich sind eine Zunahme der Verschlackung an der Anlagentechnik und eine daraus resultierende Effizienzminderung der Anlage zu erkennen.

Der Aschegehalt hat einen Einfluss auf die Umweltbelastungen (Schadstoffemissionen). So steigen mit zunehmendem Aschegehalt die Aufwendungen für die Reinigung (Entstaubungseinrichtung), Verwertung oder Beseitigung der Verbrennungsrückstände. In der Kombination der Brennstoffe Holzhackschnitzel und Halmgüter in einem geeigneten Mischungsverhältnis sind die Mehraufwendungen für die Abreinigung und Entsorgung beherrschbar – siehe Emissionsgrenzwerte nach TA Luft.

Das Ascheerweichungsverhalten des jeweiligen Brennstoffes ist von enormer Bedeutung für die Auslegung der Feuerungsanlage und bestimmt das Temperaturniveau innerhalb des Verbrennungsraumes. Im Glutbett treten während der Verbrennung physikalische Veränderungen der Asche auf. So kann es bei Überschreiten der Ascheerweichungstemperatur zum Verkleben (Versintern) bis zur völligen Aufschmelzung der Asche kommen. Die geschmolzene Asche führt zu Anbackungen und Ablagerungen im Feuerungsraum, insbesondere am Rost und an den Wärmeübertragerflächen. Diese Ablagerungen können Störungen, Betriebsunterbrechungen und Veränderung der Verbrennungs-

luftzufuhr verursachen. Außerdem begünstigt die Ascheerweichung die Hochtemperaturkorrosion. Brennstoffe mit niedrigen Ascheerweichungstemperaturen bergen ein erhöhtes Anlagenrisiko durch Versinterung. Die Verbrennungstemperaturen müssen dementsprechend auf einem niedrigen Niveau gehalten werden, was zu schlechteren Wirkungsgraden im anschließenden Kraftprozess führt.

### 3.4.2 Rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Biomasseanlagen für naturbelassenes Holz ab einer Feuerungswärmeleistung (FWL) > 1 MW sind nach 4. BImSchV, Anhang, Nr. 1.2, Spalte 2 genehmigungspflichtige Anlagen. Anlagen für andere feste Brennstoffe, die nicht in Nr. 1.2 aufgeführt werden, bspw. RGG und Schilf, sind ab einer FWL > 100 kW genehmigungspflichtig.

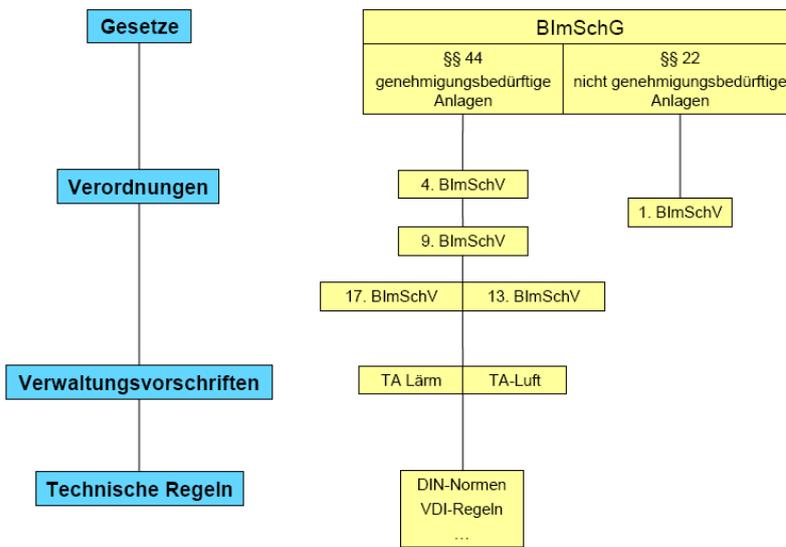


Abbildung 3.4-4: Übersicht über Gesetze und Verordnungen zur Genehmigung

Die Genehmigung nach BImSchG schließt die Baugenehmigung und eventuell die Betriebssicherheitsverordnung mit ein. Hierin werden außerdem lokale Bedingungen wie das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) beachtet. Je nach Anlagentyp bzw. nach einzusetzendem Brennstoff und Genehmigung sind unterschiedliche Anforderungen zur Entstaubung und Emissionsminderung vorgeschrieben. Dies kann nachträgliche Kosten zur Reinhaltung der Luft verursachen.

Als Emissionsgrenzwerte der Anlagen ist die 1. BImSchV bzw. die TA Luft heranzuziehen. Die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte unterliegt einer wiederkehrenden Prüfung. Die Grenzwerte sind in der Tabelle 3.4-2 dargestellt. Der Einsatz von Halmgut ist im Leistungsbereich < 15 kW (Einzelfeuerungsanlagen) nicht zulässig. Im Bereich 15 kW-100 kW ist die 1. BImSchV für die einzuhaltenden Grenzwerte maßgeblich. Die Verfeuerung von Halmgütern bei einer Anlagenleistung > 100 kW fällt in die Zuständigkeit der 4. BImSchV mit der TA Luft. Für den Einsatz von Holz hingegen gilt die TA Luft erst für Anlagen ab 1 MW. Das Biomasseheizkraftwerk Friedland ist mit einer Feuerungswärmeleistung von 4 MW für die Verwertung von naturbelassenem Holz eingestuft.

Seit längerem ist eine Reform der 1. BImSchV in Diskussion. In diesem Zuge ist u. a. eine Verschärfung der Grenzwerte für Staub und CO zu erwarten. In der Folge ist ebenfalls mit einer entsprechenden Anpassung der TA Luft zu rechnen.

Tabelle 3.4-2: Emissionsgrenzwerte nach 1. BImSchV und TA-Luft

<http://www.tll.de/ainfo/pdf/epfl0403.pdf>

Anlagengröße (Nennwärmeleistung)	relevante Vorschrift	Bezugssauerstoff Vol. %	Emissionsgrenzwerte				
			CO g/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	Staub mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	Ges. C <sup>1)</sup> mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup> mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	SO <sub>2</sub> <sup>3)</sup> g/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>
<b>Emissionsgrenzwerte bei der Verfeuerung von unbehandeltem Holz</b>							
15 bis < 50 kW	1. BImSchV	13	4	150	-	-	-
50 bis < 150 kW	1. BImSchV	13	2	150	-	-	-
150 bis < 500 kW	1. BImSchV	13	1	150	-	-	-
500 bis < 1000 kW	1. BImSchV	13	0,5	150	-	-	-
1 bis < 5 MW	TA-Luft	11	0,25	150	50	500 <sup>3)</sup>	2,0 <sup>5)</sup>
5 bis < 50 MW	TA-Luft	11	0,25	50	50	500 <sup>3)</sup>	2,0 <sup>5)</sup>
<b>Emissionsgrenzwerte bei der Verfeuerung von Stroh und ähnlichem pflanzlichen Material</b>							
15 bis < 100 kW	1. BImSchV	13	4	150	-	-	-
0,1 bis < 5 MW	TA-Luft	11	0,25 <sup>4)</sup>	150	50	500 <sup>3)</sup>	2,0 <sup>5)</sup>
5 bis < 50 MW	TA-Luft	11	0,25	50	50	500 <sup>3)</sup>	2,0 <sup>5)</sup>

1) Die Emission flüchtiger organischer Kohlenstoffverbindungen (engl.: VOC = Volatile Organic Carbons) wird als "Gesamt-Kohlenstoff" (Ges. C) angegeben

2) angegeben als Stickstoffoxid (NO<sub>x</sub>)

3) für Wirbelschichtfeuerung > 20 MW<sub>therm</sub> oder für zirkulierende Wirbelschichtfeuerungen gilt ein Grenzwert von 300 mg/gm<sup>3</sup>

4) bis 2,5 MW Feuerungsleistung gilt der Grenzwert nur bei Betrieb mit Nennlast

5) Die Einhaltung des Grenzwertes kann durch Schwefelgehaltsbestimmung im Brennstoff nachgewiesen werden. Für Wirbelschichtfeuerungen gilt der Grenzwert 0,4 g/m<sup>3</sup><sub>n</sub>.

Für die Verwertung von naturbelassenen Holzhackschnitzeln ist das EEG 2004 bzw. 2009 als wirtschaftliche Rahmenbedingung anzusetzen. Die Grundvergütung der Stromerzeugung aus Biomasse gemäß dem EEG 2009 § 27 beträgt 11,67 Cent/kWh bis 150 kWel und 9,18 Cent/kWh zwischen 150 und 500 kWel. Die ORC-Technologie<sup>4</sup> für die Erzeugung von Strom ist nach Anlage 1. Technologie-Bonus Absatz II als innovative Anlagentechnik eingestuft und erhält einen Bonus für Strom von 2,0 Cent/kWh. Weiterhin ist die Verwendung von Waldfrischholz gemäß Anlage 2.I Absatz III für Strom aus nachwachsenden Rohstoffen mit einem Bonus für Strom von 6,0 Cent/kWh bis zu einer Leistung von 500 kWel vergütet.

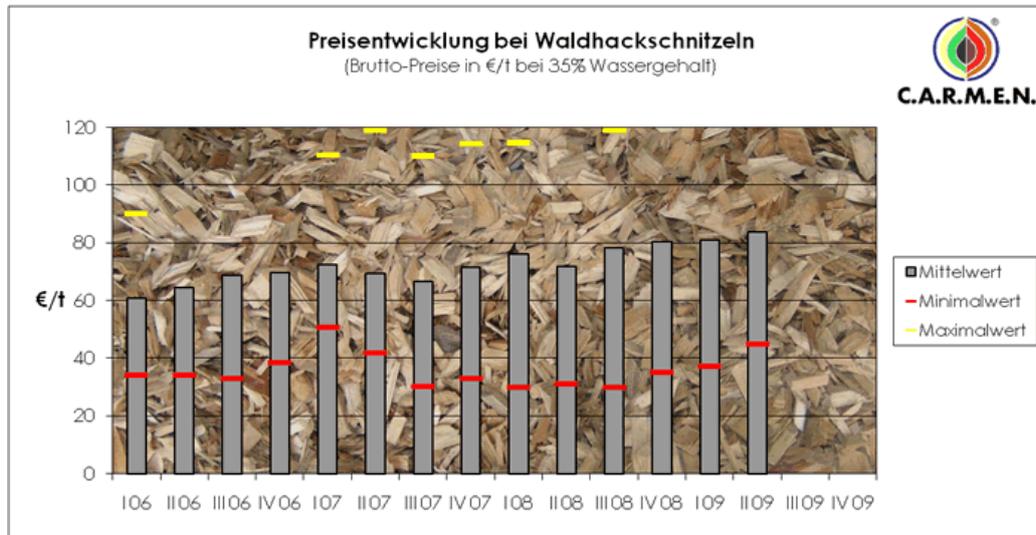
Der erzeugte Strom aus KWK-Anlagen (§27, Absatz 4.3) wird zusätzlich mit 3,0 Cent/kWh vergütet. Dieser Bonus wird durch die Art der Anlage bestimmt. Im Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (novelliert ab 01.01.2009) und speziell im AGFW-Arbeitsblatt FW 308<sup>5</sup> wird eine Vielzahl von Anlagen mit den unterschiedlichsten Modellen dargelegt. Abhängig von der Betriebsführung (Wärme- oder Stromgeführt) ist das Heizkraftwerk Friedland als KWK-Anlage ohne ungekoppelte Stromerzeugung, d. h. es werden Strom und Wärme gemeinsam erzeugt, oder als KWK-Anlage mit ungekoppelter Stromerzeugung und Stromverlust einzustufen.

Die tatsächliche Vergütung der erzeugten Elektroenergie variiert entsprechend der Fahrweise des Heizkraftwerkes. Der Preis für die bereit gestellte Wärme ist in einem Wärmelieferungsvertrag vereinbart.

<sup>4</sup> Organic Rankine Cycle: Betrieb von Dampfturbinen mit organischen Flüssigkeiten mit niedriger Verdampfungstemperatur, z.B. Silikonöl

<sup>5</sup> Arbeitsgemeinschaft Fernwärme - AGFW - e.V., Arbeitsblatt FW 308 "Zertifizierung von KWK-Anlagen – Ermittlung des KWK-Stromes"

Zur Betrachtung von Wirtschaftlichkeiten sind die Preise für Holz und Halmgut von entscheidender Bedeutung. Nachstehend dargestellt ist eine Übersicht der Hackschnitzelpreise der vergangenen Jahre. Aus Abbildung 3.4-5 wird ersichtlich, dass die Brennstoffpreise für Waldfrischholz Schwankungen unterliegen, welche auf den Bedarf sowie die Rohstoffpreise für Holz und Öl zurückzuführen sind. Derzeitig ist nur ein langsamer Anstieg zu erkennen, es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Rohstoffpreise stetig steigen werden.



**Abbildung 3.4-5: Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln**

<http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnippreisreihe.html>

### 3.4.3 Möglichkeiten des Einsatzes von NMB

Die Voruntersuchungen und Analysen gaben Kenntnisse über die Energiedichte sowie die physikalische Struktur des RGG und schlossen eine Monoverbrennung im BMHKW Friedland aufgrund der hier vorhandenen Fördertechnik (Schubboden und Kratzkette) aus.

Mögliche Probleme während des Verbrennungsversuches wurden bereits im Vorfeld erörtert. Sie sind nachstehend noch einmal aufgeführt:

- Prüfung der vorhandenen Aufbereitungstechnik für die Materialien RGG und Schilf,
- Förderfähigkeit der Materialien durch die vorhandene Technik,
- Möglichkeiten der Brennstoffmischungen mit vorhandener Technik,
- Mengenabschätzung des tatsächlich verbrannten Materials,
- Auswirkungen der Feianteile auf die Verbrennung und Entaschung,
- Leistungshaltung mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen und Energiedichten,
- Zu hohe Temperaturen im Feuerraum, aufgrund zu trockenen Verbrennungsmaterials,
- Ascheschmelzverhalten und daraus resultierende Probleme mit Flugascheanhaftungen.

### 3.4.3.1 Aufbereitung

Entsprechend erster Erkenntnisse aus Gesprächen und Analysen, wurde ein Test zur Brennstoffaufbereitung mittels der im BMHKW vorhandenen Technik (Walzenbrecher) geplant und am 25.04.2007 durchgeführt. Bei diesem Test stellte sich heraus, dass die erhoffte Zerkleinerung der Materialien (Schilf und RGG) nicht eintrat, und der Brecher zum Verstopfen neigte. Dieses Problem musste manuell behoben werden und beeinflusste die Durchsatzleistung des Brechers negativ. Für die Aufbereitung von RGG in Ballenform war der Aspekt der Ballenauflösung entscheidend. Die RGG-Ballen sind mit Standardabmessungen von 1,3 m Höhe, 1,3 m Durchmesser und 230 kg Gewicht dem Brech- und Brennversuch zur Verfügung gestellt worden.

Bei der Schilfaufbereitung wurde die ursprüngliche Struktur zwar verändert, trotzdem wurden die Halme teilweise in ihrer kompletten Länge wieder ausgestoßen. Das Gesamtergebnis der Brennstoffaufbereitung war eher unbefriedigend. Vorab kann davon ausgegangen werden, dass schnell laufende Hacker mit Horizontalzuführung besser zur Schilfaufbereitung geeignet sind.



**Abbildung 3.4-6: Beschickung und Verstopfung des Brechers beim Brechversuch**

Basierend auf den Erfahrungen der Testaufbereitung wurde der Brecher zur Herstellung der erforderlichen Mischungsverhältnisse eingesetzt. Das Volumen der Radladerschaufel sowie die angelieferte Ballenmasse ließen relativ präzise Angaben zu den Brennstoffmischungen zu. In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Mischungsverhältnisse ausgewiesen.

Zur Ermittlung der spezifischen Massen wurden Wägungen der Brennmaterialien vorgenommen. Dies ermöglichte zusätzlich eine bessere Abschätzung der Mischungsverhältnisse sowie der tatsächlich zur Verfügung stehenden Volumina. Eine Ermittlung der Mischungsverhältnisse bezogen auf das Volumen konnte nicht vorgenommen werden, da die Ergebnisse der Wägung von RGG, bedingt durch die enorme Volumenzunahme nach der Aufbereitung, zu unterschiedlich waren.

Der Einsatz des Brechers zur Herstellung der Brennstoffaufbereitung ermöglichte optisch homogene Mischungen sowie eine gleichmäßige Struktur des Brennmaterials. Hierfür wurde der Brennstoff zweifach gebrochen bzw. gemischt. Im ersten Arbeitsgang erfolgte die Zusammenstellung des gewünschten Mischungsverhältnisses, im zweiten Arbeitsgang wurde die Homogenität hergestellt.

Tabelle 3.4-3: Gewichtsverteilung des Brennmaterials

Materialgewicht /kg	Masse / Volumen		
	kg / Behälter	kg / m <sup>3</sup>	kg / Schaufel
Bezugsvolumen /m <sup>3</sup>	0,125	1	2,5
Ballen RGG /kg	-	133	-
Hackschnitzel (G50)	32,5	260	650
/kg	32,1	257	642
	32,9	263	658
Mittel	<b>32,5</b>	<b>260</b>	<b>650</b>
Hackschnitzel (Schredder)	22,4	179	448
/kg	22,9	183	458
	21,9	175	438
Mittel	<b>22,4</b>	<b>179</b>	<b>448</b>
Rohrglanzgras gebrochen	4,2	34	84
/kg	3,5	28	70
	2,8	22	56
Mittel	<b>3,5</b>	<b>28</b>	<b>70</b>
Mischung			
Rohrglanzgras / Holz 1:4,5	18,8	150	376
/kg	20,5	164	410
	19,6	157	392
Mittel	<b>19,6</b>	<b>157</b>	<b>393</b>
Rohrglanzgras / Holz 1:3	20,5	164	410
/kg	19,8	158	396
	21,2	170	424
Mittel	<b>20,5</b>	<b>164</b>	<b>410</b>
Rohrglanzgras / Holz 1:2	20,4	163	408
/kg	19,7	158	394
	21,4	171	428
Mittel	<b>20,5</b>	<b>164</b>	<b>410</b>



Abbildung 3.4-7: Brennstoffaufbereitung mittels werksinternem Brecher für die Testverbrennung

Durch die häufige Anzahl der Brüche war die Brennstoffaufbereitung deutlich zeitintensiver als ursprünglich geplant. Die Mischung der beiden Brennstoffe (Holz und RGG) mittels Brecher verursachte eine Verfilzung des Materials, was auf die Struktur des RGG zurückzuführen ist. Dies führte zu gelegentlichen Verstopfungen des Brechers und wirkte sich fortlaufend auf die Fördertechnik und das Brennverhalten aus. Aufgrund der zahlreichen Verstopfungen des Brechers, musste dieser anschließend einer Wartung unterzogen und das Brecherband ausgetauscht werden.

Um die Halmgüter Schilf und RGG besser einschätzen zu können sind in Folgeuntersuchungen verschiedene Aufbereitungsmethoden zu vergleichen, die Aufschlüsse über Verbesserungsmaßnahmen hinsichtlich des Förderverhaltens geben. Als Kriterien sollten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Massendurchsatz
- Volumenzunahme
- Substratgröße / Siebkornanalyse
- Verstopfungsneigung
- Wartungsintervalle
- Eignung als Brennstoffmischer

### 3.4.3.2 Testverbrennung

Die Leistung der Feuerungsanlage wurde aufgrund des gewählten Testzeitraumes auf ca. 2,5 MW Feuerungswärmeleistung (FWL) gedrosselt, um eine Rückkühlung der Abwärme der ORC-Anlage über Tischkühler sicherzustellen und konstante Rahmenbedingungen (konstante Leistungsabnahme) für den Testzeitraum zu schaffen. Schwankungen der Wärmeabnahme aus dem Netz hatten somit keinen Einfluss auf die Testverbrennung.

### 3.4.3.3 Brennstofflogistik

Die Abschätzung der tatsächlich eingesetzten Brennstoffmenge gestaltete sich sehr kompliziert. Hier ist vor allem die Volumenzunahme des RGG durch die Aufbereitung, die Fördertechnik und die anschließende Verdichtung bei der Brennstoffzufuhr ausschlaggebend. Die tatsächlich zugeführte Brennstoffmenge bezogen auf die unterschiedlichen Mischungsverhältnisse ist kaum ermittelbar, da das Brennstoffsilo nicht leer gefahren werden kann. Dementsprechend ist lediglich eine Gesamtabschätzung des Brennstoffverbrauches über die Mischungsverhältnisse, der ungefähren Verbrennungszeit und der Heizwerte aus den Voranalysen möglich.

**Tabelle 3.4-4: Mischungsverhältnisse und Brennstoffbedarf**

Mischungsverhältnis	Massen %	Zeit d	Hu MJ/kg	Verbrauch kg/h	Verbrauch kg/d	Anteil RGG kg/d
Rohrglanzgras / Holz 1:4,5	11%	1,5	10,8	837	20.098	2.293
Rohrglanzgras / Holz 1:3	17%	1,5	11,1	814	19.542	3.344
Rohrglanzgras / Holz 1:2	26%	2,0	11,5	782	18.764	4.817
Rohrglanzgras / Holz 1:1	51%	0,0	12,8	704	16.894	8.673

Der Gesamtverbrauch für RGG lässt sich auf ca. 18 t für die Testdauer ermitteln. Der Anteil an zusätzlichem Holz für die Testverbrennung lag mit 79 t deutlich höher, als bei der Planung angedacht. Das maximale Mischungsverhältnis von 1:1 (51 %) konnte aufgrund feuerungstechnischer und materialbedingter Einflüsse nicht erreicht werden. Die entsprechenden Zusammenhänge werden im Folgenden näher erläutert.

Um bezüglich des Brennstoffverbrauches detaillierte Angaben erhalten zu können, wäre ein Umbau der Brennstoffzuführung erforderlich. Der Einsatz kontinuierlich arbeitender Bandwagen ist jedoch aus technologischen Aspekten nicht möglich. Gegebenenfalls sind optische Erfassungssysteme einsetzbar.

Die vorhandene Fördertechnik hatte deutliche Probleme mit den Gemischen aus NMB und Holz. Von Bedeutung waren dabei weniger die Materialstruktur und Dichte, sondern vielmehr die Verfilzung des Brennstoffgemisches. Die Verfilzung hemmte die Rieselfähigkeit des Brennstoffes, wodurch das Material teilweise über die Trittroste am Schubboden herausgeschoben wurde. Durch eine geringere Befüllung der Schubböden konnte dem entgegengewirkt werden; der Aufwand für das Kraftwerkspersonal erhöhte sich dadurch aber deutlich. Die nachstehenden Abbildungen zeigen die Verfilzung des Materials, sowie deren Auswirkung auf den Schubboden.



**Abbildung 3.4-8: Verfilzung des Brennmaterials bedingt durch RGG**

Vom Schubboden aus gelangt der Brennstoff über einen Kratzkettenförderer zum hydraulischen Stoker. Hier traten keine Verstopfungen innerhalb des Förderschachtes auf. Jedoch wurde der Kratzkettenförderer durch das verfilzte Material stärker belastet, so dass ein Schaden am Kratzkettenförderer entstand.

Das mittels Kratzkettenförderer ankommende Material gelangt über einen Fallschacht mit Lichtschrankensteuerung zum Brennstoffeinschub in den Feuerraum. Bei Erreichen der erforderlichen Höhe im Fallschacht, stoppt der Förderer und der hydraulische Stoker öffnet sich. Mittels Stoker wird anschließend das Material in die Brennkammer geschoben. Bei diesem Vorgang verdichtet sich der Brennstoff (Kompressionszone). In der Feuerbox (Brennkammer) wird das Material über einen geteilten Schrägrost langsam Richtung Ascheaustrag befördert.

#### 3.4.3.4 Brennverhalten

Auf dem Rost verbrennt die Biomasse in den drei Zonen Trocknung, Vergasung, Ausbrand. Die entstehende Asche fällt teilweise durch den Rost, wird bis zum Rostende transportiert oder mit der Anlagenzuluft (Primärluft) als Flugasche ausgetragen.

Durch das hohe Brennmaterialvolumen wird die Lichtschranke des Brennstoffeinschubes relativ früh ausgelöst. Bei anschließender Komprimierung gelangt weniger Masse an Brennmaterial (gegenüber reiner Holzverbrennung) in die Feuerbox. Zum Erreichen der erforderlichen Leistung musste die Einschubzeit für den Brennstoff verringert (von 150 auf 80 sec.) werden. Dies reichte nicht aus, die erforderlichen Leistungen zu decken. Daraus resultierend ist eine Vergrößerung des Brennstoffeinschubbereiches bzw. eine Veränderung der Rostarchitektur (langgezogener Rost) zu empfehlen.

Die Brennmaterialien der Mischungen (Holz und Halmgut) weisen sehr unterschiedliche Eigenschaften auf, welche den Verbrennungsprozess positiv und negativ beeinflussen. RGG bspw. kann durch die Primärluft mitgezogen und erst in der Sekundärzone ausbrennen. Es neigt aber - durch die im Stoker widerfahrene Verdichtung des Materials - auch zur Bildung von Glutnestern. Die kleinen „Ballen“, resultierend aus der Eigenschaft zu verfilzen, werden durch die Feuerbox geschoben und benötigen eine sehr lange Ausbrandzeit, eine lange Verweilzeit auf dem Rost und eine erhöhte Primärluftzufuhr.

Die alleinige Holzverbrennung findet in den drei Verbrennungszonen statt. In der Mischung mit RGG wird das Holz jedoch in den Glutnestern gebunden, wodurch zusätzlich lange Ausbrandzeiten verursacht werden. Somit kam es teilweise zum Ausschub unverbrannten und glühenden Materials aus der Feuerbox. Eine Drosselung der Luftzufuhr für die erste Zone (Trocknung) und Erhöhung in der dritten Zone (Ausbrand) bewirkte eine vollständige Verbrennung des Brennstoffgemisches. Zudem wurde die Brennstoffzufuhr leicht gedrosselt, was eine Leistungssenkung bewirkte.

Die entstandene Asche des Brennmaterials wies gegenüber der Asche aus reiner Holzverbrennung deutlich feinere Bestandteile auf. Aus der stärkeren Ablagerung auf der Strahlungsdecke, dem erhöhten Reinigungsaufwand (zweimal täglich) sowie dem erhöhten Feinanteil im Aschecontainer, ist ein erhöhter Flugascheanteil zu erkennen.

Die Erhöhung des Flugascheanteils ist auf die physikalischen Eigenschaften von RGG zurückzuführen. RGG besteht aus einzelnen kleinen Halmen, welche durch die unterhalb der Roste eingeblasene Primärluft mitgezogen werden und teilweise erst unter Zufuhr von Sekundärluft vollständig verbrennen. Die Asche legt sich daraufhin auf der Strahlungsdecke nieder. Der erhöhte Ascheanteil von RGG mit ca. 3,5 – 10 % gegenüber Holz (ca. 0,6 %) führte zu einer höheren Belastung des Multizyklons (Staubabscheider) und verursachte eine Verstopfung der Umlenkammern sowie des Rauchgaskanals.

Im Rahmen der Anlagenrevision erfolgte die mechanische Reinigung der Umlenkammern, der Rauchgasstrecke einschließlich Economizer und Zyklon.

Das Brennmaterial (RGG) war deutlich trockener als das Holz, wodurch die Brennraumtemperaturen auf über 950 °C anstiegen und die Leistung gedrosselt werden musste. Bei der anschließenden Revision der Anlage wurden leichte Versinterungen der Asche im Bereich der Strahlungsdecke aufgrund erhöhter Temperaturen und der hohen Feinanteile sichtbar. Derartige Ablagerungen bzw. Anhaftungen mussten mechanisch entfernt werden.



**Abbildung 3.4-9: links: Asche der RGG-Verbrennung, rechts: Asche der Holzverbrennung**

Die Ascheanalyse gemäß Düngemittelverordnung sowie Abfallverordnung (Ablagerung auf Deponien) durch einen unabhängigen Analyseservice ergab keine Bedenken. Zur Bewertung der Analyseergebnisse sind folgende Unterlagen heranzuziehen:

- Prüfbericht-Nr. 134-07-02 vom 26.10.2007 (Auftragnehmer: Analysen Service GmbH)
- Düngemittelverordnung (DüMV) Geltung 05.12.2003 in der Fassung vom 26.11.2003, Anlage 1

Der Vollständigkeit halber wird darauf hingewiesen, dass eine vereinzelte Probenuntersuchung keine repräsentativen bzw. belastbaren Erkenntnisse erbringen kann. Diesbezüglich werden weitere Nachuntersuchungen empfohlen. Eine Verwertung der Asche gemäß Düngemittelverordnung erscheint vorerst realisierbar, wodurch zusätzliche Kosten für die Deponierung entfallen und eine Rückführung der Asche auf ausgewiesene Flächen möglich ist.

Die Ergebnisse der Brennstoffanalytik (angefertigt durch FHSt), insbesondere der Heizwert, basierend auf den Brennstoffproben der Testverbrennung, weichen stark von den angenommenen Werten ab. Dies ist unter anderem auf eine verspätete Analyse und der daraus resultierenden Trocknung des Brennmaterials zurückzuführen. Die Brennstoffeigenschaften (Heizwert, Wassergehalt, Aschegehalt...) der eingesetzten Brennstoffe sowie deren Eigenschaften sind ausführlich im Bericht der FHSt dargestellt (vgl. Kapitel 3.3 sowie Wulf 2008).

Während des Testzeitraumes wurden Rauchgasmessungen hinsichtlich Schadstoffbelastungen mittels Analysegerät durch die GMK und durch die FHSt aufgezeichnet (vgl. Abschnitt 3.3.3). Das BMHK Friedland ist genehmigungsrechtlich für die Verbrennung von naturbelassenen Waldfrischholzhackschnitzeln mit einer FWL kleiner 5 MWth zugelassen. Für die Testverbrennung wurde eine Ausnahmegenehmigung beim StAUN beantragt. Die einzuhaltenden Grenzwerte der TA-Luft 2002 sind nachfolgend dargestellt.

**Tabelle 3.4-5: Emissionsgrenzwerte für das BMHKW Friedland nach TA-Luft**

Schadstoffe	Rohgasemission mg/Nm <sup>3</sup>	Grenzwerte TA-Luft mg/Nm <sup>3</sup> h
CO	-	150
SO <sub>2</sub>	-	-
NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub>	180	250
Partikel	nicht ermittelbar	50

Während der Testverbrennung konnten keine Überschreitungen der Grenzwerte festgestellt werden (vgl. Abbildung 3.4-10). Die Abbildung zeigt eine zusammengefasste Datenaufnahme der Rauchgasmessungen bei den unterschiedlichen Mischungsverhältnissen. Bei allen Mischungen wurden die maximal zulässigen Werte nicht überschritten. Die Maximalwerte von Stickoxid lagen bei  $230 \text{ mg/Nm}^3$ . Die  $\text{SO}_2$ -Werte sowie die Werte für Kohlenmonoxid (CO) lagen unterhalb des Messbereiches.

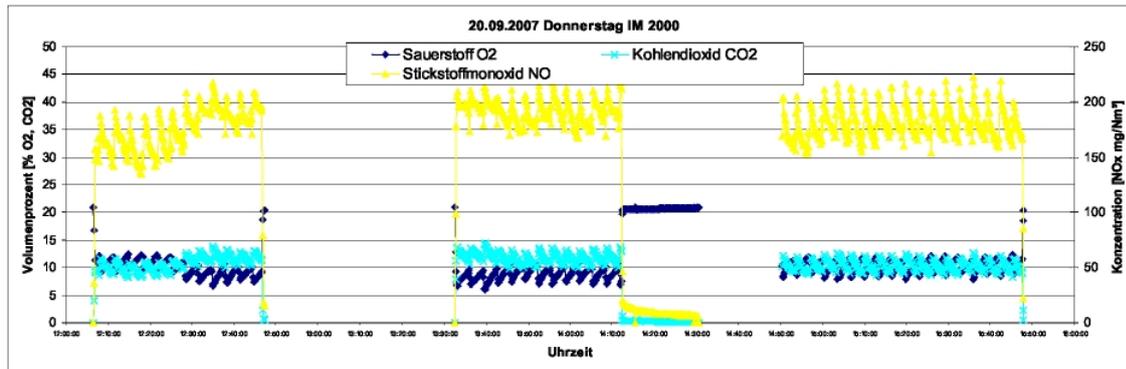


Abbildung 3.4-10: Ergebnisse der Rauchgasmessung

### 3.4.3.5 Vergleich der NMB

Die Brennstoffaufbereitung beider Brennstoffe (RGG und Schilf) sowie die Testverbrennung von RGG konnten während des Projektzeitraumes durchgeführt werden. Die Verbrennung von Schilf war innerhalb des geplanten Zeitraumes aus technologischen Gründen nicht möglich.

Basierend auf den Voruntersuchungen der FHSt kann angenommen werden, dass die Unterschiede zwischen den Halmgütern Rohrglanzgras und Schilf nur gering ausfallen. Die Struktur der beiden Materialien in Form von Ballen sowie die Brennstoffeigenschaften sind sehr ähnlich. Der geringere Ascheanteil sowie die geringeren Anteile an Chlor bei Schilf können einen Vorteil bei der Verbrennung, Anlagenwartung und den Emissionen darstellen. Ebenso weist das Schilf eine festere Struktur auf, was zu geringeren Flugaschen gegenüber der Rohrglanzgrasverbrennung führen kann.

Der Brennstoffverbrauch wird ähnlich zu beurteilen sein. Die Neigung zur Verfilzung wurde jedoch auch durch die Untersuchungen der FHSt und im Brechversuch bestätigt. Im Brechversuch und bei den Untersuchungen der FHSt wurden Schilf-Bunde eingesetzt. Für die Verbrennung stehen jedoch Ballen zur Verfügung. Durch die Ballenpressung ist bereits eine Voraufbereitung und Zerkleinerung des Materials erfolgt. Es ist davon auszugehen, dass der Brecher, wie bei der Verbrennung von RGG, vorrangig der Ballenauflösung und Mischung der Brennstoffe dient.

Die Versuche der FHSt verdeutlichen zudem, dass die Verbrennung von Schilf in den unterschiedlichen Gemischen besser (störungsfreier) verlief als die Verbrennung von RGG. Die Dominanz der beiden Brennstoffe nach Aufbereitung ist jedoch gleich zu bewerten (vgl. Abbildung 3.4-11 und Abbildung 3.4-12).



**Abbildung 3.4-11: Fichte / Schilf 80/20 Massenprozent (Wulf 2008)**



**Abbildung 3.4-12: Fichte / RGG 80/20 Massenprozent (Wulf 2008)**

Für die Verbrennung können gleiche Brennstoffmischungen angesetzt werden, bzw. es ist gleich das max. Mischungsverhältnis zu fahren, um über einen längeren Zeitraum Betriebserfahrungen sammeln zu können.

Um Aussagen bezüglich einer Dauerbelastung der Anlagentechnik treffen zu können, sind jedoch die Verbrennungsversuche nicht ausreichend. Hier sind Verbrennungen über mehrere Wochen bzw. Monate anzusetzen.

Die Verbrennung von NMB in Verbindung mit Holz ist in konventionellen Kraftwerken möglich. Es ist erforderlich, die gegebenen Bedingungen des jeweiligen Kraftwerkes, bspw. die Fördertechniken und die Leistungsabsenkung zu berücksichtigen. Entsprechend der Fördertechnik konnte ein maximales Mischungsverhältnis von 26 Massenprozent Zumischung an RGG ermittelt werden. Die maximale Anlagenleistung lag bei 50%. Höhere Werte konnten aufgrund feuerungstechnischer Eigenschaften mit dem Zusatzbrennstoff nicht erreicht werden. Dementsprechend sind Anlagen für eine Verbrennung mit NMB größer zu dimensionieren. Die Fördertechnik und Aufbereitung ist von großer Bedeutung. Während des Tests sowie unmittelbar danach traten deutliche Probleme mit der Fördertechnik auf. Eine andere Art der Ballenauflösung ist in Betracht zu ziehen und die Beschickung möglicherweise über Schnecken zu gestalten, um eine vorherige Mischung der Brennstoffe (RGG und Holz) zu umgehen.

Die erforderlichen Grenzwerte für die Asche sowie die Rauchgase können eingehalten werden, was eine Entsorgung der Reststoffe begünstigt. Als problematisch ist jedoch der hohe Aschegehalt der NMB anzusehen, der einen erhöhten Reinigungsaufwand der Anlage verursacht. Zudem ist der trockene Zustand des Brennstoffes als negativ für die Feuerungsanlage zu bewerten, da die Brennraumtemperaturen die zulässigen Werte erreichen bzw. überschreiten.

### 3.4.4 Anlagenanpassung an NMB

#### **Brennstoffaufbereitung**

Die erste Anpassung der Feuerungsanlage in Friedland ist hinsichtlich der Brennstoffaufbereitung durchzuführen. An Stelle des vorhandenen Walzenbrechers ist ein Hacker bzw. Ballenauflöser mit Schneidmessern zu erproben. Für die Herstellung von Brennstoffmischungen zwischen Hackschnitzeln und Halmgütern ist die Mischung bei der Verwendung von Ballenauflösern separat durchzuführen, da die Technik hierfür ungeeignet ist. Für die Mischung müssen dementsprechend andere Verfahren gefunden werden.

#### **Brennstoffzufuhr**

Um die aufwendige Mischung der einzelnen Brennstoffe und die damit verbundenen Probleme der Brennstoffförderung (Verfälschung des Materials) zu umgehen, ist eine geteilte Brennstoffzufuhr zu untersuchen. Die Hackschnitzel könnten weiterhin über Stoker und die Halmgüter über eine Förderschnecke dem Brennraum zugeführt werden. Die Machbarkeit sollte jedoch vorerst mit dem Hersteller der Feuerungsanlage besprochen werden.

Die Brennstoffführung innerhalb der Feuerung kann beibehalten werden. Ebenso ist die vorhandene Belüftung über Primär- und Sekundärlüfter ausreichend dimensioniert.

#### **Emissionsminderung**

Zur Emissionsminderung ist aufgrund der erhöhten Flugaschen und der damit verbundenen erhöhten Staubbelastung eine verbesserte Abscheidung nachzurüsten. Hier sind E-Filter dem vorhandenen Multizyklon vorzuziehen. Zusätzliche Anforderungen an die Verbrennung von Halmgütern nach TA-Luft bzw. nach behördlichen Auflagen sind individuell zu prüfen.

Die Kosten für derartige Umbauarbeiten sind nur bedingt ermittelbar, da für die Verbrennung auch die Freigabe durch den Feuerungshersteller sowie die Behörden zu erwirken ist. Zudem kommen individuelle Aspekte hinzu, welche im Vorfeld nicht zu überschlagen sind. Für genauere Angaben ist ein umfangreiches Engineering erforderlich.

### 3.4.5 Betriebswirtschaftliche Betrachtung

#### **Brennstoffkosten**

Die Kosten für Hackschnitzel wurden bereits in Abschnitt 3.4.2. dargestellt. Da die Qualität der NMB schlechter ist als die der Hackschnitzel, sind als oberste Bezugsgrenze die gleichen Kosten wie für Hackschnitzel anzusetzen. Der derzeitige Durchschnitt für Waldfrischholz ist nach Abbildung 3.4-5 mit 80 €/t angegeben.

#### **Personalkosten**

Aufgrund des erhöhten Arbeitsaufwandes für den Einsatz von NMB durch Aufbereitung, Wartung und Entsorgung ist nach Erfahrungen des Verbrennungsversuches die doppelte Arbeitsleistung anzusetzen. Die Kosten für Wartung und Instandhaltung sind jedoch separat zu betrachten, da hierfür ein Langzeitversuch erforderlich ist.

**Anlagenkosten**

Die zusätzlichen Aufwendungen für den Umbau der Anlage sind, wie bereits beschrieben, in einem umfangreichen Engineering zu untersuchen. So muss die Eignung eines Multizyklons zur Staubabscheidung aus technischer und aus rechtlicher Sicht überprüft werden. Hierfür sind die Massendurchsätze und entstehende Staubemissionen entscheidend. Die Kosten für den Einsatz eines E-Filters sind erheblich höher anzusetzen als für einen Multizyklon. Der Umbau der Feuerungsanlage kann ebenfalls erst bei Gewissheit der Brennstoffdurchsätze betrachtet werden, da diese die Dimensionen der Fördereinrichtungen bestimmen. Die Kosten für einen Ballenauflöser sind hingegen überschaubar. Hier sind die Abhängigkeit vom Massendurchsatz sowie die Zusatzkosten für Wartung und Instandhaltung zu betrachten.

**Entsorgungskosten**

Die Kosten für die Ascheentsorgung steigen ebenfalls an, da der Ascheanteil von NMB ca. dem 8-fachen des Anteils von Holz entspricht.

**Erlöse**

Die Vergütung der Anlage wurde in Abschnitt 3.4.2. erläutert. Hier ist vor allem die Art der Anlage nach FW 308 sowie die Einstufung der Brennstoffe und der Anlage nach dem EEG 2009 entscheidend.

### **3.5 Praktischer Einsatz von Niedermoorbiomasse**

#### **3.5.1 Einsatz von NMB im BHKW Friedland (M. Kremp)**

Die Einsetzbarkeit der NMB hängt maßgebend von der Vergütung der erzeugten Energien (Strom und Wärme) einschließlich der Einordnung durch das EEG sowie den Brennstoffkosten ab (vgl. Kapitel 3.4.5).

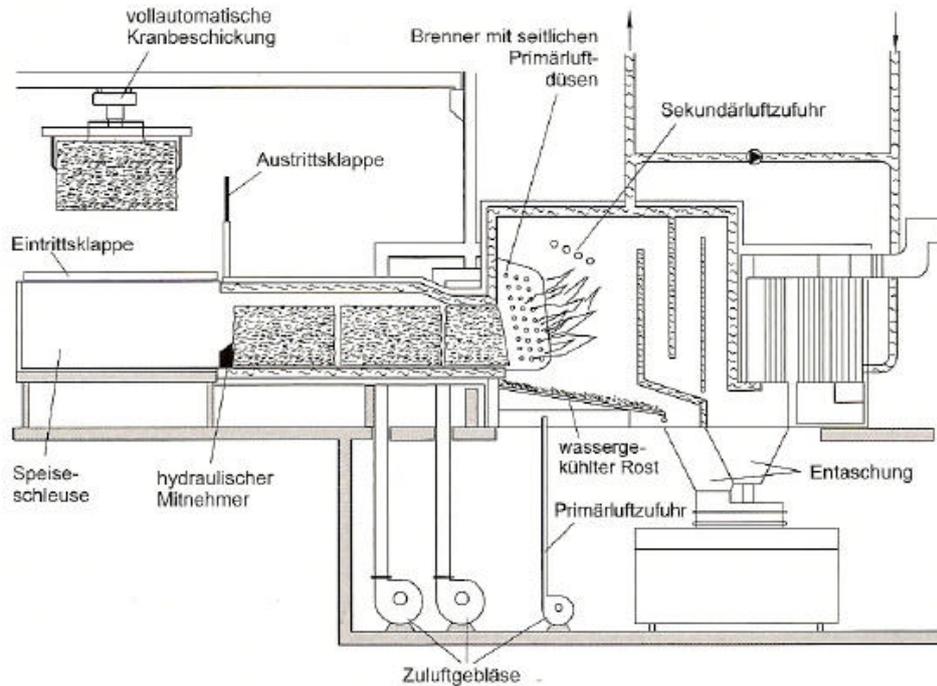
Aus technischer Sicht ist NMB einsetzbar, jedoch ist der Anteil von NMB wie durch die FHSt bestätigt auf 10 % zu beschränken, da bei diesem Mischungsverhältnis der Anteil an Wartung und Reinigung noch überschaubar ist. Die Grenzwerte der Emissionen, ausschließlich der Staubmessungen, wurden bei diesem Verhältnis nicht überschritten. Zudem konnte die erforderliche Leistung noch gehalten werden. Bei zunehmendem Mischungsanteil von NMB ging die thermische Leistung der Anlage zurück, dagegen stiegen die Belastungen der Anlage durch Temperaturanstieg an. Die Anlage kann mit NMB nur in Teillast gefahren werden. Ein Volllastbetrieb ist im BMHKW Friedland unter Einsatz von NMB nicht möglich.

#### **3.5.2 Möglichkeiten der Verwertung der NMB in neuen Anlagen (M. Kremp)**

Bei den Verbrennungsversuchen im Kraftwerk Friedland traten bedingt durch das große Volumen der Niedermoorbiomasse (NMB) und die Neigung zur Verfilzung Probleme auf. Entsprechend sind die Brennstofffördereinrichtungen anzupassen. Die Ascheaustragseinrichtungen sind auf den hohen Ascheanteil einzustellen. Entsprechende Maßnahmen zur Anlagenanpassung sind in Kapitel 3.4.4 vorgestellt. Die Feuerungsanlage sollte basierend auf den Erfahrungen größer dimensioniert sein, da ein Volllastbetrieb nicht möglich war. Prinzipiell ist auch zu überlegen, auf andere Verbrennungskonzepte auszuweichen.

Als alternative Feuerungseinrichtungen stehen Wirbelschichtfeuerung, Zigarrenfeuerungen (s. u.) oder Ganzballenvergaser (vgl. Abschnitt 4.3, Abbildung 4.3-1) zur Verfügung. Zu diesen Feuerungstypen sind bisher einschlägige Erfahrungen mit der Verbrennung von Stroh vorhanden. Die Verwertung von Schilf oder RGG sollte nach der Auswertung der Daten aber kein größeres Problem darstellen. Eine Testverbrennung ist jedoch immer anzustreben.

Zigarrenfeuerungsanlagen (Abbildung 3.5-1) sind erst ab einer Leistung von 2-3 MWth einsetzbar, da ein Mindestvorschub der Ballen für eine ordnungsgemäße Verbrennung eingehalten werden muss. Wirbelschichtfeuerungen und Zigarrenbrenner sind aufgrund der hohen Anlagenkosten ab größeren Leistungen vorzufinden. Für kleinere Feuerungswärmeleistungen sind Ballenauflösungen bzw. diskontinuierliche Beschickungen erforderlich. Diskontinuierliche Beschickungen unterliegen jedoch starken Schwankungen in der thermischen Leistung. Entsprechend müssen große Pufferspeicher errichtet werden, um Versorgungssicherheiten zu gewährleisten. Der Aufwand für das Betriebspersonal ist deutlich höher, als für kontinuierlich laufende Anlagen.



**Abbildung 3.5-1: Schematischer Aufbau einer Zigarrenfeuerung**

Quelle: Kaltschmitt & Hartmann (2001)

Für eine Auslegung bzw. Neukonzipierung einer Anlage zur Verwertung von NMB ist vor allem die Nutzung der thermischen Leistung entscheidend. Hier sind Parameter wie Leistungen (Grundlast und Spitzenlast) im Jahresverlauf sowie die erforderlichen Temperaturniveaus ausschlaggebend. Ausgehend von den Daten kann das Grundkonzept mit thermischer und eventueller elektrischer Leistung abgestimmt werden und die Art der Feuerung (Rost-, Zigarren- oder diskontinuierliche Feuerung) festgelegt werden.

Aus dem kalkulierten Brennstoffbedarf sind die Logistik der Lagerung und Lieferung, sowie die Sicherstellung von Brennstoffqualitäten zu überprüfen. Vor allem die Versorgungssicherheit der Anlage mit Brennstoff ist zu beachten. Für Ausfälle müssen Alternativen zur Verfügung stehen.

Steht das Grundkonzept fest, ist die Wirtschaftlichkeit der Anlage, unter Einbeziehung der Personalkosten, zu prüfen und es sind Gespräche mit dem in der Region zuständigen Energieversorger zu führen.

Eine detaillierte Konzeptentwicklung kann nur in enger Zusammenarbeit mit einem Feuerungshersteller für halmgutartige Brennstoffe entwickelt werden, da dieser über die Erfahrungen und das entsprechende Know-how verfügt. Die Grundausslegung richtet sich jedoch immer nach dem zu erwartenden Wärmebedarf und den zur Verfügung stehenden Brennstoffmengen.

### 3.5.3 Biogasproduktion (W. Wichtmann)

#### 3.5.3.1 Verfügbare Technik

Biogas wird über eine anaerobe Vergärung bzw. Fermentation von abbaubarer organischer Substanz wie Biomasse, Gülle, Klärschlamm oder organische Abfälle produziert. Dabei entstehen in erster Linie Methan und Kohlendioxid ( $\text{CH}_4$ , 50-75 %) und  $\text{CO}_2$  (25-50 %). Der mittlere Heizwert (CV) liegt bei  $6 \text{ kWh/m}^3$  ( $4\text{-}7.5 \text{ kWh/m}^3$ , abhängig vom Methangehalt). Zwei Wege der Biogasproduktion können unterschieden werden:

- Mesophile Vergärung bei Temperaturen von etwa  $35\text{-}38 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Thermophile Vergärung bei Temperaturen  $> 55 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Die wichtigsten Komponenten einer Biogasanlage sind der Fermenter bzw. Biogasreaktor sowie der Güllelagerbehälter, der der Lagerung des Gärrückstandes aus dem Reaktor, der Nachgärung und der Gasspeicherung dient (Abbildung 3.5-2). Der Gärrückstand kann als Dünger auf dem Acker ausgebracht werden. Das am weitesten verbreitete Verfahren ist die Nassfermentation, z. B. mit Gülle und Mais- oder Grassilage als Koferment. Neuerdings werden zunehmend Verfahren, die nur Biomasse einsetzen, angewendet (Trockenfermentation). Das Biogas wird normalerweise dazu verwendet, einen Gasmotor anzutreiben, um mit Hilfe eines Generators Strom zu produzieren. Die Abwärme ( $80\text{-}90 \text{ }^\circ\text{C}$ ) kann zur Wärmeversorgung (Trocknung, Heizung, Aquakultur) genutzt werden, was nach dem EEG zu einer besseren Vergütung der produzierten elektrischen Energie führt (KWK-Bonus).

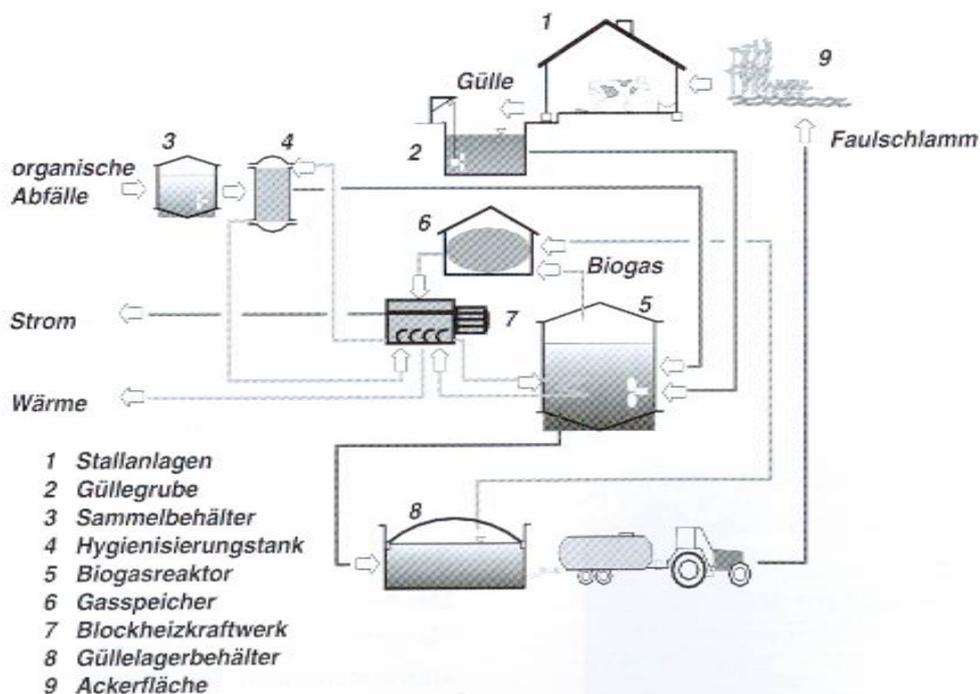


Abbildung 3.5-2: Prinzip einer landwirtschaftlichen Biogasanlage unter Verwendung von Ko-Substraten (FNR 2006)

Beim Einsatz von Gras als Koferment in der nassen Fermentation kann durchschnittlich ein Anteil von 10-12 % Gras, entsprechend  $60 \text{ kg Gras/m}^3$  Gülle, angenommen werden. Von der produzierten elektrischen Energie benötigt die Biogasanlage selbst etwa 20-40 % (Homogenisieren, Pumpen) und

30-50 % der produzierten Wärme werden zur Beheizung des Fermenters benötigt. Bei größeren Anlagen nimmt der prozentuale Eigenverbrauch ab. Der Erfolg der Biogasproduktion ist – mehr als bei anderen Verfahren der energetischen Biomasseverwertung – stark von dem Know How des Bedienungspersonals abhängig.

### 3.5.3.2 Wichtige Qualitätskriterien für die Biogas-Produktion

Das Biogaspotenzial eines bestimmten Substrats ist insbesondere vom Trockenmassegehalt (TM), der Zusammensetzung der organischen Substanz in der TM (C, H und O), den Nährstoffgehalten (N, P, K) und dem eventuellen Vorhandensein von organischen Schadstoffen abhängig (FNR 2006). Der Anteil energiereicher Fraktionen innerhalb der organischen Substanz beeinflusst den Methangehalt des produzierten Gases. Der Energiegehalt des Biogases variiert zwischen 5,5 und 7,0 kWh oder 19,8 und 25,2 MJ/m<sup>3</sup>, abhängig vom Substrat. Gaserträge von 200 m<sup>3</sup> (Rindergülle) bis 860 m<sup>3</sup> (Zuckerrübenblatt) je Tonne TM sind möglich (FNR 2006). Silage aus intensiver Saatgraslandwirtschaft ergibt ähnliche Biogaserträge wie Maissilage (450-700 m<sup>3</sup>/t TM). Grassilagen aus extensiver Grünlandwirtschaft erbringen deutlich geringere Gaserträge. Man kann davon ausgehen, dass der Anspruch einer Biogasanlage an das Ko-Ferment bei nasser Fermentation oder das Mono-Substrat bei Trockenfermentationsanlagen ähnlich ist wie der Anspruch einer Hochleistungsmilchkuh. Das Substrat für die Biogasanlage wird normalerweise zum optimalen Zeitpunkt bezüglich der Ertragshöhe und der Ertragsqualität (Kohlenhydrate) geerntet und im Fahrsilo siliert. Daher ist NMB als Koferment aufgrund der durch den späten Erntetermin und die Pflanzenartenzusammensetzung bedingten hohen Zellulose- und Ligningehalte nicht als Kosubstrat zu empfehlen.

Neue Forschungen zur Verwertung von weniger hochwertigen Biomassen für die Methanogenese (Linke 2009, persönliche Mitt.) beschäftigen sich auch mit der Verwertung von Stroh oder Landschaftspflegematerial mit Rohfasergehalten um 30 %, TM-Gehalten von > 70 % und Gülle als Basis. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Gaserträge zufriedenstellend sind und die Weiterentwicklung des Verfahrens vielversprechend. Es wird noch etwa ein Jahr brauchen, bis entsprechende technische Lösungen auf dem Markt angeboten werden.

### 3.5.4 BTL, Synfuels, Sunfuels (W. Wichtmann)

NMB kann auch als Rohstoff für die Produktion von "Synfuels" oder "Sunfuels" verwendet werden. Hierbei werden organische Stoffe über mehrere Prozess-Schritte großtechnisch in flüssige Energieträger umgewandelt ('biomass to liquid', BTL). Ein Zwischenprodukt ist Holzkohle, die in kleineren Anlagen dezentral aus Biomasse hergestellt werden kann. Dies hat den Vorteil, dass das Material damit aufkonzentriert wird und Transportkosten reduziert werden. Die wichtigsten Qualitätsparameter sind hohe Gehalte an organischer Substanz und geringe Feuchtigkeit der Biomasse (< 15 %) (Choren AG, pers. Mitteilung). Bisher existieren für die Produktion von Sunfuels nur Pilotanlagen. Eine großtechnische Anlage ist bei Schwedt in Brandenburg im Bau. Experimentell wurden auch 'Containerlösungen' für den Einsatz auf dem landwirtschaftlichen Betrieb untersucht, die den Eigenverbrauch an Diesel für den Betrieb decken sollen. Aktuell sind diese Anlagen aber noch nicht verfügbar. Aufgrund der niedrigen Qualitätsansprüche an die einzusetzende Biomasse ist die Produktion von Sunfuels aus NMB mittelfristig vielversprechend.

### **3.5.5 Potenzialanalyse: Quantitative Versorgung mit alternativen Energieträgern und Flächenausstattung in der Region (I. Beil, W. Wichtmann, T. Timmermann)**

#### **3.5.5.1 Flächenauswahl und Datengrundlage**

##### **Standortwahl**

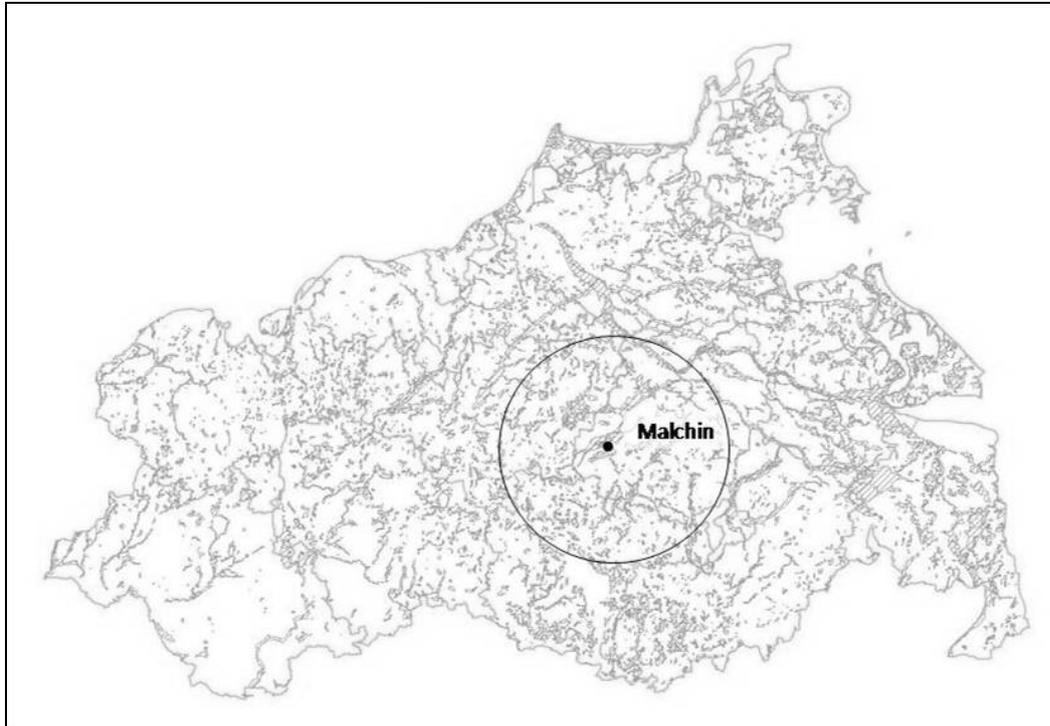
Für die Ermittlung des ‚naturräumlichen‘ sowie ‚realistischen‘ Flächenpotenzials für die Bewirtschaftung wiedervernässter bzw. nasser Moore und des entsprechenden Biomassepotenzials wurde eine geeignete Beispielregion in Mecklenburg-Vorpommern gesucht. Der Standort Friedland hatte sich im Zuge des Projektes hinsichtlich einer thermischen Verwertung von Niedermoorbiomasse als unsicher erwiesen. Zum einen konnte der zweite Verbrennungsversuch im dortigen Kraftwerk der GMK bis zum Redaktionsschluss des vorliegenden Berichtes nicht durchgeführt werden. Zum anderen wurde die Nahwärmeversorgung Friedlands 2008 durch eine neu gebaute Biogasanlage übernommen (Siebels 2008).

Demgegenüber kristallisierte sich Malchin (M-V) als attraktiverer Standort für ein dezentrales, mit Niedermoorbiomasse betriebenes Heiz(kraft)werk heraus. Die Stadt Malchin hat sowohl Interesse an der Abnahme von Nahwärme für Wohnzwecke (Winter) bzw. zur Schwimmbadbeheizung (Sommer), als auch den Bedarf der Fortführung der Pflege stadteigener Flächen zur Offenhaltung der touristisch attraktiven Landschaft am Kummerower See. Zudem sucht der ENIM-Projektpartner Landwirtschaftsbetrieb Voigt, ansässig 10 km nördlich von Malchin am Kummerower See, nach alternativen Verwertungsmöglichkeiten für seine Niedermoorbiomasse. Er kann sich sowohl die Brennstoffversorgung als auch den Betrieb eines Heiz(kraft)werkes in Malchin vorstellen. Vor diesem Hintergrund wurde die Potenzialanalyse zur Flächenausstattung und Versorgung mit halmgutartiger Biomasse nicht wie geplant für die Region Friedland, sondern für die Stadt Malchin durchgeführt. Als Einzugsgebiet wurde ein Umkreis mit einem Radius von 30 Kilometern um die Stadt gewählt, um bei einer späteren Umsetzung des Projektes die Kosten für den Transport der Biomasse im Rahmen zu halten. Die Untersuchung soll die potenziellen Flächen für die Biomasse-Berntung auf nassen bzw. wieder zu vernässenden Moorflächen darstellen und realistisch erreichbare Biomassepotenziale ermitteln. Die Beispielregion schließt die Moorflächen nördlich von Teterow, am Kummerower See sowie entlang der Trebel von Wasdow bis Demmin ein.

##### **Datengrundlage**

Die Ermittlung der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Moorflächen, ihrer Biotop- bzw. Nutzungstypen sowie die Abschätzung der für eine nasse Bewirtschaftung verfügbaren Flächen erfolgte auf der Basis digitaler Kartengrundlagen mit Hilfe von ArcView GIS 3.2. Über das LINFOS M-V (**L**andschafts**i**nformationssystem **M**ecklenburg-**V**orpommern) stellt das LUNG (Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie) eine umfangreiche, flächendeckende Sammlung von Geodaten für M-V bereit. Für die vorliegende Untersuchung wurden zwei Geofachdatenbestände herangezogen: Die Moorübersichtskartierung sowie die Biotop- und Nutzungstypenkartierung. Beide Datenbestände sind nicht sehr aktuell (1995 und 1993) und insbesondere die Moorübersichtskartierung besitzt nur mäßige Genauigkeit. Beide Datengrundlagen sind aber für ganz M-V verfügbar und für eine flächendeckende Potenzialanalyse zum Schilfanbau die derzeit genauesten Erhebungen. Kartierungen der Feuchte- und Trophiestufen oder eine genaue Höhen- oder Grundwasserkarte standen nicht zur Verfügung.

Die Moorübersichtskartierung (moor\_uek) wurde als Übersichtserfassung im Jahr 1995 durchgeführt und im Maßstab 1:50.000 kartographisch bearbeitet. Sie beinhaltet Aussagen zum hydrologischen Moortyp, zur Torfmächtigkeit und zum Zersetzungsgrad der Torfe. Leider fehlen die Angaben zum Zersetzungsgrad der Torfe oft, so dass diese Informationen nicht ausgewertet werden konnten. In der vorliegenden Arbeit wurde die Moorübersichtskartierung verwendet, um die Lage und Größe der Moorflächen abzubilden.



**Abbildung 3.5-3: Verteilung der Moorflächen in Mecklenburg-Vorpommern**

Die Biotop- und Nutzungstypenkartierung (BNTK) wurde 1991 bis 1999 durch das LUNG durchgeführt. Grundlage waren Color-Infrarot-Luftbilder (CIR-Luftbilder) aus einer landesweiten Befliegung 1991. Der Maßstab beträgt 1:10.000. Somit steht ein sehr umfangreicher, flächenscharfer, wenn auch nicht sehr aktueller, Datenbestand zur Verfügung, der die getrennte Betrachtung der einzelnen Biotop- und Nutzungstypen ermöglicht.

#### **Analyse der Moorflächen im Untersuchungsgebiet**

Im Untersuchungsgebiet befinden sich gemäß der Moorübersichtskartierung rund 37.000 ha Moorflächen, die ca. 13 % der Gesamtfläche einnehmen. Das entspricht ungefähr dem Landesdurchschnitt von 12,7 % Moorflächen bezogen auf das gesamte Bundesland Mecklenburg-Vorpommern (SUCCOW & JOOSTEN 2001). Tabelle 3.5-1 zeigt die Flächenanteile der Moore im Untersuchungsgebiet hinsichtlich ihrer hydrologischen Typen. Die Durchströmungsmoore erstrecken sich vor allem entlang der Flüsse (Peene, Trebel, Tollense). Auffällig ist der überproportionale Anteil der Verlandungsmoore, die sich besonders im Südwesten im Uferbereich der dortigen zahlreichen Seen befinden. Kesselmoore und Quellmoore sind für die Bewirtschaftung nicht geeignet. Sie wurden bei der weiteren Betrachtung nicht berücksichtigt.

**Tabelle 3.5-1: Flächenanteile der hydrologischen Moortypen im Untersuchungsgebiet**

(nach: Moorübersichtskartierung moor\_uek.shp)

Hydrologischer Moortyp	Fläche in ha
Durchströmungsmoor	18.840
Flusstalmoor	442
Kesselmoor	401
Quellmoor	131
Versumpfungsmoor	4.685
Verlandungsmoor	12.287
Kalk-Flachmoor	86
Keine Angabe	174
<b>Summe</b>	<b>37.046</b>

Die Biotop- und Nutzungstypen innerhalb der Moorflächen sind in Tabelle 3.5-2 dargestellt. Die Codierung der BNTK wurde zur Erläuterung angegeben (zur Nomenklatur der Biotop- und Nutzungstypen siehe Lippert 1993).

**Tabelle 3.5-2: Biotop- und Nutzungstypen der Moorflächen**

Biotop- und Nutzungstypen	Fläche in ha
B Wald, Gehölze	8.503
L1 Grünland	19.670
L2 Acker und Ackerbrachen, Erwerbsgartenbau	4.726
R Abgrabung und Aufschüttung	43
S Siedlungs- und Infrastrukturflächen, Landschaftsbauten	807
T Trockenbiotope Trocken- und /Magerrasen, Felsflur	17
W1 Fließgewässer und deren Uferbereiche	553
W2 Kleingewässer und deren Uferbereiche	308
W3 Seen und deren Uferbereiche	892
W4 Moore und Sümpfe	1.523
W7 Küstenbiotope (hier Strand)	2
X0 kein Code	3

Alle Biotop- und Nutzungstypen von Mooren, die offensichtlich nicht als Anbau- bzw. Ernteflächen für Schilf, Rohrglanzgras oder Großseggen in Frage kommen, werden im Folgenden nicht weiter betrachtet. Das sind Gehölze (B), Siedlungs- und Infrastrukturflächen (S), Abgrabungs- und Aufschüttungsflächen (R), Trockenbiotope (T), Küstenbiotope (W7) sowie unbekannte Typen (X0). Offene Wasserflächen, zu erkennen an der Kartierung als Biototyp W10, W20 und W30 ohne weitere Merkmale oder mit dem Merkmal Sg (Schwimmblattdecke), W1 (Wasserlinsen) und Uv (Unterwasservegetation), wurden ebenfalls ausgeschlossen. Die Typen W in Verbindung mit entsprechenden vegetationskundlichen Standort- oder Nutzungsmerkmalen kennzeichnen bis auf die genannten Ausnahmen Uferbereiche. Ebenfalls ausgeschlossen wurden Hoch- und Übergangsmoore (W42) sowie Erwerbsgartenbauflächen, Baumschulen und Obstbauflächen (L22, L23, L24). Als Ergebnis verbleiben Flächen im Umfang von ca. 27.000 ha, auf denen theoretisch die Produktion von Niedermoorbiomasse (Schilf / Rohrglanzgras / Großseggen) unter nassen Bedingungen möglich wäre (vgl. Tabelle 3.5-3). Hierzu zählen insbesondere Frisch- und Feuchtwiesen, Ackerflächen und als Niedermooore kartierte Flächen.

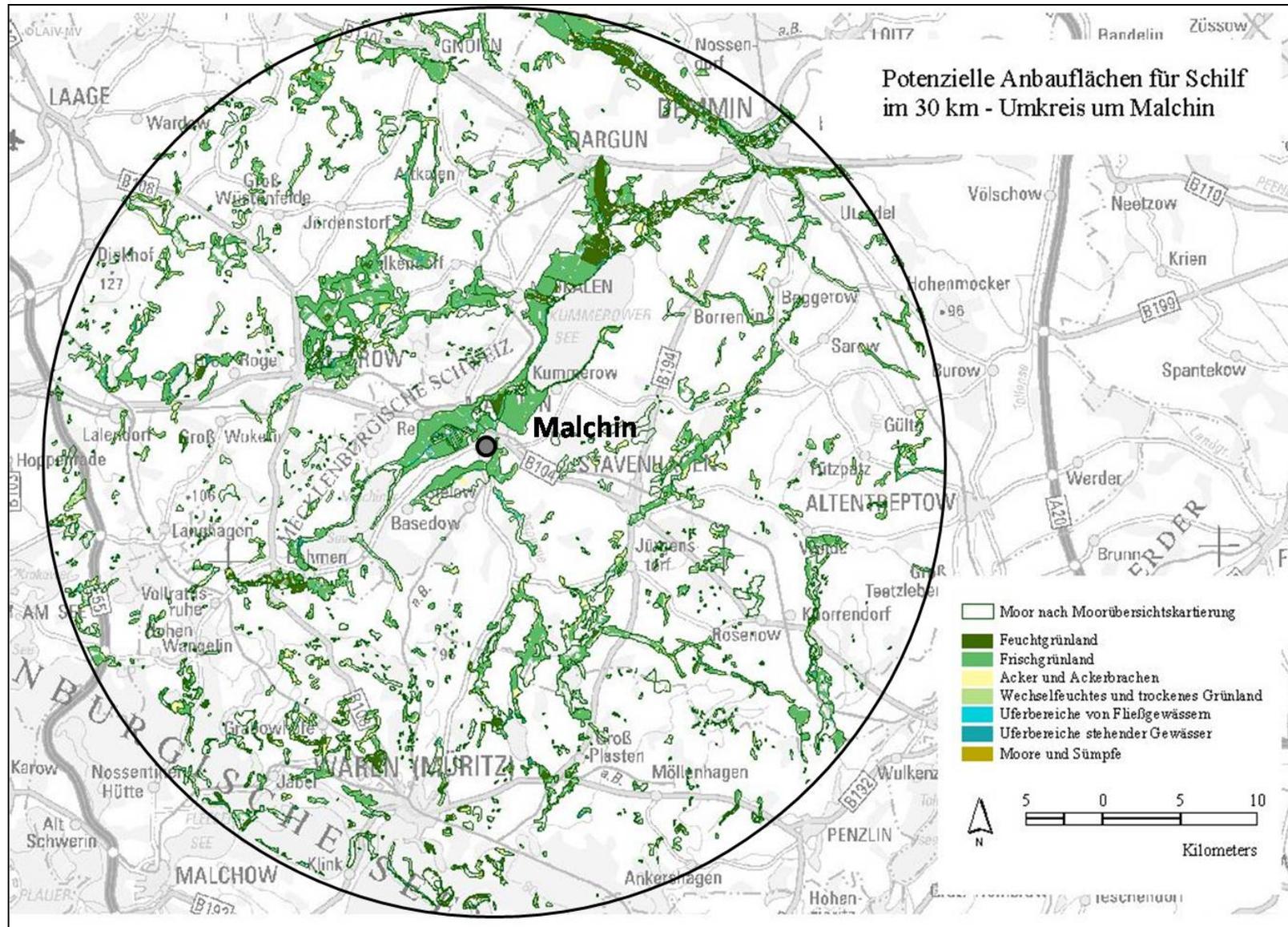


Abbildung 3.5-4: Karte der potenziellen Anbauflächen um Malchin

**Tabelle 3.5-3: Theoretisches Flächenpotenzial für eine nasse Bewirtschaftung**

<b>Biotop- und Nutzungstyp</b>		<b>Fläche in ha</b>
L11	Feuchtwiese, auch aufgelassene	4.073
L12	Frischwiese, auch aufgelassene	15.078
L13, L14	wechselfeuchtes und trockenes Grünland	311
L21	Acker und Ackerbrachen	4.528
W1	Randbereiche von Fließgewässern	304
W2, W3	Randbereiche stehender Kleingewässer und Seen	857
W41	Niedermoor	1.436
W41	Sümpfe	17
<b>Gesamtfläche</b>		<b>26.876</b>

Die Schutzgebiete und geschützten Biotope wurden nicht in die Betrachtung mit einbezogen. Es ist davon auszugehen, dass die Nutzung der Flächen im Einzelfall im Einvernehmen zwischen Landnutzer und Behörden im Sinne einer naturverträglichen Nutzung zu klären ist. Es ist denkbar, dass auf der einen Fläche der Schutz bestimmter Vogelarten fokussiert wird, was die Schilfmahd ausschließt, wogegen auf anderen ebenfalls geschützten Flächen die Mahd von Naturschutzseite her erwünscht ist, um eine (weitere) Verbuschung zu verhindern.

Zu beachten ist weiterhin, dass für die Betrachtung nur die Flächen herangezogen worden sind, die in der Moorübersichtskartierung als Moorflächen kartiert wurden. Sehr wahrscheinlich stehen im Untersuchungsgebiet weitere feuchte bis nasse Standorte zur Verfügung, die sich zur Beerntung von Biomasse zur Energiegewinnung eignen und für die andere Nutzungsmöglichkeiten nur mit Einschränkungen möglich sind (feuchte bis nasse Standorte mit Aufwuchs mit zu schlechten Futterqualitäten, natürliche Röhrichte auf Mineralboden).

Die nach Biotop- und Nutzungstypen unterschiedenen Moorflächen, die im Umkreis von Malchin für eine nasse Bewirtschaftung theoretisch in Frage kämen, sind in Abbildung 3.5-4 dargestellt. Der tatsächlich wiedervernässbare und nutzbare Anteil wird jedoch zum einen durch allgemeine Rahmenbedingungen (vgl. Abschnitt 3.5.5.2) und zum anderen durch die biotoptypenspezifische Eignung (vgl. Abschnitt 3.5.5.3) beschränkt.

### **3.5.5.2 Generelle Einschränkungen für den Schilfanbau**

Das theoretische Nutzungspotenzial für Niedermoore durch die Bewirtschaftung von Rieden und Röhrichten zur Gewinnung von Biomasse zur energetischen Verwertung wird durch verschiedene Rahmenbedingungen eingeschränkt (Reihenfolge bedeutet keine Priorisierung):

- **Landschaftsbild und Eigenart:** Der Charakter der Landschaft soll gewahrt bleiben. Offene Feuchtwiesen sollten ein Mosaik mit nassen Rieden, Röhrichten und Erlenflächen bilden.
- **Naturschutzziele:** Wertvolle Feuchtwiesen sind zu erhalten und durch Auslassung von Teilflächen (x %) sollte die Entwicklung von Altschilf als potenzielles Habitat für verschiedene Vogelarten ermöglicht werden.
- **Flächenverfügbarkeit:** Die persönlichen Interessen der Nutzer, Eigentümer und Anlieger sind zu beachten. Die individuelle Ausrichtung der in den Mooren wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betriebe kann kurzfristig, z. B. auf Grund getätigter Investitionen in der Milchviehhaltung, nicht verändert werden. Vernässungen können nicht partiell erfolgen, sondern betreffen größere Gebiete. Sind einzelne Flächen nicht verfügbar, können die jeweiligen Eigentümer bzw. Nutzer ggf. über

das Angebot des Flächentauschs gewonnen werden.

- Wiedervernässbarkeit: Neben fehlender Bereitschaft der Eigentümer und Nutzer kann eine Wiedervernässung auch auf Grund der hydrologischen Gegebenheiten nicht möglich sein, so dass z. B. trockenere Bereiche ggfs. nicht vollständig wiedervernässt werden können.
- Wasserregime: Von den derzeit feuchteren Bereichen entwickelt sich nach der Wiedervernässung ein Teil zu Flachwasserseen, die für die Entwicklung von Röhrichten und Rieden zu hoch überstaut sind.
- Flächengröße: Kleine und isolierte Flächen, insbesondere bei größerer Entfernung vom Heizwerkstandort, sind für eine wirtschaftliche Ernte unattraktiv.

Abgeleitet von den hier angegebenen Einschränkungen und nach Einholung von Expertenmeinungen werden nachfolgend entsprechende prozentuale Abschläge für die einzelnen Biotop- und Nutzungstypen vorgenommen.

### 3.5.5.3 Betrachtung der Eignung der einzelnen Biotop- und Nutzungstypen

#### Feuchtwiesen

Die als Feuchtwiesen eingeordneten Flächen sind für die Nutzung als Schilfanbauflächen oder – sukzessionsflächen prädestiniert, zumal sie oft kein befriedigendes Tierfutter liefern und darum zum großen Teil bereits brach gefallen sind (1991 waren 547 ha aufgelassen, das sind gut 13 % der Feuchtwiesen). Hier ist seitens der Naturschutzverwaltung zu entscheiden, inwieweit eine mäßige Vernässung eine Entwicklung artenreicherer Feuchtwiesen oder eine starke Vernässung mit einer Entwicklung von Röhrichten und Rieden Ziel der Entwicklung sein soll. Bei der Pflegenutzung artenreicher Feuchtwiesen fällt ebenfalls Biomasse an, die energetisch genutzt werden kann. Allerdings sind die zu erwartenden Erträge deutlich geringer (1-2 t TM/ha\*a). Einige dieser Bereiche haben sich von selbst zu Röhrichten entwickelt (bereits 1991 waren es über 5 %, heute dürfte der Anteil deutlich höher liegen) oder sind mehr oder weniger stark verbuscht (s. u.). Solche verbuschten Flächen könnten nur im Rahmen einer „Erstinstandsetzung“ in ein Biomassebeerntungskonzept aufgenommen werden. Natürlich vorkommende Röhrichte sind für die Schilfnutzung gut geeignet; hier ist jedoch eine enge Absprache mit dem Naturschutz im Rahmen der Rohrmahdrichlinie erforderlich. Unter Beachtung dieser und der oben genannten generellen Einschränkungen nehmen wir für die folgenden Berechnungen an, dass bis zu 40 % der Flächen zur Schilf-, Rohrglanzgras- oder Seggenbeerntung für energetische Zwecke genutzt werden können.

#### Frischwiesen

Diese Flächen nehmen den größten Teil der Moorflächen des Untersuchungsgebietes ein. Sie sind unter entsprechenden ökonomischen Rahmenbedingungen nach Wiedervernässung gut geeignet für den Schilfanbau und bringen hier gute Erträge. Sicherlich werden noch große Teile im Rahmen von Bewirtschaftungskonzepten konventioneller Landwirtschaft langfristig weiter bewirtschaftet (Milchviehbetriebe, Mutterkuhbetriebe). Für die vorliegende Analyse wird angenommen, dass etwa auf 30 % der Flächen Schilf angebaut oder sich natürlich entwickelnde Schilfröhrichte, Rohrglanzgrasröhrichte und Seggenriede beerntet werden können. Dort, wo bereits eine moderate Wiedervernässung erfolgt ist, sind die Flächen wahrscheinlich mittlerweile als Feuchtwiesen anzusprechen. Herr Voigt bestätigt, dass die Flächen am Kummerower See für den Anbau von Schilf durchaus sehr interessant sind (hier bereits wiedervernässt). Auch bei den aufgelassenen Frischwiesen hat sich ein Teil in Röhrichte

entwickelt oder ist mit Weidengebüschen durchsetzt. Da die Frischwiesen aber in wesentlich geringerem Maße aufgelassen wurden als die Feuchtwiesen, betrifft diese Entwicklung deutlich weniger Flächen.

### **Wechselfeuchtes und trockenes Grünland**

Wechselfeuchte und trockene Grünlandbereiche sind höher gelegen und darum aufgrund ihrer Lage zu einem gewissen Teil vermutlich nicht wiedervernässbar. Wir nehmen an, dass etwa 20 % für den Schilfanbau geeignet sind.

### **Acker und Ackerbrachen**

1991 waren 179 ha aufgelassen, was einem Anteil von 3,8 % der Ackerfläche auf Moorstandorten entspricht. Es ist davon auszugehen, dass die Flächen bei Wiedervernässung sehr ertragreiche Standorte für den Schilfanbau darstellen können. Aufgrund des allgemeinen Verbotes des Umbruchs von Niedermoorgrünland sowie der nur schwierigen Bewirtschaftbarkeit wäre es grundsätzlich angezeigt, diese zu vernässen und die sich dann entwickelnden Röhrichte energetisch zu nutzen. Trotzdem ist mittelfristig voraussichtlich nur von einem „Vernässungspotenzial“ von 10 % auszugehen.

### **Randbereiche von Fließgewässern**

Hierbei handelt es sich um mehr oder weniger linienförmige Strukturen, die mit uferbegleitenden Gehölzen und Röhrichten bestanden sind, wobei die Gehölze vorherrschen. Der überwiegende Teil dieser Flächen ist zu kleinflächig für eine Nutzung. Nach BNT-Kartieranleitung gibt es keine Angaben, bis zu welcher Breite eine Fläche als uferbegleitende Fläche kartiert wird. Es ist also möglich, dass sich unter dieser Kategorie Flächen befinden, die durchaus nutzbar sind. Auch hier wird es sich im Normalfall um natürliche Röhrichte handeln, die der Schilfmahdrichlinie unterliegen und für die eine Nutzungsabstimmung mit dem Naturschutz erforderlich ist. Dementsprechend wird angenommen, dass 10 % für eine regelmäßige Bewirtschaftung zur Verfügung stehen.

### **Randbereiche stehender Gewässer**

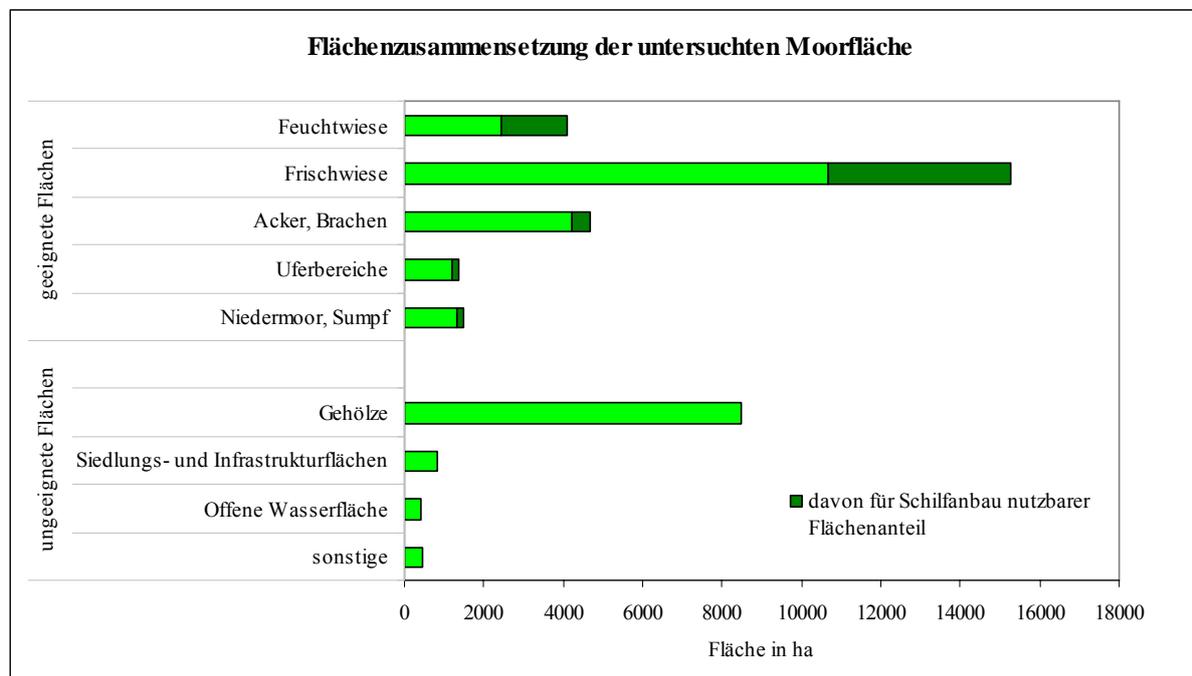
Diese Uferbereiche werden ebenfalls durch Gehölze und Röhrichte geprägt, die größtenteils kleinflächig sind, aber nicht immer klein strukturiert sein müssen. Es handelt sich, wie auch bei den Randbereichen der Fließgewässer um geschützte Biotope. Unter der Annahme, dass einvernehmliche Einigungen zwischen Landnutzern und Naturschutz gefunden werden, kann davon ausgegangen werden, dass auch hier ca. 10 % der Flächen genutzt werden können, insbesondere jene, die an weitere Schilfanbauflächen grenzen.

### **Niedermoor und Sümpfe**

Mit Sümpfen sind gemäß der BNT-Kartieranleitung nasse Standorte ohne oder mit geringer Torfauflage gemeint. Sie werden hier mit den Niedermooren zusammengefasst. Die Vegetation wird vor allem aus Gehölzen, Röhrichten und Rieden gebildet. Es handelt sich größtenteils um geschützte Biotope. Eine gemäßigte Nutzung des Röhricht- und Riedaufwuchses in Absprache mit dem Naturschutz ist auf einem geringen Teil der Fläche vorstellbar (10 %).

Bei weiterer Vernässung des Gebietes auf trockeneren Flächen (insbesondere Feuchtwiesen) zum Zweck des Schilfanbaus bzw. der Beerntung sich natürlicherweise entwickelnder Röhrichte und Riede gehen entsprechende, heute auf den bereits nasserer Flächen bestehenden Bestände möglicherweise infolge zu hoher Wasserstände zurück. Auch auf stark degradierten Polderflächen, die laut BNT

ebenfalls als Feuchtwiese oder Frischwiese eingestuft sind, wären größere Flächenanteile betroffen. In Abhängigkeit von der Moorsackung, d. h. der Mineralisierung und Setzung der Standorte, werden sich nach Wiedervernässung z. T. tiefe Wasserstände einstellen. Langfristig tief überstaute Flächen werden frei von Röhrichtvegetation sein.



**Abbildung 3.5-5: Eignung von Moorflächen für eine nasse Bewirtschaftung um Malchin (30 km)**  
(eigene Berechnungen nach moor\_uek und BNTK)

### Verbuschung

Auf längerfristig brachgefallenen Moorflächen siedeln sich mit der Zeit Gehölze an, in den Niedermooren vor allem Weidenarten (*Salix cinerea*, *S. alba* u. a.). Die Codierungen der Biotop- und Luftbildkartierung machen keine Angaben über den Grad der Verbuschung. Es ist nicht zu entnehmen, ob auf den Flächen einzelne Büsche stehen oder ob es sich um großflächige Gebüsch handelt (vgl. Tabelle 3.5-4). Das vegetationskundliche Merkmal für Verbuschung (Vb) wird ab einer Deckung der Gehölze von 10 % vergeben, die obere Grenze ist nicht angegeben (Lippert 1993). Vor Beginn einer regelmäßigen Bewirtschaftung kann eine Erstinstandsetzung durch Entbuschung nötig (und möglich) sein. Einige Flächen haben sich evtl. seit der Kartierung durch stärkeren spontanen Aufwuchs von Sträuchern zu Gebüsch entwickelt, die als Feldgehölze gesetzlich geschützt sind.

**Tabelle 3.5-4: Prozentuale Verbuschung der einzelnen Biotop- und Nutzungstypen**

Biotop- und Nutzungstyp	Verbuschungsgrad (%)
Feuchtwiese	7,56
Frischwiese	1,66
Acker und Ackerbrachen	0,36
Randbereiche von Fließgewässern	59,47
Randbereiche stehender Gewässer	59,63
Niedermoor	76,96
Sümpfe	88,89

Tabelle 3.5-5 gibt einen Überblick über die für die einzelnen Biotoptypen getroffenen Annahmen sowie die Summe der verfügbaren Flächen im Untersuchungsgebiet. Es ergibt sich eine Erntefläche von knapp 7.000 ha für die Bewirtschaftung von Röhrichten und Rieden.

**Tabelle 3.5-5: Biotoptypen für eine nasse Bewirtschaftung im Umkreis von Malchin (30 km)**

<b>Biotoptyp</b>	<b>Flächenpotenzial (ha)</b>	<b>Eignungsfläche (%)</b>	<b>Eignungsfläche (ha)</b>
Feuchtwiese	4.073	40	1.629
Frischwiese	15.078	30	4.523
wechselfeuchtes und trockenes Grünland	311	20	62
Acker und Ackerbrachen	4.528	10	453
Randbereiche von Fließgewässern	304	10	30
Randbereiche stehender Kleingewässer und Seen	857	10	86
Niedermoor und Sümpfe	1.436	10	144
Sümpfe	17	10	2
<b>Gesamtfläche</b>	<b>26.604</b>		<b>6.929</b>

#### **Abschätzung der Ungenauigkeiten der Datengrundlage**

Die Biotop- und Nutzungstypenkartierung stellt den Zustand von 1991 dar. Zum Beispiel kann davon ausgegangen werden, dass die Wasserstände nach beginnender Wiedervernässung der Moorflächen am Kummerower See bereits angestiegen sind. Ebenso wird der Anteil an verbuschten Flächen seit der Kartierung angestiegen sein. Dennoch können mit hinreichender Genauigkeit Grünland, Acker und Moorflächen bestimmt und berechnet werden.

Aus der BNTK ist gut zu entnehmen, welche Flächen zum Zeitpunkt der Kartierung in Nutzung waren und welche brachgefallen sind. Dieses aus ökonomischer Sicht sehr interessante Kriterium haben wir für die vorliegende Analyse jedoch nicht in Betracht gezogen, weil sich die Nutzung im Laufe der zurückliegenden Jahre stark geändert haben kann. Es ist davon auszugehen, dass im Zuge der Aussetzung der Stilllegungsverpflichtung seit 2008 der Anteil der Brachflächen zurückgegangen ist. Wie genau die Moorübersichtskartierung alle Moorflächen erfasst hat, ist nicht bekannt. Es ist aber anzunehmen, dass sich einige hier nicht erfasste Flächen ebenfalls für eine nasse Bewirtschaftung nach Wiedervernässung eignen können.

#### **3.5.5.4 Abschätzung der Feuchte- und Trophiestufen anhand der BNTK**

Die vorliegende Einschätzung basiert auf der Vegetations- und Standortgliederung des Vegetationsformenkonzepts (Koska et al. 2008). Grundprinzip des Verfahrens ist die empirisch abgesicherte Beziehung zwischen Gruppen von Pflanzenarten mit übereinstimmendem Zeigerwert und der gestuften Untergliederung der relevanten Standortfaktoren. In diesem Kapitel werden die Nährstoffversorgung (Trophiestufe) und die Feuchte (Wasserstufe) betrachtet.

Die Einschätzung der prozentualen Verteilung der Trophiestufen der einzelnen Biotop- und Nutzungstypen wird in Tabelle 3.5-6 vorgestellt. Gleichzeitig ist die Flächenverteilung dargestellt, die sich aus der Flächenpotentialabschätzung im vorherigen Abschnitt ergibt.

Tabelle 3.5-6: Trophiestufenverteilung ausgewählter Biotop- und Nutzungstypen

Biotop- und Nutzungstyp	Eignungsfläche (ha)	Trophiestufe					
		reich (bis polytroph)		kräftig		mesotroph	
		%	ha	%	ha	%	ha
Feuchtwiese	1629	40	652	40	652	20	326
Frischwiese	4523	70	3.166	20	905	10	452
wechself. und trockenes Grünland	62	60	37	30	19	10	6
Acker und Ackerbrachen	453	100	453	0	0	0	0
Randbereiche von Fließgewässern	0	100	0	0	0	0	0
Randbereiche stehender Gewässer	86	90	77	10	9	0	0
Niedermoor und Sümpfe	144	60	86	20	29	20	29
Sümpfe	2	80	2	10	0	10	0
<b>Gesamtfläche</b>	<b>6899</b>		<b>4473</b>		<b>1612</b>		<b>813</b>

Die Einschätzung der Feuchtestufen der einzelnen Strukturtypen (vgl. Spalte 2, Tabelle 3.5-7) erfolgt in Anlehnung an die Wasserstufengliederung in Succow & Joosten (2001). Bei Wiedervernässung ändern sich die Feuchtestufen wie folgt:

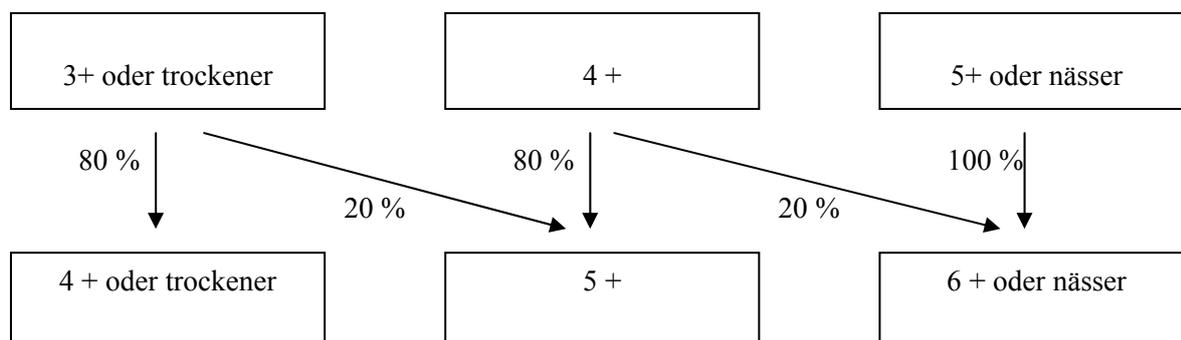


Abbildung 3.5-6: Szenario der Veränderungen der Feuchtestufen nach einer Wiedervernässung

Daraus ergeben sich für die einzelnen Biotop- und Nutzungstypen nach einer Wiedervernässung folgende Veränderungen hinsichtlich der Feuchtestufen:

**Tabelle 3.5-7: Veränderung der Wasserstufen der Biotop- und Nutzungstypen nach Vernässung**

Biotop- und Nutzungstyp		Wasserstufen	
		aktuell	nach moderater Vernässung
L11	Feuchtwiese	4+	80% → 5+ 20% → 6+
L12	Frischwiese	3+	80% → 4+ 20% → 5+
L13, L14	Wechselfeuchtes und trockenes Grünland	3+	80% → 4+ 20% → 5+
L21	Acker und Ackerbrachen	3+ bis 3-	80% → 4+ 20% → 5+
W1	Randbereiche von Fließgewässern	50% → 4+ 50% → 5+	10% → 4+ 50% → 5+ 40% → 6+
W2	Randbereiche stehender Gewässer	50% → 4+ 50% → 5+	10% → 4+ 50% → 5+ 40% → 6+
W41	Niedermoor	50% → 4+ 50% → 5+	10% → 4+ 50% → 5+ 40% → 6+
W43	Sümpfe	5+	6+

Auf diese Weise lässt sich die Qualität der angenommenen Anbau-/Ernteflächen hinsichtlich ihrer Wasserstufe nach einer Wiedervernässung wie folgt abschätzen.

**Tabelle 3.5-8: Wasserstufenverteilung ausgewählter Biotop- und Nutzungstypen**

Biotop- und Nutzungstyp	Eignungsfläche (ha)	Wasserstufe nach Wiedervernässung					
		4+		5+		6+	
		%	ha	%	ha	%	ha
Feuchtwiese	1629	0	0	80	1303	20	326
Frischwiese	4523	80	3619	20	905	0	0
wechselfeuchte und trockenes Grünland	62	80	50	20	12	0	0
Acker und Ackerbrachen	453	80	362	20	91	0	0
Randbereiche von Fließgewässern	0	10	0	50	0	40	0
Randbereiche stehender Gewässer	86	10	9	50	43	40	34
Niedermoor und Sümpfe	144	10	14	50	72	40	57
Sümpfe	2	0	0	0	0	100	2
<b>Gesamtfläche</b>	<b>6.899</b>	<b>4.054</b>		<b>2.426</b>		<b>419</b>	

Auf der Grundlage der angenommenen Eignungsfläche je ausgewähltem Biotop- und Nutzungstyp sowie der Einschätzung der jeweiligen Verteilung von Trophie- und Wasserstufen kann das Flächenpotenzial im 30 km-Umkreis von Malchin differenziert nach Standorttypen ermittelt werden (vgl. Tabelle 3.5-9). So sind mit knapp 3.000 ha bzw. 43 % die meisten Flächen in der höchsten Trophiestufe (reich bis polytroph) in Kombination mit der Wasserstufe 4+ einzuordnen.

**Tabelle 3.5-9: Flächenpotenzial (ha) differenziert nach Standorttypen**

Wasserstufe	Trophiestufe		
	eutroph-reich und polytroph	eutroph-künftig	mesotroph (nicht rentabel nutzbar)
4+	2.942	742	370
5+	1.334	725	367
6+	197	145	77

Anhand der in Kapitel 3.2.1 ermittelten Beziehung zwischen den mittleren Erträgen von Rohrglanzgras und Schilf (TM standing crop) und dem Standortstyp (charakterisiert durch Wasserstufe und Trophiestufe) (vgl. Tabelle 3.2-7) sowie der errechneten Flächenpotenziale (Tabelle 3.5-9), lassen sich für das Beispielgebiet um Malchin Ertragspotenziale ableiten.

Grundsätzlich lassen sich zwei Szenarien unterscheiden: (Szenario A) Ertragspotenziale gepflanzter Bestände sowie (Szenario B) Ertragspotenziale spontan aufgewachsener Bestände:

**Szenario A:** Können sämtliche verfügbare Flächen (realistisches Flächenpotenzial) unter optimalen Bedingungen bepflanzt werden, so lassen sich nach bisherigen Erfahrungen (Timmermann 1999) auf 95-100 % der Fläche innerhalb weniger Jahre Dominanzbestände entwickeln. Die übrigen maximal 5 % werden durch konkurrierende Arten, etwa Gräser ehemaliger Flutrasen und Mähwiesen oder Pionierarten wie Rohrkolben (v. a. *Typha latifolia*), Nickender Zweizahn (*Bidens cernua*) u. a. dominiert (Timmermann ebd.). Das Ertragspotenzial gepflanzter Bestände entspricht somit nahezu dem maximalen (theoretischen) Ertragspotenzial von 55.102 t (Tabelle 3.5-10).

**Szenario B:** Bei einer Spontanentwicklung (ohne künstliche Etablierung) entstehen innerhalb von hier angenommenen 10 Jahren ebenfalls Dominanzbestände von Schilf und Rohrglanzgras. In Abhängigkeit von der Ausgangsvegetation und dem Potenzial an einwandernden Pionierarten schwankt der Flächenanteil aber erheblich. Nach den bisherigen Erfahrungen (vgl. Timmermann et al. 2006a) besiedelt Schilf im Mittel nach 10 Jahren etwa 20-40 % (Mittel 30 %) der Flächen der Wasserstufen 5+ und 6+ und Rohrglanzgras etwa 40-60 % (Mittel 50 %) der Flächen der Wasserstufe 4+. Daraus ergibt sich für das Beispielgebiet um Malchin ein (realistisches) Ertragspotenzial für die beiden betrachteten Arten von 22.053 t TM (Tabelle 3.5-11). Bezieht man die Biomasse der Konkurrenzarten mit ein, liegt das Ertragspotenzial bei rund 30.000 t TM.

**Tabelle 3.5-10: Naturräumliches maximales Ertragspotenzial an Trockenmasse TM [t]**

für künstlich etablierte Bestände (Szenario A),  
differenziert nach Standorttypen (Trophie- und Wasserstufen), Erläuterungen s. Text,  
\* Für kräftige 6+ Standorte wurde die TM/ha mit 10 t angenommen

Wasserstufe	Dominanzart	Trophiestufe		Gesamt
		eutroph-reich und polytroph	eutroph-künftig	
4+	Rohrglanzgras	24.503	3.111	
5+	Schilf	15.150	7.471	
6+	Schilf	3.413	1.454*	
	<b>Summe</b>	<b>43.067</b>	<b>12.035</b>	<b>55.102</b>

**Tabelle 3.5-11: Realistisches Ertragspotenzial an Trockenmasse TM [t]**

für im Zuge spontaner Sukzession entstandener Bestände (Szenario B),  
differenziert nach Standorttypen (Trophie- und Wasserstufen), Erläuterungen s. Text.,  
\* Für kräftige 6+ Standorte wurde die TM/ha mit 10 t angenommen

Wasserstufe	Dominanzart	Trophiestufe		Gesamt
		eutroph-reich und polytroph	eutroph-kräftig	
4+	Rohrglanzgras	12.252	1.555	
5+	Schilf	4.545	2.241	
6+	Schilf	1.024	436 *	
	<b>Summe</b>	<b>17.821</b>	<b>4.233</b>	<b>22.053</b>

### 3.5.5.5 Perspektiven für das Untersuchungsgebiet

#### Erntepotenzial für Niedermoorbiomasse

Nach vorsichtigen Schätzungen besteht im Untersuchungsgebiet eine Eignungsfläche von 6.900 ha Niedermoorfläche, die wiedervernässt werden kann und zum Schilfanbau bzw. zur Beerntung von Röhrichten und Rieden zur Verfügung steht (vgl. Tabelle 3.5-5). Das tatsächliche, wirtschaftliche Erntepotenzial in Tonnen ist von verschiedenen, oben bereits erwähnten Parametern abhängig:

- tatsächlich geeignete Fläche (Unterschied zwischen Plan und Realität, etwa durch nicht gegebene optimale Vernässbarkeit)
- tatsächliche Erntbarkeit (Befahrbarkeit, Wetterbedingungen, Flächengröße, Transportwege)
- Nährstoffverfügbarkeit (Trophiestufe) und mittlerer Wasserstand (Wasserstufe)
- Artenzusammensetzung in Raum und Zeit (Sukzession)
- durchschnittliche Erträge pro Hektar
- konkurrierende Naturschutzinteressen (Vögel, Landschaftsbild)
- konkurrierende Nutzungsinteressen (z. B. Beweidung)

Geht man von den oben angenommenen rund 30.000 t TM Niedermoorbiomasse aus dem Einzugsgebiet aus, könnten entsprechende Heizkraftwerkskapazitäten im Einzugsgebiet von 30 km um Malchin aufgebaut werden.

#### Verfügbarkeit von Stroh als Brennstoff-Substitut

Zur Absicherung der Versorgung eines Heizkraftwerks kann als Substitut für die Niedermoorbiomasse Stroh aus der Getreideproduktion eingesetzt werden. Dies kann z. B. erforderlich werden, wenn keine günstigen Erntebedingungen im gesamten potenziellen Erntezeitraum (Herbst/Winter) zur Verfügung stehen. Für das Einzugsgebiet ist eine Gesamt-Ackerfläche von 148.195 Hektar festzustellen. Die mögliche Strohentnahme (theoretisches Potenzial) pro Hektar und Jahr liegt bei 5 bis 7 Tonnen (Conseur et al. 2006). Um die Humusbilanz der Ackerflächen nicht negativ zu beeinflussen, ist für Ackerbaubetriebe von einer durchschnittlichen potenziellen Strohverwertungsmenge von 1,8 t/ha\*a auszugehen (ebd.), was ein wirtschaftliches Potenzial von 227.000 t TM/Jahr ausmacht. Dies

entspricht der sieben- bis achtfachen Menge der erntbaren Niedermoorbiomasse. Das bedeutet, dass auch in einem schlechten Erntejahr für Niedermoorbiomasse eine sichere Versorgung des Heizkraftwerkes möglich ist. Die Biomasse aus wiedervernässten Niedermooren im Einzugsgebiet von Malchin stellt somit ein beachtenswertes Potenzial dar. Die Nutzung dieses Potenzials steht nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion. Sicherlich wäre es sinnvoll, die Verwertung der NMB immer im Zusammenhang mit der Verwertung des Getreidestrohs zu sehen und die Versorgung der Anlagen mit dem einen Rohstoff (Stroh) durch den anderen (NMB) abzusichern oder umgekehrt. Die vorliegende Studie zeigt, dass für beide Bereiche große, bisher ungenutzte Potenziale im Umkreis von Malchin vorhanden sind. Zu beachten ist, dass die Strohpotenziale meistens schon in landes- bzw. bundesweiten Potenzialanalysen einkalkuliert wurden, das Potenzial der Niedermoorbiomasse jedoch nicht. Somit ist das hier aufgeführte energetisch verwertbare Biomassepotenzial (NMB) als *zusätzliches* Potenzial zu betrachten.

### 3.6 Landwirtschaftliche Produktionskette - von der Fläche bis zum Kraftwerk

#### 3.6.1 Auswahl von Saatgut und Bereitstellung von Pflanzenmaterial (T. Timmermann)

Angeichts des sehr trockenen Sommers 2007 entwickelte das Schilf ungewöhnlich kleine Früchte, deren Fertilität stark in Frage stand. Deshalb wurden im Winter 2007 aus einer Vielzahl unterschiedlicher Schilfbestände rund 1.800 Rispen geerntet. Die Anzucht von Setzlingen erfolgte ab Anfang März 2007 durch Ausbringung in beheizten Keimschalen im beheizten Gewächshaus des Arboretums der Universität Greifswald. Es zeigte sich bald, dass die Sorge, eine geringe Fertilität läge vor, unbegründet war. Insgesamt wurden 16.500 Schilfpflanzen mit jeweils ca. 10 Halmen und einer maximalen Halmlänge (August) von ca. 60 -110 cm angezogen (vgl. Abbildung 3.6-1). Dabei wurden drei verschiedene Topf-Typen getestet: herkömmliche runde Kunststofftöpfe (Durchmesser 6-7 cm), Torftöpfe (Jiffy, Durchmesser 8 cm) sowie Multitopfpaletten (jeweils 24 quadratische Einzeltöpfe mit Kantenlänge von 8 cm).

Für die Bereitstellung von Pflanzmaterial sind folgende Arbeitsschritte zu unterscheiden:

- Aussaat: Sammeln der Rispen, Aus- und Nachsaat
- Anzucht: Pikieren, Topfen, Ausräumen, Wässern, Düngen
- Transport: Pflanzen verladen, abfahren, stutzen und rücken

Der im Rahmen des ENIM-Projektes seitens des Anzuchtbetriebes angegebene Zeitaufwand (vgl. ENIM-Zwischenbericht 2008) kann keine Grundlage für die in Kapitel 3.7.4 durchgeführte Kostenkalkulation darstellen, da es sich um eine sozial und nicht marktwirtschaftlich ausgerichtete Gärtnerei handelt. Für repräsentativere Angaben zu den Arbeitszeiten wurde daher im Weiteren auf Standarddaten aus der Literatur zurückgegriffen (KTBL 2009).



Schilf-Keimlinge in Keimschalen



Multitopf-Platten im Folienzelt



Topftypen im Freiland



Multitopf-Platten und Torf-Töpfe



Fertiges Pflanzgut

#### Abbildung 3.6-1: Dokumentation der Anzucht der Schilfpflanzen

(Fotos: Tiemo Timmermann, Wendelin Wichtmann)

### 3.6.2 Erprobung eines Pflanzverfahrens (T. Timmermann, T. Dahms)

Im Rahmen des Projektes wurde am 13.09.2007 eine Erprobung des vorgesehenen Pflanzverfahrens durchgeführt. Die für die Schilfpflanzung vorgesehene Niedermoorfläche (Feuchtestufe 5+/4+, vgl. Koska 2001) war auf Grund eines durchgehend extrem nassen Sommers nicht befahrbar und damit nicht für eine maschinelle Pflanzung geeignet. Es musste auf eine hinreichend trockene, befahrbare Moorfläche ausgewichen werden, um das Verfahren optimal testen zu können. Die Pflanzfläche, östlich von Neukalen gelegen, ist eine entwässerte, eutrophe Moorgrünlandfläche der Feuchtestufe 3+. Die Mächtigkeit der vererdeten, aber nicht vermüllten Torfe liegt im Mittel bei etwa 1 m. Da die Standortbedingungen für den Schilf-Anbau auf Grund zu geringer Wasserversorgung ungünstig waren, konnte nur das Verfahren jedoch nicht die weitere Bestandesentwicklung untersucht werden.

Für die Erprobung des Pflanzverfahrens wurden auf einer Fläche von 20 x 250 m 9 Reihen mit je 2 m Abstand angelegt und in unterschiedlichen Verfahren bepflanzt. Die Verfahren unterschieden sich im Pflanzabstand innerhalb der Reihen (0,5 bzw. 1 m), in der Art der Töpfe, in denen das Pflanzgut angeliefert wurde (24er Multitopfpaletten, 8er Torftöpfe oder 7er Plastiktöpfe), und darin, ob eine Vorbereitung durch einen Streifenpflug stattfand oder nicht. Im Rahmen der Flächenvorbereitung mit dem Pflug wurde die Grünlandnarbe mit einem einscharigen Schälppflug so bearbeitet, dass dieser bei der Hin- und Rückfahrt die abgeschälte Narbe zur Mitte hin ablegt, wodurch ein kleiner Damm entsteht. In dem abgeschälten, tiefer liegenden Bereich wurden die Schilfpflanzen gepflanzt. Die Pflanzung erfolgte mithilfe einer modifizierten Forstpflanzmaschine, von der aus die Topfballen durch zwei Arbeitskräfte in die mittels Schneidsech geformte Furche gesetzt wurden. Das Pflanzgut wurde von der Maschine durch zwei Walzen und ggf. durch eine weitere Arbeitskraft peduell angedrückt. Die für die einzelnen Arbeitsvorgänge benötigte Zeit ist im Anhang (Tabelle 7.4-5) dokumentiert. Die Kosten des erprobten Anbauverfahrens werden in Kapitel 3.7 dargestellt.

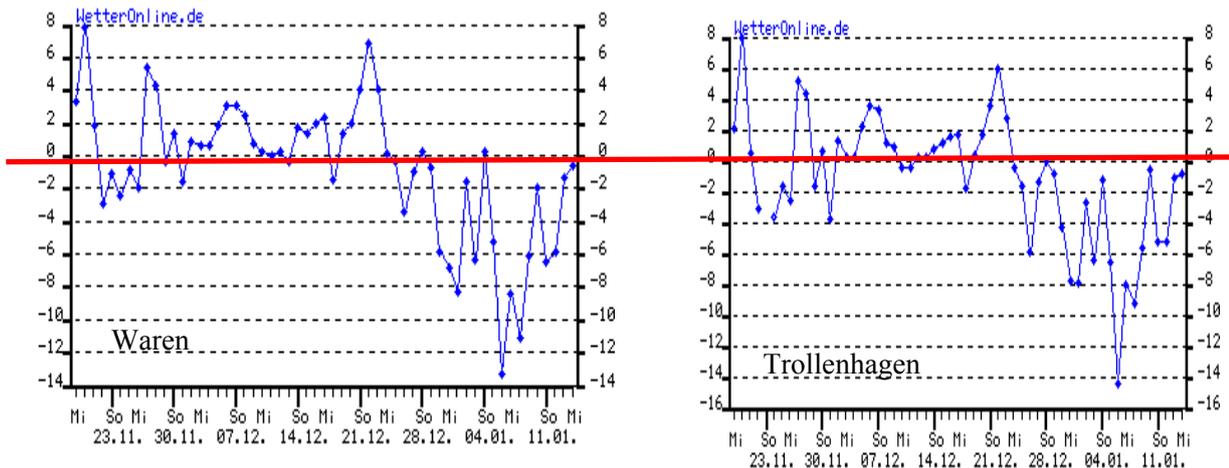


**Abbildung 3.6-2: Schilfpflanzung mit einer einreihigen Forstpflanzmaschine**

(Fotos: Tiemo Timmermann)

### 3.6.3 Erprobung der Winterernte von Schilf mit herkömmlicher Landtechnik (S. Wichmann)

Bei ausreichend tief gefrorenem Boden ist auch die Beerntung von Flächen mit hohen Grundwasserständen (Schilfbestände) möglich. Am 14.01.2009 erfolgte auf einer Fläche südlich Neukalen eine Probeernte bei flurnahen Grundwasserständen. Der Boden war nach mehr als zweiwöchigem Frost (vgl. Abbildung 3.6-3) 8 – 10 cm gefroren, so dass für die vorhandene, angepasste Technik eine Befahrung möglich war (vgl. auch Abschnitt 3.1.2).



**Abbildung 3.6-3: Nächtliche Tiefsttemperatur [°C] vom 19.11.2008-14.01.2009 (wetteronline.de)**

Auf der Fläche war ein Schlepper (Claas) mit Scheibenmähwerk Kuhn GMD 700 im Heckanbau und Frontlader im Einsatz. Die Schnittbreite betrug 2,85 m. Ein zweiter Schlepper war mit einer Krone-Rundballenpresse (Tandemachse, Breitreifen) und Frontlader ausgestattet (vgl. Abbildung 3.6-4). Das Rotationsschneidwerk der Presse häckselte die Schilfhalme vor dem Pressen auf eine Länge von ca. 9 cm. Ein dritter Schlepper mit Hänger zum Abfahren der Ballen und zur ggf. erforderlichen Bergung bei Festfahren wartete am Feldrand. Beim Verlassen der Fläche wurden je zwei Ballen von einem Schlepper zum Feldrand transportiert und dort auf den Hänger geladen. Die Arbeitsgänge von Wenden/Schwaden, inkl. der Wegezeiten, werden gegenüber der Heuernte durch den hohen TM-Gehalt des Winterschilfs eingespart. Demgegenüber steht eine etwas längere Mahddauer, weil sich Schilf schwerer mähen lässt als Grünland.



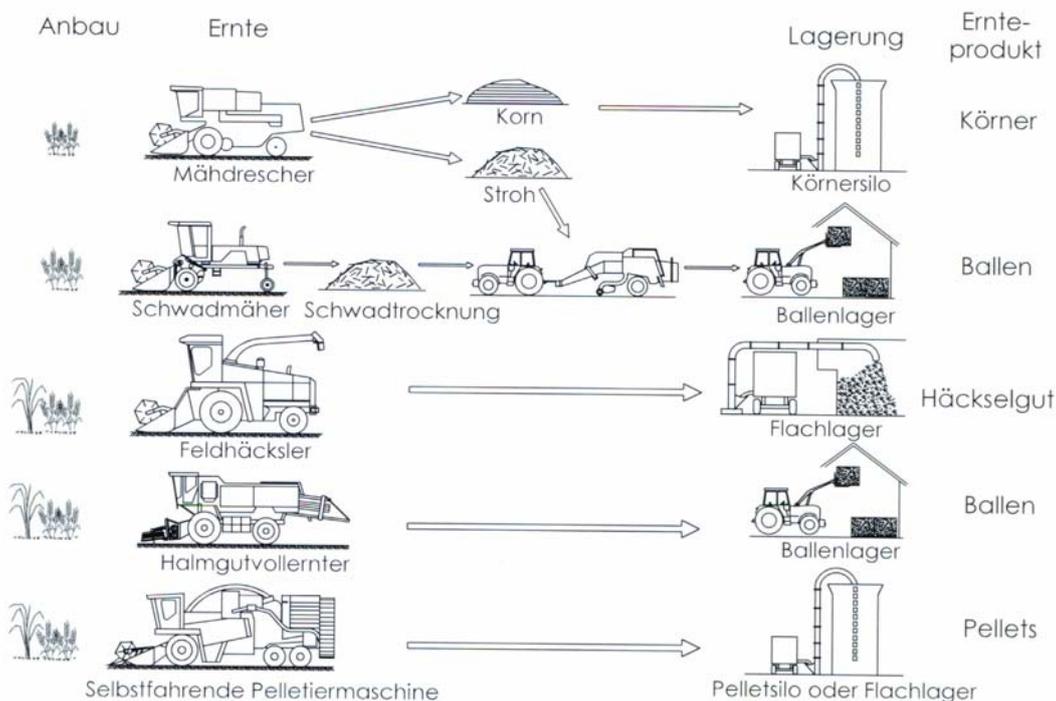
**Abbildung 3.6-4: Probeernte von Schilf mit Mähwerk und Ballenpresse (14.01.2009)**

(Fotos: Wendelin Wichmann, Sabine Wichmann)

### 3.6.4 Ernte, Transport und Lagerung (S. Wichmann)

#### 3.6.4.1 Ernte

Die Mahd von Rohrglanzgrasbeständen kann mit Rotationsmähwerken oder Balkenmähwerken erfolgen. Für die Wintermahd von Schilf sind neben diesen Grünlandmähwerken ebenso Mähdrescherschneidwerke und Feldhäcksler einsetzbar (vgl. Kapitel 3.1.2). Mögliche Ernteverfahren für halmgutartige Energieträger werden in Abbildung 3.6-5 vorgestellt. Eine Ablage des Mähguts auf der Fläche im Schwad, wie in den ersten beiden Varianten vorgestellt, oder breitwürfig für eine Trocknung wie z. B. bei der Heuernte ist nur auf Flächen mit Wasserständen ab ca. 30 cm unter Flur möglich. Andernfalls kann die Biomasse nicht ausreichend trocken und somit lagerfähig geborgen werden. Auf nassen Flächen ist die Ernte von Häckselgut (vgl. Feldhäcksler mit Biomasse-Bunker) oder die Pressung von Ballen auf der Maschine (Halmgutvollernter) *ohne* Ablage der Ballen auf der Fläche möglich. Die Entwicklung selbstfahrender Pelletiermaschinen (Biotruck 2000 der Franz Haimer GmbH) bis zur Serienreife wurde jedoch abgebrochen (FNR 2000). Durch ihr großes Gewicht wären sie auf Niedermoorflächen aufgrund der geringen Tragfähigkeit der Böden zudem nicht einsetzbar.



**Abbildung 3.6-5: Ernteverfahren für halmgutartige Biomasse (Hartmann 1997, In: FNR 2000)**

Für die Nutzung nasser Niedermoore sind sowohl die Schwierigkeiten als auch spezifische Lösungsansätze für Mahd und Bergung der Biomasse bereits ausführlich in Kapitel 3.1.2 vorgestellt worden. An dieser Stelle werden vertiefend diejenigen Verfahren beschrieben, die die Grundlage für die Kostenkalkulation im Kapitel 3.7 darstellen:

- Einsatz angepasster Grünlandtechnik (Schlepper, Scheibenmähwerk, Rundballenpresse) und
- Einsatz eines Halmgutvollernters (Spezialtechnik auf Raupenbasis mit Mähdrescherschneidwerk und aufgesetzter Ballenpresse).

### Ernte mit angepasster Technik

Die Nutzung von Niedermoorflächen ist im Landwirtschaftsbetrieb Hans Voigt ein etabliertes Verfahren. Hauptziel ist die Landschaftspflege (wieder)vernässter Flächen im Peenetal und am Westufer des Kummerower Sees zur Verhinderung der Verbuschung (Naturschutzgroßprojekt Peenetal-Landschaft) (siehe Lenk 2002). In der Regel erfolgt eine einschürige Mahd zur Gewinnung von Heu. Selten ist ein zweiter Schnitt zur Gewinnung von Silage möglich. Die Mahd ist laut Naturschutzverträgen ab Juli zulässig, kann in Abhängigkeit von den Wasserständen und der Befahrbarkeit der Flächen in manchen Jahren jedoch erst im August oder September erfolgen. Die bisher gemähten Flächen werden von Rohrglanzgras dominiert. Die Trockenmasseerträge schwanken zwischen 2-4 t/ha. Die Futterqualität der Biomasse ist auf den Naturschutzflächen jedoch in den letzten Jahren stark gesunken. Es ist absehbar, dass die bisherige Verfütterung an eine Mutterkuherde mittelfristig nicht mehr möglich sein wird: „Die Tiere verhungern mit vollen Magen“ (Voigt, mdl. 14.01.2009 in Malchin).

Alternativ ist eine energetische Verwertung der Niedermoorbiomasse angedacht (vgl. Kapitel 4.3). Dabei kann der Betrieb die vorhandene, standortangepasste Technik verwenden (Tabelle 3.6-1). Ein später Erntetermin (Rohrglanzgras: September) ist für die Brennstoffeigenschaften vorteilhaft. Für die Kalkulation der Verfahrenskosten wird von einer einschürigen Flächennutzung mit folgenden Arbeitsgängen ausgegangen:

- Mahd mit Scheibenmäherwerk
- Zweimaliges Wenden
- Schwaden
- Pressen von Rundballen
- Beräumen der Fläche und Transport der Ballen zum Flächenrand (max. 1 km) mittels Schlepper und Frontgabel (jeweils drei Ballen)
- Aufladen der Ballen auf Plattformhänger für den Abtransport

**Tabelle 3.6-1: Technikausstattung für die Bewirtschaftung feuchter Flächen im LWB Voigt**

Arbeitsgerät	Beschreibung
Schlepper	Claas 557, 76 kW, Sonderausstattung: Breitreifen (540/65 R 38) mit Druckluftregelung vom Führerhaus Frontlader,
Mäherwerk	Heckanbau: Kuhn-Scheibenmäherwerk (GMD 700), Arbeitsbreite: 2,85 m,
Zettwender	Vierkreisel, Arbeitsbreite: 7,5 m
Schwader	Zweikreisel, Arbeitsbreite: 7,5 m
Presse	Krone-Rundballenpresse („Round Pack 1250 Multi Cut“), Festkammer: 1,25 m, Tandemachse, Breitreifen, Rotationsschneidwerk, Gewicht: 2,6 t

Wie im Rahmen des ENIM-Projektes erprobt wurde, ist die vorhandene Technik auch für die winterliche Schilfernte geeignet, - vorausgesetzt der Boden ist nach entsprechendem Frost gefroren (vgl. 3.6.3).

### Ernte mit Spezialtechnik (Schilfernter, Prototypen)

Eine schlagkräftige Gewinnung von Energiebiomasse aus nassen Niedermooren erfordert sowohl eine Anpassung der Technik an die Standorte als auch an das Erntegut. Entsprechende Spezialmaschinen werden nicht in Serienproduktion hergestellt. Sämtliche, v. a. in der großflächigen Landschaftspflege eingesetzte Maschinen sind Einzelkonstruktionen. Neben umgebauten Schilferntemaschinen vom Typ Saiga, die mit Ballonreifen ausgestattet sind, werden Fahrzeuge mit Raupenketten genutzt. Sie sind sowohl auf Eis als auch auf überstauten Flächen einsetzbar. Die Biomasse wird zum Abtransport entweder als Häckselgut in einen Bunker geblasen oder in Ballenform gepresst. (vgl. Kapitel 3.1.2)

Die Erntekosten mit einer solchen Spezialmaschine können nur geschätzt werden. Hierfür wird ein in Österreich am Neusiedler See für die Nutzung ausgedehnter Altschilfbestände entwickelter Vollernter genutzt (vgl. Kapitel 4.1). Der Prototyp „Quaxi“ basiert auf einer Pistenraupe, ist mit einem adaptierten Mähdrescherschneidwerk und einer aufgesetzten Rundballenpresse ausgestattet. Der Vollernter wird mit einem 142 kW-Motor sowie acht Hydraulik-Pumpen betrieben. Auf einer nach rechts und links ausfahrbaren Ladefläche sowie in der Presse können insgesamt vier Ballen transportiert werden. Da die Ballen nicht auf der nassen Fläche abgelegt werden können, wurde der Vollernter bei den bisherigen Probeernten in Österreich auch für den Transport der Ballen zum Flächenrand eingesetzt.

Für eine effiziente Erntekette wären eine Vergrößerung der Ladefläche und der Einsatz separater Flächen-Transportfahrzeuge erforderlich. Diese nehmen die Ballen direkt vom Vollernter auf und bringen sie zum Flächenrand. Transportfahrzeuge müssen zur Ballenaufnahme voraussichtlich im stärkeren Maße rangieren. Um Bodenschäden durch Abscheren zu vermeiden, käme der Einsatz von Breitreifen an Stelle eines Raupenketten-Antriebes in Betracht, wie z. B. eine für den Transport umgebaute Saiga-Maschine oder der Anbau von Saiga-Reifen an Schlepper und Anhänger (vgl. Abbildung 3.1-10)

Alternativ bietet sich eine Ballenaufnahme per Ladekran an. In diesem Fall ist für das Transportfahrzeug eine Konstruktion vorstellbar, die sich an den Tragschleppern aus dem Forstsektor orientiert (vgl. Abbildung 3.6-6). Der Auslegerkran könnte mit einer Rundballenzange ausgestattet werden. Die Last kann auf bis zu acht oder zehn Räder verteilt werden. Zusätzlich werden auch im Forst Breitreifen eingesetzt, ergänzend ist die Anpassung des Reifeninnendruckes möglich. Alternativ kann eine Ausstattung mit Gleitschutzketten oder, im Fall von Boogieachsen, mit Boogiebändern erfolgen. Neben Universal- und Bergbändern sind spezielle Sumpfbänder verfügbar (<http://www.kwf-online.org/bogiebaender.html>).



**Abbildung 3.6-6: Tragschlepper aus dem Forstsektor (8 bzw. 10 Räder, mit bzw. ohne Bänder)**

Quelle: <http://www.kwf-online.org/329.html>

Angesichts des auch im Forstsektor bestehenden Trends zur Leistungssteigerung (u. a. große Auslegerlänge) sind die herkömmlichen Tragschlepper mit einem Leergewicht von ca. 10-18 t zu schwer für nasse Niedermoore. Interessant könnten Nischenprodukte für eine bodenschonende Forstwirtschaft sein wie der schwedische Tragschlepper „Terri ATD“ (Abbildung 3.6-7), der nur ca. drei Tonnen wiegt und zudem mit Bändern ausgestattet ist (vgl. Gullberg 2001).



**Abbildung 3.6-7: Leichter Tragschlepper „Terri ATD“**

Fotos: <http://www.forsttechnik-koch.de/technik/terri/index.php>

#### 3.6.4.2 Halmgutaufbereitung: Transport, Lagerung und „Handling“

Neben den in den oben beschriebenen Verfahren erzeugten Rundballen kann die Abfuhr der Biomasse von der Fläche auch als Häckselgut oder in Form von HD-Ballen bzw. Quaderballen erfolgen. Ein weitergehender Schritt wäre die Herstellung von Pellets bzw. Briketts. Die Eignung der verschiedenen Aufbereitungsformen hinsichtlich Transport, Lagerung und „Handling“ im Rahmen einer effizienten Produktionskette wird im Folgenden diskutiert.

##### Häckselgut

Bei der Feldhäckslerkette wird die Biomasse für trocken gelagerte Halmgutbrennstoffe (Stroh, Miscanthus) auf Stücke mit einer Länge von ca. 28 mm zerkleinert (FNR 2007). Das Häckselgut kann auf ein parallel fahrendes Transportfahrzeug geblasen werden oder in einem aufgesattelten Bunker bzw. einem angehängten Ladewagen transportiert werden. „Auf Grund der geringen Dichte des erzeugten Häckselguts [Miscanthus] (ca. 70 kg/m<sup>3</sup>) ist das Verfahren jedoch nur für sehr kurze Transportwege und günstige Lagermöglichkeiten geeignet.“ (FNR 2007) Zur Steigerung der Transportwürdigkeit wäre eine Verdichtung des Häckselgutes am Feldrand denkbar, z. B. mittels Presscontainern oder mobilen Ballenpressen wie sie aus dem Müll- und Recyclingsektor bekannt sind. Das trocken geerntete Häckselgut kann direkt verfeuert werden oder zu Pellets bzw. Briketts weiterverarbeitet werden (s. u.). Eventuell ist vor der Pelletierung noch eine leichte Trocknung notwendig. Beim Transport von Häckselgut ist das vorhandene Raumvolumen, beim Transport von Pellets die zulässige Nutzlast der begrenzen Transportfaktor (vgl. Abbildung 3.6-8).



	Allzweckkipper	Hochkipper	Silieranhänger	Sattelkipper	Wechselcontainer
max. Füllvolumen	16 m <sup>3</sup>	14 m <sup>3</sup>	20 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>	40 m <sup>3</sup> (je Container)
max. Nutzlast	14 t	10 t	10 t	27 t	13 t (Zugmaschine) 23 t (mit Anhänger)

Abbildung 3.6-8: Transport von Schüttgutbrennstoffen (Hartmann 1997 in FNR 2000)

## Ballen

Im Rahmen der Ballenkette können drei verschiedene Ballentypen erzeugt werden:

*HD-Ballen* sind quaderförmige Kleinballen mit einer Grundfläche von max. 0,5 \* 1 m. Mit den Hochdruck-Ballenpressen steht eine verhältnismäßig leichte Technik zur Verfügung. Daher werden sie z. B. in Pflegemaßnahmen auf Naturschutzflächen (Feuchtwiesen) eingesetzt. Die kleinen Ballen sind zudem per Hand umschlagbar. Eine geringere Schlagkraft bei der Biomassebergung sowie ein höherer Zeitaufwand beim Be- und Entladen wirken sich allerdings negativ aus. Für Schilf-Dominanzbestände mit hohem Biomasseaufkommen scheinen HD-Ballen ungeeignet. HD-Ballen werden v. a. für Halmgutfeuerungen im kleinen Leistungsbereich eingesetzt (Zigarrenbrenner). Seit 2005 wird in Sonnenbühl/ Baden-Württemberg eine REKA-Feuerungsanlage (30 kW<sub>th</sub>) mit Landschaftspflegeheu in Form von HD-Ballen beschickt (Oechner & Maurer 2006)<sup>6</sup>.

*Quaderballen* sind im Energiestroh-Geschäft etabliert (vgl. Dänemark, Strohheizkraftwerk Jena, etc.). Sie haben eine Grundfläche von bis zu 1,2 \* 2,5 m. Der Einsatz der Pressen ist durch das deutlich höhere Eigengewicht und den höheren Leistungsbedarf für Niedermoorflächen jedoch zu schwer. Abgesehen davon bezeichnet Sumalowitsch, Konstrukteur des Altschilfernters „Quaxi“ (vgl. 4.1), den Einsatz von Quaderballenpressen für Schilf als ungeeignet, die starren Schilfhalme ließen sich im Presskanal schlecht verdichten (18.02.2009, mdl. Mitteilung). Erfahrungen aus der Miscanthus-Ernte (vgl. FNR 2007) lassen hingegen vermuten, dass durch Verwendung eines Halmgutaufbereiters (Knicken, Zerkleinern) theoretisch auch die Pressung dichter Schilfballen in Quaderform möglich wäre.

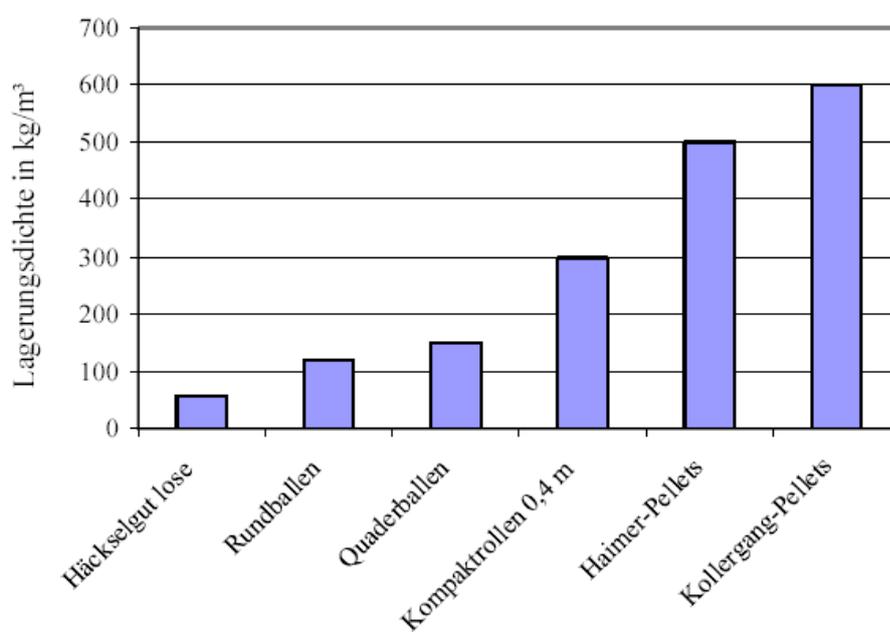
*Rundballen* können einen Durchmesser von bis zu 1,8 m haben, die Breite beträgt 1,2 - 1,5 m. Die Bergung von Niedermoorbiomasse in Form von Rundballen erscheint für die Ballenkette als günstige Variante. Neben Rohrglanzgras kann auch Schilf problemlos eingepresst werden, da die Biomasse um den entstehenden Kern herum aufgerollt wird (vgl. Kapitel 3.6.3 und 4.1). Die Ballen werden mit Netz- oder Bindegarn umwickelt. Bei Freilandlagerung kann auch die Einschlagung des Ballens in eine Mantelfolie sinnvoll sein, wobei die Stirnseiten des Ballens offen bleiben (vgl. Herlt 2008). In Abhängigkeit vom verwendeten Ballenverpackungsmaterial und der Art der Biomassezuführung, kann das Garn bzw. die Folie mitverbrannt werden (z. B. Ganzballenvergaser, Zigarrenabbrandverfahren) oder muss im Vorfeld entfernt werden (z. B. Ballenauflösung per Walze).

Die Großballen können mit unterschiedlichen Maschinen verladen und eingelagert werden: Schlepper mit Frontlader oder Zange, selbstfahrender Teleskoplader, auf Ladewagen aufgebauter Kran bzw. stationärer Kran in Lagerhalle, etc. Durch ihre höhere Pressdichte und ihre bessere Raumausnutzung

<sup>6</sup> Projekt der Universität Hohenheim: „Thermische Verwertung von Landschaftspflegeheu“

haben Quaderballen eine größere Transporteffizienz als Rundballen. Während mit Quaderballen eine vollständige Auslastung des Transportvolumens möglich ist, liegt sie bei Rundballen nur zwischen 50 und 60 % (FNR 2007). Als Transportfahrzeug für Ballen sind schleppergezogene Anhänger mit Abkippeinrichtungen und Tieflader etabliert. Sollen größere Strecken zurückgelegt werden, z. B. zur Belieferung eines Heizwerks, ist der Einsatz von LKWs mit Plattformaufbauten sinnvoll.

Die verhältnismäßig geringe Lagerungsdichte von Halmgutballen erfordert ein großes Lager, zumal die Biomassernte nur einmal im Jahr erfolgt. Bei Lieferung direkt von der Fläche zum Heizwerk findet die Lagerung am Heizwerk statt. Erfolgt die Lagerung durch den Erzeuger ist das Anlegen von Mieten am Feldrand oder am Hof möglich sowie die Lagerung unter Dach (vgl. Abschnitt 3.7.3). Durch Luftzutritt bzw. Belüftung kann eine Nachtrocknung der Biomasse stattfinden, die die Lagerfähigkeit und den Heizwert verbessert. So sank im ENIM-Projekt der Wassergehalt von Rohrglanzgras-Rundballen im überdachten Lager im Zeitraum März bis September von knapp 30 % auf 11 % (vgl. Abschnitt 3.3.1.1).



**Abbildung 3.6-9: Mittlere Lagerungsdichten von Getreidestroh ( $\text{kg/m}^3$ )**

(Conseur 2006)

### Pellets und Briketts

Die Erzeugung von Briketts oder Pellets aus Halmgut wie Stroh, Heu, Schilf oder in Mischung mit Holz ist technisch erprobt. Gegebenenfalls ist eine Trocknung der Biomasse Voraussetzung für die Brikettierung oder Pelletierung. Zu den Vorteilen von Presslingen zählen die deutlich höhere Energie- und Schüttdichte sowie die damit gestiegene Transportwürdigkeit und der verringerte Bedarf an Lagervolumen (vgl. Abbildung 3.6-9). Der Transport kann z. B. mit Sattelkippern (vgl. Abbildung 3.6-8) oder einem Pumptankwagen erfolgen. Für die Lagerung ist ein geschlossenes Gebäude erforderlich. Pellets erleichtern die Brennstoffzuführung bzw. -dosierung und sorgen für einen gleichmäßigeren Abbrand mit geringeren Emissionen. Sie eignen sich auch für automatisch beschickte

Kleinfeuerungsanlagen. Der Einsatz von Mischpellets<sup>7</sup> (Halmgut + Holz) ermöglicht die „Verdünnung“ potentiell kritischer Inhaltsstoffe, wodurch das Risiko hinsichtlich Verschlackung, Korrosion und schädlicher Emissionen vermindert wird.

Demgegenüber steht die erhebliche Verteuerung des Produktionsverfahren und somit des Brennstoffs durch den Pelletierschritt (Investitionskosten für die Pelletieranlage, Personalkosten, Energieeinsatz): Eder (2004) gibt ohne Berücksichtigung von Transport- und Rohstoffkosten je Tonne Schilf-Pellets Pelletierkosten von a) 77 € (ohne Trocknung) und b) 92 € (Trocknung von 30 % auf 15 % Feuchte) an. Im Holzbereich rechnet sich die Erzeugung von Presslingen im Regelfall nur über den Verkauf für Einzelfeuerungsanlagen (Privathaushalte bzw. öffentliche Gebäude), da im „Convenience-Bereich“ höhere Preise zu erzielen sind. Für Halmgut ist der Einsatz im Leistungsbereich < 15 kW (z. B. Briketts) jedoch nicht zulässig, so dass entsprechende Presslinge nicht in Einzelöfen, sondern nur in Zentralheizungsanlagen einsetzbar wären. Problematisch beim Hausgebrauch ist der deutlich höhere Ascheanfall als bei Holzpellets. Die Option des Einsatzes von Halmgut-Pellets für die BtL-Erzeugung befindet sich noch im Versuchsstadium.

---

<sup>7</sup> Mit der Herstellung und Erprobung von Mischpellets beschäftigt sich derzeit das deutsch-polnische Projekt „Nachhaltige Energiegewinnung durch Biomasse aus regionalem Anbau“ ([www.projekt-nebra.de/](http://www.projekt-nebra.de/))

### 3.7 Betriebswirtschaft aus Sicht der landwirtschaftlichen Erzeugung

#### 3.7.1 Erhöhte Kosten bei der Gewinnung von Energiebiomasse aus Niedermooren (S. Wichmann)

Die Gewinnung von Niedermoor-Biomasse ist aus wirtschaftlicher Sicht mit verschiedenen Schwierigkeiten verbunden, die im hohen Maße die Verfahrenskosten bestimmen: a) die Befahrbarkeit der Standorte insbesondere bei der Mahd und Biomassebergung sowie b) der Transport der Biomasse.

**a) Befahrbarkeit:** Die Tragfähigkeit von Niedermoorböden ist begrenzt. Sie wird von der Bodenfeuchte und der Vegetation (Arten, Bewuchsdichte) bestimmt. Der erforderliche Einsatz angepasster Technik ist mit höheren Kosten verbunden als die Verwendung konventioneller Technik für die Grünlandbewirtschaftung. Diese höheren Kosten resultieren zum einen aus zusätzlichen Investitionen wie z. B. in Breitreifen, Reifendruckregulierungssystemen und/oder doppelachsige Fahrwerke. Zum anderen geht der erforderliche Einsatz leichterer Technik mit einer geringeren Leistungsfähigkeit und einer reduzierten Schlagkraft einher. Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens wird mit höheren Lohn- und Maschinenkosten belastet (vgl. Prochnow & Kraschinski 2001). Die Entwicklung schlagkräftiger, standortangepasster Spezialmaschinen hat noch keine Serienreife erreicht und ist daher im Einzelfall mit hohen Konstruktionskosten verbunden (vgl. Abschnitt 3.1.2).

**b) Transport:** Halmgutartige Biomasse wie Schilf, Heu oder Stroh hat einen nur leicht geringeren Heizwert als Holz, weist jedoch eine niedrigere Energiedichte ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ ) und ein geringeres Schüttgewicht ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) auf. Der Transport ist somit ein erheblicher Kostenfaktor und begrenzt das wirtschaftlich belieferbare Umfeld. Eine Verringerung der Transportkosten ist durch eine vorherige Verdichtung möglich. Verdichtungsverfahren sind Lockerbunde, HD-Ballen (Hochdruck-Kleinballen), Rundballen, Quaderballen, Briketts und Pellets (s. o.). Mit der steigenden Dichte der vorgestellten Aufbereitungsformen sinken die Transportkosten pro Gewichtseinheit (vgl. Abschnitt 3.7.3). Der stärkeren Verbesserung der Transport- und auch Lagerungseigenschaften von Pellets im Vergleich zu Ballen stehen erhöhte Herstellungskosten gegenüber.

#### 3.7.2 Ernte und Bergung (S. Wichmann)

##### 3.7.2.1 Datengrundlage

Den folgenden Kostenkalkulationen liegen die in Abschnitt 3.6.4.1 erläuterten Produktionsverfahren zu Grunde. Sie berücksichtigen die Kosten von der Mahd über den Transport der Rundballen an den Flächenrand bis hin zum Beladen des Fahrzeuges für den Abtransport. Die Maschinenkosten basieren auf den Angaben der KTBL<sup>8</sup> und sind gemäß der Verfahrensgestaltung wie z. B. höhere Anschaffungskosten für Sonderausstattungen (Tabelle 3.6-1) sowie in Abhängigkeit unterschiedlicher Ertragsniveaus (vgl. Abschnitt 3.7.6.1) angepasst. Folgende Varianten werden verglichen:

- a) Rohrglanzgras-Ernte (Herbst): Mahd, Bodentrocknung und Pressen von Rundballen mit konventioneller, an feuchte Standorte angepasster Technik
- b) Schilf-Ernte (Winter): Mahd und Pressen von Rundballen mit konventioneller, angepasster Grünland-Technik; Wenden und Schwaden entfällt, Voraussetzung: Frost
- c) Schilf-Ernte (Winter): Mahd und Pressen mit Vollernter auf Raupenbasis (Spezialtechnik)

---

<sup>8</sup> MaKost: Online-Datenbank Maschinen- und Reparaturkosten (<http://www.ktbl.de/index.php?id=357>)

Bei der Zuordnung der Kosten wird dem KTBL gefolgt. Es werden alle Aufwendungen berücksichtigt, die direkt dem Produktionsverfahren zuzuordnen sind. Hierzu zählen die Direktkosten (Pflanzung, Düngung, Pflanzenschutz, Verzinsung des Umlaufkapitals) und Dienstleistungen (Lohnarbeit, Aus-hilfen), soweit sie anfallen. Gemeinsam mit den variablen Maschinenkosten, die aus dem ertrags-abhängigen Verbrauch von Betriebsstoffen und Reparaturen ermittelt werden, stellen sie die variablen Arbeitserledigungskosten dar. Die fixen Arbeitserledigungskosten setzen sich aus den Arbeitskosten für Festangestellte und den fixen Maschinenkosten (Abschreibung, Zinsansatz, Versicherung, Steuern) zusammen. Weitere fixe Kosten, die direkt zuzuordnen sind, sind die Flächenkosten (Pacht, Wasser-bodenverband, Grundsteuer) sowie Spezialgebäude (z. B. Lagerhallen).

Im Gegensatz zu den Flächenkosten, für die hier ein regional ermittelter Wert als einheitlich angenommen wurde, sind Gemeinkosten in der Kostenkalkulation nicht berücksichtigt, da sie nicht nur regionsabhängig sondern v. a. auch betriebsindividuell stark variieren. Zur Berechnung der Vollkosten wäre es jedoch erforderlich, auch die Gemeinkosten zu berücksichtigen. Erst nach Abzug desjenigen Anteils einzelkostenfreier Leistung (Erlös, abzüglich variabler und fixer Kosten), der zur Deckung der Gemeinkosten verwendet wird, erhält man den kalkulatorischen Gewinnbeitrag.

Die hier vorgestellten Verfahrensvarianten werden jeweils ohne die Berücksichtigung von Förderungen (naturschutzgerechte Pflegenutzung, Betriebs-/Flächenprämien) und ggf. mittelfristig möglichen Erlösen aus Koppelprodukten (CO<sub>2</sub>-Zertifikate aus Emissionsminderung) berechnet.

### 3.7.2.2 Einsatz herkömmlicher Grünlandtechnik

#### Rohrglanzgras

Die Standorte mit Rohrglanzgras-Dominanzbeständen sind mit herkömmlicher, angepasster Technik nutzbar (Tabelle 3.6-1). Es erfolgt eine Bodentrocknung des Mahdguts. Da Transportfahrzeuge die höchsten Belastungen beim Befahren von Niedermoorgrünland verursachen (Prochnow & Kraschinski 2001), wird davon ausgegangen, dass die Flächen per Schlepper und Frontlader beräumt werden müssen. Gemäß der Praxis im LWB Voigt werden je Fahrt drei Ballen transportiert: zwei mit der Frontgabel, der Dritte mit der Ackerschiene. Sie werden zum am Flächenrand wartenden Hänger gebracht und aufgeladen. Für die Kostenkalkulation wird von einer maximalen Entfernung zum Flächenrand von 1 km ausgegangen.

**Tabelle 3.7-1: Erntekosten von Rohrglanzgras (eigene Berechnungen nach KTBL)**

Nicht gerundete Werte und ausführliche Darstellung in Tabelle 7.4-1 (Anhang)

Ertrag	t TM/ha	gering 2	mittel 5	hoch 10
Direktkosten	€/ha	0	0	0
Variable Maschinenkosten	€/ha	56	99	172
<i>Variable Kosten d. Arbeitserledigung</i>	€/ha	56	99	172
Arbeitskosten (15 €/h)	€/ha	34	55	91
Fixe Maschinenkosten	€/ha	48	88	156
<i>Fixe Kosten d. Arbeitserledigung</i>	€/ha	81	143	247
Flächenkosten	€/ha	80	80	80
<i>Fixe Kosten</i>	€/ha	161	223	327
<b>Summe der Einzelkosten</b>	<b>€/ha</b>	<b>217</b>	<b>322</b>	<b>499</b>
	<b>€/t TM</b>	<b>108</b>	<b>65</b>	<b>50</b>

Da von der Ernte natürlicher Bestände ausgegangen wird und weder Düngung noch Pflanzenschutz erfolgen, entstehen keine Direktkosten. Es wird deutlich, dass sowohl die Maschinen- als auch die Arbeitskosten mit zunehmendem Ertragsniveau steigen. Insbesondere die Aufwendungen für Ballenpressung und Beräumung der Fläche sind nicht an die Hektarfläche gebunden, sondern fallen je Ballen an. Dabei belaufen sich die Transportkosten zum Flächenrand und das Beladen des Hängers auf ca. 15 € je Tonne TM, was bei hohem Ertragsniveau einen Anteil an den Gesamtkosten je Hektar von 30 % ausmacht. Demgegenüber stellen die Flächenkosten (Pacht, Wasser-Boden-Verband, Berufsgenossenschaft) einen fixen Posten dar. Speziell bei geringer Ertragslage bilden sie einen großen Kostenbestandteil (hier 37 %), so dass höhere Pachtpreise und WBV-Beiträge die Brennstoffkosten je Tonne TM erheblich verteuern würden. Die mit höherem Ertragsniveau steigenden Einzelkosten je ha werden auf eine größere Erntemenge umgelegt, so dass die Einzelkosten je t TM von 108 € über 65 € auf 50 € sinken. Eine Kostenreduzierung wäre z. B. durch einen effektiveren Transport (z. B. Verringerung der Ballenanzahl durch größere Ballen) und Reduzierung der Flächenkosten möglich. Allerdings ist eher davon auszugehen, dass sich in der Praxis ein höheres Ertragsniveau in der Steigerung der Flächenkosten über höherer Pachtpreise widerspiegelt.

### Schilf-Ernte

Ist nach einer ausreichend langen und starken Frostperiode der Einsatz landwirtschaftlicher Technik in Schilfbeständen möglich, reduzieren sich die Erntekosten gegenüber der Rohrglanzgrasernte. Die aufwändige Bodentrocknung der Biomasse mit den Arbeitsgängen Wenden und Schwaden entfällt. Gleichzeitig verringern sich – durch das gegenüber Rohrglanzgras etwas höhere Ballengewicht – die Arbeitserledigungskosten je Tonne Biomasse. Daher sind bei gleichem Ertragsniveau (5 t TM/ha) die Einzelkosten mit 53 € gegenüber 65 € je Tonne niedriger.

Maschinen- und Arbeitskosten je Hektar steigen mit höherem Ertragsniveau merklich an. So sind z.B. die Kosten der Ballenpresse abhängig vom Durchsatz. Insbesondere aber der Abtransport der Ballen von der Fläche per Schlepper ist zeitaufwändig. Einsparungen sind auch hier z. B. durch den Einsatz einer größeren Ballenpresse denkbar. Auch in Tabelle 3.7-2 wird von der Kalkulation bestehender Bestände ausgegangen. Die Kosten der künstlichen Etablierung von Schilfbeständen und die Berücksichtigung anteiliger Pflanzkosten in den einzelnen Erntejahren werden in Abschnitt 3.7.4 vorgestellt.

**Tabelle 3.7-2: Erntekosten von Schilf bei Frost (eigene Berechnungen nach KTBL)**

Nicht gerundete Werte und ausführliche Darstellung in Tabelle 7.4-1 (Anhang)

Ertrag	t TM/ha	gering	mittel	hoch
		5	8	18
Direktkosten	€/ha	0	0	0
Variable Maschinenkosten	€/ha	74	111	224
<i>Variable Kosten d. Arbeitserledigung</i>	€/ha	74	111	224
Arbeitskosten (15 €/h)	€/ha	41	58	108
Fixe Maschinenkosten	€/ha	68	103	212
<i>Fixe Kosten d. Arbeitserledigung</i>	€/ha	109	161	321
Flächenkosten	€/ha	80	80	80
<i>Fixe Kosten</i>	€/ha	189	241	401
<b>Summe der Einzelkosten</b>	<b>€/ha</b>	<b>263</b>	<b>352</b>	<b>624</b>
	<b>€/t TM</b>	<b>53</b>	<b>44</b>	<b>35</b>

### Mögliche Risiken

Die Variante der Frost-Ernte ist mit einem erheblichen Risiko verbunden. In unseren Breiten besteht keine Frostsicherheit. Nur einer der drei Projektwinter brachte eine ausreichende lange und starke Frostphase für den Einsatz landwirtschaftlicher Grünlandtechnik. Zudem war dieses „Erntefenster“ nur von wenigen Tagen Dauer. Es ist daher einzukalkulieren, dass eine Frost-Ernte nicht in allen Jahren und nicht auf 100 % der Flächen möglich ist.

Anhand der Wetterstation Trollenhagen (M-V) wurden für die vergangenen zehn Winter (1999-2009) exemplarisch die Häufigkeit, die Dauer und die Stärke der Frostperioden betrachtet. Fast jährlich traten z. T. mehrere 10- bis 14-tägige Fenster mit Temperaturen unter Null auf, die in Abhängigkeit der Froststärke nasse Flächen befahrbar werden ließen. Der Frost muss jedoch nach Erreichen der Befahrbarkeit noch über mehrere Tage anhalten, so dass ein größerer Flächenumfang beerntet werden kann. Diese längeren Frostperioden, die als Erntefenster geeignet scheinen, traten lediglich in vier der vergangenen zehn Jahre auf: 2001/2002, 2002/2003, 2005/2006 sowie 2008/2009. Zudem ist – mittelfristig betrachtet – davon auszugehen, dass angesichts des Klimawandels ein Trend zu milderen Wintern mit weniger Frosttagen ( $T_{\min} \leq 0 \text{ °C}$ ) und Eistagen ( $T_{\max} \leq 0 \text{ °C}$ ) besteht.

Das Risiko nasser, nicht jährlich zu beerntender Flächen kann nur bei einem ausreichend großen Flächenpool mit überwiegend feuchten, d. h. mit obiger Technik zu befahrenden Flächen getragen werden. In diesem Fall sind die Fixkosten, insbesondere die auch in frostfreien Jahren anfallenden Flächenkosten, umzulegen und bei der Kalkulation der Brennstoff-Preise einzukalkulieren. Eine Risikoverringerung durch deutliche Vergrößerung des Erntefensters bietet der Einsatz von Spezialtechnik auf nassen Flächen, dessen Kosten im folgenden Abschnitt kalkuliert werden.

#### 3.7.2.3 Einsatz von Spezialtechnik

Der im Abschnitt 3.6.4.1 vorgestellte und am Neusiedler See entwickelte Vollernter ist ein Prototyp. Die Idee zu einer solchen Erntekette inklusive einer Kostenabschätzung wurde bereits vor zehn Jahren vorgestellt: *„Gedacht ist, dass Schilfschnitt, Aufnahme des Mähguts und Ballenpressen auf der Maschine erfolgen, und diese Ballen möglichst direkt auf ein Transportfahrzeug, jedenfalls ohne weitere Zwischenlagerung, geladen werden.“* (Dietrich & Gamauf 1998). Trotz Bau und Erprobung einer solchen Maschine liegen jedoch außer mündlichen Auskünften über Aufbau und Versuchsernten keine fundierten Informationen zu Konstruktionskosten, Arbeitsaufwand, variablen Maschinenkosten etc. vor. Eine Kostenkalkulation kann somit nur in grober Schätzung erfolgen, die sich an Dietrich & Gamauf (1998) sowie Daten der KTBL (MaKost Online)<sup>9</sup> orientiert.

Für die Ermittlung der fixen Kosten werden die Anschaffungspreise für die einzelnen Komponenten zu Grunde gelegt. Hierbei werden die Kosten für Abschreibung und Verzinsung berücksichtigt. Für den Unterbau wird der Kauf einer gebrauchten, in gutem Zustand befindlichen Pistenraupe angenommen. Für den Leistungsbereich ab 125 kW werden sie z. B. für 10.-30.000 € gehandelt (Firma Wißmiller, mdl. Auskunft: 10.07.2009). Neue Pistenbullies kosten je nach Leistung und Ausstattung zwischen 100.000 und 500.000 €. Weitere Kosten entstehen ggf. für spezielle Raupenketten, zusätzliche Hydraulik-Pumpen, eine Anpassung des Kühlsystems, falls die für den Wintereinsatz gebauten Maschinen im Sommer (Landschaftspflege) eingesetzt werden sollen, und die Abdichtung der Bodenwanne für Fahrten in nassem Gelände. Zusätzlich zu den Hauptkomponenten wird ein

---

<sup>9</sup> <http://www.ktbl.de/index.php?id=357>

Anteil an den Entwicklungskosten angerechnet (z. B. Konstruktion, Umbauten, Abstimmung der Bauteile aufeinander hinsichtlich Kraft und Geschwindigkeit). Die variablen Kosten umfassen Ausgaben für Betriebsmittel, Reparaturaufwand, Versicherung etc. Gegenüber den KTBL-Daten wird ein erhöhter Betriebsstoffverbrauch angenommen (Antrieb mehrerer Komponenten, schwieriges Gelände) und die Reparaturkosten auf Grund des Alters und des Einsatzgebietes der Maschine verdoppelt. Für die Umlage der Entwicklungskosten wird eine Nutzungsdauer von acht Jahren angesetzt, wobei von einem jährlichen Einsatzumfang von 500 h sowie einem mittleren Ertrag von 8 t TM ausgegangen wird. Es werden Annahmen für die Schlagkraft getroffen, die auf Auskünften des Entwicklers am Neusiedler See basieren. Demnach beträgt die Erntegeschwindigkeit ca. 6 km/h. Zusätzlich ist das erforderliche Stoppen für das Pressen der Ballen sowie Öffnen der Presse zu berücksichtigen. Die zu Grunde gelegte Flächenleistung von 1 ha/h erfordert eine Vergrößerung der Ladefläche des Prototyps sowie den Einsatz von mindestens einem Transportfahrzeug, das eine verzögerungsfreie Mahd und Ballenpressung durch den Vollernter ermöglicht. Im Vergleich hierzu werden die Kosten für einen höheren Zeitbedarf von 1,5 h/ha sowie 2 h/ha ermittelt.

**Tabelle 3.7-3: Variable und fixe Kosten eines Vollernters auf Raupenbasis**

\* Der Stundensatz für Komponenten, deren Kosten durchsatz- bzw. gewichtsabhängig sind, wurde für einen mittleren Ertrag von 8 t TM/ha in Form von Rundballen à 215 kg ermittelt.

	Anschaffungskosten (€)	h/a	Var. K. €/h *	Fixe K. €/h *
Pistenraupe (gebraucht) mit Raupenkettens für Feuchtgebiete	50.000	500	35	15
Mährescherschneidwerk (3 m)	11.000	500	5	7
Rundballenpresse*	25.000	500	44	22
Ladefläche	2.000	500	1	1
<i>Kosten der Hauptkomponenten</i>	<i>88.000</i>	<i>500</i>	<i>85</i>	<i>45</i>
Zzgl. Entwicklungs- und Konstruktionskosten (+25 %)	22.000	500		6
<b>Gesamtkosten pro Maschine</b>	<b>110.000</b>		<b>85</b>	<b>51</b>

Für ein Transportfahrzeug mit Ladekran werden variable Kosten von 12 € und fixe Kosten von 18 € je Stunde angenommen, die sich an den von Gullberg (2001) für den Tragschlepper Terri ATD (vgl. Abbildung 3.6-7) erhobenen Werten orientieren (Neupreis: 45.000 €). Insbesondere die fixen Kosten wurden erheblich nach oben korrigiert, da von einem höheren Anschaffungspreis (größere Ladefläche) sowie auf Grund der begrenzten Erntesaison von einem deutlich geringeren Jahresstundensatz auszugehen ist. Es wird ein reibungsloser Ablauf des Beladens und des Transports zum Flächenrand angenommen, so dass weder für den Vollernter noch für das Transportfahrzeug Wartezeiten entstehen. Bisher wurde in Rahmen der Probeernten in Österreich auf den Einsatz eines separaten Transportfahrzeuges verzichtet. Der Vollernter übernahm den Transport der Ballen zum Flächenrand auf der Ladefläche. Zwar entfallen hierdurch Ladezeiten und eine zweite Arbeitskraft, doch auf Grund des erhöhten Zeitaufwandes durch die Leerfahrten sowie der erheblich höheren Maschinenkosten verteuert sich das Ernteverfahren deutlich.

**Tabelle 3.7-4: Erntekosten von Schilf mit Vollernter und Tragschlepper bei mittlerem Ertrag**

<b>Angenommener Zeitbedarf</b>		<b>1 h/ha</b>	<b>1,5 h/ha</b>	<b>2 h/ha</b>
Mittleres Ertragsniveau	t TM/ha	8	8	8
Direktkosten	€/ha	0	0	0
Variable Maschinenkosten	€/ha	97	124	150
<i>Variable Kosten d. Arbeitserledigung</i>	€/ha	97	124	150
Arbeitskosten (15 €/h)	€/ha	30	45	60
Fixe Maschinenkosten	€/ha	69	93	116
<i>Fixe Kosten d. Arbeitserledigung</i>	€/ha	99	138	176
Flächenkosten	€/ha	80	80	80
<i>Fixe Kosten</i>	€/ha	179	218	256
<b>Summe der Einzelkosten</b>	<b>€/ha</b>	<b>276</b>	<b>342</b>	<b>406</b>
	<b>€/t TM</b>	<b>35</b>	<b>43</b>	<b>51</b>

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass es sich bei den verwendeten Zahlen noch immer um grobe Näherungswerte und Schätzungen für Ernte- und Transportmaschinen handelt, die in dieser Form bisher nicht gebaut bzw. nicht eingesetzt sind. Vorbehaltlich dieser Einschränkung ist es bemerkenswert, dass sich der Einsatz von Spezialmaschinen bereits ohne Berücksichtigung der Erntesicherheit durch ein erweitertes Erntefenster zu rentieren scheint. Kosten von 35 € je Tonne TM sind bei der „Frosternte“ nur in Beständen mit hohem Ertragsniveau zu erreichen. Bei gleichem Ertragsniveau ist der Einsatz des Vollernters mit separatem Transportfahrzeug je nach angenommener Schlagkraft kostengleich mit der Ernte bei Frost (44 €/t TM), um 9 € je Tonne TM günstiger (1 ha/h) bzw. um 7 € teurer (0,5 ha/h). Für den direkten Vergleich mit den Erntekosten der herkömmlichen Landwirtschaftstechnik sollte sicherheitshalber zumindest von dem höheren Zeitbedarf ausgegangen werden, um das dort kalkulierte Beladen eines Plattformhängers am Flächenrand einzubeziehen. Demnach erfolgt die Ernte von Schilf bei mittlerer Ertragslage mit nahezu gleichen Kosten durch die Spezialtechnik wie durch die herkömmliche Landwirtschaftstechnik. Dabei hat die Spezialtechnik den erheblichen Vorteil eines größeren Erntefensters. Als nachteilig sind voraussichtlich längere Standzeiten im Falle von Maschinenschäden zu berücksichtigen.

Grundlage der Kalkulation ist eine volle Auslastung der Maschine mit einem Einsatzumfang von 500 ha pro Jahr. Ist eine solche Spezialmaschine für die Flächenausstattung eines Betriebes überdimensioniert, ist schnell die Grenze der Unwirtschaftlichkeit erreicht. Alternativ ist die ergänzende Bewirtschaftung von Flächen in Lohnarbeit möglich, - vorausgesetzt die Nachfrage ist vorhanden. Eine weitere Option ist die Kooperation mit einem ähnlich strukturierten Betrieb, wobei z. B. beide Seiten über Flächen von ca. 250 ha verfügen. Eine Kooperation kann insbesondere lukrativ sein, um gemeinsam eine schlagkräftigere Maschine anzuschaffen und bei entsprechend geringeren Verfahrenskosten je ha auszulasten.

Dietrich & Gamauf (1998) ermitteln für die Spezialtechnik sogar geringere Kosten als in Tabelle 3.7-4: Sie gehen von Erntekosten von ca. 126 € je Stunde aus. Für verschiedene Erntemengen je Stunde ermitteln sie Kosten von 14 € (9 t/h), 21 € (6 t/h) bzw. 42 € (3 t/h) je Tonne Schilf. Zusätzlich werden für den Transport zum Abnehmer per Bahn und LKW ca. 12 €/t einkalkuliert. Bei einer Umrechnung der Einzelkosten je Tonne TM würde sich die Differenz jedoch etwas verringern.

### 3.7.3 Lagerung und Transport zum Heizwerk (S. Wichmann)

Für kürzere Transportdistanzen werden schleppergezogene Hänger verwendet. Ab einer Entfernung von ca. 10 km ist für den Transport von Halmgütern der Einsatz von LKWs kostengünstiger (MLUV BB 2008). Für einen Transport per LKW mit Plattform bzw. Schüttgutaufbau über 30 km wurden für Schilf Kosten von 27 € (Bündel), 15 € (Häcksel), 13 € (Rundballen) und 9 € (Quaderballen) je Tonne Trockenmasse ermittelt (Eder et al. 2004). Neben der Komprimierungsform des Halmgutes und dem eingesetzten Transportmittel hat auch die Transportdistanz Einfluss auf die Kosten. In Tabelle 3.7-5 sind Maschinen- und Arbeitskosten für den Transport von Stroh-Rundballen über unterschiedliche Entfernungen kalkuliert. Da Schilfballen schwerer sind als Strohballen gleichen Formats (vgl. Rathbauer 2001), kann für Schilf von etwas geringeren Kosten je Tonne ausgegangen werden. Bei kurzen Entfernungen beeinflussen v. a. die Be- und Entladekosten die Höhe der Transportkosten. Für die Gesamtrechnung (s. u.) wird von einer mittleren Transportentfernung mit Kosten von 8 €/t TM ausgegangen.

**Tabelle 3.7-5: Transportkosten für Stroh in Abhängigkeit von der Entfernung (€/t)**

Quelle: <sup>1</sup> Conseur 2006, <sup>2</sup> FNR 2007

Transportentfernung	km	5	10	15	20	30	50
Schlepper mit zwei Anhängern, Ladevolumen: 20 Rundballen <sup>1</sup>	€/t	4,54	6,93	9,33	11,73	16,53	26,12
LKW mit Pritschenwagen Ladevolumen: 26 Quaderballen <sup>2</sup>	€/t	7,9	9,5	11,1	12,7	15,9	22,3

Die Lagerung von Halmgut-Ballen kann im Freien oder unter Dach erfolgen. Bei der Feldrandlagerung ist ein Schutz gegen Feuchtigkeit und somit die Verminderung von Lagerungsverlusten durch eine Folienabdeckung möglich. Alternativ ist das Einwickeln jedes einzelnen Rundballens mit einer Mantelfolie denkbar, wobei die Stirnseiten offen bleiben (Herlt 2008). Vier Lagerungsvarianten für Rundballen werden von Conseur (2006) verglichen. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Kosten inkl. Lagerverlusten erweist sich die abgedeckte Feldmiete mit 5,67 €/t als kostengünstigste Variante. Es folgen die Feldmiete im Freien (6,75 €/t) und die Altgebäudenutzung (11,18 €/t). Der Hallen-Neubau (Rundholzhalle Weihenstephan) ist mit 19,10 €/t noch einmal fast doppelt so teuer. Zusätzlich zur den Lagerungskosten entstehen durch Ein- sowie Auslagerung Aufwendungen für Maschineneinsatz und Arbeitszeit. Es ist davon auszugehen, dass ein Teil der geernteten Biomasse am Feldrand gelagert wird und ein Teil trocken und somit einsatzbereit unter Dach in einem Altgebäude untergebracht wird. Insgesamt werden für die Zwischenlagerung Kosten von im Mittel 10 € je t TM angenommen.

### 3.7.4 Bestandesetablierung (T. Dahms)

#### 3.7.4.1 Vorgehensweise und Datengrundlage

Im Folgenden werden die Kosten der Etablierung eines für die Gewinnung von Energiebiomasse angelegten Schilfbestandes berechnet. Hierfür werden zuerst die Kosten für die Anzucht des benötigten Pflanzgutes ermittelt (vgl. Kapitel 3.6.1), die in die folgende Berechnung der Pflanzungskosten übernommen werden. Eine Zeiterfassung der einzelnen Verfahrensschritte (siehe Anhang: Tabelle 7.4-5) wurde im Rahmen der im Abschnitt 3.6.2 beschriebenen Versuchspflanzung auf einer

Niedermoorfläche des Projektpartners Hans Voigt bei Neukalen durchgeführt. Berechnet wird die im Hinblick auf den Arbeitsaufwand effizienteste Verfahrensvariante des Versuchs, wobei jedoch von einer besseren maschinellen Ausstattung ausgegangen wird. Für die Etablierung des Bestandes ist ein Zeitraum von 4 Jahren angesetzt (Timmermann 1999). Die entsprechenden Kosten sind im Abschnitt 3.7.4.4 aufgestellt. Die Kostenrechnung der Pflanzung erfolgt modellhaft und auf der Ebene des landwirtschaftlichen Betriebes als Teilkostenrechnung. Alle Verzinsungen werden mit einem Zinssatz von 4 % durchgeführt. Die Kosten für die Wiedervernässungsmaßnahme werden bei der Kalkulation auf Betriebsebene nicht einbezogen. Da eine „Rückwandlung“ der Flächen nicht angestrebt ist, werden diese Kosten ebenfalls nicht berücksichtigt.

### 3.7.4.2 Pflanzgut

Das benötigte Pflanzgut wurde vom 06.03.2007 bis 23.07.2007 durch den Botanischen Garten der Universität Greifswald produziert (vgl. Abschnitt 3.6.1). Es handelt sich hierbei um einen staatlich geförderten Betrieb, der nicht einer üblichen Unternehmensstruktur entspricht. Daher werden die bei der Anzucht anfallenden Kosten einem Standarddatenwerk zur Anzucht von Zierpflanzen in einen Betrieb mit mittlerem Rationalisierungsgrad abgeleitet (KTBL 2009). Von den im Botanischen Garten der Universität Greifswald erhobenen Daten werden die Daten zum Anzuchtverfahren und zur benötigten Fläche übernommen. Es wird angenommen, dass 100.000 Schilf-Pflanzen für 20 ha Pflanzfläche produziert werden. Zu den Vollkosten werden pauschal 15 % als Risikozuschlag und Unternehmerlohn addiert. Die Berechnung ist in Tabelle 3.7-6 zusammengefasst.

**Tabelle 3.7-6: Anzucht des Pflanzgutes**

Position	Kosten/ Einheit	Menge	Variable Kosten [€]	Fixe Kosten [€]	Betrag [€]
Direktkosten $\Sigma$			4747		4747
Saatgut	0,002 €/St.	150.000 <sup>1</sup>	300		300
Material	0,03 €/St.	100.000	3.000		3.000
Substrat	50 €/m <sup>3</sup>	8	400		400
Dünger, Wasser, Pflanzenschutz	10 €/1.000 St.	100.000	1.000		1.000
Zinsansatz Umlaufvermögen	4 %/a	3 Monate	47		47
Arbeits erledigungskosten $\Sigma$			22	15.965	15.987
Maschinenkosten					
Trayfüller	7,08 /h	9	21,69	42,03	64
Lohnkosten <sup>2</sup>					
Gärtnermeister	19,32 €/AKh	250		4.830	4.830
Angelernter Arbeiter	14,79 €/AKh	750		11.093	11.093
Flächenkosten <sup>2</sup> $\Sigma$			5.600	6.560	12.160
Foliengewächshaus 5000qm <sup>3</sup>	0,11 €/Tqm	40.000		4.400	4.400
Wärmeverbrauch	0,14 €/Tqm	40.000	5.600		5.600
Freiland	0,05 €/Tqm	12.000		600	600
Gemeinkosten	0,03 €/Tqm	52.000		1.560	1.560
Transportkosten					
Spedition, CC Container	350 €/7.680 St.	14	4.900		4.900
Gesamtkosten					
Summe			15.269	22.525	37.794
Pflanzgut	€/St.		0,15	0,23	0,38
Verkaufspreis	+15%				0,44

<sup>1</sup> – Um die Keimung von 100.000 Samen zu gewährleisten.

<sup>2</sup> - KTBL 2009

<sup>3</sup> - Bei einer Flächenauslastung von 250 Tagen.

Das Saatgut wird durch einen Gärtnermeister aus geeigneten Schilfbeständen innerhalb von 8 AKh gewonnen. Dafür werden Kosten von 0,003 € pro Pflanze angesetzt. Unter der Position „Material“ sind Aufzuchtwannen und Multitopfpaletten für je 104 bzw. 24 Pflanzen erfasst. Es wird davon ausgegangen, dass diese viermal wiederverwendet werden. Die Arbeiten werden von Gärtnermeistern und angeleiteten Arbeitern durchgeführt. Zusammen kommen diese auf 10 AKh pro 1.000 Pflanzen. Die Anzucht findet in einem 5.000 m<sup>2</sup> Foliengewächshaus statt. Auf diese Fläche werden die geschätzten Gemeinkosten eines durchschnittlichen Betriebes umgelegt. Insgesamt dauert die Anzucht im Gewächshaus 96 Tage. Es werden vom Zeitpunkt der Aussaat bis zum Vereinzeln 14 Tage 45 m<sup>2</sup>, dann bis zum Topfen 42 Tage 100 m<sup>2</sup> und danach noch mal 42 Tage 740 m<sup>2</sup> Gewächshausfläche beansprucht. Die Anzucht beginnt Anfang März, so dass das Pflanzgut ab Mitte Juni für die Pflanzung zur Verfügung steht. Der Transport zum 50 km entfernten Abnehmer wird durch eine Spedition in CC Containern<sup>10</sup> realisiert. Das Ergebnis der Berechnung sind Pflanzgutkosten in Höhe von 0,44 € pro Pflanze. Dies entspricht in etwa den Kosten, von denen in früheren Berechnungen ausgegangen wurde (vgl. Schäfer 1999).

### 3.7.4.3 Pflanzung

Das berechnete Pflanzverfahren (vgl. Tabelle 3.7-7) weicht graduell von dem tatsächlich auf der Versuchsfläche durchgeführten Verfahren ab. Hier gemachte Erfahrungen gehen bereits in die Auswertung ein. Bei dem berechneten Verfahren wird das in 24er Multitopfpaletten gelieferte Pflanzgut mithilfe einer Forstpflanzmaschine mit einem Reihenabstand von 2 m und mit 1 m Abstand innerhalb der Reihe direkt, d. h. ohne Vorbereitung durch einen Streifenpflug, gepflanzt. Folglich werden 5.000 Pflanzen je ha gepflanzt. Bei der Berechnung wird, wie im Versuch, von einem Schlag mit einer Länge von 250 m ausgegangen, da dann die Größe des Bunkers der verwendeten Pflanzmaschine optimal genutzt wird und die Zwangswege kurz gehalten werden.

Um einen Konkurrenzvorteil des gepflanzten Schilfs gegenüber der bestehenden Vegetation zu gewährleisten, wird die Pflanzfläche 30 cm tief gepflügt und geeggt (Timmermann 1999). Die Pflanzung erfolgt mittels einer Forstpflanzmaschine in Kombination mit einem Schlepper mittlerer Leistung mit Spezialausstattung für feuchte Bodenbedingungen. Abweichend von der Versuchspflanzung, bei der nur eine einreihige Pflanzmaschine mit manueller Pflanzgutsetzung zur Verfügung stand, wird bei der Modellrechnung von einer moderneren, zweireihigen Pflanzmaschine mit Einbringung durch ein Greiferrad ausgegangen. Es wird angenommen, dass dadurch die Pflanzgeschwindigkeit auf mindestens 2,5 km/h<sup>11</sup> gehoben werden kann. Am Pflanzverfahren sind ein Fahrer, zwei Pflanzler und zwei Hilfskräfte beteiligt. Für den Transport des Pflanzgutes werden ein Schlepper mit geringer Leistung und ein Anhänger, sowie ein Fahrer und eine Hilfskraft benötigt. Die Lohnkosten der für das Verfahren benötigten Arbeitskräfte orientieren sich ebenfalls an den Angaben des KTBL (2008). Die Tagesleistung beträgt 2 ha, dementsprechend werden Weg- und Rüstzeiten aufgeteilt.

---

<sup>10</sup> CC ist abgeleitet von Container Centralen: Die CC Container sind Blumen- und Topfpflanzentrolleys, die hauptsächlich im Erwerbsgartenbau und Pflanzenhandel eingesetzt werden.

<sup>11</sup> Laut Auskunft des Herstellers Egedal sind 4-6 km/h möglich, im Versuch wurden jedoch, mit einer einfacheren Pflanzmaschine, nur 1,7 km/h erreicht.

Tabelle 3.7-7: Pflanzkosten

Position	Kosten /Einheit	Menge /ha	Variable Kosten [€/h]	Fixe Kosten [€/h]	Variable Kosten [€/ha]	Fixe Kosten [€/ha]	Betrag [€/ha]
Direktkosten					2200,00		2200,00
Pflanzgut	0,44 €/St.	5000			2200,00		2200,00
Arbeits erledigungskosten $\Sigma$					274,93	305,10	580,03
Maschinenkosten <sup>1</sup> $\Sigma$					199,97	104,95	304,92
Schlepper [75-92 kW] ohne Verbrauch	36,17 €/h 16,49 €/h	4,36 0,83	26,68 7,00	9,49	116,33 5,81	49,25	171,39
Schlepper [41-48 kW] ohne Verbrauch	14,14 €/h 10,04 €/h	1,05 2,05	9,60 5,50	4,54	10,08 11,28	14,07	35,43
Pflanzmaschine	22,91 €/h	2,33	11,75	11,16	27,38	26,00	53,38
Zweiachs-Dreiseitenkipper [Nutzmasse 7,5 t]	2,45 €/h	3,10	1,78	0,67	5,52	2,08	7,60
Anbaubeetpflug [Arbeitsbreite 1,75 m]	17,10 €/h	1,69	11,25	5,85	19,01	9,89	28,90
Schwergrubber, angebaut [Arbeitsbreite 3,0m]	7,03 €/ha	1,17	3,90	3,13	4,56	3,66	8,22
Lohnkosten $\Sigma$					74,96	200,15	275,11
Facharbeiter Traktorfahrer	15,83 €/AKh	8,29		15,83		131,23	131,23
Angelernter Arbeiter	14,79 €/AKh	4,66		14,79		68,92	68,92
Hilfsarbeiter	9,66 €/AKh	7,76	9,66		74,96		74,96
Gesamtkosten							
Pflanzkosten $\Sigma$ PV					2475	305	2780

<sup>1</sup> – Detaillierte Maschinenkosten siehe Anhang (Tabelle 7.4-4)

### 3.7.4.4 Bestandesetablierung

Da, anders als im schon vorhandenen Schilfbestand, die ersten Erlöse bei einem gepflanzten Bestand erst nach einer Etablierungsperiode von 4 Jahren anfallen, muss das bei der Pflanzung gebundene Kapital sowie die in den Etablierungsjahren zu zahlenden Flächenkosten entsprechend verzinst und berücksichtigt werden (vgl. Tabelle 3.7-8).

Als Flächenkosten fallen Pacht und Beiträge für Berufsgenossenschaft, Wasser- und Bodenverband sowie die Grundsteuer an. Diese werden nach der Datensammlung des Landes Brandenburg (MLUV BB 2008) für Standorte mit geringer Produktivität, bzw. im Falle des WBV-Beitrages und der Grundsteuer nach persönlicher Auskunft des zuständigen Amtes Malchin für den Standort Neukalen bemessen. Für die Etablierung fallen über 4 Jahre Flächenkosten an. Der Barwert dieser Flächenkosten beträgt zum Zeitpunkt der Pflanzung 284,22 € aufgezinst auf das Jahr 4 ergeben sich 332,50 €.

Die Gesamtkosten der Pflanz- und Etablierungskosten ist als Barwert im Jahre 4, d. h. zum Zeitpunkt der ersten Ernte und als Annuität dieses Barwertes über 26 Erntejahre berechnet. Dies ergibt sich aus einem angenommenen Bewirtschaftungszeitraum von 30 Jahren. Die Annuität entspricht den Kosten, welche für die Etablierung von den jährlichen Erlösen abgezogen werden müssen.

Tabelle 3.7-8: Kosten für die Bestandesetablierung

Position	Kosten /Einheit	Variable Kosten [€/ha]	Fixe Kosten [€/ha]	Betrag [€/ha]
Pflanzkosten (Übertrag aus Tabelle 3.7-7)		2.475	305	2.780
Flächenkosten $\Sigma$			78,30	78,30
Pachtansatz	50,00 €/ha		50,00	50,00
Grundsteuer	7,67 €/ha		7,67	7,67
Beitrag LwBG	12,20 €/ha		12,20	12,20
Beitrag WBV	8,43 €/ha		8,43	8,43
Barwert zum Zeitpunkt $t_4$ $\Sigma$				3.585
Flächenkosten der Etablierungsjahre	332,50 €/ha		333	333
Pflanzkosten	3.252,21 €/ha	2.895	357	3.252
Gesamtkosten				
Barwert zum Zeitpunkt $t_4$		2.895	690	3.585
Annuität (T=26, i=0,04)		181	43	224

### 3.7.4.5 Diskussion von Pflanzenanzucht und Bestandesetablierung

Im Vergleich zu den Ergebnissen von Schäfer (1999) ergeben sich in dieser Berechnung deutlich höhere Etablierungskosten. Das liegt an der Berücksichtigung der Flächenkosten und an den höheren Pflanzkosten im Vergleich zu *Miscanthus*, die ersatzweise von Schäfer angesetzt wurden.

Setzlinge sind durch die arbeitsintensive Anzucht im Vergleich zu alternativem Pflanzgut wie Halmstecklingen oder Rhizomstücken teurer. Auf ihren Einsatz kann jedoch kaum verzichtet werden. Sie weisen eine geringe Mortalität auf und gewährleisten eine schnelle Etablierung. Beim Einsatz von alternativem Pflanzgut besteht außerdem die Gefahr, dass *Phragmites* durch andere, nicht torfbildende Arten wie Rohrkolben (*Typha latifolia*) verdrängt wird (Timmermann 1999).

Allerdings schafft die arbeitsintensive Anzucht von Schilfpflanzgut in landwirtschaftlich geprägten Gebieten mit geringer Beschäftigung neue Arbeitsplätze und ist deshalb auf volkswirtschaftlicher Ebene positiv zu bewerten. Gegebenenfalls können über Rationalisierungsmaßnahmen, Steigerung der Arbeitsleistung, Energieeinsparung oder durch die Ausnutzung von Arbeitsmarkt-Förderungsprogrammen die Kosten für das Pflanzgut auf betriebswirtschaftlicher Ebene gesenkt werden.

Die Arbeitserledigungskosten der Pflanzung sind maßgeblich von der Arbeitsgeschwindigkeit abhängig. Während der Versuchspflanzung wurde nur eine Geschwindigkeit von 1,7 km/h erreicht, wobei in der Berechnung 2,5 km/h angesetzt wurden. Durch eine weitere Erhöhung der Pflanzgeschwindigkeit können die Kosten weiter gesenkt werden. Laut Hersteller der Pflanzmaschine sind 4 – 6 km/h möglich. Auch durch einen größeren Bunkerraum besteht die Möglichkeit, die Arbeitserledigungskosten zu reduzieren.

Die hohen anfänglichen Investitionskosten, die erst nach der Etablierung des Bestandes anfallenden Erträge und die lange bzw. gegebenenfalls endgültige Festlegung der Nutzungsform, unterscheiden die Schilfproduktion von üblichen landwirtschaftlichen Kulturen. Durch diese Umstände ist die Umorientierung der Flächennutzung für den Unternehmer, ähnlich wie die Aufforstung von landwirtschaftlichen Flächen, eine kritische Entscheidung.

Da dem betriebswirtschaftlichen Aufwand ein hoher volkswirtschaftlicher Nutzen in Form von reduzierten externen Effekten und erbrachten ökologischen Leistungen (vgl. Wichtmann 1999) gegenübersteht, ist das Setzen von Anreizinstrumenten erstrebenswert (vgl. Abschnitt 3.7.7). Dieses könnte in Form einer Prämie oder in Form von Krediten mit langer Laufzeit und günstigen Konditionen

geschehen. Auch eine garantierte Honorierung der verminderten CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. der Festlegung von CO<sub>2</sub> über einen längeren Zeitraum kommt in Frage. Eine Honorierung in Höhe von z. B. 20 € je Tonne vermiedener Emissionen über 30 Jahre würde bei einer konservativen Schätzung von 10 t CO<sub>2</sub>/ha (Wichtmann et al. 2009) honorierungsfähiger Leistung die Pflanz- und Etablierungskosten decken (vgl. Abschnitt 3.8.2). Bei Anpflanzung auf stark degradierten Flächen oder Restitutionsflächen könnte die Etablierung als Sanierungsmaßnahme angesehen und als solche finanziert werden.

Gleichzeitig sei darauf hingewiesen, dass zusätzlich zur hier kalkulierten Bestandesetablierung die Kosten der Wiedervernässung anfallen. Hierzu zählen hydrologische Gutachten, Genehmigungsverfahren, wasserbauliche Maßnahmen, ggf. Entschädigungszahlungen für Flächeneigentümer bzw. Flächentausch usw. Wer diese Kosten zu tragen hat und wie sie ggf. umgelegt werden können, muss diskutiert werden. Das gesamtgesellschaftliche Interesse an der Wiedervernässung zur Verwirklichung von Zielen aus Klimaschutz, Umweltschutz und Naturschutz ist für den Einzelfall zu prüfen.

### 3.7.5 Gesamtkosten der Bereitstellung von Niedermoorbiomasse (S. Wichmann)

Auf Basis der in den vorhergehenden Abschnitten ermittelten und diskutierten Kosten sind in Tabelle 3.7-9 die Bereitstellungskosten frei Heizwert für die Brennstoffe Rohrglanzgras und Schilf dargestellt. Dabei wird an dieser Stelle jeweils von einem mittleren Ertragsniveau von 5 bzw. 8 t TM/ha ausgegangen. Für Schilf wird zusätzlich zwischen der Beerntung natürlicher Bestände und Anbaukulturen unterschieden. Für die Rohrglanzgrasernte wird der Einsatz herkömmlicher Landtechnik angenommen (vgl. Abschnitt 3.7.2.2), für Schilf der Einsatz von Spezialtechnik mit einem Zeitbedarf von 1,5 h/ha (vgl. Abschnitt 3.7.2.3). Es werden keine Opportunitätskosten berücksichtigt, da die auf den relevanten Flächen alternativen Produktionsverfahren (extensive Grünlandbewirtschaftung, Pflegenutzung, Naturschutzmaßnahmen) in prämienfreier Kulisse keine Gewinne, sondern Verluste erzielen (vgl. Abschnitt 3.7.8.2).

**Tabelle 3.7-9: Produktions- und Brennstoffkosten von NMB bei mittlerem Ertragsniveau**

		Natürliche Bestände		Anbaukultur
		RGG	Schilf	Schilf
Ertrag	t TM/ha	5	8	8
Anteilige Etablierungskosten	€/ha	0	0	224
Pacht-/Flächenkosten	€/ha	80	80	80
Ernte	€/ha	242	262	262
Transport	€/ha	40	64	64
Lagerung	€/ha	50	80	80
<b>Produktionskosten</b>	<b>€/ha</b>	<b>412</b>	<b>486</b>	<b>710</b>
<b>Brennstoffkosten</b>	<b>€/t TM</b>	<b>82</b>	<b>61</b>	<b>89</b>
	€/GJ	4,69	3,38	4,93

Für Rohrglanzgras ergeben sich bei Brennstoffbereitstellungskosten von 82 €/t TM (Tabelle 3.7-9) und einem Heizwert von 17,5 MJ/kg TM (Tabelle 3.3-2) Kosten von 4,69 € je GJ.

Für Schilf mit einem Heizwert von 18,0 MJ/kg TM (Tabelle 3.3-2) betragen die Kosten für den Brennstoff aus natürlichen Beständen 3,38 € je GJ bzw. unter Berücksichtigung einer Bestandes-etablierung 4,93 € je GJ (Tabelle 3.7-9). Es ist jedoch davon auszugehen, dass der gezielte Anbau von Schilf auf Flächen mit z. B. hochdegradierten Böden und mit – nach erfolgter Wiedervernässung – guter Wasserversorgung stattfindet, so dass höhere Erträge und damit geringere Brennstoffkosten zu erwarten sind (vgl. Tabelle 3.7-2). Gleichzeitig wird bei niedrigen Erträgen (vgl. Rohrglanzgras, Tabelle 3.7-1) schnell die Grenze der Unwirtschaftlichkeit erreicht.

An mehreren Punkten des Produktionsverfahrens ist eine Reduzierung der Kosten denkbar. Durch die Verwendung breiterer Schneidwerke oder die Herstellung von Ballen mit größerem Durchmesser würde der Zeitaufwand für Ernte bzw. für Transport sowie Ein- und Auslagerung der Biomasse verringert und die Arbeitsgänge somit günstiger werden. Bei Ernteterminen im Winter (Januar bis April) kann ggf. der bereits frei gewordene Lagerplatz in Winterfutterlagern (z. B. Heu für Mutterkühe) zweitgenutzt werden. Durch Lieferung von der Fläche direkt ans Heizwerk können die Lagerungskosten eingespart werden. Handlungsspielraum besteht zudem bei der Reduzierung der Transportentfernung (lokale, dezentrale Verwertungsmöglichkeit) bzw. bei der Wahl geeigneter Transportmittel. In der Modellregion könnte die Peene als schiffbares Gewässer, die von Tausenden Hektar Niedermoorgrünland gesäumt ist, zumindest für auf dem Landweg schwer erreichbare Flächen eine Alternative darstellen. Wie generell in der Landwirtschaft gilt auch hier, dass bei einer Spezialisierung von Betrieben auf die NMB-Erzeugung und der großflächigen Beerntung die Produktionskosten verringert werden können.

Neben den Produktionskosten sind die erzielbaren Erlöse maßgeblich für die Wirtschaftlichkeit des Produktionsverfahrens „Energiebiomasse aus Niedermooren“. Wie das folgende Kapitel zeigt, spielen zusätzlich zu den Brennstoffpreisen v. a. auch die politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen eine Rolle.

### 3.7.6 Gestaltung erzielbarer Erlöse (S. Wichmann)

#### 3.7.6.1 Erträge in Abhängigkeit von Standorten und Produktivitätsdynamik

Die erzielbaren Biomasse-Erträge variieren in Abhängigkeit vom Standort und der jeweils etablierten Vegetation (vgl. 3.2.1). Ein weiterer Faktor ist der Nährstoffentzug in Abhängigkeit von Nutzungshäufigkeit sowie Nutzungszeitpunkt. Im Landwirtschaftsbetrieb Voigt sind die Erträge auf einigen Rohrglanzgras-Flächen auf 1,5 – 2 t je Hektar gesunken. Um die Bandbreite der Flächenproduktivität in Raum und Zeit zu berücksichtigen werden auf der Basis der landwirtschaftlichen Erfahrungen und wissenschaftlicher Untersuchungen in Tabelle 3.7-10 drei Ertragsstufen angenommen.

**Tabelle 3.7-10: Erträge von Rohrglanzgras (RGG) und Schilf**

	Ertragsniveau	Gering	Mittel	Hoch
RGG	t TM/ha	2	5	10
	t/ha (TS: 85 %)	2,4	5,9	11,7
	Ballen/ha (1,2*1,2m à 185 kg)*	13	32	64
Schilf	t TM/ha	5	8	18
	t/ha (TS: 85 %)	5,9	9,4	21,2
	Ballen/ha (1,2*1,2m à 215 kg)*	27	44	98

\* Auf Grund der höheren Dichte (vgl. 3.3.1.1) hat ein Schilf-Ballen ein höheres Gewicht als ein Rohrglanzgras-Heu-Ballen gleicher Größe.

Die beobachtete, mittelfristige Aushagerung ist für Flächen mit einem mit der Nachlieferung von Nährstoffen verbundenen Überflutungsregime in diesem Maße nicht zu erwarten. Auf anderen Flächen ist für eine längerfristige Ertragssicherheit ggf. eine Düngung mit Kalium und Phosphor zu prüfen, wie sie für Niedermoorgrünland mit Wasserständen deutlich unter Flur diskutiert wird (Koppisch et al. 1998, Titze 2006). Alternativ wäre bei einem großen Flächenpool die Auswirkung eines rotierenden Ernteregimes zu erproben, in dem die einzelnen Flächen z. B. nur jedes zweite Jahr genutzt werden.

#### 3.7.6.2 Verwertung als Roh- oder Brennstoff

##### Stoffliche Verwertung

Schilf ist ein vielseitiger Rohstoff. Die stoffliche Nutzung sollte aus zweierlei Sicht Vorrang vor der energetischen Verwertung haben: a) Gegenüber der Verbrennung erfolgt eine langfristige Bindung von CO<sub>2</sub>. b) Über die Veredlung von Schilf z. B. zu Schilfgranulatplatten im Innenausbau kann eine höhere Wertschöpfung in der Region und für den Schilfproduzenten ein höherer Erlös für das Ausgangsprodukt erzielt werden (s. u.). Eine energetische Nutzung kann sich schließlich an eine oder mehrere stoffliche Nutzungen anschließen (Kaskadennutzung).

Eine umfangreiche Übersicht wurde im Rahmen des DBU-geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens „Sanierung degraderter Niedermoore durch den Anbau von Schilf als nachwachsendem Rohstoff unter Verwertung gereinigter kommunaler Abwässer“ (1995 -1998) erarbeitet und im praktischen Beispiel erprobt (Wichtmann 1998). Insbesondere Dämmmaterialien auf Basis von mit Stahldraht gewebten Platten und verschiedenste Formkörper für den Bau-, Landschaftsbau- und Gartenbaubedarf erwiesen sich als besonders interessant.

*Fallbeispiel vom Neusiedler See: Pressplatten aus „Schilf-Granulat“*

Ein Landwirt in Reidling (Österreich), Schweinehalter und Betreiber einer Biogasanlage, will die überschüssige Abwärme zur Herstellung von holzleimgebundenen Schilfplatten nutzen. Die Pressplatten können für die Wärme- und Schalldämmung sowie als Putzträger verwendet werden. Ihre Produktion befindet sich noch in der Testphase. Es wird mit Rohstoffkosten von 20 Ct/kg kalkuliert, so dass pro Tonne Schilfgranulat 200 € erzielt werden können. Während im Winter 2008/2009 nur das Ausputzschilf der Dachrohr-Ernte zu Schilfhäcksel verarbeitet wurde, ist für die kommende Saison die Beerntung von Altschilf-Beständen ins Auge gefasst. (Denk, Sumalowitsch, 18.02.2009, mdl. Mitteilung).

**Energetische Verwertung**

Für den Verkauf von Niedermoorbiomasse als Brennstoff existiert (bisher) kein Markt. Für die Festsetzung realistischer Preise sind daher zwei Wege möglich: a) Es kann die Produktionsschwelle ermittelt werden, an der der Erlös die Verfahrenskosten deckt (vgl. Abschnitt 3.7.5). b) Es können die Preise angesetzt werden, die andere halmgutartige Brennstoffe erzielen bzw. erfordern (v. a. Stroh) (vgl. Abschnitt 3.7.8.1).

(a) Die für Niedermoorbiomasse kalkulierten Gesamtkosten bei mittleren Erträgen bewegen sich in der Spanne zwischen 61-89 € je t TM: Rohrglanzgras (4,69 €/GJ) und Schilf (3,38 bzw. 4,93 €/GJ). Sie berücksichtigen Ernte, Lagerung, Transport, Flächenkosten sowie der letztere Wert auch Anbaukosten. Zumindest mittelfristig müssen jedoch nicht nur die Verfahrenskosten ausgeglichen, sondern zusätzlich Gemeinkosten wie z. B. hier unberücksichtigte Leitungs- und Verwaltungskosten gedeckt werden. Weiterhin sind bei der Preiskalkulation ein Risikozuschlag sowie ein Gewinnzuschlag erforderlich.

(b) Auf Grund der Substituierbarkeit ist eine Kopplung an den Strohpreis zu erwarten. Ein Vergleich mit den Brennstoffbereitstellungskosten für Stroh (s. u.) in Höhe von 3,08 – 6,84 € je GJ zeigt, dass Niedermoorbiomasse durchaus zu vergleichbaren Kosten frei Heizwerk geliefert werden könnte. Die untere Kategorie mit Preisen von ca. 45-50 € je Tonne wird für die Erzeugung von Niedermoorbiomasse sicher nur in Ausnahmefällen eine rentable Produktion ermöglichen. In der Praxis entscheiden die Rahmenbedingungen wie Entfernung zum Heizwerk, evtl. Lagerungsaufwand, Strohverfügbarkeit (Düngemittelpreise, Tierhaltung), etc. über die Konkurrenzfähigkeit mit Stroh auf dem regional begrenzten Markt. Für NMB sind ggfs. Abschläge wegen der „Exotik“ des Brennstoffs denkbar. Gleichzeitig sind aber auch Aufschläge auf Grund besserer Brennstoffqualitäten (niedrige Gehalte problematischer Inhaltsstoffe) möglich.

Maßgeblich für Nachfrage und Preise halmgutartiger Brennstoffe sind die Entwicklungen auf dem Holzmarkt (vgl. Abbildung 3.4-5) und das Auf und Ab des Ölpreises. Ein direkter Vergleich der ermittelten Brennstoffbereitstellungskosten [€/GJ] mit denjenigen von Holz, v. a. aber mit Heizöl, ist nicht sinnvoll. Die Investitionskosten bei Biomasse-Feuerungsanlagen sind erheblich höher als bei Heizöl. Auch gegenüber Holzheizungen, die seit langem auf dem Markt etabliert sind, sind Bau und Betrieb von Halmgutfeuerungen auf Grund anderer Anforderungen z. B. an Filteranlagen teurer. Diesen Nachteil müssen entsprechend günstigere Brennstoffkosten ausgleichen. Ein Vergleich der unterschiedlichen Brennstoffe muss die Wirtschaftlichkeit der Feuerungsanlagen berücksichtigen und kann nur über die Wärmegehaltungskosten, die sich aus Kapitalkosten, Betriebskosten und Brennstoffkosten zusammensetzen, erfolgen (vgl. Kapitel 3.4.5).

### 3.7.7 Förderung: Niedermoorbiomasse als „Koppelprodukt“ (S. Wichmann)

Die aufwändige Ernte auf Grund schwieriger Standorte erfordert Spezialtechnik, die geringe Transportwürdigkeit von Halmgut-Biomasse beschränkt den Absatzmarkt und hinsichtlich der Verfahrenskosten ist keine deutliche Vorzüglichkeit gegenüber anderen Brennstoffen wie Stroh oder Miscanthus gegeben. Niedermoorbiomasse ist zudem noch nicht für die energetische Verwertung etabliert: genehmigungsrechtliche Probleme, Vorherrschen von auf Holz ausgerichteten Technologien, ggf. Bedenken bei Anwohnern etc. Praktische Schwierigkeiten in der Produktion und Hürden auf der Verwerterseite lassen daher die Nutzung von Schilf und Rohrglanzgras als Brennstoff relativ unattraktiv erscheinen.

Wenn die Schilfernte gesellschaftlich gewünscht ist, muss eine Förderung des Produktionsverfahrens erfolgen, damit Landwirte sich hierfür entscheiden. Der Brennstoff würde quasi als „Koppelprodukt“ bei der Verfolgung anderer Interessen erzeugt werden. Ein solches Vorgehen findet insbesondere auf Niedermoorgrünland bereits bei anderen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren statt (vgl. Abschnitt 3.7.8.2). Folgende gesellschaftliche Ziele können über eine nasse Bewirtschaftung zur Ernte von Niedermoorbiomasse verwirklicht werden:

#### a) Naturschutz

Aus Gründen des Artenschutzes oder zur Offenhaltung der Landschaft werden mittels Agrarumweltprämien Grünlandflächen bei hohen Wasserständen „gepflegt“, ohne dass die geerntete Biomasse eine sinnvolle Verwertung findet. Meist wird sie kompostiert, auf der Deponie entsorgt oder auch nur am Flächenrand abgeladen. Dementsprechend ist z. B. der Initiative ELaBo zugesagt, die „Naturschutz-Biomasse“ für den Betrieb eines Heizwerks am Bodensee durch Übernahme der hohen Landschaftspflegekosten kostenlos bereitzustellen (vgl. Kapitel 4.2). Ein regionales Beispiel ist das Naturschutzgroßprojekt Peenetal. Die Zahlungen im Rahmen von 30jährigen Pflegeverträgen wurden den Landwirten zu Beginn in kapitalisierter Form ausgezahlt.

#### b) Landschaftsschutz

Am Neusiedler See (Österreich) ist die stärkere Beerntung der Altschilfbestände aus mehreren Gründen erwünscht: Seeoffenhaltung und Erhöhung der Reinigungskraft der Schilfbestände liegen u. a. auch im Interesse der Tourismuswirtschaft, Verjüngung des Schilfs zum Erhalt der Lebensraumfunktion, Vergrößerung der Bestände zur Qualitätsrohrmahd, etc. (vgl. Kapitel 4.1). Mehrere Projekte zur Forschung und Erprobung wurden seit vielen Jahren von öffentlicher Hand finanziert, um Lösungen für Schilfernte und –nutzung zu entwickeln.

#### c) Klimaschutz

Die Wiedervernässung von Mooren stoppt die Freisetzung enormer Mengen von Kohlenstoffdioxid. Zusätzlich erfolgt über den Ersatz fossiler Brennstoffe durch NMB eine weitere Reduktion der Treibhausgasemissionen (vgl. Abschnitt 3.8.2). Im Rahmen des Kyoto-Protokolls werden Landnutzungsänderungen berücksichtigt. Dies ist unter LULUCF geregelt. Derzeit noch ausgeschlossen sind Moore, obwohl hier Landnutzungsänderungen einen hohen Beitrag zur Reduktion der Emissionen klima

relevanter Gase leisten können. Auf dem European Climate Exchange Market hätte eine Emissions-Reduktion in Höhe von 15 Tonnen CO<sub>2</sub> bei einem Durchschnittspreis von mindestens 10 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub><sup>12</sup> Einnahmen in Höhe von 150 Euro pro Hektar gebracht.

#### **d) Verringerung der Flächenkonkurrenz**

Die Erzeugung von Energieträgern sollte nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion stehen. Hierin besteht ein klarer Vorzug von NMB gegenüber der Produktion von *Miscanthus* (Chinaschilf), Kurzumtriebsplantagen auf Ackerland oder der energetischen Nutzung von Getreide.

#### **e) Umweltverträgliche Energieproduktion**

Die nasse Bewirtschaftung stellt im Gegensatz zur umweltschädlichen Nutzung von Moorstandorten für die Anlage von Palmölplantagen für die Biokraftstoffbereitstellung (Indonesien) oder die Grassilageproduktion bzw. den Maisanbau auf Moor für Biogasanlagen (Deutschland) eine lokale Energieträger-Produktion mit positiven externen Effekten dar (vgl. Abschnitt 3.8).

Es gibt somit eine Reihe guter Gründe, die Wirtschaftlichkeit des Produktionsverfahrens Energiebiomasse aus nassen Niedermooren bzw. die Nutzung dieser alternativen Brennstoffe durch Transferzahlungen und Förderungen zu stützen. Naturgemäß beeinflussen solche Zahlungen die Akzeptanz und Entscheidungsbereitschaft der Landwirte stark, - folgende, bereits bestehende Wege könnten genutzt und ausgebaut werden (siehe auch Abschnitt 3.1.1):

- Flächenprämien: EU-Direktzahlungen (ab 2013 Hektar-Prämie); Landschaftspflege und Agrarumweltprogramme
- Wasser-Boden-Verband: Entbindung von der Abgabepflicht
- Landtechnik: Investitionsförderung
- Anlagen: Förderung für den Bau von Heiz(kraft)werken (Bund, Land, KfW)
- Strom-/Wärmepreis: Steuerungsmöglichkeiten über Grundvergütung und diverse Boni je kWh nach EEG (z. B. Nawaro-Bonus, Bonus für innovative Technologien, KWK-Bonus)
- CO<sub>2</sub>-Emissionen: handelbare Zertifikate für Einsparung

Allein mit der bis 2013 auf ca. 322 € (M-V) angehobenen Prämie je ha Grünland könnte sich der mindestens erforderliche Erlös für NMB nach der Kalkulation in Tabelle 3.7-9 auf 18 €/t TM Rohrglanzgras und 21 bzw. 50 €/t TM Schilf reduzieren.

Durch Aus- und Weiterbildungsprogramme im Rahmen der EU-Förderungen für den ländlichen Raum (ELER) zur nassen Bewirtschaftung von Mooren (Paludikultur) könnte die Akzeptanz für eine Umwidmung der Moorbewirtschaftung bei den Landwirten erhöht werden. Entsprechende Landesprogramme müssten dafür aufgelegt werden.

---

<sup>12</sup> Spot Preis am 3.10.09: 13,02 Euro ([www.ecx.eu/news/](http://www.ecx.eu/news/))

### 3.7.8 Vergleich mit anderen Produktionsverfahren (S. Wichmann)

#### 3.7.8.1 Erzeugung halmgutartiger Energieträger (Substitute)

##### Stroh-Bergung

Stroh wird im Getreidebau als Koppelprodukt erzeugt. Die Bergung kann mit etablierter, schlagkräftiger Technik erfolgen und wird nicht durch geringe Tragfähigkeit der Böden erschwert. Neben Arbeits- und Maschinenkosten (Pressen, Laden und Transport) sowie Lagerkosten sind Kosten für den durch Abfuhr der Biomasse erfolgenden Nährstoffentzug und die erforderliche Düngung (Zukauf und Ausbringung) anzusetzen. Anbau-, Pacht- und Gemeinkosten entfallen, da sie dem Hauptprodukt, der Kornerzeugung, zugeschlagen werden.

Die für das Substitut Stroh anzusetzenden Preise reichen von 45-100 € je Tonne Marktprodukt. In Strohüberschussregionen wie Ostvorpommern wird Stroh mit ca. 50 € pro Tonne gehandelt. Derzeit (Juni 2009) wird Stroh ab Hof für 50-70 €/t (Quaderballen) bzw. 75-100 €/t verkauft (HD-Ballen) (Bauernzeitung 24/2009). Die direktzahlungsfreien Herstellungskosten beziffern Breitschuh et al. (2006) mit 51 €/t. Peisker et al. (2007) geben als Bereitstellungskosten 50-60 € an. Für aktuelle Strohpreiskalkulationen sind die deutliche Steigerung der Nährstoff- und Maschinenkosten zu berücksichtigen sowie ggf. entstehende Lagerkosten zu berechnen (Schindler 2008). Der Nährstoffwert (NPK) von einer Tonne Stroh sei von 2006 auf 2008 um ca. 15 € gestiegen (Bäck 2009). Für eine Bereitstellung von Stroh (Quaderballen) direkt vom Feld frei Lager (5 km), werden Kosten von 63 € veranschlagt. Unter Berücksichtigung eines Gewinnaufschlags (15 %) sind demnach 72 €/t bzw. bei Hallenlagerung sogar gut 100 €/t anzusetzen (Schindler 2008). Bei einem Trockenmassegehalt (TM) von 85 % und einem Heizwert von 17,2 MJ/kg TM (Weizenstroh, FNR 2007) ergeben sich für die Spanne 45 € - 100 € je Tonne Marktprodukt Brennstoffbereitstellungskosten von 3,08 – 6,84 € je GJ.

Die Bergung von Stroh mit dem Ziel der Verwendung als Brennstoff erfordert bestimmte Vorkehrungen, die u. U. mit zusätzlichen Kosten verbunden sind. Bei konventionell geführten Getreidebeständen sind zur Auswaschung von kritischen Inhaltsstoffen wie z. B. Chlor Liegezeiten des Strohs auf dem Feld erforderlich. Dies verursacht ggf. zusätzliche Arbeitsgänge (Wenden, Schwaden). Ob während der sommerlichen Arbeitsspitze von Ernte und Neueinsaat entsprechende Arbeitskapazitäten für die Strohbergung zur Verfügung stehen, ist von der jeweiligen Betriebsstruktur abhängig. Zudem kann es schwierig sein, die Lagerzeiten in der Fruchtfolgeplanung einzubinden, insbesondere wenn weitere Verzögerungen der Bergung durch feuchte Witterung eintreten. Wie bereits in der großen Spannbreite der Brennstoffbereitstellungskosten widerspiegelt, sinkt die Verfügbarkeit von Stroh mit steigenden Düngerpreisen.

##### Miscanthus-Anbau

Im Gegensatz zum Koppelprodukt Stroh ist *Miscanthus* (China-Schilf) ein Hauptprodukt. Daher sind sowohl Etablierungskosten als auch Flächen- und Gemeinkosten zu berücksichtigen. Gegenüber dem Schilfanbau fallen mit Düngung und Unkrautbekämpfung zusätzliche Verfahrenskosten an. Es wird von einer Nutzungsdauer von 15 Jahren ausgegangen. Da der *Miscanthus*-Anbau bisher kein ausgereiftes Verfahren darstellt, müssen die vorgestellte Verfahrensgestaltung und Kalkulationen auf Versuchsergebnissen basieren (KTBL 2006).

Im Pflanzjahr ist mit Etablierungskosten von ca. 2.400 €/ha zu rechnen (KTBL 2006). Nach dem Pflügen und Eggen erfolgt eine maschinelle Pflanzung. Das kalkulierte Legen von Rhizomstücken ist kostengünstiger, die ebenfalls mögliche Pflanzung von Jungpflanzen (vgl. Schilfanbau, Kapitel 3.7.4) hingegen sicherer. Alternativ zur hier kalkulierten maschinellen Unkrautbekämpfung (Striegeln, Hacken) ist auch der Einsatz von Herbiziden möglich, der jedoch in Deutschland derzeit eine Genehmigung für den Einzelfall erfordert. Hinzu kommen Düngung und Kalkung. Im Miscanthus-Anbau erfolgt die Ernte von Januar bis März, wobei zwei Ernteverfahren unterschieden werden können:

- (a) Häckselgutlinie: Die Ernte mit dem Feldhäcksler mit reihenunabhängigen Schneidwerk (Kurzgutkette) ist verhältnismäßig günstig. Häckselgut verursacht jedoch höhere Transport- und Lagerungskosten, so dass dieses Verfahren nur für sehr kurze Transportentfernungen attraktiv ist (FNR 2007).
- (b) Ballenlinie: Die Mahd kann sowohl mit einem Vollernter mit integrierter Quaderballenpresse als auch mit Mähauflbereiter (Mäh-Knick-Zetter, Langgutkette) und anschließendem Schwaden sowie Pressen mit einer Großballenpresse in separaten Arbeitsgängen erfolgen. Transport und Lagerung der Ballen sind mit Stroh vergleichbar.

Die Biomassebereitstellungskosten für das letztgenannte Verfahren sind inklusive anteiliger Pflanzkosten, Mähen/Schwaden/Pressen, Lagerung und Transport zum Heizwerk in Abhängigkeit von Schlaggröße sowie Ertragsniveau dargestellt (Tabelle 3.7-11). Es ist die Anlage von folienbedeckten Mieten am Hof (2 ha-Schläge) bzw. am Feld (20 ha-Schläge) berechnet. Die Flächenkosten erscheinen mit 105 € je ha relativ gering für Ackerflächen. Gemeinkosten sind nicht berücksichtigt.

**Tabelle 3.7-11: Brennstoffkosten von Miscanthus (KTBL 2006)**

		Geringes Ertragsniveau		Mittleres Ertragsniveau	
Ertrag	t/ha	12,5	12,5	18,8	18,8
Flächengröße	ha	2	20	2	20
Direktkosten (Düngemittel)	€/ha	162	162	162	162
Variable Kosten d. Arbeitserledigung	€/ha	391	171	568	246
Fixe Kosten	€/ha	568	616	645	727
<b>Produktionskosten</b>	<b>€/ha</b>	<b>1.120</b>	<b>949</b>	<b>1.375</b>	<b>1.134</b>
<b>Brennstoffkosten</b>	<b>€/t</b>	<b>90</b>	<b>76</b>	<b>73</b>	<b>60</b>
	€/GJ	6,37	5,39	5,19	4,28

Erwartungsgemäß sind die Produktionskosten mit 60 € je t bei höherem Ertragsniveau und großer Flächengröße am geringsten. Eine weitere Kostenreduzierung durch steigende Schlaggröße findet jedoch nicht statt (vgl. Internetangebot: Datensammlung Energiepflanzen, [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)). Bei einem angenommenen Heizwert von 17,6 MJ/kg TM und einem TM-Gehalt von 80 % liegen die Energiebereitstellungskosten für die berechneten Varianten zwischen 4,28 € und 6,37 € je GJ. Ein hohes Ertragsniveau (25 t je Hektar, Schlaggröße: 20 ha) kann die Brennstoffkosten auf knapp 46 € pro Tonne bzw. 3,25 € je GJ reduzieren (vgl. [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)). Die hier angenommenen hohen Erträge erfordern jedoch eine optimale Wasserversorgung.

### 3.7.8.2 Herkömmliche Produktionsverfahren auf Niedermoor

Herkömmliche Produktionsverfahren sind an eine mäßige bis starke Absenkung der Grundwasserstände gebunden. Die Kosten für die Regulierung des Wasserregimes werden jedoch über die Wasser-Boden-Verbände umgelegt und somit nur zu einem Bruchteil den verursachenden Produktionsverfahren angerechnet. Ebenso werden die negativen externen Effekte der Nutzung entwässerter Niedermoore (Torfmineralisierung, Freisetzung von klimarelevanten Gasen, Nährstoffaustrag, etc.) nicht einkalkuliert. Der Vergleich der Produktionskosten auf betriebswirtschaftlicher Ebene kann somit nur ein unvollständiges Bild geben. Für eine umfassendere Betrachtung herkömmlicher sowie alternativer Produktionsverfahren sei auf Kowatsch et al. (2009) verwiesen.

Eine ackerbauliche Nutzung auf Niedermoor erfolgt v. a. durch Maisanbau für Milchviehfütterung, Rindermast oder Biogasanlagen. Da der Umbruch von Niedermoorgrünland für den Ackerbau nicht zulässig ist (gute fachliche Praxis, Cross Compliance), ist der Umfang von Ackerflächen begrenzt. Drei- bis vierschüriges Intensivgrünland dient zur Erzeugung energiereicher Grassilage, die ebenfalls in der Fütterung von Milchvieh bzw. zur Erzeugung von Biogas Verwendung findet. Zum Erhalt hochwertiger Grünlandbestände ist ein regelmäßiger Umbruch mit Neueinsaat erforderlich. Für die Erzeugung von Maissilage bzw. Grassilage zur Veredlung über die Milchproduktion geben Kowatsch et al. 2009 einen Veredlungswert von ca. 2000 € je Hektar an. Die Attraktivität von Niedermoorgrünland für diese intensiven Produktionsverfahren steigt (wieder) mit der zunehmenden Konkurrenz zwischen Nahrungsmittel-, Futter- und Energieproduktion auf Ackerstandorten.

Flächenmäßig ist jedoch nach wie vor eine – ebenfalls auf Entwässerung angewiesene – extensive Grünlandnutzung vorherrschend. Es sind drei Nutzungsformen zu unterscheiden:

- a) Tiergebundene Verfahren: Mutterkuhhaltung, Färsenaufzucht, Schafzucht (Fleisch)
- b) Pflügenutzung: jährliches Mulchen oder Mahd alle zwei Jahre mit Abfuhr/Entsorgung der Biomasse zur Generierung von EU-Direktzahlungen (Offenhaltung)
- c) Agrarumweltmaßnahmen: naturschutzgerechte Grünlandnutzung/Vertragsnaturschutz, die Nutzung ist verbunden mit Auflagen zu Düngung, Wasserregime, Erntezeitpunkten etc., z. T. zielartenorientiert (Naturschutz)

Alle drei „Produktionsrichtungen“ (Fleisch, Offenlandschaft, Naturschutz) sind nur über Transferleistungen in Form von Direktzahlungen oder Naturschutzprämien rentabel.

Kowatsch et al. 2009 ermitteln am Beispiel der Mutterkuhhaltung auf extensivem Niedermoorgrünland einen Veredlungswert von -47 €/ha. Auch aus Erhebungen für tiergebundene Produktionsverfahren auf anderen Grünlandstandorten ist bekannt, dass sie nur in seltenen Fällen kostendeckend, i. d. R. sogar hochdefizitär sind (Rühs et al. 2005). Die angeführten Verluste sind mit ca. 430-500 €/ha (Mutterkuhhaltung), ca. 660 €/ha (Ochsenmast) oder 150-500 €/ha (Schafhaltung) deutlich gravierender; lediglich die Milcherzeugung ist noch kostendeckend und die Färsenaufzucht kostengünstig durchführbar (ebd.). Ein unmittelbarer Vergleich der Kalkulationen für verschiedene Standorte (Mittelgebirge, Niedermoor), zu unterschiedlichen Zeiten (z. B. veränderliche Produktionsmittelpreise) und auf der Basis verschiedener Vermarktungsstrukturen (Spanne erzielbarer Erlöse) ist jedoch schwer möglich. Transferzahlungen zur Kostendeckung erfolgen seit 2005 entkoppelt von der Produktion. Sie setzen sich zusammen aus Betriebsprämien, die v.a. auf einem betriebsindividuellen Tierbestand in den Jahren 2000-2002 basieren, und regional unterschiedlichen Zahlungen für Acker- und Grünland. Derzeit erfolgt eine Angleichung der Prämien, so dass bis 2013 je Hektar Ackerland und Grünland eine einheitliche Direktzahlung von voraussichtlich 322 € (M-V) gezahlt werden soll.

Hierdurch erfolgt eine Aufwertung des Grünlandes. Mittelfristig ist jedoch eine Reduzierung der regional einheitlichen Hektarprämie durch Verringerung des Finanzvolumens der 1 Säule der EU-Agrarförderung zu erwarten. Mit Kosten in Höhe von 30 - 130 € (Lohnunternehmer: ca. 60 €) je Hektar ist das jährliche Mulchen die einfachste Variante, die Zahlungsansprüche zu aktivieren.

Die Kosten für Naturschutzmaßnahmen variieren stark von ihrer Zielsetzung und damit verbundenen Einschränkungen. Wenn für Mahd und Beräumung der Fläche Spezialtechnik erforderlich ist bzw. diese per Handarbeit erfolgt und die Biomasse mangels Verwertungsmöglichkeit auf der Deponie entsorgt werden muss, können die Kosten auf deutlich über 1000 € steigen. Bei einer Pflege von Naturschutzflächen durch das niedersächsische Unternehmen Meyer-Luhdorf erfolgt der Einsatz einer Mähraupe mit Bunker (vgl. Abbildung 3.1-7). Bereits bei Ablagerung der gehäckselten Biomasse am Flächenrand kostet die Maßnahme je Hektar ab ca. 900 € (Erstmahd der Fläche) bzw. ab 600 € (Folgeauftrag).

### 3.7.9 Fazit zur Wirtschaftlichkeit der NMB-Produktion (S. Wichmann)

Sowohl der Vergleich mit den Produktionskosten anderer halmgutartiger Brennstoffe als auch mit denjenigen herkömmlicher Verfahren auf Niedermoorgrünland zeigen, dass die Erzeugung von Niedermoorbiomasse durchaus in einem konkurrenzfähigen Kostenrahmen erfolgen kann.

Neben der Erzielung mittlerer bis hoher Erträge, die für alle landwirtschaftlichen Kulturen entscheidend ist – insbesondere aber für diejenigen ohne qualitatives Alleinstellungsmerkmal und somit der Möglichkeit hochpreisiger Vermarktung – bestimmen Produktionskosten und Transferleistungen die Wirtschaftlichkeit.

Einige Faktoren sind marktabhängig. Hierzu zählen die Preise für Produktionsmittel wie Düngemittel oder Treibstoff. Erstere können die Konkurrenzprodukte *Miscanthus* sowie – auf Grund seines Nährstoffwertes – Stroh verteuern. Letztere enthalten neben dem ölmarktabhängigen Preis mit der Höhe der Agrardieselbesteuerung bzw. Obergrenzen für Vergünstigungen jedoch auch eine politische Komponente.

Auch die Flächenkosten sind politisch beeinflusst: Da alle Flächennutzer Abgaben für Wasser-Boden-Verbände zahlen, wird das teure Erhalten von klimaschädlichen, niedrigen Wasserständen gefördert, die aus Umweltsicht positive und – nach der Wiedervernässung – keine Be- oder Entwässerungskosten verursachende nasse Bewirtschaftung hingegen benachteiligt. Ebenso hängen die Pachtpreise von den – veränderbaren – Rahmenbedingungen der Förderpolitik und den auf der Fläche erzielbaren Bodenrenten ab. Sie werden von Flächenprämien oder auch von der Förderung von Biogasanlagen mit einer zumindest in einigen Regionen demzufolge gestiegenen Nachfrage auch nach Grünland beeinflusst.

Stärksten Einfluss auf die Konkurrenzfähigkeit des Produktionsverfahrens hat jedoch die (Nicht-) Berücksichtigung sowohl positiver als auch negativer externer Effekte in der Förderpolitik und durch andere politische Anreiz- bzw. Restriktionsinstrumente: Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist die nasse Niedermoorbewirtschaftung in vielfacher Hinsicht positiv zu bewerten. Wenn im ersten Schritt nicht eine Honorierung von Leistungen (Klimaschutz, Umweltschutz, Naturschutz) erfolgen kann, wäre zumindest eine Gleichsetzung mit anderen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren durch Zuerkennung einer EU-Flächenprämie für den Schilfanbau denkbar. Hierdurch ließe sich nicht nur unter optimalen, sondern auch unter durchschnittlichen Produktionsbedingungen zusätzlich zum gesellschaftlichen Nutzen auch eine betriebswirtschaftliche Perspektive eröffnen.

Mit dem neuen Moorschutzkonzept in Mecklenburg Vorpommern wird deutlich, dass nasse Bewirtschaftungsverfahren auch seitens der Landesregierung gewollt sind und gefördert werden. Auch hier wird eine Zahlung von Flächenprämien in Aussicht gestellt.

### 3.7.10 Wirtschaftliche Planungssicherheit (H. Holst)

Die mit Landwirtschaftsvertretern geführten Gespräche (vgl. Kapitel 3.1.1) ergaben, dass das Risiko einer Investition – insbesondere in einen neuen Betriebszweig – vorab gut beschrieben sein sollte. Zum Risiko gehört z. B. die mittelfristige Abnahmegarantie der Biomasse für den Landwirt. Gerade bei einem Rohstoff, für den es noch keinen funktionierenden Markt gibt, sind solche konkreten Verträge sehr wichtig. Sie regeln die gegenseitige Geschäftsbeziehung von Rohstoffproduzent und -abnehmer und erhöhen für beide Seiten die wirtschaftliche Planungssicherheit. Allerdings ist der Gesamtkontrakt immer auch von der wirtschaftlichen Entwicklung des Energiemarktes insgesamt abhängig. Entsprechende Vereinbarungen sind sowohl im Energiesektor etabliert (z. B. Wärmelieferungsvertrag eines Heizwerks) als auch im Landwirtschaftssektor (z. B. Aufkauf von Raps zu einem vorab vereinbarten Festpreis unabhängig von der Marktpreisentwicklung nach der Ernte).

Im Folgenden wird eine Abnahme- und Liefervereinbarung vorgestellt. Dieser Vorschlag stellt das Grundgerüst für die vertragliche Verbindung zwischen Landwirt und Kraftwerksbetreiber vor, muss aber sicher von juristischen Experten grundsätzlich überarbeitet und geprüft werden. Vor- und Nachteile für die eine oder andere Seite sind immer von der akuten wirtschaftlichen Situation und damit vom Energiemarkt abhängig. Der Vertrag sollte jedoch grundsätzlich eine gute Lösung für beide Partner darstellen, da durch eine deutliche Senkung des wirtschaftlichen Risikos eine Win-Win Situation entstehen soll.

Aufgrund des Umstandes, dass die Zukunft des Biomassekraftwerkes Friedland ungewiss ist, konnte für diesen Standort letztlich keine konkretere Grundlage erarbeitet werden. Der hier vorliegende Entwurf bedarf in sämtlichen Punkten einer Konkretisierung und Prüfung für den Einzelfall der Anwendung.

**Abnahme- und Liefervereinbarung**

mit den Beteiligten

**regionales Biomasse Kraftwerk  
Straße der Zukunft  
2013 Halmgutbrenner**

- im folgenden "Abnehmer" genannt -

und

**Landwirtschaftsbetrieb Pal von Udie  
Zum Niedermoor 5  
2013 Paludikultur**

- im folgenden "Lieferant" genannt -

**Präambel**

Der Abnehmer beabsichtigt, im Rahmen eines von ihm geplanten Biomassekraftwerkes, nach Vorliegen aller hierzu erforderlichen behördlichen Genehmigungen, ein oder mehrere Biomassekraftwerke des Typs \*.\* inkl. Transformatorstationen sowie der erforderlichen Zuwegung und Kabelanbindung zu errichten, zu unterhalten und zu betreiben.

Die vorliegende Vereinbarung regelt in diesem Zusammenhang die Rechte und Pflichten des Abnehmers sowie der Lieferanten.

Sie regelt darüber hinaus das Innenverhältnis der beiden Partner. Ziel dieser Vereinbarung ist es eine nachhaltige Partnerschaft zu gründen, die von gegenseitiger Achtung und von Respekt geprägt ist. Diese Grundhaltung soll auch bei allen Verhandlungen das leitende und prägende Element sein.

**§ 1 Vertragsgegenstand**

(1) Der Lieferant liefert in jedem Jahr Biomassebrennstoffe in folgenden Qualitäten an den Anlagenbetreiber

xy t halmgutartige Biomasse mit folgenden Qualitätsansprüchen

Energiedichte

Salzgehalt

...

Hierbei bleibt es dem Lieferanten überlassen nach Absprache mit dem Abnehmer die Art der lieferbaren Biomasse (z.B. Stroh statt Schilf) selbst zu bestimmen, sofern die Qualitätskriterien eingehalten werden.

(2) Der Abnehmer garantiert dem Lieferanten für die Dauer des Vertrages eine Abnahme der Biomasse zu folgenden Mindestpreisen.

Qualität A: \_\_\_\_\_ Euro/t

Qualität B: \_\_\_\_\_ Euro/t

Qualität C: \_\_\_\_\_ Euro/t

(3) Die Preise werden nach Ablauf der geltenden Preisbindung, die in § 5 geregelt ist, neu verhandelt.

**§ 2 Haftung**

(1) Der Lieferant haftet für die Nichtlieferung des Brennstoffes. Sollte in einem Jahr der Rohstoff nicht geliefert werden können, verpflichtet sich der Lieferant daher einen Substitut zu liefern (beispielsweise Stroh).

(2) Der Abnehmer verpflichtet sich, den Biomassebrennstoff jährlich abzunehmen. Er verpflichtet sich weiter, eine Betriebshaftpflicht-Versicherung abzuschließen, die den Lieferanten vor evtl. Schäden bei Anlagenausfall schützen.

**§ 3 Nutzungsentgelt**

(1) Der Abnehmer und Anlagenbetreiber zahlt für die in diesem Vertrag beschriebene Kooperation eine Beteiligung an den Energieverkaufserlösen oder eine festgelegten Mindestpreis:

Betriebsjahr 1 - 10: xy % der jährlichen Erlöse  
mindestens jedoch EUR xy pro gelieferter Tonne Biomasse

ab Betriebsjahr 11: xy % der jährlichen Erlöse  
mindestens jedoch EUR xy pro gelieferter Tonne Biomasse

Die vorgenannten jährliche Einspeiseerlöse einer WEA berechnen sich dabei aus der gesamten jährlichen Einspeisevergütung des Windparks des Anlagenbetreibers geteilt durch die Anzahl der im Windpark des Anlagenbetreibers errichteten WEA.

**§ 4 Vereinbarungsdauer**

(1) Diese Abnahme- und Liefervereinbarung soll den Partnern eine längerfristige Sicherheit geben wird für den Zeitraum von xy Jahren abgeschlossen. Für diese Vertragsdauer ist auch der Wärme/Energieverkauf zu festen Konditionen gesichert. Mit der Festschreibung der Gültigkeit dieser Vereinbarung soll gewährleistet werden, dass die Partnerschaft zwischen Lieferant – Biomasseabnehmer und Wärmeabnehmer langfristig gesichert ist.

(2) Die in dieser Verpflichtungserklärung vereinbarten Mindestpreise für die Biomasse gelten zunächst für den Zeitraum von drei Jahren. Die Vereinbarungspartner verhandeln nach Ablauf dieser Frist die Preise neu. Maßgeblich ist hierbei die Entwicklung der regionalen Preise für die verkaufte Wärme.

(3) Der Lieferant und damit Erzeuger der Biomasse ist berechtigt Biomassemengen, die zusätzlich zu den bestehenden erzeugt werden frei am Markt zu veräußern so lange er hiermit seinen Lieferverpflichtungen nachkommt.

**§ 5 Kündigung**

**§ 6 Rechtsnachfolge**

**§ 7 Gerichtsstand**

Gerichtsstand für alle Streitigkeiten aus diesem Vertrag ist...

....., den..... ; ....., den .....

Abnehmer

Lieferant

Kontoverbindung des Lieferanten

Kontoinhaber: \_\_\_\_\_

Kontonummer: \_\_\_\_\_

Bank: \_\_\_\_\_

BLZ: \_\_\_\_\_

Eine Änderung der Kontoverbindung wird durch den Lieferanten rechtzeitig angezeigt.

**Widerrufsbelehrung**

**Widerrufsrecht**

Sie können Ihre Vertragserklärung innerhalb von zwei Wochen ohne Angabe von Gründen in Textform (z. B. Brief, Fax, E-Mail) widerrufen. Die Frist beginnt frühestens mit Erhalt dieser Belehrung.

Zur Wahrung der Widerspruchsfrist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs.

Der Widerruf ist zu richten an:

### 3.8 Ökologische Beurteilung der nassen Bewirtschaftung von Niedermooren

#### 3.8.1 Umwelt- und Naturschutzeffekte von Rohrglanzgras- und Schilfnutzung (T. Timmermann)

Die Bewirtschaftung von Niedermooren mit Schilf oder Rohrglanzgras geht mit neuartigen Einflüssen auf das Ökosystem einher, insbesondere mit einmaligen (Umbruch und Erstpflanzung) und periodischen Störungen (Mahd, Transport), Bodenverdichtungen, Nährstoffentzug sowie verändertem Lichtklima, Temperatur- und Wasserhaushalt. Für eine umfassende ‚ökologische Beurteilung‘ dieser Einflüsse müssen dabei einerseits unterschiedliche Phasen der Nutzung (Bestandesetablierung, Vernässung, Mahd und Abtransport) sowie andererseits verschiedene Kompartimente und Aspekte des Ökosystems betrachtet werden. In der hier versuchten ersten ‚Beurteilung‘ (im Sinne von Eser & Potthast 1996) können nur ausgewählte Aspekte anhand einer Literaturlauswertung berücksichtigt werden. Sie kann daher aufgrund der Komplexität des Gegenstandes und der methodischen Probleme (vgl. Timmermann et al. 2006b) nur eine erste Orientierung bieten.

##### 3.8.1.1 Artenvielfalt

Generell stellen naturnahe mitteleuropäische Röhrichte und Großseggenriede Ökosysteme dar, die sehr reich an Vogel- sowie Insektenarten, insbesondere aus der Gruppe der Käfer (Berg et al. 2004), sind. Der Forschungsstand zu Auswirkungen regelmäßiger Störungen und Zerstörungen in Röhrichten und Rieden (überwiegend Schilfbestände) auf die Diversität der Fauna wurde kürzlich in einer Metastudie durch Valkama et al. (2008) ausgewertet. Danach führt eine regelmäßige Mahd zu einem Rückgang der Artenzahlen (Fauna) um ca. 20 %. In den ersten 1-2 Jahren kann eine Mahd jedoch zunächst zu einem Anstieg der Artenzahlen führen. Zur Artenvielfalt von nassen, genutzten Rohrglanzgrasbeständen und Schilfröhrichten liegen bisher aus Norddeutschland umfassende Untersuchungen nur für Vegetationstypen (Berg et al. 2004) sowie ansatzweise für Vögel vor. Anhand dieser beiden Organismengruppen wird daher hier eine erste Beurteilung vorgenommen.

##### **Brutvögel (B. Herold & T. Timmermann)**

Die Vögel sind wohl, gemeinsam mit den Säugetieren, in Mitteleuropa die Tiergruppe mit der größten politischen und praktischen Bedeutung im Naturschutz. Im Folgenden werden daher die untersuchten Nutzungsverfahren (Schilf mit Wintermahd, Rohrglanzgras mit Sommer- und/oder Herbstmahd) im Hinblick auf ihre Brutvogelvorkommen am Beispiel von Flusstalmooren Nordostdeutschlands bewertet und den herkömmlichen Nutzungsalternativen (Intensivgrünland, Grünlandbrache) gegenüber gestellt.

**Rohrglanzgras** (Ernte im Sommer und/ oder Herbst): Zu diesen Lebensräumen liegen bisher nur wenige Untersuchungen vor. Hielscher (1999, 2001) untersuchte trockenere Standorte (in der Regel bis maximal Wasserstufe 4+), Herold (in prep.) vor allem nassere Standorte (in der Regel Wasserstufe 5+ oder 6+). Rohrglanzgrasröhrichte weisen als für Brutvögel nützliche Strukturen im Frühjahr eine hohe Deckung und meist hohe Bodenfeuchte auf. In den im Peene- und Trebeltal untersuchten Flächen reichen die mittleren Wasserstände der untersuchten Rohrglanzgrasbestände von -30 cm bis + 40 cm. Je nach Wasserdargebot ist die Struktur der Bestände sehr unterschiedlich. Generell nimmt die naturschutzfachliche Bedeutung der Flächen für Brutvögel mit steigenden Wasserständen zu.

Braunkehlchen und Feldschwirl präferieren die trockeneren Standorte, die stärker gefährdeten Arten Schilfrohrsänger und Tüpfelsumpfhuhn sowie das in Deutschland bisher als ausgestorben geltende Zwergsumpfhuhn bevorzugen nasse bis stark überstaute Rohrglanzgrasbestände (Tabelle 3.8-1). Mosaiken aus Rohrglanzgras und Flatterbinse haben eine größere naturschutzfachliche Bedeutung als Reinbestände.

Zu Brutvogelvorkommen großflächig gemähter Rohrglanzgrasbestände liegen gegenwärtig überhaupt keine Informationen vor. Von entscheidender Bedeutung ist vermutlich die Verfügbarkeit einer hohen, bereits im Frühjahr schützenden Streuschicht von teils stehengebliebenen, teils niederliegenden Halmen und Blättern (Abbildung 3.2-7).

**Schilf** (Ernte im Winter): Zur naturschutzfachlichen Bewertung von Schilf als Lebensraum liegen zahlreiche Untersuchungen vor (vgl. u. a. Flade 1994, Hawke & José 1996, Dvorak et al. 1997, Ostendorp 1999, Valkama et al. 2008, Poulin et al. 2009, Tanneberger et al. 2009). Erste Erkenntnisse zu Auswirkungen der Schilfmahd im Bereich der Peene liegen für das Jahr 2009 vor (Herold, in prep.). Demnach sind die Projektflächen des EU-Life Projektes ‚Schutz des Seggenrohrsängers in Polen und Deutschland‘ besonders in nassen Jahren für die gefährdeten Arten Kiebitz (RL 2), Tüpfelsumpfhuhn (RL 1) und Bekassine (RL 1) aber auch für den Rotschenkel als Bruthabitat geeignet.

**Intensivgrünland:** Durch hohe Struktur- und Nahrungsarmut und mehrmalige Mahd bieten Intensivgrünländer bis auf gelegentliche Brutversuche der Feldlerche keiner Vogelart die Möglichkeit eine Brut erfolgreich zu absolvieren (Flade 1994).

**Grünlandbrache:** Dieser Typ weist aus ornithologischer Sicht wichtige Strukturen wie offene Nassstellen und eine hohe Streuschicht auf. Aus eigenen Untersuchungen (5 Grünlandbrachen 2007-2009, Herold, in prep.) und Ergebnissen von Hielscher (1999, 2001) können Feldlerche, Wiesenpieper, Wachtelkönig, Braunkehlchen, Feldschwirl, Rohrammer, Sumpfrohrsänger und Bekassine als typisch bzw. mit hoher Stetigkeit auftretende Arten für Grünlandbrachen festgestellt werden (siehe Tabelle 3.8-1). Die Bekassine ist die einzige hochgradig gefährdete Art. Für Feldlerche, Wiesenpieper und Braunkehlchen stellen Grünlandbrachen ein Rückzugsgebiet von intensiv genutzten Agrarlebensräumen dar, in welchen in den letzten Jahren deutschlandweit starke Bestandsabnahmen zu verzeichnen waren.

Wie bei Rohrglanzgras- und Schilfbeständen, sind die Vegetationsstruktur und der Grad der Bodenfeuchte von entscheidender Bedeutung für die Artenvielfalt (Tabelle 3.8-1). Feldlerche und Wiesenpieper werden z. B. nur in Bereichen mit dauerhaft kurzer Vegetation überdauern. Das Auftreten der Bekassine dagegen hängt von der Verfügbarkeit schlammiger Bodenstellen ab. Da auf trockeneren Grünlandbrachen mit einer Zunahme von Gehölzen zu rechnen ist, wird die Vogelgemeinschaft mittelfristig von wald- und gebüschtypischen Arten abgelöst werden. Eine gelegentliche Mahd der Flächen kann dieser Entwicklung entgegenwirken.

Tabelle 3.8-1: Brutvögel in Niedermooren Nordostdeutschlands in Abhängigkeit von Nutzungsoption und Wasserstufe

Wasserstufe		3+	4+	5+	6+	Rote Liste	jährliche Mahd	Mahd alle 4-5 Jahre	Artenvielfalt	Stoffhaushalt	Prozessschutz	Landschaftsbild	Quelle
Wasser-Flurabstand (Jahresmittel)		-35	-10	10	40								
<b>Intensivgrünland</b>	(Feldlerche)					V			-	-	-	+	Flade 1994
<b>Grünlandbrache</b> (keine Mahd)	Feldlerche					V	++	+	+-	-	+	+	Hielscher 1999, 1999, 2001, Herold 2010 in prep
	Wiesenpieper					V	++	+					
	Braunkehlchen					3	-	++					
	Feldschwirl					V	--	+					
	Rohrhammer						-						
	Sumpfrohrsänger						-						
	Kiebitz					2	++	--					
	Bekasine					1	++	+					
<b>Rohrglanzgras</b> (Ernte Sommer und/oder Herbst)		Braunkehlchen				3	-	++	+-	+-	-	+	Hielscher 1999, 1999, 2001, Herold 2010 in prep
		Feldschwirl				V	--	+					
		Rohrhammer					-						
		Schilfrohrsänger				2	-	++					
		Tüpfelsumpfhuhn				1	-	++					
	Zwergsumpfhuhn (min. 30 cm Überstau)					0		+					
	Rohrschwirl						--						
<b>Schilf</b> (Ernte Winter)		Blaukehlchen				V	--		+-	+	+	+	Flade 1994, Sellin 2009 schriftl., Herold 2010 in prep, Tegetmeyer et al. 2007, Duerr & Sohns 2001
		Bekasine				1	++	--					
		Rotschenkel				V	++	--					
		Kiebitz				2	++	--					
		Seggenrohrsänger (Rozwarowo)				0	++	--					
		Teichrohrsänger					-						
		Schilfrohrsänger				2	+						
		Rohrweihe				V	--						
		Drosselrohrsänger					--						
		Rohrschwirl				2	--						
		Tüpfelsumpfhuhn				1	+						
		Bartmeise				1	--						
		Wasserralle				V							
	Rohrdommel				1	--							
	Kleines Sumpfhuhn				1	--		-					

### Höhere Pflanzen

In permanent nährstoffreichen Röhrichten, in denen ein Nährstoffentzug infolge von Biomasseentnahme stets durch Nährstoffnachlieferung kompensiert wird (z. B. in vielen Überflutungsflächen), sind die Effekte einer Mahd auf die Diversität der Vegetation gering. Tendenziell dürften sie die Artenzahlen bereits ohnehin recht monotoner Rohrglanzgras- und Schilfröhrichte noch weiter einengen, da diese besonders konkurrenzstarken Gräser besonders profitieren. Andererseits können Störstellen (Bodenverletzungen) infolge der Mahd lokal den Artenreichtum erhöhen und Wuchsorte für Pioniergesellschaften (*Bidentetalia*) bereitstellen. Führt die Mahd jedoch zu einer Verarmung der Standorte (Trophiestufe kräftig oder mittel), gehen die Wuchsdichte und –höhe der Dominanzarten sowie ihre Erträge zurück und es entwickeln sich auf Standorten der Wasserstufen 5+ und 4+ allmählich artenreiche Seggenriede oder Riedwiesen (Succow & Joosten 2001, vgl. Tabelle 3.2-5).

**Fazit zur Artenvielfalt:** Insbesondere Schilfbestände, aber auch nasse Rohrglanzgrasbestände, weisen eine geringe Diversität an Pflanzenarten, aber eine hohe Vielfalt an Tierarten auf. Dabei ist der naturschutzfachliche Wert positiv mit der Wasserstufe und vermutlich negativ mit der Nutzungsintensität (Häufigkeit der Mahd) korreliert.

#### 3.8.1.2 Stoffhaushalt

Das Schilf ist auf Standorten der Wasserstufe 5+ und 6+ zu einer Torfbildung und damit zur langfristigen Bindung von Stoffen in der Lage (Oswit & al. 1976). Standorte der Wasserstufe 4+, dem Optimalbereich von Rohrglanzgras, gelten dagegen nur als ‚torferhaltend‘, d. h. Akkumulation und Freisetzung sind etwa ausgeglichen (Succow & Joosten 2001). Somit reduzieren beide Arten, verglichen mit einem entwässerten Moorgraslandstandort, langfristig die Freisetzung von Stoffen in das Oberflächen- und Porenwasser und damit das Eutrophierungsrisiko (Filterfunktion). Schilf schneidet als Torfbildner hinsichtlich seiner Umwelteffekte insgesamt besser ab als Rohrglanzgras. Allerdings schlägt eine mögliche Etablierung von Schilfbeständen mit Umbruch vermutlich durch hohe Mobilisierungs- und Freisetzungsraten negativ zu Buche. Durch unmittelbare Vernässung nach der Pflanzung sollte allerdings eine starke Abdämpfung möglicher negativer Folgen des Umbruchs möglich sein. Die Bewertung der möglichen Klimaeffekte ist kompliziert, da, je nach Wasserhaushalt und Bodenzustand, mehrere klimarelevante Gase (Methan, Stickoxide, Kohlendioxid) beteiligt sind und es in den ersten Jahren nach einer Vernässung zu extrem hohen Freisetzungsraten kommen kann (Couwenberg et al. 2008). Eine differenzierte Betrachtung zur Klimarelevanz gibt Abschnitt 3.8.2.

#### 3.8.1.3 Sonstige Schutzkriterien

##### Prozessschutz (Wildnis)

Hinsichtlich eines Prozessschutzes (im Sinne von geringstmöglicher Kontrolle des Ökosystems), sind beide Nutzungsvarianten ungeeignet. Da Schilf nur im Winter gemäht wird, ist die Phase hoher biologischer Interaktion (Vegetationsperiode) hier weniger stark betroffen. Außerdem sind viele Schilfröhrichte im Gegensatz zu Rohrglanzgrasbeständen unabhängig von einer Mahd stabil und damit einer ‚Spontanvegetation‘ ähnlicher. Ob sie deutlich ‚wilder‘ sind als eine Grünlandbrache, hängt auch davon ab, inwieweit das Konzept von ‚Wildnis‘ fortwirkende Effekte anthropogener Standortveränderungen (Entwässerung) berücksichtigt.

**Landschaftsbild (Offenhaltung, Ästhetik)**

Der ästhetische Aspekt ‚Landschaftsbild‘ soll der Vollständigkeit halber erwähnt werden. Bewertungen sind hier besonders schwierig und oft widersprüchlich. Daher wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass alle vier Nutzungsalternativen der (überwiegend positiv bewerteten) Offenhaltung der Landschaft dienen und sich ansonsten ästhetisch kaum trennen lassen.

**Tabelle 3.8-2: Umwelt- und Naturschutzeffekte der energetischen Biomassenutzung (Rohrglanzgras, Schilf) sowie herkömmlicher intensiver Grünlandnutzung oder Grünlandbrache auf die Schutzgüter Artenvielfalt, Stoffhaushalt, Prozesse (Wildnis) und Landschaftsbild**

	Intensivgrünland	Grünlandbrache	Rohrglanzgras	Schilf (Winter)
<b>Artenvielfalt</b>	-	+/-	+/-	+/-
<b>Stoffhaushalt</b>	-	-	+/-	+
<b>Prozessschutz</b>	-	+	-	+/-
<b>Landschaftsbild</b>	+	+	+	+

Die Zusammenfassende Übersicht in Tabelle 3.8-2 zeigt, dass eine Nutzung halmgutartiger Biomasse verglichen mit dem Status quo (Grünland oder Brache) positiv Effekte für Natur- und Umweltschutz bringt, insbesondere die Schilfnutzung. Eine weit bessere Bilanz hätte nur die Entwicklung artenreicher Seggenriede und Wiesen durch Nährstoffentzug, aufwendige Vernässungsmaßnahmen und ggf. Oberbodenabtrag. Diese Alternative besteht jedoch nur theoretisch, denn sie kommt aus Kostengründen nicht für größere Flächen in Betracht.

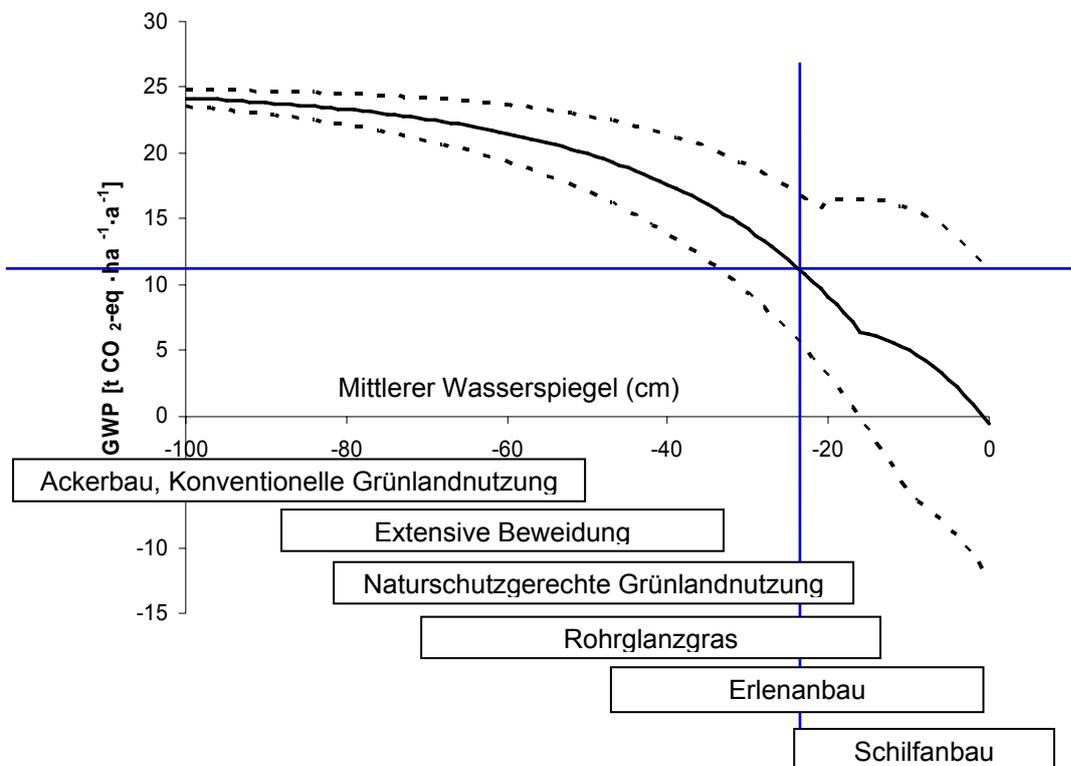
**3.8.2 Einschätzung der Klimarelevanz von Paludikulturen (W. Wichtmann)**

Neue Entwicklungen gehen hin zum Anbau von Bio-Energieträgern auf stark entwässerten Mooren zur Produktion von Mais- und Gras-Silage für Biogas, das über Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland zu Ökostrom veredelt wird. Diese Entwicklungen werden gefördert, seitdem die entwässerten Moorflächen über die Betriebsprämie nicht mehr an die Art der Bewirtschaftung, wie die Kopfprämien bei Mutterkühen, gebunden sind. Die Bewirtschaftung von Mooren ist klimarelevant. Insbesondere abhängig von der Intensität des Wassermanagements, der Wasserstandsdynamik und der Düngung des Standortes kommt es zu unterschiedlichen Emissionen von klimarelevanten Gasen wie Lachgas, Kohlendioxid und Methan oder zur Aufnahme von Kohlendioxid durch die Vegetation und zur langfristigen Festlegung von Kohlenstoff unter anaeroben Bedingungen als Torf. Die Bilanz aller klimarelevanten Faktoren ergibt das tatsächliche Treibhausgaspotenzial eines Moorstandortes.

Für die verschiedenen Bewirtschaftungsformen sind unterschiedliche Wasserstände optimal. So ist eine Befahrung mit schwerem Gerät und üblicher Bereifung auf Wasserstände von mindestens 60 bis 70 cm unter Flur angewiesen. Müssen diese bereits im zeitigen Frühjahr erreicht sein, kann im Sommer der Wasserspiegel bis deutlich unter 120 cm unter Flur fallen. Sicherlich ergibt sich aufgrund unterschiedlicher Situationen auf verschiedenen Standorten eine größere Amplitude der mittleren Wasserspiegel.

In der Abbildung 3.8-1 wird z.B. für eine ackerbauliche Bewirtschaftung ebenso wie für die intensive Saatgraslandwirtschaft für die mittleren Grundwasserstände ein Bereich von durchschnittlich 50 cm bis 140 cm unter Flur angenommen. Diese erforderlichen Wasserstände sind nach der Einstufung in Treibhausgas-Emissions-Standorttypen (ohne Berücksichtigung der nur schwer einschätzbaren Lachgasemissionen) mit der Emission von mindestens 25 t CO<sub>2</sub>-eq. je Hektar und Jahr verbunden.

Eine extensive Beweidung kann ggf. bei mittleren Wasserständen von 30 cm unter Flur stattfinden, wird aber auch bei deutlich tieferen mittleren Wasserständen von >80 cm unter Flur durchgeführt. Die Emissionen können hier, je nach tatsächlich feststellbarem mittlerem Wasserstand, zwischen 15 und 25 t CO<sub>2</sub>-eq. je Hektar und Jahr liegen. Dagegen können mit den nasserem Formen der Rohrglanzgrasröhrichte und des Erlenanbaus sowie mit den meisten Formen der Schilfproduktion im Vergleich zur intensiven Grünlandwirtschaft Entlastungen der Atmosphäre durch eine Reduktion der Treibhausgase von mindestens 15 t CO<sub>2</sub>-eq. je Hektar und Jahr erreicht werden (Kowatsch et al. 2009).



**Abbildung 3.8-1: Treibhausgaspotenzial (GWP) pro Hektar Moorfläche**

Summe aus Kohlenstoffdioxid und Methan, ohne N<sub>2</sub>O, in Abhängigkeit vom mittleren Wasserspiegel und Zuordnung verschiedener Nutzungsformen (verändert nach Couwenberg et al. 2008)

Die Wiedervernässung eines gedrähten Standortes ist, induziert durch die geänderten Wasserhältnisse und die dadurch bedingten, geringer werdenden Torfmineralisierungsraten, mit einer Reduktion der Kohlendioxidemissionen verbunden. Eine besonders starke Abnahme der Kohlendioxidemissionen ist bei einem Anstieg der mittleren Wasserstände über 40 Zentimeter unter Flur zu erwarten. Bei einem weiteren Anstieg der mittleren Wasserstände auf über 20 Zentimeter unter Flur, zunehmend anaeroben Bedingungen und dem Vorhandensein leicht zersetzbarer frischer organischer Substanz

kommt es zu steigenden Methanemissionen (Couwenberg et al. 2008). Insofern ist aus klimapolitischer Sicht die finanzielle Förderung einer auf Entwässerung basierenden Niedermoorbewirtschaftung als kontraproduktiv zu bezeichnen.

### **Generierung von Einkommen durch standortgerechte Bewirtschaftung nasser Moore**

Durch Umnutzung eines Moorstandortes von einer mit hohen Treibhausgasemissionen verbundenen Bewirtschaftung zu einer weniger Treibhausgase emittierenden Bewirtschaftungsform kann durch die Wiedervernässung des Standortes eine Netto-Entlastung herbeigeführt werden. Um diese quantifizieren zu können, ist eine detaillierte Beschreibung der Bedingungen, insbesondere des mittleren Wasserstandes, vor und nach der Umnutzung erforderlich. Da der mittlere Wasserstand eng mit der Vegetationsform korreliert, kann ein Treibhausgas-Emissions-Standorttyp aus der Vegetationsform abgeleitet werden (Koska 2001; Couwenberg et al. 2008). Besonders hohe Treibhausgasemissionen sind bei allen Produktionsverfahren zu erwarten, die mittlere Grundwasserstände unter 40 Zentimeter unter Flur erfordern und gegebenenfalls auch noch mit einer Bodenbearbeitung verbunden sind. Hierzu sind beispielsweise der Kartoffelanbau oder die Produktion von Mais oder Grassilage zu zählen. Besonders kritisch zu beurteilen sind Verfahren für die Bioethanol- oder Biogas-Produktion, die vorgeben, einen Beitrag zur Minderung von Treibhausgas-Emissionen leisten zu wollen und über das Erneuerbare Energien Gesetz gefördert werden (siehe unten). Auf diese Art wird der Klimawandel mithilfe von allzeit knappen Steuergeldern weiter vorangetrieben.

Ein nennenswerter Beitrag für den Klimaschutz kann unter nassen Bedingungen durch standortangepasste Biomasseproduktion (Paludikulturen) erzielt werden (Wichtmann & Joosten 2007). Die Biomasse, die dabei geerntet wird, kann als Ersatz für fossile Energieträger und Rohstoffe Verwendung finden. Aufgrund steigender Konkurrenz zwischen der Nahrungsmittelproduktion und der Nachfrage nach Biomasse zur energetischen Verwertung und der Umweltprobleme der konventionellen Moorbewirtschaftung gewinnt die Werbung von Biomasse aus nassen Mooren zunehmend an Bedeutung. Grundgedanke dabei ist die Erzeugung erntefähiger Roh- und Brennstoffe in dauerhaft nassen, nach Möglichkeit wachsenden Mooren, das heißt bei gleichzeitiger Torfbildung oder zumindest Torferhaltung (Timmermann et al. 2009; Wichtmann & Joosten 2007). Die geerntete Biomasse kann neben der stofflichen Verwertung auch als Energierohstoff Verwendung finden.

Durch Wiedervernässung werden Treibhausgasemissionen reduziert. Eine Honorierung dieser Ökosystemdienstleistung kann durch sogenannte „carbon credits“ im freiwilligen Kohlenstoffhandel erfolgen. Die Methodologie für die Bilanzierung der Klimarelevanz wird derzeit im Rahmen verschiedener Projekte erarbeitet (Couwenberg et al. 2008).

### **Weniger Emissionen durch Schilfanbau für die energetische Verwertung**

Die Produktion von Biomasse auf Niedermooren zur energetischen Verwertung kann sowohl mit hohen Emissionen klimarelevanter Gase als auch mit einer Netto-Entlastung der Atmosphäre verbunden sein. In Tabelle 3.8-3 wird die energetische Nutzung von Gemeinem Schilf, Rohrglanzgras und Erlenholz und deren Verwendung als Ersatz von Heizöl dargestellt. Am Beispiel des Gemeinen Schilfs wird an dieser Stelle die Tabelle erläutert (Wichtmann et al 2009).

Wird Schilf auf degradierten, wiedervernässten Niedermooren angebaut oder werden auf solchen Standorten natürlich entwickelte Bestände beerntet, ermöglichen diese jährliche Erträge von bis über 40 Tonnen Trockenmasse pro Hektar und Jahr im Donaudelta (Rodewald-Rudescu 1974). Zur Absicherung der Aussagen wird in der Tabelle von durchschnittlich zwölf Tonnen ausgegangen. Bei

heute erzielbaren Preisen von 50 bis 60 Euro pro Tonne Trockenmasse müsste eine in etwa kostendeckende Produktion der Biomasse, zum Beispiel in Form von Rund- oder Quaderballen à 0,5 Tonnen möglich sein (Kapitel 3.7, Wichtmann & Schäfer 2004). Bei einem Heizwert von Schilf von mehr als 17,5 Megajoule pro Kilogramm Trockenmasse (Wulf et al. 2008) können durchschnittlich 210 Gigajoule pro Hektar produziert werden. Um ein Gigajoule Energie zu produzieren ist die Schilfernte bei einem Ertrag von 12 Tonnen pro Hektar auf insgesamt 4,8 Hektar erforderlich.

**Tabelle 3.8-3: Bilanz für Paludikulturen (Emissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten)**

Produktion von Schilf (*Phragmites australis*), Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) und Erle (*Alnus glutinosa*) auf wiedervernässtem Niedermoor, Werte im Vergleich zu den Ausgangsbedingungen unter Berücksichtigung des Ersatzes von Heizöl

Parameter	Einheit	Schilf	Rohr- glanzgras	Erle
Produktivität Ø	t ha <sup>-1</sup>	12	5	5
Heizwert kg TM <sup>-1</sup>	MJ kg <sup>-1</sup>	17,5	17,7	19,7
Heizwert ha <sup>-1</sup> (t ha <sup>-1</sup> * MJ kg <sup>-1</sup> ) in	GJ ha <sup>-1</sup>	210	88,5	98,4
Flächenbedarf	Ha TJ <sup>-1</sup>	4,8	11,3	10,2
THG-Emissionen aus Wiedervernässung	t CO <sub>2-eq</sub> ha <sup>-1</sup>	-15	-10	-10
THG-Emissionen aus Wiedervernässung	t CO <sub>2-eq</sub> TJ <sup>-1</sup>	-71	-113	-102
THG-Emissionen aus Handling:	t CO <sub>2-eq</sub> TJ <sup>-1</sup>	10	10	10
THG-Emissionen aus Heizölersatz	t CO <sub>2-eq</sub> TJ <sup>-1</sup>	-75	-75	-75
THG-Bilanz	t CO <sub>2-eq</sub> TJ <sup>-1</sup>	-136	-178	-167

Durch die Wiedervernässung kann eine durchschnittliche Minderung der Kohlenstoffdioxid-Emissionen in Höhe von 15 Tonnen pro Hektar erzielt werden. Daraus ergibt sich für 4,8 Hektar eine Emissionsminderung von 71 Tonnen Kohlendioxid. Für das Handling, also Mahd, Transport, Lager, Anlieferung und Betrieb der Feuerungsanlage, wird pauschal eine Emission von etwa 10 Tonnen Kohlenstoffdioxid pro Terajoule angenommen.

Wird die auf wiedervernässtem Niedermoor produzierte Energie beispielsweise im Rahmen der Kraft-Wärme-Kopplung als Ersatz für Heizöl verwendet, können weitere 75 Tonnen Kohlendioxid pro Terajoule eingespart werden. Zusammen ergibt sich durch die Schilfproduktion somit eine Einsparung von 136 Tonnen Kohlendioxid pro Terajoule.

**Tabelle 3.8-4: CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Moor angebauter Energieträger bzw. von Torf und Heizöl**

(nach Couwenberg 2007)

Energieträger	t CO <sub>2</sub> /TJ
Mais für Biogas	880
Palmöl	600
Torf	106
Heizöl	75

Bei der Produktion von Rohrglanzgras oder Erle auf wiedervernässten Niedermooren besteht aufgrund der geringeren Flächenproduktivität ein höherer Flächenbedarf für die Produktion von einem Terajoule Energie. Weil die durch Wiedervernässung bedingten Emissionseinsparungen pro Flächeneinheit maßgeblich sind, ergeben sich dadurch noch deutlich höhere Emissionseinsparungen pro Terajoule als bei Schilf. Vergleicht man diese Werte mit denen von auf entwässerten Mooren angebauten „Bio-Energieträgern“ Silomais für die Biogasproduktion oder Palmöl für die Palmölgewinnung zur Verwertung im Blockheizkraftwerk (vgl. Tabelle 3.8-4), werden die Vorteile der „nassen“ Bewirtschaftung der Moore offensichtlich. Einer Produktion von Maissilage auf entwässerten Mooren mit vergleichsweise sehr hohen Emissionen von 880 t CO<sub>2</sub>/TJ steht eine Entlastung der Atmosphäre von Treibhausgasen in Höhe von -136 t CO<sub>2</sub>/TJ entgegen. Daher sind Palmöl und Maisanbau auf Mooren abzulehnen. Selbst die energetische Verwertung von Torf, die aus ökologischen Gründen berechtigterweise sehr umstritten ist, verursacht nur ein Achtel der Emissionen wie die Maisproduktion.

Im Vergleich mit anderen Bio-Energieträgern übertrifft die Schilfproduktion bezüglich Gigajoule eingesparter Primärenergie und Tonnen eingesparter CO<sub>2</sub>-Äquivalente sämtliche Konkurrenten. Allein die Alkoholproduktion (EtOH/Ethanol) aus Zuckerrohr und die ETBE-Produktion (Ethyl-tert-butylether) aus Zuckerrüben (beide verwendet als Kraftstoff) können bis an die Größenordnungen des Schilfs herankommen.

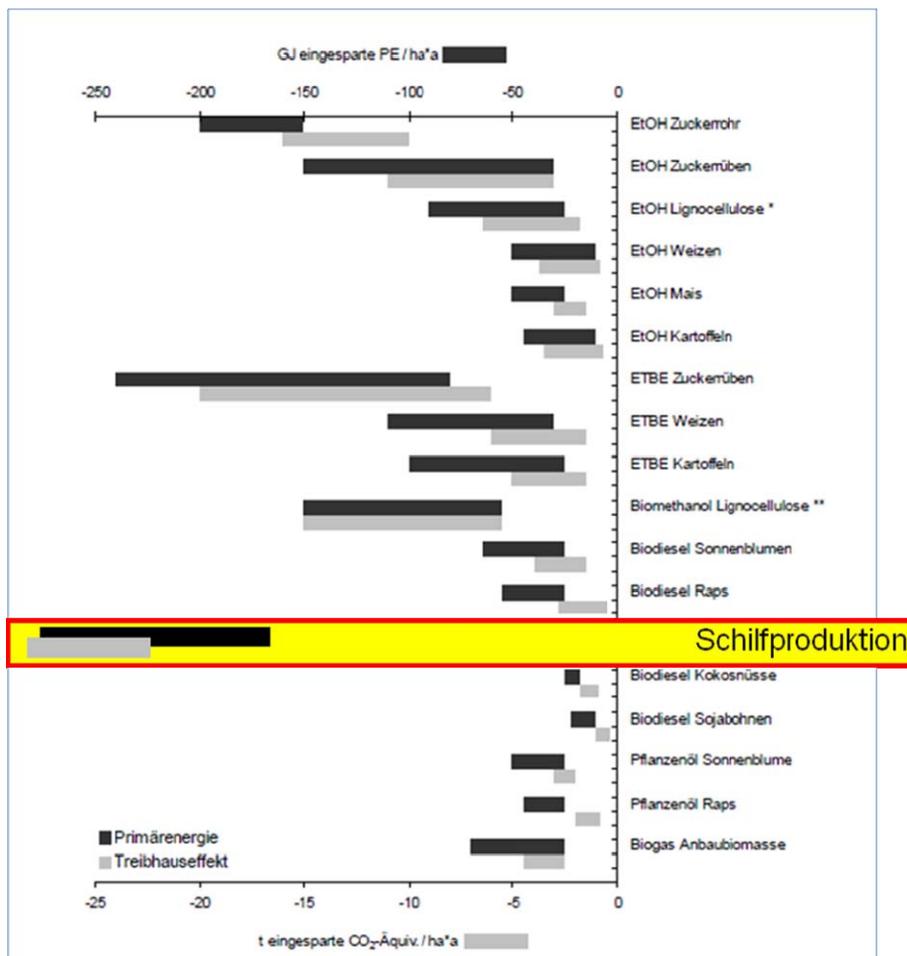


Abbildung 3.8-2: Vergleich der energetischen Verwertung von Schilf bezüglich Gigajoule eingesparter Primärenergie und Tonnen eingesparter CO<sub>2</sub>-Äquivalente (IFEU 2004)

### 3.8.3 Anforderungen an die Biomasseernte aufgrund naturschutzfachlicher Belange (T. Timmermann)

Im Folgenden sind stichpunktartig wesentliche Grundsätze einer aus Naturschutzsicht schonenden Biomasseernte aufgelistet:

- Möglichst späte Ernte, falls möglich Verzicht auf ersten Schnitt (Sommer) beim Rohrglanzgras
- Einbeziehung stark vernässter Offenwasserflächen (Wasserstufe 6+) als besonders artenreiche Vogelhabitate
- Flächendifferenzierung bei Schilfnutzung: 3 Flächenkategorien: (1) dauerhaft ungenutztes Altschilf (ca. 25 % der Fläche), (2) Schilf in Dauernutzung (sehr gut nährstoffversorgte Standorte, 25 % der Fläche), (3) Schilf mit alle 1-2 Jahre alternierender Nutzung (gut bis mittel nährstoffversorgte Standorte, 50 % der Fläche). Verfahren evtl. auch für Rohrglanzgras anwendbar.
- Minimierung von Bodenbewegungen und –verdichtungen
- Konzentration auf Schilfnutzung, Rohrglanzgras nur an nicht stärker vernässbaren Standorten
- Möglichkeit der Nährstoffverarmung durch Biomasseentzug und abnehmende Nachlieferung innerhalb von 5-20 Jahren einkalkulieren (insbesondere bei Sommermahd). Damit verbundene mögliche Ertragsrückgänge um bis zu 50 % zugunsten des ‚ökologischen Wertes‘ von vornherein bedenken.

Für eine weitere Optimierung der Biomassennutzung sollten u. a. folgende Forschungslücken geschlossen werden:

- Ertragsentwicklung im Zuge der Restaurierung (Vernässungsstrategie, Sukzession) und damit veränderter Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit sowie Artenzusammensetzung
- Entwicklung der Stoffdynamik und Klimarelevanz unterschiedlicher Standorte und Dominanzarten im Verlauf der Nutzung
- Prüfung der Nutzungseignung von Großseggen, Rohrkolben und Grünlandbrachen
- Vorteile räumlich differenzierter Nutzungsintensitäten (s. o.) für die Biodiversität

## 4 Praxisbeispiele

### 4.1 Neusiedler See: Ernte von Altschilf und energetische Verwertung (S. Wichmann)

Der Neusiedler See ist zu mehr als der Hälfte mit Schilf bedeckt (178 km<sup>2</sup>), davon 103 km<sup>2</sup> auf österreichischem Gebiet (Czaplovics 1985 in Rechberger 2003). Von den Rohrwerbern werden ca. 1.000 ha traditionell zur Qualitätsschilfernte genutzt, d.h. nur ca. 10 % des Schilfgürtels (Gamauf 2000). Für eine Ausweitung der Schilfnutzung wird aus folgenden Gründen starker Handlungsbedarf gesehen:

- Die Entfernung von Biomasse verringert die organische Belastung des Sees (Wasserqualität, Sauerstoffversorgung).
- Die Verlandung des Sees wird durch die Nutzung verlangsamt.
- Die Erneuerung des Schilfgürtels erhält die Lebensraumfunktion des Schilfökosystems. „Uralt-Schilf“ (ca. 15-20 Jahre) mit dicker Knickschicht wird für die Avifauna unbesiedelbar.
- Der Schutz des Neusiedler Sees erfolgt über mehrere nationale und internationale Schutzgebietskategorien. Sie bedingen die Erhaltung eines „günstigen Zustandes“ des Sees und die Erstellung eines Managementplans. Aus Naturschutzsicht könnte der Schilfgürtel problemlos zu bis zu 50% beerntet werden.

Vor diesem Hintergrund werden seit ca. 25 Jahren diverse Forschungsprojekte und Demonstrationsvorhaben durchgeführt. Kernfragen sind die Erfassung der vorhandenen Schilfbestände, ihre derzeitige Nutzung, aktuelle und innovative Erntetechnik und die Verwertbarkeit der Schilf-Biomasse (Schuster 1985; Dietrich & Gamauf 1998; Gamauf 2000; Hofbauer et al. 2001; Rechberger 2003; Eder et al. 2004).

Derzeit erfolgt ausschließlich eine Ernte von Qualitätsschilf (Dachreet, Dämm- und Baumaterial). Es gab und gibt jedoch verschiedene Ansätze zur Ernte von Altschilf mit dem Ziel einer energetischen Verwertung:

- Heizwerk: In Neusiedl am See war ein Fernwärmeprojekt auf Schilfbasis in Kooperation von Bioenergie Service GmbH und BEGAS geplant (Brennstoffmix aus Schilf und Holzhackschnitzeln). Das Heizwerk wurde gebaut, im Zuge des aufwändigen Genehmigungsverfahrens jedoch auf Schilf als Rohstoff verzichtet. Als Gründe werden die in dieser Region bereits sehr hohe Feinstaubbelastung und massive Probleme mit den Anrainern angegeben. Die Anlage wird derzeit mit Hackschnitzeln betrieben. Eine Umstellung auf Beimischung von Schilf sei jedoch möglich.
- Zementwerk Mannersdorf der Lafarge Perlmooser AG: In Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Pinkafeld wurde kürzlich ein Versuch zur Verbrennung von Schilf zur Wärmeerzeugung für die Zementherstellung durchgeführt. Ein weiterführendes Forschungsprojekt ist beantragt.
- Gewächshaus: Ein Investor hat Interesse, in der Region ein großes, mit Schilf beheiztes Gewächshaus (10 ha) zur Tomatenproduktion zu errichten. Die Abluft soll in das Gewächshaus geleitet werden, um das für das Pflanzenwachstum wichtige CO<sub>2</sub> zu nutzen.

Eine energetische Verwertung ermöglicht und erfordert Anpassungen in der Erntetechnik. Durch die geringeren Anforderungen an die Qualität als bei Dachreet, ist eine Nutzung von Altschilfbeständen sowie eine stärkere Komprimierung der Biomasse (Häckselgut, Ballen) möglich. Gleichzeitig erfordern die geringeren zu erzielenden Erlöse eine personalexensive, schlagkräftige Erntetechnik (vgl. Abschnitt 3.1.2). Am Neusiedler See erfolgte die Entwicklung eines Vollernters auf Raupenbasis, um Altschilf effizient zu ernten. Im Gegensatz zu den Qualitätsschilf-Erntemaschinen kann er von einer Person bedient werden (vgl. Abbildung 3.1-3). Der Prototyp („Sumo-Quaxi“) war zwei Jahre im Einsatz. Die bereits erzeugten Rundballen konnten jedoch auf Grund der fehlenden Nachfrage (s. o. Heizwerk Neusiedl) nicht abgesetzt werden und lagern zum Großteil noch „in der Landschaft“ (vgl. Abbildung 4.1-1). Daher findet derzeit keine Ernte von Altschilf-Rundballen statt.

Der „Quaxi“ hat als Basis eine Pistenraupe mit Doppellaufwerk. Das Gewicht beträgt 10 t, die Auflagefläche 10 m<sup>2</sup> (je Kette 5 m\*1 m), so dass sich ein Bodendruck von 100 g/cm<sup>2</sup> ergibt. Das Schneidwerk für das Schilf ist ein adaptiertes Class-Mähreschermähwerk (Einfachmesser) mit einer Arbeitsbreite von 3 m. Beim Einzug mussten Anpassungen vorgenommen werden, damit sich die langen Schilfhalme nicht verwickeln. Der Fördertunnel zur aufgebauten Rundballenpresse wurde an die Ballenbreite angeglichen, so dass gleichmäßige Ballen entstehen. Wegen der Länge sind zwei Fördertunnel, mit Knick hintereinander installiert. Ein Rotorcutter in der Presse wurde wegen des erhöhten Kraftbedarfs nicht eingebaut. Die Schilfballen haben einen Durchmesser von 1,6 m und wiegen ca. 350 kg. Insbesondere bei größeren Flächen mit langen Wegen zum trockenen Lagerplatz nimmt der Transport der Ballen viel Zeit in Anspruch. Die Erntemaschine funktioniert technisch, - aber (noch) nicht wirtschaftlich. Der Einsatz von geeigneten Transportfahrzeugen zur Aufnahme der Ballen vom Quaxi und zum Abladen am Flächenrand ist daher für eine effiziente Beerntung erforderlich. Ein Ladefahrzeug, ebenfalls auf Raupenbasis, mit aufgebautem Kran wäre sinnvoll.



**Abbildung 4.1-1: Schilf-Rundballen am Neusiedler See**

(Foto: Sabine Wichmann)

## 4.2 Energie & Landschaftspflege Bodensee: Heizwerk Kaltbrunn (S. Wichmann)

Aus der Pflege von Feuchtwiesen und Rieden stehen in der Region am Bodensee große Mengen an Landschaftspflegeheu zur Verfügung (ca. 1.200 t), die bisher nur in Teilen genutzt werden. Selten ist die anfallende Biomasse zur Fütterung von Pferden und Jungvieh geeignet. Die Nutzung als Einstreu oder als Mulchmaterial (Intensivobstbau, Gemüsebau, Weinbau, Sonderkulturen wie Erdbeeren) ist begrenzt. Der Großteil wird kompostiert.

Rund 700t Landschaftspflegematerial sollen zukünftig im geplanten Heizwerk Kaltbrunn verwertet werden. Der Ort hat ca. 900 Einwohner. Für die Nahwärme-Abnahme konnten bisher knapp 100 Haushalte von insgesamt 155 Häusern sowie die Gemeinde mit ihren öffentlichen Gebäuden (Rathaus, Sportzentrum, Feuerwehr und Kindergarten) als Interessenten gewonnen werden. Das Vorhaben wurde durch Informationsveranstaltungen im Dorf, Einzelgespräche mit den jeweiligen Nachbarn der Initiatoren, Rundbriefe, Beiträge im Gemeindeblatt und (über-)regionalen Zeitungen beworben. Für den Sommer wird neben der Bereitstellung von Warmwasser eine Nutzung der Wärme in einer Getreide- und Maistrocknung angedacht.

Die Initiative Energie & Landschaftspflege Bodensee (ELaBo) startete 2006 und wird ausschließlich von ehrenamtlichem Engagement getragen. Als Betreibergesellschaft wurde Anfang 2008 die ELaBo GmbH & Co KG gegründet. Die GmbH hat 21 Gesellschafter und wird für den Betrieb, d.h. das Tagesgeschäft der Anlage verantwortlich sein. Die Kommanditisten der KG kaufen Anteile (Mindesteinlage 2.500 €), kontrollieren die Arbeit der GmbH und treffen grundsätzliche Entscheidungen wie z.B. eine eventuelle Änderung des Wärmepreises. Ziel ist, dass jeder Wärmeabnehmer Mitglied der Kommanditgesellschaft wird. Darüber hinaus steht die KG weiteren Interessenten offen. Jeder Kommanditist hat, unabhängig von der Höhe seines Anteils, nur eine Stimme. Dies soll den Ansatz „Bürger für Bürger“ sichern und eine Übernahme durch große Investoren verhindern. Entscheidungen werden nach dem Mehrheitsprinzip geschlossen.

Der Bau des Heizwerks wurde bisher mehrmals verzögert, da aus unterschiedlichen Gründen noch kein geeigneter Standort gefunden wurde. Inzwischen ist die vierte Fläche ins Auge gefasst. Bei idealem Verlauf von Antragstellung, Genehmigungsverfahren und Bau kann das Heizwerk zur Heizsaison 2010 in Betrieb gehen.

Geplant ist die Installation einer REKA-Strohverbrennungsanlage. Dieser Anlagentyp ist robust, mit der erforderlichen Leistung erhältlich und hat sich in Dänemark seit Jahrzehnten bewährt. Ein Förderband, das den Tagesbedarf an Ballen fassen kann, dient zur automatischen Beschickung. Die Rundballen werden zuerst von einem Ballenauflöser mittels einer Walze zermahlen. Eine Förderschnecke transportiert das Material in die Brennkammer. Die Abgase werden durch einen separaten Filter geleitet. Der Heizkessel soll eine Leistung von 650kW haben. Ergänzend wird ein Holzpellet-Kessel mit einer Leistung von 650 kW installiert. Er dient zum Abfangen der Spitzenlast sowie für den Sommerbetrieb zur Sicherung der Warmwasserversorgung, da er besser zu takten ist. Das regelmäßige An- und Ausschalten im Sommer würde der Heuverbrennungsanlage schaden. In eventuellen Notfällen und bei Wartungsarbeiten könnte im Sportzentrum ein bisher genutzter 40kW-Öl-Kessel eingesetzt werden. Für den Speicher ist eine Größe von 100m<sup>3</sup> vorgesehen. Das Nahwärmenetz ist mit einer Länge von 3,9 km geplant. Die Lagerhalle (45m\*20m) soll als Holzbau ausgeführt werden (Scheune), damit sie sich ins Dorfbild einfügt. Sie soll 75% des Jahresbedarfs an

Ballen fassen können. Die Planungskosten in Höhe von 20.000 € wurden durch PLENUM (Projekt des Landes zur Erhaltung und Entwicklung von Natur und Umwelt) finanziert.

Die Investitionskosten belaufen sich insgesamt auf ca. 2 Millionen Euro. Hiervon entfällt mit 800.000 € der Hauptteil auf das Nahwärmenetz. Jeder Hausanschluss kostet 4.500 €. Für die Heizanlage sind 700.000 € kalkuliert. Allein der E-Filter schlägt mit 100.000 € zu Buche. Die Gebäudekosten werden mit 130.000 € angesetzt. Hinzu kommen weitere Planungskosten sowie die Genehmigungskosten.

Die Finanzierung basiert auf drei Säulen, - Kredit, Förderung und Kommanditistenanteile:

- 1,2 Millionen € KfW-Kredit: Die Zahl der im Vorfeld abgeschlossenen Wärmeverträge ist eine einflussreiche Größe, da sie maßgeblich die Bonitätseinstufung des Kreditnehmers durch die Bank bestimmt und somit über die Höhe des Zinssatzes entscheidet.
- 20.000 € Förderung der Planungskosten im Vorfeld (Plenum)
- 250.000 € Landesförderung: Bioenergie-Wettbewerb Baden-Württemberg
- 380.000 € Bundesförderung: KfW-Programm für erneuerbare Energien, Für die Höhe der Förderung, die als Tilgungszuschuss gewährt wird, ist u. a. die Anschlussdichte pro laufenden Meter Nahwärmenetz relevant.
- 320.000 € Kommanditistenanteile, Sie stellen zzgl. der Förderung den Rest des geforderten Eigenkapitalanteils von mindestens 40 %.

Der Wärmepreis setzt sich zusammen aus einer Grundgebühr und einer verbrauchsabhängigen Zahlung. Beim Grundpreis wird nach Kleinabnehmer (ca. 250-300 € pro Jahr) und Großabnehmer (ca. 500 € pro Jahr) unterschieden. Der verbrauchsabhängige Wärmepreis wird anhand der Zahl der Abnehmer kalkuliert. Derzeit sind 11,9 Ct/kWh vorgesehen. Die Kosten der Wärmeübergabestationen in Höhe von 4.500 € werden mit 1.800 € pro Haushalt von der KfW gefördert.

Das Land hat für 15 Jahre eine kostenlose Bereitstellung des Landschaftspflegematerials zugesagt, indem die Zahlung der Landschaftspflegesätze (ggf. auch ohne EU-Co-Finanzierung) übernommen wird. Für die ELaBo GmbH & Co KG fallen somit lediglich die Transportkosten von der Fläche zum Heizwerk an (max. 20 km). Für die Versorgung des Heizwerks mit halmgutartiger Biomasse wurde gemeinsam mit der Naturschutzbehörde ein Flächenpool von 200 ha erarbeitet. Hierzu gehören z.B. Landschaftspflegeflächen in Kaltbrunn, am Mindelsee, im Wollmatinger Ried und im Radolfzeller Aachried. Die Flächeneigentümer sind das Land Baden-Württemberg, die Insel Reichenau und die Stadt Konstanz.

Das Konzept unterstützt Landschaftspflege, Klimaschutz und Ressourcenschonung, fördert regionale Wirtschaftskreisläufe (Bauleitung, Handwerksfirmen) und verstärkt die Unabhängigkeit vom Öl-Markt. Das neue Kraftwerk soll jährlich 250.000 Liter Heizöl sparen und den Kohlendioxid-Ausstoß um 80 Prozent verringern.

*Aktuelle Informationen und Kontakt:*

*ELaBo (Energie & Landschaftspflege Bodensee) → <http://www.elabo-kaltbrunn.de/>*

### 4.3 Zukunftsorientierung der Landwirtschaft: Ganzballenvergaser (L. Bork)

Aus dem Projekt ENIM ergibt sich die Frage nach kleinen dezentralen Anlagen zur thermischen Verwertung der Niedermoorbiomasse. Nahwärmenetze, Schweinemast, Fischzucht, Industrieanlagen usw. sind sicherlich für dezentrale, kleine Anlagen geeignet und werden derzeit meist mit fossilen Brennstoffen betrieben. Es gilt, Möglichkeiten des Einsatzes von Niedermoorbiomasse für den Landwirt zu eruieren und zu kalkulieren. Im Fall der im Projekt beschriebenen Flächen kommt es zu einer Nutzung des vorhandenen Nahwärmenetzes der Stadt Malchin in Mecklenburg-Vorpommern. Bisher wird die Nahwärme ausschließlich mit fossilen Energieträgern erzeugt. Damit eine sinnvolle Integration des Biomassewerks möglich ist, wird die geplante Biomasse-Anlage nur die Grundlast bedienen.

Die Firma HERLT aus Vielitz in Mecklenburg entwickelte vor zehn Jahren einen Strohballenvergaser. Verschiedene Modelle reichen von 89 kW bis 3.000 kW Nennleistung. Für das geplante Vorhaben ist die Verwendung eines HERLT-Vergaserofens der Serie HSV 700 vorgesehen. Der abgedeckte Leistungsbereich beträgt ca. 550 – 950 kW.

Grundsätzlich ist diese Technik für jedes Halmgut geeignet. Wichtig ist nur ein spezielles Ernte- und Lagerregime. Zucker und Kohlenhydrate wirken der Vergasung entgegen. Je schlechter der Futterwert der Biomasse, desto bessere Brenneigenschaften werden im Halmgut entwickelt. Das heißt z.B. für die Verwendung von Stroh, dass das Einpressen des Ernteguts erst nach Auswaschung der Nährstoffe durch Niederschlag erfolgen darf. Ähnlich positiv wirkt sich bei Niedermoorbiomasse ein später Erntezeitpunkt aus, da z. B. Schilf im Herbst einen Großteil der Nährstoffe in unterirdische Speicherorgane verlagert. Die Niedermoor-Biomasse ist zudem nicht mit Agrochemikalien (Düngemittel, Pestizide) belastet. Sie führen im Getreidebau u. a. zur Wachstumsverlängerung und behindern die Erreichung der Brennreife. Der fehlende Einsatz von chlor- und schwefelhaltigen Mineräldüngern minimiert die Korrosionsgefahr durch Chlor- und Schwefelsäure in abgasführenden Bauteilen der Anlage sowie umweltschädliche Emissionen. Bei einer Herbst/Winter-Berntung liegt der Feuchtegehalt der Biomasse im vom Hersteller als optimal für die Vergasung angegebenen Bereich. Zudem ist es günstig, dass eine Lagerung unter Dach nicht erforderlich ist. Im Gegensatz zu noch stark nährstoffhaltigem Stroh ist die nährstoffarme Niedermoor-Biomasse auch über mehrere Jahre gut freilagerfähig. Durch Nasswerden leidet die Brenneignung nur wenig, da die Ballen kaum faulen und leicht wieder trocknen.

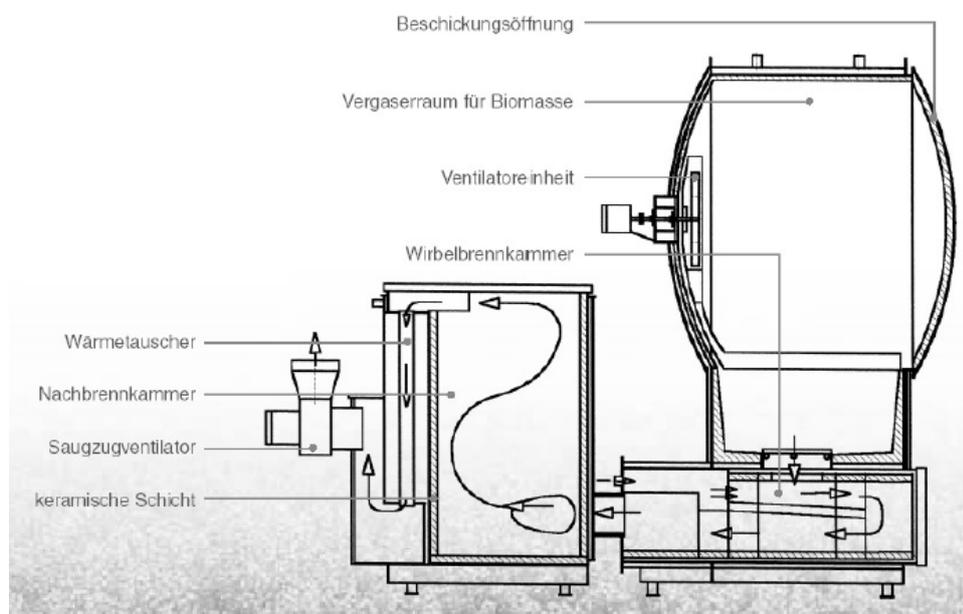
Die HERLT-Technologie sieht eine Unterscheidung zwischen Vergaserraum und der eigentlichen Brennkammer vor. In der ersten Stufe herrschen Temperaturen von weniger als 500 °C im Vergaserraum, wodurch mögliche Verschlackungserscheinungen der Asche stark vermindert werden. Zudem ist die Ascheerweichungstemperatur von Niedermoorbiomasse, die im Spätherbst/Winter geerntet wird, durch die günstigeren Gehalte an kritischen Stoffen (insbesondere niedrige Kalium- sowie hohe Silicium-Gehalte) höher als bei Getreidestroh. Somit ergibt sich bei den im Vergasungsraum herrschenden Temperaturen nicht das Problem einer eventuellen Ascheerweichung, da die dafür notwendigen Temperaturen über 900 °C nicht erreicht werden.

Durch das Vergasen eines ganzen Rundballens in der Vorkammer ist es möglich, einen weiteren Aufbereitungsschritt zu umgehen. Ein Häcksler zur Zerkleinerung der Biomasse vor der Zuführung zum Ofen ist nicht nötig. Dies ist insbesondere daher günstig zu bewerten, da die Messer durch Fremdstoffe wie z. B. Erde und Totholz sehr belastet würden. Da auf Niedermoorflächen eine herkömmliche landwirtschaftliche Bewirtschaftung (Schleppen/Walzen) oft nicht möglich, bzw. aus Naturschutzgründen nicht erwünscht ist, können z. B. mineralische Fremdstoffe im Ballen sein.

Nach einem Anbrennen der äußeren Bereiche des Rundballens erwärmt sich der Ballen auf Temperaturen um die 500 °C. In diesem Temperaturbereich setzt die Biomassevergasung ein. Hier ist es günstig, wenn die Biomasse nicht zu trocken ist und Wassergehalte von bis zu 20 % vorliegen. Der Grund dafür ist, dass bei diesen Wassergehalten die höheren Temperaturen schnell in das Balleninnere „transportiert“ werden und auch dort günstige Bedingungen für die Biomassevergasung vorliegen.

Die Brenngase werden aus der Vorkammer in den eigentlichen Brennraum befördert. In dieser Wirbelbrennkammer findet der vollständige Ausbrand der Gase statt. Eine Abgaswäsche filtert die Rauchgase soweit vollständig, dass grenzwertige Belastungen die Umwelt nicht treffen.

Die Biomasse muss Ballen für Ballen einzeln in den Vergaserraum befördert werden. Erst nach vollständiger Entgasung wird der nächste Pressling zur Verwertung eingesetzt. In der Regel erfolgt dies mit Hilfe eines Traktors mit angebauter Frontgabel alle zwei bis drei Stunden. Im Projekt Nahwärme Malchin wird allerdings eine automatische Beschickung ihren Einsatz finden, da über 24 Stunden stündlich beschickt werden muss. Diese diskontinuierliche Heizweise bedarf natürlicherweise eines großen Pufferspeichers von bis zu 100.000 Liter.



**Abbildung 4.3-1: Herlt-Ganzballenvergaser Schnittdarstellung**

(HERLT SonnenEnergieSysteme 2005)

Im Februar 2009 erfolgte die Besichtigung eines Ganzballenvergaser in Meißen. Die Anlage hat eine Leistung von 300 kW. Der eingesetzte Pufferspeicher hat ein Volumen von 60.000 Litern. Die erzeugte Wärme wird zu Heizzwecken Traktorenhallen und einer Großbäckerei zugeführt. Ein klassischer Ölkessel mit einer Nennleistung von 700 kW wird durch die Biomasseanlage seit Herbst 2008 unterstützt. Als Brennstoff wird Heu aus der Weidelgras-Vermehrung eingesetzt.

Das Anfeuern des Kessels konnte beobachtet sowie die Test-Verbrennung von zwei mitgebrachten Ballen Niedermoor-Biomasse durchgeführt werden. Die Erfahrungen des Betreibers betonten nochmals den hohen Stellenwert von „ausgewaschenem Substrat“. Lagerung und Ernte werden zukünftig der Verwertungsform besser angepasst. Unsere Beobachtungen machten deutlich, dass der Standort der Anlage eines Mindestabstands von Wohnhäusern von ca. 200 Metern bedarf. Die Rauchschwaden, besonders beim Anfahren des Kessels und bei der Beschickung, dürfen bei drückendem Wetter nicht zu verärgerten Nachbarn führen.

#### 4.4 Wärmeerzeugung für die Schweinezucht: Strohverbrennung in Dennin (H. Holst)

Die meiste Erfahrung bei der Verbrennung von halmgutartiger Biomasse gibt es im Bereich Strohverbrennung. Die Denbina Agrar GmbH in Dennin (Mecklenburg-Vorpommern) betreibt seit dem Jahre 1994 eine Strohheizung vom Typus „Passat Energy A/S Telje / DK“ mit einer Leistung von 600 kW. Der Betrieb beheizt hiermit die Ferkelaufzucht- bzw. Schweinemastställe sowie Sozialräume und z.B. die Werkstatt des Betriebs.

Für die Heizung werden im Jahr rund 300 t Stroh benötigt. Das Stroh wird von ca. 80 ha der betriebs-eigenen Ackerflächen (940 ha) gewonnen. Um die Kohlenstoffbilanz des Betriebes nicht zu gefährden, wird davon ausgegangen, dass maximal 10 bis 20% des Strohs entzogen werden dürfen. Den innerbetrieblichen Wert dieses Heizstoffs schätzt der Betriebsleiter Henning Schroll wie folgt:

**Tabelle 4.4-1: Innerbetriebliche Brennstoffkosten für Stroh**

	Getreidestroh
Heizwert	17.1-17,8 MJ/kg ca. 4,9 kWh/kg
Düngerwert	ca. 9,00 €/t
Produktionskosten	ca. 36,00 €/t
Lagerung	ca. 17,50 €/t
Versicherung und sonstiges	ca. 6,50 €/t
Zwischensumme der Kosten	ca. 69,00 €/t
Risiko	ca. 10,00 €/t
<b>Summe</b>	<b>79,00 €/t</b>

Die Möglichkeit der selbständigen Produktion von Wärme gibt dem Unternehmen eine große Unabhängigkeit vom Energiemarkt und dessen schwankenden Preisen. Zudem arbeitet die Heizung seit der Inbetriebnahme annähernd störungsfrei. Der Betriebsleiter ist daher sehr zufrieden mit seiner damaligen Entscheidung – gerade in Anbetracht der hohen Energiepreise zum Zeitpunkt der Besichtigung im Februar 2009.

Die vorgesehene Testverbrennung mit Rohrglanzgras-Ballen aus dem Landwirtschaftsbetrieb Voigt konnte nicht durchgeführt werden. Die Niedermoor-Biomasse wies einen höheren Feuchtgehalt als das betriebseigene Stroh auf. Der Transport des Häckselgutes in die Brennkammer per Gebläse über ein senkrechtes Rohr scheiterte auf Grund zu schwerer und/oder unzureichend zerkleinerter Häckselstücke. Demnach sind nicht nur die Verbrennungstechnik sondern auch Ballenauflöser und Biomassezuführung auf die Besonderheiten von Niedermoorbiomasse auszurichten.

## 5 Zusammenfassung, Bewertung und Ausblick

### Brennstoffeigenschaften und Verbrennungsversuche

Das ENIM-Projekt konnte die grundsätzliche Eignung von Schilf und Rohrglanzgras als Brennstoff bestätigen. Die Niedermoorbiomasse weist ähnliche technologische und verbrennungstechnische Kenngrößen wie andere Halmgüter auf (Stroh, Miscanthus). Im Vergleich erbrachte Schilf in den Analysen im Labor der FHSt etwas bessere Ergebnisse als Rohrglanzgras: höhere Schütt- und Lagerungsdichte, höhere Rohdichten, höhere Heizwerte und geringere Bildung von Asche, die zudem höhere Ascheschmelztemperaturen aufweist. Innerhalb der verschiedenen Herkünfte von Schilf und Rohrglanzgras konnten nur geringe Unterschiede festgestellt werden.

Weiterführende Untersuchungen unterschiedlicher Niedermoorstandorte durch das IfBL zeigten jedoch eine klare Abhängigkeit der Quantität sowie Qualität halmgutartiger Biomasse vom Erntezeitpunkt sowie von der Nährstoff- und Wasserversorgung. Dabei fallen die Schwankungen der Erträge weit stärker aus als die der Biomassequalität. Sowohl hinsichtlich der Erträge, als auch der Natur- und Umweltschutzeffekte besitzt Schilf Vorteile gegenüber Rohrglanzgras. Doch sind beide Arten, je nach den vorhandenen Rahmenbedingungen sehr gut für eine energetische Verwertung geeignet. Die Nährstoffgehalte der Biomasse sind für eine energetische Verwertung unproblematisch. Erhöhte Chloridwerte fanden sich lediglich bei einem durch Brackwasser überfluteten Schilfbestand, jedoch nur bei der ohnehin nicht praktikablen Sommermahd.

Die Verbrennungsversuche der FHSt und der großtechnische Versuch der GMK haben gezeigt, dass NMB für die thermische Verwertung in Holzfeuerungsanlagen eingeschränkt geeignet sind. Die Brennstoffe Schilf und Rohrglanzgras können hier ausschließlich in der Mischung mit Holz dem Verbrennungsprozess zugeführt werden. Die Einsetzbarkeit variiert jedoch sehr stark in Abhängigkeit von der vorhandenen Anlagentechnik (Fördertechnik) und der Aufbereitungstechnik.

Die kleintechnischen Verbrennungsversuche ergaben, dass in der vorhandenen, auf Scheitholz oder Holz-Hackschnitzel bzw. -Pellets ausgerichteten Anlage ein maximaler Anteil von gehäckseltem Rohrglanzgras und Schilf von 10 % zum Holzhackgut für einen zeitlich begrenzten Verbrennungsvorgang möglich ist. Durch das hohe Volumen der Halmgut-Häcksel und die faserartige Struktur gelangte zu wenig Brennstoff in den Brennraum. Weitere Probleme verursachte der hohe Ascheanfall. Für eine dauerhafte Verbrennung sowie eine Erhöhung des Halmgutanteils wären diverse Anpassungen der Anlage erforderlich: ein bewegtes Rost zur Verhinderung des Aschestaus, ein Ascheaustrag sowie eine an Halmgut angepasste Brennstoffzuführung bzw. eine vorherige Verdichtung des Brennstoffs.

Im großtechnischen Verbrennungsversuch in Friedland wurden als maximaler Anteil von Rohrglanzgras in Mischung mit Holzhackgut ca. 26 Massenprozent ermittelt. Bei einer höheren Zugabe konnte die Leistung nicht mehr stabil gehalten werden, da zu wenig Brennstoff nachgefördert wurde. Die Fördereinrichtung müsste an das höhere Volumen des Halmgutes angepasst werden. Weiterhin erwies sich der verwendete Walzenbrecher zur Halmgut-Zerkleinerung als nicht gut geeignet, da er zum Verstopfen neigte. Günstiger wäre ein Ballenauflöser. Der Verbrennungsversuch mit Schilf musste auf Grund von projektunabhängigen Problemen im Kraftwerk Friedland auf unbestimmte Zeit verschoben werden.

Die Rauchgasmessungen haben eine sehr gute Verbrennung mit nur geringen Emissionen von Kohlenmonoxid aufgezeigt, die sich weit unterhalb der Emissionsgrenzwerte befanden. Bei beiden Versuchen sowie allen gemessenen Mischungen traten keine Überschreitungen der zulässigen Grenzwerte auf. Zusätzlich konnten keine höheren Belastungen in der Asche festgestellt werden.

Die geplante Reform der 1.BImSchV bzw. im Nachgang der TA Luft könnte jedoch für die Verbrennung halmgutartiger Brennstoffe problematisch werden: Insbesondere Kleinanlagen wären von den erhöhten Anforderungen betroffen, da mit steigenden Investitionskosten in die Filtertechnik bzw. in teure Kontrollmessungen ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlagen in Frage gestellt sein könnte.

Aus Sicht des Kraftwerkbetreibers gilt es, die Eignung der NMB in einem Langzeitversuch zu untersuchen, um technisch und wirtschaftlich belastbare Erfahrungen sammeln zu können. Die Erprobung des großtechnischen Einsatzes von Schilf steht noch aus. Die Kosten der Brennstoffe sollten jedoch nicht die Preise für Holzhackschnitzel übersteigen, da das Handling loser NMB-Brennstoffe wesentlich aufwändiger ist. Unter einer kostenneutralen Betrachtung sind die Brennstoffe als Zusatzbrennstoff geeignet. Alternativ besteht – analog zu Stroh – die Möglichkeit des Einsatzes von NMB als Monobrennstoff, der jedoch eine andere Anlagentechnik erfordert und nicht Bestandteil des Vorhabens ENIM war.

### **Landwirtschaftliche Produktionskette und Wirtschaftlichkeit**

Die Kultivierung und der Anbau von Schilf im Gewächshaus ist mehrfach erprobt und mittlerweile ebenso praxistauglich wie die im Projekt getestete Pflanzung von Setzlingen mithilfe von Forst- bzw. Gemüsepflanzmaschinen.

Hinsichtlich der Landtechnik kann auf eine Vielzahl von Erfahrungen mit der Bewirtschaftung nasser Flächen im Rahmen der Qualitätsschilfernte bzw. der Landschaftspflege verwiesen werden. Als viel versprechend für eine Weiterentwicklung der Erntetechnik erscheint zum einen der österreichische Prototyp „Quaxi“: Zur Wintermahd von Schilf eingesetzt vereint die modifizierte Pistenraupe die Ernte der Biomasse sowie die Pressung und den Transport von Rundballen. Eine weitergehende Praxiserprobung des Vollernters sowie zusätzlicher Transportfahrzeuge ist insbesondere für eine realistische Kostenkalkulation sowie eine Kostenoptimierung erforderlich. Zum zweiten stellt der Einsatz eines Häckslers eine Option für die Ernte von NMB dar. Um die Transportwürdigkeit des losen Häckselgutes zu erhöhen, wäre eine Herstellung von Presslingen erforderlich. Für feuchte Flächen, die nicht von Schilf bestanden sind, das im Winter trocken geerntet werden kann, und die gleichzeitig zu nass für eine Bodentrocknung von Heu sind, wie sie für die Rohrglanzgras-Ernte angenommen wurde, wäre eine Trocknung der Biomasse in einer Heutrocknungsanlage, deren Homogenisierung bzw. Vermahlung und anschließende Brikettierung vermutlich die einzige Variante.

Die Berechnung mehrerer Alternativen für die Ernte von Rohrglanzgras und Schilf mit herkömmlicher, angepasster Technik sowie Spezialtechnik machte v. a. die Abhängigkeit der Kosten je Tonne TM vom Ertragsniveau der Fläche deutlich. Die Brennstoffgestehungskosten frei Kraftwerk umfassen neben den Erntekosten, Posten für Transport, Lagerung und – bei der Ernte angepflanzter Bestände – die umgelegten Ausgaben für die Bestandesetablierung. Ein Vergleich mit den Gestehungskosten anderer halmgutartiger Brennstoffe (Stroh, Miscanthus) lässt Niedermoorbiomasse unter guten Produktionsbedingungen konkurrenzfähig erscheinen. Gegenüber herkömmlichen „Verfahren“ auf Niedermoorgrünland zur Erzeugung von Fleisch, zur Erhaltung von Offenland oder zur Erbringung von Naturschutzleistungen weist die Produktion von NMB in prämienfreier Kulisse geringere Kosten

auf. Eine Anerkennung von Schilf als landwirtschaftliche Kulturpflanze durch die Zahlung von EU-Flächenprämien oder die Honorierung der vielfältigen externen Leistungen würde nicht nur einen volkswirtschaftlichen Gewinn sondern bereits unter durchschnittlichen Bedingungen auch einen betriebswirtschaftlichen Erfolg ermöglichen.

Für die Verwertung der Niedermoorbiomasse als Monobrennstoff erscheinen kleinere, dezentrale Anlagen als vielversprechend. Sie können zur Deckung des Eigenbedarfs oder auch desjenigen benachbarter Betriebe genutzt werden (z. B. hoher Wärmebedarf für Getreidetrocknung, Schweinezucht, Aquakultur und Gartenbau) oder zur Nahwärmeversorgung von Eigenheimsiedlungen dienen. Besonders Halmgut-Feuerungsanlagen sind jedoch durch hohe Investitionskosten belastet.

### **Nutzungspotenzial sowie Bewertung hinsichtlich der Effekte auf Umwelt und Natur**

Die Rohrglanzgras- und Schilfbewirtschaftung ist aus ökologischer Sicht der bisherigen Grünlandnutzung oder einem Brachfallen bei Beibehaltung der Entwässerungseinrichtungen vorzuziehen. Dies gilt sowohl hinsichtlich der Naturschutzeffekte, als auch im Hinblick auf den Umweltschutz, insbesondere die Effekte für Klima und Gewässer. Die positive Klimarelevanz ergibt sich in erster Linie durch den Torferhalt aufgrund hoher Wasserstände sowie den trotz Biomasse-Entnahme möglichen Torfaufbau durch Schilf-Rhizome und Feinwurzeln. Die mit der energetischen Verwertung von Biomasse verbundene Einsparung fossiler Brennstoffe stellt vor diesem Hintergrund einen zusätzlichen positiven Aspekt dar.

Das Potenzial an nassen bzw. wiedervernässbaren Flächen ist in Norddeutschland ausreichend vorhanden. Eine GIS-basierte Analyse auf der Basis vorsichtiger Schätzungen ergab für einen 30 km-Umkreis von Malchin ein realistisches Aufkommen an Niedermoorbiomasse von ca. 30.000 Tonnen Trockenmasse auf knapp 7.000 Hektar. Allerdings sind räumlich und zeitlich differenzierte Nutzungskonzepte auf Grundlage landschaftsökologischer Gebietsanalysen zu entwickeln, die mögliche Veränderungen der Erträge sowie des Naturschutzwertes der Bestände berücksichtigen.

### **Akzeptanz einer nassen Bewirtschaftung von Niedermooren**

Grundsätzlich ist eine große Offenheit der Landwirte für die nasse Niedermoorbewirtschaftung als neuem Betriebszweig zur naturnahen, nachhaltigen Energierohstoffproduktion festzustellen. Sowohl die landwirtschaftlichen Verbände als auch die öffentliche und politische landwirtschaftliche Vertretung stehen zusätzlichen betriebswirtschaftlichen Alternativen sehr positiv gegenüber. Die Möglichkeit eines wirtschaftlich attraktiven und gleichzeitig für Umwelt und Natur förderlichen Erwerbszweiges wird von landwirtschaftlichen und naturschützerischen Interessensvertretungen gleichermaßen unterstützt.

Gleichzeitig ist eine weitere Klärung insbesondere der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen notwendig. Die erforderlichen Bedingungen, unter denen Landwirte Biomasse in wiedervernässten Niedermooren produzieren, spiegeln sich in folgenden Fragen wieder: „Wie sieht der Markt, der diese Biomasse aufnehmen können soll, konkret aus? Welche Handelspartner stehen konkret zur Verfügung und wie ist deren wirtschaftliche Perspektive? Wie sind die Rahmenbedingungen der Energieproduktion aus den in diesem Projekt produzierten Rohstoffen langfristig?“ Insgesamt fallen die Antworten hier noch zu vage aus.

Der Markt für heterogene halmgutartige Biomasse sollte systematisch ausgebaut werden. Hierfür eignen sich z. B. Forschungsprogramme, die die Einsatzmöglichkeiten weiter klären und erweitern, oder Investitionsförderprogramme, die die Installation erster Pionieranlagen fördern. Ebenso ist eine Anpassung bzw. Erweiterung der einzelbetrieblichen Beratung zur nassen Niedermoorbewirtschaftung sinnvoll.

Zwei konkrete Ergebnisse, die dem Wirken im Rahmen des ENIM-Projektes zuzuschreiben sind, sollen abschließend und als zukunftsweisend genannt sein:

Der Landwirtschaftsbetrieb Hans Voigt hat im Laufe und maßgeblich durch seine Beteiligung im Projekt die anfängliche Skepsis gegenüber einer energetischen Nutzung von Niedermoorbiomasse in die Bereitschaft umgewandelt, selbst in diesen neuen Betriebszweig zu investieren. Der Bau einer entsprechenden Feuerungsanlage und der Betrieb mit Niedermoorbiomasse wären ein herausragendes Demonstrationsvorhaben. Nach vielfältigen Forschungsprojekten und Verbrennungsversuchen ist eine längerfristige Praxiserprobung dringend erforderlich. Ein erfolgreiches Referenzobjekt würde mit Sicherheit nicht nur im Peenetal Nachahmer finden.

Dass mit dem ENIM-Projekt nicht nur auf landwirtschaftlicher Ebene etwas bewegt wurde, sondern dass die politische Diskussion und Weichenstellung beeinflusst werden konnte, zeigt die Aufnahme alternativer Bewirtschaftungsformen für Niedermoore (Paludikulturen) in das Konzept zum Schutz und zur Nutzung der Moore der Landesregierung Mecklenburg-Vorpommern (MLUV M-V 2009b), das eine Fortschreibung des Konzeptes zur Bestandessicherung und zur Entwicklung der Moore (Moorschutzkonzept M-V) aus dem Jahre 2000 darstellt. Es ist u. a. vorgesehen, das Förderprogramm Naturschutzgerechte Grünlandnutzung um einen Baustein „nasse Moorbewirtschaftung“ zu erweitern. Dabei soll interessierten Betrieben neben erhöhten flächengebundenen Zahlungen auch eine Investitionsförderung für angepasste Landtechnik angeboten werden.

## 6 Literatur

1. BImSchV (2003): Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV), vom 15. 7. 1988 (BGBl. I S. 1059), Neufassung vom 14.03.1997, zuletzt geändert am 14.08. 2003 (BGBl. I S. 1614).
  4. BImSchV (2003): Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV), vom 24.07.1985 (BGBl. I S. 1586), Neufassung vom 14.03.1997, zuletzt geändert am 14.08.2003 (BGBl. I S. 1614).
- AbfAbIV (Abfallablagerungsverordnung) (2002): Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen vom 20.02.2001. BGBl. I S.305, zuletzt geändert am 24.07.2002 (BGBl. I, Seite 2807).
- AGFW (Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V.) (2009): Arbeitsblatt FW 308 "Zertifizierung von KWK-Anlagen – Ermittlung des KWK-Stromes. <http://www.agfw.de/1366.0.html> (letzter Zugriff: 07.07.2009) 92 S.
- Bäck, M. (2009): Rechnet sich der Strohverkauf? Der fortschrittliche Landwirt, Heft 12/2009, S.39.
- Barz, M., Ahlhaus, M & Wichtmann, W. (2006): Energetic Utilization of common Reed for combined Heat and Power Generation. 2nd Int. Baltic Bioenergy Conference: Use of bioenergy in the baltic sea region. Conference proceedings. 02.- 04. Nov. 2006. FH Stralsund, pp. 166–173.
- Barz, M., Ahlhaus, M., Wichtmann, W. & Timmermann, T. (2007): Utilisation of common reed as a renewable resource. 15th European Biomass Conference and Exhibition. International Congress Center Berlin. 7, - 11.5.2007. Proceedings, pp. 527-531.
- Barz, M., Ahlhaus M., Wichtmann W., Timmermann T. (2008): Production and Energetic Utilization of Biomass from Rewetted Peatlands; Heat, Power and Thermal Physics Scientific Proceedings of the Riga Technical University, Volume 22, RTU IZDEVNIECĪBA, RĪGA 2008, pp.47-55.
- Bauernzeitung (2009): Märkte & Preise, Landwirtschaftliches Wochenblatt für Mecklenburg-Vorpommern, 24/2009.
- Berg, C., Dengler, J., Abdank, A., Isermann, M. (2004) (Hrsg.): Die Pflanzengesellschaften Mecklenburg-Vorpommerns und ihre Gefährdung – Textband. Weissdorn, Jena. S. 606.
- Bittmann, E. (1953): Das Schilf (*Phragmites communis* Trin.) und seine Verwendung im Wasserbau. Angewandte Pflanzensoziologie, Arbeiten aus der Zentralstelle für Vegetationskartierung, (Heft 7). Stolzenau/Weser. S. 45.
- Björk, S. & Granéli, W. (1978): Energy Reeds in the Environment. *AMBIO* 7, 4, pp.150-156.
- BMELV (Hrsg.) (2009): Statistischer Monatsbericht 1/2009. [http://www.bmelv-statistik.de/fileadmin/sites/020\\_MoBe/Mobepdf2009/StatistischerMonatsberichtJanuar2009.pdf](http://www.bmelv-statistik.de/fileadmin/sites/020_MoBe/Mobepdf2009/StatistischerMonatsberichtJanuar2009.pdf) (letzter Zugriff: 07.07.2009). 83 S.
- BMELV (Hrsg.) (2007): Agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung 2007. <http://www.bmelv-statistik.de/de/service/archiv-agrarberichte/agrarbericht-2007/> (letzter Zugriff: 23.09.2009). S. 133.
- Breitschuh, G., Degner, J., Reinhold, G., Strümpfel, J., Vetter, A. (2006): Orientierungspreise für die Bereitstellung von marktfähiger Biomasse zur energetischen Verwertung. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena. 4S.

- Burvall, J. & Hedman, B. (1998): Perennial rhizomatous grass The delayed harvest system improves fuel characteristics for reed canary grass. Sustainable agriculture for food, energy and industry. James & James Ltd. 916 -918
- Conseur, M. (2006): Ökonomische Analyse einer Anlage zur Herstellung von Halm-gutpellets für die energetische Nutzung in Verbrennungsanlagen und in einer BtL-Produktionsanlage. Hochschule Neubrandenburg, Diplomarbeit, unveröffentlicht. 101 S.
- Conseur, M.; Fuchs, C., Behrmann, C. (2006): Mit Stroh preiswert heizen, Wann sich die Strohpelletierung lohnt und was man dazu braucht. Neue Landwirtschaft, Internetveröffentlichung, Download: <http://www.neutig.de/strohpellet.pdf>, 3 S.
- Couwenberg, J. (2007): Biomass energy crops on peatlands: on emissions and perversions IMCG newsletter, issue 2007/3, pp.12-14
- Couwenberg, J., Augustin, J., Michaelis, D., Wichtmann, W. & Joosten, H. (2008): Entwicklung von Grundsätzen für eine Bewertung von Niedermooren hinsichtlich ihrer Klimarelevanz. Studie im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Naturschutz M-V. DUENE e.V., Greifswald. 33 S.
- Czaplovics, E. (1985) Die land – und seeseitige Ausdehnung des Schilfgürtels des Neusiedler Sees. IN: Arbeitsgemeinschaft Gesamtkonzept Neusiedler See: Forschungsbericht 1981-1984. Mattersburg: Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland, Sonderband 72. Hrsg. Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung und Gesundheit und Umweltschutz und dem Land Burgenland – Landesmuseum. S. 631-633.
- Dietrich, R.; Gamauf, N. (1998): Schilfnutzung am Neusieder See - Vorprojekt im Auftrag der burgenländischen Landesregierung, Österreichische Vereinigung für Agrarwissenschaftliche Forschung, Wien. 59 S.
- DLG-Testzentrum Technik & Betriebsmittel (2005): DLG-Datenblatt Traktoren 2005 Claas Ares 567 ATZ. DLG-top agrar Test. [http://www.dlg-test.de/pbdocs/traktoren/ClaasAres567\\_2005.pdf](http://www.dlg-test.de/pbdocs/traktoren/ClaasAres567_2005.pdf) (letzter Zugriff: 17.01.2009).
- DüMV (Düngemittelverordnung) (2004): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV), Geltung 05.12.2003 in der Fassung vom 26.11.2003 Anlage 1.
- Duerr, T. & Sohns, G. (2001): Schutzmassnahmen für den Schilfrohrsänger (*Acrocephalus schoenobaenus*). Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 10, 4. S. 154-161.
- Dvorak, M., Nemeth, E., Tebbich, S., Rössler, M. & Busse, K. 1997: Verbreitung, Bestand und habitatwahl schilfbewohnender Vogelarten in der Naturzone des Nationalparks Neusiedlersee – Seewinkel. BFB-Bericht 86, Illmitz, 69 S.
- Eder, G., Halinger, W., Wörgetter, M. (2004): Gutachten Energetische Schilfnutzung von Schilfpellets. Im Auftrag des Amtes der Burgenländischen Landesregierung, Abt. 9 Wasser- und Abfallwirtschaft. Austrian Bionergy Centre GmbH, Wieselburg. 53 S.
- ENIM-Zwischenbericht (2008): Zwischenbericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt Energiebiomasse aus Niedermooren (ENIM), unveröffentlicht. 41 S.
- Eser, U., Potthast, T. (1997): Bewertungsproblem und Normbegriff in Ökologie und Naturschutz aus wissenschaftsethischer Perspektive. Z. Ökol. Naturschutz 6, S. 181-189.
- Flade, M. (1994): Die Brutvogelgemeinschaften Mittel- und Norddeutschlands, IHW-Verlag. S.879.
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (Hrsg.) (2000): Leitfaden Bioenergie: Betrieb, Planung und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow. 353 S.

- FNR (Fachagentur Nachwachsende e.V.) (2006): Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung. 3.Auflage, Gülzow. 232 S.
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (Hrsg.) (2007): Leitfaden Bioenergie: Planung, und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. 4.Auflage, Gülzow. 353 S.
- Gamauf, N. (2000): Satellitenbilddauswertung des Schilfgürtels am Neusiedler See zur Ermittlung von Rohstoffpotentialen, Dissertation an der Universität für Bodenkultur, Wien.
- Gaudig, G. (2003): Klärschlammvererdung mit Schilf. Literaturstudie, unveröffentlicht. Universität Greifswald, S. 12.
- Geber, U. (2002): Cutting frequency and stubble height of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.: influence on quality and quantity of biomass for biogas production. *Grass and Forage Science* 57, pp. 389-394.
- Granéli, W. (1984): Reed *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Stendel as an Energy Source in Sweden. Elsevier, England, *Biomass*, 4. pp. 183-208.
- Gullberg, T. (2001): Smaller forestry machines (to contribute to more eco-friendly and flexible forestry management systems) - a feasibility study. Avdelningen för Skog och Träteknik, Högskolan Dalarna. <http://dalea.du.se/research/archive/6632e8fc-90c0-4ee9-96c1-67223eb7bff6/adb6c2f2-b617-4f3d-b9fc-ee2fa23063fb.pdf> (letzter Zugriff: 06.07.2009).
- Güsewell S., Le Nédic, C. & Buttler A. (2000): Dynamics of common reed (*Phragmites australis* Trin.) in Swiss fens with different management. *Wetlands Ecology and Management* 8,6, pp. 375-389.
- Hartmann, H. (1997): Analyse und Bewertung der Systeme zur Hochdruckverdichtung von Halmgut. Gelbes Heft, Nr. 60, Bayrisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Selbstverlag, München. 64 S.
- Hauck, B. (2001): Aspekte des Bodenschutzes bei der Entwicklung, beim Kauf und dem Einsatz von Forstmaschinen. *Forsttechnische Informationen* 4/2001. <http://www.kwf-online.org/fileadmin/dokumente/Arbeitsverfahren/Bodenpfleglichkeit/FTI.pdf> (letzter Zugriff: 05.07.2009).
- Hawke, C.J. & José, D.V. (1996): Reedbed Management for commercial and wildlife interests. publ. by the Royal Soc. for the Protection of Birds. London. 212 p.
- Herlt SonnenEnergieSysteme (2005): Ganzballen-Strohgass-Heizkessel. Broschüre. 16 S.
- Herlt SonnenEnergieSysteme (2008): Merkblatt zur notwendigen Qualität der Strohballen und des Brennholzes. Fassung: September 2008. Vielst. unveröffentlicht. 20 S.
- Hielscher, K. (2001): Brutvogelgemeinschaften in Niedermooren und Habitatwahl des Schilfrohrsägers (*Acrocephalus schoenobaenus*), Dissertation, Universität Potsdam.
- Hielscher, K. (1999): Veränderung der Avifauna des Oberen Rhinluchs im Zuge der Niedermoorbewirtschaftung der letzten 100 Jahre. *Beiträge zur Tierwelt der Mark*, XIV. S. 19-28.
- Hielscher, K. (1999): Effects of fenland restoration in the Upper Rhinluch, Brandenburg, Germany. *Vogelwelt*, 120. S. 261-271.
- Hirschfeld, J.; Weiß, J.; Preidl, M. & Korbun, Th. (2008): Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland. Schriftenreihe des IÖW 186/08. Berlin. 187 S.
- Hofbauer, H., Linsmeyer, T., & Steurer, C. (2001): Machbarkeitsstudie Schilfverwertungsanlage. Endbericht-Kurzfassung. Amt der Burgenländischen Landesregierung, Abt. 9 Wasser- und Abfallwirtschaft, Landeswasserbaubezirksamt Schützen/Geb. 12 S.

- IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH) (2004): CO<sub>2</sub>-neutrale Wege zukünftiger Mobilität durch Biokraftstoffe, Eine Bestandsaufnahme. Autoren: Quirin, M., Gärtner S.O., Pehnt, M., Reinhardt, G.A., am Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU), im Auftrag der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV e.V.), Frankfurt am Main und Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP e.V.), Berlin. S. 230.
- Kaltschmitt, M. & Hartmann, H. (Hrsg.) (2001): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag Berlin. 770 S.
- Kastberg, S. & Burvall, J. (1998): Perennial rhizomatous grass – Reed canary grass as an upgraded bio-fuel: experiences from combustion tests in Sweden. Sustainable agriculture for food, energy and industry. James & James Ltd., pp. 932-937.
- KfW (Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V.) (2004): Marktübersichten Pflanzmaschinen. <http://www.kfw-online.de/deutsch/information/markt/t30.htm> (letzter Zugriff: 17.01.2009).
- Koppisch, D., Roth, S. & Knapp, M. (1998): Naturschutzfachliche Bewertung der Notwendigkeit externer Nährstoffzufuhr auf Niedermoor bei moorschonender Nutzung. Gutachten im Auftrag des LAUN Mecklenburg-Vorpommern. Unveröffentlicht, 53 S.
- Koska, I. (2001): Ökohydrologische Kennzeichnung. In: Succow, M. & Joosten, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Auflage. Schweizerbart, Stuttgart. S. 92-111.
- Koska, I., Jansen, F. & Timmermann, T. (2008): Standortsökologische Bioindikation mit Hilfe des Vegetationsformenkonzeptes. Tuexenia, Beiheft, 1, S. 33-49.
- Kowatsch, A., Schäfer, A. & Wichtmann, W. (2009): Nutzungsmöglichkeiten auf Niedermoorstandorten, Umweltwirkungen, Klimarelevanz und Wirtschaftlichkeit. Endbericht des IfBL und DUENE e.V. Greifswald im Auftrag von: Land Mecklenburg-Vorpommern, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz, 57 S.
- Kraut, D., Prochnow, A. & Ackermann, I. (1997): Einfluss der Landtechnik auf die biologische Vielfalt. Schriftenreihe des BML „Angewandte Wissenschaft“ Heft 465 „Biologische Vielfalt in Ökosystemen“ (1997), S. 77-92.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.) (2006): Energiepflanzen. Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus. Datensammlung mit Internetangebot. KTBL, Darmstadt. 372 S.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.) (2008): Betriebsplanung Landwirtschaft 2008/09. KTBL, Darmstadt. 752 S.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.) (2009): Gartenbau – Produktionsverfahren planen und kalkulieren. KTBL, Darmstadt. 600 S.
- Kube, J. & Probst, S. (1999): Bestandsabnahme bei schilfbewohnenden Vogelarten an der südlichen Ostseeküste: Welchen Einfluß hat die Schilfmahd auf die Brutvogeldichte? Vogelwelt, 120. S. 27-38.
- Lenk, K. (2002): Landschaftspflegeverfahren auf Niedermoorstandorten: Vergleich von maschineller Pflege und Beweidung mit Heckrindern. Unveröffentlicht, Diplomarbeit, Universität Greifswald.
- Lewandowsky, I. Scurlock, J.M.O., Lindvall, E. & Christou, M. (2003): The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. Biomass and Bioenergy 25, pp. 335-361.

- Lippert, K. (1995): Biotoptypenkartierung durch CIR-Luftbilddauswertung in Mecklenburg- Vorpommern, Teil I Methodische Grundlagen. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt und Natur Mecklenburg- Vorpommern, Gülzow-Güstrow. 100 S.
- Lucke, D. (1995): Akzeptanz. Legitimität in der Abstimmungsgesellschaft. Leske + Budrich, Opladen. 452 S.
- Maack, R. & Heilmann, H. (2006): Wirtschaftlichkeit der Rindfleischerzeugung in Mecklenburg-Vorpommern unter besonderer Berücksichtigung der neuen EU-Rahmenbedingungen. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern Fo-Nr.: 51/04. 45 S.
- MLUV BB (Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg) (2008): Datensammlung für die Betriebsplanung und die betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg, 5. überarbeitete Aufl., Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Reihe Landwirtschaft, Band 9 Heft 4, Frankfurt (Oder), 127 S.
- MLUV M-V (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern) (2009): Agrarbericht 2009 des Landes Mecklenburg-Vorpommern (Berichtsjahr 2008). 98 S.
- MLUV M-V (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern) (2009b): Konzept zum Schutz und zur Nutzung der Moore. Druck: Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin August 2009; 104 S.
- Mortensen, J. (1998): Yield and chemical composition of reed canary grass populations in autumn and spring. Sustainable agriculture for food, energy and industry. James & James Ltd. pp. 951-954.
- Nendel, K. (2002): Kompaktierung von Halmgut für die energetische Nutzung. Unterlagen zur Tagung des Facharbeitskreises Biomasse (5. Juni 2002) „Energetische Nutzung von Stroh und Getreideganzpflanzen - Stand und Probleme der Nutzung“, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig.
- Oechner, H. & Maurer, K. (2006): Neues aus der Getreide- und Heuverbrennung. Bioenergienutzung in Baden-Württemberg – Auf dem Weg zum nachhaltigen Ausbau, Tagung, 13.02.2006. 6 S.
- Oswit, J., Pacowski, R. & Zurek, S. (1976): Characteristics of more important peat species in Poland. In: Peatlands and their utilization in Poland. V. International Peat Congress Poznan. NOT, Warsaw. pp. 51-60.
- Palloks, D. & Mainz, T. (2009): Ernte nachwachsender Rohstoffe – Schilfernte. Kunsthochschule Berlin Weißensee, Wintersemester 2008/2009: Dokumentation. 40 S.
- Peisker, D., Hering, T., Vetter, A. (2007): Energetische Verwertung von Stroh. Möglichkeiten und Grenzen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena. 7 S.
- Pfadenhauer, J. (1997): Vegetationsökologie – ein Skriptum. IHW-Verlag, Esching, 2., verb. u. erw. Aufl., 448 S.
- Poulin, B., Lefebvre, G., Allard, S. & Methevet, R. (2009): Reed harvest and summer drawdown enhance bittern habitat in the Camargue. Biological Conservation 142. pp. 689-695.
- Prochnow, A. & Kraschinski, S. (2001): Angepasstes Befahren von Niedermoorgrünland. Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) (Hrsg.), Merkblatt 323. 16 S. ([http://www.dlg.org/uploads/media/dlg-merkblatt\\_323.pdf](http://www.dlg.org/uploads/media/dlg-merkblatt_323.pdf))

- Rathbauer, J. (2001): Erfahrungen und Aussichten der energetischen Verwertung halmgutartiger Biomasse in Österreich. IN: Gülzower Fachgespräche: Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. Stand der Technik und Perspektiven für den ländlichen Raum, FNR 2001, S. 127-133.
- Rechberger, Ch. (2003): Schilf (*Phragmites australis*), Analyse der Ernte- und Verwertungsmöglichkeiten unter besonderer Berücksichtigung des Neusiedler Sees. Diplomarbeit an der FH Wiener Neustadt für Wirtschaft und Technik, Studiengang Produkt- und Projektmanagement in Wieselburg, 131 S. + Anhang.
- Rode, M., Scheider, C., Ketelhake, G. & Reißhauer, D. (2005): Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung, BfN-Skript 136, Bonn – Bad Godesberg, 183 S.
- Rodewald-Rudescu, L. (1974): Das Schilfrohr - *Phragmites communis* TRINIUS. Die Binnengewässer, Bd. XXVII. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. S. 302.
- Roth, S. (2000): Etablierung von Schilfröhrichten und Seggenriedern auf wiedervernässtem Niedermoor. Aachen. 154 S.
- Rühs, M., Hampicke, U. & Schlauderer, R. (2005): Die Ökonomie tiergebundener Verfahren der Offenhaltung. Ergebnisse von Untersuchungen auf Grünland und Truppenübungsplätzen. Naturschutz und Landschaftsplanung 37(11). S. 325-335.
- Schäfer, A. (1999): Schilfröhrikultur auf Niedermoor - Rentabilität des Anbaus und der Ernte von *Phragmites australis*. Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung, 33, S.193-216.
- Schätzl, R., Schmitt, F., Wild, U. & Hoffmann, H. (2006): Gewässerschutz und Landnutzung durch Rohrkolbenbestände. In: Wasserwirtschaft 11/2006, S. 24-27.
- Schieferstein, B. 1997: Ökologische und molekularbiologische Untersuchungen an Schilf (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud.) im Bereich der Bornhöveder Seen. EcoSys. Suppl. Bd. 22, 143 S.
- Schindler, M. (2008): Stroh zum richtigen Preis verkaufen. <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/360/article/10421.html> (Stand: 17.07.2008, letzter Download: 02.04.2009)
- Schmid, A. (2007): Kalkulation und Kostenanalyse im Lohnunternehmen. KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag, Darmstadt. 74 S.
- Schulz, K., Timmermann, T., Steffenhagen, P., Zerbe, S., Succow, M. (in prep.): Production and potential for nutrient storage of helophytes in rewetted fen grassland. Hydrobiologia.
- Schuster, J. (1985): Schilfverwertung – Erntestudie. Naturraumpotential Neusiedler See. Auswirkungen des Grünschnittes auf den Seegürtel.. IN: Arbeitsgemeinschaft Gesamtkonzept Neusiedler See: Forschungsbericht 1981-1984. Mattersburg: Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland, Sonderband 72. Hrsg. Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung und Gesundheit und Umweltschutz und dem Land Burgenland – Landesmuseum. S.589-618
- Siebels, Chr. (2008): EnviRec biogas CHP plant - Location Top Priority. Bioenergy International No. 34, 4; p. 11.
- Statistisches Bundesamt (2009): Index der Einkaufspreise landwirtschaftlicher Betriebsmittel. Waren und Dienstleistungen landwirtschaftlicher Investitionen. <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Zeitreihen/WirtschaftAktuell/Basisdaten/Content75/ekp210a,templateld=renderPrint.psml> (letzter Zugriff: 17.01.2009).

- Steffenhagen, P., Timmermann, T., Schulz, K. & Zerbe, S. (2008): Biomasseproduktion sowie Kohlenstoff- und Nährstoffspeicherung durch Sumpfpflanzen (Helophyten) und Wasserpflanzen (Hydrophyten). In: Gelbrecht, J., Zak, D. & Augustin, J. (Hrsg.): Phosphor- und Kohlenstoff-Dynamik und Vegetationsentwicklung in wiedervernässten Mooren des Peenetales in Mecklenburg-Vorpommern. Berichte des IGB, Bd. 26, S. 145-151.
- Steffenhagen, P., Frick, A., Timmermann, T. & Zerbe, S. (2008): Satellitenbildgestützte Bewertung der Stoffspeicherung. In: Gelbrecht, J., Zak, D. & Augustin, J. (Hrsg.): Phosphor- und Kohlenstoff-Dynamik und Vegetationsentwicklung in wiedervernässten Mooren des Peenetales in Mecklenburg-Vorpommern. Berichte des IGB, Bd. 26, S. 155-156.
- Steffenhagen, P., Frick, A., Timmermann, T. & Zerbe, S. (2008): Satellitenbildgestützte Vegetationsklassifizierung unter besonderer Berücksichtigung dominanter Pflanzenarten. In: Gelbrecht, J., Zak, D. & Augustin, J. (Hrsg.): Phosphor- und Kohlenstoff-Dynamik und Vegetationsentwicklung in wiedervernässten Mooren des Peenetales in Mecklenburg-Vorpommern. Berichte des IGB, Bd. 26, S. 143-144.
- Succow, M. & Joosten, H. (Hrsg.) (2001): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. Auflage. Schweizerbart, Stuttgart, 622 S.
- TA Luft (2002): TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft). Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 27. Juli 2002, Inkrafttreten am 1.10.2002. GMBI. (Gemeinsames Ministerialblatt), Heft 25 – 29, Carl HeymannsVerlag KG. S. 511 – 605.
- Tanneberger, F., Tegetmeyer, C., Dylawerski, M., Flade, M. & Joosten, H. (2009): Slender, sparse, species-rich – winter cut reed as a new and alternative breeding habitat for the globally threatened Aquatic Warbler. *Biodiversity and Conservation* 18: pp. 1475-1489.
- Tegetmeyer, C., Tanneberger, F., Dylawerski, M., Flade, M. & Joosten, H. (2007): The Aquatic Warbler – Saving Europe's most threatened songbird. Reed cutters and conservationists team up in Polish peatlands. *Peatlands International* 2007/1. pp.19-23.
- Timmermann, T. (1999): Anbau von Schilf (*Phragmites australis*) als ein Weg zur Sanierung von Niedermooren - Eine Fallstudie zu Etablierungsmethoden, Vegetationsentwicklung und Konsequenzen für die Praxis. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung*, 33, S. 111-143.
- Timmermann T, Margóczy K, Takács G, Vegelin K (2006a): Restoring peat forming vegetation by rewetting species-poor fen grasslands: the role of water level for early succession. *Applied Vegetation Science* 9, pp241-250.
- Timmermann T, Dengler J, Abdank A, Berg C (2006b): Objektivierung von Naturschutzbewertungen - Das Beispiel Roter Listen von Pflanzengesellschaften. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 38, S. 133-139.
- Timmermann, T., Joosten, H. & Succow, M. (2009): Restaurierung von Mooren. In: Zerbe, S. & Wiegand, G. (Hrsg.): Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa. Spektrum, Heidelberg, S. 55-93.
- Timmermann, T., Wichtmann, W., Schulz, K., Steffenhagen, P. & Zerbe, S. (in prep.): Cultivating Common Reed and Reed Canary Grass as energy plants in rewetted fens: productivity, biomass quality and site availability. *Wetland Restoration*.
- Titze, A. (2006): Futterproduktion: Ohne Kalidüngung geht nichts auf dem Niedermoorgrünland. *LMS-aktuell* 1/2006. S. 24-32.

- Tonn, B., Thumm, U. & Claupein, W. (2007): Grassland biomass for combustion: Quality optimisation by choice of grassland community and delayed harvest. In: Proceedings 15th European Biomass Conference & Exhibition, 7. – 11. Mai 2007, Berlin, Germany, S. 189-195.
- v. Schilling, A. (2003): Akzeptanz der Ökosystementwicklung nach natürlicher Wiedervernässung einer Moorlandschaft am Beispiel des Anklamer Stadtbruchs. Diplomarbeit am Inst. für Botanik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald. 104 S.
- Valkama E, Lyytinen S, Koricheva J (2008): The impact of reed management on wildlife: A meta-analytical review of European studies. *Biological Conservation* 141, pp. 364-374.
- Vetter, A. (2001): Qualitätsanforderungen an halmgutartige Bioenergieträger hinsichtlich der energetischen Verwertung, IN: Gülzower Fachgespräche: Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. Stand der Technik und Perspektiven für den ländlichen Raum, FNR 2001. S.36-49.
- Vymazal, J. & Kröpfelova, L. (2005): Growth of *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* in constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic. *Ecological Engineering* 25, pp. 606-621.
- Weisner, S.E.B. & Granéli, W. (1989): Influence of substrate conditions on the growth of *Phragmites australis* after a reduction in oxygen transport to below-ground parts. *Aquat. Bot.*, 35, pp. 71-80.
- Weiss, V. (2001): Derzeitige und künftig zu erwartende emissionsbegrenzende Anforderungen der TA Luft an Feuerungsanlagen für Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe, IN: Gülzower Fachgespräche: Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. Stand der Technik und Perspektiven für den ländlichen Raum, FNR 2001, S. 17-35.
- Wichtmann, W. (1998): Restoration of degraded fen grasslands by rewetting and reed production. In: El Bassam, N., Behl, R.K. & Prochnow, B. (Eds.): Sustainable agriculture for food, energy and industry. London: James & James, pp. 479 - 483.
- Wichtmann, W. (1999) Schilfanbau als Alternative zur Nutzungsauffassung von Niedermooren. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung*, 33, S.97-110.
- Wichtmann, W. (1999): Nutzung von Schilf (*Phragmites australis*). *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung*, 38, S. 217-232.
- Wichtmann, W. (2003): Verwertung von Biomasse von Niederungsstandorten. *Greifswalder Geographische Arbeiten*, 31, S.43-54.
- Wichtmann, Gensior & Zeitz (1997): Sanierung eines degradierten Niedermoores mittels Anbau von Schilf als nachwachsendem Rohstoff unter Verwertung kommunaler Abwässer (Kurzvorstellung eines interdisziplinären Verbundprojektes). *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 85,II. S.1071 – 1074.
- Wichtmann, W. & D. Koppisch (1998): Nutzungsalternativen für Niedermoore am Beispiel Nordostdeutschlands, *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, Heft 4, S. 162 – 168.
- Wichtmann, W. Knapp, M. & H. Joosten (2000): Verwertung der Biomasse aus der Offenhaltung von Niedermooren. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, Heft 41, S.32 – 36.
- Wichtmann, W. & Schäfer, A. (2004): Nutzung von Niederungsstandorten in Norddeutschland. *Wasserwirtschaft*, Heft 5: S.45 – 48.

- Wichtmann, W. & Schäfer, A. (2007): Alternative management options for degraded fens – utilisation of biomass from rewetted peatlands. In: Okruszko, T., Maltby, E., Szatylowicz, J., Swiatek, D. & Kotowski, W. (2007): *Wetlands: Monitoring, Modeling and Management*. Taylor & Francis/Balkema, Leiden, The Netherlands, pp. 273 – 279.
- Wichtmann, W. & Joosten, H. (2007): Paludiculture: peat formation and renewable resources from rewetted peatlands. *IMCG-Newsletter*, issue 2007/3, August 2007, pp. 24 – 28.
- Wichtmann, W., Couwenberg, J. & Kowatsch, A. (2009): Standortgerechte Landnutzung auf wieder-vernässten Niedermooren. *Klimaschutz durch Schilfanbau. Ökologisches Wirtschaften* 1/2009, S.25-27.
- Wulf, A. (2008): Endbericht zum Teilprojekt „Charakterisierung und Analyse der Biobrennstoffe „Schilfrohr“ und „Rohrglanzgras“ und Verbrennungstests“ (Laufzeit 01.02.2007 – 30.06.2008), im Forschungsprojekt „Energiebiomasse aus Niedermooren“ (ENIM), unveröffentlicht. 83 S.
- Wulf, A.; Wichtmann, W.; Barz, M.; Ahlhaus, M. (2008): Energy Biomass from rewetted peatlands for combined heat and power generation. In: Luschtinetz, T.; Lehmann, J. (Hrsg.): *Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik*. 15. Symposium FH Stralsund, 6.-8. November 2008, pp. 187-194.
- Xiong, S., Zhang, Q.-G., Zhang, D.-Y. & Olsson, R. (2008): Influence of harvest time on fuel characteristics of five potential energy crops in northern China. *Bioresource Technology* 99, pp. 479-485.

### **Persönliche Mitteilungen**

- Choren AG (2007): schriftliche Mitteilung zur guten Eignung von Schilf für die Verwertung als Rohstoff für die BtL-Produktion, außerdem Interesse an größeren Mengen Schilfbiomasse im Einzugsgebiet des geplanten BtL-Werkes in Schwedt.
- Denk, R. (Experte für Schilf als Baustoff), mdl. Mitteilung: 18.02.2009 am Neusiedler See  
Firma Wißmiller, telefonische Auskunft: 10.07.2009, (Reparatur und Umbauten von Pistenraupen, <http://www.pistenraupe.eu>)
- Linke (2009): mündliche Mitteilung im Rahmen einer Exkursion zur Besichtigung der Versuchstrockenfermentationsanlagen am ATB Potsdam, Juli 2009.
- Sellin, schriftl (2009): Exkursionsbericht LIFE-Flächen Seggenrohrsänger-Projekt, Unteres Peenetal
- Sumalowitsch, E. (Rohrwerber), mdl. Mitteilung: 18.02.2009 am Neusiedler See
- Voigt, H. (landwirtschaftlicher Projektpartner im ENIM-Projekt)

### **Weitere Internetquellen**

<http://www.loglogic.co.uk/wetlandharvester.php>  
<http://www.mera-rabeler.de/site/pistenbully.php>  
[http://www.pistenbullyusa.com/special\\_apps.html](http://www.pistenbullyusa.com/special_apps.html)  
[http://www.fpp.at/pics/download/methoden\\_energieholz.pdf](http://www.fpp.at/pics/download/methoden_energieholz.pdf)  
<http://www.tll.de/ainfo/pdf/epfl0403.pdf>  
<http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnippreisreihe.html>  
<http://www.kwf-online.org/bogiebaender.html>  
<http://www.kwf-online.org/329.html>  
<http://www.forsttechnik-koch.de/technik/terri/index.php>  
[www.lwk-niedersachsen.de](http://www.lwk-niedersachsen.de)  
[www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)  
<http://www.elabo-kaltbrunn.de>

### **Weiterführende Informationen zu Pistenraupen und Spezialraupenkettens im Internet**

<http://www.pistenraupe.eu/>  
<http://www.hdehaan.nl/en/>  
<http://nadteto.hu/index.php?p=productsList&iCategory=67&sName=N%E1daratog%E9p>  
<http://www.mera-rabeler.de/index.php>  
<http://www.meyer-luhdorf.de/spezialgeraete/spezialraupen.htm>  
<http://www.pressebox.de/pressemitteilungen/catron-theimeg-europe-gmbh/boxid-228102.html>  
[http://www.reithdachdecker-behrens.de/pages/pflege\\_schneiden/reet\\_schneiden.htm](http://www.reithdachdecker-behrens.de/pages/pflege_schneiden/reet_schneiden.htm)  
[http://www.reithdachdecker-behrens.de/pages/pflege\\_schneiden/moorpflege.htm](http://www.reithdachdecker-behrens.de/pages/pflege_schneiden/moorpflege.htm)  
<http://www.roseaux-camargue.com/de/schilf-camargue-dach-schutz-produktion.php>  
<http://www.softtracksystems.dk/>  
<http://www.ruoko.fi/index.php?page=korjuukoneita>  
[http://www.felasto-pur.de/de\\_index.htm](http://www.felasto-pur.de/de_index.htm)  
<http://www.felasto-pur.de/spezialraupen/pistenraupe.htm>

## **7 Anhang**

## 7.1 Fragebogen (H. Holst)

### Schilf- und Rohrglanzgras

#### Anbau und Ernte auf wiedervernässten Niedermooren

#### Eine Akzeptanzuntersuchung

#### Projektkurzbeschreibung von ENIM (Energiebiomasse aus Niedermooren)

ENIM beschäftigt sich mit:

- Machbarkeit aus Sicht landwirtschaftlicher Betriebe
- Akzeptanz zur Produktion von Schilf
- Einschätzung der betriebswirtschaftlichen Perspektiven aus Sicht der Praktiker
- Brennstoffeignung von Schilf und Rohrglanzgras
- Kooperationsmöglichkeiten zwischen Energie- und Landwirtschaft
- Naturschutz und Landwirtschaft in Niedermooren

Biomasse als regenerierbarer Energieträger wird zum knappen Gut. Die Nachfrage nach Biomasse als Rohstoff für Blockheizkraftwerke, Biomasseverbrennungsanlagen und den privaten Verbrauch für Hausbrandanlagen hat stark zugenommen. Die wachsende

Nachfrage äußert sich zunächst in deutlich steigenden Rohstoffpreisen und dem Bedarf der Erschließung neuer Rohstoff-Potenziale für den Bioenergiemarkt von morgen.

Auf dem Brennstoffmarkt kann Biomasse aus wiedervernässten Niedermooren einen Beitrag dazu leisten Versorgungslücken zu schließen.

Verantwortlich:

Henning Holst (Dipl. Ing. Agrar)

LedA – Die Agentur für Landwirtschaft und Naturschutz

Gutshof 20/21

17498 Guest

[info@agenturleda.de](mailto:info@agenturleda.de)

**Bitte Zutreffendes ankreuzen**

**1. Bitte ordnen Sie sich einem der folgenden Bereiche zu:**

- Behörde/Amt
- Verband / Verein
- NGO
- Landwirt in \_\_\_\_\_
- keine Angabe

**2. Art Ihrer Tätigkeit**

- Beratend für die praktische Landwirtschaft
- Interessenvertreter für die Landwirtschaft
- Interessenvertreter für den Naturschutz
- Mitarbeiter / Entscheidungsträger in einem Amt / einer Behörde
- politischer Verantwortungsträger
- Landwirt

**3. Bitte kreuzen Sie den Erwerbszweig an**

- Heu oder Silage für laktierende Milchkühe
- Heu oder Silage für Jungrinder, Färsen oder Trockensteher
- Heu oder Silage für Kälber
- Heu oder Silage für Schafe
- Beweidung durch Mutterkühe
- Beweidung durch Jungrinder, Färsen oder Trockensteher
- Beweidung durch Bullen oder Ochsen
- Beweidung durch Schafe
- sonstiges
- Naturschutzgerechte Niedermoorbewirtschaftung

**4. Haben Sie grundsätzlich Interesse an einem neuen Erwerbszweig?**

- Ja
- Ja, aber nur im Winterhalbjahr
- Ja, aber nur im Sommerhalbjahr
- Nein
- weiß nicht
- kommt darauf an:

Beschreiben Sie hier bitte in Stichworten und so konkret wie möglich unter welchen Bedingungen ein neuer Erwerbszweig für Sie interessant sein könnte.

**5. Wie wichtig sind Ihnen eine langfristige vertragliche und finanzielle Sicherheit und damit die Bindung an einen Partner aus der Energiewirtschaft?**

- sehr wichtige Bedingung für die Umsetzung
- wichtig
- ich verhandle lieber jedes Jahr neu
- nicht wichtig
- weiß nicht

**6. Kurze Begründung wenn ein neuer Erwerbszweig nicht in Frage kommt.**

**7. Verfügen Sie aktuell über eine oder mehrere der aufgeführten Maschinen?**

- Zwei Schlepper mit breiter Bereifung
- Front- oder Heckmähwerk (Besonderheiten?)
- Großballenpresse
- Technik zum Ballenverladen
- Anhänger zum Ballentransport

**8. Welchen weiteren Informationsbedarf haben Sie?**

Wirtschaftlichkeit:
Technik
Arbeitszeitbedarf
Investitionsbedarf
vertragliche Rahmenbedingungen

**9. Bitte schätzen Sie den aktuellen und zukünftigen (land-)wirtschaftlichen Wert wiedervernässter Niedermoore für Ihren Betrieb ab**

- | Aktuell   | Zukunft                  |
|---|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> vollkommen wertlos                         | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> als Extensivfutterflächen sinnvoll nutzbar | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> in trocknen Jahren wichtige Futterflächen  | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> unentbehrlich als Futter oder Weideflächen | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> weiß nicht                                 | <input type="checkbox"/> |

**10. Die naturschutzgerechte Bewirtschaftung von Niedermoorgrünland ...**

- praktizieren wir zurzeit
- ist eine wichtige betriebliche Einkommensquelle  
(Bitte schätzen Sie grob den Anteil am Betriebseinkommen)
  - macht über 50%
  - macht 30 bis 50%
  - macht 10 bis 30%

**NOTIZEN**

## 7.2 Biomasseanalysen: Schilf und Rohrglanzgras (T. Timmermann)

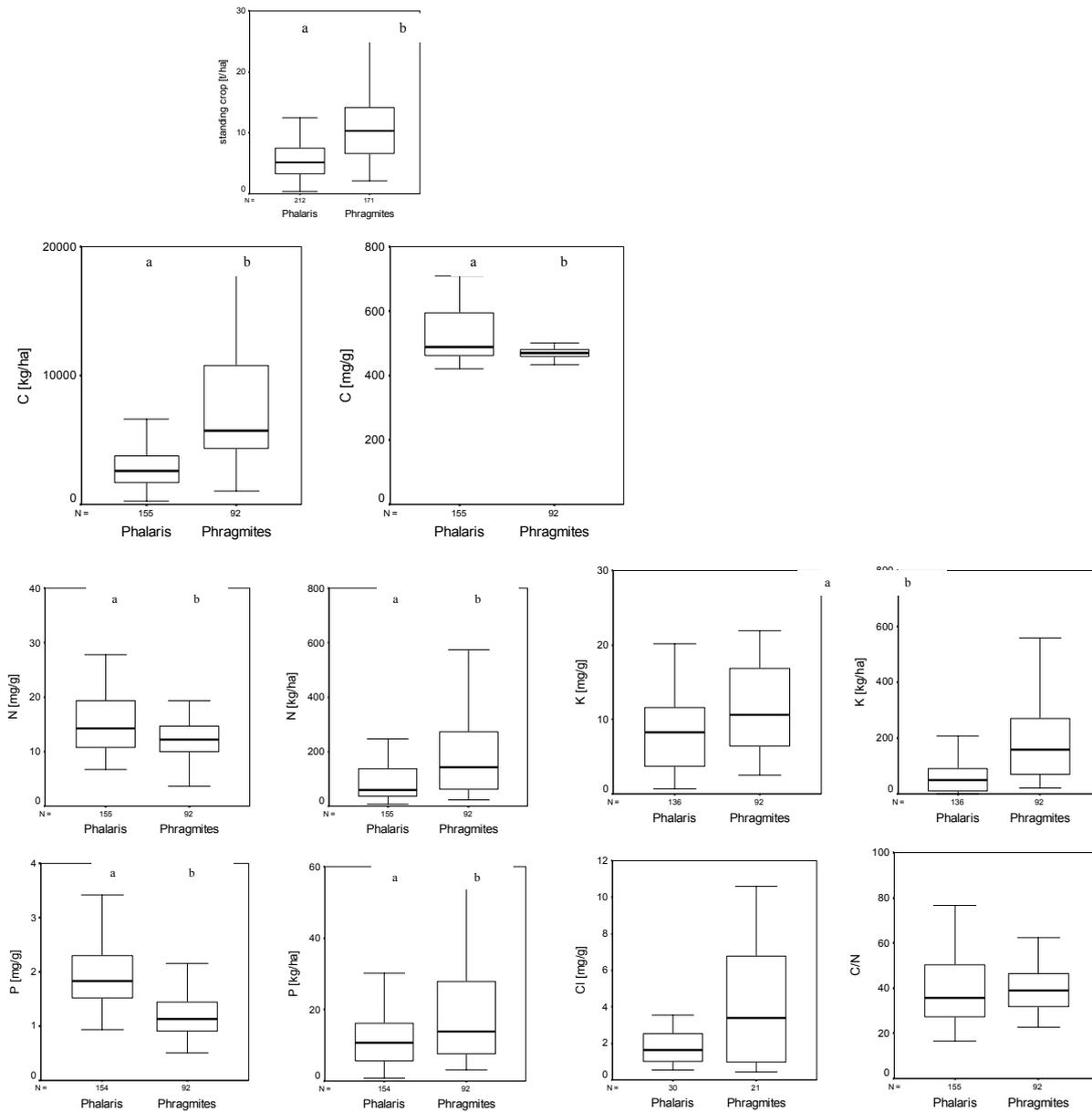
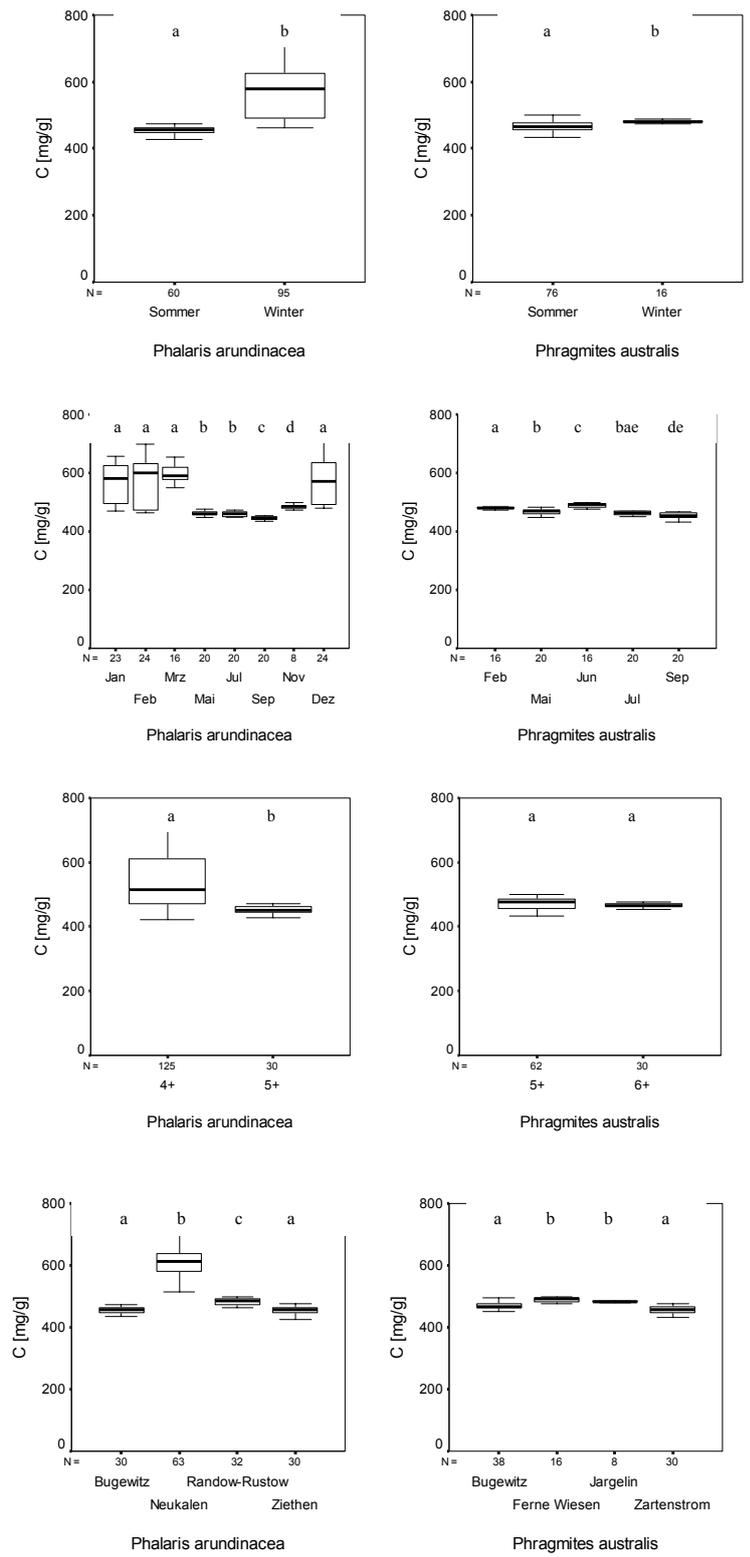


Abbildung 7.2-1: Gehalte von N, P, K und Cl (links: mg/g, rechts: kg/ha) sowie C/N-Verhältnis bei Rohrglanzgras und Schilf.

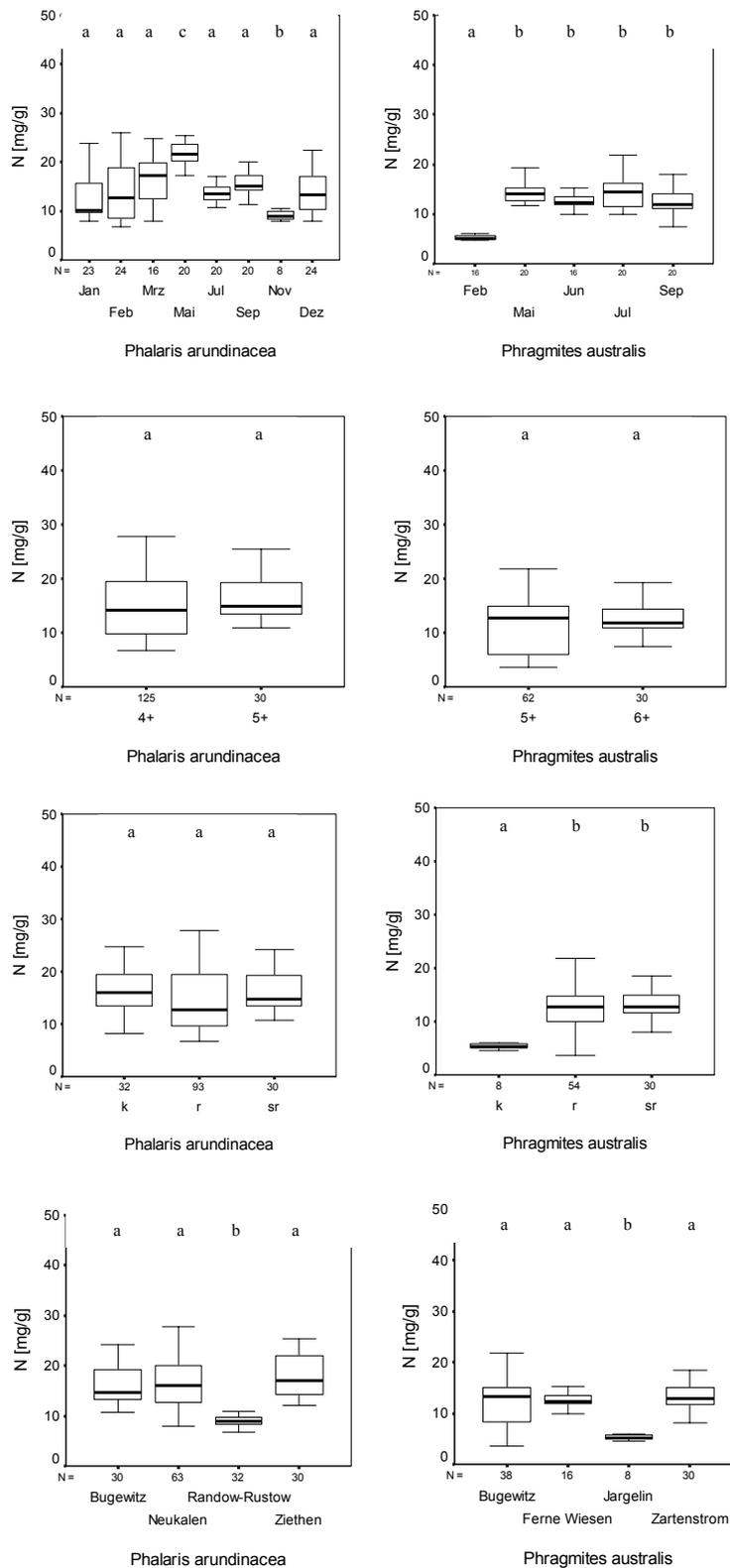
Die Übersicht vereint sämtliche Proben (vgl. Tabelle 3.2-2 und Tabelle 3.2-3). Unterschiedliche Buchstaben (a,b,c usw.) bezeichnen das Vorhandensein, übereinstimmende Buchstaben das Fehlen signifikanter Unterschiede ( $p=0,05$ ).



**Abbildung 7.2-2: C-Gehalte (mg/g) von Rohrglanzgras und Schilf**

In Abhängigkeit von (von oben nach unten): Erntemonat, Wasserstufe, Trophiestufe, und Wuchsort (Polder).

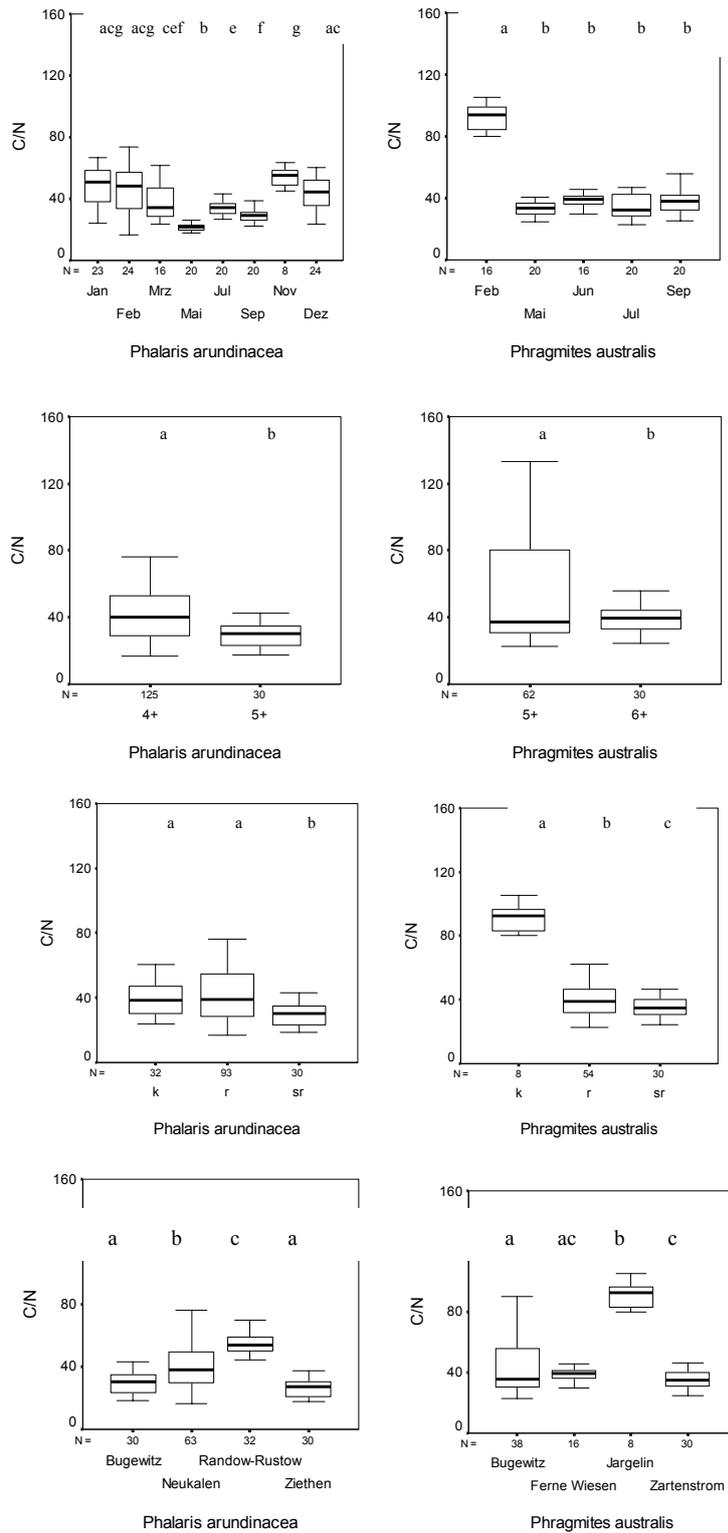
Unterschiedliche Buchstaben (a,b,c usw.) bezeichnen das Vorhandensein, übereinstimmende Buchstaben das Fehlen signifikanter Unterschiede ( $p=0,05$ ).



**Abbildung 7.2-3: N-Gehalte (mg/g) von Rohrglanzgras und Schilf**

In Abhängigkeit von (von oben nach unten): Erntemonat, Wasserstufe, Trophiestufe, und Wuchsort (Polder).

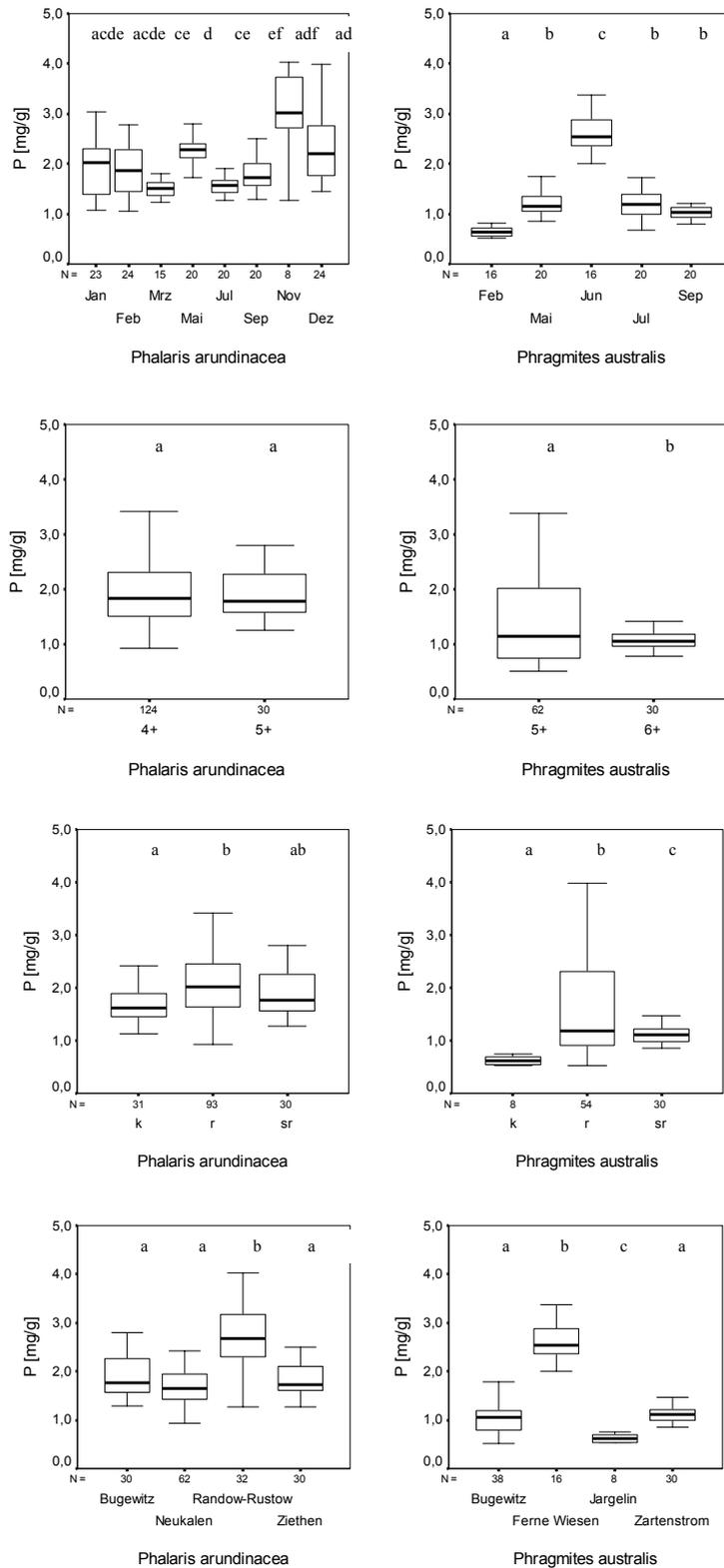
Unterschiedliche Buchstaben (a,b,c usw.) bezeichnen das Vorhandensein, übereinstimmende Buchstaben das Fehlen signifikanter Unterschiede (p= 0,05).



**Abbildung 7.2-4: C/N-Verhältnis von Rohrglanzgras und Schilf**

In Abhängigkeit von (von oben nach unten): Erntemonat, Wasserstufe, Trophiestufe, und Wuchsort (Polder).

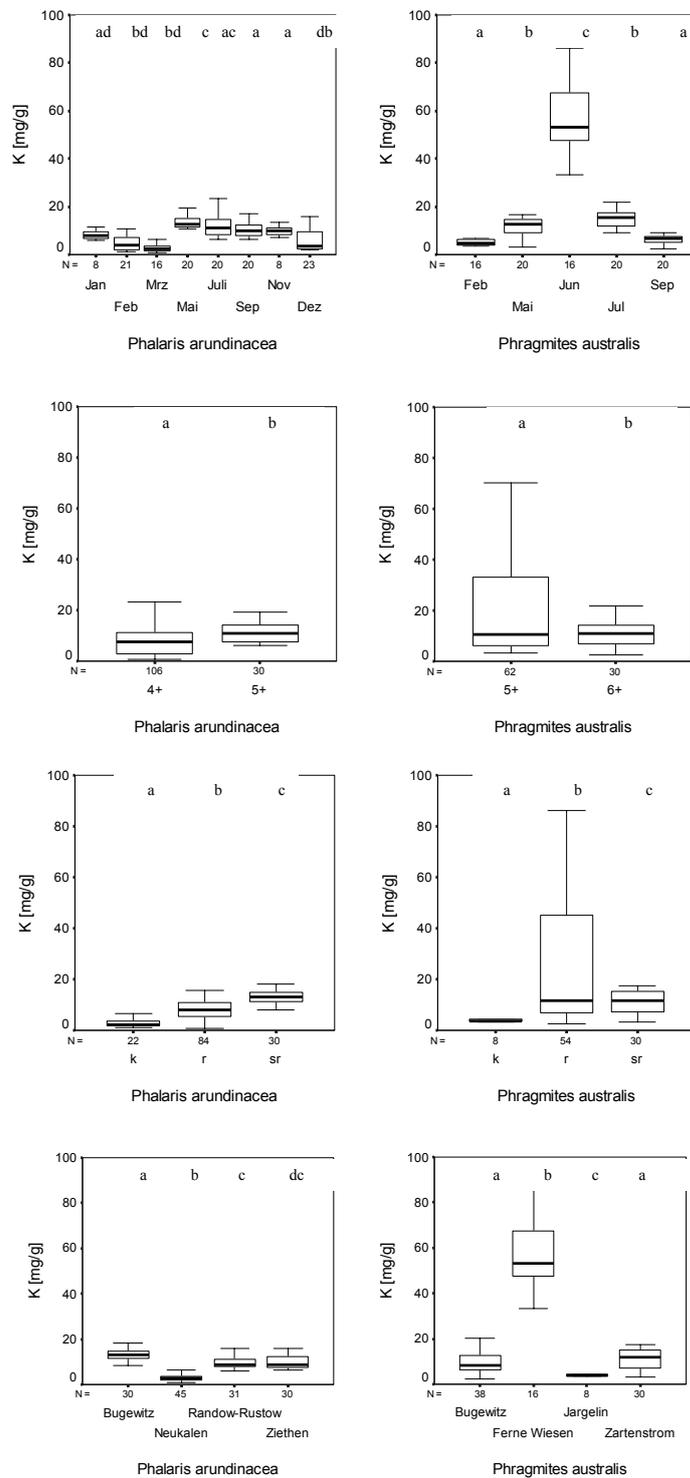
Unterschiedliche Buchstaben (a,b,c usw.) bezeichnen das Vorhandensein, übereinstimmende Buchstaben das Fehlen signifikanter Unterschiede (p= 0,05).



**Abbildung 7.2-5: P-Gehalte (mg/g) von Rohrglanzgras und Schilf**

In Abhängigkeit von (von oben nach unten): Erntemonat, Wasserstufe, Trophiestufe, und Wuchsort (Polder).

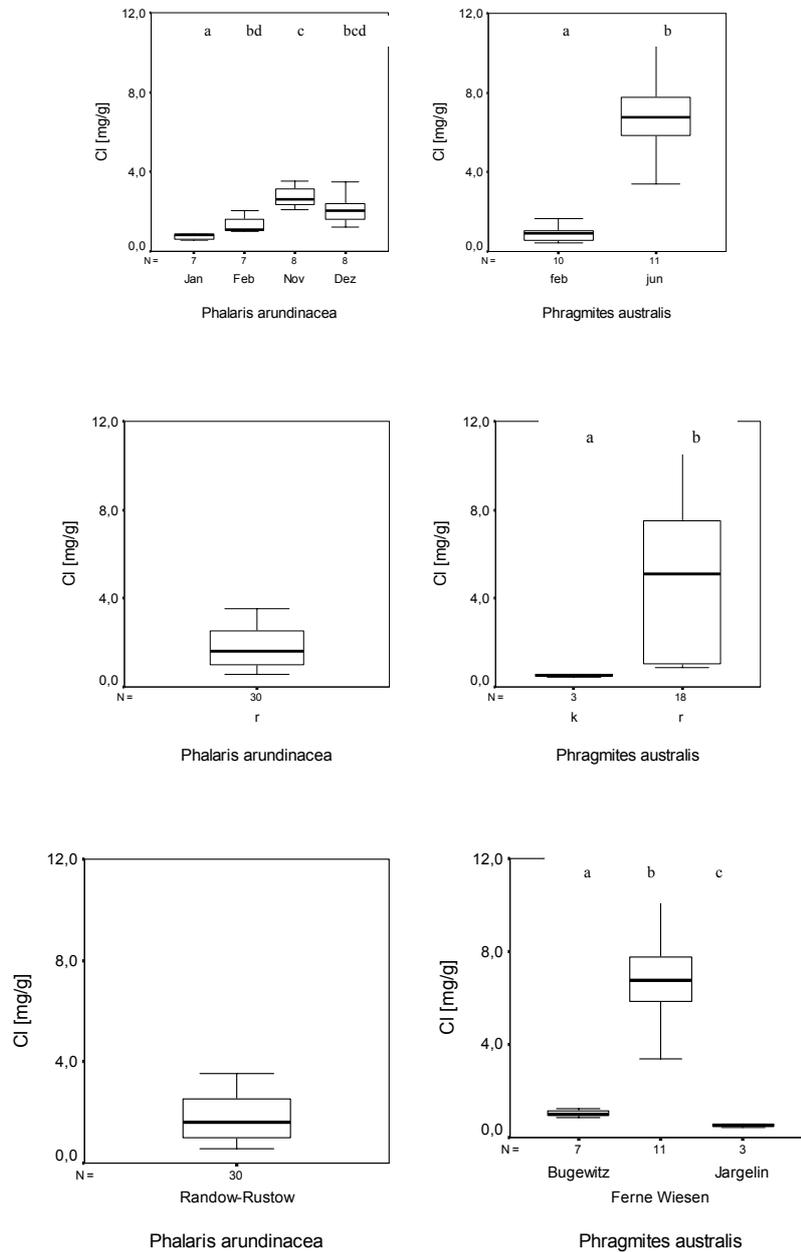
Unterschiedliche Buchstaben (a,b,c usw.) bezeichnen das Vorhandensein, übereinstimmende Buchstaben das Fehlen signifikanter Unterschiede ( $p = 0,05$ ).



**Abbildung 7.2-6: K-Gehalte (mg/g) von Rohrglanzgras und Schilf**

In Abhängigkeit von (von oben nach unten): Erntemonat, Wasserstufe, Trophiestufe, und Wuchsort (Polder).

Unterschiedliche Buchstaben (a,b,c usw.) bezeichnen das Vorhandensein, übereinstimmende Buchstaben das Fehlen signifikanter Unterschiede (p= 0,05).



**Abbildung 7.2-7: Cl-Gehalte (mg/g) von Rohrglanzgras und Schilf**

In Abhängigkeit von (von oben nach unten): Erntemonat, Trophiestufe und Wuchsort (Polder).

Unterschiedliche Buchstaben (a,b,c usw.) bezeichnen das Vorhandensein, übereinstimmende Buchstaben das Fehlen signifikanter Unterschiede ( $p = 0,05$ ).

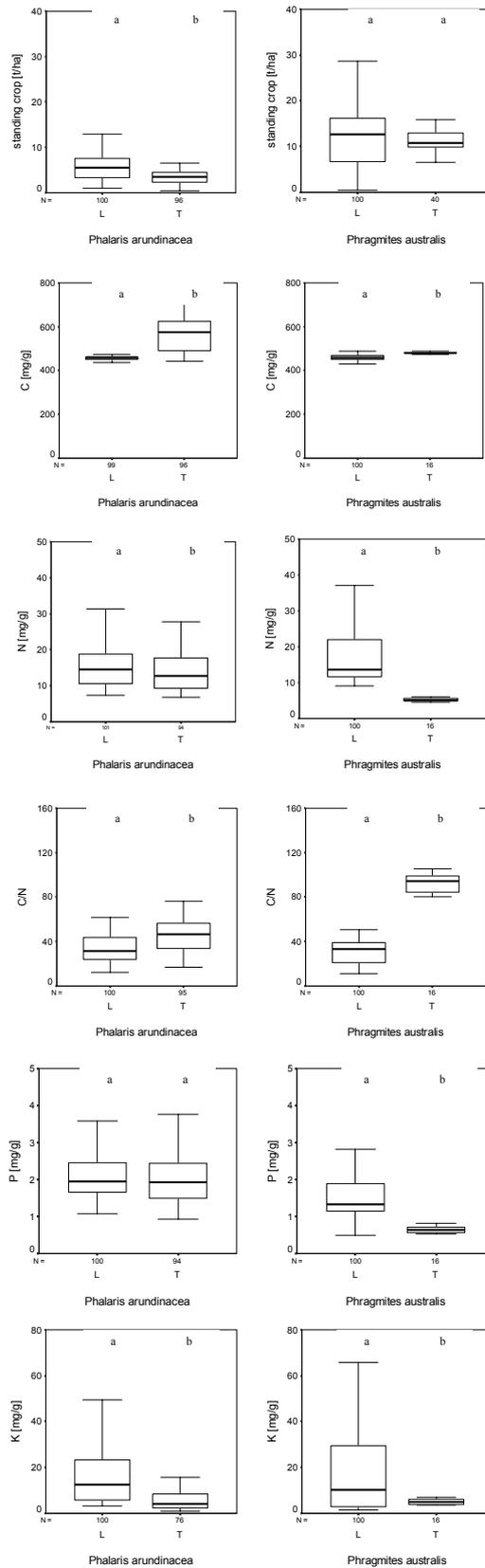


Abbildung 7.2-8: Standing crop, C- und N-Gehalte, C/N-Verhältnis, P- und K-Gehalte von Rohrglanzgras und Schilf in lebender (L) und toter (T) Biomasse

Unterschiedliche Buchstaben (a,b,c usw.) bezeichnen das Vorhandensein, übereinstimmende Buchstaben das Fehlen signifikanter Unterschiede ( $p = 0,05$ ).

### 7.3 Formeln (T. Dahms)

1. Umwandlung jährlicher Zahlungen A in einen Barwert PV bei einer Laufzeit T und einem Zins i.

$$PV = \frac{A(1+i)^T - A}{i(1+i)^T}$$

2. Barwert PV einer Zahlung K in t Jahren und einem Zins i.

$$PV = \frac{K}{(1+i)^t}$$

3. Unendliche Rente von K bei einem Zins i.

$$R = K \times i$$

4. Dementsprechend Barwert einer Zahlung K vor t Jahren und einem Zins i.

$$PV = K(1+i)^t$$

5. Umwandlung einer Zahlung K in eine Annuität A bei einer Laufzeit T und einem Zins i.

$$A = \frac{K(1+i)^T}{(1+i)^T - 1}$$

## 7.4 Tabellen (T. Dahms, S. Wichmann)

Tabelle 7.4-1: Erntekosten für Schilf und RGG mit herkömmlicher Landtechnik

Eigene Berechnungen auf der Basis von Tabelle 7.4-2 und Tabelle 7.4-3

		Rohrglanzgras			Schilf		
Ertrag	Ballen	13	32	64	27	44	98
	t/ha	2,4	5,9	11,8	5,9	9,4	21,2
	t TM/ha	2,0	5,0	10,0	5,0	8,0	18,0
Direktkosten (Saat, Dünger, PSM, Zinsansatz Umlaufvermögen)	€/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lohnarbeit, Aushilfen	€/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mähen	€/ha	11,43	11,43	12,34	11,43	12,34	13,86
Wenden	€/ha	9,99	10,90	12,42	0,00	0,00	0,00
Schwaden	€/ha	5,64	6,10	8,38	0,00	0,00	0,00
Pressen	€/ha	17,91	44,03	85,01	39,37	61,16	126,22
Ballenbergung + Beladen	€/ha	10,71	26,77	53,55	23,20	37,12	83,52
Summe variable Maschinenkosten (Betriebsstoffe, Reparaturen)	€/ha	55,68	99,23	171,70	74,00	110,63	223,60
<b>Variable Kosten d. Arbeitserledigung</b>	<b>€/ha</b>	<b>55,68</b>	<b>99,23</b>	<b>171,70</b>	<b>74,00</b>	<b>110,63</b>	<b>223,60</b>
Arbeitskosten (Festangestellte) (Lohnansatz: 15 €/h)	€/ha	33,54	55,20	91,19	40,62	58,33	108,37
Mähen	€/ha	9,48	9,48	10,05	9,48	10,05	10,99
Wenden	€/ha	6,60	7,17	8,11	0,00	0,00	0,00
Schwaden	€/ha	4,89	5,17	6,59	0,00	0,00	0,00
Pressen	€/ha	17,72	43,82	85,74	38,63	60,67	129,41
Ballenbergung + Beladen	€/ha	9,03	22,57	45,14	19,98	31,96	71,92
Summe fixe Maschinenkosten (Abschreibung, Zinsansatz, Versicherung, Steuern)	€/ha	47,71	88,20	155,63	68,08	102,68	212,33
<b>Fixe Kosten d. Arbeitserledigung</b>	<b>€/ha</b>	<b>81,25</b>	<b>143,40</b>	<b>246,82</b>	<b>108,70</b>	<b>161,01</b>	<b>320,70</b>
Flächenkosten (Pacht, WBV, etc.)	€/ha	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Spezialgebäudekosten (z.B. Lager)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Summe Fixe Kosten</b>	<b>€/ha</b>	<b>161,25</b>	<b>223,40</b>	<b>326,82</b>	<b>188,70</b>	<b>241,01</b>	<b>400,70</b>
<b>Produktionskosten (variable + fixe Kosten)</b>	<b>€/ha</b>	<b>216,93</b>	<b>322,63</b>	<b>498,52</b>	<b>262,70</b>	<b>351,64</b>	<b>624,30</b>
<b>Brennstoffkosten</b>	<b>€/ t TM</b>	<b>108,47</b>	<b>64,53</b>	<b>49,85</b>	<b>52,54</b>	<b>43,95</b>	<b>34,68</b>

**Tabelle 7.4-2: Zeitbedarf für die Ernte von Schilf und RGG mit herkömmlicher Landtechnik**

Arbeitsaufwand angepasst nach Lenk (2002) und Voigt 2009 (mdl.)

Arbeitsgänge		Rohrglanzgras			Schilf		
		t TM/ha	2,0	5,0	10,0	5,0	8,0
Ertrag	t TM/ha	2,0	5,0	10,0	5,0	8,0	18,0
Mähen	h/ha	0,64	0,64	0,7	0,64	0,7	0,8
1. Wenden + 2. Wenden	h/ha	0,44	0,5	0,6	0	0	0
Schwaden	h/ha	0,22	0,25	0,4	0	0	0
Pressen	h/ha	0,3	0,7	1,2	0,7	1	1,5
Ballenbergung + Beladen	h/ha	0,64	1,59	3,18	1,37	2,19	4,92
Summe	h/ha	2,24	3,68	6,08	2,71	3,89	7,22

**Tabelle 7.4-3: Maschinenkosten für die eingesetzte Landtechnik**

Maschinenkosten	Kaufpreis	Einheit	variabel	fix	Quelle
Schlepper, 76kW, (KTBL: 75-92kW),angepasster Kaufpreis gemäß LWB Voigt: (Sonderausstattung: Breitreifen mit Druckluftregelung vom Führerhaus,	70.200 €	€/h	15,2	9,45	1; 2
Scheibenmähwerk, Heckanbau, 2,85 m, angepasster Kaufpreis gemäß LWB Voigt	11.000 €	€/ha	1,7	3,43	1
Zettwender, 7,5m	10.500 €	€/ha	1,65	1,22	1
Schwader, Zweikreisel, 7,5m	18.000 €	€/ha	2,3	2,81	1
Rundballenpresse, Festkammer: 1,2 m, angepasster Kaufpreis gemäß LWB Voigt, (Sonderausstattung: Tandemachse, Breitreifen)	34.000 €	€/Ballen	1,05	1,17	1
Frontgabel		€/h	0,9	2,23	3
Plattformhänger		€/Tonne	0,2	0,68	3

1 KTBL, Makost Online, angepasst nach Maschinenausstattung des LWB Voigt

2 Treibstoffkosten: durchschnittlicher Verbrauch: 10l/h bei einem Dieselpreis von 80 Ct/l

3 MLUV BB 2008

Tabelle 7.4-4: Maschinenkosten

Art	Einheit	Schlepper	Schlepper	Pflanzmaschine mit Bunker <sup>15</sup>	Zweiachs- Dreiseitenkipper	Anbaubeetpflug	Schwergrubber, angebaut	Trayfüller <sup>17</sup>
		[75 - 92 kW] <sup>13</sup>	[41 - 48 kW] <sup>14</sup>	[1000 Pflanzen]	[Nutzmasse 7,5 t] <sup>16</sup>	[Breite 1,75 m]	[Breite 3,0m]	[600 Paletten /h]
<b>Preis</b>	€	<b>70200</b>	<b>31500</b>	<b>23500</b>	<b>11000</b>	<b>6100</b>	<b>6200</b>	<b>11300</b>
<b>Nutzungsumfang<sup>18</sup></b>								
Zeit	a	12	12	15	15	14	14	8
Leistung	h	10000	10000	3000	9000	1450	2760	3000
	h/a	833	833	200	600 <sup>19</sup>	104	197	375
<b>Fixe Kosten</b>	€/h	<b>9,49</b>	<b>4,54</b>	<b>11,16</b>	<b>1,78</b>	<b>5,85</b>	<b>3,13</b>	<b>4,67</b>
Abschreibung	€/a	7480	3356	2114 1799	989	577	587	3,77
Versicherung <sup>20</sup>	€/a	405	405	118	55	31	31	-21
Gebühren	€/a	25	25	-	25	-	-	-
<b>Variable Kosten</b>	€/h	<b>26,68</b>	<b>9,60</b>	<b>11,75</b>	<b>0,67</b>	<b>11,25</b>	<b>3,90</b>	<b>2,41</b>
Reparatur	€/a	5831 <sup>22</sup>	4582	2350 <sup>23</sup>	400	1170	768	2,10
Diesekraftstoff	l/h <sup>24</sup>	24 <sup>25</sup>	5	-	-	-	-	0,31 kWh/h
<b>Gesamtkosten</b>	€/h	<b>36,17</b>	<b>14,14</b>	<b>22,91</b>	<b>2,45</b>	<b>17,10</b>	<b>7,03</b>	<b>7,08</b>

<sup>13</sup> Grundpreis und Preis für Sonderausstattung (Traktionskontrolle und breite Bereifung) stammen vom Projektpartner LWB Hans Voigt.

<sup>14</sup> KTBL 2008

<sup>15</sup> Egedal Pflanzmaschine Typ K mit Sonderausstattung, Angaben laut Auskunft des Herstellers/Vertreibers (Juli 2009). Die Kosten der Beschaffung werden pauschal auf 300 € geschätzt.

<sup>16</sup> Anschaffungspreis, variable Kosten (umgerechnet in € h<sup>-1</sup>) und Nutzungsumfang a<sup>-1</sup> laut KTBL (2008)

<sup>17</sup> KTBL 2009

<sup>18</sup> Bei allen Maschinen wird davon ausgegangen, dass sie an der Abschreibungsschwelle genutzt werden. Wenn diese Auslastung durch den Betrieb selbst nicht gegeben ist, wird angenommen, dass die Maschinen in Kooperation mit anderen Betrieben benutzt werden.

<sup>19</sup> Nach Auskunft des Projektpartners LWB Hans Voigt

<sup>20</sup> Pauschal 0,5 % des Anschaffungspreises (Schmid 2007), bei Schleppern 405 € (KTBL 2008)

<sup>21</sup> Zu den Gemeinkosten

<sup>22</sup> 7 € h<sup>-1</sup> (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. 2008)

<sup>23</sup> Pauschal 10 % des Anschaffungspreises a-1.

<sup>24</sup> Diesekraftstoff 0,80 € l-1, Schmierölverbrauch 1 % des Diesekraftstoffverbrauchs à 2,00 € l-1. (KTBL 2008)

<sup>25</sup> Annahme: volle Motorauslastung (v.a. Pflügen), 24 l h-1, Kraftstoffvorrat 180 l (DLG-Testzentrum Technik & Betriebsmittel 2005)

Tabelle 7.4-5: Versuchspflanzung

Reihe		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Variante		1.1.1	1.1.1	2.1.1	2.1.1	2.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.0
Länge [m]		250	250	250	250	250	250	250	250	115
Pflanzabstand [m]		0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Fläche [ha]		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,023
Topftyp		Torf	Torf	Plastik	Plastik	Plastik	Plastik	Palette	Palette	Palette
Anzahl Pflanzen pro Kiste, Mittelwert (ca.)		37	37	37		37		24	24	24
Anzahl Kisten		30		30		26		23		5
Anzahl Pflanzen gesamt (benötigt)		501	501	501	501	251	251	251	251	116
Anzahl Pflanzen gesamt (ca.)		1110	0	1110	0	962	0	552	0	120
Nachtreten Pflanzen/Reihe			58	12						
<b>Arbeitsvorgang</b>	<b>AK</b>									
<b>Flächenvorbereitung</b>	<b>1</b>									
Streifenpflug										
Beginn		8:16	8:26	8:37	8:41	9:05	9:09	9:12	9:15	
Ende		8:20	8:29	8:40	8:45	9:08	9:12	9:14	9:17	
Streifenpflug [h]	1	0:04	0:03	0:03	0:04	0:03	0:03	0:02	0:02	
Mittelwert [h]					0:03					
Wenden [h]	1	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	0:01	
Summe Flächenvorbereitungen [h]		0:04	0:03	0:03	0:04	0:03	0:03	0:02	0:02	0:00
<b>Vorbereitung Pflanzmaschine</b>	<b>4</b>									
Kisten bereitstellen	1									
Pflanzen laden	4 (2)									
Beginn		8:40	10:39			11:52		13:06		13:35
Ende		8:48	10:59			12:01		13:10		13:36
Pflanzen laden [h]		0:08	0:20			0:09		0:04		0:01
Kisten wegstellen	1									
Schlepper zurückfahren	1									
Beginn		9:46				11:51				
Ende		9:47				11:52				
Schlepper zurückfahren [h]		0:01				0:01				
Pflanzen nachladen	4									
Beginn		9:47					13:01			
Ende		9:58					13:03			
Pflanzen nachladen [h]	4	0:11					0:02			
Summe Pflanzen laden [h]	4	0:19	0:00	0:20	0:00	0:09	0:02	0:04	0:00	0:01
Summe Vorbereiten Pflanzmaschine [h]		0:20	0:00	0:20	0:00	0:10	0:02	0:04	0:00	0:01
Vorbereiten Pflanzmaschine [h/1000 Pflanzen]		0:18:07			0:19:01			0:08:15		
<b>Pflanzung</b>	<b>4</b>									
Schlepper vorfahren bzw. wenden	1									
Beginn		8:52	10:11	11:00	11:27	12:02	12:52	13:12	13:23	13:36
Ende		8:53	10:13	11:02	11:28	12:06	12:53	13:13	13:24	13:37
Schlepper vorfahren bzw. wenden [h]		0:01	0:02	0:02	0:01	0:04	0:01	0:01	0:01	0:01
Mittelwert Schlepper wenden bzw. vorfahren [h]						0:01				
Pflanzung	4									
Beginn		9:27	10:13	11:02	11:28	12:42	12:53	13:13	13:24	13:37
Ende		9:46	10:37	11:27	11:51	12:51	13:01	13:23	13:33	13:42
Pflanzung [h]		0:19	0:24	0:25	0:23	0:09	0:08	0:10	0:09	0:05
Nachpflanzung, Schlepper vorfahren	4									
Beginn		10:02								
Ende		10:06								
Nachpflanzung, Schlepper vorfahren [h]		0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Nachpflanzung	4									
Beginn		10:07					13:03			
Ende		10:11					13:04			
Nachpflanzung [h]	4	0:04	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	0:00	0:00	0:00
Summe Pflanzzeit (ohne Anfahrt und Wenden) [h]	4	0:23	0:24	0:25	0:23	0:09	0:09	0:10	0:09	0:05
Mittelwert Summe Pflanzzeit [h]	4		0:23	0:24		0:09		0:09		0:05
<b>Nacharbeit</b>										
Aufräumen										
Beginn						13:42				
Ende						13:57				
Aufräumen [h]						0:15				
Summe Nacharbeit [h]						0:15				
<b>Sonstiges</b>										
Defekt, Schlepperwechsel										
Beginn						8:54				
Ende						9:26				
Defekt, Schlepperwechsel [h]						0:32				
Mittagspause										
Beginn						12:08				
Ende						12:42				

## 7.5 Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

### 7.5.1 Veranstaltungen (T. Dahms)

Im Rahmen des ENIM-Projektes wurden zur inhaltlichen Diskussion sowie zur Information über Projektanliegen und Ergebnisse zwei Workshops, eine Tagung sowie eine Abschlussveranstaltung organisiert.

#### **Workshop I: „Energiebiomasse aus wiedervernässten Niedermooren: Einschätzung von Experten aus Verbänden, Wissenschaft und der Agrar- und Naturschutzverwaltung“**

Der erste Workshop fand am 17. Oktober 2007 in den Räumen des Regionalen Fremdenverkehrsverbandes Vorpommern e.V. statt. Zum Workshop wurden Experten aus Verbänden, Wissenschaft sowie der Agrar- und Naturschutzverwaltung geladen. Diese erarbeiteten einen umfassenden Katalog an Ansprüchen, Vorgaben, Fragen und Zielen für das Projektvorhaben. Schließlich wurde ein breiter Konsens zur Bewirtschaftung wiedervernässter Moorstandorte aus Sicht von Bewirtschaftern

und Naturschutz festgestellt.



Abbildung 7.1-1: Beiträge der Teilnehmer

#### **Workshop II: „Bewirtschaftung nasser Standorte – Herausforderung Landtechnik“**

Der zweite Workshop des Projektes fand am 30. April 2008 ebenfalls in Greifswald in den Räumen des Regionalen Fremdenverkehrsverbandes Vorpommern e.V. statt.

Experten aus der Landtechnik, Produzenten und Anwender sowie Wissenschaftler erörterten die Schwierigkeiten bei Mahd, Transport, Aufbereitung und Lagerung der Niedermoorbiomasse und erarbeiteten Lösungsvorschläge für diese Herausforderungen.

Der anwesende Landmaschinenhersteller und -entwickler H. Kranemann (Kranemann GmbH, Blücherhof) bekundete am Ende des Workshops reges Interesse an der Entwicklung einer für die Ernte und den Transport zum Feldrand geeigneten Maschine.

In Kooperation mit der Kunsthochschule Weißensee hat die Kranemann GmbH inzwischen mit der Entwicklung begonnen. (vgl. Abschnitt 3.1.2.5)



Abbildung 7.1-2: Rege Beteiligung der Anwesenden



Abbildung 7.1-3: Vorträge der Experten

### Wintertagung „Moore - Nutzungsmöglichkeiten im Kontext ihrer Klimarelevanz“

Am 10. und 11. November 2008 wurde in der Landesvertretung Mecklenburg-Vorpommern in Berlin in Zusammenarbeit mit der Friedrich-Ebert-Stiftung und der Michael-Succow-Stiftung eine Tagung zu den Nutzungsmöglichkeiten von Mooren veranstaltet.



**Abbildung 7.1-4: Minister T. Backhaus (vorn), Staatssekretär T. Freund (rechts) und Prof. M. Succow (links)**

Die Veranstaltung wurde mit Vorträgen von Minister T. Backhaus (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Mecklenburg-Vorpommern) zum Moorschutzkonzept Mecklenburg-Vorpommerns und M. Succow (Träger des Right Livelihood Award, Michael-Succow-Stiftung) zum „Klimafaktor Moor, Schutz und alternative Nutzung“ sowie einem Grußwort von M. Müller MdB (parl. Staatssekretär im Bundesumweltministerium) eröffnet.



**Abbildung 7.1-5: Teilnehmer und Referenten der Tagung**



**Abbildung 7.1-6: Prof. H. Joosten über neueste Einsichten und Entwicklungen in der Moorforschung**

Während der Tagung wurde durch zahlreiche Vorträge ausführlich über die Klimarelevanz von Feuchtgebieten, insbesondere über die der entwässerten Moore, berichtet. Außerdem wurde die Wiedervernässung solcher Moore als die Möglichkeit der deutlichen Reduzierung der negativen Klimawirkungen und die anschließende nasse Nutzung (Paludikultur) vorgestellt.

In weiteren Vorträgen wurden die Naturschutzaspekte dargestellt.

Neben den Vorträgen wurden Diskussionen zur praktischen Umsetzung, zu gesellschaftspolitischen Fragen und zur sozioökonomischen Bedeutung der Bewirtschaftung geführt.

**"Heizen mit Schilf - Möglichkeiten dezentraler Wärmeenergieversorgung"**

Am 18. Mai 2009 fand eine kleine Abschlussveranstaltung des Projektes im Internationalen Begegnungszentrum "Felix Hausdorff" in Greifswald statt. Mit knapp 40 Teilnehmern aus verschiedenen, vom Projekt betroffenen Bereichen, war die Veranstaltung gut besucht.



**Abbildung 7.1-7: Teilnehmer der Abschlussstagung**

Die Veranstaltung wurde durch einen externen Moderator (T. Beil, Diplom-Biologe und Regionalmanager in Nordvorpommern) geleitet.

Zu Beginn stellte W. Wichtmann (DUENE e.V.) das Forschungsprojekt ENIM vor und präsentierte ausgewählte Ergebnisse.



**Abbildung 7.1-8: Vortrag von W. Wichtmann**

N. Weller (Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH Leipzig) referierte über „Halmgutartige Biomasse als Brennstoff“. T. Hering (Zentrum für Nachwachsende Rohstoffe der Thüringischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Dornburg) gab einen Überblick über „Anlagenalternativen zur Halmgut-Verbrennung“.



**Abbildung 7.1-9: Vortrag von N. Weller**

Im Anschluss an die Mittagspause wurde von C. Herlt (HERLT SonnenEnergieSysteme, Vielitz) der von ihm produzierte Ganzballenvergaser und dessen Eignung für Landschaftspflege-Material vorgestellt (vgl. Abbildung 4.3-1). Danach folgten zwei Fallbeispiele zum Thema der Tagung. S. Wichmann (DUENE e.V.) berichtete vom Bürgerprojekt „Schilfheizwerk zur Nahwärmeversorgung von Kaltbrunn“ am Bodensee, und H. Holst (LedA, Guest) stellte die „Wärmeerzeugung für die Schweinezucht in Dennin“ in Mecklenburg-Vorpommern vor.

Abschließend wurden von W. Schaffer (Energieagentur in Mecklenburg-Vorpommern GmbH, Rostock) „Fördermöglichkeiten & Finanzierungshürden“ für neu zu errichtende Anlagen erläutert.



**Abbildung 7.1-10: Vortrag von W. Schaffer**

Präsentationen und Kurzfassungen der Vorträge wurden nach der Tagung online gestellt und somit einem breiten Interessentenkreis zugänglich gemacht.

## 7.5.2 Tagungsbeiträge

### Vorträge

- Barz, M.: Energetische Nutzungsmöglichkeiten für Niedermoorbiomasse; Tagung „Moore – Nutzungsmöglichkeiten im Kontext ihrer Klimarelevanz“, EMAU Greifswald in Zusammenarbeit mit FES, 10./11.11.2008 in der Landesvertretung M-V in Berlin
- Barz, M.: Biomass from rewetted peatlands for Energy production, Workshop Integrating biodiversity into sectoral and cross-sectoral plans, programmes and policies, Insel Vilm am 29.04.2008, Exkursion der Tagungsteilnehmer zum Komplexlabor Alternative Energien
- Wichtmann, W.; Timmermann, T.; Holst, H.; Barz, M.: Paludikultur – Energiebiomasse aus wiedervernässten Niedermooren, Tagung „Moore – Nutzungsmöglichkeiten im Kontext ihrer Klimarelevanz“, EMAU Greifswald in Zusammenarbeit mit DUENE e.V., der MSS und der FES am 10./11.11.2008 in der Landesvertretung M-V in Berlin
- Wichtmann, W.: Von der Nutzung der Landschaft – Energiegewinnung, Nachhaltigkeit und Naturschutz, Biomasseproduktion- der große Landnutzungswandel in Natur und Landschaft. Vilm 7. Sommerakademie 2007, 15.-19.7.07
- Wichtmann, W.: Paludikultur -Wiedervernässung und Energiebiomasse, Fachtagung Klimaschutz durch Moorschutz. TUM und DGMT, Freising 5.-6.10. 2007
- Wichtmann, W., Schulz, K., Gaudig, G. & J. Couwenberg: Paludikultur, Biomasseproduktion auf wiedervernässten Mooren, Kolloquium am Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Greifswald, 11.7.2008
- Wichtmann, W.: Standortgerechte Landnutzung auf wiedervernässten Mooren – Paludikultur. Tagung der NNA Schneverdingen zum Thema: Klimawandel und Biodiversität, 9.10.2008
- Wichtmann, W., Joosten, H., Tanneberger, F. & J. Couwenberg: Paludiculture for biodiversity and climate - Overcoming the sustainability trap of biomass production, 30.10.2008, Kiev Biomass conference
- Wichtmann, W., Wulf, A. & M. Barz: Niedermoorbiomasse als Energieträger für die Strom- und Wärmeproduktion. Tagung an der Fachhochschule Stralsund, 6.11.2008
- Wichtmann, W.: Paludikultur – Energiebiomasse aus wiedervernässten Niedermooren auf der Vortragsveranstaltung „Die Mittlere Havel – Flusslandschaft im Wandel“ im Haus der Natur in Potsdam am 8./11.2008
- Wichtmann, W.: Standortgerechte Landnutzung auf wiedervernässten Niedermooren - Paludikultur auf er Tagung des IÖW zum Thema: Landnutzung und Klimaschutz- Potenziale in Landwirtschaft, Naturschutz und Bioenergieerzeugung. Katholische Akademie in Berlin-Mitte am 19.11.2008
- Wichtmann, W.: Projekt Energiebiomasse aus Niedermooren (ENIM), Tagung Alternative Energieträger der Landeslehrstädte für Naturschutz am 5.2.2009 im Umlwtpark in Güstrow
- Wichtmann, W.: Das Projekt Energiebiomasse aus wiedervernässten Niedermooren – ENIM, Internationales Begegnungszentrum F. Haussdorff, Greifswald, 18.5.2009
- Wichtmann, W.: Paludikultur - Wiedervernässung und Energiebiomasse. Kolloquium der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft

Wichtmann, W.: Umwelt- und naturschutzgerechte Nutzungsformen für Moorstandorte. LLUR Flintbek, 17.9.2009

Wichtmann, W. & Wichmann, S.: Energetische Nutzung von Niedermoorbiomasse, 3.Rostocker Bioenergieforum: Bioenergie - Chance und Herausforderung für die regionale und globale Wirtschaft, 14.-15.10.2009

#### **Poster**

Timmermann, T.1, Wichtmann, W., Steffenhagen, P. & Zerbe, S.: Restoring Ecological and Economical Benefits of Wetlands, 13. – 16. März 2008, Peking

#### **7.5.3 Publikationen**

Ahlhaus, M. Barz, M. (2006): Ergebnisse von Prüfstandsuntersuchungen zur vergleichenden Verbrennung unterschiedlicher Biobrennstoffe, Proceedings of the 11. Int. Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy, Miedzzydroje, Poland 13.-16.9.2006, ISBN: 83-7457-012-1

Ahlhaus, M.; Barz, M.; Wulf, A. (2008): Use of biomass from re-wetted peatlands for heat and power production, 12th Int. Symposium Heat Transfer and Renewable Sources of Energy (HTRSE), Miedzzydroje, 11.-14.09.2008, ISBN 978-83-7457-055-8

Autorenkollektiv (2009): Paludikultur – Perspektiven für Mensch und Moor. Universität Greifswald, Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Institut für Dauerhaft Umweltgerechte Entwicklung von Naturräumen der Erde (DUENE) e.V., Greifswald. S. 16.

Barz, M. (2007): Biomass Technology for Electricity Generation in Community Renewable Seminar for Electricity Generation in Community, Pitsanulok / Thailand 24.-25.09.2007.

Barz, M. (2008): Biomass Technology for Electricity Generation in Community, IIRE International Journal of Renewable Energy, Vol. 3 No. 1, January 2008, ISSN 1905-7172

Barz, M., Ahlhaus, M & Wichtmann, W. (2006): Energetic Utilization of common Reed for combined Heat and Power Generation. 2nd Int. Baltic Bioenergy Conference: Use of bioenergy in the baltic sea region. Conference proceedings. 02.- 04. Nov. 2006. FH Stralsund, pp. 166–173 ISBN: 3-9809953-3-X

Barz, M., Ahlhaus, M., Wichtmann, W. & Timmermann, T. (2007): Utilisation of Common Reed as an Energy Source. Proceedings of the 15th European Biomass Conference and Exhibition. International Congress Center Berlin. 7, - 11.5.2007. pp. 528-531

Barz, M., Ahlhaus M., Wichtmann W., Timmermann T. (2008): Production and Energetic Utilization of Biomass from Rewetted Peatlands; Heat, Power and Thermal Physics Scientific Proceedings of the Riga Technical University, Volume 22, RTU IZDEVNIECĪBA, RĪGA 2008, pp.47-55. ISSN 1691-5054

ENIM-Zwischenbericht (2008): Zwischenbericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt Energiebiomasse aus Niedermooren (ENIM), unveröffentlicht. 41 S.

Timmermann, T., Wichtmann, W., Schulz, K., Steffenhagen, P. & Zerbe, S. (in prep.): Cultivating Common Reed and Reed Canary Grass as energy plants in rewetted fens: productivity, biomass quality and site availability. Wetland Restoration.

- Wichtmann, W. & Joosten, H. (2007): Paludiculture: peat formation and renewable resources from rewetted peatlands. IMCG-Newsletter, issue 2007/3, August 2007, pp 24 – 28.
- Wichtmann, W. & Schäfer, A. (2007): Alternative management options for degraded fens – utilisation of biomass from rewetted peatlands. In: Okruszko, T., Maltby, E., Szatyłowicz, J. Swiatek, D. & W. Kotowski 2007: Wetlands: Monitoring, Modeling and Management. Taylor & Francis/Balkema, Leiden, The Netherlands, pp. 273 – 279.
- Wichtmann, W., Couwenberg, J. & Kowatsch, A. (2009): Standortgerechte Landnutzung auf wiedervernässten Niedermooren - Klimaschutz durch Schilfanbau Ökologisches Wirtschaften 1. 2009, S.25 -27
- Wichtmann, W. & Wichmann, S. (2009): Energetische Nutzung von Niedermoorbiomasse. IN: Bioenergie – Chance und Herausforderung für die regionale und globale Wirtschaft. Tagungsband zum 3.Rostocker Bioenergieforum. Institut für Umweltingenieurwesen, Band 23, S. 87- 99.
- Wulf, A. (2008): Endbericht zum Teilprojekt „Charakterisierung und Analyse der Biobrennstoffe „Schilfrohr“ und „Rohrglanzgras“ und Verbrennungstests“ (Laufzeit 01.02.2007 – 30.06.2008), im Forschungsprojekt "Energiebiomasse aus Niedermooren" (ENIM), unveröffentlicht. 83 S.
- Wulf, A.; Wichtmann, W.; Barz, M.; Ahlhaus, M. (2008): Energy Biomass from rewetted peatlands for combined heat and power generation. In: Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik, Luschtinetz, T.; Lehmann, J. (Hrsg.), 15. Symposium FH Stralsund, 6.-8. November 2008, pp. 187-194.

Des Weiteren diverse Pressemitteilungen, u. a. Beiträge in der Ostseezeitung, bei Agrar-Europe, auf einschlägigen Internetseiten

### Informationen im Internet

DUENE e.V. : <http://duene.botanik.uni-greifswald.de/>

→ *Webseite des Instituts für Dauerhaft Umweltgerechte Entwicklung der Naturräume der Erde e.V.*

Paludikultur: <http://paludiculture.botanik.uni-greifswald.de/>

→ *Webseite zum Thema Paludikultur und den entsprechenden Projekten der Universität Greifswald*

IfBI: <http://www.botanik.uni-greifswald.de/143.html?&L=0#c157>

→ *Webseite der Arbeitsgruppe Geobotanik und Landschaftsökologie am Institut für Botanik und Landschaftsökologie der Universität Greifswald*