

# Grüne Bioraffinerie - Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion

M. Mandl, N. Graf, A. Thaller, H. Böchzelt, H. Schnitzer,  
M. Steinwender, R. Wachlhofer, R. Fink, S. Kromus,  
J. Ringhofer, E. Leitner, J. Zentek, S. Novalin,  
B. Mihalyi, I. Marini, M. Neureiter, M. Narodoslowsky

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**67/2006**

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Grüne Bioraffinerie - Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion

Projektleitung:

Dipl.Ing. Michael Mandl

JOANNEUM RESEARCH;

Institut für nachhaltige Techniken und Systeme (JOINTS)

Projektteam:

Dipl.Ing. Niv Graf, Ing. Angela Thaller,

Dr. Herbert Böchzelt, Prof. Hans Schnitzer

JOANNEUM RESEARCH;

Institut für nachhaltige Techniken und Systeme (JOINTS)

Kooperationspartner aus der Wirtschaft:

Dipl.Ing. Dr. Martin Steinwender

FRITZ EGGER GMBH & CO – SPANPLATTENWERK

Ing. Raimund Wachlhofer

MUREXIN AG

OBR Dipl.Ing. Reinhard Fink

ÖKOPARK ERRICHTUNGSGMBH

Kooperationspartner aus der Wissenschaft:

Dipl.Ing. Dr. Stefan Kromus, Dipl.Ing. Johannes Ringhofer

BIOREFSYS – BIOREFINERY SYSTEMS

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

ao. Univ.-Prof. Dipl.Ing. Dr. Erich Leitner  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ;  
Institut für Lebensmittelchemie und –technologie

Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek & Team  
VETERINÄRMEDIZINISCHE UNIVERSITÄT WIEN;  
Institut für Ernährung

ao. Univ.-Prof. Dipl.Ing. Dr. Senad Novalin  
UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR;  
Institut für Lebensmitteltechnologie (ILMT)

Univ.-Ass. Dipl.Ing. Bettina Mihalyi,  
Univ.-Prof. Dipl.Ing. Dr. Ingo Marini  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN;  
Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik  
und Technische Biowissenschaften

Dipl.Ing. Dr. Markus Neureiter  
IFA TULLN; Abteilung für Umweltbiotechnologie

ao. Univ.-Prof. Dipl.Ing. Dr. Michael Narodoslawsk  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ;  
Institut für Ressourcenschonende und  
Nachhaltige Systeme (RNS)

Hartberg und Graz, Februar 2006

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at) und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Inhalt

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>xi</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xii</b>
<b>Kurzfassung zum Projekt</b> .....	<b>xiii</b>
Projektziele .....	xiii
Projektstruktur.....	xiii
Gewinnung und Herstellung der primären Rohstoffe (AP-1) .....	xiv
Mechanische Fraktionierung (AP-1.2) .....	xiv
Aufbereitung des Presskuchens und Gewinnung homogener Faserfraktionen (AP-2) .....	xv
Analytik (AP-3).....	xvii
Beleimte Grasfaserplatte (AP-4).....	xvii
Grasfasern als Füllstoff für Baukleber und Spachtelmassen (AP-5) .....	xviii
Wirtschaftlichkeit (AP-6) .....	xix
Ausblick .....	xix
<b>Summary</b> .....	<b>xx</b>
Introduction to the Austrian Green Biorefinery Concept .....	xx
Project objectives.....	xx
Content and structure of the project .....	xxi
Mechanical separation: pressing of silage.....	xxii
Analytics (WP-3) .....	xxiv
Grass fiberboards (WP-4).....	xxiv
Ground grass fibers in construction sector products (WP-5) .....	xxv
Economical aspects (WP-6) .....	xxv
Perspective for future activities.....	xxvi
<b>Einleitung zum Thema Grüne Bioraffinerie</b> .....	<b>27</b>
Motivation .....	27
Was ist eine Bioraffinerie.....	27
Charakteristika der Grünen Bioraffinerie Österreich .....	28
Prozessablauf.....	28
Neue Chancen für den ländlichen Raum .....	29
Anbindung des Projektes an andere Forschungsprojekte.....	29
Forschungsstrategie Leuchtturmprojekt.....	29
Aufbau des Berichtes .....	29
<b>Primäre Rohstoffgewinnung &amp; Mechanische Fraktionierung der Rohstoffe (AP-1)</b> .....	<b>30</b>
Überblick über die durchgeführten Arbeiten .....	30
Gewinnung / Herstellung der primären Rohstoffe (AP-1.1) .....	30
Optimierung des Prozessschrittes „Mechanische Fraktionierung“ (AP-1.2).....	31
Gewinnung der Proben der einzelnen Stoffströme.....	32
Allgemeines .....	32
Durchführung .....	32
Versuchsplanung der Pressversuche .....	33
Ergebnisse der Pressversuche.....	34
Erzielten Gesamtausbeuten für Milchsäure und Rohprotein .....	35
Ausbeuten für Milchsäure und Rohprotein nach 1. Pressung .....	37
Ausbeuten für Milchsäure und Rohprotein nach 2. Pressung .....	39

Interpretation der Pressversuche.....	40
Zusammenfassung Optimierung der Mechanischen Fraktionierung .....	41
Herstellung von Presssaft bzw. Presskuchen für die übrigen Arbeitspakete (AP-1.3).....	41
<b>Aufbereitung/Reinigung des presskuchens und Gewinnung homogener Faserfraktionen (AP-2).....</b>	<b>42</b>
Überblick über die durchgeführten Arbeiten.....	42
Recherche bzgl. Technologien & Verfahren zur Aufbereitung und Homogenisierung des Presskuchens (AP-2.1) .....	42
Grundlagenversuche zur Aufbereitung/Reinigung des Press-kuchens sowie Homogenisierung der Faserfraktionen (AP-2.2).....	43
Grundlagenversuche zur weitergehenden Zerfaserung des Presskuchens .....	43
Herstellung gemahlener Grasfaserfraktionen .....	45
Versuche zur weitergehenden Reinigung und Geruchsreduktion von Fasern .....	47
Wasch- und Bleichversuchen von Grasfasern im Technikumsmaßstab .....	47
Entwicklung einer geeigneten Methodik zur qualitativen und quantitativen Erfassung von Geruchsstoffen im Labormaßstab.....	48
Versuche zur Geruchsreduktion im Labor- und Technikumsmaßstab.....	48
Säure- und Laugenbehandlung von Grasfasern im Labormaßstab.....	49
Geruchsreduktion durch Wasserdampf .....	51
Weiterführende Versuche zur Geruchsreduktion und Modifikation der Grasfasern .....	53
Thermische Modifikation von Grasfaser-Gemischen.....	53
Geruchsreduktion bei Grasfasern.....	56
Herstellung von Faserfraktionen für die weiteren Arbeiten (AP-2.3) .....	59
Fasercharakterisierung (AP-2.4) .....	59
Charakterisierung der gemahleneen Grasfasern hinsichtlich Größenverteilung .....	61
Mikroskopische Aufnahmen der gemahleneen Faserfraktion.....	65
Wasserrückhaltevermögen der gemahleneen Grasfasern .....	66
Wasserrückhaltevermögen modifizierter Grasfasern.....	67
Zusammenfassung der Ergebnisse des AP-2.....	69
Versuche zur weiteren Zerfaserung und Homogenisierung des Presskuchens .....	69
Versuche zur weitergehenden Reinigung und Geruchsreduktion von Fasern .....	69
Wasserrückhaltevermögen .....	70
<b>Analytik (AP-3).....</b>	<b>71</b>
Überblick über die Aktivitäten im Bereich Analytik .....	71
Weitere Analytikergebnisse.....	71
Organische Säuren.....	71
Restzuckergehalte und Ergebnisse der Rohaschebestimmungen .....	73
Ascheschmelzverhalten.....	73
Chemische Zusammensetzung der Grasfasern .....	74
<b>Verleimte Faserplatten aus Grasfasern (AP-4).....</b>	<b>75</b>
Übersicht über die durchgeführten Arbeiten.....	75
Herstellung der Probepplatten.....	75
Ergebnisse der Versuchsreihen .....	77
Ergebnisse der 3. Versuchsreihe (Mischplatten) .....	82
Interpretation der Ergebnisse der 3. Versuchsreihe .....	85
Zusammenfassung der Versuche im Arbeitspaket „Beleimte Platte“ .....	86

Eignung der Grasfaser als Rohstoff für die Plattenindustrie .....	87
Wirtschaftliche Aspekte betreffend den Einsatz von Grasfasern in Platten.....	87
<b>Grasfasern als Füllstoff für ausgewählte Bauprodukte (AP-5) .....</b>	<b>88</b>
Einleitung und Überblick der durchgeführten Materialversuche.....	88
Ergebnisse der Screeningphase .....	88
Beimengung von gemahlener Grasfaser in einer Dispersionsfarbe .....	88
Beimengung von gemahlener Grasfaser in einer Wandspachtelmasse.....	88
Beimengung von gemahlener Grasfaser in verschiedene Kleber .....	89
Linol- und Teppichkleber wässriger Basis (Klebertechnik ) .....	89
Parkettklebstoff 2K-PUR.....	89
Spezialfassadenkleber 35 F .....	91
Bauklebstoff auf Dispersionsbasis.....	92
Versuch an einem Bauklebstoff auf Dispersionsbasis.....	92
Versuch an einem Fliesenkleber auf Basis eines Epoxidharz-Systems .....	92
Beimengung von Grasfasern in Nivelliermasse bzw. Ausgleichsmassen .....	93
Optikeffekte durch Grasfasern in Beschichtungssystemen .....	95
Beimengung von modifizierten Grasfasern in Nivelliermasse bzw. Ausgleichsmassen ...	96
Versuch an einem Bauklebstoff auf Dispersionsbasis mit „hydrophobierten“ Grasfasern.	97
Spezial-Fassadenkleber 35 F .....	98
Versuche des Einsatzes von Grasfasern bei Innendispersionsfarben .....	98
Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse .....	100
<b>Wirtschaftlichkeitsanalyse (AP-6).....</b>	<b>101</b>
Einleitung.....	101
Randbedingungen.....	102
Rohstoffkosten .....	102
Methodik.....	102
Mechanische Fraktionierung .....	103
Trocknung der Grasfaserfraktion.....	105
Kosten, Preise und Erlöse für Grasfasern.....	107
Verwertungspotential der Grasfasern der Grünen Bioraffinerie .....	108
Energetische Verwertung der Grasfaserfraktion zur Gewinnung von Energie .....	108
Einsatz in einer Biogasanlage .....	108
Einsatz in einer Biomasse-Vergasungsanlage .....	108
Einsatz zur Gewinnung von Ethanol.....	109
Einsatz als Pyrolyse-Rohstoff.....	109
Einsatz als Brennstoff .....	109
Stoffliche Verwertung der Fasern .....	109
<b>Angaben zu den Zielen der Fabrik der Zukunft .....</b>	<b>111</b>
<b>Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen .....</b>	<b>112</b>
Schlussfolgerungen aus den Projektergebnissen wurden .....	112
<b>Ausblick und Empfehlungen für zukünftige Aktivitäten.....</b>	<b>113</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>115</b>

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1: Projektstruktur Grüne Bioraffinerie – Aufbereitung & Verwertung der Grasfaserfraktion .....	xiii
Abbildung 2: Mechanische Fraktionierung; Abtrenngrade für die Wertstoffe Milchsäure und Rohprotein .....	xv
Figure 3: Overview of the Austrian Green Biorefinery Concept .....	xx
Figure 4: Work-packages and structure of the project .....	xxi
Figure 5: Recovery rate of lactic acid [%].....	xxiii
Figure 6: Recovery rate of crude protein (CP) [%] .....	xxiii
Abbildung 7: Schema Prozessablauf Grüne Bioraffinerie Österreich.....	28
Abbildung 8: Silagebereitung: Mahd, Ballenpresse, Wickeln, fertige Silageballen .....	31
Abbildung 9: Durchführung eines Abpressversuches .....	32
Abbildung 10: Absolute Ausbeute an Milchsäure [kg/t TS Silage]; (Pressung 1 + 2).....	35
Abbildung 11: Absolute Ausbeute an Rohprotein [kg/t TS Silage]; (Pressung 1+2).....	35
Abbildung 12: Relative Ausbeute an Milchsäure u. Rohprotein [%]; (Pressung 1 + 2) .....	36
Abbildung 13: Absolute Ausbeute an Milchsäure [kg/t TS Silage] nach der 1. Pressung .....	37
Abbildung 14: Absolute Ausbeute an Rohprotein [kg/t TS Silage] nach der 1. Pressung .....	37
Abbildung 15: Relative Ausbeute an Milchsäure und Rohprotein [%]; nach der 1. Pressung	38
Abbildung 16: Absolute Ausbeute an Milchsäure [kg/t TS Silage] nach 2. Pressung .....	39
Abbildung 17: Absolute Ausbeute an Rohprotein [kg/t TS Silage] nach der 2. Pressung .....	39
Abbildung 18: Relative Ausbeute an Milchsäure und Rohprotein [%] nach der 2. Pressung	40
Abbildung 19: Wirkung der TMZ - Zerkleinerung am Beispiel Klee gras Presskuchen 1 .....	44
Abbildung 20: TMZ-Verfahren im Betrieb mit Grasfasern .....	44
Abbildung 21: Labormühle mit Gebläse, Institut für Verfahrenstechnik TU Wien .....	46
Abbildung 22: Solid Phase Micro Extraktion von Grasfaser; (GC-MS Chromatogramme) ....	48
Abbildung 23: Ergebnisse der Wasch- und Bleichversuche; Fasern aus 2001.....	49
Abbildung 24: Ergebnisse der Säurebehandlung von KLG, PK2.....	50
Abbildung 25: Ergebnisse der Laugenbehandlung von KLG, PK2.....	50
Abbildung 26: Chromatogramm .LUZ, PK2, vor Dampfbehandlung .....	51
Abbildung 27: Chromatogramm LUZ, PK2, nach Dampfbehandlung.....	51
Abbildung 28: Ergebnisse der Wasserdampfdestillation von LUZ, PK2.....	52
Abbildung 29: Eingesetzter Autoklav.....	54
Abbildung 30: Kurvenverläufe protokollierter Messwerte beim Versuch Variante 1.....	55
Abbildung 31: Kurvenverläufe protokollierter Messwerte beim Versuch Variante 2.....	55
Abbildung 32: Vergleich einiger geruchsaktiver Substanzen in Klee grasproben .....	57
Abbildung 33: Vergleich einiger geruchsaktiver Substanzen in Klee grasproben .....	57
Abbildung 34: Fasergrößenverteilung unterschiedlich aufbereiteter Grasfraktionen .....	60
Abbildung 35: Massenverteilungskurve der Mahlprobe von Klee gras ; KLGSPK2 .....	62

Abbildung 36: Massenverteilungskurve der Mahlprobe A ; Luzerne, Presskuchen 1 .....	62
Abbildung 37: Massenverteilungskurve der Mahlprobe B; feinen Fraktion Luzerne, PK 1 ....	63
Abbildung 38: Massenverteilungskurven der Probe LUZ PK2F9, 1. Versuch .....	63
Abbildung 39: Massenverteilungskurven der Probe LUZ PK2F9 2. Versuch .....	64
Abbildung 40: Massenverteilungskurven der Probe KLGSPK 2F8 1. Versuch .....	64
Abbildung 41: Massenverteilungskurven der Probe KLGSPK2F8 2. Versuch .....	65
Abbildung 42: Mikroskopische Bilder der vermahlenden Grasfaserfraktion .....	65
Abbildung 43: Konzentration organischer Säuren im Rohstoff (Pressfeed 1) .....	71
Abbildung 44: Konzentration organischer Säuren im Presskuchen 1 .....	72
Abbildung 45: Arbeitsschritte der Herstellung der Grasfaserversuchsplatten .....	76
Abbildung 46: Grasfaserplatten aus verschiedenen Faserfraktionen.....	76
Abbildung 47: Einzelne Messwerte der Querkzugfestigkeit für die Referenzplatte MDF .....	77
Abbildung 48: Verteilung d. mittleren Dichten ausgewählter Grasfaserplatten, Screeningphase .....	78
Abbildung 49: Mittlere Querkzugfestigkeiten normal zur Plattenebene in Bezug zur MDF Probepatte .....	79
Abbildung 50: Mittlere Biegefestigkeit in Bezug auf die MDF Referenzplatte .....	79
Abbildung 51: Darstellung der Quellung nach 24h Wasserlagerung.....	80
Abbildung 52: Mittelwerte der relativen Querkzugfestigkeit in Bezug auf die MDF Referenzplatte in Abhängigkeit von der Dichte .....	80
Abbildung 53: Mittelwerte der relativen Biegefestigkeit in Bezug auf die MDF-Referenz in Abhängigkeit von der Dichte .....	81
Abbildung 54: 20-fache Vergrößerung der Bruchflächen der Probepplatten 31, 27 und 33 (MDF-Referenz); v.l.n.r.....	81
Abbildung 55: Vergleich der Dichten der Versuchsreihe 3.....	83
Abbildung 56: Relative Querkzugfestigkeit in Bezug auf die MDF-Referenzplatte der 3. Versuchsreihe .....	83
Abbildung 57: Relative Biegezugfestigkeit in Bezug auf MDF-Referenzplatte der 3. Versuchsreihe .....	84
Abbildung 58: Relative Querkzugfestigkeit in Bezug zur MDF-Referenzplatte; 3 Versuchsreihe .....	84
Abbildung 59: Relative Biegezugfestigkeit in Bezug zur MDF-Referenzplatte; 3 Versuchsreihe .....	84
Abbildung 60: Scherfestigkeit verschiedener Parkettklebermischungen.....	90
Abbildung 61: Viskosität verschiedener Parkettklebermischungen mit Grasfaser .....	90
Abbildung 62: Vergleich Parkettkleber; links Originalrezeptur, rechts mit gemahlener Grasfasern.....	91
Abbildung 63: Spezialfassadenkleber mit Grasfaser als partieller Füllstoffersatz.....	91
Abbildung 64: Prismenprüfkörper des Versuchs 1 (Grasfaser anstatt Methylcellulose) .....	94
Abbildung 65: Zeitreihe der Biegezugfestigkeiten und Druckfestigkeit für Nivelliermassen ...	94
Abbildung 66: Beschichtungssystem auf Epoxidharz-Basis; Grasfaser als „optischer Effekt“; linke Bildhälfte ohne, rechts mit Grasfaser Beimengung.....	95

Abbildung 67: Optische Effekte bei der Bodenbeschichtung 2K-PUR .....	95
Abbildung 68: Veränderung der Beigefestigkeit und Druckfestigkeit durch Zusatz von hydrophobierten Grasfaserproben in Nivelliermassen .....	97
Abbildung 69: Spezialfassadenkleber mit hydrophobierter Grasfaser (3%) versetzt .....	98
Abbildung 70: Profiweiss Wandfarbe mit Grasfasern als Füllstoff.....	99
Abbildung 71: Profiweiss Wandfarbe mit Grasfasern als Füllstoff, 1-fache Übermalung mit Standardfarbe weiß .....	99
Abbildung 72: Deckkraft-Tests: Wandfarbe mit modifizierten Grasfasern als Füllstoff .....	99
Abbildung 73: Schwierigkeiten bei der Applikation der Farbe mit Grasfaserfüllstoff .....	99
Abbildung 74: Stoffströme bei der mechanischen Fraktionierung; Durchsatz 12.500 t TS/a .....	103
Abbildung 75: Stoffströme Fasertrocknung .....	105

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Matrix zur Bewertung der geruchsmindernden Maßnahmen .....	xvi
Tabelle 2: Versuchsplanung für die Optimierung der mechanischen Fraktionierung.....	33
Tabelle 3: Übersicht zu den durchgeführten Waschversuchen .....	47
Tabelle 4: Probenmatrix für die Geruchsanalytik und Fasermodifikation .....	53
Tabelle 5: Geruchskomponenten und charakteristischer Geruch .....	58
Tabelle 6: Fasergrößenverteilung einiger Grasfaserfraktionen für verschiedene Aufbereitungsarten. ....	60
Tabelle 7: Wasserrückhaltevermögen nach DIN 53815 für Grasfasern.....	66
Tabelle 8: Mittelwerte für das Wasserrückhaltevermögen einzelner Grasfaserfraktionen .....	66
Tabelle 9: Wasserrückhaltevermögen modifizierter Klee-Grasproben inkl. Referenzprobe...	67
Tabelle 10: Mittelwerte des Wasserrückhaltevermögens modifizierter Klee-Grasproben .....	68
Tabelle 11: Matrix zur Bewertung der geruchsmindernden Maßnahmen .....	70
Tabelle 12: Restzuckergehalte einiger Saftfraktionen sowie deren Rohaschegehalte .....	73
Tabelle 13: Rohaschebilanzen einiger Pressversuche .....	73
Tabelle 14: Ascheschmelzverhalten von Grasfaserproben.....	74
Tabelle 15: Chemische Zusammensetzung von Grasfaserproben .....	74
Tabelle 16: Ergebnisse der Werkstoffprüfung der 3. Versuchsreihe .....	82
Tabelle 17: Messergebnisse der durchgeführten Versuche Nivelliermasse .....	93
Tabelle 18: Versuche zur Ermittlung des optimalen Ausbreitmaßes beim Einsatz modifizierter Grasproben .....	96
Tabelle 19: Ausbreitmaße, Druck- und Biegezugfestigkeit der untersuchten Prüfkörper.....	96
Tabelle 20: Jährliche Gemeinkosten mech. Fraktionierung; Umsetzungsmaßstab 12.500 t TS/a.....	104
Tabelle 21: Jährl. Gesamtkosten Prozessschritt mech. Fraktionierung; Durchsatz 12.500 t TS/a.....	104
Tabelle 22: Spezifische Kosten in €/t TS für die mechanische Fraktionierung .....	104
Tabelle 23: Investitionen für Trocknungsanlage.....	106
Tabelle 24: Jährl. Gesamtkosten der Trocknungsanlage.....	106
Tabelle 25: Spezifische Trocknungskosten für Grasfasern für 2 Energiepreisszenarios .....	106



## ZUSAMMENFASSUNG

Die Grüne Bioraffinerie verwendet den Rohstoff Grassilage, welcher durch eine „Mechanische Fraktionierung“ abgepresst wird. Dieser Prozessschritt wurde durch eine Versuchsreihe mit unterschiedlichen Prozessparametern optimiert, um möglichst hohe Wertstoffausbeuten im Presssaft zu erreichen. Als Rohstoff wurden Silagen aus Klee gras und Luzerne verwendet, welche unter Verwendung von „Silagestarten“ generiert wurden.

Die Zusammensetzung der einzelnen Stoffströme der Fraktionierung (Feed, Presskuchen und Presssaft) wurden anhand geeigneter analytischer Methoden bestimmt. Auf Basis dieser Daten wurden die jeweiligen Ausbeuten und Übergangsraten der Wertstoffe (Milchsäure und Aminosäuren) ermittelt und die Prozessparameter schrittweise verbessert.

Die Versuche haben gezeigt, dass bei einem optimierten mechanischen Fraktionierungsprozess die relative Ausbeute der Milchsäure bis zu 97% und die relative Ausbeute von Rohprotein (Aminosäuren) bis zu 67% erreichen kann. In Absolutmengen ausgedrückt, können pro Tonne TS Silage ca. 150-210 kg Milchsäure und ca. 80-120 kg Rohprotein (Aminosäuren) in den Presssaft übergeführt werden. Aus gegenwärtiger Sicht scheint die Optimierung der Fest-Flüssig-Trennung von Silage weitestgehend „technisch ausgereizt“ und daher vorerst abgeschlossen. Die Ergebnisse zeigen auch, dass die Silagequalität (der Milchsäuregehalt) drastisch schwanken kann, obwohl bei der Herstellung der Rohstoffe sehr behutsam vorgegangen wurde.

Es wurden ebenso grundlegende Versuche zur weiteren Aufspaltung der Grasfaser, zur Geruchscharakterisierung bzw. Verringerung der Geruchsemission, sowie zur Zerkleinerung mittels Vermahlung der Grasfasern durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine weitergehende Zerfaserung der Grasfaser durch einen thermo-dynamischen Prozess auf Basis des „Dampfexplosionseffektes“ möglich ist. Hinsichtlich der Geruchsemission wurden verschiedene Arten der Behandlung der Faser getestet, welche zu einer Verringerung der Geruchsemission führten. Eine vollständige Beseitigung des typischen Grasfasergeruches gelang bis dato nicht.

Die gewonnenen Grasfasern wurden für die Herstellung von leimgebundenen Platten im Technikumsmaßstab verwendet. Die Grasfaserplatten wurden dabei – in Anlehnung an die Produktionstechnologie von Holzspan- und Faserplatten – im sog. Trockenverfahren hergestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass es grundsätzlich möglich ist, beleimte Platten aus 100% Grasfasern im Trockenverfahren herzustellen. Die in der Holzplattenindustrie üblichen Harnstoff-Formaldehydleime sind dafür grundsätzlich anwendbar. Die ermittelten Querkzugfestigkeiten der Prototypen erreichten bis zu ca. 60% der Referenzwerte einer MDF-Platte. Ebenso wurden leimgebundene Platten aus Holz-Grasfasermischungen untersucht. Diese Ergebnisse zeigen, dass Mischplatten bis zu einem Grasfaseranteil von ca. 12,5% vergleichbare mechanische Eigenschaften zu reinen Holzplatten haben. Das Quellverhalten der reinen Grasfaserplatten ist im Vergleich zum Rohstoff Holz deutlich erhöht.

Die vermahlenden Grasfasern wurden ebenso als Füllstoff bzw. Additiv für verschiedene Bauprodukte getestet. In einem Screening wurden verschiedene Produkte wie Kleber (Linoleumkleber, Parkettkleber, Fassadenkleber), Spachtelmasse, Dispersionsfarbe, Bodenbeschichtungen und Nivelliermassen mit Grasfaserbeimengungen hergestellt und getestet. Die Versuche haben gezeigt, dass der Einsatz von Grasfasern die Rheologie, die Farbe und auch den Geruch beeinflussen kann. Durch das starke Wasseraufnahmevermögen der gemahlenden Grasfasern kam es zu einer geänderten Viskosität der getesteten Produkte. Die geforderten Produktqualitäten konnten mit dem Additiv Grasfaser in keiner Produktklasse erreicht werden.

Zusätzlich wurden wirtschaftliche Kennzahlen zu der im Projekt untersuchten optimierten Mechanischen Fraktionierung, sowie einer Faser Trocknung im produktionsrelevanten Maßstab erstellt.

## ABSTRACT

Within work package 1 (WP-1) preparation of primary raw materials & mechanical separation of raw materials, the mechanical separation was successfully optimized. Optimization was carried out by a number of trials with a special design of experiment. Special raw materials were used (silage of clover grass and alfalfa) which were produced with extra care. Chemical analyses were carried out (within WP-3: analytics) to reveal the composition of the mass flows (silage feed, press juice and press cake). Moreover, recovery rates for lactic acid and amino acids were determined for the juice separation in order to know the respective yields.

Trials showed that through an optimized mechanical separation process relative yields of lactic acid of around 97% and 67% for amino acids, respectively, can be achieved in the juice separation. Therefore per tonne of silage (dry matter) about 150-210 kg of lactic acid and about 80-120 kg of amino acids can be recovered from the juice. Numbers indicate that from a technical point of view the optimization process for the solid-liquid separation could be considered as completed for the moment. It should be mentioned that the trials also showed a strong influence of the raw material on the overall process, even though all silage raw material was produced with extreme care, which seems to be an inherent problem to all natural sources.

WP-2 was focused on further disintegration of the grass fiber, characterization of the smell components as well as the grinding and milling of the grass fiber. Results show that through a thermo-dynamic process (steam explosion effect) a defibration effect can be obtained. As for the smell reduction different treatments were tested which lead to a partial removal of the smells compounds. However, it was impossible to remove the typical grass smell completely.

Within WP-3 most of the analytical work concerning materials in all other work packages was carried out. Chemical composition of the raw materials (silage) as well as products (e.g. silage juice, press cake) was examined.

WP-4 dealt with basic experiment for the production of adhesive based grass fiber panels. Grass fiberboards were produced in a technical scale quite similar as the production process for wood fiberboards. Results showed that basically it is possible to produce adhesive based fiberboards from 100% grass fibers with common adhesive systems (urea-formaldehyde type). As far as mechanical properties are concerned the produced pure grass fiberboards reached at maximum about 60% of transverse tensile strength values and 40% of bending strength values of the reference board made of wood fibers. Fiberboards were also made with a mixture of wood and grass material. The mixture of 12.5% grass fibers and 87.5% wood fibers showed acceptable mechanical properties. All grass fiberboards showed increased swelling properties compared to conventional wood boards.

The objective of WP-5 was to substitute different fillers used in construction adhesives and priming materials. Tests were carried out in the following products: paints, priming material, adhesives (for parquet or linoleum flooring and facades), levelling masses and different floor coatings. Problems in the given applications arose in the screening phase, where ground virgin grass fibers were used. Therefore physical and chemical modification of the fibers was carried out. Through this modification step the water absorption of the fiber was reduced by up to 40% and the smell components were partially removed. But even the modified fibers could not meet the required standards for the products. Therefore a pilot trial did not take place.

Evaluation of the overall process in WP-6: economical aspects lead to new economic performance figures for the mechanical separation process as well as the process for fiber drying both in industrial scale.

## KURZFASSUNG ZUM PROJEKT

### Projektziele

Generelles Ziel des gegenständlichen Projektes war es, für die in einer Grünen Bioraffinerie anfallende Faserfraktion Verwertungsmöglichkeiten mit möglichst hohem Wertschöpfungs-niveau zu finden. Motivation dafür war die Tatsache, dass die anfallende Grasfaserfraktion in Bezug auf die Trockensubstanz bei weitem den größten Stoffstrom der Grünen Bioraffinerie darstellt. Neben den Produkten aus den Presssäften, können daher am Markt absetzbare Faserprodukte auf Basis der Grasfaserfraktion der Bioraffinerie die Gesamtwirtschaftlichkeit wesentlich positiv beeinflussen. Wichtige Projektziele des vorliegenden Projektes waren:

1. Die Optimierung des Prozessschrittes der *Mechanischen Fraktionierung*, der die Abtrenngrade der Wertstoffe (Aminosäuren u. Milchsäure) aus der Silage bestimmt.
2. Erfahrungen zu sammeln und Methoden zur weiteren Aufbereitung der Grasfaserfraktion zu entwickeln.
3. Untersuchungen zu neuen Verwertungsschienen für die Grasfaserfraktion.
4. Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Grünen Bioraffinerie als wesentliche Entscheidungsgrundlage hinsichtlich Errichtung einer Pilotanlage.

### Projektstruktur

Das Projektvorhaben gliederte sich inhaltlich in 6 verschiedene Arbeitspakete (s. Abb. 1):

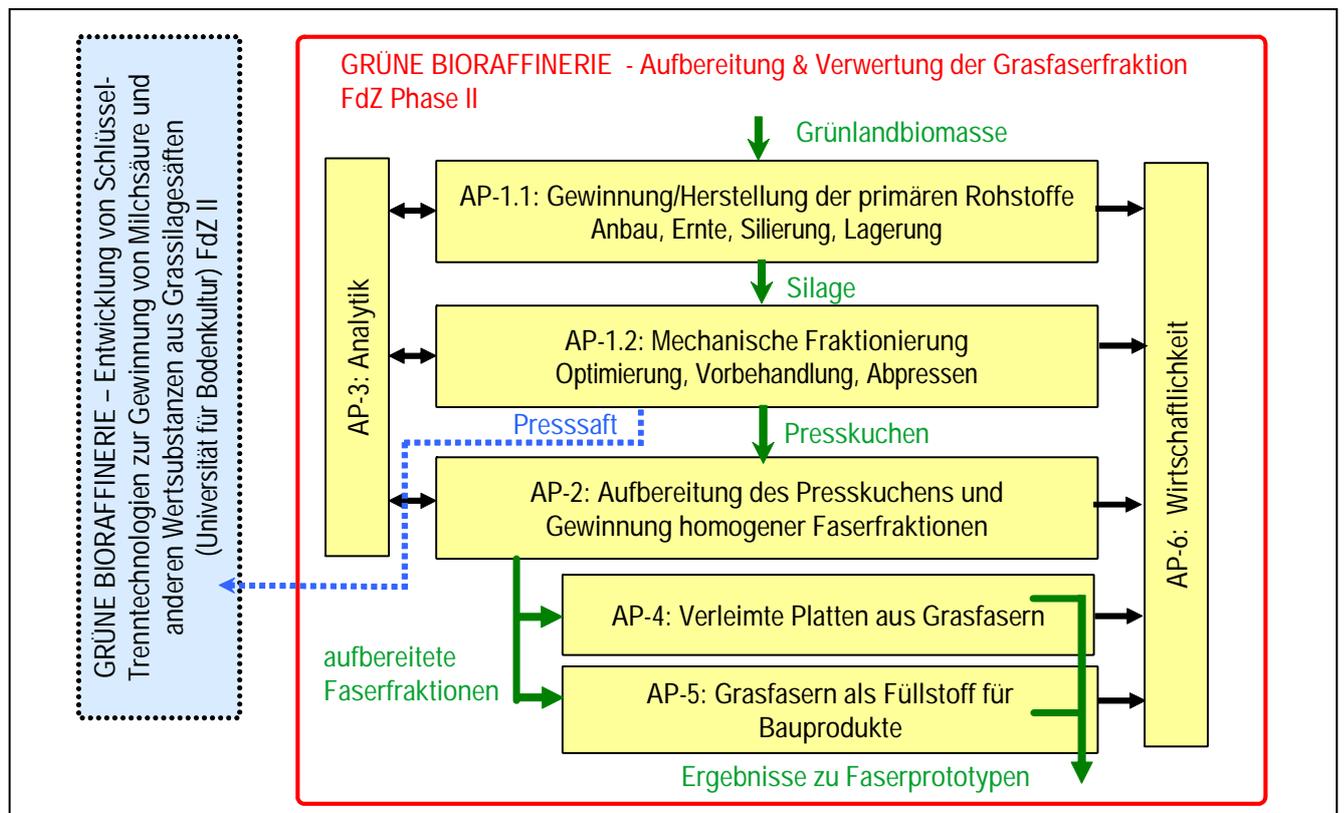


Abbildung 1: Projektstruktur Grüne Bioraffinerie – Aufbereitung & Verwertung der Grasfaserfraktion

Folgend werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete zusammengefasst:

### Gewinnung und Herstellung der primären Rohstoffe (AP-1)

Die Grüne Bioraffinerie Österreich verwendet als Rohstoff Grünlandbiomasse, welche einer Milchsäuregärung (Silageprozess) unterzogen wird. Der Rohstoff Gras ist deswegen interessant, weil bereits gegenwärtig viele Grünlandflächen nicht mehr genutzt werden, da die Milchwirtschaft in den letzten Jahren stark zurückgegangen ist. Für die Herstellung von Silage aus Gras gibt es mehrere Gründe: (1) Der Rohstoff wird konserviert und steht ganzjährig zur Verfügung. (2) Beim Silageprozess entsteht Milchsäure, die als vermarktbare Produkt gesehen wird. (3) Der Silageprozess ist in der Landwirtschaft vollkommen etabliert.

Bei der Bereitstellung des Silagerohstoffes wurde auf spezielle Silagestarter zurückgegriffen, um von Beginn an eine Fehlgärung (z.B. in Richtung Buttersäure oder Essigsäure) möglichst zu verhindern. Im Jahr 2004 wurde die erforderliche Silage im Rundballenverfahren aus dem 1. Schnitt zweier verschiedener Wiesenarten hergestellt: Klee-Grasmischung und Gras-Luzerne Mischung. Der Reifeprozess der Silage betrug 6 Wochen, damit die Milchsäuregärung möglichst vollständig ablaufen konnte. Eine Kontrolle der Silagequalität mittels Analytik hat aufgezeigt, dass der Milchsäuregehalt in den Ballen stark variierte, obwohl beim Herstellungsprozess mit großer Sorgfalt vorgegangen worden war. Eine begleitende Qualitätskontrolle bei der Herstellung der Rohstoffe der Grünen Bioraffinerie scheint daher unbedingt erforderlich, um möglichst hohe Milchsäuregehalte zu gewährleisten.

### Mechanische Fraktionierung (AP-1.2)

Der Rohstoff Silage wird im Prozessschritt *Mechanische Fraktionierung* in eine *flüssige* Fraktion (Presssaft) und eine *feste* Fraktion (Presskuchen) aufgetrennt. Die *flüssige* Fraktion (Presssaft) enthält wasserlösliche Wertstoffe wie Milchsäure (MS), und Aminosäuren (AS), die *feste* Fraktion (Presskuchen) besteht zum überwiegenden Teil aus faserartigem Material (Zellulose, Hemizellulose und Lignin etc.).

Dieser Prozessschritt ist besonders wichtig, da er die Wertstoffausbeute entscheidend mitbestimmt.

Ziel der durchgeführten Pressversuche war es, einen möglichst hohen Anteil der im Rohstoff enthaltenen Wertstoffe (MS, AS) in den Presssaft überzuführen. Die Optimierung erfolgte anhand einer Versuchsreihe mit unterschiedlichen Prozessparametern. Zum Einsatz kam eine konische Schneckenpresse der Firma Vetter (7,5 kW). Sowohl die Drehzahl als auch die Spaltöffnung konnte in einem gewissen Ausmaß stufenlos geregelt werden. Im Rahmen der Pressversuche wurde untersucht, inwiefern eine Vorzerkleinerung, die Anzahl der Pressschritte oder etwaige Zwischenschritte die Wertstoffausbeuten entscheidend beeinflussen. Die Ergebnisse der Optimierung der mechanischen Fraktionierung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Überführung der Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren in den Presssaft konnte weiter gesteigert werden. Im Vergleich zu den Ergebnissen der ersten Versuche 2001 (FdZ Phase I) gelang beinahe eine Verdoppelung der Wertstoffausbeuten.
- Ein Anteil von 85-90% der im Rohstoff Silage enthaltenen Milchsäure, sowie ca. 55-60% der enthaltenen Aminosäuren konnten in den Presssaft überführt werden.
- Die absoluten Mengen an Milchsäure und Rohprotein im Presssaft variieren stark. Pro Tonne Silagefeed konnten zwischen 62-210 kg Milchsäure und 63-136 kg Rohprotein in den Saft überführt werden. Der Grund dafür ist die stark schwankende Ausgangskonzentration im Rohstoff. Für die Luzernensilage waren die Werte sowohl bei der Milchsäure als auch beim Rohprotein tendenziell höher.
- Eine Vorzerkleinerung des Feeds der Schneckenpresse scheint gegenwärtig keine weitere wesentliche Verbesserung der Produktausbeuten zu verursachen. Allerdings kann diese Maßnahme den Durchsatz steigern.



- Die Einstellung des richtigen Trockensubstanzgehaltes des Feeds hat wesentlichen Einfluss auf die erreichbaren Ausbeuten der Wertstoffe Aminosäuren und Milchsäure.
- Der gewonnene Saft unterliegt einem rasch einsetzenden Abbauprozess, weshalb eine unmittelbare Kühlung des Saftes auf ca. 4°C erforderlich ist. Die Trocknung des Presskuchens sollte innerhalb von 12h -24h erfolgen.

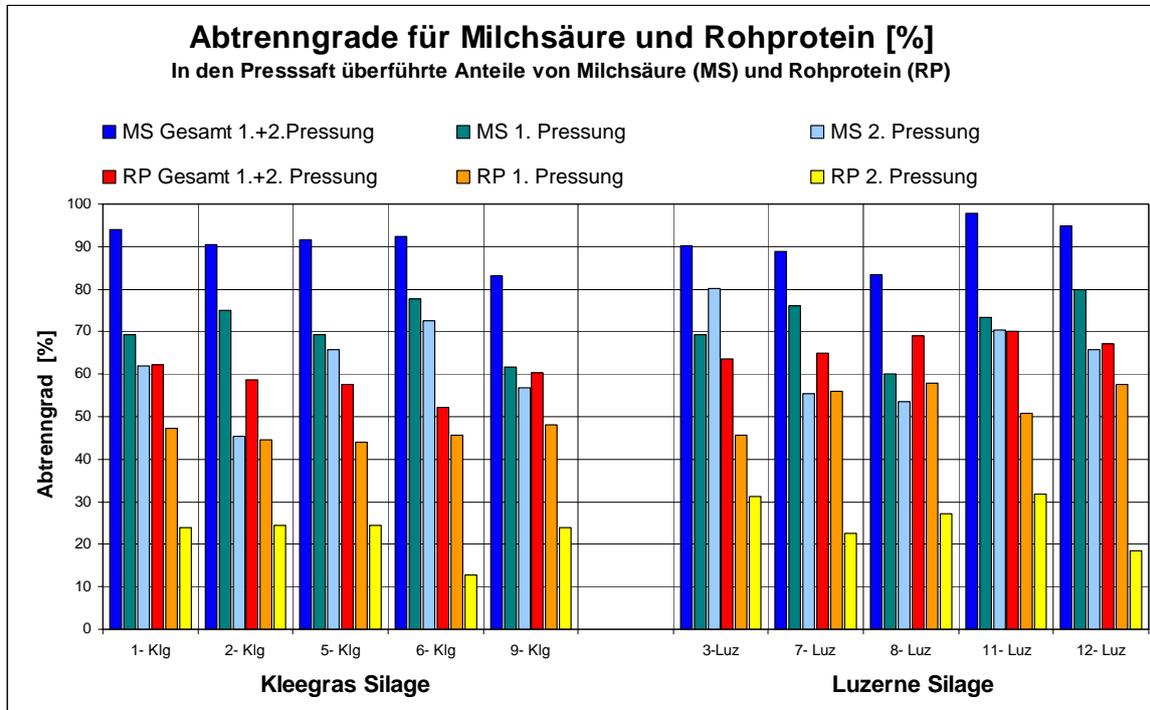


Abbildung 2: Mechanische Fraktionierung; Abtrenngade für die Wertstoffe Milchsäure und Rohprotein

Die Abbildung 2 zeigt die Abtrenngade einiger ausgewählten Pressversuche für die Wertstoffe Milchsäure und Rohprotein. Dargestellt sind die Abtrenngade für die Doppelpressung (gesamt 1.+ 2. Pressung), sowie separat für die 1. und 2. Pressung des mechanischen Fraktionierungsprozesses.

### Aufbereitung des Presskuchens und Gewinnung homogener Faserfraktionen (AP-2)

Gegenstand dieses Arbeitspaketes war die Recherche sowie Durchführung von Grundlagenversuchen zu Technologien und Verfahren zur Aufbereitung und Reinigung des in einer Grünen Bioraffinerie anfallenden Graspresskuchens. Der Fokus der Arbeiten war eine weitergehende Zerkleinerung des Presskuchens, die Gewinnung homogener Faserfraktionen, sowie die Reduktion der Geruchsemission. In diesem Arbeitspaket wurden ebenfalls die erforderlichen Rohstoffe für die AP-4 und AP-5 bereitgestellt.

#### **Versuche zur weiteren Zerkleinerung und Homogenisierung des Presskuchens**

Anhand der Recherche wurde ein thermo-mechanischer Zerkleinerungsprozess identifiziert, welcher durch einen Grundlagenversuch getestet wurde. Das Zerkleinerungsprinzip beruht auf einem „Dampfexplosionseffekt“, welcher durch eine spontane Entspannung einer verdichteten Fasermatrix erreicht wird. Dieses Verfahren eignet sich gut zur weiteren Aufspaltung des Faserpresskuchens. Die Faserlänge wird nur geringfügig verändert, der Faserdurchmesser jedoch stark verkleinert. In ihrer Gesamtheit ist die nach der Zerkleinerung erhaltene Faserfraktion erheblich homogener.

Eine weitere Versuchsreihe beschäftigte sich mit der Vermahlung von Grasfasern mittels Schneide- und Prallmühlen, welche im Technikumsmaßstab durchgeführt wurde. Die Beurteilung der gemahlten Grasfasern erfolgte in einer so genannten

Luftstrahlsiebanalyse. Bei diesem Verfahren wurden die vermahlenden Partikel durch einen Luftstrom gefördert und über spezielle Sieb- und Abscheidevorrichtungen geführt.

Als Ergebnis wurde eine Massenverteilung der Partikelgrößen generiert. Die Mahlversuche haben ergeben, dass sich Schneidemühlen gut für eine generelle Einkürzung der Faserlängen eignen. Hinsichtlich der erreichten Feinheit war die Mühle des Typus Prallmühle der Schneidemühle überlegen. Die mikroskopische Beurteilung des Mahlgutes ergab, dass die Partikel eher eine kubische Form aufwiesen.

### **Versuche zur weitergehenden Reinigung und Geruchsreduktion von Fasern**

Der Geruch der Grasfasern wurde durchwegs in allen Anwendungen als störend empfunden. Die folgende Aufzählung gibt eine Übersicht der durchgeführten Versuche zur Geruchsreduktion:

1. Waschen und Bleichen der Faser mit Wasser, Natronlauge (NaOH), Bleichmittel und Tensiden im Technikumsmaßstab
2. Reinigung mittels Wasserdampf (Wasserdampfdestillation)
3. Waschen der Fasern mit saurer ( $H_2SO_4$ ) und basischer (NaOH) wässriger Lösung
4. Behandlung der Faser unter Druck und Temperatur in einem Autoklaven
5. Behandlung der Faser in einem Trockenschrank bei erhöhter Temperatur
6. Waschen der Faser mit einer alkalischen, silikatreichen Lösung

Die Wirkung der Geruchsreduktion wurde zur Objektivierung der Beschreibung mittels einer chemischen Analysenmethode für flüchtige Komponenten (SPME-GC-MS) durchgeführt.

Die sechs untersuchten Behandlungsmethoden wurden hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bei der Geruchsreduktion (Effizienz) sowie betreffend ihrer technischen Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit bewertet.

Tabelle 1: Matrix zur Bewertung der geruchsmindernden Maßnahmen

<b>Methode</b>	<b>Techn. Umsetzbarkeit</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>Effizienz</b>
1	+++	---	-
2	-	---	+
3	+++	-	-
4	-	---	+
5	+++	+	+
6	-	-	+++

Legende: +++ sehr gut; + . befriedigend; - . genügend; --- . nicht zufrieden stellend;

Diese Bewertung entstand auf Basis der Ergebnisse der durchgeführten Grundlagenversuche und spiegelt auch die Einschätzungen der Autoren hinsichtlich einer technischen Umsetzbarkeit des Verfahrens wider. Tabelle 11 zeigt, dass die Trocknung bei hohen Temperaturen mit dem derzeitigen Wissensstand vermutlich den besten Kompromiss darstellt.

Zusätzlich wurden weitere Versuche zur Modifikation der Grasfaser durchgeführt (s.o. Methoden 3 bis 6), um eine weitestgehende Hydrophobierung der Grasfaser zu erzielen.

### **Wasserrückhaltevermögen (WRV)**

Mit abnehmender Faserpartikelgröße nimmt das Wasserrückhaltevermögen (WRV) deutlich zu. Die durchschnittlichen Werte für das WRV der untersuchten, unbehandelten Grasfasern lagen bei 130-170% (d.h., die Grasfaser kann das 1,3- bis 1,7-fache ihres Gewichtes an Wasser aufnehmen). Das WRV modifizierter Grasfasern wurde ebenfalls untersucht und zeigte gegenüber der Referenzprobe eine deutliche Reduktion um über 40% (WRV von 70-

80%). Die besten Ergebnisse konnten auch hier bei den mittels erhöhter Temperatur (180°C) getrockneten Fasern erzielt werden.

### Analytik (AP-3)

Dieses Arbeitspaket war auf analytische Fragestellungen der anderen Arbeitspakete fokussiert. Beispielsweise wurden die gewonnenen Stoffströme Presssaft, Presskuchen, sowie Silagerohstoff hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung genau untersucht. Die Ergebnisse des Arbeitspaketes sind in den Aussagen der anderen Arbeitspakete enthalten.

### Beleimte Grasfaserplatte (AP-4)

Hier wurde der Einsatz von Grasfasern für die Herstellung von beleimten Grasfaserplatten untersucht. Die Herstellung der Grasfaserplatten erfolgte im Technikumsmaßstab im so genannten Trockenverfahren. Die trockenen Rohstoffe wurden im Pflugscharmischer mit Leim benetzt, danach händisch zu Faservliesen gelegt, welche in einer Heizpresse verpresst wurden. Als Klebesystem wurde ein Leim auf Harnstoff-Formaldehydbasis verwendet. Das angewandte Pressverfahren ist mit den in der Holzplattenindustrie üblichen Produktionsbedingungen vergleichbar. Die hergestellten Prüfkörper waren 30x30 cm groß und hatten eine Dicke von 4 mm. An den Platten wurden die mechanischen Festigkeiten (Querzug- und Biegefestigkeit), sowie Quellung und mittlere Dichte ermittelt.

In der Versuchsphase 1 und 2 wurde eine Reihe von Platten aus 100% Grasfasern hergestellt. Dabei wurde der unbehandelte Presskuchen, sowie aufbereitete Faserfraktionen, der Gräser Kleegras und Luzerne verwendet. Der Leimanteil betrug 10-14%.

Die erreichten Festigkeiten der Grasfaserplatten waren wesentlich geringer als jene der MDF-Platten. Bei den Biegefestigkeiten wurden maximal 40%, bei der Querzugfestigkeit maximal 65% des entsprechenden Referenzwertes der MDF-Platte erreicht. Die Quellung der Grasfaserplatten war deutlich größer als jene bei reinen Holzplatten. Eine Abhängigkeit der Festigkeiten der Prüfplatten von der Grasart oder der Art der Aufbereitung des Grases ist nicht darstellbar.

In der dritten Versuchsreihe wurden Platten untersucht, die aus einer Mischung von Grasfasern und Holzspänen (Deckschichtmaterial und Mittelschichtmaterial) erzeugt wurden. Der Leimanteil war 14%, die Plattendicke 14 mm. Die Ergebnisse der Mischplatten waren hinsichtlich der erreichten mechanischen Festigkeiten deutlich besser. Die Querzugfestigkeit der Mischplatten aus 12,5% Grasfaseranteil und 87,5% Holzspan-Deckschichtmaterial lagen mit 92% und 83% relativ nahe an dem an der MDF-Platte gemessenen Festigkeitswert. Bei der Biegezugfestigkeit waren die gemessenen Festigkeiten etwas geringer – im Bereich von 54% bis 71% des Referenzwertes. Die Quellung (24 Stunden Wasserlagerung) lag bei diesen Mischplatten zwischen 24-34%. Ein Anlagenversuch mit Grasfasern in einer Produktionsanlage wurde nicht durchgeführt, da die Ergebnisse diesen nicht rechtfertigten.

### Aus den Versuchsergebnissen ergibt sich folgendes Resümee:

- Grasfasern können grundsätzlich im Trockenverfahren zu leimgebundenen Platten verarbeitet werden. Die Beleimung von Grasfasern ist im Vergleich zu Holzspänen aufgrund der Feinheit deutlich komplexer. Die in der Holzindustrie üblichen Leime auf Basis von Harnstoff-Formaldehyd sind für Grasfasern verwendbar.
- Die mechanischen Parameter (Querzugfestigkeit, Biegefestigkeit) reiner Grasfaserplatten sind deutlich geringer als die der Holzfaserplatte (MDF). Insbesondere der Quellwert ist bei den Grasfaserplatten wesentlich höher.
- Die mechanischen Festigkeiten von „Mischplatten“ aus Grasfasern (12,5%) und Holzspänen (87,5%) lagen im akzeptablen Bereich. Eine Beimengung und Verbundwirkung scheint grundsätzlich möglich.
- Reine Grasfaserplatten haben eine intensive grüne bis grünbraune Farbe und einen typischen Heugeruch. Bei Mischplatten mit einem Grasfaseranteil von ca. 12,5% ist keine wesentliche Geruchsveränderung feststellbar.

- Grasfasern als Rohstoff für Faserplatten sind gegenwärtig für die Holzplattenindustrie nicht interessant, da der zu erwartende Grasfaserpreis keine wesentlichen Einsparungen in der Produktion zulässt.
- Grasfaserplatten haben eine interessante Optik, und wären eventuell für Nischenprodukte mit geringen Absatzmengen interessant.

### Grasfasern als Füllstoff für Baukleber und Spachtelmassen (AP-5)

Ein erstes Screening umfasste den exemplarischen Einsatz von gemahlene(n) Grasfasern in Beispielrezepturen der Produktgruppen: *Farben, Spachtelmassen, verschiedene Klebesysteme (Parkettkleber, Linolkleber, Fassadenkleber), Nivelliermassen, diverse Bodenbeschichtungen*, um mögliche Einsatzgebiete zu identifizieren.

Dabei ging man vom Ansatz aus, dass bestehende Additive oder Füllstoffe durch gemahlene Grasfasern ersetzt werden. Die eingesetzten Fasern wurden primär nur zerkleinert (vermahlen), eine weitere Modifikation der Oberfläche wurde in dieser ersten Versuchsreihe nicht durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigten ein vielschichtiges Bild. In ausgewählten Bereichen der untersuchten Produktbereiche scheint eine Beimengung möglich, wenn verschiedene Problemstellungen erfolgreich gelöst werden könnten. Die Ergebnisse zeigten einen Handlungsbedarf zur Anpassung der Eigenschaften der Grasfasern in den Bereichen: (1) Wasseraufnahme, (2) Geruch, (3) Farbverhalten.

Durch eine einfache physikalisch-chemische Modifikation der Grasfasern wurde die Wasseraufnahmefähigkeit reduziert, sowie der Geruch der Fasern positiv beeinflusst (siehe AP-2). Die modifizierten Fasern wurden wiederum in ausgewählten Produkten der ersten Screeningphase eingesetzt.

Zur Veränderung der Wasserrückhalteeigenschaften der Grasfasern wurden diese physikalisch-chemischen Modifikationsmethoden (Druck und Temperatur bzw. Temperatur) unterzogen. Eine Reduktion des Wasserrückhaltevermögens um über 40% konnte erreicht werden. Trotz dieses positiven Ergebnisses konnten die Grasfasern im Einsatz in den ausgesuchten Produktparten keine zufrieden stellenden Ergebnisse erzielen.

Ein Einsatz in den untersuchten Produkten (Nivellier- und Ausgleichsmassen, Kleber auf Dispersionsbasis, Spezialkleber, Dispersionsfarbe) kommt wegen folgender Gründe derzeit nicht in Frage:

- Der Ersatz von Füll-/Begleitstoffen ist nur in geringen Mengen möglich
- Produktspezifikationen können nicht eingehalten werden, es kommt zu einer Verschlechterung der Produkteigenschaften
- Formulierungen müssten verändert/angepasst werden, was zu zusätzlichen Kosten führen würde (Produktionslinien, weitere Hilfsstoffe)
- Unerwünschter Anstieg der Viskosität des Produktes ergibt Probleme bei der Verarbeitung des Produktes
- Unerwünschte Farbveränderung im Produkt
- Geruch der Fasern ist noch deutlich wahrnehmbar

Obwohl durch die Modifikation der Grasfasern durchwegs bessere Ergebnisse im Einsatz von Bauprodukten als mit der unbehandelten Faser erzielt werden konnten, besteht hier doch noch erheblicher Forschungsbedarf bis zur Marktreife eines möglichen Produktes.

Die mögliche Wirtschaftlichkeit des Einsatzes der modifizierten Grasfasern wurde nicht detailliert untersucht, da eine technische Lösung der Probleme beim Einsatz der Grasfasern zum gegebenen Zeitpunkt nicht in Sicht ist. Es kann festgehalten werden, dass unter der Prämisse der geforderten Qualität einer modifizierten Grasfaser (Wasseraufnahme, Geruch, Farbe) der Einsatz aus wirtschaftlicher Sicht wegen zu hoher Kosten für die Modifikation der Grasfasern durch Hochtemperaturtrocknung, Bleichung, Zerkleinerung, etc., derzeit nicht sinnvoll ist. Die Untersuchung einer Anwendung im Pilotmaßstab ist daher nicht erfolgt.

### Wirtschaftlichkeit (AP-6)

In diesem Arbeitspaket wurden wirtschaftliche Kennzahlen zur Faserverwertung ermittelt. Die Kennzahlen zur Saftaufbereitung sind im Endbericht des Parallelprojekts Grüne Bioraffinerie betreffend Aufbereitung des Presssaftes (siehe Abbildung 1) enthalten. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen war es notwendig, eine Betriebsgröße der Grünen Bioraffinerie anzunehmen, da die Realisierungskosten im Zusammenhang mit dem Größenmaßstab stehen (economy of scale). Als Ausgangsbasis wurde eine Verarbeitungskapazität von 12.500 t TS Silage pro Jahr festgelegt. Den Berechnungen liegt ein Silagepreis von 85 Euro/t TS Silage, sowie eine Investitionsfinanzierung zu einem Zinssatz von 5,5% mit 10 jährige Laufzeit zugrunde.

Die gesamten Fraktionierungskosten, welche die Aufbereitung der Silage und eine Doppelpressung beinhalten, belaufen sich im produktionsrelevanten Maßstab von 12.500 t TS/a auf 59,5 Euro/t TS. Wird der Rohstoffanteil ebenso berücksichtigt, so belaufen sich die spezifischen Kosten auf 144,5 €/t TS Silage Input.

Ebenso wurden die Trocknungskosten für die Grasfaserfraktion abgeschätzt. Die spezifischen Trocknungskosten pro Tonne Presskuchen liegen je nach Wärmeenergiepreis zwischen 43 und 53 €/t trockene Faser.

Wird der in der Grünen Bioraffinerie anfallende Presskuchen energetisch verwertet, indem dieser als Rohstoff für eine Biogasanlage verwendetet wird, so erzielt dieser nach gegenwärtiger Einschätzung einen zu erwartenden Erlös von 60-65 €/t TS.

Soll eine stoffliche Verwertung erlöswirksamer als die Biogasverwertung sein, so muss diese Verwertungsschiene zusätzlich noch die Trocknung abdecken. Aus diesem Blickwinkel sind für die stoffliche Verwertung Grasfaserpreise von mindestens 103 €/t TS anzusetzen. Für die bisher untersuchten stofflichen Verwertungsschienen ist dieses Preisniveau zur Zeit eindeutig zu hoch.

### Ausblick

Bei der Umsetzung der Grünen Bioraffinerie sind aus der Sicht der Verwertung des Graspresskuchens keine Hemmnisse zu erwarten, da dieser unmittelbar einer Biogasanlage zugeführt werden kann. Diese energetische Verwertung der Grasfasern ist technisch ausgereift und kann deshalb sofort umgesetzt werden. Die im Rahmen des Projektes untersuchten stofflichen Verwertungsschienen für die Grasfaser können gegenwärtig nicht umgesetzt werden, da zum Teil noch technische sowie wirtschaftliche Hemmnisse bestehen.

In Zukunft sollten dennoch neue Ansätze für die Nutzung des in der Bioraffinerie anfallenden Presskuchens, abseits der Verwertung in einer Biogasanlage, Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen werden, so diese einen höheren wirtschaftlichen Nutzen erwarten lassen. In diesem Zusammenhang ist beispielsweise die Option einer erneuten Silierung (Resilierung) zu nennen, die die Ausbeute des Schlüsselproduktes Milchsäure noch weiter erhöhen könnte.

Im internationalen Kontext werden zur Zeit Verfahren für Biomassenutzung entwickelt, welche auch für den Presskuchen eine grundsätzlich interessante Option darstellen. In diesem Zusammenhang wären für die GBR Grasfaser-Vergasungsprozesse, sowie Prozesse zur Pyrolyse von Biomasse zu nennen. Damit wäre die Gewinnung alternativer Kraftstoffe aus der Grasfaser, die z.B. Diesel sehr ähnlich sind, und in Zukunft verstärkt nachgefragt werden, möglich.

Das Projekt Grüne Bioraffinerie ist ein Pionierprojekt der nachhaltigen Technologieentwicklung, das nach wie vor großes internationales Interesse erregt. In den Zukunftsstrategiepapieren der EU und auch der USA wird den Bioraffinerien eine wichtige Schlüsselfunktion für die Stoff- und Energiewirtschaft der Zukunft zugewiesen. Eine Umsetzung der Österreichischen Grünen Bioraffinerie muss aus diesen Gründen unbedingt vorangetrieben werden.

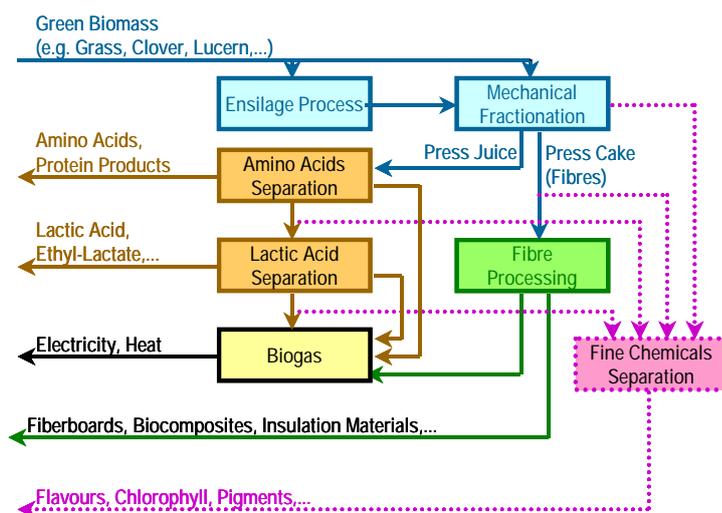
## SUMMARY

### Introduction to the Austrian Green Biorefinery Concept

Agriculture in Austria (as in the EU-countries) is currently undergoing a structural change, which is characterized by a significant decrease of livestock and dairy farming. As a result, grassland area without a direct agricultural use is increasing dramatically. Thus, innovative technology concepts for the utilization of this abundant biomass resource is highly required for the future.

One new option for green biomass is offered by Green Biorefineries. Ideally, a Green Biorefinery may produce a flexible mix of high-value products, including bulk chemicals, fuels and/or other materials (e.g. grass fiber products). By-products and residues are used for on-site generation of power (biogas) and heat.

A multidisciplinary research group has been developing the Austrian Green Biorefinery concept which utilizes solid state fermentation (silage) to meet two goals: (1) to generate storable raw material for a continuous industrial process, (2) to convert green biomass into valuable substances such as lactic acid and amino acids as marketable products. The development of the chemical process engineering is divided into different research projects, which are mainly funded by the *Fabrik der Zukunft* - programme.



The Austrian Biorefinery process is based on the raw material silage, which is pressed to gain a valuable juice and press cake.

Press juice is used for further downstream processing to separate two key products: amino acids and lactic acid.

The press cake is rich of fibers which are further processed to suitable fiber fractions for different industries. Optionally it can be used to run biogas process.

Fine chemical separation is an additional option for the future.

Figure 3: Overview of the Austrian Green Biorefinery Concept

### Project objectives

Considering the fact, that the fiber fraction (press cake) is the largest material stream encountered in a Green Biorefinery, the overall economic efficiency of a Green Biorefinery is strongly determined by the economic efficiency of converting this fiber fraction into marketable value added fiber products. However, an adequate assessment of the economic efficiency of a Green Biorefinery is essential for industrial enterprises when deciding whether to invest in a Green Biorefinery installation (pilot and/or production scale) or not. Therefore this project has the following general objectives:

1. to optimize mechanical separation of silage
2. finding and testing appropriate fiber treatment procedures
3. to investigate two different fields of grass fiber applications: fiberboard and additives for construction fillers and glues
4. assessment of the economic data concerning the grass fibers

### Content and structure of the project

The project consists of 6 work-packages

- WP1: preparation of primary raw materials & mechanical separation of raw materials,
- WP2: primary processing of press cake & technologies for obtaining defined fiber fractions,
- WP3: analytics,
- WP4: fiberboards based on fibers from green biomass,
- WP5: ground grass fibers in construction sector products (e.g. fillers),
- WP6: economic analysis & project coordination.

WP1 deals with the preparation of primary raw materials “grass” and “grass silage”, respectively (i.e. cultivation, harvesting, ensiling process) and the optimization of the essential process unit “mechanical separation” of the previously prepared primary raw materials into a liquid phase (press juice) and a solid phase (press cake). Optimization criteria include: (1) maximum yields of water soluble lactic acid and amino acids in the press juice and (2) minimum damage of fibers in the press cake.

Content of work-package WP2 is performing tests with respect to technologies for primary processing of the press cake and for obtaining specific well defined fiber fractions from this press cake: Activities concentrate on testing and optimizing technologies for (1) further disintegration of the press cake (2) fiber size classification (4) chemical disintegration of specific fiber fractions in order to obtain purified fibers for specific applications.

Work-package WP3 is devoted to analytics with respect to the previously described two work-packages as a pre-condition for quantification of the efficiency of the investigated process units.

Content of work-packages WP4 & WP5 is to carry out lab & pilot scale tests regarding optimization of manufacturing of prototype fiberboards and adhesives & fillers for the construction sector based on defined fiber fractions from green biomass as raw material.

Finally, in work-package WP6 an economic analysis is performed with strong focus on respective contributions of the fiber fraction.

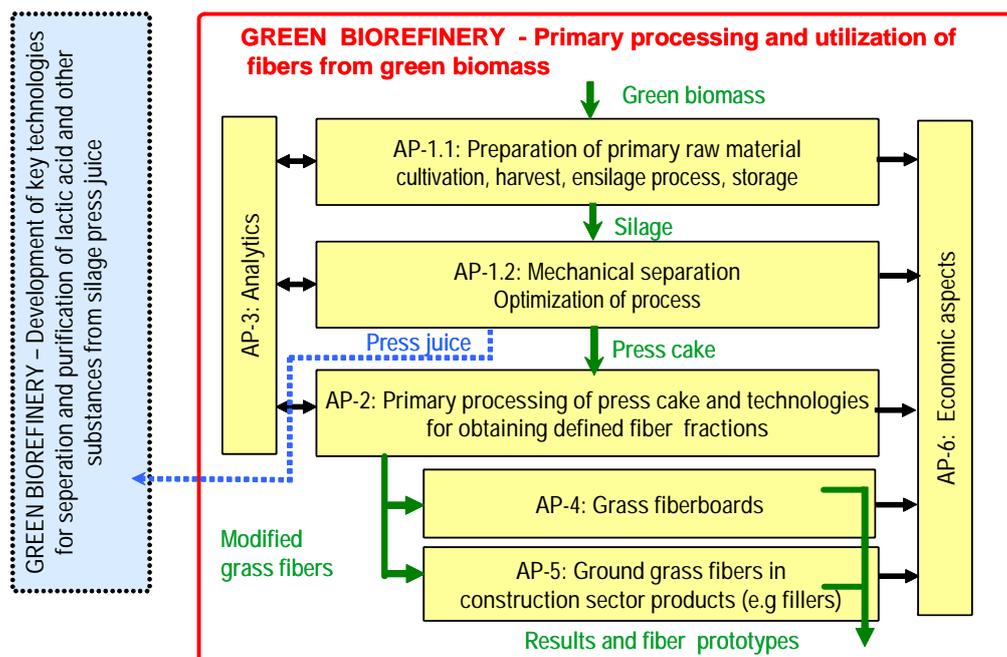


Figure 4: Work-packages and structure of the project

## Scope of work and project results

### Preparation of primary raw materials

For the investigations silage out of two different raw materials was used: (A) clover grass silage (B) lucerne (alfalfa) silage. The silage was made out of the first cut in late spring 2004. In order to optimize silage quality special silage starters were used and additionally the dry matter content of the raw material was monitored at the field. Silage was made by pressing “big-balls”, fermentation time was about 6 weeks.

### Mechanical separation: pressing of silage

In the Green Biorefinery the first process involves a mechanical separation treatment of the raw material by means of an extrusion screw press. As a result two different material streams are gained: silage juice and press cake which is rich of fibers. The pressing step itself is a fundamental process which strongly influences the composition of press juice. The overall goal of pressing is to transfer as much as possible of the valuable components lactic acid and amino acids into the press juice. To reach that goal a series of press tests was performed to investigate the influence of different parameters (dry matter content of the press feed, a pre-cutting step before pressing, rpm. etc.)

For the mechanical separation a small screw extrusion press of the type Vetter was used. The screw had an overall conical shape, a bottom diameter of 0,25m and a screw thread of 1:7. The press was powered by a 7,5 kW engine.

The mechanical separation involved the following procedure

- (1) chopping and mixing of silage
- (2) first pressing
- (3) adding water to press cake #1 and remixing
- (4) second pressing



In order to state on the chemical composition of the press feed and the produced juice and press cake a set of samples was taken for each run. Two different types of silage were used during the investigation (A) clover grass silage (B) lucerne (alfalfa) silage.

The results are presented in Figure 5 and Figure 6 for the components LA (lactic acid) and CP (crude protein). These figures are split into data sets for the raw materials clover grass silage and alfalfa silage. The presented data describes the percentage of overall LA and CP which was transferred into the juice. Each data set consists of 3 recovery values: the total (pressing #1+2), the press juice #1, press juice # 2.

### **Lactic acid (LA)**

Mostly the LA content was found higher in the alfalfa silage than in the clover silage, peaking with values exceeding 220 kg/t DM. Possible total LA yield transferred into the juice (pressing 1+2) was found to be for alfalfa silage in the range of 185-210kg/t DM feed and for clover grass silage in the range was of 120-155 kg/ t DM feed. However, the measured yields varied due to diverse silage quality of raw material.

The recovery rate of the LA component is presented in Figure 5. Total recovery rate (pressing 1+2) was in most cases around 90%, with top values up to 97%. Although the absolute LA yields in the press juice #2 are rather small, still the corresponding recovery rate is in an acceptable range between 40-70%.

### **Crude Protein (CP)**

Corresponding to LA contents described above the crude protein content was again found slightly higher in the alfalfa silage than in the clover grass silage. Total CP yield in the juice (pressing #1+2) was mostly found to be in the range of 80-120 kg/t DM feed, top values up to

160kg/t DM feed, depending on the original content of the feed. Total CP-recovery rates were mostly in the range of 55-65%, top values up to 70%. Results are plotted in Figure 6.

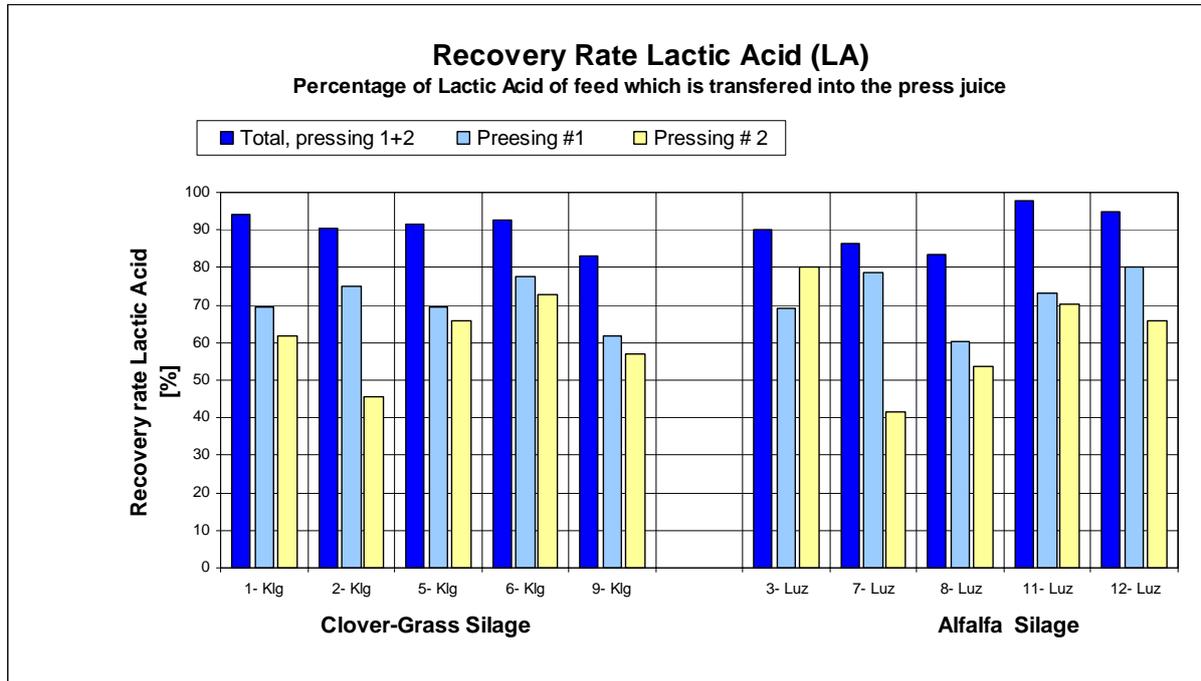


Figure 5: Recovery rate of lactic acid [%]

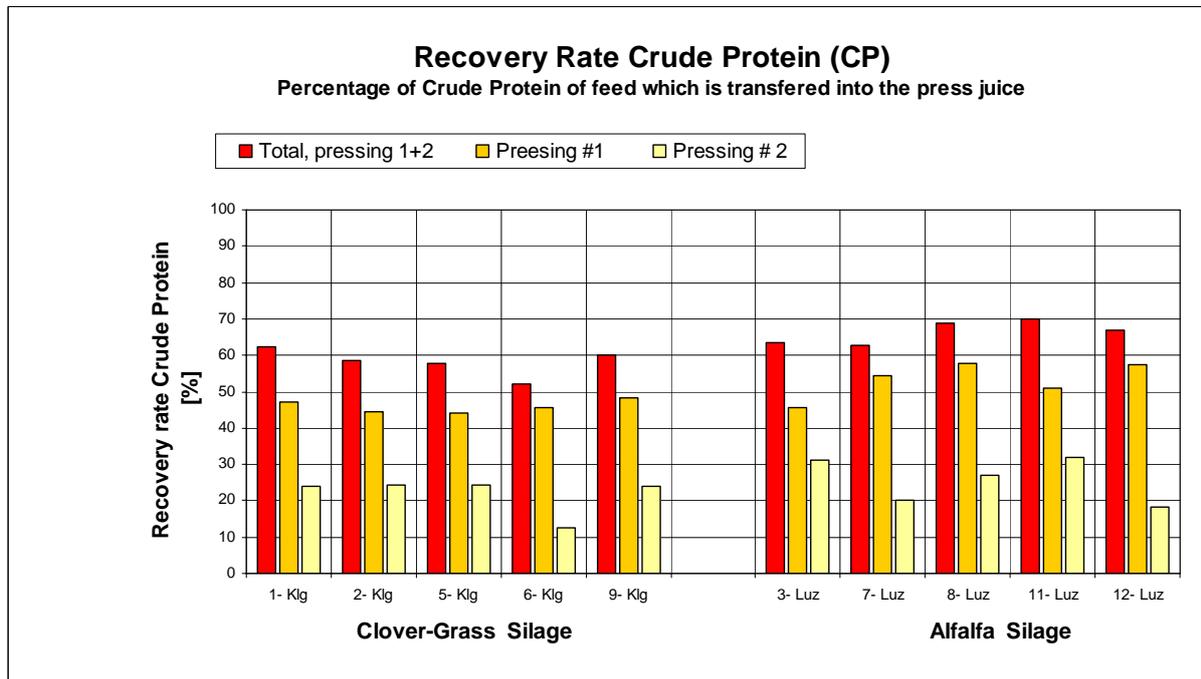


Figure 6: Recovery rate of crude protein (CP) [%]

### Conclusion of mechanical separation tests

The results in general indicate that the components lactic acid and crude protein can be well separated from silage and transferred into press juice by means of a screw press. In order to optimize the process a double pressing procedure is recommended. Results indicate that 85-95% of total lactic acid and about 55-65% of crude protein can be transferred into the juice.

The gained silage juice is the raw material for further downstream processing in order to separate lactic acid (LA) and amino acid (AA) products in a Green Biorefinery.

## Processing of press cake & technologies for obtaining defined fiber fractions (WP-2)

### **Trail on disintegration of press cake and fiber fractions**

A thermo-mechanical process based on a steam explosion effect was identified and tested for further disintegration of primary grass press cake. This process worked well for the press cake and reduced the diameter of fibers significantly without reducing the length too much. Also the water content of fresh press cake was reduced from about 50% to 40% during the treatment.

Further disintegration treatment was done using a cutting and grinding mill to gain fiber fractions small enough to be used as additives for fillers (WP-5). The ground fiber characteristics were various due to the used equipment and the milling settings. The cutting mill was found quite suitable to cut down on the particle size. Smaller particles were obtained by a grinding mill process. Average particle size was about 200-500 µm in average. Microscope analysis indicated rather cubic particles.

### **Trials for cleaning and smell reduction of grass fibers**

Since the typical smell of the grass fiber products was conceived as disturbing, tests were done in order to eliminate the active components causing the smell. Three different washing methods (washing with a combination of water, tensides and bleaching reagent; washing with diluted sulphuric acid and sodium hydroxide; washing with a basic silicate solution) were applied as well as steam distillation, high temperature steam treatment in an autoclave and high temperature treatment in an oven to reduce smell of grass fibers. To quantify the reduction of smell substances analyses of the volatile components from the grass fibers were carried out via SPME-GC-MS. Results showed that the high temperature treatment reached the best overall performance when considering economic and technical aspects.

Further tests were carried out for the modification of the grass fibers in order to achieve a certain hydrophobicity of the fiber. Tests focused on a low overall material consumption for the modification process as well as high probability of techno-economic implementation from lab to pilot scale. Hydrophobicity testing was done through determination of the fibers total water retention capacity.

Water retention capacity (WRC) of ground grass fibers was found decreasing with particle size (function of particle size). Average values for regular grass fiber were at about 130-170% WRC, i.e. that grass fibers can retain up to 170% of their weight in water. However, modified grass fibers showed a reduced WRC with relative reduction of about 40% (absolute WRC of modified fibers at 70-80%). Again the high temperature modification showed the best results.

### **Analytics (WP-3)**

Within this work package most of the analytical work concerning materials in all other work-packages was carried out. Chemical composition of the raw materials (silage) as well as products (e.g. silage juice, press cake) was examined. Analyses included: residual sugars in silage juice, crude ash of input and output streams, ash melting behaviour. Many of the results are mentioned in the respective work packages of concern.

### **Grass fiberboards (WP-4)**

Application of grass fibers for making fiberboards was investigated in this work-packages. Grass fiberboards were produced in a technical scale quite similar as the production process for wood fiber boards. In a first step fibers were coated with glue (urea-formaldehyde resins) in a mixer, fibers were then laid to a fiber-mat by hand and finally compacted in a heated press. Applied pressing conditions (heat, pressure and duration) were comparable to the making of wood based boards. As a result 300 x 300 mm grass fiberboard prototypes mostly with a thickness of 4 mm were obtained. A series of material testing was performed measuring density, transverse tensile strength, bending strength and water storage according to EN-standards for wood panels.

Grass fiberboards were made with a glue content of 10-14%. In the mixing phase glue coating of grass fibers seemed to be more complex than coating wood materials.

As far as mechanical properties are concerned the produced pure grass fiberboards reached at maximum about 60% of transverse tensile strength values and 40% of bending strength values of the reference board made of wood fibers. The boards also showed a significantly increased ability for expanding their thickness when they were exposed to water storage for 24 hours.

Fiberboards were also made with a mixture of wood and grass material. The mixture of 12,5% of grass fibers and 87,5% wood showed acceptable mechanical properties.

All 100% grass fiberboard had a significant smell of dried grass (hey-aroma), which was regarded as not acceptable for practical use. The color of grass fiberboards was of dark green to brown-green color with a regular and nice structure. Smell and color were found acceptable in the mixed grass-wood board with a content of 12,5% of grass fibers.

Application of pure grass fibers for the making of fiberboards at an industrial scale is not realistic from a technical point of view due to minor mechanical properties. Adding grass fibers to wood raw material does not seem worthwhile at present. The economical feasibility is not clear since the expected price for grass fibers is much likely to exceed the level of wooden resources.

#### Ground grass fibers in construction sector products (WP-5)

The objective of this work-package was to substitute different fillers used in construction adhesives and priming materials. Tests were carried out in the following products: paints, priming material, adhesives (for parquet or linoleum flooring and facades), levelling masses and different floor coatings. Tests were split into a screening phase and a detail phase.

Results of the screening phase indicated that there is a need to improve the following properties performance of ground grass fibers:

(1) water absorption, (2) smell of fibers, (3) coloring.

Therefore physical and chemical modification of the fibers was carried out (high temperature treatment, etc.). Through this modification step the water absorption of the fiber was reduced by up to 40% and the smell components were partially removed. The modified fibers were used as substitution for fillers in a range of chosen products in a second trial.

But even the modified fibers could not meet the required standards for the products. Therefore the fibers cannot be used in these products at the moment. Reasons include: substitution levels not satisfactory (less than 1% of total product), different production techniques might have to be established (additional costs), undesirable change in the viscosity of the final product, color of fibers changes product color.

A pilot trial did not take place for the above stated reasons.

#### Economical aspects (WP-6)

The optimized pressing procedure (out of WP-1) was used to design a production lay out for the mechanical separation process. The raw material discharge of the scale-up plant was set to 12.500 t DM silage/a for various reasons. The required investment for implementation was estimated and a pay-back rate calculated (5,5%; 10 years loan). The sum of the pay-back rate and all annual operation costs were used to calculate specific costs. For the set implementation scale the costs for pressing silage are 59,5 €/t DM silage feed. Taking also the raw material costs of 85 €/t DM silage into account, the total cost for producing juice and press cake sum up to 144,5€/t DM silage feed. For that amount of money it is possible to produce out of 1 t DM input in average 3,97 t silage juice and 1,24 t press cake.

Additionally the drying costs were calculated for a drying plant fitting to the scale of 12.500 t DM/a. On the basis of investment, loan costs and operation costs of the drying plant the

specific drying costs were calculated in the range of 43 to 53 €/t dry fibers. The two values are basing on two different scenarios for heat supply with prices 0,02 and 0,033 €/ kWh.

Due to special Austrian bio-power legislation biogas plants can sell off electricity on a higher level if special conditions are fulfilled. Taking this advantage into account, it is feasible that press cake can be sold for 60-65 €/t DM (even wet) to a biogas plant. This leads to the fact, that selling dry grass fibers to the industry is only economically feasible at prices higher than 103 €/t dry fiber. At such a price level there is a lot of competition between all sorts of different natural fibers.

Since bio-power legislation is likely to be changed in the near future, there is still the need to find industrial applications for grass fibers and consequently suitable markets. To meet that objectives grass fiber prices need to be as low as possible.

### Perspective for future activities

Research on the Austrian Green Biorefinery Concept will be proceeded in order to realize a demonstration plant. The press cake produced in Green Biorefinery can be used as valuable a raw material in a biogas (anaerobic digestion) process. This option for utilizing press cake can be easily implemented without technical restraints expected since biogas technology has been applied for long time already.

Results of the project indicate that the utilization of grass fibers for industrial products (e.g. fiberboards) can not be that easily integrated. Restraints for implementation have a technical an economical background. On the one hand there is the need to provide grass fibers at a reasonable cheap level, on the other hand it is necessary to improve technical performance of grass fibers.

An interesting question for coming research is, whether it is possible to run a re-silage process with the press cake of Green Biorefinery since this routine is promising an additional recovery of lactic acid. Technically there are two options: (1) enzymatic conversion of celluloses and hemicelluloses grass fibers into sugar or (2) adding a cheap source of sugar (whey).

Future research should also include additional interesting pathways for utilization of grass fibers. It is definitely worth investigating the use of press cake as suitable raw material for pyrolysis or gasification processes, which have been developed over the last years for biomass in general. This technology could provide alternative (diesel-like) fuels which are likely to supply future demands.

The *Austrian Green Biorefinery Concept* is a paradigm for the development of a sustainable utilization process based on renewable resources. Policy papers of the EU and USA are assigning biorefineries in general a key function in providing solutions for future energy and resources. From this point of view Green Biorefinery research has a special relevance for the future and therefore must be continued until implementation.

## EINLEITUNG ZUM THEMA GRÜNE BIORAFFINERIE

### Motivation

In der österreichischen Landwirtschaft – und auch in derjenigen vergleichbarer Länder – vollzieht sich gegenwärtig ein massiver Strukturwandel, der gekennzeichnet ist durch einen kontinuierlichen Rückgang der Viehwirtschaft (Milchproduktion) und in weiterer Folge durch eine stetige Zunahme an überschüssiger Grünlandbiomasse bzw. an nicht mehr benötigtem Grünland. Um dieses für traditionelle Zwecke nicht mehr benötigte Grünland, sowie die durch dieses Grünland wesentlich geprägten Kulturlandschaften, zu erhalten, ist es erforderlich, für die überschüssige Grünlandbiomasse neue, innovative Verwertungsmöglichkeiten zu erschließen. Eine derartige Möglichkeit bietet das Technologiekonzept einer so genannten Grünen Bioraffinerie.

### Was ist eine Bioraffinerie

Die Grundidee dabei ist, dass in Analogie zu einer *Erdölraffinerie* der Rohstoff „Grünlandbiomasse“ (z.B. Gras, Klee, Luzerne, etc.) in einer einzigen Verarbeitungsanlage möglichst vollständig (Ganzpflanzennutzung) in eine Vielzahl verkaufbarer Produktgruppen weiterverarbeitet wird.

Mögliche Produkte wären (1) Chemische Grundstoffe (z.B. organische Säuren wie Milchsäure, Lösungsmittel, Kunststoffmonomere), (2) Kraft- & Brennstoffe (z.B. Ethanol, Butanol, Aceton, Ester), (3) Nahrungs- & Futtermittel (z.B. Aminosäuren, Proteinkonzentrat, Peptide), (4) Faserprodukte (z.B. Faserplatten, Bio-Composites, Dämmstoffe), (5) Feinchemikalien (z.B. Aromen, Chlorophyll, Pigmente), (6) Biogas (=> Strom/Kraft + Wärme).

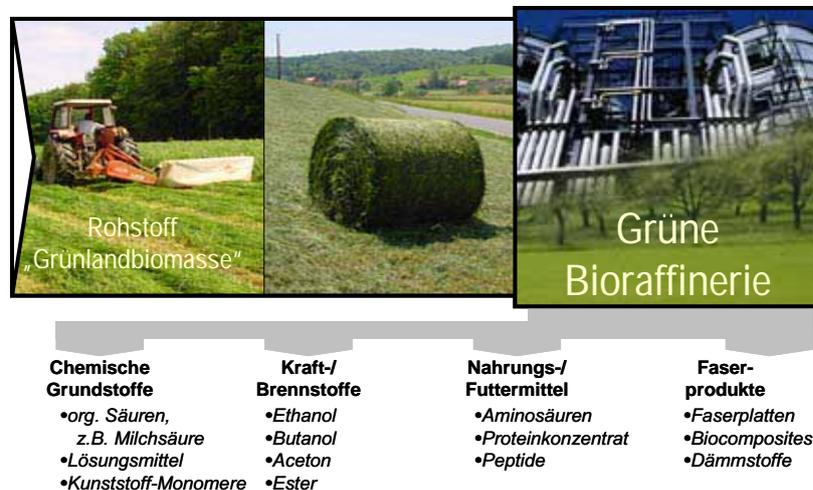


Abb. 1: Prinzip einer Grünen Bioraffinerie mit möglichen Produktgruppen

Auf Basis der Grundidee der Bioraffinerie wurde von einem interdisziplinären Forscherteam das Technologiekonzept *Grüne Bioraffinerie Österreich* entwickelt. Das Konzept der *Grünen Bioraffinerie Österreich* unterscheidet sich von anderen derzeit auf internationaler Ebene entwickelten Bioraffinerie-Konzepten dadurch, dass es besondere Rücksicht nimmt auf die spezifischen Bedingungen österreichischer Regionen (z.B. kleine Betriebsgrößen, Verwertungsoption für gegenwärtige/zukünftige Grasflächen).

## Charakteristika der Grünen Bioraffinerie Österreich

### 1) Milchsäure als Schlüsselprodukt

Die Bioraffinerie Österreich verwendet den Rohstoff Gras, welcher für die Herstellung von Silage verwendet wird. Im Silageprozess entsteht Milchsäure, die einerseits als Konservierungsmittel fungiert und andererseits ein begehrtes chemisches Zwischenprodukt mit steigendem Markt darstellt.

### 2) Kombination von dezentralem und zentralem Verfahrenskonzept

Die Silierung des frisch gemähten Grasses, die Lagerung der Grassilage sowie erste Fraktionierungsschritte der Grassilage können dezentral erfolgen. In zentralen Anlagen erfolgt dann die Weiterverarbeitung in verkaufbare Endprodukte (z.B. Milchsäure, Aminosäuren, Faserprodukte). Diese Kombination aus dezentralen und zentralen Verfahrenskomponenten ermöglicht eine optimale Einpassung der Technologie in die kleinteilige österreichische Landwirtschaft.

### 3) Flexible Produktionstechnik

Die in einer Grünen Bioraffinerie verarbeitete Grünlandbiomasse ist ein komplexer Rohstoff, der neben den Zuckern noch eine Vielzahl weiterer wertvoller Inhaltsstoffe enthält (z.B. Aminosäuren, Proteine, Fette, Fasern). Für den wirtschaftlichen Erfolg einer Grünen Bioraffinerie ist es erforderlich, diese so flexibel wie möglich zu gestalten, d.h. dass die Produktpalette rasch an geänderte Marktbedingungen angepasst werden kann. Schlüsselprodukte von heute sind nicht automatisch auch Schlüsselprodukte von morgen.

## Prozessablauf

Der Prozessablauf in der Grünen Bioraffinerie kann wie folgt vereinfacht dargestellt werden:

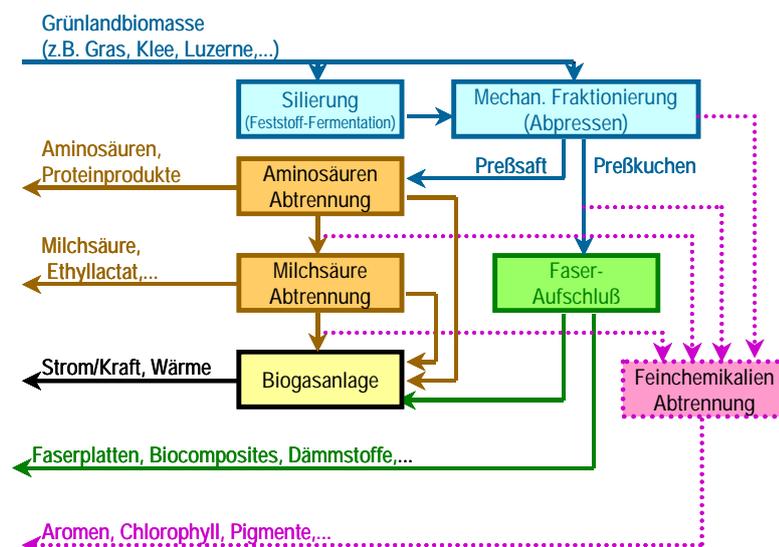


Abbildung 7: Schema Prozessablauf Grüne Bioraffinerie Österreich

Aus dem Rohstoff Grünlandbiomasse wird in der Vegetationsperiode Silage erzeugt, welche lagerfähig ist und somit ganzjährig einem industriellen Prozess zugeführt werden kann. Durch eine mechanische Fraktionierung entstehen zwei Stoffströme: der Presssaft und der Presskuchen. Der Saft wird weiter aufbereitet und aus diesem die Wertstoffe Milchsäure und

Aminosäuren abgetrennt. Dabei nicht genutzte Saftanteile werden in einer Biogasanlage verwertet. Der Presskuchen kann einerseits zu einer für die Industrie verwertbaren Faserfraktion aufbereitet und getrocknet werden, oder direkt in die Biogasanlage eingeschleust werden. Die Abtrennung von Feinchemikalien ist eine weitere zukünftige Verwertungsoption, welche gegenwärtig nicht entwickelt wird.

## **Neue Chancen für den ländlichen Raum**

Die Umsetzung des Technologiekonzepts einer Grünen Bioraffinerie ist ein wichtiger Beitrag zur Erhaltung wertvoller Kulturlandschaften. Es wird dadurch wieder eine aktive Nachfrage nach dem Rohstoff Gras bzw. Silage geschaffen, der dazu beiträgt, dass Grünlandflächen nicht in Äcker umgewandelt werden, sondern dauerhaft erhalten werden können.

Grüne Bioraffinerien haben das konkrete Potential, den ländlichen Regionen eine neue Form der Wertschöpfung zu eröffnen. Einerseits können bestehende landwirtschaftliche Betriebe abgesichert werden, andererseits entstehen im ländlichen Raum qualifizierte Arbeitsplätze im Bereich der Biotechnologie.

## **Anbindung des Projektes an andere Forschungsprojekte**

Das gegenständliche Projekt steht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Projektvorhaben *Grüne Bioraffinerie – Schlüsseltechnologie zur Gewinnung von Wertstoffen aus Silagesaft*, welches ebenfalls in der Programmlinie *Fabrik der Zukunft, 2. Ausschreibung*, durchgeführt wurde. Beide Projekte gemeinsam umfassen die volle Breite der Forschungsfragen zur Grünen Bioraffinerie. Die Entwicklung von geeigneten Abtrenntechniken zur Gewinnung der Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren aus dem Silagepresssaft ist gegenwärtig das wichtigste Forschungsthema der Grünen Bioraffinerie.

Beide Projekte der *2. Ausschreibung* bauen ihrerseits wieder auf Projekte zum Saft- und Faserbereich auf, welche zuvor in der *1. Ausschreibung Fabrik der Zukunft* durchgeführt worden waren.

## **Forschungsstrategie Leuchtturmprojekt**

Das österreichische Forschungsteam der Grünen Bioraffinerie hat das erklärte Ziel, alle Problembereiche zur Verfahrenstechnik soweit erfolgreich zu lösen, dass eine Umsetzung der Gesamttechnologie in einer *Demonstrationsanlage* erfolgen kann. Die Projektinitiative Grüne Bioraffinerie versteht sich auch als *Leuchtturmprojekt* des Programms *Nachhaltig Wirtschaften*. Die Projektakteure nehmen ihrerseits die Herausforderung an, die Grüne Bioraffinerie zur Erfolgsstory machen – zu einem Musterbeispiel der Entwicklung einer nachhaltigen Technologie von der Idee bis zum Praxiseinsatz. Die Unterstützung durch die *Programmlinie Nachhaltige Wirtschaften* ist für diesen Prozess essentiell.

## **Aufbau des Berichtes**

Für den vorliegenden Bericht wurde folgender Aufbau hinsichtlich des Detaillierungsgrades der Darstellung gewählt:

- Zusammenfassung der Projektarbeiten und -ergebnisse in Deutsch und Englisch
- Kurzfassung der Beschreibung der Arbeitspakete und deren Ergebnisse in Deutsch und Englisch
- Detailberichte mit Resümee über die einzelnen durchgeführten Projektarbeiten und Ergebnisse nach Arbeitspaketen gegliedert
- Beitrag des Projekts zur Programmlinie Fabrik der Zukunft
- Schlussfolgerungen und Ausblick

## PRIMÄRE ROHSTOFFGEWINNUNG & MECHANISCHE FRAKTIONIERUNG DER ROHSTOFFE (AP-1)

### Überblick über die durchgeführten Arbeiten

In diesem Arbeitspaket wurden die Rohstoffe der Grünen Bioraffinerie „Gras“ bzw. „Grassilage“ für die Projektaktivitäten produziert. Bei der Herstellung der Silage wurde das Ballenverfahren angewandt und spezielle Silage-Starterkulturen beigemischt. Parallel dazu erfolgte eine umfangreiche Beprobung und Dokumentation dieses Prozesses.

Nach Ablauf einer Fermentationszeit von ca. 6 Wochen erfolgte die Optimierung des Verfahrensschrittes „Mechanische Fraktionierung“. Bei diesem Verfahrensschritt wird mittels Schneckenpresse der Rohstoff Grassilage in eine *flüssige* Fraktion (Presssaft) und in eine *feste* Fraktion (Presskuchen) aufgetrennt. Der Presssaft enthält wasserlösliche Wertstoffe wie Milchsäure, Aminosäuren und Proteine, der Presskuchen besteht zum überwiegenden Teil aus faserartigem Material. Die Optimierung der Mechanischen Fraktionierung ist für die Grüne Bioraffinerie insofern von großer Bedeutung, da dieser Prozess wesentlichen Einfluss auf die erzielbaren Wertstoffausbeuten sowie den Mengendurchsatz hat.

Schließlich erfolgte im Arbeitspaket die routinemäßige Herstellung größerer Mengen an Graspresskuchen (bzw. Graspresssäften), der jeweils für die nachfolgenden Arbeitspakete als „Rohstoff“ benötigt wurde. Der erzeugte Presssaft war ebenfalls für die Aktivitäten des Parallelprojektes *Grüne Bioraffinerie – Entwicklung von Abtrenntechnologie für Wertstoffe aus Silagesäften* erforderlich.

### Gewinnung / Herstellung der primären Rohstoffe (AP-1.1)

Inhalt dieses Arbeitspakets war die Gewinnung und Herstellung ausreichender Mengen der primären Rohstoffe „Frischgras“ bzw. „Grassilage“.

Der Silageprozess spielt bei der Grünen Bioraffinerie eine besondere Rolle, da diese Feststofffermentation neben der Konservierung des Rohstoffes vor allem auf die Fermentation von Milchsäure aus den Zuckern des Grünschnittes abzielt.

Bei der Bereitstellung des Silagerohstoffes wurde auf spezielle Silagestarter zurückgegriffen, um von Beginn an eine Fehlgärung (z.B. in Richtung Buttersäure oder Essigsäure) möglichst zu verhindern. Ebenfalls wurde der Trockensubstanzgehalt bei der Herstellung der Silageballen direkt am Feld gemessen, damit optimale Startbedingungen für den Silageprozess eingestellt werden konnten. Die erzeugten Siloballen wurden mit besonderer Sorgfalt gewickelt und gepresst. .

Für die Herstellung der Silage wurden die zwei verschiedenen Wiesenarten

- Kleegrasmischung und
- Gras-Luzerne Mischung

verwendet, um verschiedene Rohstoffqualitäten bei der Mechanischen Fraktionierung auszuprobieren.

Die Herstellung der Silagemengen erfolgte in der 3. Maiwoche 2004, da der Vegetationsfortschritt keine frühere Mahd erlaubte. Für den Reifeprozess der Silage wurde in Summe ein Zeitraum von 6 Wochen veranschlagt, damit die Milchsäuregärung im Rohstoff möglichst vollständig abgeschlossen sein sollte.

Die nachfolgenden Fraktionierungsversuche wurden Mitte Juli bis Anfang August 2005 durchgeführt.



Abbildung 8: Silagebereitung: Mahd, Ballenpresse, Wickeln, fertige Silageballen

## **Optimierung des Prozessschrittes „Mechanische Fraktionierung“ (AP-1.2)**

Gegenstand dieses Arbeitspaketes war die Optimierung des Verfahrensschrittes „Mechanische Fraktionierung“ des primären Rohstoffes „Grassilage“. Der Prozessschritt „Mechanische Fraktionierung“ ist bei der Grünen Bioraffinerie besonders von Bedeutung, da dieser die Wertstoffausbeute entscheidend mitbestimmt. Das Grundprinzip dieses Trennverfahrens besteht darin, dass durch mechanische Trennverfahren (z.B. Abpressen mittels Schneckenpresse) der Rohstoff Grassilage in

- eine *flüssige* Fraktion (Presssaft) und in
- eine *feste* Fraktion (Presskuchen) aufgetrennt werden.

Die *flüssige* Fraktion (Presssaft) enthält wasserlösliche Wertstoffe wie Milchsäure (MS), Aminosäuren (AS) und Proteine, die *feste* Fraktion (Presskuchen) besteht zum überwiegenden Teil aus faserartigem Material.

Ziel der durchgeführten Pressversuche war es, einen möglichst hohen Anteil der im Rohstoff enthaltenen Wertstoffe (MS, AS) in den Presssaft überzuführen.

Die Optimierung der Trenntechnik setzte unmittelbar auf die im Vorprojekt gesammelten Erfahrungen bzw. Analysedaten auf. Diese Ergebnisse hatten angedeutet, dass der Trockensubstanzgehalt des Silagerohstoffes einen wesentlichen Einfluss auf die Produktausbeuten haben kann. Die durchgeführten Pressversuche hatten auch das Ziel, den Einfluss weiterer Optimierungsansätze der Mechanischen Fraktionierung anhand konkreter Ergebnisse zu beurteilen. Folgende Fragestellungen wurden im Rahmen der Pressversuche hinsichtlich einer Verbesserung der Wertstoffausbeuten untersucht:

- Einfluss einer Vorzerkleinerung des Pressfeeds
- Mehrmaliges Abpressen des Rohstoffes
- Etwaige Zwischenschritte zwischen 1. und 2. Pressung

Zum Einsatz kam eine konische Schneckenpresse der Firma Vetter. Sowohl die Drehzahl als auch die Spaltöffnung konnte in gewissem Rahmen stufenlos geregelt werden.



Abbildung 9: Durchführung eines Abpressversuches

Die Beurteilung der jeweiligen Fraktionierungsversuche erfolgte anhand von Analysedaten, welche sich im Wesentlichen auf die drei Mengenströme *Feed*, *Presskuchen* und *Presssaft* beziehen. Im Rahmen der Pressversuche wurde jeweils vom *Feed*, vom *Presssaft* sowie vom *Presskuchen* eine repräsentative Probe gezogen.

## **Gewinnung der Proben der einzelnen Stoffströme**

### Allgemeines

Diese Proben entstanden als Mischprobe aus verschiedenen Teilbeprobungen, welche im Zuge des Abpressens von einem Siloballen mit ca. 500-700kg Silage gezogen wurden. Bei der Probenziehung wurde darauf geachtet, dass die Probe möglichst repräsentativ gezogen wurde. Die Probenziehung wurde immer mit Gummihandschuhen durchgeführt, um eine Kontamination der Probe mit Bakterien zu vermeiden.

Von jeder Faserfraktion wurden ca. 1,5-2 kg Probe, von jeder Saftfraktion ca. 1,5-2 l gezogen. Bevor die Probe fraktioniert wurde, wurde sie im jeweiligen Probengefäß nochmals homogenisiert. Von jeder gezogenen Probe wurde auch der TS-Gehalt bestimmt, von den Saftproben auch zusätzlich der pH-Wert ermittelt.

### Durchführung

Am Beginn jeder Pressung wurde auf dem Messprotokoll die Pressabfolge und somit auch die Probenziehung definiert.

Die erste Probe wurde von der Ausgangssilage gezogen. Nach Öffnen des Siloballens wurde dieser in den Mischer eingebracht. Von dort wurde nach mehrmaligem Durchmischen der Silage die Probe von unterschiedlichen Stellen des Mixers gezogen. Von dieser Probe (F) wurde auch der TS-Gehalt mittels Halogentrockner gemessen, um die eventuell notwendige Wasserzugabe berechnen zu können.

Nach der Wasserzugabe (optional) wurde nach kräftigem Durchmischen abermals eine Probe (PF1) gezogen. Nach abgeschlossenem Pressvorgang wurden vom Presskuchen (PK1) und vom Presssaft (PS1, nach Vermischen im Kühler) Proben gezogen.

Für den zweiten Pressvorgang (PK1 wurde mit Wasser vermengt und als PF2 eingesetzt) erfolgte die Probenziehung analog dem ersten Pressvorgang.

Von jeder Faserfraktion wurden immer 4 Proben à ca. 250g gezogen, von den Saftfraktionen wurden am Beginn der Presskampagne 6 Proben à ca. 250ml (2x gefiltert, 4x ungefiltert) und in weiterer Folge 4 Proben (ungefiltert) gezogen.

Von folgenden Faser- bzw. Saftfraktionen wurden Proben gezogen:

- F = Feed (Ausgangssilage)
- PF1 = Pressfeed, TS wurde durch Zugabe von Wasser auf einen bestimmten Wert eingestellt
- PK1 = Presskuchen nach einmaligem Abpressen
- PS1 = Presssaft nach einmaligem Abpressen
- PF2 = PK1 wurde nochmals mit Wasser versetzt und abgepresst
- PK2 = Presskuchen nach zweimaligem Abpressen
- PS2 = Presssaft nach zweimaligem Abpressen

Die gezogenen Faser- bzw. Saftproben wurden nach dem Vakuumverpacken bzw. Überschicken mit Argon sofort bei  $\leq -20^{\circ}\text{C}$  eingefroren.

### ***Versuchsplanung der Pressversuche***

Für die Abpressversuche wurden 2 verschiedene Silagerohstoffe verwendet:

1. Silage von Klee gras
2. Silage von Luzerne bzw. einer Mischung aus Gras mit hohem Luzerneanteil.

Für die Versuche wurde folgende Versuchsmatrix erstellt:

Nr.	1. Pressung			2. Pressung			Rohstoff Art Klg/ Luz
	Drehzahl [U/min ]	Trocken- masse Feed 1 [%]	Vorzerkleiner- ung Feed 1 Ja/Nein	Vorzerkleine- rung Feed 2 Ja/Nein	Trocken- masse Feed 2 [%]	Drehzahl [U/min ]	
1- Klg	16,0	28,0	Nein	Nein	25,0	16,0	Kleegras
2-Klg	16,0	28,0	Nein	Nein	25,0	16,0	Kleegras
3-Luz	16,0	28,0	Nein	Nein	25,0	16,0	Luzerne
4-Klg	7,0	28,0	Ja	Nein	35,0	7,0	Kleegras
5-Klg	16,0	28,0	Nein	Ja	25,0	16,0	Kleegras
6-Klg	7,0	20,0	Nein	Nein	25,0	7,0	Kleegras
7-Luz	16,0	28,0	Nein	Nein	28,0	16,0	Luzerne
8-Luz	7,0	28,0	Ja	Nein	30,0	7,0	Luzerne
9-Klg	16,0	28,0	Nein	Nein	28,0	16,0	Kleegras
10-Klg	7,0	28,0	Ja	Nein	30,0	7,0	Kleegras
11-Luz	16,0	28,0	Ja	Nein	25,0	16,0	Luzerne
12-Luz	16,0	20,0	Ja	Nein	25,0	16,0	Luzerne

*Tabelle 2: Versuchsplanung für die Optimierung der mechanischen Fraktionierung*

Jeder Versuch steht für einen Massenstrom von 1 (manchmal 2) Silagegroßballen (ca. 500-1000kg Silage), welcher meist innerhalb eines Tages durchgeführt werden konnte. Mit dieser Aufgabe waren 3 bis 4 Personen beschäftigt.

Diese Versuchsmatrix ist aufgrund der erforderlichen Budgetkürzungen des vorliegenden Projekts kleiner ausgefallen, als ursprünglich beabsichtigt. Eine wesentliche Beschränkung erfolgte auch durch die zur Verfügung stehenden Mittel für Analytikskosten.

In die Interpretation der Ergebnisse zur *Mechanischen Fraktionierung* wurden auch Daten und Erfahrungen berücksichtigt, welche im Rahmen eines vom Land Steiermark und JOANNEUM RESEARCH finanzierten Projektes ermittelt wurden.

Einige Analyseergebnisse der Pressversuche 2004 wurden als Graphen dargestellt. Anhand der Visualisierung können die Ergebnisse besser diskutiert werden.

### ***Ergebnisse der Pressversuche***

Folgend wird eine Reihe von Abbildungen präsentiert, welche die erzielten absoluten und relativen Ausbeuten von Milchsäure und Rohprotein darstellen.

Die Darstellungen enthalten jeweils den Anteil an Milchsäure oder Rohprotein, welcher durch die mechanische Fraktionierung in den Presssaft überführt wurde. Zum Vergleich wurde ebenfalls der jeweilige Referenzwert des Feeds der Presse beigelegt.

Die im Presskuchen verbleibenden Anteile an Milchsäure und Rohprotein wurden nicht in die Graphen übernommen, weil dieser Anteil bereits indirekt dargestellt ist.

Die Auswertung wurde so erstellt, dass die Ergebnisse der 1. Pressung und der 2. Pressung getrennt ausgewertet wurden. Zusätzlich wurde die Summe beider Pressungen (1+2) als Gesamtausbeute für jeden Versuch dargestellt.

Weitere Analytikergebnisse (z.B. im Presssaft enthaltene weitere organische Säuren wie Buttersäure, Essigsäure, Ameisensäure, Valerinsäure, pH, TM-Gehalt, etc.) sind in AP-3 Analytik im Detail zu finden.

Erzielten Gesamtausbeuten für Milchsäure und Rohprotein

Die Gesamtausbeute entspricht der Summe aus der Pressung 1 plus Pressung 2

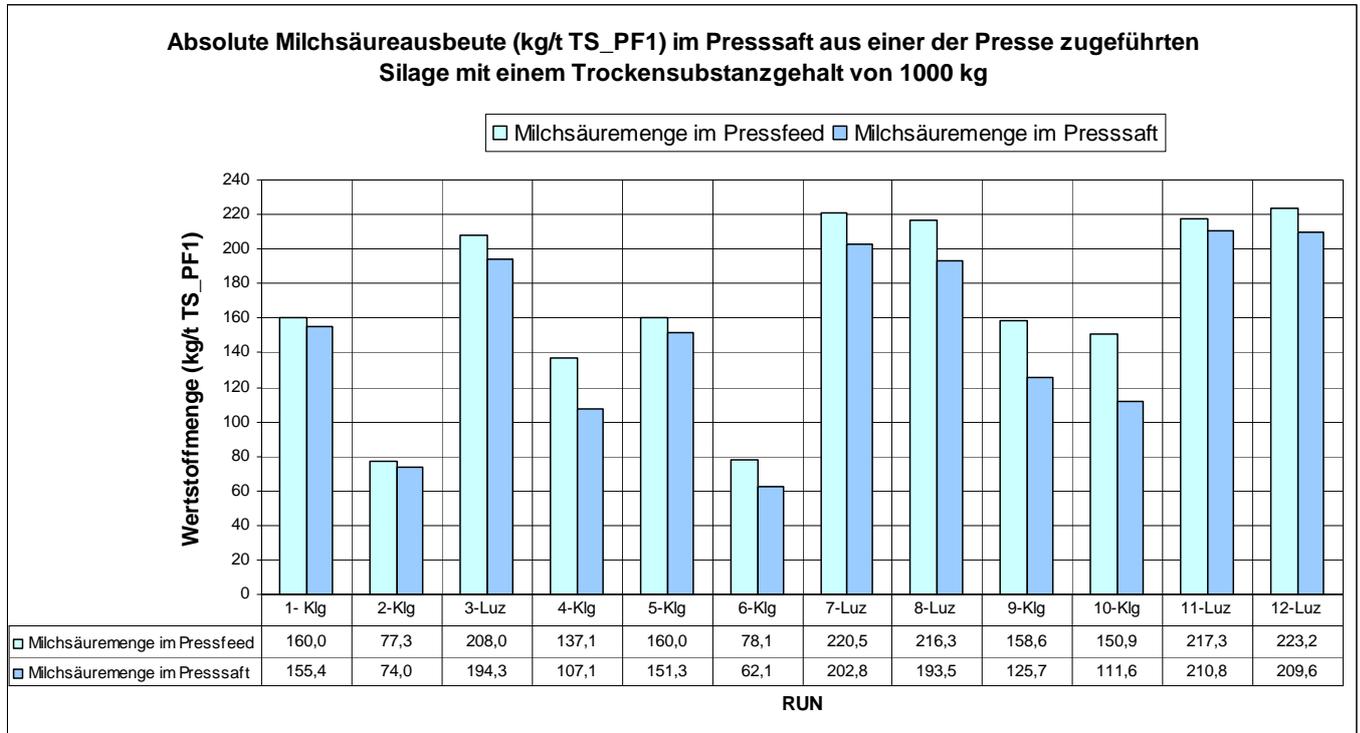


Abbildung 10: Absolute Ausbeute an Milchsäure [kg/t TS Silage]; (Pressung 1 + 2)

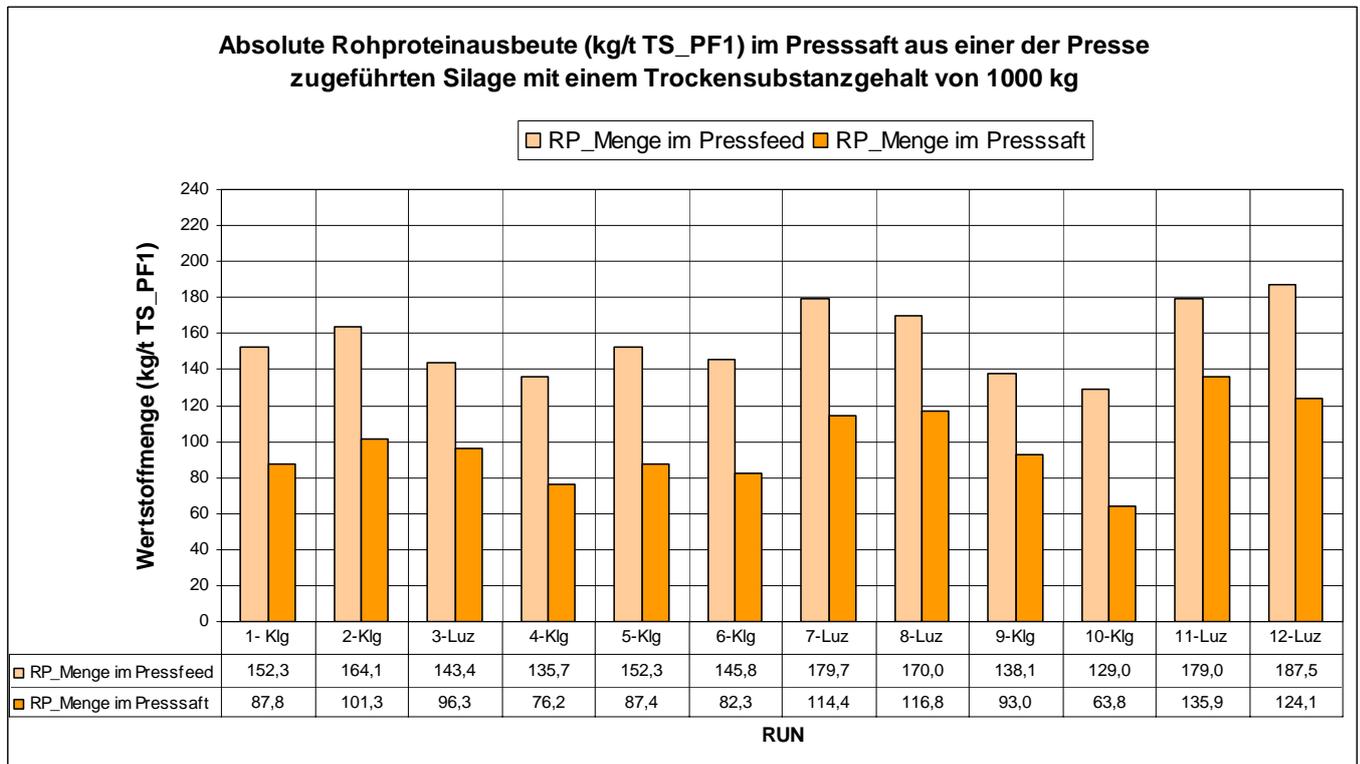


Abbildung 11: Absolute Ausbeute an Rohprotein [kg/t TS Silage]; (Pressung 1+2)

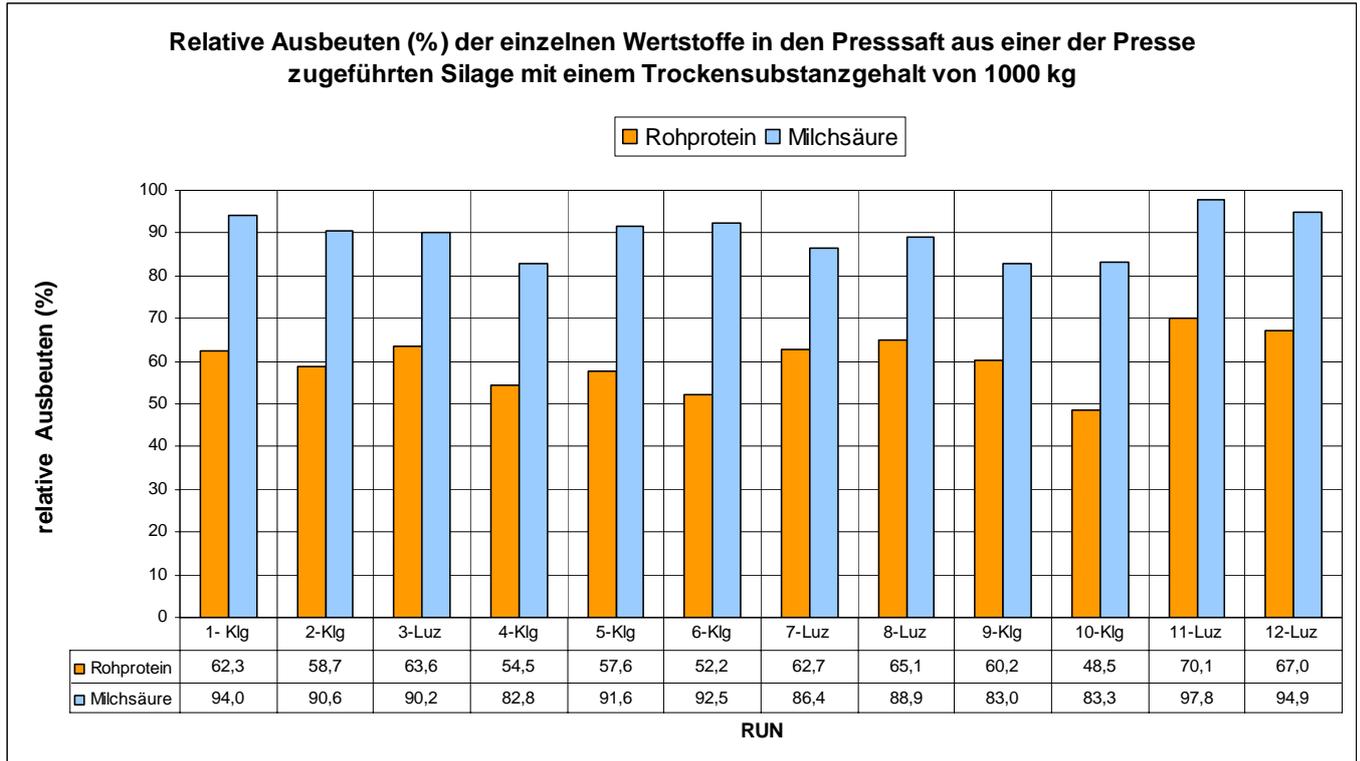


Abbildung 12: Relative Ausbeute an Milchsäure u. Rohprotein [%]; (Pressung 1 + 2)

Abbildung 12 präsentierten Ergebnisse zeigen, dass der relative Gesamtabtrenngrad der Milchsäure bei den durchgeführten Versuchen jeweils über 80% liegt. Die erzielten Werte der relativen Gesamtausbeute liegen im Bereich von 83- 97,8%.

Der ermittelte relative Gesamtabtrenngrad bei Rohprotein liegt zwischen 48 und 67%. Die im Rohstoff Luzerne ermittelten Werte liegen geringfügig höher als die Abtrenngrade des Rohstoffes Klee gras.

In Summe zeigt der Verlauf der relativen Ausbeuten für Milchsäure und Rohprotein ein recht homogenes Bild. Betrachtet man die Gesamtausbeuten der Wertstoffe Milchsäure und Rohprotein absolut (Abbildung 10 und Abbildung 11), so stellen sich die Absolutmengen der abgetrennten Wertstoffe nicht mehr so gleichmäßig dar. Die Mengen im Milchsäurediagramm zeigen deutliche Unterschiede bei den Silage-Rohstoffen auf.

Beim Rohstoff Luzerne bzw. Luzernegrasmischung (Nr. 3,7,8,11,12) lag die Gesamtmenge an Milchsäure deutlich höher als bei den verwendeten Klee grassilagen (Nr. 1,2,4,5,6,9,). Es gilt aber auch zu berücksichtigen, dass Unterschiede im ursprünglichen Trockenmassegehalt des Ausgangsrohstoffes Silage diese Werte beeinflussen.

Bei den abgepressten Luzernesilagen wurde eine Gesamtausbeute an Milchsäure im Bereich von 190-210 kg/t TS ermittelt. Beim Rohprotein lagen die absoluten Ausbeuten bei Luzernesilage zwischen 96 bis 135 kg/t TS.

Die ermittelten absoluten Gesamtausbeuten an Milchsäure bei den Klee grassilagen schwanken stark zwischen den Werten 62-155 kg/t TS, wobei diese starke Schwankungsbreite im Wesentlichen durch die vorliegende Silagequalität verursacht scheint.

Diese Ergebnisse zeigen jedenfalls deutlich auf, dass die Qualität des Rohstoffes Silage ein wesentlicher Aspekt für den Betrieb und die Wirtschaftlichkeit einer Bioraffinerie darstellen. Denn auch wenn die mechanische Fraktionierungstechnologie gute Abtrenngrade erzielt, so gilt es, die Ausgangskonzentration im Rohstoff sicher zu stellen. Ein Qualitätsmonitoring in der Supply-chain erscheint dringend notwendig.

Ausbeuten für Milchsäure und Rohprotein nach 1. Pressung

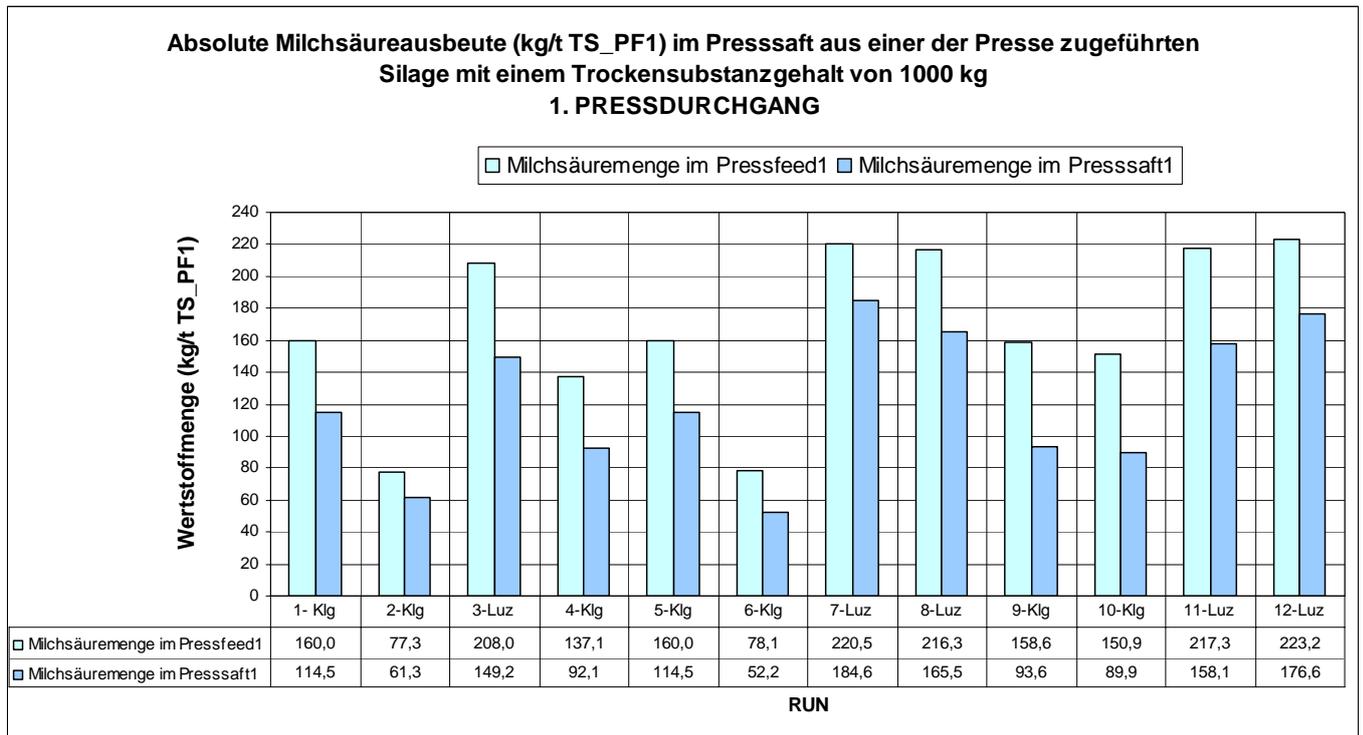


Abbildung 13: Absolute Ausbeute an Milchsäure [kg/t TS Silage] nach der 1. Pressung

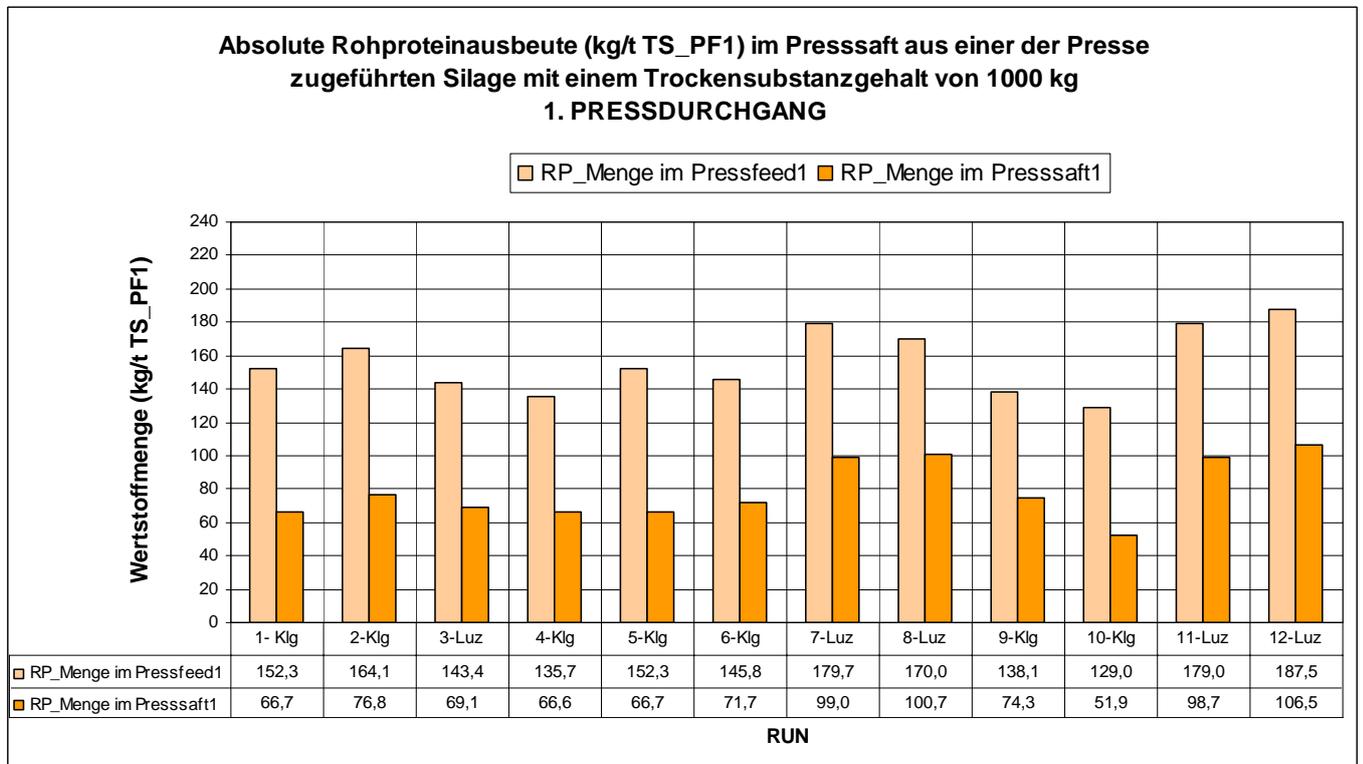


Abbildung 14: Absolute Ausbeute an Rohprotein [kg/t TS Silage] nach der 1. Pressung

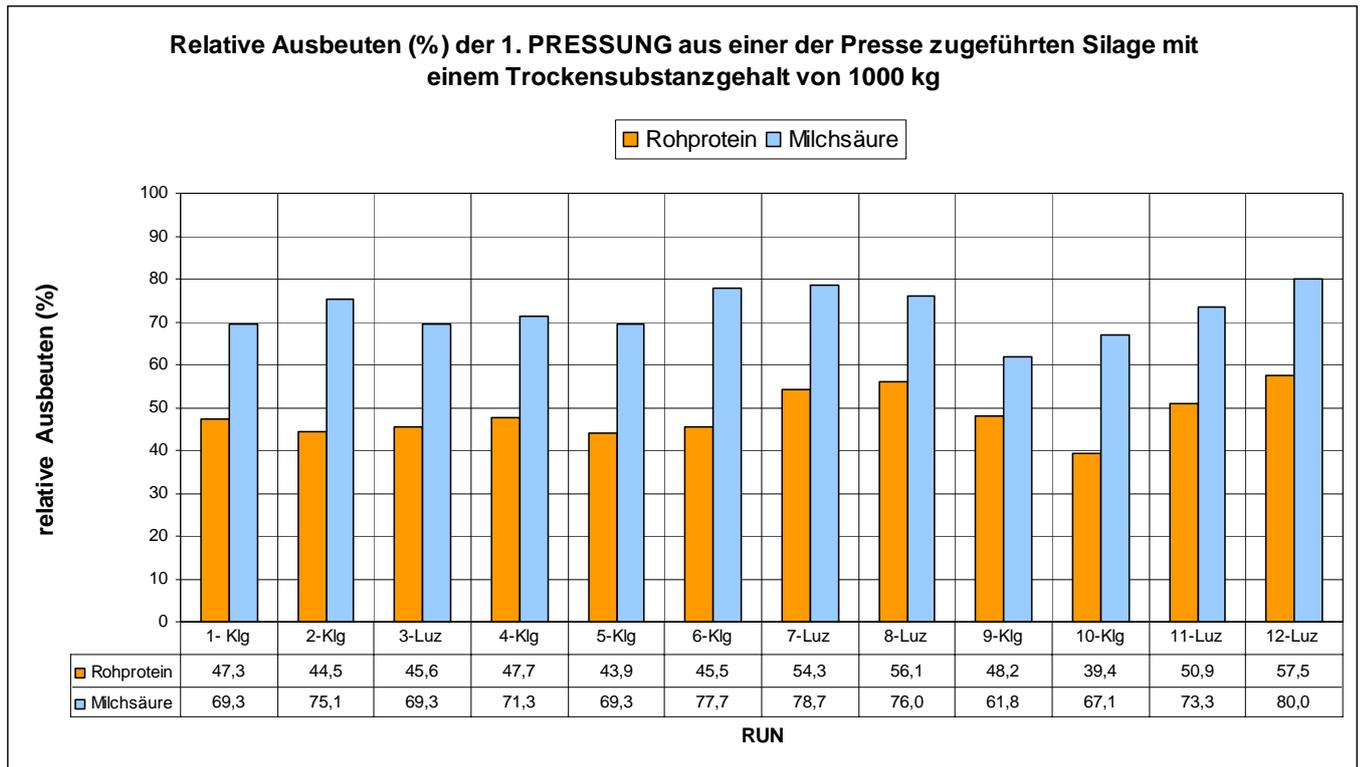


Abbildung 15: Relative Ausbeute an Milchsäure und Rohprotein [%]; nach der 1. Pressung

Die Ergebnisse, welche anhand der Analytikdaten aus dem Feed, sowie dem Presssaft der 1. Pressung abgeleitet wurden (Abbildung 13, Abbildung 14, Abbildung 15); zeigen für den Wertstoff Milchsäure relative Abtrenngrade von 60% bis 80% auf. Die Mehrzahl der Werte liegt um ca. 70%.

Beim Rohprotein wurde nach der 1. Pressung relative Abtrenngrad in der Größenordnung von 39,4 bis 67,5 ermittelt, wobei die relativen Ausbeuten der Kleeegrassilagen mehrheitlich im Bereich von 45-48% liegen.

Die Luzernesilagen (7, 8, 11 und 12) erzielen bereits nach der ersten Pressung etwas höhere Rohproteinausbeuten (54-57%). Dieser Unterschied zeigt sich auch bei der Gesamtausbeute (1. und 2. Pressung gemeinsam) und wurde bereits diskutiert.

Ausbeuten für Milchsäure und Rohprotein nach 2. Pressung

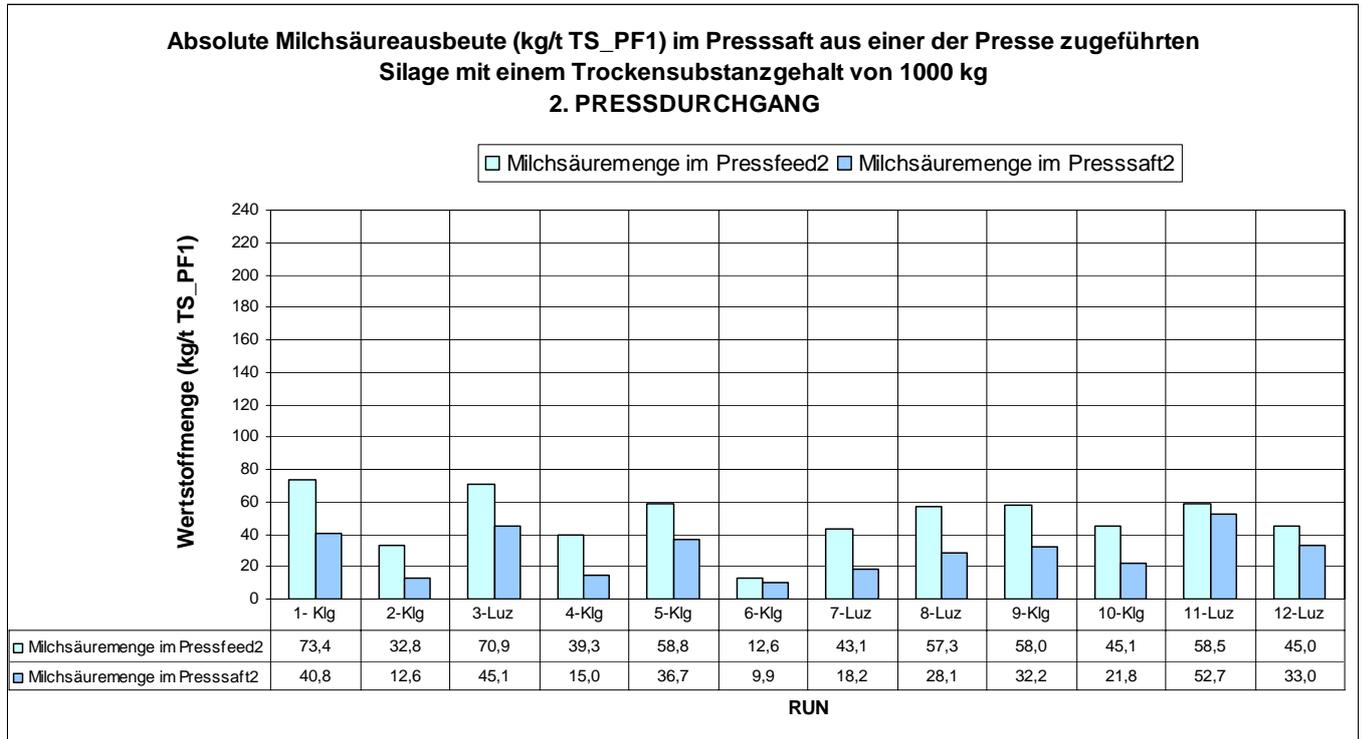


Abbildung 16: Absolute Ausbeute an Milchsäure [kg/t TS Silage] nach 2. Pressung

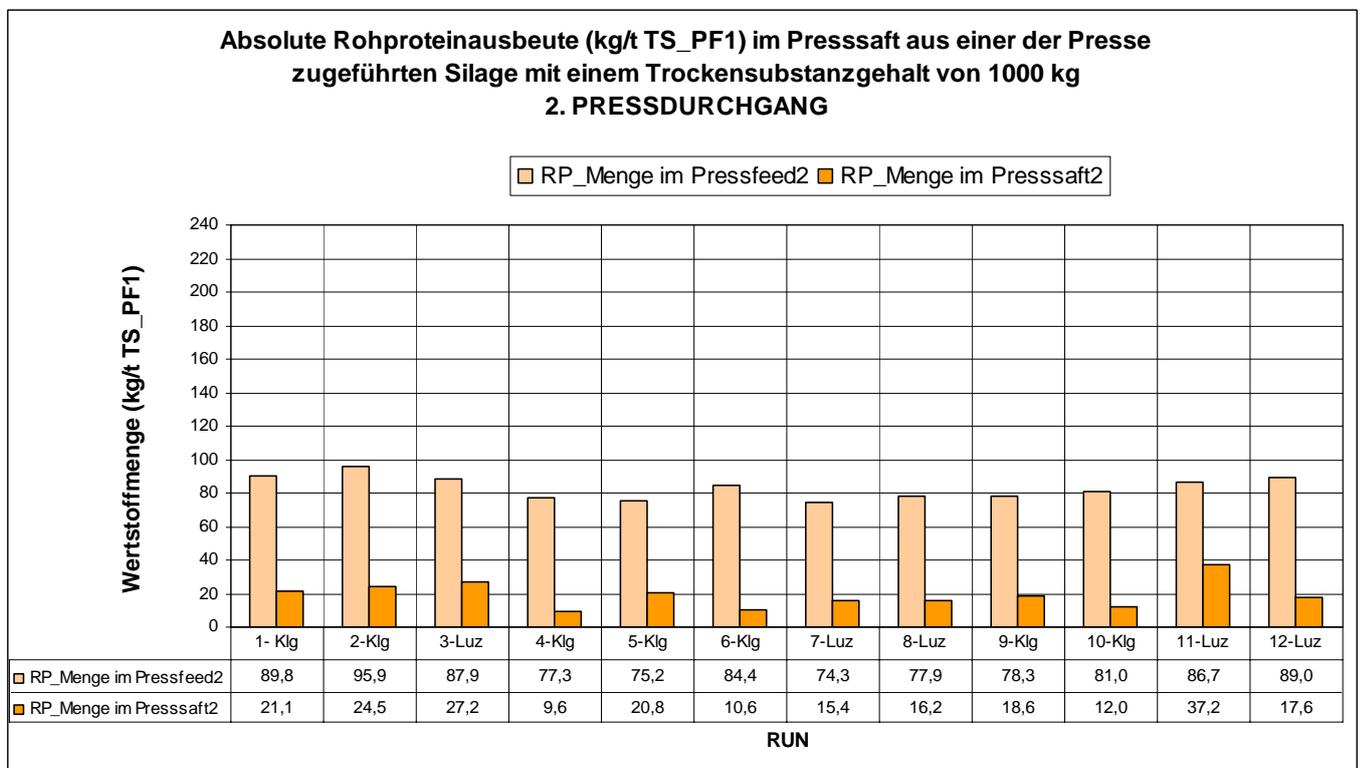


Abbildung 17: Absolute Ausbeute an Rohprotein [kg/t TS Silage] nach der 2. Pressung

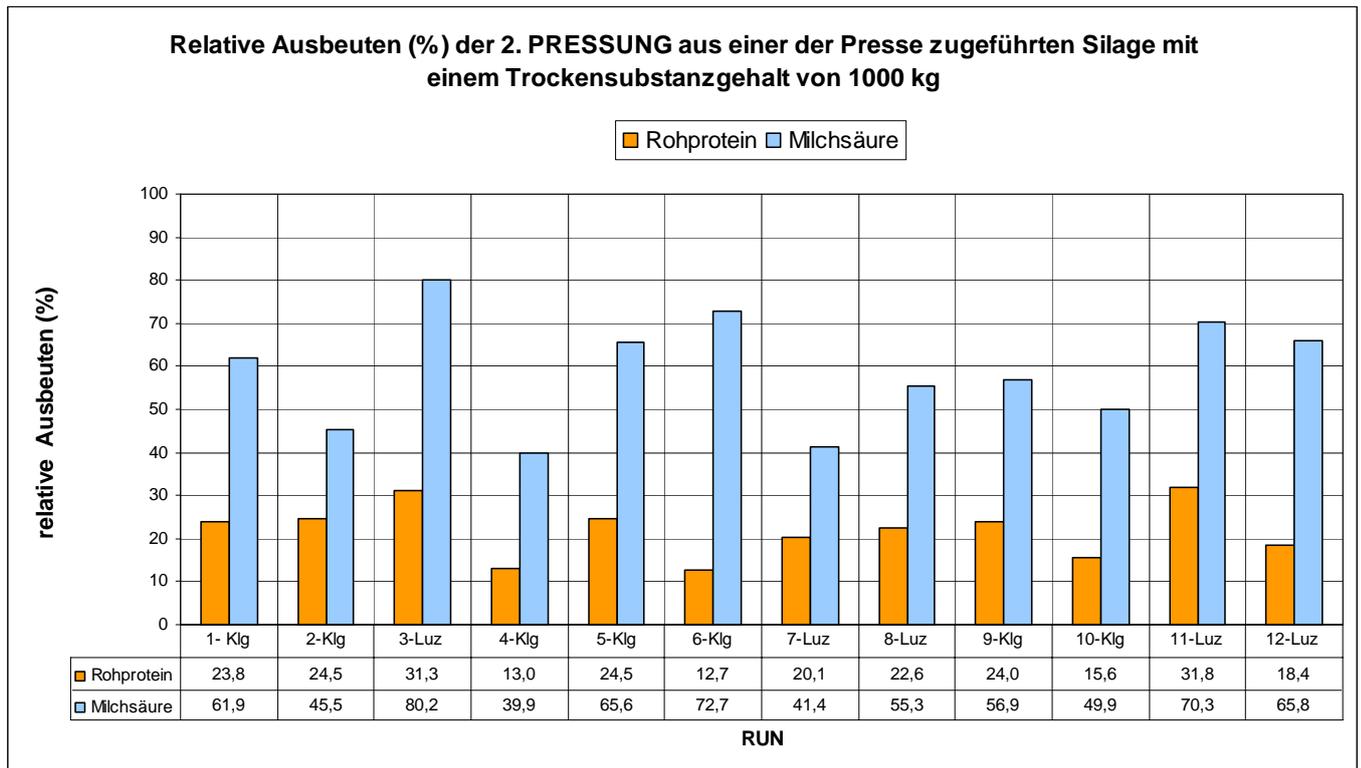


Abbildung 18: Relative Ausbeute an Milchsäure und Rohprotein [%] nach der 2. Pressung

### Interpretation der Pressversuche

Die Daten zeigen keinen wesentlichen Unterschied bei den erreichten Ausbeuten in Abhängigkeit von der Drehzahl der Pressspindel auf (7 U/min bzw. 16 U/min). Jedenfalls ist das untersuchte Fraktionierungssystem jedoch bei diesen höheren Geschwindigkeiten wesentlich effizienter hinsichtlich des Durchsatzes.

Ein weiterer Einfluss von unterschiedlichen Pressparametern auf die Ausbeute ist anhand der vorliegenden Daten nicht eindeutig abzuleiten.

Die in den Untersuchungen gesammelten praktischen Erfahrungen haben gezeigt, dass vor allem bei der Luzerne eine Vorzerkleinerung des Feedmaterials vor der Abpressung sinnvoll ist. Durch die Vorzerkleinerung wird der Pressprozess generell stabiler und weniger stör anfällig. Ebenfalls ist ein direkter Einfluss einer Vorzerkleinerung auf die erreichten Ausbeuten der Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren anhand der präsentierten Daten nicht erkennbar.

Für das Pressen der Silage ist ein Ausgangswassergehalt von 28-32% TS ein sinnvoller Zielwert, welcher einerseits zu guten Saftausbeuten führt, andererseits einen stabilen Pressprozess ermöglicht.

### **Zusammenfassung Optimierung der Mechanischen Fraktionierung**

- Die Überführung der Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren in den Presssaft konnte anhand der durchgeführten Optimierungsarbeiten weiter gesteigert werden. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen im Vergleich zu den Ergebnissen aus dem letzten Projekt (Grüne Bioraffinerie FdZ Phase I) eine beinahe Verdoppelung der Wertstoffausbeuten im Presssaft an. Ein Übergang von 85-90% der im Rohstoff Silage enthaltenen Milchsäure, sowie ca. 55-60% der in der Silage enthaltenen Aminosäuren in den Presssaft ist realisierbar.
- Die absoluten Mengen der durch die Fraktionierung in den Presssaft überführten Milchsäure lagen im Bereich von 62-210 kg/t TS Silage. Für das Rohprotein wurden absolute Ausbeuten von 63-136kg/t TS Silage gemessen. Die Werte für die Luzernensilage waren sowohl bei der Milchsäure als auch beim Rohprotein tendenziell höher.
- Die Absolutmengen der abgetrennten Wertstoffe Milchsäure und Rohprotein zeigen eine starke Streuung an. Diese Variabilität ist durch eine schwankende Rohstoffqualität (Milchsäuregehalt) verursacht. Aus diesem Blickwinkel sind begleitende Maßnahmen zur Sicherung der Silagequalität sehr zielführend und notwendig.
- Die Doppelpressung mit Zwischenbefeuchtungen bringt im Vergleich zur Einfachpressung des Rohstoffes eine deutliche Steigerung der Gesamtausbeute.
- Eine Vorzerkleinerung des Feeds der Schneckenpresse bringt den Vorteil, dass der Pressvorgang generell „stabiler“ abläuft, da kritische Betriebszustände wie Verstopfungen der Presszone weitaus seltener auftreten. Ein direkter Einfluss der Vorzerkleinerung auf die Produktausbeute konnte nicht eindeutig identifiziert werden.
- Allerdings kann diese Maßnahme den Durchsatz steigern. Vorzerkleinerungen bringen hinsichtlich der erreichten Zerkleinerung bzw. Homogenität des Presskuchens eine deutliche Verbesserung.
- Die Einstellung des richtigen Trockensubstanzgehaltes des Feeds hat wesentlichen Einfluss auf die erreichbaren Ausbeuten der Wertstoffe Aminosäuren und Milchsäure. Auf eine sorgfältige „Öffnung“ des Siloballens bzw. die Einstellung des Wassergehaltes der Silage vor Pressung ist zu achten. Die gegenwärtigen Daten weisen auf den anzustrebenden Wassergehalt des Feed von 65-72% hin.
- Der bei der Pressung gewonnene Saft unterliegt einem relativ rasch einsetzenden Abbauprozess. Die unmittelbare Kühlung des Saftes auf eine Temperatur von zumindest 4°C ist unbedingt erforderlich. Eine rasche Trocknung des Presskuchens auf ca. 10-14% Wassergehalt ist vorzusehen.

### **Herstellung von Presssaft bzw. Presskuchen für die übrigen Arbeitspakete (AP-1.3)**

Nach Abschluss der Optimierungsphase wurden routinemäßig größere Mengen an Presskuchen für die nachfolgenden Aktivitäten hergestellt:

- AP-2 „Faseraufbereitung“,
- AP-4 „Verleimte Platten aus Grasfasern“,
- AP-5 „Grasfasern als Füllstoff für Bauprodukte“,

Die gewonnenen Säfte wurden unmittelbar tief gefroren, der Presskuchen wurde getrocknet und bis zur weiteren Verwendung zwischengelagert. Der gewonnene Presssaft wurde als wertvoller Rohstoff für das Parallelprojekt Grüne Bioraffinerie verwendet, welches die Abtrenntechnologien für Milchsäure und Aminosäuren aus den Presssäften entwickelt.

## AUFBEREITUNG/REINIGUNG DES PRESSKUCHENS UND GEWINNUNG HOMOGENER FASERFRAKTIONEN (AP-2)

### Überblick über die durchgeführten Arbeiten

In diesem Arbeitspaket wurde zunächst eine Recherche zu Technologien und Verfahren durchgeführt, die grundsätzlich für eine Aufbereitung, Reinigung sowie Homogenisierung des anfallenden Graspresskuchens geeignet schienen. Diese Technologierecherche hatte folgenden Fokus :

- Methoden zur weitergehenden Zerfaserung des Graspresskuchens
- Methoden zur Gewinnung homogener Faserfraktionen
- Methoden zur Reduktion der Geruchsemission von Grasfasern

Aufbauend auf die Ergebnisse der Recherche wurden Grundlagenversuche zu ausgewählten Verfahren durchgeführt, um deren Eignung auch in der Praxis zu untersuchen. Folgende Technologien wurden im Rahmen des Projekts an der Grasfaser getestet:

- Homogenisierung mittels *Thermo-Mechanische Zerfaserung*
- Homogenisierung durch Vermahlung (Schneide- und Prallmühle)
- Reinigung der Faser durch Wäsche und Wasserdampf
- Untersuchung und Beurteilung und Quantifizierung der Geruchsemission der Grasfaser (SPME-Methode)
- Modifikation der Faser durch Temperatur (und Druck)

Die Grasfasern wurden auch hinsichtlich ausgesuchter Eigenschaften (Größenverteilung und Mahlgrad, Wasseraufnahmeverhalten, Aschegehalt und Ascheschmelzpunkt charakterisiert.

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden auch größere Mengen von Grasfasern aufbereitet, die in der Folge bei den Versuchsreihen der Arbeitspakete „Beleimte Faserplatte“ (AP-4), sowie „Grasfasern als Füllstoff für Bauprodukte“ (AP-5) verwendet wurden.

### Recherche bzgl. Technologien & Verfahren zur Aufbereitung und Homogenisierung des Presskuchens (AP-2.1)

Zu Beginn wurde eine Recherche hinsichtlich Technologien und Verfahren durchgeführt, die grundsätzlich für eine Aufbereitung & Reinigung des in einer Grünen Bioraffinerie anfallenden Gras- bzw. Grassilagepresskuchens, sowie zur Gewinnung von homogenen Faserfraktionen aus diesen Presskuchen geeignet sind.

Die Technologie- und Verfahrensrecherche hat einige Verfahren zur weiteren Aufbereitung und Homogenisierung aufgezeigt, welche folgend genannt sind. Einige davon wurden meist in adaptierter Form im Technikumsmaßstab an der Grasfaser getestet.

- Dampfexplosionsverfahren (thermo-mechanisches Verfahren) zur weiteren Aufspaltung der Faser
- Refinerverfahren: Dieses Zerfaserungsverfahren wurde schlussendlich nicht in Betracht gezogen, da es ein recht aufwendiges Nassvermahlen ist. Nach dem Refinerprozess wäre eine zusätzliche Abpressung notwendig.

- Diverse Mahlverfahren (Schneidemühle, Hammermühle, Prall- oder Fächerschlägermühle)
- Verfahren zur chemischen Modifikation durch Thermobehandlung im wassergesättigten Milieu (in Analogie zum Thermo-Holz-Prozess)
- Analyseverfahren (SPME – GC/MS Solid Phase Micro Extraktion gekoppelt mit Gaschromatographie/Massenspektrometrie) zur Untersuchung und Quantifizierung von Geruchsemissionen
- Reinigung mittels Wasserdampf
- Diverse Waschprozesse mit verschiedenen Waschflotten
- Bleichen
- Homogenisierung mittels Siebung und Sichtung

### **Grundlagenversuche zur Aufbereitung/Reinigung des Presskuchens sowie Homogenisierung der Faserfraktionen (AP-2.2)**

Gegenstand dieses Arbeitspaketes war die Durchführung von Grundlagenversuchen zur Aufbereitung & Reinigung des Graspresskuchens sowie zur Gewinnung von homogenen Faserfraktionen aus diesen Presskuchen.

Begriffsklärung: Unter dem Begriff Grasfasern oder Grasfaserfraktion wird im gegenständlichen Bericht die bei der Abpressung von Gras oder Grassilage entstehende rohfaserreiche Presskuchenfraktion verstanden. Dieser Presskuchen ist durch die interne Reibung in der Presse unterschiedlich stark aufgeschlossen und zerkleinert. Weiter gehende Verfahren zerkleinern und homogenisieren diese Fraktion zu dünneren Aggregaten mit kleineren Durchmessern. Unter dem Begriff Grasfaser wird in diesem Zusammenhang nicht die Einzelfaser oder elementare Faserfibrille verstanden, welche als kleinster Baustein der Pflanze zum Aufbau der Zellstruktur beispielsweise des Leit- und Strangapparates verwendet wird. Die Verwendung des Begriffes Faser ist auch nicht mit dem in der Textilindustrie üblichen Faserbegriff zu vergleichen.

### ***Grundlagenversuche zur weitergehenden Zerfaserung des Presskuchens***

Mit dem bereits genannten Verfahren der thermo-mechanischen Zerfaserung (TMZ) wurden Versuche durchgeführt, um die zerkleinernde und homogenisierende Wirkung des Verfahrens zu testen. Das Prinzip der TMZ-Methode beruht auf einem „Dampfexplosionseffekt“, welcher durch eine spontane Entspannung einer verdichteten Fasermatrix verursacht wird. Dieser Entspannungseffekt führt zu einer Verkleinerung bzw. Aufspaltung der Faserfraktion.

Bei der Grasfaser hat dieses Verfahren den Effekt, dass die Grasfasern des Presskuchens primär entlang der Längsrichtung (Faserrichtung) aufgetrennt werden. Die dadurch gewonnene Faserfraktion ist deutlich homogener. Die Länge der Fasern wird dabei nicht so stark eingekürzt wie bei anderen mechanischen Aufbereitungsarten (z.B. Hammermühle). Ein wesentlicher Vorteil der Methode liegt darin, dass diese mit feuchtem Rohstoff durchgeführt werden kann. In diesem feuchten Zustand ist die Grasfaser auch nicht so brüchig wie im trockenen Zustand, wo eine mechanische Beanspruchung sehr viele Bruchstücke (Staub) erzeugt.

Die Grundlagenversuche haben gezeigt, dass der Presskuchen aus der mechanischen Fraktionierung bei optimalem Abpressgrad direkt in eine nachgeschaltete TMZ-Homogenisierung geführt werden könnte.

Dabei wurde beobachtet, dass die Zerkleinerungswirkung sich nicht immer gleichmäßig einstellt. Die Geräteeinstellungen, sowie der Trockensubstanzgehalt des Inputmaterials haben auf den aufspießenden Effekt einen großen Einfluss. Stieg der Wassergehalt wesentlich höher als 50%, konnte bei den Versuchen nur mehr eine mäßige Zerkleinerung erreicht werden. Die besten Ergebnisse wurden bei Wassergehalten um 40% erreicht. Es darf aber angenommen werden, dass diese Methode auch noch besser auf den Rohstoff abgestimmt werden kann.

Die nachgeschaltete Trocknung der mittels TMZ-Verfahren aufbereiteten Grasfasern hat auch besser bzw. schneller funktioniert als die Trocknung nicht verfeinerter Fraktionen.



Abbildung 19: Wirkung der TMZ - Zerkleinerung am Beispiel Klee gras Presskuchen 1

Die Abbildung 20 zeigt das TMZ-Verfahren im Betrieb. Die unter Druck gesetzte Faserfraktion verlässt explosionsartig einen Kompressionsraum (hoher Druck und Temperatur). Die spontane Entspannung des Drucks bei hoher Temperatur induziert eine „Dampfexplosion“, welche die Faserfraktion verfeinert und aufspießt.



Abbildung 20: TMZ-Verfahren im Betrieb mit Grasfasern

## **Herstellung gemahlener Grasfaserfraktionen**

Die Vermahlung der Fasern erfolgte in Kooperation mit Prof. Dr. Ingo Marini und DI Bettina Mihalyi am Institut für Verfahrenstechnik der TU Wien.

Für die Mahlversuche wurden die Grasarten Luzerne Presskuchen 1 (LUGPK1) und Klee gras siliert Presskuchen 2 (KLGSPK2) verwendet. Beide Fraktionen stammen aus den ersten Pressversuchen aus dem Jahre 2001.

Beide Proben wurden zunächst mit der Schneidmühle RO 20/12 der Firma Alpine vorgemahlen, damit eine bessere Dosierung ermöglicht wurde.

- Lochsieb 1 mm
- 1500 U/min; keine Absaugung

Im zweiten Mahldurchgang wurde die Probe LUGPK1 mit der Labormühle UPZ der Firma Alpine weiter zerkleinert:

- Fächerschläger mit Prallrippenmahlbahn
- 0,3 mm Riffeltrapezsieb
- 6000 U/min; mit Ablaufabsaugung

Bei dieser Mahlung entstanden folgende Proben:

- Mahlfraction A (eine „Grobfraktion“ im Sammelbehälter) und
- Mahlfraction B („Feinfraktion“ aus Filtersack der Ablaufabsaugung)

Die Grasprobe KLGSPK2 wurde im zweiten Durchgang wieder mit der Schneidmühle RO 20/12 der Firma Alpine gemahlen, da bei Mahlversuchen mit anderen Mahlwerkzeugen aufgrund der geringen Durchsatzleistung die Mühle verstopft wurde:

- Riffeltrapezsieb 0,5 mm
- 1500 U/min; keine Absaugung

Zusätzlich wurde eine weitere Doppelmahlung von Grasfasern mittels Schneidmühle vorgenommen (je 10 kg der Grasfraktion LUZ PK2F9 und KLG SPK2F8), damit größere Mengen an Mahlgut vorlagen.

Beide Grasproben wurden mit der Schneidmühle RO 20/12 der Firma Alpine zunächst mit folgenden Einstellungen vorgemahlen:

- Lochsieb 1 mm
- 1500 U/min
- keine Absaugung,

im zweiten Mahldurchgang mit derselben Mühle unter den gleichen Bedingungen mit einem Riffeltrapezsieb 0,5 mm fein gemahlen, von den Produkten aus den beiden Mahlungen wurde eine Luftstrahlsiebanalyse durchgeführt (siehe Fasercharakterisierung).



*Abbildung 21: Labormühle mit Gebälse, Institut für Verfahrenstechnik TU Wien*

Die Mahlversuche haben ergeben, dass Mühlen des Typus Prallmühle den Schneidemühlen hinsichtlich der erreichten Feinheit überlegen sind.

Die weitergehende Charakterisierung des Mahlguts erfolgte mittels Luftstrahlsieb und ist im Kapitel Fasercharakterisierung enthalten.

## Versuche zur weitergehenden Reinigung und Geruchsreduktion von Fasern

Im Bereich der weitergehenden Reinigung von Grasfasern bzw. der weiteren Geruchsreduktion von Grasfasern wurden zwei wesentliche Aktivitäten gesetzt:

### Wasch- und Bleichversuchen von Grasfasern im Technikumsmaßstab

In Kooperation mit einem textilveredelnden Betrieb wurden so genannte Waschversuche mit einer Serie von Grasfaserproben durchgeführt. Anhand der Ergebnisse soll beurteilt werden, inwiefern eine weitergehende Reinigung sowie Reduktion von Geruchsstoffen durch verschiedene Waschflotten erreicht werden kann.

Es wurden zu diesem Zweck ca. 5 kg verschiedene Faserfraktionen einem genau spezifiziertem Waschvorgang unterzogen.

Dabei wurden folgende Parameter festgesetzt:

- Dauer der Wäsche
- Umdrehungsgeschwindigkeit in der Waschtrommel
- Zugesezte Wassermenge
- Temperatur
- Zugabe von Additiven (Tenside, Natronlauge Bleichmittel)



Grasfaser		WÄSCHE				Bleiche	Menge	Anmerkung
		Temp	H2O	Tensid	NaOH	H2O2	kg	
BRG-1S-S-PK2	1	kalt	X				1,93	gewaschen nur Wasser, kalt 45 Grad
BRG-1S-S-PK2	2	kalt	X	X			1,40	gewaschen + 1% Tenside, kalt 48 Grad
BRG-1S-S-PK2	3	kalt	X	X		X	0,70	gew. 1% Tenside; + Bleiche; 90 Grad
BRG-1S-S-PK2	4	kalt	X		X		1,80	gewaschen in 3% NaOH, kalt 42 Grad
BRG-1S-S-PK2	5	heiß	X				2,50	gewaschen nur Wasser, heiß 70 Grad
BRG-1S-S-PK2	6	heiß	X	X			2,40	gewaschen + 1% Tenside, heiß 70 Grad
BRG-1S-S-PK2	7	heiß	X		X		2,30	gewaschen in 3% NaOH, heiß 70 Grad
KLG-1S-S-PK1-TMZ	8	kalt	X	X			0,80	gewaschen + 1% Tenside, kalt 41 Grad
KLG-1S-S-PK1-TMZ	9		X	X		X	0,85	gew. 1% Tenside; + Bleiche, 90 Grad
KLG-1S-S-PK1-TMZ	10	heiß	X	X			1,65	gewaschen + 1% Tenside, heiß 70 Grad

Tabelle 3: Übersicht zu den durchgeführten Waschversuchen

Legende: BRG – Bastard Raygras, KLG – Kleegrasmischung, restliche Kürzel beziehen sich auf interne Probencodierung.

Die dabei gewonnenen Faserfraktionen wurden unmittelbar danach getrocknet und für weitere Untersuchungen zwischengelagert.

Bei den Waschversuchen hat sich gezeigt, dass sich sehr feine Faserfraktionen bei der Wäsche stark miteinander verhaken und „verfilzen“ wie es auch bei Wolle bekannt ist. Dieser Faserfilz ist nur sehr schwer wieder aufzulösen und bereitet auch bei der Trocknung Probleme.

Aus diesem Grund dürften nasse Reinigungsverfahren für feine Faserfraktionen bei einer nachfolgenden trockenen Anwendung eher ausscheiden. Eine Möglichkeit für die Reinigung der Faserfraktion im nassen Milieu wäre eine unmittelbar der mechanischen Fraktionierung nachgeschaltete *Verdrängungswäsche*, welche allerdings eine weitere Abpressung erforderlich machen würde.

Allerdings zeigt dieses Verhalten auch, dass weitergehende nasse Verarbeitungsschritte, wie sie z.B. bei nass gelegten Vliesen oder nass gelegten Faserplatten Anwendung finden, mögliche gangbare Verfahrenstechniken für Grasfasern wären.

Diese Waschversuche wurden mit Grasfasern durchgeführt, welche aus den Abpressversuchen des Jahres 2001 zur Verfügung standen.

### Entwicklung einer geeigneten Methodik zur qualitativen und quantitativen Erfassung von Geruchsstoffen im Labormaßstab

Die Technologierecherche hat gezeigt, dass die so genannte *SPME – Solid Phase Micro Extraktion* ein geeignetes Laborverfahren für die Erfassung und folgende Analyse von Inhaltsstoffen, insbesondere Geruchsstoffen von Grasfasern, darstellen könnte. Konkrete Erfahrungen diesbezüglich liegen aus der Literatur nicht vor.

Folgend sind die Chromatogramme des ersten Tests des Verfahrens mit Grasfasern angeführt. Die Probe 2 ist eine ungewaschene Bulk-Faser, Probe 1 eine kalt gewaschene Grasfaserfraktion aus dem Waschversuch, Probe 3 eine zerkleinerte Bulk-Faserprobe.

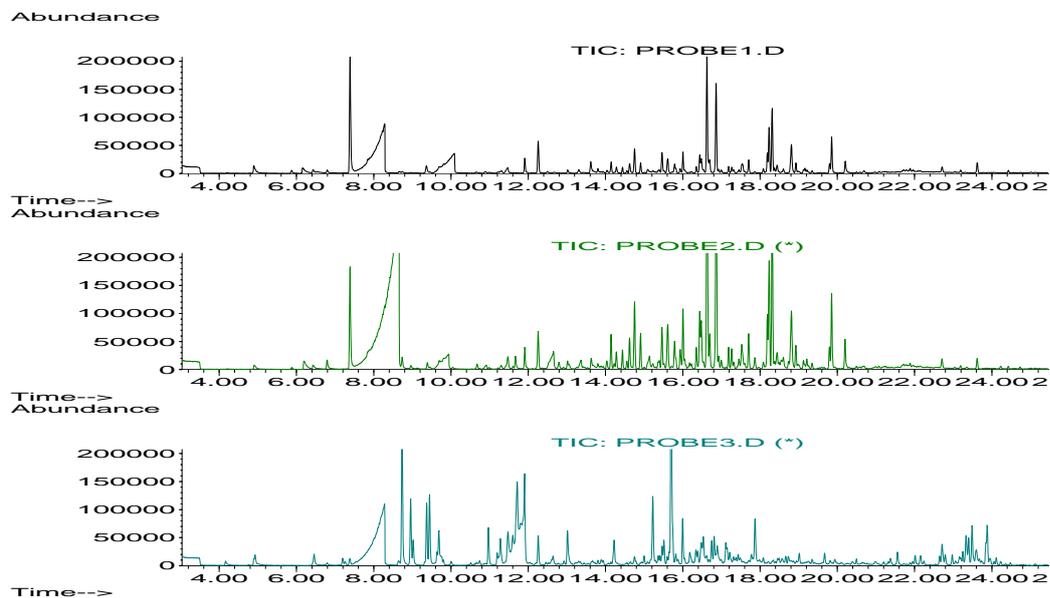


Abbildung 22: Solid Phase Micro Extraktion von Grasfaser; (GC-MS Chromatogramme)

### Versuche zur Geruchsreduktion im Labor- und Technikumsmaßstab

Im Herbst 2004 konnte in Kooperation mit Dr. Leitner vom Institut für Lebensmittelchemie der TU Graz die SPME-GC/MS Methode zur qualitativen und quantitativen Analyse von Geruchsstoffen aus Grasfasern soweit etabliert werden, dass die bis dato durchgeführten Versuche analysiert werden konnten.

Zum Einen wurde ein Teil der Proben der Wasch- und Bleichversuche von Grasfasern im Technikumsmaßstab (Zwischenbericht 2004) und zum Anderen wurden Proben zweier neuer Versuche analysiert.

Auswertung der Ergebnisse der Wasch- und Bleichversuche

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe zeigen, dass das Waschen der Faser mit Natronlauge Einfluss auf die Geruchsstoffe hat. Die Summe der flüchtigen Substanzen nimmt im Vergleich zu anderen „Waschlösungen“ ab.

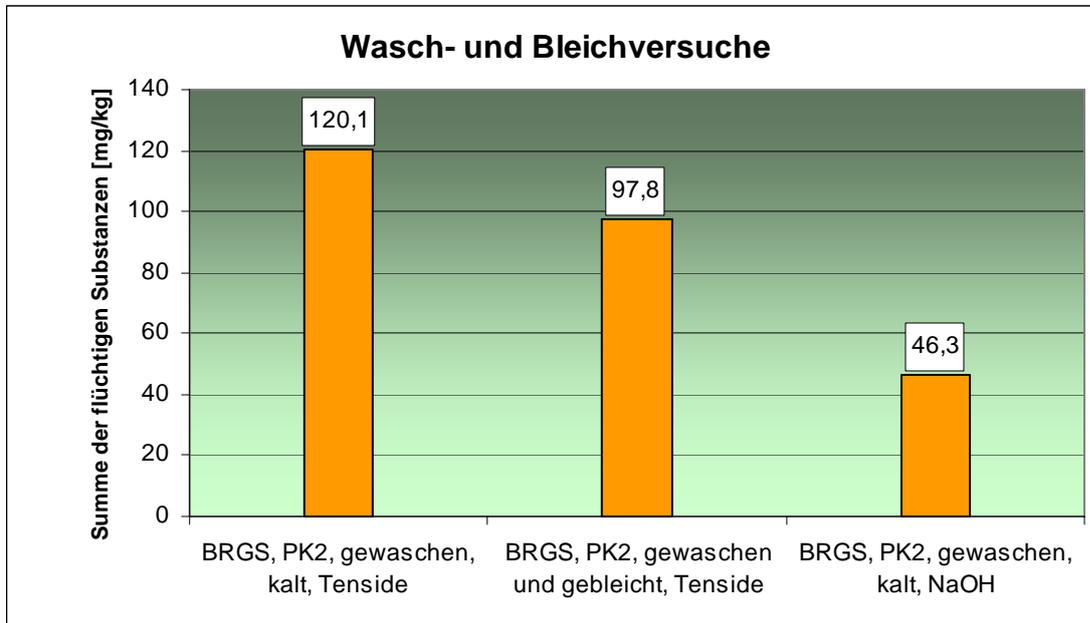


Abbildung 23: Ergebnisse der Wasch- und Bleichversuche; Fasern aus 2001

Die Grasfasern, die für Waschversuche verwendet wurden, stammen aus der Presskampagne 2001. Die Mechanische Fraktionierung funktionierte im Jahr 2004, wie bereits diskutiert, wesentlich besser als 2001. Aus diesem Grund ist ein direkter Vergleich mit Werten der anderen Emissionsmessungen nicht zulässig.

Für die weiteren Versuche zur Reduktion des Geruches wurden Fasern aus dem Jahr 2004 herangezogen. Diese sind aufgrund der besseren Abtrennung von Beginn an „reiner“.

Säure- und Laugenbehandlung von Grasfasern im Labormaßstab

Hintergrund dieses Versuches war, dass durch Säure- bzw. Laugenbehandlung der Faser Abbaureaktionen ablaufen und somit auch eventuell Geruchsstoffe abgebaut werden.

Als Ausgangsmaterial wurde KLG, PK2 herangezogen. Der eine Teil der Fasern wurde mit 0,1M Schwefelsäure versetzt (pH=1,5-2,0 wurde eingestellt) und bei Raumtemperatur bzw. bei 60°C 30min unter Rühren stehen gelassen. Der zweite Teil der Fasern wurde mit 0,1M NaOH versetzt (pH=10-10,5) und gleich wie bei der Schwefelsäurebehandlung behandelt.

Anschließend wurden die 4 Proben mit deionisiertem Wasser gewaschen und bei 50°C 18h im Trockenschrank getrocknet.

Die quantitativen Ergebnisse der Säurebehandlung zeigen einen sehr geringen Abfall der flüchtigen Substanzen, wobei die Faser nach der sauren Behandlung der Fasern bei 60°C den geringsten Wert an flüchtigen Substanzen aufweist.

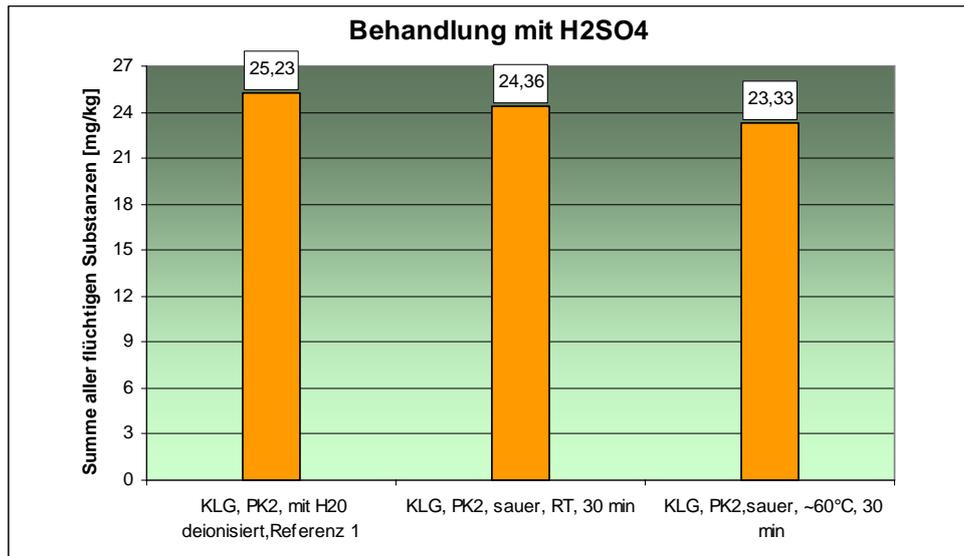


Abbildung 24: Ergebnisse der Säurebehandlung von KLG, PK2

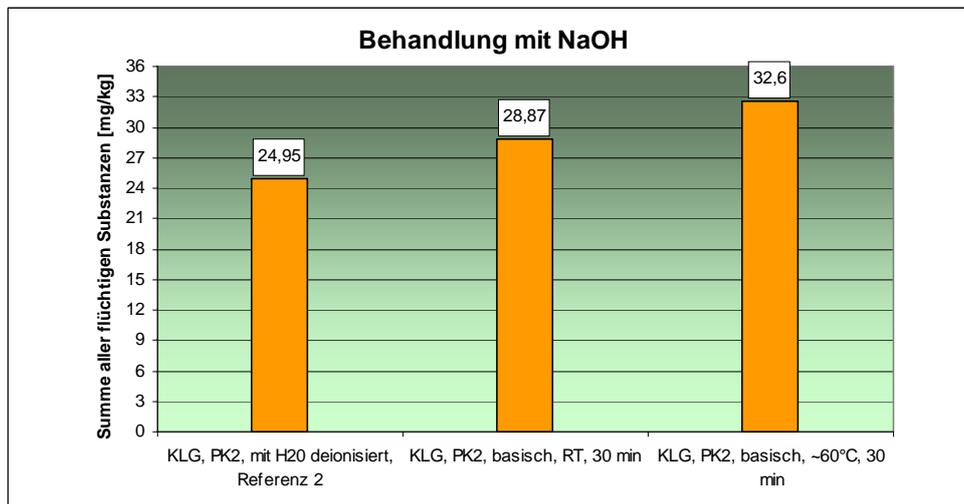


Abbildung 25: Ergebnisse der Laugenbehandlung von KLG, PK2

Die Ergebnisse der Laugenbehandlung zeigen, konträr zur Säurebehandlung einen Anstieg der flüchtigen Substanzen von 24,95 mg/kg (Referenzsubstanz) auf 32,6 mg/kg (NaOH, 60°C). Dieser Anstieg wird höchstwahrscheinlich durch die Reaktion der Faser mit der Lauge verursacht, wodurch es offenbar zur Bildung neuer flüchtiger Substanzen zu kommen scheint.

Aufgrund von sensorischen Tests wurde festgestellt, dass die mit NaOH behandelten Fasern einen deutlich geringeren Geruch aufweisen als die unbehandelten Grasfasern.

Die Substanzen, die für den charakteristischen Geruch der Grasfasern verantwortlich sind, noch nicht identifiziert werden. Die Chromatogramme zeigen eine Vielzahl von Einzelsubstanzen auf. Um das Geruchsproblem der Grasfasern lösen zu können, wären noch weitere wissenschaftliche Versuche notwendig.

### Geruchsreduktion durch Wasserdampf

Der Hintergrund dieses Versuches war, mit Hilfe von Wasserdampf Geruchsstoffe aus den Fasern auszutreiben. Dazu wurden Grasfasern der Fraktion LUZ, PK2 verwendet, die in eine so genannte Wasserdampfdestillationsanlage eingebaut wurden. Bei diesem Verfahren wird Wasserdampf im geschlossenen System durch eine Pflanzenmatrix geleitet und danach kondensiert. Dieses Verfahren kann neben der Gewinnung von z.B. ätherischen Ölen auch zur Entfernung von flüchtigen Substanzen aus Pflanzenmaterial verwendet werden. Ziel der Untersuchungen war es, eine Aussage darüber zu treffen, inwiefern diese Methode zur „Geruchsreduktion“ von Grasfasern geeignet ist.

Der Versuch wurde mit einer Wasserdampfdestillationsanlage der Type herba-TEC TWE 250 am Ökopark in Hartberg durchgeführt. Bei dieser Anlage steht ein Reaktionsbehälter von ca. 98 Litern zur Verfügung. Der Versuch wurde unter normalem atmosphärischem Druck mit Sattampf durchgeführt. Die Versuchsdauer betrug 1 Stunde. In diesem Zeitintervall wurden 12 kg Dampf durch die Grasfasern durchgeleitet.

Um eine mögliche Reduktion der Geruchsstoffe erkennen zu können, wurden zahlreiche Proben aus dem kondensierten Dampf gezogen. Außerdem wurde jeweils eine Probe des Ausgangsmaterials bzw. des Destillationsrückstandes analysiert.

Von allen gezogenen Proben wurden mittels SPME-GC/MS sowohl qualitative als auch quantitative Ergebnisse ermittelt. Zur qualitativen Auswertung wurden die 10 größten Peaks herangezogen. Um quantitative Aussagen treffen zu können, wurde ein interner Standard (1,2,3 Trichlorpropan) mitgeführt.

Abundance

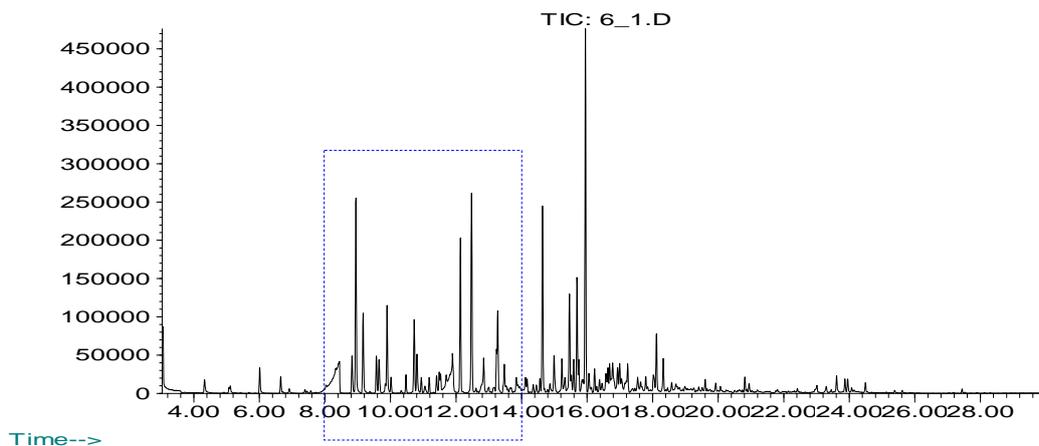


Abbildung 26: Chromatogramm .LUZ, PK2, vor Dampfbehandlung

Abundance

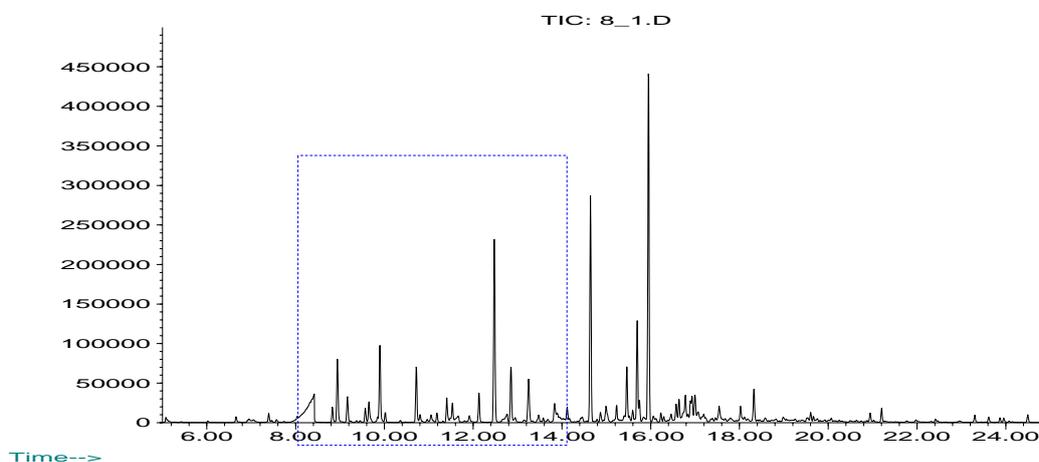


Abbildung 27: Chromatogramm LUZ, PK2, nach Dampfbehandlung

Diese beiden Chromatogramme zeigen die Summe der flüchtigen Substanzen der Grasfasern der Fraktion LUZ, PK2 vor bzw. nach der Dampfbehandlung. Anhand dieser Chromatogramme kann man erkennen, dass eine deutliche Reduktion der flüchtigen Substanzen erreicht werden konnte. Besonders im Bereich 8.00 – 14.00 min ist dies klar zu erkennen.

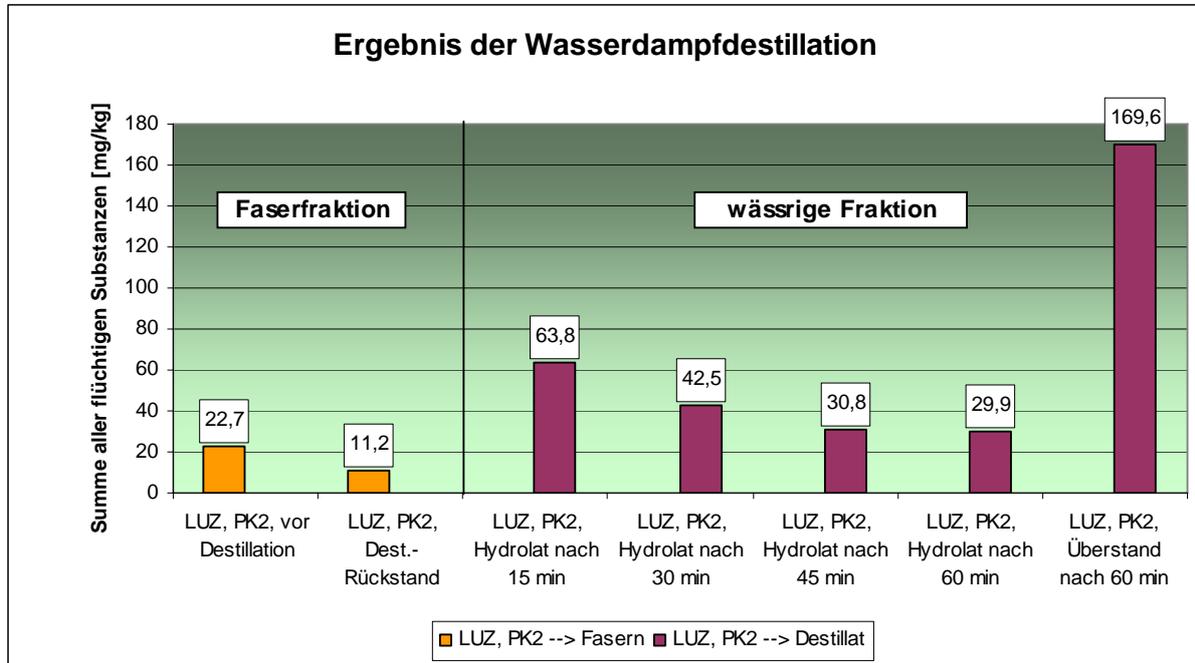


Abbildung 28: Ergebnisse der Wasserdampfdestillation von LUZ, PK2

Aus diesem Diagramm ist ersichtlich, dass durch die Wasserdampfdestillation die flüchtigen Substanzen der Faserfraktion (orange Balken) um die Hälfte reduziert werden konnten.

Anhand der Hydrolatproben kann man erkennen, dass es in Abhängigkeit von der Zeit zu einer Abnahme der flüchtigen Substanzen kam.

Die höhere Konzentration der flüchtigen Substanzen in der wässrigen Fraktion (Hydrolat der Wasserdampfdestillation) darf nicht mit der Konzentration der flüchtigen Substanzen im Feststoff Grasfaser verglichen werden. Der Verlauf des Austrages der flüchtigen Substanzen aus der Grasfaser mittels Wasserdampf kann anhand der Konzentration im kondensierten Dampf (Hydrolat) dargestellt werden. Der Austrag der flüchtigen Substanzen ist zu Beginn der Wasserdampfdestillation höher und nimmt mit fortschreitender Destillationszeit natürlich ab (fallende Ausgangskonzentration).

Die sehr hohe Konzentration im „Überstand“ des Hydrolates zeigt an, dass viele mittels der Wasserdampfdestillation ausgetragene Stoffe sich offensichtlich nicht im Wasser lösen und zusätzlich leichter als Wasser sind. Sie separieren sich aufgrund der unterschiedlichen Dichte und konzentrieren sich an der Oberfläche des Hydrolates. Diese Technik wird in der Praxis auch zur Gewinnung von ätherischen Ölen aus Kräutern angewandt.

Dieser Grundsatzversuch hat gezeigt, dass die Gesamtmenge an flüchtigen Stoffen der Grasfaser durch Dampfbehandlung deutlich abgenommen hat. Allerdings konnte durch die Dampfbehandlung die Geruchsemission nicht vollständig beseitigt sondern nur verringert werden.

Aufbauend auf diese Erkenntnisse wurden weitere Versuche bei höherer Temperatur und Druck in einem Autoklaven geplant.

## **Weiterführende Versuche zur Geruchsreduktion und Modifikation der Grasfasern**

Anschließend an die oben beschriebenen Arbeiten wurden weitere, systematische Versuche zur Geruchsreduktion bei gleichzeitiger physikalisch-chemischer Modifikation der Grasfaser unternommen. Zur Untersuchung gelangten jeweils eine Fraktion einer Luzernegras-Mischung, Presskuchen der zweiten Abpressreihe (LUZ PK2), bzw. eine Klee gras-Mischung, Presskuchen der zweiten Abpressreihe (KLG PK2). Methodisch wurde an der SPME-GC-MS Analytik festgehalten, um einen Vergleich zu früheren Messreihen zu gestatten.

Folgende Versuche zur Modifikation der Grasfaser wurden durchgeführt:

- Behandlung der Faser unter Druck und Temperatur in einem Autoklaven
- Behandlung der Faser in einem Trockenschrank bei erhöhter Temperatur
- Waschen der Faser mit einer alkalischen, silikatischen Lösung

Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick der Proben:

*Tabelle 4: Probenmatrix für die Geruchsanalytik und Fasermodifikation*

<b>Probenbezeichnung</b>	<b>Methode</b>	<b>T [°C]</b>	<b>t [min]</b>
KLG F8 160TS	Trocknung im Trockenschrank	160	80
KLG F8 180TS	Trocknung im Trockenschrank	180	80
KLG F8 REF	Referenzprobe	unbehandelt	
KLG F8 CPH	gewaschen mit silikatischer, alkalischer Waschlösung	45	30
KLG F8 AUT1	Autoklaviert	170	10
KLG F8 AUT2	Autoklaviert	170	60
LUZ F1 160TS	Trocknung im Trockenschrank	160	80
LUZ F1 180TS	Trocknung im Trockenschrank	180	80
LUZ F1 REF	Referenzprobe	unbehandelt	

### Thermische Modifikation von Grasfaser-Gemischen

Es wurden 2 Methoden der Modifikation untersucht:

- Modifikation der Grasfasern unter Druck und Temperatur in einem Autoklaven
- Modifikation der Grasfaser durch Hitzebehandlung in einem Trockenschrank

#### Modifikation der Grasfasern unter Druck und Temperatur in einem Autoklaven

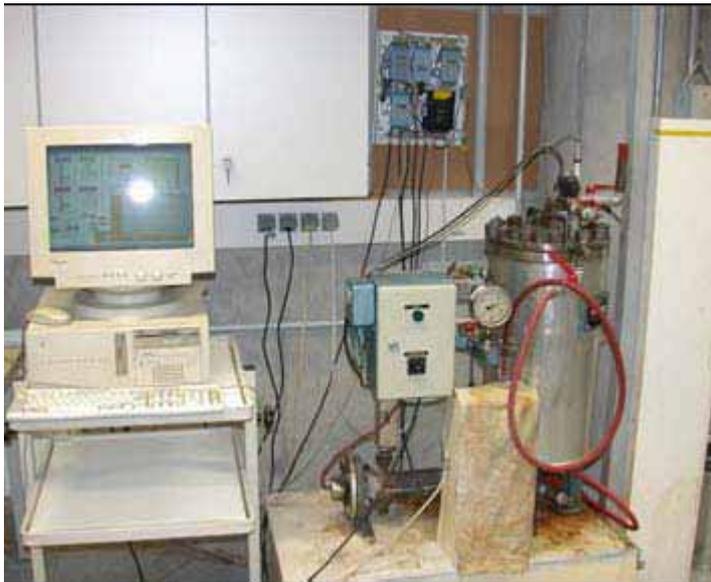
Am Institut für Holzforschung (BOKU Wien) wurde mittels eines Autoklaven (Fassungsvermögen ca. 25 l) (Abb. 1) ein vom Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme bereitgestelltes Grasfaser-Gemisch auf eine Temperatur von ca. 170 °C erhitzt, wobei im Reaktor fast gesättigter Dampf bei einem Druck von ca. 7 bar vorlag.

Das Fasergemisch wurde in einen "Nirosta"-Zylinder gefüllt. Darauf wurde ein mit Wasser gefülltes Keramikgefäß gestellt und mit einem Deckel geschlossen (Abb. 2). Der Deckel war nicht druckdicht – er sollte nur das Abtropfen des Kondensates auf das Fasermaterial verhindern.

Der Autoklav wurde auf ca. 100 °C vorgeheizt. Anschließend wurde der gefüllte Zylinder in den Reaktor gegeben und dieser druckdicht verschlossen. Um genügend Feuchtigkeit im Autoklaven zu haben, wurde vorher zusätzlich Wasser eingefüllt.

Es wurden zwei in der Dauer verschiedene Versuche durchgeführt. In der ersten Variante wurde nur auf eine Temperatur von 169 °C aufgeheizt und sofort über einen Wasserkühler der Dampf zum Kondensieren gebracht. In der zweiten Variante wurde nach dem Erreichen der Temperatur der Dampf abgelassen (Kondensat wurde aufgefangen) und ein weiterer Zyklus mit Druckaufbau und Druckabbau gefahren.

Das Dampfgemisch wurde bei jedem Druckabbau durch einen Wasserkühler kondensiert und daraus Proben gezogen.



l. o...Autoklav mit Steuerung  
l. u. Reaktionsraum ca. 1 Liter  
r. o. Kühlung für Kondensat

Abbildung 29: Eingesetzter Autoklav

### Versuchsverlauf

Variante 1:

Höchsttemperatur: 169 °C; Dauer der Höchsttemperatur: 10 min

Behandlungsdauer (ohne Aufwärmphase): ca. 80 min

Druck im Autoklav: 6,8 bar

Kondensatentnahme bei: Höchsttemperatur [Nr.1], bei 110 °C (bei Druckabbau) [Nr. 2] und nach dem Versuch (Wassergefäß im Zylinder) [Nr. 3]

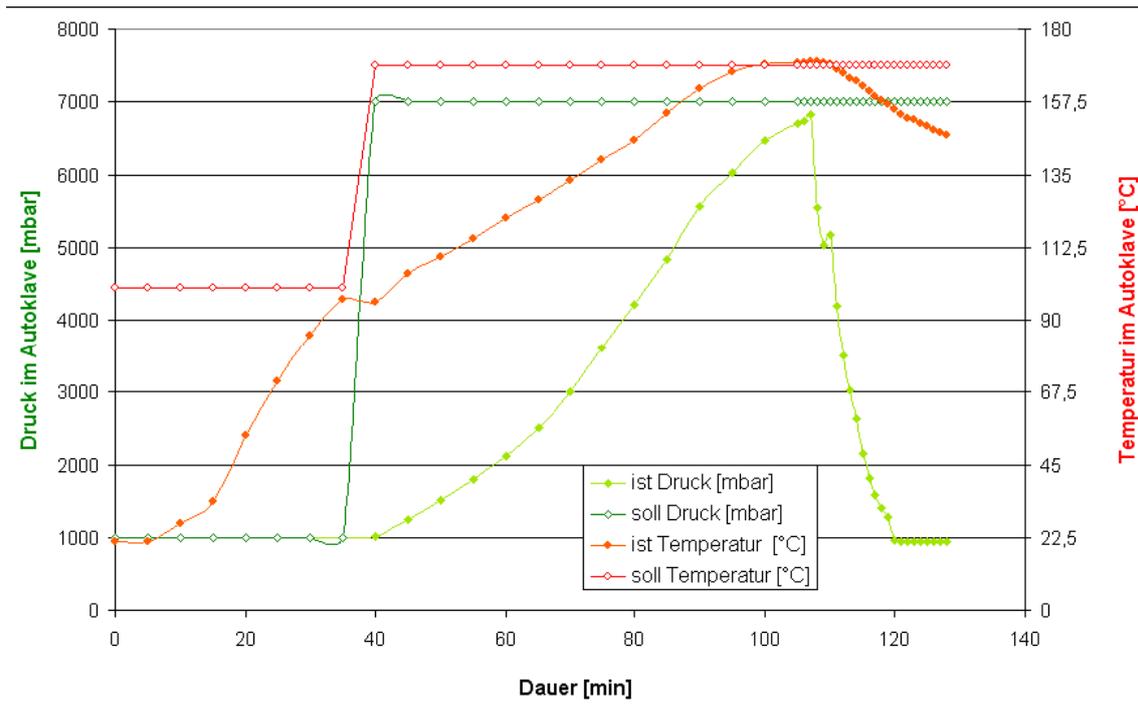


Abbildung 30: Kurvenverläufe protokollierter Messwerte beim Versuch Variante 1

Variante 2:

Höchsttemperatur: 169,5 °C; Dauer - Höchsttemperatur: ca. 100 min

Behandlungsdauer (ohne Aufwärmphase): ca. 150 min

Druck im Autoklav: 6,9 bar und 6,2 bar

Kondensatentnahme bei: Höchsttemperatur [Nr.1], bei 6,2 bar [Nr. 2] und nach dem Versuch (Wassergefäß im Zylinder) [Nr. 3]

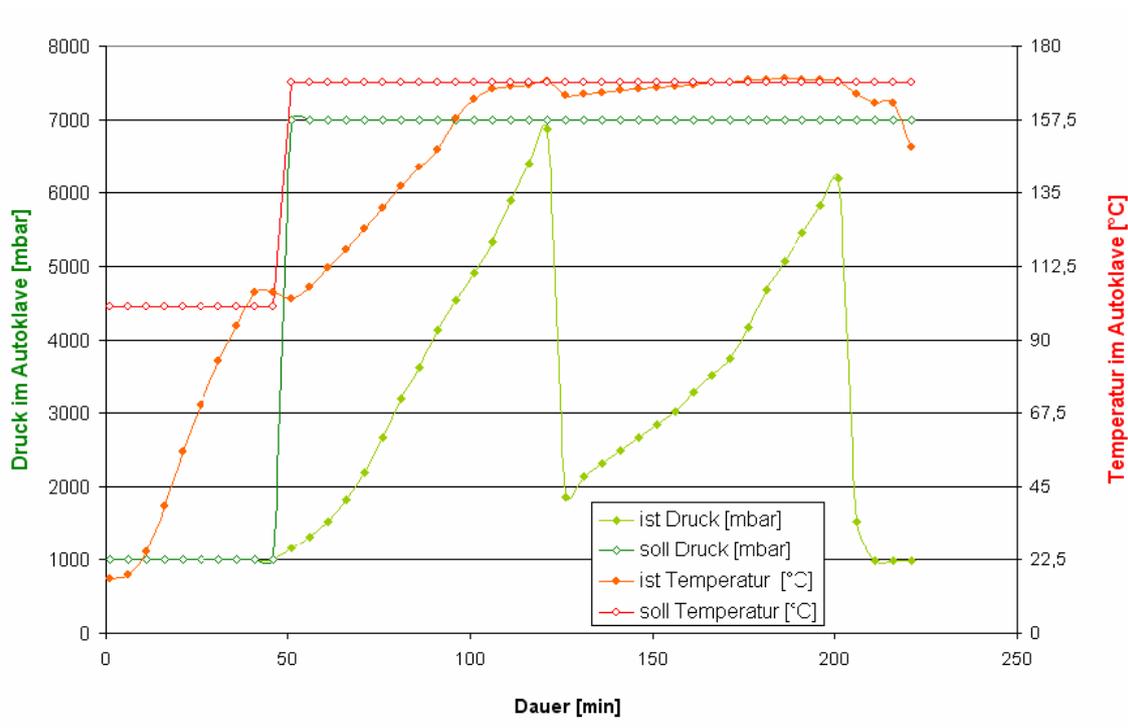


Abbildung 31: Kurvenverläufe protokollierter Messwerte beim Versuch Variante 2

### Modifikation der Grasfaser durch Hitzebehandlung in einem Trockenschrank

Die Versuche zur Modifikation der Grasfaser durch Hitzebehandlung fanden am Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme an den Standorten Graz und Hartberg statt.

Versuchsdurchführung: Ein Trockenschrank (Type MEMMERT) wurde auf 160°C bzw. 180°C aufgeheizt, und die jeweiligen Proben in Aluminiumschalen für eine entsprechende Zeit im Trockenschrank aufbewahrt (siehe Tabelle 4, Probenverzeichnis). Nach der gewünschten Behandlungsdauer wurden die Proben im Trockenschrank auf Umgebungstemperatur abgekühlt und zur weiteren Analyse in Glasgefäßen gelagert.

Bei der Herstellung der Großfraktion für die weiteren Versuche im AP 5 wurde weiters Daten zur Gewichtsreduktion der modifizierten Grasfaser aufgezeichnet. Durch die Hitzebehandlung der Fasern ergab sich ein Gewichtsverlust von durchschnittlich 9%. Dieser Gewichtsverlust deutet auf eine chemische Veränderung in der Faser hin. Aus der Literatur ist der teilweise Abbau der Hemizellulose Fraktion bei erhöhten Temperaturen bekannt, weiters können Abspaltungsreaktionen (Essigsäure u.a.) vorkommen, sowie leicht flüchtige physikalisch gebundene Substanzen, sowie Wasser aus der Faser verdampfen.

### Waschen der Grasfaser mit einer basisch, silikatreichen Waschlösung

In diesem Versuch wurden Grasfasern in einer basisch, silikatreiche Waschlösung bei 45°C für 30 Minuten unter ständigem Rühren behandelt und im Anschluss an die Wäsche getrocknet. Auch diese Fasern wurden sowohl auf ihre Geruchseigenschaften als auch auf ihr Wasserrückhaltevermögen hin untersucht. Aufgrund der nicht zufrieden stellenden Ergebnisse der Wasserrückhalteanalysen wurden keine weiteren Untersuchungen zur Chemie der Faser unternommen.

### Geruchsreduktion bei Grasfasern

Zum Vergleich der Geruchsreduktion durch Modifikation der Faser wurden wiederum Analysen durch die TU Graz, Prof. Dr. Leitner, durchgeführt. Die Probenahme erfolgte mittels SPME (Solid Phase Micro Extraction) und die Analysen wurden mittels GC-MS durchgeführt.

Das Geruchsprofil der Faser, welche mit der alkalischen, silikatreichen Lösung behandelt wurde, zeigte deutliche Unterschiede zu den thermisch modifizierten Fasern (gänzlich Fehlen der sehr geruchsintensiven Säuren). Daher kann kein direkter Vergleich zu den anderen Grasfasengeruchsproben stattfinden. Trotz dieser Ergebnisse ist wegen der unveränderten Wasserrückhalteigenschaften nicht an einen technischen Einsatz im Bereich des AP-5 (Einsatz in Bauprodukten) dieser Grasfaserfraktion zu denken. Ein möglicher Einsatzbereich ergibt sich jedoch in zukünftigen Arbeiten im Bereich der Nutzung für verleimte Platten, wo der Geruch der Grasfaser ebenfalls teilweise als problematisch einzustufen war.

Die folgenden Abbildungen zeigen Vergleiche von Referenzsubstanzen von Klee-Grasproben und Luzerne-Grasproben mit unterschiedlich modifizierten Grasproben. Die Referenzproben (dunkelblaue Balken) stellen die Ausgangswerte der gefundenen geruchsaktiven Substanzen dar und sind jeweils auf 100% normiert. Die Abkürzungen beziehen sich auf Tabelle 4 (Probenübersicht).

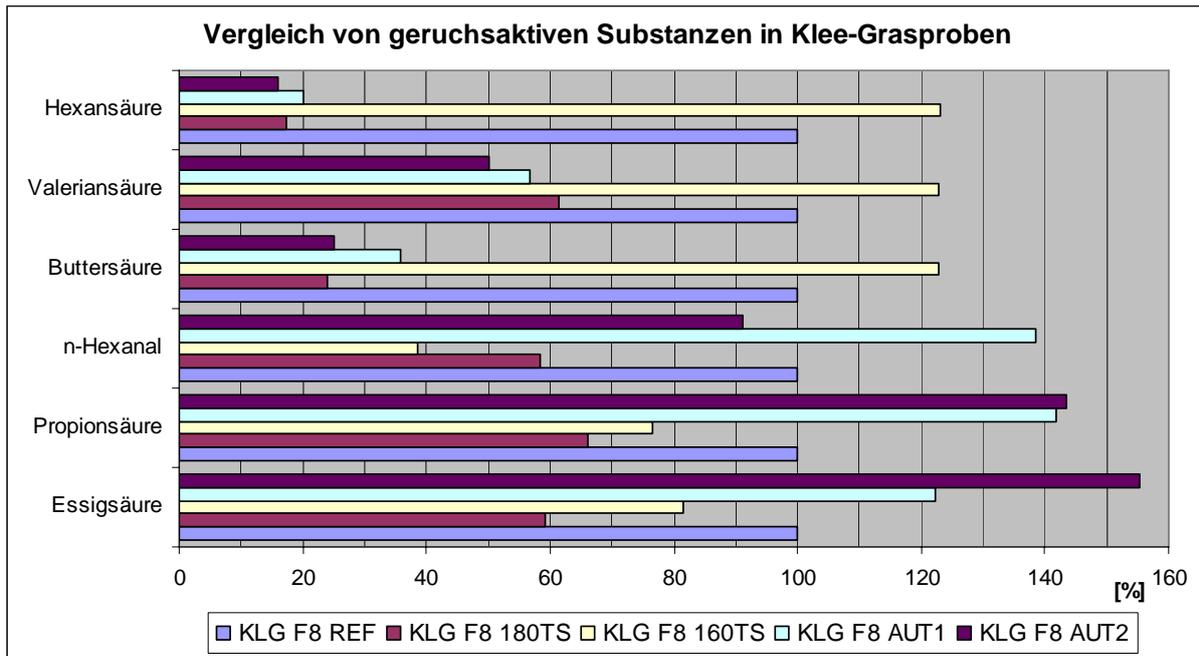


Abbildung 32: Vergleich einiger geruchsaktiver Substanzen in Klee-Grasproben

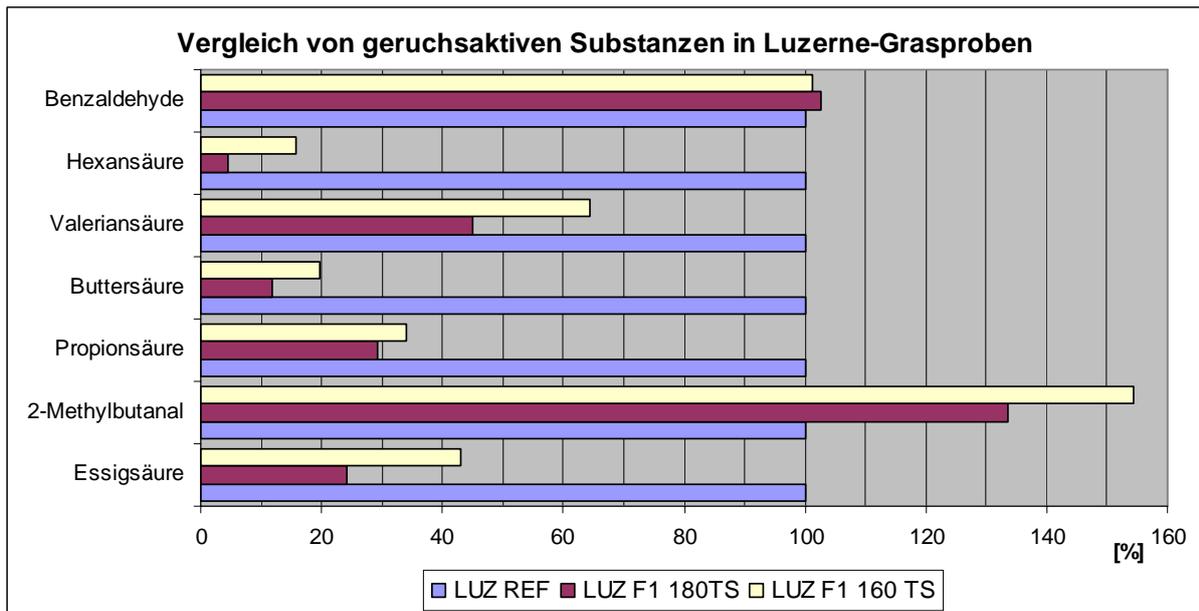


Abbildung 33: Vergleich einiger geruchsaktiver Substanzen in Klee-Grasproben

Wie aus der obigen Abbildung zu erkennen ist, konnte mit einer Temperaturbehandlung der Grasfaser bei 180°C über 80 Minuten das beste Ergebnis zur Reduktion ausgewählter, geruchsaktiver Substanzen erzielt werden, vor allem auch im Bereich der leicht flüchtigen Fettsäuren (Essigsäure, Propionsäure). Auch die Behandlung im Autoklaven zeigt viel versprechende Ergebnisse.

#### Hauptkomponenten der Referenzprobe Klee-Gras und einige Geruchscharakteristika

Da für die weiteren Versuche im AP-5 die modifizierten Klee-Grasproben zum Einsatz kamen, erfolgt an dieser Stelle eine kurze Darstellung der geruchsbestimmenden Anteile. Die unten stehende Tabelle gibt einige der geruchsaktiven Hauptkomponenten der Klee-Grasreferenzprobe, sowie den charakteristischen Geruch der Substanz wieder. Es muss

beachtet werden, dass das Geruchsempfinden sehr subjektiv ist, und daher die chemische Analyse nur einen Behelf zur Quantifizierung darstellen kann.

*Tabelle 5: Geruchskomponenten und charakteristischer Geruch*

Retentionszeit [min]	Substanz	Konzentration [mg/kg]	Geruch
8,63	Essigsäure	9,62	stechend, nach Säure
8,86	2-Butenal	1,05	scharfer, stickiger Geruch
8,97	3-Methylbutanal	1,24	malzartig
9,61	1-Penten-3-ol	1,18	
9,91	n-Pentanal	1,08	fruchtig
10,26	Propionsäure	2,18	stechend
10,85	3-Penten-2-one	1,3	
12,17	n-Hexanal	8,62	grün, Apfel
12,58	Buttersäure	13,36	ranzig, Schweißgeruch
13,17	i-Valeriansäure	1,84	
13,76	Valeriansäure	0,44	stechend, unangenehm
15,23	Trans-2-Heptenal	0,92	
15,45	Hexansäure	0,52	säuerlich, schweißartig
15,46	Benzaldehyde	2,54	Bittermandel
15,61	1-Octen-3-ol	1,76	nach Pilzen, leicht modrig
18,11	Benzeneethanol	1,23	

### **Herstellung von Faserfraktionen für die weiteren Arbeiten (AP-2.3)**

Gegenstand dieses Arbeitspakets war die routinemäßige Herstellung größerer Mengen an homogenen Faserfraktionen für die nachfolgenden Arbeitspakete

- AP4 „Verleimte Faserplatten aus Grasfasern“
- AP5 „Kleber und Spachtelmassen mit Grasfasern als Füllstoff“.

Die Bereitstellung der Rohstoffe für die nachgeschalteten Arbeitspakete erfolgte zu Beginn auf Basis von Grasfaserreserven aus der Presskampagne 2001 (FdZ Phase I), damit für die Arbeiten kein Rohstoffengpass entstehen konnte, welcher zu einer Verzögerung der Bearbeitung geführt hätte.

Zusätzlich wurden im AP-2 neue Rohstofffraktionen (z.B. weiter verfeinerte bzw. aufgespleißte Fraktionen) erzeugt, welche ebenfalls in den produktorientierten Arbeitspaketen „*Beleimte Platte*“ und „*Füllmittel für Bauprodukte*“ verwendet wurden.

Insbesondere für das Arbeitspaket AP-5 (Grasfasern als Füllstoff für Bauprodukte) wurden vermahlene Faserfraktionen benötigt, welche speziell gemäß den Anforderungen des Industriepartners hergestellt wurden.

Für die weiteren Versuche in den anwendungsorientierten Arbeitspaketen AP4 – *Beleimte Platte* und AP5 – *Grasfaser als Füllstoff* standen Grasfaserfraktionen mit folgender Aufbereitung zur Verfügung:

- (1) – Vermahlen mit Hammermühle (größere Mengen aus Versuchen im Technikumsmaßstab)
- (2) – Aufbereitung mittels TMZ-Verfahren (größere Mengen aus Versuchen im Technikumsmaßstab)
- (3) – Mustermengen Mahlversuche für AP4 (kleinere Mengen aus *Fächerschlägermühle* im Labormaßstab)
- (4) – Gewaschene Grasfasermuster aus den durchgeführten Waschversuchen

Neben den nicht weiter aufbereiteten Fraktionen, welche der Bulk-Fraktion direkt aus der Presse entsprechen, wurden für das Arbeitspaket 4 „*Beleimte Platte*“ die Faserfraktionen „*Hammermühle*“ und „*TMZ-Aufbereitung*“ verwendet.

### **Fasercharakterisierung (AP-2.4)**

Gegenstand dieses Arbeitspakets ist die Charakterisierung der in den vorhergehenden Arbeitsschritten hergestellten Grasfasermaterialien, z.B. hinsichtlich:

- (1) Morphologie von Grasfasern mit unterschiedlicher Vorgeschichte; Fasergrößenverteilung etc.
- (2) Mechanische Fasereigenschaften
- (3) Wasseraufnahme- & Wasserabgabeverhalten
- (4) Gegebenenfalls Ascheeigenschaften (z.B. Ascheschmelzpunkt)

Jene Faserfraktionen, welche für die Prototypenherstellung im AP4 „*Beleimte Platte*“ verwendet wurden, wurden einer Siebung zur Ermittlung der Größenverteilung unterzogen. Exemplarisch werden folgend einige Daten präsentiert, welche den jeweiligen

Aufbereitungsschritt anhand einer Fasergrößenverteilung aufzeigen. Für Vergleichszwecke wurde jeweils auch die Ursprungsfraction untersucht und dargestellt.

Tabelle 6: Fasergrößenverteilung einiger Grasfaserfraktionen für verschiedene Aufbereitungsarten.

	KLGS PK2	KLGS PK 2 TMZ	LU G PK1	LU G PK1 HM	BRGSPK1	BRGSPK1 HM
Siebfraction [mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
> 4mm	48,3	47,12	59,5	0,0	21,7	0,0
4 - 2mm	23,1	13,56	22,0	2,9	31,6	4,5
2 - 1mm	20,9	15,53	12,6	22,2	34,7	25,0
1 - 0,4mm	6,5	12,94	4,5	45,1	10,2	40,5
< 0,4mm	1,2	10,85	1,4	29,8	1,8	30,0
Summe	100	100	100	100	100	100

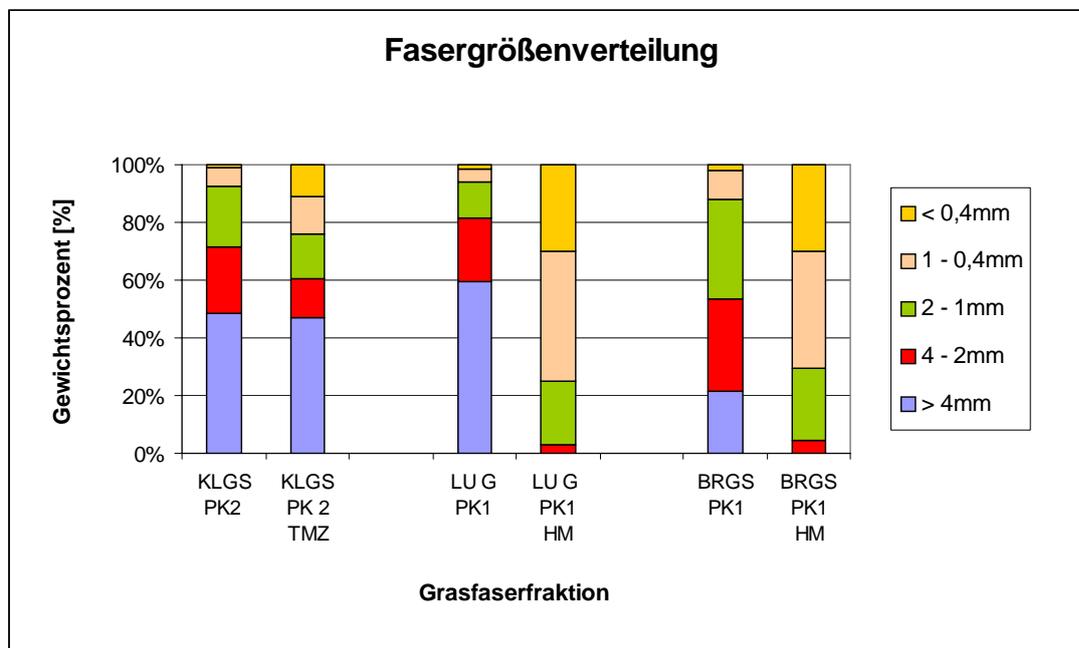


Abbildung 34: Fasergrößenverteilung unterschiedlich aufbereiteter Grasfraktionen

Legende zur Abb. 7 und Tab. 2

**KLGS**...Kleegras siliert; **LUG**... Luzerne grün; **BRGS**... Bastard-Raygras siliert;

**PK1**, Presskuchen aus 1. Pressung ; **PK 2**... Presskuchen aus 2. Pressung

**TMZ**...Faser mit TMZ-Verfahren behandelt;

**HM**... Faser mit Hammermühle behandelt

In Abbildung 34 ist die Fasergrößenverteilung verschiedener Faserfraktionen dargestellt.

Das erste Datenset zeigt einen Vergleich der mittels TMZ-Methode aufbereiteten Faser mit der Ursprungsfaser (Presskuchen nach der Pressung 2). Es zeigt sich, dass durch die TMZ-Methode die längeren Fasern (Klasse > 4mm) nicht wesentlich eingekürzt werden, sondern erhalten bleiben. In den anderen Längenklassen wurden geringfügige Einkürzungen festgestellt. Der Staubanteil (<0,4mm) nimmt wahrscheinlich durch Faserbruch zu. In der Abbildung nicht ersichtlich ist die starke Reduktion der Dicke der Faserbündel, welche durch die TMZ-Methode erzielt wird. Siehe dazu auch Abbildung 19.

Die weiteren Datensets zeigen die zerkleinernde Wirkung der Vermahlung mittels Hammermühle auf. Bei dieser Vermahlung wird das Mahlgut solange mechanisch mittels Schlegel „bearbeitet“, bis die groben Faseranteile durch ein Sieb passen und dann den Mahlraum verlassen können. Die Faserlänge wird dadurch massiv eingekürzt. Es entsteht dabei viel Faserbruch, was den sehr hohen Anteil der kurzen Faserlängen erklärt. Der Staubanteil mit ca. 15% ist dabei relativ hoch.

### **Charakterisierung der gemahlene(n) Grasfasern hinsichtlich Größenverteilung**

Die Beurteilung der gemahlene(n) Grasfasern erfolgte in einer so genannten Luftstrahlsiebanalyse. Bei diesem Verfahren werden die vermahlenden Partikel durch einen Luftstrom gefördert und über spezielle Sieb- und Abscheidvorrichtungen geführt. Als Ergebnis kann eine Verteilungskurve für einzelne sehr kleine Fraktionen ermittelt werden.

Die Verteilungskurven wurden mittels der folgenden Kurven berechnet:

Massenverteilungssumme  $Q_3(\mathbf{x})$

$$Q_r(x_i) = \frac{\text{Teilmenge}(x_{\min} \dots x_i)}{\text{Gesamtmenge}(x_{\min} \dots x_{\max})}$$

Massenverteilungsdichte  $q_3(\mathbf{x})$

$$\text{Allgemein: } q_r(x) = \frac{dQ_r(x)}{dx}$$

Die Teilmenge einer Kornklasse  $i$  heißt Fraktion  $i$

$$q_{ri} = \frac{(\text{Mengen-})\text{Anteil der Fraktion } i}{\text{Klassenbreite } \Delta x_i}$$

$i$  x.....Partikelgröße oder Maschenweite

$r$  .....Mengenart, Für Massenverteilung:  $r = 3$

Als Beispiele werden die Ergebnisse einer Vermahlung zweier Fraktionen (KLGSPK2 und LUG PK1) dargestellt. Das Mahlgut wurde durch die im vorhergehenden Kapitel beschriebene Technik vermahlen.

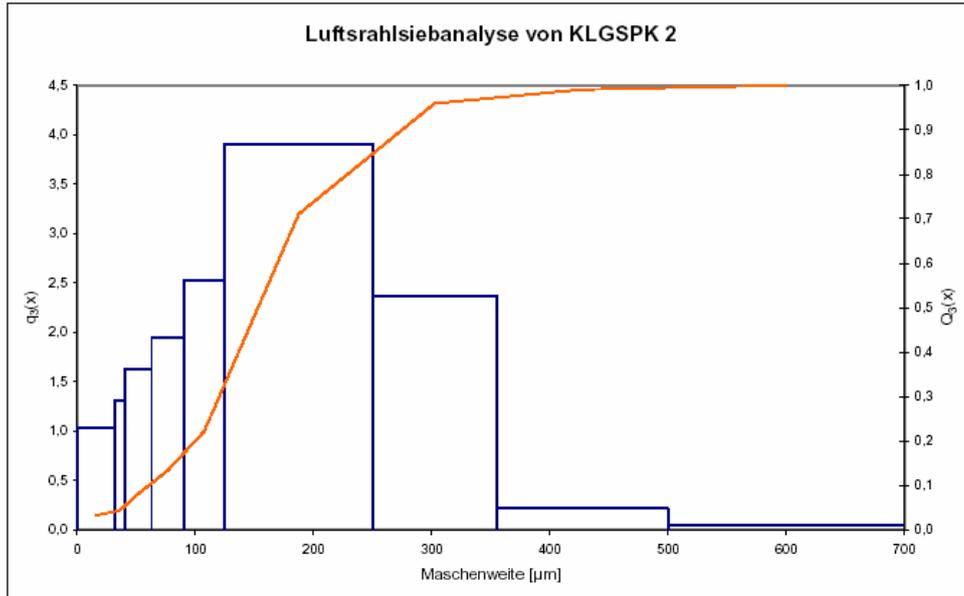


Abbildung 35: Massenverteilungskurve der Mahlprobe von Klee gras ; KLGSPK2

Die Verteilungsdichtefunktion zeigt annähernd eine Gaußsche Verteilung, was auf eine homogene Massenverteilung der Partikel schließen lässt. Die mittlere Faserpartikelgröße liegt bei ca. 200 µm.

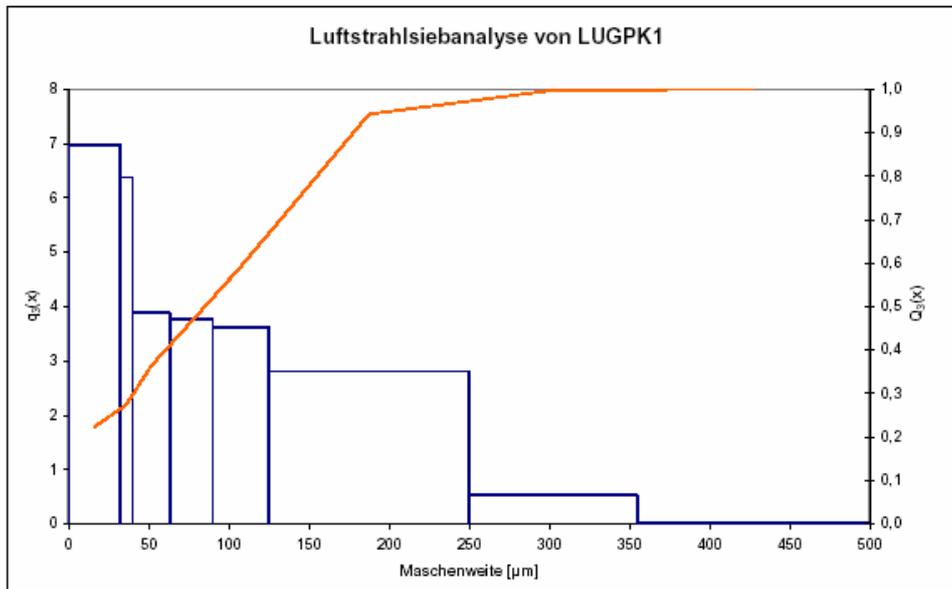


Abbildung 36: Massenverteilungskurve der Mahlprobe A ; Luzerne, Presskuchen 1

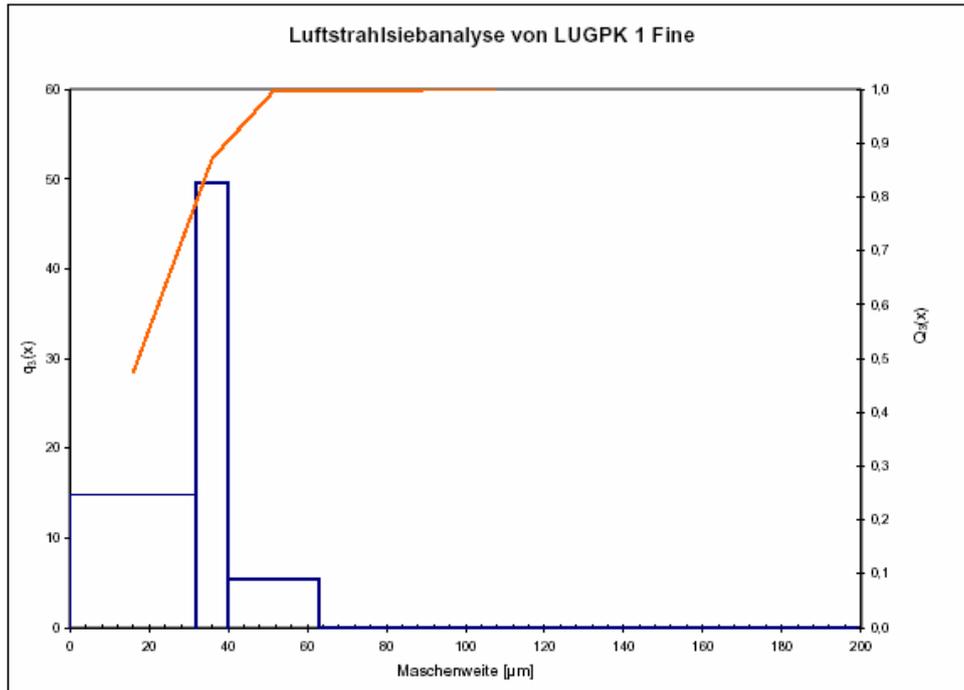


Abbildung 37: Massenverteilungskurve der Mahlprobe B; feinen Fraktion Luzerne, PK 1

Die Mahlprobe A zeigt einen hohen Anteil an Partikeln unter 40µm, der Mittelwert liegt bei ca. 85µm, und mehr als 90% liegen unter 180µm. Diese Fraktion wurde durch den eigentlichen Mahlvorgang zerkleinert.

Die Mahlprobe B wurde aus dem Staubabscheider der Mühle gezogen. Bei der Verteilungskurve der Mahlprobe B (Feinfraktion) liegen 90% aller Partikel unter 40µm.

Ergebnisse der Siebstrahlanalyse für die Fraktionen LUZ PK2F9 und KLG SPK2F8, welche durch Doppelmahlung mittels Schneidemühle aufbereitet wurden.

### Ergebnisse für LUZ PK2F9

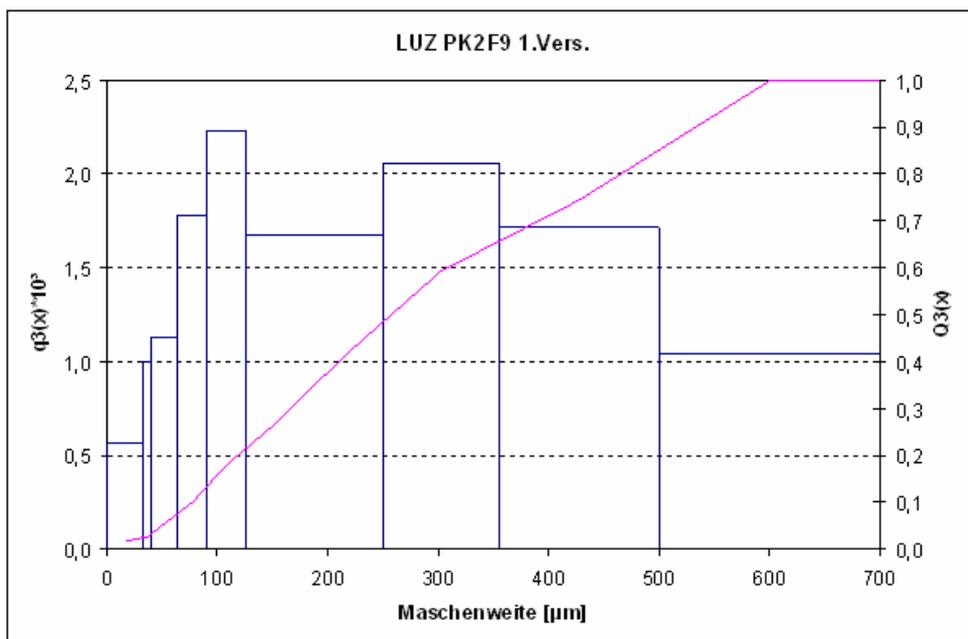


Abbildung 38: Massenverteilungskurven der Probe LUZ PK2F9, 1. Versuch

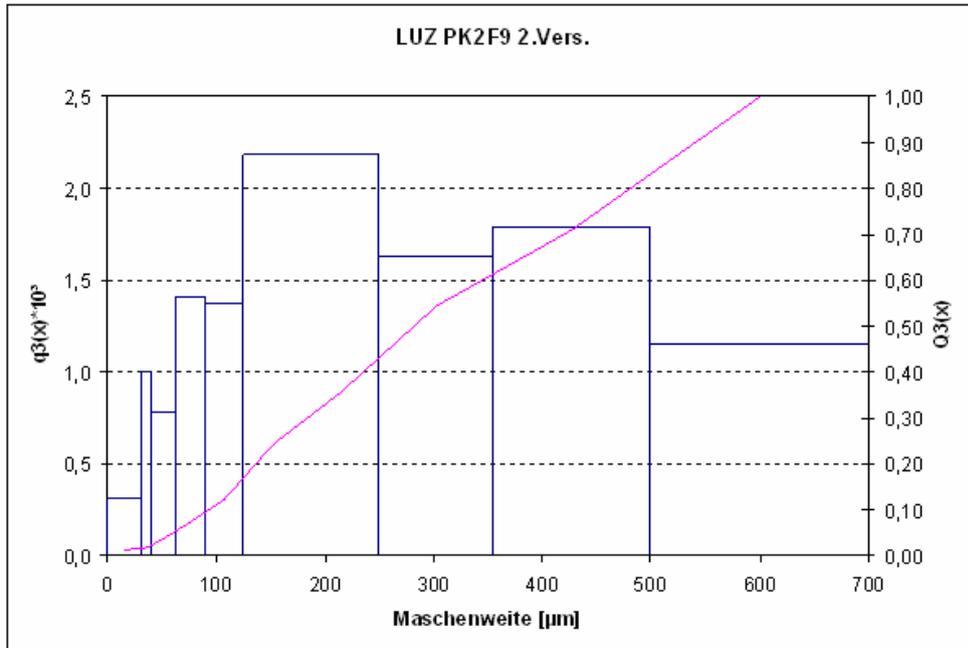


Abbildung 39: Massenverteilungskurven der Probe LUZ PK2F9 2. Versuch

An beiden Versuchsergebnissen kann man erkennen, dass die Längenverteilung der Fasern eher breit gestreut ist, da die Verteilungsdichte kein ausgeprägtes Maximum aufzeigt. Die mittlere Länge liegt bei ca. 250 µm.

Ergebnisse für KLG SPK2F8:

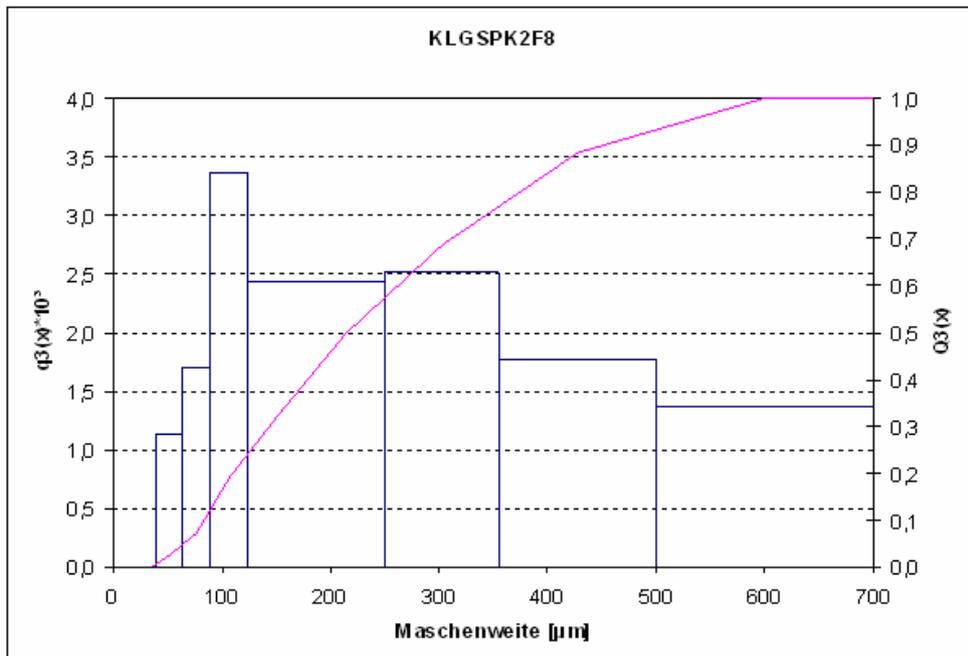


Abbildung 40: Massenverteilungskurven der Probe KLGSPK 2F8 1. Versuch

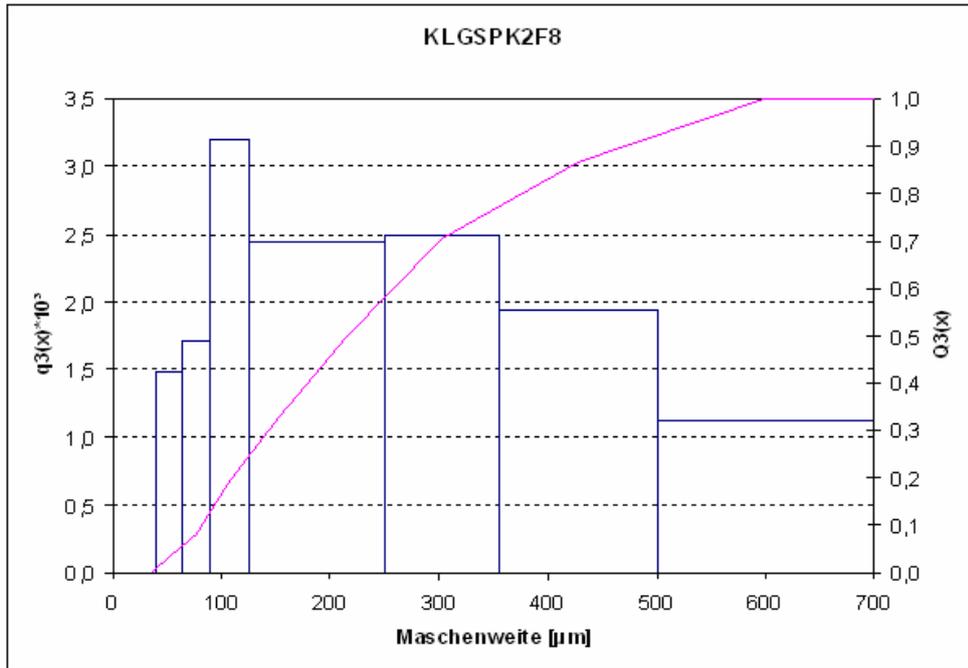


Abbildung 41: Massenverteilungskurven der Probe KLGSPK2F8 2. Versuch

Auch bei dieser Probe zeigt sich eine breite Streuung der Längenverteilung; die mittlere Länge liegt bei ca. 200 µm.

### Mikroskopische Aufnahmen der gemahlene Faserfraktion

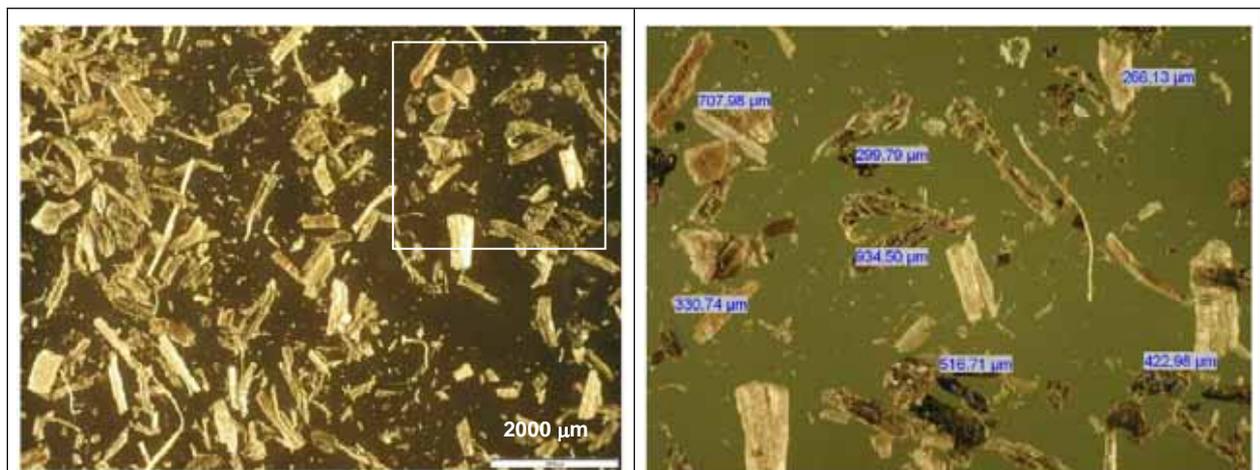


Abbildung 42: Mikroskopische Bilder der vermahlene Grasfaserfraktion

Die Bilder zeigen, dass das Mahlgut eher eine kubische Form hat. Lang gestreckte und faserförmige Bestandteile sind eher selten.

### Wasserrückhaltevermögen der gemahlene(n) Grasfasern

Diese Untersuchung wurde sowohl mit dem Rohmaterial als auch mit den gemahlene(n) Grasfaserproben durchgeführt. Die Proben wurden gemäß der Vorschrift DIN 53814 zwei Stunden in 0,1 %iger Nekal BX-Lösung eingeweicht und anschließend 20 Minuten bei 3400 U/min zentrifugiert (= M1).

Die feuchte Faserprobe wurde 16 – 18 Stunden bei 100°C getrocknet und nach dem Abkühlen im Exsikkator nochmals gewogen. (=M2)

$$\% \text{ WRV} = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{M_2}$$

WRV Wasserrückhaltevermögen

M<sub>1</sub> Feuchtgewicht

M<sub>2</sub> Trockengewicht

Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Name	Einwaage [g]	Feuchtgewicht [g]	Trockengewicht [g]	%WRV
KLGP2.roh	0,234	0,529	0,198	166,3
KLGP2.roh	0,338	0,769	0,293	162,7
LUGPK1.roh	0,206	0,435	0,159	174,3
LUGPK1.roh	0,277	0,559	0,214	160,7
LUGPK1	0,258	0,495	0,195	153,6
LUGPK1.SGP	0,322	0,618	0,244	152,8
LUGPK1	0,316	0,597	0,239	149,2
LUGPK1 Fein	0,128	0,351	0,093	278,7
LUGPK1 Fein.SGP	0,197	0,929	0,165	464,4
LUGPK1 Fein	0,174	0,744	0,126	490,2
LUGPK1 Fein	0,305	1,007	0,227	342,6
KLGP2	0,333	0,744	0,289	157,9
KLGP2	0,327	0,711	0,284	149,9

\*SGP sintered glass plate

Tabelle 7: Wasserrückhaltevermögen nach DIN 53815 für Grasfasern

Auf Basis der Daten ergeben sich folgende Mittelwerte für das Wasserrückhaltevermögen:

Name	%WRV
KLGP2.roh	164,5
LUGPK1.roh	167,5
LUGPK1	151,9
LUGPK1 Fein	394,0*
KLGP2	153,9

\* die Einzelwerte streuen sehr stark

Tabelle 8: Mittelwerte für das Wasserrückhaltevermögen einzelner Grasfaserfraktionen

Die Daten sind insofern interessant, als das Wasserrückhaltevermögen der gemahlene(n) Fasern nur unwesentlich vom Ausgangsmaterial vor der Vermahlung (roh) abweicht. Die Rückhaltewerte liegen im Bereich von 151-167%.

Dies bedeutet, dass die Grasfaser ca. das 1,5- bis 1,7-fache des eigenen Gewichtes an Wasser quasi in das Faserrinnere aufsaugen kann.

Der Wert für die sehr feine Mahlfraction liegt mit 394% deutlich höher als die anderen Werte.

Das erklärt sich dadurch, dass bei sehr feinen Korngrößen andere physikalische Kräfte (Kapillarkräfte) wirken, welche das Wasser in den Zwischenräumen der Partikel binden. Aus diesem Grund haben Gemische mit kleineren



Tabelle 10: Mittelwerte des Wasserrückhaltevermögens modifizierter Klee-Grasproben

Bezeichnung	MW QWtr [%]	Abnahme QW tro [%]	MW QWra [%]	Abnahme QW ra [%]
KLGF8- Referenzpr.	172,7	0,0%	135,0	0,0%
KLG F8 CPH2	196,9	-14,0%	170,9	-26,6%
KLG F8 180TS	103,0	40,4%	82,6	38,8%
KLG F8 AOT2	107,2	38,0%	75,6	44,0%

Interpretation der Ergebnisse:

Tabelle 9 zeigt die Ergebnisse der Einzelbestimmungen und Tabelle 10 eine Zusammenfassung der Mittelwerte der Einzelbestimmungen. Die Werte der Referenzprobe wurden auf 100% normiert und Vergleichswerte daran ausgerichtet. Ein negativer Wert bei der relativen Abnahme bedeutet im Grunde eine Zunahme des Wasserrückhaltevermögens (z.B. Probe KLG F8 CPH2). Aus dieser Tabelle ist deutlich zu erkennen, dass sich nur 2 Methoden zur Reduktion einer Wasseraufnahme der Grasfaser eignen: die Temperaturbehandlung, sowie die Behandlung der Grasproben im Autoklaven. Beide Modifikationsmethoden liefern ähnlich gute Werte, um die 40% für die Abnahme des Wasserrückhaltevermögens.

Die Auswahl der Proben zur weiteren Verwendung im AP-5 fiel auf jene Proben, welche durch Temperaturbehandlung (180°C, 115 min.) modifiziert wurden. Diese Proben zeigten durchwegs die besten Eigenschaften in den Bereichen Wasserrückhaltevermögen bzw. relative Geruchsemissionen.

## **Zusammenfassung der Ergebnisse des AP-2**

Gegenstand dieses Arbeitspaketes war die Recherche sowie Durchführung von Grundlagenversuchen zu Technologien und Verfahren zur Aufbereitung und Reinigung des in einer Grünen Bioraffinerie anfallenden Graspresskuchens. Der Fokus der Arbeiten war eine weitergehende Zerfaserung des Presskuchens, die Gewinnung homogener Faserfraktionen, die Reduktion von Geruchsemission, sowie die energieeffiziente Trocknung von Grasfasern. In diesem Arbeitspaket wurden ebenfalls die erforderlichen Rohstoffe für die AP-4 und AP-5 bereitgestellt.

### ***Versuche zur weiteren Zerfaserung und Homogenisierung des Presskuchens***

Anhand der Recherche wurde ein thermo-mechanischer Zerfaserungsprozess identifiziert, welcher ebenfalls durch einen Grundlagenversuch getestet wurde. Das Zerfaserungsprinzip beruht auf einem „Dampfexplosionseffekt“, welcher durch eine spontane Entspannung einer verdichteten Fasermatrix erreicht wird. Dieses Verfahren eignet sich gut zur weiteren Aufspaltung des Faserpresskuchens: Die Faserlänge wird nur geringfügig verändert, der Faserdurchmesser jedoch stark verkleinert. In ihrer Gesamtheit ist die nach der Zerfaserung erhaltene Faserfraktion erheblich homogener.

Eine weitere Versuchsreihe beschäftigte sich mit der Vermahlung von Grasfasern mittels Schneide- und Prallmühlen, welche im Technikumsmaßstab durchgeführt wurde. Die Beurteilung der gemahlten Grasfasern erfolgte in einer so genannten Luftstrahlsiebanalyse. Bei diesem Verfahren wurden die vermahlten Partikel durch einen Luftstrom gefördert und über spezielle Sieb- und Abscheidvorrichtungen geführt.

Als Ergebnis wurde eine Massenverteilung der Partikelgrößen generiert. Die Mahlversuche haben ergeben, dass sich Schneidemühlen gut für eine generelle Einkürzung der Faserlängen eignen. Hinsichtlich der erreichten Feinheit war die Mühle des Typus Prallmühle der Schneidemühle überlegen. Die mikroskopische Beurteilung des Mahlgutes ergab, dass die Partikel eher eine kubische Form aufwiesen.

### ***Versuche zur weitergehenden Reinigung und Geruchsreduktion von Fasern***

Der Geruch der Grasfasern wurde durchwegs in allen Anwendungen als störend empfunden. Die folgende Aufzählung gibt eine Übersicht der durchgeführten Versuche zur Geruchsreduktion:

1. Waschen und Bleichen der Faser mit Wasser, NaOH, Bleichmittel und Tensiden
2. Wasserdampfbehandlung in Analogie zur Wasserdampfdestillation
3. Wäsche der Fasern mit saurer ( $H_2SO_4$ ) und basischer (NaOH) wässriger Lösung
4. Behandlung der Faser unter Druck und Temperatur in einem Autoklaven
5. Behandlung der Faser in einem Trockenschrank bei erhöhter Temperatur
6. Waschen der Faser mit einer alkalischen, silikatreichen Lösung

Die Wirkung der Geruchsreduktion wurde zur Objektivierung der Beschreibung mittels einer chemischen Analysenmethode für flüchtige Komponenten (SPME-GC-MS) durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser Versuche wurden in einer Bewertungsmatrix zusammengeführt, in welcher die einzelnen Behandlungsmethoden der Grasfasern hinsichtlich der drei Parameter (1) technische Umsetzbarkeit, (2) Wirtschaftlichkeit und (3) Effizienz der Geruchsreduktion eingeschätzt wurden.

Ad 1 – Technische Umsetzbarkeit: Hier wurde bewertet, wie leicht die Umsetzung der Behandlungsmethode vom durchgeführten Technikums-/Labormaßstab auf einen industriellen Standardprozess gelingen könnte. In die Bewertung fließen somit auch der Stand der Technik oder die Verfügbarkeit von Großanlagen ein.

Ad 2 – Wirtschaftlichkeit: Die Beurteilung bildet den Gesamtprozess der Faserbehandlung ab im Hinblick auf die erforderlichen Prozessenergien, sowie etwaiger möglicher Nebenkosten, welche durch die Entsorgung von Chemikalien oder Abfällen entstehen.

Ad 3 – Effizienz: Auf Basis der Ergebnisse der Grundlagenversuche wurden die einzelnen Behandlungsmethoden hinsichtlich ihrer Fähigkeit, geruchsaktive Komponenten aus den Fasern zu entfernen, bewertet.

Hinter der Bewertung steht keine errechnete Maßzahl, sondern es ist dies die Einschätzung der Autoren gemäß der 4-stufigen Skala. Von einer methodisch aufwändigeren Bewertung wurde abgesehen, da alle genannten Behandlungsverfahren mit Sicherheit hinsichtlich Effizienz weiter optimiert werden könnten. Die Bewertung der Tabelle 11 sollte einen ersten Überblick verschaffen und einen Vergleich ermöglichen.

Tabelle 11: Matrix zur Bewertung der geruchsmindernden Maßnahmen

Methode	Techn. Umsetzbarkeit	Wirtschaftlichkeit	Effizienz
1	+++	---	-
2	-	---	+
3	+++	-	-
4	-	---	+
5	+++	+	+
6	-	-	+++

Legende: +++ sehr gut; + . befriedigend; - . genügend; --- . nicht zufrieden stellend;

Tabelle 11 zeigt, dass die Trocknung bei hohen Temperaturen (Nr.5) mit dem derzeitigen Wissensstand vermutlich den besten Kompromiss darstellen würde.

Weiterführend wurden Versuche zur Modifikation der Grasfaser durchgeführt (s.o. Methoden 3 bis 6). Das Ziel war, eine weitestgehende Hydrophobierung der Grasfaser bei möglichst geringem Materialaufwand (Chemikalien, etc.) zu erzielen. Die Ergebnisse wurden durch die Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens der Proben ermittelt (s.u.).

### **Wasserrückhaltevermögen**

Mit abnehmender Größe der Faser nimmt das Wasserrückhaltevermögen (WRV) deutlich zu. Die durchschnittlichen Werte für das WRV der untersuchten, unbehandelten Grasfasern lagen bei 130-170% (d.h., die Grasfaser kann das 1,3- bis 1,7-fache ihres Gewichtes an Wasser absorbieren). Das WRV modifizierter Grasfasern wurde ebenfalls untersucht und zeigte gegenüber der Referenzprobe eine deutliche Reduktion um über 40% (WRV von 70-80%). Die besten Ergebnisse konnten auch hier mittels der bei erhöhter Temperatur (180°C) getrockneten Fasern erzielt werden.

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden auch die Grasfasern für die angewandten Versuche für die Arbeitspakete AP-5 Füllstoff für Bauprodukte und AP-4 „Beleimte Grasfaserplatte“ hergestellt.

## ANALYTIK (AP-3)

### Überblick über die Aktivitäten im Bereich Analytik

Die im Rahmen der Projektaktivitäten durchgeführte Analytik hatte die Aufgabe, die chemische Zusammensetzung der verschiedenen Stoffströme (z.B. Silage, Presssäfte und Presskuchen etc.) zu beschreiben. Die Auswertung der Analytikdaten bildete die Grundlage für die Beurteilung verschiedener Aufbereitungsverfahren und ermöglichte beispielsweise die Optimierung der Wertstoffausbeuten des mechanischen Fraktionierungsprozesses.

Die chemische Zusammensetzung der einzelnen Stoffströme (Input Presse, Presssaft und Presskuchen) wurde bereits umfassend im Kapitel AP1-2 „*Optimierung der Mechanischen Fraktionierung*“ dargestellt. Weitere Ergebnisse der begleitenden Analytik wurden in die Diskussion geeigneter Aufbereitungsverfahren für Grasfasern einbezogen (siehe dazu AP 2).

Daher wird an dieser Stelle auf diese Themen nicht nochmals eingegangen.

### Weitere Analytikergebnisse

#### **Organische Säuren**

Als weiteres Beispiel der begleitenden Analytik werden auszugsweise ergänzende Details der Rohstoffanalytik präsentiert, welche sich auf die Silagequalität beziehen. Die folgenden Graphen zeigen die Konzentrationen der im Pressfeed1 sowie Presskuchen 1 enthaltenen organischen Säuren.

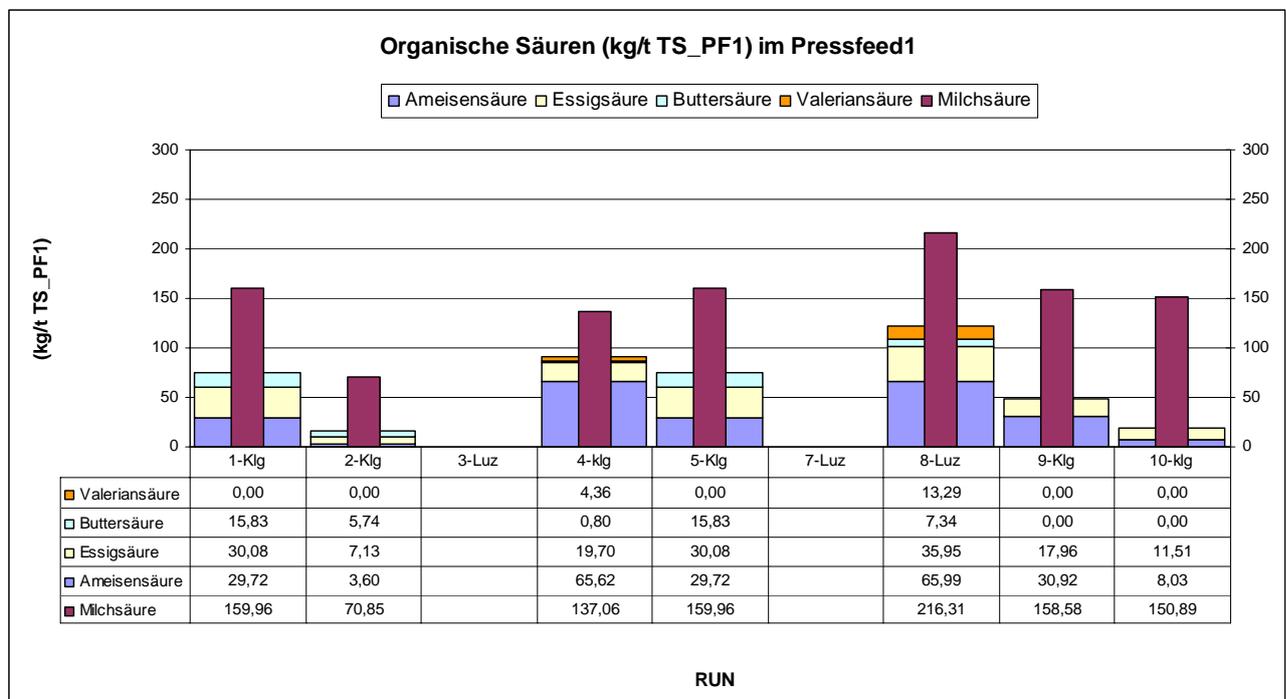


Abbildung 43: Konzentration organischer Säuren im Rohstoff (Pressfeed 1)

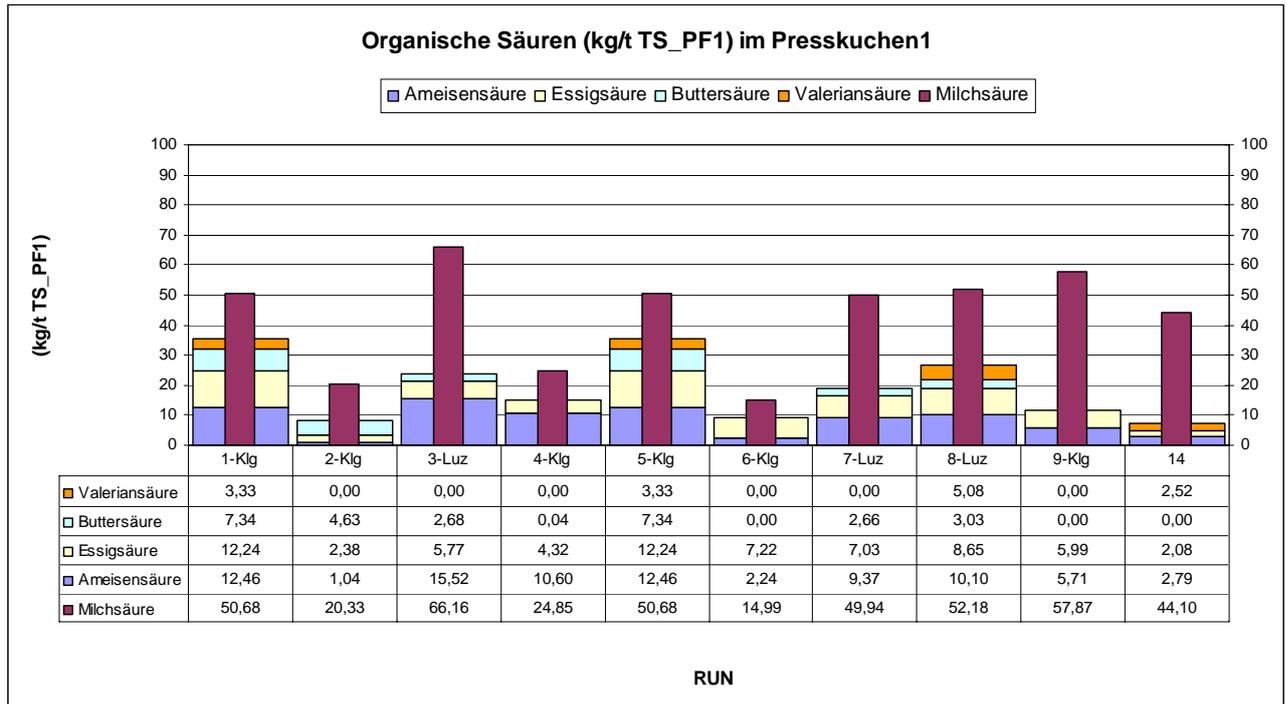


Abbildung 44: Konzentration organischer Säuren im Presskuchen 1

Die Analysedaten zeigen auf, dass neben der Milchsäure auch andere organische Säuren (wie Ameisensäure, Buttersäure, Essigsäure etc.) in der Silage enthalten sind. Ähnliche Analyseergebnisse wurden auch für die Presssäfte ermittelt. Diese werden aber aufgrund der geringen Relevanz für dieses Projekt nicht weiter dargestellt bzw. diskutiert.

Die im Antrag dem Arbeitspaket AP-3 Analytik zugeschriebenen Fasergrößenverteilungen (Faserlänge, -durchmesser), und zwar vorwiegend zur Quantifizierung der Verfahrensschritte „Zerfaserung des Presskuchen“, wurden im Kapitel „Fasercharakterisierung“ abgehandelt.

## Restzuckergehalte und Ergebnisse der Rohaschebestimmungen

Die folgende Darstellung gibt die durchschnittlichen Restzuckergehalte ausgewählter Prozessfraktionen (Presssäfte der 1. und 2. Pressung) wieder. Die Tabelle zeigt weiterhin auch die entsprechenden Rohaschegehalte der untersuchten Proben.

Tabelle 12: Restzuckergehalte einiger Saftfraktionen sowie deren Rohaschegehalte

Grasart	Pressung	Glukose [g/l]	Fruktose [g/l]	Sachrose [g/l]	Rohasche [% TS]
Kleegras	1	13,3	13,1	0,6	20,5
	2	7,6	44,1	0,0	19,2
Luzerne	1	2,3	3,1	0,0	3,4
	2	0,7	1,8	0,0	9,8
Kleegras	1	14,6	13,9	1,5	2,4
	2	6,3	7,3	0,0	1,2
Luzerne	1	0,6	0,5	0,1	2,6
	2	0,0	0,3	0,0	2,2
Luzerne	1	0,0	0,3	0,0	9,7
	2	0,3	0,4	0,0	1,0

Generell kann festgestellt werden, dass die Presssäfte aus den Kleegrasfraktionen einen durchwegs höheren Restzuckergehalt aufweisen, als jene aus den Luzernegrassfraktionen. Somit sind die verbleibenden Reste dieser Säfte nach einer Aufarbeitung (Trennung der Wertstoffe Milchsäure und Proteine/Aminosäure) durchwegs interessant für eine weitere Verwertung, wie z.B. eine Vergärung zur Gewinnung von Ethanol oder den Einsatz in einer Biogasanlage zur Gewinnung von Methan.

Tabelle 13: Rohaschebilanzen einiger Pressversuche

Grasart	Fraktion	Rohasche [% TS]
Kleegras	Feed	10,49
	Presskuchen 1	5,94
	Presssaft 1	20,60
	Presskuchen 2	5,20
	Presssaft 2	19,60
Kleegras	Feed	11,01
	Presskuchen 1	9,54
	Presssaft 1	22,07
	Presskuchen 2	9,03
	Presssaft 2	22,13
Kleegras	Feed	13,86
	Presskuchen 1	12,31
	Presssaft 1	22,65
	Presskuchen 2	11,57
	Presssaft 2	21,03

Wie in Tabelle 13 ersichtlich, verändern sich die relativen Rohaschegehalte der Presssäfte (bezogen auf TS) nur geringfügig von der ersten zur zweiten Pressung.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Rohaschegehalt des Feeds im Bereich 10-14% liegt. Die gewonnenen Presssäfte haben einen Aschegehalt von 19-23% in der Trockensubstanz.

Für alle Versuche wurde unbehandeltes Leitungswasser zur Einstellung der gewünschten Werte der Ausgangstrockensubstanz verwendet. Es erfolgte somit auch ein diffuser Eintrag von Ionen, welcher aber vernachlässigt wurde.

## Ascheschmelzverhalten

Aus feuerungstechnischer Sicht ist das Ascheschmelzverhalten ein wichtiges Kriterium für die Verbrennung von Stoffen (Auskleidung der Kessel, Verschlackung, etc.). Daher wurden auch für die Grasproben Ascheschmelzpunkte nach DIN 51719 bestimmt (TU Wien, Institut

für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und technische Biowissenschaften, Prüflabor für Feuerungsanlagen, Prof. Dr. Hofbauer).

Durchführung: Das Ascheschmelzverhalten wird nach DIN 51730 bestimmt. Die Probe wird zunächst nach DIN 51719 verascht und die entstandene Asche zu einem zylindrischen Probenkörper verpresst. Der Probenkörper wird anschließend in einem Ofen in oxidierender Atmosphäre erhitzt. Es wird die Erweichungstemperatur (Rundwerden der Kanten), die Halbkugeltemperatur (Grundlinie des Korpus ist doppelt so lang wie seine Höhe) und die Fließtemperatur (Probenkörper ist auf ein Drittel der ursprünglichen Höhe auseinander geflossen) bestimmt.

Tabelle 14: Ascheschmelzverhalten von Grasfaserproben

Erweichungstemperatur [°C]	1010
Sphärischtemperatur [°C]	1040
Halbkugeltemperatur [°C]	1070
Fließtemperatur [°C]	1100

### Chemische Zusammensetzung der Grasfasern

Zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der Fasern und der Auswirkungen der Modifikation der Fasern wurde die Van Soest Methode gewählt. Hierbei werden die Gerüstsubstanzen (Zellulose, Hemizellulose, Lignin, etc.) von Naturstoffen bestimmt. Aus der Literatur ist bekannt, dass die Fraktion der Hemizellulosen eine wichtige Rolle bei dem Wasseraufnahmeverhalten spielt, und teilweise auch Ausgangssubstanz für die Bildung von Geruchsstoffen ist. Eine Reduktion dieser Fraktion sollte somit auch merkbare makroskopische Veränderungen nach sich ziehen. Eine Beschreibung der Methode sowie der Durchführung findet sich im Anhang. Analysiert wurden die Proben KLG REF (unbehandelt) sowie KLG F8 AUT2 (autoklavierte Probe), KLG F8 180TS (temperaturbehandelte Probe). In der folgenden Tabelle ist die chemische Zusammensetzung des Presskuchens (Feed und PK2) im Allgemeinen, sowie die Ergebnisse zu den modifizierten Fasern zusammengefasst.

Tabelle 15: Chemische Zusammensetzung von Grasfaserproben

Silagematerial		NDF [g]	ADF [g]	Hemizellulose [%]	Rohzellulose [%]	Rohlignin [%]
<b>Beprobung mechanischen Fraktionierung</b>						
Luzerne	Feed Presse	37,7	32,3	14,2	54,4	31,3
	Presskuchen 2	64,3	51,6	19,8	35,5	44,8
Luzerne	Feed Presse	39,2	29,4	25,2	43,4	31,5
	PK2	50,6	47,4	6,3	25,1	68,6
Kleegras	Feed Presse	48,9	29,2	40,4	43,2	16,3
	Presskuchen 2	63,3	39,2	38,2	39,1	22,7
Kleegras	Feed Presse	43,8	28,5	35,0	51,3	13,7
	Presskuchen 2	66,1	42,2	36,2	45,4	18,4
<b>Modifizierte Fasern</b>						
Referenz	unbehandelt	62,0	38,4	36,5	56,4	7,1
KLG F8 180TS	Trockenschrank	64,8	48,6	27,1	60,0	12,9
KLG F8 AUT2	Autoklav	63,2	46,7	24,7	57,1	18,3

Beide Varianten der Modifikation (Druck und Temperatur bzw. nur Temperatur) erreichen eine deutliche Reduktion der Hemizellulosen Fraktion gegenüber der Referenzprobe. Der Anstieg der Lignin Fraktion erklärt sich aus der Methode der Berechnung (relative Zunahme an Lignin durch Abnahme an Hemizellulosen). Die Ergebnisse zeigen, dass die gewählten Modifikationsmethoden sich eignen, den Anteil an Hemizellulosen deutlich zu reduzieren.

## VERLEIMTE FASERPLATTEN AUS GRASFASERN (AP-4)

### Übersicht über die durchgeführten Arbeiten

Gegenstand dieses Arbeitspakets war die Durchführung von Grundlagenversuchen im Labor- & Technikumsmaßstab. Ziel dieser Versuche war die Beantwortung der Frage, inwieweit eine aufbereitete Grasfaserfraktion grundsätzlich zur Herstellung von Faserplatten geeignet ist. Die Durchführung der Untersuchungen erfolgte in enger Kooperation mit dem renommierten österreichischen Holzplattenhersteller *Fa. Fritz Egger GmbH & Co* am Standort Unterradlberg.

Die durchgeführten Versuche wurden in drei Phasen abgewickelt, wodurch ein Anpassen des Versuchsplans anhand der Zwischenergebnisse möglich war.

Die Herstellung der Platten erfolgte im Technikumsmaßstab im so genannten *Trockenverfahren*. Zu Beginn wurden Probeplatten aus reinen Grasfasern und Leimanteilen von 10% untersucht. In den folgenden Phasen wurde der Leimanteil auf 14% erhöht und auch Mischungen aus Grasfasern und Holzspänen als Rohstoff verwendet.

Zur Beurteilung der mechanischen Eigenschaften wurde die Zugfestigkeit normal zur Plattenebene, sowie die Biegezugfestigkeit ermittelt. Ebenso wurde die mittlere Dichte der Prüfplatten, sowie das Quellverhalten bei Wasserlagerung gemessen.

### Herstellung der Probeplatten

In Kooperation mit Herrn Dr. Dipl.-Ing. Martin Steinwender (*Fa. Egger*) wurde ein mehrstufiger Versuchsplan entwickelt, welcher iterativ auf die jeweiligen Ergebnisse der Vorversuche aufbaut. Die Herstellung der Grasfaserprototypen erfolgte am Standort Unterradlberg, wo sich das Technikum der *Fa. Egger* befindet. Die dabei angewandte Methodik bzw. Herstellungsweise der Platten wurde im Laufe der Versuche etwas modifiziert.

Die Versuchsplatten wurden in einer Größe von 30 x 30 cm mit einer Technikumpresse hergestellt. Die Dicke der Platten lag üblicherweise bei ca. 4 mm. Bei der Herstellung zeigte sich, dass die Beleimung des Grasfaserrohstoffs deutlich schwieriger ist, als dies sonst bei Holzspänen der Fall ist. Ein möglichst gleichmäßiger Auftrag des Bindemittels auf die Faseroberfläche ist aufgrund der weitaus größeren Oberfläche – im Vergleich zu den Holzspänen – schwierig. Nach den ersten Erfahrungen wurde die Beleimungsphase verbessert, sodass ein gleichmäßiger Leimeintrag in die Grasfasermatrix erreicht wurde. Ziel war es, etwaige „Bindemittelnester“ zu vermeiden, damit möglichst gleichmäßige werkstoffliche Eigenschaften in den Platten erreicht werden konnten.

Die Beleimung erfolgte in einem so genannten Pflugscharmischer, welcher eine besonders intensive Mischung des eingefüllten Faserstoffes mit beigemengtem Bindemittel bewirken kann. Dieser Mischer ist auch in der Lage, etwaige im Misch- bzw. Beleimungsprozess entstehende Faserknäuel mit speziellen rotierenden Messern wieder aufzulösen. Als Bindemittel wurden Klebesysteme auf Harnstoff-Formaldehyd Basis verwendet, welche in der Holzplattenindustrie weit verbreitet sind.

Der beleimte Grasfaserrohstoff wurde „*händisch*“ in Pressformen *gelegt* und mit einer beheizten Plattenpresse verpresst. Das dabei angewandte „Pressprogramm“ ist Know-how des Kooperationspartners *Egger* und wird hier nicht weiter ausgeführt. Die dabei auftretenden Pressdrücke bzw. Presszyklen sind aber mit üblichen Produktionsverfahren von Holzspanplatten vergleichbar.



Abbildung 45: Arbeitsschritte der Herstellung der Grasfaserversuchsplatten

Parallel zu den Probeplatten aus Grasfasern wurden auch Referenzplatten als Holzfasern, die so genannte *Mittel-Dichte-Holzfasерplatte* (MDF-Platten), mit der gleichen Leimmischung, mit dem gleichen Misch- und Pressverfahren hergestellt, um eine Vergleichbarkeit der Grasfaserplatten mit herkömmlichen Rohstoffen (Holz) zu ermöglichen.

Die erzeugten Grasfaserplatten hatten eine intensive grüne Färbung, an deren Oberfläche schön die Grasfaserstruktur (je nach Aufbereitungsgrad) ersichtlich waren.



Abbildung 46: Grasfaserplatten aus verschiedenen Faserfraktionen

Nach der Herstellung der Grasfaserplatten wurden diese ca. 1 Woche bei Normklima gelagert und dann für die Materialprüfung aufbereitet. Aus den erzeugten Probeplatten wurden Prüfkörper für die einzelnen Materialprüfungen zugeschnitten:

- Biegefestigkeit
- Querzugfestigkeit (normal zur Plattenrichtung)
- Quellung (nach 2 und 24 Stunden Wasserlagerung)

## Ergebnisse der Versuchsreihen

Die werkstofflichen Untersuchungen haben gezeigt, dass es bei den ermittelten Festigkeiten zu einer großen Streuung der einzelnen Messwerte an ein und der selben Probeplatte kommen kann. So wurde z.B. die Querkzugfestigkeit anhand von 12 Prüfkörpern, welche an unterschiedlichen Stellen der Probeplatte nach einem gewissen Raster gewonnen wurden, ermittelt.

Diese starke Streuung der ermittelten Festigkeitswerte reiner Grasfaserplatten lässt auf eine Inhomogenität in den Platten schließen. Es besteht die Vermutung, dass örtlich unterschiedliche Leimkonzentrationen auftreten, die durch eine unzureichende Mischung oder Beleimung, aber auch durch eine Variabilität der Faserkomponente verursacht werden könnten. Jedenfalls wurde für die einzelnen Prüfkörper auch ein breites Spektrum an Dichtewerten ermittelt, welches ebenfalls die Variabilität innerhalb der Platten aufzeigt.

Eine statistische Analyse der Daten zeigte allerdings auf, dass diese starke Streuung bei allen Probeplatten anzutreffen war. Die jeweiligen Mediane der einzelnen Messdaten wichen aber nur geringfügig von den errechneten Mittelwerten ab. Die gemessenen positiven Ausreißer der Festigkeiten wurden als Signal gewertet, dass die Platteneigenschaften noch weiter verbesserbar sind.

Aus allen gemessenen Messwerten wurden jeweils Mittelwerte für die Probenplatte gebildet, welche für die weiteren Vergleiche verwendet wurden.

Als Beispiel der vorliegenden Messwertserien sind die Ergebnisse der MDF-Referenzplatte (Holzfaser) angeführt.

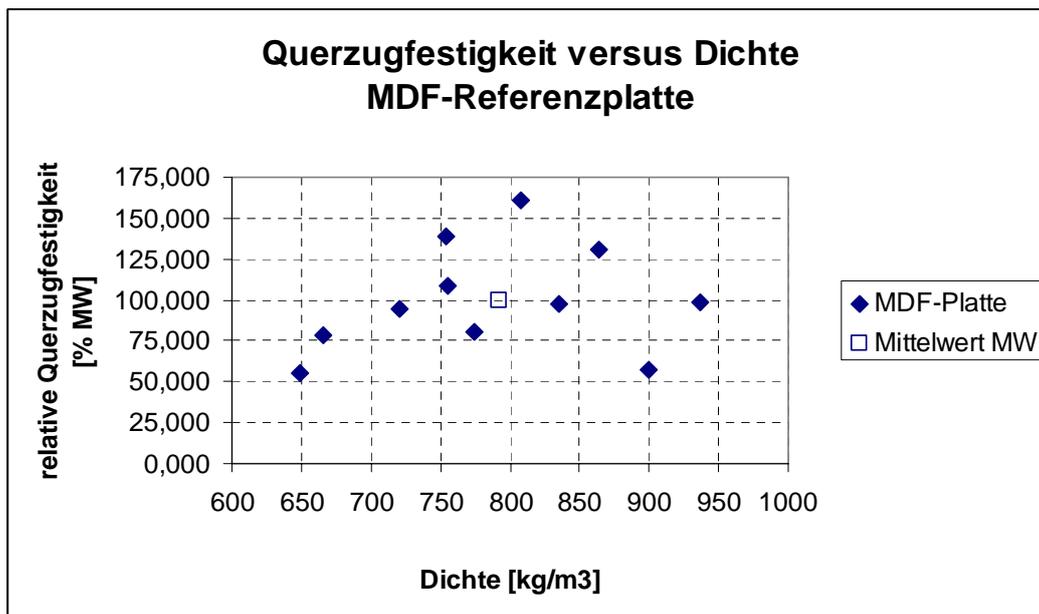


Abbildung 47: Einzelne Messwerte der Querkzugfestigkeit für die Referenzplatte MDF

Die Abbildung 47 stellt als volle Datenpunkte sämtliche Einzelmesswerte der Querkzugfestigkeit mit den entsprechenden Einzeldichten dar. Diese Werte beziehen sich auf eine einzige Platte, die an verschiedenen Stellen vermessen wurde. Aus allen Datenpunkten wurde der eingetragene Mittelwert der Platte gebildet.

Für alle Datensets zu den jeweiligen Grasfaserplatten wurde in der Folge ein Mittelwert gebildet, damit die Darstellung als Datenpunkt möglich wurde.

Für die weitere Darstellung wurde eine relative Angabe der Ergebnisse gewählt. Die Ergebnisse beziehen sich auf die an der MDF-Referenzplatte ermittelten Werte und wurden

als %-Werte dargestellt. Die MDF-Referenzplatte hat in den jeweiligen Graphen die Nummer 33.

Hinsichtlich der angestrebten Produkteigenschaften der Grasfaserplatten wurde von Beginn an die MDF-Platte, welche auf Basis von beleimten Holzfasern hergestellt wird, als Messlatte definiert.

Exemplarisch werden folgend einige Ergebnisse aus der Screeningphase 2 (Vertiefung) dargestellt:

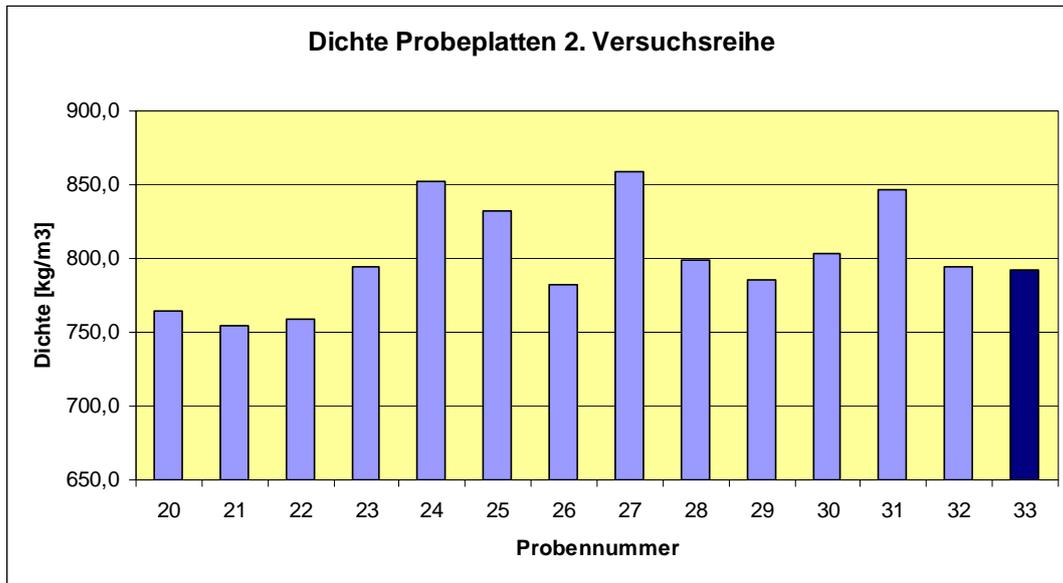


Abbildung 48: Verteilung d. mittleren Dichten ausgewählter Grasfaserplatten, Screeningphase

Die Abbildung 48 zeigt die Verteilung der mittleren Plattendichte für eine Auswahl von Grasfaserplatten auf. Die mittleren Dichten liegen zwischen ca. 750-850 kg/m<sup>3</sup>, die MDF-Referenzplatte hat eine Dichte von ca. 785 kg/m<sup>3</sup>. Diese Dichteunterschiede innerhalb der Serie waren nicht geplant, da sie die Interpretation der Messdaten grundsätzlich erschweren. Die verschiedenen Dichten sind einerseits auf die unterschiedlichen Schüttdichten der verwendeten Grasfaserfraktionen zurückzuführen, andererseits reagieren die aufbereiteten Fraktionen unterschiedlich auf ein Verpressen zu Platten.

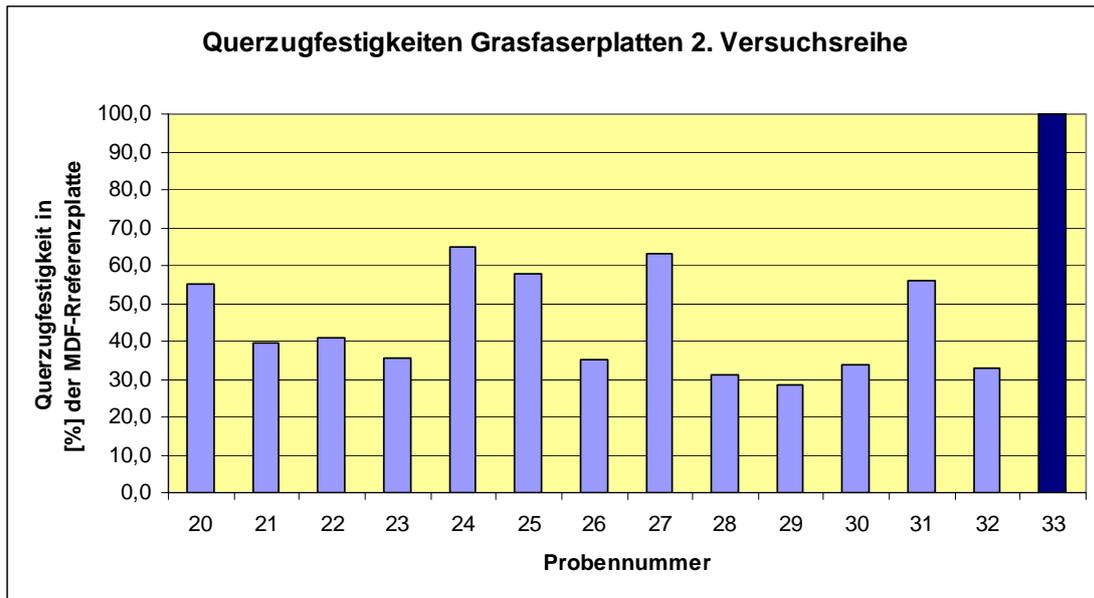


Abbildung 49: Mittlere Querzugfestigkeiten normal zur Plattenebene in Bezug zur MDF Probeplatte

Die Abbildung 49 zeigt die mittleren Querzugfestigkeiten der Grasfaserplatten, welche bis zu 65% des Referenzwertes der MDF-Platte erreichen können. Der Parameter Querzugfestigkeit normal zur Plattenebene wurde als Schlüsselparameter für die weitere Optimierung der Platten verwendet.

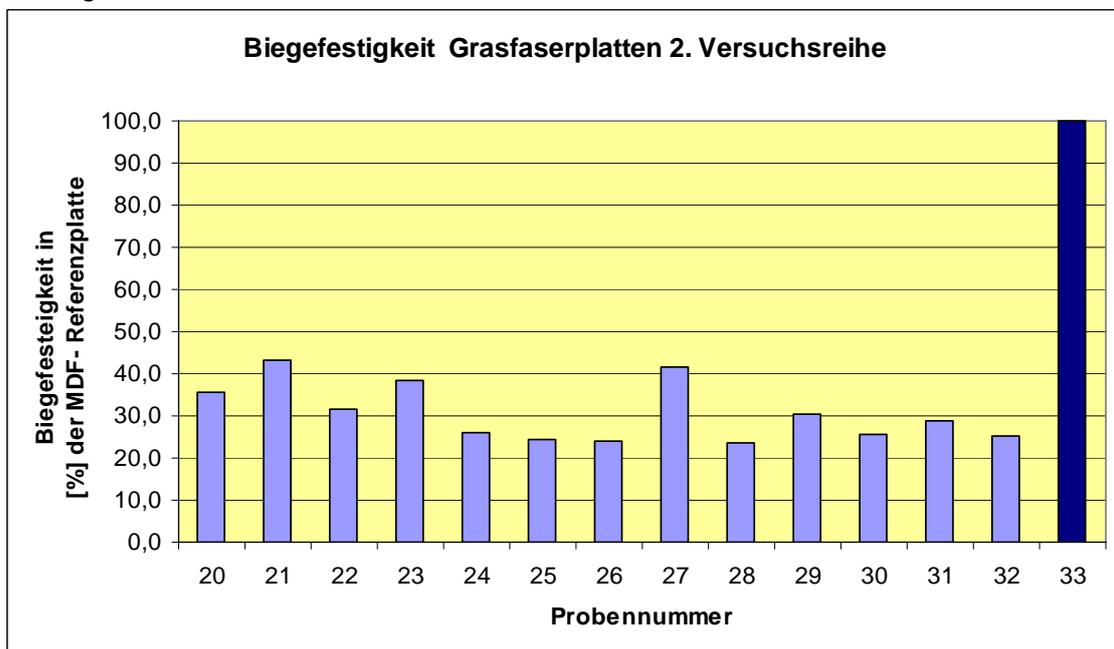


Abbildung 50: Mittlere Biegefestigkeit in Bezug auf die MDF Referenzplatte

Die ermittelte Biegefestigkeit der Grasfaserplatten lag bei 25-43% des MDF Referenzwertes und ist damit deutlich geringer als bei Holz. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die Probeplatten mit einer Dicke von nur 4 mm relativ dünn waren, und somit eine geringe Steifigkeit hatten. Aufgrund der geringen Dicke sind die Messwerte zur Biegefestigkeit nicht so aussagekräftig wie beispielsweise Messwerte, die an dicken Platten erhoben wurden.

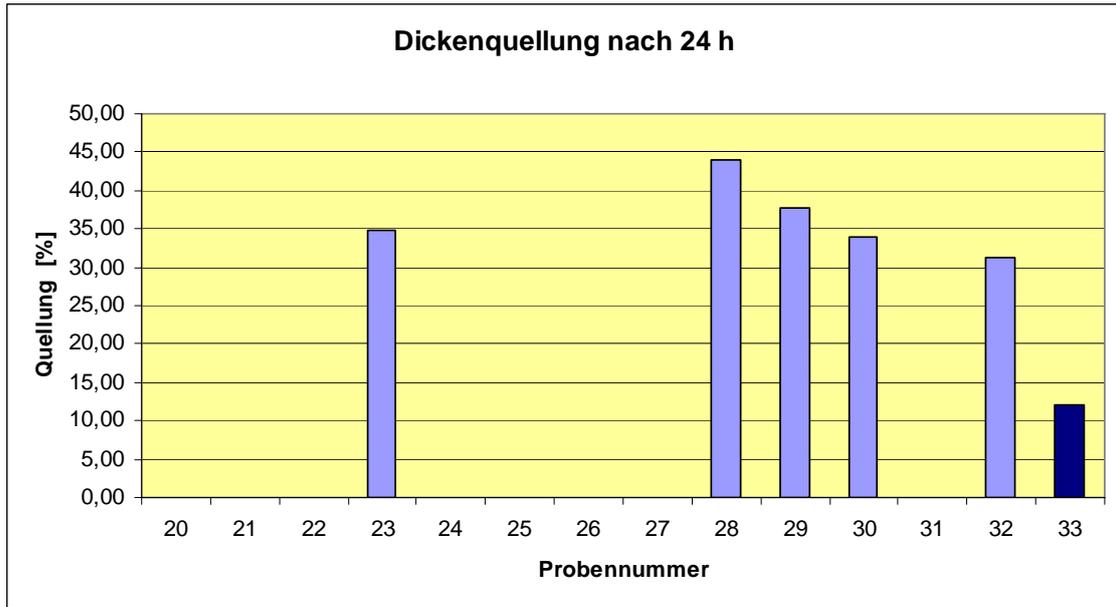


Abbildung 51: Darstellung der Quellung nach 24h Wasserlagerung

Für die Proben 20-22, 24-27, 31 liegen keine Messwerte vor.

Das Quellverhalten der reinen Grasfaserplatten – bis zu 45% Dickenzunahme – ist im Vergleich mit einer MDF Referenzplatte deutlich erhöht (ca. 3x größer) Diese Tatsache beruht auf der größeren Wasserspeicherfähigkeit der Grasfaser. Die geringe Plattendicke ist auch bei dieser Versuchsanordnung zu berücksichtigen, da dünne Platten tendenziell bei Wasserlagerung höhere Quellwerte liefern.

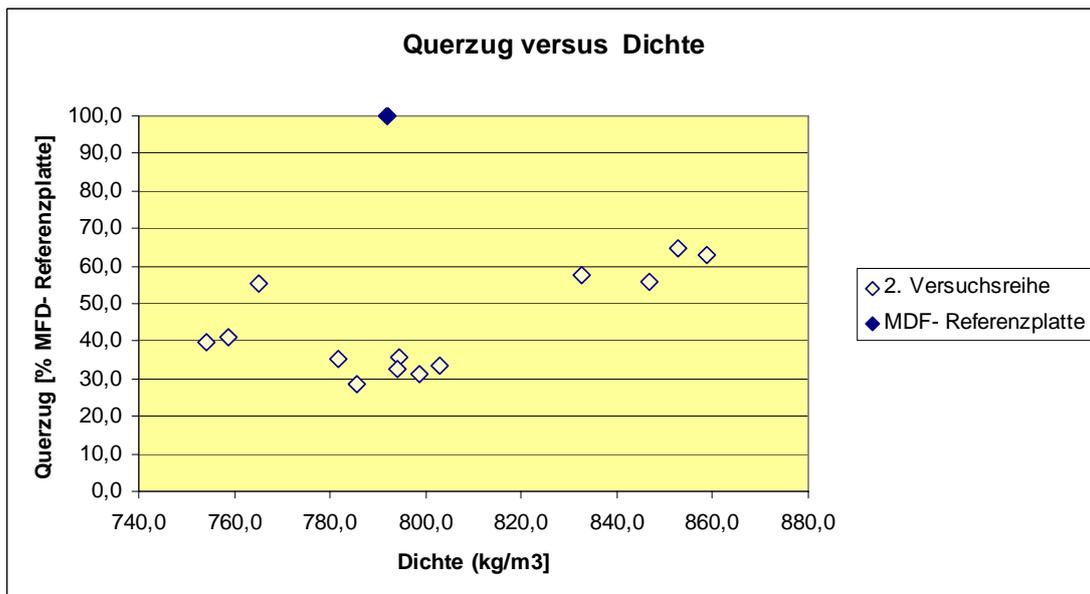


Abbildung 52: Mittelwerte der relativen Querzugfestigkeit in Bezug auf die MDF Referenzplatte in Abhängigkeit von der Dichte

Die Abbildung 52 stellt die mittleren Querkzugfestigkeiten in Abhängigkeit von der mittleren Dichte dar. Dieser Zusammenhang, dass Platten höherer Dichte auch höhere Querkzugfestigkeiten haben, ist bei der Interpretation der Daten zu berücksichtigen.

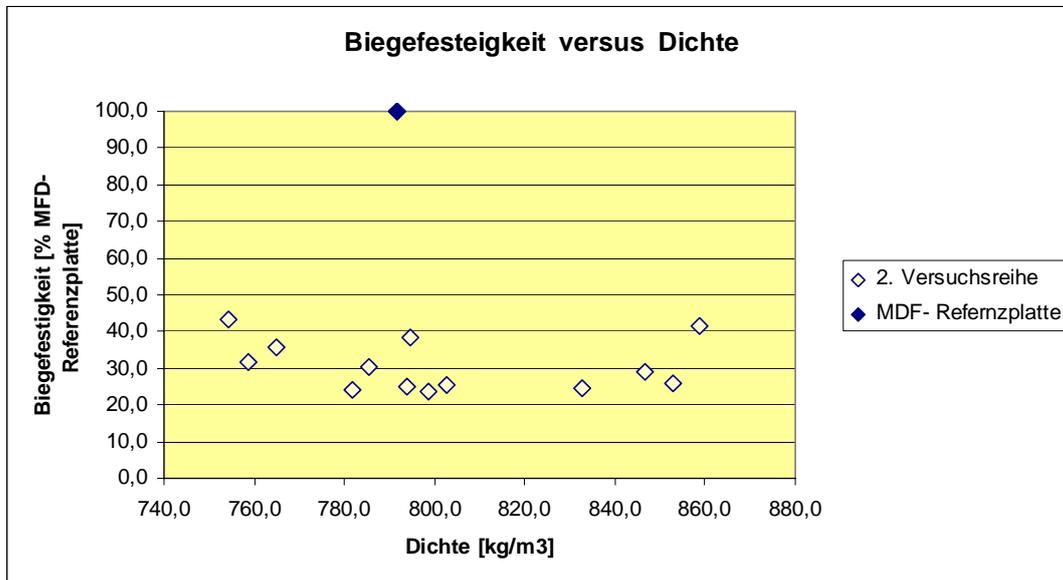


Abbildung 53: Mittelwerte der relativen Biegefestigkeit in Bezug auf die MDF-Referenz in Abhängigkeit von der Dichte

Die Bruchflächen der Probekörper, welche bei der Prüfung der Querkzugfestigkeit erzeugt wurden, wurden auch im Auflichtmikroskop untersucht und fotografiert. Folgend zwei Beispiele, die die Bruchflächen von Grasfaserplatten unterschiedlicher Grasfraktionen im Vergleich zu MDF-Platten darstellen.

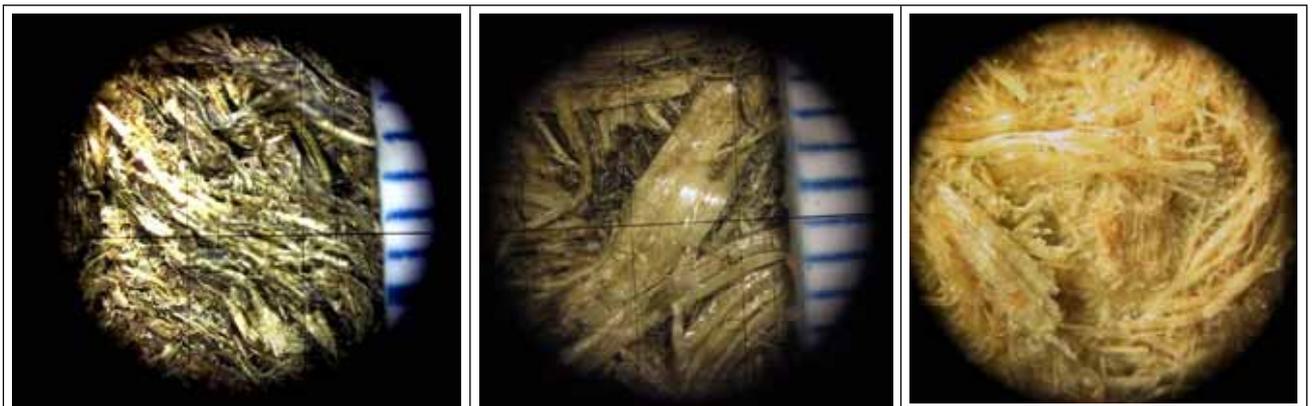


Abbildung 54: 20-fache Vergrößerung der Bruchflächen der Probekörper 31, 27 und 33 (MDF-Referenz); v.l.n.r.

Anhand der Bruchflächen konnte bis dato noch keine verlässliche Aussage über das Bruchversagen abgeleitet werden. Es ist noch ungeklärt, ob es beim Bruch zu einem Versagen an der Faseroberfläche (Haftproblem) kommt, oder ob der Faserverbund „Faser plus Leim“ quasi als Ganzes im Verbund bricht.

Alle Bruchflächen zeigen einen leichten Glanz, welcher aber nicht durch den verwendeten Leim verursacht worden sein dürfte. Bemühungen, die Leimverteilung durch farbige Leime zu visualisieren, sind bis dato gescheitert.

### **Ergebnisse der 3. Versuchsreihe (Mischplatten)**

In der dritten Versuchsreihe wurden die Eigenschaften von beleimten Platten untersucht, die aus einer Mischung von Grasfasern und Holzspänen erzeugt wurden. Zusätzlich wurde mit alternativen Bindemitteln und modifizierten Fasern experimentiert.

Der Leimanteil und das Beileimungsverfahren wurden im Vergleich zu der 2. Versuchsreihe nicht verändert.

Grundsätzlich wurden beim Rohstoff Holz zwei verschiedene Holzspanmischungen verwendet, welche für die Plattenindustrie typisch sind.

Mittelschichtmaterial: Mischung gröberer Holzspäne, welche für die Herstellung der Kernbereiche von Holzspanplatten verwendet werden. Die Dichte derartiger Platten liegt im Bereich von 400-500 kg/m<sup>3</sup>.

Deckschichtmaterial: Mischung feiner Holzspäne, welche für die Herstellung von Plattenoberflächen bzw. Randbereiche verwendet wird. Die Dichte dieser Plattenbereiche liegt deutlich höher 750-850 kg/m<sup>3</sup>.

Die Ergebnisse der werkstofflichen Prüfungen werden in relativen Messwerten zu einer MDF-Platte angegeben, welche nach dem gleichen Verfahren wie die Grasfaser- bzw. Mischplatten hergestellt wurde.

Platten Nr.	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	rel. Querkzugfestigkeit [%]	rel. Biegezugfestigkeit [%]	Quellung 24 h
50	467,3	17,5%	16,3%	13,0
51	484,5	28,1%	12,1%	12,7
52	495,6	20,9%	12,4%	14,5
53	495,6	23,2%	14,7%	9,9
54	842,4	63,6%	58,8%	32,3
55	789,9	82,6%	60,9%	24,0
56	808,7	56,9%	54,6%	34,6
57	805	91,7%	71,8%	28,0
58	761,9	12,8%	30,8%	58,3
59	903,5	100,0%	100,0%	15,5
62	787,8	5,9%	32,1%	82,4
63	735,3	3,5%	19,3%	85,0

Tabelle 16: Ergebnisse der Werkstoffprüfung der 3. Versuchsreihe

Die Platte 59 ist die MDF-Referenzplatte der 3. Versuchsreihe; Die Referenzwerte liegen im Vergleich zur Reihe 2 deutlich höher.

Die Versuchsplatten 50-53 sind Mischplatten von Holzspänen (Mittelschichtmaterial) und Grasfasern. Der Grasfaseranteil variiert zwischen 12,5 und 25 Gewichtsprozent. Die Dichten dieser Platten erreichen typische Werte für die Rohstoffklasse zwischen 450-500 kg/m<sup>3</sup>.

Die Versuchsplatten 54-57 wurden mit ähnlichen Mischungsverhältnissen, allerdings mit Deckschichtmaterial, erzeugt. Die dabei erzeugten Dichten liegen im Bereich von ca. 800-850 kg/m<sup>3</sup>.

Die Platten 58, 62 und 63 repräsentieren Versuche zu alternativen Bindemitteln bzw. Fasern. Die Ergebnisse der Querkzugfestigkeit, der Biegezugfestigkeit und der Quellung wurden jeweils in einzelnen Graphen dargestellt.

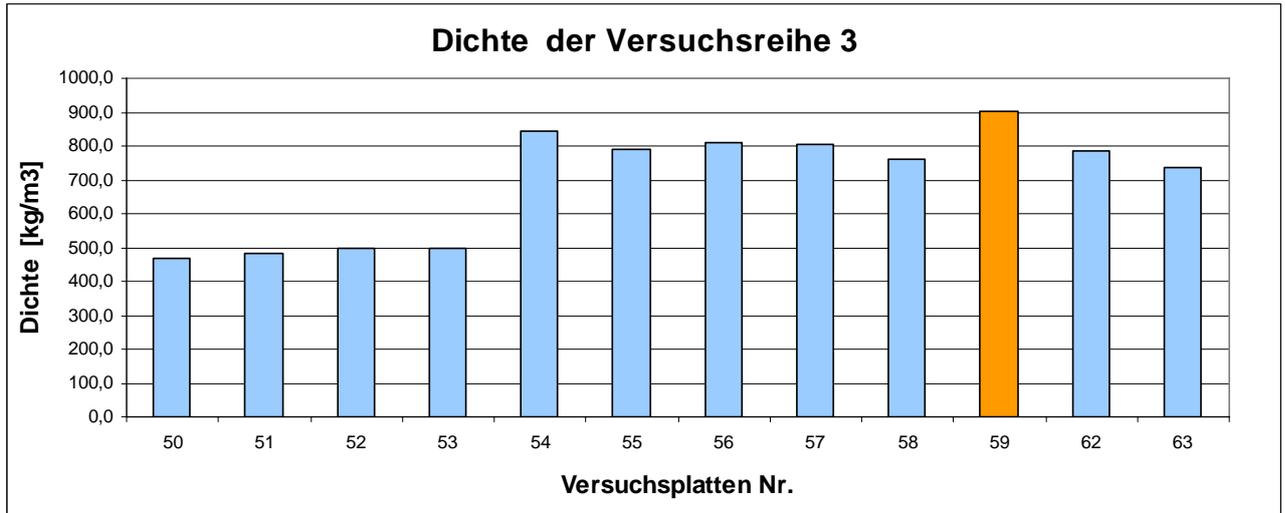


Abbildung 55: Vergleich der Dichten der Versuchsreihe 3

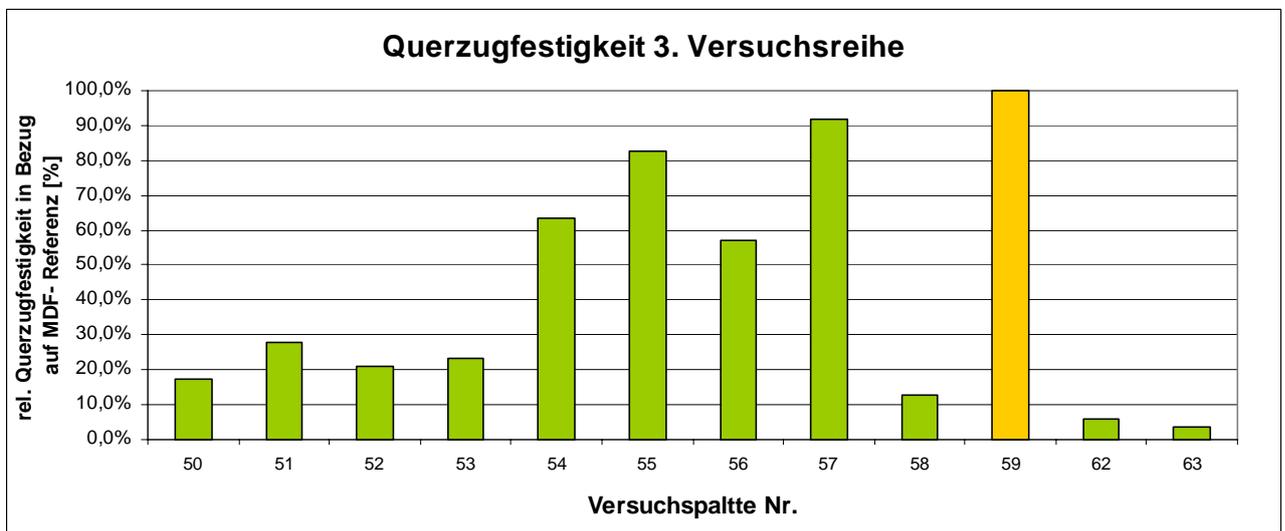
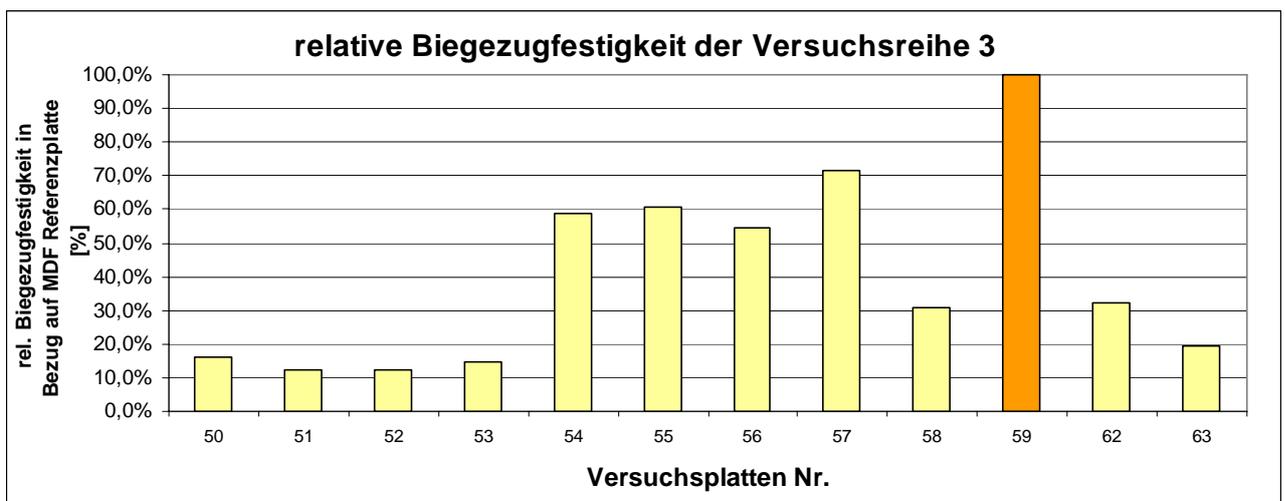


Abbildung 56: Relative Querzugfestigkeit in Bezug auf die MDF-Referenzplatte der 3. Versuchsreihe



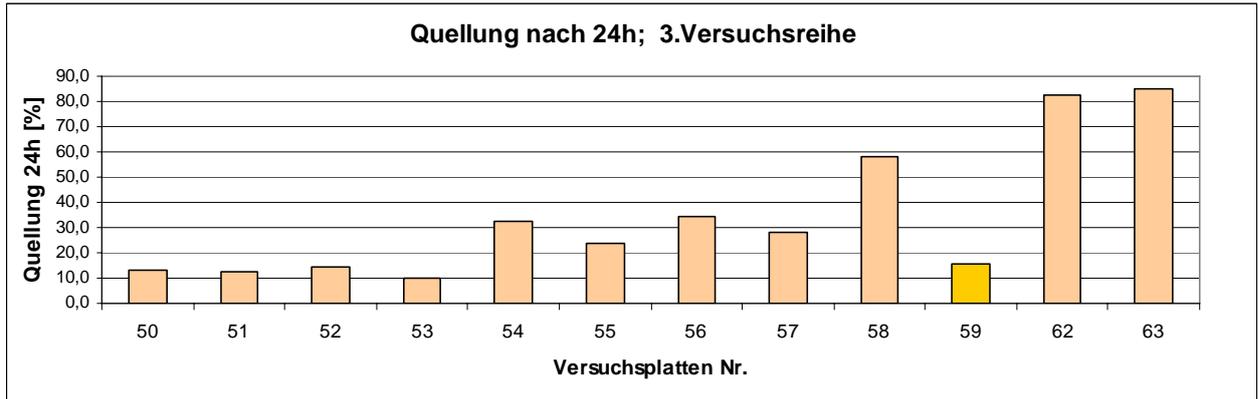


Abbildung 57: Relative Biegezugfestigkeit in Bezug auf MDF-Referenzplatte der 3. Versuchsreihe

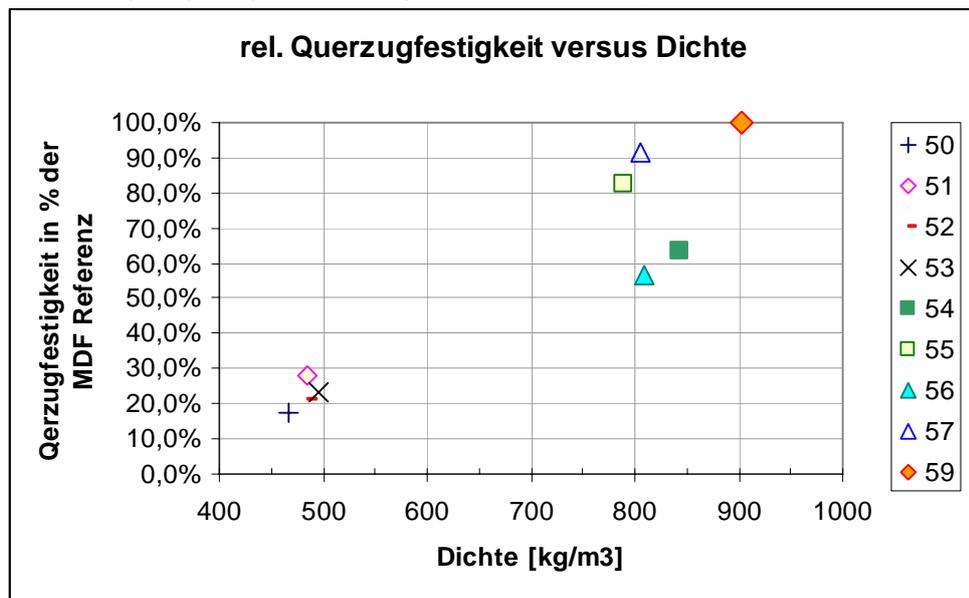


Abbildung 58: Relative Querzugfestigkeit in Bezug zur MDF-Referenzplatte; 3 Versuchsreihe

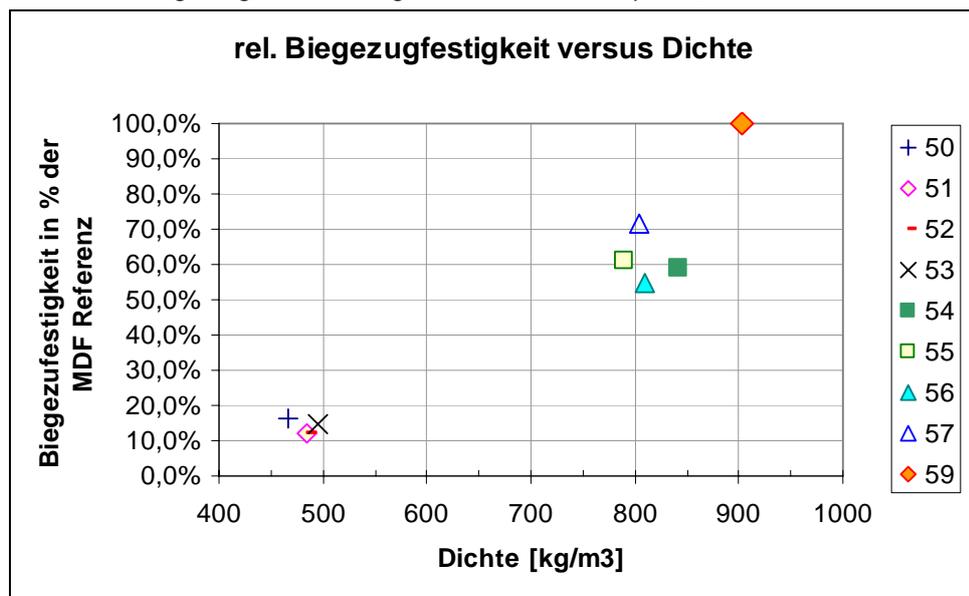


Abbildung 59: Relative Biegezugfestigkeit in Bezug zur MDF-Referenzplatte; 3 Versuchsreihe

### ***Interpretation der Ergebnisse der 3. Versuchsreihe***

Die Ergebnisse der Dichtemessungen zeigen deutliche Unterschiede bei den untersuchten Versuchsplatten auf. Diese Unterschiede sind durch die Verwendung unterschiedlicher Holzspanfraktionen (Deckschicht- und Mittelschichtmaterial) bei der Herstellung der „Mischplatten“ zurückzuführen.

Bei der Interpretation der mechanischen Kennwerte (z.B. Querkzugfestigkeit etc.) sind unterschiedliche Dichtebereiche zu berücksichtigen, da bei fallender Dichte die Festigkeitswerte grundsätzlich abnehmen.

#### *Mischplatten aus Grasfasern und Holzspänen – Mittelschichtmaterial*

Die Versuchsplatten 50-53 sind Mischplatten, welche aus einer Mischung von Grasfasern und Holzspänen (Mittelschichtmaterial) hergestellt wurden. Der Grasfaseranteil variiert zwischen 12,5 und 25 Gewichtsprozent. Die Dichten dieser Platten liegen zwischen 450-500 kg/m<sup>3</sup> – Werte, welche für diese Holzspanfraktion typisch sind. Im Vergleich zur MDF-Referenzplatte ist dieser Dichtebereich allerdings sehr niedrig (ca. 50% des an der MDF-Platte gemessenen Wertes).

Hinsichtlich der Querkzugfestigkeiten erreichen die Mittelschichtmaterial-Mischplatten ca. 18-28% der an der MDF-Referenz ermittelten Festigkeit. Bei der Biegezugfestigkeit lagen die Werte etwas geringer bei 12-16% des Referenzwertes. Ein unmittelbarer Vergleichswert für eine 100% Holzplatte aus Mittelschichtmaterial gemäß dem angewandten Beileimungsverfahren existiert leider nicht.

Bei der Wasserlagerung über 24 Stunden wurden bei diesen Mischplatten sehr gute Werte erzielt. Die Quellwerte liegen zwischen 10-13% Dickenzunahme und liegen damit sogar unter dem Referenzwert, der an der MDF-Platte ermittelt wurde.

#### *Mischplatten aus Grasfasern und Holzspänen – Deckschichtmaterial*

Die Versuchsplatten 54-57 sind ebenfalls „Mischplatten“ aus Grasfasern mit Holzspan-Deckschichtmaterial. Der Grasfaseranteil lag gleich wie bei der Mischplatte Mittelschichtmaterial bei 12,5 bis 25%. Die dabei erzeugten Dichten liegen im Bereich von ca. 800-850 kg/m<sup>3</sup> und damit sehr nahe am Referenzwert MDF.

Die Querkzugfestigkeit der Mischplatten mit geringem Grasfaseranteil (12,5%) liegen mit 92% und 83% relativ nahe an dem an der MDF-Platte gemessenen Festigkeitswert. Bei einem Grasfaseranteil von 25% wurden Werte von 64 und 57% der MDF-Referenz gemessen.

Bei der Biegezugfestigkeit waren die gemessenen Festigkeiten etwas geringer im Bereich von 54 bis 71% des Referenzwertes.

Die ermittelte Quellung nach 24 Stunden Wasserlagerung lag bei diesen Mischplatten zwischen 24% und 34%, und war damit ca. doppelt so groß wie die MDF-Referenz.

Die Festigkeiten der Deckschicht-Mischplatten erfüllen die Normanforderungen für MDF-Platten für *tragende Zwecke im Trockenbereich* gemäß EN 622-5 bei der Querkzugfestigkeit und teilweise auch bei der Biegefestigkeit. Die Grenzwerte der zulässigen Dickenquellung werden allerdings deutlich überschritten.

Die Platten 58, 62 und 63 wurden aus 100% Grasfaser hergestellt. Ziel dieser Versuche war es, den Einfluss etwaiger Aufbereitungsschritte der Grasfaser zu testen. Aus ungeklärten Gründen hat allerdings das Klebesystem dabei versagt, wodurch die erreichten mechanischen Werte gering waren (vergleichbar zu den ersten Screeningversuchen). Es wird vermutet, dass es zu einem veränderten Abbindeverhalten des Klebers kam.

Die Platte 59 (Referenzplatte) wurde aus 100% MDF-Holzfasern hergestellt. Sie erzielte die höchsten Messwerte der Versuchsreihe.

## **Zusammenfassung der Versuche im Arbeitspaket „Beleimte Platte“**

Im Laufe des Projekts wurden Erfahrungen zur Herstellung von beleimten Platten aus Grasfasern gesammelt. Die verwendete Grasfaserfraktion stammte direkt aus der geplanten mechanischen Fraktionierung der Grünen Bioraffinerie.

In der Screeningphase wurden erste Grundlagenversuche zur Herstellung von beleimten Platten aus Grasfasern gemacht. Die Versuche haben gezeigt, dass sich Grasfasern der Grünen Bioraffinerie für die Herstellung von trockenen beleimten Grasfaserplatten grundsätzlich eignen. Als Klebesystem wurde ein Leim auf Harnstoff-Formaldehyd-Basis der Fa. Egger verwendet.

Als Resultat der Grundlagenversuche wurde die Beleimung der Fasern durch eine geänderte Leimeinbringung, sowie eine längere Mischphase modifiziert. Der Leimanteil wurde ebenfalls erhöht, sowie der Ausgangswassergehalt der Grasfaser den geänderten Bedingungen angepasst.

In der Versuchsphase 2 wurde eine Reihe von Platten aus verschiedensten Grasfasern (100%) hergestellt. Der Leimanteil wurde von 10% auf 14% erhöht. Die Beleimung der Fasermatrix ist aufgrund der geringen Schüttdichte der Grasfaser allerdings eindeutig schwieriger als dies vergleichsweise bei Holzspänen der Fall ist.

Die erreichten Festigkeiten der Grasfaserplatten sind wesentlich geringer als die der MDF-Platte. Bei den Biegefestigkeiten wurden maximal 40%, bei der Querkzugfestigkeit maximal 65% des entsprechenden Referenzwertes der MDF-Platte erreicht. Die Quellung der Grasfaserplatten ist deutlich größer als die bei reinen Holzplatten. Eine signifikante Abhängigkeit der Festigkeiten der Prüfplatten von der Grasart oder der nachgeschalteten Aufbereitungsschritte ist nicht darstellbar.

In der dritten Versuchsreihe wurden die Eigenschaften von beleimten Platten untersucht, die aus einer Mischung von Grasfasern und Holzspänen erzeugt wurden. Der Leimanteil und das Beleimungsverfahren wurden im Vergleich zu der 2. Versuchsreihe nicht verändert. Es wurden zwei verschiedene Holzspanfraktionen (Deckschichtmaterial und Mittelschichtmaterial) verwendet, welche für die Plattenindustrie typisch sind.

Die Ergebnisse der Mischplatten waren hinsichtlich der erreichten mechanischen Festigkeiten zufrieden stellend. Die Querkzugfestigkeit der Mischplatten aus 12,5% Grasfaseranteil und 87,5% Holzspan-Deckschichtmaterial liegt mit 92% und 83% relativ nahe an dem an der MDF-Platte gemessenen Festigkeitswert. Bei der Biegezugfestigkeit waren die gemessenen Festigkeiten etwas geringer – im Bereich von 54% bis 71% des Referenzwertes. Die Quellung (24 Stunden Wasserlagerung) lag bei diesen Mischplatten zwischen 24%-34%.

Mischplatten mit Deckschichtmaterial erfüllen die Normanforderungen für MDF-Platten für *tragende Zwecke im Trockenbereich* gemäß EN 622-5 bei der Querkzugfestigkeit und teilweise auch bei der Biegefestigkeit. Die Grenzwerte der zulässigen Dickenquellung werden allerdings deutlich überschritten.

Alle erzeugten Grasfaserplatten hatten je nach Grasanteil ein deutliches Heu- bzw. Wiesengeruch, welches mit fortschreitender Lagerung etwas abnahm.

## **Eignung der Grasfaser als Rohstoff für die Plattenindustrie**

Die Untersuchungen anhand der Probeplatten im Technikum der Firma Egger haben in Summe folgendes Ergebnis erbracht:

- Grasfasern können grundsätzlich in Anlehnung an die Herstellung von Holzspanplatten im Trockenverfahren zu leimgebundenen Platten verarbeitet werden. Die in der Holzindustrie üblichen Leime auf Basis von Harnstoff-Formaldehyd sind für Grasfasern verwendbar. Die Beleimung von Grasfasern ist im Vergleich zu Holzspänen aufgrund der Feinheit (großes spez. Volumen) deutlich komplexer.
- Die mechanischen Parameter (Querzugfestigkeit, Biegefestigkeit) reiner Grasfaserplatten sind geringer als die der Holzfaserplatte (MDF). Insbesondere die Quellung ist bei den Grasfaserplatten deutlich erhöht.
- Eine Beimischung von Grasfasern scheint zu geringem Anteil technisch möglich. Die mechanischen Festigkeiten von „Mischplatten“ liegen im akzeptablen Bereich.
- Reine Grasfaserplatten haben eine intensive grüne bis grünbraune Farbe und einen typischen Geruch.

Auf Basis des bisher gesammelten Wissens ist ein unmittelbarer Vorteil der reinen Grasfaserplatten gegenüber Holzfaserplatten bzw. Holzspanplatten, welcher auf Basis mechanischer oder physikalischer Eigenschaften ableitbar wäre, nicht zu argumentieren.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, dass mit anderen Klebersystemen bessere mechanische Kennwerte erzielbar wären. Im Rahmen dieses Projekts hat sich das Team auf Leime auf Basis von Harnstoff-Formaldehyd konzentriert, da diese sehr kostengünstig und in der Plattenindustrie weit verbreitet sind. Die Beimischung von Grasfaserfraktionen zu hölzernen Plattenrohstoffen wäre aus technischer Sicht möglich. Beleimte Platten aus Holz-Grasfasermischplatten erzielen bei gewissen Mischungsverhältnissen akzeptable mechanische Parameter sowie Geruchsemission.

Allerdings besteht auch in diesem Bereich noch der Entwicklungsbedarf um insbesondere das Quellverhalten von Mischplatten zu verbessern. Der Anteil der Grasfaser dürfte bei einer derartigen Anwendung sicher kleiner als 25% sein, und wahrscheinlich im Bereich von 10-12% liegen.

Jedoch haben Grasfaserplatten eine interessante Optik, welche eventuell für Nischenprodukte mit geringen Absatzmengen interessant wären.

### ***Wirtschaftliche Aspekte betreffend den Einsatz von Grasfasern in Platten***

Die Holzplattenindustrie unterliegt weltweit einem großen Wettbewerb, welcher sich auch im Preis des Basisrohstoffes Holz abbildet. Gegenwärtig werden in der Holzplattenindustrie ca. 35 €/t TS Holz bezahlt. Eine Ressourcen-Konkurrenzsituation entsteht insofern, da Holz als Brennstoff (Holzpellet und Holzhackgut) sich einer steigenden Beliebtheit erfreut.

Die Kosten für „produktionsfertige“ Holzfasern für MDF Platten (inklusive Refiner, Trocknung und Beleimung) liegen bei ca.150 €/t TS (Quelle Fa. Egger). Zu Beginn des Projektes ging man davon aus, dass Grasfasern in einem lukrativen Erlösszenario mit ca. 120 €/t in den Faserplattenprozess eingeschleust werden.

Diese Verwertungsoption besteht für die Grasfasern auf Basis der nun vorliegenden Untersuchungsergebnisse zur Zeit nicht, da Grasfaserplatten im Vergleich zu Holzfaserplatten geringere mechanische Eigenschaften aufweisen und monetäre Anreize durch besonders günstige Grasfaserpreise zur Zeit nicht gegeben sind. Weitere Details dazu finden sich im AP6 „Wirtschaftlichkeit“.

## GRASFASERN ALS FÜLLSTOFF FÜR AUSGEWÄHLTE BAUPRODUKTE (AP-5)

### **Einleitung und Überblick der durchgeführten Materialversuche**

Ziel der im folgenden Kapitel beschriebenen Grundlagenversuche war es, den Einsatz von vermahlenden Grasfasern als Füllstoff in verschiedenen Bauprodukten im Labormaßstab zu untersuchen. Die Abwicklung dieser Untersuchungen erfolgte in enger Kooperation mit dem renommierten österreichischen Produzenten von Bauprodukten, der *Fa. MUREXIN AG* am Standort Wiener Neustadt.

Die im AP 2.3 (Vermahlung) dargestellten Grasfaserfraktionen wurden als Rohstoff für die Grundlagenversuche der Screeningphase 1 verwendet.

Die vermahlenden Grasfasern wurden konkret in Versuchen, welche folgenden Anwendungs- bzw. Produktbereichen zugeordnet werden, eingesetzt:

- a) Dispersionsfarbe (wässrige Basis)
- b) Wandspachtelmasse
- c) Verschiedene Kleber
  - Linol- und Teppichkleber auf wässriger Basis
  - Parkettklebstoff
  - Bauklebstoff auf Dispersionsbasis (Fassadenkleber)
  - Fliesenkleber auf Basis eines Epoxidharz-Systems
- d) Beimischung in einer Nivelliermasse
- e) Optikeffekte in Beschichtungssystemen

**Folgend werden diese Grundsatzversuche der Screeningphase 1 im Überblick kurz und prägnant beschrieben und die jeweiligen Ergebnisse dargestellt und interpretiert.**

### **Ergebnisse der Screeningphase**

#### ***Beimengung von gemahlener Grasfaser in einer Dispersionsfarbe***

Der Versuch, Grasfasern als Füllstoffe in Innendispersionsfarben einzusetzen, war nicht erfolgreich, weil die Fasern die farbgebenden Eigenschaften der Grundfarbe stark beeinträchtigten und zu einer dominanten grünen bis grünbraunen Eigenfärbung der Dispersion führten. Die entstandenen Qualitäten waren schlecht zu verarbeiten und optisch nicht attraktiv. Das weitere farbliche Abtönen der Farbe war gestört und nicht zufrieden stellend. Es wurden auch Zweifel hinsichtlich der Beständigkeit und Lagerungsfähigkeit der Mischung angemeldet.

#### ***Beimengung von gemahlener Grasfaser in einer Wandspachtelmasse***

Es wurde eine Probemischung einer Wandspachtelmasse mit ca. 10% Grasfaseranteil hergestellt. Bei der Verarbeitung der Wandspachtelmasse ergaben sich Probleme durch die starke Wasseraufnahme der Faser. Eine geringere Beimengung von Grasfasern wurde aus praktischen Gesichtspunkten nicht erwogen und deshalb nicht untersucht.

## **Beimengung von gemahlener Grasfaser in verschiedene Kleber**

### Linol- und Teppichkleber wässriger Basis (Klebetchnik)

Versuch 1: Der bestehende Füllstoff wurde durch 5% fein vermahlener Grasfaserfraktion ersetzt.

Der Versuch 1 brachte folgendes qualitatives Ergebnis:

- Einarbeitung der Grasfaserfraktion war ohne Probleme erzielbar
- Kleber bei der Viskositätsmessung wesentlich zu dick
- Viskosität steigt auch nach der Lagerung stark an
- Die Verarbeitungszeiten (Einlegezeiten) sind wesentlich kürzer als in der Originalrezeptur
- Die Klebermischung mit Grasfasern wirkt bereits beim Einlegen eines Linolbelages extrem trocken
- Etwas unangenehmer Geruch

Versuch 2: Füllstoff wurde durch 5% Gras fein vermahlen ersetzt und der Verdicker reduziert.

Ergebnis: gleiches Ergebnis wie Versuch LF/1; auffällig ist auch, dass die Rheologie des Ansatzes LF/1 wesentlich unterschiedlichere Werte ergibt als der Originalkleber.

Versuch 3: Füllstoff wurde durch 5% Gras vermahlen ersetzt und der Verdicker reduziert.

Ergebnis: gleiches Ergebnis wie LF/1 und LF/2.

### Parkettklebstoff 2K-PUR

Originalansatz: Viskosität liegt im Sollbereich mit 146000 mPas.  
Verarbeitung in üblicher Qualität.

Ansatz 2K-PUR/1: Füllstoff durch 5% Gras vermahlen ersetzt.  
Viskosität liegt mit 166000 mPas über Sollbereich.  
Verarbeitung bereitet Probleme, weicht von herkömmlichen Werten ab

Ansatz 2K-PUR/2: Füllstoff durch 10% Gras vermahlen ersetzt.  
Viskosität liegt mit 173000 mPas weit über Sollbereich.  
Verarbeitung problematisch.

Ansatz 2K-PUR/3: Füllstoff und Verdicker durch 7% Gras vermahlen ersetzt.  
Material wurde ausgeheizt und evakuiert.  
Verarbeitbarkeit in Ordnung.  
Viskosität liegt mit 96000 mPas im Sollbereich, jedoch die Riefenstandfestigkeit zeigt eine messbare Verschlechterung.

Die Klebermischungen wurden hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften, Scherfestigkeit (DIN 281) und Viskosität getestet:

Die Abbildung 62 zeigt die für die drei verschiedenen Parkettkleber ermittelten Scherfestigkeiten zu verschiedenen Stadien der Abbindeung. Die Referenzwerte der originalen Rezeptur des Parkettklebers sind blau dargestellt.

Die Beimengung von gemahlener Grasfasern beim Parkettkleber erzielte vergleichbare Festigkeiten wie die Originalrezeptur. Es wurde sogar ein leichter Anstieg der

Scherfestigkeiten erreicht. Die Ergebnisse der Viskositätsmessung wurden in Abbildung 60 zusammengefasst.

Die Messwerte zeigen einen starken Einfluss der beigemengten vermahleneen Grasfaser hinsichtlich der Viskosität des Klebers auf.

Im Versuch 1 und 2 wurde der Füllstoff der Klebermischung durch einen reinen Grasfaseranteil ersetzt und der beinhaltete Verdickeranteil unverändert beigefügt. Die erzielten Viskositäten liegen über dem Sollbereich von 90 –150 Pa.

Im Versuch 3 wurde der in der Rezeptur vorgesehene Verdicker weggelassen und nur mit einer Grasfaserzugabe von 7% gearbeitet. Es zeigt sich, dass dadurch die Viskosität in den Sollbereich verschoben werden kann. Allerdings wurde die Riefenstandfestigkeit des Klebebildes als messbar schlechter klassifiziert.

**Scherfestigkeiten Parkettklebstoff PU 2 K nach DIN 281**

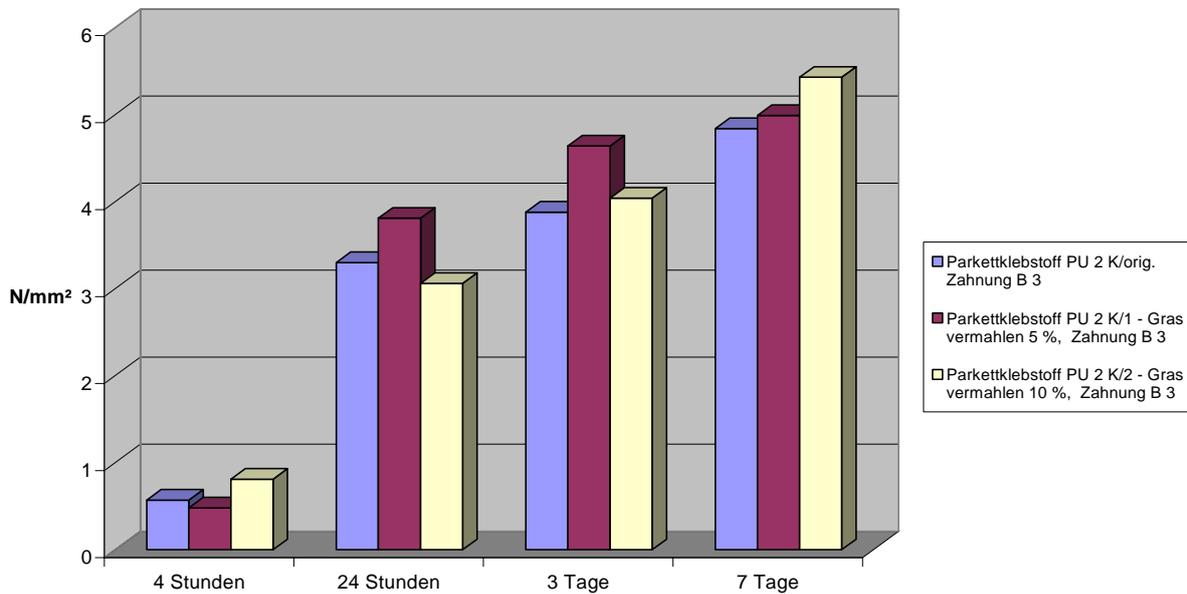


Abbildung 60: Scherfestigkeit verschiedener Parkettklebermischungen

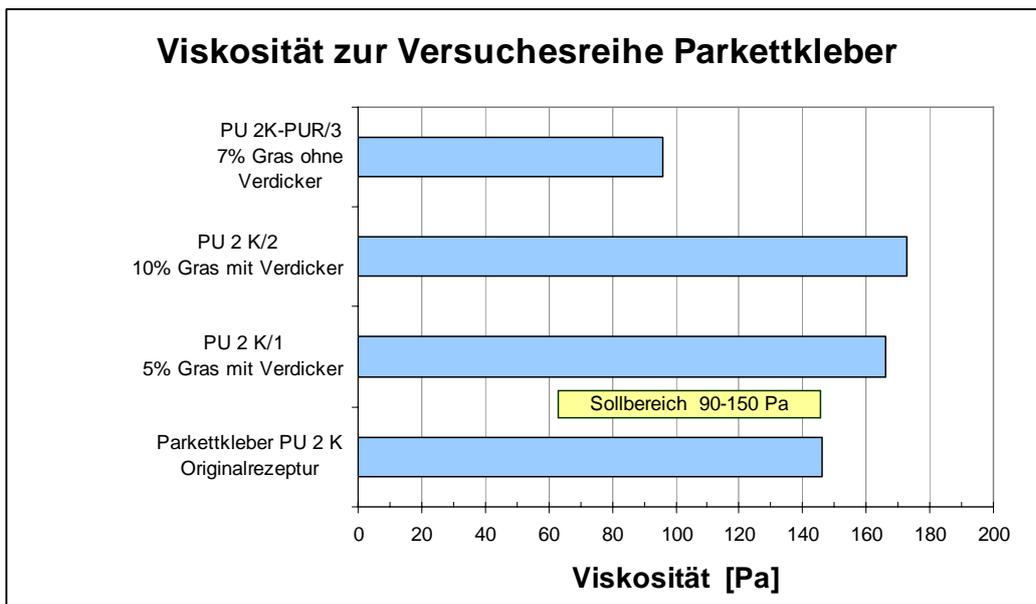


Abbildung 61: Viskosität verschiedener Parkettklebermischungen mit Grasfaser

Auffällig ist auch die starke grünliche Einfärbung des Klebers, welche durch die Beimengung von gemahlene Gräsern verursacht wird. Da ein Parkettkleber eine holzähnliche Einfärbung haben soll, damit eine Ton-in-Ton-Wirkung mit dem Parkett erzielt wird, wäre der Farbton zu korrigieren. Die Beimengung zusätzlicher Farbstoffe würde allerdings die Produktkosten erhöhen. Die Abbildung 62 zeigt den Ansatz 3 im Vergleich zum Originalansatz.



Abbildung 62: Vergleich Parkettkleber; links Originalrezeptur, rechts mit gemahlener Grasfasern

Die Beimengung gemahlener Grasfasern in Parkettkleber wäre hinsichtlich der erforderlichen Parameter weiter zu optimieren. Wesentlicher Ansatzpunkt wäre die Einstellung der erforderlichen Viskosität und Riefenbeständigkeit durch eine Optimierung des Verhältnisses von Grasfaser und Verdicker.

Grundsätzliche Probleme im Zusammenhang mit der Grasfaser in Parkettklebern ergeben sich durch die starke Farbverschiebung, sowie durch den veränderten Geruch des Produkts.

### Spezialfassadenkleber 35 F

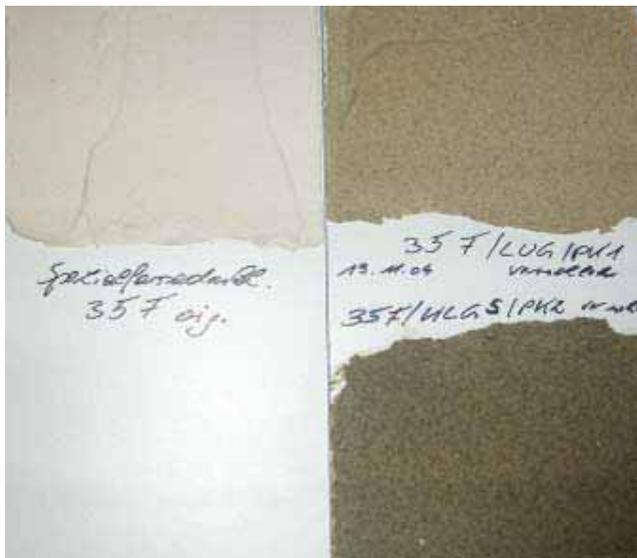


Abbildung 63: Spezialfassadenkleber mit Grasfaser als partieller Füllstoffersatz.

Bei den Spezialfassadenklebern wurden sowohl die Luzernegras- als auch die Klee grasproben eingesetzt, und zwar jeweils mit Konzentrationen von 10% bzw. 3%. Beim 10%-Ansatz wurde jeweils die entsprechende Menge an Füllstoff ersetzt. Diese Formulierungen waren jedoch nicht verarbeitbar und daher auch nicht testbar. Beim Einsatz von nur 3% Grasfaser als Füllstoffersatz musste die Wassermenge ein wenig erhöht werden. Diese Formulierungen konnten auch getestet werden.

Beim Auftragen auf eine Resopalplatte ließ sich der Ansatz mit Klee gras wesentlich schlechter verteilen. Bei längerer Lagerdauer in diesen Versuchen stieg die Viskosität deutlich an .

Der entstandene Kleber hatte einen subjektiv als unangenehm empfundenen Geruch. Durch längere Lagerung traten Schwierigkeiten im Bereich der Konservierung auf (leichter Fäulnisgeruch).

### Bauklebstoff auf Dispersionsbasis

Zunächst wurden aus einer breiten Produktionspalette jene Produkte ausgewählt, in denen es Sinn machen würde, Rohstoffe durch Grasfasern zu ersetzen. Auf Grund der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung der Produkte wurde entschieden, die Grasfasern sowohl in „konventionellen“ Produkten, als auch in Wasser verdünnbaren Systemen auszutesten.

### Versuch an einem Bauklebstoff auf Dispersionsbasis

Dazu wurde die in der Praxis erprobte Rezeptur des genannten Produktes herangezogen und 3% des Füllstoffes (in diesem Fall Kalksteinmehl) durch dieselbe Menge „KLGs PK2, vermahlen“ ersetzt.

*Ergebnis:* Bereits ein Laboransatz zeigte, dass eine solche Rezeptänderung zu Problemen führen würde, da es wesentlich aufwändiger ist, die Grasfasern in das Produkt einzuarbeiten als den üblichen Füllstoff. Nach einer Viskositätsmessung konnte festgestellt werden, dass diese stark angestiegen war (ungewünscht).

Auch ein anwendungstechnischer Versuch hat gezeigt, dass die Klebkraft (vermutlich durch das Eindicken des Produktes) dieser Version des Klebstoffes deutlich geringer war als im „Normalfall“.

### Versuch an einem Fliesenkleber auf Basis eines Epoxidharz-Systems

Dazu wurde die in der Praxis erprobte Rezeptur des genannten Produktes herangezogen und versucht, 10% bzw. 5% des Füllstoffes (in diesem Fall Quarzsand) durch dieselbe Menge „KLGs PK2, vermahlen“ zu ersetzen.

*Ergebnis:* Der Versuch mit 10% des gegenständlichen Grastyps wurde abgebrochen, da eine Einarbeitung unmöglich war. Beim Versuch mit 5% wurde ein ähnliches Ergebnis erzielt wie beim Ersatz von Kalksteinmehl in einem Klebstoff auf Dispersionsbasis. Auch in ein System auf Basis eines Epoxidharzes wurde ein Viskositätsanstieg festgestellt. Im konkreten Versuch war eine praxisgerechte Anwendung des Klebers dadurch nicht mehr möglich.

### **Beimengung von Grasfasern in Nivelliermasse bzw. Ausgleichsmassen**

Nivelliermasse bzw. Ausgleichsmassen werden in der Praxis zum Ausgleich von Bodenunebenheiten vor der Aufbringung von diversen Bodenbelägen aufgebracht. Das Fließverhalten der Mischungen ist so, dass sich eine selbst nivellierende Wirkung einstellt. Das Abbindverhalten ist mineralisch meist durch einen hohen Zementanteil verursacht. Wesentliche Produkteigenschaften sind Ausbreitmaß, Abbindverhalten; Schwundverhalten und Wasserversorgung im Zuge des mineralischen Abbindvorgangs.

Für die Versuche wurden die Grasfaserproben LUG PK1 Luzerne und KLGSPK2 Klee gras Silage verwendet, welche mit einer Prallmühle vermahlen worden waren. Folgende Versuche wurden durchgeführt:

Versuch 1: in FZ99 Rezeptur wurde LUG PK1 als Methylcellulose 1:1 ausgetauscht.

Versuch 2: KLGSPK2 wurde in FZ99 als Füllstoff ausprobiert

#### Durchgeführte Analysen:

An den Proben wurde das Ausbreitmaß ABM, die Tropfzeit, Oberflächengüte, sowie eine Zeitreihe der Biegefestigkeit ( $\beta$ BZ) und der Druckfestigkeit ( $\beta$ D) zu verschiedenen Abbindzeitpunkten gemessen. Die Messergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

Produkt / Analyse	Einheit	Referenzwert laut Original-Rezeptur	Versuch1 LUG PK1 gemahlen als Thyloseersatz	Versuch2 1% KLGSPK2 gemahlen
Ausbreit-Maß (ABM)	cm	18,8-19,3	-	18,2-18,7
Topfzeit	Minunten	24	Setzt nach 10´stark ab	25-30
Rohdichte n. 7d	g/cm <sup>3</sup>	1,798	1,896	1,7519
Oberfläche		OK	-	OK
<b>Biegezugfestigkeit</b>				
$\beta$ BZ 1d	N/mm <sup>2</sup>	4,15	3,91	3,86
$\beta$ BZ 3d	N/mm <sup>2</sup>	6,5	5,44	4,91
$\beta$ BZ 7d	N/mm <sup>2</sup>	7,02	6,49	5,32
$\beta$ BZ 28d	N/mm <sup>2</sup>	10,4	9,94	8,59
<b>Druckfestigkeit</b>				
$\beta$ D 1d	N/mm <sup>2</sup>	17,19	19,48	13,61
$\beta$ D 3d	N/mm <sup>2</sup>	18,9	23,5	17,18
$\beta$ D 7d	N/mm <sup>2</sup>	26,18	27,49	21,2
$\beta$ D28d	N/mm <sup>2</sup>	38,92	35,8	25,24

Tabelle 17: Messergebnisse der durchgeführten Versuche Nivelliermasse

Auffällig war, dass sich beim Aushärten der Riegel an der Oberfläche der Prismen ein 1mm Wasserfilm bildete. Beim Ausformen der Prismen sah man, dass sich das Grasfasermaterial 2-2,5 mm abgesetzt hatte.

Beim **Versuch 1** wurde versucht, den kompletten Anteil an Methylzellulose durch einen adäquaten Grasfaseranteil (1:1) zu ersetzen. Das erreichte Fließmaß war für eine Anwendung als Nivelliermasse nicht geeignet. Es bildeten sich während der ersten 7 Tage Lagerung quer über die ganzen Prismen Risse. Die Ursache dieser Risse ist nicht geklärt, es könnten allerdings Schrumpfungprozesse dafür verantwortlich sein.

Beim **Versuch 2** wurde Klee gras (KLSG PK2 vermahlen) als Füllstoff verwendet und eine Versuchsreihe mit unterschiedlichen Grasfaseranteilen erstellt (Einsatz von 0,5%, 1%, 1,5%, und 3%), um einen zweckmäßigen Grasfaseranteil anhand des Fließmaßes abzuleiten.



Abbildung 64: Prismenprüfkörper des Versuchs 1 (Grasfaser anstatt Methylcellulose)

Diese Reihe zeigte, dass mit 1% KLSG PK2 ein geeignetes Ausbreitmaß und eine gute Tropfzeit erzielt werden kann. Deshalb wurden die Festigkeitswerte an einer Probe mit einem Faseranteil von 1% erhoben.

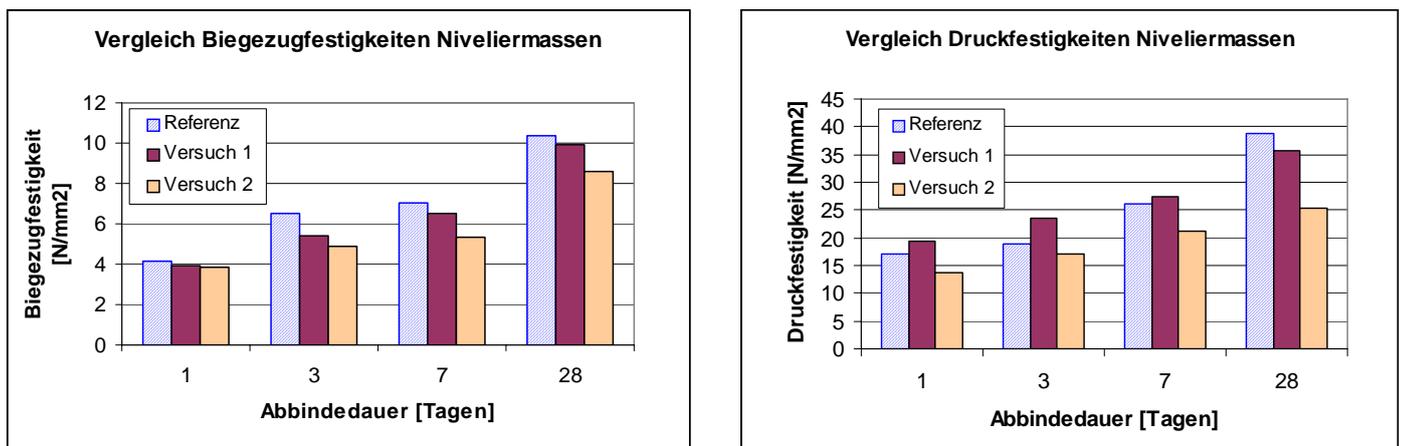


Abbildung 65: Zeitreihe der Biegezugfestigkeiten und Druckfestigkeit für Nivelliermassen

Für die Biegezugfestigkeit liegt eine Reihe von Werten vor, welche an Prüflingen nach 1, 3, 7 und 28 Tagen Abbindezeit, ermittelt wurden. Das Originalrezept (FZ99) schneidet bei den Biegezugfestigkeiten am besten ab. Die Zugfestigkeiten der Rezepturmischungen mit gemahlenem Grasfaseranteil (1 und 2) erzielen etwas kleinere Werte, wobei sich der Unterschied in der Festigkeit recht proportional zum Gesamtwert entwickelt.

Die Messwerte der Druckfestigkeit zeigen einen ähnlichen Gesamteindruck, allerdings sind die Unterschiede zwischen der Referenzprobe und dem Versuch 2 etwas größer. Interessant ist die Tatsache, dass die Versuchsmischung 1 zu Beginn (nach 1, 3 und 7 Tagen) etwas besser als die Referenzprobe abschnitt. Die Ursache dafür ist noch unklar.

Der unmittelbare Produktvorteil durch die Beimengung von Grasfasern zu Nivelliermassen ist auf Basis der ersten Ergebnisse nicht ersichtlich. Weder ist eine bessere Verarbeitbarkeit abzuleiten, noch gestiegene materialtechnische Eigenschaften.

Da die Oberflächen der Grasfasern noch Spuren von Zuckern und organischen Säuren aufweisen, kann diese Beimengung bei mineralischen Bindemitteln eine Beeinflussung des Abbindeverhaltens verursachen. Bei mineralischen Bindesystemen auf Basis von Zement kann Zucker das Abbindeverhalten verzögern.

### **Optikeffekte durch Grasfasern in Beschichtungssystemen**

Dazu wurden 2% „KLGs PK2, vermahlen“ in einer 2-komponentigen Beschichtung auf Epoxidharz-Basis ausgetestet. Nach dem Anmischen (Zugabe der Härter-Komponente und Mischen bis zur Homogenität) wurde die genannte Menge der Grasfasern mittels Quirl eingerührt und mittels Zahnpachtel unmittelbar neben der Mischung ohne Zusatz von Grasfasern appliziert.

*Ergebnis:* Von der Verarbeitung her, also beim Aufspachteln und nachträglichen „Abstacheln“ konnten keine negativen Erscheinungen festgestellt werden. Lediglich der Farbton der Beschichtung hatte sich deutlich verändert.

Die nachfolgenden Abbildungen dokumentieren dieses Ergebnis:



Abbildung 66: Beschichtungssystem auf Epoxidharz-Basis; Grasfaser als „optischer Effekt“; linke Bildhälfte ohne, rechts mit Grasfaser Beimengung

### Bodenbeschichtung 2K-PUR

Es wurden 3% von KLGs PK2 vermahlen in die Bodenbeschichtung 2K-PUR eingemischt und in verschiedenen Farbtönen ausprobiert. Die Viskosität zum Vergießen der Beschichtungen dürfte ausreichend sein. Das Sedimentationsverhalten oder Aufschwimmen der Gräser wird noch getestet. Die folgenden Abbildungen zeigen die Testkörper.

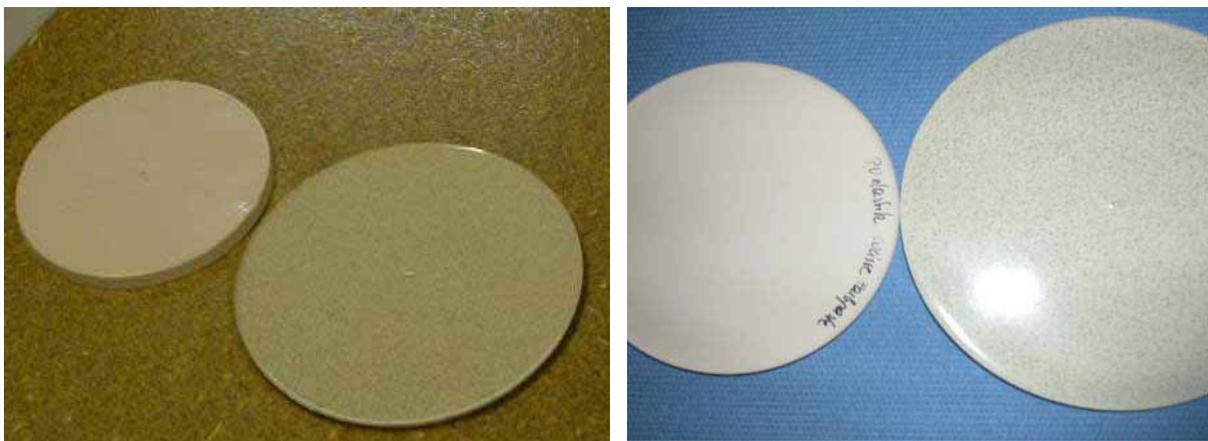


Abbildung 67: Optische Effekte bei der Bodenbeschichtung 2K-PUR

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ein Einsatz von Grasfasern zur Erzielung optischer Effekte in ausgewählten Produkten durchaus möglich scheint.

### **Beimengung von modifizierten Grasfasern in Nivelliermasse bzw. Ausgleichsmassen**

In Anlehnung an die in der Screeningphase durchgeführten Versuche mit unbehandelter Grasfaser wurde die Überprüfung einer physikalisch-chemisch hydrophobierten Grasfaserfraktion hinsichtlich eines Einsatzes in Bauprodukten durchgeführt.

Es wurde das Rezept Nivelliermasse „Object plus“ als Referenz herangezogen.

Als erstes wurde die Einsatzmenge bestimmt. Die beste Einsatzmenge an Grasfaser wird ermittelt, in dem man die Zusatzmenge variiert, bis man das erwünschte Ausbreitmaß erzielt. In den Formulierungen wurde Methylcellulose (ein Füllstoff) ersetzt.

#### Durchgeführte Analysen:

An den Proben wurde das Ausbreitmaß (ABM), die Tropfzeit, Oberflächengüte, sowie eine Zeitreihe der Biegefestigkeit (BZ) und der Druckfestigkeit (D) zu verschiedenen Abbindezeitpunkten (1 bis 28 Tage) gemessen. Die Messergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

*Tabelle 18: Versuche zur Ermittlung des optimalen Ausbreitmaßes beim Einsatz modifizierter Grasproben*

Messgröße	Probe 1	Probe 2	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5
Menge der Grasfasern in % auf 200g	<b>+0,5%</b>	<b>+1,0%</b>	+1,5%	+2,0%	+2,5%	+3,0%
Ausbreitmaß (cm)	<b>18,2-18,8</b>	<b>18 -18,1</b>	17,7-18,0	17,2 - 17,7	17,0 -17,3	17,0 -17,1
Topfzeit (min)	<b>24´</b>	<b>21´</b>	20´	18´	15´	15´
Optische Beurteilung	<b>Konsistenz Okay</b>	<b>Konsistenz zäh, Okay</b>	Konsistenz zäh, Okay	Sehr zähe Konsistenz	Sehr dicke Konsistenz	Sehr dicke Konsistenz

Die fettgedruckten Daten wurden für die Herstellung der Prüfkörper herangezogen.

*Tabelle 19: Ausbreitmaße, Druck- und Biegezugfestigkeit der untersuchten Prüfkörper*

Messgröße	Einheit	Probe 1	Probe 2	Referenzprobe
Zusatz an Grasfasern in Prozent auf 200 g	[%]	+0,5	+1,0	0,0
Ausbreitmaß (ABM) (Einsatzmenge in 1600g)	[cm]	17,7 – 18,0	17,0	18,2
<b>Biegefestigkeit BZ</b>				
BZ 1d	[N/mm <sup>2</sup> ]	3,21	2,63	3,8
BZ 7d	[N/mm <sup>2</sup> ]	5,62	5,62	8,65
BZ 28d	[N/mm <sup>2</sup> ]	8,19	6,10	10,7
<b>Druckfestigkeit D</b>				
D 1d	[N/mm <sup>2</sup> ]	14,91	11,06	16,35
D 3d	[N/mm <sup>2</sup> ]	27,18	20,23	30,43
D 28d	[N/mm <sup>2</sup> ]	34,24	26,69	37,31

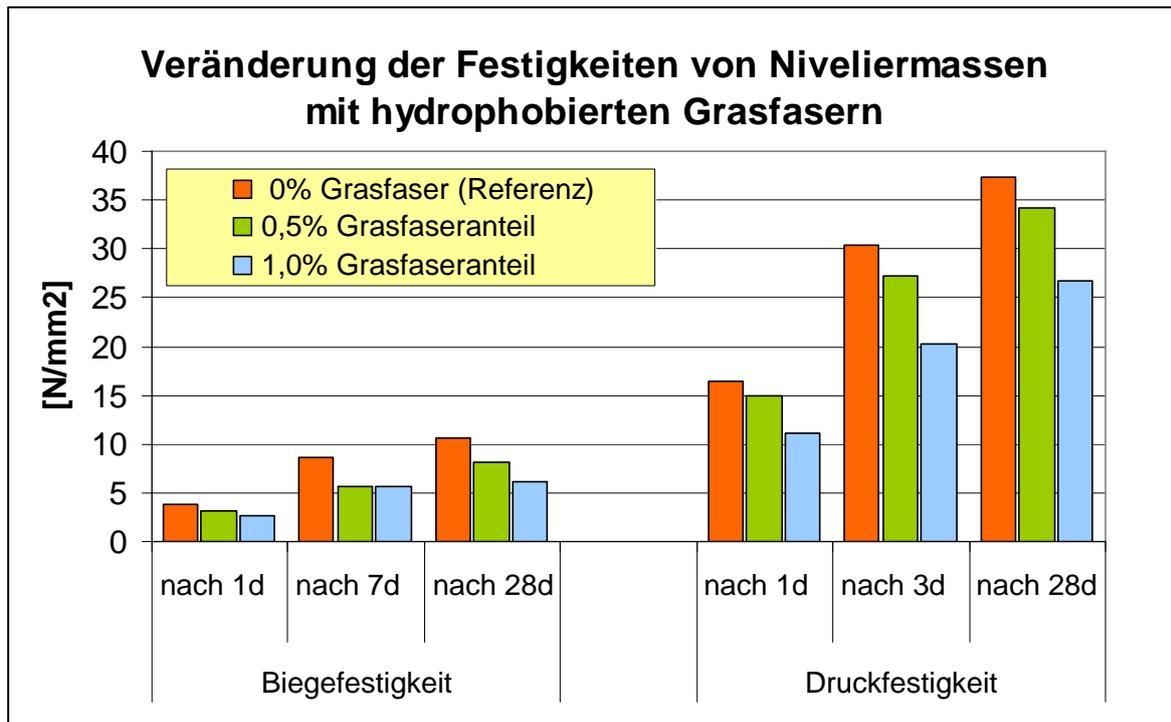


Abbildung 68: Veränderung der Biegefestigkeit und Druckfestigkeit durch Zusatz von hydrophobierten Grasfaserproben in Niveliermassen

Die obige Abbildung zeigt die Eigenschaften der Referenzprobe relativ zu jenen Proben mit modifizierter Grasfaser als Füll- bzw. Begleitstoff. Es zeigt sich, dass bereits geringe Mengen an Grasfaser die Eigenschaften der Prüfkörper deutlich negativ beeinflussen. Somit erweisen sich auch die modifizierten Grasproben derzeit nicht als Alternative zu herkömmlichen Füll- oder Begleitstoffen für den Einsatz in Nivelier- bzw. Ausgleichsmassen.

### **Versuch an einem Bauklebstoff auf Dispersionsbasis mit „hydrophobierten“ Grasfasern**

Dazu wurde abermals die Rezeptur des genannten Produktes herangezogen und 3% des Füllstoffes (in diesem Fall: Kalksteinmehl) durch dieselbe Menge „Grasfaser hydrophobiert“ ersetzt.

**Ergebnis:** Im Gegensatz zu den Versuchen mit „KLGS PK2, vermahlen“ war eine Einarbeitung zwar einfacher, allerdings immer noch nicht so, dass ein Austausch produktionstechnisch in Frage kommen würde.

Die Viskosität war ebenfalls, wie auch schon in den Versuchen mit „KLGS PK2, vermahlen“, angestiegen, wenn auch nicht mehr in einer derart eklatanten Form. Hinsichtlich der Verwendung des „Klebstoffes“ im Praxiseinsatz konnte abermals festgestellt werden, dass der Einsatz von Grasfasern zu einer Verminderung der Klebkraft führt.

Auf Grund der durchgeführten Versuche und der daraus resultierenden Ergebnisse kann ausgesagt werden, dass auch die hydrophobierten Grasfasern, für einen Einsatz im Bereich der Produktionspalette „Bautechnik“ der Firma Murexin derzeit nicht in Frage kommen.

### **Spezial-Fassadenkleber 35 F**

Grasfasern hydrophobiert	Einsatzmenge 3% (Füllstoff reduziert, Wassermenge erhöht)	Sollwert der Viskosität erreicht sogar eine Spur dünner
--------------------------	---	--

Bei dieser Versuchsreihe konnte auch von den hydrophobierten Grasfasern keine größere Menge als 3% eingesetzt werden. Dieser Versuch wirkte anfänglich nicht so pampig wie die ersten Ansätze mit Klee- und Luzernegras, allerdings hatte die Versuchsmischung nach ca. 24 Std. wieder eine pampige Konsistenz angenommen. Nicht nur die Konsistenz verschlechterte sich durch den Einsatz von Grasfasern, sondern auch die Stabilität des Produktes, welche sich durch den deutlichen Anstieg der Viskosität innerhalb von 20 Tagen bemerkbar machte.

Der Grasfüllstoff in Kombination mit dem Bindemittel ergab subjektiv einen etwas unangenehmen, sehr gewöhnungsbedürftigen Geruch im Vergleich zum geruchsneutralen Originalprodukt.

Die Farbgebung des Produktes änderte sich wiederum markant wie auf den folgenden Fotos dargestellt ist:

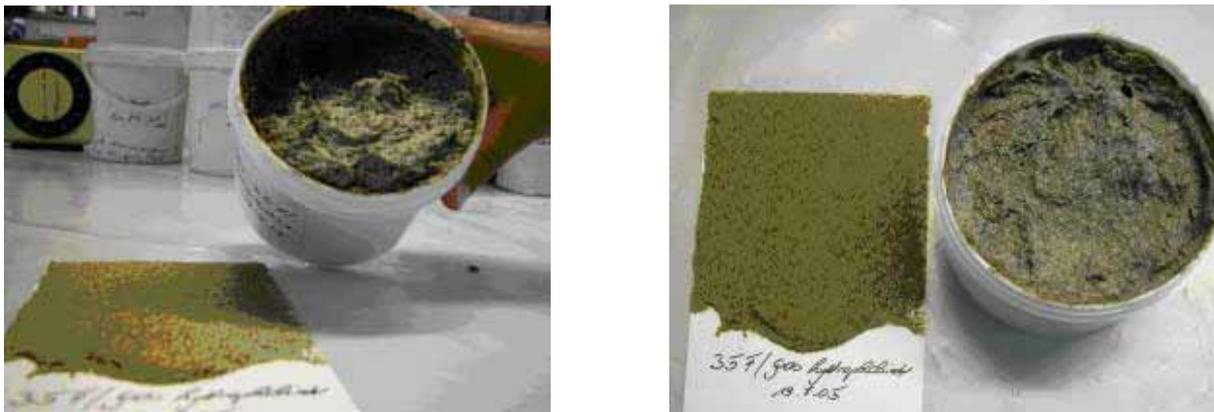


Abbildung 69: Spezialfassadenkleber mit hydrophobierter Grasfaser (3%) versetzt

Abschließend kann gesagt werden, dass weder Klee-, Luzernegras noch die hydrophobierte Grasfaser nach den durchgeführten Versuchen für den Einsatz in bauchemischen Produkten zum gegebenen Zeitpunkt geeignet erscheint.

### **Versuche des Einsatzes von Grasfasern bei Innendispersionsfarben**

2,5% der zur Verfügung stehenden Qualität der hydrophobierten Grasfasern wurden in eine Innendispersionsfarbe „PROFIWEISS“ eingearbeitet und aufgezogen bzw. aufgerollt.

Hinsichtlich eines Einsatzes wurde versucht, eine „Struktur Dispersionsfarbe“ herzustellen. Diesbezüglich wurde festgestellt, dass eine Verarbeitung zwar möglich ist, jedoch in weiterer Folge ein „Schutzanstrich“ (in diesem Fall ein weiterer Anstrich mit „Profiweiss“) notwendig war, da ansonsten keine Haltbarkeit der Oberfläche gewährleistet war.

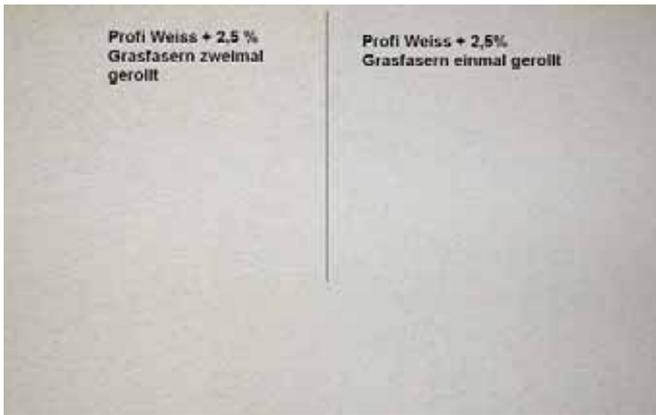


Abbildung 70: Profiwiss Wandfarbe mit Grasfasern als Füllstoff

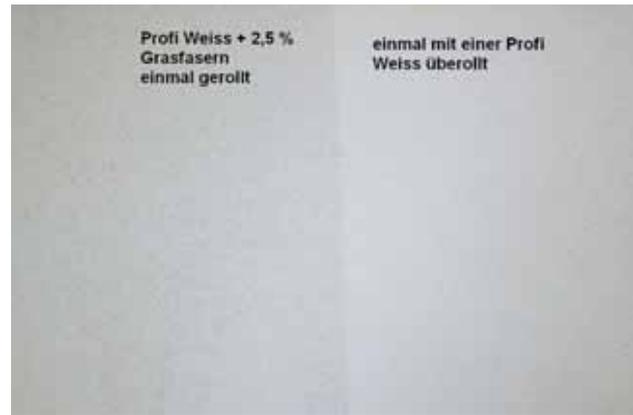


Abbildung 71: Profiwiss Wandfarbe mit Grasfasern als Füllstoff, 1-fache Übermalung mit Standardfarbe weiß

Weiters wurde festgestellt, dass die Verarbeitung dieser „Struktur Dispersionsfarbe“ generell recht schwierig ist. Eine Spritzapplikation ist aufgrund der Fasern technisch nahezu unmöglich und auch eine Applikation mittels Rolle ist aufgrund der Grasfasern relativ schwierig.



Abbildung 72: Deckkraft-Tests: Wandfarbe mit modifizierten Grasfasern als Füllstoff



Abbildung 73: Schwierigkeiten bei der Applikation der Farbe mit Grasfaserfüllstoff

Zudem wurde ein Viskositätsanstieg festgestellt, der sich ebenfalls negativ auf die Verarbeitungseigenschaften ausgewirkt hat.

Auch die Erstellung einer Rezeptur einer „Wandspachtelmasse“ ist auf Grund der Saugfähigkeit der verwendeten Grasfasern technisch nicht sinnvoll umsetzbar. Auf Grund dieser Ergebnisse wurden keine Lagertests hinsichtlich eventueller Fäulnis- oder Schimmelbildung durchgeführt.

## **Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse**

Ein erstes Screening umfasste den exemplarischen Einsatz von gemahlene(n) Grasfasern in Beispielrezepturen der Produktgruppen: *Farbe, Spachtelmassen, verschiedene Klebesysteme (Parkettkleber, Linolkleber, Fassadenkleber), Nivelliermassen, diverse Bodenbeschichtungen*, um mögliche Einsatzgebiete zu identifizieren.

Dabei ging man vom Ansatz aus, dass bestehende Additive oder Füllstoffe durch gemahlene Grasfasern ersetzt werden. Die eingesetzten Fasern wurden primär nur zerkleinert (vermahlen), eine weitere Modifikation der Oberfläche wurde in dieser ersten Versuchsreihe nicht durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigten ein sehr vielschichtiges Bild. In ausgewählten Bereichen der untersuchten Produktbereiche schien eine Beimengung möglich, wenn verschiedene Problemstellungen erfolgreich gelöst werden könnten.

Jedenfalls wurde die Notwendigkeit der Anpassung bzw. Verbesserung folgender Grasfaser-eigenschaften aufgezeigt: **Wasseraufnahme, Geruch und Farbverhalten**.

Durch eine einfache physikalisch-chemische Modifikation der Grasfasern wurde die Wasseraufnahmefähigkeit reduziert, sowie der Geruch der Fasern positiv beeinflusst (s.o.). Die modifizierten Fasern wurden wiederum in ausgewählten Produkten der ersten Screeningphase eingesetzt (siehe oben).

Zur Veränderung der Wasserrückhalteeigenschaften der Grasfasern wurden diese physikalisch-chemischen Modifikationsmethoden (Druck und Temperatur bzw. Temperatur) unterzogen. Eine Reduktion des Wasserrückhaltevermögens um über 40% konnte erreicht werden. Trotz dieses positiven Ergebnisses konnten die Grasfasern im Einsatz in den ausgesuchten Produktparten keine zufrieden stellenden Ergebnisse erzielen.

Ein Einsatz in den untersuchten Produkten (Nivellier- und Ausgleichsmassen, Kleber auf Dispersionsbasis, Spezialkleber, Dispersionsfarbe) kommt wegen folgender Gründe derzeit nicht in Frage:

- Der Ersatz von Füll-/Begleitstoffen ist nur in geringen Mengen möglich (Wirtschaftlichkeit der Umstellung fraglich)
- Produktspezifikationen können nicht eingehalten werden, es kommt zu einer Verschlechterung der Produkteigenschaften
- Formulierungen müssten verändert/angepasst werden, was zu zusätzlichen Kosten führen würde (Produktionslinien, weitere Hilfsstoffe)
- Unerwünschter Anstieg der Viskosität des Produktes ergeben Probleme bei der Verarbeitung des Produktes
- Unerwünschte Farbveränderung im Produkt
- Geruch der Fasern ist noch deutlich wahrnehmbar (heuartiger Geruch, weniger intensiv als in der Screeningphase)

Obwohl durch die Modifikation der Grasfasern durchwegs bessere Ergebnisse im Einsatz von Bauprodukten als mit der unbehandelten Faser erzielt werden konnten, besteht hier doch noch erheblicher Forschungsbedarf bis zur Marktreife eines möglichen Produktes.

Die mögliche Wirtschaftlichkeit eines Einsatzes der modifizierten Grasfaser wurde nicht detailliert untersucht, da eine technische Lösung der Probleme beim Einsatz der Grasfaser zum gegebenen Zeitpunkt nicht in Sicht ist. Es kann festgehalten werden, dass unter der Prämisse der geforderten Qualität einer modifizierten Grasfaser (Wasseraufnahme, Geruch, Farbe) der Einsatz aus wirtschaftlicher Sicht wegen zu hoher Kosten für die Modifikation der Grasfasern durch Hochtemperaturtrocknung, Bleichung, Zerkleinerung, etc. derzeit nicht sinnvoll wäre.

Die Untersuchung einer Anwendung im Pilotmaßstab ist daher nicht erfolgt.

## WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE (AP-6)

### Einleitung

Die Wirtschaftlichkeit einer Grünen Bioraffinerie ist neben der *technischen Performance* des Verfahrens einer der Schlüsselfaktoren im Hinblick auf eine Implementierung dieser Technologie.

Die bis dato vorliegenden Ergebnisse haben aufgezeigt, dass eine optimale Verwertung aller Produktströme der Grünen Bioraffinerie erfolgen muss, damit sich eine positive Gesamtwirtschaftlichkeit darstellen lässt. Wesentliche Erlöspotentiale haben vor allem die Produkte, welche aus dem Presssaft (Milchsäure und Aminosäureprodukte) gewonnen werden. Allerdings stellt der Presskuchen – bezogen auf Trockensubstanz – den weitaus größten Mengenstrom der Bioraffinerie dar. Aus diesem Grund hat die möglichst erlöswirksame Verwertung der Grasfaserfraktion einen ebenso bedeuteten Stellenwert in der Gesamtwirtschaftlichkeit des Verfahrens. Dieser Umstand hat auch wesentlich zur Durchführung des gegenständlichen Projektvorhabens beigetragen.

Auf Basis des bereits bisher vorhandenen Wissens, sowie der neu generierten Daten wurden die bisherigen wirtschaftlichen Kennzahlen verfeinert bzw. neue abgeleitet. So wurden die verbesserten Wertstoffausbeuten, welche bei Optimierung der mechanischen Fraktionierung erzielt wurden, für die aktuellen wirtschaftlichen Kennzahlen verwendet.

Die Wirtschaftlichkeit jener Prozesse, welche aus den Presssäften die Milchsäure- und Aminosäureprodukte generieren, ist in diesem Bericht nicht enthalten. Diese Daten sind im Bericht des Parallelprojekts *Grüne Bioraffinerie – Entwicklung von Abtrenntechnologien von Wertstoffen aus Silagesäften* enthalten.

In diesem Bericht sind wirtschaftliche Kennzahlen zu jenen Prozessschritten enthalten, welche im gegenständlichen Projekt untersucht wurden.

Der optimierte mechanische Fraktionierungsprozess, welcher sich durch eine Doppelpressung auszeichnet, wurde gedanklich in den Produktionsmaßstab (12500 t TS/a) übertragen, und wurden daraus Investitionskosten, Gemeinkosten sowie spezifische Fraktionierungskosten abgeleitet.

Im selben Größenmaßstab wurde eine Trocknung des anfallenden Presskuchens konzipiert und für zwei unterschiedliche Wärmepreisszenarien jeweils spezifische Trocknungskosten abgeleitet. Aus der technologischen Perspektive ist die stoffliche Verwertung der Grasfaser, beispielsweise zu Faserprodukten (z.B. Platte), am besten mit trockenen Fasern zu realisieren.

Zusätzlich wurden in diesem Kapitel auch die realistischen Erlöse für Grasfasern in Zusammenhang mit einer alternativen energetischen Verwertung des Presskuchens (Biogas) diskutiert.

Ein Ausblick auf weitere technische Verwertungsmöglichkeiten des Presskuchens, welche sich aus wissenschaftlicher und technologischer Sicht ergeben, und welche bis dato noch nicht untersucht wurden, runden dieses Kapitel ab.

## **Randbedingungen.**

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen war es notwendig, eine bestimmte Betriebsgröße der Grünen Bioraffinerie anzunehmen, da die Realisierungskosten im Zusammenhang mit dem Größenmaßstab stehen (economy of scale). Als Ausgangsbasis wurde eine Verarbeitungskapazität von 12.500 t TS Silage pro Jahr festgelegt. Berechnungen haben gezeigt, dass bei einem derartigen Durchsatz die eingebundene Biogasanlage eine Größe hat, dass die erzeugte elektrische Energie gerade noch zu einem begünstigten Ökostromtarif vermarktet werden kann. Steigt die installierte elektrische Leistung der Kraft- Wärme-Kupplung der Biogasanlage über den Schwellenwert 1 MW<sub>elkt</sub> an, so kann kein begünstigter Ökostromerlös lukriert werden.

Der Jahresdurchsatz von 12.500 t TS Silage bedeutet, dass in dieser Anlage der Silageertrag von ca. 1.250 Hektar Grünlandfläche verarbeitet werden kann. Eine derartige Anlage ist somit in eine Region (Bezirk) eingebettet und kann als dezentrale Verarbeitungsanlage betrachtet werden.

Ein weiterer Aspekt ist, dass die Grüne Bioraffinerie in dieser Größenordnung generell leichter umgesetzt werden könnte, da in mehreren Regionen Österreichs Flächen von ca. 1.250 Hektar ungenutztem Grünland vorhanden sind.

## **Rohstoffkosten**

Die Rohstoffkosten wurden mit 85 Euro/t TS Grassilage festgelegt. Dieser Preis ist für die Landwirtschaft als attraktiv einzustufen. Der Preis entstand durch eine Vollkostenrechnung für den Rohstoff Silage und deckt somit sämtliche Kosten beim Landwirt ab. Zusätzlich entsteht dadurch beim Bauern auch ein Anreiz, die Grünbrache und Ackerweide wieder in den Fruchtwechselzyklus einzubauen, da eine Verwertung von Gras auch ohne Milch oder Fleischproduktion möglich wird. Es entstehen somit indirekte Effekte in Richtung Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung, da bestehendes Grünland auf Dauer erhalten bleibt und neue Ackerweiden wirtschaftlich sinnvoll sind.

Einen zusätzlichen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit der Grünen Bioraffinerie könnte durch eine Förderung der Silage-Rohstoffproduktion erreicht werden. Gegenwärtig können für Grasflächen, die in eine industrielle Verwertung einbezogen werden, keine speziellen Förderungen erhalten werden. In diesem Bereich wäre es sinnvoll, das landwirtschaftliche Förderwesen an neue technische Nutzungsformen anzupassen. Etwaige zusätzliche Förderungen des Rohstoffproduzenten der Bioraffinerie (Landwirt) wären dazu geeignet, den Rohstoffpreis deutlich zu senken, ohne die Erlössituation beim Bauern bzw. die Auswirkungen auf die Kulturlandschaft, zu verringern.

## **Methodik**

Für die Ermittlung der wirtschaftlichen Kennzahlen wurde bewusst auf ein dynamisches Verfahren verzichtet, da einige Parameter noch nicht genau konkretisiert werden können. Dies gilt vor allem im Zusammenhang mit der Aufbereitung des Silagesaftes, da die Entwicklung der Trenntechnologie zur Gewinnung von Milchsäure und Aminosäuren noch nicht vollständig abgeschlossen ist.

Wirtschaftliche Kennzahlen zur Saftaufbereitung finden sich im Endbericht des parallel durchgeführten Saftprojektes der Grünen Bioraffinerie, 2. Ausschreibung. In diesem Projekt wird die Situation im Bereich der Grasfaser behandelt.

Für die Prozessschritte *Mechanische Fraktionierung* wurden die spezifischen Kosten (Gestehungskosten) für den anfallenden Silagesaft und Presskuchen ermittelt, welche die Grundlage für die weiteren Veredelungsprozesse bilden.

Für den *Trocknungsprozess* des Presskuchens wurden ebenso die spezifischen Trocknungskosten ermittelt.

Methodisch wurde so vorgegangen, dass die Investitionskosten in Form einer Tilgungsrate samt Zinsen in der Zusammenstellung der jährlichen Gesamtkosten berücksichtigt wurden. Die Finanzierung der Investitionen wurde zu 100% über einen Kredit mit einem Zinssatz von 5,5 % auf eine Laufzeit von 10 Jahren angenommen.

Anhand der Summe der jährlichen Gesamtkosten wurden spezifische Kosten abgeleitet. Ein Gewinn wurde nicht angesetzt, weshalb die Zahlen die Gestehungskosten abbilden.

## Mechanische Fraktionierung

Die Ergebnisse der Abpressversuche legen eine Doppelpressung des Rohstoffes Silage mit einer Zwischenbefeuchtung nahe. Diese Routine ergab eine eindeutige Verbesserung der Wertstoffausbeuten, wodurch vor allem der Rohstoff besser ausgenutzt und somit die Wirtschaftlichkeit gesteigert werden konnte.

In folgender Graphik wurden die Stoffströme für die mechanische Fraktionierung für die Größenordnung 12.500 t TS/a zusammengefasst.

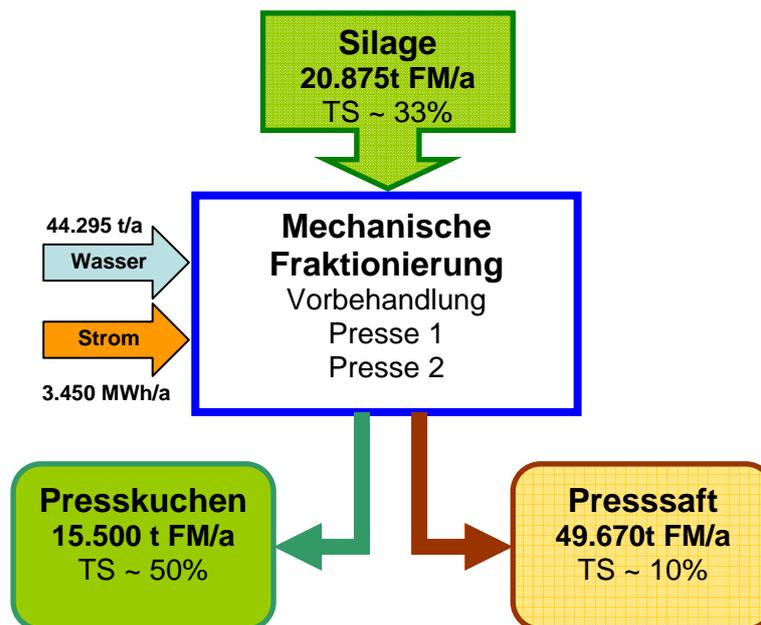


Abbildung 74: Stoffströme bei der mechanischen Fraktionierung; Durchsatz 12.500 t TS/a

Die Übertragung dieser Abpresstechnologie in den gewählten Umsetzungsmaßstab bedingt Investitionen in der Höhe von rund 700.000 Euro. Der Großteil entfällt dabei auf die Anschaffung der erforderlichen Maschinen wie den Ballenöffner, die Vorzerkleinerung, sowie die zwei in Serie geschalteten Schneckenpressen (ca. 480.000 €).

Die beim Betrieb der Fraktionierungsanlage anfallenden Personal- und Betriebskosten wurden in folgender Tabelle zusammengestellt. Dabei fällt auf, dass der Rohstoffanteil den Löwenanteil ausmacht.

Gemeinkosten mech. Fraktionierung	
Kostenart	Euro
Personalkosten	315.000
Miete Halle mit Betriebskosten	15.000
Stromkosten gesamt für 2 Pressen inkl. Vorzerkleinerung u. Zerfaserung	256.000
Instandhaltung, Wartung etc.	25.000
Versicherungen, Reinigung, Abfall	15.000
begleitende Analytik u. Qualitätskontrolle	20.000
Diverses	5.000
<b>ZW. Summe</b>	<b>651.000</b>
Silagerohstoffe	1.062.500
<b>Summe</b>	<b>1.713.500</b>

Tabelle 20: Jährliche Gemeinkosten mech. Fraktionierung; Umsetzungsmaßstab 12.500 t TS/a

Zusätzlich zu den Gemeinkosten wurden die Kapitaldienste für die notwendigen Investitionen in Form einer jährlichen Tilgungsrate samt Zinsen berücksichtigt. Die jährlichen Gesamtkosten wurden in folgender Tabelle zusammengefasst.

Jährliche Gesamtkosten mechanische Fraktionierung		
	EUR	%
Summe Aufwand mech. Fraktionierung ohne Rohstoff	651.000	36,04%
Rohstoff	1.062.500	58,82%
Tilgung und Zinsen	92.900	5,14%
<b>Summe</b>	<b>1.806.400</b>	

Tabelle 21: Jährl. Gesamtkosten Prozessschritt mech. Fraktionierung; Durchsatz 12.500 t TS/a

Aus den jährlichen Gesamtkosten wurden die spezifischen Kosten der Fraktionierung abgeleitet.

Spezifische Kosten mechanische Fraktionierung		
Jahresdurchsatz	12.500	t TS /a
Spezifische Kosten nur für den Fraktionierungsprozess	59,51	€/t TS
Spezifische Kosten für den Fraktionierungsprozess inkl. Rohstoff	144,51	€/t TS

Tabelle 22: Spezifische Kosten in €/t TS für die mechanische Fraktionierung

Die gesamten Fraktionierungskosten, welche die Aufbereitung der Silage und eine Doppelpressung beinhalten, belaufen sich im produktionsrelevanten Maßstab von 12.500 t TS/a auf 59,5 Euro/t TS.

Wird der Rohstoffanteil ebenso angesetzt, ergeben sich diese spezifischen Kosten auf 144,5 €/t TS Silage.

Dieser Betrag wird benötigt, um aus einem Rohstoffeinsatz von 1t TS Silagerohstoff durchschnittlich ca. 3,97 t Silagepresssaft und ca. 1,24 t frischen Presskuchen (ca. 50% TS) für die Bioraffinerie bereitzustellen.

Diese Daten bilden das Fundament der weiteren Kostenstruktur für die nachgeschalteten Prozessschritte der Grünen Bioraffinerie.

## Trocknung der Grasfaserfraktion

Die Basisdaten für die Grasfasertrocknung sind in der folgenden Darstellung zusammengefasst. Es wird bei diesem Szenario davon ausgegangen, dass der gesamte Presskuchen, der bei der mechanischen Fraktionierung anfällt, auf eine Ausgleichsfeuchte von 10% Wassergehalt getrocknet wird.

Für die Trocknung des Presskuchens kommen grundsätzlich verschiedene Trocknungstechnologien in Frage (Rohrtrockner, Bandrockner, Hordentrockner, Kontakt-trocknung etc.). Da die Faser im trockenen Zustand allerdings eher brüchig ist, scheinen Systeme mit zu starker Umlagerung und damit mechanischer Belastung (z.B. bei einem Rohrtrockner) eher nicht geeignet.

Bis dato wurden die Trocknungsversuche auf einem Hordentrockner durchgeführt. Ein derartiges System dürfte allerdings für eine Produktionsanlage einer Bioraffinerie nicht umsetzbar sein, da die anfallende Fasermenge sehr groß ist. Gegenwärtig geht man davon aus, dass die Trocknung des Presskuchens mittels Bandrockner mit integrierter Umlagerung am besten bewerkstelligt werden kann. Derartige Systeme werden auch bei der Trocknung von Kräutern oder anderen Naturfasern eingesetzt.

Das präsentierte Trocknungsszenario geht von einem Bandrockner aus, der kontinuierlich die anfallende Menge Presskuchen verarbeiten kann. Zusätzlich wurde auch eine Verpackungsanlage für die Fasern vorgesehen, sowie ein Zwischenlagerbereich, welcher die 3-fache Tagesproduktion in Form von komprimierten und verpackten Fasern aufnehmen kann (1.000 m<sup>3</sup>).

Die folgende Graphik veranschaulicht die Stoffströme der untersuchten Fasertrocknung:

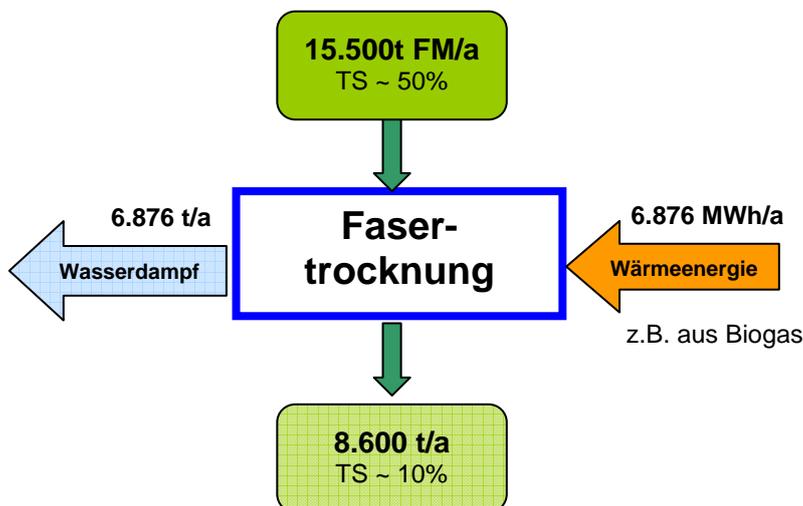


Abbildung 75: Stoffströme Fasertrocknung

Die Investitionen für die Trocknung wurden in folgender Tabelle zusammengefasst:

Trocknungsanlage Investment		
450.000	€	Trocknungsanlage/ Bandtrockner
32.000	€	Wärmetauscher und Energieübergabe
85.000	€	Verpackungsanlage
32.000	€	Steuerung und Automatisierung
20.000	€	Grundstück (2000m <sup>2</sup> ) Trocknung und Lager
20.000	€	Diverses
35.000	€	Planung, Aufstellung u. Inbetriebnahme
<b>674.000</b>	<b>€</b>	<b>Summe Investment Trocknungsanlage</b>

Tabelle 23: Investitionen für Trocknungsanlage

Die für den Betrieb der Trocknungsanlage zu erwartenden Gesamtkosten wurden in Tabelle 24 dargestellt. Es zeigt sich, dass vor allem die Kosten für die erforderliche Wärmeenergie beinahe 2/3 der jährlichen Gesamtkosten ausmachen.

Jährliche Gesamtkosten Trocknungsanlage (Senario 1)		
65.000	€/a	Personal gesamt
89.400	€/a	Tilgung und Zinsen für Investition
18.000	€/a	Miete Halle, Trocknung u. Zwischenlager inkl. BK
15.000	€/a	Versicherungen, Wartung und Instandhaltung
45.000	€/a	Stromkosten
226.923	€/a	Energiekosten Wärme
		6.876.444 kWh/a
		0,033 €/ kWh
<b>459.323</b>	<b>€/a</b>	<b>Summe jährl. Gesamtkosten</b>

Tabelle 24: Jährl. Gesamtkosten der Trocknungsanlage

Auf Basis der jährlichen Gesamtkosten der Trocknungsanlage wurden die spezifischen Trocknungskosten pro Tonne TS Presskuchen ermittelt. Dabei wurden 2 verschiedene Szenarios für den Wärmeenergiepreis angesetzt.

Szenario 1: Der Preis pro kWh Wärmeenergie beträgt 0,033 €/kWh. Dieses Preisniveau entspricht einer Versorgung aus einem Fernwärmenetz auf Basis von Biomassehackgut.

Szenario 2: Der Preis pro kWh Wärmeenergie beträgt 0,020 €/kWh. Diese Wärme könnte z.B. aus einem Abwärmeprozess – beispielsweise aus einer Biogasanlage – kommen. Dieser Wärmepreis ist bereits als sehr günstig zu beurteilen.

Spezifische Trocknungskosten Presskuchen		
Szenario 1:	0,033	€/kWh
53,4	€/t TS	Trocknungskosten gesamt pro t TS Grasfasern
26,4	€/t TS	reine Wärmeenergiekosten der Trocknung
Szenario 2:	0,020	€/kWh
43,0	€/t TS	Trocknungskosten gesamt pro t TS Grasfasern
16,0	€/t TS	reine Wärmeenergiekosten der Trocknung

Tabelle 25: Spezifische Trocknungskosten für Grasfasern für 2 Energiepreisszenarios

Wie in Tabelle 25 dargestellt, liegen die spezifischen Trocknungskosten für den Presskuchen im Szenario 1 bei 53,4 €/t TS, beim Szenario 2 bei 43 €/t TS.

Geringere Trocknungskosten sind als sehr unrealistisch zu bewerten, könnten aber durch den Betrieb einer gebrauchten Trocknungsanlage in Kombination mit einem extrem günstigen Wärmeenergiepreis erreicht werden. Allerdings sind derartige Lösungen nur an Einzelstandorten möglich und werden deshalb nicht weiter betrachtet.

## **Kosten, Preise und Erlöse für Grasfasern**

Die Frage nach den Kosten der Grasfaserherstellung ist szenarienabhängig unterschiedlich zu beantworten, da die Faser in einem Koppelprozess mit dem Presssaft gemeinsam hergestellt wird. Die Kosten für Rohstoff und Mechanische Fraktionierung können entsprechend der Erlössituationen den beiden Stoffströmen zugeteilt werden. Aus diesem Grund wird in der Ermittlung der Preise für die Grasfaserfraktion von den in den jeweiligen Verkaufssegmenten lukrierbaren Erlösen ausgegangen.

Klar ist, dass die Produkte Milchsäure und Aminosäure, welche aus dem Saft gewonnen werden, über ein bei weitem höheres Erlöspotential verfügen, als dies für die Faserfraktion der Fall ist. Deshalb sind die Fraktionierungskosten und Rohstoffkosten mehrheitlich von der „Flüssigschiene“ der Bioraffinerie zu tragen.

Bei der Verwertung des Presskuchens in der Biogasanlage ist ein Erlös für den feuchten, nicht weiter aufbereiteten Presskuchen, quasi unmittelbar nach der Presse, von 60-65 € realistisch. Eine stoffliche Verwertung ist nur dann wirtschaftlich sinnvoll, wenn für den Presskuchen ein höherer Erlös als in jedweder energetischen Verwertung erzielt werden kann.

Jedenfalls müssten alle zusätzlich durch die Faserverwertung entstehenden Kosten (z.B. Trocknung oder Geruchsreduktion) zur Gänze über einen Fasererlös einer stofflichen Verwertung verdient werden.

Aufbauend auf den Grunderlös im Bereich Biogas (60 €/t TS) und die ermittelten Trocknungskosten (43-53 €/t TS) lässt sich ein theoretischer minimaler Grasfaserpreis von 103 €/t TS festlegen.

Der Preis für aufbereitete Grasfasern könnte, je nach Anforderung der Anwender, aber auch deutlich über diesem Schwellenwert liegen, da je nach Anwendungsgebiet ggf. zusätzliche Aufbereitungskosten (z.B. Geruchsreduktion) anfallen könnten. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren scheinen Faserpreise von 120 €/t trockener Faser realistisch.

In diesem Preissegment ist dann jedoch auch eine große Konkurrenzsituation mit klassischen Naturfasern wie Hanf, Flachs, Kokos und Sisal gegeben.

## **Verwertungspotential der Grasfasern der Grünen Bioraffinerie**

Für die Verwertung der Grasfasern der Grünen Bioraffinerie gibt es grundsätzlich verschiedene Optionen:

- Stoffliche Verwertung der Fasern
- Energetische Verwertung zur Gewinnung von Energie

### ***Energetische Verwertung der Grasfaserfraktion zur Gewinnung von Energie***

Die ausführlichen Untersuchungen der GBR - Grasfaserfraktion im Rahmen dieses Projektes lassen den Schluss zu, dass die Grasfaserfraktion in Prozessen zur direkten oder indirekten Erzeugung von Energie wirtschaftlicher verwertet werden können.

Folgende Prozesse kommen in Frage:

- Einsatz in einer Biogasanlage
- Einsatz in einer Biomasse-Vergasungsanlage
- Einsatz als Rohstoff zur Gewinnung von Ethanol
- Einsatz als Pyrolyse-Rohstoff
- Einsatz als Brennstoff

#### **Einsatz in einer Biogasanlage**

Der Presskuchen wird unmittelbar nach der mechanischen Fraktionierung als Rohstoff für den Biogasprozess verwendet. Eine weitere Behandlung des Presskuchens kann entfallen, da der Presskuchen auch feucht, so wie er nach der Pressung anfällt, für die Biogasproduktion eingesetzt werden kann. Eine Zwischenlagerung des Presskuchens wäre nur im geringen Maß erforderlich, da auch der Biogasprozess kontinuierlich beschickt werden kann. Diese Verwertungsoption besticht vor allem durch ihre Einfachheit und zeigt auf, dass die Grüne Bioraffinerie im Grunde auch als eine innovative „Vorstufe“ zu einem Biogasprozess betrachtet werden kann. Bei einer derartigen Verschaltung der Technologien würden nur die Produkte aus dem Presssaft (Milchsäure und Aminosäure) anfallen, kein Faserprodukt, allerdings, Strom und Wärme aus dem Biogasprozess.

Das Erlöspotential für die Grasfaserfraktion wird in dieser Verwertungsschiene gegenwärtig mit 60-65 €/t TS Presskuchen geschätzt, vor allem dann, wenn die Biogasanlage bei ihrer Bewilligung in den Genuss der besonderen Einspeisetarife im Zusammenhang mit den Ökostromtarifbestimmungen kommt.

Inwieweit die Errichtung von Biogasanlagen zur Produktion von Ökostrom in Zukunft weiter gefördert wird, ist zurzeit Gegenstand der politischen Diskussion.

Die Verwertung des Presskuchens durch den Biogasprozess birgt laut gegenwärtigem Stand der Technik keinerlei technische Probleme oder Risiken und könnte somit unmittelbar umgesetzt werden.

#### **Einsatz in einer Biomasse-Vergasungsanlage**

Die Vergasungstechnik von Rohstoffen ist eine seit langem bekannte Technik, deren Anfänge im 17. Jahrhundert liegen. Durch die Energieknappheit in der Zeit nach dem 1. Weltkrieg erreichte die Verbreitung der Holzvergaser einen ersten Höhepunkt. Die Nutzung biogener Festbrennstoffe gewinnt nun aus Klima- und Umweltschutzgründen wieder zunehmend an Bedeutung. Dies gilt neben der Wärmebereitstellung auch immer mehr für die

Stromerzeugung, sowie zunehmend auch für eine Bereitstellung biogener Kraftstoffe („Fischer-Tropsch“-Treibstoffe).

Der Einsatz der Grasfasern als Rohstoff für diesen Bereich dürfte aus heutiger Sicht technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll sein, jedoch müssten dazu weitere Erfahrungen gesammelt werden.

#### Einsatz zur Gewinnung von Ethanol

Die Gewinnung von Ethanol aus Cellulose und hemizellulosehaltigen Rohstoffen ist bereits technisch möglich, jedoch stark von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen geprägt. Generell könnte sich die Grasfaser aufgrund ihrer Zusammensetzung (Summe Zellulose und Hemizellulosen 80-90%) als hochwertiger Rohstoff für solch einen Prozess erweisen. Auch auf diesem Bereich sollten die Forschungsarbeiten vorangetrieben werden.

#### Einsatz als Pyrolyse-Rohstoff

Für den Bereich der thermisch/katalytischen „Verflüssigung“ von Biomasse, sprich der Pyrolyse (Hoch- und Niedertemperatur P.), könnte ein Einsatz bestimmter Grasmischungen (z.B. Luzerne mit einem Rohligninanteil von bis zu 70% nach der Pressung) sehr viel versprechend sein. Erste, zukunftssträchtige Pilotprojekte im Bereich der Gewinnung von Pyrolyseölen aus anderen biogenen Rohstoffen sind derzeit in mehreren Ländern der EU im Gange.

#### Einsatz als Brennstoff

Die direkte Nutzung der Grasfaser als Brennstoff für Feuerungsanlagen wird als wenig aussichtsreiche Verwertungsoption eingestuft, da eine Trocknung und ggf. Pelletierung des Presskuchens erforderlich wäre. Zusätzlich müssten die Kesselanlagen vor allem an die Eigenschaften der Grasfaser (Aschegehalt, Ascheschmelzpunkt etc.) angepasst werden.

### **Stoffliche Verwertung der Fasern**

Bei der stofflichen Verwertung des Presskuchens wird dieser zu einer Grasfaserfraktion aufbereitet, die in der Industrie als Rohstoff eingesetzt werden kann/soll. Dabei sind je nach Anwendung weitere Prozessschritte, wie eine weitere Aufspaltung des Faserpresskuchens, Trocknung, Mahlung oder Maßnahmen zur Geruchseseitigung, erforderlich.

Für den Einsatz von Grasfasern in der Industrie sind im Wesentlichen zwei Faktoren entscheidend:

- Der Einsatz der Grasfasern sollte das Produkt hinsichtlich der Produktqualität bzw. seiner Eigenschaften nicht verschlechtern, sondern wenn möglich verbessern.
- Grasfasern sollten sich leicht in die Produktion des Produktes integrieren lassen und die Produktionskosten verringern.

Die beiden in diesem Projekt untersuchten Anwendungsbereiche Additiv Bauprodukte (insbesondere Spachtelmassen und Kleber), sowie beleimte Platten in Anlehnung an das Trockenverfahren, erfüllen die genannten Bedingungen nicht in vollem Umfang.

So konnten bei den untersuchten Bauprodukten durch den Zusatz von Grasfasern keine akzeptablen werkstofflichen Eigenschaften erreicht werden. Eine Umsetzung ist auf Basis der vorliegenden Ergebnisse nicht möglich.

Bei den Grasfaserplatten waren die erzielten mechanischen Eigenschaften vor allem bei der Mischung von Gras und Holzfasern akzeptabel. Probleme bestehen gegenwärtig noch beim

spezifischen Geruch und der grünen Farbe der Platten, vor allem dann, wenn ein nennenswerter Grasfaseranteil (>25%) eingesetzt wird. Zusätzlich wird das Quellverhalten beim Einsatz von Grasfasern ebenfalls negativ beeinflusst. Zusätzlich zu den technisch aufgezeigten Problembereichen, ist auch die Integration von Grasfasern in dem Produktionsbereich nicht geklärt. Ein Anlagenversuch wurde nicht durchgeführt.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist durch den Einsatz von Grasfasern gegenwärtig keine Einsparung beim Rohstoff zu erwarten. Dies vor allem deshalb, weil die Holzplattenindustrie den Rohstoff Holz sehr günstig beziehen kann, und derzeit am Markt kein Versorgungsengpass besteht. In der Holzplattenindustrie wird gegenwärtig ca. 35 €/t Holz bezahlt. Der Preis für den fertig aufbereitete Holzspan inkl. Trocknung liegt bei ca. 0,7-0,8 €/kg TS, bei der Holzfaser (MDF-Platte) bei ca. 1,5-1,6 €/kg TS.

Da der realistische Preis für trockene Grasfasern im Bereich von 110 – 120 €/kg TS liegt, besteht momentan kein wirklicher Anreiz aus finanziellen Gründen den Rohstoff zu wechseln. Zusätzlich benötigt eine Branche wie die Holzplattenindustrie auch weit reichende Garantien hinsichtlich Verfügbarkeit des Rohstoffes, welche für die Grasfaser zur Zeit nicht bestehen.

## ANGABEN ZU DEN ZIELEN DER FABRIK DER ZUKUNFT

Der gegenständliche Projektvorschlag spricht mehrere Ziele der Programmlinie „Fabrik der Zukunft, sowie die Leitprinzipien einer nachhaltigen Technologieentwicklung an:

1. Das Technologiekonzept einer Grünen Bioraffinerie entspricht in idealtypischer Weise einer vollständig *auf Basis nachwachsender Rohstoffe ausgerichteten innovativen Verfahrenstechnik*.
2. Durch die Technologie einer Grünen Bioraffinerie entstehen zukunftsweisende *Schlüsselprodukte* wie Milchsäure und Aminosäuren, die bereits jetzt jeweils über ein großes Marktpotential verfügen.
3. Die Initiative Grüne Bioraffinerie verfolgt seit Beginn das Ziel, die Verfahrenstechnik an die *besonderen regionalen Bedürfnisse anzupassen* und kombiniert dadurch eine umweltschonende und nachhaltige Produktionsweise mit einer nachhaltigen regionalen Landnutzung.
4. Im gegenständlichen Projekt wurden neue technologische Verfahren zur Gewinnung, Aufbereitung und Homogenisierung von Grasfasern untersucht. Im Bereich der mechanischen Fraktionierung wurden sehr wertvolle Ergebnisse erarbeitet, die für die Konzeption und Detailplanung erforderlich sind. Eine Wissenslücke wurde somit geschlossen.
5. Die Initiative Grüne Bioraffinerie hat den Ehrgeiz, die Wirtschaftlichkeit dieses Technologiekonzeptes durch eine Umsetzung im Pilotmaßstab unter Beweis zu stellen. Das Projektteam stellt sich der Herausforderung eines Leuchtturmprojektes im Rahmen der Programmlinie.
6. Schonung der Ressourcen durch Nachwachsende Rohstoffe. Das vorgeschlagene Projekt leistet einen wertvollen Beitrag zur Etablierung einer Produktionstechnologie, welche auf dem nachwachsenden Rohstoff Gras beruht.
7. Die Grüne Bioraffinerie Österreich hat auch ein hohes Potential proaktiv zu einer Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion beizutragen.

Sie schafft eine konkrete Verwertungsoption für Grünland, welches in vielen Regionen nicht mehr landwirtschaftlich genutzt wird. Nicht mehr genutztes Grünland wird in landwirtschaftlichen Gunstlagen früher oder später zu Ackerland umgewandelt und kann daher dauerhaft verloren gehen. Die Bioraffinerie kann aktiv zur Erhaltung von Dauergrünlandflächen beitragen, weil sie für den Rohstoff Grassilage einen Rohstoffmarkt eröffnet. Da Grasflächen generell nicht so intensiv bewirtschaftet werden wie Ackerland – es muss beispielsweise nicht so intensiv gedüngt werden, weiters kein Herbizid- oder Pestizideinsatz – entsteht auch eine indirekte Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung im Allgemeinen. Eine mehrschnittige Wiese ist im Vergleich zu einem Raps- oder Maisacker eine extensive Bewirtschaftungsform.
8. Durch die Implementierung der Grünen Bioraffinerie entstehen neue Arbeitsplätze im ländlichen Raum. Die Landwirtschaft hat mit der Rohstoffproduktion von Silage einen neuen Einkommenszweig.
9. Die Bioraffinerie ist als Multi-Produkt-System in der Lage, auf Veränderungen am Markt zu reagieren. Generell sind die Produkte zukunfts- und nutzenorientiert. Milchsäure wird beispielsweise als nachhaltige Bulk-Chemikalie der Zukunft betrachtet.
10. Mit den Schlüsselprodukten Milchsäure und Aminosäuren erfolgt die Ausrichtung der Grünen Bioraffinerie auf Produkte die einerseits sehr große Märkte besitzen, und andererseits bei guten Qualitäten ein hohes Erlöspotential haben.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN ZU DEN PROJEKTERGEBNISSEN

### **Schlussfolgerungen aus den Projektergebnissen wurden**

Anhand der Ergebnisse, welche durch die Optimierung des Prozessschrittes der *Mechanischen Fraktionierung* generiert wurden, kann die konkrete Planung und Umsetzung des Fraktionierungsprozesses einer Grünen Bioraffinerie erfolgen. Der Entwicklungsprozess für diesen Prozessschritt ist aufgrund der nun vorliegenden Werte für die Stoffausbeuten vorerst weitgehend abgeschlossen.

Die dauerhafte Sicherung der Qualität der Silage – d.h. die Gewährleistung eines möglichst hohen Milchsäuregehaltes im Rohstoff der Bioraffinerie – erscheint zur Zeit wesentlich wichtiger als eine weitere Verbesserung der Abtrenngrade im Fraktionierungsprozess.

Es wurden für die Aufbereitung des Presskuchens praxisrelevante Verfahren identifiziert und erfolgreich getestet. Beispielsweise führte die thermo-mechanische Zerfaserung zur weiteren Aufspaltung des Presskuchens und zur Homogenisierung der Grasfaserfraktion.

Es zeigte sich, dass der Geruch und die Farbe der Grasfasern als „offensichtliche Fasereigenschaften“ durch die Industrie, bezüglich der Eignung zur Weiterverarbeitung, sehr skeptisch bis negativ beurteilt werden. Zu beiden Problemstellungen hat das Projekt wertvolle Grundlagen geschaffen, allerdings sind die erarbeiteten technischen Lösungen noch nicht ausreichend zufrieden stellend. Es besteht deshalb in diesem Bereich weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Die Grasfasern haben die Grundeigenschaft, eine große Wassermenge speichern zu können, wodurch ein ausgeprägtes Quellverhalten gegeben ist. Dieses Quellverhalten hat sich in den beiden hier untersuchten Anwendungsbereichen als ungünstig erwiesen. Es scheint daher in Zukunft sinnvoll, Anwendungsformen für Grasfasern zu identifizieren und zu testen, die auf ein ausgeprägtes Wasserspeicher- und Quellverhalten abzielen (z.B. Torfersatz, Begrünungsmatten).

Die Nutzung der Grasfasern für Produkte in den untersuchten Einsatzbereichen Additiv für Kleber und Spachtelmassen, sowie beleimte Grasfaserplatten ist auf Basis der vorliegenden Ergebnisse zur Zeit aus technischer und wirtschaftlicher Sicht nicht realistisch.

Die Verwertung des Grasfaserpresskuchens in einer Biogasanlage wird gegenwärtig als wirtschaftlich sinnvolle und sofort umsetzbare Option gesehen, da in diesem Bereich ein Erlös von 60-65 € zu lukrieren ist. Andere ggf. wirtschaftlich noch interessantere stofflich/energetische Nutzungsmöglichkeiten der Grasfaserfraktion (Pyrolyse, Vergasung/Fischer-Tropsch, etc.) zur Gewinnung von Flüssigkohlenwasserstoffen bedürfen noch einiger Forschungsarbeit. Um mittelfristig stoffliche Verwertungsschienen für die Grasfaser zu etablieren, ist eine Reduktion des Preises notwendig. Diese könnte aus heutiger Sicht nur von außen, beispielsweise durch eine Senkung des Rohstoffpreises von 85 €/t TS Silage, ermöglicht werden. In diesem Zusammenhang wäre zu diskutieren, ob nicht für die Produktion des Rohstoffes der Grünen Bioraffinerie eine landwirtschaftliche Förderung möglich wäre, so wie auch der Anbau anderer Kulturpflanzen gefördert wird.

Im Hinblick auf die stoffliche Verwertung der Grasfasern ist auf Basis der Ergebnisse und dem derzeitigen wirtschaftlichen Umfeld primär die Möglichkeit einer direkten Verwertung der feuchten Grasfaserfraktion zu berücksichtigen, weil dadurch die Trocknungskosten für die Grasfasern entfallen.

## AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN FÜR ZUKÜNFTIGE AKTIVITÄTEN

Bei der Umsetzung der Grünen Bioraffinerie sind aus der Sicht der Verwertung der anfallenden Grasfaserfraktion (Graspresskuchen) keine Hemmnisse zu erwarten, da diese unmittelbar einer Biogasanlage zugeführt werden kann. Diese Art der energetischen Verwertung der Grasfaserfraktion ist technisch ausgereift und könnte deshalb sofort umgesetzt werden.

Die im Rahmen des Projektes untersuchten stofflichen Verwertungsschienen für die getrocknete Grasfaser können gegenwärtig nicht umgesetzt werden. Die Gründe dafür sind primär wirtschaftlicher, aber auch technischer Natur. Zu den errechneten Preisen ist die getrocknete Grasfaser in den untersuchten Segmenten gegenwärtig am Markt nicht konkurrenzfähig, eine Tatsache die sich eventuell mittelfristig ändern könnte (Anstieg des Holzpreises, etc).

In Zukunft sollen neue Ansätze für zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten für den in der Bioraffinerie anfallenden Presskuchen Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen werden.

In diesem Zusammenhang wären beispielsweise zwei neue Option zu nennen. Zum Einen die direkte Verwertung des feuchten Presskuchens (z.B. Torfersatzprodukte oder nass gelegte Begrünungsvliese), oder zum Anderen die erneute Silierung (Resilierung) des Presskuchens. Durch einen Resilierungsprozess kann die Ausbeute des Schlüsselproduktes Milchsäure noch weiter erhöht werden. Die dazu erforderlichen Zucker können entweder durch enzymatische Verfahren aus den Ligno-Zellulosen der Grasfaser selbst, oder durch Zugabe einer billigen Zuckerquelle (z.B. Molke) bereitgestellt werden.

Im internationalen Kontext werden zur Zeit Verfahren zur Biomassenutzung entwickelt, welche auch für die feuchte Grasfaserfraktion eine grundsätzlich interessante Option darstellen. In diesem Zusammenhang wäre mittelfristig die Realisierung von Vergasungsprozessen mit nachgeschalteter Fischer-Tropsch-Synthese, oder die Pyrolyse auf Basis der Grasfaser zu nennen. Mit beiden Methoden können flüssige Kohlenwasserstoffe (z.B. Kraftstoffe) aus Biomasse generiert werden, welche in Zukunft verstärkt nachgefragt werden.

Das Projekt Grüne Bioraffinerie ist ein Pionierprojekt der nachhaltigen Technologieentwicklung, das internationale Aufmerksamkeit erregt hat. In den Zukunftsstrategiepapieren der EU und auch der USA wird den Bioraffinerien eine wichtige Schlüsselfunktion für die Stoff- und Energiewirtschaft der Zukunft zugewiesen.

Eine Umsetzung der Grünen Bioraffinerie Österreich muss aus diesen Gründen unbedingt vorangetrieben werden.



## LITERATURVERZEICHNIS

2B-AG (2002);

**Platten und Dämmstoffe aus Grasfasern;** Homepage der Fa. 2B AG, Dübendorf [www.2bio.ch](http://www.2bio.ch)

Aichholzer Walter (1999);

**Herstellung, Verarbeitung sowie Charakterisierung von bioabbaubaren Verbundwerkstoffen auf Basis der nachwachsenden Rohstoffe Stärke und Flachs;**  
Institut für Kunststofftechnologie, Universität Stuttgart, 1999

Alberta Research Council (2002);

**Panel Development,**

Homepage Alberta Research Council; <http://www.arc.ab.ca/forest/PanelDevelopment.asp>

Brandstätter, Manfred (2002);

**Grasfasern – Ein potentieller Rohstoff für die Dämmstoff- und Plattenindustrie;**  
Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben, Institut für Verfahrenstechnik des Industriellen Umweltschutzes, November 2002.

Deppe, Hans-Joachim; Ernst, Kurt (1996);

**MDF-Mitteldichte Faserplatten.** DRW-Verlag Leinfelden-Echterdingen.

Deppe, Hans-Joachim; Ernst, Kurt (2000);

**Taschenbuch der Spanplattentechnik;**  
4. überarbeitete Auflage DRW-Verlag Leinfelden-Echterdingen

Ebeling, Volker; Thole, Volker (2002)

**Eignung Pflanzlicher Biomasse für die Fasergewinnung und Herstellung von MDF,**  
Vortrag bei der Fachtagung NAROSSA, Magdeburg.

Grav Niv, Mandl Michael, Boechzelt Herbert, Schnitzer Hans (2005);

**The Austrian Green Biorefinery Concept,** Lecture; 1<sup>st</sup> International Biorefinery Workshop, Washinton, D.C. July 20-21, Juni 2005

Han, James (1998)

**Properties of Nonwood Fibres.**

Paper presented at the TAPPI North American Nonwood Symposium at Atlanta. (1998)

HarvestBoard (2002);

**Boards from annual renewable fibers;**  
Homepage Harvestboard, <http://www.harvestboard.com>

Industriewissenschaftliches Institut (2001);

**Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Österreich,**  
Projektfabrik Waldhör, Nedergasse 23, 1190 Wien, 2001

Kaup, M. Karus, M.(2001);

**Aktuelle Marktübersicht Naturfasern für technische Textilien in der EU;**  
In Proceedings "Naro-Tech" 3. Internationales Symposium Erkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen Seite 63 (Paper 201) (2001)

Kohler, Wedler (1996);

**Mechanische Kennwerte von Fasern**

In: Homepage [www.inaro.de/deutsch/rohstoff/industrie/faser/mechkenn.htm](http://www.inaro.de/deutsch/rohstoff/industrie/faser/mechkenn.htm) (1996)

KREŽE, Tatjana, STRNAD, Simona, STANA-KLEINSCHKEK, Karin, RIBITSCH, Volker (2000);

**Influence of aqueous medium on mechanical properties of conventional and new environment friendly regenerated cellulose fibres.**  
V: International Conference on Polymer Characterization Polychar-8 and Short Course, January 10-14, 2000, Denton, USA. International conferences on polymer characterization : program and book of abstracts. [Denton: University of North Texas], 2000, str. O-12

Kromus, Stefan (1999);

**Elaboration of a decentralised 'Green Biorefinery' for the Austrian Region of 'Feldbach' – A Sustainable Concept?;**

M.Sc.-Thesis, Wageningen Agricultural University (WAU), Dep. of Env. Sciences-Environmental Systems Analysis Group, Wageningen 1999.

Kromus, Stefan (2002);

**Grüne Bioraffinerie Österreich – Entwicklung eines integrierten Systems zur Nutzung von**

**Grünlandbiomasse;**

Dissertation TU-Graz, Institut für Grundlagen der Verfahrenstechnik und Anlagentechnik, Oktober 2002.

Kromus, Stefan; Narodoslawsky, Michael; Kamm, Birgit; Kamm, Michael (2000b):

**Green Biorefinery – European Network for the Implementation of Biorefineries (NIB);**

In: Brandenburgische Umweltberichte 8 (BUB 8), 2000, W. Loschelder (Rektor), R. Jänkel (Hsgr), Schriftenreihe des Zentrums für Umweltwissenschaften der Universität Potsdam, ISSN: 1434-2375, Potsdam.

Krotscheck, C., Narodoslawsky, M. (1998);

**Quantifying Eco-Sustainability.**

In A. Moser (Ed.) *The Green Book of Eco-Tech. Strategy Report from ICEE 4, and Proceedings of 4th International Ecological Engineering Conference, Graz, Sept. 22-24th, 1997*

Krotscheck, C., Narodoslawsky, M. (1999);

**The Region of Feldbach – Sustainable Regional Development.**

In SUSTAIN (Ed.) *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on 'The Green Biorefinery'*, Haus der Region Feldbach, Austria, Oct. 13-14, 1999, p. 1-10

Krotscheck, C., Wimmer, R.; Narodoslawsky, M. (1997);

**Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Österreich.**

Im Rahmen von SUSTAIN - Verein zur Koordination von Forschung über Nachhaltigkeit, Graz, im Auftrag des BMWV. Erschienen in den Berichten aus Energie- und Umweltforschung des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr, Wien, Nr. 17/97

Krotscheck, Christian, Kromus, Stefan; Koschuh, Werner (2003);

**„Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft“**

Endbericht zum gleichnamigen Projekt im Rahmen des vom Österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BM:VIT) initiierten Programms „Fabrik der Zukunft“, Projektnummer 804141, Kornberg Institut – Steirisches Vulkanland Regionalentwicklungs GmbH; Erstellt am 31. 7. 2002.

Mandl Michael, Grav Niv, Ringhofer Johannes, Kromus Stefan, Boechzelt Herbert, Schnitzer Hans (2005);

**The Austrian Green Biorefinery - Results of lactic acid and amino acid yields in silage juice**, Poster Presentation; International Conference on Renewable Resources and Biorefineries; 19-21 September, Gent, Belgium

Narodoslawsky et al. (1989);

**Lactic Acid Production in Aqueous Two Phase Systems as a Base of Chemical Bulk Products from Renewable Resources,**

Tagungsbericht der 1. Intern. Arbeitstagung „Strategien für Kreislaufwirtschaft“, . Graz, 5.-7. Juni 1989

Narodoslawsky, M.; Hell, F.; Ernst, M.; Moser, A. (1990);

**Lactic Acid Production in Aqueous Two Phase Systems – Experiments and Results,**

Proc ECB5, . Kopenhagen, 8-13 July 1990,

Narodoslawsky, Michael (2001):

**The green biorefinery – sustainable technologies for green mass utilisation,**

Int. Congress Biomass and o. Renew. Energy Sources, Ljubljana, Slovenia, 3.-4.9.2001.

Narodoslawsky, Michael; Krotscheck, Christian; Verein SUSTAIN (ed.) (1999):

**The Green Biorefinery;**

Proceedings 2<sup>nd</sup> International Symposium on „The Green Biorefinery“; Schloß Kornberg, Oct 13-14, 1999, 143 pages.

Österreichischen Plattenindustrie. (2002);

**Span- und Faserplatten;** Homepage: [www.silverserver.co.at/platte](http://www.silverserver.co.at/platte)

Sajjonkari-Pahkala, Katri (2001);

**Non-wood plants as raw material for pulp and paper;**

Academic Disseration., University of Helsinki, Dept of Applied Biology, Crop Husbandry, Faculty of Agriculture;2001; Sign.: JR/RIF Nr. 246.

Sanders Johan (2005);

**Biorefinery, the bridge between Agriculture and Chemistry,** Lecture; 1<sup>st</sup> International Biorefinery Workshop, Washinton, D.C. July 20-21, Juni 2005

Scheneck, Anton (2001);

**Naturfaser-Lexikon,** Frankfurt:Dt. Fachverlag (2001)

Schröck Thomas et al. (1999);

**Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Österreich – Marktanalyse und Handlungsmaßnahmen;** Zwischenbericht; Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, 1133 Wien; 1999

Schulz Tino; Tobisch Steffen(2005);

**Roggenstrohz zur Nadelholzsubstitution bei der Herstellung von Holzspanplatten;** Paper im

- Tagungsband Naro.tech; 11-12. Sept 2003. Erfurt, S3-S11;
- Smith, B. Rolfe, J. u.a (2002)  
**The Manufacturing of Straw Particleboard;** [www.wsu.edu:8080](http://www.wsu.edu:8080)
- Soine, Hansgert (1995);  
**Holzwerkstoffe, Herstellung und deren Verarbeitung,** DRW-Verlag Leinfelden-Echterdingen
- Soyez Konrad, Kamm Birgit, Kamm Michael (1998);  
**Die Grüne Bioraffinerie,** 1998
- STANA-KLEINSCHEK, Karin, JELER, Stanislava, RIBITSCH, Volker (1994)  
**The influence of non cellulose compounds on the surface charge of cellulose fibres.**  
V : 8<sup>e</sup> Conférence de la Société Européenne des colloïdes et interfaces, Montpellier 26-30 septembre 1994.  
Montpellier : [s.n.], 1994, str. 160.
- STANA-KLEINSCHEK, Karin, KREŽE, Tatjana, RIBITSCH, Volker (2000) ;  
**Adsorptionsverhalten von Cellulose-Regeneratfasern [The adsorption properties of regenerated cellulose fibres]**  
V : 95. ZELLCHEMIE Hauptversammlung, Baden-Baden 2000. Autorreferate zur 95. Hauptversammlung, 26.-29. Juni 2000, Baden-Baden. Darmstadt: Verein der Zellstoff- und Papier-Chemiker und –Ingenieure, 2000, str. 4-5
- STANA-KLEINSCHEK, Karin, RIBITSCH, Volker (1996);  
**Surface properties of textile cellulose as a function of processing steps.**  
Prog. Colloid & polym. Sci., 1996, let. 101, str. 157-165.
- STANA-KLEINSCHEK, Karin, STRNAD, Simona, RIBITSCH, Volker (1998);  
**Surface characterization and adsorption abilities of cellulose fibers.**  
V: International conference POLYCHAR – 6, January 7-9, 1998, University of North Texas, Denton, USA.  
International conferences on polymer characterization : program and book of abstracts. Denton: University of North Texas, 1998, str. I-05.
- STANA-KLEINSCHEK, Karin, STRNAD, Simona, RIBITSCH, Volker (1999);  
**Surface characterization and adsorption abilities of cellulose fibres.**  
Polym. Eng. Sci., August 1999, vol. 39, no. 8, str. 1412-1423.
- TU-Dresden (2001);  
**Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Naturstofftechnik,**  
Tagungsband zur Internationalen Tagung 15. – 16. 2. 01, 2001
- Wachter, Bruno; Mandl, Michael (2003):  
**Grüne Bioraffinerie – Verwertung der Grasfaserfraktion;**  
Endbericht zum gleichnamigen Projekt im Rahmen des vom Österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BM:VIT) initiierten Programms „Fabrik der Zukunft“, Projektnummer 804137, JOANNEUM RESEARCH, Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme, Juni 2003
- Wachter, Bruno; Mandl, Michael, Kromus Stefan (2002):  
**Grüne Bioraffinerie – Auswertung und Interpretation der Silierungs- und Abpressversuche 2001,**  
Interner Bericht; JOANNEUM RESEARCH, Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme, A-8230 Hartberg, Am Ökopark 7; Juli 2002.
- Wachter, Bruno; Mandl, Michael; Berghold, Hans; Reinhofer, Marion; Stuhlbacher, Arnold; Trinkaus, Trinkaus, Peter; Schwendt, Andreas; Böchzelt, Herbert; Schnitzer, Hans (2002):  
**Grasfasern – Ein potentieller Industrierohstoff?**  
Endbericht zur gleichnamigen Studie gefördert durch das Amt der Steiermärkischen Landesregierung, JOANNEUM RESEARCH, Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme Standort Hartberg, A-8230 Hartberg, Am Ökopark 7; Dezember 2002.
- Youngquist, John A. et al. (1994);  
**Literature Review on Use of Nonwood Plant Fibres for Building Materials and Panels,**  
United States Department of Agriculture (USDA) Forest Service, 1994