

# Grüne Bioraffinerie Verwertung der Grasfaserfraktion

B. Wachter, M. Mandl, H. Böchzelt, H. Schnitzer, et al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**20/2003**

## **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>  
oder unter:

Projektfabrik Waldhör  
Nedergasse 23, 1190 Wien  
Fax 01 /36 76 151 - 11  
Email: projektfabrik@nexta.at

# Grüne Bioraffinerie

## Verwertung der Grasfaserfraktion

Projektleiter:

Dr. Bruno Wachter, DI Michael Mandl,  
Dr. Herbert Böchzelt, Univ.Prof. DI Dr. Hans Schnitzer

Auftragnehmer:

Joanneum Research  
Regionale Innovations- und Forschungsstelle Hartberg  
Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme

Juni 2003

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

## Kooperationspartner

### Projektleiter

*DI Dr. Bruno WACHTER, DI Michael MANDL, Dr. Herbert BÖCHZELT, Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Hans SCHNITZER*  
JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme (JOINTS),  
A-8010 Graz, Elisabethstrasse 16-18 und A-8230 Hartberg, Am Ökopark 7 (Außenstelle Hartberg), [www.joanneum.at](http://www.joanneum.at)

### Kooperationspartner WISSENSCHAFT

1	<i>DI Dr. Christian KROTSCHHECK, DI Dr. Stefan KROMUS</i> KORNBERG Institut, Steirisches Vulkanland Regionalentwicklung GmbH <a href="http://www.vulkanland.at">www.vulkanland.at</a> (Kornberg Institut) <a href="http://www.natan.at">www.natan.at</a> (Krotscheck) und <a href="http://www.biorefsys.com">www.biorefsys.com</a> (Kromus) A- 8330 Feldbach (Schloss Kornberg), Kornberg Haus der Region, Dörfel 2,
2	<i>Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Michael NARODOSLAWSKY</i> TU-Graz, Institut für Ressourcenschonende und Nachhaltige Systeme (RNS) A- 8010 Graz, Inffeldgasse 25, <a href="http://rns.tugraz.at">http://rns.tugraz.at</a>
3	<i>o.Univ.-Prof. DI Dr. Ingo MARINI, DI Bettina MIHALYI, DI Dr. Andreas BARTL</i> TU-Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und technische Biowissenschaften A-1060 Wien, Getreidemarkt 9/166, <a href="http://www.vt.tuwien.ac.at">www.vt.tuwien.ac.at</a>
4	<i>Assist.-Prof. Dr. Majda SFILIGOJ-SMOLE, Assoc.-Prof. Dr. Karin STANA-KLEINSCHEK, Assist.-Prof. Dr. Tatjana KREZE, Assis.-Prof. Dr. Simona STRNAD</i> University of Maribor, Laboratory for Characterisation and Processing of Polymers (LCP) SI-2000 Maribor, Smetanova 17, SLOVENIA, <a href="http://loppm.fs.uni-mb.si">http://loppm.fs.uni-mb.si</a>
5	<i>Ao. Univ.-Prof. Dr. Christine IBEN, Dr. Elisabeth WAGNER</i> Veterinärmedizinische Universität Wien, Institut für Ernährung, A-1210 Wien, Veterinärplatz 1, <a href="http://www.vu-wien.ac.at/i124/index.htm">http://www.vu-wien.ac.at/i124/index.htm</a>
6	<i>DI Walter HASLINGER</i> Fachhochschule Wiener Neustadt, Studiengang MLR / Produkt- und Projektmanagement A-3250 Wieselburg, Rottenhauser Strasse 1, <a href="http://www.wieselburg.fhwn.ac.at">www.wieselburg.fhwn.ac.at</a>
7	<i>Dr. Wolfgang STADLBAUER</i> A-4075 Breitenbach, Finklham 92
8	<b>KEYDREAMS Marketingberatung</b> A-3013 Tullnerbach Pressbaum, Bihabergstraße 1 <i>Christian Hiel</i>

### Kooperationspartner WIRTSCHAFT

9	<b>LACTOPROT Alpenländische Milchindustrie und Handels- AG</b> A-8230 Hartberg, Ferdinand Leihns Straße 40, <a href="http://www.lactoprot.at">www.lactoprot.at</a> <i>DI Werner LORENZ, GF Georg REITHMAYER</i>
10	<b>HERAKLITH GmbH, F&amp;E Systementwicklung</b> A- 9586 Fünitz, Industriestraße 18, <a href="http://www.heraklith.com">www.heraklith.com</a> <i>Dr. Manfred DOPPELREITER</i>
11	<b>BORCKENSTEIN AG</b> A-8292 Neudau Nr. 34, <a href="http://www.borckenstein.com">www.borckenstein.com</a> <i>Ing. Manfred KERN</i>
12	<b>FEX ÖKO-Faserverarbeitungs-GmbH</b> A- 2183 Neusiedl/ Zaya, Dobermannsdorferstr. 1 <i>Ing. Johann PAYERL</i>

## Kurzfassung – Teil A

### (1) Ausgangslage und Motivation

In der österreichischen Landwirtschaft vollzieht sich gegenwärtig ein massiver Strukturwandel, der gekennzeichnet ist durch einen Rückgang der Viehwirtschaft (Milchproduktion) was eine Zunahme an überschüssiger Grünlandbiomasse bzw. an nicht mehr benötigtem Grünland zur Folge hat (nicht bewirtschaftete Bracheflächen). Um dieses für traditionelle Zwecke nicht mehr benötigte Grünland sowie die durch dieses Grünland wesentlich geprägten Kulturlandschaften weiterhin zu erhalten, ist es erforderlich, für die überschüssige Grünlandbiomasse neue Verwertungsmöglichkeiten zu erschließen. Eine innovative Möglichkeit zur alternativen Verwertung dieser überschüssigen Grünlandbiomasse bietet das Technologiekonzept einer sogenannten GRÜNEN BIORAFFINERIE. Die Grundidee dabei ist die, dass in Analogie zu einer Erdölraffinerie der Rohstoff „Grünlandbiomasse“ (z.B. Gras, Klee, Luzerne etc.) in einer einzigen Verarbeitungsanlage möglichst vollständig (Ganzpflanzennutzung) und ohne Anfall von Abfällen (zero-waste) in eine Vielzahl verkaufbarer Produktgruppen weiterverarbeitet wird. Ein wesentlicher Verfahrensschritt dabei ist jener der mechanischen Fraktionierung der primären Rohstoffe in eine flüssige Fraktion (Presssaft) und in eine feste Fraktion (Presskuchen). Der Presssaft enthält wasserlösliche Wertstoffe (z.B. Milchsäure und Aminosäuren), der Presskuchen besteht zum überwiegenden Teil aus Grasfasern unterschiedlichster Größe.

### (2) Projektziele

Die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Faserfraktion stellt mengenmäßig den größten Stoffstrom dar. Angesichts dieser Tatsache wird die Gesamtwirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE wesentlich vom entsprechenden Beitrag der Faserfraktion bestimmt. Das gegenständliche Projekt hat deshalb folgende Zielsetzungen: (1) Recherche von Verwertungsmöglichkeiten für die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Faserfraktion mit möglichst hohem Wertschöpfungsniveau. (2) Erarbeitung einer Systematik zur Charakterisierung von Grasfasern sowie Ermittlung von Messwerten für ausgewählte mechanische und chemische Eigenschaften von Grasfasern. (3) Durchführung von Grundlagenversuchen zur Klärung der Frage, ob die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Grasfaserfraktion grundsätzlich als alternativer Faserrohstoff bei der Produktion verschiedener Faserprodukte einsetzbar ist (Dämmstoffe, Materialien für Gartenbau, Spezialfuttermittel). (4) Ausarbeitung von Grundlagen für Planung, Errichtung und Betrieb einer GRÜNEN BIORAFFINERIE im Technikums- bzw. Produktionsmaßstab. (5) Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE unter österreichischen Rahmenbedingungen.

### (3) Methode der Bearbeitung (Arbeitsprogramm)

Die Umsetzung des Projekts erfolgt in 6 Arbeitspaketen: AP1: Recherche möglicher Verwertungsmöglichkeiten für Grasfasern. AP2 Analyse der Grasfasereigenschaften. AP3: Dämmstoffe aus Grasfasern. AP4: Materialien im Garten- & Landschaftsbau aus Grasfasern. AP5: Spezialfuttermittel aus abgepressten Grasfasern und AP6: Markt- und Wirtschaftlichkeitsanalyse.

### (4) Verwendete Rohstoffe, Apparate und Maschinen

Für die Silier- und Abpressversuche wurden unterschiedliche Grasarten aus unterschiedlichen Wiesen getestet: (1) Knautgras (100% *Dactylis glomerata*), (2) Ryegras (100% *Lolium hybridum* GUMPENSTEIN), (3) Weizengras (100% *Triticum aestivum* L.), (4) Luzerne (100% *Medicago sativa* L.), (5) Klee gras (Mischung aus diversen Gras- und Kleearten) und (6) Dauerwiese (Mischung aus diversen Gräsern und Kräutern aus extensiver Bewirtschaftung). Die eigentlichen Silier- und Abpressversuche setzen sich aus folgenden Verfahrensschritten zusammen, für die jeweils geeignete Maschinen bzw. Apparate eingesetzt wurden: Mähen des Frischgrases => Inokkulieren mit Starterkulturen für Silageprozess => Verpressung zu Ballen (Ballenpresse) => Silageprozess =>Transport der Grassilageballen => Zerkleinerung der Grassilage (Häckseln) => mechanische Fraktionierung (Schneckenpresse) => Filtration, Kühlung und Zwischenlagerung des Presssafts bzw. Trocknung und Zwischenlagerung der Presskuchens.



## Kurzfassung – Teil B

### Ergebnisse und Schlussfolgerungen

#### ***Kap.3: Recherche möglicher Verwertungsmöglichkeiten für Grasfasern (AP1)***

Eine eingehende Recherche nach Produkten bzw. Produktprototypen, die Gras oder „grasähnliche“ Pflanzenfasern als wesentliche Rohstoffkomponente verwenden, ergibt für die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Grasfaserfraktion folgende grundsätzlichen Verwertungsmöglichkeiten: (1) Dämmstoffe (Platten, Matten, Vliese, Stränge, Einblasdämmstoffe). (2) Platten (Span-, Faser-, MDF-, Feuerfestplatten). (3) Materialien für den Garten- & Landschaftsbau (Begrünungs-, Erosionsschutz-, Mulch- und Pflanzensubstratmatten, Torfersatz, Erdmischungen, Anzucht- und Kulturgefäße für Pflanzen). (4) Faserverstärkte Verbundwerkstoffe (z.B. BioComposites, Formpressteile für Automobilindustrie). (5) Verpackungsmaterialien (z.B. Formteile aus Faserguss, Papierschaum). (6) Zuschlagstoff in diversen Bauprodukten (z.B. Ziegel, Putze, Mörtel, Spachtelmassen). (7) Gipsfaserplatten. (8) Papier- & Zellstoff (Pulping aus Einjahrespflanzen). (9) Bioenergie (Brennstoffpellets, Biogas). (10) Futtermittel (Pellets).

#### ***Kap.4: Mechanische Fraktionierung der primären Rohstoffe (Silier- und Abpressversuche)***

Die Silier- und Abpressversuche ergaben folgende wesentliche Ergebnisse: (1) Als wesentlicher Einflussfaktor auf Produktausbeuten und Produktabtrenngrade (Selektivitäten) wurde der Trockensubstanzgehalt (TS) der Grasproben identifiziert. Dieser lag für die untersuchten Grasproben bei 15-30% (Frischgras) bzw. 25-50% (Grassilage). (2) Der Verfahrensschritt „mechanische Fraktionierung, d.h. die Abtrennung des primären Rohstoffs Grassilage in eine flüssige Phase (Presssaft) und in eine feste Phase (Presskuchen) funktioniert ziemlich zufriedenstellend: Der Abpressgrad (= jener Anteil des im Feed enthaltenen Wassers, der in den Presssaft übergeht) beträgt 40-65 % (Frischgras) bzw. 30-60% (Grassilage). Allerdings sinkt der Abpressgrad mit steigendem TS-Gehalt des Feeds. Bei gleichem TS-Gehalt von Grassilage und Frischgras wurde für Grassilage ein höherer Abpressgrad gefunden als für Frischgras, d.h. Grassilage ist besser entwässerbar als Frischgras. (3) Die Milchsäureausbeute im Presssaft ist vielversprechend und beträgt 25-60 kg/t TS, was ca. 50% der im Feed enthaltenen Milchsäuremenge entspricht (d.h. MS-Abtrenngrad = 50%). In Folgearbeiten sollte versucht werden, diesen Abtrenngrad - und damit die MS-Ausbeute im Presssaft – zu erhöhen. (4) Die Proteinausbeute im Presssaft sind allerdings wesentlich niedriger ausgefallen als erwartet. Gefunden wurden Protein-Ausbeuten von 30-40 kg/t TS, was 25% der im Feed enthaltenen Proteinmenge entspricht. Aus der Literatur wurden jedoch ca. 120-130 kg/t TS erwartet (80% Abtrenngrad). In Folgearbeiten sollte deshalb versucht werden, die Proteinausbeuten zu erhöhen. (5) Die Restzuckergehalte in Presssaft und Presskuchen von Grassilageproben sind beträchtlich: In Folgearbeiten sollte deshalb versucht werden, mittels geeigneter Methoden diese Restzucker in zusätzliche Milchsäure umzuwandeln. (6) Die Rohfaserausbeuten im Presskuchen betragen ca 300 kg / t TS, was 95% der im Feed enthaltenen Rohfasermenge entspricht.

#### ***Kap.5: Charakterisierung der Grasfasern (AP2)***

Es konnte erfolgreich eine Methodik zur Charakterisierung von elementaren Grasfasern bzw. von Bündeln aus elementaren Grasfasern entwickelt werden. Diese Methodik wurde an 4 Gras- bzw. Leguminosenarten im Detail getestet: Ryegras (*Lolium hybridum GUMPENSTEIN*), Weizengras (*Triticum aestivum L.*), Rotklee (*Trifolium pratense*) und Luzerne (*Medicago sativa L.*).

Charakterisierungsmethodik: (1) Für die Isolierung der elementaren Fasern bzw. Faserbündel aus den Halmen bzw. Blättern diverser Gräser wurden drei Methoden entwickelt: Eine saure Methode (10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 90°C, 3h), eine alkalische Methode (1% NaOH, 100°C, 1h) und eine enzymatische Methode (20°C, 2 Wochen). Es war kein wesentlicher Einfluss dieser Isolierungsmethoden auf die Eigenschaften der erhaltenen Elementarfasern erkennbar. Im Falle der alkalischen Methode (NaOH) wird allerdings die Faseroberfläche etwas angegriffen. (2) Die Ermittlung der elementaren Strukturen in den Quer- und Längsschnitten von Grasstängeln

und Grasblättern (Morphologie, Fasergehalt) erfolgte mittels Lichtmikroskopie und anschließender computerunterstützter Bildanalyse der mikroskopischen Aufnahmen.

Ergebnisse Fasercharakterisierung: (1) Fasergehalt: Die Stängel weisen – wie zu erwarten war - einen wesentlich höheren Fasergehalt auf als die Blätter: Stängel: 39,5% (Ryegrass) > 34,5% (Luzerne) > 20,2% (Rotklee). Blätter: 10,1% (Weizengras) > 7,9% (Ryegrass) > 6,9% (Luzerne). (2) Faserlänge: 2100-3200 $\mu\text{m}$  (Rotklee) > 800-1300 $\mu\text{m}$  (Ryegrass+Weizengras). (3) Faserdurchmesser: 15-18 $\mu\text{m}$  (alle untersuchten Grasarten). (4) Lineare Dichte (Feinheit): 12-105 dtex (alle Grasarten). (5) Zugfestigkeit: 7,5 – 21 cN/tex (alle Grasarten). Diese Werte sind durchaus vergleichbar mit denjenigen für Bastfasern (z.B. Jute: 23-31 cN/tex, Hanf: 29-47 cN/tex, Kokosfaser: 15 cN/tex). (6) Dehnung: 1,5 – 5,5% (alle Grasarten). Auch diese Werte sind vergleichbar mit denjenigen von Bastfasern (z.B. Jute: 1,3-1,8%; Hanf: 1,8%).

Schlussfolgerungen + Weitere Forschungsarbeiten: Zugfestigkeit, Dehnung und lineare Dichte (Feinheit) von Grasfasern sind durchaus vergleichbar mit den entsprechenden Werten von Bastfasern (z.B. Jute, Hanf). Grasfasern haben allerdings eine sehr geringe Biegefestigkeit, d.h. Grasfasern brechen nicht primär bei Zug-, sondern bei Biegebeanspruchung. Aus diesem Grunde sind Grasfasern für textile Verwertungszwecke nicht geeignet (aus Grasfasern lässt sich kein Garn spinnen). Die Suche nach industriellen Verwertungsmöglichkeiten für die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Grasfaserfraktion sollte sich deshalb auf die Nutzung des gesamten Grasstängels/-blatts konzentrieren (z.B. Vliese, non-wovens, Dämmstoffe).

### **Kap.6-Teil-1: Mahlversuche und Charakterisierung gemahlener Grasfasern (AP2)**

Mit ausgewählten Gaspresskuchenproben wurden grundlegende Mahlversuche in einer Schneid- sowie in einer Prallmühle durchgeführt. Für das entstandene Mahlgut wurde mittels des sogenannten *MorFi-Faseranalyse-systems* die Faserlängen- und Faserdurchmesser-Verteilungen bestimmt.

Ergebnisse: (1) Faserlänge: Sowohl für die Schneid- als auch für die Prallmühle wurden Fasern mit sehr kurzer Faserlänge erhalten (ca. 60% der Fasern sind im Längenbereich 0,1-0,2 mm). (2) Faserdurchmesser: Für beide Mühlentypen wurden - innerhalb des Messbereichs des *MorFi-Faseranalyse-systems* von 5-75 $\mu\text{m}$  - breite Faserdurchmesser-Verteilungen gefunden. Allerdings ergab die Vermahlung mittels der *Prallmühle* – im Vergleich zur Schneidmahlung - deutlich kleinere Faserdurchmesser sowie eine engere Faserdurchmesser-Verteilung, d.h. im Prinzip scheint eine Prallmühle für die Fibrillierung des Ausgangsmaterials (Durchmesserreduktion) geeignet zu sein. (3) Charakterisierungsmethodik: Die für die Faserlängen- bzw. Faserdurchmesser-Verteilung von gemahlener Grasfasern gefundenen Ergebnisse sind allerdings mit Vorbehalt zu betrachten, und zwar aufgrund von Leistungsgrenzen des verwendeten *MorFi-Faseranalyse-systems*: Im Zuge des Analyseprozesses kommt es zu einer Quellung der Faserpartikel, wodurch dickere Fasern vorgetäuscht werden als im trockenen Zustand tatsächlich vorhanden sind. Weiters wird ein beträchtlicher Anteil des Mahlguts nicht als Faser erkannt, nämlich all jene Partikel, deren Länge < 0,1mm und deren Durchmesser >75 $\mu\text{m}$  beträgt. Diese Partikel haben keinen Fasercharakter (Durchmesser : Längenverhältnis > 10 : 1), sondern eher spanartigen Charakter (gleich breit wie lang).

Weitere Forschungsarbeiten: (1) Durchführung von Mahlversuchen mit alternativen Mahlwerkzeugen (z.B. Schlagwerkzeuge mit dem Ziel einer optimalen Fibrillierung des Grasfasermaterials). (2) Optimierung der Faserabmessungen im Hinblick auf mögliche Einsatzgebiete des Mahlguts wie Porenbildner bei der Ziegelherstellung, Filtrationshilfsmittel für die Anschwemmfiltration, Verbesserung der rheologischen Eigenschaften von Anstrichen und kurzfaserverstärkte Kunststoffe. (3) Entwicklung einer zuverlässigen und einfach zu handhabenden Charakterisierungsmethodik für Naturkurzfasern.

### **Kap.6-Teil-2: Öffnungsversuche – Genadelte Grasfaservliese (AP2)**

Mit ausgewählten Gaspresskuchenproben wurden grundlegende Öffnungsversuche auf einer industriellen Technikumsanlage durchgeführt. Ziel dieser Grundlagenversuche war, festzustellen, ob sich im Prinzip Grasfasern mittels des sogenannten „Kardiervfahrens“ zu genadelte Grasfaservliesen verarbeiten lassen.



Ergebnis: Es hat sich leider herausgestellt, dass das Kardierverfahren zur Herstellung von Faserfloren bzw. von genadelten Faservliesen nicht für die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Grasfaserfraktion geeignet ist. Dafür sind mehrere Gründe anzuführen: Erstens waren die verwendeten Grasfasern zu kurz (ca. 10-20mm lang; tatsächlich wäre eine Mindestlänge von 40-80 mm erforderlich). Zweitens waren die verwendeten Grasfasern zu wenig schlank und drittens waren sie zu brüchig.

Weitere Forschungsarbeiten: In Folgearbeiten sollte versucht werden, für besonders aufbereitetes Grasfasermaterial einzelne Systemkomponenten des Kardierverfahrens zur Herstellung von Faservliesen auf ihre Anwendbarkeit hin zu überprüfen. Das für diese Versuche verwendete Grasfasermaterial müsste aus einer homogenen Fraktion schlanker, langer Grasfasern bestehen (Mindestlänge 60 mm), die frei von nennenswerten Staub- und Grobanteilen ist.

### **Kap. 7: Dämmstoffplatten aus Grasfasermaterial (AP3)**

Es wurden mehrere Serien von Grasfaserprobplatten hergestellt und charakterisiert, mit dem Ziel, die Frage zu klären, ob sich Grasfasermaterial grundsätzlich als Rohstoff für die Herstellung von Dämmstoffplatten eignet. Die Herstellung der Probplatten erfolgte unter Verwendung unterschiedlicher Grasarten (Knautgras, Klee gras, Ryegrass, Weizengras und Luzerne) mit unterschiedlichen Vorbehandlungsstufen (z.B. grün/siliert 1x/2x abgepresst, zersäet mittels Hammermühle bzw. thermomechanisch). Als Bindemittel (BM) wurden anorganische BM (Kauster, Siocoat) und organische BM (Acronal 7D, Acronal 80D, Latex) verwendet. Zur Charakterisierung der Probplatten wurden folgende Größen gemessen: Rohdichte, Biegefestigkeit, Druckspannung bei 10% Stauchung, Wärmeleitfähigkeit, Wasseraufnahmevermögen und Schallabsorptionsverhalten. Als Vergleich für die Grasfaserplatten wird die Holzwoleleichtbauplatte (HWL) herangezogen.

Ergebnisse: (1) Plattenherstellprozess: Ab einer Bindemittelkonzentration von 50% (bezogen auf die Trockenmasse) lassen sich relativ vernünftige Platten herstellen. Allerdings kommt es zum Zuge des Plattenherstellungsprozesses zu einer starken Geruchsentwicklung. (2) Rohdichte: (a) BM=Acronal 7D: 300-550 kg/m<sup>3</sup> (alle Grasarten). (b) BM=Acronal 80D: 450 kg/m<sup>3</sup> (Weizengras, Luzerne) bzw. 200-350 kg/m<sup>3</sup> (Ryegrass, Klee gras). (c) BM=Kauster: 280-440 kg/m<sup>3</sup> (alle Grasarten). (d) Vergleich HWL (DIN 1101): 390-440 kg/m<sup>3</sup>. Man sieht, dass Grasfaserplatten durchaus ähnliche Rohdichten aufweisen wie Holzwoleleichtbauplatten. (3) Druckspannung bei 10% Stauchung: (a) BM=Acronal 80D: 25-40 kPa (alle Grasarten). (b) BM=Acronal 7D: 250-300 kPa (Klee gras, Knautgras) bzw. 120-180 kPa (Ryegrass, Weizengras, Luzerne). (c) BM=Kauster: 50-400 kPa (alle Grasarten). (d) Vergleich HWL (DIN 1101): 200 kPa. Man sieht, dass mit Acronal 7D sowie Kauster als Bindemittel Grasplatten möglich sind, die durchaus ähnliche Werte für die Druckspannung bei 10% Stauchung aufweisen wie Holzwoleleichtbauplatten. Lediglich mit Aronal 80D als Bindemittel erreicht man keine ausreichend hohen Druckspannungen. (4) Wärmeleitfähigkeit: 62,5 – 82,7 mW/m K (alle Grasarten und Bindemittel). Vergleich HWL (DIN 1101): 90 mW/m K. Man sieht also, dass sämtliche Grasfaserplatten eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit aufweisen als der für Holzwoleleichtbauplatten zulässige Maximalwert, d.h. alle untersuchten Grasfaserplatten haben ein ausreichend hohes Wärmedämmvermögen. (5) Schallabsorptionsgrad: Grasfaserplatten haben ein gutes Schallabsorptionsverhalten, vor allem im Frequenzbereich von 400 bis 1000Hz, wo Grasfaserplatten sogar deutlich besser sind als Holzwoleleichtbauplatten und vergleichbar sind mit am Markt erhältlichen Spezialschallschutzplatten. Grasfasermaterial scheint also grundsätzlich eine gute Eignung als Schalldämmstoff zu haben. (6) Biegefestigkeit: 0,09 bis 0,35 N/mm<sup>2</sup> (alle Grasarten und Bindemittel). Vergleich HWL (DIN 1101): 1,8 N/mm<sup>2</sup>. Man sieht, dass die Biegefestigkeiten aller untersuchten Grasfaserplatten deutlich niedriger sind als die entsprechenden Werte für die Holzwoleleichtbauplatte. (7) Wasseraufnahmeverhalten: Sämtliche Grasfaserplatten zeigen, unabhängig vom verwendeten Bindemittel (Acronal 7D, Acronal 80D, Kauster) eine mangelhafte Wasserbeständigkeit: Bei längerem Wasserkontakt der Platten kommt es zu einer starken Wasseraufnahme (Quellung) und in weiterer Folge zu deren allmählichen Auflösung.

Schlussfolgerungen: (1) Hinsichtlich Rohdichte, Druckspannung sowie Wärme- und Schalldämmwirkung könnten Dämmstoffplatten aus Grasfasern durchaus mit den im Wettbewerb stehenden Holzwoleleichtplatten

(HWL) konkurrieren. (2) Hinsichtlich Biegefestigkeit und Wasserbeständigkeit jedoch wurden für die untersuchten Grasplatten keine befriedigenden Werte gefunden. (3) Ein weiteres zu lösendes Problem stellt die starke Geruchsentwicklung der Grasfaserplatten dar. (4) Beim gegenwärtigen Entwicklungsstand kann deshalb ein Einsatz der in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Grasfaserfraktion als Dämmstoff im Bau-Innenbereich leider noch nicht empfohlen werden.

Weitere Forschungsarbeiten: (1) Methoden zur Reduktion der Geruchsentwicklung von Grasfasermaterial. (2) Verbesserung der mechanischen Eigenschaften (insbesondere der Biegefestigkeit) von Dämmplatten aus Grasfaserrohstoffen, etwa durch Verwendung homogenerer Faserfraktionen mit definierten Eigenschaften. (3) Ausnutzung des Potenzials von Grasfasermaterial als Schalldämmstoff.

### ***Kap.8: Grasfasern als Füll- und Verstärkungsstoff für Thermoplastische Kunststoffe (AP3)***

Unter Verwendung thermomechanisch zersetzten Kleeergrasproben wurden Faser-Kunststoff-Compounds hergestellt (30% Kleeergrasfasern, 70% Polypropylenpolymer) mit dem Ziel, festzustellen, inwieweit Grasfasermaterial als Füll- und Verstärkungsstoff für thermoplastische Kunststoffe geeignet ist. Zur Charakterisierung der Faser-Kunststoff-Compounds wurden Zugfestigkeit, Biegefestigkeit und Schlagzähigkeit der Compounds ermittelt. Aus Vergleichsgründen wurden Compounds mit Talkum bzw. Glimmer als Füllstoff sowie das ungefüllte Polymer (0% Füllstoff) untersucht.

Ergebnisse: (1) Zugfestigkeit (E-Modul): 3.200 MPa (30% Talkum) > 2.450 MPa (30% Glimmer) > 1.475,7 MPa (30% Grasfasern) > 1.055 MPa (0% Füllstoff). Man sieht, dass sich die Zugfestigkeit des Polymers bei Verwendung von Grasfasern als Füllstoff zwar geringfügig erhöht, dass man jedoch mit Talkum und Glimmer als Füllstoff wesentlich höhere Biegefestigkeiten erhält. (2) Biegefestigkeit (E-Modul): 4.550 MPa (30% Talkum) > 3.350 MPa (30% Glimmer) > 1.550 MPa (0% Füllstoff) > 2527,6 MPa (30% Grasfasern). Man sieht, dass Grasfasern als Füllstoff – im Vergleich zum ungefüllten Polymer - keine Verbesserung der Biegefestigkeit bewirken. (3) Charpy Schlagzähigkeit: 1,12 J (30% Talkum) > 1,0 J (30% Glimmer) > 0,56 J (30% Grasfasern). Man sieht, dass man mit Grasfasern als Füllstoff für die Schlagzähigkeit niedrigere Werte erhält als mit Glimmer bzw. Talkum als Füllstoff.

Schlussfolgerung + Weitere Forschungen: Der Einsatz von Grasfasern als Füll- und Verstärkungsstoff für thermoplastische Kunststoffe scheint nach diesen ersten Ergebnissen nicht sinnvoll zu sein. In Folgearbeiten müssten Methoden zur Erhöhung der Faser-Matrix-Haftung entwickelt werden, etwa durch Zugabe geeigneter Haftvermittler oder durch Modifikation der Oberfläche der verwendeten Grasfasern. Weiters müsste die Eigenfestigkeit der Fasern erhöht werden, oder es müssten andere Fasern verwendet werden.

### ***Kap.9: Materialien im Garten- und Landschaftsbau aus Grasfasern (AP4)***

Im gewerblichen Gartenbau sowie im Landschaftsbau (Ingenieurbiologie) sind eine Reihe von Produkten im Einsatz, bei denen grundsätzlich Grasfasermaterialien eine wesentliche Rohstoffkomponente darstellen könnten, z.B. Pflanzentöpfe, Mulchmatten, Begrünungs- und Erosionsschutzmatten, Torfersatzprodukte etc. Vor diesem Hintergrund wurden Prototypen von Mulchmatten und Pflanzentöpfen aus Grasfasern hergestellt. Für diese Prototypen wurden mehrere Grasarten (Nau gras, Kleeergras, Luzerne) mit unterschiedlichen Vorbehandlungsstufen (grün/siliert, 1x/2x abgepresst, gesiebt) getestet. Weiters kamen organische und anorganische Bindemittel zum Einsatz (Acronal 7D, Latex, Kauster). Leider ist es – vorerst - nicht gelungen, in Analogie zur Fasergusstechnik bindemittelfreie Mulchmatten herzustellen (unzureichende Festigkeiten).

Ergebnisse: (1) Mulchmatten: Mit Latex als Bindemittel konnten problemlos Mulchmatten hergestellt werden (60% Fasern, 40% Bindemittel). (2) Pflanzentöpfe: Mit Kauster als Bindemittel konnten problemlos Pflanzentöpfe hergestellt werden (ca. 40-50% Bindemittel). Mit Acronal 7D als Bindemittel ließen sich jedoch nur unter Schwierigkeiten Töpfe herstellen, da dieses Bindemittel sich als zu *klebrig* für eine problemlose Entformung erwies, d.h. der Topf ist nur schwer aus der Form herauszubringen.

Schlussfolgerungen + Weitere Forschungsarbeiten: (1) Die Verwendung der in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Grasfaserfraktion als Rohstoff für die Herstellung von Mulchmatten und Pflanztöpfen scheint prinzipiell machbar. Bei diesen Produkten ist auch eine eventuelle Geruchsemission der Grasfasern eher akzeptierbar. (2) In Folgearbeiten sollten sowohl für Mulchmatten als auch für Pflanztöpfe aus Grasfasern Zeitstandsversuche unter Freilandbedingungen zwecks Überprüfung der Praxistauglichkeit durchgeführt werden (z.B. Verhalten bei Einwirkung von Bewitterung, Bodenorganismen etc.). (3) Vor einer eventuellen Herstellung von Mulchmatten und Pflanztöpfe aus Grasfasern in einem größeren Maßstab müsste ein Produktionskonzept erstellt werden, da es sich bei diesen Produkten um low-cost-Produkte handelt und am Markt bereits ein starker Wettbewerb etabliert ist. (4) In Folgearbeiten sollte Grundlagenversuche zur Verwertung von Grasfasermaterial als Rohstoff für weitere im Garten- und Landschaftsbau benötigte Produktgruppen durchgeführt werden, z.B. Begrünungs- und Erosionsschutzmatten, Anspritzbegrünung, Torfersatzprodukte, Produkte für die Friedhofsfloristik etc.

### ***Kap.10: Futtermittelpellets aus abgepressten Grasfasern und Fütterungsversuche (AP5)***

Zunächst wurden – erfolgreich – Grundlagenversuche zur Pelletierung des Presskuchens verschiedener Grasarten (Kleegrass, Luzerne) mit unterschiedlichen Vorbehandlungsstufen (grün/siliert, 1x/2x abgepresst) durchgeführt. Danach wurden unter Verwendung der zuvor pelletierten abgepressten Grasfaserproben (Kleegrass, Luzerne) an Meerschweinchen und Chinchillas Fütterungsversuche durchgeführt (Akzeptanztest und Verdaulichkeitstest). Ziel dieser Fütterungsversuche war es, festzustellen, ob die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Grasfaserfraktion grundsätzlich als Komponente von Spezialfuttermitteln verwendbar ist (rauhfaserreiche Futterpellets für Heimtiere).

Ergebnisse: (1) Pelletierversuche: Es ist erfreulicherweise gelungen, aus dem Grasfaserpresskuchen ohne Bindemittelzusatz qualitätsvolle Grasfaserpellets herzustellen, und zwar sowohl in einer Pelletieranlage im Produktionsmaßstab (Ringmatrizenpresse) als auch in einer solchen im Labormaßstab (Flachmatrizenpresse). (2) Akzeptanztest: Rauhfutterpellets aus abgepresstem Grasfasern (Kleegrass-siliert, Luzerne-grün) werden von Meerschweinchen und Chinchillas gut aufgenommen und werden von den Tieren auch gut vertragen. (3) Verdaulichkeitstest: Die getesteten Grasfaserpellets weisen einen mindestens ebenso hohen Nährwert auf wie Heu. Die durchschnittliche scheinbare Verdaulichkeit (sV) der getesteten Grasfaserpellets war mit jener von Heupellets vergleichbar bzw. geringgradig höher. (4) Mögliche Rezeptur für Meerschweinchen-Alleinfutter: 50% Luzernefasern, 30% Getreide (Hafer, Weizen), 17-25% Eiweißträger (z.B. Extraktionsschrott von Soja oder Sonnenblumen), 2-3 % Mineralstoffträger und 1% Vitamis- & Spurenelementmischung.

Schlussfolgerungen: Die getesteten Grasfaserpellets (Kleegrass-siliert, Luzerne-grün) sind sowohl als Rauhfutter in der Heimtierernährung geeignet als auch als Rauhfutterkomponente zur Herstellung von Alleinfuttermitteln für Meerschweinchen, Kaninchen und andere Nagetiere.

### ***Kap.11: Marktanalyse für mögliche Produkte einer GRÜNEN BIORAFFINERIE (AP6)***

Es wurden für folgende mögliche Produktgruppen einer GRÜNEN BIORAFFINERIE die entsprechenden Marktchancen gesichtet und beurteilt: (1) Aminosäuren, (2) Proteine, (3) Poly-Lactat, (4) Ethaly-Lacatat), (5) Spezialfuttermittel, (6) Dämmstoffe aus Fasern und (7) Materialien für den Gartenbau.

Ergebnisse: (1) Aminosäuren: (a) Märkte: Nahrungs- & Futtermittelbereich: Wachstum: 5%. (b) Marktvolumen (Weltmarkt, alle Aminosäuren): \$ 660 Mio (2003) => \$ 885 Mio (2009). Das hauptsächliche Wachstum liegt im Bereich Nahrungsmittel und Nahrungsergänzungsmittel sowie Tierfutterzusätze: \$178 Mio (2000) => \$ 244 Mio (2003) => \$ 331 Mio (2009). (c) Preisbeispiele (2001): 17,60-30 € /kg (Phenylalanin) > 4,50-5,60 €/kg (Lysin) > 2,00-2,10 €/kg (Asparaginsäure). Die Aminosäure Lysin wird sich zur wichtigsten Aminosäure entwickeln (Futtermittel in der Hühner- und Schweinezucht). (2) Proteine: (a) Märkte: Nahrungsmittel, Tierfuttermittel, Chemierohstoff. Im Nahrungs- und Futtermittelbereich haben pflanzliche Proteinprodukte gegenwärtig gute Chancen, nicht zuletzt wegen der BSE-Krise (Rinderwahnsinn) der letzten Jahre. Als Chemierohstoff müssen Proteine mit fossilen Rohstoffen konkurrieren. (b) Marktvolumen (Nahrungs- und Futtermittelbereich): \$ 6,86 Mrd

(2002) => \$ 9,00 Mrd (2009). (c) Preisbeispiele für Proteine unterschiedlicher Provenienz: 2,5 – 3,5 €/kg (Soja) > 1,0-1,5 €/kg (Raps) > 0,5-0,8 €/kg (Weizen, Kartoffel). (3) Poly-Lactat (Milchsäure): (a) Märkte: Medizin, Verpackungen und Folien. (b) Marktvolumen: 105.000 t/Jahr (1995) => 350.000 t/Jahr (2005). Im Jahr 2001 wurde in den US von Cargill Dow eine Produktionsanlage für Polylactat in Betrieb genommen: Kapazität: 140.000 t/Jahr (2001). (c) Preisbeispiel: 2,50 €/kg Polymilchsäure-Granulat ab Hafen Holland. (4) Ethyl-Lactat (Milchsäure): (a) Märkte: Ersatz von Ethyl-Acetat als Lösungsmittel, Reinigungsmittel etc. Marktvolumen (Essigsäure): 2,1 Mio t/Jahr (2001). Marktwachstum: 2,5-3,5%. (b) Preisbeispiel (Ethyl-Acetat): 0,7-1,0 €/kg. (5) Tierfuttermittel (Faserprodukte): (a) Marktvolumen (Deutschland): 2.042 Mio €/Jahr (davon 4% Futter für Kleinnagetiere wie Kaninchen, Meerschweinchen etc.; 88% Hunde- & Katzenfutter). (b) Preisbeispiele: 6,0 €/kg (Meerschweinchenfutter) > 4,50 €/kg (Kaninchenfutter). (6) Dämmstoffe (Faserprodukte): (a) Marktvolumen (Europa): 6.500 Mio €/Jahr. (b) Preisbeispiele: 180-230 €/m<sup>3</sup> (Naturdämmstoffe) > 45-90 €/m<sup>3</sup> (Mineralwolle) > 45-65 €/m<sup>3</sup> (EPS Polystyrol). (7) Materialien für den Gartenbau (Faserprodukte): Alle Produkte aus diesem Sektor zeichnen sich durch extrem billige Produktion aus. Diese „Low Interest Products“ werden sehr schwer bis kaum durch entsprechendes Produkte aus Grasfasern zu ersetzen sein.

Schlussfolgerungen: (1) Aminosäuren stellen sich für eine GRÜNE BIORAFFINERIE als Hoffungsprodukt dar. Dabei sollte auf seltenere Aminosäuren fokussiert werden, da für derartige Spezialprodukte die Margen zwischen Produktionskosten und Verkaufspreisen auch mittelfristig auf relativ hohem Niveau stabil bleiben dürften. (2) Hinsichtlich Milchsäure aus einer GRÜNEN BIORAFFINERIE sollte die Fokussierung in Richtung Aromastoffe für Lebensmittel sowie den Kosmetikbereich gehen. Dabei kann aufgrund der Herkunft des Rohstoffes ein eventueller erhöhter Marktpreis gegenüber dem Standardprodukt erzielt werden. Die Produktion von Milchsäure-Polymeren (Poly-Lactat) erfolgt gegenwärtig bereits im großindustriellen Maßstab, sodass nicht anzunehmen ist, dass sich allfällige Investments seitens der GRÜNEN BIORAFFINERIE auf diesem Sektor jemals rechnen werden. (3) Bei der Verwertung der Faserfraktion sollte die Ausrichtung eindeutig in Richtung erweiterter Heimtiermarkt ausgerichtet werden (inkl. Pferde). Wichtig dabei ist, sich bereits jetzt mit der Produktentwicklung auseinander zusetzen. Es ist zu empfehlen, sich mit entsprechenden Partnern (Produzenten) zusammenzuschließen, um die Bedürfnisse der Tierbesitzer durch entsprechend angereicherte und speziell komponierte Tierfertiernahrung zu befriedigen. Andere Verwertungsoptionen für die Faserfraktion (Dämmstoffe, Materialien für den Gartenbau) sind nach derzeitigen Wissensstand nicht empfehlenswert.

## **Kap.12: Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE (AP6)**

Es wurde exemplarisch für eine GRÜNE BIORAFFINERIE-Anlage im Pilotmaßstab mit einer Kapazität von 6.000 Jahrestonnen eine dynamische Wirtschaftlichkeitsanalyse im Sinne einer Sensitivitätsanalyse durchgeführt, d.h. es wurde die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeitskennzahl der *dynamischen Amortisationszeit* von den wichtigsten Einflussfaktoren ermittelt, wobei diese Einflussfaktoren innerhalb plausibler Wertebereiche variiert wurden: Rohstoffkosten: 500-2.000 ATS/t TS; Personalkosten und sonstige Fixkosten: 2-4 Mio ATS/a; spezif. Erlöse für Protein- und Milchsäureprodukte: 15-19 ATS/kg; spezif. Erlöse für Faserprodukte: 1-7 ATS/kg; spezif. Protein- und Milchsäureausbeuten: 75-125 kg/t TS; spezif. Faserausbeuten: 200-400 kg/t TS; Fördermittelanteil am Gesamtkapital: 0-40 %; Eigenkapitalanteil am Gesamtkapital: 10-100%; Gesamtkapital: 30-50 Mio ATS.

Ergebnisse, Schlussfolgerungen, Weitere Arbeiten: Die Ergebnisse dieser Wirtschaftlichkeitsanalyse sind als grobe Orientierungshilfen gedacht, da – mit Ausnahme der spezifischen Rohstoffkosten - für die meisten Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit noch keine ausreichend abgesicherten Werte vorliegen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann beispielsweise für die Investitionskosten lediglich eine sehr grobe Schätzung abgegeben werden, weil es beim gegenwärtigen Entwicklungsstand noch nicht möglich ist, das Anlagenschema (Art und Größe der verwendeten Apparate & Maschinen) in dem für eine genauere Abschätzung der Investitionskosten erforderlichen Detaillierungsgrad anzugeben. Für eine genauere und adäquatere Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage ist daher eine weitere Ausarbeitung der technologischen Grundlagen unumgänglich.

## Summary – Part A

### (1) Motivation

Currently, the structure of agriculture in Austria is strongly changing, characterised by a decrease of grassland utilisation for production of cattle feed (milk production), thus, resulting in a steady increase of excess grassland areas. In order to keep these areas cultivated – which is essential for the highly desirable preservation of cultural landscape of Austria – new innovative utilisation pathways for green biomass are required. One new promising utilisation pathway for green biomass is offered by the technology concept of GREEN BIOREFINERIES. Today, petroleum refineries generate efficiently a multitude of products from crude-oil at a very large scale. Similarly, GREEN BIOREFINERIES process and convert the raw material “green biomass” (e.g. grass, clover, lucern) into a range of individual marketable products (multi-product-system) based on deployment of sustainable zero-waste technologies. An essential process unit in a GREEN BIOREFINERY installation is the mechanical fractionation of the primary raw material “green biomass” into a liquid phase (press juice) and a solid phase (press cake). The press juice contains water soluble compounds like lactic acid and amino acids, the press cake contains fibres of different length and diameter.

### (2) Objectives

Considering the fact, that the fibre 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 fibre fraction into marketable value added fibre products. Therefore, this project has the following general objectives: (1) Identification of possible fibre products based on grass fibres from a GREEN BIOREFINERY as raw material. (2) Development of a method for characterisation of grass fibres and determination of characteristic properties of grass fibres. (3) Basic experiments aimed at testing, whether grass fibres are in principle suited as raw material for the production of insulation material, materials used in horticulture and speciality feed for animal pets. (4) Development of fundamentals for design, construction and operation of a GREEN BIOREFINERY installation on pilot / production scale. (5) Assessment of the economic efficiency of a GREEN BIOREFINERY under the specific Austrian conditions.

### (3) Content and Structure of the Project (Work-Programme)

The project consists of the following 6 work-packages: WP1: Identification of possible fibre products based on grass fibres from a GREEN BIOREFINERY. WP2: Determination of characteristic properties of grass fibres. WP3: Insulation material from grass fibres. WP4: Material used in horticulture based on grass fibres. WP5: Speciality feed for animal pets (guinea pigs and chinchillas). WP6: Market survey and economic analysis.

### (4) Experimental (Raw Materials, Machinery and Devices)

For experiments the following grass and legume species were used: (1) Pure *Dactylis glomerata* (100%), (2) Hybrid ryegrass (100% *Lolium hybridum* GUMPENSTEIN), (3) Wheat grass (100% *Triticum aestivum* L.), (4) Lucerne (100% *Medicago sativa* L.), (5) Mix of different grass and clover species from an intensively cultivated meadow, (6) Mix of different grass and herb species from an extensively cultivated meadow. The experiments with respect to preparing grass silage from green grass as well as with respect to mechanical fractionation of the grass silage consists of the following process units, each of which realised in a proper machinery and/or device: Mowing of green grass => adding of fermentation bacteria facilitating the ensiling process => pressing of grass bales (baling press) => ensiling process (solid state fermentation) => transport of grass silage bales => crushing of grass silage bales (reduction of fibre length) => mechanical fractionation of grass silage into a liquid phase (press juice) and a solid phase (press cake) by means of an extruder press => filtration, cooling and storing of press juice + drying and storing of press cake.



## Summary – Part B: *Results and Conclusions*

### Chap.3: Identification of possible fibre products based on grass fibres from a GREEN BIOREFINERY (WP1)

In principle, grass fibres from a GREEN BIOREFINERY may be used as raw material for the following products: (1) Insulation material, (2) fibre boards, (3) products used in horticulture, erosion control etc. (4) biocomposites, (5) packaging material, (6) additives for building material, (7) gypsum boards, (8) pulp and paper, (9) bioenergy and (10) speciality feed for animals.

### Chap.4: Mechanical fractionation of primary raw materials “grass” and “grass silage”, respectively (WP2)

Primary raw materials “grass (green)” and “grass silage (brown)” could be successfully separated by means of an extruder press into press juice and press cake: (a) In case of “grass (green)” about 40-65% of the total available water goes into the press juice. In case of “grass silage (brown)” 30-60%. (b) Lactic acid yield in the press juice is quite satisfactory: 25-60 kg/ ton dry matter (dm), which represents about 50% of the total available amounts of lactic acid. (c) However, protein yield in the press juice is not satisfactory: Only 30-40 kg/ ton dry matter can be found there which represents only about 25% of the total available amount of proteins. (d) Residue sugar in press cake and press juice is quite high. Methods should be investigated by means of which these residue sugars could be converted into additional lactic acid. (e) Fibre yield in press cake is about 300 kg / ton dry matter, which represents 95% of total available fibres.

### Chap.5: Fibre characterisation – Properties of grass fibres (WP2)

A method for determining characteristic properties of grass fibres could be developed and tested. Results: Fibre content of stems and leaves: 20,2 – 39,5 % (stems) > 6,9 –10,1% (leaves). Fibre length: 800-3200  $\mu\text{m}$ . Fibre diameter 15-18  $\mu\text{m}$ . The mechanical properties of grass fibres like tenacity and elongation are of a similar size than the corresponding properties of bast fibres like jute, hemp: Tenacity: 7,5-21 cN/tex (grass fibres) – 23-31 cN/tex (jute). However, grass fibres do have no bending strength. Conclusion: Technical grass fibres are not suited for textile applications. Thus, in further work products that utilise the whole stem of grasses and/or legumes should be focused (e.g. non-wovens, insulation material).

### Chap.6: Milling of grass – Properties of grass fibre powder (WP2)

Two different types of mills were tested (granulator, impact mill) regarding their suitability for homogenisation and fibrillation of the grass fibres. The resulting grass fibre powders were analysed with respect to fibre length and diameter distribution. It turned out that only the impact mill is suited for the task.

### Chaps.7-10: Prototype products from grass fibre (WPs 3-5)

(1) Some properties of insulation boards from grass fibres (e.g. density, heat conductivity, compression stress, and sound absorption) are of the same size or even better than corresponding properties of insulation boards manufactured from wood-wool. However, at the moment grass fibre boards do not exhibit satisfactory properties regarding bending strength, stability against water and smell emissions. (2) Prototype plastics reinforced by grass fibres showed, that some minor improvements of the mechanical properties can be reached. However, different reinforcement materials exhibit a much bigger increase of these properties. (3) Prototype pots and mulch boards, each of which manufactured from grass fibres showed, that grass fibres are suited for these types of products (4) Extensive feeding experiments with guinea pigs and chinchillas showed, the grass pellets manufactured from the press cake of a GREEN BIOREFINERY is very well suited for that purpose.

### Chaps.11-12: Market survey and economic analysis (WP6)

According to market survey amino acids, lactic acid and fibres in speciality feed for animal pets turned out to be promising products of a GREEN BIOREFINERY. An economic analysis shows the strong sensibility of the economic efficiency of a GREEN BIOREFINERY installation from important parameters like raw material costs, investment costs, net sales of the products, financing models etc.





## Inhaltsverzeichnis

<b>PROJEKTPARTNER – WISSENSCHAFT</b> .....	<b>II</b>
<b>PROJEKTPARTNER – WIRTSCHAFT</b> .....	<b>II</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG (DEUTSCH)– TEIL A</b> .....	<b>III</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG (DEUTSCH) – TEIL B: ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN</b> .....	<b>V</b>
<b>SUMMARY (ENGLISH) – PART A</b> .....	<b>XIII</b>
<b>SUMMARY (ENGLISH) – PART B: RESULTS AND CONCLUSIONS</b> .....	<b>XV</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>XV</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>XXI</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>XXIX</b>
<b>1. EINLEITUNG – DAS TECHNOLOGIEKONZEPT EINER GRÜNEN BIORAFFINERIE</b> .....	<b>1-1</b>
<b>1.1. Ausgangslage und Motivation</b> .....	<b>1-1</b>
<b>1.2. BIORAFFINERIE-Konzepte auf internationaler Ebene</b> .....	<b>1-2</b>
1.2.1. Deutschland .....	1-2
1.3.2. Dänemark.....	1-3
1.3.3. Holland .....	1-3
1.3.4. Schweiz.....	1-4
1.3.5. USA.....	1-5
1.3.6. Canada.....	1-6
<b>1.3. Das BIORAFFINERIE-Konzept in Österreich</b> .....	<b>1-7</b>
1.3.1. Bisherige Arbeiten .....	1-7
1.3.2. Prinzip einer GRÜNEN BIORAFFINERIE ÖSTERREICH .....	1-8
<b>1.4. Referenzen</b> .....	<b>1-10</b>
1.4.2. Referenzen zu Abschn. 1.2. (Bioraffinerie-Konzepte auf Internationaler Ebene) .....	1-10
1.4.2. Referenzen zu Abschn. 1.3. (Das Bioraffinerie-Konzept in Österreich).....	1-13
<b>2. PROBLEMSTELLUNG, PROJEKTZIELE UND PROJEKTABLAUF</b> .....	<b>2-1</b>
<b>2.1. Problemstellung und Projektziele</b> .....	<b>2-1</b>
<b>2.2. Projektlauf</b> .....	<b>2-2</b>
2.2.1. Projektpartner .....	2-2
2.2.2. Arbeitsprogramm (Arbeitspakete) .....	2-2
2.2.3. Projektstruktur und Gliederung des vorliegenden Endberichts .....	2-4
<b>3. RECHERCHE VERWERTUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR GRASFASERN AUS EINER GRÜNEN BIORAFFINERIE</b> 3-1	
<b>3.1. Zielsetzung und Methodik</b> .....	<b>3-1</b>
<b>3.2. Dämmstoffe</b> .....	<b>3-4</b>
3.2.1. Dämmstoffe aus Grasfasern .....	3-4
3.2.2. Dämmstricke aus Bergwiesenheu.....	3-5
3.2.3. Dämm-Matten aus Seegras .....	3-6
3.2.4. Dämmstoffe aus Flachs-, Hanf- und Kokosfasern.....	3-7
3.2.5. Schlussfolgerung.....	3-7
<b>3.3. Plattenindustrie</b> .....	<b>3-8</b>
3.3.1. Spanplatten aus Einjahrespflanzen (Stroh, Flachs, Hanf, Bagasse etc.) .....	3-8
3.3.2. Mitteldichte Faserplatten aus Einjahrespflanzen (MDF-Platten) .....	3-10

3.3.3. Feuerfeste Platten .....	3-11
3.3.4. Schlussfolgerung .....	3-11
<b>3.4. Materialien für den Garten- und Landschaftsbau (Galabau) .....</b>	<b>3-12</b>
3.4.1. Anzucht- und Kulturgefäße für Pflanzen (Schalen, Töpfe, Container) .....	3-12
3.4.2. Matten und Vliese als Pflanzensubstrate .....	3-14
3.4.3. Torfersatz, Erdmischungen, Bodenverbesserer .....	3-15
3.4.4. Mulchabdeckungen (Matten und Vliese) .....	3-17
3.4.5. Begrünungs- und Erosionsschutzmatten (Geotextilien) .....	3-19
3.4.6. Schlussfolgerung .....	3-25
<b>3.5. Weitere Verwertungsmöglichkeiten für Grasfasern .....</b>	<b>3-25</b>
3.5.1. Bioenergie (Brennstoffpellets) .....	3-25
3.5.2. Faserverstärkte Verbundwerkstoffe (BioComposites) .....	3-26
3.5.3. Verpackungsmaterialien .....	3-26
3.5.4. Papier & Zellstoff .....	3-27
3.5.5. Zuschlagstoff für diverse Bauprodukte .....	3-27
3.5.6. Gipsfaserplatten .....	3-28
3.5.7. Schlussfolgerung .....	3-28
<b>3.6. Referenzen, Verwendete Quellen .....</b>	<b>3-29</b>
<b>4. ROHSTOFFE – GEWINNUNG UND MECHANISCHE FRAKTIONIERUNG (SILIER- UND ABPRESSVERSUCHE) .....</b>	<b>4-1</b>
<b>4.1. Einleitung .....</b>	<b>4-1</b>
<b>4.2. Zielsetzung und Methoden .....</b>	<b>4-1</b>
<b>4.3. Versuchsdurchführung .....</b>	<b>4-2</b>
4.3.1. Verwendete Grasrohstoffe .....	4-2
4.3.2. Verwendete Apparate und Maschinen .....	4-5
4.3.3. Analytik .....	4-8
<b>4.4. Versuchsergebnisse .....</b>	<b>4-9</b>
4.4.1. Gesamtmassenbilanz .....	4-9
4.4.2. Trockensubstanz-Bilanz .....	4-13
4.4.3. Wasser-Bilanz .....	4-18
4.4.4. Rohprotein-Bilanz .....	4-23
4.4.5. Rohfaser-Bilanz .....	4-30
4.4.6. Milchsäure-Bilanz .....	4-35
4.4.7. Gesamtzucker-Bilanz .....	4-41
4.4.8. Rohasche-Bilanz .....	4-49
4.4.9. Sonstige Stoffe – Bilanz .....	4-56
4.4.10. Verdauliche organische Masse (dOM) .....	4-63
4.4.11. Energiegehalt / Nettoenergie-Laktation (NEL) .....	4-70
<b>4.5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>4-77</b>
4.5.1. Gemessene Parameter .....	4-77
4.5.2. Gemessene Trockensubstanz-Gehalte von Feed, Presssaft und Presskuchen (TS-Gehalte) .....	4-78
4.5.3. Gesamtmassenströme .....	4-78
4.5.4. Wasserabtrenngrade (Wasserbilanz) .....	4-79
4.5.5. Trockensubstanzbilanz .....	4-80
4.5.6. Milchsäureausbeuten im Presssaft (Milchsäurebilanz) .....	4-81
4.5.7. Rohproteinausbeuten im Presssaft (Rohproteinbilanz) .....	4-82
4.5.8. Rohfaserausbeuten im Presskuchen (Rohfaserbilanz) .....	4-83
4.5.9. Restzuckergerhalte in Presskuchen und Presssaft (Zuckerbilanz) .....	4-84
4.5.10. Rohasche - Bilanz .....	4-85
4.5.11. Sonstige Stoffe – Bilanz .....	4-86
4.5.12. Verdauliche organische Masse (Massenbilanz) .....	4-87
4.5.13. Nettoenergie-laktation (Energiebilanz) .....	4-88
4.5.14. Zusammenstellung wichtiger Ausbeuten und Abtrenngrade .....	4-89

4.5.15. Offene Fragen, Vorschläge für weitere Arbeiten .....	4-89
4.6. Referenzen .....	4-96
<b>5. CHARAKTERISIERUNG VON GRASFASERN [CHARACTERISATION OF GRASS FIBRES] .....</b>	<b>5-1</b>
5.1. Introduction .....	5-1
5.2. Objectives and Methods .....	5-1
5.3. Fundamentals-I: Plant Tissues .....	5-2
5.3.1. Plant Structure .....	5-2
5.3.2. Morphology of Stem and Leaf .....	5-4
5.4. Fundamentals-II: Grasses and Legumes .....	5-5
5.4.1. The Poaceae (Gramineae), The Grasses .....	5-5
5.4.2. Pasture or Forage Legumes .....	5-6
5.4.3. Chemical and Physical Characteristics of Grasses .....	5-7
5.4.4. Cellulose Fibres for Textile and Technical Applications .....	5-9
5.5. Experimental .....	5-10
5.5.1. Materials (Grass and Legume Samples) .....	5-10
5.5.2. Isolation Methods for Elementary Fibres from Grass and Legume Samples .....	5-10
5.5.3. Analytical Methods .....	5-11
5.6. Results .....	5-13
5.6.1. Mechanical Properties of Whole Structures of Grass Stems and Leaves .....	5-13
5.6.2. Linear Density of Grass Stems and Leaves (Fineness) .....	5-14
5.6.3. The Morphology of Different Grasses and Legumes .....	5-15
5.6.4. Fibre Content of Grasses and Legumes in Stems and Leaves .....	5-19
5.6.5. Geometrical and Mechanical Properties of Ultimate Technical Grass Fibres .....	5-20
5.7. Summary and Conclusions .....	5-25
5.8. References .....	5-26
<b>6. MAHL- UND ÖFFNUNGSVERSUCHE FÜR GRASFASERN .....</b>	<b>6-1</b>
6.1. Einleitung .....	6-1
6.2. Zielsetzung und Methodik .....	6-1
6.3. Mahlversuche für verschiedene GrASFaserrohstoffe .....	6-2
6.3.1. Grundlagen .....	6-2
6.3.2. Verwendete Geräte .....	6-4
6.3.3. Mahlversuche mit Schneidmühle .....	6-6
6.3.4. Fibrillierungsversuche mit einer Prallmühle .....	6-8
6.3.5. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen, Weitere Arbeiten .....	6-11
6.4. Mechanische Öffnungsversuche für verschiedene GrASFaserrohstoffe .....	6-13
6.4.1. Zielsetzung .....	6-13
6.4.2. Herstellung von Naturfaservliesen im sogenannten Kardierverfahren - Grundlagen .....	6-13
6.4.3. Verwendete GrASFaserproben für Öffnungsversuche .....	6-18
6.4.4. Versuchsdurchführung und Versuchsergebnisse .....	6-18
6.4.5. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen, Weitere Arbeiten .....	6-20
6.5. Referenzen .....	6-21
<b>7. DÄMMSTOFFE AUS GRASFASERMATERIAL .....</b>	<b>7-1</b>
7.1. Einleitung .....	7-1
7.2. Zielsetzung und Methodik .....	7-1
7.3. Rohstoffe und Versuchsplan .....	7-2
7.3.1. GrASFasern .....	7-2
7.3.2. Bindemittel .....	7-5
7.3.3. Versuchsplan (Versuchsmatrix) .....	7-7
7.3.4. Herstellung der Probeplatten .....	7-9

<b>7.4. Ergebnisse der werkstofflichen Prüfungen.....</b>	<b>7-12</b>
7.4.1. Messergebnisse - Übersicht.....	7-12
7.4.2. Rohdichte der Probeplatten.....	7-14
7.4.3. Biegefestigkeit der Probeplatten .....	7-17
7.4.4. Druckspannung der Probeplatten bei 10% Stauchung.....	7-20
7.4.5. Wärmeleitfähigkeit der Probeplatten .....	7-23
7.4.6. Wasseraufnahme der Probeplatten.....	7-24
7.4.7. Schallabsorptionsgrad der Probeplatten .....	7-25
<b>7.5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>7-26</b>
<b>8. GRASFASERN ALS FÜLL- UND VERSTÄRKUNGSSTOFF FÜR THERMOPLASTISCHE KUNSTSTOFFE.....</b>	<b>8-1</b>
8.1. Einleitung .....	8-1
8.2. Zielsetzung .....	8-1
8.3. Rohstoffe und Versuchsplan.....	8-1
8.3.1. Rohstoffe und Rezeptur .....	8-1
8.3.2. Herstellung des Faser-Kunststoff-Compounds.....	8-1
8.3.3. Herstellung der Prüfkörper .....	8-2
8.4. Ergebnisse der werkstofflichen Prüfungen.....	8-2
8.4.1. Zugversuche .....	8-2
8.4.2. Biegeversuche .....	8-3
8.4.3. Bestimmung der Charpy-Schlagzähigkeit .....	8-4
8.4.4. Vergleich mit anderen Füll- und Verstärkungsstoffen.....	8-4
8.5. Referenzen .....	8-5
<b>9. MATERIALIEN IM GARTEN- UND LANDSCHAFTSBAU AUS GRASFASERN .....</b>	<b>9-1</b>
9.1. Einleitung .....	9-1
9.2. Zielsetzung.....	9-1
9.3. Mulchscheiben aus Grasfasern.....	9-2
9.4. Pflanztöpfe aus Grasfasern .....	9-3
9.5. Zusammenfassung & Schlussfolgerung .....	9-4
<b>10. FUTTERMITTELPELLETS AUS ABGEPRESSTEN GRASFASERN UND FÜTTERUNGSVERSUCHE .....</b>	<b>10-1</b>
10.1. Einleitung .....	10-1
10.2. Zielsetzung und Methodik.....	10-2
10.3. Faseranalytik (Nährstoff-, Mineralstoff- & Energiegehalte).....	10-2
10.3.1. Grasfaserrohstoffe.....	10-2
10.3.2. Gemessene Parameter .....	10-4
10.3.3. Ergebnisse der Faseranalytik.....	10-5
10.4. Pelletierversuche .....	10-8
10.4.1. Grundlagen zur Pelletierung halmgutartiger Biomasse .....	10-8
10.4.2. Pelletierversuche in einer industriellen Pelletieranlage .....	10-11
10.4.3. Pelletierversuche im Labormaßstab und Herstellung von Futtermittelpellets für Fütterungsversuche .....	10-13
10.5. Fütterungsversuche .....	10-15
10.5.1. Analyse der Energie-, Rohrnährstoff- und Mineralstoffgehalte .....	10-15
10.5.2. Akzeptanztest mit Meerschweinchen und Chinchillas (Fütterungsversuch-1).....	10-19
10.5.3. Verdaulichkeitstest mit Meerschweinchen .....	10-21
10.6. Zusammenfassung Schlussfolgerungen.....	10-24
10.7. Referenzen .....	10-25
<b>11. MARKTANALYSE FÜR MÖGLICHE PRODUKTE EINER GRÜNEN BIORAFFINERIE.....</b>	<b>11-1</b>

<b>11.1. Einleitung .....</b>	<b>11-1</b>
<b>11.2. Zielsetzung und Methoden.....</b>	<b>11-1</b>
<b>11.3. Grundlagen - Anforderungen vom Markt.....</b>	<b>11-1</b>
11.3.1. Trendgefüge Unternehmen .....	11-1
11.3.2. Trendgefüge Gesellschaft .....	11-2
<b>11.4. Märkte für Proteine und Aminosäuren.....</b>	<b>11-4</b>
11.4.1. Proteine.....	11-4
11.4.2. Aminosäuren .....	11-6
<b>11.5. Märkte für Milchsäure und Milchsäurederivate.....</b>	<b>11-11</b>
11.5.1. Milchsäure-Polymere (Biopolymere) .....	11-11
11.5.2. Ethyllactat (Lösungsmittel) .....	11-15
<b>11.6. Märkte für Faserprodukte.....</b>	<b>11-17</b>
11.6.1. Dämmplatten für den Trockeninnenausbau .....	11-17
11.6.2. Materialien für den Gartenbau.....	11-18
11.6.3. Tierfuttermittel .....	11-19
<b>11.7. Weitere Verwertungsoptionen für Grasfasern .....</b>	<b>11-21</b>
<b>11.8. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen.....</b>	<b>11-21</b>
<b>11.9. Quellenangaben / Literaturverzeichnis .....</b>	<b>11-23</b>
11.9.1. Verwendete Quellen.....	11-23
11.9.2. Internet Links.....	11-25
11.9.3. Referenzen KEYDREAMS Marketing .....	11-27
<b>12. WIRTSCHAFTLICHKEIT EINER GRÜNEN BIORAFFINERIE .....</b>	<b>12-1</b>
12.1. Einleitung und Zielsetzung .....	12-1
12.2. Methodik - Dynamische Investitionsrechnung.....	12-2
12.3. Ergebnisse - Sensitivitätsanalyse .....	12-5
12.4. Schlussfolgerungen .....	12-8
12.5. Referenzen .....	12-8
<b>ANNEX A: MESSWERTE DER SILIER- UND ABPRESSVERSUCHE 2001 .....</b>	<b>A1</b>
<b>ANNEX B: KOMPONENTEN-MASSENSTRÖME (AUSBEUTEN) DER ABPRESSVERSUCHE 2001^ .....</b>	<b>B1</b>
<b>ANNEX C: ABTRENNGRADE (ABPRESSVERSUCHE 2001).....</b>	<b>C1</b>



## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1-1:** Prinzip einer GRÜNEN BIORAFFINERIE: Grünlandbiomasse (z.B. Gras, Klee, Luzerne) wird in einer einzigen Verarbeitungsanlage in eine Vielzahl verkaufbarer Produktgruppen weiterverarbeitet (multi-product-system).
- Abb. 1-2:** Prinzip einer BIORAFFINERIE bzw. einer GRÜNEN BIORAFFINERIE
- Abb. 1-3:** Prinzip einer Grünen Bioraffinerie nach [Kamm & Kamm 2001b, S.13]
- Abb. 1-4:** Bioraffinerie – Pilotanlage der niederländischen Firma AVEBE in Foxhol (NL) [Hulst 2002]
- Abb. 1-5:** Prinzip der Bioraffinerie nach den Vorstellungen von [Dow Benelux 2002].
- Abb. 1-6:** Kommerzielle Bioraffinerie-Anlage in Schaffhausen (CH) [2B AG 2002b].
- Abb. 1-7:** Weltweit erste großtechnische Anlage der Firma Cargill-Dow LLC (USA) zur biotechnologischen Produktion von Milchsäure aus Maisstärke. Kapazität: 140.000 Tonnen/Jahr [Cargill-Dow 2002].
- Abb. 1-8:** Prinzip einer GRÜNEN BIORAFFINERIE ÖSTERREICH: Milchsäure stellt ein Schlüsselprodukt dar. Diese entsteht bei der Silierung primärer Rohstoffe wie Gras, Klee, Luzerne (Feststofffermentation).
- Abb. 2-1:** Grasfasern sind in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE mengenmäßig das wichtigste Zwischenprodukt.
- Abb. 2-2:** Teilprojekte des Projektbündels GRÜNE BIORAFFINERIE sowie Arbeitspakete des Teilprojekts III „Verwertung der Grasfaserfraktion“.
- Abb. 2-3:** Struktur des Projektbündels GRÜNE BIORAFFINERIE
- Abb. 3-1:** Beispiele für grundsätzlich mögliche Produkte mit Grasfasern aus einer GRÜNEN BIORAFFINERIE als wesentlicher Rohstoffkomponente.
- Abb. 3.2.1-1:** Dämmstoffe aus Gras der schweizerischen Firma "2B-AG": (a) Einblasdämmstoff, (b) Dämmplatte, (c) Dämmvlies (nonwoven) [2B-AG 2002].
- Abb. 3.2.1-2:** Dachdämmung mit dem von der schweizerischen Firma "2B-AG" stammenden Einblasdämmstoff aus Gras [2B-AG 2002].
- Abb. 3.2.2-1:** Dämmstoffe aus Bergwiesenheu: (a,b) Versuchsanlage zur Herstellung dieser Dämmstricke, (c) Holzständerwand mit Dämmstricken aus Heu [Helbig et al. 2002].
- Abb. 3.2.3-1:** Wärmedämmmatte aus Seegras: (a+b) Strand an Atlantikküste mit angespültem Seegras, (c) Wärmedämmmatte aus Seegras, (d) Erosionsschutzmatte aus Seegras [Quelle: EU-Life-Seegras 2002].
- Abb. 3.2.4-1:** Dämmstoffvliese bzw. Dämmstoff-Matten aus (a) Flachs [WIFI 2002b], (b) aus Hanf [ISOVER 2002] und (c) aus Kokosfasern.
- Abb. 3.3.1-1:** Beispiele für Spanplatten aus verschiedenen Einjahrespflanzen (Weizenstroh, Hanfschäben) des Fraunhofer Instituts für Holzforschung Wilhelm-Klaudnitz-Institut (WKI). Fotos stammen aus [Brandstätter 2002].
- Abb. 3.3.2-1:** Beispiele für MDF-Platten aus verschiedenen Einjahrespflanzen (Bagasse, Ölpalme) des Fraunhofer Instituts für Holzforschung Wilhelm-Klaudnitz-Institut (WKI). Fotos stammen aus [Brandstätter 2002].
- Abb. 3.3.2-2:** Querzug- und Biegefestigkeiten von MDF-Platten aus verschiedenen Einjahrespflanzen (Weizenstroh, Maisstängel, Hanfschäben, Reissstroh, Baumwollstängel, Ölpalmfasern, Sojastängel) [Thole 2002; zitiert in Brandstätter 2002].
- Abb. 3.3.3-1:** Feuerfeste Platte „SIOBOND“ [SioTech 2002].
- Abb. 3.4.1-1:** Pflanzgefäße aus Naturfasern: (a) „CocoPot“ aus Kokosfasern-Latex [Brinkman 2002]; (b) „Jiffy“-Torquelltopfe [Romberg 2002]; (c) „NAPAC“-Pflanztopfe aus Chinaschilf+Naturbinder [Meyer 2002c].
- Abb. 3.4.2-1:** Gemüseanzucht auf Flachsfaservliesen [CARMEN 2002]: (a) Kresse, (b) Feldsalat
- Abb. 3.4.2-2:** Gemüseanzucht in „Hors-sol-Kulturen“ (ohne Erde) [Espuna 2000; Academie de Lyon 2002].
- Abb. 3.4.3-1:** Torfarme Blumenerden: (a) Torf [Floragard 2002a]. (b) Torfreduzierte Erde auf Basis BIOFASER® [Fattinger 2002a,b]. (c) Torffreie Blumenerden auf Basis TORESA®-Holzfasern [WIFI 2002].
- Abb. 3.4.4-1:** Mulchabdeckungen: (a) Mulchvlies aus Flachsfasern [CARMEN 2002]; (b) Mulchscheibe aus Holzfasern [Meyer 2002a]; (c) Mulchmatte aus Kokosfasern + biologisch abbaubaren Folien auf Stärkebasis

[Grünfix 2002a].

**Abb. 3.4.5-1:** „GRÜNFIX“-Begrünungs- und Erosionsschutzmatten aus Stroh/Heu und Kokos der Firma MST Dränbedarf GmbH (D-Twistringen): (a) Erosionsschutzmatte; (b) Einsatzbeispiel Autobahnböschung; (c) Aufbau einer Erosionsschutzmatte mit Saatgut: (1)&(5) Netzgewebe aus fotoabbaubarem PP, (2) Naturfaserschicht (Stroh/Heu+Kokosfasern), (3) Mulchfolie mit eingearbeitetem Saatgut, (4) Papierschicht zur Fixierung des Saatguts [Grünfix 2002c].

**Abb. 3.4.5-2:** Produktionslinie Typ „EMA“ der Firma MST Maschinenbau GmbH (D-27239 Twistringen) zur Herstellung von Erosionsschutzmatten aus Naturfasern wie Stroh, Heu, Kokos etc. Arbeitsbreite: 6.000mm; Vliesgewicht: 3.000 g/m<sup>2</sup> [Grünfix 2002d].

**Abb. 3.4.5-3:** Erosionsschutzmatte COVAMAT der englischen Firma Greenfix aus Stroh, Kokosfasern und einem Netz aus fotoabbaubarem PP oder Jute [Greenfix 2002b]: (a) Zusammensetzung der Matte: (1) Angewachsene Grasdecke, (2)+(4) Fasermatrix aus Stroh, Kokosfasern und Baumwollabfällen mit eingearbeitetem Saatgut, (3) Papier zur Fixierung des Saatguts, (5) Netzgewebe aus PP oder Jute, (6) zur schützende Erdschicht, (7) geschützte Erdschicht. (b)+(c) Anwendungsbeispiel Autobahnböschung.

**Abb. 3.4.5-4:** GREENFIELDS® - Erosionsschutzmatten der Firma IGG - Internationale Geotextilgesellschaft: (a) Anwendungsbeispiel Böschungsbegrünung [IGG 2002b]; (b) Type „SK-50-J2“: 50% Stroh + 50% Kokosfasern + beiderseits mit Jute versteppt, Flächengewicht: 400 g/m<sup>2</sup>, Abmessungen: 3,05 x 35,0 m; (c) Type „K-100-J2“: 100% Kokosfasern + beiderseits mit Jute versteppt, Flächengewicht: 400 g/m<sup>2</sup>, Abmessungen: 3,05 x 35,0 m [Aquasol 2002].

**Abb. 3.4.5-5:** Begrünungs- und Erosionsschutzmatten: (a) Matten aus Stroh und Kokosfasern der Fa. Mathogro GmbH (D) [Mathogro 2002]; (b) Matten aus Naturfasermaterial der Fa. Hy-Tex Ltd (UK) [Hy-Tex 2002b].

**Abb. 3.4.5-6:** Erosionsschutz- und Begrünungsmatten aus Hanf-, Kokos-, Sisal- und Jutefasern der slowenischen Firma TUS KO-SI d.d. (SI-2380 Slovenj Gradec) [TUS 2002].

**Abb. 3.4.5-7:** ROFA® Pflanzplatten/-matten der Fa. Institut für Getreideverarbeitung GmbH (IGV) in D-14558 Bergholz-Rehbrücke für Erosionsschutz und Begrünung [IGV 2002].

**Abb. 3.4.5-8:** Beispiele für Rollrasen: (a) Rollrasen der Fa. Dr. Alex Galabau [Alex 2002]; (b)+(c) Rollrasen der Fa. Augsberger [Augsberger 2002].

**Abb. 3.4.5-9:** Aufbau einer Dachbegrünung [Ehlert-Wirtz 2002]. Als Vegetationsmatte ist beispielsweise eine Kokosfasermatte einsetzbar, auf der Sedumarten, Moose, Kräuter und Gräser etwa ein Jahr lang gesät, beregnet und gepflegt werden, bevor sie zur Verlegung ausgeliefert werden [Behrens 2002].

**Abb. 3.5.2-1:** Beispiele für biologisch abbaubare Verbundwerkstoffe (BioComposites) mit Naturfasern als Faserkomponente: (a) Formbare Matte „Isowood“ der Fa. Funder aus Holz-, Flachs- und Hanffasern WIF1 2002c]; (b+c) Industrieschutzhelm aus BioVerbund [Riedel 1998, 2002].

**Abb. 3.5.3-1:** Beispiele für Verpackungsmaterialien aus Naturfasern: (a) Pulpeverpackung (Transportverpackung) aus Altpapier [Transpackaging 2002]. (b-+c) Formteile aus Papierschaum (Transportverpackung) [PSP 2002].

**Abb. 3.5.5-1:** Beispiele für Baustoffe mit Naturfasern als Hilfsstoff beim entsprechenden Herstellprozess: (a) Hochlochziegel für Außen- & Innenwände [Ziegel 2002a]; (b) Dachziegel (Biber / Tasche) [Ziegel 2002b]; (c) Verfahrensschritt Brennen (Ofen) in einem Ziegelwerk [Brenner 2002]; (d) Verfahrensschritt Strangabschneiden in einem Ziegelwerk [Brenner 2002].

**Abb. 3.5.6-1:** Beispiele für Anwendungen von Gipsfaserplatten: (a) Trennwand aus Gipsfaserplatten [RIGIPS 2002a]. (b) Trockenputz aus Gipsfaserplatten [RIGIPS 2002a]. (c) Abgehängte Decken aus Gipsfaserplatten [Knauf 2002].

**Abb. 4-1:** Verfahrensschritte bei den Silier- und Abpressversuchen

**Abb. 4-2:** Grasrohstoffe für Silier- und Abpressversuche 2001

**Abb. 4-3:** Grasrohstoffe für Silier- und Abpressversuche 2002

**Abb. 4-4:** Arbeitsschritte der primären Rohstoffgewinnung: (a) Mähen, (b) Ballenpressgerät für Traktorantrieb, (c) fertiger, mit Silagestarter inokulierten Grasballen für Ballensilierung (Gewicht ca. 600-800 kg).

**Abb. 4-5:** Transport der Grassilageballen zur GRÜNEN BIORAFFINERIE



- Abb. 4-6: Ballenöffnung + Zerkleinerung der Grassilage (Häckseln) vor dem Abpressen.*
- Abb. 4-7: Mechanische Fraktionierung von gehäckselter Grassilage in eine flüssige Fraktion (Presssaft) und in eine feste Fraktion (Presskuchen).*
- Abb. 4-8: Mechanische Fraktionierung 2002 (Ponndorf Schneckenpresse).*
- Abb. 4-9: Mechanische Fraktionierung 2002 (Ponndorf Schneckenpresse).*
- Abb. 4-10: Aufbereitung Presssaft 2002: Kühlung mittels 200 l Milchkühlanlage.*
- Abb. 4-11: Primäre Aufbereitung Presskuchen 2001: Lufttrocknung.*
- Abb. 4-12: Primäre Aufbereitung Presskuchen 2002: Trocknung mittels beheizbarem Schüttrockner.*
- Abb. 4-14: Lagerung des Presskuchens in Bigbags (links) bzw. Obstgebinden (rechts).*
- Abb. 4.4.1-1: Gesamtmassenströme bzw. Ausbeuten in Feed, Presssaft und Presskuchen, jeweils bezogen auf 1 Tonne Trockensubstanz im Feed (kg/t TS-Feed).*
- Abb. 4.4.1-2: Gesamtmassenströme bzw. Ausbeuten in Feed-, Presssaft- und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (kg/t TS-Feed).*
- Abb. 4.4.1-3: Prozentuelle Aufteilung des Feedstroms auf „Presssaft“ und „Presskuchen“ (Abtrenngrade).*
- Abb. 4.4.1-4: Anteile des Feed-Massenstroms, die in den Presssaft bzw. Presskuchen übergehen (Abtrenngrade).*
- Abb. 4.4.1-5: Gesamtmassenbilanz: Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade.*
- Abb. 4.4.2-1: Gemessene Trockensubstanzgehalte von Feed-, Presssaft- und Presskuchen*
- Abb. 4.4.2-2: TS-Gehalte von Presskuchen und Presssaft als Funktion des TS-Gehalts des Feeds.*
- Abb. 4.4.2-3: Trockensubstanz-Massenströme in Feed, Presssaft und Presskuchen, jeweils bezogen auf 1 Tonne Feed-Trockensubstanz (Trockensubstanz-Ausbeuten).*
- Abb. 4.4.2-4: Aufteilung der STrockensubstanz des Feeds auf Presssaft und Presskuchen (Abtrenngrade).*
- Abb. 4.4.2-5: Trockensubstanz-Abtrenngrade als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.*
- Abb. 4.4.2-6: Trockensubstanz-Bilanz: Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade (Mittelwerte).*
- Abb. 4.4.3-1: Wassergehalte in Feed-, Presssaft- und Presskuchen.*
- Abb. 4.4.3-2: Wasser-Massenströme in Feed, Presssaft und Presskuchen, jeweils bezogen auf 1 Tonne Feed Trockensubstanz (Wasser-Ausbeuten).*
- Abb. 4.4.3-3: Prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Wassermenge auf Presssaft und Presskuchen (Wasser- Abtrenngrade). Der Wasserabtrenngrad bzgl. des Presssafts wird auch Abpressgrad genannt.*
- Abb. 4.4.3-4: Wasser-Abtrenngrade als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.*
- Abb. 4.4.3-5: Wasser-Bilanz: Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade (Mittelwerte).*
- Abb. 4.4.4-1: Rohprotein-Anteile in der Trockensubstanz von Feed, Presssaft und Presskuchen.*
- Abb. 4.4.4-2: Rohproteingehalte der Trockensubstanz von Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.*
- Abb. 4.4.4-3: Rohprotein-Massenströme in Feed, Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung, jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed (Rohprotein-Ausbeuten)*
- Abb. 4.4.4-4: Rohprotein-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed).*
- Abb. 4.4.4-5: Prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Rohproteinmenge auf Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichungen (Rohprotein-Abtrenngrade).*
- Abb. 4.4.4-6: Rohprotein-Bilanz: Massenströme bzw. Ausbeuten, Abtrenngrade und Rohproteingehalt der Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft (jeweils Mittelwerte)*
- Abb. 4.4.5-1: Rohfaser-Anteile der Trockensubstanz von Feed, Presssaft und Presskuchen.*
- Abb. 4.4.5-2: Rohfaseranteile der Trockensubstanz von Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.*
- Abb. 4.4.5-3: Rohfaser-Massenströme in Feed, Presssaft und Presskuchen, jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed (Rohfaser-Ausbeuten).*

- Abb. 4.4.5-4:** Rohfaser-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.
- Abb. 4.4.5-5:** Prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Rohfasermenge auf Presssaft und Presskuchen (Rohfaser-Abtrenngrade).
- Abb. 4.4.5-6:** Rohfaser-Bilanz: Massenströme bzw. Ausbeuten, Abtrenngrade und Rohfasergehalte der Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft (jeweils Mittelwerte)
- Abb. 4.4.6-1:** Milchsäure-Gehalte von Feed, Presssaft und Presskuchen.
- Abb. 4.4.6-2:** Milchsäure-Konzentrationen im Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed.
- Abb. 4.4.6-3:** Milchsäure -Massenströme in Feed, Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung, jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed (Milchsäure-Ausbeuten).
- Abb. 4.4.6-4:** Milchsäure-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed (in kg/t TS-Feed).
- Abb. 4.4.6-5:** Prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Milchsäuremenge auf Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung (Milchsäure-Abtrenngrade).
- Abb. 4.4.6-6:** Milchsäure-Bilanz: Massenströme bzw. Ausbeuten, Abtrenngrade und Milchsäuregehalte in Feed, Presskuchen und Presssaft (jeweils Mittelwerte).
- Abb. 4.4.7-1:** Gesamtzucker-Gehalte der Trockensubstanz von Feed, Presssaft und Presskuchen
- Abb. 4.4.7-2:** Gesamtzuckergehalte in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed
- Abb. 4.4.7-3:** Gesamtzucker-Massenströme/Ausbeuten in Feed, Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung.
- Abb. 4.4.7-4:** Gesamtzucker-Ausbeute in Presssaft bzw. Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed) und mittlere Gesamtzucker-Abtrenngrade.
- Abb. 4.4.7-5:** Zuckerabbau und Milchsäurebildung infolge des Silageprozesses bei 5 Silageproben für zwei unterschiedliche Arten von Milchsäurebakterien-Starterkulturen (IFA:S3 und IFA:M2).
- Abb. 4.4.7-6:** Stöchiometrie zwischen abgebautem Gesamtzucker und gebildeter Milchsäure
- Abb. 4.4.7-7:** Prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Gesamtzuckermenge auf Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung (Gesamtzucker-Abtrenngrade).
- Abb. 4.4.7-8:** Gesamtzucker-Bilanz: Gesamtzuckergehalte in Feed, Presskuchen und Presssaft, Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade (jeweils Mittelwerte).
- Abb. 4.4.8-1:** Rohaschegehalte der Trockensubstanzen von Feed, Presssaft und Presskuchen
- Abb. 4.4.8-2:** Rohaschegehalte der Trockensubstanzen von Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed.
- Abb. 4.4.8-3:** Rohasche-Massenströme bzw. Ausbeuten in Feed, Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung
- Abb. 4.4.8-4:** Rohasche-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed und mittlere Rohasche-Abtrenngrade).
- Abb. 4.4.8-5:** Prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Rohaschemenge auf Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung (Rohasche-Abtrenngrade).
- Abb. 4.4.8-6:** Rohasche-Bilanz: Rohaschegehalte der Trockensubstanz von Feed, Presskuchen und Presssaft, Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade.
- Abb. 4.4.9-1:** Konzentrationen der „sonstigen Stoffe“ in der Trockensubstanz von Feed, Presssaft und Presskuchen.
- Abb. 4.4.9-2:** Konzentrationen der „sonstigen Stoffe“ in der Trockensubstanz von Feed, Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.
- Abb. 4.4.9-3:** Massenströme/Ausbeuten der sonstigen Stoffe in Feed, Presssaft, Presskuchen & Bilanzabweichung.
- Abb. 4.4.9-4:** Ausbeuten an sonstigen Stoffen im Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed) und mittlere Abtrenngrade
- Abb. 4.4.9-5:** Prozentuelle Aufteilung des im Feed enthaltenen Massenstroms an sonstigen Stoffen auf

- Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung (Abtrenngrade).*
- Abb. 4.4.9-6:** Bilanz der sonstigen Stoffe: Gehalte der sonstigen Stoffe in den Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft, Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade (jeweils Mittelwerte).
- Abb. 4.4.10-1:** Konzentrationen der verdaulichen organischen Masse (dOM) in Feed und Presskuchen.
- Abb. 4.4.10-2:** Konzentrationen der verdaulichen organischen Masse (dOM) in Feed und Presskuchen als Funktion der Grasart sowie des Silageprozesses bzw. der verwendeten Silage-Starterkulturen. Grasarten: (1)=Klee gras/1.Schnitt, (2)=Klee gras/2.Schnitt, (3)=Extensive Dauerwiese/1.Schnitt; (4)=Bastard Ray gras/3.Schnitt; (5)=Knaul gras/2.Schnitt. Silagestarterkulturen: Silage-1: „IFA:S3“, Silage-2: „IFA:M2“ (IFA steht für: Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiologie–Abtlg Umweltbiotechnologie, Tulln).
- Abb. 4.4.10-3:** Massenströme bzw. Ausbeuten an verdaulicher organischer Masse (dOM) in Feed & Presskuchen.
- Abb. 4.4.10-4:** Ausbeuten an verdaulicher organischer Masse (dOM) in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed) und mittlere Abtrenngrade
- Abb. 4.4.10-5:** Prozentueller Anteil der im Feed enthaltenen verdaulichen organischen Masse (dOM), der in den Presskuchen übergeht (dOM-Abtrenngrad).
- Abb. 4.4.10-6:** Bilanz der verdaulichen organischen Masse (dOM): Konzentrationen in Feed, Presskuchen und Presssaft, Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade
- Abb. 4.4.11-1:** Energiegehalte (Nettoenergie-Laktation, NEL) von Feed und Presskuchen
- Abb. 4.4.11-2:** Energiegehalte (Nettoenergie-Laktation, NEL) von Feed und Presskuchen als Funktion der Grasart sowie der verwendeten Silage-Starterkulturen. Grasarten: (1)=Klee gras/1.Schnitt, (2)=Klee gras/2.Schnitt, (3)=Extensive Dauerwiese/1.Schnitt; (4)=Bastard Ray gras/3.Schnitt; (5)=Knaul gras/2.Schnitt. Silagestarterkulturen: Silage-1: „IFA:S3“, Silage-2: „IFA:M2“ (IFA steht für: Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiologie–Abtlg Umweltbiotechnologie, Tulln).
- Abb. 4.4.11-3:** Energiemengen bzw. Ausbeuten (Nettoenergie-Laktation) in Feed und Presskuchen.
- Abb. 4.4.11-4:** Energieausbeuten (Nettoenergie-Laktation) in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in MJ/t TS-Feed) und mittlere Abtrenngrade
- Abb. 4.4.11-5:** Prozentueller Anteil der im Feed enthaltenen Energiemenge (Nettoenergie-Laktation, NEL), der in den Presskuchen übergeht (Abtrenngrad).
- Abb. 4.4.11-6:** Energiebilanz: Energiegehalte (Nettoenergie-Laktation) von Feed, Presskuchen und Presssaft, Energiemengen/Ausbeuten und Abtrenngrade.
- Abb. 4.5.2-1:** TS-Gehalte von Presskuchen und Presssaft als Funktion des TS-Gehalts des Feeds
- Abb. 4.5.3-1:** Gesamtmassenströme bzw. Ausbeuten in Feed-, Presssaft- und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (kg/t TS-Feed).
- Abb. 4.5.4-1:** Wasser-Abtrenngrade als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.
- Abb. 4.5.5-1:** Trockensubstanz-Abtrenngrade als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart
- Abb. 4.5.6-1:** Milchsäure-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed (in kg/t TS-Feed).
- Abb. 4.5.7-1:** Rohprotein-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed).
- Abb. 4.5.8-1:** Rohfaser-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart
- Abb. 4.5.9-1:** Gesamtzucker-Ausbeute in Presssaft bzw. Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed) und mittlere Gesamtzucker-Abtrenngrade
- Abb. 4.5.10-1:** Rohasche-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed und mittlere Rohasche-Abtrenngrade
- Abb. 4.5.11-1:** Ausbeuten an sonstigen Stoffen im Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed) und mittlere Abtrenngrade.
- Abb. 4.5.12-1:** Ausbeuten an verdaulicher organischer Masse (dOM) in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed) und mittlere Abtrenngrade
- Abb. 4.5.13-1:** Energieausbeuten (Nettoenergie-Laktation) in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in MJ/t TS-Feed) und mittlere Abtrenngrade

- Fig. 5-1: Vascular tissue in monocotyledons and dicotyledons, respectively  $\psi 22\beta$*
- Fig. 5-2: A cross-section of a plant stem  $\psi 22\beta$ .*
- Fig. 5-3: A cross-section of a plant leaf  $\psi 22\beta$ .*
- Fig. 5-4: A schematic presentation of some grasses: (a) Perennial Ryegrass (*Lolium perenne*) [21]. (b) Wheat (*Triticum aestivum* L.); auricles and ligule, spike, spikelet with hooked awn points and long terminal awns, respectively  $\psi 21\beta$ .*
- Fig. 5-5: The structure of cellulose  $\psi 15, 41\beta$  and lignin [15].*
- Fig. 5-6: Mechanical separation of elementary grass fibres and fibre bundles: (a) Retting of stem and leave samples, resp. (b) mechanical separation of elementary fibres and fibre bundles, resp.*
- Fig. 5-7: Structures in the cross section of a Ryegrass stem (*Lolium hybridum* GUMENSTEIN). One sees the vascular tissue strengthened by the sclerenchyma fibres*
- Fig. 5-8: Structures in the cross section of a ryegrass leaf (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN). One sees vascular tissue accompanied by fibre cells*
- Fig. 5-9: Structures in the longitudinal section of a Ryegrass leaf (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN).*
- Fig. 5-10: Structures in the cross section of a Ryegrass stem (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN).*
- Fig. 5-11: Structures in the cross section of a Lucerne stem (*Medicago sativa* L.).*
- Fig. 5-12: Structures in the cross section of a Trefoil stem (*Trifolium pratense*).*
- Fig. 5-13: Structures in the cross section of a Wheat leaf (*Triticum aestivum*).*
- Fig. 5-14: Transverse section of a primary and a secondary dicotyledon stem and transverse section of a monocotyledon stem, respectively  $\psi 4\beta$ .*
- Fig. 5-15: Transverse section of a dicotyledon leaf  $\psi 4\beta$ .*
- Fig. 5-16: The morphology of linen, hemp, kenaf and ramie stem and linen, hemp and jute ultimate fibres, respectively [56]*
- Fig. 5-17: Ultimate fibres isolated from the leaf of different species of grasses and legumes, respectively: (a) Ryegrass (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN), (b) Trifol / red clover (*Trifolium pratense*), (c) Lucerne (*Medicago sativa* L.), (d) Wheat (*Triticum aestivum* L.). Trifol and wheat fibres were isolated by  $H_2SO_4$  treatment, ryegrass and lucerne by NaOH treatment.*
- Fig. 5-18: Influence of fibre isolation method on the obtained fibres (NaOH vs  $H_2SO_4$ -treatment).*
- Fig. 5-19: Influence of the ensiling process on the obtained fibres (ensilaged vs green).*
- Fig. 5-20: Influence of origin of fibres within the plant on the obtained fibres (leaf vs stem).*
- Fig. 5-21: Damage of the fibre surface due to NaOH isolation method.*
- Fig. 5-22: Comparison of longitudinal and transverse view of an enzyme retted technical grass fibre. Tracheary elements can be observed*
- Fig. 5-23:  $\omega/\kappa$  curves of technical fibres isolated from Ryegrass leaves by enzymatical retting*
- Abb. 6-1: Einteilung der Mühlen nach der Materialeigenschaft des Aufgabeguts**
- Abb. 6-2: Prinzip einer Pralltölmühle sowie einer Zahnscheibenmühle [Stieß, 1997].**
- Abb. 6-3: Schneidmühle „Rotoplex 20/12 RO“ der Fa. Alpine Hosokawa (Augsburg).**
- Abb. 6-4: Prinzipskizze der für die Mahlversuche verwendeten Schneidmühlanlage (Längenangaben in mm).**
- Abb. 6-5: Faseranalysegerät „MorFi“ des Centre Technique du Papier (CTF), France und mit Hilfe diese Geräts messbare Parameter. <http://www.webctp.com/ctp/fr/ps/caracterisation.html>**
- Abb. 6-6: Funktionsprinzip des Faseranalysegeräts „MorFi“.**
- Abb. 6-7: Faserlängen- und Faserdurchmesser- und Faserdurchmesserverteilung für zwei mittels einer Schneidmühle der Type „Rotoplex 20/12 RO“ gemahlene Klee grasproben (grün und siliert) sowie für die ungemahlene Grasprobe „2B-AG“.**
- Abb. 6-8: Einfluss verschiedener Mühlentypen (Prallmühle vs Schneidmühle) auf die Faserdurchmesser- und Faserdurchmesserverteilung gemahlener Hanffasern. Aus Vergleichsgründen ist auch die Faserdurchmesser- und Faserdurchmesserverteilung der synthetischen LYOCCELL-Faser angegeben.**

- Abb. 6-9:** Faserlängen- und Faserdurchmesser-Verteilung für drei mittels einer Labor-Feinprallmühle vom Typ „100 UPZ II“ der Firma Alpine gemahlene Grasproben (Klee-Gras, Luzerne, Weizen-Gras).
- Abb. 6-10:** Einfluss verschiedener Mühlentypen (Prallmühle vs Schneidmühle) auf die Faserdurchmesser-Verteilung gemahlener Klee-Grasfasern sowie gemahlener Hanffasern (s. **Abb. 6-8**).
- Abb. 6-11:** Mikroskopische Aufnahmen des Mahlguts des von einer Schneidmühle erzeugten Mahlguts verschiedener Grasproben (Klee-Gras, Luzerne, Weizen-Gras) sowie einer Hanffaserprobe
- Abb. 6-13:** Verfahrensschema der Herstellung von Naturfaservliesen im sogenannten „Kardiervfahren“.
- Abb. 6-14:** Prinzip eines Ballenöffners: (1) erster Zuführtisch, (2) zweiter Zuführtisch, (3) Prallblech, (4) Putzmulde, (5) Abfallraum, (6) Nadeltisch, (7) Putzwalze, (8) Rückstreichwalze, (9) Abstreichwalze, (10) Reinigerwalze, (11) Misch Tisch, (12) Staubabzug [Trützschler 2002a+b zitiert in Brandstätter 2002].
- Abb. 6-15:** Prinzipieller Aufbau einer Karde bzw. Krempel zur Erzeugung von längsgerichteten Faserfloren [Müssig 1997, S.20].
- Abb. 6-16:** Schematische Darstellung des Vernadelungsprozesses [Müssig 1997: S.34].
- Abb. 6-17:** Verfahrensschema einer Anlage zur Herstellung von längsgerichteten Faserfloren. Wichtige Anlagenteile: (1) Zuführtisch für Faserballen, (2) Ballenöffner, (3) Förderventilator, (4) Kasten-/Flockenspeiser, (5) Kompakt-Krempelwolf, (6) Mischraum, (7) Materialkammer, (8) Kasten-/Flockenspeiser, (9) Karde/Krempel (inkl. Einzug+Abnehmer) [Müssig 1997: S. 20].
- Abb. 6-18:** Gesamtansicht der Technikumsanlage zur Herstellung von Faserfloren und Faservliesen nach dem Kardiervfahren
- Abb. 6-19:** Details der Technikumsanlage: (a) Zuführtisch: Hier erfolgte die Aufgabe des losen Grasfasermaterials, (b) Ballenöffner – Seitenansicht, (c) „Schmutz“ im Abfallraum des Ballenöffners, (d) pneumatische Förderleitung – verstopft durch Grasfasermaterial, (e) Grasfasermaterial im Flockenspeiser der Karde, das jedoch aus dreierlei Gründen für eine sinnvolle Weiterverarbeitung auf der Karde (Faserflorbildung) ungeeignet ist: zu kurz, zu wenig schlank und zu brüchig.
- Abb. 7-1:** Dämmstoffe aus Naturfasern: Zustandsformen und wichtige Dämmstoffeigenschaften
- Abb. 7-2a:** Grasfaserproben für Screeningphase-2 zur Herstellung von Dämmstoffen aus Grasfasermaterial
- Abb. 7-2b:** Grasfaserproben 1-6 (Klee-Gras).
- Abb. 7-2c:** Grasfaserproben 7-14 (Bastard Ray-Gras, Weizen-Gras und Luzerne).
- Abb. 7-3a:** Heizpresse zur Herstellung der Probeplatten: (a) Einfüllen der Faser-Bindemittel-Mischung in den Pressrahmen, (b) Probeplatte nach dem Verpressen
- Abb. 7-3b:** Probeplatten aus verschiedenen Grasfaserarten mit **Kauster** als Bindemittel.
- Abb. 7-3c:** Probeplatten aus unterschiedlich aufbereitetem Klee-Gras mit der **Acrylatdispersion ACRONAL 7D** als Bindemittel.
- Abb. 7-3d:** Probeplatten aus diversen Grasarten mit der **Acrylatdispersion ACRONAL 80D** als Bindemittel.
- Abb. 7-4:** Rohdichte von Knaul-Grasplatten mit **Kauster** als Bindemittel in Abhängigkeit von der Art der Grasvorbehandlung (grün vs siliert) und der Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. **Tab. 7-6**).
- Abb. 7-5:** Rohdichte der Knaul-Grasplatten als Funktion von Bindemittelart (**Kauster** vs **Sicoat**) und Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. **Tab. 7-6**).
- Abb. 7-6:** Rohdichte der Probeplatten mit **Acronal 7D** als Bindemittel (Zahlenwerte s. **Tab. 7-7**).
- Abb. 7-7:** Rohdichte der Probeplatten mit **Acronal 80D** als Bindemittel (Zahlenwerte s. **Tab. 7-7**).
- Abb. 7-8:** Rohdichte von Probeplatten mit **Kauster** als Bindemittel (Zahlenwerte s. **Tab. 7-7**).
- Abb. 7-9:** Biegefestigkeit von Knaul-Grasplatten mit **Kauster** als Bindemittel als Funktion der Art der Grasvorbehandlung (grün vs siliert) sowie der Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. **Tab. 7-6**).
- Abb. 7-10:** Biegefestigkeit von Knaul-Grasplatten als Funktion von Bindemittelart (**Kauster** vs. **Sicoat**) und Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. **Tab. 7-6**).
- Abb. 7-11:** Biegefestigkeit der Grasfaserplatten mit **Acronal 7D** als Bindemittel (Zahlenwerte s. **Tab. 7-7**).
- Abb. 7-12:** Biegefestigkeit der Grasfaserplatten mit **Acronal 80D** als Bindemittel (Zahlenwerte s. **Tab. 7-7**).
- Abb. 7-13:** Biegefestigkeit der Grasfaserplatten mit **Kauster** als Bindemittel (Zahlenwerte s. **Tab. 7-7**).

- Abb. 7-14:** *Druckspannung von Knautgrasplatten bei 10% Stauchung mit Kauster als Bindemittel als Funktion der Art der Grasvorbehandlung (grün vs siliert) sowie der Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s Tab. 7-6)*
- Abb. 7-15:** *Druckspannung von Knautgrasplatten bei 10% Stauchung als Funktion von Bindemittelart (Kauster vs. Sicoat) und Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. Tab. 7-6)*
- Abb. 7-16:** *Druckspannung von Grasfaserplatten bei 10% Stauchung mit Acronal 7D als Bindemittel (s. Tab. 7-7).*
- Abb. 7-17:** *Druckspannung von Grasfaserplatten bei 10% Stauchung mit Acronal 80D als Bindemittel (Tab. 7-7)*
- Abb. 7-18:** *Druckspannung von Grasfaserplatten bei 10% Stauchung mit Kauster als Bindemittel (s. Tab. 7-7).*
- Abb. 7-19:** *Wärmeleitfähigkeit von Knautgrasplatten mit Kauster als Bindemittel als Funktion der Art der Grasvorbehandlung (grün vs siliert) sowie der Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s Tab. 7-6).*
- Abb. 7-20:** *Wärmeleitfähigkeit von Knautgrasplatten als Funktion von Bindemittelart (Kauster vs. Sicoat) und Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. Tab. 7-6).*
- Abb. 7-21:** *Schallabsorptionsgrade bei unterschiedlichen Frequenzen von Knautgrasplatten in Abhängigkeit von Bindemittelart (Kauster, Sicoat, Acrylat) und Art der Grasvorbehandlung (grün, siliert).*
- Abb. 8-1:** *Herstellung von Grasfaser-Kunststoff-Compounds: (a) Extruderdüse mit austretender Polymerschmelze, (b) Universalprüfkörper*
- Abb. 9-1:** *Mögliche Grasfaser-Produktlinien im Garten- und Landschaftsbau*
- Abb. 9-2:** *Anwendungsmöglichkeiten für Mulchscheiben aus Grasfasern (Klee gras) und Latex als Bindemittel.*
- Abb. 9-3:** *Pflanztöpfe aus unterschiedlichen Grasfaserfraktionen mit Kauster als Bindemittel (40% und 50%).*
- Abb. 10-1:** *Vorteile von Futtermitteln in Pelletform*
- Abb. 10-2:** *Grasfaserproben für Faseranalytik.*
- Abb. 10-3:** *Rohfasergehalte (Rfa) der Grasfaserproben bezogen auf ursprüngliche Substanz (uS) bzw. auf Trockensubstanz (TS).*
- Abb. 10-4:** *Verfahrenschema der Herstellung von Pellets aus halmgutartiger Biomasse (z.B. Wiesenheu, Futtergräser, Stroh etc.).*
- Abb. 10-5:** *Pelletierung von biogenem Halmgut mittels „Kollergangprinzip“: (a) Funktionsprinzip einer Kollergangpresse mit Ringmatrize [Biomasse-Info-Net 2002a], (b) Ringmatrize [Tritec 2002], (c) Flachmatrize [Haslinger 2002].*
- Abb. 10-6:** *Flachmatrizenpresse (a) Schema; (b) Matrize und Koller. Quelle: [Telesis 2003]*
- Abb. 10-7:** *Presshydraulik einer Flachmatrizenpresse [Telesis 2003]*
- Abb. 10-6:** *Systemkomponenten der verwendeten Pelletieranlage: (a) Ballenauflöser, (2) Hammermühle für Feinzerkleinerung des aufgelösten Halmgutmaterials, (3) Absackmaschine zur Verpackung der fertigen Pellets.*
- Abb. 10-7:** *Pelletierpresse (Ringmatrizenpresse): (a) Gesamtansicht, (b,c) Details der Pelletierpresse*
- Abb. 10-8:** *Grasfaserpellets als Ergebnis der Pelletierversuche*
- Abb. 10-8:** *Grasfaserrohstoffe für Pelletierversuche in einer Laborpelletieranlage bzw. für Fütterungsversuche*
- Abb. 10-9:** *Laborpelletieranlage zur Herstellung von Pellets aus halmgutartiger Bioamasse (z.B. Wiesenheu, Futtergräser etc.): (a)-(c) Anlagenteile, (d) 4mm Futtermittelpellets für Fütterungsversuche mit Meerschweinchen.*
- Abb. 10-10:** *Grasfaserrohstoffe für Herstellung der Grasfaserpellets für Fütterungsversuche*
- Abb. 10-11:** *Versuchtiere für Fütterungsversuche (Meerschweinchen bzw. Chinchillas rechts).*
- Abb. 11-1:** *Einflussfaktoren für Entscheidungs- und Kaufverhalten*
- Abb. 11-4:** *Verwertungslinien „Natan“. Quelle: [NATAN 2002].*
- Abb.: 12-1:** *Teilprojekte des Projektbündels GRÜNE BIORAFFINERIE*
- Abb. 12-2:** *Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage, z.B. Verfahrenschema der Anlage (daraus ergeben sich Rohstoffmengen, Produktmengen, Energiebedarf etc.), spezifische Rohstoffkosten, spezifische Erlöse für die Produkte etc*

- Abb. 12-3:** Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (= Inputgrößen für Wirtschaftlichkeitsanalyse im Sinne einer dynamische Investitionsrechnung).
- Abb. 12-4:** Berechnung der Kosten, Erlöse sowie des Cash-Flow (CF) einer verfahrenstechnischen Anlage
- Abb. 12-5:** Berechnung des Discounted Cash Flow (DCF).
- Abb. 12-6:** Berechnung des Cumulated Discounted Cash Flow (CDCF) sowie der Wirtschaftlichkeitskennzahlen „statische Amortisationszeit“ bzw. „dynamische Amortisationszeit“ für eine verfahrenstechnische Anlage.
- Abb. 12-8:** Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (dynamische Amortisationszeit) von den Rohstoffkosten sowie von den Fixkosten
- Abb. 12-9:** Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit (dynamische Amortisationszeit) einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage von den für die Produkte Proteine, Milchsäure und Fasern erzielten spezifischen Erlöse
- Abb. 12-10:** Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (dynamische Amortisationszeit) von den spezifischen Produktausbeuten für Proteine, Milchsäure und Fasern
- Abb. 12-11:** Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (dynamische Amortisationszeit) vom Fördermittelanteil, d.h. vom Anteil der Fördermittel am Gesamtkapital.
- Abb. 12-12:** Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (dynamische Amortisationszeit) vom Eigenkapitalanteil, d.h. vom Anteil des Eigenkapitals am Gesamtkapital.

## Tabellenverzeichnis

- Tab. 2-1:** Übersicht über Arbeitspakete und Kapitel des vorliegenden Endberichts
- Tab. 3-1:** Anwendungsgebiete ausgewählter Naturfasern (außer Baumwolle).
- Tab. 3.3.1-1:** Eigenschaften von Spanplatten aus Einjahrespflanzen mit Melamindiisocyanat-Beleimung (MDI-Beleimung) [Brandstätter 2002].
- Tab. 3.3.2-1:** Eignung von Einjahrespflanzen als Rohstoff für die Herstellung von MDF-Platten [Thole 2002; zitiert in Brandstätter 2002].
- Tab. 3.4.3-1:** Eigenschaften von Torf & Torfersatzstoffen [Bayerischer Landesverband für Gartenbau und Landespflege 2002]
- Tab. 3.5.1-1:** Ascheschmelzverhalten verschiedener Festbrennstoffe [Biomasse-Info-Net 2002b].
- Tab. 3.5.4-1:** Aktuelle Forschungsarbeiten zum Thema „Papier und Zellstoff aus Einjahrespflanzen“.
- Tab. 4-1:** Grasrohstoffe für die Silier- und Abpressversuche 2001
- Tab. 4-2:** Grasrohstoffe für die Silier- und Abpressversuche 2001.
- Tab. 4-3:** Bei Abpressversuchen jeweils für Feed, Presskuchen und Presssaft gemessene Parameter.
- Tab. 4.5.1-1:** Bei Abpressversuchen jeweils für Feed, Presskuchen und Presssaft gemessene Parameter.
- Tab. 4.5.14-1:** Ausbeuten und Abtrenngrade (jeweils bezogen auf Presssaft)
- Tab. 4.5.15-1:** Fragestellungen/Weitere Arbeiten zu den Verfahrensschritten „Primäre Rohstoffgewinnung + Fraktionierung (Abpressen)“
- Tab. 4.5.15-2:** Fragestellungen/Weitere Arbeiten zu den Verfahrensschritten „Aufbereitung/Reinigung des Presskuchens + Gewinnung homogener Grasfaserfraktionen“.
- Tab. 4.5.15-3:** Fragestellungen/Weitere Arbeiten zu den Verfahrensschritten „Aufbereitung/Reinigung des Presskuchens“.
- Tab. 4.5.15-4:** Weitere Arbeiten zum Thema „Analytik (Zusammensetzung von Feed, Presskuchen, Presssaft, Fasern, Rohasche etc.)“
- Tab. 4.5.15-5:** Weitere Fragestellungen
- Table 5-1:** The chemical composition of grasses  $\psi 1, 15\beta$
- Table 5-2:** Properties of important technical cellulose fibres (bast fibres)  $\psi 16, 31, 32, 41\beta$ .
- Table 5-3:** Grass and legume samples involved in the work on characterisation of fibres from green biomass
- Table 5-4:** Isolation processes of elementary grass fibres and fibre bundles

- Table 5-5: Breaking force and elongation at break in axial direction of the whole grass structure of bastard ryegrass (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN).*
- Table 5-6: Mean tenacity and elongation at break of Ryegrass stems (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN).*
- Table 5-7: Mean tenacity and elongation at break of Ryegrass leaves (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN).*
- Table 5-8: Linear density (fineness) of Ryegrass stems and leaves (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN).*
- Table 5-9: Fibre content in stems of different grass species*
- Table 5-10: Fibre content in leaves of different grass species*
- Table 5-11: Mechanical properties of grass and legume fibre bundles of different History: Green vs ensilaged, pressed once or twice in a BIOREFINERY, originating from leaves and stems, isolated by biological retting.*
- Table 5-12: Geometrical and mechanical properties of ultimate and technical grass fibres*
- Tab. 6-1: Grasfaserrohstoffe für Mahlversuche mittels einer Schneidmühle der Type „Rotoplex 20/12 RO“.*
- Tab. 6-2: Grasfaserrohstoffe für die Fibrillierungsversuche mit einer Prallmühle*
- Tab. 6-3: Grasfaserproben für Öffnungsversuche*
- Tab 7-1: Grasfaserproben für Screeningphase-1*
- Tab 7-2: Grasfaserproben für Screeningphase-2.*
- Tab .7-3: Verwendete Bindemittel.*
- Tab. 7-4: Versuchsmatrix für Screeningphase-1 (Rezepturen der Probeplatten).*
- Tab. 7-5: Versuchsmatrix für Screeningphase-2 (Rezepturen der Probeplatten).*
- Tab. 7-6: Kurzbeschreibung der Grasfaserprobeplatten hinsichtlich mechanischer Stabilität, Druckfestigkeit, Bröseln, Faserstruktur, Faserverteilung und Farbe der Platten.*
- Tab. 7-6: Messergebnisse für die Musterplatten der Screeningphase-1.*
- Tab. 7-7: Messergebnisse für die Musterplatten der Screeningphase-2.*
- Tab. 7-8: Schallabsorptionsgrade für Probeplatten aus Screeningphase-1. (Rezeptur der Platten s. **Tab. 7-4**).*
- Tab. 8-1: Verwendete Rohstoffe für die Erzeugung von Faser-Kunststoff-Compounds*
- Tab. 8-2: Maße der Prüfkörper für die Zugversuche*
- Tab. 8-3: Geräteparameter für Zugversuch (Zwick Universalprüfmaschine TC-FR020 TH).*
- Tab. 8-4: Prüfergebnisse und Statistik der Zugversuche*
- Tab. 8-5: Maße der Prüfkörper für die Biegeversuche*
- Tab. 8-6: Geräteparameter für Biegeversuch (Zwick Universalprüfmaschine TC-FR020 TH).*
- Tab. 8-7: Prüfergebnisse und Statistik der Biegeversuche*
- Tab. 8-8: Prüfergebnisse und Statistik der Schlägzähigkeitsversuche*
- Tab. 8-9: Vergleich der in Zug-, Biege- und Schlägzähigkeitsversuchen ermittelten Kennwerte für für das reine, ungefüllten Polymer „HD 120 MO“ sowie der entsprechenden Kennwerte unter Verwendung von Grasfasern, Glimmer bzw. Talkum als Füllstoff*
- Tab. 9-1: Für die Versuche zur Herstellung von Mulchplatten verwendete Grasfaserrohstoffe und Bindemittel.*
- Tab. 9-2: Für die Pflanztopfherstellversuche verwendete Grasfaserrohstoffe und Bindemittel.*
- Tab. 10-1: Grasfaserproben für Faseranalytik*
- Tab. 10-2: Gemessene Parameter (Faseranalytik).*
- Tab. 10-3: Gemessene Roh Nährstoff-, Mineralstoff- und Energiegehalte der ursprünglichen Substanz (uS) der Grasfaserproben aus **Tab. 10-1**.*
- Tab. 10-4: Gemessene Roh Nährstoff-, Mineralstoff- und Energiegehalte der Trockensubstanz (TS) der Grasfaserproben aus **Tab. 10-1**.*
- Tab. 10-5: Grasfaserproben für Pelletierungsversuche*
- Tab. 10-6: Grasfaserrohstoffe für Pelletierungsversuche in einer Laborpelletieranlage bzw. für Fütterungsversuche*
- Tab. 10-7: Grasfaserrohstoffe für Herstellung der Grasfaserpellets für Fütterungsversuche*
- Tab. 10-8: Für Fütterungsversuche verwendete Futtermittel (s. **Tab. 10-7**).*



- Tab. 10-9: Parameter zur Charakterisierung der Futtermittel für Fütterungsversuche*
- Tab. 10-10: Gemessene Parameter der Futtermittel für Fütterungsversuche*
- Tab. 10-11: Futteraufnahme von Meerschweinchen und Chinchillas im Akzeptanztest.*
- Tab. 10-12: Körpermasseentwicklung von Meerschweinchen bei Gabe von definierten Futtermengen*
- Tab. 10-13: Vergleich der angebotenen und tatsächlich aufgenommenen Futtermenge*
- Tab. 10-14: Für Verdaulichkeitsversuche verwendete Futtermittel und Futtermittelmengen*
- Tab. 10-15: Roh Nährstoff- und Energiegehalte der Kotproben.*
- Tab. 10-16: Scheinbare Verdaulichkeit (%) der Energie- und Roh Nährstoffe des aufgenommenen Gesamtfutters sowie der einzelnen Faserfraktionen (n=6).*
- Tab. 10-17: Aus dem Rohfasergehalt (Rfa) der Trockensubstanz (TS) berechnete Werte für die scheinbare Verdaulichkeit (sV) der organischen Substanz (oS).*
- Tab. 10-18: Gemessene Werte für die scheinbare Verdaulichkeit (sV) der organischen Substanz (oS).*
- Tab. 11-1: Mögliche Produkte einer GRÜNEN BIORAFFINERIE*
- Tab. 11-2: Gegenwärtiger und erwarteter Markt für Proteinproduktzusätze im Nahrungs- und Futtermittelbereich [Frost & Sullivan 1999].*
- Tab. 11-3: 1994 produzierte Pflanzenproteinmengen.*
- Tab. 11-4: Anwendungsgebiete und Preise für Proteinprodukte im Sinne von Rohstoffen für den Chemiebereich*
- Tab. 11-5: Preisvergleich von Proteinen unterschiedlicher Provenienz mit petrochemischen Produkten*
- Tab. 11-6: Gegenwärtiger und zukünftiger Markt für Aminosäureprodukte [Freedonia Group, 2000].*
- Tab. 11-7: Gegenwärtiger und zukünftiger Markt für Aminosäureprodukte [Business Communications 1999].*
- Tab. 11-8: Produktionskapazität für verschiedene Aminosäuren. Quelle: [Guangzho CCM Chemicals, März 2001].*
- Tab. 11-9: Preisentwicklung für ausgewählte Aminosäuren. Quelle: [Guangzho CCM Chemicals, März 2001].*
- Tab. 11-10: Durchschnittspreise für ausgewählte Aminosäuren*
- Tab. 11-11: Gegenwärtiger und zukünftiger Markt für Biopolymere in Europa [Neste Chemicals 1999]*
- Tab. 11-12: Verwendungsmöglichkeiten für Milchsäure- Polymere*
- Tab. 11-13: Varianten des Werkstoffs Nature Works™ von Cargill Dow. Quelle: [Cargill Dow, 2003]*
- Tab. 11-14: Verwendungsmöglichkeiten für Ethyl-Acetat (bzw. für Ethyl-Lactat).*
- Tab. 11-15: Dämmstoffmarkt in Europa. Quellen: [Frost und Sullivan 2000. Studie '99] und [Heraklith 2000]*
- Tab. 11-16: Preisgefüge für Dämmstoffplatten. Quelle: [Frost und Sullivan, 2000] und [Heraklith 2000].*
- Tab. 11-17: Futtermittelmarkt für Heimtiere in Deutschland.  
Quelle: [Industriellenverband Heimtierhaltung, Düsseldorf (2001)]*
- Tab. 11-18: Exemplarische Beispiele für Futtermischungen für Heimtiere und Preise (eigene Marktbeobachtung)*
- Tab. 12-1: Wertebereiche ausgewählter Einflussfaktoren auf Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Pilotanlage (Kapazität: 6.000 Jahrestonnen).*



# 1. EINLEITUNG – DAS TECHNOLOGIEKONZEPT EINER GRÜNEN BIORAFFINERIE

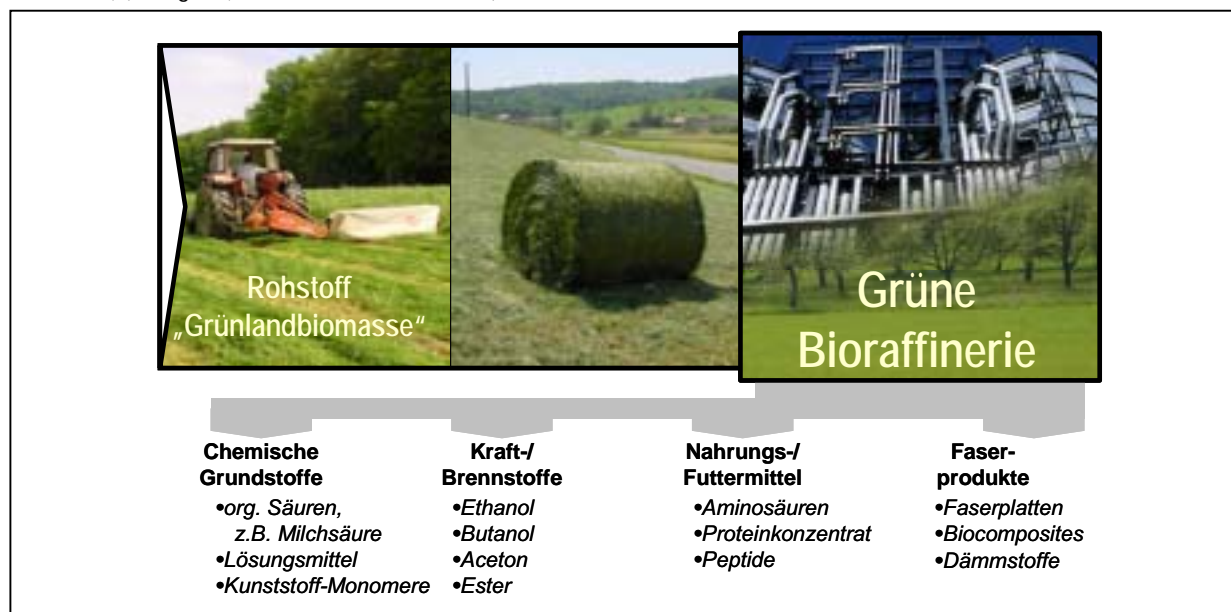
VERFASSER: **DR. BRUNO WACHTER UND DI MICHAEL MANDL**  
 JOANNEUM RESEARCH, INSTITUT FÜR NACHHALTIGE TECHNIKEN UND SYSTEME (JOINTS)  
 A-8010 GRAZ, ELISABETHSTRASSE 16-18, [WWW.JOANNEUM.AT](http://WWW.JOANNEUM.AT)

## 1.1. Ausgangslage und Motivation

In der österreichischen Landwirtschaft – und auch in derjenigen vergleichbarer Länder - vollzieht sich gegenwärtig ein massiver Strukturwandel, der gekennzeichnet ist durch einen stetigen 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 weiter zu erhalten, ist es erforderlich, für die überschüssige Grünlandbiomasse neue, innovative Verwertungsmöglichkeiten zu erschließen.

Eine derartige Möglichkeit bietet das Technologiekonzept einer sogenannten GRÜNEN BIORAFFINERIE. Die Grundidee dabei ist die, dass in Analogie zu einer *Erdölraffinerie* der Rohstoff „Grünlandbiomasse“ (z.B. Gras, Klee, Luzerne etc.) in einer einzigen Verarbeitungsanlage möglichst vollständig (Ganzpflanzennutzung) und ohne Anfall von Abfällen (zero-waste) in eine Vielzahl verkaufbarer Produktgruppen weiterverarbeitet wird (s. **Abb. 1-1** und **Abb. 1-2**), z.B.:

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



**Abb. 1-1:** Prinzip einer GRÜNEN BIORAFFINERIE: Grünlandbiomasse (z.B. Gras, Klee, Luzerne) wird in einer einzigen Verarbeitungsanlage in eine Vielzahl verkaufbarer Produktgruppen weiterverarbeitet (multi-product-system).

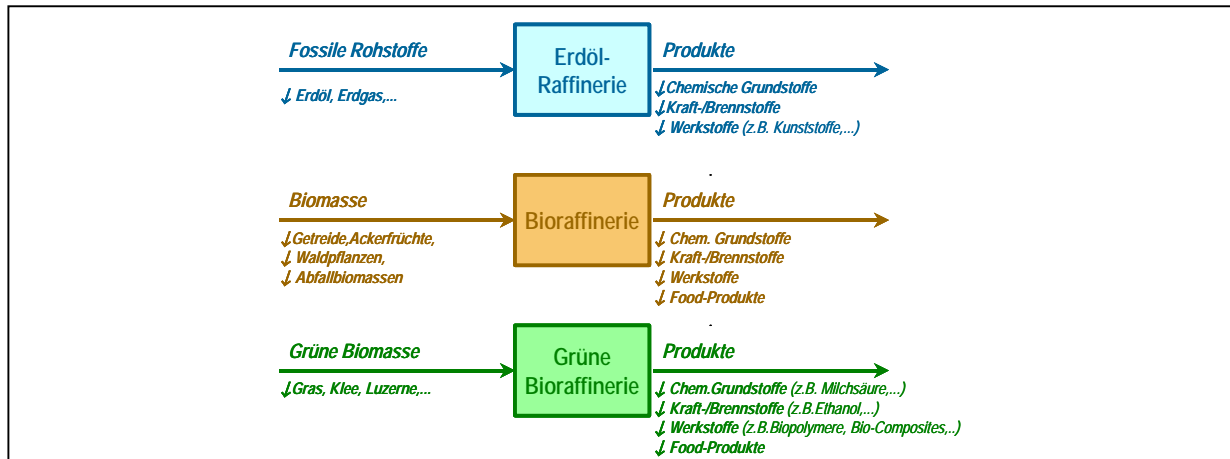


Abb. 1-2: Prinzip einer BIORAFFINERIE bzw. einer GRÜNEN BIORAFFINERIE.

Die Umsetzung des Technologiekonzepts einer GRÜNEN BIOREAFFINERIE ist ein wichtiger Beitrag zur Erhaltung wertvoller Kulturlandschaften sowie – ganz allgemein - zur wirtschaftlichen Stärkung ländlicher Regionen: Durch Absicherung der Einkommen bestehender landwirtschaftlicher Betriebe sowie durch Neuansiedlung von Wirtschaftsunternehmen in diesen Regionen.

## 1.2. BIORAFFINERIE-Konzepte auf internationaler Ebene

Auf internationaler Ebene laufen derzeit in zahlreichen Ländern Bemühungen hinsichtlich der Weiterentwicklung und technischen Umsetzung der Technologiekonzepte einer BIORAFFINERIE bzw. einer GRÜNEN BIORAFFINERIE.

### 1.2.1. Deutschland

In Deutschland wird hinsichtlich der Konzipierung und Umsetzung von Bioraffinerie-Systemen seit einigen Jahren an der *Universität Potsdam* sowie am *Institut für Agrartechnik Bornim* Pionierarbeit geleistet [Biorefinery 2001,2002; BIOREFINICA 2001; FH-Flensburg 2002, Kamm et al. 1998, 2000a,b, 2001a,b, 2002; Reske et al. 2002; Richter et al. 2001, Ringspfeil 2001] (s. Abb. 1-3). Zwei Bioraffinerie-Typen werden unterschieden:

- 4# GRÜNE BIORAFFINERIE: Rohstoff: Gras, Luzerne, Klee, unreife Getreideabfälle etc.
- 4# LIGNOZELLULOSE BIORAFFINERIE: Rohstoff: Holzabfälle, Stroh, Schilf etc.

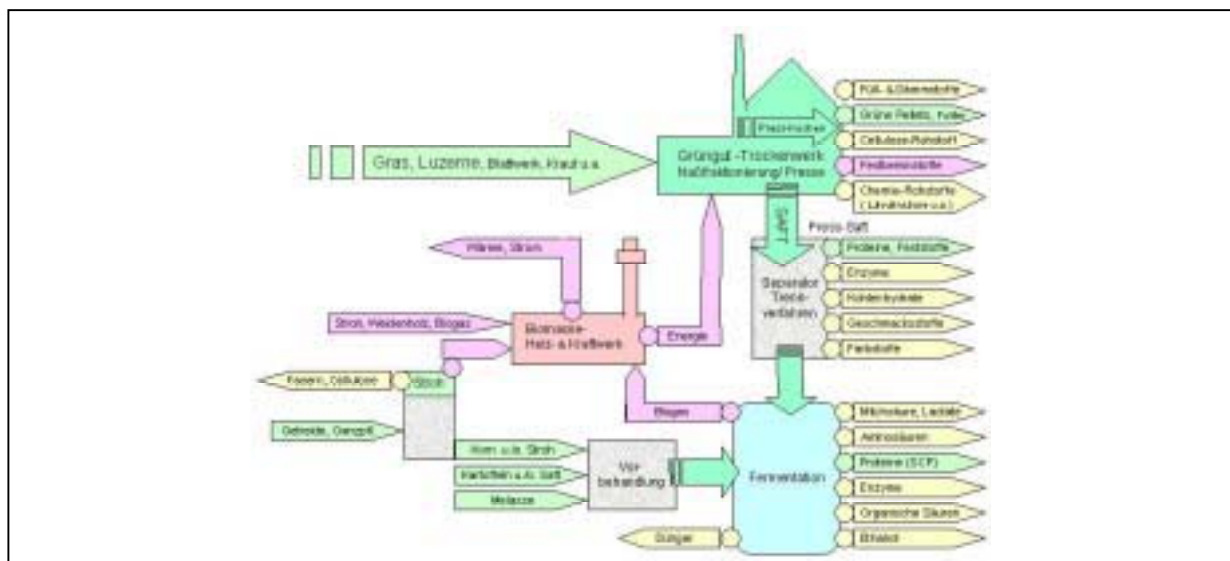


Abb. 1-3: Prinzip einer Grünen Bioraffinerie nach [Kamm & Kamm 2001b, S.13].

### 1.3.2. Dänemark

In Dänemark nahm die Arbeit an der Bioraffinerie-Thematik in Europa ihren Ausgang: 1990 startete *Pauli Kiel* auf Anregung von *Rolf Carlsson* die Initiative „Green Biorefinery“ [*Andersen & Kiel 2000; Kiel 1998*]. Die dänischen F&E-Arbeiten hinsichtlich der Weiterentwicklung und Umsetzung des Bioraffinerie-Konzepts wird vom *Bioraf Denmark Foundation (BDF) Research Center* wahrgenommen [*BioMatNet 2002a; Gylling 1997,1998; Pedersen & Gylling 2001; Rexen 2002*]. Diese Institution war auch Koordinator des EU-Projekts „*The Whole Crop Biorefinery Project*“ [*BioMatNet 2002b; Gylling 1995*].

Zitat aus [*Rexen 2002*]

„*The biorefinery concept – based on an optimal utilisation of all components of a given crop – was introduced in Denmark in the mid eighties, and a demonstration unit was established on the island of Bornholm in the middle of the Baltic Sea. A number of production concepts have during the years been developed. Some have been further refined, and they are now ready for commercialisation.*“

Zitat aus [*BioMatNet 2002a*]

„*The Bioraf Denmark Foundation (BDF) Research Center offers facilities for research projects in biorefinery pilot plants including complete handling equipment with laboratory back up. The main interests relate to fibres, starch, oils and proteins. The main purpose of the centre is to assist the private sector in closing the gap between research results and the commercialisation of industrial products from farm materials.*“

### 1.3.3. Holland

In den Niederlanden laufen seit 1996 unter der Federführung des niederländischen Unternehmens *Avebe* (Kartoffelstärke-Hersteller) sowie der *Universität Wageningen* intensive F&E-Arbeiten hinsichtlich der Verarbeitung des Rohstoffs „Gras“ in einer Grünen Bioraffinerie [*AgriHolland 1999,2000,2001; Hulst 2002,1999; IENICA 2002; Ketelaars 1999, 2001*]. Im vorigen Jahr (2002) wurde im niederländischen *Foxhol* eine *Bioraffinerie-Pilotanlage* in Betrieb genommen (s. **Abb. 1-4**).



**Abb. 1-4:** Bioraffinerie – Pilotanlage der niederländischen Firma AVEBE in Foxhol (NL) [*Hulst 2002*].

Von den Niederlanden geht gegenwärtig auch eine weitere Bioraffinerie-Initiative aus: Unter der Federführung des Unternehmens *Dow Benelux BV* (Tochterfirma von *Dow Chemical*, dem weltweit gesehen drittgrößten Chemiekonzern) sowie einiger namhafter europäischer Forschungsinstitutionen (z.B. ETH-Zürich, TNO (NL), Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (D) und Forschungszentrum Karlsruhe (D)) wird gegenwärtig versucht, im Rahmen des 6. EU-Forschungsrahmenprogramms ein Projekt „BioRefinery“ zu starten. Ziel dieser Projektinitiative ist es, Grundlagen für die Umsetzung des Bioraffinerie-Konzepts in eine Großanlage zu schaffen. (s. Abb. 1-5).

Zitat aus [Dow Benelux 2002]

„The aim [...] is to develop a concrete biorefinery layout based on bio-feedstocks as raw material and demonstrate that it will ultimately provide a cost effective and energy efficient method for the production of chemicals, fuels and power in the 21<sup>st</sup> century, analogous to existing petrochemical refineries. A further aim of this proposal is to establish Europe as the technology development and technology commercialisation leader in the field of bio-feedstock for the production of valuable chemical products“.

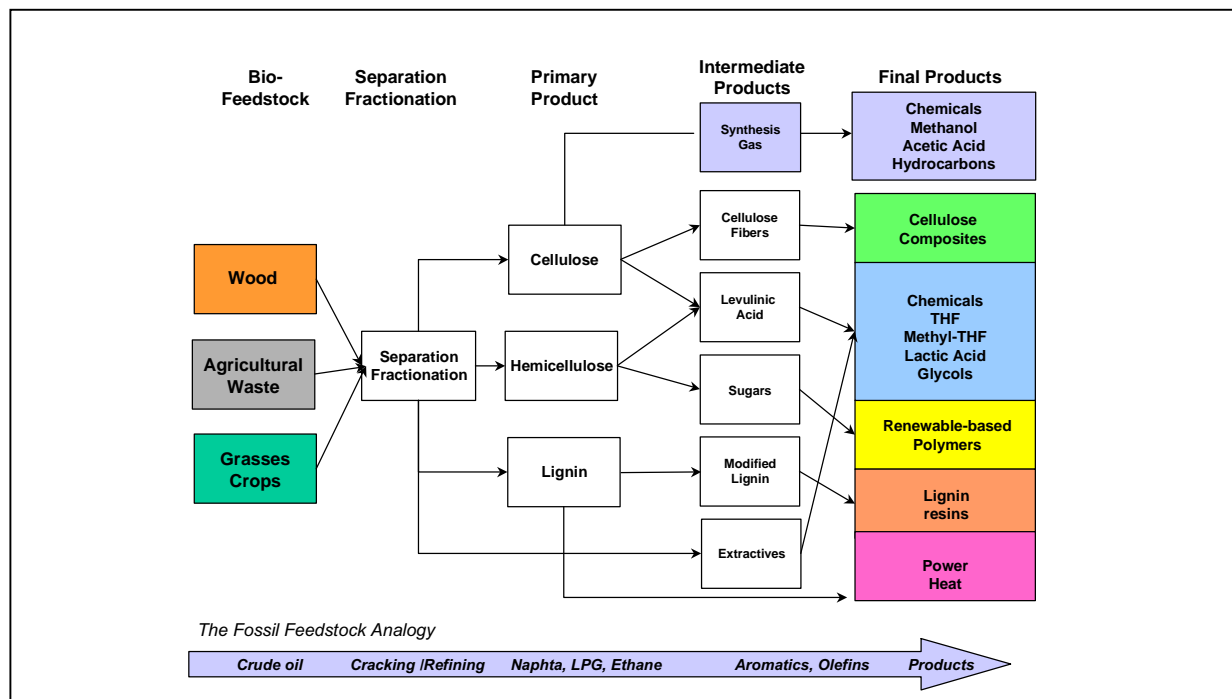


Abb. 1-5: Prinzip der Bioraffinerie nach den Vorstellungen von [Dow Benelux 2002].

#### 1.3.4. Schweiz

In der Schweiz wurde von der Firma *2B AG* in mehrjähriger Entwicklungsarbeit ein Verfahren entwickelt, das aus feuchter und wenig verholzter Biomasse (z.B. Gras, Grassilage, Biertreber, Zuckerrohr-Bagasse) Fasern, Proteine und Energie (Biogas => grüner Strom) herzustellen erlaubt [2B AG 2002a,b; Arnold 2001; Grass 2002; Janzing 2001; Schaffhauser Nachrichten 2000; Widmer 2001].

- 4# Seit 1998 wird in Märwil im Thurgau eine *Bioraffinerie-Pilotanlage* betrieben [Janzing 2001].
- 4# Im Jahr 2001 wurde in Schaffhausen die erste *kommerzielle* Bioraffinerie-Anlage zur Verarbeitung von Gras gebaut und in Betrieb genommen [2B AG 2002a] (s. Abb. 1-6).
- 4# Die erste industrielle Anlage zur Verwertung von Biertreber wird im Laufe von 2002 gebaut und in Betrieb genommen [2B AG 2002b].
- 4# Eine Anlage zur Verarbeitung von Bagasse ist in Planung [2B AG 2002b].

Zitate aus [Janzing 2001]

„Aus eine Tonne Gras-Trockensubstanz lassen sich [...] 380 Kilogramm Fasern gewinnen, so wie 190 Kilogramm Protein, 615 Kilowattstunden Strom und 900 Kilowattstunden Wärme. Zudem bleiben 269 Kilowattstunden je Tonne, die künftig als Biogas ins Netz eingespeist werden.“

„...die Preise sind [...] festgeschrieben. Zwischen 16 Schweizer Franken je 100 Kilogramm Trockensubstanz für so genanntes Ökograss, das erst nach dem 15. Juni gemäht werden darf, und 22 Franken für die proteinreiche Luzerne liegen die Vergütungen. Jeder Hektar bringt bei zwei bis drei Schnitten im Jahr bis zu 10 Tonnen Trockensubstanz.“



Abb. 1-6: Kommerzielle Bioraffinerie-Anlage in Schaffhausen (CH) [2B AG 2002b].

### 1.3.5. USA

In den USA wird in den Ende 2002 vom amerikanischen Energieministerium (Department of Energie) veröffentlichten Dokumenten

4# *“Vision for Bioenergy and Biobased Products in the United States” [US-DOE 2002a],*

4# *“Roadmap for Biomass Technologies in the United States” [US-DOE 2002b].*

der BIORAFFINERIE-Technologie beim Umstieg der gegenwärtigen Erdöl-basierten Wirtschaft auf eine Wirtschaft auf Basis nachwachsender Rohstoffe eine überragende Rolle zugeordnet. Zwei aus den Jahren 1999 bzw. 2000 stammende Studien des *National Research Council (NRC)* kommen zu einem ähnlichen Schluss:

4# *“Biobased Industrial Products: Priorities for Reserach and Commercialisation” [US-NRC 2000: pp.75-78]*

4# *“Review of the Research Strategy for Biomass-Derived Transportations Fuels” [US-NRC 1999: p.29].*

Zitat aus [US-NRC 2000: pp.8-9]

*“As in oil refineries, **biorefineries** would yield a host of products that would tend to increase over time. Many biorefinery products can be produced by petroleum refineries, such as liquid fuels, organic chemicals and materials. However, biorefineries can also manufacture many other products that oil refineries cannot, including foods, feeds, and biochemicals. These additional capabilities give biorefineries a potential competitive edge and enhanced financial stability.”*

Ein wesentlicher Schritt zur großtechnischen Umsetzung des Bioraffinerie-Konzept wurde ebenfalls in den USA gesetzt, und zwar durch das Unternehmen *Cargill-Dow LLC* (einem Joint-Venture der beiden Unternehmen Dow Chemical Company und Cargill), von dem 2002 die weltweit erste Anlage zu einer komplett biotechnologischen Herstellung des Biopolymers Polymilchsäure (Poly-Lactic-Acid, PLA) für Verpackungen, Fasern und Spezialitäten gebaut und in Betrieb genommen wurde (s. **Abb. 1-7**). Als Rohstoff wird Maisstärke eingesetzt, dementsprechend wird das entstehende Biopolymer auch „corn plastics“ genannt. Kapazität der Anlage: 140.000 Tonnen/Jahr. [*BIOPOS 2002; Cargill-Dow 2002*].



**Abb. 1-7:** Weltweit erste großtechnische Anlage der Firma Cargill-Dow LLC (USA) zur biotechnologischen Produktion von Milchsäure aus Maisstärke. Kapazität: 140.000 Tonnen/Jahr [*Cargill-Dow 2002*].

### 1.3.6. Canada

In Canada wird in einer 2001 erschienen Studie mit dem Titel „*Developing Biobased Industries in Canada*“ dem Bioraffinerie-Konzept eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung einer Industrie auf Basis nachwachsender Rohstoffe zugemessen [*Crawford 2001*]. In einer 1996 erschienenen Studie erfolgte bereits eine ähnliche Einschätzung [*Tibelius & Trenholm 1996*].

Zitat aus [*Crawford 2001: p.57-58*]

„To bring down the costs of biobased products, biobased raw materials will have to be processed in “biorefineries”. [...] Like petrochemical refineries, these biorefineries of the future will produce a wide range of high-volume, low-value products, like fuel and feed, and low-volume, high-value products like chemicals and polymers.“



## 1.3. Das BIORAFFINERIE-Konzept in Österreich

### 1.3.1. Bisherige Arbeiten

1990: Verzuckerung von Gras und anschließender Fermentierung zu Ethanol: In Österreich hat die Forschung hinsichtlich der Nutzung von Gras als Industrierohstoff um 1990 mit Versuchen von Steinmüller et al. zur Verzuckerung von Gras und anschließender Fermentierung zu Ethanol begonnen [1: Steinmüller & Schneider 1991]. Die Versuche wurden im Technikum der VOEST Linz durchgeführt [2,3,4: VABIO 1990a,b,c]. Das Projekt musste jedoch mangels ausreichender politischer Unterstützung der Idee der Herstellung von Ethanol aus Biomasse (Biosprit) wieder eingestellt werden.

1993: Abpressversuche von Grassilage zur Gewinnung von Milchsäure: 1993 unternahm Steinmüller auch erste vielversprechende Abpressversuche von Grassilage zur Gewinnung von Milchsäure. Die Reinigung der in den Presssäften enthaltenen Milchsäure wurde jedoch nicht praktisch, sondern lediglich theoretisch abgehandelt [5: Steinmüller 1994].

1997: 1. Symposium „Grüne Bioraffinerie“: 1997 wurde von der Universität Potsdam das 1. Symposium „Grüne Bioraffinerie“ im Brandenburgischen Umweltforschungszentrum Neuruppin veranstaltet [6: Soyes, Kamm, Birgit & Kamm, Michael 1998]. Im Rahmen dieses Symposiums wurde von Birgit und Michael Kamm (beide Universität Potsdam) ein mögliches Verfahren zur Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesäften vorgestellt [7: Kamm & Kamm 1998; 8: Kamm et al. 2000].

1998-1999: Bioraffinerie-Studie: Angeregt durch diese Konferenz wurde 1998 von Michael Narodoslawsky (TU-Graz), dem Verein SUSTAIN sowie dem KORNBERG INSTITUT ein neuer Anlauf initiiert hinsichtlich der österreichischen Forschungstätigkeit zum Thema „Grüne Biomasse als Industrierohstoff“ bzw. „Grüne Bioraffinerie“. Als Folge dieser Initiative wurde 1999 eine Studie mit dem Titel „Elaboration of a decentralized „Green Biorefinery“ for the Austrian Region of Feldbach – A Sustainable Concept“ vorgelegt [9: Kromus 1999]. Die Ergebnisse dieser Vorstudie führten zu beträchtlicher internationaler Resonanz.

1999: 2. Symposium „Grüne Bioraffinerie“: 1999 fand in Feldbach (Schloss Kornberg) das 2. Internationale Symposium „Grüne Bioraffinerie“ statt [10: Narodoslawsky, Krotscheck, SUSTAIN 1999]. Auf diesem Symposium wurde zum einen aufgezeigt, dass das Konzept der Grünen Bioraffinerie großes Zukunftspotential hat, dass jedoch zu dessen praktischer Umsetzung eine Intensivierung der internationalen Zusammenarbeit unumgänglich ist. Dementsprechend wurde ein internationales „Network for the Implementation of Biorefineries, NIB“ initiiert [11: Kromus et al. 2000; 12: NIB 2002].

2000-2002: BBK-Projekt „Grüne Bioraffinerie...“: Im Zeitraum 2000-2002 wurde unter der Federführung des KORNBERG INSTITUTS im Rahmen der Bund-Bundesländerkooperation (BBK) das Forschungsprojekt „GRÜNE BIORAFFINERIE - Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer nachhaltigen Kulturlandschaftsentwicklung“ durchgeführt und mit der Vorlage eines Endberichts abgeschlossen [13: Kromus, Narodoslawsky & Kromus 2002: 14-16].

2001-2002: Projekt „Grasfasern – Ein potentieller Industrierohstoff“ (Land Steiermark): Im Zeitraum 2001-2002 wurde unter der Federführung des Instituts für Nachhaltige Techniken und Systeme (JOINTS) von JOANNEUM RESEARCH das vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung geförderte Projekt „Grasfasern – Ein potentieller Industrierohstoff?“ durchgeführt und ebenfalls mit der Vorlage eines Endberichts abgeschlossen [17: Wachter et al. 2002].

2001-2003: Fabrik der Zukunft Projektbündel „Grüne Bioraffinerie“: Im Zeitraum 2001-2003 wurde im Rahmen des vom *Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)* initiierten Programms „Fabrik der Zukunft (FdZ)“ unter der Federführung von JOANNEUM RESEARCH und dem KORNBERG INSTITUT ein aus drei Teilprojekten bestehendes Projektbündel zum Thema „Grüne Bioraffinerie“ durchgeführt:

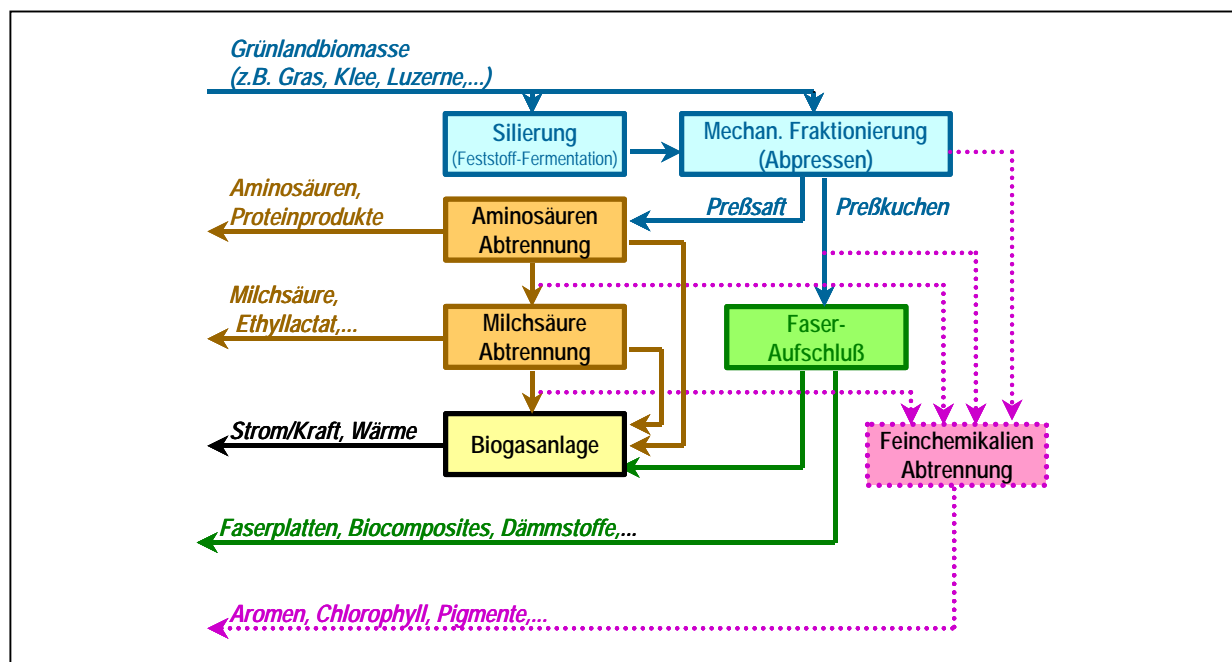
- 4# (1) „Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft“ [18,21]
- 4# (2) „Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Proteinen aus Grassäften“ [19,22]
- 4# (3) „Grüne Bioraffinerie – Verwertung der Grasfaserfraktion“ [20,23,24]

Ein erstes Zwischenergebnis des dritten Teilprojekts liegt in Form einer Diplomarbeit mit dem Titel „Grasfasern – Ein potentieller Rohstoff für die Dämmstoff- und Plattenindustrie?“ vor [25: Brandstätter 2002].

Eine umfassende Darstellung der bisherigen österreichischen F&E-Anstrengungen zum Thema „Grüne Bioraffinerie“ findet sich in der Dissertation von *Stefan Kromus* mit dem Titel „Grüne Bioraffinerie Österreich – Entwicklung eines integrierten Systems zur Nutzung von Grünlandbiomasse“ [26: Kromus 2002].

### 1.3.2. Prinzip einer GRÜNEN BIORAFFINERIE ÖSTERREICH

Das Konzept einer GRÜNEN BIORAFFINERIE ÖSTERREICH unterscheidet sich von anderen Bioraffinerie-Konzepten dadurch, dass es besondere Rücksicht nimmt auf die regionalen Bedürfnisse der Region Oststeiermark. Beispielsweise fallen Sommer und Winter unterschiedliche „Rohstoffe“ an: Im Sommer frisches Wiesengras, im Winter dagegen Grassilage. Grundsätzlich wird darauf abgezielt, aus dem hochverfügbaren und nachhaltig in der Landwirtschaft produzierbaren Rohstoff „Gras“ in einer einzigen Fabrik mehrere, völlig unterschiedliche Produktgruppen herzustellen (s. **Abb. 1-8**):



**Abb. 1-8:** Prinzip einer GRÜNEN BIORAFFINERIE ÖSTERREICH: Milchsäure stellt ein Schlüsselprodukt dar. Diese entsteht bei der Silierung primärer Rohstoffe wie Gras, Klee, Luzerne (Feststofffermentation).

Hauptprodukte der GRÜNEN BIORAFFINERIE ÖSTERREICH sind:

- 4# (1) **Milchsäure-Produkte** als Grundstoff für Kunststoffe, Lösungsmittel, Lebensmittelindustrie etc.
- 4# (2) **Protein-Produkte** als hochwertiges Tierfuttermittel (Milchaustauscher (MAT), Hochleistungsrinder) mit den Prädikaten „rein pflanzlich“ und „gentechnikfrei“.

- 4# **(3) Faserprodukte** als Rohstoff für Dämmstoffe, Bauplatten, Materialien für den Garten- & Landschaftsbau, Spezial-Tierfutter etc.
- 4# **(4) Biogas/Grüner Strom:** Reststoffe des Verfahrens werden einer Biogasanlage zugeführt. Das anfallende Biogas wird in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) in „grünen“ Strom und Wärme umgewandelt. Das ausgegorene Substrat ist als Dünger verwendbar

#### Warum Milchsäure

##### 4# *Milchsäure als Konservierungsmittel*

Milchsäure entsteht in einem anaeroben Fermentationsprozess (Silageprozess am Bauernhof) aus den Zuckern von Frischgras mit Hilfe von Mikroorganismen. Durch die konservierende Wirkung der Milchsäure erhält man einen lagerfähigen Rohstoff, was Voraussetzung dafür ist, dass die GRÜNE BIORAFFINERIE das ganze Jahr hindurch kontinuierlich betrieben werden. Vorteile: Kleinere Anlagengröße im Vergleich zu einer saisonal betriebenen Anlage und somit auch geringere Investitions- und Betriebskosten sowie Schaffung vollwertiger Arbeitsplätze.

##### 4# *Milchsäure - ein gefragter Chemierohstoff*

für Polymer-Kunststoffe, Lösungsmittel sowie in der Lebensmittelindustrie. Für Milchsäure gibt es einen breiten nationalen und internationalen Markt. Derzeit importiert Österreich etwa 770 Tonnen Milchsäure pro Jahr. Das geschätzte Marktpotential liegt wesentlich höher bei etwa 15.000 Tonnen pro Jahr.

#### Warum Proteine

##### 4# *Protein-Produkte - völlig unbedenkliche Spezialfuttermittel*

Moderne Tierhaltung erfordert die Verfügbarkeit von Proteinen in möglichst konzentrierter Form (z.B. Milchaustauscher bei Jungtieraufzucht, Futter für Hochleistungsrinder). Tierisches Eiweiß (Tier- bzw. Fischmehl) ist neuerdings in Verruf geraten (BSE-Krise). Außerdem darf Tiermehl in Österreich schon seit ca. 10 Jahren nicht mehr an Wiederkäuer verfüttert werden.

##### 4# *Protein-Produkte auf Basis grüner Biomasse entlasten die Handelsbilanz*

Pflanzliches Eiweiß in Form von Sojaschrott belastet durch die Notwendigkeit, diesen zu importieren, in beträchtlichem Ausmaß die österreichische Handelsbilanz. Protein-Produkte aus grüner Biomasse würden diese Belastung reduzieren.

## 1.4. Referenzen

### 1.4.2. Referenzen zu Abschn. 1.2. (Bioraffinerie-Konzepte auf Internationaler Ebene)

2B AG (2002a):

**Fortschritte bei der ersten 2B Anlage im industriellen Massstab;**

Website der Fa. 2B AG (CH); <http://www.2bio.ch/docsde/ne/schaffhausen.html>

2B AG (2002b):

**2B Biorefineries;**

Website der schweizerischen Firma 2B-AG, [www.2bio.ch/docsde/home.html](http://www.2bio.ch/docsde/home.html)

AgriHolland (1999):

**"...bio-raffinage van gras..." (Holländisch)**

Volkskrant 22.5.1999; [www.agriholland.nl/nieuws/1999/22/18524.html](http://www.agriholland.nl/nieuws/1999/22/18524.html)

AgriHolland (2000):

**"...eerste fabriek voor de verwerking van grass [...] Bio-raffinage van gras..."**

(Holländisch); NOM 16.10.2000; [www.agriholland.nl/nieuws/2000/42/22807.html](http://www.agriholland.nl/nieuws/2000/42/22807.html)

AgriHolland (2001):

**Grass voor striele verwerking het vierde gewas? (Holländisch)**

(Industrielle Verwertung von Gras...),

Agrarisch Dagblad 10.2.2001; In: [www.agriholland.nl/nieuws/2001/07/23984.html](http://www.agriholland.nl/nieuws/2001/07/23984.html)

Andersen, Margrethe; Kiel, Pauli (2000):

**Integrated utilisation of green biomass in the green biorefinery;**

Industrial crops and Products 11 (2000); pp. 129-137.

Arnold, Martin (2001):

**Strom aus Gras im Aufschwung [...] Bioraffinerie in Märwil;**

Schweizer Bauer 21.5.2001; <http://www.schweizerbauer.ch/news/aktuell/artikel/04272/artikel.html>

BioMatNet (2002a):

**Bioraf Denmark Foundation (BDF) Research Center;**

Website BioMatNet - Biological Materials for Non-Food Products;

<http://www.nf-2000.org/secure/Other/S422.htm>

BioMatNet (2002b):

**The Whole Crop Biorefinery Project;**

Website BioMatNet - Biological Materials for Non-Food Products;

<http://www.nf-2000.org/secure/Eclair/S169.htm>

BIOPOS (2002):

**Congratulations to Cargill Dow LLC [for having completed the worlds first corn plastics plant];**

Website der Fa. BIOPOS – Forschungsinstitut Bioaktive Biopolymersysteme e.V.;

[http://www.biopos.de/news\\_unten.html#ticker](http://www.biopos.de/news_unten.html#ticker)

Biorefinery (2001):

**Proceedings Symposium "Innovationsforum Bioraffinerie / Grüne Bioraffinerie",**

D-Teltow-Seehof (Nähe Potsdam), 29.-30.1.2001, [www.bioraffinerie.de/programm.html](http://www.bioraffinerie.de/programm.html)

Biorefinery (2002):

**Die Konzepte „Bioraffinerie“ und „Grüne Bioraffinerie“;**

Website der Firma Biorefinery.de GmbH, [www.bioraffinerie.de/back.html](http://www.bioraffinerie.de/back.html)

BIOREFINICA (2001):

**International Symposium Green BioRefinery,**

Research Center Teltow-Seehof, 10.-11.10.2001, Website BIOPOS, <http://www.biopos.de/program.html>

Cargill-Dow (2002):

**140.000 metric tons PLA-Plant completed (PLA=Poly Lactic Acid);**

Website of Cargill-Dow LLC, [http://63.237.28.43/plant\\_photo.asp](http://63.237.28.43/plant_photo.asp)

Crawford (2001):

- Developing Biobased Industries in Canada;**  
Canadian New Uses Council (CANUC), June, 2001;  
[www.agr.ca/misb/spcrops/paper/framework\\_e.pdf](http://www.agr.ca/misb/spcrops/paper/framework_e.pdf)
- Dow Benelux (2002):  
**BioRefinery – New Technologies for Transforming Bio-Feedstocks into Valuable Chemical Products;**  
Expression of Interest (Eoi) submitted by Dow Benelux to EU-6<sup>th</sup> RTD Framework Programme;  
[http://eoi.cordis.lu/dsp\\_details.cfm?ID=25887](http://eoi.cordis.lu/dsp_details.cfm?ID=25887) und [http://eoi.cordis.lu/docs/int\\_25887.doc](http://eoi.cordis.lu/docs/int_25887.doc)
- FH-Flensburg (2002):  
**International Workshop on Biomass Conversion and Biorefinery;**  
FH-Flensburg, 29.-30.5.2002, [www.fh-flensburg.de/cat/workshop/body\\_workshop.html](http://www.fh-flensburg.de/cat/workshop/body_workshop.html)
- Grass, Stefan (2002):  
**Verwertung von Gras zu Fasern, Protein und Energie;**  
Tagung „Neue Wege der Grasverwertung“, Bräunlingen, 10.4.2002, <http://www.infodienst-mlr.bwl.de/la/le/alr/veranst/gras/grass.htm>
- Gylling, Morten (1995):  
**The Whole Crop Biorefinery;**  
Main Report, The Bioraf Denmark Foundation  
Zitiert in: [www.foi.dk/driftsoek%20cv/morten.htm](http://www.foi.dk/driftsoek%20cv/morten.htm)
- Gylling, Morten (1998):  
**Biomass as industrial raw materials – Organizational Aspects;**  
Paper presented at Workshop “Alternative Crops for Sustainable Agriculture”, Turku, Finland, June 13-15, 1999
- Gylling, Morten (1997):  
**Marketing Products from Local Sustainable Production – Could the Biorefinery be the Solution;**  
In: NJF-Seminar “Alternative use of Agricultural Land”; SP-Report No.18.
- Hulst, Anne (1999):  
**Grass in the potato starch industry – Avebe develops methods for processing grass in the intercampaign period;**  
Carbohydrates in Europe 25, June 1999, pp.
- Hulst, Anne (2002):  
**Bio-refinery of grass and other raw materials from vegetable sources and product applications;**  
“GreenTech 2002, Amsterdam, 24-26 April, 2002: (1) Abstractbook, p.37 and (2) PPT-Presentation <http://www.ienica.net/greentech/hulst.ppt>
- IENICA (2002):  
**The Cow of the Future? A Grass Bio-Refinery;**  
Interactive European Network for Industrial Crops and their Applications (IENICA): Newsletter No 17, August 2002; [www.ienica.net/newsletters/newsletter17.pdf](http://www.ienica.net/newsletters/newsletter17.pdf)
- Janzing, Bernward (2001):  
**Gras liefert Energie für die Stadt Schaffhausen – 200 Landwirte werden den Rohstoff für die weltweit erste kommerzielle „Gras-Raffinerie“ liefern**  
Die SolarRegion ½ 2001, S.8-9 und [www.inaro.de/deutsch/rohstoff/energie/biogas/grasenergie.htm](http://www.inaro.de/deutsch/rohstoff/energie/biogas/grasenergie.htm)
- Kamm, Birgit et al. (2000a):  
**Grüne BioRaffinerie Brandenburg - Beiträge zur Produkt- und Technologieentwicklung sowie Bewertung,** In: Brandenburgische Umweltberichte 8 (2000), S. 260-269, ISSN: 1434-2375,  
<http://www.biopos.de/pdf/BUB8.pdf>
- Kamm, Birgit et al. (2000b):  
**Formation of Aminium Lactates in Lactic Acid Fermentation;**  
Acta Biotechnol. 20; pp. 289-304.
- Kamm, Birgit; Kamm, Michael (1998):  
**Milchsäure als Grüne Biochemikalie;**  
In: Soyes, Konrad; Kamm, Birgit; Kamm, Michael (Hsgr) (1998): Die Grüne Bioraffinerie, Beiträge zur

- Ökologischen Technologie – Band 5, Verlag Gesellschaft für ökologische Technologie und Systemanalyse e.V., Berlin, ISBN: 3-929672-06-5, pp. 132- 149.*  
(= Erweiterte Tagungsmaterialien des 1. Symposiums „Grüne Bioraffinerie“, Brandenburgisches Umweltforschungszentrum Neuruppin, 8.-9-10.1997)
- Kamm, Birgit; Kamm, Michael (2001a):  
**Biobased industrial products. Heterocyclic aminium lactates. New fermentation products and feedstocks for multiple use**, *Agro-Food-Industry Hi- Tech*, 12 (3), 2001, 15-19
- Kamm, Birgit; Kamm, Michael (2001b):  
**Biobasierte Industrielle Produkte und Bioraffinerie-Systeme – Ein Weg in die industrielle Zukunft des 21. Jahrhunderts?** *Diskussionspapier auf Website der Universität Braunschweig, Institut für Ökologische Chemie und Abfalltechnik, Juli 2001; <http://www.tu-bs.de/institute/oekochem/ak-umweltchemie/PDF/bioraf.pdf>*
- Kamm, Michael (2002):  
**BioRefinery Systems**,  
*Expression of Interest (Eoi) submitted by Dow Benelux to EU-6<sup>th</sup> RTD Framework Programme; [http://eoi.cordis.lu/dsp\\_details.cfm?ID=37330](http://eoi.cordis.lu/dsp_details.cfm?ID=37330) und [http://eoi.cordis.lu/docs/int\\_37330.doc](http://eoi.cordis.lu/docs/int_37330.doc)*
- Ketelaars, Jan (1999):  
**Bio-refining of grass - Bio-raffinage van gras.**  
*Jaarverslag 1998, AB-DLO, Wageningen, pp. 42-44*  
*University of Wageningen (NL), Plant Research International, Dept. Agrosystems Research, <http://www.ab.dlo.nl/products/publications1999.htm#popular> und <http://ldap.wau.nl:8888/cn=Jan%20Ketelaars,%20ou=Plant%20Research%20International,%20ou=DLO,%20o=Wageningen%20UR,%20c=nl>*
- Ketelaars, Jan (2001):  
**Bio-raffinage van natuurgas**  
*Info by Dr. ir. Jan Ketellars, Plant Research International, Postbus 16, NL-6700 Wageningen, Instituut: PRI; [www.precisievoeding.nl/projecten/p07\\_10316.htm](http://www.precisievoeding.nl/projecten/p07_10316.htm)*
- Kiel, Pauli (1998):  
**Technology-Development of the Green Biorefinery;**  
*In: Soyes, Konrad; Kamm, Birgit; Kamm, Michael (Hsgr) (1998): Die Grüne Bioraffinerie, Beiträge zur Ökologischen Technologie – Band 5, Verlag Gesellschaft für ökologische Technologie und Systemanalyse e.V., Berlin, ISBN: 3-929672-06-5, pp. 101-107.*  
(= Erweiterte Tagungsmaterialien des 1. Symposiums „Grüne Bioraffinerie“, Brandenburgisches Umweltforschungszentrum Neuruppin, 8.-9-10.1997)
- Pedersen, Soren Marcus; Gylling, Morten (2001):  
**The economics of producing quality oils, proteins and bioactive products for food and non-food purposes based on BIOREFINING,**  
*Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics, Farm Management and Production Systems Divisions, SJFI-Working Paper no. 04/2001; <http://www.foi.dk/Publikationer/wp/2001-wp/wp04-01.pdf>*
- Reske, J.; Kamm, Birgit; Kamm, Michael (2002):  
**Perspektiven der industriellen Produktion auf Basis von Biomasse;**  
*Umweltwirtschaftsforum, 10.Jg. Heft 2; Juni 2002, Springer Verlag, 21-25*
- Rexen, Finn (2002):  
**Perspectives in bio-cascading (BIO-REFINING);**  
*Abstractbook "GreenTech 2002", Amsterdam, 24.-26.4.2002, p.39*  
(Anm.: Dr. Rexen kommt von der "**Bioraf Denmark Foundation**"), <http://www.ienica.net/greentech>
- Richter, K.; Kamm, Michael (2001):  
**Stoffliche und energetische Verwertung von Biomassen in einer „Grünen Bioraffinerie“;**  
*Tagungsband zur Internationalen Tagung „Naturstofftechnik“, Dresden, 15.-16.2.2001, 11 Seiten.*
- Ringspfeil, Manfred (2001):

***Biobased Industrial Products and Biorefinery Systems – Industrielle Zukunft des 21. Jahrhunderts?***

*Proceedings Innovationsforum Bioraffinerie/Grüne Bioraffinerie, D-Teltow-Seehof (Nähe Potsdam),  
 29.1.2001; [www.biopract.de/Grafik/Green.pdf](http://www.biopract.de/Grafik/Green.pdf)*

Schaffhauser Nachrichten (2000):

***Gewerbezentrum mit Bioraffinerie;***

*Schaffhauser Nachrichten, 30.10.2000; Website der Schweizer Sonnenenergievereinigung (SSES);  
<http://www.ikd.ch/SSES-No/nosev1/Regionales/00nr3/bei003-2.htm>*

Tibellius, Christine; Trenholm, H.L. (1996):

***Biorefinery Concept,***

*In: Tibellius, Christine; Trenholm, H.K. (1996): Coproducts and Near Coproducts of Fuel Ethanol  
 Fermentation from Grain; Final Report; Sect. 1.3.2; <http://res2.agr.ca/research-recherche/cfar/coprod.html>*

US-DOE (2002a):

***Vision for Bioenergy and Biobased Products in the United States;***

*US Department of Energy (DOE), Biomass Research and Development Initiative, October 2002;  
[www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/BioVision\\_03\\_Web.pdf](http://www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/BioVision_03_Web.pdf)*

US-DOE (2002b):

***Roadmap for Biomass Technologies in the United States;***

*US Department of Energy (DOE), Biomass Research and Development Initiative, December 2002;  
[www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/FinalBiomassRoadmap.pdf](http://www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/FinalBiomassRoadmap.pdf)*

US-NRC (1999):

***Review of the Research Strategy for Biomass-Derived Transportation Fuels;***

*National Research Council (NRC-USA), Commission on Engineering and Technical Systems, Board on  
 Energy and Environmental Systems; Committee to Review the R&D Strategy for Biomass-Derived Ethanol  
 and Biodiesel Transportation Fuels, <http://www.nap.edu/catalog/9714.html>*

US-NRC (2000):

***The Biorefinery Concept;***

*In: National Research Council-USA (1999): Biobased Industrial Products: Priorities for Research and  
 Commercialization, National Academic Press, Washington D.C., pp. 75-80,  
<http://books.nap.edu/books/0309053927/html/75.html#pagetop> und <http://www.nap.edu/catalog/5295.html/>*

Widmer, Fritz (2001):

***Nachhaltige Industrielle Grasverwertung [...] erste Bioraffinerie im industriellen Massstab;***

*Energie Praxis Schaffhausen Nr 6/Okttober 2001, S.4; <http://www.energie.sh.ch/pdf/62001.pdf>*

**1.4.2. Referenzen zu Abschn. 1.3. (Das Bioraffinerie-Konzept in Österreich)**

[01] Steinmüller, H.; Schneider, F. (1991):

***Stellt Lignozellulose eine Alternative für die Österreichischen Landwirtschaft dar?***

*Interner Bericht VOEST Linz (unpublished), Linz; Zitiert in [13: S.253: Ref.138]*

[02] VABIO (1990a):

***Biomass – The Raw Material of the Future. The VABIO technology extends its activities***

*Prospekt von VABIO – VOEST-ALPINE BIOMASSEVERWERTUNG, 1990.*

[03] VABIO (1990b):

***Enzymatische Verzuckerung – Verwertung des Zukunfts-Rohstoffs Biomasse,***

*Prospekt von VABIO – VOEST-ALPINE BIOMASSEVERWERTUNG, 1990.*

[04] VABIO (1990c):

***VAI on the bio-trip! Experience gained in the operation of a pilot plant for the utilization of biomass,***

*VAI-Infochem Contact No.6, pp. 14-15, 1990.*

[05] Steinmüller, H. (1994):

***Milchsäure aus Silagefermentationen***

*Endbericht Österreichisches Institut für K. Linz, Zitiert in [13: S.253: Ref.137]*

[06] Soyes, Konrad; Kamm, Birgit; Kamm, Michael (Hsgr) (1998):

- Die Grüne Bioraffinerie,**  
*Beiträge zur Ökologischen Technologie – Band 5, Verlag Gesellschaft für ökologische Technologie und Systemanalyse e.V., Berlin, ISBN: 3-929672-06-5, (= Erweiterte Tagungsmaterialien des 1. Symposiums „Grüne Bioraffinerie“, Brandenburgisches Umweltforschungszentrum Neuruppin, 8.-9-10.1997*
- [07] Kamm, Birgit; Kamm, Michael (1998):  
**Milchsäure als Grüne Biochemikalie;**  
*In: Soyas, Konrad; Kamm, Birgit; Kamm, Michael (Hsgr) (1998): Die Grüne Bioraffinerie, Beiträge zur Ökologischen Technologie – Band 5, Verlag Gesellschaft für ökologische Technologie und Systemanalyse e.V., Berlin, ISBN: 3-929672-06-5, pp. 132- 149.*  
*(= Erweiterte Tagungsmaterialien des 1. Symposiums „Grüne Bioraffinerie“, Brandenburgisches Umweltforschungszentrum Neuruppin, 8.-9-10.1997*
- [08] Kamm, Birgit et al. (2000):  
**Formation of Aminium(!) Lactates in Lactic Acid Fermentation;**  
*Acta Biotechnol. 20; pp. 289-304*
- [09] 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.*
- [10] 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.*
- [11] Kromus, Stefan; Narodoslawsky, Michael; Kamm, Birgit; Kamm, Michael (2000):  
**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.*
- [12] NIB (2002):  
**European Network for the Implementation of Biorefineries (NIB)**  
*Website of NIB; [www.biorefinery.net](http://www.biorefinery.net)*
- [13] Kromus, Stefan; Narodoslawsky, Michael; Krotscheck, Christian (2002):  
**Grüne Bioraffinerie: Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer nachhaltigen Kulturlandschaftsentwicklung;**  
*Endbericht zum gleichnamigen Projekt im Rahmen der Bund-Bundesländer Kooperation (BBK), Kornberg Institut– Steirisches Vulkanland RegionalentwicklungsgmbH, Schloss Kornberg, Dörfel 2, A-8330 Feldbach, April 2002.*
- [14] Kromus, Stefan; Narodoslawsky, Michael; Krotscheck, Christian (2000):  
**Die Grüne Bioraffinerie: Stoffliche und Energetische Nutzung von Gras – Ein Regionales und Europäisches Projekt;**  
*In: Graskraft e.V. (Hsgr): Proceedings Graskraft Seminar, Triesdorf, D; Triesdorf 2000*
- [15] 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.*
- [16] Narodoslawsky, Michael (2001)  
**Das dezentrale Grüne BioRaffinerie-Konzept in Österreich**  
*International Symposium 'Green BioRefinery' - 2001, Potsdam, Deutschland, 10-11.10. 2001,*
- [17] Wachter, Bruno; Mandl, Michael; Berghold, Hans; Reinhofer, Marion; Stuhlbacher, Arnold; 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.

[18] BMVIT (2002):

**Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft;**

Website des Programms „Fabrik der Zukunft“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT); <http://www.fabrikderzukunft.at/results.html/id1856>

[19] BMVIT (2002):

**Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Proteinen aus Grassäften;**

Website des Programms „Fabrik der Zukunft“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT); <http://www.fabrikderzukunft.at/results.html/id1854>

[20] BMVIT (2002):

**Grüne Bioraffinerie – Verwertung der Grasfaserfraktion;**

Website des Programms „Fabrik der Zukunft“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT); <http://www.fabrikderzukunft.at/results.html/id1855>

[21] Krotscheck, Christian, Kromus, Stefan; Koschuh, Werner (07/2002);

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

Zwischenbericht 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.

[22] Krotscheck, Christian, Kromus, Stefan; Kmoschuh, Werner (06/2002);

**„Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Proteinen aus Grassäften“;**

Zwischenbericht zum gleichnamigen Projekt im Rahmen des vom Österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BM:VIT) initiierten Programms „Fabrik der Zukunft“, Projektnummer 804136, Kornberg Institut - Steirisches Vulkanland Regionalentwicklungs GmbH; Erstellt am 24.6.2002.

[23] Wachter, Bruno; Mandl, Michael (08/2002):

**Grüne Bioraffinerie – Verwertung der Grasfaserfraktion;**

Zwischenbericht 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, 8.8.2002.

[24] Wachter, Bruno; Mandl, Michael, Kromus Stefan (07/2002):

**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; 120 Seiten; 31. 7. 2002.

[25] Brandstätter, Manfred (2002):

**Grasfasern – Ein potentieller Rohstoff für die Dämmstoff- und Plattenindustrie;**

Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben, Institut für Verfahrenstechnik des Industriellen Umweltschutzes, November 2002.

[26] 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.

[27] Cargill-Dow (2002):

**140.000 metric tons PLA-Plant completed (PLA=Poly Lactic Acid);**

Website of Cargill-Dow LLC, [http://63.237.28.43/plant\\_photo.asp](http://63.237.28.43/plant_photo.asp)



## 2. PROBLEMSTELLUNG, PROJEKTZIELE UND PROJEKtablauf

VERFASSER: *DR. BRUNO WACHTER UND DI MICHAEL MANDL*  
 JOANNEUM RESEARCH, INSTITUT FÜR NACHHALTIGE TECHNIKEN UND SYSTEME (JOINTS)  
 A-8010 GRAZ, ELISABETHSTRASSE 16-18, [WWW.JOANNEUM.AT](http://WWW.JOANNEUM.AT)

### 2.1. Problemstellung und Projektziele

Die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Faserfraktion stellt mengenmäßig den größten Stoffstrom dar (s. **Abb. 2-1**). Angesichts dieser Tatsache wird die Gesamtwirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE wesentlich vom entsprechenden Beitrag der Faserfraktion bestimmt. Eine plausible Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE Anlage stellt eine wesentliche Entscheidungsgrundlage für Wirtschaftsbetriebe dafür dar, sich für Planung, Errichtung und Betrieb einer GRÜNEN BIORAFFINERIE im im Pilot- und/oder Produktionsmaßstab zu entscheiden. Das gegenständliche Projekt hat deshalb folgende Zielsetzungen:

- 4# Recherche von Verwertungsmöglichkeiten für die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Faserfraktion mit möglichst hohem Wertschöpfungsniveau.
- 4# Erarbeitung einer Systematik zur Charakterisierung von Grasfasern sowie Ermittlung von Messwerten für ausgewählte mechanische und chemische Eigenschaften von Grasfasern als Basis für eine Abschätzung der Einsetzbarkeit von Grasfasern als Industrierohstoff.
- 4# Durchführung von Grundlagenversuchen zur Klärung der Frage, ob die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Grasfaserfraktion grundsätzlich als alternativer Faserrohstoff bei der Produktion verschiedener Faserprodukte einsetzbar ist, insbesondere für die Herstellung von (1) „Dämmmaterialien“, (2) „Materialien für den Gartenbau“ sowie (3) „Spezialfuttermittel“.
- 4# Ausarbeitung von Grundlagen für Planung, Errichtung und Betrieb einer GRÜNEN BIORAFFINERIE im Technikums- bzw. Produktionsmaßstab.
- 4# Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE unter österreichischen Rahmenbedingungen.



**Abb. 2-1:** Grasfasern sind in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE mengenmäßig das wichtigste Zwischenprodukt.

## 2.2. Projektablauf

### 2.2.1. Projektpartner

Das gegenständliche Projekt ist ein Kooperationsprojekt zwischen einer Reihe von Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

#### Projektpartner aus dem Bereich Wissenschaft

- 4# JOANNEUM RESEARCH, Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme (Graz),
- 4# KORNBERG Institut, Steirisches Vulkanland Regionalentwicklung GmbH (Feldbach),
- 4# TU-GRAZ, Institut für Grundlagen der Verfahrenstechnik und Anlagentechnik (Graz)
- 4# TU-WIEN, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften (Wien),
- 4# Veterinärmedizinische Universität Wien, Institut für Ernährung (Wien),
- 4# Dr. Wolfgang STADLBAUER, (A-4075 Breitenbach),
- 4# Universität Maribor, Laboratory for Characterisation and Processing of Polymers (SI-2000 Maribor)

#### Projektpartner aus der Wirtschaft

- 4# LACTOPROT Alpenländische Milchindustrie und Handels-AG (A-8230 Hartberg),
- 4# HERAKLITH GmbH, F & E-Systementwicklung (A-9586 Fürnitz),
- 4# BORCKENSTEIN AG (A-8292 Neudau)
- 4# KEYDREAMS Marketingberatung (A-3013 Tullnerbach-Pressbaum),
- 4# FEX ÖKO-Faserverarbeitungs-GmbH (A-2183 Neusiedl/Zaya)

### 2.2.2. Arbeitsprogramm (Arbeitspakete)

Das im Rahmen des vom *Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)* unter der Federführung von JOANNEUM RESEARCH (Graz und Hartberg) und dem KORNBERG Institut (Feldbach) laufende Projektbündel GRÜNE BIORAFFINERIE besteht aus drei Teilprojekten (s. **Abb. 2-2**).

- 4# (1) Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft“ (Federführung: KORNBERG Institut)
- 4# (2) Gewinnung von Proteinen aus Grassäften (Federführung: KORNBERG Institut)
- 4# (3) Verwertung der Grasfaserfraktion (Federführung: JOANNEUM RESEARCH)



**Abb. 2-2:** Teilprojekte des Projektbündels GRÜNE BIORAFFINERIE sowie Arbeitspakete des Teilprojekts III „Verwertung der Grasfaserfraktion“.

Die Umsetzung des Teilprojekts GRÜNE BIORAFFINERIE – VERWERTUNG DER GRASFASERFRAKTION erfolgt in 6 Arbeitspaketen (s. **Abb. 2-2**):

- 4# AP1: Recherche möglicher Verwertungsmöglichkeiten für Grasfasern
- 4# AP2: Analyse der Grasfasereigenschaften
- 4# AP3: Dämmstoffe aus Grasfasern
- 4# AP4: Materialien im Garten- & Landschaftsbau aus Grasfasern
- 4# AP5: Spezialfuttermittel aus abgepressten Grasfasern
- 4# AP6: Markt- und Wirtschaftlichkeitsanalyse

Gegenstand des ersten Arbeitspakets AP1 ist die Identifikation von technologisch, ökonomisch und ökologisch machbaren Verwertungsmöglichkeiten für die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Grasfasern, wobei naheliegend ist, diese Recherche mit der Erstellung einer Übersicht über die *Einsatzgebiete bereits etablierter Naturfasern* zu beginnen, basierend auf der Annahme, dass zumindest einige dieser Naturfasern durch Grasfasern substituierbar sind.

Gegenstand des zweiten Arbeitspakets AP2 ist die Erarbeitung einer Methodik zur Charakterisierung von Grasfasern mit unterschiedlicher Geschichte (z.B. grün, siliert, abgepresst, getrocknet) sowie – unter Verwendung der erarbeiteten Methodik - die Ermittlung von Messwerten für ausgewählte mechanische und chemische Eigenschaften von Grasfasern. Hinsichtlich der zu charakterisierenden Grasfasern wird unterschieden zwischen: (1) dem faserhaltigen Presskuchen, (2) Grasfasern im Sinne von Langfasern und (3) gemahlene(n) Grasfasern (Kurzfasern, Pulver). Diese Arbeiten erfolgen vor dem Hintergrund der Tatsache, dass eine Grundvoraussetzung für die Identifikation technisch, ökonomisch und ökologisch sinnvoller Verwertungsmöglichkeiten für Grasfasern die Kenntnis grundlegender Eigenschaften dieser Grasfasern relativ zu denjenigen anderer Naturfasern ist. Beispielsweise sind hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften von *silierten* Grasfasern bis dato keine Daten verfügbar. Weiters mangelt es an getesteten Mess- & Prüfmethode(n) für die Charakterisierung von Grasfasern.

Gegenstand der Arbeitspakete AP3 – AP5 ist die Durchführung von Grundlagenversuchen zur Klärung der Frage, ob die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Grasfaserfraktion grundsätzlich als alternativer Faserrohstoff bei der Produktion von (1) „Dämmmaterialien“, (2) „Materialien für den Gartenbau“ sowie von (3) „Spezialfuttermitteln“ einsetzbar ist.

Im sechsten und abschließenden Arbeitspaket AP6 erfolgt eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE unter österreichischen Rahmenbedingungen als Entscheidungsgrundlage für interessierte Wirtschaftsbetriebe dafür, sich *für* eine Investition in eine GRÜNE BIORAFFINERIE Technikums- bzw. Produktionsanlage zu entscheiden. Diese Arbeiten erfolgen auf Basis einer eingehenden Marktanalyse, in der für ausgewählte aussichtreiche Produktgruppen einer GRÜNEN BIORAFFINERIE die jeweiligen Marktchancen erhoben und beurteilt werden.

### 2.2.3. Projektstruktur und Gliederung des vorliegenden Endberichts

Abb. 2-3 zeigt die Struktur des Projektbündels GRÜNE BIORAFFINERIE, aus der sich auch die Gliederung des vorliegenden Endberichts ableitet. Man sieht, dass es sinnvoll ist, die Dokumentation einzelner Arbeitspakete auf mehrere Kapitel aufzuteilen (s Tab. 2-1).

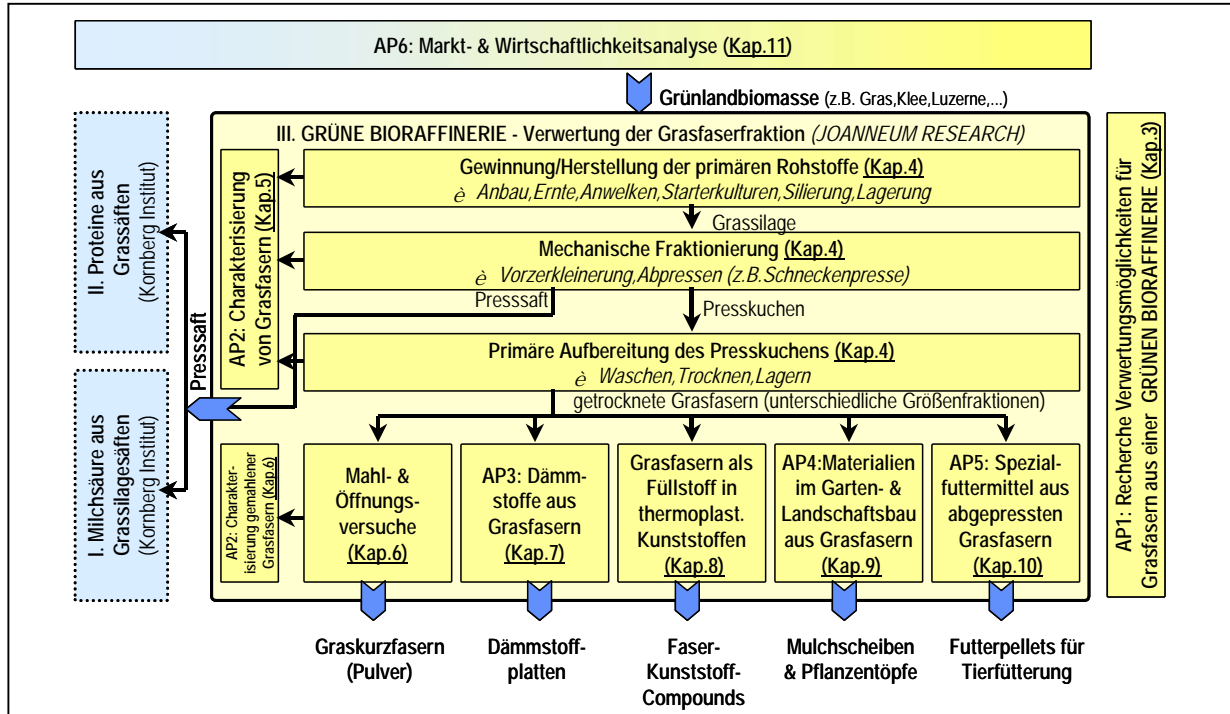


Abb. 2-3: Struktur des Projektbündels GRÜNE BIORAFFINERIE.

Tab. 2-1: Übersicht über Arbeitspakete und Kapitel des vorliegenden Endberichts.

Nr.	Arbeitspaket	Kapitel im Endbericht
AP1	Recherche möglicher Verwertungsmöglichkeiten für Grasfasern	4# <u>Kap. 3:</u> „Recherche Verwertungsmöglichkeiten für Grasfasern aus einer GRÜNEN BIORAFFINERIE“
AP2	Analyse der Grasfasereigenschaften	4# <u>Kap. 4:</u> „Rohstoffe – Gewinnung und mechanische Fraktionierung (Silier- und Abpressversuche)“
		4# <u>Kap. 5:</u> „Charakterisierung von Grasfasern“
		4# <u>Kap. 6:</u> „Mahl- und Öffnungsversuche für Grasfasern“ (inkl. Charakterisierung gemahlener Grasfasern)
AP3	Dämmstoffe aus Grasfasern	4# <u>Kap. 7:</u> „Dämmstoffe aus Grasfasern“
		4# <u>Kap. 8:</u> „Grasfasern als Füllstoff in thermoplastischen Kunststoffen (Faser-Kunststoff-Compounds)“
AP4	Materialien im Garten- & Landschaftsbau aus Grasfasern	4# <u>Kap. 9:</u> „Materialien im Garten- und Landschaftsbau aus Grasfasern“
AP5	Spezialfuttermittel aus abgepressten Grasfasern	4# <u>Kap. 10:</u> „Spezialfuttermittel aus abgepressten Grasfasern und Fütterungsversuche“
AP6	Markt- und Wirtschaftlichkeitsanalyse	4# <u>Kap. 11:</u> „Marktanalyse möglicher Produkte einer GRÜNEN BIORAFFINERIE“

### 3. RECHERCHE VERWERTUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR GRASFASERN AUS EINER GRÜNEN BIORAFFINERIE

VERFASSER: **DR. BRUNO WACHTER UND DI MICHAEL MANDL**  
JOANNEUM RESEARCH, INSTITUT FÜR NACHHALTIGE TECHNIKEN UND SYSTEME (JOINTS)  
A-8010 GRAZ, ELISABETHSTRASSE 16-18, [WWW.JOANNEUM.AT](http://WWW.JOANNEUM.AT)

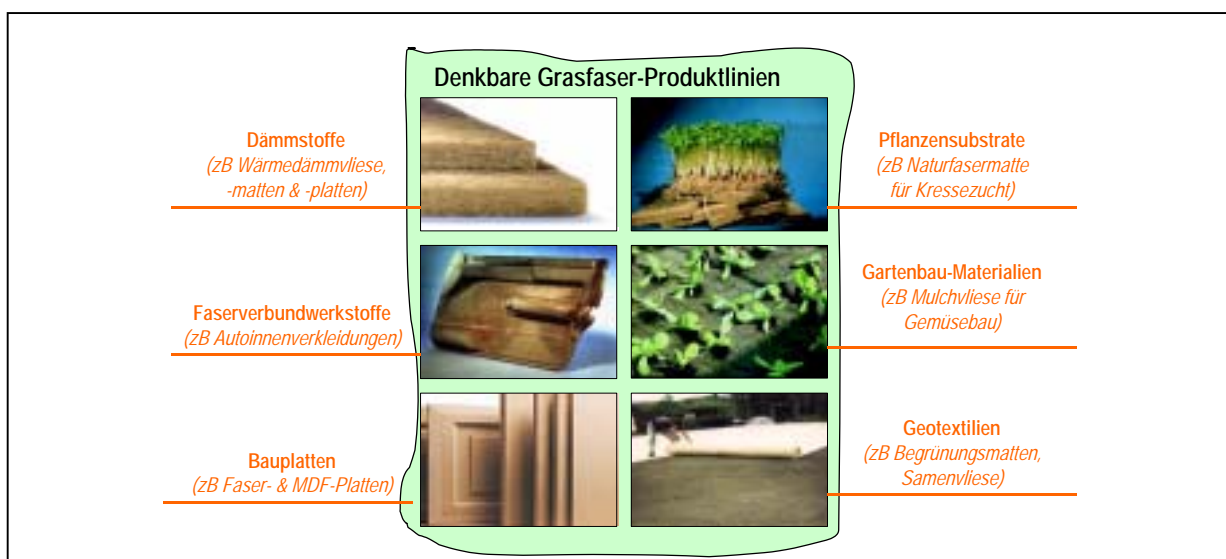
#### 3.1. Zielsetzung und Methodik

Ziel der in diesem Kapitel beschriebenen und am *Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme (JOINTS)* von *JOANNEUM RESEARCH* durchgeführten Arbeiten war die Identifikation von technologisch, ökonomisch und ökologisch machbaren Verwertungsmöglichkeiten bzw. Produktlinien für die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Grasfasern. Die Arbeiten wurden wie folgt untergliedert:

- 4# **(1) Recherche der Verwertungsmöglichkeiten von Grasläng- und Graskurzfasern**  
Systematische und strukturierte Erfassung potentieller Grasfaser-Produktlinien auf Basis der Auswertung von Literatur (inkl. Internet), einschlägigen F & E-Projekten sowie Experteninterviews.
- 4# **(2) Workshop**  
Präsentation der Ergebnisse des vorhergehenden Arbeitsschritts im Rahmen eines Workshops für ein Fachpublikum (Faserexperten) und weitere Präzisierung technologisch, ökonomisch und ökologisch machbarer Verwertungsmöglichkeiten für Grasfasern aus einer GRÜNEN BIORAFFINERIE.

Es ist naheliegend, die Recherche nach potentiellen Anwendungen für Grasrohstoffe in der Industrie mit der Erstellung einer Übersicht über bereits realisierte Anwendungen diverser „grasähnlicher“ Naturfasern zu beginnen [IENÍCA 2002; Karus 2000; Kozłowski 1998, 2000, 2002a,b].

Abb. 3-1 gibt einige prinzipiell mögliche Beispiele für Produktgruppen mit Grasfasern als wesentlicher Rohstoffkomponente: Dämmstoffe, Faserverbundwerkstoffe, Bauplatten, Pflanzensubstrate, Materialien für Garten und Landschaftsbau und Geotextilien. Tab. 3-1 gibt einen *systematischen* Überblick über Produktgruppen mit Grasfasern als Rohstoff.



**Abb. 3-1:** Beispiele für grundsätzlich mögliche Produkte mit Grasfasern aus einer GRÜNEN BIORAFFINERIE als wesentlicher Rohstoffkomponente.

*Tab. 3-1: Anwendungsgebiete ausgewählter Naturfasern (außer Baumwolle).*

Pflanzenart	Anwendungen
Brennnessel	4# Textilien für Oberbekleidung
Chinaschilf (Miscanthus)	4# Zellstoff für Verpackungsmaterial  4# Asbestfaserersatz (zB in feuerfesten Türen) 4# Bauplatten (zB Faser-, MDF- & Pressspanplatten) 4# Bindgarne 4# Faserverbundwerkstoffe (zB Formpressteile für Autoinnenverkleidung) 4# Faserverstärkte Kunststoffe (Bio-Composites) 4# Mulchvliese im Gartenbau zur Unkrautunterdrückung 4# Pflanzsubstrate (zB Faservliese für Kresseanzucht) 4# Schalldämmmatten 4# Textilien & Garne für Bekleidung (Mischungen mit Baumwoll-, Woll- & Chemiefasergarnen)
Flachs	4# Textilien für Bettwäsche, Tischtücher etc. 4# Textilien für Möbelstoffe, Matratzen- & Liegestuhlbespannung etc. 4# Textilien für Oberbekleidung 4# Textilien für Tapeten, Wandbespannungen etc 4# Textilien für technische Zwecke (zB Filtertücher, Planen, Säcke, Zelte) 4# Wärmedämmvliese, -matten & -platten 4# Zellstoff für Spezialpapiere (zB Banknoten- & Zigarettenpapier) 4# Zuschlagstoff in Asphaltmischungen (Strassenbau) 4# Zuschlagstoff in Faserzementplatten, Hohlraumziegeln etc. 4# Zuschlagstoff in Trockenmörtel/Maschinenputz, Estrich, Fliesenkleber 4# Zuschlagstoff in Zement
Getreidefasern (Weizen,Hafer)	4# Lebensmittelzusatzstoff (Rieselhilfe, Flüssigkeitsbinder, Ballaststoff)
Getreidestroh	4# Wärmedämmmatten 4# Zellstoff für Papier
Grasfasern (See- & Riedgras)	4# Stopfmaterial für Matratzen  4# Dichtungsmaterial (Wasserrohre) 4# Faserverbundwerkstoffe (zB Formpressteile für Autoinnenverkleidung) 4# Faserverstärkte Kunststoffe (Bio-Composites) 4# Geotextilien (Begrünungsmatten, Samenvliese, Erosionsschutz) 4# Nadelfilzbeläge (Bodenbeläge)
Hanf	4# Seile, Netze, Taue 4# Textilien & Garne (Bekleidung) 4# Textilien für technische Zwecke (zB Filtertücher, Säcke, Planen, Zelte) 4# Tiereinstreu (Pferde, Katzen, Kleintiere) 4# Wärmedämmvliese 4# Zellstoff für Spezialpapiere (zB Filter- & Zigarettenpapiere)



Pflanzenart	Anwendungen
Hirse (Faserhirse)	4# Zellstoff für Papier
Jute	4# Geotextilien (zB Trägergewebe von Begrünungsmatten)
	4# Linoleum (Trägergewebe)
	4# Tapeten, Wandbespannungen
	4# Teppiche, Bodenbeläge (Grundgewebe)
Kenaf	4# Zellstoff für Papiere
Kokosfasern	4# Stopfmaterial für Pölster
	4# Seile, Taue
	4# Teppiche, Matten
	4# Wärmedämmmatten
Schilf	4# Wärmedämmmatten
Torffasern	4# Pflanzensubstrate für Gartenbau
Sonstiges	4# Tiernahrung (Rauhfutter für Pferde)
	4# Torffaserersatz in Pflanzensubstraten
	4# Zellulosewerkstoffe (zB ZELFO)

Aus **Tab. 3-1** lässt sich leicht eine Liste möglicher Anwendungsgebiete für Grasfasern ableiten:

- 4# (1) Dämmstoffe (z.B. Dämmstoffplatten/Leichtbauplatten, Dämmstoffvliese, Einblasdämmstoffe)
- 4# (2) Platten (z.B. Span-, Faser-, MDF-Platten)
- 4# (3) Materialien für Garten- und Landschaftsbau, z.B.
  - Pflanzgefäße,
  - Pflanzsubstratmatten,
  - Mulch- & Ernteverfrühungsmatten,
  - Torfersatz,
  - Begrünungs- & Erosionsschutzmatten,
  - Rollrasen
- 4# Verbundwerkstoffe / Biocomposites
- 4# Form- & Pressteile (z.B. für Automobilindustrie)
- 4# Tierfuttermittel (z.B. rohfaserreiche Futterpellets für Pferde und Heimtiere,...)
- 4# Zellulosewerkstoffe
- 4# Zuschlagstoff in Baustoffen (z.B. für Ziegel, Putze, Mörtel, Spachtelmassen, Fliessenkleber)
- 4# Brennstoffe (z.B. Brennstoffpellets, ev. in Mischungen mit Holzfasern)

In den folgenden Abschnitten werden Produktbeispiele vorgestellt, in welchen „grasfaserähnliche“ Naturfasern entweder bereits als Rohstoffquelle etabliert sind oder wo zumindest entsprechende Entwicklungsarbeiten laufen.

## 3.2. Dämmstoffe

### 3.2.1. Dämmstoffe aus Grasfasern

Das schweizerische Unternehmen „2B AG bietet seit kurzem Dämmstoffe mit Grasfasern als wesentlicher Rohstoffkomponente an [2B-AG 2002].

- 4# Einblasdämmstoff aus Grasfasern (s. Abb. 3.2.1-1a): Bei diesem losen Dämmstoff handelt es um eine Mischung aus Gras-, Hanf- und Zellulosefasern. Hinsichtlich der Wärmedämmeigenschaften wird ein Lambda-Wert von 0,04 W/mK erreicht. Der Flammenschutz wird durch ein spezielles 2B Nassverfahren auf die Faser aufgebracht. Als Flammenschutzmittel werden Borsalze verwendet [Hersener & Keller 2002, 2001, 2000]. Dieser Einblasdämmstoff wurde bereits in einigen Testhäusern eingebracht (s. Abb. 3.2.1-2)
- 4# Dämmplatte aus Grasfasern (s. Abb. 3.2.1-1b): Bei diesem Produkt dürfte es sich um einen Prototypen handeln, der im Handel noch nicht erhältlich ist. Von der Bauart dürfte es sich um eine sogenannte „Sandwich“-Platte handeln, da das Innere der Platte eine andere Struktur aufweist als deren Oberfläche. Es scheint, als würde die Deckschicht dieser Platte aus Holzwolle bestehen (ähnlich wie die herkömmliche „Heraklit“-Platte“).
- 4# Dämmvlies aus Grasfasern (s. Abb. 3.2.1-1c): Auch bei diesem Produkt scheint es sich um einen Prototypen zu handeln, der im Handel noch nicht erhältlich ist. Das Grasfaser-Vlies wird nach Angaben des Herstellers im Nassverfahren gelegt [2B-AG 2002].



Abb. 3.2.1-1: Dämmstoffe aus Gras der schweizerischen Firma „2B-AG“: (a) Einblasdämmstoff, (b) Dämmplatte, (c) Dämmvlies (nonwoven) [2B-AG 2002].



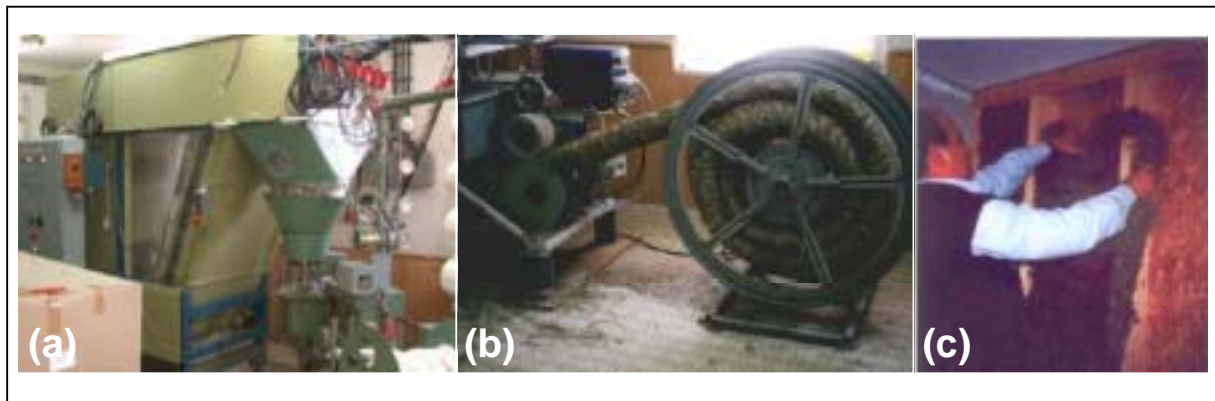
Abb. 3.2.1-2: Dachdämmung mit dem von der schweizerischen Firma „2B-AG“ stammenden Einblasdämmstoff aus Gras [2B-AG 2002].

### 3.2.2. Dämmstricke aus Bergwiesenheu

Am *Sächsischen Textilforschungsinstitut, Chemnitz (STFI)* läuft gegenwärtig ein Forschungsvorhaben, in dessen Rahmen *Dämmstoffstricke* aus Bergwiesenheu hergestellt werden [Helbig et al. 2002]. Bei diesem Bergwiesenheu handelt es sich um grobe, lange (bis zu 60 cm) und dünne Halme mit hohem Blattanteil. Der Feuchtigkeitsgehalt beträgt etwa 12 %.

**Abb. 3.2.2-1** zeigt Herstellung und Einbau eines derartigen Dämmstoffstricks. Diese Dämmstoffstricke sind für den Einsatz im Bereich stark schwankender Fugen sowie zum Ausfüllen von Zwischenräumen unterschiedlicher Größe und Geometrien gedacht. Der Schutz gegen Brand und Schädlingsbefall wird durch Borate gewährleistet. Eigenschaften:

- 4# Durchmesser der Dämmstricke: 30-130 mm
- 4# längenbezogene Masse: 290-950 g/m
- 4# Wärmeleitfähigkeit: 0,04898 W/mK
- 4# Rohdichte: 66,17 kg/m<sup>3</sup>
- 4# Brand- & Schädlingschutz: Borate



**Abb. 3.2.2-1:** Dämmstoffe aus Bergwiesenheu: (a,b) Versuchsanlage zur Herstellung dieser Dämmstricke, (c) Holzständerwand mit Dämmstricken aus Heu [Helbig et al. 2002].

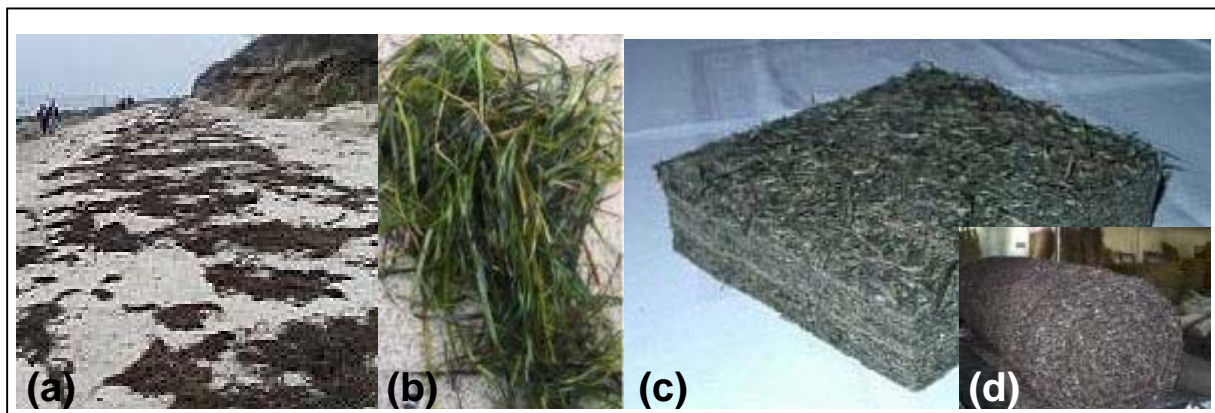
**Abb. 3.2.2-1a** zeigt die Versuchsanlage zur Herstellung dieser Dämmstricke aus Heu. Es handelt sich dabei um die sogenannte *KEMAFIL-Technologie*, einem Ummantelungsverfahren zur Herstellung von Bänderzeugnissen. Im Kern dieser Bänder können sich verschiedene Materialien befinden, z.B. Schafwolle oder eben Bergwiesenheu. Bergwiesenheu fällt durch einen Füllschacht in einen rotierenden Trichter. Der Materialtransport in diesem Trichter sowie in der nachgeschalteten KEMAFIL-Maschine wird durch Leitfäden gewährleistet. Der Abzug dieser Leitfäden wird von den Abzugswalzen der KEMAFIL-Maschine realisiert. Die Rotation des Trichters bewirkt in der Kombination mit den nicht rotierenden Leitfäden eine Verdichtung des Bergwiesenheu zum Strang. Auf den Materialstrang wird an der KEMAFIL-Maschine ein von schwingenden Hakengreifer erzeugter Maschenmantel aufgebracht. Dieser Maschenmantel dient der Lagefixierung des Materials im Strang und zur Einstellung der Packungsdichte. Schließlich wird der Strang auf einer Wickeleinrichtung aufgezogen.

### 3.2.3. Dämm-Matten aus Seegras

Im Rahmen eines EU-Projekts (LIFE-Programm) mit dem Titel „Entsorgung und Verwertung von Seegras und Algen“ wird gegenwärtig von der Norddeutschen Region *Klützer Winkel* versucht, aus Seegras Dämmstoffe und Erosionsschutzmatten herzustellen [EU-Life-Seegras 2002]. Das an den Stränden der Ostsee und Atlantikküste anfallende Seegras wird bisher teilweise kostenpflichtig deponiert, weshalb eine werkstoffliche Verwertung angestrebt wird (s. **Abb. 3.2.3-1a,b**). Seegras besitzt grundsätzlich gute Eigenschaften, um daraus Dämmstoff herzustellen:

- 4# schwer entflammbar (Brandschutzklasse B2), da Seegras keine eigene Flamme bildet, sondern bei offener Flamme lediglich glimmt. Dadurch minimiert sich bei der Herstellung von Dämmstoffen aus Seegras der Einsatz von Brandschutzmitteln.
- 4# staubarm verarbeitbar, dadurch Vermeidung/Minimierung von Juckreiz und Atemnot bei der Verarbeitung.
- 4# gute Diffusionseigenschaften.
- 4# leicht in den natürlichen Stoffkreislauf rückführbar (Vermeidung/Minimierung der Entsorgungskosten bei Sanierungen).

**Abb. 3.2.3-1c** zeigt eine aus Seegras hergestellte Dämm-Matte. Diese dürfte nach dem *aerodynamischen Vlieslegeverfahren* geformt worden sein. Auffällig ist die inhomogene Oberfläche dieser Matte. Wie ein möglicherweise vorhandenes Geruchsproblem gelöst wurde, d.h. wie der Eigengeruch des Seegrases reduziert bzw. beseitigt wurde, ist unklar.



**Abb. 3.2.3-1:** Wärmedämmmatte aus Seegras: (a+b) Strand an Atlantikküste mit angespültem Seegras, (c) Wärmedämmmatte aus Seegras, (d) Erosionsschutzmatte aus Seegras [Quelle: EU-Life-Seegras 2002].

**Abb. 3.2.3-1d** zeigt eine weitere Verwertungsmöglichkeit für Seegras, nämlich eine aus Seegras hergestellte *Erosionsschutzmatte*. Einsetzbar wäre diese etwa bei der Überdeckung von Bodenflächen, die rekultiviert werden sollen (z.B. Lärmschutzwälle, gerodete Forst- und Landwirtschaftsflächen, Tagebauflächen). Eigenschaften dieser Erosionsschutzmatte aus Seegras [EU-Life-Seegras 2002]:

- 4# leichte Verarbeitung durch geringes Eigengewicht .
- 4# ausreichende Verrottungsbeständigkeit bis zum Einsetzen der erforderlichen Vegetation von rekultivierten Flächen (z.B. in der Forstwirtschaft, im kommunalen Wohnungsbau, im Bergbau).
- 4# lieferbar als gerollte Endlosmatte mit oder ohne Begrünungssaatgut.

### 3.2.4. Dämmstoffe aus Flachs-, Hanf- und Kokosfasern

Flachsdämmstoffe: Bei der Herstellung von Dämmstoffen aus Flachsfasern werden lediglich die Kurzfasern verwendet, welche für eine textile Weiterverarbeitung nicht geeignet sind. Es kommen Flachsfasern von 10-50 cm zum Einsatz [CMA 2000]. Diese Fasern werden mit einer Karde mechanisch zu einem Vlies verfilzt (Kardierprozess). Um eine ausreichende Festigkeit des Vlieses zu erreichen, wird es entweder mit etwa 15-20 % Kunstfasern versehen, welche nach dem Kardierprozess oberflächlich aufgeschmolzen werden, oder mit Kartoffelstärke besprüht. Dämmstoffvliese aus Flachs haben folgende Eigenschaften [Bundesverband Umweltberatung 2002; Dolezal 1997; Flachshaus 2002; Meha 2002; Umweltberatung (1999); Waldviertler Flachshaus 2001]: Diffusionsoffen, feuchtigkeitsregulierend, gute Schallschutzwirkung, Wärmeleitfähigkeit: 0,035-0,040 W/mK, Rohdichten: 20-50 kg/m<sup>3</sup>, Brennbarkeitsklasse B2 (unter Zusatz von Bor- und/der Ammoniumsalzen).

Hanf dämmstoffe: Die Verarbeitung der Hanffasern zu Dämmstoff erfolgt entweder im *Kardierverfahren* oder im *aerodynamischen Vlieslegeverfahren*. Zur Verfestigung des Vlieses werden Kunststofffasern beigemischt, welche oberflächlich aufgeschmolzen werden und dadurch einen Verbund mit den Hanffasern bilden. Eigenschaften von Dämmvliesen aus Hanf: Diffusionsoffen und feuchtigkeitsregulierend, Wärmeleitfähigkeit: 0,039-0,06 W/mK, Brennbarkeitsklasse B2 (Borsalze)

Dämmstoffe aus Kokosfasern: Nach einem 6-12 Monate dauernden Röstprozess der Schalen der Kokosnuss in Wasser werden die fäulnisresistenten Fasern von der Schale getrennt. Die Kokosfasern werden per Schiff aus Sri Lanka, Malaysia, Sansibar, Tansania und Kenia nach Europa gebracht. Die Verarbeitung der Fasern zu Matten erfolgt im *Kardierprozess*, wobei die Fasern anschließend noch vernadelt werden: Diffusionsoffen, unempfindlich gegen Feuchtigkeit, resistent gegen Bakterien, Pilze, Ungeziefer & Mäuse. Wärmeleitfähigkeit: 0,040-0,045 W/mK. Brandschutzklasse B2 bei Zugabe von Brandschutzmitteln (z.B. Wasserglas, Borsäure, Ammoniumsulfat), sonst B3.

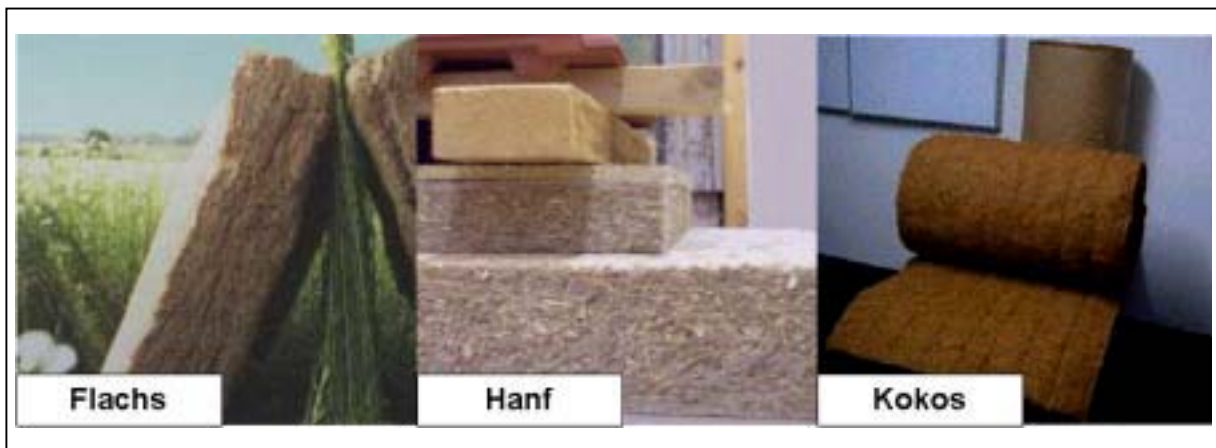


Abb. 3.2.4-1: Dämmstoffvliese bzw. Dämmstoff-Matten aus (a) Flachs [WIFI 2002b], (b) aus Hanf [ISOVER 2002] und (c) aus Kokosfasern.

### 3.2.5. Schlussfolgerung

Aus den in den vorhergehenden Abschnitten skizzierten Dämmstoff-Prototypen aus Gasfaserrohstoffen sowie aus anderen Naturfasern ergibt sich, dass es durchaus machbar scheint, den in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Graspresskuchen als Rohstoff für die Dämmstoffproduktion zu verwenden. Allerdings wäre vor einer Realisierung dieser Idee eine eingehende Wirtschaftlichkeitsanalyse durchzuführen.

### 3.3. Plattenindustrie

Einjahrespflanzen bzw. Rückstände aus der landwirtschaftlichen Produktion werden zunehmend als Rohstoff für die Plattenindustrie gesehen [BioComposite Center 2002; Thole 2002, 2001, 1998]. Dabei erscheint es sinnvoll, zwischen Einjahrespflanzen in *gemäßigten* Klimazonen und solchen in *tropischen* Zonen zu unterscheiden:

- 4# gemäßigte Klimazonen: Flachs, Hanf, Getreidestroh, Gras.
- 4# tropische Klimazonen: Bagasse (Zuckerrohr), Reisstroh, Ölpalme, Bambus, Kokos.

Ein Einsatz von Grasfasern in *Holzspan-* bzw. *Holzfasern-ähnlichen* Werkstoffen scheint grundsätzlich möglich, wobei folgende Untergliederung dieser Werkstoffe im Auge zu behalten ist:

- 4# (*Holz*)*spanwerkstoffe* (Holzwolleplatte, Spanplatte, Waferboard, Strandboard, Oriented Structural Board (OSB), Spanformteile, Strangpressplatte)
- 4# (*Holz*)*faserwerkstoffe* (harte Holzfasernplatten, poröse Holzfasernplatten, mitteldichte Fasernplatten (MDF), hochdichte Fasernplatten (HDF), Fasernformteile)

#### 3.3.1. Spanplatten aus Einjahrespflanzen (Stroh, Flachs, Hanf, Bagasse etc.)

Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen, dass der Einsatz von Einjahrespflanzen als Rohstoff für die Herstellung von Spanplatten möglich ist. So wurde beispielsweise auf der NAROSSA 2002 (Internationale Messe und Kongress für nachwachsende Rohstoffe und Pflanzenbiotechnologie, Magdeburg, 10.-11. 6. 2002) von dem in Braunschweig beheimateten *Fraunhofer Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klaudnitz-Institut (WKI)* Spanplatten-Prototypen aus unterschiedlichen Rohstoffen präsentiert (Weizenstroh, Hanfschäben, Bagasse, Agave, Reisschalen etc; s. **Abb. 3.3.1-1**) [Thole et al. 2002,2001,1998].



**Abb. 3.3.1-1:** Beispiele für Spanplatten aus verschiedenen Einjahrespflanzen (Weizenstroh, Hanfschäben) des Fraunhofer Instituts für Holzforschung Wilhelm-Klaudnitz-Institut (WKI). Fotos stammen aus [Brandstätter 2002].

#### 4# Getreidestroh:

Große Anstrengungen, Stroh als Industrierohstoff zu nutzen, gibt es derzeit in den USA [Fiber Futures 2002; Smith et al. 2002]. Entscheidend für die technische Nutzung von Getreidestroh ist die Bewältigung von Problemen bei Lagerung und Aufschluss des Strohs. Dieses fällt nur einmal pro Jahr an, wodurch große Lagerkapazitäten erforderlich werden, um für die Verarbeitungsanlage eine kontinuierliche Betriebsweise zu ermöglichen. Bei der Verwendung von Stroh als Plattenrohstoff ergeben sich bei

Rohdichten von 550 kg/m<sup>3</sup> Festigkeitswerte, die denen von Holzspanplatten entsprechen [Deppe & Ernst 2000]. Die Beileimung der Strohspanplatten erfolgt mit Melamindiisocyanatharzen (MDI-Harzen). Wegen der Wachsschicht des Stroh sind Formaldehyd-Harze nicht einsetzbar.

4# Flachschäben

Fachsschäben werden vor allem in den Niederlanden und in Belgien als Plattenrohstoff verwendet. Die Flachsschäbenplatte eignet sich besonders für Möbelplatten. Bei der Anwendung als Bauplatte können aufgrund der geringen Feuchtigkeitsbeständigkeit Probleme auftreten.

4# Bagasse (Zuckerrohr)

Bagasse fällt bei der Zuckerrohrverarbeitung als Rückstand an, und zwar mit einem Wassergehalt von etwa 95 %. Dieser Feuchtegehalt ist in einem Trocknungsschritt auf unter 20% zu senken, um Bagasse lagerfähig zu machen und damit als Rohstoff für daraus hergestellte Platten verfügbar zu haben. Weiters muss mittels Schlagkreuzmühlen das Mark entfernt werden, da es sonst zu einer Fermentation der Bagasse kommt, wodurch der Rohstoff für eine weitere Verarbeitung zu Platten ungeeignet würde.

4# Ölpalmen

Die Möglichkeit, aus Ölpalmenresten Spanplatten herzustellen – was von besonderem Interesse für Entwicklungsländer ist – wurde in jüngster Zeit von mehreren Stellen untersucht:

- Fraunhofer Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klaudnitz-Institut (WKI) [Thole 2001]
- Deutsche Bundesforschungsanstalt für Holz- und Forstwirtschaft (Hamburg) in Zusammenarbeit mit den Ordinariaten für Holzbiologie, Holztechnologie und Weltforstwirtschaft der Universität Hamburg [Kruse & Frühwald 2001].

Tab. 3.3.1-1: Eigenschaften von Spanplatten aus Einjahrespflanzen mit Melamindiisocyanat- Beileimung (MDI-Beileimung) [Brandstätter 2002].

Rohstoff	Beileimungsaufwand [%]	Querzugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Biegefestigkeit [kN/mm <sup>2</sup> ]
Normwerte	--	0,35	18
Gerstenstroh	9	0,74	31
Haferstroh	9	0,60	34
Lupine	9	1,10	24
Bagasse	6	0,90	28
Flachsschäben	7	1,13	21
Kokosfaser	8	1,02	--
Alfagras	8	0,60	15
Sisal	9	0,35	15
Bambus	9	0,80	12
Reisschalen	9	0,38	13
Erdnuss-Schalen	9	0,62	7

### 3.3.2. Mitteldichte Faserplatten aus Einjahrespflanzen (MDF-Platten)

Am Fraunhofer Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klaudnitz-Institut (WKI), Braunschweig wurden in allerjüngster Zeit eine Reihe von Einjahrespflanzen hinsichtlich ihrer Eignung für die Fasergewinnung mit anschließender Herstellung von MDF-Platten untersucht [Thole 2002]. **Abb. 3.3.2-1** zeigt einige Beispiele für MDF-Platten aus unterschiedlichen Einjahrespflanzen (Bagasse- und Ölpalmfasern).



**Abb. 3.3.2-1:** Beispiele für MDF-Platten aus verschiedenen Einjahrespflanzen (Bagasse, Ölpalme) des Fraunhofer Instituts für Holzforschung Wilhelm-Klaudnitz-Institut (WKI). Fotos stammen aus [Brandstätter 2002].

In **Tab. 3.3.2-1** wird als Ergebnis dieser Untersuchung eine Einteilung verschiedener Einjahrespflanzen in drei Kategorien vorgenommen (sehr gut geeignet, mäßig geeignet, nicht geeignet). Demnach werden Flachs-, Hanf-, Bagasse-, Kokos- und Ölpalmfasern als sehr gut geeignet eingeschätzt, als Rohstoff für die Herstellung von MDF-Platten zu fungieren. Getreidestroh ist immerhin noch mäßig geeignet für diesen Einsatzzweck.

**Tab. 3.3.2-1:** Eignung von Einjahrespflanzen als Rohstoff für die Herstellung von MDF-Platten [Thole 2002; zitiert in Brandstätter 2002].

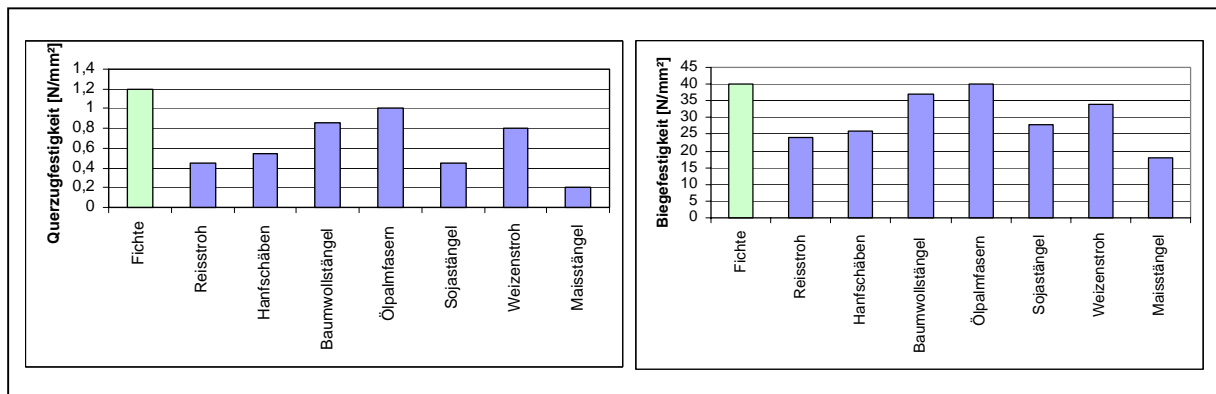
Sehr gut geeignet	Mäßig geeignet	Nicht geeignet
Flachs	Getreidestroh	Schilf
Hanf	Mais	Zuckerrüben
Bagasse	Raps	Sonnenblumen
Baumwollstängel	Sojastroh	Farn
Agave	Reisstroh/schalen	Bananen
Yucca	Chinaschilf	Jute
Kokosfasern	Crambestroh	Kaffeebohenschalen
Papyrus		Erdnussschalen
Ölpalmfaser		

**Abb. 3.3.2-2** zeigt Querzug- und Biegefestigkeiten für einige ausgewählte MDF-Platten aus unterschiedlichen Einjahrespflanzen (Weizenstroh, Maisstängel, Hanfschäben, Reisstroh, Baumwollstängel, Ölpalmfasern, Sojastängel). Aus Vergleichsgründen sind auch die entsprechenden Werte für Fichtenholzfasern angegeben:

- 4# Ölpalmfasern sowie Baumwollstängel sind demnach sehr gut geeignet dafür, als Rohstoff für die Herstellung von MDF-Platten zu fungieren. Querzug- und Biegefestigkeiten der daraus hergestellten MDF-Platten sind durchaus vergleichbar mit den entsprechenden Festigkeitswerten der herkömmlichen MDF-Platte aus Fichtenholzfasern.



- 4# Weizenstroh resultiert in etwas niedrigeren Festigkeitswerten daraus hergestellter MDF-Platten. Diese sind aber doch signifikant höher als die Festigkeitswerte von MDF-Platten aus Reisstroh, Maisstängel und Hanfschäben (nicht Hanffasern!).



**Abb. 3.3.2-2:** Querzug- und Biegefestigkeiten von MDF-Platten aus verschiedenen Einjahrespflanzen (Weizenstroh, Maisstängel, Hanfschäben, Reisstroh, Baumwollstängel, Ölpalmfasern, Sojastängel) [Thole 2002; zitiert in Brandstätter 2002].

**Schlussfolgerung:** Aus dem oben Gesagten lässt sich ableiten, dass auch Grasfasern - zumindest mäßig gut - geeignet sind, als Rohstoff für die Herstellung von MDF-Platten.

### 3.3.3. Feuerfeste Platten

Die Firma *SioTech* bietet auf Basis Naturfasern eine feuerfeste Platte namens SIOBOND an (s. **Abb. 3.3.3-1**). Zitat: „SIOBOND is an excellent binding material for the production of composite materials from any form of cellulose, such as wood, paper, cardboard, straw, cane, bamboo, wood shavings, sawdust, and agricultural waste“. [SioTech 2002].



**Abb. 3.3.3-1:** Feuerfeste Platte „SIOBOND“ [SioTech 2002].

### 3.3.4. Schlussfolgerung

Betrachtet man die oben skizzierten Platten aus Naturfasern, insbesondere die Platten-Prototypen aus „grasähnlichen“ Rohstoffen, so scheint es durchaus machbar zu sein, den in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Graspresskuchen als Rohstoff für die Produktion verschiedener Plattentypen zu verwenden, z.B. für Spanplatten, Faserplatten, MDF-Platten und Feuerfestplatten. Allerdings wäre vor einer Realisierung dieser Idee eine eingehende Wirtschaftlichkeitsanalyse durchzuführen.

### 3.4. Materialien für den Garten- und Landschaftsbau (Galabau)

Im gewerblichen Gartenbau sowie im Landschaftsbau sind eine Reihe von Produkten im Einsatz, wo die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Grasfaserfraktion grundsätzlich als Rohstoff denkbar ist:

- 4# (1) Anzucht- & Kulturgefäße für Pflanzen (z.B. Schalen, Töpfe, Container),
- 4# (2) Matten und Vliese im Pflanzenbau,
- 4# (3) Torfersatz, Erdmischungen, Bodenverbesserer,
- 4# (4) Mulchabdeckungen (Matten und Vliese),
- 4# (5) Begrünungs- und Erosionsschuttmatten, Rollrasen (Geotextilien),

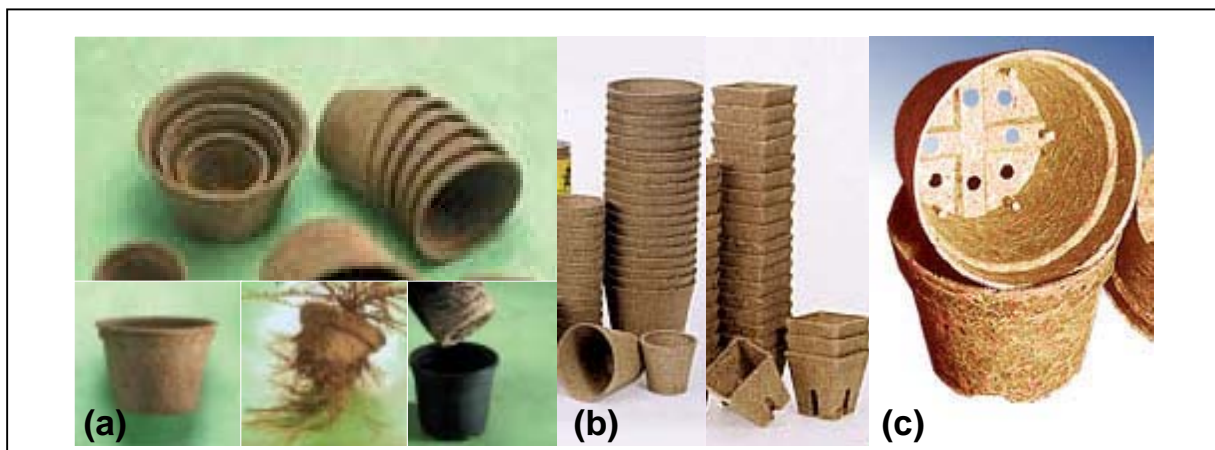
#### 3.4.1. Anzucht- und Kulturgefäße für Pflanzen (Schalen, Töpfe, Container)

##### „CocoPot“ [Brinkman 2002; Informa 2002; s. Abb. 3.4.1-1a)

Der *CocoPot* besteht aus gekräuselter *Kokosfaser*, die mit *Naturlatex* als Bindemittel zu einer elastischen Einheit geformt und gepresst wird. Die Bestandteile des *CocoPot* sind biologisch völlig abbaubar, wobei die Verrottung und Mineralisierung erst einsetzt, wenn die Pflanze am endgültigen Standort bereits "Fuß gefasst" hat. Während der gesamten Kulturphase ist der *CocoPot* formstabil. Die Pflanze kann problemlos mit samt ihrem *CocoPot* als eine Einheit in den nächst größeren Topf umgesetzt werden. Die Pflanze muss nicht mehr mühsam vom kleineren Topf getrennt werden. Damit werden Wurzelschädigungen vermieden [Informa 2002].

##### „Jiffy“ - Torfquelltöpfe [Meyer 2002b; Romberg 2002a,b; s. Abb. 3.4.1-1b)

Der Begriff „Jiffy“ kommt aus dem Englischen und bedeutet: Schnell, einfach, problemlos. *Jiffy-Pots* bestehen zu 60 % aus einem humusreichen Weißtorf und zu 40% aus schwefelfreier Stapelzellulose. Durch dieses Mischungsverhältnis erhalten die Töpfe die nötige Festigkeit für die feuchten Kulturbedingungen. Die Porenstruktur lässt eine ideale Durchwurzelung zu. *Jiffy-Pots* sind die idealen Anzuchtgefäße für eine problemlose und sichere Jungpflanzenanzucht. Werden die Topfwände während der Anzuchtphase immer feucht gehalten, wachsen die Wurzeln durch diese hindurch. Beim Umpflanzen oder Auspflanzen wird der Wurzelballen nicht beschädigt - die feinen Wurzelhärchen bleiben erhalten. Je nach Kulturführung verrottet der Topf im Boden innerhalb von 3 Monaten. Weltweit werden von Erwerbsgärtnern jährlich über 700. Mio. Jiffy-Töpfe für die Jungpflanzen-Anzucht verwendet. Allein in Deutschland sind es pro Jahr 200 Mio. Pflanzen, die in Jiffy-Quelltöpfen und Jiffy-Pots von Profi-Gärtnern herangezogen werden [Romberg 2002b].



**Abb. 3.4.1-1:** Pflanzgefäße aus Naturfasern: (a) „CocoPot“ aus Kokosfasern-Latex [Brinkman 2002]; (b) „Jiffy“-Torfquelltöpfe [Romberg 2002]; (c) „NAPAC“-Pflanztöpfe aus Chinaschilf+Naturbinder [Meyer 2002c].

„NAPAC“- Pflanztöpfe [NAPAC 2002a,b; Meyer 2002c; s. Abb. 3.4.1-1c]

Für die Herstellung der NAPAC-Pflanztöpfe und –schalen wird Chinaschilf und ein Naturbindemittel verwendet. Im ersten Schritt wird mittels einer Extrusionsanlage aus gehäckseltem Chinaschilf und Naturbinder ein Naturfasergranulat hergestellt (NAPAC Flakes). Im zweiten Schritt werden aus diesem Fasergranulat mittels eines Heißpressautomatenverfahrens Pflanztöpfe- & schalen, aber auch weitere Produkte (z.B. CD-Trays) erzeugt. Die Pflanze wird gemeinsam mit dem Topf im Boden eingepflanzt, d.h. der Topf ist durchwurzelbar und zu 100% kompostierbar. Weitere Eigenschaften: Formstabil; stapelbar; maschinengängig; geeignet zur Pflanzenproduktion auf Mattensystemen; Haltbarkeit: 12-24 Monate.

„Humulus“- Pflanztöpfe [Groot et al 2000, S.111, Beitz 1998]

- 4# Rohstoff(e): Altpapier
- 4# Eigenschaft(en): saugfähig (Wasser); stabil; atmungsaktiv, hygienisch; gute Belüftung (Luftschlitz); durchwurzelbar (keine Ringwurzelbildung); macht Umtopfen obsolet (Pflanze + Topf werden in die Erde eingebracht); Haltbarkeit im Freiland: 12-14 Monate; 100% biol. abbaubar (in der Erde oder Kompostierung); Drainageschlitz am Boden gewährleisten Be- & Entwässerung sowie gute Belüftung bzw. Sauerstoffzufuhr; Einsatz auf Palettensystemen möglich; topfmaschinengeeignet;
- 4# Anwendung(en): Anzucht- & Kulturgefäße für Gartenbau (Palettensysteme), Baumschulen und Staudenbereich [Beitz 1998]

„Vitainer“- Pflanztöpfe [Groot et al 2000, S.37, 107; Schönfeld 2002]

- 4# Rohstoff(e): Flachs (Wand), Jute (Boden)
- 4# Eigenschaft(en): formstabil; gute Durchwurzelbarkeit (Vermeidung von Drehwurzeln); topfmaschinengängig; geeignet für gängige Bewässerungssysteme
- 4# Anwendung(en): Anzucht- & Kulturgefäß

„Lignopol“- Pflanztöpfe [Groot et al 2000, S.102]

- 4# Rohstoff(e): 35-70% Fasern (Hanf, Chinaschilf), Ligninsulfonat, Proteine, Alkohole
- 4# Eigenschaft(en): thermoplastisches Granulat, hygroskopisch, für Spritzgußverarbeitung geeignet
- 4# Anwendung(en): Pflanzentöpfe, Verpackungsformteile

„Fertil Pot“ [Groot et al 2000, S.101]

- 4# Rohstoff(e): 80% Holzfasern, 20% Weißtorf
- 4# Eigenschaft(en): formstabil; gute Wasserdurchlässigkeit; gut wiederbenetzbar; maschinengängig (bei Verwendung von Abstandshaltern); Haltbarkeit: 4-18 Monate.
- 4# Anwendung: Einzeltöpfe und Strips für alle Bereiche des Gartenbaus

### 3.4.2. Matten und Vliese als Pflanzensubstrate

#### Flachfaservliese im Gemüsebau [CARMEN 2002, Groot et al 2000, S. 101; s. Abb. 3.4.2-1a]

Kresse wird üblicherweise in Plastikschaalen mit Perlite-Substrat angezogen. Perlite ist ein vulkanisches Gestein, das seine körnige Form in einem energieaufwendigen Verfahren erhält. Der Kresseanbauer *Klaus Hofmann* entwickelte gemeinsam mit der *Textilgruppe Hof* ein Verfahren für die Anzucht von Kresse auf Flachfaservliesen. Die vorgeschneittenen Flachsvliese werden in Blechschalen gelegt und befeuchtet. Sind die Samen angekeimt, werden Glasplatten darauf gelegt, damit die Keimlinge in das Vlies eindringen und gut einwurzeln können. Bei optimaler Versorgung mit Licht und Wasser sind die Pflanzen nach ca. sechs Tagen erntereif, einen Tag früher als bei herkömmlichen Verfahren, dadurch steigt Umsatz pro Quadratmeter Gewächshausfläche, der Energieverbrauch pro Schale sinkt. Die kressebewachsenen Vliesstücke werden in Papierfalttschachteln eingelegt, die wie die Flachfaservliese vollständig kompostierbar sind.

Diese Flachfaservliese eignen sich auch zur Anzucht von Keim sprossen anderer Gemüsesorten (z.B. Feldsalat, Brokoli etc) sowie von *Gewürzpflanzen*. Im Fall der Anzucht von Feldsalat werden - ähnlich wie bei der Anzucht von Kresse - die Samen auf das Vlies ausgesät und bewässert. Sobald die Keimlinge ausreichend Wurzeln entwickelt haben, werden die Vliesstücke auf einen Gitterrost "versetzt", der auf dem Boden aufliegt, so dass die Pflanzen in der Erde wurzeln können. Ist der Feldsalat erntereif, müssen nur die Wurzeln unterhalb der Vliesmatte abgeschnitten werden, der Salat wandert mit seiner Unterlage in Papierfalttschachteln. Vorteile dieses Anbauverfahrens: (1) Feldsalat bleibt länger frisch & hygienisch, da er erst unmittelbar vor dem Verzehr abgeschnitten wird. (2) Salat bleibt frei von Erde und Sand. (3) Verkaufsmenge lässt sich durch die Größe des Flachsvlieses und die Aussaatstärke standardisieren und muss deshalb beim Verpacken nicht ausgewogen werden. (4) keine Kunststoffverpackungen erforderlich [CARMEN 2002]:



**Abb. 3.4.2-1:** Gemüseanzucht auf Flachfaservliesen [CARMEN 2002]: (a) Kresse, (b) Feldsalat.

Fasersubstratmatten für die Anzucht von Gemüse und anderen Pflanzen werden auch von der slowenischen Firma *TUS KO-SI d.d. in Slovenj Gradec* angeboten, wobei zur Zeit Hanf-, Kokos-, Jute- und Sisalfasern zum Einsatz kommen [TUS 2002].

Hors-sol Gemüsekulturen [Espuna 2000; Academie de Lyon 2002; s. Abb. 3.4.2-2]

In Westeuropa nimmt die Gemüseproduktion in sogenannten „hors-sol“ Kulturen massiv zu. Hors-Sol-Gemüse wird nicht mehr auf dem Acker, sondern in Gewächshäusern mit Nährlösungen aufgezogen. In Frankreich werden auf diese Weise bereits 1.200 ha Gemüse gezogen, 800 ha allein für Tomatenzucht [Morard & Martinez 2001; Hors-sol 2002]. Die Verankerung der Wurzeln erfolgt in Gesteinswolle [Rossat 2002], neuerdings aber auch auf Fasermatten aus Kokosfasern [Espuna 2000] oder aus einer Mischung aus Chinaschilf (70%) und aufgefaserter Holz [Terracomp 2001a].



Abb. 3.4.2-2: Gemüseanzucht in „Hors-sol-Kulturen“ (ohne Erde) [Espuna 2000; Academie de Lyon 2002].

**3.4.3. Torfersatz, Erdmischungen, Bodenverbesserer**

Torf ist ein äußerst langsam nachwachsender Rohstoff, der sich aus der Vegetation von Hochmoorflächen bildet (Torfmoos, Wollgras etc.). Die jährliche Zuwachsrate der Torfschicht beträgt lediglich 1 mm. Es steht außer Zweifel, dass Torf in Europa nicht mehr unbegrenzt abgebaut werden kann, vor allem in Mitteleuropa werden die Lager in absehbarer Zeit ausgebeutet sein. Zudem befinden sich die abbauwürdigen Flächen häufig in ökologisch wertvollen Gebieten. Diese Entwicklung wird schlussendlich zu einem Umdenken einer ganzen Branche in Hinsicht auf Torfersatz führen [Agrarverlag 2002].

Torf besitzt gute Eigenschaften als Substrat für Pflanzen, die nicht im gewachsenen Boden kultiviert werden. Torf besitzt die Fähigkeit, Wasser über einen längeren Zeitraum zu speichern und später wieder an die Pflanze abgeben zu können. Gleichzeitig enthält er aber noch so viel Luft, um die Durchlüftung der Wurzeln zu gewährleisten. Torf wird deshalb im Erwerbsgartenbau als Ausgangsprodukt für Substrate für Topf- und Kübelpflanzen herangezogen [Bayerischer Landesverband für Gartenbau und Landespflege 2002].

Torfreduzierte oder torffreie Blumenerden („Ökoerden“) werden inzwischen von nahezu allen namhaften Substratherstellern angeboten. Dabei kommen überwiegend Holzfasern, Rindenhumus & Kompost zum Einsatz.

Tab. 3.4.3-1: Eigenschaften von Torf & Torfersatzstoffen [Bayerischer Landesverband für Gartenbau und Landespflege 2002]

Eigenschaften	Torf	Kompost	Rindenhumus	Holzfasern
Anhaltende Strukturverbesserung	mittel	gut	gut	gering bis mittel
pH-Wert	niedrig	hoch	mittel bis hoch	mittel
Nährstoffgehalt	sehr gering	hoch bis sehr hoch	mittel	gering bis mittel
Biologische Aktivität	sehr gering	sehr hoch	hoch	gering

Torfreduzierte Produkte aus BIOFASER®-Holzfasern [Fettinger 2001,2002; s. Abb. 3.4.3-1b]

Ein Beispiel für torfreduzierte Produkte auf Basis Holzfasern ist die Produktlinie „Natürlich“ der steirischen Firma *Fettinger Naturprodukte GmbH*. Unter Verwendung der *BIOFASER®*, einem Holzfaserprodukt der Fa. Funder, werden folgende Produkte angeboten [Fettinger 2001,2002]:

- 4# Faserprodukt für Bodenverbesserung und Mulchen („Natürlich Gartenfaser“)
- 4# Blumenerden für Balkon-, Zimmer- und Kübelpflanzen („Natürlich Blütenpracht“)
- 4# Pflanzerden für Pflanzungen im Boden und in Trögen („Natürlich Gartenpracht“).

Torfreduzierte Produkte aus TORESA®-Holzfasern [Agrarverlag 2002; Kranzinger 2002; s. Abb. 3.4.3-1c]

Ein weiteres Beispiel für torfreduzierte Produkte sind die Produkte aus *TORESA®-Holzfasern* der Fa. *Intertoresa AG* aus *Oftringen* in der Schweiz. Lizenznehmer in Österreich ist das *Erdenwerk Kranzinger* in *Strasswalchen* mit einer jährlichen Produktionsmenge von ca. 20.000 m<sup>3</sup> [Agrarverlag 2002; Kranzinger 2002]. Vertrieben werden diese torffreien bzw. torffarmen Blumenerden über die Firma *Scotts Celaflo GmbH* [Scotts Celaflo 2001]. Eine „Blumenerde ohne Torf“ dieser Firma wird gegenwärtig in der *ECODESIGN-Beispielsammlung Österreich der WIFI-Österreich* präsentiert [WIFI 2002].

Blumenerden aus Chinaschilf (*Miscanthus*)

Ein Hersteller in der Schweiz bietet torfreduzierte Produkte für den Gartenbau auf Basis Chinaschilf an [Terracomp 2001]. Torfersatz aus Chinaschilf dient im biologischen Gartenbau als Bestandteil von Erdmischungen, als Mulch bei Gemüse und Beeren und zur Bodenlockerung, besonders bei schweren Böden. Der Torfersatz besteht zu 60% aus aufgefaserter Chinaschilf, 30% aufgefaserter Holz und 10% Kompost. Chinaschilf zeichnet sich durch hohe Wasserspeicherkapazität und seine gute Pflanzenverträglichkeit aus [Terracomp 2001].



**Abb. 3.4.3-1:** Torfarme Blumenerden: (a) Torf [Floragard 2002a]. (b) Torfreduzierte Erde auf Basis *BIOFASER®* [Fettinger 2002a,b]. (c) Torffreie Blumenerden auf Basis *TORESA®-Holzfasern* [WIFI 2002].

### 3.4.4. Mulchabdeckungen (Matten und Vliese)

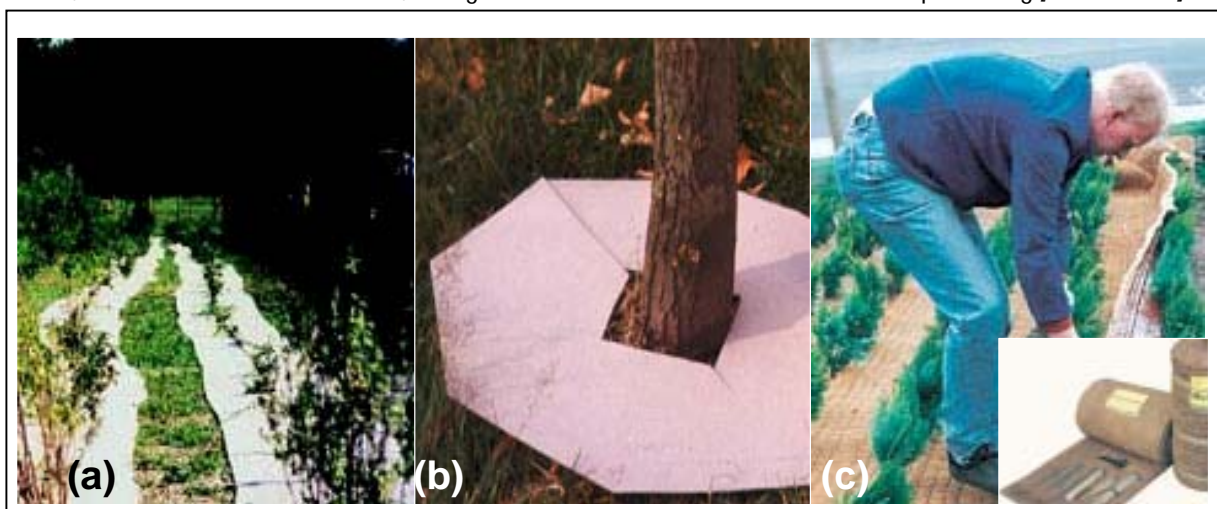
„Mulchen“ ist ein im Gartenbau übliches Verfahren, bei dem der Boden mit organischer Substanz abgedeckt wird (Stroh, Rinde, Vliese, Folien), um das Unkraut unter Kontrolle zu halten (Vermeidung von chem. Unkrautbekämpfungsmitteln). Weitere Funktionen:

- 4# Schutz des Bodens vor Austrocknung,
- 4# Abhalten von Krankheitskeimen (insbesondere bei Früchten kriechender Pflanzen),
- 4# Temperaturregulation (Boden ist im Sommer kühl, im Winter warm),
- 4# Schaffung eines günstigen Mikroklimas für Kleinstlebewesen am Boden, Bodenauflockerung.

Am *Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft (ITG) der Universität Hannover* laufen derzeit einige Forschungsprojekte zum Thema der Nutzung biologisch abbaubarer Werkstoffe (BAWs) im Gartenbau [ITG 2002; FBAW 2002]. Eines dieser Forschungsprojekte befasst sich mit der Einsetzbarkeit von Flachsvliesen sowie von biologisch abbaubaren Folien als Mulchabdeckung im Gemüsebau [Weber 2002].

Vliese sowie Mulch- und Flachfolien finden im Gemüsebau breite Verwendung. Allerdings sind diese Vliese und Folien häufig nicht biologisch abbaubar, weshalb sie nach der Ernte abgeräumt werden müssen, was mit einem hohen Arbeitsaufwand verbunden ist. Teure Entsorgung und schwieriges Recyceln aufgrund eines hohen Verschmutzungsgrades führen trotz der vielfältigen positiven Eigenschaften dieser Materialien zu Wirtschaftlichkeits- und Umweltproblemen. Anhaftende Dünger- und Pflanzenschutzmittelreste können sogar zu einer Einstufung dieser Materialien als Sondermüll führen.

Vor diesem Hintergrund bieten Vliese und Folien aus biologisch abbaubaren Werkstoffen (BAWs) neue Chancen infolge anderer Entsorgungsmöglichkeiten. Eine besteht darin, dass man auf das Abräumen verzichtet und das Vlies bzw. die Folie nach der Ernte in den Boden einfräht. Der Arbeitsaufwand würde das Abräumen fällt damit weg. Eine andere Entsorgungsmöglichkeit besteht darin, dass man Vlies bzw. Folie nach der Ernte abräumt und einer anschließenden Kompostierung zuführt. In jedem Fall sind die eingesetzten bioabbaubaren Vliese bzw. Folien hinsichtlich ihrer Tauglichkeit für einen Einsatz im Gartenbau zu überprüfen. Kriterien dabei sind: Pflanzenverträglichkeit, Ernteverfrühungseffekte, Ertrag und Qualität der Ernte, Haltbarkeit der Vliese und Folien, Einarbeitbarkeit in den Boden, biologischer Abbau bzw. Verhalten bei der Kompostierung [Weber 2002].



**Abb. 3.4.4-1:** Mulchabdeckungen: (a) Mulchvlies aus Flachfasern [CARMEN 2002]; (b) Mulchscheibe aus Holzfasern [Meyer 2002a]; (c) Mulchmatte aus Kokosfasern + biologisch abbaubaren Folien auf Stärkebasis [Grünfix 2002a].

#### Mulchvlies aus Flachsfasern [CARMEN 2002, s. Abb. 4.4.4-1a]

Vom deutschen Kresseanbauer *Klaus Hofmann* wurde gemeinsam mit der *Textilgruppe Hof* ein Mulchvlies aus Flachsfasern entwickelt sowie ein entsprechendes Verlegeverfahren [CARMEN 2002]. Auf kleineren Flächen wird das Mulchvlies händisch, auf größeren Flächen dagegen maschinell abgerollt. Parallele Vliesbahnen überlappen sich, Pflanzen wachsen zwischen den Einschnitten empor, Unkraut wird jedoch unterdrückt. Bis zur vollständigen Verrottung schützen die Mulchvliese die heranwachsenden Pflanzen zwei Jahre lang vor Unkraut und Schädlingen, wirken temperaturnausgleichend, regulieren die Feuchtigkeit und geben im Verlauf des Verrottungsprozesses verschiedene Nährstoffe an den Boden ab. Die Gefahr einer Bodenversauerung, wie beim häufigen Einsatz anderer Mulchmaterialien, besteht hier nicht [CARMEN 2002].

#### Mulchplatte aus Holzfasermaterial [Meyer 2002a; s. Abb. 3.4.4-1b]

Von der deutschen Firma *Hermann Meyer (sic!)* – Bedarf für Baumschulen und Gartenbau wird eine Mulchplatte aus Holzfasermaterial für Baumschulen angeboten, die vollkommen verrottbar ist [Meyer 2002a]. Diese Mulchplatte ist 8-eckig, ca. 1,5 mm stark und besitzt einen Einschnitt und eine Pflanzöffnung. Für 3 Jahre wird das Wachstum von Gräsern und Kräutern im Wurzelbereich neu gepflanzter Gehölze verhindert. Die Einschnittseiten werden soweit übereinandergelegt, bis die Mittelöffnung dicht am Wurzelhals anliegt. Die Überlappung wird mit einer Heftzange geklammert, wodurch ein flacher Kegel entsteht [Meyer 2002a].

#### Mulchmatte aus Kokosfasern +Stärkefolie [Grünfix 2002a; s. Abb. 3.4.4.-1c]

Von der deutschen Firma *MST Dränbedarf GmbH / Grünfix* werden Biomulchmatten hergestellt [Grünfix 2002]. Die patentierte Grünfix-Mulchmatte besteht aus einer obersten Deckschicht aus Kokosfasern, die mit einer bioabbaubaren Mulchfolie auf Stärkebasis versteppt ist. Durch das Versteppen ist die Folie in regelmäßigen Abständen gelocht, was aber nichts insofern keine negativen Konsequenzen hat, als unter der ersten Folie eine zweite, ebenfalls bioabbaubare Folie eingeschweißt ist, die Schlitze aufweist. Die zueinander versetzt angeordneten Löcher bzw. Schlitze der beiden Folien unterbinden den Lichteinfall, wodurch die Keimentwicklung von Unkräutern unterbunden wird [Grünfix 2002a].

#### MULCHMAT [Greenfix 2002a; Hy-Tex 2002a]

Die beiden englischen Firmen *Greenfix(!)* sowie *Hy-Tex Biodegradable Products* bieten jeweils unter dem Namen „MULCHMAT“ bioabbaubare Mulchmatten, deren Aufbau ähnlich sein dürfte wie der Aufbau der oben beschriebenen Mulchmatten des deutschen Herstellers Grünfix [Greenfix 2002a; Hy-Tex 2002a].

#### Loses Mulchmaterial aus Holzfasern [Blieninger 2002a,b]

Loses Mulchmaterial auf Basis von Holzfasermaterial (TORBO®) für Gemüse, Beeren, Blumen etc. aber auch für Begrünung von erosionsgefährdeten Flächen in den Subtropen wird von der deutschen Firma *Blieninger Holzspäne GmbH* angeboten [Blieninger 2000a,b]. Das zunächst in loser Form vorliegende Mulchmaterial wird vor oder nach dem Auspflanzen etwa 2-3 cm dünn ausgestreut, leicht angedrückt und mit der Gieskanne oder Sprinkler gut eingewässert. Das faserige Material vernetzt mit den natürlichen Bindemitteln zu einer stabilen, luft- und wasserdurchlässigen *Fasermatte*. Die Schichtdicke richtet sich nach der Kulturdauer. Im Laufe eines Jahres wird je nach Bodenaktivität ca. 1-2 cm Mulch von unten durch Regenwürmer und Mikroorganismen abgebaut. Es muss also in der Regel jährlich neu gemulcht werden. Eine Stickstoff - Fixierung im Boden unter der Mulchschicht ist Versuchen und Messungen zu Folge nicht zu erwarten [Blieninger 2000b].



### 3.4.5. Begrünungs- und Erosionsschutzmatten (Geotextilien)

Zweck von Begrünungs- und Erosionsschutzmatten (Geotextilien) ist es, lockere Erdoberflächen solange zu stützen und zu festigen, bis die Verwurzelung der Bepflanzung diese Aufgabe übernimmt.

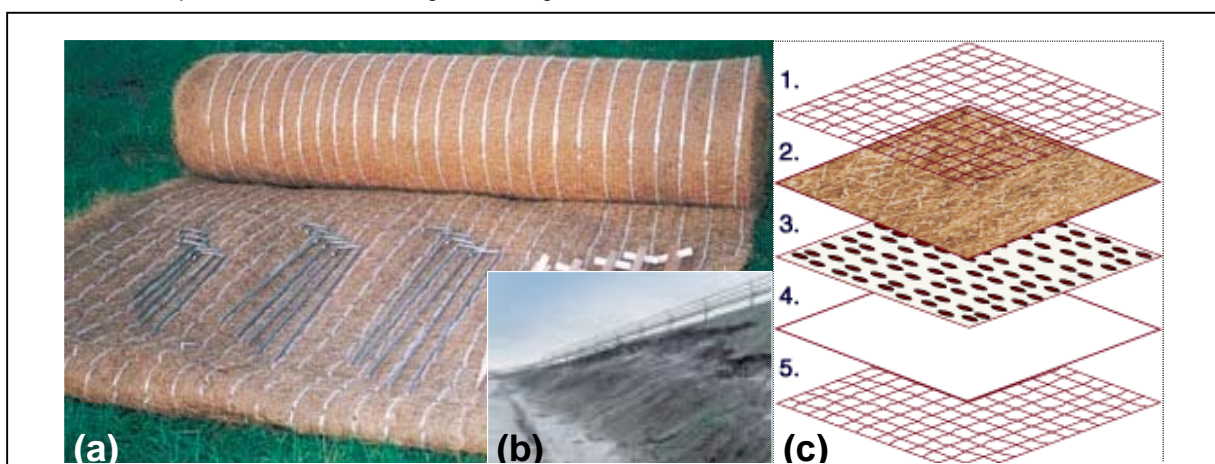
- 4# Schutz der Oberflächenschicht (z.B. Humus) vor Wasser- und Winderosion sowie vor Abrutschen,
- 4# Schutz der Oberflächenschicht vor Hochwasser (Wasserbau),
- 4# Begrünung + Befestigung loser Bodenschichten bis zu deren ausreichender Durchwurzelung,
- 4# Befestigung der Wurzelschicht.

In der Ingenieurbiologie werden zunehmend biologisch abbaubare Geotextilien eingesetzt (z.B. Kokosfasern, Stroh, Heu, Flachs, Hanf etc.), die im Verlauf ihres biologischen Abbaus auch zur Humusbildung beitragen.

#### (1) Begrünungs- & Erosionsschutzmatten der Fa. MST Dränbedarf GmbH (D) (s. Abb. 3.4.5-1a,b)

Die deutsche Firma *MST Dränbedarf GmbH* (in D-27239 Twistringen) bietet unter dem Namen „GRÜNFIX“ Begrünungs- und Erosionsschutzmatten aus Stroh, Heu und Kokosfasern an [Grünfix 2002b]. Die Schwesterfirma *MST Maschinenbau GmbH* (ebenfalls in D-27239 Twistringen) stellt Maschinen zur Herstellung von Erosionsschutzmatten her [Grünfix 2002c,d]. Grünfix-Erosionsschutzmatten helfen auf natürliche Weise, dass sich eine vor Regen-, Wind- und Wasser-Erosion sowie Grundwasserausspülungen schützende Vegetationsoberfläche entwickelt. Außerdem dienen Grünfix-Erosionsschutzmatten als Feuchtigkeitsspeicher, als Wärmedämmung und zur Humusbereitung. Grünfix-Erosionsschutzmatten *mit* eingearbeitetem Saatgut haben folgenden Aufbau (s. Abb. 3.4.5-1c):

- 4# (1)+(5) Netzgewebe aus fotoabbaubarem Polypropylen (PP) oder Jute
- 4# (2) Naturfaserschicht, deren Zusammensetzung vom Grad der Erosionsgefährdung abhängt:
  - leichte Gefährdung: 100% Stroh/Heu; kurze Lebensdauer da Stroh/Heu relativ rasch kompostiert,
  - mittlere Gefährdung: 50% Stroh/Heu + 50% Kokos; mittlere Lebensdauer infolge Kokosfasern,
  - starke Gefährdung: 100% Kokosfasern; lange Lebensdauer infolge Kokosfasern.
- 4# (3) Mulchstoffe mit Saatgut
- 4# (4) Papierschicht zur Fixierung von Saatgut und Mulchstoffen



**Abb. 3.4.5-1:** „GRÜNFIX“-Begrünungs- und Erosionsschutzmatten aus Stroh/Heu und Kokos der Firma *MST Dränbedarf GmbH* (D-Twistringen): (a) Erosionsschutzmatte; (b) Einsatzbeispiel Autobahnböschung; (c) Aufbau einer Erosionsschutzmatte mit Saatgut: (1)&(5) Netzgewebe aus fotoabbaubarem PP, (2) Naturfaserschicht (Stroh/Heu+Kokosfasern), (3) Mulchfolie mit eingearbeitetem Saatgut, (4) Papierschicht zur Fixierung des Saatguts [Grünfix 2002c]:

Die PP-Netzgewebe zersetzen sich durch den Lichteinfall der Sonne, weshalb unterschiedliche Netztypen mit unterschiedlich langer Lebensdauer verfügbar sind:

- |    |  |                              |
|----|--|------------------------------|
| 4# | PP-Netzgewebe „Standard“ (UV-stabilisiert):    | Lebensdauer ca. 24-48 Monate |
| 4# | PP Netzgewebe „Light“ (nicht UV-stabilisiert): | Lebensdauer ca. 6-10 Monate  |
| 4# | Jutegewebe: 100 % biologisch abbaubar:         | Lebensdauer ca. 10-18 Monate |

Grünfix-Erosionsschutzmatten *ohne* eingearbeitetes Saatgut enthalten weder Mulchstoffe noch eine Saatgut zurückhaltende Papierschicht. Diese Matten können sowohl auf vorher eingesäte bzw. mit Saatgut angespritzte Flächen als auch auf unbehandelten Böden verlegt werden [Grünfix 2002c].

Abb. 3.4.5-2 zeigt eine Produktionslinie der deutschen *Maschinenbau* Firma *MST Maschinenbau GmbH* (D-27239 Twistringen) zur Versteppung von losen Faservliesen mit Gewebetragern zu Erosionsschutzmatten. Als Faserrohstoff kommen Naturfasern wie Stroh, Heu, Kokos, Flachs, Hanf, Holzwolle, Palmfasern etc. zu Einsatz. Diese Produktionslinie umfasst Maschinen und Apparate zur Faseraufbereitung (1), Förder- und Zufuhrtechnik (2), Vlieslegetechnik (3,4,5), Steptechnik (6), Beschneiden (7) und zum automatischen Aufwickeln (8).

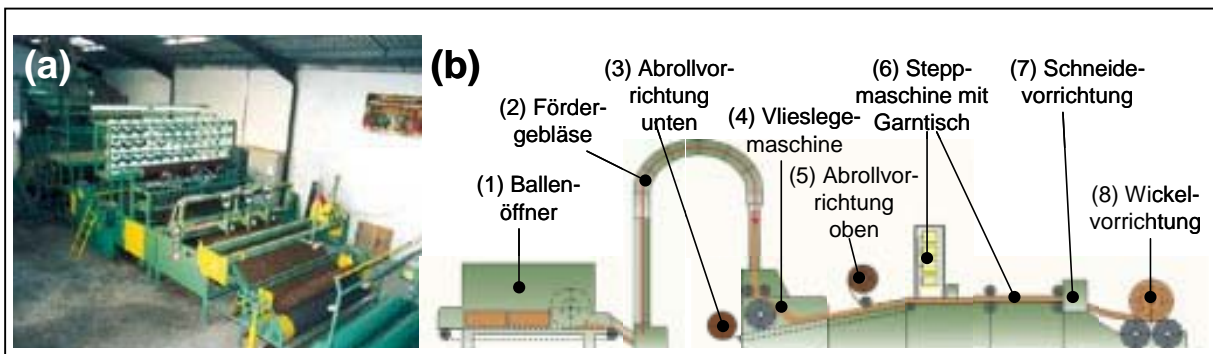


Abb. 3.4.5-2: Produktionslinie Typ „EMA“ der Firma *MST Maschinenbau GmbH* (D-27239 Twistringen) zur Herstellung von Erosionsschutzmatten aus Naturfasern wie Stroh, Heu, Kokos etc. Arbeitsbreite: 6.000mm; Vliesgewicht: 3.000 g/m<sup>2</sup> [Grünfix 2002d].

(2) Erosionsschutzmatten der Fa. *Greenfix* (UK) (s. Abb. 3.4.5-3)

Die englische Firma *Greenfix* (in Cheltenham, Teesside, Manchester und Essex) bietet unter dem Namen „COVAMAT“ eine Erosionsschutzmatte an, die ebenfalls aus Stroh und Kokosfasern hergestellt wird [Greenfix 2002b].

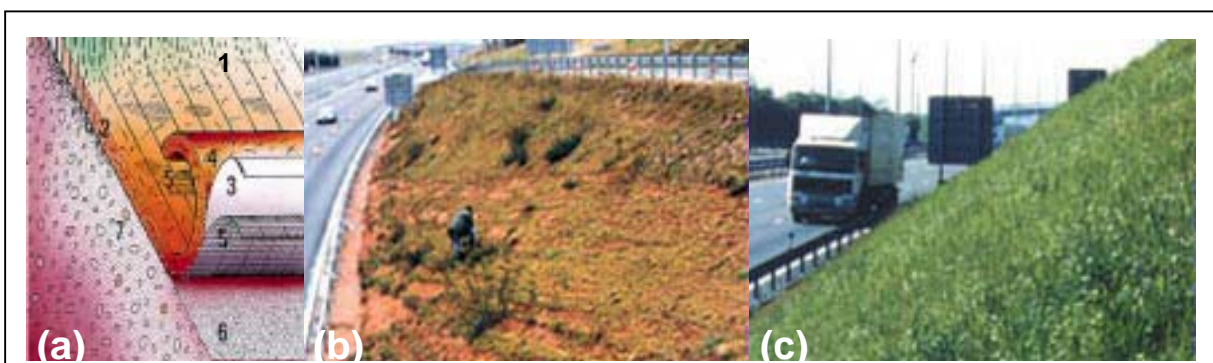


Abb. 3.4.5-3: Erosionsschutzmatte *COVAMAT* der englischen Firma *Greenfix* aus Stroh, Kokosfasern und einem Netz aus fotoabbaubarem PP oder Jute [Greenfix 2002b]: (a) Zusammensetzung der Matte: (1) Angewachsene Grasdecke, (2)+(4) Fasermatrix aus Stroh, Kokosfasern und Baumwollabfällen mit eingearbeitetem Saatgut, (3) Papier zur Fixierung des Saatguts, (5) Netzgewebe aus PP oder Jute, (6) zu schützende Erdschicht, (7) geschützte Erdschicht. (b)+(c) Anwendungsbeispiel Autobahnböschung.

**(3) Begrünungs- & Erosionsschuttmatten der Fa. IGG (D) (s. Abb. 3.4.5-4)**

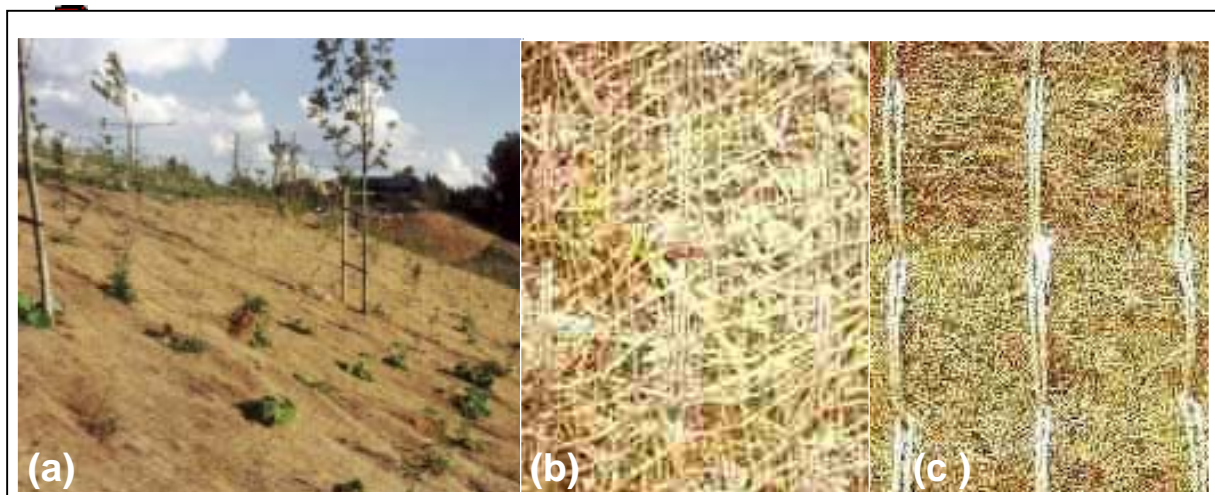
Die deutsche Firma *IGG – Internationale Geotextil GmbH* (Standorte D-57392 Schmallenberg und D-27239 Twistringen) bietet unter dem Namen „GREENFIELDS®“ Begrünungs- und Erosionsschuttmatten an. Der Generalvertrieb dieser Matten in Österreich erfolgt durch die Firma *Aquasol Handels GmbH* (Wien) [Aquasol 2002]. GREENFIELDS® -Matten werden auch der in Linz ansässigen Firma *Geofelt GmbH* vertrieben [Geofelt 2002a,b].

„GREENFIELDS® - Erosionsschutz- und Begrünungsmatten sind biologisch abbaubare Matten aus Naturfasern (Stroh, Jute, Kokos) mit ein- bzw. beidseitigem Polypropylen (PP) oder Jutenetz für den temporären oder permanenten Erosionsschutz. Die mehrschichtigen Vegetationselemente enthalten eine spezielle Feuchtigkeits-Speicherschicht mit darin eingelagertem Saatgut und Düngemitteln [Geofelt 2002a,b].

Auf einem reißfesten Naturfaservlies als Unterlage wird Substrat und Saatgut aufgebracht. Als Fixierung und Schutzschicht für Substrat und Saatgut dient eine darüberliegende Schicht aus Kokosfasern. Die Zusammensetzung der Matte bietet gute Bedingungen für die Keimung des Saatguts. Ein Verlagern des in den Matten enthaltenen Saatguts beim Transport und bei der Verlegung wird durch die Einbindung des Saatguts in das Substrat unterbunden. Die Matten sorgen für guten Bodenschluss. Dadurch kann das aufkeimende Saatgut schnell wurzeln und eine Verankerung mit dem Unterboden ausbilden [Soll Verlag 2001].

Je nach Grad der Erosionsgefährdung bzw. je nach erforderlicher Lebensdauer der Erosionsschuttmatten werden diese mit unterschiedlicher Zusammensetzung angeboten [Aquasol 2002; Geofelt 2002b].

- 4# leichte Gefährdung (kurze Lebensdauer): 100 % Stroh => Type „S-100-J“
- 4# mittlere Gefährdung: 50% Stroh + 50% Kokos => Type „SK-50-J2“ (s. Abb. 3.4.5-4b)
- 4# schwere Gefährdung (lange Lebensdauer): 100% Kokosfasern => Type „K-100-J2“ (s. Abb. 3.4.5-4c)



**Abb. 3.4.5-4:** GREENFIELDS® - Erosionsschuttmatten der Firma IGG - Internationale Geotextilgesellschaft: (a) Anwendungsbeispiel Böschungsbegrünung [IGG 2002b]; (b) Type „SK-50-J2“: 50% Stroh + 50% Kokosfasern + beiderseits mit Jute versteppt, Flächengewicht: 400 g/m<sup>2</sup>, Abmessungen: 3,05 x 35,0 m; (c) Type „K-100-J2“: 100% Kokosfasern + beiderseits mit Jute versteppt, Flächengewicht: 400 g/m<sup>2</sup>, Abmessungen: 3,05 x 35,0 m [Aquasol 2002].

(4) Begrünungsmatten der Firma Mathogro GmbH / D (s. Abb. 3.4.5-5a)

Die deutsche Firma *Mathogro GmbH* (D-02785 Olbersdorf, Nähe Dresden) bietet ebenfalls Erosionsschutz- und Begrünungsmatten aus den Faserrohstoffen Stroh- und Kokosfasern an. Für unterschiedliche Grade der Erosionsgefährdung kommen wiederum unterschiedliche Fasermischungen zum Einsatz [Mathogro 2002]:

- 4# geringe Gefährdung: 100% Stroh.
- 4# mittlere Gefährdung: 50% Stroh+50%Kokosfasern.
- 4# starke Gefährdung: 100% Kokosfasern.

(5) Begrünungsmatten der Firma Hy-TEX Ltd (UK) (s. Abb. 3.4.5-5b)

Die englische Firma *Hy-TEX Ltd* (UK-Ashford, Kent) bietet ebenfalls biologisch abbaubare Erosionsschutz- und Begrünungsmatten auf Basis Naturfasern an [Hy-TEX 2002b], wobei allerdings nicht genau angegeben wird, um welche Naturfasern es sich dabei handelt.



**Abb. 3.4.5-5:** Begrünungs- und Erosionsschutzmatten: (a) Matten aus Stroh und Kokosfasern der Fa. Mathogro GmbH (D) [Mathogro 2002]; (b) Matten aus Naturfasermaterial der Fa. Hy-TEX Ltd (UK) [Hy-TEX 2002b].

(6) Begrünungs- & Erosionsschutzmatten der Fa. TUS KO-SI, Slowenien (s. Abb. 3.4.5-6)

Erosionsschutz- und Begrünungsmatten aus Hanf-, Kokos-, Sisal- und Jutefasern werden von der slowenischen Firma *TUS KO-SI d.d.* in Slovenj Gradec hergestellt [TUS 2002].



**Abb. 3.4.5-6:** Erosionsschutz- und Begrünungsmatten aus Hanf-, Kokos-, Sisal- und Jutefasern der slowenischen Firma TUS KO-SI d.d. (SI-2380 Slovenj Gradec) [TUS 2002].

(7) Pflanzplatten und Pflanzmatten der Fa. IGV (D) (s. Abb. 3.4.5-7)

Eine interessante Produktentwicklung stammt von der Firma *Institut für Getreideverarbeitung GmbH (IGV)* in D-14558 Bergholz-Rehrbrücke, die sogenannte ROFA®-Pflanzplatte bzw. ROFA®-Pflanzmatte [IGV 2002; Wahl & Sievert 2002]. ROFA® Werkstoffe werden nach einem patentierten Verfahren aus **Roggen** und **Fasern** sowie mineralischen Zuschlagstoffen hergestellt. ROFA® Materialien lassen sich zu Pflanzplatten und Pflanzmatten, zu Formkörpern und zu Granulaten verarbeiten. ROFA®-Pflanzplatten und -matten eignen sich hervorragend zur Verhinderung von Bodenerosion und als Vegetationshilfe für extreme Standorte. Im Unterschied zu herkömmlichen Geotextilien haben ROFA® -Pflanzplatten und -matten einen erweiterten Wasser- und Nährstoffspeicher [Wahl & Siewert 2002].



**Abb. 3.4.5-7:** ROFA® Pflanzplatten/-matten der Fa. Institut für Getreideverarbeitung GmbH (IGV) in D-14558 Bergholz-Rehrbrücke für Erosionsschutz und Begrünung [IGV 2002].

(8) Rollrasen (s. Abb. 3.4.5-8)

Rollrasen stellen ein weitere Geotextilart dar, bei deren Herstellung Naturfasern Verwendung finden. Ein Hersteller von Rollrasen in Deutschland ist die Firma *Dr. Alex Galabau GmbH* (D-04886 Döbrichsau). Der Rasen wird auf ebenen, steinfreien, sandigen und bewässerungsfähigen Böden kultiviert. Die Anzucht erfolgt nach den Prinzipien des ökologischen, integrierten Anbaus in zweijähriger Fruchtfolge im Wechsel mit Gründüngung und organischer Düngung. Einsatzgebiete für Rollrasen: Sportplätze, Golfplätze, öffentliche Grünanlagen, Hausgärten, Liegewiesen, Böschungen, Deiche, Straßenränder, Rasengleise für Straßenbahnen, Regenrückhaltebecken, Dachgärten, Ausstellungsflächen. Im Vergleich zur Rasenansaat hat Rollrasen folgende Vorteile [Alex 2002]: Rollrasen lässt sich ganzjährig bei frostfreiem Wetter verlegen. Rollrasenflächen sind sofort nach dem Verlegen begehbar. Sportplätze sind 4-6 Wochen nach dem Verlegen strapazierfähig. Unkrautwuchs wird wirkungsvoll unterdrückt. Rollrasen stoppt sofort Wind- und Wassererosion an Böschungen.



**Abb. 3.4.5-8:** Beispiele für Rollrasen: (a) Rollrasen der Fa. Dr. Alex Galabau [Alex 2002]; (b)+(c) Rollrasen der Fa. Augsberger [Augsberger 2002].

Ein österreichischer Hersteller von Rollrasen ist die Fa. *Augsberger* (A-2401 Fischamend). Es werden zwei Rasenarten angeboten: Ein *Hobbyrasen* und ein sogenannter *Patent-Rasen*, der mit einem patentierten Leichtsubstrat produziert wird. Der Augsberger-Rollrasen eignet sich für Liegewiesen, Gärten, Parkanlagen, Dachbegrünung, erosionsgefährdete Böschungen, Golf-, Fußball- und Tennisplätze [Augsberger 2002].

#### (9) Dachbegrünungssysteme (s. Abb. 3.4.5-9)

Nahezu alle Dachkonstruktionen sind für den Aufbau von Dachbegrünungen geeignet. Vorteile einer bepflanzten Dachfläche [Ehlert-Wirtz 2002]:

- 4# bremsst den raschen Abfluss von Wasser durch Speicherung des Niederschlages.
- 4# schützt die Dachhaut vor UV-Strahlung und rascher Alterung.
- 4# senkt die Heizkosten durch Wärmedämmung.
- 4# verbessert Luft-, Temperatur- und Staubverhältnisse (Feuchtigkeitsregulierung, Staubbindung, Sauerstoffproduktion).
- 4# schafft neuen Lebensraum für Pflanzen- & Tierwelt.
- 4# bringt Farbe und Leben in die graue, bebaute Umwelt.

Abb. 3.4.5-9 zeigt den grundsätzlichen Aufbau einer Dachbegrünung [Ehlert-Wirtz 2002; Behrens 2002]: (1) wasserfeste Dachabdichtung. (2) Wurzelschutzbahn, die verhindert, dass es durch die Wurzeln der Pflanzen zu einer Schädigung der Dachabdichtung kommt. (3) Drain- und Wasserspeichermatte. (4) Filtervlies gegen einer Verschlämzung der Wasserspeichermatte. (5) Vegetationsmatte.

Die Fa. *Behrens GmbH* (D-59229 Ahlen) beispielsweise bietet für Flachdächer bzw. für Dachneigungen bis zu 10° vorkultivierte Vegetationsmatten an, d.h. dass auf einem Vlies (z.B. aus Kokosfasern) Sedumarten, Moose, Kräuter und Gräser etwa ein Jahr lang gesät, beregnet, genährt und gepflegt werden, bevor sie zur Verlegung ausgeliefert werden. Die Bahnen werden frisch angeliefert und, ähnlich wie bei Fertigrasen, auf der Dachfläche ausgerollt. Das Dach ist nach der Verlegung sofort fertig begrünt. Als Speicher-, Drainage- und Vegetationsschicht dient eine spezielle Mineralwollmatte, die bis zu 80% ihres Volumens an Wasser speichern kann. Somit beträgt der gesamte Begrünungsaufbau nur etwa 5 cm bei einem Gewicht von ca. 40 kg im wassergesättigten Zustand. Der Begrünungsaufbau ist voll recyclingfähig. [Behrens 2002].

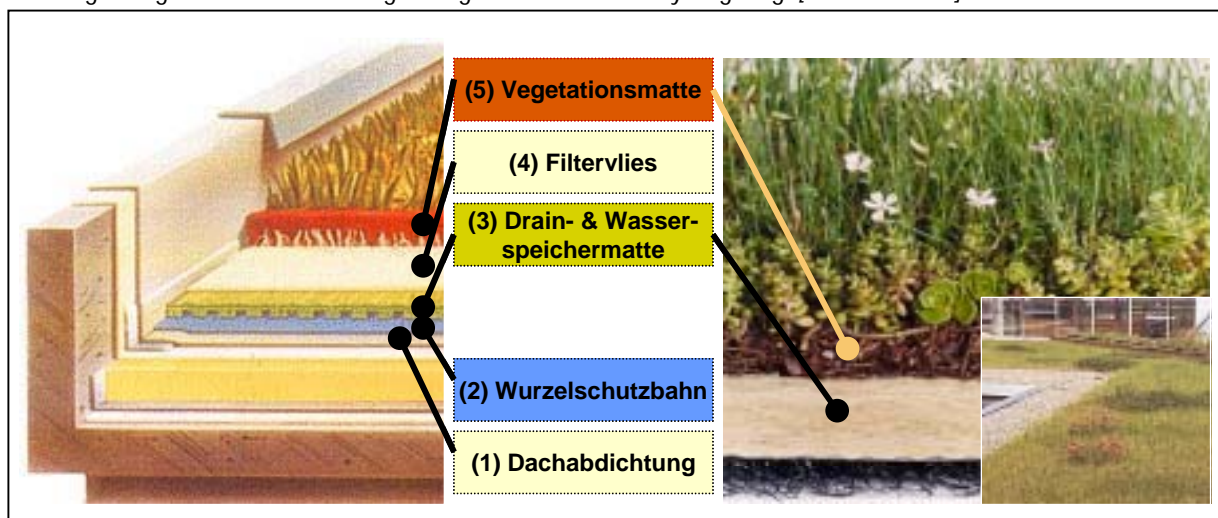


Abb. 3.4.5-9: Aufbau einer Dachbegrünung [Ehlert-Wirtz 2002]. Als Vegetationsmatte ist beispielsweise eine Kokosfasermatte einsetzbar, auf der Sedumarten, Moose, Kräuter und Gräser etwa ein Jahr lang gesät, beregnet und gepflegt werden, bevor sie zur Verlegung ausgeliefert werden [Behrens 2002].

### 3.4.6. Schlussfolgerung

Betrachtet man die in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Materialien für den Garten- und Landschaftsbau, die als wesentliche Rohstoffkomponente jeweils Naturfasern enthalten - teilweise sogar explizit Gras bzw. Heu – dann erscheint es durchaus machbar, den in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Graspresskuchen als Rohstoff für diverse Materialien im Garten- und Landschaftsbau zu verwenden, z.B. für

- 4# Begrünungs- und Erosionsschutzmatten (Geotextilien),
- 4# Mulchabdeckungen (Matten und Vliese),
- 4# Torfersatz, Erdmischungen, Bodenverbesserer,
- 4# Anzucht- & Kulturgefäße für Pflanzen (z.B. Schalen, Töpfe, Container)

Allerdings wäre vor einer Realisierung dieser Idee eine eingehende Technologie- sowie Wirtschaftlichkeitsanalyse durchzuführen.

## 3.5. Weitere Verwertungsmöglichkeiten für Grasfasern

Im folgenden werden kurz noch einige weitere grundsätzlich denkbare Verwertungsmöglichkeiten für den in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Graspresskuchen angesprochen:

### 3.5.1. Bioenergie (Brennstoffpellets)

Der in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Graspresskuchen könnte grundsätzlich zu Brennstoffpellets verpresst werden. Durch Pelletierung von pflanzlichem Material ist ein Höchstmaß an Homogenität bei den physikalischen Merkmalen erreichbar. Wesentliche Vorteile dieser Aufbereitungsarten sind die hohe Energiedichte und die günstigen Fließ- und Dosiereigenschaften [Biomasse-Info-Net 2002a].

Tab. 3.5.1-1 gibt einen Überblick über das Ascheschmelzverhalten einiger grasähnlicher Festbrennstoffe. In Folgearbeiten sollte eine Überprüfung der Eignung von Pellets aus *abgepresster* Grassilage als Festbrennstoff durchgeführt werden. Es ist sehr wahrscheinlich, dass Pellets aus *abgepresstem* Gras andere feuerungstechnische Eigenschaften aufweisen als Pellets aus gewöhnlichem Wiesengras. (Heizwert, Aschegehalt, Ascheschmelzpunkt). Dies deshalb, weil im Zuge des Abpressprozesses die wasserlöslichen anorganischen Bestandteile des Grases in den Presssaft übergehen und dadurch der Aschegehalt des Presskuchens - im Vergleich zu gewöhnlichem Wiesengras – verringert wird.

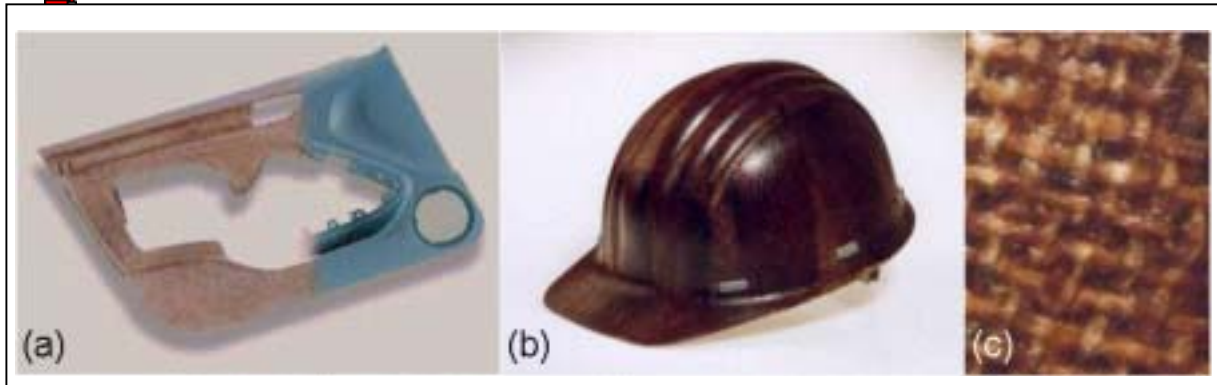
Tab. 3.5.1-1: Ascheschmelzverhalten verschiedener Festbrennstoffe [Biomasse-Info-Net 2002b].

Nr.	Brennstoffart	Sinterbeginn, [°C]	Erweichungspunkt, [°C]	Halbkugelpunkt, [°C]	Fließpunkt, [°C]
1	Wiesenheu und Futtergräser	850	920	1.160	1.210
2	Landschaftspflegeheu	1.020	1.060	1.240	1.240
3	Getreidestroh	930	960	1.170	1.210
4	Pappelholz	1.280	1.340	k.A.	1.480
5	Fichtenholz	1.190	1.430	1.600	1.600
6	Chinaschilf	860	970	1.100	1.170
7	Steinkohle <sup>a</sup>	k.A.	1.140	1.295	1.360

\*) Gasflammkohle

### 3.5.2. Faserverstärkte Verbundwerkstoffe (BioComposites)

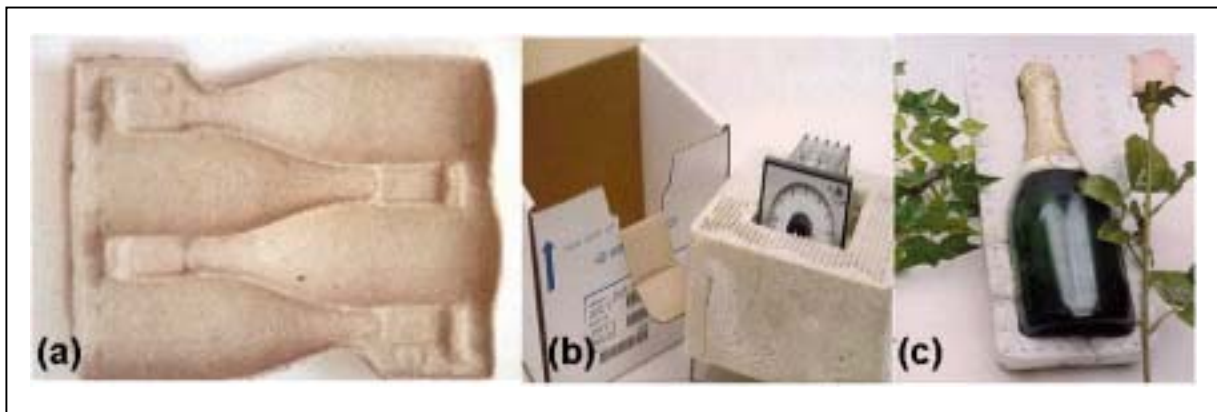
Der in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Graspresskuchen könnte grundsätzlich als Faserkomponente für Verbundwerkstoffe (BioComposites) bzw. Formpressteile Verwendung finden (s. **Abb. 3.5.2-1**). Denkbar sind beispielsweise Pressteile auf Basis Grasfasern für die Automobilindustrie, ev. in Mischung mit anderen Naturfasern, wie Holz, Flachs oder Hanf. In Folgearbeiten sollte diese Verwertungsmöglichkeit für Grasfasern weiter verfolgt werden.



**Abb. 3.5.2-1:** Beispiele für biologisch abbaubare Verbundwerkstoffe (BioComposites) mit Naturfasern als Faserkomponente: (a) Formbare Matte „Isowood“ der Fa. Funder aus Holz-, Flachs- und Hanffasern [WIFI 2002c]; (b+c) Industrieschutzhelm aus BioVerbund [Riedel 1998, 2002].

### 3.5.3. Verpackungsmaterialien

Der in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Graspresskuchen könnte als Rohstoffkomponente für Verpackungsmaterialien verwendet werden, etwa als Rohstoff für im Faserguss gefertigte Formteile (s. **Abb. 3.5.3-1**). In Folgearbeiten sollte diese Verwertungsmöglichkeit für Grasfasern weiter verfolgt werden.



**Abb. 3.5.3-1:** Beispiele für Verpackungsmaterialien aus Naturfasern: (a) Pulpeverpackung (Transportverpackung) aus Altpapier [Transpackaging 2002]. (b-+c) Formteile aus Papierschaum (Transportverpackung) [PSP 2002].



### 3.5.4. Papier & Zellstoff

Weiters könnte der in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Graspesskuchen als Rohstoff für die Papier- und Zellstoffindustrie eingesetzt werden. Auf internationaler Ebene sind zu diesem Themenbereich wieder vermehrt Forschungsanstrengungen zu verzeichnen (s. Tab. 3.5.4-1).

Tab. 3.5.4-1: Aktuelle Forschungsarbeiten zum Thema "Papier und Zellstoff aus Einjahrespflanzen".

Nr.	Jahr	Titel	Ref.
1	2002	Nonwood plant fiber uses in papermaking	[Hurter 2002a,b]
2	2002	Einjahrespflanzen als Faserlieferanten (für Papier- und Zellstoffproduktion)	[Gruber 2002a]
3	2001	Non-wood plants as raw material for pulp and paper	[Sajonkari-Pahkala 2001]
4	1998	Non-wood fibre and global fibre supply	[Pande 1998]
5	1996	Non-wood plant fibers as alternative fiber sources for papermaking	[Paper Task Force 1996]
6	1960	Zellstoff- und Papierherstellung aus Einjahrespflanzen	[Wurz 1960]

### 3.5.5. Zuschlagstoff für diverse Bauprodukte

Der in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Graspesskuchen könnte als Faserkomponente in verschiedenen Bauprodukten Verwendung finden (s. Abb. 3.5.5-1), z.B.

- 4# Ziegel, Baukeramiken: Funktionen von Grasfasern in dieser Anwendung: Verbesserung der Porenstruktur des Ziegels (=>Wärmedämmeigenschaften des Ziegel). Verbesserung des Extrusionsverhaltens (Rheologie, Viskosität). Stabilisierung der Form des sogenannten „Grünlings“ nach der Extrusion aber vor dem Brennen. Verbesserung des Trockenrissverhaltens des Ziegels während des Trocknungsvorgangs (Reduktion der Trocknungszeit).
- 4# Putze & Mörtel: Funktion der Grasfasern: Verhinderung der Rissbildung, Verzögerung des Abbindevorgangs, Verbesserung des Fließverhaltens (Rheologie, Viskosität).
- 4# Spachtelmassen, Fliesenkleber, Estriche: Funktion von Grasfasern: Verbesserung des Fließverhaltens (Thixotropie, Viskosität).
- 4# Faserzement, Faserbeton:

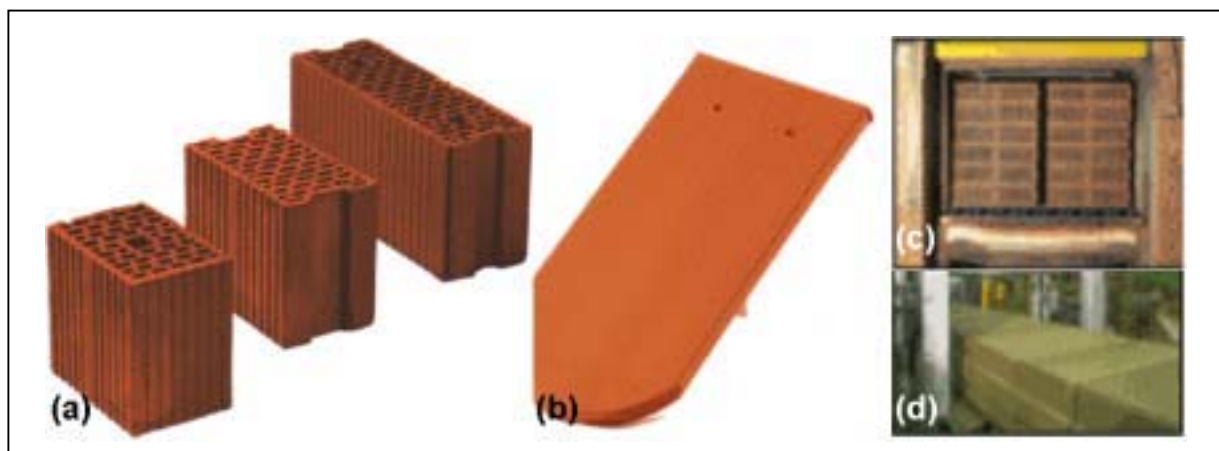
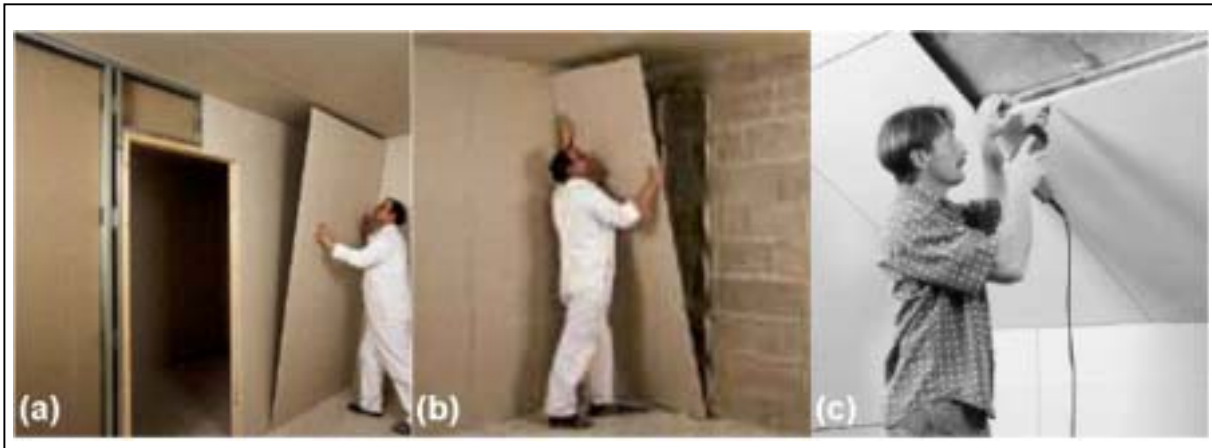


Abb. 3.5.5-1: Beispiele für Baustoffe mit Naturfasern als Hilfsstoff beim entsprechenden Herstellprozess:  
 (a) Hochlochziegel für Außen- & Innenwände [Ziegel 2002a]; (b) Dachziegel (Biber / Tasche) [Ziegel 2002b]; (c) Verfahrensschritt Brennen (Ofen) in einem Ziegelwerk [Brenner 2002]; (d) Verfahrensschritt Strangabschneiden in einem Ziegelwerk [Brenner 2002].

### 3.5.6. Gipsfaserplatten

Der in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Graspresskuchen könnte als Faserkomponente in Gipsfaserplatten Verwendung finden (s. **Abb. 3.5.6-1**). Funktionen der Naturfasern in Gipsbaustoffen [Gips 1995]: Abbindeverzögerung, Rissverhinderung etc.



**Abb. 3.5.6-1:** Beispiele für Anwendungen von Gipsfaserplatten: (a) Trennwand aus Gipsfaserplatten [RIGIPS 2002a]. (b) Trockenputz aus Gipsfaserplatten [RIGIPS 2002a]. (c) Abgehängte Decken aus Gipsfaserplatten [Knauf 2002].

### 3.5.7. Schlussfolgerung

Aus den vorangegangenen Abschnitten ergibt sich, dass der in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Graspresskuchen durchaus als Rohstoff für folgende Produktgruppen verwendbar scheint:

- 4# Bioenergie / Brennstoffpellets
- 4# faserverstärkte Verbundwerkstoffe (BioComposites)
- 4# Verpackungsmaterialien (z.B. Formteile, Faserguss, Papierschaum, ...)
- 4# Rohstoff für Papier- & Zellstoffindustrie
- 4# Zuschlagstoff in diversen Bauprodukten (Ziegel, Baukeramiken, Putze, Mörtel, Estriche, Spachtelmassen, Fliesenkleber, Faserzement, Faserbeton)
- 4# Gipsfaserplatten.

Allerdings wäre vor einer Realisierung dieser Idee eine eingehende Technologie- sowie Wirtschaftlichkeitsanalyse durchzuführen.

### 3.6. Referenzen, Verwendete Quellen

2B-AG (2002):

**Einblasdämmstoff aus Grasfasern;**

Homepage der schweizerischen Fa. 2B-AG; <http://www.2bio.ch/docsde/pr/fibres.html>

Academie de Lyon (2002):

**Cultures hors-sol;**

Homepage der Academie de Lyon ; [http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/ress/cultures/cul\\_sol.html](http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/ress/cultures/cul_sol.html)

Agrarverlag (2002):

**TORESA® - Ein Substrat mit Zukunft (Torfersatz aus Holzfasern);**

Fachartikel auf der Homepage des Österreichischen Agrarverlags; <http://www.agrarverlag.at/gaertner-und-florist/0730027.html>

Albrecht, Wilhelm; Fuchs, Hilmar, Kittelmann, Walter (Hsgr) (2000):

**Vliesstoffe – Rohstoffe, Herstellung, Anwendung, Eigenschaften, Prüfung**

Weinheim, Wiley-VCH, 2000, ISBN: 3-527-29535-6.

Alex (2002):

**Rollrasen aus Döbrichsau/Sachsen: Rollrasen – Ein Qualitätsprodukt mit Vorteilen;**

Homepage der Fa. Dr. Alex Galabau GmbH; [www.dr-alex-rollrasen.de](http://www.dr-alex-rollrasen.de)

Aquasol (2002):

**GREENFIELDS®-Fasermatten Type „SK-50-J2“ (50% Stroh+50% Kokos) und Type „K-100-J2“ (100% Kokos);** Homepage der Fa. Aquasol Handels GmbH; [www.aquasol.at/sk50.html](http://www.aquasol.at/sk50.html) bzw. [www.aquasol.at/k100.html](http://www.aquasol.at/k100.html)

Atkin, Danny E. et al. (2001) :

**Enzyme-retting of flax and characterization of processed fibers;**

Journal of Biotechnology 89 (2001) ; pp. 193-203

Augsberger (2002):

**Warum Rollrasen?**

Homepage der Fa. Augsberger Rasen; <http://www.augsberger.com/rasen/warumrollrasen.htm>

Bambus (2002):

**Mechanischen Eigenschaften von Bambus;**

Website der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule; <http://bambus.rwth-aachen.de/de/Referate/mecheigBambus/referat.html>

Barbu, Marius (2002):

**Entwicklung und Perspektiven der Holzwerkstoffe mit Schwerpunkt MDF-Platte;**

Universität für Bodenkultur, Institut für Holzforschung; Vorlesungsskriptum Sommersemester 2002.  
(Anm. Herr Barbu kommt von MDF-Hallein)

Bayerischer Landesverband für Gartenbau und Landespflege (2002):

**Torfersatz im Garten;**

Merkblatt des Bayerischen Landesverbandes für Gartenbau und Landespflege e.V., München,  
[http://www.gartenbauvereine.org/texte/merkinfo/m\\_torfersatz.html](http://www.gartenbauvereine.org/texte/merkinfo/m_torfersatz.html)

Behrens (2002):

**Begrünung von Flach- und Steildächern;**

Homepage der Fa. Behrens GmbH & Co K – Die Dachdeckermeister; [www.behrenshahen.de/begrueung.html](http://www.behrenshahen.de/begrueung.html)

Beitz, E. (1998):

**Baumschuljungpflanzen im HUMULUS-Pflanztopf;**

Gartenbau-Report 4, S.14; Anm. Zitiert in Schönfeld (2002): S.51.

BioComposites Center (2002):

**Research Area “Panel Products”: MDF-Pilot Plant, particle board production, resins & additives,...;**

Website BioComposites Centre, Bangor, Wales;  
[www.bc.bangor.ac.uk/03\\_research/research2\\_panels.htm](http://www.bc.bangor.ac.uk/03_research/research2_panels.htm)

Biomasse-Info-Net (2002a):

**Nachertverfahren für Holz und Halmgut zur Aufbereitung als Festbrennstoff (z.B. Ballenauflösung, Zerkleinerung, Sieben & Sortieren, Pelletieren, Brikettieren etc.);**

Homepage Biomasse-Info-Net; [www.biomasse-info.net/Energie\\_aus\\_Biomasse/bereitst.htm](http://www.biomasse-info.net/Energie_aus_Biomasse/bereitst.htm)

Biomasse-Info-Net (2002b):

**Energierrelevante Merkmale biogener Rohstoffe (z.B. Heizwert und Ascheschmelzverhalten von Wiesenheu, Futtergräsern, Landschaftspflegeheu, Getreidestroh etc.);** Homepage Biomasse-Info-Net; [www.biomasse-info.net/Energie\\_aus\\_Biomasse/bereitst.htm](http://www.biomasse-info.net/Energie_aus_Biomasse/bereitst.htm)

Blieninger (2002a):

**TORBO®-Holzfaser;**

Homepage der Fa. Blieninger Holzspäne GmbH, D-84137 Vilsbiburg;  
[www.blieninger.de/system/felder/gartenprodukte/torbo/torbo\\_allg.htm](http://www.blieninger.de/system/felder/gartenprodukte/torbo/torbo_allg.htm)

Blieninger (2002b):

**TERRAFIT®-Aktivmulch für Gemüse, Beeren, Blumen und Stauden;**

Homepage der Fa. Blieninger Holzspäne GmbH, D-84137 Vilsbiburg;  
<http://www.blieninger.de/system/felder/gartenprodukte/terrafit/terrafit.htm>

Brandstätter, Manfred (2002):

**Grasfasern – Ein potentieller Rohstoff für die Dämmstoff- und Plattenindustrie;**

Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben, Institut für Verfahrenstechnik des Industriellen Umweltschutzes, November 2002.

Brenner (2002):

**Die Entstehung eines Ziegels;**

Website Ziegelwerk Brenner; <http://www.brenner.at/produktion.htm>

Brinkman (2002):

**Cocopot® - Biologisch afbreekbare pot met (teelt)mogelijkheden;**

Homepage der niederländischen Firma Brinkman, <http://www.brinkman.com/nieuws/voorop/nr65mrt01/2.html>

Bundesverband Umweltberatung (2002):

**Welche Vor- und Nachteile haben verschiedene Dämmmaterialien;**

Homepage des Bundesverbandes der Umweltberatung e.V.; [www.umweltberatung.org](http://www.umweltberatung.org)

CARMEN (2002):

**Beispielprojekt Flachsfaservliese - Kresse, Gemüse und Landschaftsbau auf und mit Flachsfaservlies;**

Homepage C.A.R.M.E.N e.V. Centrales Agrar- Rohstoff- Marketing- und Entwicklungs- Netzwerk e.V.;  
<http://www.carmen-ev.de/deutsch/projekte/kresse>

CMA (2000):

**Dämmstoffe aus der heimischen Natur;**

Broschüre der CMA – Centrale Marketing-Gesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft mbH, D-53133 Bonn, Bestell-Nr. 4497, 48 Seiten.

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

**MDF – Mitteldichte Faserplatten;;**

Leinfelden-Echterdingen, DRW-Verlag (1996).

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

**Taschenbuch der Spanplattentechnik;**

4. überarbeitete Auflage Leinfelden-Echterdingen, DRW-Verlag (2000).

Dippon, Klaus (1999):

**Geotextilien aus Naturfasern für die Renaturierung von Gewässern am Beipsile Japan;**

Seminar „Geo- und Agrartextilien aus Hanffasern“, Bremen, 27.10.1999; [www.nova-institut.de/nr/vortraege/vortrag-dippon.htm](http://www.nova-institut.de/nr/vortraege/vortrag-dippon.htm)

Dolezal, Franz (1997):

**Vergleich naturnaher Dämmstoffe unter Berücksichtigung ökologischer Bewertungsmethoden und Bewertungskriterien**

Dreyer, Jens et al (2002):

**A new sustainable process for the production of innovative technical materials and textiles by biotechnological modification of natural fibre – Screening and cultivation of Pectin degrading bacteria**

- and enzyme production;**  
Poster auf Website des Naturfaserprojekts;  
[www.naturfaserprojekt.de/site/index.php?menue=vortraege&site=vortraege#](http://www.naturfaserprojekt.de/site/index.php?menue=vortraege&site=vortraege#)
- Dreyer, Jens; Müssig, Jörg (2000):  
**New horizons in natural fibre production: Retting hemp and nettle with enzymes;**  
In: 3<sup>rd</sup> International Symposium "Bioresource Hemp & other Fibre Crops"; Wolfsurg, 13.-16.9.2000;  
[www.nova-institut.de/bioresource-hemp/vortraege/dreyermuessig.htm](http://www.nova-institut.de/bioresource-hemp/vortraege/dreyermuessig.htm)
- Dunky, Manfred (2002):  
**Span- und Faserplatten;**  
Universität für Bodenkultur, Institut für Holzforschung; Vorlesungsskriptum Sommersemester 2002.)  
(Anm.: Herr Dunky kommt von Fa. Dynea, Krems, Hersteller von Harzen für Plattenindustrie)
- Ebeling, Volker; Thole, Volker (2002):  
**Eignung pflanzlicher Biomasse für die Fasergewinnung und Herstellung von MDF-Platten;**  
Vortrag auf NAROSSA 2002, 8. Internationaler Kongress für Nachwachsende Rohstoffe und Pflanzenbiotechnologie, Magdeburg, 10.-11.6.2002
- Ehlert-Wirtz (2002):  
**Dachbegrünung – Grüne Dächer sind kein Modegag;**  
Homepage der Firma Ehlert-Wirtz Gartentechnik; [www.ehlert-wirtz.de/firmen/ewg/dgb.htm](http://www.ehlert-wirtz.de/firmen/ewg/dgb.htm)
- Endres, Hans-Josef (2001):  
**Ermittlung charakteristischer Faser- und Partikeleigenschaften anhand der Prüfung von Werkstoffverbunden;**  
Vortrag auf Tagung „Auf einen Grünen Zweig kommen“, Ökopark Hartberg, 29.-30.11.2001.  
[http://www.asem-focalpoint-cp.org/hartberg/pdfs/Endres\\_praes\\_gesamt\\_grn.pdf](http://www.asem-focalpoint-cp.org/hartberg/pdfs/Endres_praes_gesamt_grn.pdf)  
(Anm.: Prof. Endres kommt von FH-Hannover, Fachbereich Bioverfahrenstechnik; <http://www.fh-hannover.de/bv/professoren.htm>)
- Espuna, Meriam (2000):  
**Les nouveaux substrats de culture – les producteurs de HORS SOL a preferer les fibres de noix de coco;**  
jeunes agriculteurs No 546, Janvier 2000
- EU-Life-Seegras (2002):  
**Seegras ein Naturprodukt der Wärmedämmung;**  
Homepage des EU-Life Projekts „Entworgung und Verwertung von Seegras und Algen“; [www.life-seegras.de](http://www.life-seegras.de)
- Fattinger (2001):  
**NATÜRLICH Gartenfaser;**  
Homepage der Fa. Fattinger Naturprodukte GmbH; [www.fattinger.net/produkt\\_natuerlich.htm](http://www.fattinger.net/produkt_natuerlich.htm) ; 23.7.2001
- Fattinger (2002):  
**Faserprodukte für Bodenverbesserung und Mulchen („Natürlich Gartenfaser), Blumenerden für Balkon- Zimmer und Kübelpflanzen („Natürlich Blütenpracht“) sowie Pflanzerden für Pflanzungen im Boden und in Trögen („Natürlich Gartenpracht“) auf Basis von BIOFASER® von Funder;**  
Prospekt der Fa. Fattinger Naturprodukte GmbH, 2002
- FBAW (2002):  
**Einsatz biologisch abbaubarer Werkstoffe im Gartenbau;**  
Homepage der Forschungsgemeinschaft biologisch abbaubarer Werkstoffe e.V. (FBAW), Hannover;  
<http://fbaw.itg.uni-hannover.de/wirueber.htm>
- FEX (2002):  
**Produkte aus Stroh (Einstreu für Pferde, Rohfaserfutter für Schweine, Öl- und Geruchsbindemittel, Mittel zur Algenbekämpfung in Schwimmteichen, Kompoststarter, Dämmstoffe);**  
ECODESIGN-Beispielsammlung der Wirtschaftskammer Österreich; [www.ecodesign-beispiele.at/data/art/18\\_5.php](http://www.ecodesign-beispiele.at/data/art/18_5.php)
- Fiber Futures (2002):  
**Straw: The world's second largest source of fibrous biomass;**  
[www.fiberfutures.org/straw/main.html](http://www.fiberfutures.org/straw/main.html)

FIBRE (2002):

**Nachhaltige Produktion hochwertiger Naturfasern (Enzymatischer Faseraufschluss);**

Website „Naturfaserprojekt“: [www.naturfaserprojekt.de/site/index.php?menue=vortraege&site=vortraege#](http://www.naturfaserprojekt.de/site/index.php?menue=vortraege&site=vortraege#)

Flachshaus (2002):

**Produktinformation über Flachsdämmstoffe;**

Homepage der Fa. Flachshaus GmbH; [www.flachshaus.de](http://www.flachshaus.de)

Floragrad (2002a):

**Sorgsamer Einsatz der kostbaren Torfs;**

Homepage der Fa. Floragrad; [http://www.floragard.de/zumthema/sorgsamer\\_einsatz.html](http://www.floragard.de/zumthema/sorgsamer_einsatz.html)

Floragard (2002b):

**Floragard Erdensortiment;**

Homepage der Fa. Floragard; [http://www.floragard.de/profi/erdensortiment/index\\_main.html](http://www.floragard.de/profi/erdensortiment/index_main.html)

Geofelt (2002a):

**Alles über Geofelt – Erosionsschutz- und Begrünungsmatten;**

Prospekt der Fa. Geofelt GmbH, A-4020 Linz, Rainerstraße 14

Geofelt (2002b):

**Datenblatt zu GREENFIELDS® Erosionsschutz- und Begrünungsmatten;**

Homepage der Fa. Geofelt GmbH; <http://www.geofelt.com/deutsch/datenblatt.html>

Gips (1995):

**Gips-Datenbuch;**

Bundesverband der Gips- und Gipsbauplattenindustrie e.V., D-64295 Darmstadt, 70 Seiten.

<http://www.gipsindustrie.de/baustoffverband/schriften.htm>

Greenfix (2002a):

**MULCHMAT providing mulching, moisture control, non-chemical weed control. soil erosion protection and soil temperature balance in one single operation;**

Homepage of Greenfix (UK); [www.greenfix.co.uk/mulchx.html](http://www.greenfix.co.uk/mulchx.html)

Greenfix (2002b):

**COVAMAT providing cost effective erosion control and plant establishment;**

Homepage of Greenfix (UK); <http://www.greenfix.co.uk/covamat.html>

Groot, Linda (1998):

**Einsatzprüfung und –optimierung von biologisch abbaubaren Kulturgefäßen am Beispiel von Beet- und Balkonpflanzen;**

Universität Hannover – Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft (ITG), Reihe

Gartenbautechnische Informationen Nr. 43, 163 Seiten; ISBN: 3-926203-17-X.

Groot, Linda et al. (2000):

**Biologisch abbaubare Werkstoffe im Gartenbau;**

Schriften des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) Nr. 386, Darmstadt, Landwirtschaftsverlag Münster, ISBN: 3-7843-2111-9.

Gruber, Erich (2002a):

**Einjahrespflanzen als Faserlieferanten;**

Vorlesungsskriptum Technischen Hochschule Darmstadt, Dez 2002; [http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen\\_und\\_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem\\_Tech\\_Zel\\_Pap/PDF/Texte/Ei\\_njahrespflanzen.pdf](http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen_und_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem_Tech_Zel_Pap/PDF/Texte/Ei_njahrespflanzen.pdf)

Gruber, Erich (2002b):

**Pflanzenfasern (Kurzfasern aus Stängeln und Halmen von Einjahrespflanzen, Getreidestroh, Chinagrass, Baumwolle, Kapok, Akon, Esparto, Mauritiushanf, Henequen, Kokos, Flachs, Hanf, Jute, Gambo, Javajute, Kenaf, Rosella, Abaca, Sisal)**

Vorlesungsskriptum Technischen Hochschule Darmstadt, Dez 2002; [http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Vorlesungstexte\\_slides/nachwachsende\\_Rohstoffe/pdf/07\\_pflanzenfasern.pdf](http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Vorlesungstexte_slides/nachwachsende_Rohstoffe/pdf/07_pflanzenfasern.pdf)

Gruber, Erich (2002c):

**Faserquellen für Papier;**

Vorlesungsskriptum Technischen Hochschule Darmstadt, Dez 2002; <http://www.cellulose-papier.chemie.tu->

[darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen\\_und\\_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem\\_Techn\\_Zel\\_Pap/PDF/Texte/Faserquellen.pdf](http://www.darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen_und_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem_Techn_Zel_Pap/PDF/Texte/Faserquellen.pdf)

Gruber, Erich (2002d):

**Gewinnung von Faserstoffen aus Holz;**

Vorlesungsskriptum Technischen Hochschule Darmstadt, Dez 2002; [http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen\\_und\\_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem\\_Techn\\_Zel\\_Pap/PDF/Texte/Gewinnung\\_von\\_Faserstoffen.pdf](http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen_und_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem_Techn_Zel_Pap/PDF/Texte/Gewinnung_von_Faserstoffen.pdf)

Gruber, Erich (2002e):

**Zellstoffaufschluss nach dem Sulfit-Verfahren;**

Vorlesungsskriptum Technischen Hochschule Darmstadt, Dez 2002; [http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen\\_und\\_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem\\_Techn\\_Zel\\_Pap/PDF/Texte/Sulfitaufschluss.pdf](http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen_und_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem_Techn_Zel_Pap/PDF/Texte/Sulfitaufschluss.pdf)

Gruber, Erich (2002f):

**Zellstoffaufschluss nach dem Kraft- (Sulfat)-Verfahren;**

Vorlesungsskriptum Technischen Hochschule Darmstadt, Dez 2002; [http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen\\_und\\_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem\\_Techn\\_Zel\\_Pap/PDF/Texte/Kraftaufschluss.pdf](http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen_und_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem_Techn_Zel_Pap/PDF/Texte/Kraftaufschluss.pdf)

Gruber, Erich (2002g):

**Alternative Zellstoffaufschlussverfahren;**

Vorlesungsskriptum Technischen Hochschule Darmstadt, Dez 2002; [http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen\\_und\\_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem\\_Techn\\_Zel\\_Pap/PDF/Texte/Alternative\\_Aufschlussverf.pdf](http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen_und_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem_Techn_Zel_Pap/PDF/Texte/Alternative_Aufschlussverf.pdf)

Gruber, Erich (2002h):

**Mechanische Faserstoff-Gewinnung;**

Vorlesungsskriptum Technischen Hochschule Darmstadt, Dez 2002; [http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen\\_und\\_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem\\_Techn\\_Zel\\_Pap/PDF/Texte/Mechanische\\_Faserstoffgewinnung.pdf](http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen_und_Veranstaltungen/Vorlesungen/Chem_Techn_Zel_Pap/PDF/Texte/Mechanische_Faserstoffgewinnung.pdf)

Grünfix (2002a):

**Mulchmatten „Bio“ und „Standard“, bestehend aus Kokosfasern, Mulchfolien aus Stärke bzw. PE und einem Netz aus PP;** Homepage der Fa. MST Dränbedarf GmbH, D-27239 Twistringen; [www.mst-werke.com/gruenfix/mulchmatten-prod.shtml](http://www.mst-werke.com/gruenfix/mulchmatten-prod.shtml)

Grünfix (2002b):

**Erosionsschutzmatten mit und ohne Saatgut aus Stroh/Heu und Kokosfasern für leicht, mittelmäßig und schwer gefährdete Flächen;** Homepage der Fa. MST Dränbedarf GmbH, D-27239 Twistringen; [www.mst-werke.com/gruenfix/erosionsschutz.shtml](http://www.mst-werke.com/gruenfix/erosionsschutz.shtml)

Grünfix (2002c):

**Herstellung von Maschinen zur Verarbeitung von Naturfasern – Anlagen zur Herstellung von Erosionsschutzmatten, Mulchmatten etc.;**

Homepage der Fa. MST-Maschinenbau GmbH, D-27239 Twistringen; [www.mst-werke.com/maschinenbau/](http://www.mst-werke.com/maschinenbau/)

Grünfix (2002d):

**Produktionslinie Typ „EMA“ zur Herstellung von Erosionsschutzmatten;**

Homepage der Fa. MST-Maschinenbau GmbH, D-27239 Twistringen; [www.mst-werke.com/maschinenbau/ema2400.html/](http://www.mst-werke.com/maschinenbau/ema2400.html/)

Han, James (1998):

**Properties of Nonwood Fibers;**

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

Hasse, Cornelia et al. (2002):

**Neues nachhaltiges Produktionsverfahren zur Herstellung innovativer Materialien mittels biotechnologischer Modifikation von Naturfasern;**

Website „Naturfaserprojekt“; [www.naturfaserprojekt.de/site/index.php?menue=vortraege&site=vortraege#](http://www.naturfaserprojekt.de/site/index.php?menue=vortraege&site=vortraege#)

Häusle (2002):

**“Bella Terra“ Erden in Stichworten;**

Homepage der Fa. Häusle; [www.haeusle.at/Dienstleistungen/Terra\\_Bella/index.htm](http://www.haeusle.at/Dienstleistungen/Terra_Bella/index.htm)

Helbig, Reinhard; Arnold, Rolf; Hufnagl, Evelin; Bartl, Anna-Maria (2002)

**Verarbeitung und Einsatz von nichtverspinnbarer Schafwolle & Bergwiesenheu für das ökol. Bauen;**  
Proceed. NAROSSA 2002 – 8. Internationaler Kongress für nachwachsende Rohstoffe und Pflanzenbiotechnologie, Magdeburg, 10.11.6.2002; CD-ROM-Kapitel Werkstoffe, 13 Seiten, Anm.: Autoren stammen vom Sächsischen Textilforschungsinstitut (STFI) in Chemnitz.

Heraklith (2001a):

**Information package for sheep wool and flax fibre thermal insulation products;**  
Heraklith Consulting & Engineering GmbH, A-Fürnitz, 2001.

Heraklith (2001b):

**Information package for wood wool building and insulation boards (“Heraklith-Platte”);**  
Heraklith Consulting & Engineering GmbH, A-Fürnitz, 2001.

Hersener, J.-L.; Keller, A. (2000):

**Einblasdämmstoff aus Faserhanf und Grasfasern;**  
Jahresbericht 2000 über ein gleichnamiges Projekt im Auftrag des schweizerischen Bundesamtes für Energie BFE; [www.empa.ch/DEUTSCH/zentren/zen/ren/Projekte\\_Umwelt/...](http://www.empa.ch/DEUTSCH/zentren/zen/ren/Projekte_Umwelt/)

Hersener, J.-L.; Keller, A. (2001):

**Einblasdämmstoff aus Faserhanf und Grasfasern;**  
Jahresbericht 2001 über ein gleichnamiges Projekt im Auftrag des schweizerischen Bundesamtes für Energie BFE; [www.empa-ren.ch/ren/Projekte\\_Umwelt/Pdf%20Umwlt/Faserhanf\\_JB2001.pdf](http://www.empa-ren.ch/ren/Projekte_Umwelt/Pdf%20Umwlt/Faserhanf_JB2001.pdf)

Hersener, Jean-Louis; Keller, Andreas et al. (2002):

**Einblasdämmstoffe aus Faserhanf und Grasfasern im Vergleich zu Altpapierdämmstoffen;**  
Website EMPA, <http://www.empa-ren.ch/Internet-Files/Programm/Aktuelles/aktualitaeten/Status-Seminar/pdf-files%202002/Einblasdaemmstoffe.pdf>

Hors-sol (2002):

**Base de donnees des experimentations legumieres hors-sol;**  
Homepage « Hors-sol site » ; <http://perso.wanadoo.fr/hors.sol>

HPLP (1996):

**Das Hanf-Produktlinien-Projekt – Erarbeitung von Produktlinien auf Basis von einheimischem Hanf aus technischer, ökonomischer und ökologischer Sicht;**  
Studie des nova-Instituts (Hürth / Köln) in Zusammenarbeit mit dem IAF / FH Reutlingen und dem ifeu-Institut Heidelberg, 490 Seiten, 1996.

Hurter, A.M. (1988):

**Utilization of annual plants and agricultural residues for the production of pulp and paper;**  
Proceed. TAPPI Pulping conf. 1988, New Orleans, LA, USA, Book 1, pp.139-160.  
(Zitiert aus Sajjonkari-Pahkala 2001,p.91).

Hurter, A.M. (19##):

**Utilization of annual plants and agricultural residues for the production of pulp and paper;**  
Nonwood Plant fiber Pulping Progress Report #19, TAPPI-Press, pp. 49-70 (Anm.: Zitiert aus Gruber 2002a,S.2].

Hurter, Robert, W. (1997):

**Agricultural Residues (Nonwood Fibers);**  
TAPPI 1997 Nonwood Fibers Short Course. (Zitiert in Gruber 2002a,S.2)

Hurter, Robert, W. (2002a, 1997):

**Nonwood Plant Fiber Uses in Papermaking;**  
In: “Agricultural Residues”, TAPPI 1997 Nonwood Fibers Short Course, updated and expanded Sept 2001; ebsite HurterConsult Incorporated (Consulting Engineers für Nonwood, Wood & Recycleed Fiber Pulp, Paper & Fiberboard Projects); [www.hurterconsult.com/nonwood\\_uses\\_m.htm](http://www.hurterconsult.com/nonwood_uses_m.htm)

Hurter, Robert, W. (2002b, 1997):

**Nonwood Plant Fiber Characterisitics;**  
In: “Agricultural Residues”, TAPPI 1997 Nonwood Fibers Short Course, updated and expanded Aug 2001;



- ebseite HurterConsult Incorporated (Consulting Engineers für Nonwood, Wood & Recycled Fiber Pulp, Paper & Fiberboard Projects); [www.hurterconsult.com/nonwood\\_characteristics\\_m.htm](http://www.hurterconsult.com/nonwood_characteristics_m.htm)*
- Hy-TEX (2002a):*  
**Weed Control Blanket MULCHMAT™**;  
Homepage der englischen Firma Hy-TEX Biodegradable Products;  
[http://freespace.virgin.net/hy.tex/ht\\_bio\\_mm.html](http://freespace.virgin.net/hy.tex/ht_bio_mm.html)
- Hy-TEX (2002b):*  
**Erosion Control Blanket GRASSMAT™**  
(Biologisch abbaubare Naturfasermatte mit eingearbeitetem Saatgut);  
Homepage der englischen Firma Hy-TEX Ltd - Biodegradable Products;  
[http://freespace.virgin.net/hy.tex/ht\\_bio\\_gm.html](http://freespace.virgin.net/hy.tex/ht_bio_gm.html)
- ICT(2002):*  
**Aquasolv – Hydrothermolyse: Aufschluss von Biomassen zur Rohstoffgewinnung;**  
Website des Instituts für Chemische Technologie (ICT) der Fraunhofer Gesellschaft;  
[www.ict.fhg.de/deutsch/projects/production/aquasolve.html](http://www.ict.fhg.de/deutsch/projects/production/aquasolve.html)
- IENICA (2002):*  
**Fibre Corps;**  
Report of Interactive European Network for Industrial Crops and their Applications (IENICA);  
<http://www.ienica.net/reports/BIGFIBRES.pdf>
- IGG (2002):*  
**Fasersubstratmatte „GREENFIELDS® - SM 600“; Fasermatte aus nachwachsenden Rohstoffen;**  
Homepage der Fa. IGG – Internationale Geotextil Gesellschaft, D; <http://www.igg.de/html/body-7.html>
- IGV (2002):*  
**ROFA® Pflanzplatte/Pflanzmatte und Referenzen als Erosionsschutz- und Begrünungsmatte;**  
Homepage von IGV – Institut für Getreideverarbeitung GmbH; [www.igv-gmbh.de/prod/ppp1.htm](http://www.igv-gmbh.de/prod/ppp1.htm) und  
<http://www.igv-gmbh.de/referenz1.htm>
- INARO (2002):*  
**Faseraufbereitungsverfahren;**  
Website Informationssystem Nachwachsende Rohstoffe (INARO ),  
[www.inaro.de/deutsch/rohstoff/industrie/faser/faserauf.htm](http://www.inaro.de/deutsch/rohstoff/industrie/faser/faserauf.htm)
- Informa (2002):*  
**Der Cocopot – Viel mehr als Wurzelverpackung;**  
Homepage In Forma – Zentrum für Hörgeschädigte; [www.informa.org.cocopot.htm](http://www.informa.org.cocopot.htm).
- ISOVER (2002):*  
**Dämmstoff aus Hanf;**  
Homepage der Fa. ISOVER, <http://www.isover.at/news2.asp?idx=26>
- ITG (2002):*  
**Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Gartenbau;**  
Homepage des Instituts für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft (ITG) der Universität Hannover;  
<http://www.itg.uni-hannover.de/forschung/rohstoffe.htm>
- Jedicke, Olaf et al. (1999):*  
**Aquasolv®-Verfahren: Ein Konzept zur ganzheitlichen Verwendung von Biomasse in Verbindung mit „grüner“ Chemie“;**  
Proceed. „2nd Scientific Meeting on Zero Emissions“, Frohnleiten + TU-Graz, 1999.
- Jedicke, Olaf; Eisenreich, N. (2000):*  
**Aquasolv®-Verfahren: Hydrothermales Aufschlussverfahren zur Gewinnung nachwachsender Rohstoffe aus Biomasse;**  
3rd International Symposium Bioresource Hemp & other Fibre Crops; Wolfsburg, 13.-16.9.2000;  
[www.nova-institut.de/bioresource-hemp/vortraege/jedicke1.htm](http://www.nova-institut.de/bioresource-hemp/vortraege/jedicke1.htm)
- Karus, Michael (2000):*  
**Naturfasermärkte weltweit**  
Bioresource Hemp, Wolfsburg, 13.-16.9.2000; Website des Nova-Instituts (Hürth); <http://www.nova->

[institut.de/pdf/karus-3-d.pdf](http://institut.de/pdf/karus-3-d.pdf)

Kaup, M. & Karus, Michael (2001):

**Aktuelle Marktübersicht Naturfasern für technische Textilien in der EU:**

In: Proceed. „Naro.Tech 2001“: 3. Internationales Symposium Werkstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen, Erfurt (D), 5.-6-9.2001, S.63 (Paper 201).

Keller, Andreas (2002):

**Pflanzenfaser-Werkstoffe: Stand der Technik und Entwicklungsmöglichkeiten;**

FAT-Bericht Nr. 575 (FAT=Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon CH-8356 Ettenhausen; [www.sar.admin.ch/fat/d/publi/fb/fatb575d.html](http://www.sar.admin.ch/fat/d/publi/fb/fatb575d.html))

Knauf (2002):

**Abgehängte Decken aus Gipsfaserplatten;**

Website der Fa. Knauf; [www.knauf.at/download.asp?filename=TD-K811.pdf&ID=6061&E5ID=](http://www.knauf.at/download.asp?filename=TD-K811.pdf&ID=6061&E5ID=)

Kohler, Robert und Wedler, M. (1996,2002):

**Kennwerte von Naturfasern;**

Informationssystem nachwachsende Rohstoffe (INARO);

<http://www.inaro.de/Deutsch/ROHSTOFF/industrie/FASER/mechkenn.htm>

Kozłowski, Ryszard (1998):

**Bast fibrous plants as a source of raw material for diversified areas of application;**

In: Proceed. European Conference on Crops for a green Industry; Gmunden, 6.-8.10.1998, pp. 77-90;

<http://webred.lfrz.at/download/dlrohst/CFIE3.PDF>

Kozłowski, Ryszard (2000):

**Green fibres and their potential in diversified applications;**

Proceed. of Seminar held by Food and Agriculture Organization of the UN (FAO) and the Common Fund for Commodities (CFC), Rome, 13.12.2000; [www.fao.org/docrep/004/y1873e/y1873e0b.htm](http://www.fao.org/docrep/004/y1873e/y1873e0b.htm)

Kozłowski, Ryszard (2002a):

**World potential of bast fibrous plants including bast fibres and their diversified directions of usage;**

Proceed. NAROSSA 2002 – 8. Internationaler Kongress für nachwachsende Rohstoffe und

Pflanzenbiotechnologie, Magdeburg, 10.-11.6.2002

Kozłowski, Ryszard (2002b):

**Green fibres and their potential in diversified applications;**

Website FAO; [www.fao.org/docrep/004/y1873e/y1873e0b.htm](http://www.fao.org/docrep/004/y1873e/y1873e0b.htm)

Kranzinger (2002):

**TORESA® - Natürlicher Torfersatz;**

Homepage Erdenwerk Kranzinger, Strasswalchen; [www.kranzinger-erde.at/unternehmen/index.html](http://www.kranzinger-erde.at/unternehmen/index.html)

Kruse, K.; Frühwald, A. (2001):

**Eigenschaften von Nipa- und Kokosfasern sowie Herstellung und Eigenschaften von Span- und MDF-**

**Platten aus Nipa und Kokos;** Arbeitsbericht der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft

Hamburg Nr.2001/03

Lampert, Helmut (1967):

**Faserplatten;**

VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1967 (zitiert in Brandstätter 2002: Ref. 7)

Mathogro (2002):

**Begrünungs-/Erosionsschuttmatten und Uferbefestigungsmatten aus Stroh, Kokosfasern und eingelegtem Rasensamengut;**

Homepage der Fa. Mathogro GmbH; [www.mathogro.de/produkte/erosions\\_begruen.html](http://www.mathogro.de/produkte/erosions_begruen.html)

Meha (2002):

**Informationen zu Hanf- und Flachsdämmstoffen;**

Homepage der Fa. Meha-Dämmstoff GmbH; [www.meha-daemmstoff.de](http://www.meha-daemmstoff.de)

Meyer (2002a):

**TOPLAN-Mulchplatten aus Holzfasermaterial;**

Homepage Fa. Hermann Meyer-Bedarf für Baumschulen und Gartenbau, D; [www.hermann-](http://www.hermann-meyer.de/intershoproot/eCS/Store/de/images/743025)

[meyer.de/intershoproot/eCS/Store/de/images/743025](http://www.hermann-meyer.de/intershoproot/eCS/Store/de/images/743025)

Meyer (2002b):

**Torftöpfe;**

Homepage Fa. Hermann Meyer–Bedarf für Baumschulen und Gartenbau, D; [http://www.hermann-meyer.de/is-bin/INTERSHOP.enfinity/eCS/Store/de/-/EUR/DisplayProductInformation-Start:\\$sid\\$MpwjGxhQAAAWorAsIF3YgpvLpo5VfVCL?ProductID=SEAKEQEzO\\_QAAADrB9XqWcC.#scroll](http://www.hermann-meyer.de/is-bin/INTERSHOP.enfinity/eCS/Store/de/-/EUR/DisplayProductInformation-Start:$sid$MpwjGxhQAAAWorAsIF3YgpvLpo5VfVCL?ProductID=SEAKEQEzO_QAAADrB9XqWcC.#scroll)

Meyer (2002c):

**NAPAC-Pflanztöpfe (aus Chinaschilf und Naturbinder);**

Homepage Fa. Hermann Meyer–Bedarf für Baumschulen und Gartenbau, D [http://www.hermann-meyer.de/is-bin/INTERSHOP.enfinity/eCS/Store/de/-/EUR/DisplayProductInformation-Start:\\$sid\\$MpwjGxhQAAAWorAsIF3YgpvLpo5VfVCL?ProductID=L04KEQEziUQAAADraHbgWcC.#scroll](http://www.hermann-meyer.de/is-bin/INTERSHOP.enfinity/eCS/Store/de/-/EUR/DisplayProductInformation-Start:$sid$MpwjGxhQAAAWorAsIF3YgpvLpo5VfVCL?ProductID=L04KEQEziUQAAADraHbgWcC.#scroll)

Morard, Pilippe; Martinez, Stephane (2001):

**Tomate hors-sol: Un „Progres“ pour le recyclage en culture hors-sol;**

Reussir Fruits & Legumes, No 197 Juin 2001

NAPAC (2002):

**NAPAC-Pflanztöpfe;**

(1) Produktdatenblatt der Fa. NAPAC-AG und (2) Homepage der Fa. NAPAC AG, CH; [www.napac.ch/produkte.htm](http://www.napac.ch/produkte.htm)

NAPAC (2002b):

**“Flockenaufbereitungsanlage” und “Heisspressautomat” für Naturstoffgranulate;**

Prospekte der Fa. NAPAC AG, CH-9215 Schönenberg, Tel. +41.71.644.80.70; Internet: [www.napac.ch](http://www.napac.ch)

Naturfaserprojekt (2002):

**Nachhaltige Produktion hochwertiger Naturfasern - Neues nachhaltiges Produktionsverfahren zur Herstellung innovativer Materialien für technische Anwendungen und Textilien mittels biotechnologischer Modifikation von Naturfasern; Website des gleichnamigen Verbundprojekts;**

[www.naturfaserprojekt.de](http://www.naturfaserprojekt.de)

Nova Institut (1996):

**Das Hanfproduktlinienprojekt (HPLP);**

Hürth/Köln. 1996.

Pande, H. (1998):

**Non-wood fibre and global fibre supply;**

Unasyva 1993, Vol. 49, pp. 44-50

Paper Task Force (1996):

**Non-wood plant fibers as alternative fiber source for papermaking;**

White Paper 13; [http://www.environmentaldefense.org/documents/1634\\_WP13.pdf](http://www.environmentaldefense.org/documents/1634_WP13.pdf)

PSP (2002):

**Papierschaum-Formteile;**

Website der Firma PSP Papierschaum AG, D-28832 Archim; <http://www.psp-ag.de/wasprofd.html>

Richard, Andrew et al. (1998):

**Steam explosion of bagasse for fine paper production;**

Paper presented at TAPPI 1998; <http://www.steamexplosion.com/pulp/tappi98.html>

Riedel, Ulrich (1998):

**Construction materials made of renewable resources – an opportunity?**

In: Proceed. European Conference on Crops for a green Industry; Gmunden, 6.-8.10.1998, pp. 71-76;

<http://webred.lfrz.at/download/dlrohst/CFIE3.PDF>

Riedel, Ulrich (2002):

**Industrieschutzhelm aus BioVerbund;**

Homepage des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt (DLR), Institut für Strukturmechanik, D-38022

Braunschweig; <http://www.sm.bs.dlr.de/strukturtechnologie/Projekte/biohelm/Industrieschutzhelm.html>

RIGIPS (2002a):

**Trennwände aus Gipsfaserplatten;**

Website der Fa. RIGIPS; <http://www.rigips.com/austria/prodsys/partitionsuse.html>

RIGIPS (2002b):

**Trockenputz aus Gipsfaserplatten;**

Website der Fa. RIGIPS; [www.rigips.com/austria/prodsys/liningsuse.html](http://www.rigips.com/austria/prodsys/liningsuse.html)

Romberg (2002a):

**Original Jiffy-Töpfe, Quelltöpfe und Anzuchterde;**

Homepage Fa. Romberg, D; [www.romberg.de/anzucht/anzu\\_jiffy.htm](http://www.romberg.de/anzucht/anzu_jiffy.htm)

Romberg (2002b):

**Was ist Jiffy?;**

Homepage der Fa. Romberg, D; [www.romberg.de/tipps/tipp\\_frag2.htm](http://www.romberg.de/tipps/tipp_frag2.htm)

Rossat (2002):

**GRODAN-Substrat aus Steinwolle – Substrat für Hors-sol-Kulturen;**

Homepage der schweizerischen Firma Rossat S.A.; <http://www.rossat.ch/web/categories.php?catid=39>

Sajjonkari-Pahkala, Katri (2001):

**Non-wood plants as raw material for pulp and paper;**

Academic Dissertation presented at University of Helsinki on Nov. 30, 2001.

<http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/sbiol/vk/sajjonkari-pahkala/>

Schempp, W. (2002):

**Chemische Technologie der Zellstoff- und Papierherstellung;**

Vorlesungsmanuskript TU-Darmstadt, 2002.

Scheneck, Anton (2001):

**Naturfaserlexikon;**

Frankfurt, Deutscher Fachverlag, 200.

Schönfeld, Philipp (2002):

**Abbau statt Abfall – Biocontainer im Test;**

Veitshöchheimer Berichte 63, S.45-51; Anm: Dieses Paper enthält Versuchsergebnisse mit den biologisch abbaubaren Pflanzgefäßen „CocoPot“ der Fa. ContiTech Formpolster GmbH (D-56743 Mendig), „Vitainer“ der Fa. Widmer GmbH&CoKG (D-72120 Pfliezhausen) und „alpa“ der Fa. Dietmar Bosse (D-75446 Wiernsheim-Serres).

Scotts Celaflor (2001):

**Torfreduzierte und torffreie Erden (unter Verwendung der TORESA®-Holzfaser);**

Katalog 2001 der Fa. Scotts Celaflor, S. 15-18.

SioTech (2002):

**SioBond – Fire resistant composite materials from any form of cellulose (e.g wood, paper, flax, hemp, reeds, hay, straw etc.);**

Homepage der Fa. SioTech International GmbH; [www.sicoat.com/siobond.html](http://www.sicoat.com/siobond.html)

Smith, B.; Rolfe, J.; Howard, T.; Hansen, P. (2002):

**The manufacturing process of straw particleboard - An Introduction;**

Washington State University (WSU);

[http://www.wsu.edu:8080/~qmhyde/433\\_web\\_pages/2002webpages/strawboard-page/strawboard.htm](http://www.wsu.edu:8080/~qmhyde/433_web_pages/2002webpages/strawboard-page/strawboard.htm)

Soll Verlag (2001):

**Fasersubstratmatte „GREENFIELDS®“, Flächensanierung- sofortiger Erosionsschutz;**

Homepage der Rolf Soll Verlags GmbH – Beschaffungsdienst Galabau (=Garten- und Landschaftsbau); <http://www.soll.de/gala/galabau.htm>; Anm. Diese Seite ist im Nov. 2002 nicht mehr verfügbar, war es aber im März 2001.

Stake Technologoy (2002):

**Steam Explosion Technology;**

Website der Firma Stake Technology; [www.steamexplosion.com/pulp/tech.html](http://www.steamexplosion.com/pulp/tech.html)

Terracomp (2001a):

**Hors-sol-Matten aus Chinaschilf;**

Homepage der schweizerischen Firma Terracomp Bioerdenwerk AG, CH-4702 Oensingen SO;;

[www.terracom.ch/horssolmatten.htm](http://www.terracom.ch/horssolmatten.htm) (17.7.2001).

Terracomp (2001b):

**Schweizer Bioerde aus Chinaschilf;**

Homepage der schweizerischen Firma Terracomp Bioerdenwerk AG, CH-4702 Oensingen SO;  
[www.terracom.ch/hintergrund.html](http://www.terracom.ch/hintergrund.html) (17.7.2001)

Thole, Volker; Hoffmann, Nicole; Marutzky, Rainer (1998):

**Ganzheitliche Ölpalmenutzung – Basis tropischer MDF-Herstellung;**

Fraunhofer Institut für Holzforschung – Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Braunschweig; WKI-Mitteilung Nr. 715/1998 (= Sonderdruck aus MDF-Magazin 1998 S.77-79).

Thole, Volker (2001):

**Faserplatten aus Palmenresten – Ölpalmenanbau und Palmölgewinnung liefern wertvollen Rohstoff;**

Fraunhofer Institut für Holzforschung – Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Braunschweig; WKI-Mitteilung Nr. 772/2001 (= Sonderdruck aus HK 4/2001, S.90-92).

Thole, Volker (2002):

**Eignung pflanzlicher Biomasse für die Fasergewinnung und Herstellung von MDF-Platten;**

Proceed. NAROSSA 2002 – 8. Internationaler Kongress für nachwachsende Rohstoffe und Pflanzenbiotechnologie, Magdeburg, 10.-11.6.2002; Anm.: Autor stammt vom Fraunhofer Institut für Holzforschung – Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Braunschweig.

Transpackaging (2002):

**Pulpeverpackung aus Altpapier;**

Website Transpackaging; <http://www.transpackaging.at/Produkte/l3/images/m/mPFNF17.jpg>

Trützscher (2002a):

**Ballenöffner (für die Auflösung von Faserballen in Flocken und für Mischung dieser Flocken);**

Prospekt der Fa. Trützscher GmbH & Co KG, D-41199 Mönchengladbad, [www.truetzschler.de](http://www.truetzschler.de)

TUS (2002):

**Matten für Erosionsschutz sowie den Anbau von Pflanzen und Gemüse;**

Homepage der slowenischen Firma TUS KO-SI d.d.; [http://www.tus-kosi.si/nem/ero\\_uvod\\_nem.htm](http://www.tus-kosi.si/nem/ero_uvod_nem.htm)

Umweltberatung (1999):

**Dämmstoffe**, Broschüre von „die Umweltberatung“

Wahl, H. und Siewert, V. (2002):

**Aktuelle Ergebnisse aus Anwendungen von Roggen-Faser-Produkten – ROFA® - als Pflanzsubstrat;**

Proceed. NAROSSA-2002 – 8. internationaler Fachkongress für nachwachsende Rohstoffe und Pflanzenbiotechnologie; Magdeburg, 10.-11.6.2002.

Waldviertler Flachshaus (2001):

**Produkte aus dem Waldviertler Flachshaus (Dämmplatten, Fugendämmstreifen, Granulat, Mulch, Rohrschalen, Stopfwolle, Trittschalldämmung, Wärmewolle)**

Prospekt Waldviertler Flachshaus GmbH, A-3533 Friedersbach, 2001. s. auch:  
[www.waldland.at/flachshaus/flachshaus\\_frame.htm](http://www.waldland.at/flachshaus/flachshaus_frame.htm)

Weber, Christiane (2002):

**Gebrauchsprüfung von biologisch abbaubaren Werkstoffen im Gartenbau am Beispiel Mulchfolien, Flachfolien und Flachsvliesen im Gemüsebau;**

Homepage des Instituts für Technik im Gartenbau der Universität Hannover; <http://www.itg.uni-hannover.de/eng/forschung/projekte/biofolie.htm>

WIFI (2002):

**Blumenerde ohne Torf der Fa. Scotts Cellaflor GmbH (aus TORESA®-Holzfaser);**

Ecodesign-Beispielsammlung Österreich der WIFI-Österreich; [http://www.ecodesign-beispiele.at/data/art/17\\_5.php](http://www.ecodesign-beispiele.at/data/art/17_5.php)

WIFI (2002b):

**Dämmstoff aus Flachs;** Ecodesign-Beispielsammlung Österreich der WIFI-Österreich; Produkt der Waldviertler Flachshaus GmbH; [http://www.ecodesign-beispiele.at/data/art/143\\_5.php](http://www.ecodesign-beispiele.at/data/art/143_5.php)

WIFI (2002c):

**Holzfaserplatten, Hartfaserplatten und hochformbare „Isowood-Matten“ aus Holz-, Flachs- und**

*Hanffasern, Ecodesign-Beispielsammlung Österreich der WIFI-Österreich; Produkt der Fa. Funder Industrie GmbH, A-9300 St. Veit/Glan, [http://www.ecodesign-beispiele.at/data/art/12\\_5.php](http://www.ecodesign-beispiele.at/data/art/12_5.php)*

*Wurz, O. (1960):*

*Zellstoff- und Papierherstellung aus Einjahrespflanzen;*

*Eduard Roether Verlag Darmstadt, 1960 (Anm.: Zitiert in Brandstätter 2002: Ref. 15).*

*Ziegel (2002a):*

*Hochlochziegel für Außen- & Innenwände;*

*Website des Verbands der österr. Ziegelwerke; [www.ziegel.at/verband/Produkt/wand/hochloch.htm](http://www.ziegel.at/verband/Produkt/wand/hochloch.htm)*

*Ziegel (2002b):*

*Biber / Tasche (Dachziegel);*

*Website des Verbands der österr. Ziegelwerke; <http://www.ziegel.at/verband/Produkt/dach/bibertas.htm>*

## 4. ROHSTOFFE – GEWINNUNG UND MECHANISCHE FRAKTIONIERUNG (SILIER- UND ABPRESSVERSUCHE)

VERFASSER: *DR. BRUNO WACHTER UND DI MICHAEL MANDL*  
*JOANNEUM RESEARCH, INSTITUT FÜR NACHHALTIGE TECHNIKEN UND SYSTEME (JOINTS)*  
*A-8010 GRAZ, ELISABETHSTRASSE 16-18, [WWW.JOANNEUM.AT](http://WWW.JOANNEUM.AT)*

### 4.1. Einleitung

Die Grundidee des Technologiekonzepts einer BIORAFFINERIE besteht darin, biogene Rohstoffe - in Analogie zu einer *Erdölraffinerie* - in einer einzigen Verarbeitungsanlage möglichst vollständig und ohne Anfall von Abfällen in eine Vielzahl verkaufbarer Produktgruppen umzuwandeln (multi-product-system). Je nach Art der eingesetzten primäre Rohstoffe lassen sich verschiedene Typen von BIORAFFINERIEN unterscheiden, z.B.

4# LIGNOZELLULOSE BIORAFFINERIE (LBR):

Rohstoffe: Lignozellulosen (z.B. Holzabfälle, Stroh, Schilf)

4# GRÜNE BIORAFFINERIE (GBR):

Rohstoffe: Grünlandbiomasse (z.B. Gras, Klee, Luzerne, unreifes Getreide)

Um eine GRÜNE BIORAFFINERIE - mit Grünlandbiomasse als Rohstoff - ganzjährig betreiben zu können, ist es erforderlich, diesen Rohstoff zu konservieren. Als Konservierungsmethode bietet sich die in der Landwirtschaft ohnehin übliche Silierung von Grünlandbiomasse an (Feststofffermentation). Dabei entsteht Milchsäure, die einerseits als Konservierungsmittel fungiert und andererseits ein begehrtes chemisches Zwischenprodukt mit steigendem Markt darstellt.

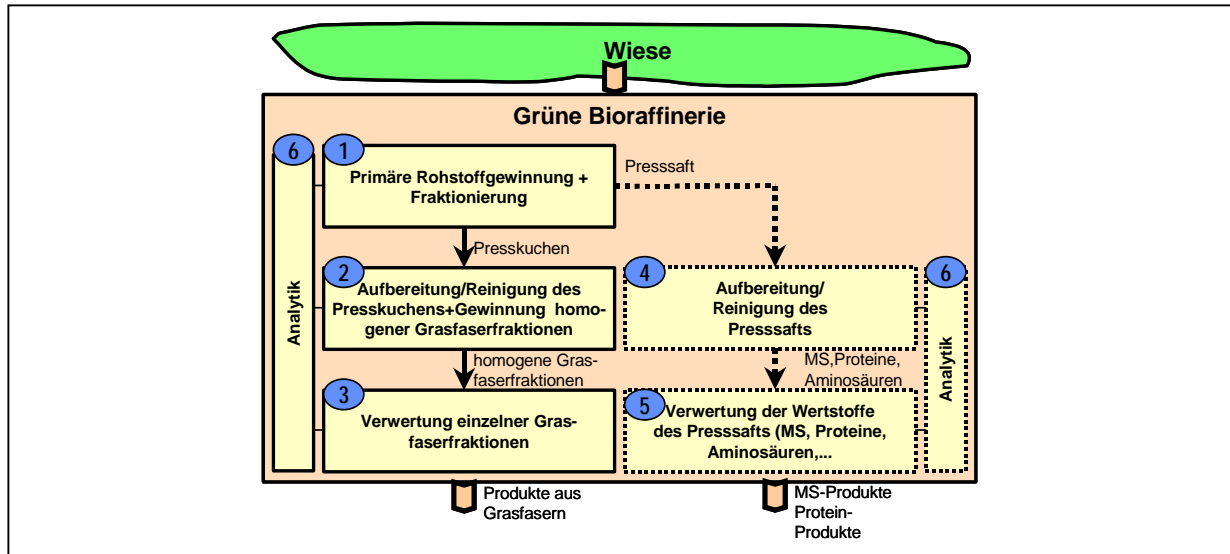
Grassilage steht also einen primären Rohstoff für eine GRÜNE BIORAFFINERIE dar. Die Herstellung der Grassilage aus Grasfrischmasse sowie die Lagerung der Grassilage können und sollen *dezentral* erfolgen, d.h. auf den einzelnen Bauernhöfen. Auch erste Verarbeitungsschritte des primären Rohstoffs „Grassilage“ können *dezentral* erfolgen, etwa die mechanische Fraktionierung des primären Rohstoffs „Grassilage“ in eine flüssige Fraktion (Presssaft) und in eine feste Fraktion (Presskuchen). Erst die Weiterverarbeitung von Presssaft und Presskuchen in verkaufbare erfolgt in *zentralen* Anlagen Produkte (Milchsäure, Aminosäuren, Proteine, Faserprodukte). Diese Kombination von dezentralen und zentralen Verfahrenskomponenten ist eine der Charakteristika der österreichischen Version einer GRÜNEN BIORAFFINERIE, wodurch eine wirtschaftliche Stärkung ländlicher Regionen erreicht werden soll: Durch Absicherung der Einkommen bestehender landwirtschaftlicher Betriebe einerseits sowie durch Neuansiedlung von Wirtschaftsunternehmen in diesen Regionen andererseits.

### 4.2. Zielsetzung und Methoden

Ziel der in diesem Kapitel beschriebenen und vom Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme (JOINTS) von JOANNEUM RESEARCH in enger Kooperation mit dem *KORNBERG INSTITUT (Dr. Christian Krotscheck, Dr. Stefan Kromus, Mag. Werner Koschuh)* durchgeführten Arbeiten war die Gewinnung und Herstellung der primären Rohstoffe „Gras“ (im Sinne von Grasfrischmasse) bzw. „Grassilage“ sowie ein erstes Austesten des Verfahrensschritts „mechanische Fraktionierung (Abpressen)“ dieser primären Rohstoffe in eine *flüssige* Fraktion (Presssaft) und in eine *feste* Fraktion (Presskuchen). Er erhaltene Presssaftfraktion enthält wasserlösliche Wertstoffe wie Milchsäure, Proteine und Aminosäuren, die Presskuchenfraktion besteht zum überwiegenden Teil

aus Grasfasern unterschiedlichster Größe. **Abb. 4-1** gibt einen Überblick über bei den Silier- und Abpressversuchen beteiligten Verfahrensschritte.

- 4# (1) Primäre Rohstoffgewinnung + Fraktionierung:  
 Mähen ♥ Teilrocknung/Anwelken ♥ Verpressung zu Ballen ♥ Silieren/Ballensilierung ♥ Vorzerkleinern der Grassilageballen mittels Häcksler ♥ Abpressen.
- 4# (2) Aufbereitung + Reinigung des Presskuchens: Trocknen ♥ Lagern.
- 4# (4) Aufbereitung + Reinigung des Presssafts: Filtrieren ♥ Kühlen ♥ Lagern
- 4# (6) Analytik bzgl. Ausgangsgrasrohstoff, Presskuchen und Presssaft



**Abb. 4-1:** Verfahrensschritte bei den Silier- und Abpressversuchen.

### 4.3. Versuchsdurchführung

#### 4.3.1. Verwendete Grasrohstoffe

**Abb. 4-2** und **Tab. 4-1** bzw. **Abb. 4-3** und **Tab. 4-2** geben einen Überblick über die für die Silier- und Abpressversuche 2001 und 2002 verwendeten Gras- und Leguminosenrohstoffe. Diese Rohstoffe stammen von unterschiedlichen *Wiesen*, die sich hinsichtlich Pflanzensatzzusammensetzung und Bewirtschaftungsintensität (Anzahl der Schnitte pro Jahr, Düngungsintensität) voneinander unterscheiden. Diese Rohstoffe stammen weiters von unterschiedlichen „*Schnitten*“ der betreffenden Wiese. Für die Herstellung der diversen Grassilagerohstoffe (Feststoff-Fermentation) wurden unterschiedliche *Bakterienstämme* verwendet. Im Einzelnen kamen folgende Gras- bzw. Leguminosenrohstoffe zum Einsatz:

- 4# (1) Klee-graswiese: Mischung aus verschiedenen Gras- und Kleearten aus intensiver Bewirtschaftung: 20% Bastard Ryegrass (*Lolium hybridum GUMPENSTEIN*), 20% Englisches Ryegrass (*Lolium perenne*), 20% Knautgras (*Dactylis glomerata*), 10 Rotklee (*Trifolium pratense*), 10% Timothe (*Phleum pratense*), 10% Weißklee (*Trifolium repens*), 10% Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*).
- 4# (2) Extensive Dauerwiese: Mischung aus ca. 75% Gräsern und 25% Kräutern aus extensiver Bewirtschaftung (1-2 Schnitte pro Jahr): Goldhafer (*Trisetum flavescens*), Knautgras (*Dactylis glomerata*), Wiesenfuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*), Wiesenrispengras (*Poa pratensis*), Weißklee (*Trifolium repens*), Geißfuß/Giersch (*Aegopodium podagraria*), Hahnenfuß (*Ranunculus*), Gemeiner Löwenzahl (*Taraxacum officinale*).



- 4# (3) Knaulgraswiese: 100% *Dactylis glomerata* aus intensiver Bewirtschaftung (Sämereiwiese).
- 4# (4) Bastard-Ryegraswiese: 100% *Lolium hybridum* GUMPENSTEIN aus intensiver Bewirtschaftung (Sämereiwiese).
- 4# (5) Luzerne: 100% *Medicago sativa* L. aus intensiver Bewirtschaftung.
- 4# (6) Weizenras: 100% *Triticum aestivum* L. aus intensiver Bewirtschaftung.

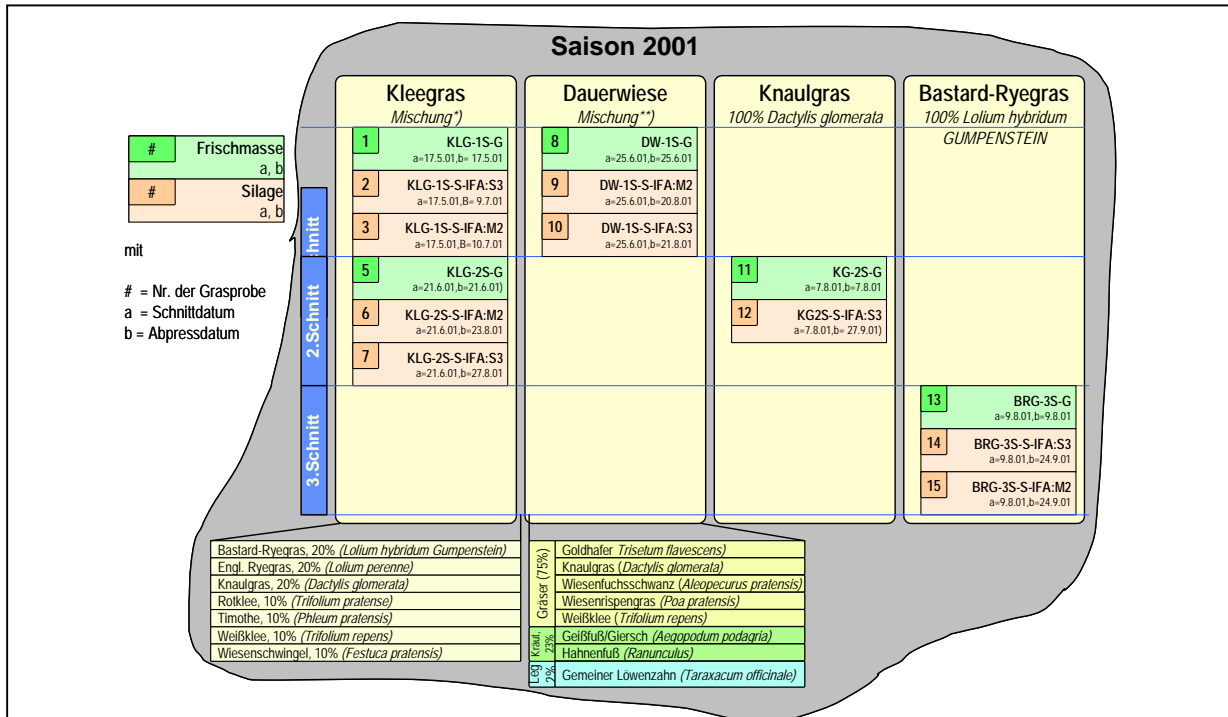


Abb. 4-2: Grasrohstoffe für Silier- und Abpressversuche 2001

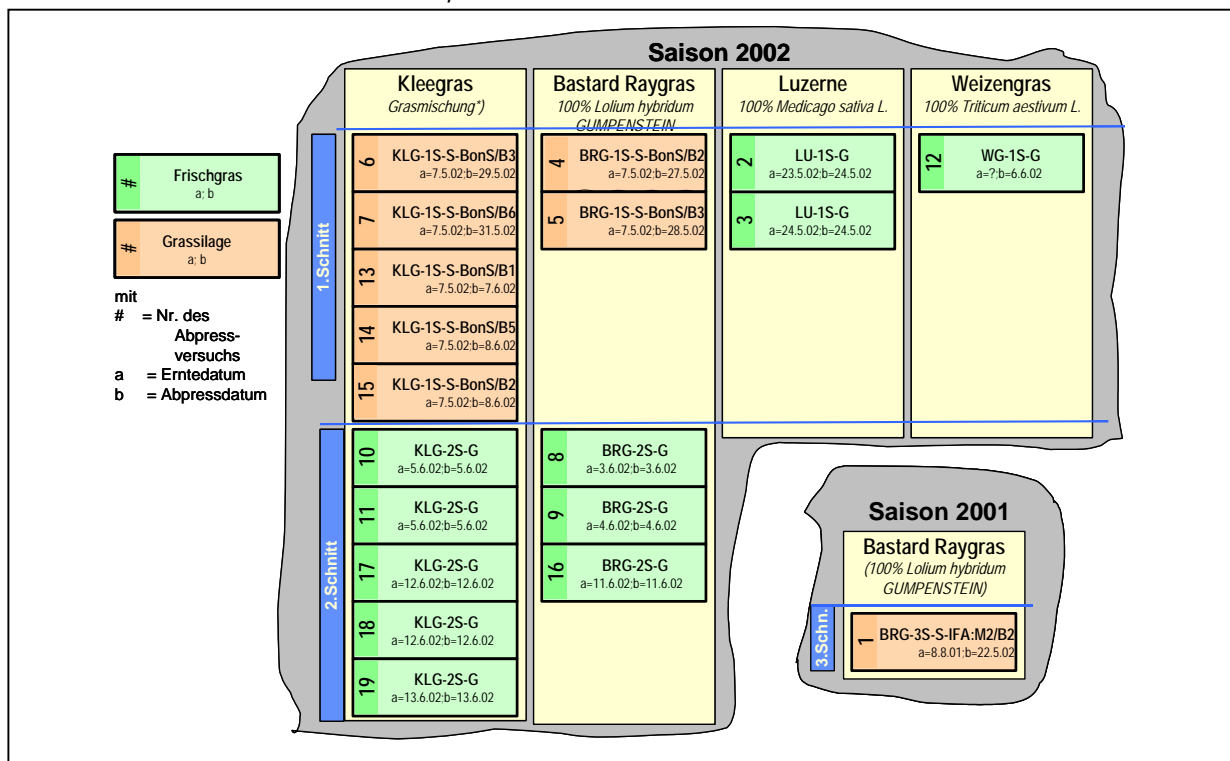


Abb. 4-3: Grasrohstoffe für Silier- und Abpressversuche 2002

*Tab. 4-1: Grasrohstoffe für die Silier- und Abpressversuche 2001.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nr.	Grasart	Schnitt	grün od. siliert	Bakt.-stamm	Schnitt-datum	Abpress-datum	Bezeichnung	Nr
1	Kleegras	1.Schn.	grün	keiner	17.05.2001	17.05.2001	KLG-1S-G	FM1
2	Kleegras	1.Schn.	siliert	IFA:S3	17.05.2001	12.07.2001	KLG-1S-S-IFA:S3	S2
3	Kleegras	1.Schn.	siliert	IFA:M2	17.05.2001	10.07.2001	KLG-1S-S-IFA:M2	S1
5	Kleegras	2.Schn.	grün	keiner	21.06.2001	21.06.2001	KLG-2S-G	FM2
6	Kleegras	2.Schn.	siliert	IFA:M2	21.06.2001	23.08.2001	KLG-2S-S-IFA:M2	S3
7	Kleegras	2.Schn.	siliert	IFA:S3	21.06.2001	27.08.2001	KLG-2S-S-IFA:S3	S4
8	Dauerwiese	1.Schn.	grün	keiner	25.06.2001	25.06.2001	DW-1S-G	FM3
9	Dauerwiese	1.Schn.	siliert	IFA:M2	25.06.2001	20.08.2001	DW-1S-S-IFA:M2	S5
10	Dauerwiese	1.Schn.	siliert	IFA:S3	25.06.2001	21.08.2001	DW-1S-S-IFA:S3	S6
11	Knautgras	2.Schn.	grün	keiner	07.08.2001	07.08.2001	KG-2S-G	FM5
12	Knautgras	2.Schn.	siliert	IFA:S3	07.08.2001	27.09.2001	KG-2S-S-IFA:S3	S9
13	Bastard-Ryegras	3.Schn.	grün	keiner	09.08.2001	09.08.2001	BRG-3S-G	FM4
14	Bastard-Ryegras	3.Schn.	siliert	IFA:S3	09.08.2001	24.09.2001	BRG-3S-S-IFA:S3	S8
15	Bastard-Ryegras	3.Schn.	siliert	IFA:M2	09.08.2001	25.09.2001	BRG-3S-S-IFA:M2	S7

*Tab. 4-2: Grasrohstoffe für die Silier- und Abpressversuche 2001.*

1	2	3	4	5	6	7	8
Nr.	Grasart	Schnitt	grün od. siliert	Bakt.-stamm	Schnitt-datum	Abpress-datum	Bezeichnung
1	Bastard Ryegras	3.Schn.	siliert	IFA:M2	08.08.2001	22.05.2002	BRG-2080801-220502-3S-S-IFA:M2/B
2	Luzerne	1.Schn.	grün	keiner	23.05.2002	23.05.2002	LU-230502-1S-G
3	Luzerne	1.Schn.	grün	keiner	24.05.2002	24.05.2002	LU-240502-1S-G
4	Bastard Ryegras	1.Schnitt	siliert	BonS/B2	07.05.02	27.05.02	BRG-070502-270502-1S-S-BonS/B2
5	Bastard Ryegras	1.Schnitt	siliert	BonS/B3	07.05.02	28.05.02	BRG-070502-280502-1S-S-BonS/B3
6	Kleegras	1.Schnitt	siliert	BonS/B3	07.05.02	29.05.02	KLG-070502-290502-1S-S-BonS/B3
7	Kleegras	1.Schnitt	siliert	BonS/B6	07.05.02	31.05.02	KLG-070502-310502-1S-S-BonS/B6
8	Bastard Ryegras	2.Schnitt	grün	keiner	03.06.02	03.06.02	BRG-030602-2S-G
9	Bastard Ryegras	2.Schnitt	grün	keiner	04.06.02	04.06.02	BRG-040602-2S-G
10	Kleegras	2.Schnitt	grün	keiner	05.06.02	05.06.02	KLG-050602-2S-G
11	Kleegras	2.Schnitt	grün	keiner	05.06.02	05.06.02	KLG-050602-2S-G
12	Weizengras	1.Schnitt	grün	keiner	?	06.06.02	WG-060602-1S-G
13	Kleegras	1.Schnitt	siliert	BonS/B1	07.05.02	07.06.02	KLG-070502-070602-1S-S-BonS/B1
14	Kleegras	1.Schnitt	siliert	BonS/B5	07.05.02	08.06.02	KLG-070502-080602-1S-S-BonS/B5
15	Kleegras	1.Schnitt	siliert	BonS/B2	07.05.02	10.06.02	KLG-070502-100602-1S-S-BonS/B2
16	Bastard Ryegras	2.Schnitt	grün	keiner	11.06.02	11.06.02	BRG-110602-2S-G
17	Kleegras	2.Schnitt	grün	keiner	12.06.02	12.06.02	KLG-120602-2S-G
18	Kleegras	2.Schnitt	grün	keiner	12.06.02	12.06.02	KLG-120602-2S-G
19	Kleegras	2.Schnitt	grün	keiner	13.06.02	13.06.02	KLG-130602-2S-G

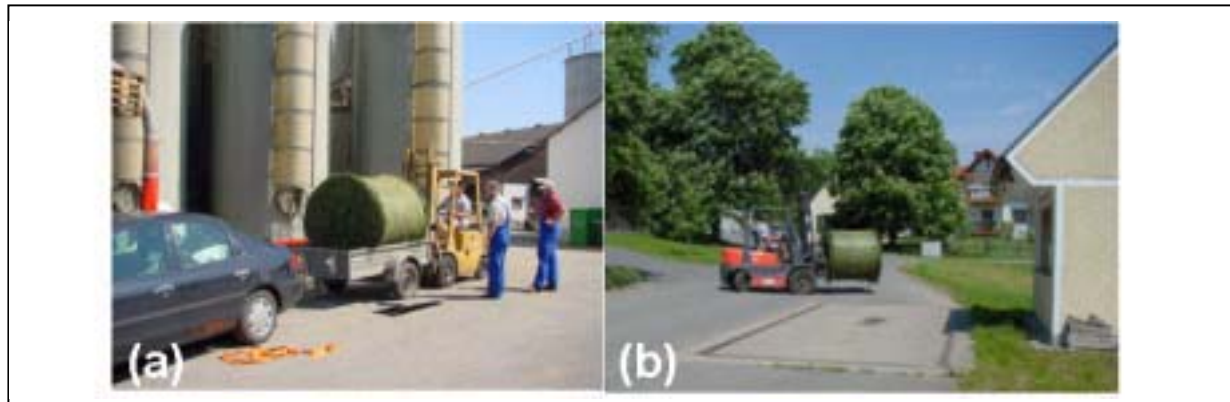
### 4.3.2. Verwendete Apparate und Maschinen

In den **Abben 4-4 - 4-6** werden die ersten Arbeitsschritte der Silierungs- und Abpressversuche 2001 bzw. 2002 gezeigt.

- 4# Mähen, Inokulieren des leicht angewelkten Frischgrases mit Silagestarterkulturen und Verpressung zu Silageballen,
- 4# Transport der Grassilageballen zur GRÜNEN BIORAFFINERIE.
- 4# Ballenöffnung + Zerkleinerung der Grassilage (Häckseln): Vor dem Abpressen der Grassilage müssen die Silageballen zunächst aufgerissen werden. Im nächsten Schritt wird die freigewordene Grassilage mittels eines Häcksler zerkleinert.



**Abb. 4-4:** Arbeitsschritte der primären Rohstoffgewinnung: (a) Mähen, (b) Ballenpressgerät für Traktorbetrieb, (c) fertiger, mit Silagestarter inokulierten Grasballen für Ballensilierung (Gewicht ca. 600-800 kg).



**Abb. 4-5:** Transport der Grassilageballen zur GRÜNEN BIORAFFINERIE.



**Abb. 4-6:** Ballenöffnung + Zerkleinerung der Grassilage (Häckseln) vor dem Abpressen.

Abben 4-7 – 4-9 zeigen den Verfahrensschritt „mechanische Fraktionierung“ der gehäckselten Grassilage in eine *flüssige* Fraktion (Presssaft) und in eine *feste* Fraktion (Presskuchen).



Abb. 4-7: Mechanische Fraktionierung von gehäckselter Grassilage in eine flüssige Fraktion (Presssaft) und in eine feste Fraktion (Presskuchen).

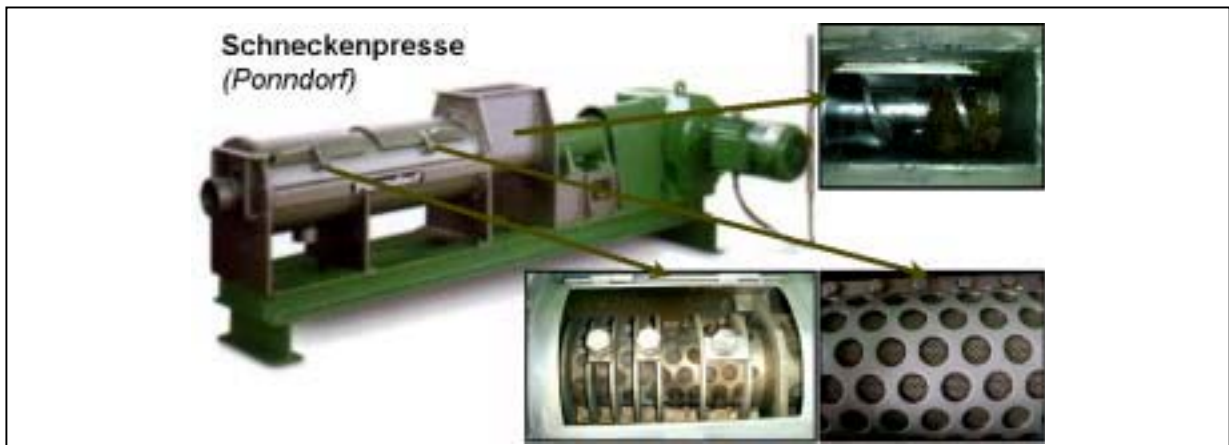


Abb. 4-8: Mechanische Fraktionierung 2002 (Ponndorf Schneckenpresse).

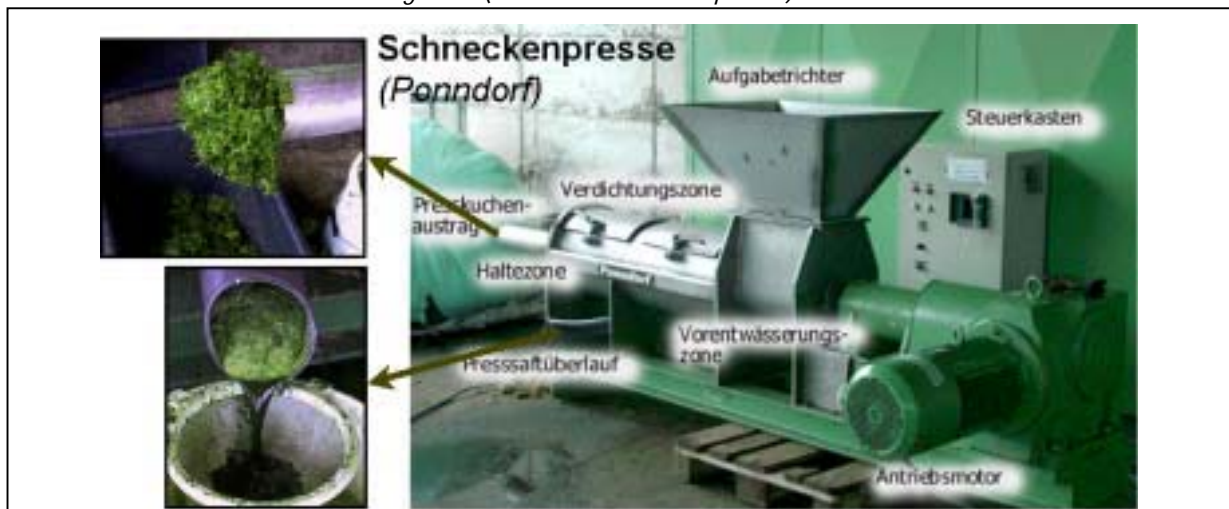


Abb. 4-9: Mechanische Fraktionierung 2002 (Ponndorf Schneckenpresse).

Abben 4-10 – 4-13 zeigen die Verfahrensschritte der primären Aufbereitung von Presssaft und Presskuchen: Um lagerfähig zu sein, muss der Presskuchen gekühlt werden (s. **Abb. 4-10**), der Presskuchen hingegen ist möglichst rasch zu trocknen (s. **Abb. 4-11 & Abb. 4-12**). der getrocknete Presskuchen schließlich wird in Bigbags oder großen Obstgebinden gelagert (s. **Abb. 4-13**).



**Abb. 4-10:** Aufbereitung Presssaft 2002: Kühlung mittels 200 l Milchkühlanlage.



**Abb. 4-11:** Primäre Aufbereitung Presskuchen 2001: Lufttrocknung.



**Abb. 4-12:** Primäre Aufbereitung Presskuchen 2002: Trocknung mittels beheizbarem Schüttrockner.



Abb. 4-14: Lagerung des Presskuchens in Bigbags (links) bzw. Obstgebinden (rechts).

#### 4.3.3. Analytik

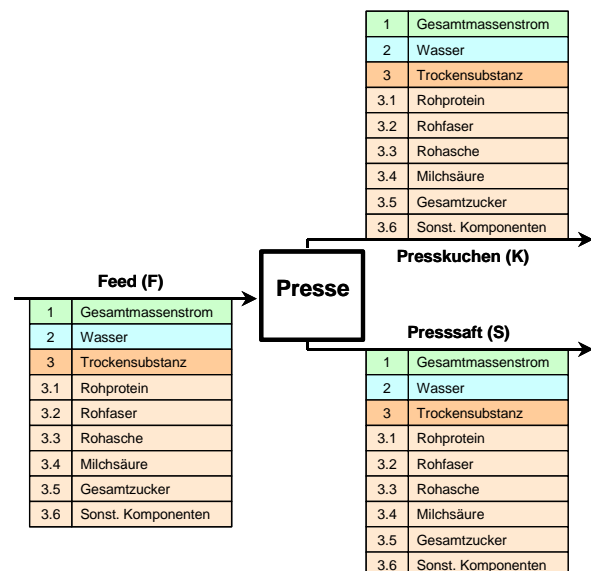
Tab. 4-3 gibt einen Überblick über die im Zuge der Abpressversuche gemessenen Parameter.

- 4# Für Feed, Presskuchen und Presssaft wurden jeweils der entsprechende Gesamtmassenstrom (kg) sowie der Trockensubstanz-Gehalt (%) gemessen. Aus diesen beiden Angaben lassen sich die Massenströme hinsichtlich Trockensubstanz und Wasser berechnen.
- 4# Für die Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft wurde jeweils eine Reihe von Parametern gemessen, darunter die Gehalte an: Rohprotein (RP), Rohfasern (RF), Rohasche (RA), Milchsäure (MS) und Gesamtzucker (Z) und sonstige Stoffe (Rest auf 100%). Weiters wurden die Futtermittel-relevanten Parameter verdauliche organische Masse (dOM) sowie die sogenannte Nettoenergielaktation (NEL) gemessen.

Tab. 4-3: Bei Abpressversuchen jeweils für Feed, Presskuchen und Presssaft gemessene Parameter.

Nr.	Gemessene Parameter	Einheit
1	Gesamtmasse (GM)	kg
2	Trockensubstanz (TS)	% GM
3	Wasser (H <sub>2</sub> O)	% GM
4	Rohprotein (RP)	% TS
5	Rohfaser (RF)	% TS
6	Rohasche (RA)	% TS
7	Milchsäure (MS)	% TS
8	Gesamtzucker (Z)	% TS
9	Sonstige Komponenten*)	% TS
10	verdauliche org. Masse (dOM)	% OM**)
11	Nettoenergielaktation (NEL)	MJ/kg TS

\*) berechnet gemäss 100% - (Rohprotein + Rohfaser + Roh-asche + Milchsäure + Gesamtzucker); \*\*) oM = organische Masse



In den nachfolgenden Abschnitten werden folgende Massen- bzw. Energiebilanzen diskutiert:

- 4# (1) Gesamtmassenbilanz,
- 4# (2)-(10) Massenbilanzen bzgl. Trockensubstanz (TS), Wasser (H<sub>2</sub>O), Rohprotein (RP), Rohfasern (RF), Rohasche (RA), Milchsäure (MS), Gesamtzucker (Z), sonstige Stoffe (S), verdauliche org. Masse (dOM),
- 4# (11) Energiebilanz / Nettoenergielaktation (NEL).

## 4.4. Versuchsergebnisse

### 4.4.1. Gesamtmassenbilanz

#### Massenströme/Ausbeuten

Abb. 4.4.1-1 zeigt die im Rahmen der Abpressversuche 2001 ermittelten Gesamtmassenströme in Feed, Presssaft und Trockenmasse, jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed, d.h. die entsprechenden **Gesamtmasse-Ausbeuten** (Einheit: kg/t TS-Feed). Diese Gesamtmassenströme ergeben sich als Summe der Massenströme von Wasser und Trockensubstanz:

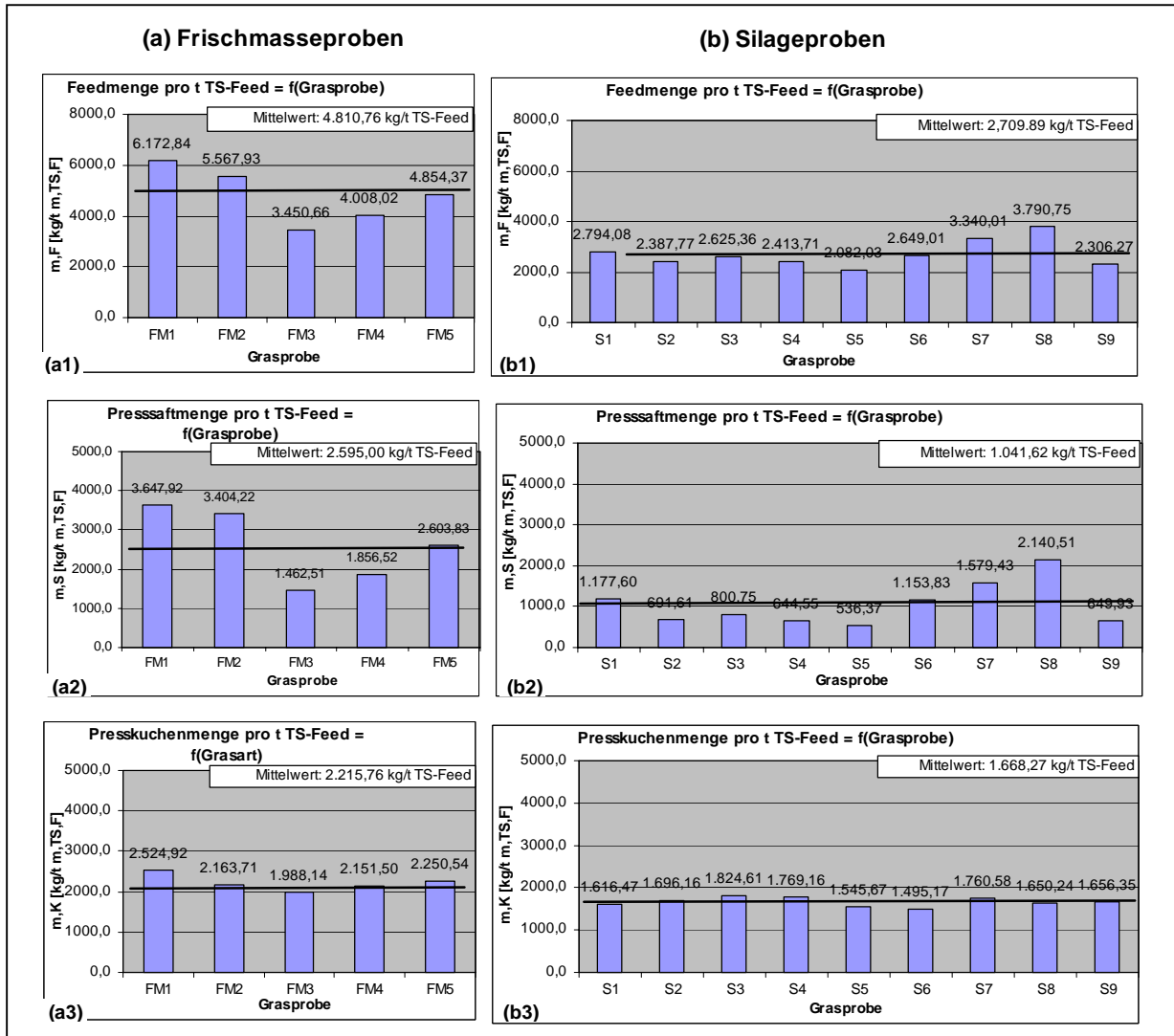


Abb. 4.4.1-1: Gesamtmassenströme bzw. Ausbeuten in Feed, Presssaft und Presskuchen, jeweils bezogen auf 1 Tonne Trockensubstanz im Feed (kg/t TS-Feed).

Abb. 4.4.1-1 zeigt, dass im Fall der *Frischmasseproben* wesentlich größere Gesamtmassenströme anfallen als im Fall der *Silageproben*, was dadurch leicht zu erklären ist, dass Frischmasseproben deutlich mehr Wasser enthalten als Silageproben.

- 4# Feed: Frischmasse: 4.810 kg/t TS-Feed > Silage: 2.710 kg/t TS-Feed.
- 4# Presssaft: Frischmasse: 2.595 kg/t TS-Feed > Silage: 1.042 kg/t TS-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 2.216 kg/t TS-Feed > Silage: 1.668 kg/t TS-Feed.

Abb. 4.4.1-2 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der pro Tonne Feed-Trockensubstanz anfallenden Gesamtmassenströme bzw. Ausbeuten vom TS-Gehalt des Feeds:

4# Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds fallen die Gesamtmassenströme in Feed, Presskuchen und Presssaft:  $m,F$ ,  $m,K$  und  $m,S$ .

4# Mit steigendem  $TS,Feed$  sinkt die Presssaftmenge ( $m,S$ ) rascher als die Presskuchenmenge ( $m,K$ ).

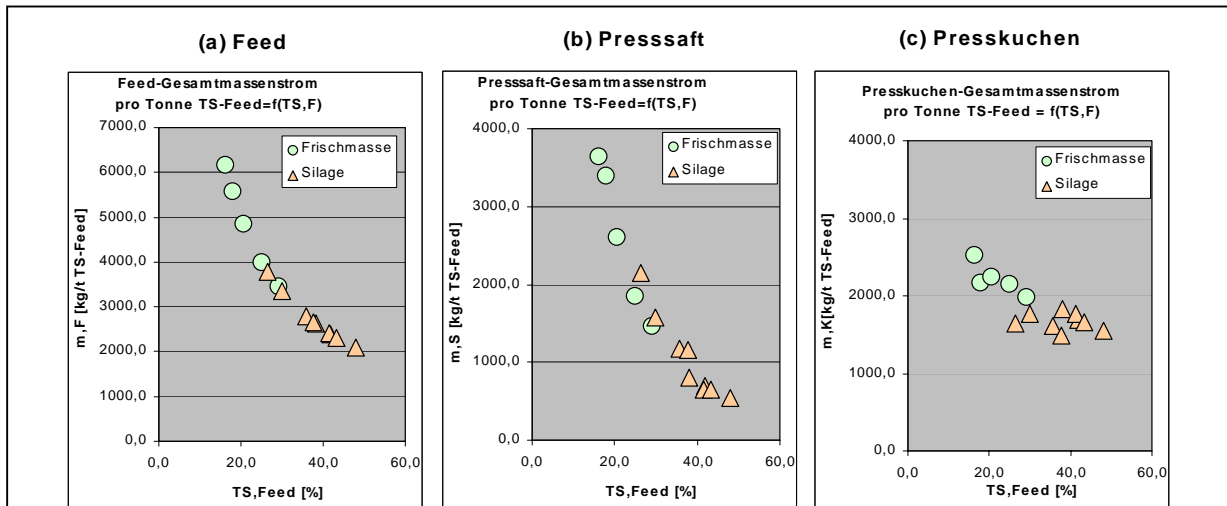


Abb. 4.4.1-2: Gesamtmassenströme bzw. Ausbeuten in Feed-, Presssaft- und Presskuchen als Funktion von  $TS,Feed$  und Grasprobenart (kg/t  $TS,Feed$ ).

Abtrenngrade

Abb. 4.4.1-3 gibt einen Überblick über die prozentuelle Aufteilung des Feedstroms auf die beiden Produktströme „Presssaft“ und „Presskuchen“, d.h. über die entsprechenden *Gesamtmasse-Abtrenngrade*. Man sieht dass im Fall der Frischmasseproben ein wesentlich größerer Feedanteil in den Presssaft (bzw. ein wesentlich geringerer Feedanteil in den Presskuchen) übergeht als im Fall der Silageproben:

4# Presssaft: Frischmasse: 52,52% > Silage: 36,62%.

4# Presskuchen: Frischmasse: 47,48 % < Silage: 63,38%.

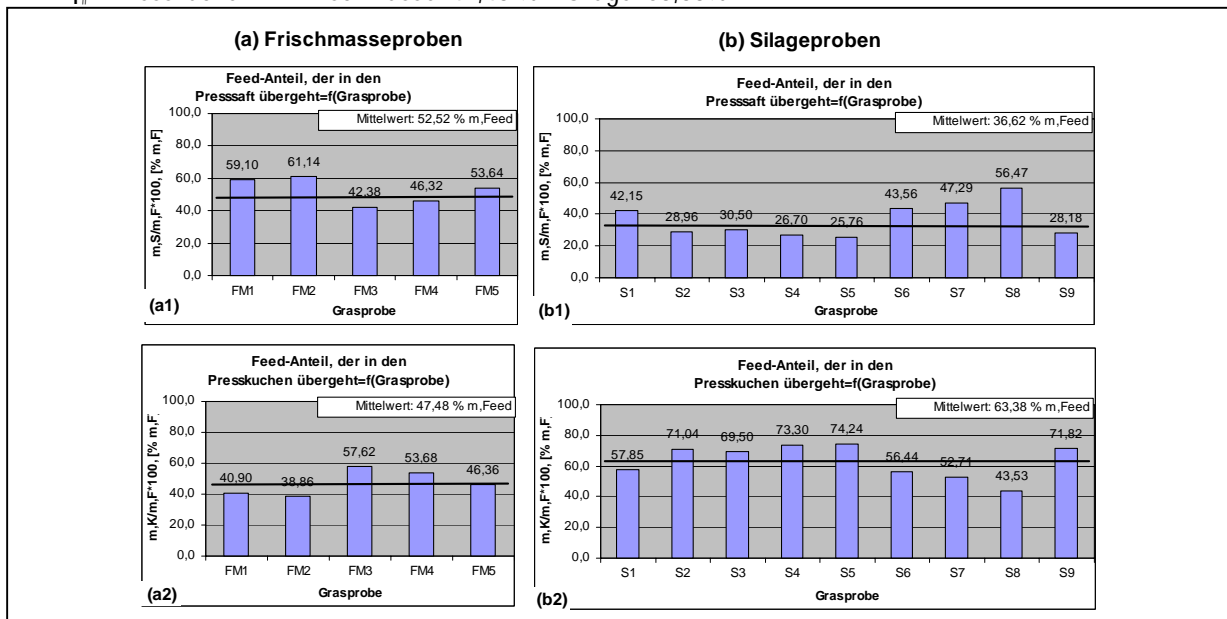


Abb. 4.4.1-3: Prozentuelle Aufteilung des Feedstroms auf „Presssaft“ und „Presskuchen“ (Abtrenngrade).



Abb. 4.4.1-4 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der für die 5 Frischmasse- bzw. 9 Silageproben ermittelten Abtrenngrade vom TS-Gehalt des Feeds:

- 4# Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt jener Anteil des Feeds, der in den Presssaft übergeht (bzw. es steigt jener Anteil, der in den Presskuchen übergeht):  $TS, F \clubsuit \heartsuit (m, S/m, F) \spadesuit$  und  $(m, K/m, F) \clubsuit$ .
- 4# Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse und Silageproben geht im Fall der Silageproben mehr Feed in den Presssaft bzw. weniger Feed in den Presskuchen als im Fall der Frischmasseproben.

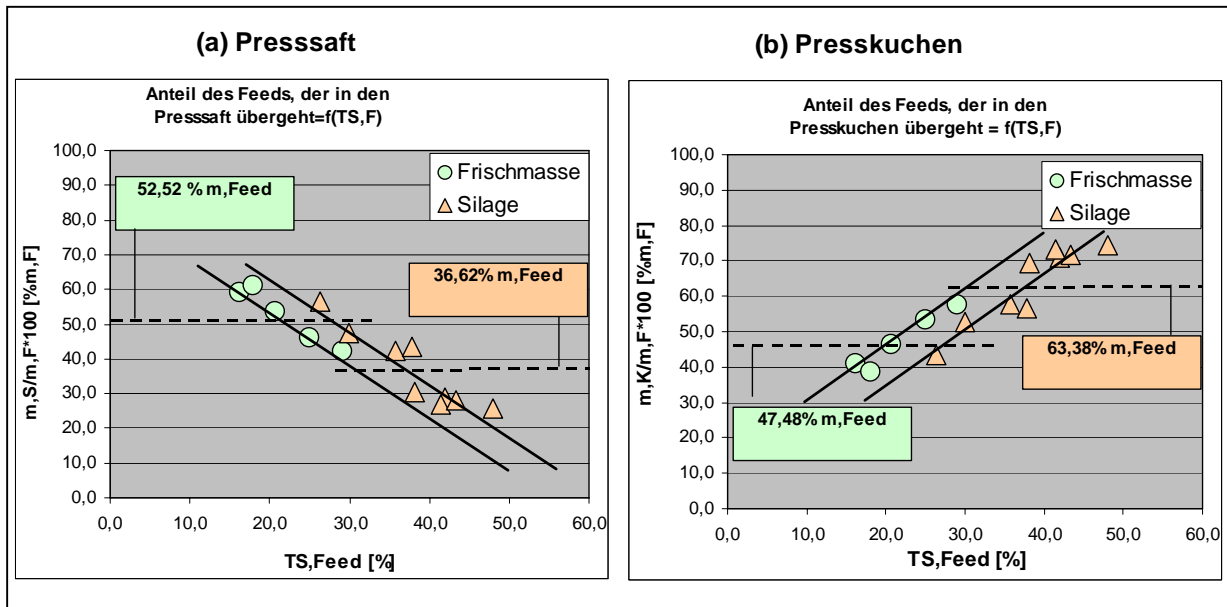


Abb. 4.4.1-4: Anteile des Feed-Massenstroms, die in den Presssaft bzw. Presskuchen übergehen (Abtrenngrade).

Zusammenfassung

Abb. 4.4.1-5 gibt eine zusammenfassende Darstellung der Gesamtmassenbilanz. Es werden die jeweils über die 5 Frischmasse- bzw. 9 Silageproben gemittelten Werte für die TS-Gehalte (Konzentrationen), Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade gezeigt.

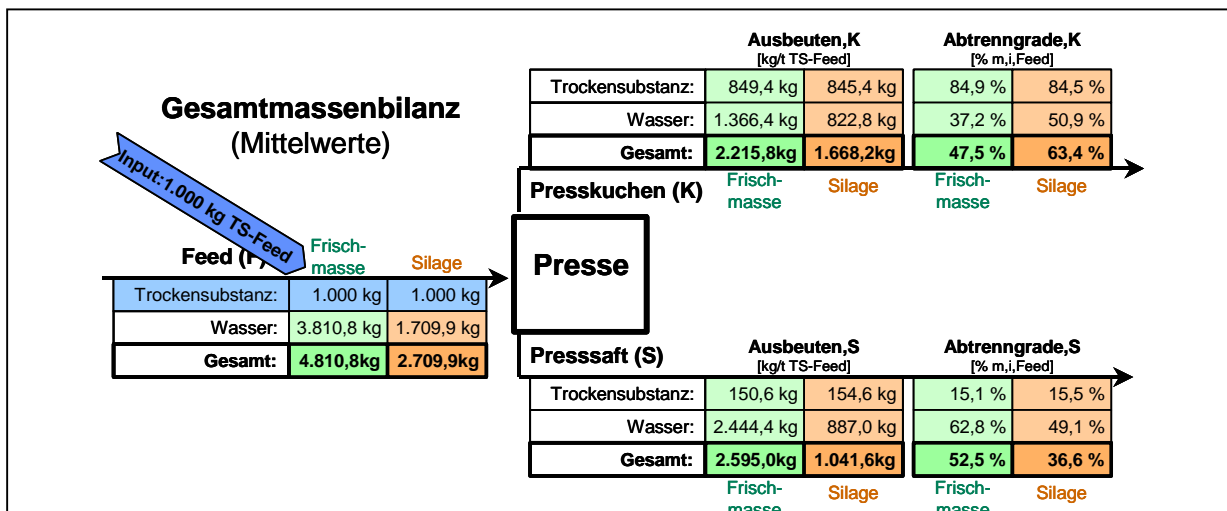


Abb. 4.4.1-5: Gesamtmassenbilanz: Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade.

(1) ad Gesamtmassenströme/Ausbeuten: Für die über alle Grasproben gemittelten Gesamtmassenströme bzw. Ausbeuten erhält man folgendes Ergebnis: Frischmasse: Feed=4,810,8 kg/t TS-Feed, Presskuchen=2.215.8 kg/t TS-Feed, Presssaft=2.595,0 kg/t TS-Feed. Silage: Feed=2.709,9 kg/t TS-Feed, Presskuchen=1.668,2 kg/t

TS-Feed, Presssaft=1.041,6 kg/t TS-Feed. Demnach sind die Gesamtmassenströme im Fall der Frischmasseproben wesentlich höher als im Fall der Silageproben. Erklärung: Frischmasseproben sind feuchter als Silageproben, wodurch pro t TS-Feed mehr Wasser anfällt und damit höhere Gesamtmassenströme die Folge sind. Hinsichtlich der *individuellen* Gesamtmassenströme findet man klare funktionelle Abhängigkeiten: Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds kommt es zu einem raschen Absinken der Gesamtmassenströme.

(2) ad Abtrenngrade: Für die *mittleren* Gesamtmasse-Abtrenngrade erhält man folgendes Ergebnis: Frischmasse: Presssaft: 52,52%, Presskuchen=47,48%. Silage: Presssaft=36,62%, Presskuchen=63,38%. Demzufolge geht im Durchschnitt im Fall der Frischmasseproben ein wesentlich größerer Teil des Feeds in den Presssaft über als im Fall der Silageproben. Für die individuellen Gesamtmasse-Abtrenngrade findet man eindeutige funktionelle Abhängigkeiten vom TS-Gehalt des Feeds: Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt der in den Presssaft übergehende Anteil des Feeds bzw. steigt der in den Presskuchen übergehende Anteil.

#### Offene Fragen / Weitere Arbeiten

(1) ad Frischmasseproben-Teiltrocknung: Hinsichtlich der Frischmasseproben wäre in Folge-Abpressversuchen abzuklären, welche Auswirkungen unterschiedliche TS-Gehalte auf die Ausbeuten wesentlicher Grasinhaltsstoffe (Proteine, Fasern) haben. Insbesondere wäre abzuklären, bis zu welchem TS-Gehalt frisch gemähtes Gras angewelkt werden kann (Naturtrocknung), ohne eine Reduktion der auf 1 Tonne TS bezogenen Ausbeuten wesentlicher Gras-Inhaltsstoffe in Kauf nehmen zu müssen. Wäre nämlich eine derartige partielle Trocknung des Frischgrases möglich, so würden sich dadurch die Wasser-Massenströme verringern, was wiederum eine Kostenreduktion zur Folge hätte (kleinere Anlagegrößen, geringere Transportkosten).

#### 4.4.2. Trockensubstanz-Bilanz

##### TS-Gehalte (Konzentrationen)

Abb. 4.4.2-1 zeigt die im Rahmen der Abpressversuche ermittelten Messwerte für die Trockensubstanzgehalte von Feed, Presssaft und Presskuchen.

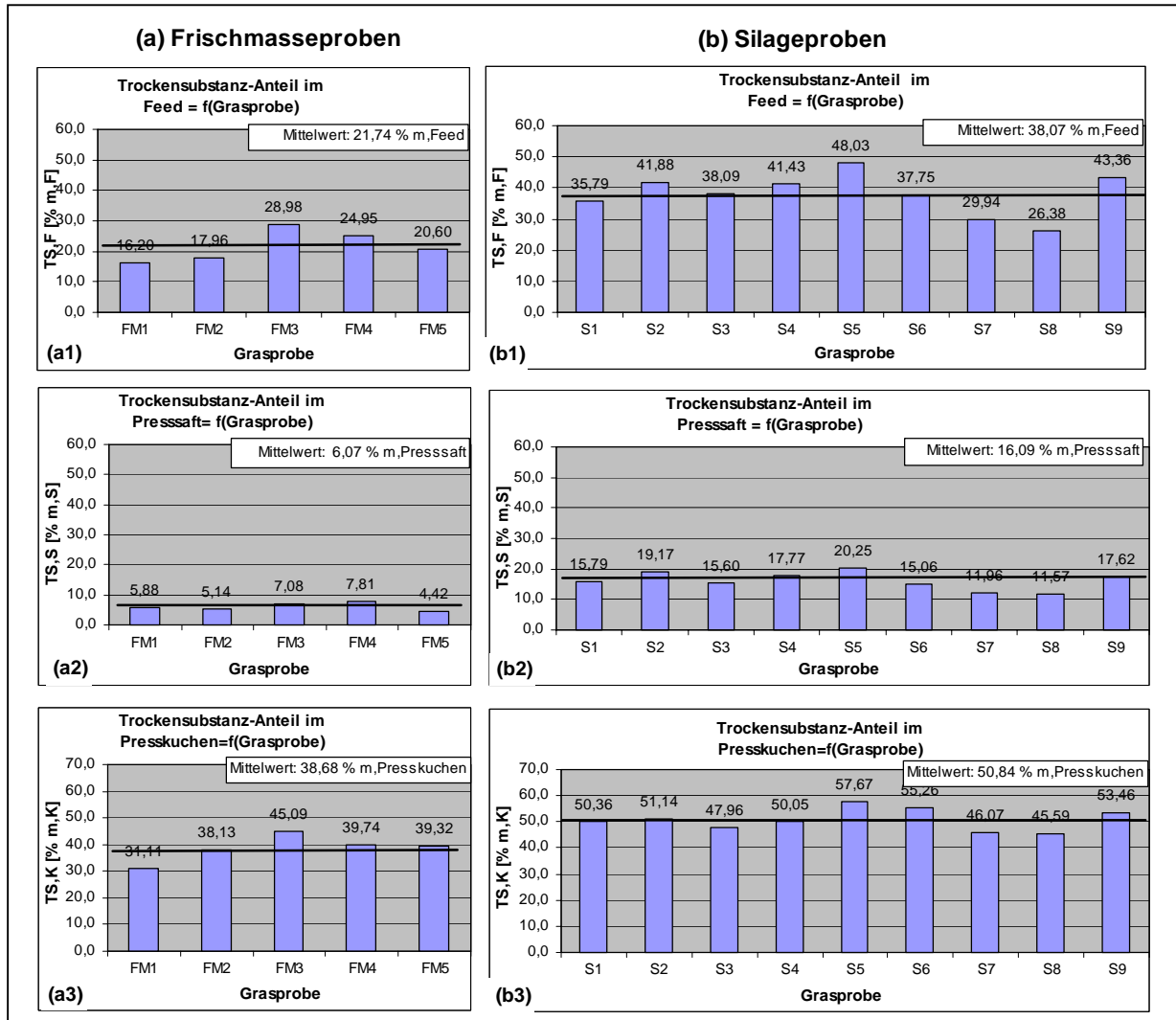


Abb. 4.4.2-1: Gemessene Trockensubstanzgehalte von Feed-, Presssaft- und Presskuchen.

Aus Abb. 4.4.2-1 erkennt man, dass die TS-Gehalte von Feed, Presskuchen und Presssaft der Frischmasseproben wesentlich niedriger sind als diejenigen der Silageproben.

- 4# Feed: Frischmasse: 21,7% < Silage: 38,1%
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 38,68% < Silage: 50,84%
- 4# Presssaft: Frischmasse: 6,1% < Silage: 16,1%

Silageproben sind also trockener als Frischmasseproben, was auch beabsichtigt ist: Bei der Herstellung von Silageproben wird frisch gemähtes Gras vor der Inokkulation mit Milchsäurebakterien und noch auf der Wiese liegend etwas angetrocknet (Naturtrocknung). Für einen optimalen Verlauf der Milchsäuregärung sollte der TS-Gehalt des Grases ca. 35% betragen. Frisch gemähtes Gras hat hingegen lediglich einen TS-Gehalt von ca. 15-20%. Durch diesen erhöhten TS-Gehalt des zu silierenden Grases wird das Auftreten von *Fehlgärungen*

vermieden (z.B. Essigsäure- bzw. Buttersäuregärung) sowie das Entstehen von *Sickerwässern* (Verlust von Wertsustanzen, Verunreinigung des Grundwassers).

Abb. 4.4.2-2 zeigt die gemessene funktionelle Abhängigkeit der TS-Gehalte von Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt des Feeds. Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds steigen auch die TS-Gehalte von Presskuchen und Presssaft:  $TS,F \clubsuit \heartsuit TS,S \clubsuit$  und  $TS,K \clubsuit$ .

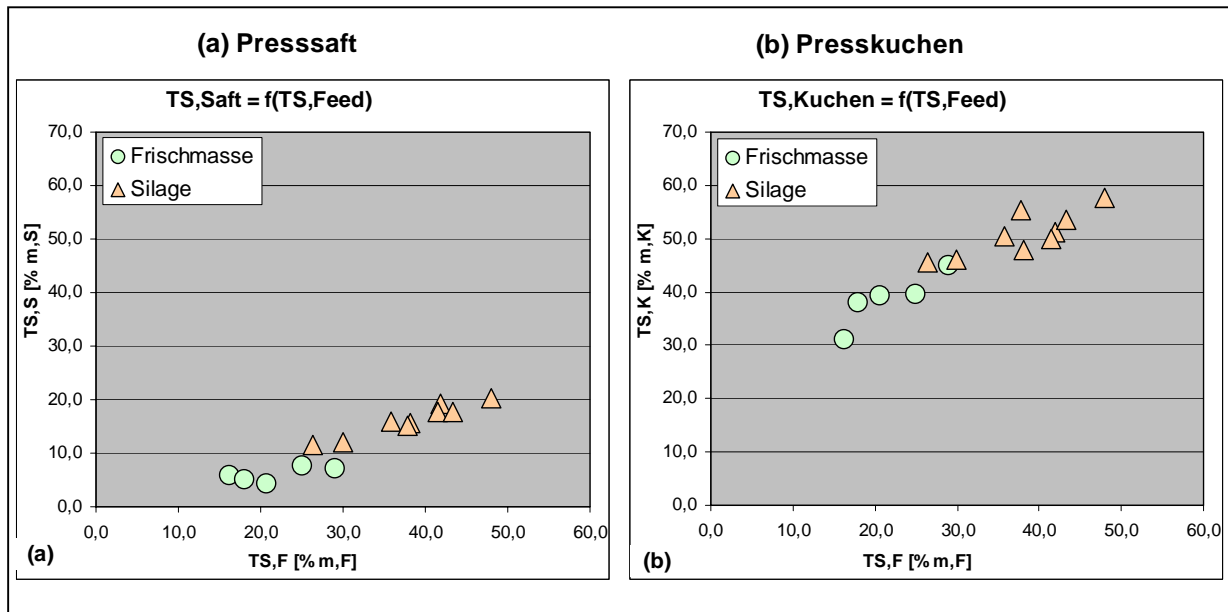


Abb. 4.4.2-2: TS-Gehalte von Presskuchen und Presssaft als Funktion des TS-Gehalts des Feeds.

Massenströme/Ausbeuten

Abb. 4.4.2-3 zeigt die aus Abb. 4.4.2-1 (Konzentrationen) sowie aus dem gemessenen Feedmassenstrom (m,F) über einfache Bilanzgleichungen berechneten Trockensubstanz-Massenströme in Feed, Presssaft und Presskuchen, jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed, d.h. die entsprechenden **Trockensubstanz-Ausbeuten** in Presskuchen und Presssaft. Man sieht, dass von 1.000 kg Trockensubstanz im Feed sowohl im Fall der Frischmasse- als auch im Fall der Silageproben ca. 850 kg in den Presskuchen übergehen. Die restlichen 150 kg gehen in den Presssaft.

- 4# Feed: Frischmasse: 1.000 kg = Silage: 1.000 kg
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 849,38 kg/t TS-Feed = Silage: 845,40 kg/t TS-Feed
- 4# Presssaft: Frischmasse: 150,62 kg/t TS-Feed = Silage: 154,60 kg/t TS-Feed

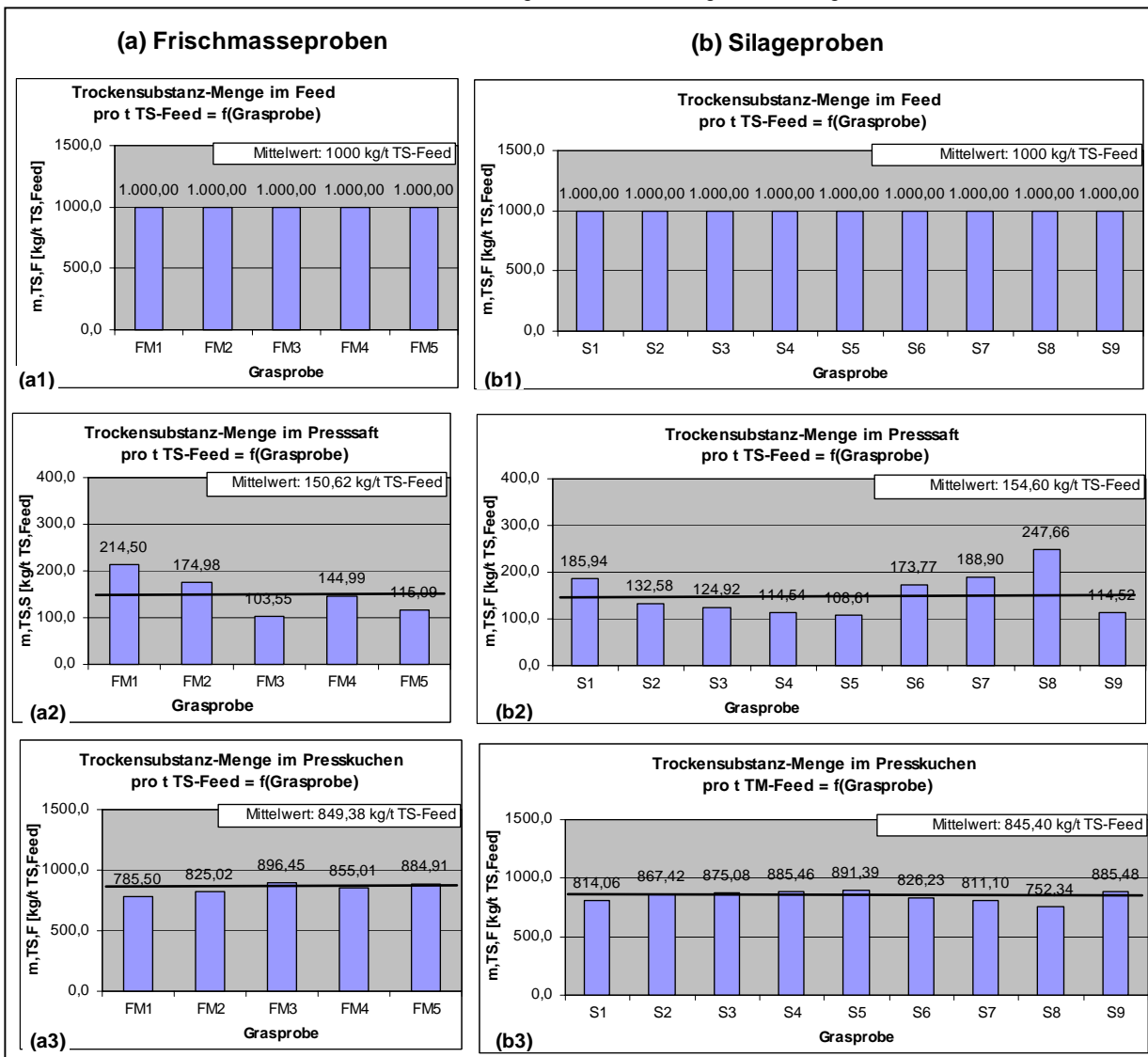


Abb. 4.4.2-3: Trockensubstanz-Massenströme in Feed, Presssaft und Presskuchen, jeweils bezogen auf 1 Tonne Feed-Trockensubstanz (Trockensubstanz-Ausbeuten).

Abtrenngrade

Abb. 4.4.2-4 zeigt die prozentuelle Aufteilung des Trockensubstanz-Massenstroms im Feed auf Presssaft und Presskuchen, d.h. die entsprechenden **Trockensubstanz-Abtrenngrade**. Im Durchschnitt gehen für beide

Grasprobenarten ca. 85% der Trockensubstanz des Feeds in den Presskuchen. Die restlichen 15% finden sich im Presssaft wieder.

4# Presskuchen: Frischmasse: 84,94% m,TS-Feed – Silage: 84,54% m,TS-Feed

4# Presssaft: Frischmasse: 15,06% m,TS-Feed – Silage: 15,46% m,TS-Feed

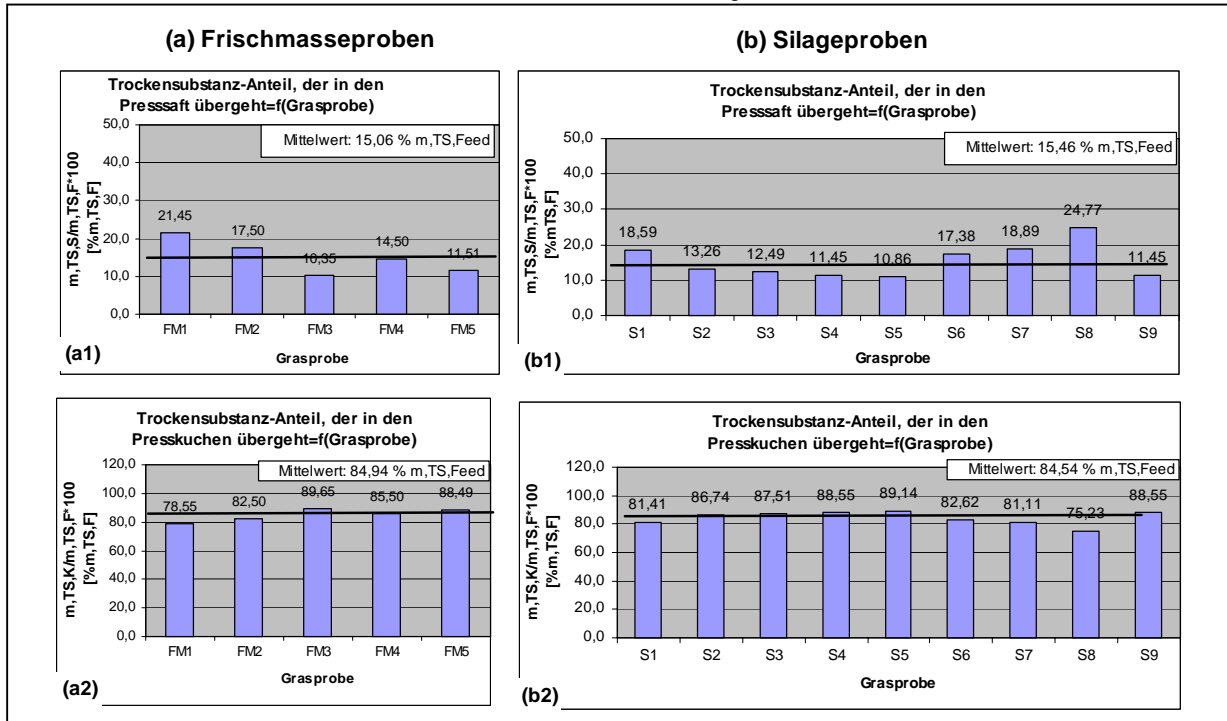


Abb. 4.4.2-4: Aufteilung der STrockensubstanz des Feeds auf Presssaft und Presskuchen (Abtrenngrade).

Abb 4.4.2-5 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Trockensubstanz-Abtrenngrade vom TS-Gehalt des Feeds sowie von der Grasprobenart:

- 4# Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt der in den Presssaft übergehende TS-Anteil (bzw. steigt der in den Presskuchen übergehende TS-Anteil:  $TS,F \clubsuit \heartsuit$  ( $m,TS,S/m,TS,F$ )  $\blacklozenge$  und ( $m,TS,K/m,TS,F$ )  $\clubsuit$ ).
- 4# Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben geht im Fall der Silageproben anteilmäßig *mehr* Trockensubstanz in den Presssaft (bzw. weniger Trockensubstanz in den Presskuchen) als im Fall der Frischmasseproben. Mögliche Erklärung: Silageproben bestehen als Folge des Silageprozesses aus brüchigerem Fasermaterial als Frischmasseproben, wodurch mehr Feststoff in den Presssaft gelangt.

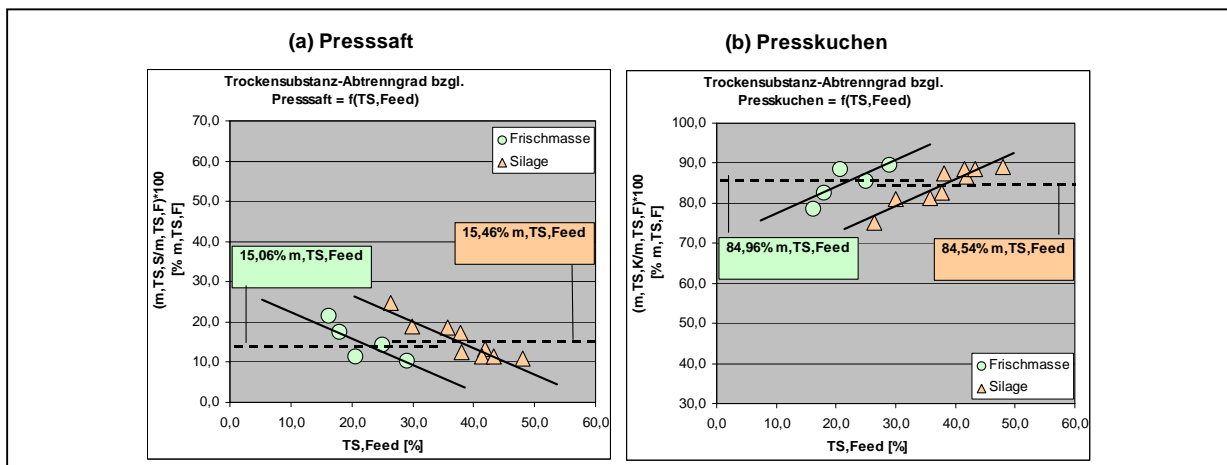


Abb. 4.4.2-5: Trockensubstanz-Abtrenngrade als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.

Zusammenfassung

Abb. 4.4.2-6 gibt eine zusammenfassende Darstellung der Trockensubstanz-Massenbilanz. Es werden die jeweils über die 5 Frischmasse- bzw. 9 Silageproben *gemittelten* Werte für die TS-Gehalte (Konzentrationen), Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade gezeigt.

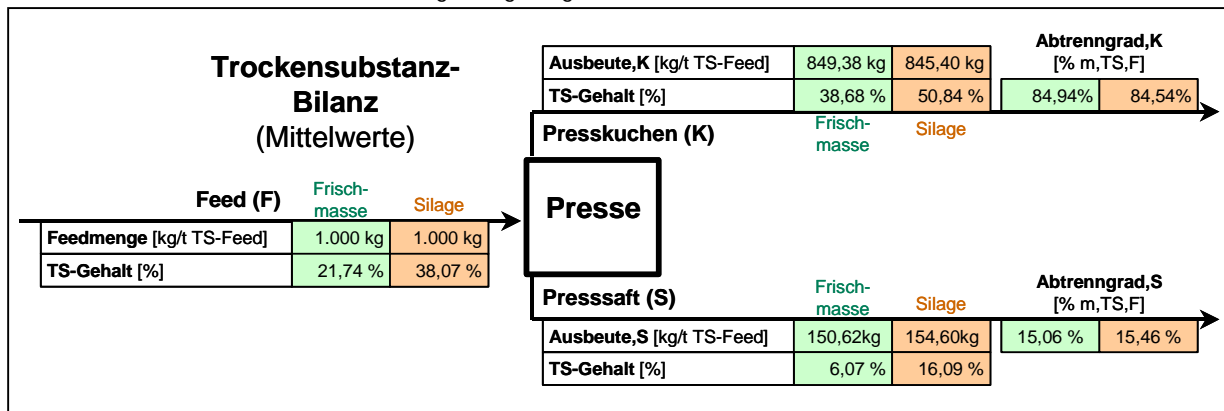


Abb. 4.4.2-6: Trockensubstanz-Bilanz: Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade (Mittelwerte).

(1) ad TS-Gehalte (Konzentrationen): Für die über alle Grasproben *gemittelten* TS-Gehalte erhält man folgendes Ergebnis: Frischmasse: Feed=21,74%, Presskuchen=38,68%, Presssaft=6,07%. Silage: Feed=38,07%, Presskuchen=50,84%, Presssaft=16,09%. Die mittleren TS-Gehalte von Feed, Presskuchen und Presssaft sind im Fall der Silageproben wesentlich höher als im Fall der Frischmasseproben, d.h. Silageproben sind trockener als Frischmasseproben. Dies deshalb, weil Silageproben zwecks Sicherstellung eines optimalen Verlaufs der Milchsäuregärung leicht angetrocknet werden. Höhere TS-Gehalte bedingen niedrigere Gesamtmassenströme, und damit niedrigere Kosten (kleinere Anlagegröße, niedrigere Transportkosten). Für die *individuellen* TS-Gehalte von Presskuchen und Presssaft findet man folgende funktionelle Abhängigkeit: Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds steigenden auch die TS-Gehalte von Presskuchen und Presssaft.

(2) ad TS-Massenströme/Ausbeuten: Für beide Grasprobenarten findet man, dass durchschnittlich von 1.000 kg Trockensubstanz im Feed 850 kg in den Presskuchen und 150 kg in den Presssaft übergehen.

(3) ad TS-Abtrenngrade: Für die *mittleren* Trockensubstanz-Abtrenngrade gibt es zwischen Frischmasse- und Silageproben *keinen* Unterschied. In beiden Fällen gehen etwa 85% der im Feed enthaltenen Trockenmasse in den Presskuchen und 15% in den Presssaft. Für die *individuellen* Trockensubstanz-Abtrenngrade findet man folgende funktionellen Abhängigkeiten: (a) Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds steigt auch der in den Presskuchen übergehenden Anteil der im Feed enthaltenen Trockensubstanz bzw. sinkt der entsprechende in den Presssaft übergehende Anteil. (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben geht im Fall der Silageproben mehr Trockensubstanz in den Presskuchen als im Fall der Frischmasseproben.

Offene Fragen / Weitere Arbeiten

(1) ad Antrocknen des Feeds: Für beide Grasprobenarten (Frischmasse- und Silageproben) gleichermaßen wäre in Folge-Abpressversuchen abzuklären, bis zu welchem maximalen TS-Gehalt der jeweilige Feed angetrocknet werden kann (Naturtrocknung auf der Wiese), ohne die auf 1 Tonne TS-Feed bezogenen Ausbeuten an den wesentlichen Grasinhaltsstoffen zu verringern (Proteine, Milchsäure, Fasern). Ein möglichst hoher TS-Gehalt des Feeds ist deshalb erwünscht, weil dadurch die anfallenden Massenströme verringert werden, was wiederum eine Kostenreduktion zur Folge hat (kleinere Anlagegröße, geringere Transportkosten).

### 4.4.3. Wasser-Bilanz

#### Wasser-Gehalte (Konzentrationen)

Abb. 4.4.3-1 zeigt die im Rahmen der Abpressversuche gemessenen Wassergehalte in Feed, Presssaft und Presskuchen, wobei diese Wassergehalte aus den Trockensubstanzgehalten wie folgt berechnet werden:

$$[H_2O]_i \sum 100 \cdot TS_i \text{ mit } i = \text{Feed, Presssaft, Presskuchen}$$

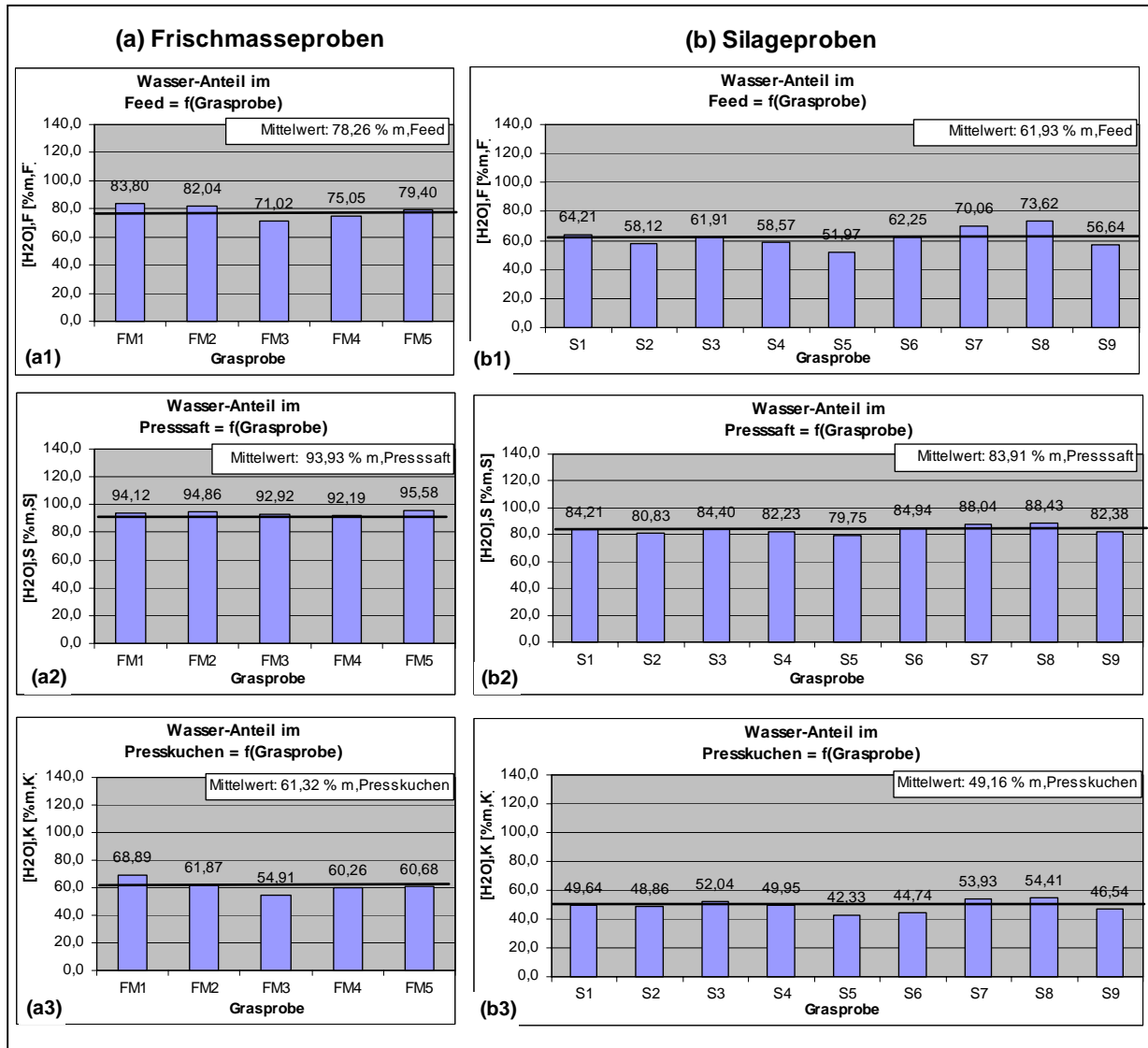


Abb. 4.4.3-1: Wassergehalte in Feed-, Presssaft- und Presskuchen.

Aus Abb. 4.4.3-1 erkennt man, dass die Wassergehalte von Feed, Presskuchen und Presssaft im Fall der Frischmasseproben wesentlich höher sind als im Fall der Silageproben.

- 4# Feed: Frischmasse: 78,26% > Silage: 61,93%.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 61,32% > Silage: 49,16%.
- 4# Presssaft: Frischmasse: 93,93% > Silage: 83,91%

Silageproben sind also trockener als Frischmasseproben. Dies deshalb, weil Silageproben zwecks Sicherstellung eines optimalen Verlaufs der Milchsäuregärung leicht angetrocknet werden. Eine ausführliche Diskussion dieses Sachverhalts erfolgte bereits weiter oben (s. Abschn. 4.4.2).



Massenströme/Ausbeuten

Abb. 4.4.3-2 zeigt die Wasser-Massenströme in Feed, Presssaft (PS) und Presskuchen (PK), jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed, d.h. die entsprechenden *Wasser-Ausbeuten*. Man sieht, dass im Fall der Frischmasseproben wesentlich höhere Wasserausbeuten anfallen als im Fall der Silageproben:

- 4# Feed: Frischmasse: 3.810,76 kg/t TS-Feed > 1.709,89 kg/t TS-Feed.
- 4# Presssaft: Frischmasse: 2.444,38 kg/t TS-Feed > 887,02 kg/t TS-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 1.366,38 kg/t TS-Feed > 822,87 kg/t TS-Feed.

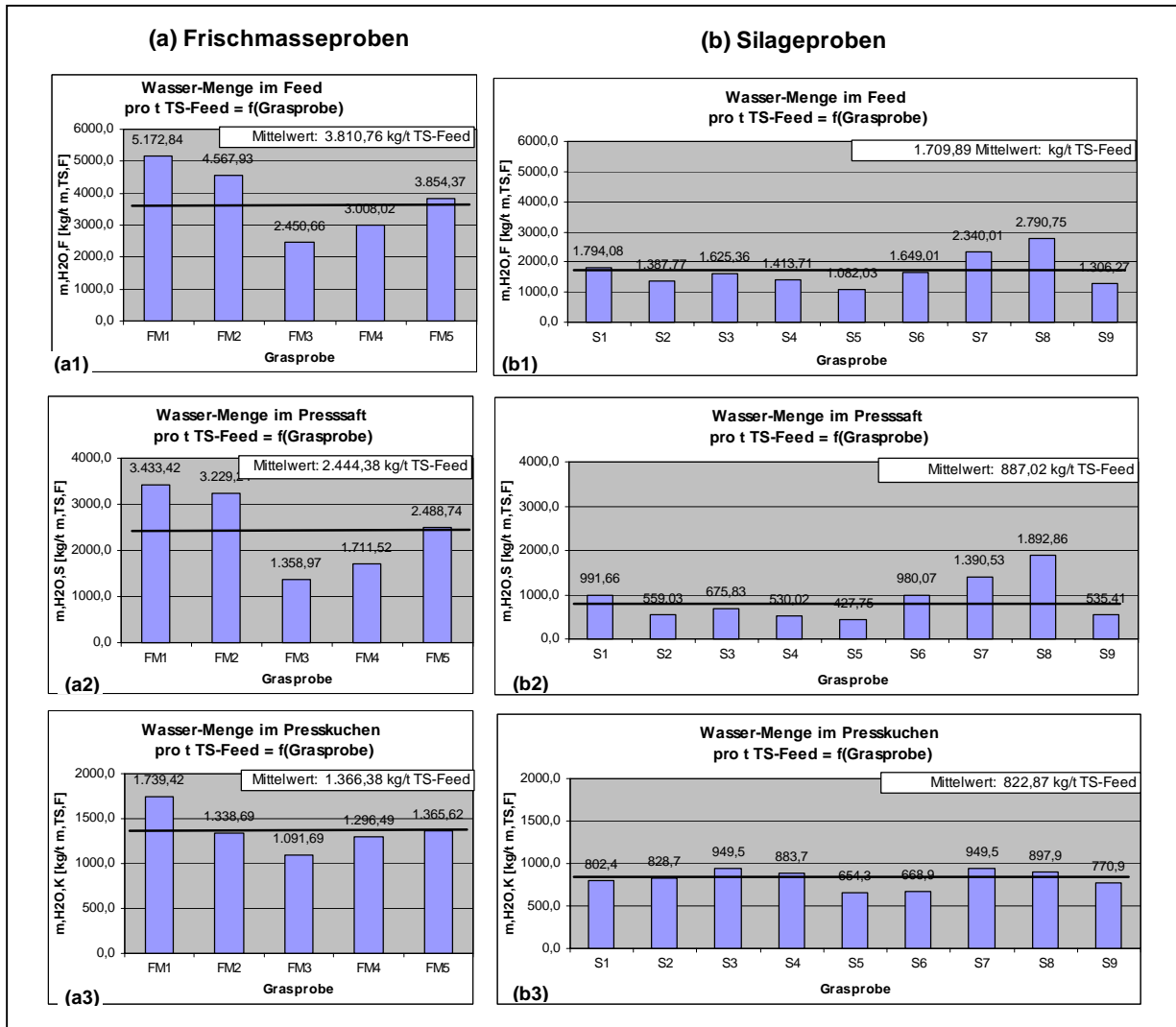


Abb. 4.4.3-2: Wasser-Massenströme in Feed, Presssaft und Presskuchen, jeweils bezogen auf 1 Tonne Feed Trockensubstanz (Wasser-Ausbeuten).

Abtrenngrade

Abb. 4.4.3-3 gibt einen Überblick über die prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Wassermenge auf Presssaft und Presskuchen, d.h. die entsprechenden *Wasser-Abtrenngrade* bzgl. Presssaft und Presskuchen, wobei der auf den Presssaft bezogene *Wasser-Abtrenngrad* auch *Abpressgrad* genannt wird. Dieser lässt sich aus gemessenen TS-Gehalten für Feed, Presskuchen und Presssaft wie folgt berechnen:

$$A [\%] = \frac{m_{H2O,Presssaft}}{m_{H2O,Feed}} * 100 \quad \left| \quad 14 \frac{TS,F \text{ \& } TS,S0}{TS,K \text{ \& } TS,S0} \Delta \frac{100 \text{ \& } TS,K0}{100 \text{ \& } TS,F0} \right| \Delta 100$$

Abb. 4.4.3-3 zeigt, dass im Fall der Frischmasseproben ein wesentlich höherer Anteil der im Feed enthaltenen Wassermenge in den Presssaft (bzw. ein wesentlich geringerer Anteil in den Presskuchen) übergeht als im Fall der Silageproben. Bei Frischmasseproben wird also ein höherer Abpressgrad erreicht als bei Silageproben:

4# Presssaft: Frischmasse: 62,80% m,H<sub>2</sub>O-Feed > Silage: 49,09% m,H<sub>2</sub>O-Feed.

4# Presskuchen: Frischmasse: 37,20% m,H<sub>2</sub>O-Feed < Silage: 50,91% m,H<sub>2</sub>O-Feed.

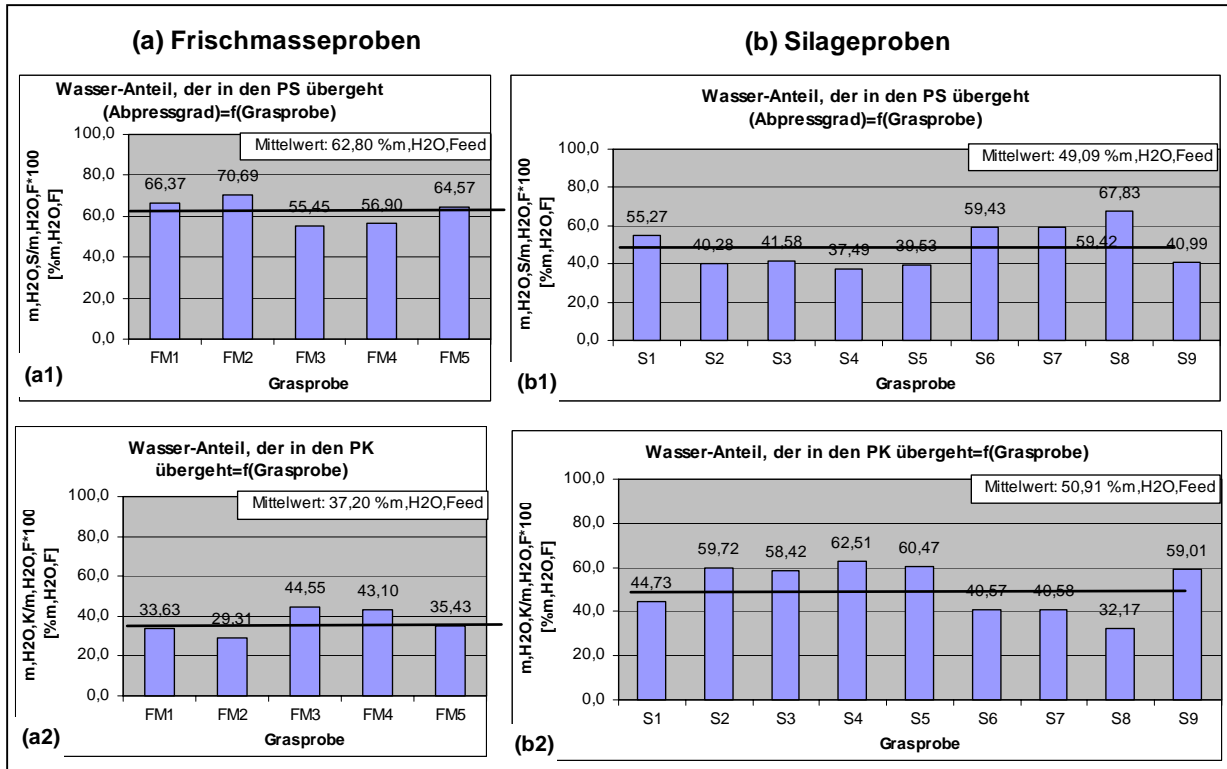


Abb. 4.4.3-3: Prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Wassermenge auf Presssaft und Presskuchen (Wasser- Abtrenngrade). Der Wasserabtrenngrad bzgl. des Presssafts wird auch Abpressgrad genannt.

Abb. 4.4.3-4 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Wasser-Abtrenngrade bzw. des Abpressgrades vom TS-Gehalt des Feeds sowie von der Grasprobenart.

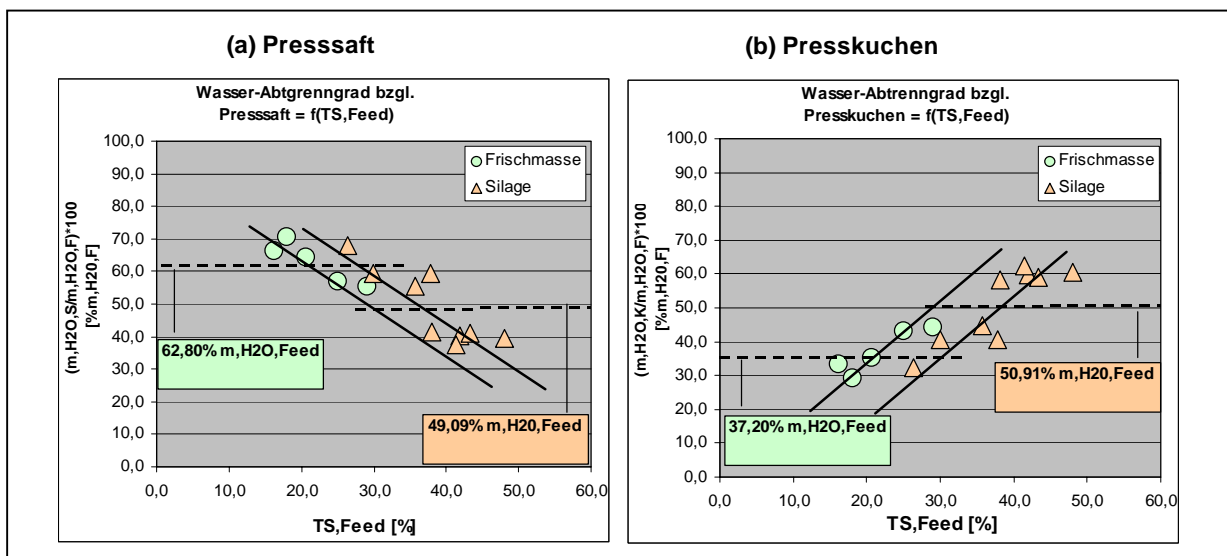


Abb. 4.4.3-4: Wasser-Abtrenngrade als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.

Abb. 4.4.3-4 zeigt zweierlei: (a) Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt der Abpressgrad (= der in den Presssaft übergehende Wasseranteil) bzw. steigt der in den Presskuchen übergehende Wasseranteil:  $TS_{\clubsuit} \heartsuit (m,H_2O,S/m,H_2O,F)$  bzw. Abpressgrad  $\spadesuit$  und  $(m,H_2O,K/m,H_2O,F)_{\clubsuit}$ . (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben geht im Fall der Silageproben anteilmäßig mehr Wasser in den Presssaft (bzw. weniger Wasser in den Presskuchen) als im Fall der Frischmasseproben. Silageproben sind offensichtlich leichter entwässerbar als Frischmasseproben. Mögliche Erklärung: Im Fall der Frischmasseproben gibt es mehr schwer entfernbare, kolloidal gebundenes Wasser als im Fall der Silageproben.

### Zusammenfassung

Abb. 4.4.3-5 gibt eine zusammenfassende Darstellung der Wasser-Massenbilanz. Es werden die jeweils über die 5 Frischmasse- bzw. 9 Silageproben *gemittelten* Werte für die Wasser-Gehalte (Konzentrationen), Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade gezeigt.

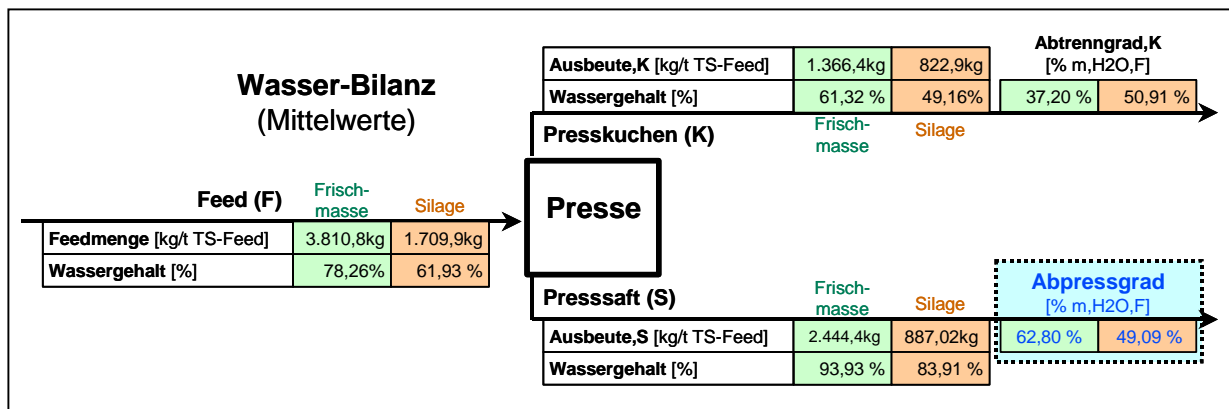


Abb. 4.4.3-5: Wasser-Bilanz: Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade (Mittelwerte).

(1) ad Wasser-Gehalte: Für die über alle Grasproben *gemittelten* Wassergehalte erhält man folgendes Ergebnis: Frischmasse: Feed=78,26%, Presskuchen=61,32%, Presssaft=93,93%. Silage: Feed: 61,93%, Presskuchen=49,16%, Presssaft=83,91%. Die Wasser-Gehalte von Feed, Presskuchen und Presssaft sind also im Fall der Silageproben wesentlich niedriger als im Fall der Frischmasseproben, d.h. Silageproben sind trockener als Frischmasseproben. Erklärung: Silagegras wird teilweise luftgetrocknet zwecks Sicherstellung eines optimalen Verlaufs der Milchsäuregärung.

(2) ad Wasser-Massenströme/Ausbeuten: Für die über alle Grasproben gemittelten Wassermassenströme bzw. Ausbeuten findet man folgendes Ergebnis: Frischmasse: Feed=3.810,8 kg/t TS-Feed, Presskuchen=1.366,4 kg/t TS-Feed, Presssaft=2.444,4 kg/t TS-Feed. Silage: Feed=1.709,9 kg/t TS-Feed, Presskuchen=822,9 kg/t TS-Feed, Presssaft=887 kg/t TS-Feed. Man sieht, dass im Fall der Frischmasseproben wesentlich höhere Wasserströme bzw. Ausbeuten anfallen als im Fall der Silageproben.

(3) ad Wasser-Abtrenngrade bzw. Abpressgrad: Für die über alle Grasproben *gemittelten* Wasser-Abtrenngrade erhält man folgendes Ergebnis (Abpressgrad = Wasser-abtrenngrad bzgl. Presssaft): Frischmasse: Presssaft=62,80%, Presskuchen=37,20%. Silage: Presssaft=49,1%, Presskuchen=50,9%. Man sieht, dass im Fall der Frischmasseproben ein wesentlicher höherer Anteil der im Feed enthaltenen Wassermenge in den Presssaft übergeht als im Fall der Silageproben, d.h. im Fall der Frischmasseproben sind höhere Abpressgrade erreicht als im Fall der Silageproben. Für die *individuellen* Wasserabtrenngrade bzw. Abpressgrad findet man folgende funktionelle Abhängigkeiten: (a) Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt der Abpressgrad, d.h. der in den Presssaft übergehende Wasseranteil. (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben geht

im Fall der Silageproben mehr Wasser in den Presssaft als im Fall der Frischmasseproben, Silageproben sind also leichter entwässerbar als Frischmasseproben.

Offene Fragen / Weitere Arbeiten

(1) ad Maßnahmen zur Steigerung des Abpressgrades: Steigerung Für beide Grasprobenarten wäre in weiteren Abpressversuchen zu klären, durch welche technischen Maßnahmen der Abpressgrad gesteigert werden könnte, d.h. jener Anteil der im Feed enthalten Wassermenge, der in den Presssaft übergeht. Ein Erhöhung des Abpressgrades ist deshalb erwünscht, weil dadurch zum einen die Ausbeute an wasserlöslichen Wertstoffen im Presssaft erhöht wird (Milchsäure, Proteine) und zum anderen für den feuchten Presskuchen der Trocknungsaufwand erniedrigt wird (Trocknungskosten).

(2) ad Begründung für leichtere Entwässerbarkeit von Silageproben: Zu klärende Frage: Ursache dafür, weshalb Silageproben leichter entwässerbar sind als Frischmasseproben.

#### 4.4.4. Rohprotein-Bilanz

##### Rohprotein-Gehalte (Konzentrationen)

Abb. 4.4.4-1 zeigt die im Rahmen der Abpressversuche ermittelten Messwerte für die Rohprotein-Gehalte der Trockensubstanz von Feed, Presssaft und Presskuchen.

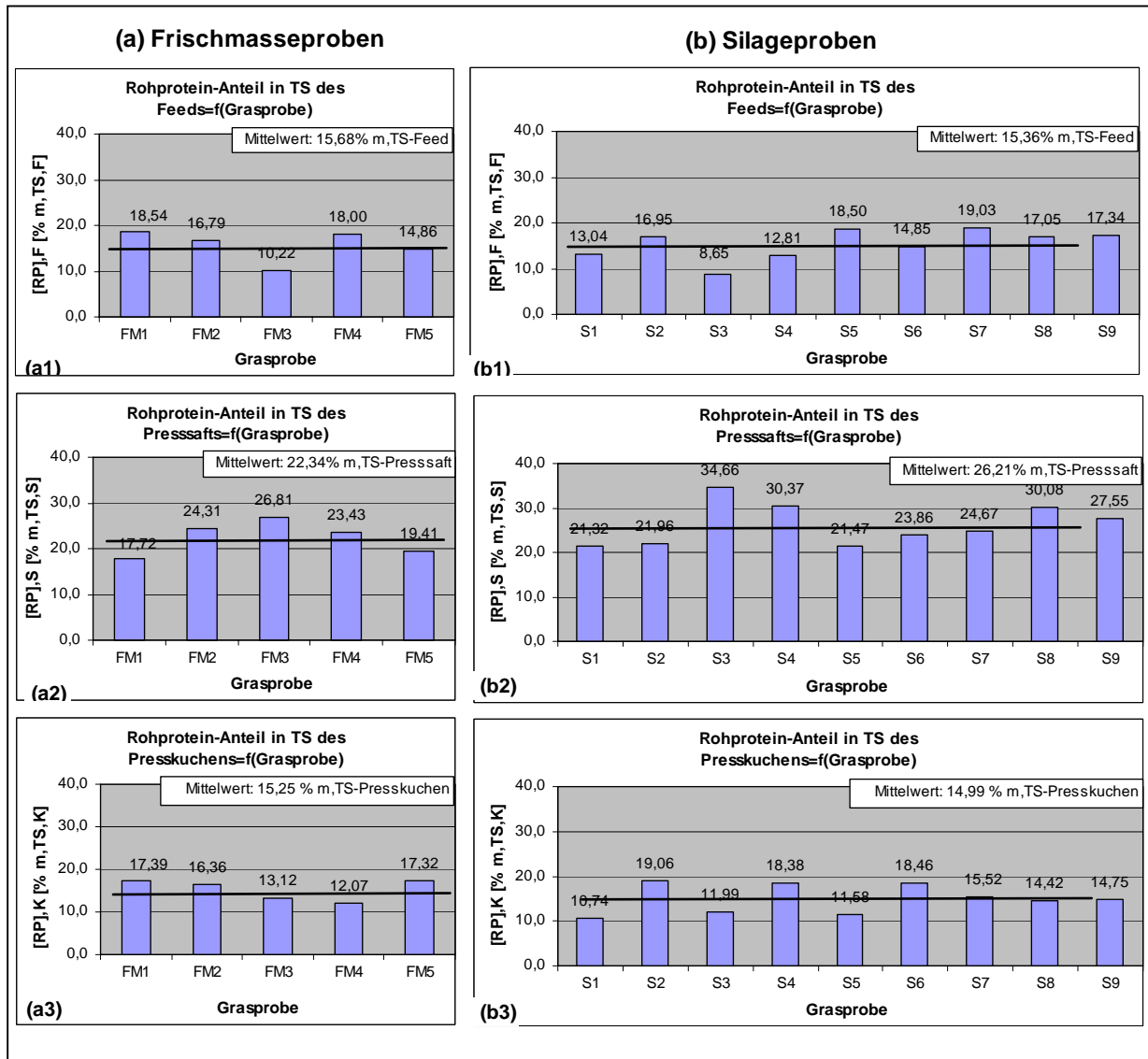


Abb. 4.4.4-1: Rohprotein-Anteile in der Trockensubstanz von Feed, Presssaft und Presskuchen.

Abb. 4.4.1 zeigt, dass sich Frischmasse- und Silageproben hinsichtlich dieser Rohprotein-Anteile *nicht* wesentlich voneinander unterscheiden:

- 4# Feed: Frischmasse: 15,68% – Silage: 15,36%.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 15,25% – Silage: 14,99%.
- 4# Presssaft: Frischmasse: 22,34% – Silage: 26,21%.

Der mittlere Rohprotein-Gehalt der Trockensubstanz sowohl des *Feeds* als auch des *Presskuchens* beträgt für beide Grasprobenarten im jeweils ca. 15%, derjenige der Trockensubstanz des *Presssafts* ca. 25%, d.h. Rohprotein wird im *Presssaft* aufkonzentriert.

Abb. 4.4.4-2 zeigt den Rohproteinanteil der Trockenmassen von Presssaft und Presskuchen als Funktion des TS-Gehalts des Feeds. Es sind keine signifikanten funktionellen Abhängigkeiten erkennbar.

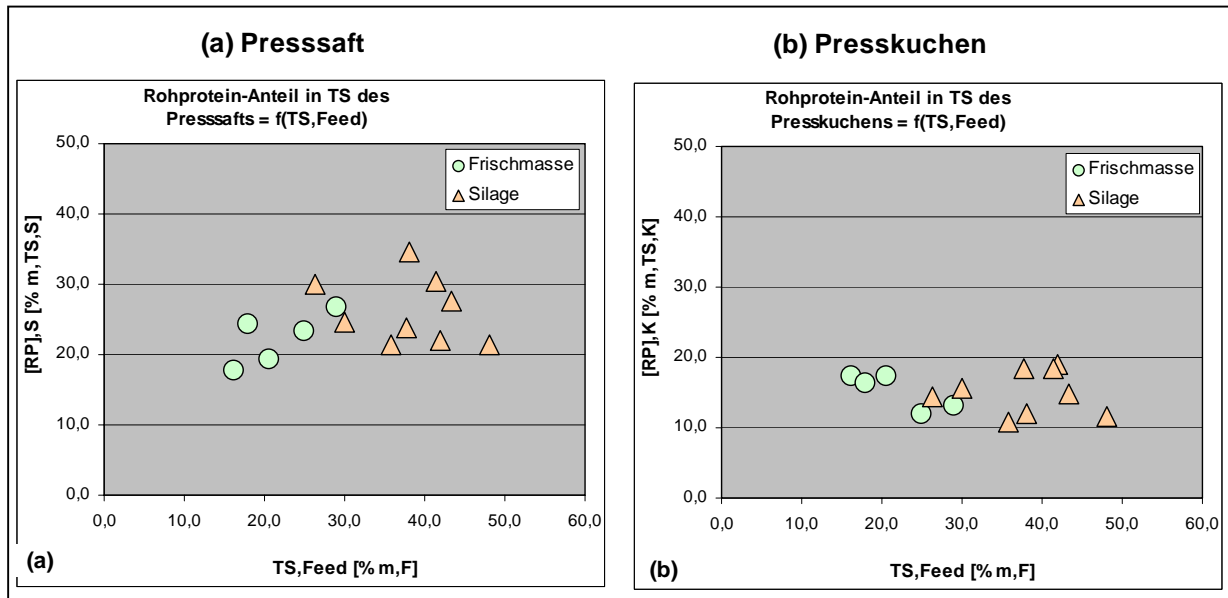


Abb. 4.4.4-2: Rohproteingehalte der Trockensubstanz von Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.

Rohprotein-Massenströme / Ausbeuten

Abb. 4.4.4-3 zeigt die aus Abb. 4.4.4-1 berechneten Rohprotein-Massenströme in Feed, Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung, jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed, wobei die Massenströme in Presssaft und Presskuchen die entsprechenden **Rohprotein-Ausbeuten** darstellen (Einheit: kg Rohprotein/t TS-Feed).

Der als „Bilanzabweichung“ bezeichnete Massenstrom ist definiert als Differenz aus dem gemessenen Rohproteinstrom im Feed einerseits und der Summe der gemessenen Rohproteinströme in Presssaft und Presskuchen andererseits:  $m_{RP,Bilanz} = m_{RP,Feed} - (m_{RP,Saft} + m_{RP,Kuchen})$ . Die so definierte Bilanzabweichung dient der Beurteilung der Mess- bzw. Analysefehler, da bei exakter Messung  $m_{RP,Bilanz} = 0$  sein müsste.

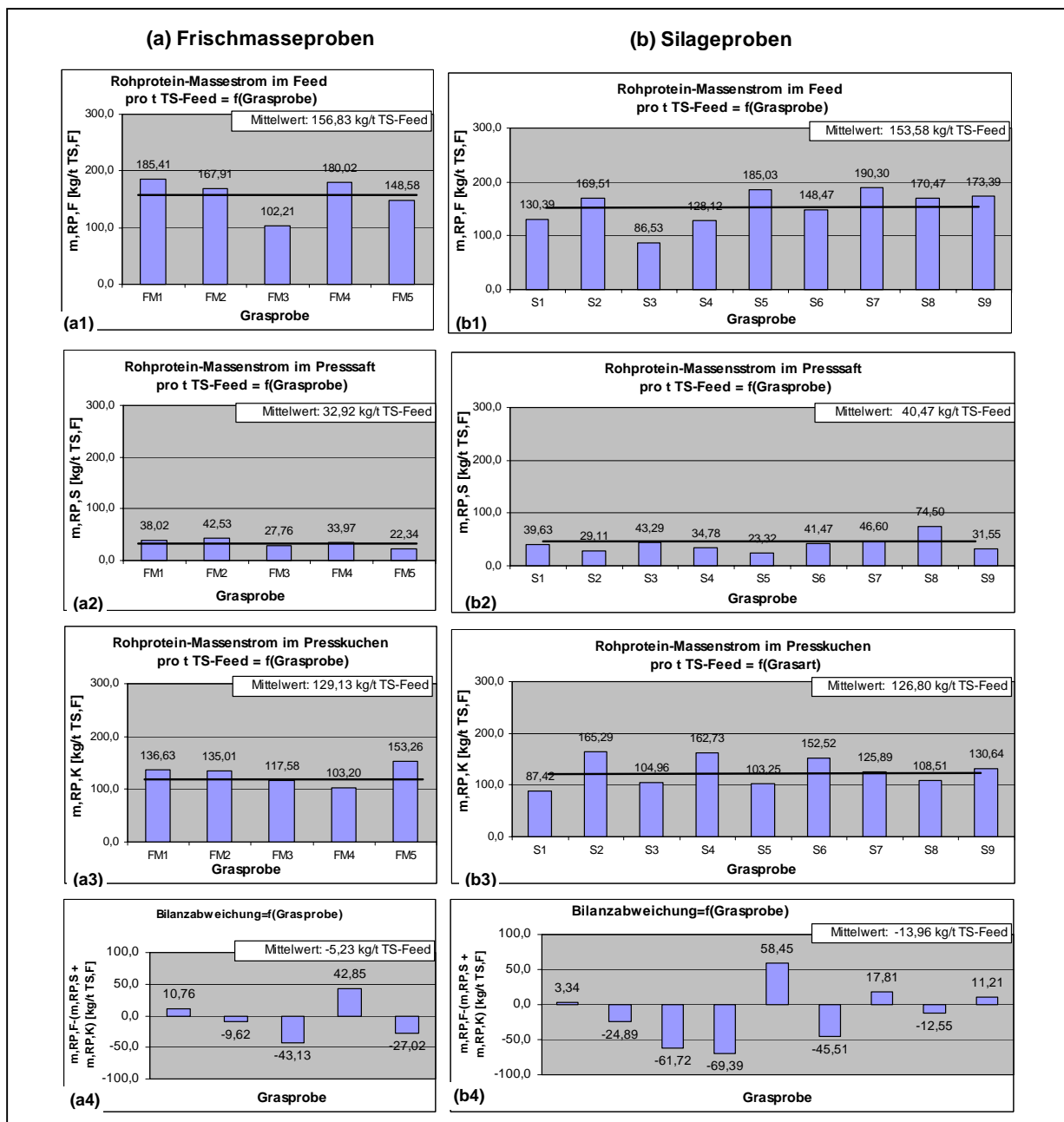


Abb. 4.4.4-3: Rohprotein-Massenströme in Feed, Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung, jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed (Rohprotein-Ausbeuten)..

Abb. 4.4.4-3 zeigt, dass sich Frischmasse- und Silageproben hinsichtlich der Rohproteinmassenströme in Feed, Presssaft und Presskuchen wenig voneinander unterscheiden.

- 4# Feed: Frischmasse: 156,83 kg/t TS-Feed – Silage: 153,58 kg/t TS-Feed.
- 4# Presssaft: Frischmasse: 32,92 kg/t TS-Feed – Silage: 40,47 kg/t TS-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 129,13 kg/t TS-Feed – Silage: 126,80 kg/t TS-Feed

Für beide Grasprobenarten findet man im Feed durchschnittlich 155 kg Rohprotein pro TS-Feed, wovon ca. 35kg in den Presssaft und die restlichen 120 kg in den Presskuchen übergehen.

Abb. 4.4.4-4 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Rohprotein-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt des Feeds und der Grasprobenart:

- 4# (1) Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt für beide Grasprobenarten die Rohprotein-Ausbeute im Presssaft. Für die Rohprotein-Ausbeute im Presskuchen ist keine signifikante funktionelle Abhängigkeit vom TS-Gehalt des Feeds erkennbar:  $TS, F_{\clubsuit, \heartsuit} \text{ Ausbeute, RP, S}_{\spadesuit}$  und  $Ausbeute, RP, K = \text{const.}$   
Eine analoge Tendenz findet man auch für die Abhängigkeit der *Rohasche-Ausbeute im Presssaft* vom TS-Gehalt des Feeds (s. **Abschn. 4.4.4-8**).
- 4# (2) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Rohprotein-Ausbeute im Falle der Silageproben höher als im Fall der Frischmasseproben. Mögliche Erklärung: Bei den Silageproben könnten im Zuge des Silageprozesses Proteine in kleinere Bruchstücke zerfallen sein, wodurch diese weniger leicht von der Faserstruktur des Presskuchens zurückgehalten werden und daher leichter in den Presssaft übergehen.

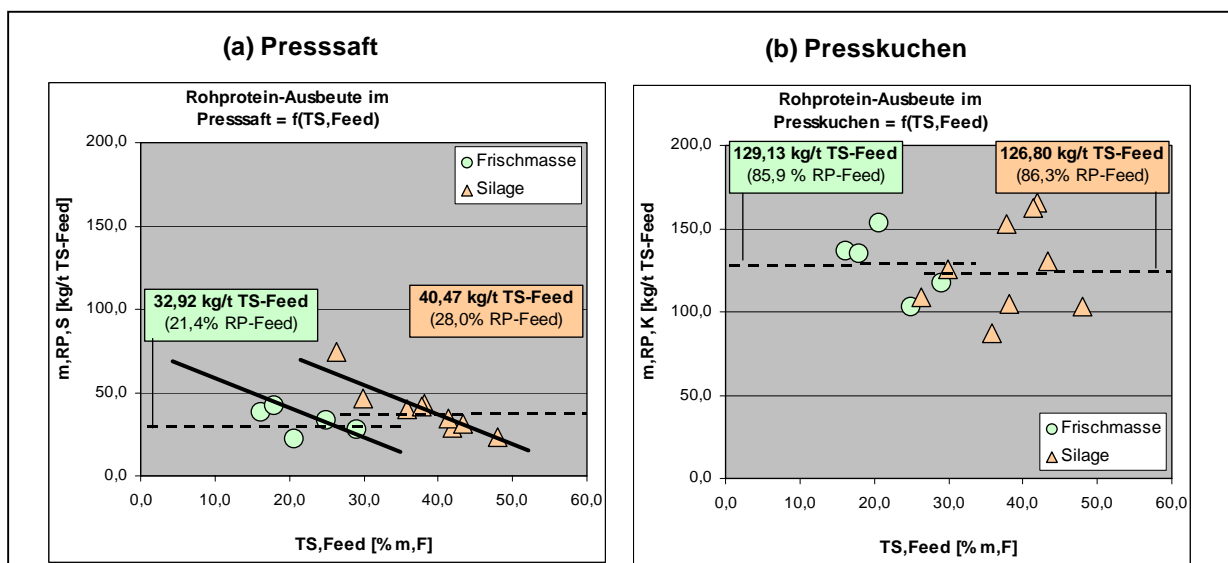


Abb. 4.4.4-4: Rohprotein-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed).



Rohprotein-Abtrenngrade

Abb. 4.4.4-5 zeigt die prozentuelle Aufteilung des Rohproteinstroms im Feed auf Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung, d.h. die entsprechenden **Rohprotein-Abtrenngrade**.

- 4# Presssaft: Frischmasse: 21,38% m,RP-Feed < Silage: 27,96% m,RP-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 85,92% m,RP-Feed – Silage: 86,28% m,RP-Feed.

Man sieht, dass im Fall der Silageproben im Durchschnitt lediglich 28% des im Feed vorhandenen Rohproteins in den Presssaft übergeht, im Fall der Frischmasseproben mit ca. 20% sogar noch weniger. Der jeweils verbleibende Rest geht in den Presskuchen. Eine Erklärung dafür, dass der überwiegende Teil des im Feed enthaltenen Proteins in den Presskuchen und nicht in den Presssaft übergeht, könnte sein, dass sich die Proteinmoleküle wegen ihrer Größe (Molekulargewicht einige 10.000) quasi im Fasergeflecht des Presskuchens verhängen (mechanische und chemische Bindungen). Außerdem dürften die Proteinmoleküle wenig wasserlöslich sein, was deren Übergang in den Presssaft ebenfalls erschwert.

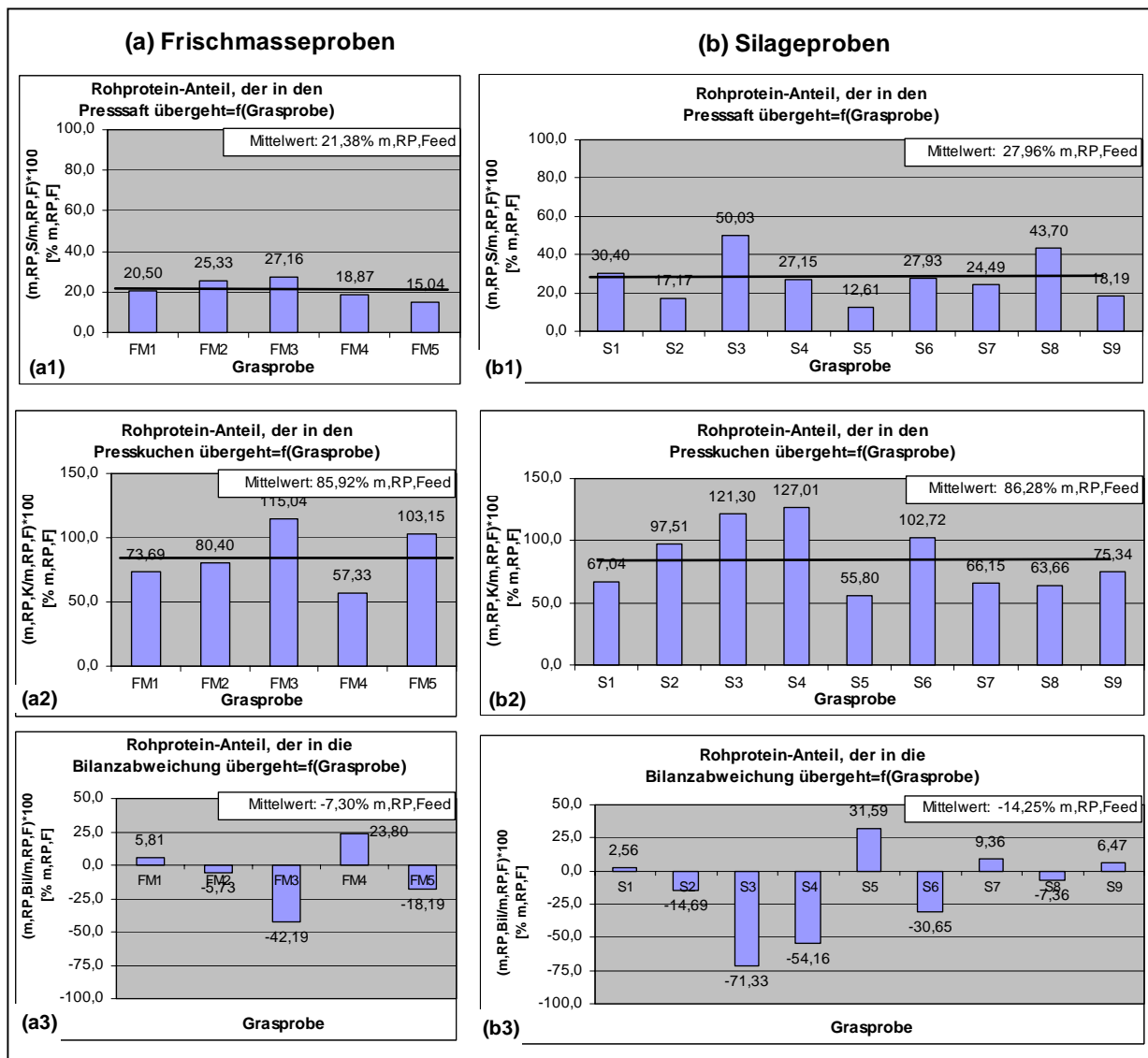


Abb. 4.4.4-5: Prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Rohproteinmenge auf Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichungen (Rohprotein-Abtrenngrade).

Abben 4.4.4-5a3+b3 zeigen, dass der in die Bilanzabweichung übergehende Rohproteinanteil sowohl für Frischmasse- als auch für Silageproben im Durchschnitt negative Werte annimmt:

4# Bilanzabweichung: Frischmasse: - 7,3%; Silage: -14,25%.

Demzufolge ist die gemessene Rohproteinmenge im Feed um 7 bzw. 14% kleiner als die Summe der in den beiden Produktströmen „Presssaft“ und „Presskuchen“ gemessenen Proteinmengen, was auf einen *systematischen Analysefehler* hindeutet. Möglicherweise ist es im Fall der Presssaft- bzw. Presskuchenproben zwischen dem Zeitpunkt der Probenahme und der Durchführung der eigentlichen Proteinanalytik zu einer Verdunstung des Wassers gekommen ist, wodurch höhere Proteinkonzentrationen vorgetäuscht werden als ursprünglich vorhanden waren. Für diese These spricht auch die Tatsache, dass für die Rohasche-Gehalte ein analoger systematischer Analysefehler festzustellen ist (s. Kap. 4.4.4-8).

### Zusammenfassung

Abb. 4.4.4-6 gibt eine Zusammenstellung der Ergebnisse der Rohproteinbilanz. es werden die jeweils über die 5 Frischmasse- bzw. 9 Silageproben gemittelten Werte für die Rohprotein-Gehalte der Trockensubstanzen, Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade gezeigt.

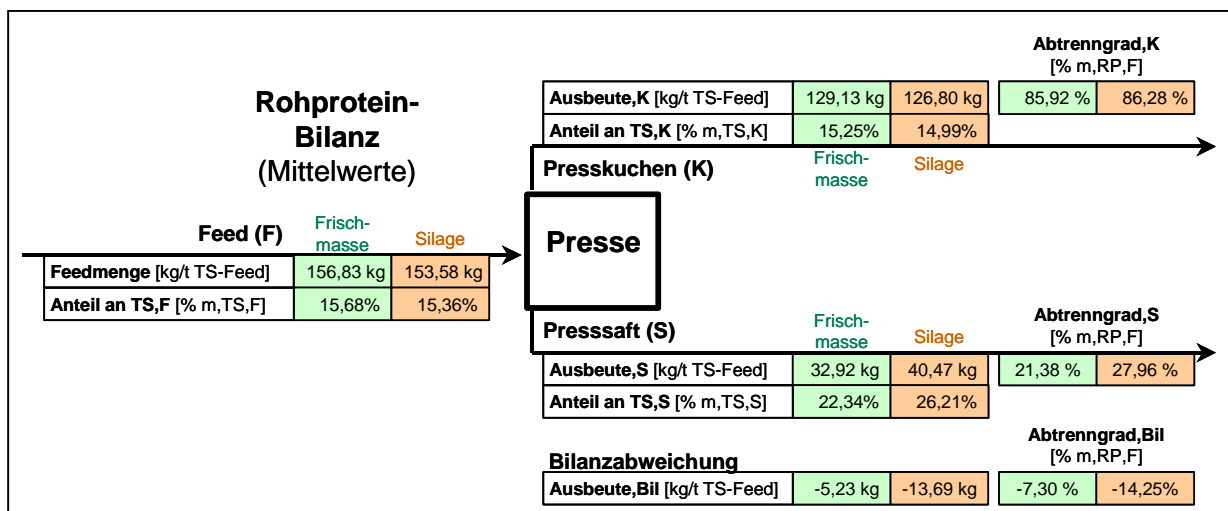


Abb. 4.4.4-6: Rohprotein-Bilanz: Massenströme bzw. Ausbeuten, Abtrenngrade und Rohproteingehalt der Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft (jeweils Mittelwerte).

(1) ad Rohprotein-Gehalte: Für die über alle Grasproben *gemittelten* Rohproteingehalte erhält man folgendes Ergebnis: Frischmasse: Feed=15,68%, Presskuchen=15,25%, Presssaft=22,34%. Silage: Feed=15,36%, Presskuchen=14,99%, Presssaft=26,21%. Zwischen Frischmasse- und Silageproben also in dieser Hinsicht keine wesentlichen Unterschiede: Für beide Grasprobenarten findet man, dass der mittlere Rohprotein-Gehalt der Trockensubstanz von *Feed* und *Presskuchens* jeweils ca. 15% beträgt, derjenige der Trockensubstanz des *Presssafts* ca. 25%. Rohprotein wird also bei beiden Grasprobenarten im Presssaft etwas aufkonzentriert.

(2) ad Rohprotein-Massenströme/Ausbeuten: Hinsichtlich der *mittleren* Rohprotein-Ausbeuten findet man keinen wesentlich Unterschied zwischen Frischmasse- und Silageproben. Für beide Grasprobenarten findet man im Feed durchschnittlich 155 kg Rohprotein pro TS-Feed, wovon ca. 35kg in den Presssaft und die restlichen 120 kg in den Presskuchen übergehen. Für die *individuellen* Rohprotein-Ausbeuten findet man klare funktionelle Abhängigkeiten vom TS-Gehalt des Feeds und von der Grasprobenart: (a) Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt für beide Grasprobenarten die Rohprotein-Ausbeute im Presssaft, wobei die Rohprotein-Ausbeute im Presskuchen konstant bleibt. (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Rohprotein-Ausbeute im Presssaft im Falle der Silageproben höher als im Fall der Frischmasseproben. Mögliche Erklärung: Bei den Silageproben könnten im Zuge des Silageprozesses Proteine in kleinere Bruchstücke zerfallen sein,

wodurch diese weniger leicht von der Faserstruktur des Presskuchens zurückgehalten werden und daher leichter in den Presssaft übergehen.

(3) ad Rohprotein-Abtrenngrade: Im Fall der Silageproben gehen im Durchschnitt lediglich 28% der im Feed enthaltenen Rohproteinmenge in den Presssaft über, im Fall der Frischmasseproben noch weniger, nämlich nur ca. 20%. Der jeweils verbleibende Rest bleibt im Presskuchen.

#### Offene Fragen / Weitere Arbeiten

(1) ad Erhöhung der Rohprotein-Ausbeute: Angesichts der Tatsache, dass lediglich ein geringer Teil der im Feed enthaltenen Rohproteinmenge in den Presssaft übergeht (ca. 25% = ca. 35 kg pro Tonne TS-Feed), für die Gewinnung von reinen und konzentrierten Proteinprodukten jedoch dieser Anteil möglichst hoch sein sollte, wäre in weiteren Arbeiten zu klären, durch welche technische Maßnahmen der in den *Presssaft* übergehende Rohprotein-Anteil erhöht werden könnte bzw. durch welche Maßnahmen der im Presskuchen verbleibenden Rohproteinanteil verfügbar gemacht werden könnte.

(2) ad Einfluss des Silageprozesses auf Rohprotein-Ausbeute: Angesichts der Tatsache, dass die Rohprotein-Ausbeute im Presssaft im Fall der Silageproben höher ist als im Fall der Frischmasseproben, wäre die dafür verantwortliche Ursache zu klären. Möglicherweise werden im Zuge des Silageprozesses die im Frischgras enthaltenen Proteine in kleinere Bruchstücke zerlegt, die dann leichter in die flüssige Phase übergehen. Ganz allgemein wäre der Einfluss des Silageprozesses auf die Protein-Ausbeute und -qualität zu untersuchen, d.h. es wäre zu klären, in welchem Ausmaß der Silageprozess eine Reduktion von Ausbeute und Qualität der im Frischgras enthaltenen Rohproteine zur Folge hat.

(3) ad Rohprotein-Analytik: Angesichts eines *systematischen* Analysefehlers bei der Bestimmung der Rohproteinkonzentrationen (Rohproteinmenge im Feed ist im Durchschnitt um 10% *niedriger* als die Summe aus den Rohproteinmengen in Presssaft und Presskuchen: ♥ *negative* Bilanzabweichung) ist die Ursache für diesen systematischen Analysefehler zu suchen bzw. die entsprechende Rohprotein-Analytik zu verbessern.

#### 4.4.5. Rohfaser-Bilanz

##### Rohfaser-Anteile (Konzentrationen)

Abb. 4.4.5-1 zeigt die im Rahmen der Abpressversuche ermittelten Messwerte für die *Rohfaser*-Anteile der Trockensubstanz von Feed, Presskuchen und Presssaft, wobei letztere nicht gemessen, sondern aus der Rohfaserbilanz berechnet wurden (Differenz aus gemessenen Rohfasermenge im Feed und derjenigen im Presskuchen).

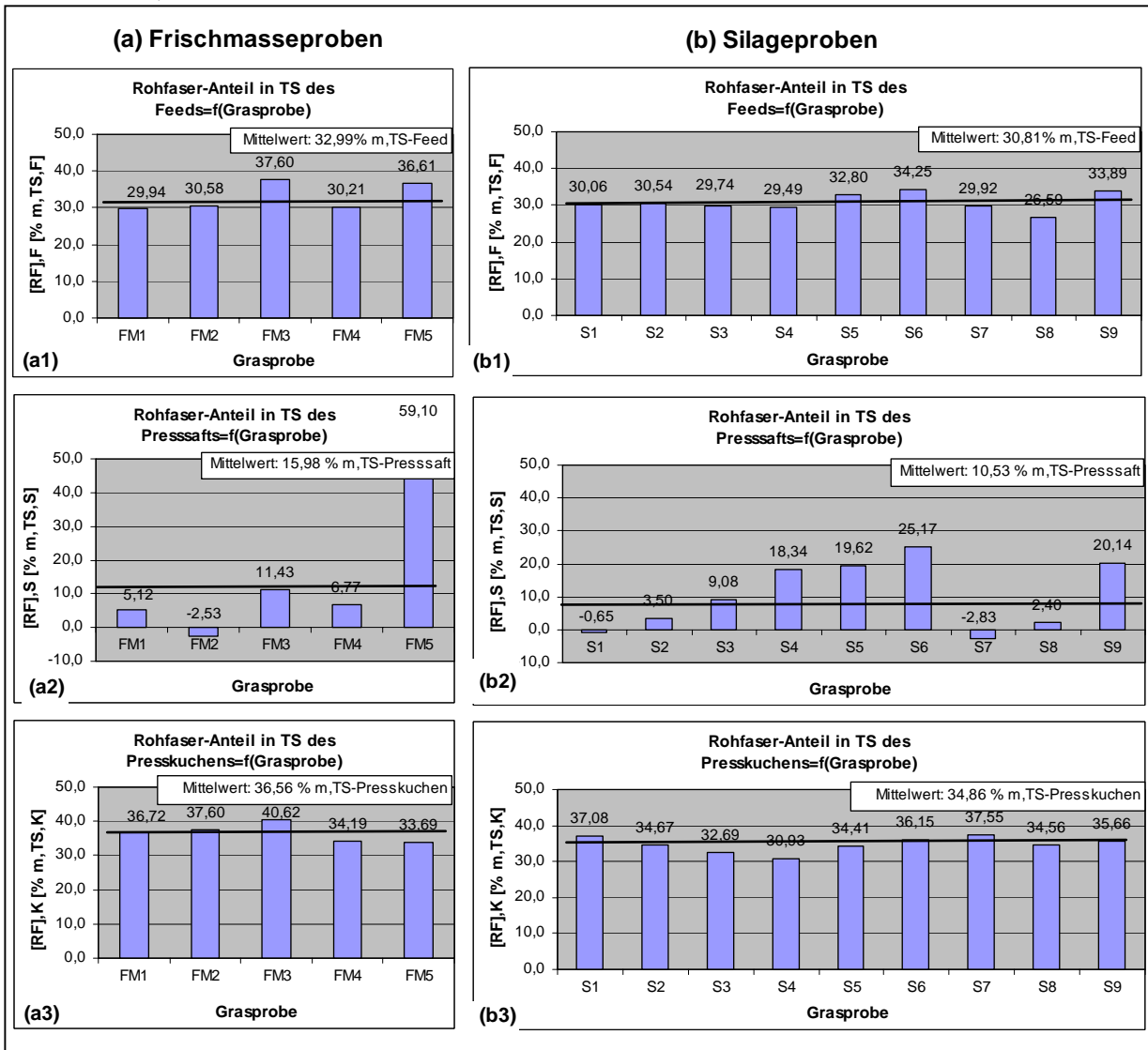


Abb. 4.4.5-1: Rohfaser-Anteile der Trockensubstanz von Feed, Presssaft und Presskuchen.

Abb. 4.4.5-1 zeigt, dass die Rohfaser-Anteile der Trockensubstanz von Feed, Presskuchen und Presssaft im Fall der Frischmasseproben durchwegs geringfügig höher sind als im Fall der Silageproben:

- 4# Feed: Frischmasse: 32,99% > Silage: 30,81%.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 36,56% > Silage: 34,86%
- 4# Presssaft: Frischmasse: 15,98% > Silage: 10,53%.

Für beide Grasprobenarten ist der Rohfaseranteil der Trockensubstanz des *Presskuchens* etwas höher als derjenige der Trockensubstanz des *Feeds*, d.h. Rohfasern werden im Presskuchen etwas aufkonzentriert.

Abben 4.4.5-1a2+b2 zeigen für 3 Grasproben (FM2, S1 & S7) *negative* Werte für den Rohfasergehalt der Trockensubstanz des Presssafts, was wegen der Art, *wie* [RF],S berechnet wurde (Differenz aus gemessenen Rohfasermenge im Feed und derjenigen im Presskuchen) bedeutet, dass für diese drei Grasproben die im Produktstrom „Presskuchen“ gefundene Rohfasermenge größer ist als die im Feedstrom gefundene, was auf einen *Analysefehler* hindeutet. Außerdem zeigen die berechneten [RF],S-Werte eine beträchtliche Schwankungsbreite (z.B. Silage: [RF],S = -2,83 bis 25,17% m,TS,S), was wiederum ein Indiz darstellt für Analysefehler bei der Bestimmung der Messwerte für [RF],F bzw. [RF],K.

Abb. 4.4.5-2 zeigt, dass es zwischen dem TS-Gehalt des Feeds einerseits und dem Rohfaseranteil der Trockenmasse des Presssafts bzw. des Presskuchens andererseits *keine* signifikante funktionelle Abhängigkeit gibt.

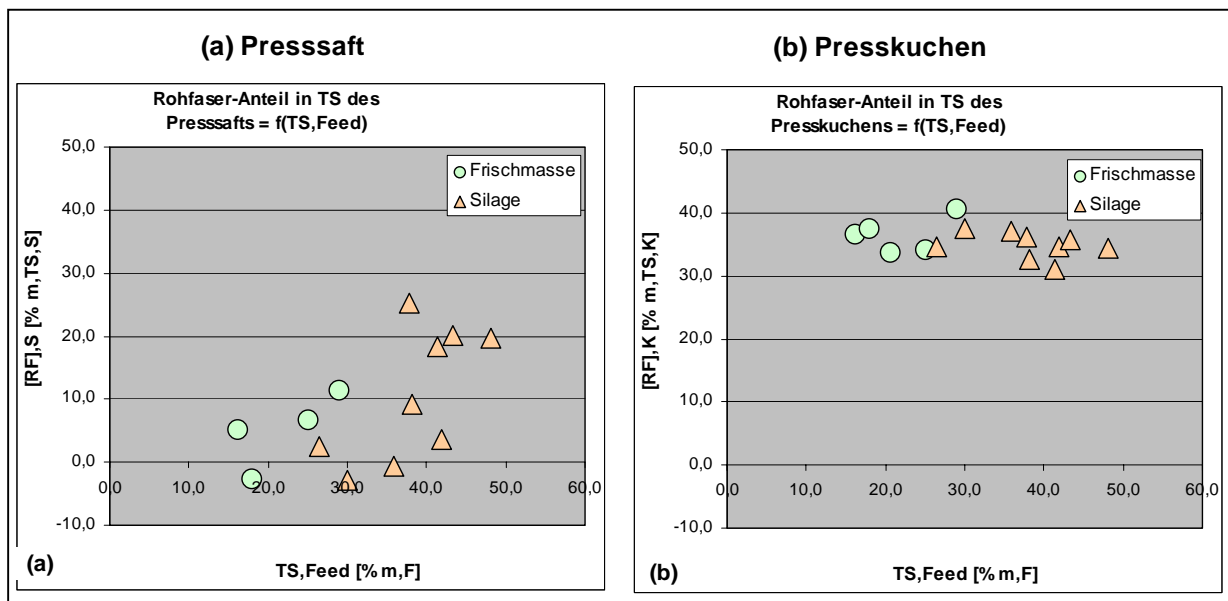


Abb. 4.4.5-2: Rohfaseranteile der Trockensubstanz von Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.

Rohfaser-Massenströme / Ausbeuten

Abb. 4.4.5-3 zeigt die aus Abb. 4.4.5-1 berechneten Rohfaser-Massenströme in Feed, Presssaft und Presskuchen, jeweils bezogen auf 1 Tonne TS im Feed, wobei die Rohfaser-Massenströme in Presssaft und Presskuchen die entsprechenden **Rohfaser-Ausbeuten** darstellen (Einheit: kg Rohfaser/t TS-Feed). Man sieht, dass die Rohfaser-Massenströme in Feed, Presskuchen und Presssaft im Fall der Frischmasseproben durchwegs geringfügig höher sind als im Fall der Silageproben:

- 4# Feed: Frischmasse: 329,90 kg/t TS-Feed > Silage: 308,08 kg/t TS-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 310,65 kg/t TS-Feed > Silage: 294,25 kg/t TS-Feed.
- 4# Presssaft: Frischmasse: 19,25 kg/t TS-Feed > Silage: 13,83 kg/t TS-Feed.

Man sieht für die Rohfaser-Massenströme im Presssaft eine extreme Schwankungsbreite sowie für 3 Grasproben (FM2, S1 & S7) sogar *negative* Zahlenwerte. Beides ist als Folge von Analysefehler bei der Ermittlung der Messwerte für [RF],F bzw. [RF],K zu werten.

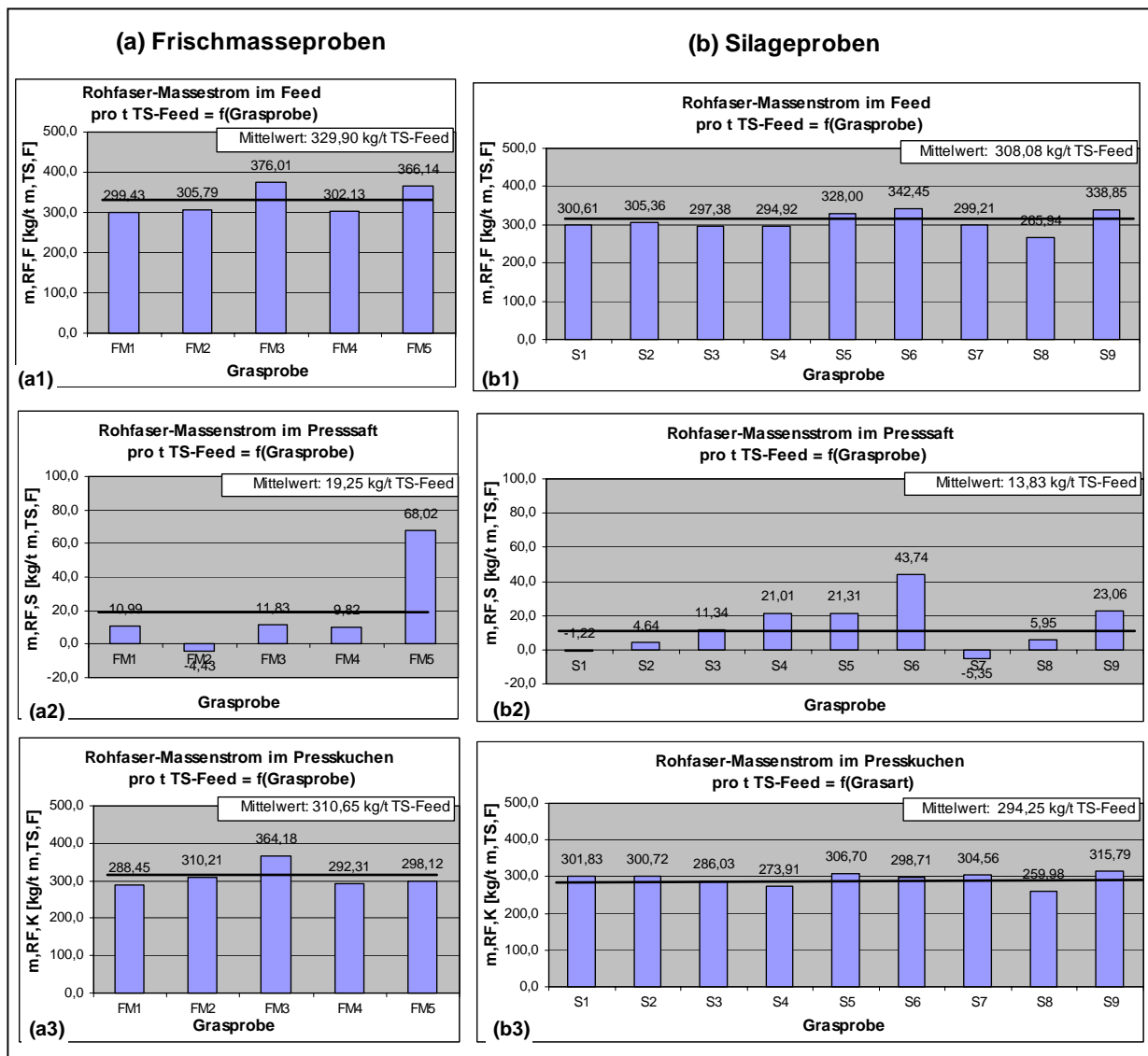


Abb. 4.4.5-3: Rohfaser-Massenströme in Feed, Presssaft und Presskuchen, jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed (Rohfaser-Ausbeuten).

Abb. 4.4.5-4 zeigt, dass es zwischen der Rohfaser-Ausbeute in Presssaft und Presskuchen und dem TS-Gehalt des Feeds sowie der Grasprobenart keine signifikanten funktionellen Abhängigkeiten gibt. Insbesondere bleibt mit steigendem TS-Gehalt des Feeds die Rohfaser-Ausbeute im Presskuchen konstant.

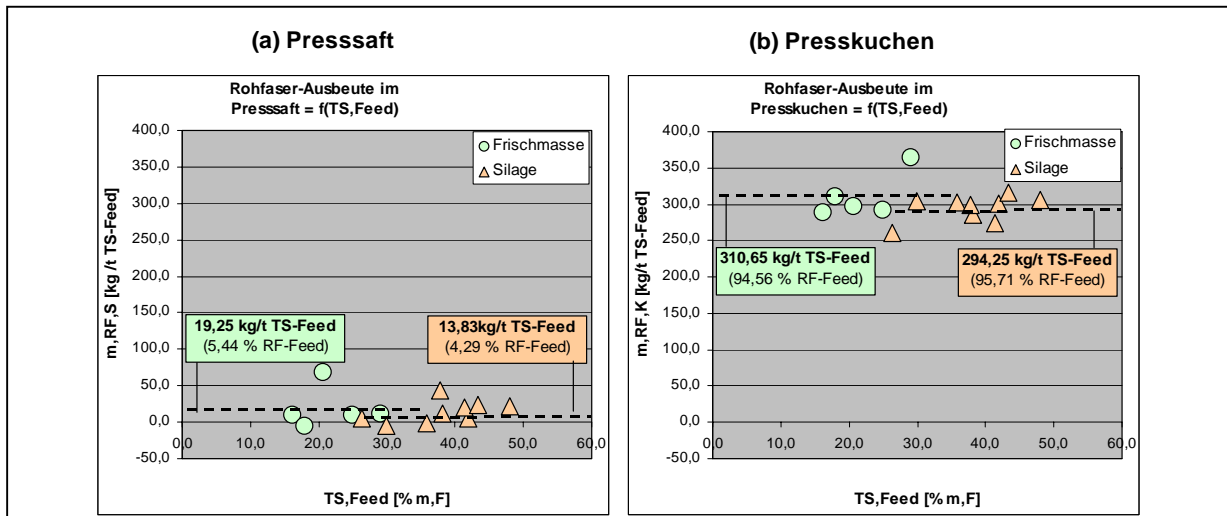


Abb. 4.4.5-4: Rohfaser-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.

Rohfaser-Abtrenngrade

Abb. 4.4.5-5 zeigt die prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Rohfasermenge auf die beiden Produktströme „Presssaft“ und „Presskuchen“, d.h. die entsprechenden **Rohfaser-Abtrenngrade**.

- 4# Presskuchen: Frischmasse: 94,56% m,RF-Feed – Silage: 95,71 %m,RF-Feed.
- 4# Presssaft: Frischmasse: 5,44% m,RF-Feed – Silage: 4,29 %m,RF-Feed.

Man sieht, dass es hinsichtlich der Rohfaser-Abtrenngrade zwischen Frischmasse- und Silageproben keinen nennenswerten Unterschied gibt. Für beide Grasprobenarten geht mit jeweils ca. 95% der überwiegende Anteil der im Feed enthaltenen Rohfasermenge in den Presskuchen über, der verbleibende Rest in den Presssaft.

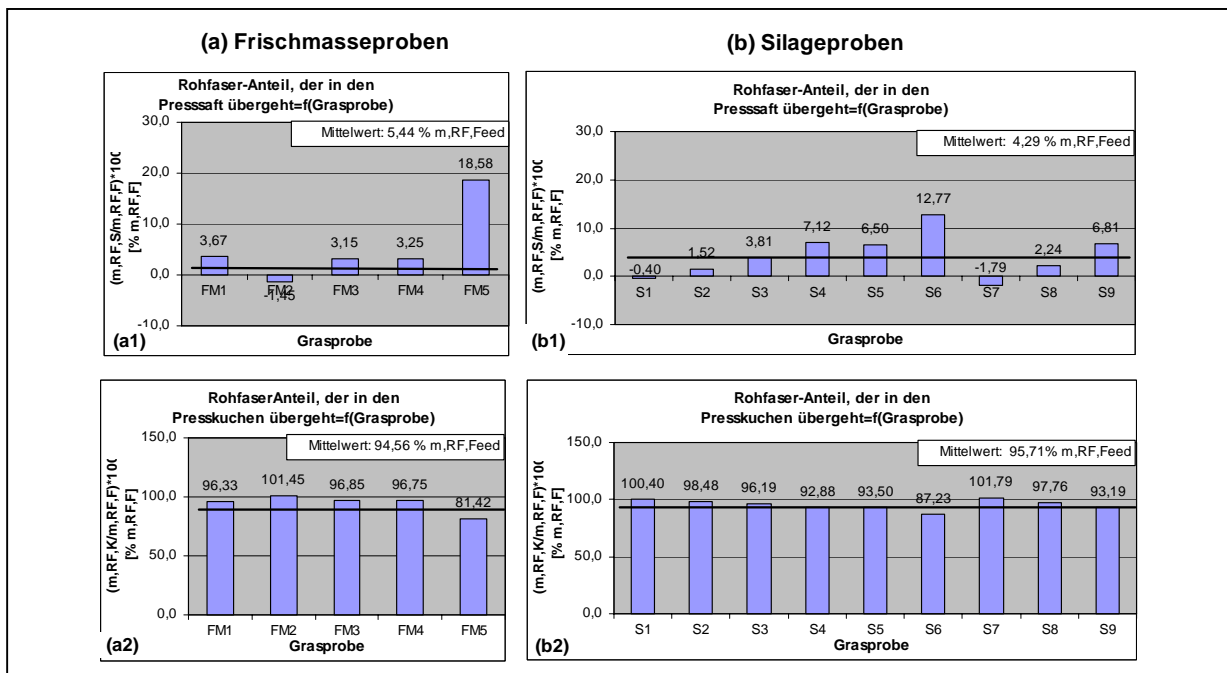


Abb. 4.4.5-5: Prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Rohfasermenge auf Presssaft und Presskuchen (Rohfaser-Abtrenngrade).

### Zusammenfassung

Abb. 4.4.5-6 zeigt die Ergebnisse der Rohfaserbilanz. Es werden die jeweils über die 5 Frischmasse- bzw. 9 Silageproben gemittelten Werte für die Rohfaser-Anteile der Trockensubstanzen, Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade gezeigt.

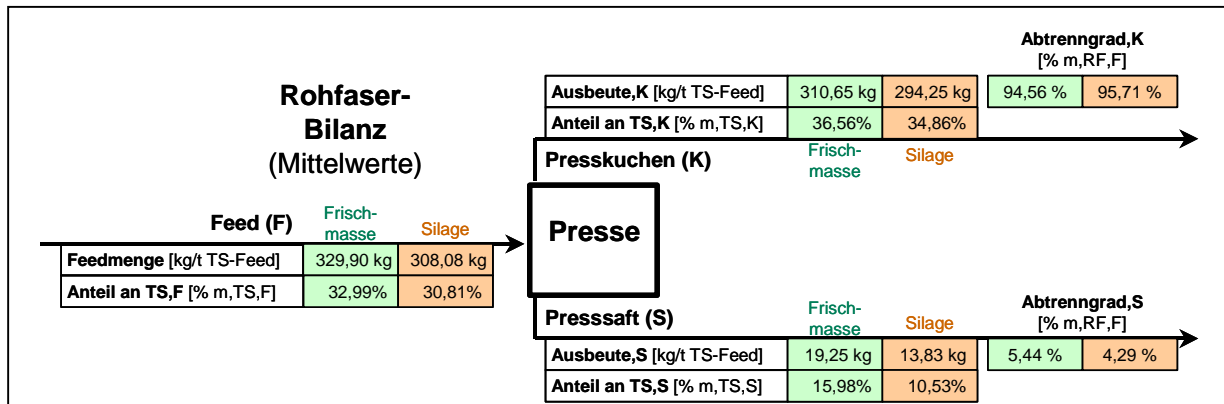


Abb. 4.4.5-6: Rohfaser-Bilanz: Massenströme bzw. Ausbeuten, Abtrenngrade und Rohfasergehalte der Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft (jeweils Mittelwerte).

(1) ad Rohfaser-Gehalte: Für die über alle Frischmasse- bzw. Silageproben jeweils gemittelten Rohfasergehalte erhält man folgendes Ergebnis: Frischmasse: Feed=32,99%, Presskuchen=36,56%, Presssaft=15,98%. Silage: Feed=30,81%, Presskuchen=34,86%, Presssaft=10,53%. Die Rohfaser-Gehalte der Trockensubstanz von Feed, Presskuchen und Presssaft sind im Fall der Frischmasseproben geringfügig höher sind als im Fall der Silageproben. Rohfasern werden im PK etwas aufkonzentriert, im PS dagegen verdünnt.

(2) ad Rohfaser-Massenströme / Ausbeuten: Für die über alle Frischmasse- bzw. Silageproben jeweils gemittelten Rohfaser-Massenströme bzw. Ausbeuten erhält man folgendes Ergebnis: Frischmasse: Feed=329,90 kg/t TS-Feed, Presskuchen=310,65 kg/t TS-Feed, Presssaft=19,25 kg/t TS-Feed. Silage: Feed=308,08 kg/t TS-Feed, Presskuchen=294,25 kg/t TS-Feed, Presssaft=13,83 kg/t TS-Feed. Die Rohfaser-Ausbeuten in Presskuchen und Presssaft sind im Fall der Frischmasseproben geringfügig höher als im Fall der Silageproben. Zwischen der Rohfaser-Ausbeute in Presssaft und Presskuchen einerseits und dem TS-Gehalt des Feeds sowie der Grasprobenart andererseits ist keine signifikante funktionelle Abhängigkeit erkennbar.

(3) ad Rohfaser-Abtrenngrade: Frischmasse- und Silageproben zeigen keine diesbezüglichen Unterschiede. Für beide Grasprobenarten findet man, dass mit jeweils ca. 95% der überwiegende Anteil der im Feed enthaltenen Rohfasermenge in den Presskuchen übergeht. Der verbleibende Rest von 5% geht den Presssaft.

### Offene Fragen / Weitere Arbeiten

- 4# In weiteren Arbeiten wäre die exakte Zusammensetzung der Rohfasern zu klären (Zellulose, Hemizellulose,...) sowie deren Abhängigkeit von den Verfahrensschritten „Silierung“ und „Abpressen“, was Voraussetzung ist für die Beurteilung der grundsätzlichen Eignung des Presskuchens als Rohstoff für Futter- bzw. Brennstoffpellets. Es ist durchaus denkbar, dass infolge der beiden Verfahrensschritte „Silierung“ und „Abpressen“ es zu einer Änderung der Rohfasernzusammensetzung derart kommt, dass eine Verbesserung bzw. Verschlechterung der Pelletier- und Verbrennungseigenschaften die Folge ist (Bindemittelbedarf, Ascheschmelzpunkt,...), was wiederum die Verwertung von Grasrohstoffen zu Futtermittel- und/oder Brennstoffpellets erleichtert bzw. erschwert.
- 4# Weiters stellt sich die Frage, ob von der mit „Rohfaser“ bezeichneten Komponente des Presskuchens der gesamte *werkstofflich* nutzbare Faseranteil von Grasrohstoffen erfasst wird.



#### 4.4.6. Milchsäure-Bilanz

##### Milchsäure-Gehalte (Konzentrationen)

Abb. 4.4.6-1 zeigt die im Rahmen der Abpressversuche ermittelten Messwerte für die *Milchsäure*-Gehalte in Feed, Presssaft und Presskuchen, wobei diese Konzentrationen jeweils auf die Trockensubstanz von Feed, Presssaft bzw. Presskuchen bezogen werden.

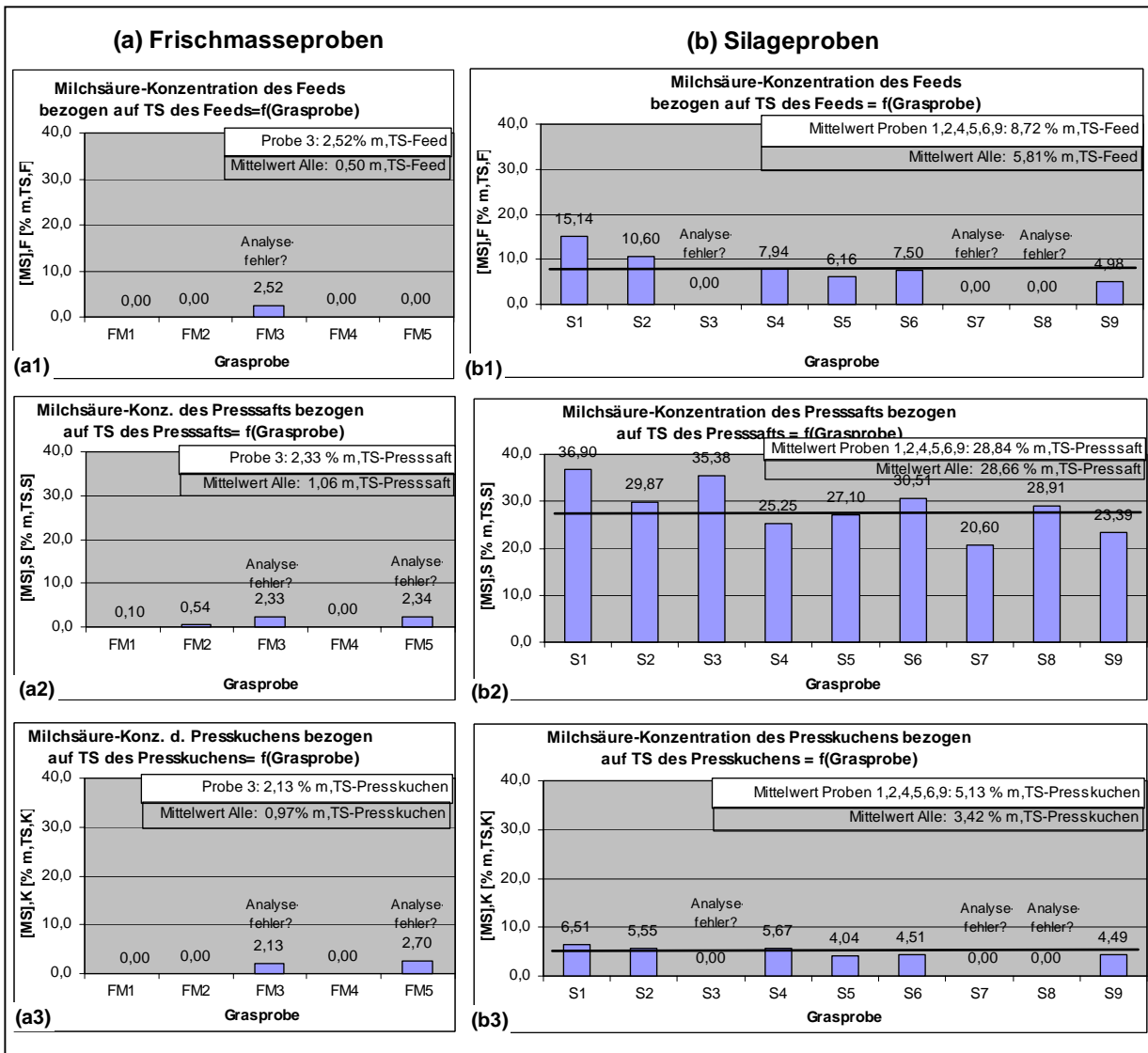


Abb. 4.4.6-1: Milchsäure-Gehalte von Feed, Presssaft und Presskuchen.

Abb. 4.4.6-1 zeigt über die 6 Silageproben S1, S2, S4-S6 & S9 gemittelte Milchsäure-Gehalte wie folgt:

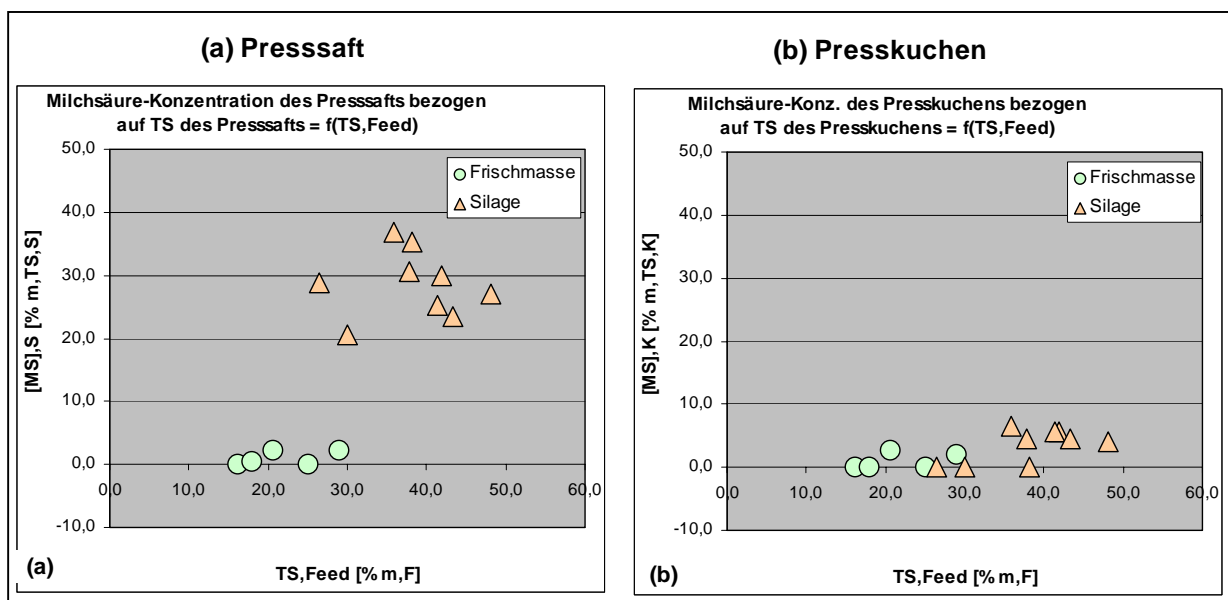
- 4# Feed: Silage: 8,72% (Frischmasse: 0%).
- 4# Presssaft: Silage: 28,84% (Frischmasse: 0%).
- 4# Presskuchen: Silage: 5,13% (Frischmasse: 0%).

Die MS-Konzentration im Presssaft (28,84%) ist deutlich höher, diejenige im Presskuchen (5,13%) jedoch deutlich niedriger als die MS-Konzentration im Feed (8,72%), d.h. Milchsäure wird im Presssaft massiv aufkonzentriert, im Presskuchen dagegen etwas verdünnt.

Aus **Abb. 4.4.6-1** geht hervor, dass es bei einigen Frischmasse- sowie Silageproben bei der jeweiligen Bestimmung der Milchsäurekonzentration zu *Analysefehlern* gekommen ist.

- 4# (1) *ad Frischmasseproben:* Im Fall der beiden Frischmasseproben FM3 und FM5 wurde sowohl im Presssaft als auch im Presskuchen Milchsäure gefunden, obwohl man bei Frischmasse das Gegenteil erwarten würde. Der Umstand, dass Milchsäure sowohl im Presssaft als auch im Presskuchen gefunden wurde, deutet darauf hin, dass in der Frischmasseprobe noch vor dem Abpressen eine MS-Gärung eingesetzt hat, dass man es also nicht mehr mit einer „wirklichen“ Frischmasseprobe zu tun hatte.
- 4# (2) *ad Silageproben:* Im Fall der drei Silageproben S3, S7 und S8 wurde für die entsprechenden Feed- und Presskuchenproben keine Milchsäure gefunden obwohl das Gegenteil der Fall sein müsste. Da in den entsprechenden Presssaftproben jedoch sehr wohl Milchsäure gefunden wurde, dürfte es bei der Analyse der Feed- bzw. Presskuchenproben zu einem gravierenden Analysefehler gekommen sein.

**Abb. 4.4.6-2** zeigt, dass es zwischen dem Milchsäuregehalt von Presssaft und Presssaft einerseits und dem TS-Gehalt des Feeds andererseits *keine* signifikante funktionelle Abhängigkeit gibt.



**Abb. 4.4.6-2:** Milchsäure-Konzentrationen im Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed.

Milchsäure-Massenströme / Ausbeuten

Abb. 4.4.6-3 zeigt die aus Abb. 4.4.6-1 berechneten Milchsäure-Massenströme in Feed, Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung, jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed, wobei die MS-Massenströme in Presssaft und Presskuchen die entsprechenden *Milchsäure-Ausbeuten* darstellen. Die Bilanzabweichung (Differenz aus MS-Massenstrom im Feed und der Summe der MS-Massenströme in Presssaft und Presskuchen) dient der Beurteilung der *Mess- bzw. Analysefehler*, da bei exakter Messung  $m_{MS,Bilanz} | 0$  sein

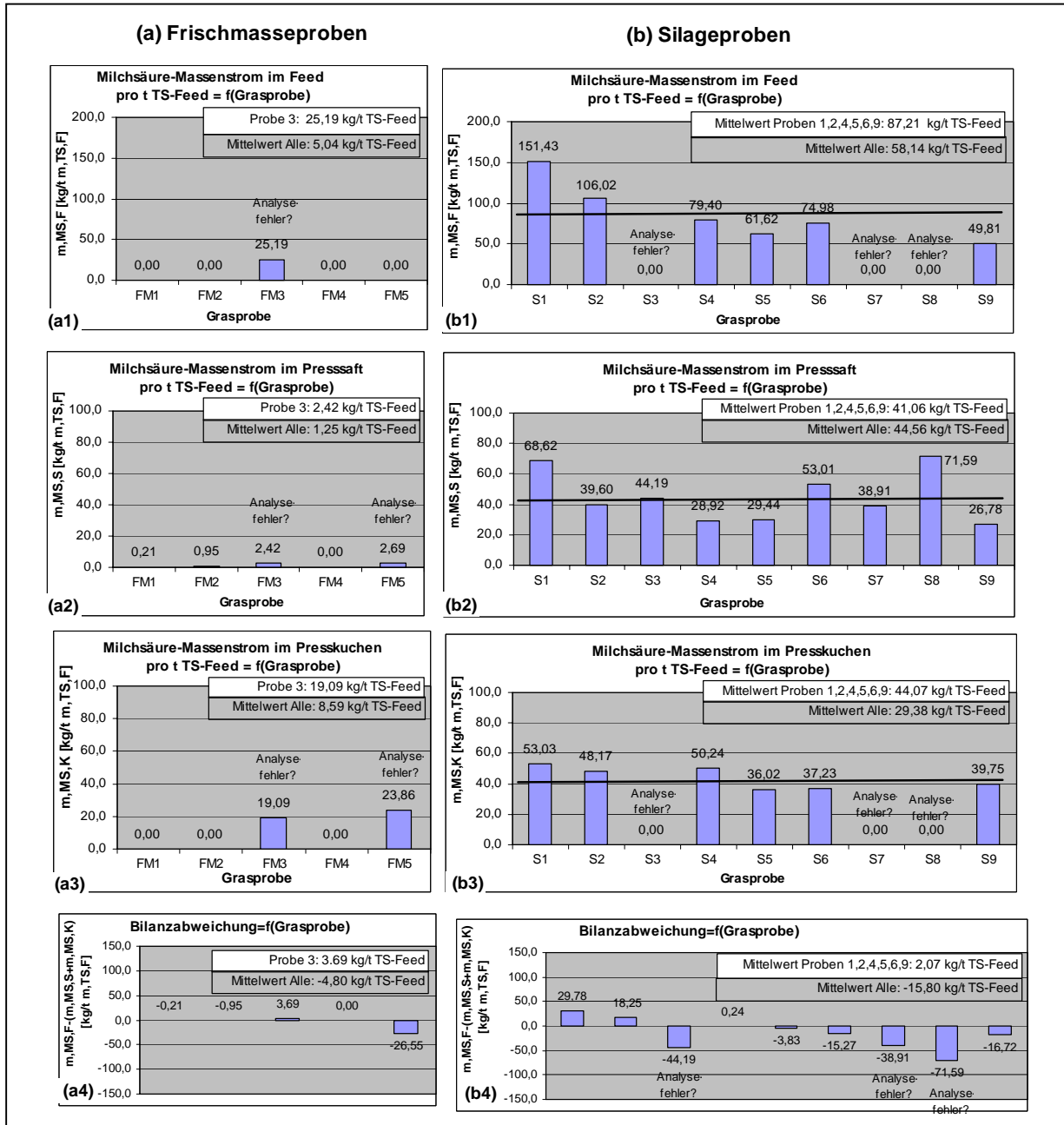


Abb. 4.4.6-3: Milchsäure -Massenströme in Feed, Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung, jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed (Milchsäure-Ausbeuten).

Abb. 4.4.6-3 zeigt - auf Basis der 6 brauchbaren Silageproben S1, S2, S4-S6 & S9 - folgende durchschnittliche Milchsäure-Massenströme bzw. Ausbeuten:

- 4# Feed: Silage: 87,21 kg/t TS-Feed (Frischmasse: 0 kg).
- 4# Presssaft: Silage: 41,06 kg/t TS-Feed (Frischmasse: 0 kg).

4# Presskuchen: Silage: 44,07 kg/t TS-Feed (Frischmasse: 0 kg).

Abb. 4.4.6-3b4 zeigt, dass der in die Bilanzabweichung übergehende Milchsäure-Massenstrom mit durchschnittlich 2,1 kg Milchsäure pro Tonne TS-Feed vernachlässigbar klein ist, was als Indiz für eine ausreichend genaue Milchsäure-Analytik gewertet werden kann, zumindest was die 6 Silageproben S1, S2, S4-S6 und S9 anlangt.

Abb. 4.4.6-4 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Milchsäure-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt des Feeds:

- 4# Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt die Milchsäure-Ausbeute im Presssaft:  
 $TS, F_{\clubsuit} \heartsuit$  Ausbeute,  $MS, S_{\spadesuit}$ . Erklärung: Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt auch die Wasser-Ausbeute im Presssaft. Da Milchsäure im Wasser gelöst ist, bedeutet eine Reduktion der Wasserausbeute automatisch auch eine Reduktion der Milchsäure-Ausbeute.

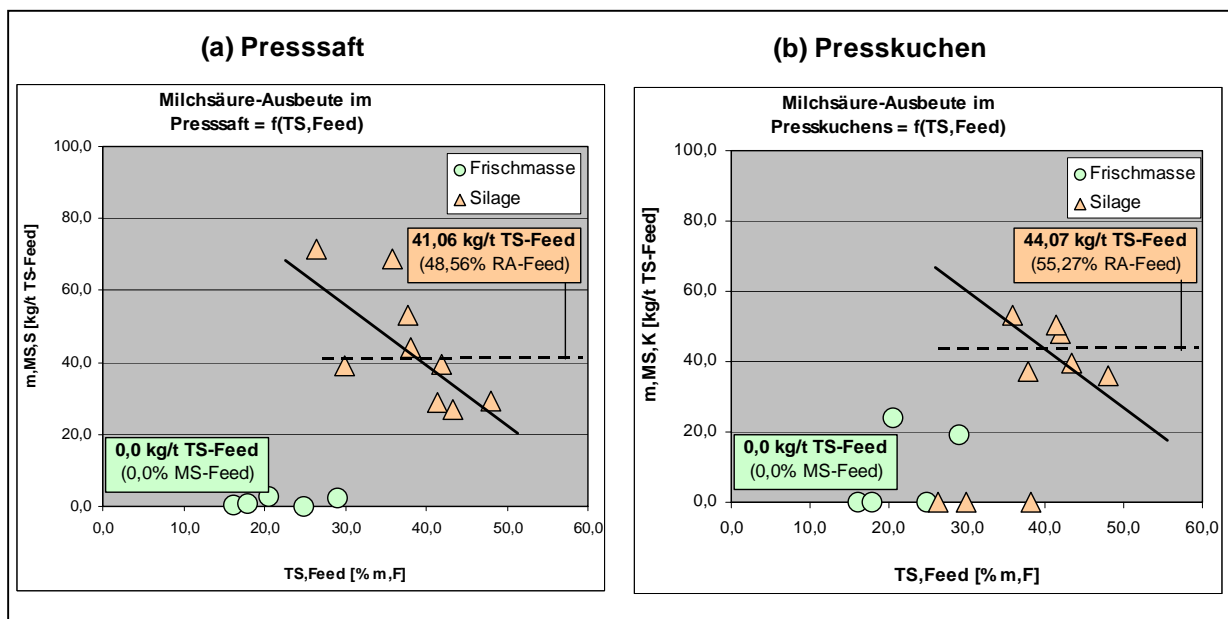


Abb. 4.4.6-4: Milchsäure-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed (in kg/t TS-Feed).

Milchsäure-Abtrenngrade

Abb. 4.4.6-5 zeigt die prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Milchsäuremenge auf die beiden Produktströme „Presssaft“ und „Presskuchen“ (= *Milchsäure-Abtrenngrade*) sowie auf die Bilanzabweichung:

- 4# Presssaft: Silage: 48,56% m,MS-Feed.
- 4# Presskuchen: Silage: 55,27% m,MS-Feed

Man sieht, dass die Milchsäure-Abtrenngrade bzgl. Presssaft und Presskuchen näherungsweise jeweils 50% betragen, d.h. die Hälfte der im Feed enthaltenen Milchsäuremenge geht in den Presssaft, die andere Hälfte in den Presskuchen. Der in die Bilanzabweichung übergehende Milchsäure-Anteil von 3% ist vernachlässigbar klein, was wiederum als Indiz für eine akzeptable Qualität der MS-Analytik im Fall der Silageproben S1, S2, S4-S6 & S9 gewertet werden kann.

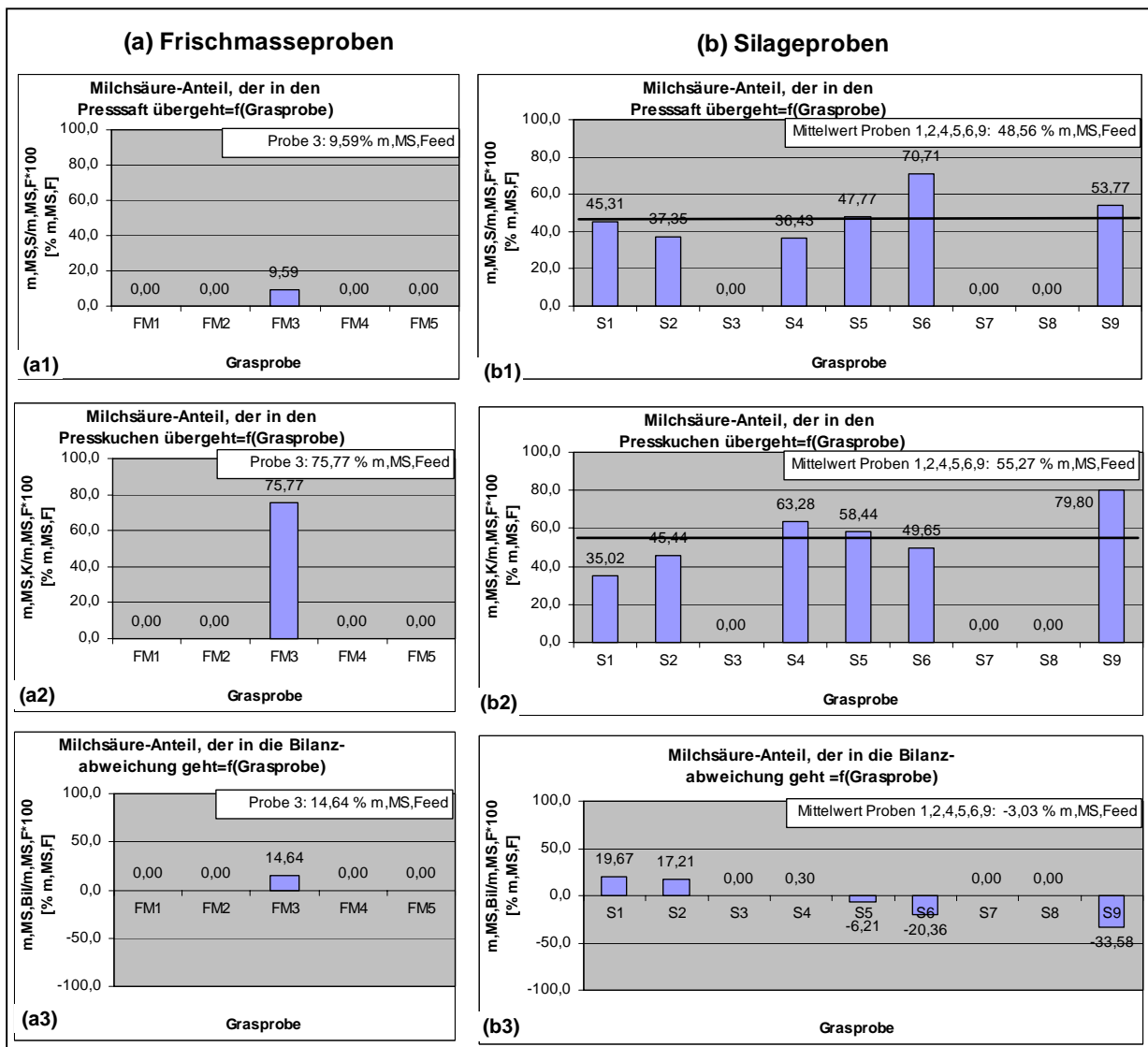


Abb.4.4.6-5: Prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Milchsäuremenge auf Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung (Milchsäure-Abtrenngrade).

Zusammenfassung

Abb. 4.4.6-6 gibt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Milchsäurebilanz. Es werden die jeweils über die 6 brauchbaren Silageproben gemittelten Werte für die Milchsäuregehalte sowie die entsprechenden Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade gezeigt.

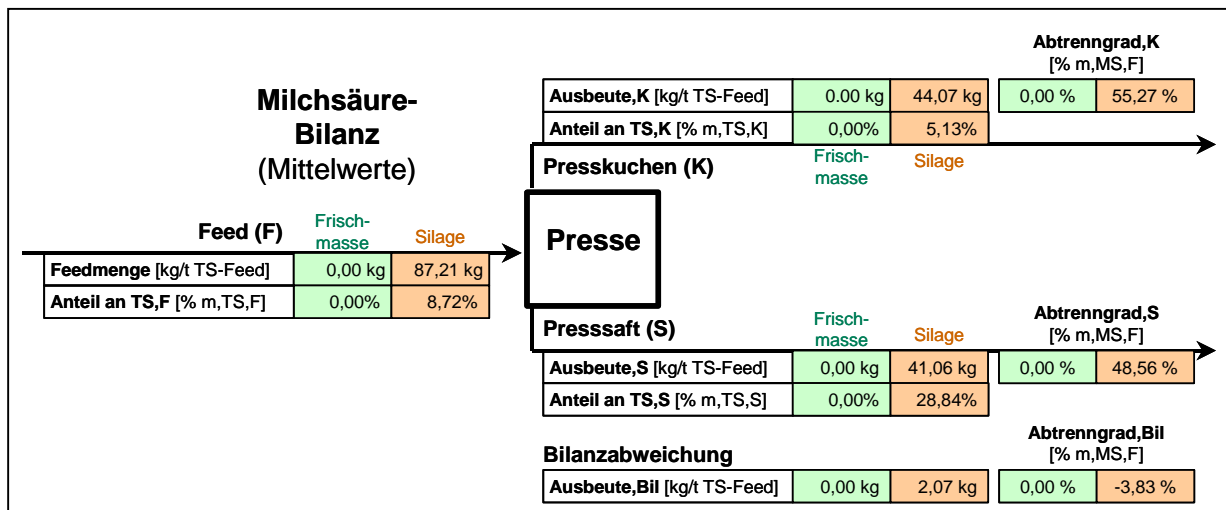


Abb. 4.4.6-6: Milchsäure-Bilanz: Massenströme bzw. Ausbeuten, Abtrenngrade und Milchsäuregehalte in Feed, Presskuchen und Presssaft (jeweils Mittelwerte).

(1) ad Milchsäuregehalte: Für die mittleren Milchsäure-Gehalte erhält man: Feed=8,27%, Presssaft=28,84%, Presskuchen=5,13%. Milchsäure wird also im Presssaft aufkonzentriert, im Presskuchen dagegen verdünnt.

(2) ad Milchsäure-Massenströme/Ausbeuten: Für die *mittleren* Milchsäure-Massenströme bzw. Ausbeuten erhält man folgendes Ergebnis: Feed=87,21 kg MS/t TS-Feed; Presssaft=41,04 kg MS/t TS-Feed; Presskuchen=44,07 kg MS/t TS-Feed. Für die *individuelle* Milchsäure-Ausbeute im Presssaft findet man eine klare funktionelle Abhängigkeit vom TS-Gehalt des Feeds: Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt die MS-Ausbeute im Presssaft. Mögliche Erklärung: Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt auch die *Wasser-Ausbeute* im Presssaft. Da Milchsäure im Wasser gelöst ist, bedeutet eine Reduktion der Wasserausbeute automatisch auch eine Reduktion der Milchsäureausbeute.

(3) ad Milchsäure-Abtrenngrade: Für Abtrenngrade findet man: Presssaft=50%, Presskuchen=50%, d.h. die im Feed enthaltene Milchsäuremenge geht näherungsweise zur Hälfte in Presssaft und Presskuchen.

Offene Fragen / Weitere Arbeiten

(1) ad Möglichkeiten zur Erhöhung der MS-Ausbeute: Angesichts des Umstands, dass von der im Feed enthaltenen Milchsäuremenge lediglich 50% in den Presssaft übergehen, dieser Anteil aber im Hinblick auf die Gewinnung von Milchsäureprodukten möglich hoch sein sollte, wäre in weiteren Arbeiten nach technischen Möglichkeiten zu suchen, wie die Milchsäure-Ausbeute im Presssaft erhöht bzw. wie die im Presskuchen verbleibende Milchsäure verfügbar gemacht werden könnte (z.B. Waschen des Presskuchens, gefolgt von weiteren Abpressschritten).

(2) ad Einfluss der Milchsäure im Presskuchen auf Verwertbarkeit von Grasfasern: Ein hoher Milchsäuregehalt des Presskuchens könnte die Verwertung der im Presskuchen enthaltenen Grasfasern negativ beeinflussen, z.B. Verschlechterung der Bindungseigenschaften zwischen Fasern und Bindemitteln in grasfaserhältigen Dämmstoffen, Faserplatten etc. In Folgearbeiten sollte deshalb experimentell untersucht werden, welche Auswirkungen unterschiedlichen Milchsäuregehalte des Presskuchens auf diese Bindungseigenschaften haben, und zwar für unterschiedliche Bindemittelarten (mineralische, organische etc.)

#### 4.4.7. Gesamtzucker-Bilanz

##### Gesamtzucker-Gehalte (Konzentrationen)

Abb. 4.4.7-1 zeigt die im Rahmen der Abpressversuche ermittelten Messwerte für die *Gesamtzucker-Gehalte* der Trockensubstanz von Feed, Presssaft und Presskuchen.

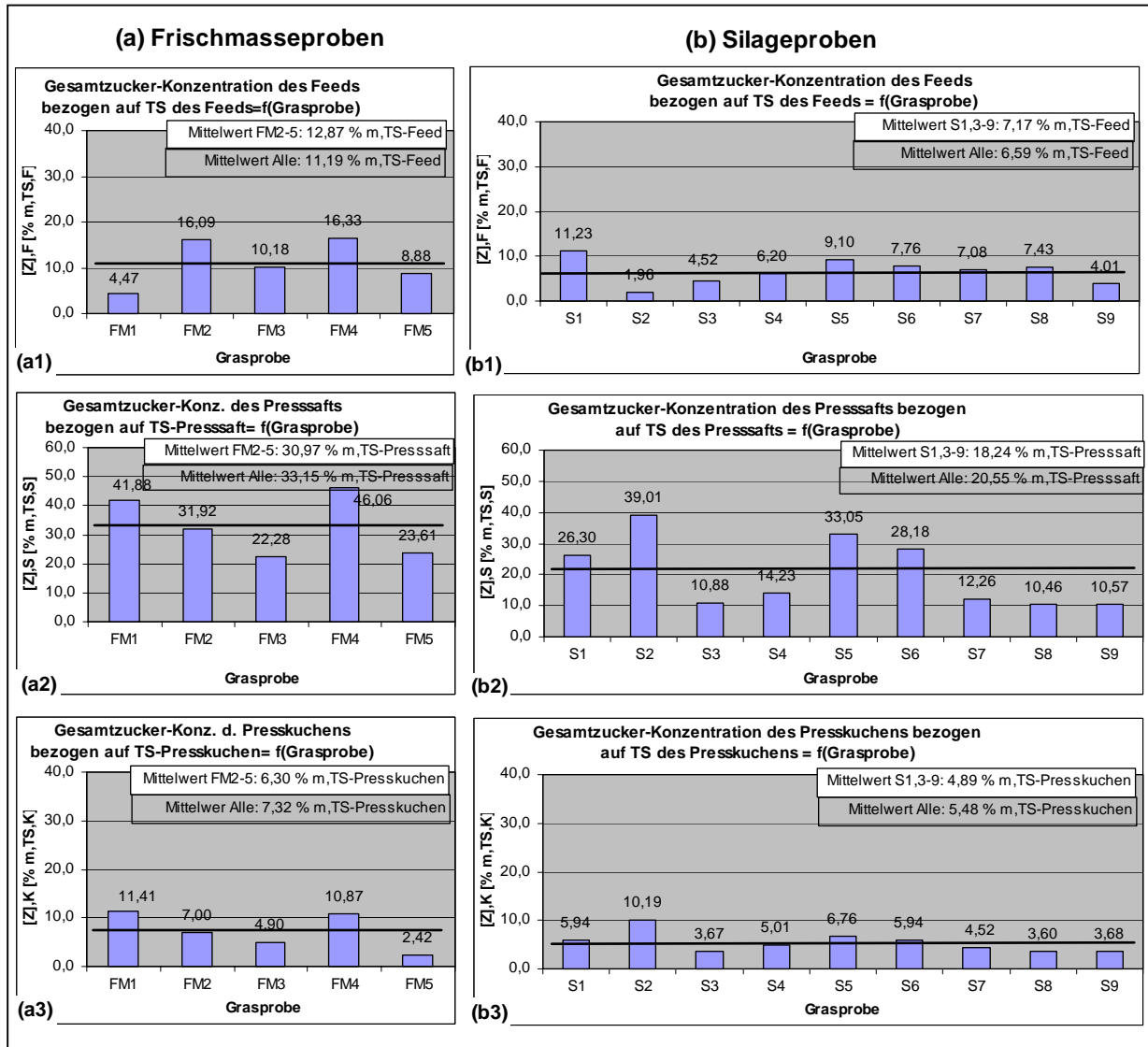


Abb. 4.4.7-1: Gesamtzucker-Gehalte der Trockensubstanz von Feed, Presssaft und Presskuchen.

Abb. 4.4.7-1 zeigt, dass die Gesamtzuckeranteile der Trockensubstanz von Feed, Presskuchen und Presssaft im Fall der Frischmasseproben höher sind als im Fall der Silageproben. Erklärung: Im Fall der Silageproben wird ein Teil des Gesamtzuckers infolge des Silageprozesses in Milchsäure umgewandelt.

- 4# Feed: Frischmasse: 12,87% > Silage: 7,17%.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 6,30% > Silage: 4,89%.
- 4# Presssaft: Frischmasse: 30,97% > Silage: 18,24%.

Für beide Grasprobenarten ist der Gesamtzuckeranteil der Trockensubstanz des *Presssafts* höher, derjenige der Trockensubstanz des *Presskuchens* jedoch geringfügig niedriger als der Gesamtzuckeranteil der Trockensubstanz des *Feeds*, d.h. der Gesamtzucker wird im *Presssaft* massiv aufkonzentriert, im *Presskuchen* dagegen etwas verdünnt.

Abb. 4.4.7-2 zeigt, dass es zwischen den Gesamtzuckergehalten der Trockensubstanz von Presssaft und Presskuchen einerseits und dem TS-Gehalt des Feeds *keine* signifikante funktionelle Abhängigkeit gibt.

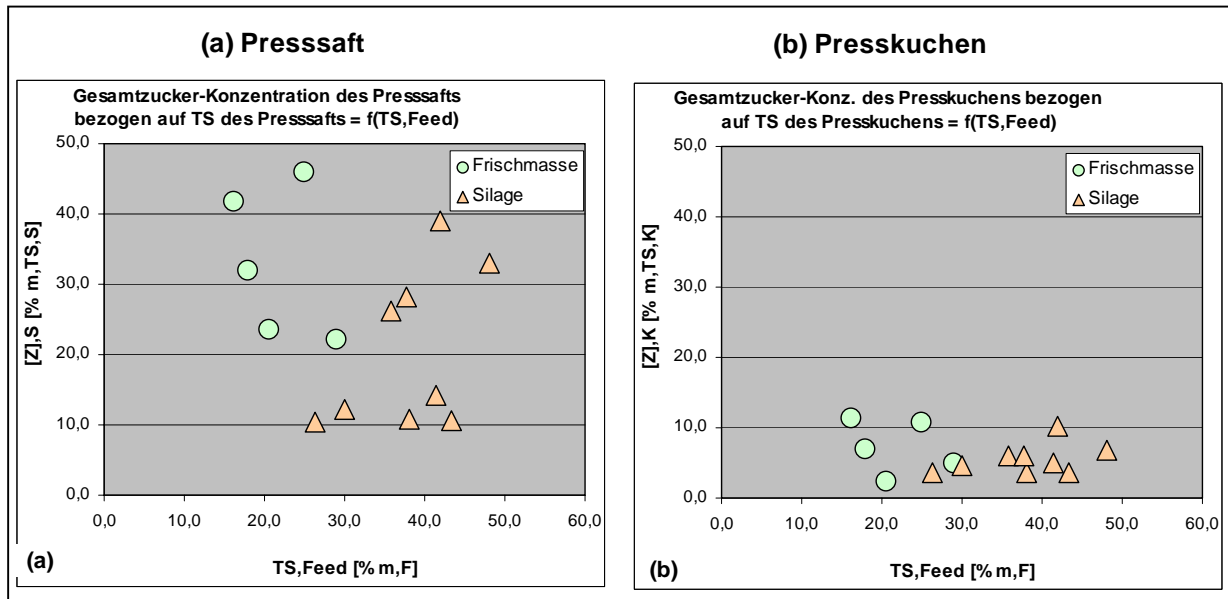


Abb. 4.4.7-2: Gesamtzuckerhalte in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed.



Gesamtzucker-Massenströme / Ausbeuten

Abb. 4.4.7-3 zeigt die aus Abb. 4.4.7-1 berechneten Gesamtzucker-Massenströme in Feed, Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung, jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed, wobei die Gesamtzucker-Massenströme in Presssaft bzw. Presskuchen die jeweiligen **Gesamtzucker-Ausbeuten** darstellen. Die **Bilanzabweichung** (Differenz aus Gesamtzucker-Massenstrom im Feed und der Summe der Gesamtzucker-Massenströme in Presssaft und Presskuchen) dient der Beurteilung der *Mess- bzw. Analysefehler* (ideal wäre

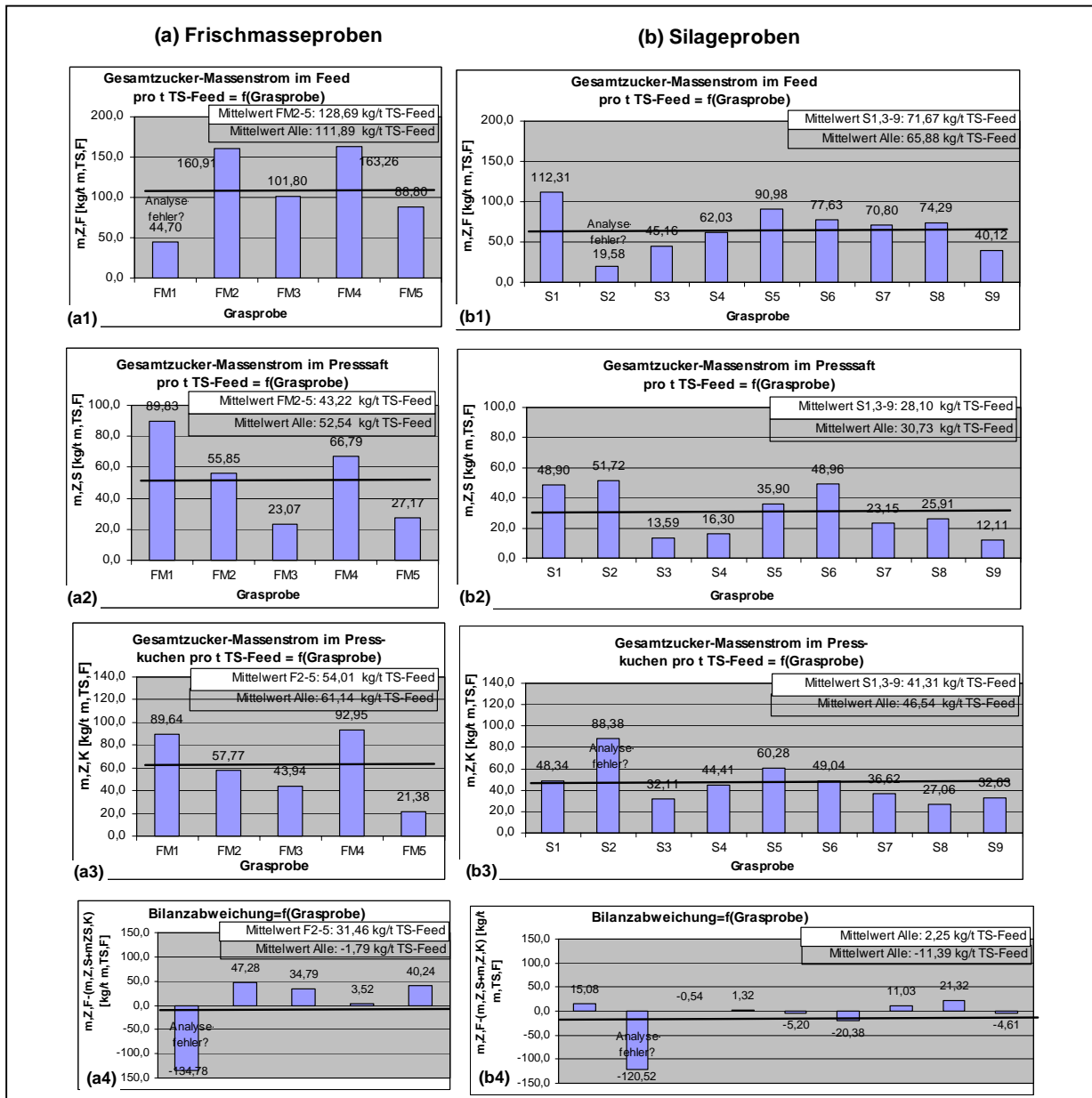


Abb. 4.4.7-3: Gesamtzucker-Massenströme/Ausbeuten in Feed, Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung.

Abb. 4.4.7-3 zeigt, dass die Gesamtzucker-Massenströme in Feed, Presskuchen und Presssaft im Fall der Frischmasseproben durchwegs höher sind als im Fall der Silageproben, was dadurch erklärbar ist, das im Fall der Silageproben ein Teil des Gesamtzuckers infolge des Silageprozesses in Milchsäure umgewandelt wird.

- 4# Feed: Frischmasse: 128,69 kg/t TS-Feed > Silage: 71,67 kg/t TS-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 54,01 kg/t TS-Feed > Silage: 41,31 kg/t TS-Feed.
- 4# Presssaft: Frischmasse: 43,22 kg/t TS-Feed > Silage: 28,10 kg/t TS-Feed.

Abben 4.4.7-3a4+b4 zeigen für die beiden Grasproben „FM1“ und „S2“ große *negative* Bilanzabweichungen (-134,8 bzw. -120,5 kg Zucker/t TS-Feed), was auf gravierende *Analysefehler* hinweist: Abben 4.4.7-3a1+a2 legen nahe, dass für die Feeds der beiden Grasproben „FM1“ bzw. „S2“ jeweils zu *wenig* Zucker gefunden wurde. Darüber hinaus legen Abb. 4.4.7-3a2 bzw. Abb. 4.4.7-3b3 nahe, dass für den Presssaft der Grasprobe „FM1“ bzw. für den Presskuchen der Grasprobe „S2“ jeweils *zuviel* Zucker gefunden wurde. Insgesamt resultiert aus diesen Fehlern die für die beiden Grasproben „FM1“ bzw. „S2“ jeweils beobachtete, große negative Bilanzabweichung.

Aus Abb. 4.4.7-4 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Gesamtzucker-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt des Feeds und der Grasprobenart:

- 4# (1) Man sieht, dass zwischen den Gesamtzucker-Ausbeuten in Presssaft bzw. Presskuchen und dem TS-Gehalt des Feeds *keine* eindeutige funktionelle Abhängigkeit erkennbar ist, d.h.  $TS, F \nrightarrow$  Ausbeute,  $Z, S = \text{const.}$  und  $Ausbeute, Z, K = \text{const.}$
- 4# (2) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist jedoch die Gesamtzucker-Ausbeute in Presssaft bzw. Presskuchen im Fall der Frischmasseproben höher als im Fall der Silageproben. Dies deshalb, weil – wie bereits oben erklärt – im Fall der Silageproben ein Teil des ursprünglich vorhandenen Gesamtzuckers infolge des Silageprozesses in Milchsäure umgewandelt wird.

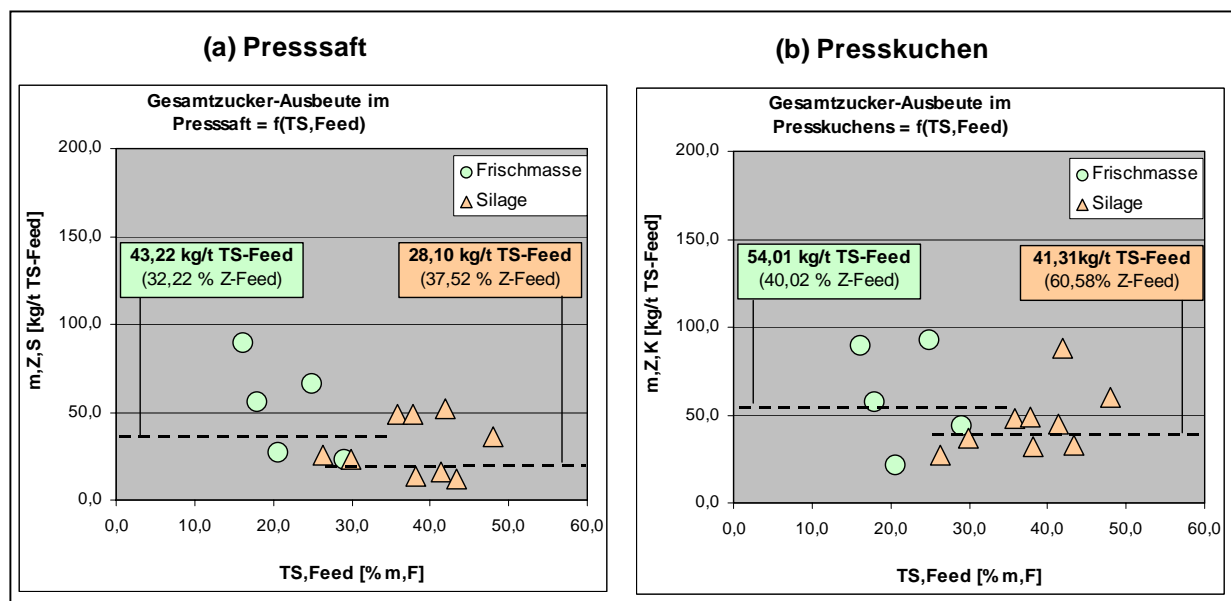


Abb. 4.4.7-4: Gesamtzucker-Ausbeute in Presssaft bzw. Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed) und mittlere Gesamtzucker-Abtrenngrade.

#### Stöchiometrie Zuckerabbau-Milchsäurebildung

Abb. 4.4.7-5 gibt für 5 Silageproben einen Vergleich zwischen der infolge des Silageprozesses abgebauten Zuckermenge einerseits und der gebildeten Milchsäuremenge andererseits, und zwar für zwei unterschiedliche Milchsäurefermentations-Starterkulturen (IFA:S3 und IFA:M2).

Abb. 4.4.7-6 zeigt die gebildete Milchsäuremenge aufgetragen über die dazugehörige abgebaute, n Zuckermenge. Die Steigung der Ausgleichsgeraden in diesem Diagramm ist der stöchiometrische Koeffizient „k“ der Reaktion  $Zucker \Downarrow k \text{ Milchsäure}$ . Man sieht, dass noch zu wenig Datenpunkte vorliegen, um eine zuverlässige Aussage über den Zahlenwert des stöchiometrischen Koeffizienten „k“ machen zu können. Es wären also Folgarbeiten erforderlich, die die möglichst genaue Bestimmung des stöchiometrischen Koeffizienten

„k“ zum Inhalt haben. Voraussetzung dafür ist eine hinreichend genaue Analytik zur Bestimmung Konzentrationen von Zuckern und Milchsäure.

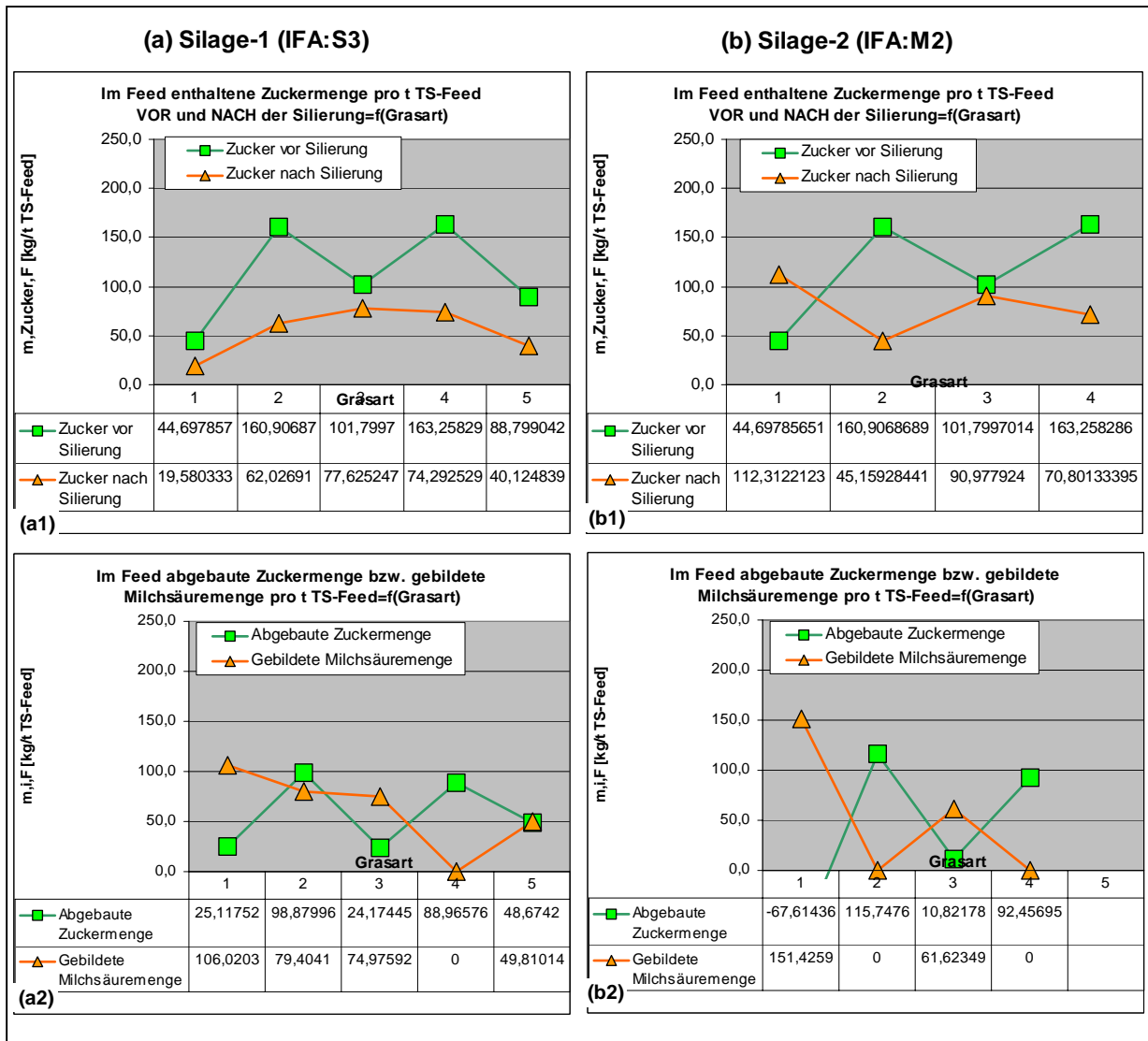


Abb. 4.4.7-5: Zuckerabbau und Milchsäurebildung infolge des Silageprozesses bei 5 Silageproben für zwei unterschiedliche Arten von Milchsäurebakterien-Starterkulturen (IFA:S3 und IFA:M2).

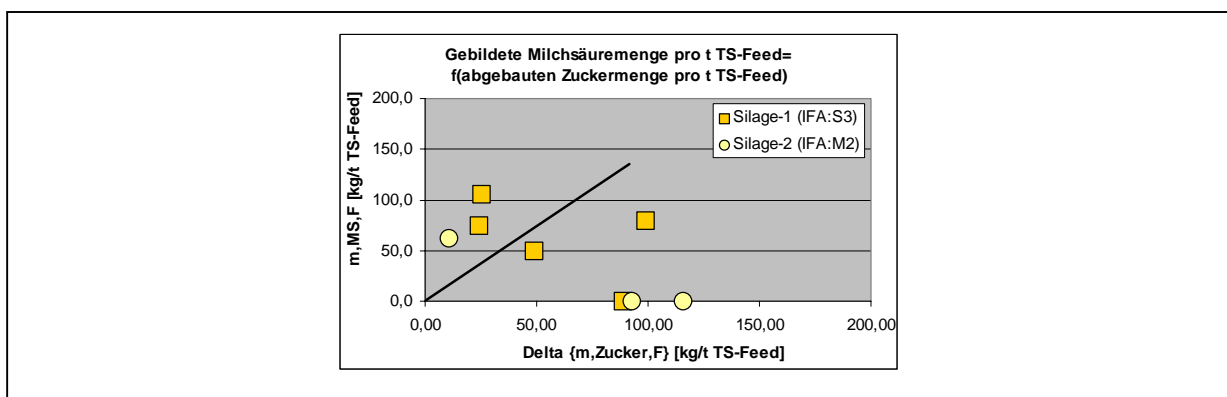


Abb. 4.4.7-6: Stöchiometrie zwischen abgebautem Gesamtzucker und gebildeter Milchsäure.

Gesamtzucker-Abtrenngrade

Abb. 4.4.7-7 zeigt die prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Gesamtzucker Menge auf die beiden Produktströme „Presssaft“ und „Presskuchen“ (= *Gesamtzucker-Abtrenngrade*) sowie auf die Bilanzabweichung.

- 4# Presssaft: Frischmasse: 32,22% m,Z-Feed < Silage: 37,52% m,Z-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 40,02% m,Z-Feed < Silage: 60,58% m,Z-Feed.
- 4# Bilanzabweich. Frischmasse: 27,76%(!) m,Z-Feed > Silage: 1,90% m,Z-Feed.

Für die *Silageproben* findet man eine geringe Bilanzabweichung (2%), die entsprechenden Gesamtzucker-Abtrenngrade (Presskuchen: 60,58%; Presssaft: 37,52%) scheinen deshalb zuverlässige Werte zu sein.

Für die *Frishmasseproben* hingegen findet man eine gewaltige Bilanzabweichung (27,76%), was auf Analysefehler bei der Zuckeranalytik zurückzuführen ist. Wegen dieser großen Bilanzabweichung sind die erhaltenen Abtrenngrade (Presskuchen: 40,02 %; Presssaft: 32,22%) unbrauchbar. In erster Näherung kann man jedoch annehmen, dass für Frishmasseproben dieselbe Aufteilung des Gesamtzucker-Massenstroms auf Presskuchen und Presssaft gilt wie für die Silageproben (d.h. Presskuchen: 60,58%; Presssaft: 37,52%).

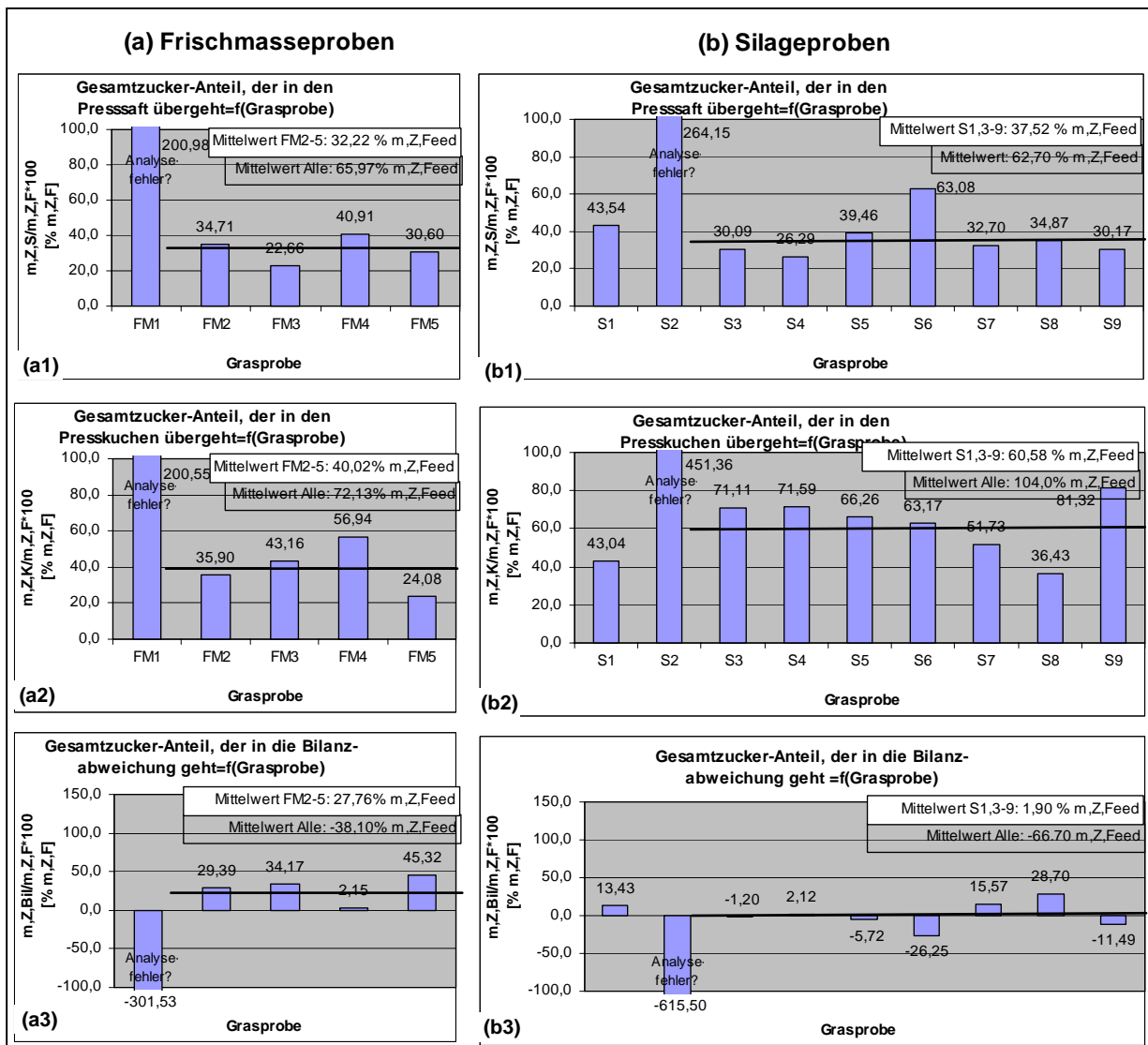


Abb. 4.4.7-7: Prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Gesamtzucker Menge auf Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung (Gesamtzucker-Abtrenngrade).

Zusammenfassung

Abb. 4.4.7-8 gibt eine Zusammenfassung der Gesamtzuckerbilanz. Es werden die Gesamtzuckergerhalte (Konzentrationen) der Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft sowie die entsprechenden Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade gezeigt.

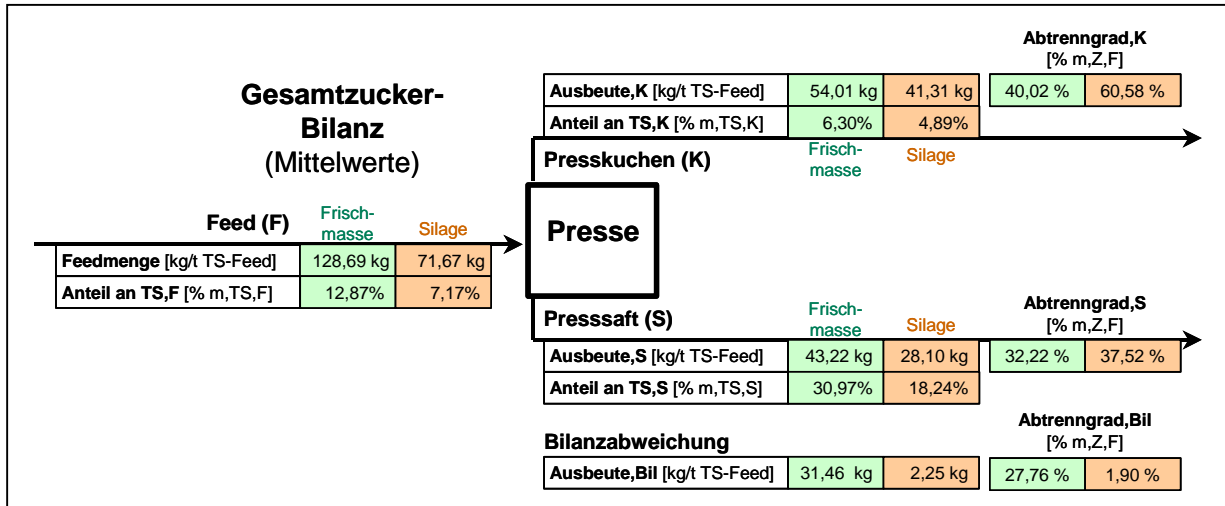


Abb. 4.4.7-8: Gesamtzucker-Bilanz: Gesamtzuckergerhalte in Feed, Presskuchen und Presssaft, Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade (jeweils Mittelwerte).

(1) ad Gesamtzuckergerhalte: Für die über alle Frishmasse bzw. Silageproben jeweils *gemittelten* Gesamtzuckergerhalte erhält man: folgendes Ergebnis: Frishmasse: Feed=12,87%, Presskuchen=6,30%, Presssaft=30,97%. Silage: Feed=7,17%, Presskuchen=4,89%, Presssaft=18,24%. Die Gesamtzuckergerhalte der Trockensubstanz von Feed, Presskuchen und Presssaft sind im Fall der Frishmasseproben also höher als im Fall der Silageproben. Erklärung: Infolge des Silageprozesses (Milchsäurebildung) kommt es zu einem Zuckerabbau, weshalb der Zuckergerhalt der Silageproben niedriger als jener der dazugehörigen Frishmasseproben.

(2) ad Gesamtzucker-Massenströme/Ausbeuten: Für die über alle Frishmasse bzw. Silageproben jeweils *gemittelten* Gesamtzucker-Massenströme bzw. Ausbeuten erhält man folgendes Ergebnis: Frishmasse: Feed=128,69 kg/TS-Feed, Presskuchen=54,01 kg/TS-Feed, Presssaft=43,22 kg/TS-Feed. Silage: Feed=71,67 kg/TS-Feed, Presskuchen=41,31 kg/TS-Feed, Presssaft=28,10 kg/TS-Feed. Die mittleren Gesamtzucker-Massenströme bzw. Ausbeuten sind also im Fall der Frishmasseproben durchwegs höher als im Fall der Silageproben. Nichts desto weniger sind die Gesamtzucker-Ausbeuten im Fall der Silageproben doch noch relativ hoch und stellen damit ein wesentliches Potential für eine Erhöhung der Milchsäure-Ausbeuten dar.

Für die *individuellen* Gesamtzucker-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen findet man *keine* funktionelle Abhängigkeit vom TS-Gehalt des Feeds. Hinsichtlich der Stöchiometrie zwischen Zuckerabbau einerseits und Milchsäurebildung andererseits liegen zu wenig Datenpunkte vor, um eine zuverlässige Aussage über den Zahlenwert des stöchiometrischen Koeffizienten „k“ der Reaktion  $Zucker \downarrow k \text{ Milchsäure}$  machen zu können.

(3) ad Gesamtzucker-Abtrenngrade: Für beide Grasprobenarten findet man, dass ca. 37% der im Feed enthaltenen Gesamtzuckergerhalte in den Presssaft übergehen und die restlichen ca. 60% im Presskuchen verbleiben.

### Offene Frage / Weitere Arbeiten

(1) ad Erhöhung der Milchsäure-Ausbeute durch Nutzung des Presskuchen-Restzuckers: Silageproben weisen einen relativ hohen Restzuckergehalt auf, d.h. dass im Zuge des Silageprozesses nur ein Teil der ursprünglich vorhandenen Gesamtzuckermenge in Milchsäure umgewandelt wird. Im Sinne einer Maximierung der Milchsäure-Ausbeute sollte in Folgearbeiten nach Möglichkeiten gesucht werden, wie auch der in den Silageproben noch enthaltene Restzucker in Milchsäure umgewandelt werden könnte. Denkbar wären (1) Pufferung des Silageguts (Überwindung der pH-Hemmung), (2) Silierung des Presskuchens.

(2) ad Stöchiometrie Zuckerabbau vs. Milchsäurebildung: Hinsichtlich einer Aussage über den stöchiometrischen Koeffizienten zwischen Zuckerabbau einerseits und Milchsäurebildung andererseits liegen noch zu wenig zuverlässige Daten vor. Es wären also entsprechende Folgearbeiten erforderlich, die allerdings eine hinreichend genaue Analytik zur Bestimmung von Konzentrationen von Zuckern und Milchsäure zur Voraussetzung haben.

(3) ad Einfluss von Zuckern im Presskuchen auf Verwertbarkeit von Grasfasern: Ein hoher Gesamtzuckergehalt des Presskuchens könnte die Verwertung der im Presskuchen enthaltenen Grasfasern negativ beeinflussen (z.B. Bindungseigenschaften zwischen Fasern und Bindemitteln in grasfaserhaltigen Dämmstoffen, Plattenwerkstoffen etc). Dies sollte für unterschiedliche Bindemittelarten (z.B. mineralische vs. organische) experimentell untersucht werden.

(4) ad Zucker-Analytik: Angesichts eines *systematischen* Analysefehlers bei der Bestimmung der Gesamtzuckerkonzentrationen (Gesamtzuckermenge im Feed ist im Durchschnitt um 27% *höher* als die Summe aus den Gesamtzuckermengen in Presssaft und Presskuchen ♥ *positive* Bilanzabweichung) ist die Ursache für diesen systematischen Analysefehler zu suchen bzw. die entsprechende Gesamtzucker-Analytik zu verbessern.

#### 4.4.8. Rohasche-Bilanz

##### Rohaschegehalte (Konzentrationen)

Abb. 4.4.8-1 zeigt die im Rahmen der Abpressversuche ermittelten Messwerte für die *Rohaschegehalte* der Trockensubstanzen von Feed, Presssaft und Presskuchen.

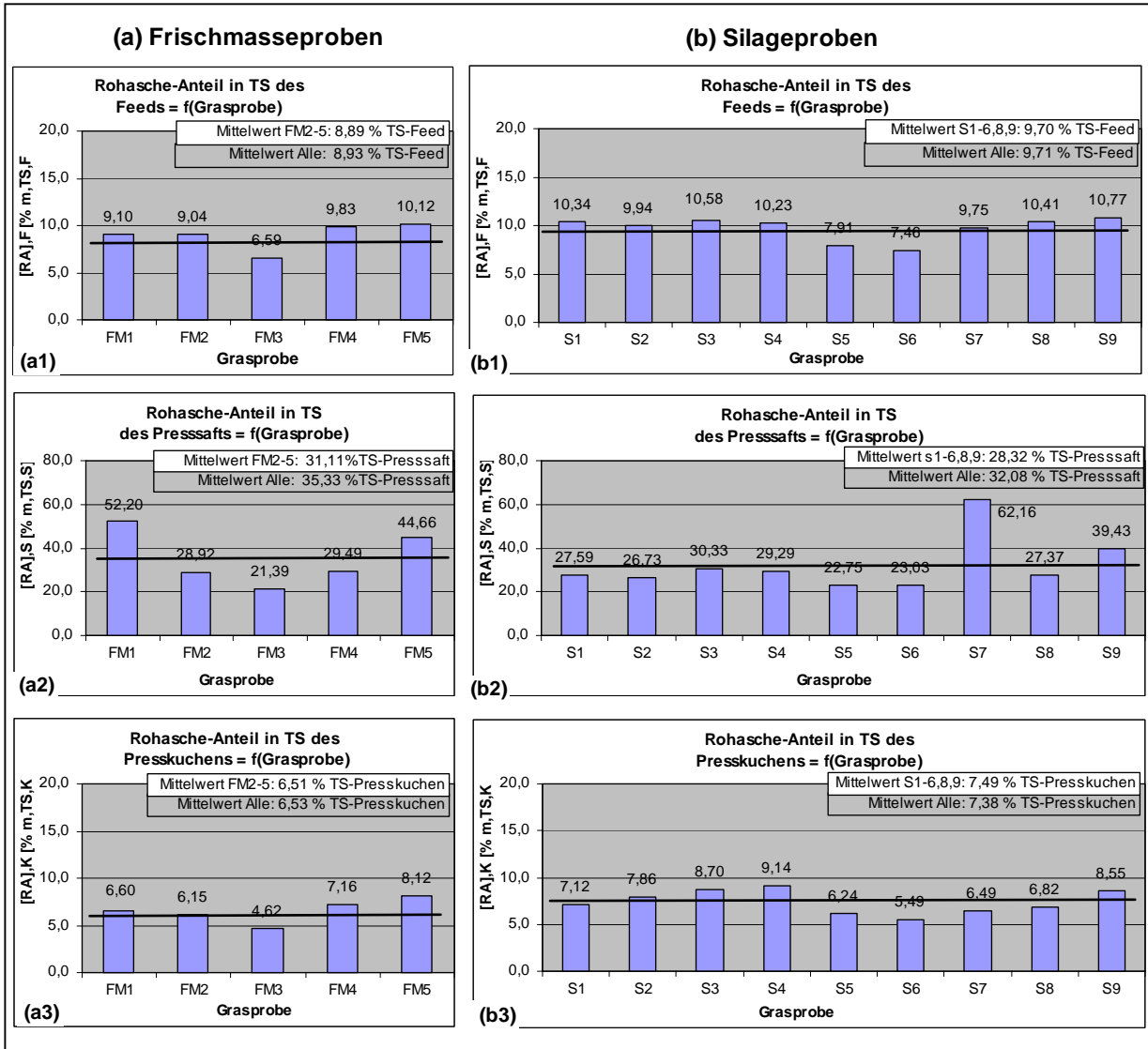


Abb. 4.4.8-1: Rohaschegehalte der Trockensubstanzen von Feed, Presssaft und Presskuchen.

Abb. 4.4.8.1 zeigt, dass der Rohaschegehalt der Trockensubstanzen der beiden *festen* Phasen „Feed“ und „Presskuchen“ im Fall der Silageproben jeweils höher ist als im Fall der Frischmasseproben, dass es also im Zuge des Silageprozesses offensichtlich zu einer *Rohascheanreicherung* kommt. Die Ursache dafür wäre noch zu klären. Der Rohaschegehalt der Trockensubstanz der *flüssigen* Phase „Presssaft“ ist im Fall der Silageproben jedoch etwas kleiner als im Fall der Frischmasseproben.

- 4# Feed: Frischmasse: 8,89% < Silage: 9,70%.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 6,51% < Silage: 7,49%.
- 4# Presssaft: Frischmasse: 31,11% > Silage: 28,32%.

Für beide Grasprobenarten ist der Rohaschegehalt der Trockensubstanz des Presskuchens geringfügig niedriger, derjenige der Presssafts jedoch beträchtlich höher als der Rohaschegehalt der Trockensubstanz des Feeds, d.h. Rohasche wird im Presssaft stark aufkonzentriert, im Presskuchen dagegen etwas verdünnt.

Abb. 4.4.8-2 zeigt, dass es zwischen den Rohaschegehalten der Trockensubstanzen von Presssaft und Presskuchen und dem TS-Gehalt des Feeds *keine* signifikante funktionelle Abhängigkeit gibt.

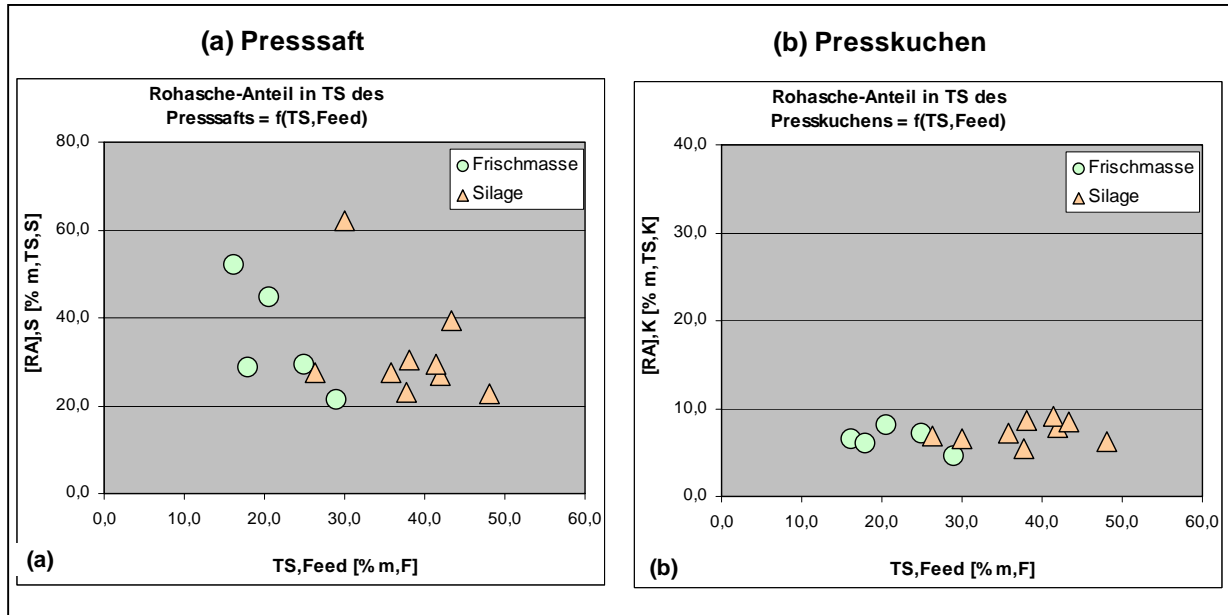


Abb. 4.4.8-2: Rohaschegehalte der Trockensubstanzen von Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed.



Rohasche-Massenströme / Ausbeuten

Abb. 4.4.8-3 zeigt die Rohasche-Massenströme in Feed, Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung, jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed. Die Rohasche-Massenströme in Presssaft und Presskuchen sind die jeweiligen *Rohasche-Ausbeuten*. Die Bilanzabweichung (=Differenz aus Rohasche-Massenstrom im Feed und der Summe der Rohasche-Massenströme in Presssaft und Presskuchen) dient der Beurteilung der *Mess- bzw. Analysefehler*.

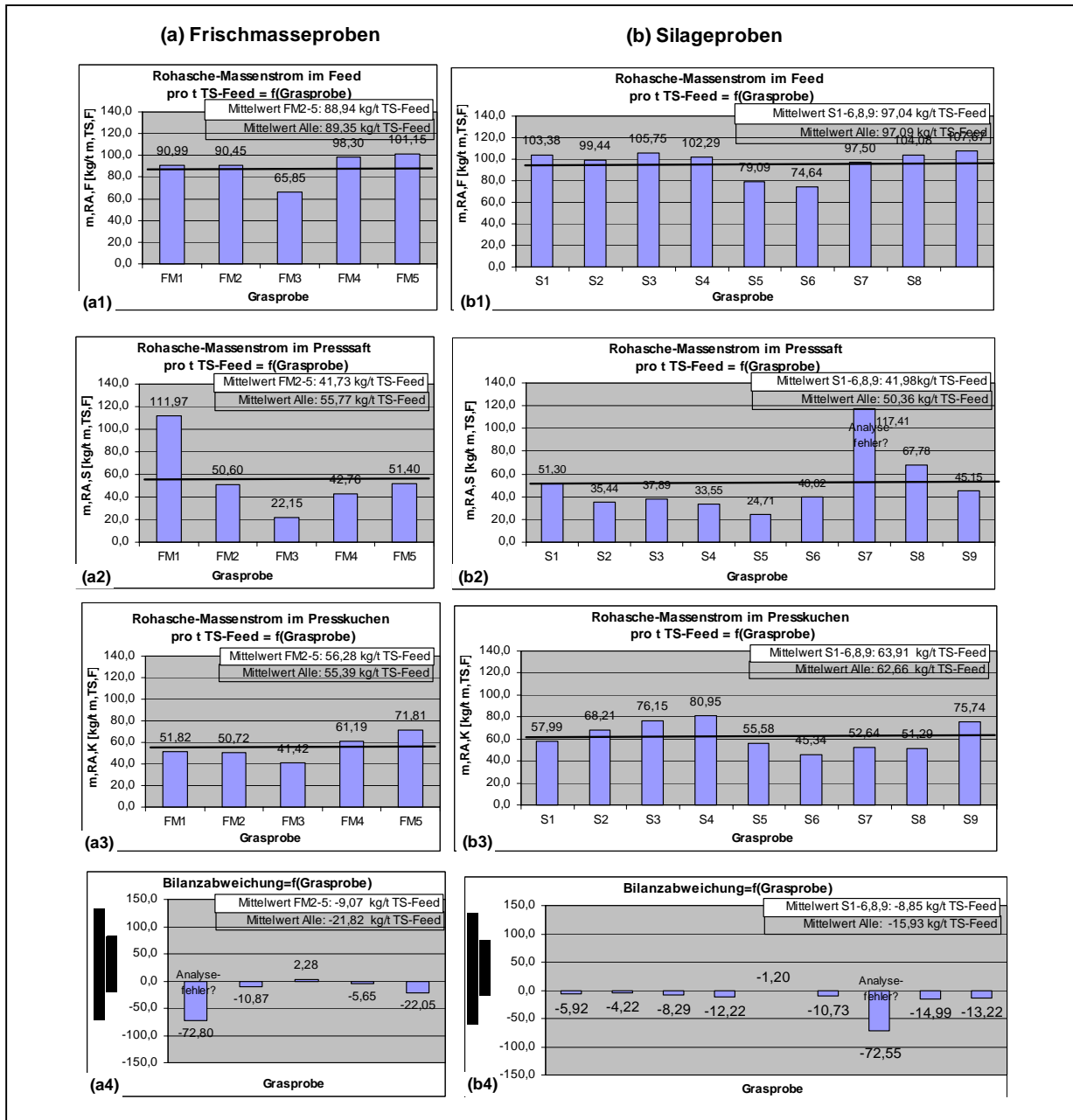


Abb. 4.4.8-3: Rohasche-Massenströme bzw. Ausbeuten in Feed, Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung.

Abb. 4.4.8-3 zeigt, dass die Rohasche-Massenströme in den beiden *festen* Phasen „Feed“ und „Presskuchen“ im Fall der Silageproben jeweils höher sind als im Fall der Frischmasseproben. Es kommt also offensichtlich – wie bereits oben gesagt - im Zuge des Silageprozesses zu einer *Rohascheanreicherung*. Der Rohasche-Massenstrom in der *flüssigen* Phase „Presssaft“ ist jedoch für beide Grasprobenarten annähernd gleich groß.

- 4# Feed: Frischmasse: 88,94 kg/t TS-Feed < Silage: 97,04 kg/t TS-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 56,28 kg/t TS-Feed < Silage: 63,91 kg/t TS-Feed.
- 4# Presssaft: Frischmasse: 41,73 kg/t TS-Feed – Silage: 41,98 kg/t TS-Feed.

Abben 4.4.8-3a4+b4 zeigen für die beiden Grasproben „FM1“ und „S7“ große *negative* Bilanzabweichungen (-72,8 bzw. -72,55 kg/t TS-Feed), was auf gravierende *punktueller* Analysefehler hinweist. Abben 4.4.8-3a2+b2 legen nahe, dass in den Presssäften der beiden Grasproben „FM1“ und „S7“ jeweils *zuviel* Rohasche gefunden wurde. Möglicherweise wurden diese Presssaftproben zwischen dem Zeitpunkt der Probenahme und der Durchführung der eigentlichen Rohasche-Analytik mit anorg. Material kontaminiert (z.B. Korrosionsprodukte).

Abb. 4.4.8-4 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Rohasche-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt des Feeds sowie von der Grasprobenart:

4# (1) ad Rohasche-Ausbeute im Presssaft:

- (a) Für beide Grasprobenarten findet man, dass mit steigendem TS-Gehalt des Feeds die Rohasche-Ausbeute im Presssaft sinkt: TS,F♣ ♥ Ausbeute,RA,S♠.
- (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Rohasche-Ausbeute im Presssaft im Fall der Silageproben wesentlich höher als im Fall der Frischmasseproben.
- (c) Erklärung für beide Fälle: Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt die Wasser-Ausbeute im Presssaft. Und: Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Wasserausbeute im Presssaft im Fall der Silageproben höher als im Fall der Frischmasseproben (s. Abschn. 4.4.3). Da Rohasche im Wasser gelöst ist (Ionen: . Ca(2+), Mg(2+), PO4(3-) etc ) bedeutet ein Erniedrigung bzw. Erhöhung der Wasserausbeute automatisch auch eine Erniedrigung bzw. Erhöhung all jene Stoffe, die im Wasser gelöst sind, z.B. Rohasche.

4# (2) ad Rohasche-Ausbeute im Presskuchen:

- (a) Zwischen der Rohasche-Ausbeute im Presskuchen und dem TS- Gehalt des Feeds ist keine eindeutige funktionelle Abhängigkeit erkennbar: TS,F♣ ♥ Ausbeute,RA,K=const.
- (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Rohasche-Ausbeute im Presskuchen im Fall der Silageproben etwas höher als im Fall der Frischmasseproben.

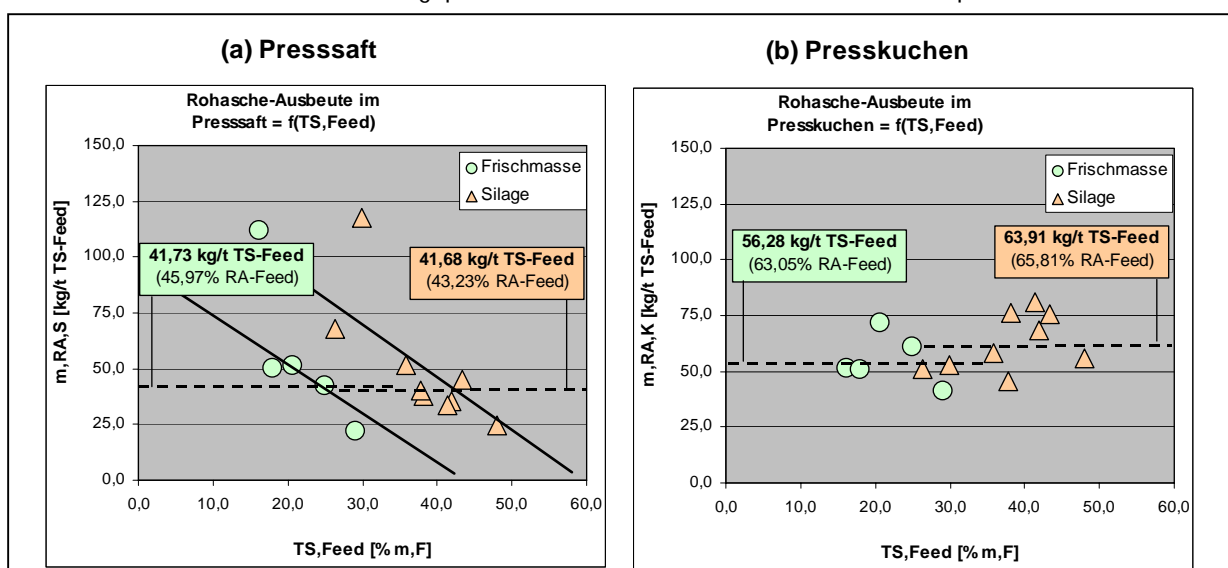


Abb. 4.4.8-4: Rohasche-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed und mittlere Rohasche-Abtrenngrade.

Rohasche-Abtrenngrade

Abb. 4.4.8-5 zeigt die prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Rohaschemenge auf die beiden Produktströme „Presssaft“ und „Presskuchen“ (= **Rohasche-Abtrenngrade**) sowie auf die Bilanzabweichung:

- 4# Presssaft: Frischmasse: 45,97 % m,RA-Feed – Silage: 43,23 %m,RA-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 63,05 % m,RA-Feed – Silage: 65,81 %m,RA-Feed.
- 4# Bilanzabweich. Frischmasse: -9,03 % m,RA-Feed – Silage: -9,04 % m,RA-Feed.

Für beide Grasprobenarten findet man annähernd gleich große Rohasche-Abtrenngrade: Presssaft: ca. 45%, Presskuchen: ca. 65%. Allerdings sind diese beiden Zahlenwerte etwas unsicher angesichts der Tatsache, dass deren Summe 110% beträgt bzw. eine *negative* Bilanzabweichung in der Höhe von ca. -10% vorliegt.

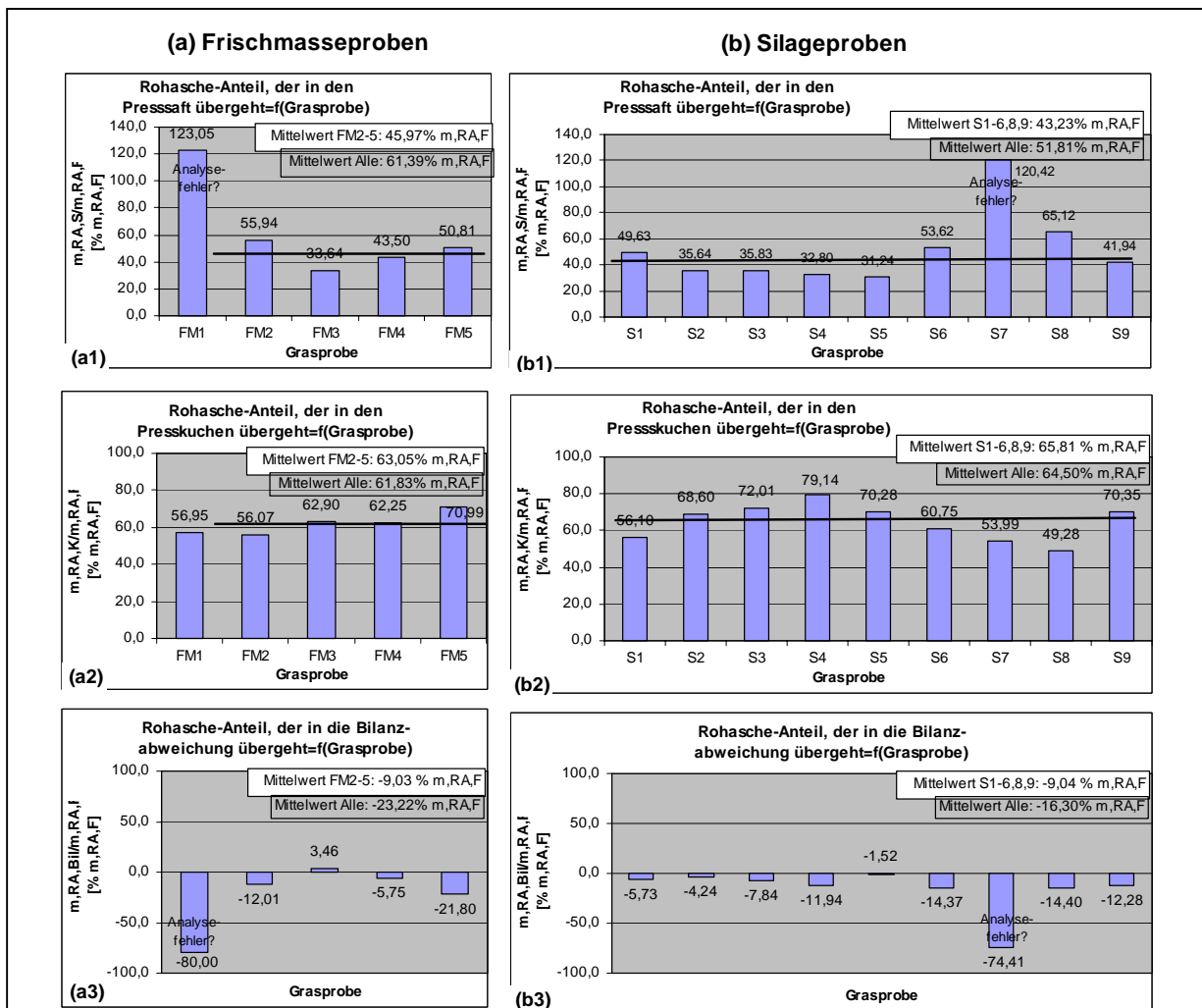


Abb. 4.4.8-5 Prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen Rohaschemenge auf Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung (Rohasche-Abtrenngrade).

Abben 4.4.8-5a3+b3 zeigen für durchwegs alle Grasproben *negative* Bilanzabweichungen. Demzufolge ist die gemessene Rohaschemenge im Feed jeweils kleiner als die Summe der in den beiden Produktströmen „Presssaft“ und „Presskuchen“ gemessenen Rohaschemengen, was auf einen *systematischen* Analysefehler hindeutet. Erklärung: Zwischen dem Zeitpunkt der Probenahme einerseits und der Durchführung der eigentlichen Rohasche-Analytik andererseits könnte es zu einer Verdunstung von Wasser aus den Proben gekommen sein. Dadurch wird eine höhere Rohasche-Konzentration vorgetäuscht als in den ursprünglichen Proben vorhanden

war. Für diese These spricht auch die Tatsache, dass für die Rohprotein-Gehalte eine ähnlicher *systematischer* Analysefehler festzustellen ist.

Abben 4.4.8-5a4+b4 zeigen große *negative* Bilanzabweichungen für die beiden Grasproben „FM1“ und „S7“, was auf gravierende *punktueller* Analysefehler hinweist. Abben 4.4.8-3a2+b2 legen nahe, dass in den Presssäften der beiden Grasproben „FM1“ und „S7“ jeweils wesentlich *zuviel* Rohasche gefunden wurde. Möglicherweise wurden diese Presssaftproben – wie bereits oben gesagt - zwischen dem Zeitpunkt der Probenahme und der Durchführung der eigentlichen Rohasche-Analytik mit anorganischem Material kontaminiert.

Zusammenfassung

Abb. 4.4.8-6 gibt eine Zusammenfassung der Rohaschebilanz. Es werden die Rohaschegehalte (Konzentrationen) der Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft sowie die entsprechenden Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade gezeigt.

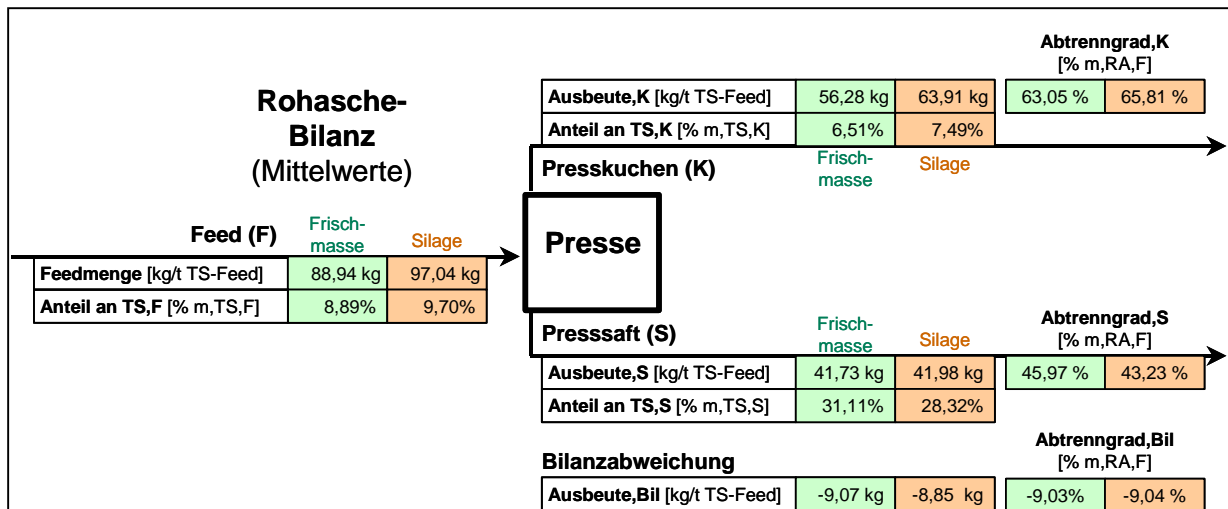


Abb. 4.4.8-6: Rohasche-Bilanz: Rohaschegehalte der Trockensubstanz von Feed, Presskuchen und Presssaft, Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade.

(1) ad Rohaschegehalte: Für die über alle Frishmasse- bzw. Silageproben *gemittelten* Rohaschegehalte findet man. Frishmasse: Feed=8,89%, Presskuchen=6,51%, Presssaft=31,11%. Silage: Feed=9,70%, Presskuchen=7,49%, Presssaft=28,32%. Man sieht, dass der Rohaschegehalt der TS der beiden *festen* Phasen „Feed“ und „Presskuchen“ im Fall der Silageproben höher ist als im Fall der Frishmasseproben. Offensichtlich kommt es im Zuge des Silageprozesses zu einer Rohascheanreicherung. Die Ursache dafür wäre noch zu klären. Der Rohaschegehalt der TS der *flüssigen* Phase „Presssaft“ ist im Fall der Silageproben jedoch etwas kleiner als im Fall der Frishmasseproben. Für beide Grasprobenarten ist der Rohaschegehalt der Trockensubstanz des Presskuchens geringfügig niedriger, derjenige der Presssafts jedoch beträchtlich höher als der Rohaschegehalt der Trockensubstanz des Feeds, d.h. Rohasche wird im Presssaft aufkonzentriert, im Presskuchen dagegen etwas verdünnt.

(2) ad Rohasche-Massenströme/Ausbeuten: Für die über alle Frishmasse- bzw. Silageproben *gemittelten* Rohasche-Massenströme bzw. Ausbeuten erhält man folgendes Ergebnis (Einheit: kg/t TS-Feed). Frishmasse=Feed=88,94 kg/t, Presskuchen=56,28 kg/t, Presssaft=41,73 kg/t. Silage: Feed=97,04 kg/t, Presskuchen=63,91 kg/t, Presssaft=41,98 kg/t. Man sieht, dass der Rohasche-Massenstrom im Feed sowie die Rohasche-Ausbeute im Presskuchen im Fall der Silageproben größer ist als im Fall der Frishmasseproben. Im Zuge des Silageprozesses kommt es also offensichtlich – wie schon oben gesagt – zu einer

Rohascheanreicherung. Die Rohasche-Ausbeute im Presssaft ist für beide Grasprobenarten annähernd gleich groß.

Für die *individuellen* Rohasche-Ausbeute im Presssaft findet man folgende klare funktionellen Abhängigkeiten: (a) Für beide Grasprobenarten findet man, dass mit steigendem TS-Gehalt des Feeds die Rohasche-Ausbeute im Presssaft sinkt. (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Rohasche-Ausbeute im Presssaft im Fall der Silageproben wesentlich höher als im Fall der Frischmasseproben. Erklärung für beide Fälle: Bei steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt die Wasserausbeute. Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben erhält man für Silageproben höhere Wasserausbeuten als für Frischmasseproben. Da Rohasche in Wasser gelöst ist (Ionen: Ca, Na, Mg, K, SO<sub>4</sub> etc.), bedeutet eine Reduktion bzw. Erhöhung der Wasserausbeute im Presssaft automatisch auch eine Reduktion bzw. Erhöhung der Rohasche-Ausbeute im Presssaft.

(3) ad Rohasche-Abtrenngrade: Für beide Grasprobenarten findet man, dass über alle Frischmasse bzw. Silageproben jeweils gemittelt ca. 45% der im Feed enthaltenen Rohaschemenge in den Presssaft übergehen und ca. 65% im Presskuchen verbleiben.

#### Offene Fragen / Weitere Arbeiten

(1) ad Rohascheanreicherung im Presssaft (Verfahrensschritt „Abpressen“): In Folgearbeiten wäre zu untersuchen, ob die erhöhten Rohaschegehalte im Presssaft (anorg. Ionen) sich negativ auf weitere verfahrenstechnische Reinigungsschritte auswirken (z.B. Abtrennung von Milchsäure, Proteinen, Aminosäuren,...). Gegebenenfalls wäre nach Wegen zu suchen, den in den Presssaft übergehenden Rohaschenanteil zu reduzieren.

(2) ad Rohascheabreicherung im Presskuchen (Verfahrensschritt „Abpressen“): In Folgearbeiten sollte untersucht werden, wie der verminderte Rohaschegehalt im Presskuchen sich auf die Verbrennungseigenschaften des Presskuchens auswirkt (z.B. Erhöhung oder Senkung des Ascheschmelzpunkts). Entsprechende Informationen sind die Voraussetzung für eine Beurteilung der grundsätzlichen Eignung des Presskuchens als Rohstoff für Brennstoffpellets oder als Zusatz in keramischen Baustoffen (z.B. Ziegel) Verwendung zu finden.

(3) ad Rohascheanreicherung im Verfahrensschritt „Silierung“: In Folgeversuchen wäre zu verifizieren, ob es im Zuge des ‚Silageprozesses tatsächlich zu einer Rohascheanreicherung in der Trockensubstanz der Silage kommt, und wenn ja, was die Ursachen dafür sind, bzw. ob und wie diese Anreicherung vermieden werden könnte.

(4) ad Rohaschezusammensetzung: Wichtig für die Beurteilung der Rohascheauswirkungen in Presssaft und Presskuchen wäre eine detaillierte Kenntnis der Rohaschezusammensetzung (welche Ionen in welchen Konzentrationen: Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> etc. ). Diese sollte deshalb in Folgearbeiten detailliert ermittelt werden. Insbesondere sollte der Einfluss des Silageprozesses (d.h. Frischgras vs. Grassilage) sowie des Verfahrensschritts „Abpressen“ (d.h. Feed vs Presskuchen) auf die Rohaschezusammensetzung untersucht werden. d.h. Rohaschemenge & -zusammensetzung = f(Parameter des Silage- und Abpressprozesses).

(5) ad Rohasche-Analytik: Angesichts sowohl punktueller als auch systematischer Analysefehler bei der Rohaschebestimmung wäre die Rohascheanalytik zu verbessern.

#### 4.4.9. Sonstige Stoffe – Bilanz

##### Konzentrationen

Abb. 4.4.9-1 zeigt die Konzentrationen der sonstigen Stoffe in der Trockensubstanz von Feed, Presssaft sowie Presskuchen, wobei unter dem Terminus „sonstige Stoffe“ all jene Stoffe zusammengefasst sind, die in den Komponentenbilanzen für Rohprotein (RP), Rohfaser (RF), Rohasche (RA), Gesamtzucker (Z) und Milchsäure (MS) *nicht* enthalten sind:

$$[S]_i \sum 100 - 4 \cdot ([RP]_i + [RF]_i + [RA]_i + [Z]_i + [MS]_i) \text{ mit } i = \text{Feed, Presssaft, Presskuchen}$$

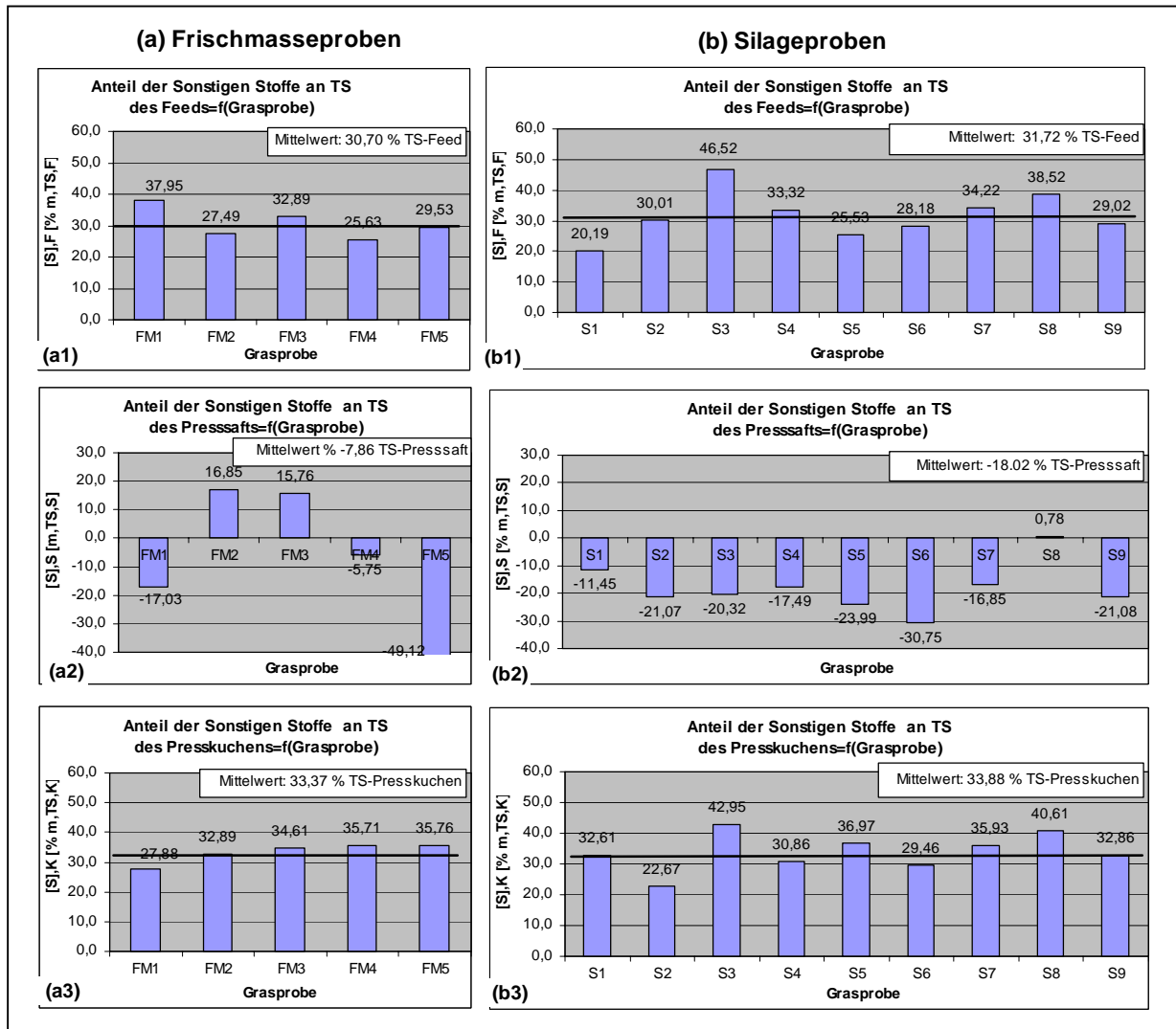


Abb. 4.4.9-1: Konzentrationen der „sonstigen Stoffe“ in der Trockensubstanz von Feed, Presssaft und Presskuchen.

Abb. 4.4.9-1 zeigt, dass die Konzentration der sonstigen Stoffe in der Trockensubstanz der beiden festen Phasen „Feed“ und „Presskuchen“ im Fall der Silageproben geringfügig höher ist als im Fall der Frischmasseproben. Offenbar kommt es im Zuge des Silageprozesses zu einer Anreicherung dieser sonstigen Stoffen. Eine Erklärung dafür wäre noch zu finden, erfordert aber jedenfalls die Kenntnis der Natur dieser sonstigen Stoffe.

4# Feed: Frischmasse = 30,70% < Silage = 31,72%.

4# Presskuchen: Frischmasse = 33,37% < Silage = 33,88%.

4# Presssaft: Frischmasse= -7,86%(!), Silage = -18,02%(!)

Für beide Grasprobenarten findet man, dass die Konzentration der sonstigen Stoffe im Presskuchen etwas höher ist als im Feed, d.h. diese werden im Presskuchen etwas aufkonzentriert.

Abben 4.4.9-1a2+b2 zeigen *negative* Konzentrationen für die sonstigen Stoffe in der Trockensubstanz des Presssafts, was bedeutet, dass die Summe der prozentuellen Anteile von Rohprotein, Rohfaser, Rohasche, Gesamtzucker und Milchsäure in der Trockensubstanz des Presssafts höher ist als 100% (Frischmasse: 107,86%, Silageproben: 118,02%). Erklärung:

- 4# (a) Analysefehler bei der Bestimmung der Konzentrationen der einzelnen Komponenten der Trockensubstanz des Presssafts.
- 4# (b) Bei er Berechnung von [S],S wird Milchsäure als Bestandteil der *festen* Phase „Trockensubstanz“ behandelt:  $[S],S = 100 - \{[RP],S + [RF],S + [RA],S + [Z],S + [MS],S\}$ . Tatsächlich ist Milchsäure aber Bestandteil der *flüssigen* Phase. Die auf die Trockensubstanz des Presssafts bezogene Milchsäurekonzentration [MS],S ist mit durchschnittlich 28% derart hoch, dass man im Falle ihrer Nichtberücksichtigung bei der Berechnung von [S],S *positive* Zahlenwerte für [S],S erhält. Beispielsweise erhält man für die Presssäfte der Frischmasseproben „FM2“ und „FM3“, die jeweils keine Milchsäure enthalten, für [S],S sinnvoll erscheinende positive Zahlenwerte.

Abb. 4.4.9-2 zeigt, dass es zwischen den Konzentration der „sonstigen“ Stoffe in den Trockensubstanz von Feed, Presssaft bzw. Presskuchen und dem TS-Gehalt des Feeds *keine* signifikante funktionelle Abhängigkeit gibt.

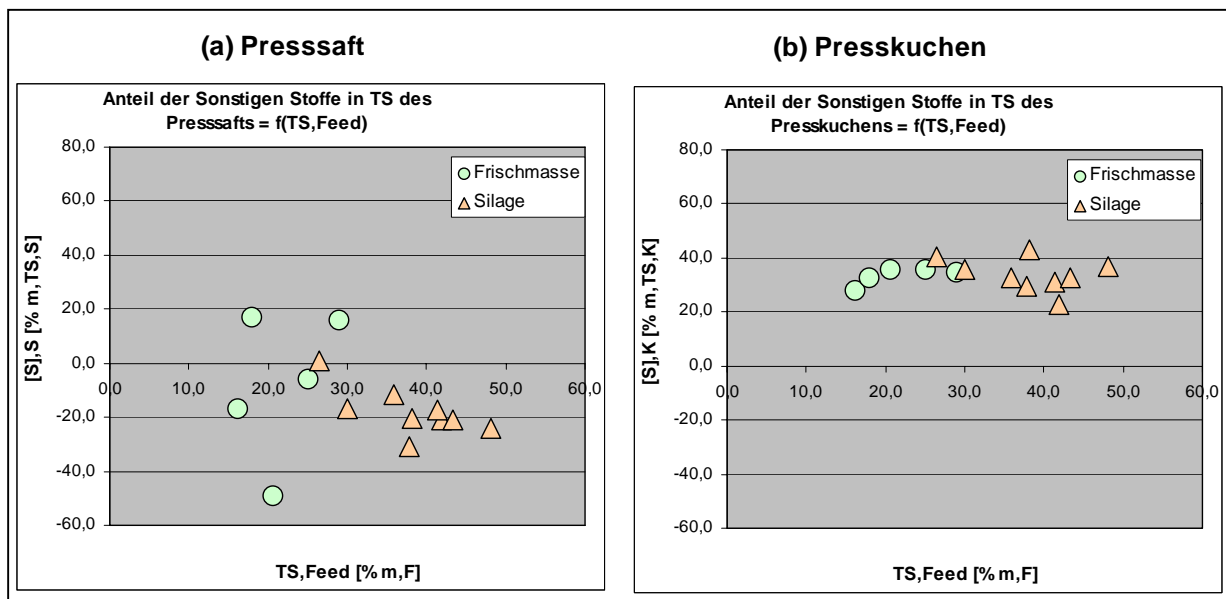


Abb. 4.4.9-2: Konzentrationen der „sonstigen Stoffe“ in der Trockensubstanz von Feed, Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.

Massenströme / Ausbeuten

Abb. 4.4.9-3 zeigt die Massenströme bzw. *Ausbeuten der sonstigen Stoffe* in Feed, Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung. Die Bilanzabweichung (= Differenz aus Massenstrom im Feed und Summe der Massenströme in Presssaft und Presskuchen) dient der Beurteilung der *Mess- bzw. Analysefehler*.

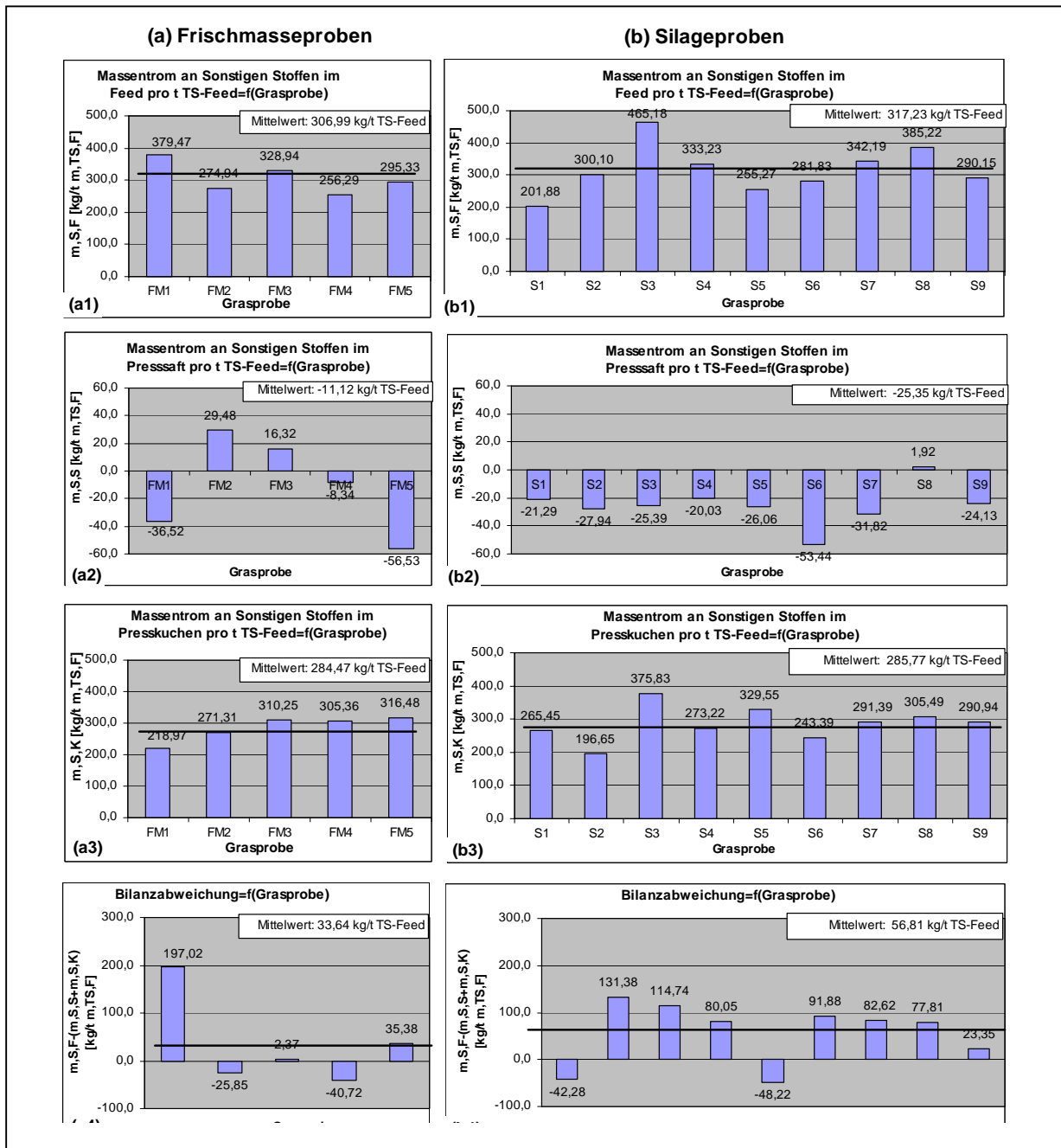


Abb. 4.4.9-3: Massenströme/Ausbeuten der sonstigen Stoffe in Feed, Presssaft, Presskuchen & Bilanzabweichung.

Abb. 4.4.9-3 zeigt, dass die Massenströme der sonstigen Stoffe in den festen Phasen „Feed“ und „Presskuchen“ im Fall der Silageproben höher sind als im Fall der Frischmasseproben. Es kommt also im Zuge des Silageprozesses – wie bereits oben gesagt – zu einer moderaten Anreicherung dieser sonstigen Stoffe.

4# Feed: Frischmasse: 306,99 kg/t TS-Feed < Silage: 317,23 kg/t TS-Feed.

4# Presskuchen: Frischmasse: 284,47 kg/t TS-Feed < Silage: 285,77 kg/t TS-Feed.



- 4# Presssaft: Frischmasse: -11,12 kg/t TS-Feed(!), Silage: -25,35 kg/t TS-Feed (!)
- 4# Bilanzabweich. Frischmasse: 33,64 kg/t TS-Feed, Silage: 56,81 kg/t TS-Feed.

Abben 4.4.9-3a2+b2 zeigen *negative* Massenströme der sonstigen Stoffe im Presssaft, was zurückzuführen ist auf die bereits weiter oben erörterten *negativen* Konzentrationen der sonstigen Stoffe im Presssaft.

Abben 4.4.9-3a4+b4 zeigen für die Mehrzahl der Grasproben beträchtliche *positive* Bilanzabweichungen, d.h. die Summe der in den beiden Produktströmen „Presssaft“ und „Presskuchen“ gefundenen Massenströme an sonstigen Stoffen ist kleiner als der im Feed gefundene Massenstrom. Die Bilanzabweichung kumuliert die Analysefehler hinsichtlich sämtlicher Komponenten. Es ist deshalb zu erwarten, dass eine verbesserte Analytik eine Verringerung des Massenstroms in der Bilanzabweichung zur Folge hat.

Abb. 4.4.9-4 zeigt die *funktionelle* Abhängigkeit der Ausbeute an sonstigen Stoffen im Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart:

- 4# (1) Man sieht, dass zwischen der Ausbeute an sonstigen Stoffen im Presssaft bzw. Presskuchen und dem TS-Gehalt des Feeds *keine* signifikante funktionelle Abhängigkeit erkennbar ist:  
TS,F ♣ ♥ Ausbeute,S,S=const. und Ausbeute,S,K=const.
- 4# (2) Weiters sieht man, dass auch zwischen der Ausbeute an sonstigen Stoffen im Presssaft bzw. Presskuchen und der Grasprobenart (Frischmasse vs Silage) *keine* signifikante funktionelle Abhängigkeit erkennbar ist, d.h. für beide Grasarten findet man annähernd gleich große Ausbeuten.

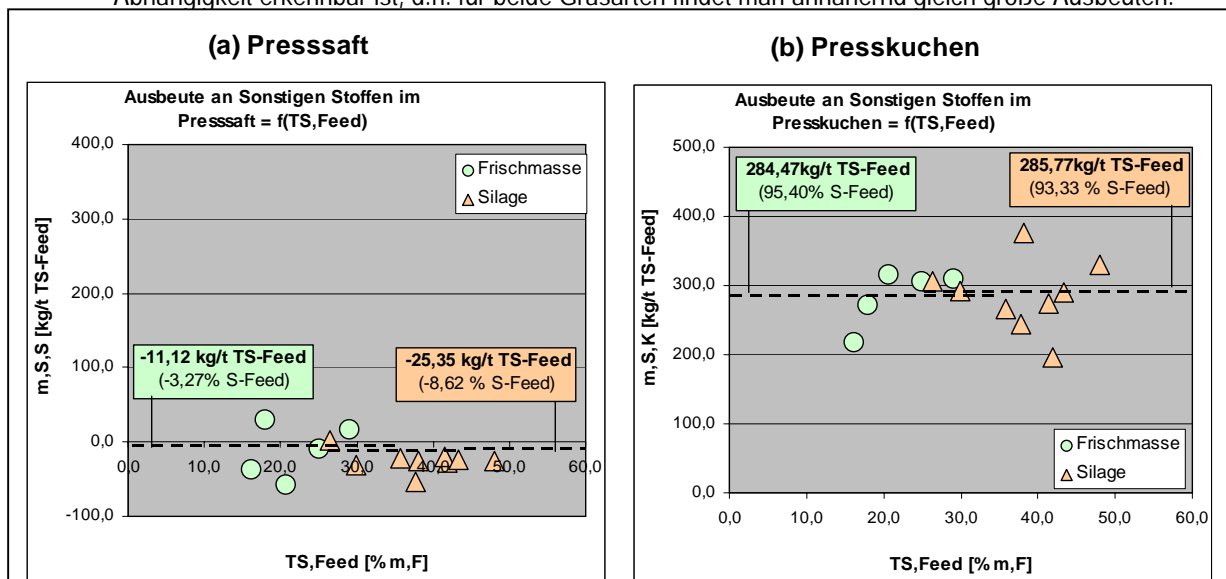


Abb. 4.4.9-4: Ausbeuten an sonstigen Stoffen im Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed) und mittlere Abtrenngrade.

Abtrenngrade

Abb. 4.4.9-5 zeigt die prozentuelle Aufteilung des Massenstroms der sonstigen Stoffe im Feed auf die beiden Produktströme „Presssaft“ und „Presskuchen“ (**Abtrenngrade**) sowie auf die Bilanzabweichung.

4# Presskuchen: Frischmasse: 95,40 % m,S-Feed – Silage: 93,33 %m,S-Feed.

4# Presssaft: Frischmasse: -3,27 % m,S-Feed, Silage: -8,62 %m,S-Feed.

4# Bilanzabweich. Frischmasse: 7,87 % m,S-Feed – Silage: 15,29 % m,S-Feed.

Man sieht, dass es hinsichtlich der Abtrenngrade der sonstigen Stoffe zwischen Frischmasse- und Silageproben keinen nennenswerten Unterschied gibt. Für beide Grasprobenarten geht mit jeweils ca. 95% der überwiegende Anteil der im Feed enthaltenen sonstigen Stoffe in den Presskuchen über. Bemerkenswert ist, dass man für die Rohfasern exakt dieselben Abtrenngrade findet (Presskuchen: 95%, Presssaft: 5%: s. Kap. 5). Dies führt zur Vermutung, dass es sich bei den sonstigen Stoffen um „faserartiges“ Material handeln könnte, was bedeuten würde, dass mit der als „Rohfaser“ bezeichneten Komponente nicht das gesamte in den Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft enthaltene Fasermaterial erfasst wird.

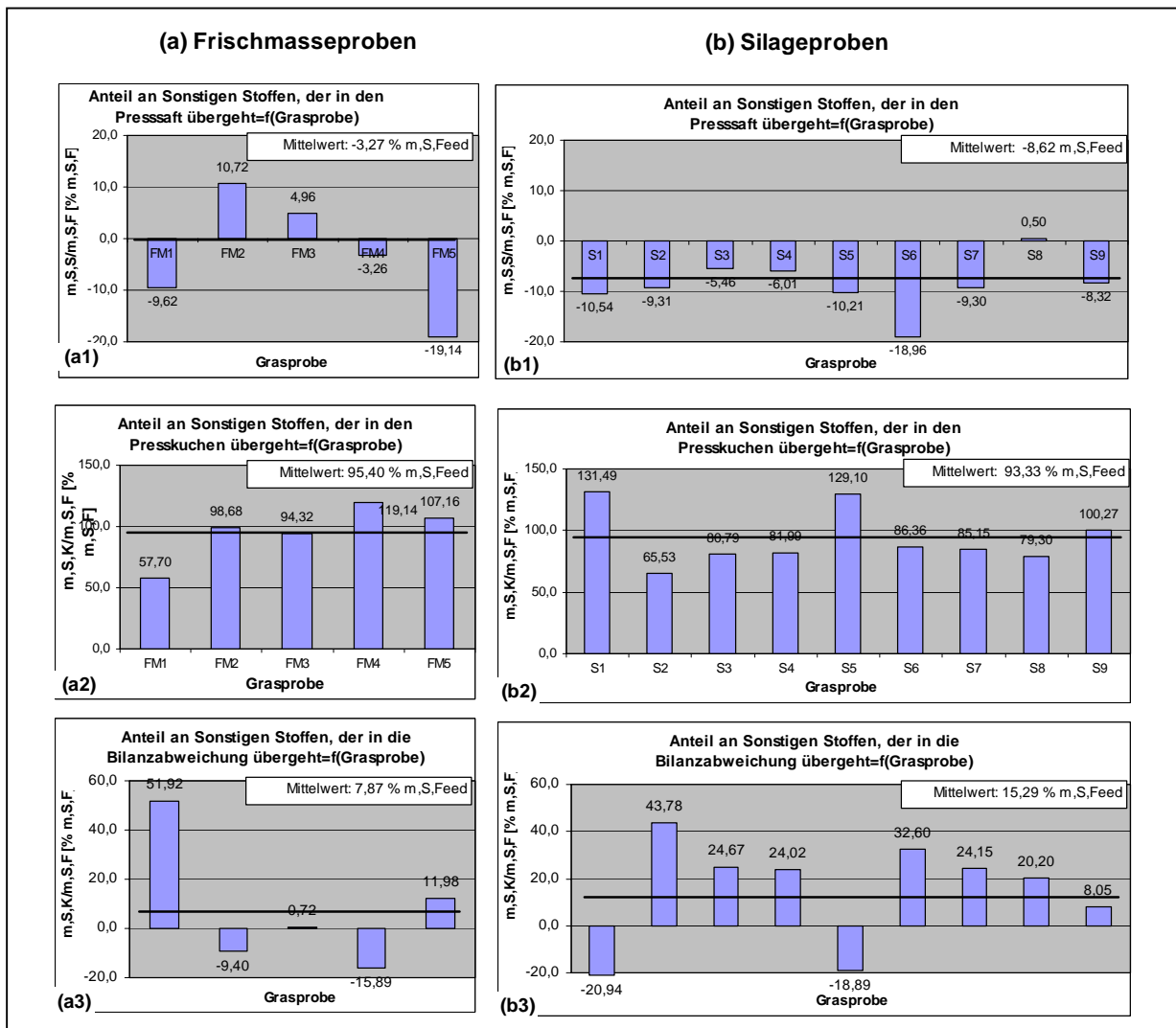


Abb. 4.4.9-5: Prozentuelle Aufteilung des im Feed enthaltenen Massenstroms an sonstigen Stoffen auf Presssaft, Presskuchen und Bilanzabweichung (Abtrenngrade).

Abben 9-5a1+b1 zeigen *negative* Zahlenwerte für jenen mengenmäßigen Anteil der sonstigen Stoffe im Feed, der in den Presssaft übergeht. Dieser Befund ist zurückzuführen auf die bereits oben mehrfach diskutierten *negativen* Konzentrationen dieser sonstigen Stoffe im Presssaft.

Zusammenfassung

Abb. 4.4.9-6 gibt eine Zusammenfassung der Bilanz der sonstigen Stoffe: Es werden die Gehalte der sonstigen Stoffe in den Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft sowie die entsprechenden Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade gezeigt.

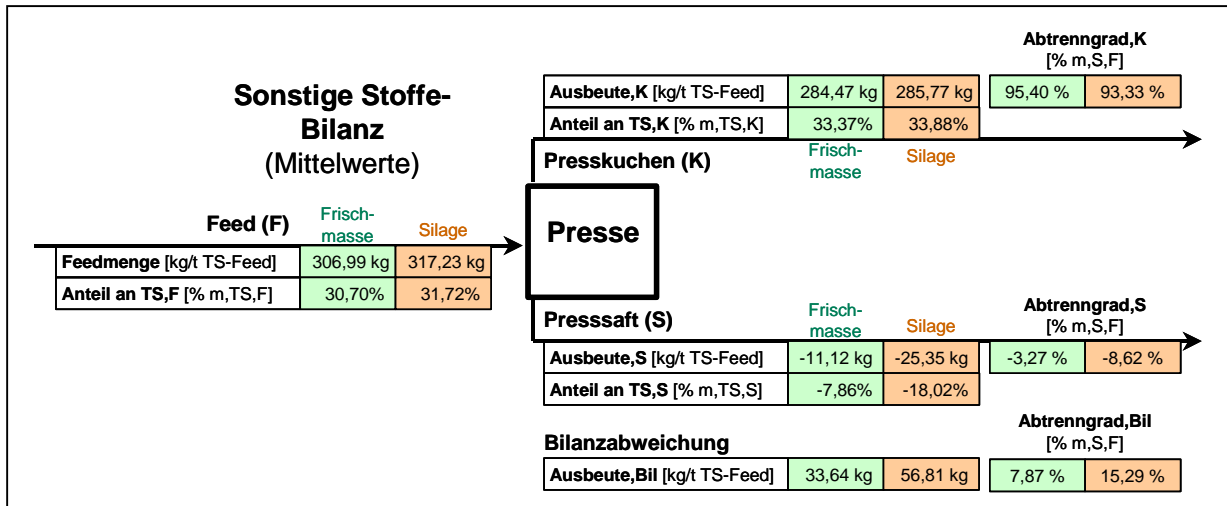


Abb. 4.4.9-6: Bilanz der sonstigen Stoffe: Gehalte der sonstigen Stoffe in den Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft, Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade (jeweils Mittelwerte).

(1) ad Gehalte an sonstigen Stoffen: Für die über alle Frischmasse- bzw. Silageproben gemittelten Konzentrationen an sonstigen Stoffen erhält man folgendes Ergebnis: Frischmasse: Feed=30,70%, Presskuchen=33,37%, Presssaft=-7,86%! Silage: Feed=31,72%, Presskuchen=33,88%, Presssaft=-18,02%! Man sieht, dass die Konzentrationen der sonstigen Stoffe in Feed und Presskuchen im Fall der Silageproben geringfügig höher sind als im Fall der Frischmasseproben. Offensichtlich kommt es also im Zuge des Verfahrensschritts „Sillierung“ zu einer leichten Anreicherung dieser sonstigen Stoffe. Eine Erklärung dafür wäre noch zu finden. Für beide Grasprobenarten findet man, dass die Konzentration der sonstigen Stoffe im Presskuchen etwas höher ist als im Feed, d.h. im Zuge des Verfahrensschritts „Abpressen“ kommt es im Presskuchen zu einer Aufkonzentrierung dieser sonstigen Stoffe.

Für beide Grasprobenarten findet man *negative* Konzentrationen der sonstigen Stoffe in der Trockensubstanz des Presssafts, was bedeutet, dass die Summe der prozentuellen Anteile von Rohprotein, Rohfaser, Rohasche, Gesamtzucker und Milchsäure in der Trockensubstanz des Presssafts höher ist als 100%. Erklärung: Bei der Berechnung der Konzentration der sonstigen Stoffe in den Trockensubstanzen von Presssaft und Presskuchen wird Milchsäure als Bestandteil der festen Phase „Trockensubstanz“ behandelt:  $[S],S = 100 - \{[RP],S + [RF],S + [RA],S + [Z],S + [MS],S\}$ . Tatsächlich ist Milchsäure aber Bestandteil der flüssigen Phase. Die auf die TS des Presssafts bezogene Milchsäurekonzentration  $[MS],S$  ist mit durchschnittlich 28% derart hoch, dass im Falle ihrer Nichtberücksichtigung bei der Berechnung von  $[S],S$  sehr wohl vernünftig erscheinende *positive* Zahlenwerte erhalten werden.

(2) ad Massenströme/Ausbeuten: Für die *mittleren* Massenströme bzw. Ausbeuten erhält man folgendes Ergebnis (Einheit: kg/t TS-Feed): Frischmasse: Feed=306,99 kg/t, Presskuchen=284,47 kg/t, Presssaft=-11,12(!) kg/t. Silage: Feed=317,23 kg/t, Presskuchen=285,77 kg/t, Presssaft=-25,35(!) kg/t. Man sieht, dass die

Massenströme der sonstigen Stoffe im Feed sowie im Presskuchen im Fall der Silageproben höher sind als im Fall der Frischmasseproben. Es kommt also im Zuge des Verfahrensschritts „Silierung“ – wie schon oben gesagt – zu einer Anreicherung dieser sonstigen Stoffe. Für beide Grasprobenarten findet man für die Massenströme der sonstigen Stoffe im Presssaft *negative* Zahlenwerte, was auf die *negativen* Konzentrationen der sonstigen Stoffe im Presssaft zurückzuführen ist. Für die *individuellen* Ausbeuten der sonstigen Stoffe in Presssaft und Presskuchen findet man *keine* funktionelle Abhängigkeit vom TS-Gehalt des Feeds.

(3) ad Abtrenngrade: Hinsichtlich der Abtrenngrade findet man für beide Grasprobenarten, dass ca. 95% der im Feed enthaltenen sonstigen Stoffe in den Presskuchen übergehen, die restlichen 5% in den Presssaft. Bemerkenswert ist, dass man für die Rohfasern exakt dieselben Abtrenngrade findet (Presskuchen: 95%, Presssaft: 5%). Dies führt zur Vermutung, dass es sich bei den sonstigen Stoffen um „faserartiges“ Material handeln könnte, was bedeuten würde, dass mit der als „Rohfaser“ bezeichneten Komponente nicht das gesamte in den Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft enthaltene Fasermaterial erfasst wird.

#### Offene Fragen / Weitere Arbeiten

(1) ad Sonstige Stoffe - Was ist das?: In Folgearbeiten wäre die Natur der sonstigen Stoffe zu klären. Es gibt Indizien, dass es sich dabei um faserartiges Material handeln könnte, das von der für die Bestimmung der „Rohfasern“ angewendeten Analyse-methode *nicht* erfasst wird.

(2) ad Berechnung der Konzentration der sonstigen Stoffe: Es stellt sich die Frage nach der Berechtigung der Art und Weise der Berechnung der Konzentration der sonstigen Stoffe in den Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft gemäss der Formel „ $[S] = 100 - \{[RP] + [RF] + [RA] + [Z] + [MS]\}$ “, der zufolge Milchsäure als Komponente der Trockensubstanz aufgefasst wird, obwohl das Gegenteil der Fall ist. Infolge dieser Vorgangsweise erhält man für [S] niedrigere Werte als die tatsächlich vorhandenen, im Fall der Trockensubstanz der Presssafts erhält man sogar *negative* Zahlenwerte. Bei Nichtberücksichtigung der Milchsäure in obiger Formel jedoch erhält man *positive* Zahlenwerte für [S].

#### 4.4.10. Verdauliche organische Masse (dOM)

##### Konzentrationen

Abb. 4.4.10-1 zeigt die Konzentrationen der verdaulichen organischen Masse (dOM) in den beiden festen Phasen „Feed“ und „Presskuchen“.

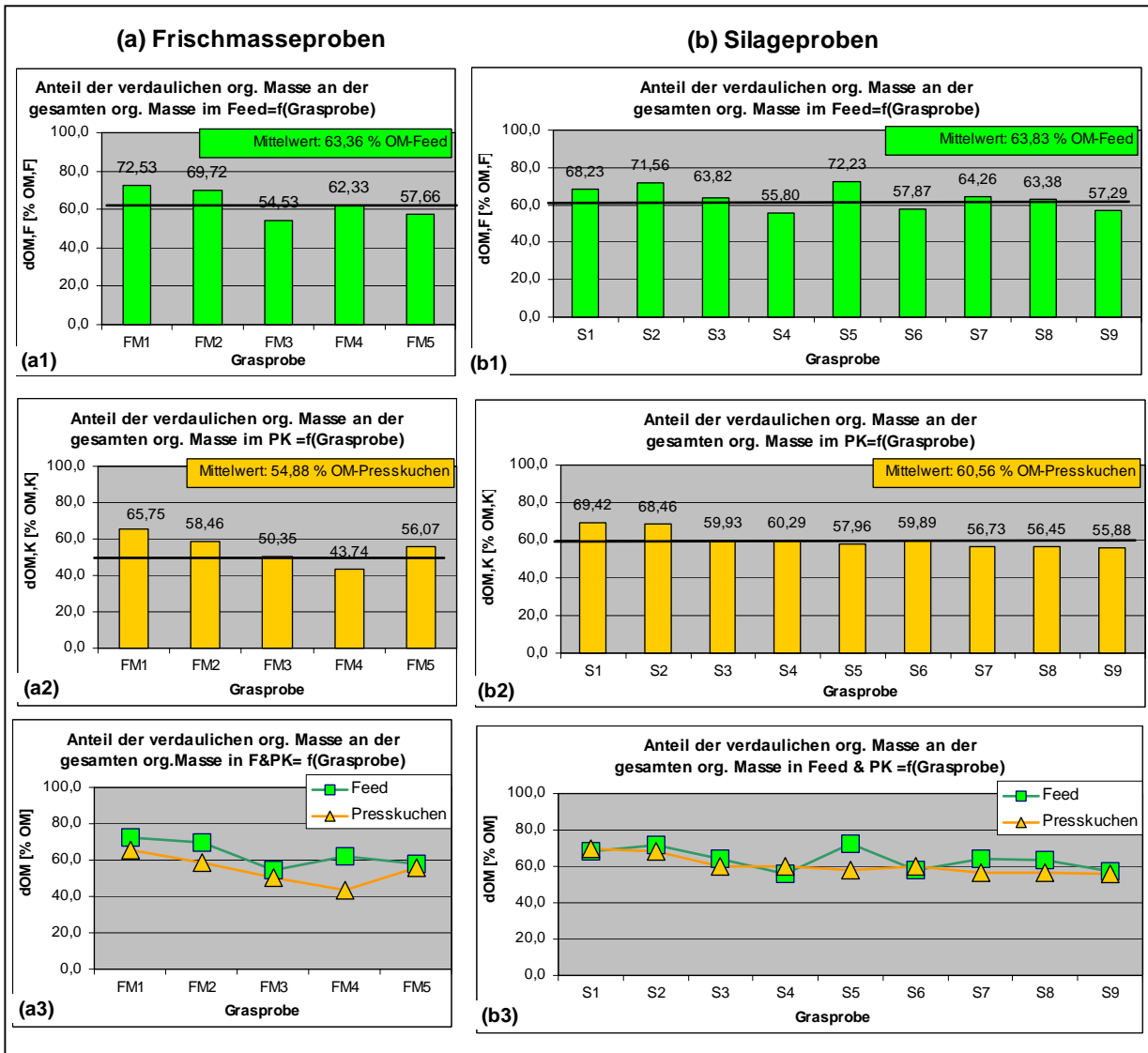


Abb. 4.4.10-1: Konzentrationen der verdaulichen organischen Masse (dOM) in Feed und Presskuchen.

Abb. 4.4.10-1 zeigt, dass sich Frischmasse- und Silageproben hinsichtlich der *mittleren* dOM-Konzentration im Feed *nicht* wesentlich voneinander unterscheiden. In beiden Grasprobenarten sind im Durchschnitt ca. 63,5% der organische Masse des Feeds verdaulich, der Rest von 36,5% ist nicht verdaulich. Der Silageprozess bewirkt also – zumindest im Durchschnitt aller untersuchten Grasproben – keinen nennenswerten Verlust an verdaulicher organischer Masse.

4# Feed: Frischmasse: 63,36% – Silage: 63,83%.

4# Presskuchen: Frischmasse: 54,88% < Silage: 60,56%.

Für beide Grasprobenarten findet man, dass die dOM-Konzentration im Presskuchen etwas niedriger ist als im Feed, d.h. infolge der Verfahrensschritts „Abpressen“ kommt zu einer Verdünnung der verdaulichen organischen Masse im Presskuchen.

Abb. 4.4.10-2 zeigt die Konzentrationen der verdaulichen organischen Masse (dOM) in den beiden festen Phasen „Feed“ und „Presskuchen“ als Funktion der Grasart sowie des Silageprozesses bzw. der verwendeten Silage-Starterkulturen. Grasarten: (1)=Kleegrass/1.Schnitt, (2)=Kleegrass/2.Schnitt, (3)=Extensive Dauerwiese / 1.Schnitt; (4)=Bastard Raygras/3.Schnitt; (5)=Knautgras/2.Schnitt. Silagestarterkulturen: Silage-1: „IFA:S3“, Silage-2: „IFA:M2“ (IFA steht für: Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiologie – Abteilung Umweltbiotechnologie, Tulln).

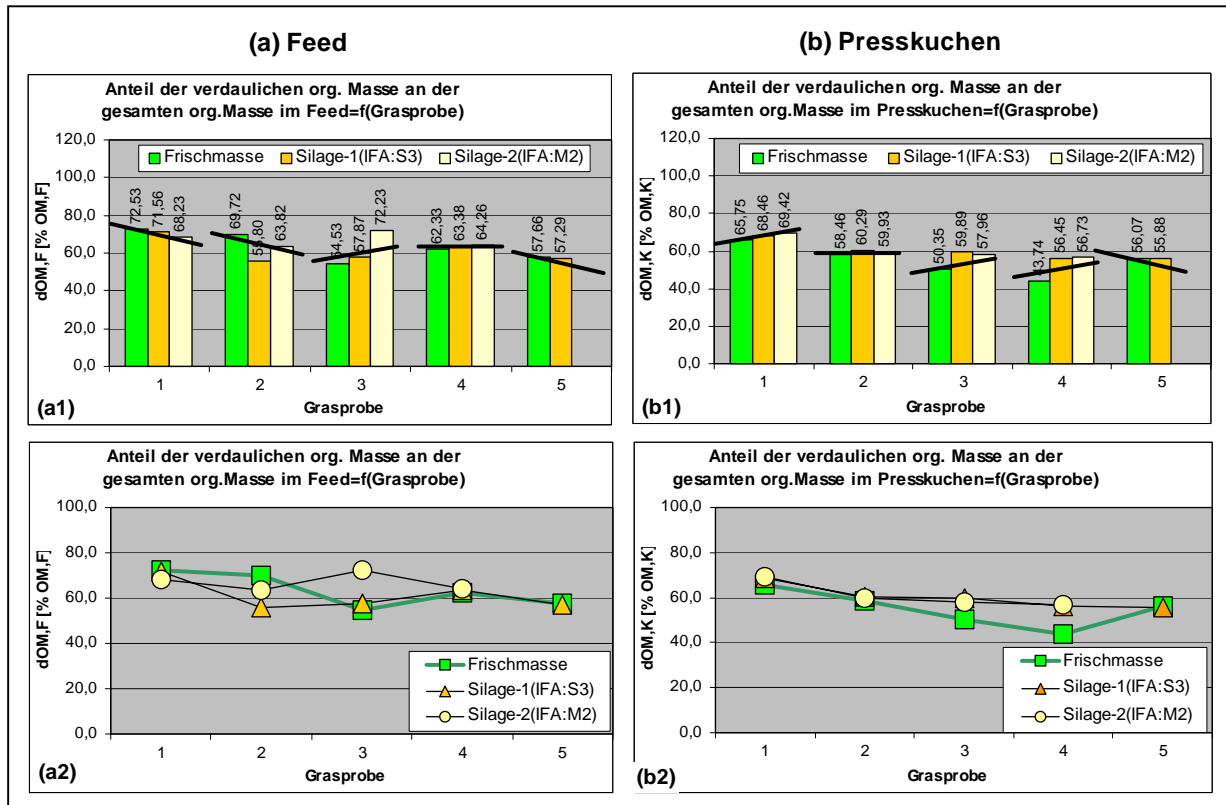


Abb. 4.4.10-2: Konzentrationen der verdaulichen organischen Masse (dOM) in Feed und Presskuchen als Funktion der Grasart sowie des Silageprozesses bzw. der verwendeten Silage-Starterkulturen. Grasarten: (1)=Kleegrass/1.Schnitt, (2)=Kleegrass/2.Schnitt, (3)=Extensive Dauerwiese/1.Schnitt; (4)=Bastard Raygras/3.Schnitt; (5)=Knautgras/2.Schnitt. Silagestarterkulturen: Silage-1: „IFA:S3“, Silage-2: „IFA:M2“ (IFA steht für: Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiologie–Abtlg Umweltbiotechnologie, Tulln).

Abb. 4.4.10-2 zeigt, dass sich hinsichtlich der funktionellen Abhängigkeit der dOM-Konzentrationen in Feed und Presskuchen vom Silageprozess nicht alle Grasarten gleich verhalten:

- 4# Für die beiden Grasarten „Kleegrass (1,2)“ und „Knautgras (5)“ findet man, dass die dOM-Konzentrationen der entsprechenden Silageproben *niedriger* sind als diejenigen der dazugehörigen Frischmasseproben, d.h. bei diesen beiden Grasarten kommt es im Zuge des Silageprozesses zu einer *Abnahme* der dOM-Konzentration.
- 4# Für die beiden Grasarten „Extensive Dauerwiese (3)“ und „Bastard Raygras (4)“ findet man jedoch das Gegenteil: Die dOM-Konzentrationen der entsprechenden Silageproben sind *höher* als diejenigen der dazugehörigen Frischmasseproben, d.h. bei diesen beiden Grasarten kommt es im Zuge des Silageprozesses zu einer *Zunahme* der dOM-Konzentration.
- 4# Eine Erklärung für das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Grasarten „Kleegrass, Knautgras, Bastard Raygras und extensive Dauerwiese“ hinsichtlich des Einflusses des Silageprozesses auf die

dOM-Konzentrationen in Feed und Presskuchen müsste noch gefunden werden. Bemerkenswert ist jedenfalls, dass man für die Abhängigkeit des Energiegehalts der Grasproben (Nettoenergie-Laktation) von Grasart und Silageprozess exakt dieselben Tendenzen findet (s. Abschn. 4.4.11).

Massenströme / Ausbeuten

Abb. 4.4.10-3 zeigt die Massenströme bzw. **Ausbeuten an verdaulicher organischer Masse** in den beiden festen Phasen „Feed“ und „Presskuchen“, wobei die organische Masse (OM) - von der die *verdauliche* organische Masse einen Teil darstellt - wie folgt berechnet wird:

$$m_{OM} = m_{TS} + 4 m_{RA}$$

mit

$m_{OM}$  [kg / t TS 4 Feed] Massenstrom organische Masse  
 $m_{RA}$  [kg / t TS 4 Feed] Massenstrom Rohasche  
 $m_{TS}$  [kg / t TS 4 Feed] Massenstrom Trockensubstanz

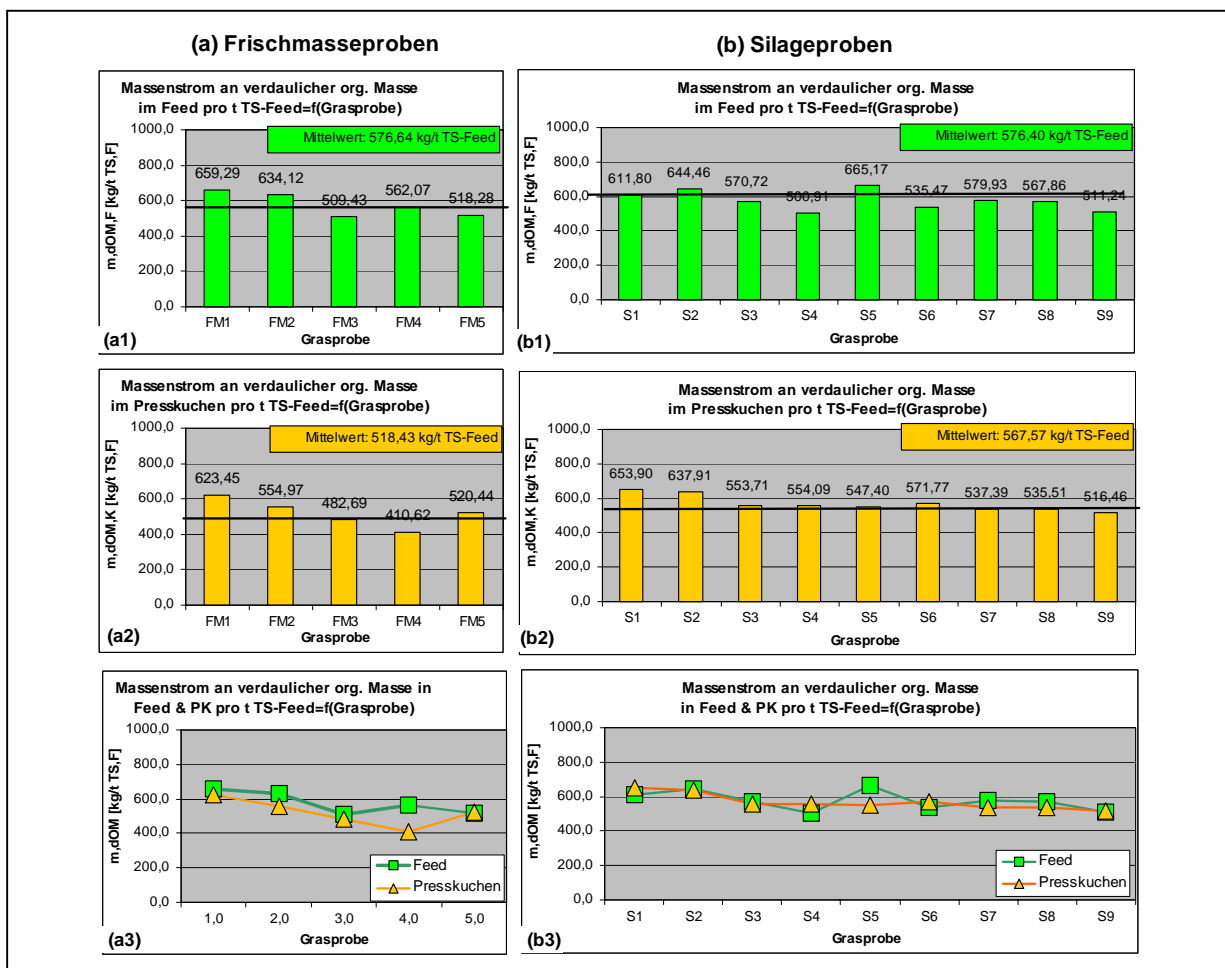


Abb. 4.4.10-3: Massenströme bzw. Ausbeuten an verdaulicher organischer Masse (dOM) in Feed & Presskuchen.

Abb. 4.4.10-3 zeigt, dass sich hinsichtlich des dOM-Massenstroms im Feed Frischmasse- und Silageproben *nicht* wesentlich voneinander unterscheiden. In beiden Fällen beträgt der dOM - Massenstrom 576 kg/t TS-Feed, d.h. der Silageprozess bewirkt – zumindest im Durchschnitt aller Grasproben - offensichtlich weder eine Reduktion noch eine Erhöhung der Menge an verdaulicher organischer Masse.

4# Feed: Frischmasse: 576,64 kg/t TS-Feed – Silage: 576,40 kg/t TS-Feed.

4# Presskuchen: Frischmasse: 518,43 kg/t TS-Feed < Silage: 567,57 kg/t TS-Feed.

Für beide Grasprobenarten findet man, dass der dOM - Massenstrom im Presskuchen etwas niedriger ist als im Feed, d.h. lediglich ein – allerdings großer – Teil der im Feed enthaltenen dOM- Menge geht im Zuge des Verfahrensschritts „Abpressen“ in der Presskuchen, der verbleibende Rest geht in den Presssaft.

Abb. 4.4.10-4 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Ausbeuten an *verdaulicher* organischer Masse im Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt der Feeds sowie von der Grasprobenart.

- 4# ad dOM-Ausbeute im Presskuchen: (a) Für beide Grasprobenarten findet man, dass mit steigendem TS-Gehalt des Feeds die dOM-Ausbeute im Presskuchen sinkt:  $TS, F \clubsuit \heartsuit$  Ausbeute, dOM, K  $\diamond$ . (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die dOM-Ausbeute im Presskuchen im Fall der Silageproben höher als im Fall der Frischmasseproben. Eine Erklärung für diese beiden Abhängigkeiten wäre noch zu liefern.
- 4# ad dOM-Ausbeute im Presssaft: (a) Für beide Grasprobenarten findet man keine signifikante funktionelle Abhängigkeit der dOM-Ausbeute im Presssaft vom TS-Gehalt des Feeds, d.h.  $TS, F \clubsuit \heartsuit$  Ausbeute, dOM, S = const. (b) Allerdings erhält man bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben im Fall der Silageproben eine wesentlich niedrigere dOM-Ausbeute im Presssaft als im Fall der Frischmasse, d.h. im Fall der Silageproben geht weniger verdauliche organische Masse in den Presssaft verloren als im Fall der Frischmasseproben.
- Für einige Grasproben werden *negative* dOM-Ausbeuten im Presssaft gefunden, was darauf zurückzuführen ist, dass für diese Grasproben die gemessene dOM-Menge im Presskuchen höher ist als die entsprechende gemessene dOM-Menge im Feed, was wiederum auf Analysefehler zurückzuführen ist (wegen  $m, dOM, K > m, dOM, F$  erhält man für  $m, dOM, S = m, dOM, F - m, dOM, K$  negative Zahlenwerte).
- 4# Bemerkenswert ist, dass man für die funktionelle Abhängigkeit der Energie-Ausbeuten in Presskuchen und Presssaft (Nettoenergie-Laktation) vom TS-Gehalt des Feeds sowie der Grasprobenart exakt dieselben Tendenzen findet (s. Abschn. 4.4.11).

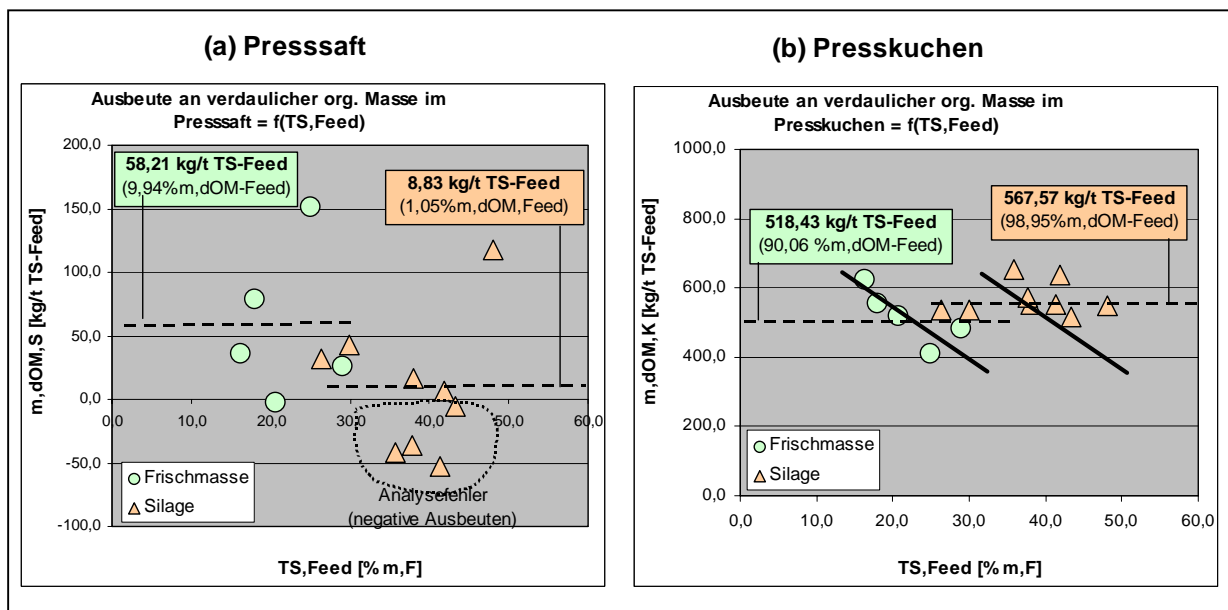


Abb. 4.4.10-4: Ausbeuten an verdaulicher organischer Masse (dOM) in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed) und mittlere Abtrenngrade.



### Abtrenngrade

Abb. 4.4.10-5 zeigt die prozentuelle Aufteilung der im Feed enthaltenen verdaulichen organischen Masse (dOM) auf Presskuchen und Presssaft (*dOM-Abtrenngrade*).

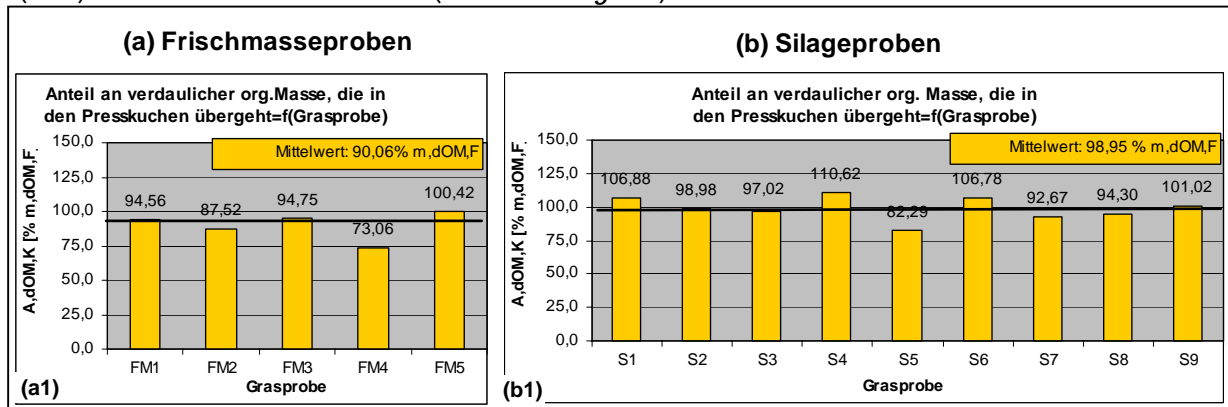


Abb. 4.4.10-5: Prozentueller Anteil der im Feed enthaltenen verdaulichen organischen Masse (dOM), der in den Presskuchen übergeht (dOM-Abtrenngrad).

Man sieht, dass sich hinsichtlich dieser dOM-Abtrenngrade Frischmasse- und Silageproben voneinander unterscheiden:

4# Presskuchen: Frischmasse: 90,06% < Silage: 98,95%.

4# Presssaft: Frischmasse: 9,94% > Silage: 1,05%.

Im Fall der Silageproben geht mit ca. 99% ein signifikant größerer Anteil der im Feed enthaltenen verdaulichen organischen Masse in den Presskuchen über als im Fall der Frischmasseproben (ca. 90%). Allerdings ist dieser Befund mit Vorbehalt zu betrachten angesichts der Tatsache, dass für einige Grasprobenarten Abtrenngrade/Presskuchen größer als 100% gefunden wurden, was auf Analysefehler zurückzuführen ist.

Analoge Tendenzen findet man auch für die Abtrenngrade hinsichtlich der Energiegehalte (Nettoenergie-Laktation), wo bei Silageproben eine signifikant höherer Anteil der im Feed enthaltenen Energiemenge in den Presskuchen übergeht als bei Frischmasseproben.

Zusammenfassung

Abb. 4.4.10-6 gibt eine Zusammenfassung der Massenbilanz für die verdauliche organische Masse (dOM). Es werden die dOM-Konzentrationen in Feed, Presskuchen und Presssaft sowie die entsprechenden Massenströme und Abtrenngrade gezeigt.

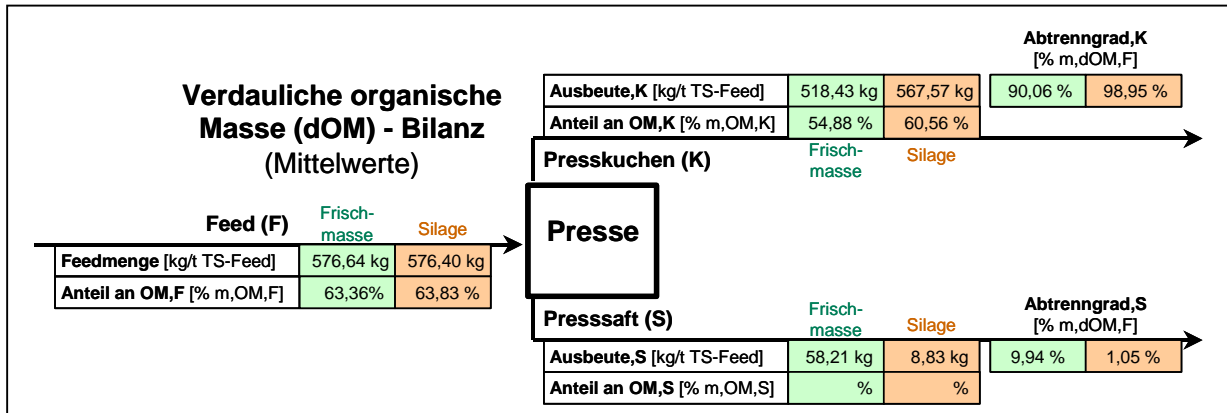


Abb. 4.4.10-6: Bilanz der verdaulichen organischen Masse (dOM): Konzentrationen in Feed, Presskuchen und Presssaft, Massenströme/Ausbeuten und Abtrenngrade.

(1) ad dOM-Konzentrationen: Für die über alle Frischmasse- bzw. Silageproben *gemittelten* dOM-Konzentrationen erhält man: Frischmasse: Feed=63,36%, Presskuchen: 54,88%. Silage: Feed=63,83%, Presskuchen=60,56%. Man sieht zunächst, dass für beide Grasprobenarten die dOM-Konzentration im Presskuchen etwas niedriger ist als im Feed, d.h. infolge der Verfahrensschritts „Abpressen“ kommt es zu einer leichten Abnahme der verdaulichen organischen Masse im Presskuchen. Man sieht weiters, dass sich hinsichtlich der *mittleren* dOM-Konzentrationen im Feed Frischmasse- und Silageproben nicht wesentlich voneinander unterscheiden: Für beide Grasprobenarten findet man, dass ca. 63,5% der organische Masse des Feeds verdaulich sind. Betrachtet man also die *gemittelten* dOM-Konzentrationen, so könnte man zum Schluss kommen, dass es im Zuge des Verfahrensschritts „Silieren“ weder zu einer abnahme noch zu einer Zunahme der verdaulichen organischen Masse. kommt.

Betrachtet man jedoch die *individuellen* dOM-Konzentrationen, so erhält man für verschiedene Grasarten unterschiedliche Ergebnisse: Im Fall von „Kleegras“ und „Knautgras“ kommt es im Zuge des Silageprozesses zu einer *Abnahme*, im Fall der beiden Grasarten „Extensive Dauerrwiese“ und „Bastard Raygras“ jedoch zu einer *Zunahme* der dOM-Konzentration. Eine Erklärung für dieses unterschiedliche Verhalten der verschiedenen Grasarten (Abnahme bzw. Zunahme) müsste noch gefunden werden.

(2) ad dOM-Massenströme/Ausbeuten: Für die über alle Frischmasse- bzw. Silageproben *gemittelten* dOM-Massenströme/Ausbeuten erhält man (Einheit: kg/t TS-Feed): Frischmasse: Feed=576,64 kg/t, Presskuchen=518,43 kg/t, Presssaft=58,21 kg/t. Silage: Feed=576,40 kg/t, Presskuchen=567,57 kg/t, Presssaft=8,83 kg/t. Hinsichtlich des *mittleren* dOM-Massenstroms im Feed gibt es offensichtlich zwischen Frischmasse- und Silageproben keinen wesentlichen Unterschied. In beiden Fällen beträgt der mittlere dOM-Massenstrom im Feed ca. 576 kg/t TS-Feed. Im Mittel über alle Grasproben hat also der Silageprozess keinen Einfluss auf die dOM-Ausbeute. Für beide Grasprobenarten findet man, dass der dOM-Massenstrom im Presskuchen etwas niedriger ist als im Feed, d.h. es kommt im Zuge des Verfahrensschritts „Abpressen“ zu einer Abnahme des des dOM-Massenstroms im Presskuchen.

Hinsichtlich der *individuellen* dOM-Ausbeute im Presskuchen findet man folgende funktionelle Abhängigkeiten: (a) Bei steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt die dOM-Ausbeute im Presskuchen. (b) Bei

gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die dOM-Ausbeute im Presskuchen im Fall der Silageproben höher als im Fall der Frischmasseproben. Eine Erklärung für diese beiden Abhängigkeiten wäre noch zu liefern. Bemerkenswert ist, dass man für die funktionellen Abhängigkeiten der Energie-Ausbeuten (Nettoenergie-Laktation) in Presskuchen und Presssaft vom TS-Gehalt des Feeds sowie der Grasprobenart exakt dieselben Tendenzen findet.

(3) ad dOM-Abtrenngrade: Frischmasse: Presskuchen: 90,06%, Presssaft: 9,94%. Silage: Presskuchen: 98,95%, Presssaft: 1,05%. Man sieht, dass im Fall der Silageproben mit ca. 99% ein signifikant größerer Anteil der im Feed enthaltenen verdaulichen organischen Masse in den Presskuchen übergeht als im Fall der Frischmasseproben (ca. 90%).

#### Offene Fragen / Weitere Arbeiten

(1) ad Einfluss des Silageprozesses auf dOM-Konzentration: Angesichts der Tatsache, dass es im Fall von „Kleegras“ und „Knautgras“ im Zuge des Verfahrensschritts „Silieren“ zu einer *Abnahme* der dOM-Konzentration im Feed kommt, im Fall der beiden Grasarten „extensive Dauerspähne“ und „Bastard Raygras“ jedoch das Gegenteil der Fall ist, erhebt sich die Frage einer Erklärung für dieses unterschiedliche Verhalten der einzelnen Grasarten.

(2) ad dOM-Ausbeute im Presskuchen und Presssaft: Es stellt sich die Frage nach einer Erklärung für die Art und Weise der funktionellen Abhängigkeit der dOM-Ausbeute im Presskuchen und Presssaft vom TS-Gehalt des Feeds sowie von der Grasprobenart:

- 4# (a) Für beide Grasprobenarten findet man, dass mit steigendem TS-Gehalt des Feeds die dOM-Ausbeute im Presskuchen sinkt bzw. diejenige im Presssaft unverändert bleibt.
- 4# (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die dOM-Ausbeute im Presskuchen im Fall der Silageproben *höher* als im Fall der Frischmasseprobe, diejenige im Presssaft dagegen ist im Fall der Silageproben *niedriger* als im Fall der Frischmasseproben.

#### 4.4.11. Energiegehalt / Nettoenergie-Laktation (NEL)

##### Energiegehalte (Konzentrationen)

Abb. 4.4.11-1 zeigt die Energiegehalte (Nettoenergie-Laktation, NEL) der beiden festen Phasen „Feed“ und „Presskuchen“.

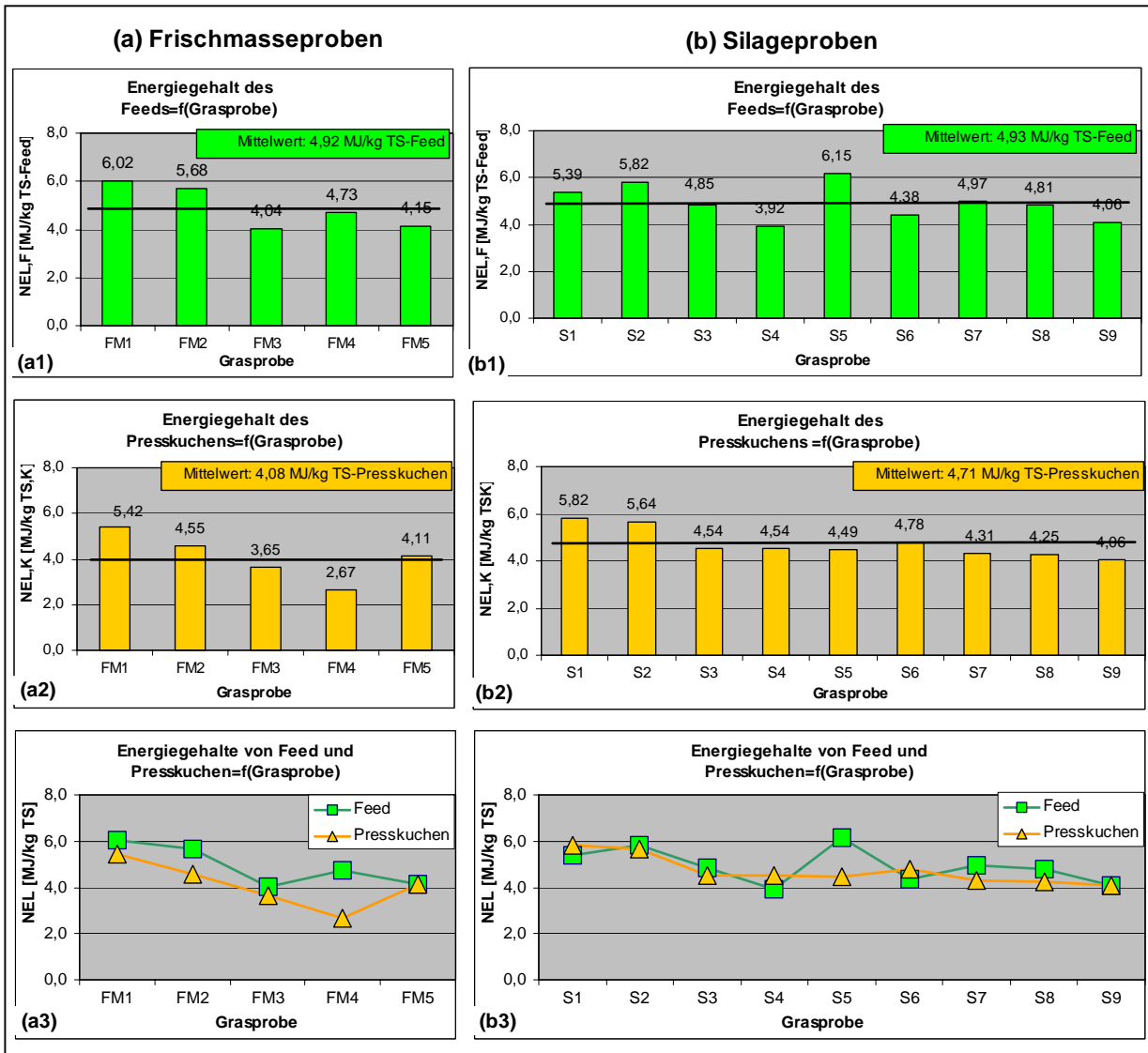


Abb. 4.4.11-1: Energiegehalte (Nettoenergie-Laktation, NEL) von Feed und Presskuchen.

Abb. 4.4.11-1 zeigt, dass sich Frischmasse- und Silageproben hinsichtlich des *mittleren* Energiegehalts im Feed nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Beide Grasprobenarten weisen einen Energiegehalt von ca. 4,90 MJ/kg TS-Feed auf. Der Verfahrensschritt „Silierung“ bewirkt also – zumindest im Durchschnitt aller untersuchten Grasproben – keinen nennenswerten Verlust des Energiegehalts.

4# Feed: Frischmasse: 4,92 MJ/kg TS-Feed – Silage: 4,93 MJ/kg TS-Feed.

4# Presskuchen: Frischmasse: 4,08 MJ/kg TS-PK < Silage: 4,71 MJ/kg TS-PK.

Für beide Grasprobenarten findet man, dass der Energiegehalt des Presskuchens jeweils niedriger ist als jener des dazugehörigen Feeds, d.h. dass es im Zuge des Verfahrensschritts „Abpressen“ zu einer Abnahme des Energiegehalts des Presskuchens kommt.

Abb. 4.4.11-2 zeigt die Energiegehalte (Nettoenergie-Laktation, NEL) der beiden festen Phasen „Feed“ und „Presskuchen“ als Funktion der Grasart sowie der verwendeten Silage-Starterkulturen. Grasarten: (1)=Kleegrass/1.Schnitt, (2)=Kleegrass/2.Schnitt, (3)=Extensive Dauerwiese/1.Schnitt; (4)=Bastard Raygras/3.Schnitt; (5)=Knautgras/2.Schnitt. Silagestarterkulturen: Silage-1: „IFA:S3“, Silage-2: „IFA:M2“ (IFA steht für: Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiologie–Abtlg Umweltbiotechnologie, Tulln).

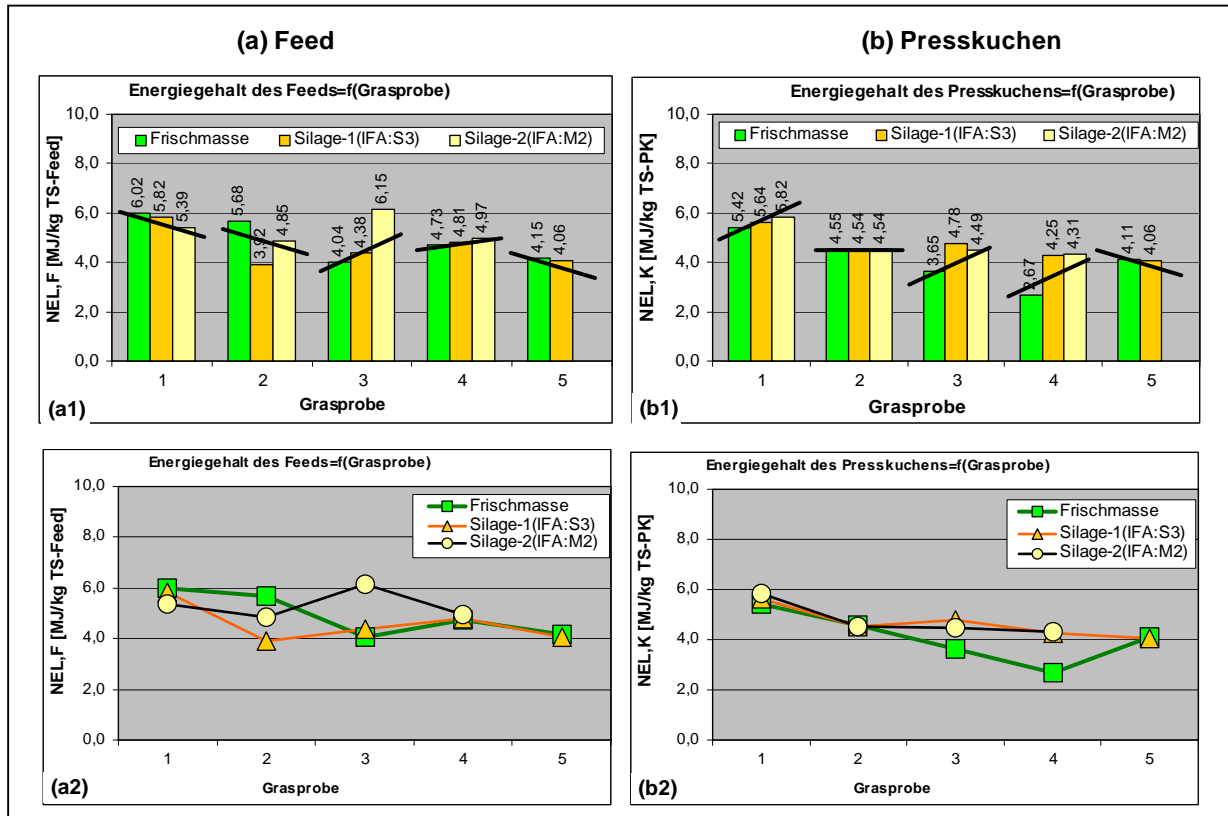


Abb. 4.4.11-2: Energiegehalte (Nettoenergie-Laktation, NEL) von Feed und Presskuchen als Funktion der Grasart sowie der verwendeten Silage-Starterkulturen. Grasarten: (1)=Kleegrass/1.Schnitt, (2)=Kleegrass/2.Schnitt, (3)=Extensive Dauerwiese/1.Schnitt; (4)=Bastard Raygras/3.Schnitt; (5)=Knautgras/2.Schnitt. Silagestarterkulturen: Silage-1: „IFA:S3“, Silage-2: „IFA:M2“ (IFA steht für: Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiologie–Abtlg Umweltbiotechnologie, Tulln).

Abb. 4.4.11-2 zeigt, dass sich die untersuchten Grasarten hinsichtlich der funktionellen Abhängigkeit der Energiegehalte von Feed und Presskuchen vom Silageprozess unterschiedlich verhalten:

- 4# Für die beiden Grasarten „Kleegrass (1,2)“ und „Knautgras (5)“ findet man, dass die Energiegehalte (NEL-Werte) der entsprechenden Silageproben *niedriger* sind als diejenigen der dazugehörigen Frischmasseproben, d.h. bei diesen beiden Grasarten kommt es im Zuge des Silageprozesses zu einer *Abnahme* des spezifischen Energiegehalts.
- 4# Für die beiden Grasarten „Extensive Dauerwiese (3)“ und „Bastard Raygras (4)“ findet man jedoch das Gegenteil: Der Energiegehalt der entsprechenden Silageproben ist *höher* als derjenige der dazugehörigen Frischmasseproben, d.h. bei diesen beiden Grasarten kommt es im Zuge des Silageprozesses zu einer *Zunahme* des Energiegehalts.
- 4# Eine Erklärung für dieses unterschiedliche Verhalten der einzelnen Grasarten müsste noch gefunden werden. Bemerkenswert ist, dass man für die Abhängigkeit der Konzentration der verdaulichen organischen Masse (dOM) in Feed und Presskuchen vom Silageprozess exakt dieselben Tendenzen findet (s. **Abschn. 4.4.10**).

Energieströme / Ausbeuten

Abb. 4.4.11-3 zeigt die Energiemengen (Nettoenergie-Laktation) in Feed und Presskuchen pro Tonne TS-Feed, d.h. die entsprechenden *Energieausbeuten*, wobei diese wie folgt berechnet werden:

$$E_{NEL,i} \mid m_{TS,i} \mid [NEL]_i \text{ mit } i \mid \text{Feed, Presskuchen, Presssaft}$$

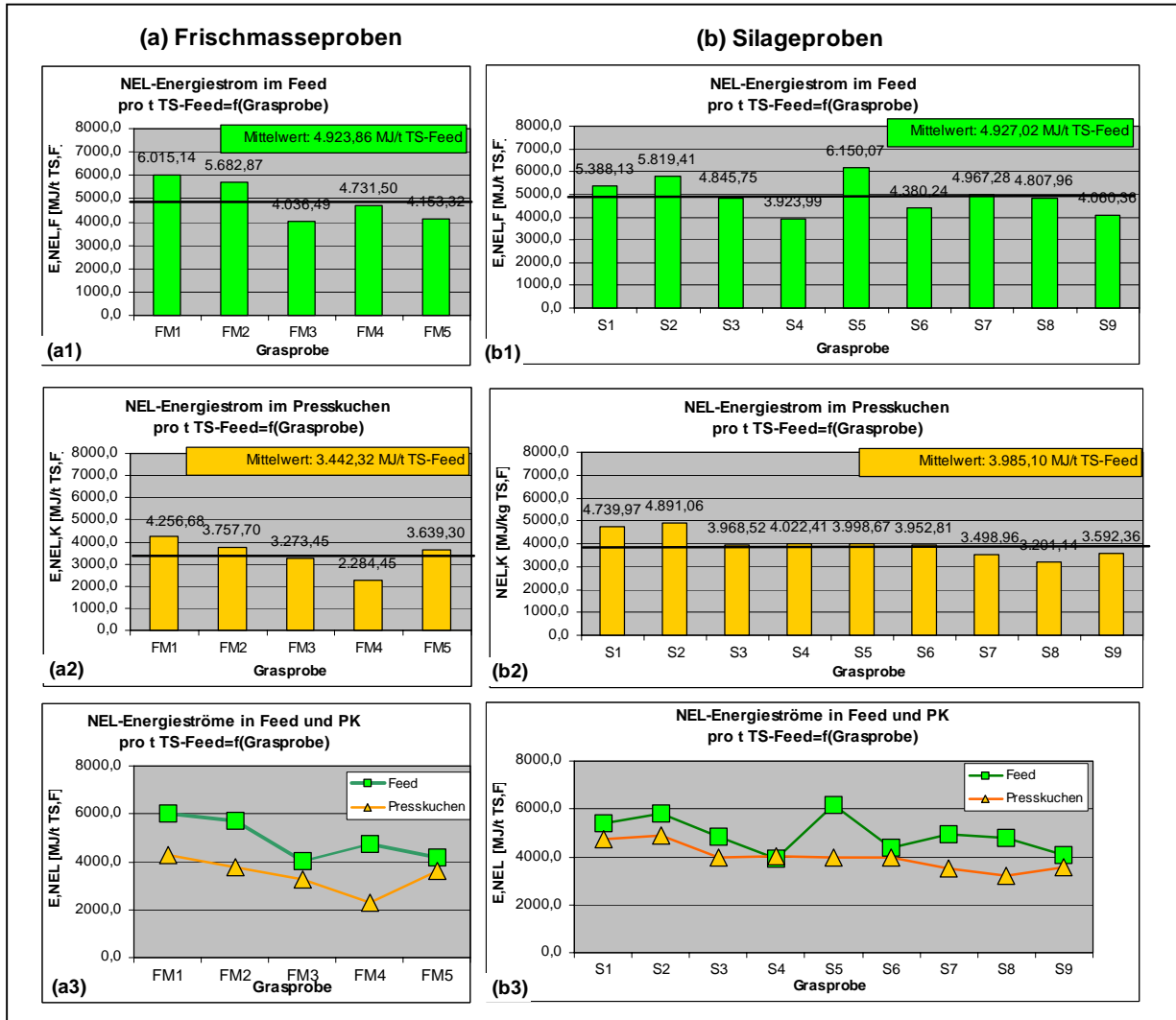


Abb. 4.4.11-3: Energiemengen bzw. Ausbeuten (Nettoenergie-Laktation) in Feed und Presskuchen.

Abb. 4.4.11-3 zeigt, dass sich Frischmasse- und Silageproben hinsichtlich der *mittleren* im Feed enthaltenen Energiemenge nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Beide Grasprobenarten weisen eine Energiemenge von ca. 4.925 MJ/kg TS-Feed auf. Der Silageprozess bewirkt also – zumindest im Durchschnitt aller untersuchten Grasproben – keinen nennenswerten Verlust der in den Frischgrasproben enthaltenen Energiemengen. Frischmasse- und Silageproben unterscheiden sich jedoch voneinander hinsichtlich der mittleren im Presskuchen enthaltenen Energiemenge: Der Presskuchen von Silageproben enthält eine höhere Energiemenge als jener von Frischmasseproben. Eine Erklärung dafür wäre noch zu finden.

4# Feed: Frischmasse: 4.923,86 MJ/t TS-Feed – Silage: 4,927,02 MJ/t TS-Feed.

4# Presskuchen: Frischmasse: 3.442,32 MJ/t TS-Feed < Silage: 3.985,10 MJ/t TS-Feed.

Für beide Grasprobenarten findet man, dass die im Presskuchen enthaltenen Energiemengen jeweils niedriger sind als jene in den dazugehörigen Feeds, d.h. lediglich ein Teil der im Feed enthaltenen Energiemenge geht im Zuge des Verfahrensschritts „Abpressen“ in den Presskuchen, der verbleibenden Rest geht in den Presssaft.

Abb. 4.4.11-4 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Energieausbeuten im Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt des Feeds sowie von der Grasprobenart.

- 4# ad Energieausbeute im Presskuchen: (a) Für beide Grasprobenarten findet man, dass mit steigendem TS-Gehalt des Feeds die Energieausbeute im Presskuchen sinkt:  $TS, F \clubsuit \heartsuit$  Ausbeute, NEL, K  $\blacklozenge$ . (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Energieausbeute im Presskuchen im Fall der Silageproben höher als im Fall der Frischmasseproben. Eine Erklärung für diese beiden Abhängigkeiten wäre noch zu liefern.
- 4# ad Energieausbeute im Presssaft: (a) Für beide Grasprobenarten findet man keine signifikante funktionelle Abhängigkeit der Energieausbeute im Presssaft vom TS-Gehalt des Feeds, d.h.  $TS, F \clubsuit \heartsuit$  Ausbeute, NEL, S = const. (b) Allerdings erhält man bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben im Fall der Silageproben eine wesentlich niedrigere Energieausbeute im Presssaft als im Fall der Frischmasseproben.
- 4# Bemerkenswert ist die Tatsache, dass man für die funktionelle Abhängigkeit der Ausbeuten an verdaulicher organischer Masse (dOM) im Presskuchen und Presssaft vom TS-Gehalt des Feeds sowie der Grasprobenart exakt dieselben Tendenzen findet (s. Abschn. 4.4.10).

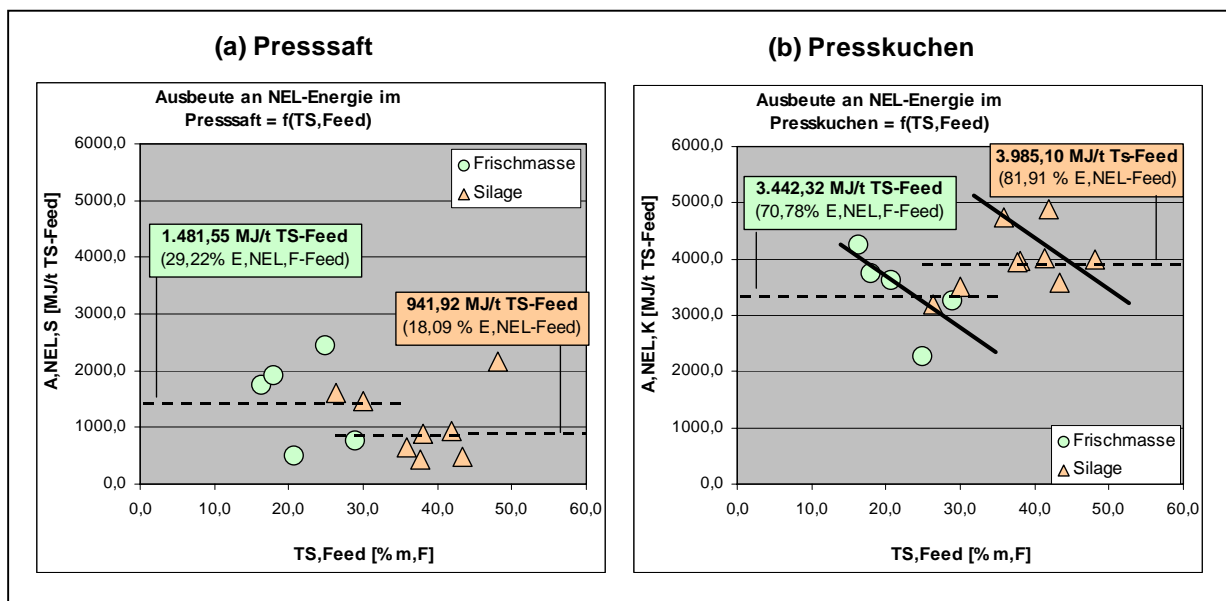


Abb. 4.4.11-4: Energieausbeuten (Nettoenergie-Laktation) in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in MJ/t TS-Feed) und mittlere Abtrenngrade.

Abtrenngrade

Abb. 4.4.11-5 zeigt jenen prozentuellen Anteil der im Feed enthaltenen Energiemenge, der in den Presskuchen übergeht (*Energie-Abtrenngrad*).

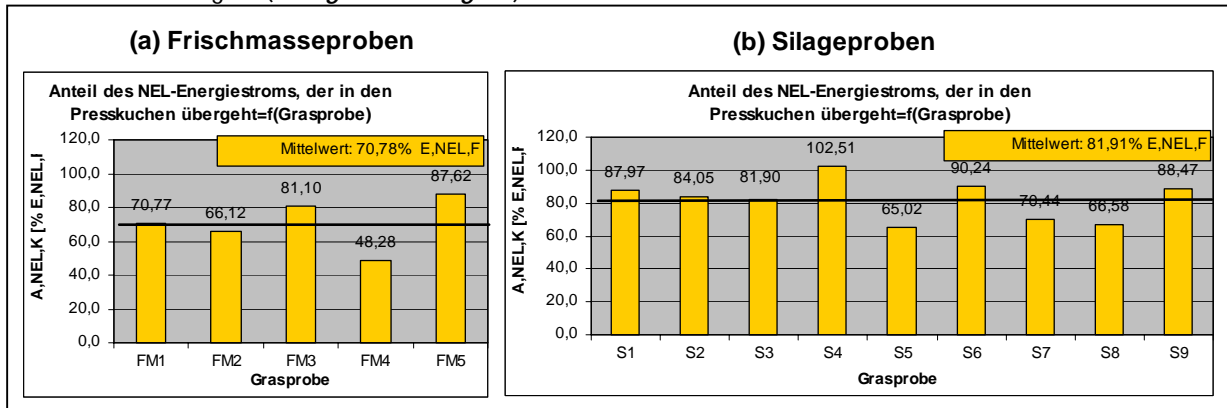


Abb. 4.4.11-5: Prozentueller Anteil der im Feed enthaltenen Energiemenge (Nettoenergielaktation, NEL), der in den Presskuchen übergeht (Abtrenngrad).

Man sieht, dass sich Frischmasse- und Silageproben hinsichtlich der Energie-Abtrenngrade voneinander unterscheiden:

- 4# Presskuchen: Frischmasse: 70,78% < Silage: 81,91%.
- 4# Presssaft: Frischmasse: 29,22% > Silage: 18,09%.

Im Fall der Frischmasseproben geht mit 70,98% ein signifikant geringerer Energieanteil in den Presskuchen über als im Fall der Silageproben (81,91%). Eine Erklärung dafür ist noch ausständig. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass man für die Abtrenngrade der verdaulichen organische Masse (dOM) exakt dieselben Tendenzen findet, wo bei Silageproben eine signifikant höherer Anteil der im Feed enthaltenen verdaulichen organischen Masse in den Presskuchen übergeht als bei Frischmasseproben (s. Abschn. 4.4.10).

Zusammenfassung

Abb. 4.4.11-6 gibt eine Zusammenfassung der Energiebilanz (Nettoenergie-Laktation): Es werden die Energiegehalte von Feed, Presskuchen und Presssaft sowie die entsprechenden Energiemengen und Abtrenngrade gezeigt.

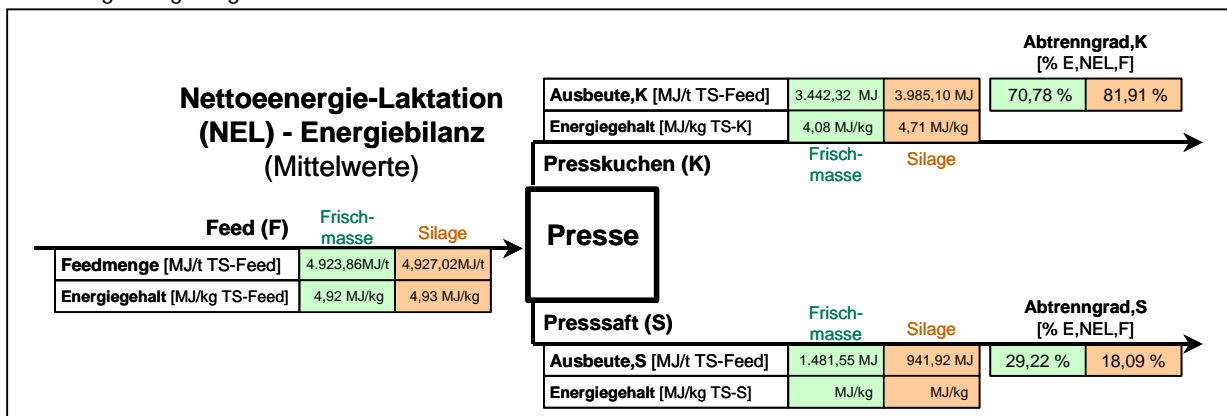


Abb. 4.4.11-6: Energiebilanz: Energiegehalte (Nettoenergie-Laktation) von Feed, Presskuchen und Presssaft, Energiemengen/Ausbeuten und Abtrenngrade.

(1) ad Energiegehalte: Für die über alle Frischmasse- bzw. Silageproben gemittelten Energiegehalte erhält man: Frischmasse: Feed=4,92 MJ/kg TS-Feed, Presskuchen: 4,08 MJ/kg-Presskuchen. Silage: Frischmasse: 4,93 MJ/kg TS-Feed, Presskuchen: 4,71 MJ/kg-Presskuchen.



Man sieht zunächst, dass für beide Grasprobenarten der mittlere Energiegehalt des Presskuchens jeweils niedriger ist als jener des dazugehörigen Feeds, d.h. im Zuge des Verfahrensschritts „Abpressen“ kommt es zu einer Abnahme des Energiegehalts.

Man sieht weiters, dass sich hinsichtlich des *mittleren* Energiegehalts des *Feeds* Frischmasse- und Silageproben nicht wesentlich voneinander unterscheiden. In beiden Fällen hat der Feed einen Energiegehalt von ca. 4,90 MJ/kg TS-Feed. Betrachtet man also die gemittelten Energiegehalte der Feeds, so könnte man zur Auffassung gelangen, dass der Verfahrensschritt „Silieren“ weder eine Abnahme noch eine Zunahme des Energiegehalts bewirkt.

Betrachtet man jedoch die *individuellen* Energiegehalte, so erhält man für verschiedene Grasarten unterschiedliche Ergebnisse: Im Fall von „Klee gras“ und „Knaul gras“ kommt es im Zuge des Silageprozesses zu einer *Abnahme*, im Fall der beiden Grasarten „Extensive Dauerwiese“ und „Bastard Ray gras“ jedoch zu einer *Zunahme* des Energiegehalts. Eine Erklärung für dieses unterschiedliche Verhalten der verschiedenen Grasarten müsste noch gefunden werden.

(2) ad Energiemengen / Ausbeuten: Für die über alle Frischmasse- bzw. Silageproben *gemittelten* Energiegehalte erhält man (Einheit: MJ/t TS-Feed): Frischmasse: Feed=4.923,86 MJ/t, Presskuchen=3.442,32 MJ/t, Presssaft=1.481,55 MJ/t. Silage: Feed=4.927,02 MJ/t, Presskuchen=3.985,10 MJ/t, Presssaft=941,92 MJ/t. Hinsichtlich des *mittleren* Energiemenge im *Feed* gibt es zwischen Frischmasse- und Silageproben keinen wesentlichen Unterschied. In beiden Fällen beträgt die mittlere im Feed enthaltenen Energiemenge ca. 4.925 MJ/kg TS-Feed. Der Silageprozess bewirkt also – zumindest im Durchschnitt aller untersuchten Grasproben – keinen nennenswerten Verlust der in den Frischgrasproben enthaltenen Energiemengen. Frischmasse- und Silageproben unterscheiden sich jedoch voneinander hinsichtlich der mittleren im *Presskuchen* enthaltenen Energiemenge: Der Presskuchen von Silageproben enthält einer höhere spezifische Energiemenge als jener von Frischmasseproben. Eine Erklärung dafür wäre noch zu finden. Für beide Grasprobenarten findet man, dass die im Presskuchen enthaltenen Energiemengen jeweils niedriger sind als jene in den dazugehörigen Feeds, d.h. es kommt im Zuge des Verfahrensschritts „Abpressen“ zu einer Abnahme des Energiegehalts.

Hinsichtlich der *individuellen* Energieausbeuten im Presskuchen findet man folgende funktionelle Abhängigkeiten: (a) Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt die Energieausbeute im Presskuchen. (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Energieausbeute im Presskuchen im Fall der Silageproben höher als im Fall der Frischmasseproben. Eine Erklärung für diese beiden Abhängigkeiten wäre noch zu liefern. Bemerkenswert ist, dass man für die Ausbeuten an verdaulicher organischer Masse (dOM) im Presskuchen und Presssaft exakt dieselben Abhängigkeiten findet.

(3) ad Abtrenngrade: Frischmasse: Presskuchen=70,78%, Presssaft=29,22%. Silage: Presskuchen=81,91%, Presssaft=18,91%. Im Fall der Frischmasseproben geht mit 70,98% ein signifikant geringerer Energieanteil in den Presskuchen über als im Fall der Silageproben (81,91%). Eine Erklärung dafür ist noch ausständig. Bemerkenswert ist wiederum, dass für die Abtrenngrade der verdaulichen organische Masse (dOM) exakt dieselben Abhängigkeiten findet.

### Offene Fragen / Weitere Arbeiten

(1) ad Zusammenhang zwischen dOM und NEL: Es stellt sich die Frage nach der Art des inneren Zusammenhangs zwischen Energiegehalt (Nettoenergie-Laktation, NEL) und verdaulicher organischer Masse (dOM). Dies angesichts der Tatsache, dass man für die funktionellen Abhängigkeiten der dOM-Massenströme/Ausbeuten sowie der dOM-Abtrenngrade von wichtigen Einflussgrößen (z.B. TS-Gehalt des

Feeds) exakt dieselben Tendenzen findet wie für die funktionellen Abhängigkeiten der NEL-Energieströme bzw. NEL-Abtrenngrade von eben diesen Einflussgrößen.

(2) ad Energiegehalte - Einfluss des Silageprozesses: Angesichts des Umstands, dass es im Fall von „Kleegras“ und „Knaulgras“ im Zuge des Silageprozesses zu einer *Abnahme* des Energiegehalts im Feed kommt, im Fall der beiden Grasarten „Extensive Dauerviese“ und „Bastard Raygras“ jedoch das Gegenteil der Fall ist, erhebt sich die Frage einer Erklärung für dieses unterschiedliche Verhalten der einzelnen Grasarten.

(3) ad Energieausbeuten – Erklärung der funktionellen Abhängigkeiten: Es stellt sich die Frage nach einer Erklärung der Art und Weise der funktionellen Abhängigkeit der Energieausbeuten im Presskuchen und Presssaft vom TS-Gehalt des Feeds sowie von der Grasprobenart:

- 4# (a) Für beide Grasprobenarten findet man, dass mit steigendem TS-Gehalt des Feeds die Energieausbeute im Presskuchen sinkt; diejenige im Presssaft dagegen bleibt unverändert.
- 4# (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Energieausbeute im Presskuchen im Fall der Silageproben höher ist als im Fall der Frischmasseprobe, diejenige im Presssaft dagegen ist im Fall der Silageproben niedriger als im Fall der Frischmasseproben.

## 4.5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

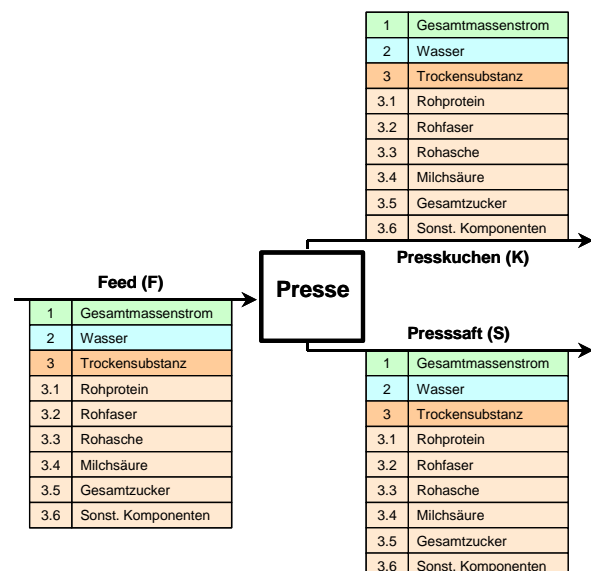
### 4.5.1. Gemessene Parameter

Tab. 4.5.1-1 gibt einen Überblick über die im Zuge der Abpressversuche gemessenen Parameter. Für Feed, Presskuchen und Presssaft wurden jeweils der entsprechende Gesamtmassenstrom (kg) sowie der Trockensubstanz-Gehalt (%) gemessen. Aus diesen beiden Angaben lassen sich die Massenströme hinsichtlich Trockensubstanz und Wasser berechnen. Für die Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft wurde jeweils eine Reihe von Parametern gemessen, darunter die Gehalte an: Rohprotein (RP), Rohfasern (RF), Rohasche (RA), Milchsäure (MS) und Gesamtzucker (Z) und sonstige Stoffe (Rest auf 100%). Weiters wurden die Futtermittel-relevanten Parameter verdauliche organische Masse (dOM) sowie die sogenannte Nettoenergielaktation (NEL) gemessen.

Tab. 4.5.1-1: Bei Abpressversuchen jeweils für Feed, Presskuchen und Presssaft gemessene Parameter.

Nr.	Gemessene Parameter	Einheit
1	Gesamtmasse (GM)	kg
2	Trockensubstanz (TS)	% GM
3	Wasser (H <sub>2</sub> O)	% GM
4	Rohprotein (RP)	% TS
5	Rohfaser (RF)	% TS
6	Rohasche (RA)	% TS
7	Milchsäure (MS)	% TS
8	Gesamtzucker (Z)	% TS
9	Sonstige Komponenten*)	% TS
10	verdauliche org. Masse (dOM)	% OM**)
11	Nettoenergielaktation (NEL)	MJ/kg TS

\*) berechnet gemäss 100% - (Rohprotein + Rohfaser + Roh-asche + Milchsäure + Gesamtzucker); \*\*) oM = organische Masse



#### 4.5.2. Gemessene Trockensubstanz-Gehalte von Feed, Presssaft und Presskuchen (TS-Gehalte)

Abb. 4.5.2-1 zeigt die gemessene funktionelle Abhängigkeit der TS-Gehalte von Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt des Feeds. Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds steigen auch die TS-Gehalte von Presskuchen und Presssaft:  $TS,F_{\clubsuit}$ ,  $\heartsuit$   $TS,S_{\clubsuit}$  und  $TS,K_{\clubsuit}$ .

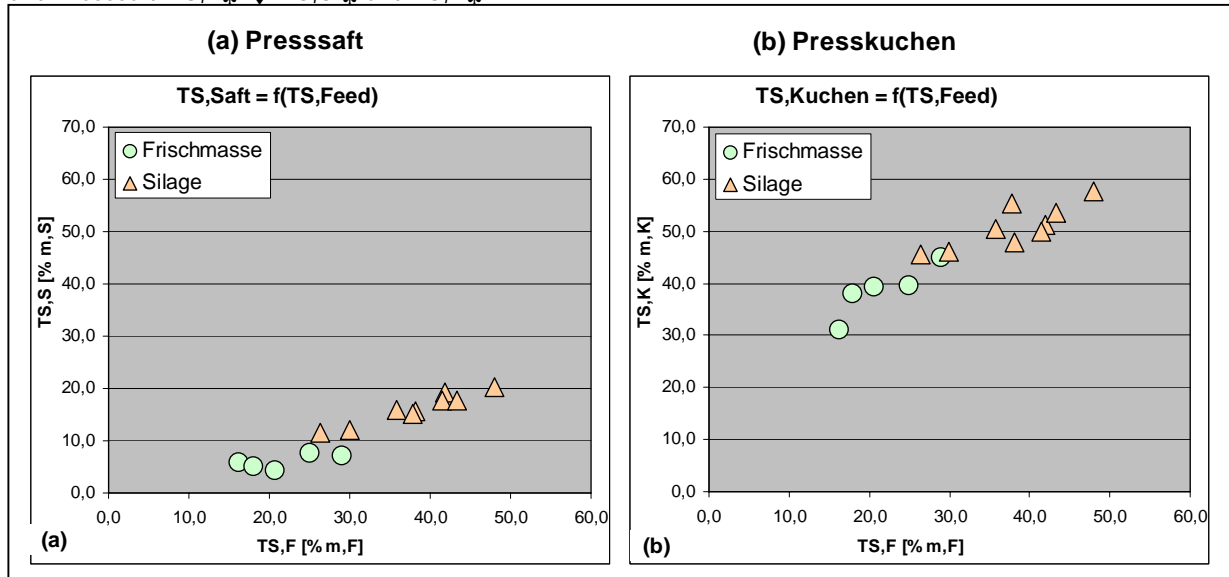


Abb. 4.5.2-1: TS-Gehalte von Presskuchen und Presssaft als Funktion des TS-Gehalts des Feeds

#### 4.5.3. Gesamtmassenströme

Abb. 4.5.3-1 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der pro Tonne Feed-Trockensubstanz anfallenden Gesamtmassenströme bzw. Ausbeuten vom TS-Gehalt des Feeds:

- 4# Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds fallen die Gesamtmassenströme in Feed, Presskuchen und Presssaft:  $TS,F_{\clubsuit}$ ,  $\heartsuit$   $m,F_{\clubsuit}$ ,  $m,K_{\clubsuit}$  und  $m,S_{\clubsuit}$ .
- 4# Mit steigendem  $TS,Feed$  sinkt die Presssaftmenge ( $m,S$ ) rascher als die Presskuchenmenge ( $m,K$ ).

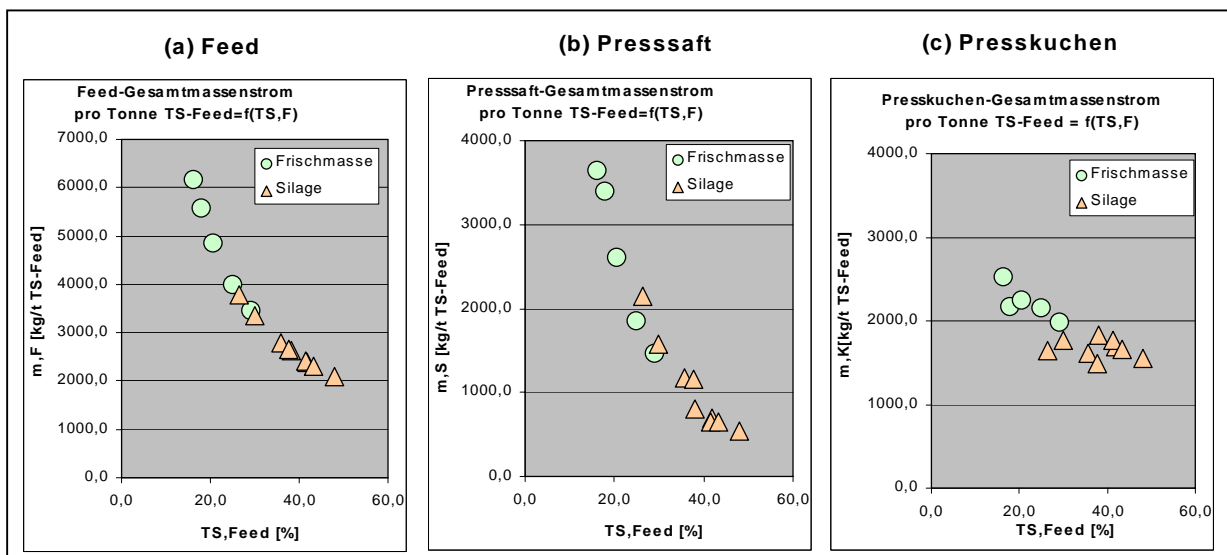


Abb. 4.5.3-1: Gesamtmassenströme bzw. Ausbeuten in Feed-, Presssaft- und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (kg/t TS-Feed).

#### 4.5.4. Wasserabtrenngrade (Wasserbilanz)

Abb. 4.5.4-1 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Wasser-Abtrenngrade vom TS-Gehalt des Feeds sowie von der Grasprobenart, wobei der auf den Presssaft bezogene *Wasser-Abtrenngrad* auch *Abpressgrad* genannt wird und sich aus gemessenen TS-Gehalten für Feed, Presskuchen und Presssaft wie folgt berechnen lässt:

$$A [\%] = \left( \frac{m_{H_2O, Presssaft}}{m_{H_2O, Feed}} \right) * 100 = 100 \cdot \left( \frac{TS, F - TS, S}{TS, K - TS, S} \cdot \frac{100 - TS, K}{100 - TS, F} \right)$$

Man sieht, dass im Fall der Frischmasseproben ein wesentlich höherer Anteil der im Feed enthaltenen Wassermenge in den Presssaft (bzw. ein wesentlich geringerer Anteil in den Presskuchen) übergeht als im Fall der Silageproben. Bei Frischmasseproben wird also ein höherer Abpressgrad erreicht als bei Silageproben:

- 4# Presssaft: Frischmasse: 62,80% m,H<sub>2</sub>O-Feed > Silage: 49,09% m,H<sub>2</sub>O-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 37,20% m,H<sub>2</sub>O-Feed < Silage: 50,91% m,H<sub>2</sub>O-Feed.

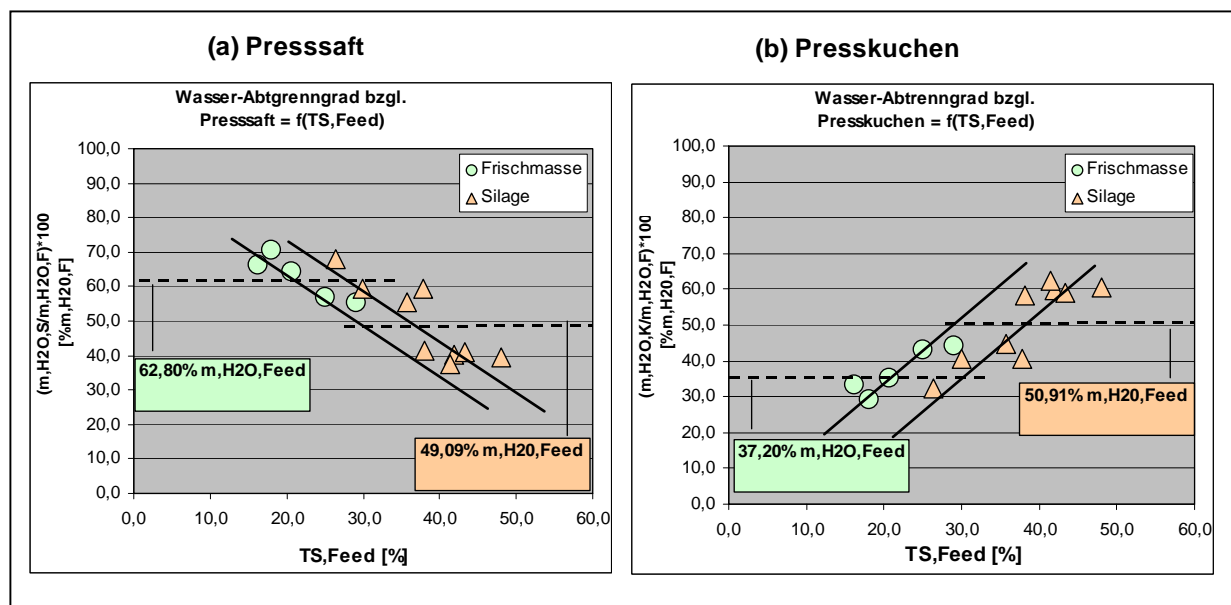


Abb. 4.5.4-1: Wasser-Abtrenngrade als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.

#### 4.5.5. Trockensubstanzbilanz

Abb. 4.5.5-1 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Trockensubstanz-Abtrenngrade vom TS-Gehalt des Feeds sowie von der Grasprobenart. Man sieht, dass im Durchschnitt für beide Grasprobenarten ca. 85% der Trockensubstanz des Feeds in den Presskuchen. Die restlichen 15% finden sich im Presssaft wieder.

- 4# Presskuchen: Frischmasse: 84,94% m,TS-Feed – Silage: 84,54% m,TS-Feed
- 4# Presssaft: Frischmasse: 15,06% m,TS-Feed – Silage: 15,46% m,TS-Feed
- 4# Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt der in den Presssaft übergehende TS-Anteil (bzw. steigt der in den Presskuchen übergehende TS-Anteil:  $\text{TS},F \clubsuit \heartsuit (m,TS,S/m,TS,F) \blacklozenge$  und  $(m,TS,K/m,TS,F) \clubsuit$ ).
- 4# Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben geht im Fall der Silageproben anteilmäßig *mehr* Trockensubstanz in den Presssaft (bzw. weniger Trockensubstanz in den Presskuchen) als im Fall der Frischmasseproben. Mögliche Erklärung: Silageproben bestehen als Folge des Silageprozesses aus brüchigerem Fasermaterial als Frischmasseproben, wodurch mehr Feststoff in den Presssaft gelangt.

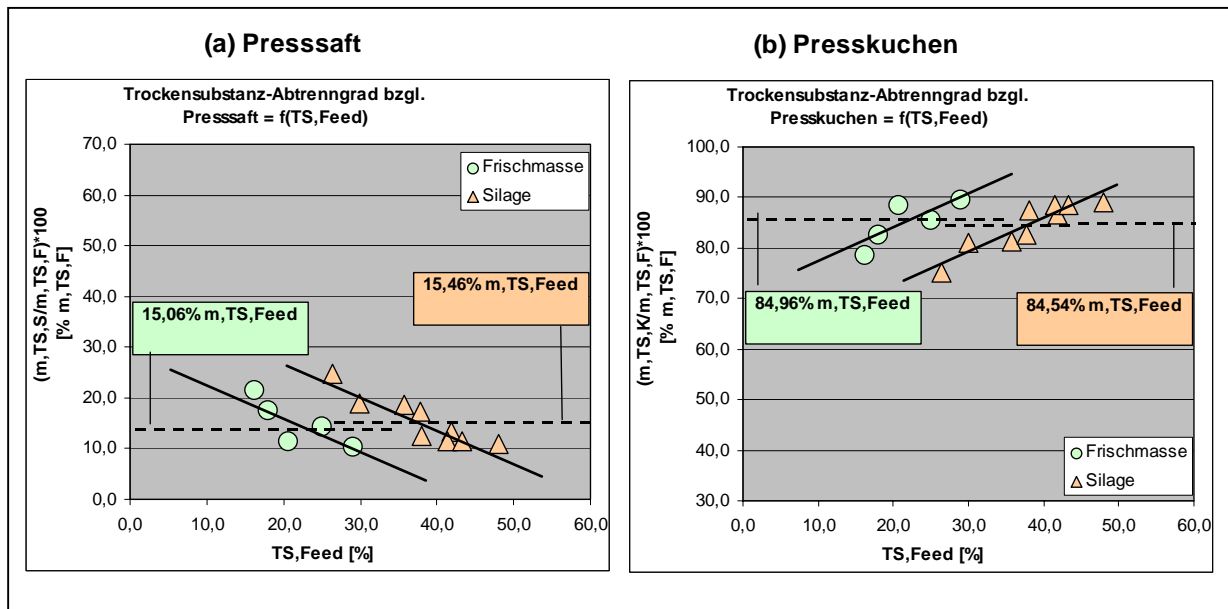


Abb. 4.5.5-1: Trockensubstanz-Abtrenngrade als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.

#### 4.5.6. Milchsäureausbeuten im Presssaft (Milchsäurebilanz)

Abb. 4.5.6-1 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Milchsäure-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt des Feeds. Man sieht:

- 4# MS-Ausbeute im Presssaft: 41,06 kg/t TS-Feed (Frischmasse: 0 kg).
- 4# MS-Ausbeute im Presskuchen: 44,07 kg/t TS-Feed (Frischmasse: 0 kg).
- 4# Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt die Milchsäure-Ausbeute im Presssaft:  
TS, F♣♥ Ausbeute, MS, S♠. Erklärung: Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt auch die Wasser-Ausbeute im Presssaft. Da Milchsäure im Wasser gelöst ist, bedeutet eine Reduktion der Wasserausbeute automatisch auch eine Reduktion der Milchsäure-Ausbeute.

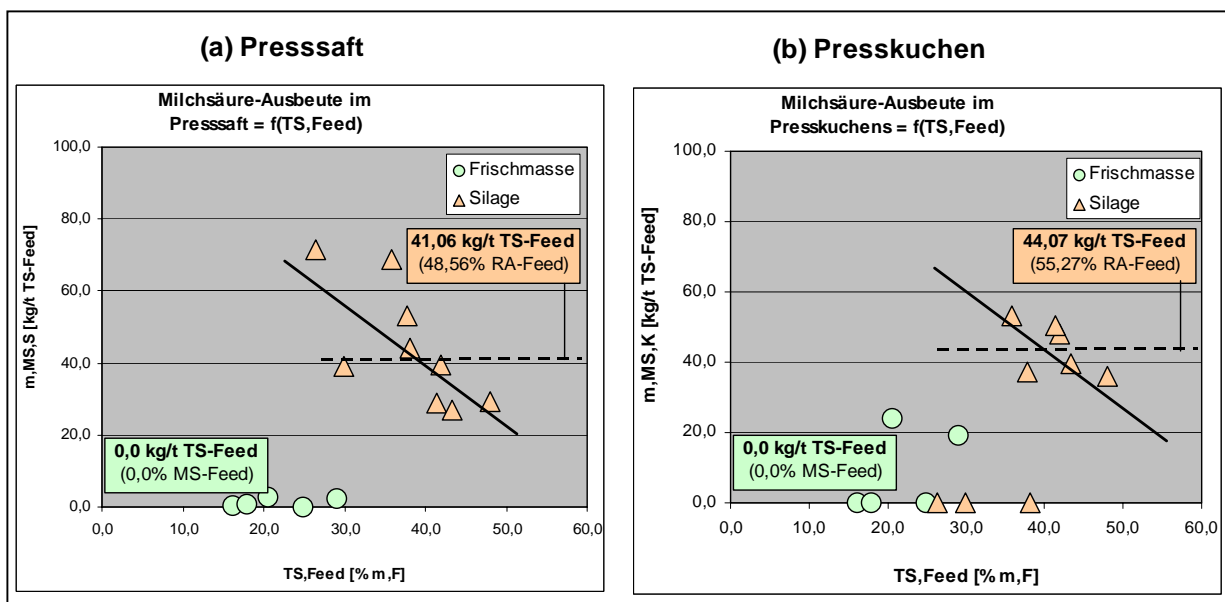


Abb. 4.5.6-1: Milchsäure-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed (in kg/t TS-Feed).

#### 4.5.7. Rohproteinausbeuten im Presssaft (Rohproteinbilanz)

Abb. 4.5.7-1 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Rohprotein-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt des Feeds und der Grasprobenart. Man sieht, dass sich Frischmasse- und Silageproben hinsichtlich der Rohproteinmassenströme in Feed, Presssaft und Presskuchen wenig voneinander unterscheiden. Für beide Grasprobenarten findet man im Feed durchschnittlich 155 kg Rohprotein pro TS-Feed, wovon ca. 35kg in den Presssaft und die restlichen 120 kg in den Presskuchen übergehen.

4# Feed: Frischmasse: 156,83 kg/t TS-Feed – Silage: 153,58 kg/t TS-Feed.

4# Presssaft: Frischmasse: 32,92 kg/t TS-Feed – Silage: 40,47 kg/t TS-Feed.

4# Presskuchen: Frischmasse: 129,13 kg/t TS-Feed – Silage: 126,80 kg/t TS-Feed

4# Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt für beide Grasprobenarten die Rohprotein-Ausbeute im Presssaft. Für die Rohprotein-Ausbeute im Presskuchen ist keine signifikante funktionelle Abhängigkeit vom TS-Gehalt des Feeds erkennbar:  $TS, F_{\clubsuit, \heartsuit} \text{ Ausbeute, RP, S}_{\diamond} \text{ und Ausbeute, RP, K} = \text{const.}$

Eine analoge Tendenz findet man auch für die Abhängigkeit der *Rohasche-Ausbeute im Presssaft* vom TS-Gehalt des Feeds..

4# Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Rohprotein-Ausbeute im Falle der Silageproben höher als im Fall der Frischmasseproben. Mögliche Erklärung: Bei den Silageproben könnten im Zuge des Silageprozesses Proteine in kleinere Bruchstücke zerfallen sein, wodurch diese weniger leicht von der Faserstruktur des Presskuchens zurückgehalten werden und daher leichter in den Presssaft übergehen.

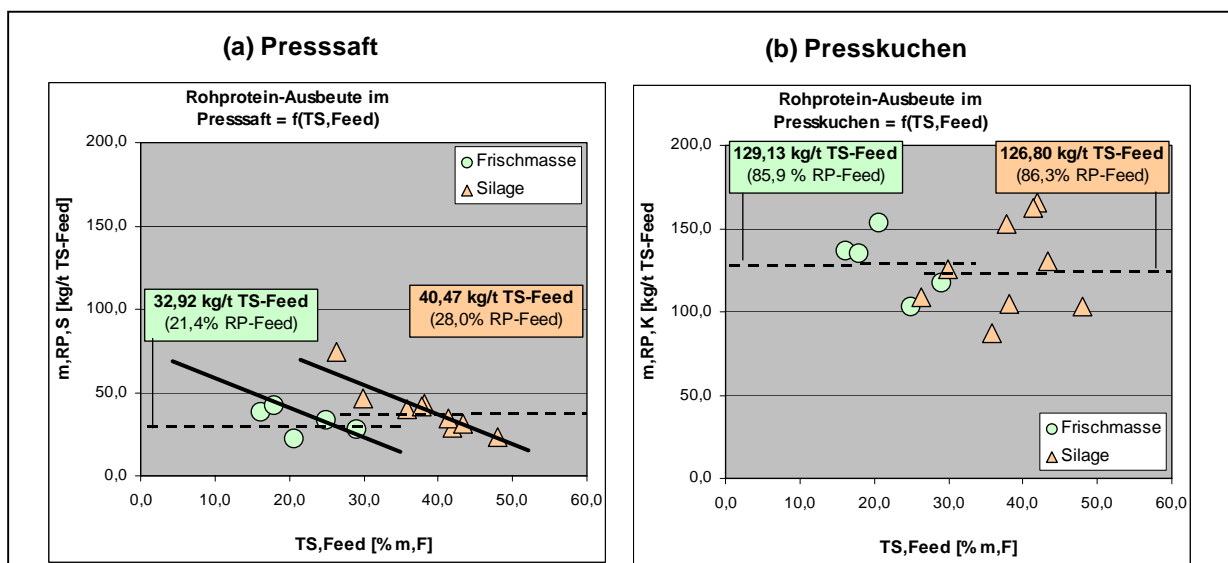


Abb. 4.5.7-1: Rohprotein-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed).



#### 4.5.8. Rohfaserausbeuten im Presskuchen (Rohfaserbilanz)

Abb. 4.5.8-1 zeigt, dass es zwischen der Rohfaser-Ausbeute in Presssaft und Presskuchen und dem TS-Gehalt des Feeds sowie der Grasprobenart keine signifikanten funktionellen Abhängigkeiten gibt. Insbesondere bleibt mit steigendem TS-Gehalt des Feeds die Rohfaser-Ausbeute im Presskuchen konstant. Man sieht, dass es hinsichtlich der Rohfaser-Abtrenngrade zwischen Frischmasse- und Silageproben keinen nennenswerten Unterschied gibt. Für beide Grasprobenarten geht mit jeweils ca. 95% der überwiegende Anteil der im Feed enthaltenen Rohfasermenge in den Presskuchen über, der verbleibende Rest in den Presssaft.

4# Presskuchen: Frischmasse: 94,56 % m,RF-Feed – Silage: 95,71 %m,RF-Feed.

4# Presssaft: Frischmasse: 5,44% m,RF-Feed – Silage: 4,29 %m,RF-Feed.

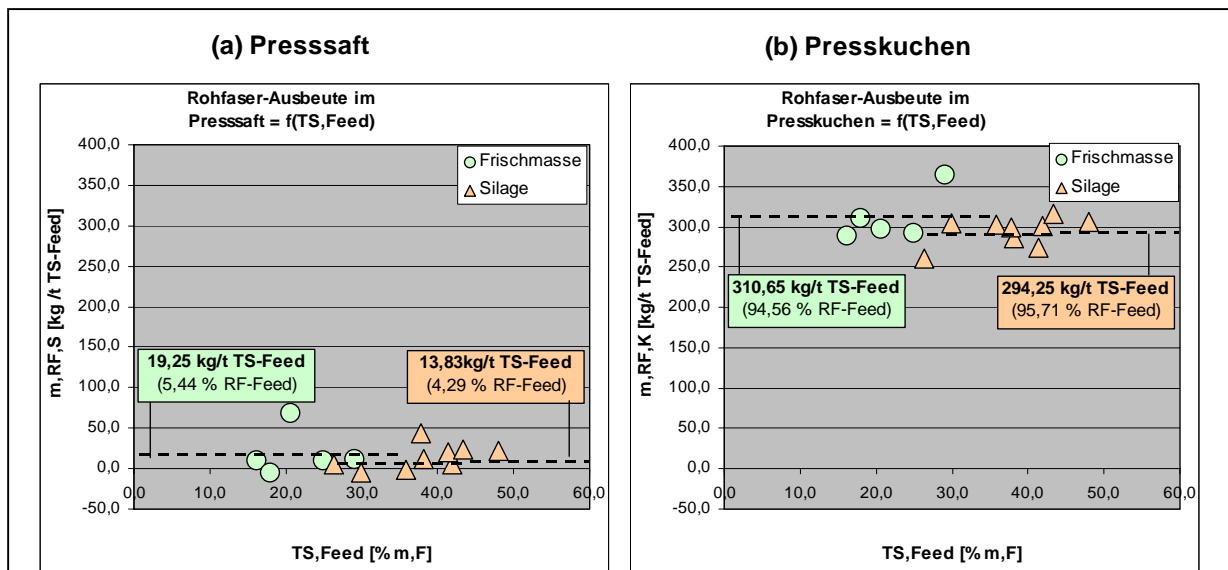


Abb. 4.5.8-1: Rohfaserausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart.

#### 4.5.9. Restzuckergerhalte in Presskuchen und Presssaft (Zuckerbilanz)

Abb. 4.5.9-1 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Gesamtzucker-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt des Feeds und der Grasprobenart. Man sieht, dass die Gesamtzucker-Massenströme in Feed, Presskuchen und Presssaft im Fall der Frischmasseproben durchwegs höher sind als im Fall der Silageproben, was dadurch erklärbar ist, das im Fall der Silageproben ein Teil des Gesamtzuckers infolge des Silageprozesses in Milchsäure umgewandelt wird.

- 4# Feed: Frischmasse: 128,69 kg/t TS-Feed > Silage: 71,67 kg/t TS-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 54,01 kg/t TS-Feed > Silage: 41,31 kg/t TS-Feed.
- 4# Presssaft: Frischmasse: 43,22 kg/t TS-Feed > Silage: 28,10 kg/t TS-Feed
- 4# Man sieht, dass zwischen den Gesamtzucker-Ausbeuten in Presssaft bzw. Presskuchen und dem TS-Gehalt des Feeds *keine* eindeutige funktionelle Abhängigkeit erkennbar ist, d.h.  $TS, F \nrightarrow$  Ausbeute,  $Z, S = const.$  und  $Ausbeute, Z, K = const.$
- 4# Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist jedoch die Gesamtzucker-Ausbeute in Presssaft bzw. Presskuchen im Fall der Frischmasseproben höher als im Fall der Silageproben. Dies deshalb, weil – wie bereits oben erklärt – im Fall der Silageproben ein Teil des ursprünglich vorhandenen Gesamtzuckers infolge des Silageprozesses in Milchsäure umgewandelt wird.

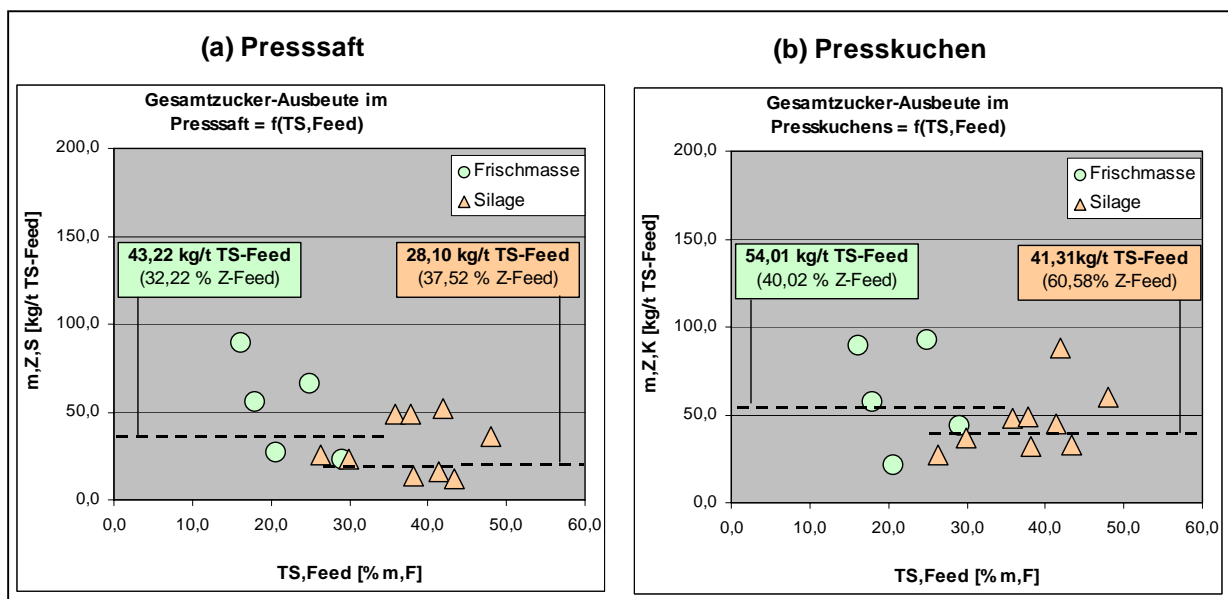


Abb. 4.5.9-1: Gesamtzucker-Ausbeute in Presssaft bzw. Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed) und mittlere Gesamtzucker-Abtrenngrade.

#### 4.5.10. Rohasche - Bilanz

Abb. 4.5.10-1 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Rohasche-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt des Feeds sowie von der Grasprobenart. Man sieht, dass die Rohasche-Massenströme in den beiden festen Phasen „Feed“ und „Presskuchen“ im Fall der Silageproben jeweils höher sind als im Fall der Frischmasseproben. Es kommt also offensichtlich – wie bereits oben gesagt - im Zuge des Silageprozesses zu einer *Rohascheanreicherung*. Der Rohasche-Massenstrom in der flüssigen Phase „Presssaft“ ist jedoch für beide Grasprobenarten annähernd gleich groß.

4# Feed: Frischmasse: 88,94 kg/t TS-Feed < Silage: 97,04 kg/t TS-Feed.

4# Presskuchen: Frischmasse: 56,28 kg/t TS-Feed < Silage: 63,91 kg/t TS-Feed.

4# Presssaft: Frischmasse: 41,73 kg/t TS-Feed – Silage: 41,98 kg/t TS-Feed.

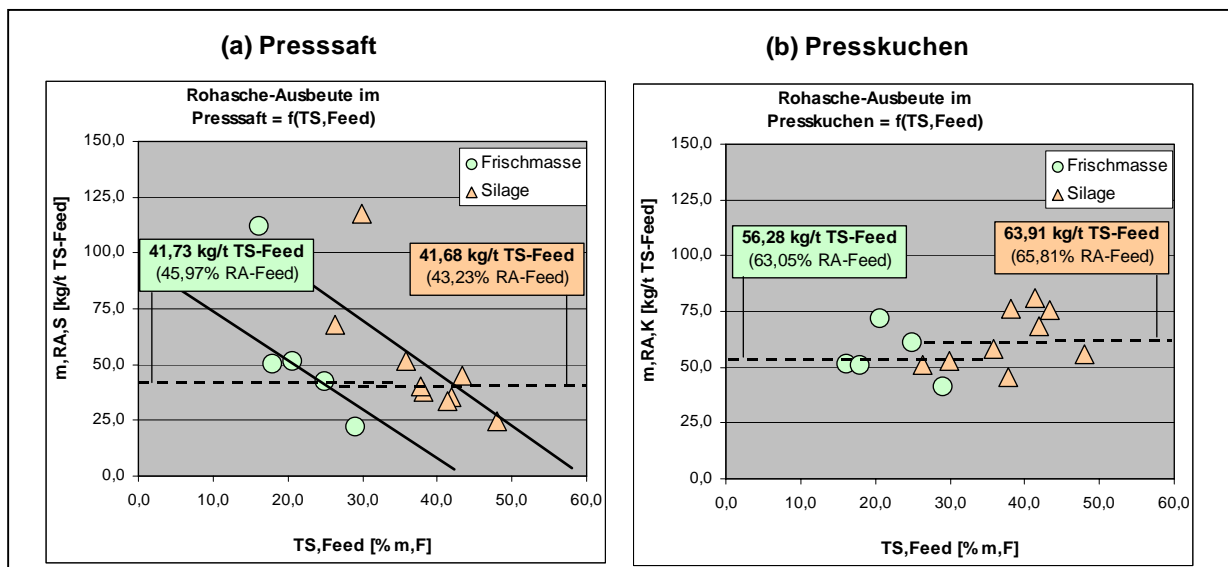


Abb. 4.5.10-1: Rohasche-Ausbeuten in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed und mittlere Rohasche-Abtrenngrade)

##### ad Rohasche-Ausbeute im Presssaft:

4# (a) Für beide Grasprobenarten findet man, dass mit steigendem TS-Gehalt des Feeds die Rohasche-Ausbeute im Presssaft sinkt:  $TS, F \clubsuit \heartsuit$  Ausbeute,  $RA, S \spadesuit$ .

4# (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Rohasche-Ausbeute im Presssaft im Fall der Silageproben wesentlich höher als im Fall der Frischmasseproben.

4# (c) Erklärung: Mit steigendem TS-Gehalt des Feeds sinkt die Wasserausbeute im Presssaft. Und: Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Wasserausbeute im Presssaft im Fall der Silageproben höher als im Fall der Frischmasseproben. Da Rohasche im Wasser gelöst ist (Ionen:  $Ca(2+)$ ,  $Mg(2+)$ ,  $PO_4(3-)$  etc.) bedeutet eine Erniedrigung bzw. Erhöhung der Wasserausbeute automatisch auch eine Erniedrigung bzw. Erhöhung all jene Stoffe, die im Wasser gelöst sind.

##### ad Rohasche-Ausbeute im Presskuchen:

4# (a) Zwischen der Rohasche-Ausbeute im Presskuchen und dem TS-Gehalt des Feeds ist keine eindeutige funktionelle Abhängigkeit erkennbar:  $TS, F \clubsuit \heartsuit$  Ausbeute,  $RA, K = \text{const.}$

4# (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Rohasche-Ausbeute im Presskuchen im Fall der Silageproben etwas höher als im Fall der Frischmasseproben.

#### 4.5.11. Sonstige Stoffe – Bilanz

Abb. 4.5.11-1 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Ausbeute an sonstigen Stoffen im Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart: Man sieht, dass die Massenströme der sonstigen Stoffe in den festen Phasen „Feed“ und „Presskuchen“ im Fall der Silageproben höher sind als im Fall der Frischmasseproben. Es kommt also im Zuge des Silageprozesses – wie bereits oben gesagt – zu einer moderaten Anreicherung dieser sonstigen Stoffe.

- 4# Feed: Frischmasse: 306,99 kg/t TS-Feed < Silage: 317,23 kg/t TS-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 284,47 kg/t TS-Feed < Silage: 285,77 kg/t TS-Feed.
- 4# Presssaft: Frischmasse: -11,12 kg/t TS-Feed(!), Silage: -25,35 kg/t TS-Feed (!)
- 4# Bilanzabweich. Frischmasse: 33,64 kg/t TS-Feed, Silage: 56,81 kg/t TS-Feed.
- 4# Man sieht, dass zwischen der Ausbeute an sonstigen Stoffen im Presssaft bzw. Presskuchen und dem TS-Gehalt des Feeds *keine* signifikante funktionelle Abhängigkeit erkennbar ist:  
 $TS, F \clubsuit \heartsuit$  Ausbeute, S, S=const. und Ausbeute, S, K=const.
- 4# Weiters sieht man, dass auch zwischen der Ausbeute an sonstigen Stoffen im Presssaft bzw. Presskuchen und der Grasprobenart (Frischmasse vs Silage) *keine* signifikante funktionelle Abhängigkeit erkennbar ist, d.h. für beide Grasarten findet man annähernd gleich große Ausbeuten.

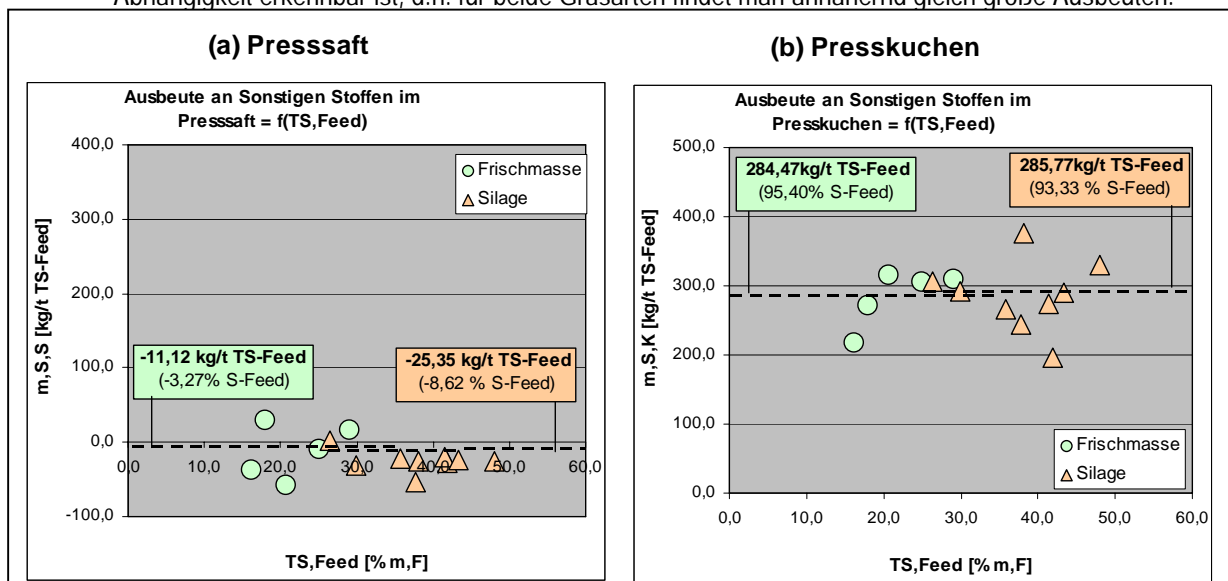


Abb. 4.5.11-1: Ausbeuten an sonstigen Stoffen im Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed) und mittlere Abtrenngrade.

#### 4.5.12. Verdauliche organische Masse (Massenbilanz)

Abb. 4.5.12-1 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Ausbeuten an *verdaulicher* organischer Masse im Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt der Feeds sowie von der Grasprobenart. Für beide Grasprobenarten findet man, dass der dOM - Massenstrom im Presskuchen etwas niedriger ist als im Feed, d.h. lediglich ein – allerdings großer – Teil der im Feed enthaltenen dOM- Menge geht im Zuge des Verfahrensschritts „Abpressen“ in der Presskuchen, der verbleibende Rest geht in den Presssaft. Man sieht, dass sich hinsichtlich des dOM-Massenstroms im *Feed* Frischmasse- und Silageproben *nicht* wesentlich voneinander unterscheiden. In beiden Fällen beträgt der dOM - Massenstrom 576 kg/t TS-Feed, d.h. der Silageprozess bewirkt – zumindest im Durchschnitt aller Grasproben - offensichtlich weder eine Reduktion noch eine Erhöhung der Menge an verdaulicher organischer Masse.

- 4# Feed: Frischmasse: 576,64 kg/t TS-Feed – Silage: 576,40 kg/t TS-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 518,43 kg/t TS-Feed < Silage: 567,57 kg/t TS-Feed.
- 4# ad dOM-Ausbeute im Presskuchen: (a) Für beide Grasprobenarten findet man, dass mit steigendem TS-Gehalt des Feeds die dOM-Ausbeute im Presskuchen sinkt:  $TS, F \clubsuit \heartsuit$  Ausbeute, dOM, K  $\blacklozenge$ . (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die dOM-Ausbeute im Presskuchen im Fall der Silageproben höher als im Fall der Frischmasseproben.
- 4# ad dOM-Ausbeute im Presssaft: (a) Für beide Grasprobenarten findet man keine signifikante funktionelle Abhängigkeit der dOM-Ausbeute im Presssaft vom TS-Gehalt des Feeds, d.h.  $TS, F \clubsuit \heartsuit$  Ausbeute, dOM, S = const. (b) Allerdings erhält man bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben im Fall der Silageproben eine wesentlich niedrigere dOM-Ausbeute im Presssaft als im Fall der Frischmasse, d.h. im Fall der Silageproben geht weniger verdauliche organische Masse in den Presssaft verloren als im Fall der Frischmasseproben. Für einige Grasproben werden *negative* dOM-Ausbeuten im Presssaft gefunden, was darauf zurückzuführen ist, dass für diese Grasproben die gemessene dOM-Menge im Presskuchen höher ist als die entsprechende gemessene dOM-Menge im Feed, was wiederum auf Analysefehler zurückzuführen ist (wegen  $m, dOM, K > m, dOM, F$  erhält man für  $m, dOM, S = m, dOM, F - m, dOM, K$  negative Zahlenwerte).

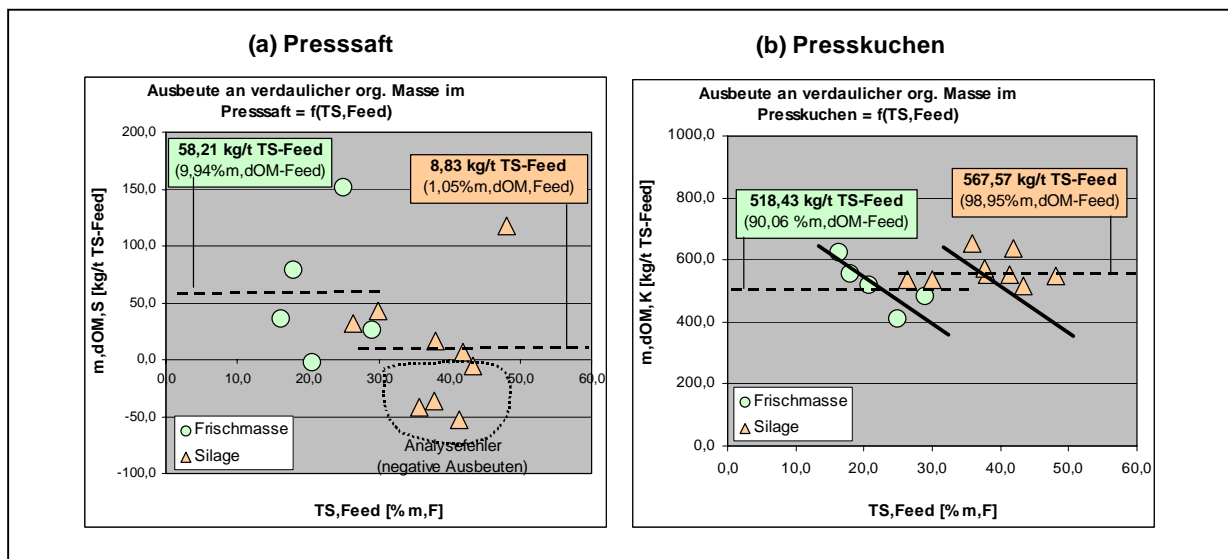


Abb. 4.5.12-1: Ausbeuten an verdaulicher organischer Masse (dOM) in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in kg/t TS-Feed) und mittlere Abtrenngrade.

### 4.5.13. Nettoenergielaktation (Energiebilanz)

Abb. 4.5.13-1 zeigt die funktionelle Abhängigkeit der Energieausbeuten im Presssaft und Presskuchen vom TS-Gehalt des Feeds sowie von der Grasprobenart. Man sieht, dass sich Frischmasse- und Silageproben hinsichtlich der *mittleren* im *Feed* enthaltenen Energiemenge nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Beide Grasprobenarten weisen eine Energiemenge von ca. 4.925 MJ/kg TS-Feed auf. Der Silageprozess bewirkt also – zumindest im Durchschnitt aller untersuchten Grasproben – keinen nennenswerten Verlust der in den Frischgrasproben enthaltenen Energiemengen. Frischmasse- und Silageproben unterscheiden sich jedoch voneinander hinsichtlich der mittleren im *Presskuchen* enthaltenen Energiemenge: Der Presskuchen von Silageproben enthält eine höhere Energiemenge als jener von Frischmasseproben. Eine Erklärung dafür wäre noch zu finden.

- 4# Feed: Frischmasse: 4.923,86 MJ/t TS-Feed – Silage: 4,927,02 MJ/t TS-Feed.
- 4# Presskuchen: Frischmasse: 3.442,32 MJ/t TS-Feed < Silage: 3.985,10 MJ/t TS-Feed.
- 4# Für beide Grasprobenarten findet man, dass die im Presskuchen enthaltenen Energiemengen jeweils niedriger sind als jene in den dazugehörigen Feeds, d.h. lediglich ein Teil der im Feed enthaltenen Energiemenge geht im Zuge des Verfahrensschritts „Abpressen“ in den Presskuchen, der verbleibenden Rest geht in den Presssaft.
- 4# ad Energieausbeute im Presskuchen: (a) Für beide Grasprobenarten findet man, dass mit steigendem TS-Gehalt des Feeds die Energieausbeute im Presskuchen sinkt:  $TS, F \clubsuit \heartsuit$  Ausbeute, NEL,  $K \spadesuit$ . (b) Bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben ist die Energieausbeute im Presskuchen im Fall der Silageproben höher als im Fall der Frischmasseproben. Eine Erklärung für diese beiden Abhängigkeiten wäre noch zu liefern.
- 4# ad Energieausbeute im Presssaft: (a) Für beide Grasprobenarten findet man keine signifikante funktionelle Abhängigkeit der Energieausbeute im Presssaft vom TS-Gehalt des Feeds, d.h.  $TS, F \clubsuit \heartsuit$  Ausbeute, NEL,  $S = \text{const.}$  (b) Allerdings erhält man bei gleichem TS-Gehalt von Frischmasse- und Silageproben im Fall der Silageproben eine wesentlich niedrigere Energieausbeute im Presssaft als im Fall der Frischmasseproben.

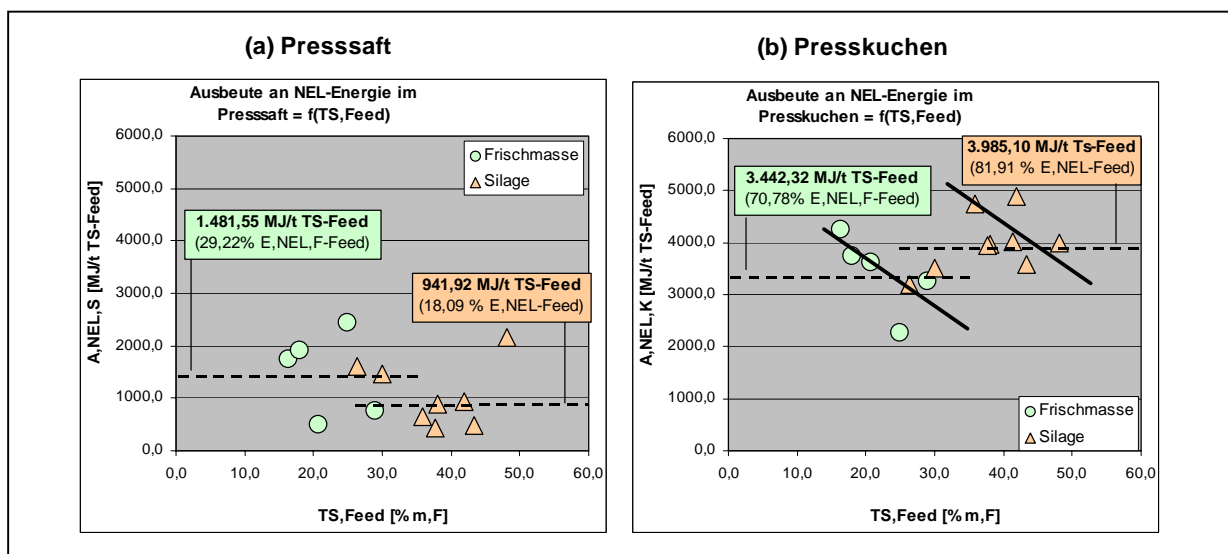


Abb. 4.5.13-1: Energieausbeuten (Nettoenergie-Laktation) in Presssaft und Presskuchen als Funktion von TS-Feed und Grasprobenart (in MJ/t TS-Feed) und mittlere Abtrenngrade.

#### 4.5.14. Zusammenstellung wichtiger Ausbeuten und Abtrenngrade

Tab. 4.5.14-1 gibt eine Zusammenstellung der für die diversen Komponenten gefundenen Ausbeuten im Presssaft sowie die auf den Presssaft bezogenen Abtrenngrade

Tab. 4.5.14-1: Ausbeuten und Abtrenngrade (jeweils bezogen auf Presssaft)

No.	Komponente	grün od. siliert	Ausbeute im Presssaft,	Abtrenngrad im Presssaft,
			Mittelwert (kg / t TM)	Mittelwert (% Gesamt)
1	Wasser	grün		60,0
		siliert		50,0
2	Milchsäure	siliert	40,0	50,0
3	Rohprotein	grün	30,0	21,0
		siliert	40,0	28,0
4	Rohasche	grün+siliert	40,0	45,0
5	Gesamtzucker	grün	43,0	32,0
		siliert	28,0	37,0
6	Rohfaser	grün+siliert	300,0	95,0
7	Sonst.Stoffe	grün+siliert	285,0	95,0
8	Nettoenergielaktation	grün	3450,0	70,0
		siliert	3985,0	80,0
9	verdauliche org.Masse	grün	520,0	90,0
		siliert	570,0	98,0

\*)=Menge im Feed

#### 4.5.15. Offene Fragen, Vorschläge für weitere Arbeiten

Aus den in den vorgehenden Abschnitten dargestellten Bilanzen der einzelnen Komponenten ergeben sich eine Reihe von offenen Fragestellungen, die jeweils Inhalt weiterführender Arbeiten sein sollten. Im Folgenden werden diese Fragestellungen in Gruppen geordnet dargestellt, wobei jede Gruppe wesentliche Verfahrensschritte einer Grünen Bioraffinerie zusammenfasst:

- 4# (1) Primäre Rohstoffgewinnung + Fraktionierung (s. Tab. 4.5.15-1).
- 4# (2) Aufbereitung des Presskuchens + Gewinnung homogener Grasfaserfraktionen (s. Tab. 4.5.15-2).
- 4# (3) Aufbereitung/Reinigung des Presssafts (s. Tab. 4.5.15.13-3).
- 4# (4) Analytik - Zusammensetzung von Feed, Presskuchen, Presssaft (s. Tab. 4.5.15-4).
- 4# (5) Sonstige Fragen (s. Tab. 4.5.15-5).

(1) Primäre Rohstoffgewinnung + Fraktionierung (Abpressen)

Tab. 4.5.15-1: Fragestellungen/Weitere Arbeiten zu den Verfahrensschritten „Primäre Rohstoffgewinnung + Fraktionierung (Abpressen)“.

Nr.	Was	Warum
1-1	<p>↓ ad „Teiltrocknen/Anwelken – Optimaler TS-Gehalt“</p> <p>Ermittlung der funktionellen Abhängigkeit der Produktausbeuten in Presssaft (MS, Proteine, Aminosäuren) und Presskuchen (Fasern) sowie der entsprechenden Produktqualitäten vom TS-Gehalt des Feeds des Verfahrensschritts „Abpressen“, und zwar sowohl für Frischgras als auch für Grassilage.</p>	<p>Ermittlung des <i>maximal möglichen TS-Gehalts</i> des Feeds für den Verfahrensschritt „Abpressen“, d.h. jenes maximalen TS-Gehalts, bei dem es gerade noch zu keiner wesentlichen Reduktion der Produktausbeuten und –qualitäten kommt.</p> <p>Je höher nämlich der der TS-Gehalt des Feeds, umso niedriger sind die anfallenden Gesamt-massenströme und damit auch die anfallenden Kosten (geringere Transportkosten, geringere Anlagengröße): TS♣ ♥ Gesamtmassenströme ♦ ♥ Kosten ♦.</p>
1-2	<p>↓ ad „Silieren – Optimales Silierverfahren“</p> <p>Ermittlung der funktionellen Abhängigkeit der Produktausbeuten im Presssaft (insbesondere MS) von unterschiedlichen Silierverfahren (z.B. Ballensilierung, Flachsilo).</p>	<p>Gesucht ist jenes Silierverfahren, dass eine maximale Produktausbeute ergibt, dass aber auch minimale Kosten verursacht.</p> <p>Es wären also Silierversuche in unterschiedlichen Silierapparaten erforderlich, auf Basis von identischem Grasrohstoff.</p>
1-3	<p>↓ ad „Silieren – Einfluss auf Rohproteinausbeute“</p> <p>Ermittlung der Abhängigkeit von Rohproteinausbeute im Presssaft und entsprechender Rohproteinqualität (chem. Spezies) vom Verfahrensschritt „Silieren“</p>	<p>Im Rahmen der Silier- &amp; Abpressversuche 2001 wurde festgestellt, dass die Rohprotein-Ausbeute im Presssaft im Fall der Silageproben höher ist als im Fall der Frischmasseproben. Grund dafür könnte sein, dass im Zuge des Silageprozesses die im Frischgras enthaltenen Proteine in kleinere Bruchstücke zerlegt, die dann leichter in die flüssige Phase übergehen.</p> <p>Vor diesem Hintergrund wäre zu klären, in welchem Ausmaß der Silageprozess eine Reduktion Qualität der im Frischgras enthaltenen Rohproteine zur Folge hat.</p>
1-4	<p>↓ ad „Vorzerkleinern/Zerfasern –Einfluss auf Abpressgrad“</p> <p>Ermittlung der funktionellen Abhängigkeit des Abpressgrades im Verfahrensschritt „Abpressen“ sowie der Produktausbeuten in Presssaft und Presskuchen von der Art der Vorzerkleinerung des Frischmasse- bzw. Grassilagefeeds. Dafür in Frage kommenden Maschinen bzw. Apparate:</p> <p>Häcksler          Hammermühlen (Aufrauen der Faseroberfläche)          Refiner          Extruder (mech.-thermische Zerfaserung)          Dampfbehandlung.</p>	<p>Es besteht die berechnete Vermutung, dass sich mittels geeigneter Vorzerkleinerung von Frischmasse- bzw. Grassilagefeed des Verfahrensschritts „Abpressen“ folgendes erreichen lässt:</p> <p>Erhöhung des Abpressgrades, d.h. Erhöhung der in den Presssaft bzw. Verrinderung der in den Presskuchen übergehenden Wassermenge. Dadurch:</p> <p>Erhöhung der Ausbeuten an wasserlöslichen Wertstoffen im Presssaft (MS, Aminosäuren,...)</p> <p>Reduktion des Trocknungsaufwands für den Presskuchen.</p> <p>Verbesserung der Qualität der Grasfasern im Presskuchen (gleichmäßigere und feinere Faserbündel, aufgerauhte Faseroberflächen,...)</p>
1-5	<p>↓ ad „Vorzerkleinern/Zerfasern – Einfluss auf Rohproteinausbeute im Presssaft“</p> <p>Ermittlung der funktionellen Abhängigkeit der Rohproteinausbeute im Presssaft von der Art der Vorzerkleinerung des Frischmassefeeds</p>	<p>Im Rahmen der Silier- &amp; Abpressversuche 2001 konnten nur relativ geringe Rohproteinausbeuten im Presssaft erzielt werden bzw. geringe Rohprotein-Abtrenngrade hinsichtlich des Presssafts: Lediglich 25% der im Feed enthaltenen Rohproteinmenge geht in</p>



Nr.	Was	Warum
	<p>der Vorzerkleinerung des Frischmassefeeds.</p>	<p>den Presssaft über (=ca. 35 kg pro Tonne TS-Feed). Für die Gewinnung von Proteinprodukten sollte dieser Anteil jedoch maximal sein.</p> <p>Es besteht nun die Vermutung, dass durch eine Zerkleinerung/Zerfaserung des Feeds des Verfahrensschritts „Abpressen“ die Rohproteinausbeute im Presssaft gesteigert werden könnte.</p> <p>Jedenfalls sollte diese Hypothese in entsprechenden Versuchen überprüft werden.</p>
1-6	<p>↓ ad „Abpressen – Abpresshilfsmittel“</p> <p>Klärung der Frage, warum man bei Silageproben einen höheren Abpressgrad erreicht als bei Frischmasseproben, d.h. wieso Grassilage leichter entwässerbar ist als Frischgras.</p> <p>Denkbar wäre, dass Frischgras mehr schwerer abtrennbares kolloidal gebundenes Wasser enthält als Grassilage.</p>	<p>Aus der Antwort auf diese Frage lassen sich ev. Hinweise dafür finden, durch welche Maßnahmen sich auch im Fall der Frischmasseproben der entsprechende Abpressgrad erhöhen lässt.</p> <p>Denkbar wäre die Verwendung von <i>Abpresshilfsmitteln</i> (grobes Fasermaterial, Stroh?), wodurch das Abfließen des Presssafts erleichtert werden soll.</p> <p>Wirksamkeit von derartigen Abpresshilfsmitteln müsste jedenfalls verifiziert werden.</p>
1-7	<p>↓ ad „Erhöhung der MS-Ausbeute“</p> <p>Austesten unterschiedlicher Verfahren zur Erhöhung der Milchsäure-Ausbeute im Presssaft</p>	<p>(Angesichts des Umstands, dass von der im Feed enthaltenen Milchsäuremenge lediglich 50% in den Presssaft übergehen, dieser Anteil aber im Hinblick auf die Gewinnung von Milchsäureprodukten möglich hoch sein sollte, wäre in weiteren Arbeiten nach technischen Möglichkeiten zu suchen, wie die Milchsäure-Ausbeute im Presssaft erhöht werden könnte, bzw. wie die in den Presskuchen übergehende Milchsäure verfügbar gemacht werden könnte (z.B. Waschen des Presskuchens, gefolgt von weiteren Abpressschritten).</p>
1-8	<p>↓ ad „Nutzung des Restzuckers im Presskuchen“</p> <p>Austesten unterschiedlicher Verfahren zur Nutzung des Restzuckers im Presskuchen</p>	<p>Silageproben weisen ein relativ hohen Gesamtzuckeranteil auf, d.h. dass im Zuge des Silageprozesses nur ein Teil der ursprünglich vorhandenen Gesamtzuckeranteile in Milchsäure umgewandelt wurde. Im Sinne einer Maximierung der Milchsäure-Ausbeute sollte nach Möglichkeiten gesucht werden, wie der in den Silageproben noch enthaltene Zucker in zusätzliche Milchsäure umgewandelt werden könnte. Denkbar wären (1) Pufferung des Silageguts (Überwindung der pH-Hemmung); (2) Nochmalige Silierung des Presskuchens.</p> <p>ad <u>Stöchiometrie zw. Zuckerabbau und Milchsäurebildung</u>: Hinsichtlich einer Aussage über den stöchiometrischen Koeffizienten zwischen Zuckerabbau einerseits und Milchsäurebildung andererseits liegen zu wenig zuverlässige Daten vor (Analysefehler). Es wären also entsprechende Folgearbeiten erforderlich, die eine hinreichend genaue Analytik zur Bestimmung von Zuckern und Milchsäure zur Voraussetzung haben</p>

(2) Aufbereitung/Reinigung des Presskuchens + Gewinnung homogener Grasfaserfraktionen

Tab. 4.5.15-2: Fragestellungen/Weitere Arbeiten zu den Verfahrensschritten „Aufbereitung/Reinigung des Presskuchens + Gewinnung homogener Grasfaserfraktionen“.

Nr.	Was	Warum
2-1	<p>↓ ad „Restgehalte von MS, Zucker etc. im Presskuchen – Einfluss auf Faser-Bindemittel-Wechselwirkung</p> <p>Ermittlung der funktionellen Abhängigkeit der „Grasfaser-Bindemittel-Wechselwirkung“ in Grasfaser-Bindemittel-Produkten (z.B. Faserplatten, Dämmplatten) von Restgehalten an Zucker, Milchsäure etc in den Grasfasern</p>	<p>Im Rahmen der Abpressversuche 2001 wurde festgestellt, dass die Presskuchen noch beträchtliche Restgehalte an Milchsäure, Zucker und Proteinen aufweisen, obwohl diese in jeweils maximalem Ausmaß in den Presssaft übergehen sollten.</p> <p>Für die grundsätzlich denkbare Verwendung der abgepressten Grasfasern als Faserrohstoff in Naturfaser-Bindemittel-Werkstoffen wie z.B. <i>Faserplatten, Dämmplatten, Formteile, faserverstärkte Kunststoffe</i> etc. stellt sich nun die Frage, ob die diese Werkstoffe charakterisierende „Faser-Bindemittel-Wechselwirkung“ durch Restgehalte an Milchsäure, Zucker etc. in den Grasfasern geschwächt bzw. gestärkt wird. Es besteht die Vermutung, dass in Dämmplatten auf Basis mineralischer Bindemittel zu hohe Restzuckeranteile der Fasern zu einer Schwächung der „Faser-Bindemittel-Wechselwirkung“ führen, kunstharzgebundenen Faserplatten Rest-Milchsäure zu einer Verbesserung der „Faser-Bindemittel-Wechselwirkung“ führt.</p> <p>In entsprechenden Experimenten sollte deshalb für verschiedenen Bindemittel die Abhängigkeit der „Faser-Bindemittel-Wechselwirkung“ von unterschiedlichen Restgehalten an Milchsäure, Zucker etc in der Faser untersucht werden.</p>
2-2	<p>↓ ad „Rohaschegehalt im Presskuchen - Einfluss auf Verbrennungseigenschaften</p> <p>Ermittlung des Einflusses des verminderten Rohaschegehalts im Presskuchen (bezogen auf den Feed des Verfahrensschritts „Abpressen“) auf die Verbrennungseigenschaften des Presskuchens (Ascheschmelzpunkt,...</p>	<p>Im Rahmen der Abpressversuche 2001 wurde festgestellt, dass es im Presskuchen – verglichen mit dem Feed – zu einer Verringerung des Rohaschegehalts kommt.</p> <p>Für die grundsätzlich denkbare Verwendung der abgepressten Grasfasern als <i>biogener Brennstoffpellet oder als Porenbildner in keramischen Baustoffen (z.B. Ziegel)</i> stellt sich die Frage, ob die Verringerung des Rohaschegehalts im Presskuchen zu einer Verbesserung oder Verschlechterung der Verbrennungseigenschaften, insbesondere des Ascheverhaltens führen.</p> <p>Entsprechende Informationen sind die Voraussetzung für eine Beurteilung der grundsätzlichen Eignung des Presskuchens als Rohstoff für Brennstoffpellets oder als Zusatz in keramischen Baustoffen (z.B. Ziegel) Verwendung zu finden.</p>
2-3	<p>↓ ad „Pelletierbarkeit - Grundlagenversuche“</p> <p>Ermittlung der Abhängigkeit der Pelletierbarkeit von abgepressten Grasfasern von deren Zusammensetzung bzw. den Restgehalten an Zucker, Milchsäure etc in den Grasfasern</p>	<p>Eine der Verwertungsmöglichkeiten für abgepresste Grasfasern ist die Herstellung von Futter – und/oder Brennstoffpellets, ev. in Mischungen mit anderen Bestandteilen.</p> <p>Unterschiedliche Restgehalte an Restgehalten an Zucker, Milchsäure etc in den Grasfasern kann unterschiedliche Pelletierbarkeit zur Folge haben, was in entsprechenden Grundlagenversuchen überprüft werden sollte.</p>
2-4	<p>↓ ad „Zerfasern + Homogenisieren des (feuchten) Presskuchens - Grundlagenversuche“</p>	<p>Im Rahmen der Abpressversuche 2001 wurde festgestellt, dass der Presskuchen aus unterschiedlichsten Faserfraktionen besteht, mit großen Grob- aber auch Staubanteilen.</p> <p>Für die Verwertung der im Presskuchen enthaltenen Grasfasern ist</p>

Nr.	Was	Warum
	Erprobung unterschiedlicher Verfahren zur Zerkleinerung des Presskuchens. Ziel ist die Erzeugung einer möglichst homogenen Faserfraktion aus langen, schlanken Einzelfasern bzw. Faserbündeln.	jedoch in den meisten Fällen eine homogene Faserfraktion erforderlich, wobei die Einzelfasern bzw. Faserbündel möglichst lang, schlank, biegsam und bruchfest sein sollen. Da Bruchfestigkeit und Biegsamkeit der Grasfasern jeweils im feuchten Zustand wesentlich besser ist als im trockenen Zustand, ist es sinnvoll, unter Verwendung des feuchten Presskuchens unterschiedlichen Techniken zur Zerkleinerung bzw. Homogenisierung zu erproben. Infrage kommende Apparate bzw. Maschinen: Hammermühlen + Walzensichter und/oder Siebe Refiner Extruder andere? Zur Quantifizierung der Wirkung der jeweiligen Techniken kann sollten <i>Siebanalysen</i> durchgeführt werden, und zwar jeweils vor und nach der entsprechenden Behandlung des Presskuchens

(3) Aufbereitung/Reinigung des Presssafts

*Tab. 4.5.15-3: Fragestellungen/Weitere Arbeiten zu den Verfahrensschritten „Aufbereitung/Reinigung des Presskuchens“.*

Nr.	Was	Warum
3-1	↓ ad „Rohaschean-reicherung im Presssaft - Einfluss auf Downstream Processing“ Untersuchung des Einflusses der Rohascheanreicherung im Presssaft auf die Isolierung von Milchsäure, Aminosäuren etc. aus dem Presssaft.	Im Rahmen der Abpressversuche 2001 wurde festgestellt, dass es im Zuge des Verfahrensschritts „Abpressen“ zu einer Anreicherung des Rohaschegehalts im Presssaft kommt (wasserlösliche Ionen). In Grundlageversuche wäre zu klären, ob diese erhöhten Rohaschegehalte im Presssaft das downstream processing erschweren, d.h. die Prozessschritte zur Isolierung und Reinigung der im Presssaft enthaltenen Milchsäure, Aminosäuren, Proteine etc.

(4) Analytik

*Tab. 4.5.15-4: Weitere Arbeiten zum Thema „Analytik (Zusammensetzung von Feed, Presskuchen, Presssaft, Fasern, Rohasche etc.)“*

Nr.	Was	Warum
4-1	↓ ad „Zusammensetzung der Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft“ Ermittlung der Zusammensetzung der Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft in qualitativer + quantitativer Hinsicht bzw. Ermittlung der funktionellen Abhängigkeit dieser Zusammensetzung von den Verfahrensschritten „Abpressen“ (d.h. vor und nach Abpressen) und „Silieren“ (d.h. Frischmasse	Im Rahmen der Silier- und Abpressversuche 2001 wurden im wesentlichen lediglich für die 5 Komponenten Rohproteine, Rohfaser, Rohasche, Gesamtzucker und Milchsäure entsprechende Konzentrationsbestimmungen vorgenommen. Die Summe der prozentuellen Anteile dieser 5 Komponenten in den Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft beträgt im groben Durchschnitt rund 70%, d.h. hinsichtlich der restlichen 30% der Trockensubstanzen (=sonstige Stoffe) weiß man nicht, um welche Stoffe es sich dabei handelt. Es gibt Indizien, dass es sich dabei um faserartiges Material handeln könnte, das von der für die Bestimmung der „Rohfasern“ angewendeten Analysenmethode <i>nicht</i> erfasst wird. Die Kenntnis der exakten Zusammensetzung des Presskuchens ist essentiell für die Beurteilung der grundsätzlichen Eignung des Presskuchens als Rohstoff für unterschiedliche Produktlinien mit Grasfasern als wesentlicher Rohstoffkomponente (z.B. Platten, Formteile, Vliese, Pellets, Biogas...)

Nr.	Was	Warum
	vs. Grassilage)	<p>Vliese, Pellets, Biogas,...)</p> <p>Es stellt sich die Frage nach der Berechtigung der Art und Weise der Berechnung der Konzentration der <i>sonstigen Stoffe</i> in den Trockensubstanzen von Feed, Presskuchen und Presssaft gemäss der Formel „<math>[S] = 100 - \{[RP] + [RF] + [RA] + [Z] + [MS]\}</math>“, der zufolge Milchsäure als Komponente der Trockensubstanz aufgefasst wird, obwohl das Gegenteil der Fall ist. Infolge dieser Vorgangsweise erhält man für [S] niedrigere Werte als die tatsächlich vorhandenen, im Fall der Trockensubstanz der Presssafts erhält man sogar <i>negative</i> Zahlenwerte. Bei Nichtberücksichtigung der Milchsäure in obiger Formel jedoch erhält man <i>positive</i> Zahlenwerte für [S].</p>
4-2	<p>↓ ad „Zusammensetzung der Rohasche der Trockensubstanzen von Feed und Presskuchen“</p> <p>Ermittlung der chem. Zusammensetzung der Rohasche der TS von Feed und Presskuchen (qualitativ + quantitativ) sowie deren funktioneller Abhängigkeit von den Verfahrensschritten „Silierung“ und „Abpressen“.</p>	<p>Im Rahmen der Silier- und Abpressversuche 2001 wurden lediglich folgende explizite Konzentrationsbestimmungen vorgenommen (s. <i>Kromus 2002</i>): PO<sub>4</sub>(3-), K(+), Ca(2+), Mg(2+). Die Summe der prozentuellen Anteile dieser 5 Komponenten am Rohaschegehalt von Feed, Presskuchen und Presssaft beträgt im groben Durchschnitt rund 50%, d.h. hinsichtlich der restlichen 50% weiß man nicht, um welche Ionen bzw. Komponenten es sich dabei handelt.</p> <p>Als Rohaschekomponenten sind folgende Stoffe denkbar (<i>HPLP 1996, S.62; Marini (2002)</i>): SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, Cl, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.</p> <p>Die möglichst exakte Kenntnis der chem. Zusammensetzung der Rohasche bzw. des Ascheverhaltens (z.B. Sinterbeginn, Erweichungspunkt, Halbkugelpunkt, Fließpunkt) ist essentiell für die Beurteilung der grundsätzlichen Eignung des Presskuchens als Rohstoff für Brennstoffpellets oder als Zusatz in keramischen Baustoffen (z.B. Ziegel).</p>
4-3	<p>↓ ad „Zusammensetzung der Rohfasern“</p> <p>Ermittlung der chem. Zusammensetzung der Rohfasern (qualitativ + quantitativ) sowie deren Abhängigkeit von den Verfahrensschritten „Silierung“ und „Abpressen“.</p>	<p>Die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung der Rohfasern (Zellulose, Hemizellulose, Lignin, Asche,...) sowie deren Abhängigkeit von den Verfahrensschritten „Silierung“ und „Abpressen“. ist Voraussetzung für die Beurteilung der grundsätzlichen Eignung des Presskuchens als Rohstoff für Futter- bzw. Brennstoffpellets.</p> <p>Es ist durchaus denkbar, dass infolge der beiden Verfahrensschritte „Silierung“ und „Abpressen“ es zu einer Änderung der Rohfasernzusammensetzung dergestalt kommt, dass eine Verbesserung bzw. Verschlechterung der Pelletier- und Verbrennungseigenschaften die Folge ist (Bindemittelbedarf, Ascheschmelzpunkt,...), was wiederum die Verwertung von Grasrohstoffen zu Futtermittel- und/oder Brennstoffpellets erleichtert bzw. erschwert.</p>
4-4	<p>↓ ad „Rohprotein-Analytik“</p> <p>Verbesserung der Rohprotein-Analytik</p>	<p>Angesichts eines <i>systematischen</i> Analysefehlers bei der Bestimmung der Rohproteinkonzentrationen (Rohproteinmenge im Feed ist im Durchschnitt um 10% <i>niedriger</i> als die Summe aus den Rohproteinmengen in Presssaft und Presskuchen: ♥ <i>negative</i> Bilanzabweichung) ist die Ursache für diesen systematischen Analysefehler zu suchen bzw. die entsprechende Rohprotein-Analytik zu verbessern</p>
4-5	<p>↓ ad „Zucker-Analytik“</p> <p>Verbesserung der Zucker-Analytik</p>	<p>Angesichts eines <i>systematischen</i> Analysefehlers bei der Bestimmung der Gesamtzuckerkonzentrationen (Gesamtzuckermenge im Feed ist im Durchschnitt um 27% <i>höher</i> als die Summe aus den Gesamtzuckermengen in Presssaft und Presskuchen ♥ <i>positive</i> Bilanzabweichung) ist die Ursache für diesen systematischen Analysefehler zu suchen bzw. die entsprechende Gesamtzucker-Analytik zu verbessern.</p>
4-6	<p>↓ ad „Rohasche-Analytik“</p>	<p>Angesichts sowohl punktueller als auch systematischer Analysefehler bei</p>

Nr.	Was	Warum
	Verbesserung der Rohasche-Analytik	der Rohaschebestimmung wäre die Rohascheanalytik zu verbessern

(5) Sonstiges

Tab. 4.5.15-5: Weitere Fragestellungen

Nr.	Was	Warum
5-1	<p>↓ ad „Silageprozess – Rohascheanreicherung im Feed“</p> <p>Klärung der Frage nach der Ursache für die Rohascheanreicherung im Zuge des Verfahrensschritts „Silieren“</p>	<p>Im Rahmen des Abpressversuche 2001 wurde festgestellt, dass es im Zuge des Verfahrensschritt „Silieren“ zu einer Rohascheanreicherung kommt, d.h. Silagefeeds enthalten mehr Rohasche als Frischmassefeeds (jeweils bezogen auf 1 Tonne TS-Feed).</p> <p>In Grundlageversuchen wäre zu klären, ob es dadurch zu einer Verbesserung oder Verschlechterung der Verbrennungseigenschaften des Presskuchens kommt, als Voraussetzung für die Beurteilung der grundsätzlichen Eignung des Presskuchens als Rohstoff für Brennstoffpellets oder als Zusatz in keramischen Baustoffen (z.B. Ziegel).</p>
5-2	<p>↓ ad „Silageprozess – Zu-/Abnahme der dOM und NEL-Gehalte“</p> <p>Klärung der Frage nach der Ursache für das unterschiedliche Verhalten verschiedener Grasarten</p>	<p>Im Rahmen der Abpressversuche 2001 wurde festgestellt, dass sich die untersuchten Grasarten hinsichtlich der vom Verfahrensschritt „Silieren“ verursachten Änderung der dOM und NEL-Gehalte unterschiedlich verhalten:</p> <p>Im Fall von „Kleegras“ und „Knautgras“ kommt es im Zuge des Silageprozesses zu einer <i>Abnahme</i> der dOM und NEL-Gehalte im Feed</p> <p>Im Fall der beiden Grasarten „Extensive Dauerwiese“ und „Bastard Raygras“ jedoch ist das Gegenteil der Fall</p> <p>Es erhebt sich die Frage nach einer Begründung für dieses unterschiedliche Verhalten.</p> <p>Außerdem erhebt sich die Frage nach der nach der Art des inneren Zusammenhangs zwischen Energiegehalt (Nettoenergie-Laktation, NEL) und verdaulicher organischer Masse (dOM). Dies angesichts der Tatsache, dass man für die funktionellen Abhängigkeiten der dOM-Massenströme/Ausbeuten sowie der dOM-Abtrenngrade von wichtigen Einflussgrößen (z.B. TS-Gehalt des Feeds) exakt dieselben Tendenzen findet wie für die funktionellen Abhängigkeiten der NEL-Energieströme bzw. NEL-Abtrenngrade von eben diesen Einflussgrößen</p>

#### 4.6. Referenzen

- Kamm, B., Kamm, M., Richter, K., Linke, B., Starke I., Narodoslowsky, M., Schwenke, K.D., Kromus, S., Filler, G., Kuhnt, M., Lange, B., Lubahn, U., Segert, A., Zierke, S. (2000): *Grüne Bioraffinerie Brandenburg Beiträge zur Produkt- und Technologieentwicklung sowie Bewertung*; in: *Brandenburgische Umweltberichte 8 (BUB 8), 2000*, W. Loschelder (Rektor), R. Jänkel [Herausgeber], *Schriftenreihe des Zentrums für Umweltwissenschaften der Universität Potsdam ISSN 1434-2375, Potsdam 2000.*
- Kromus, Stefan; Narodoslowsky, Michael; Kamm, Birgit; Kamm, Michael (2000): *Green Biorefinery - European Network for the Implementation of Biorefineries (NIB)*; In: *Brandenburgische Umweltberichte 8 (BUB 8), 2000*, W. Loschelder (Rektor), R. Jänkel [Herausgeber], *Schriftenreihe des Zentrums für Umweltwissenschaften der Universität Potsdam ISSN 1434-2375, Potsdam 2000.*
- KROMUS, S., NARODOSLAWSKY, M., KROTSCHECK, C. (2000): *Die Grüne Bioraffinerie: Stoffliche und Energetische Nutzung von Gras – Ein Regionales und Europäisches Projekt*; in: *Graskraft e.V. Graskraft Seminar – Triesdorf, D; Triesdorf 2000.*
- KROMUS, S. (2001): *Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Proteinen und Milchsäure aus Gras*; in: *Auf einen grünen Zweig kommen – Fachtagung Österr. Forschung zu Nachwachsenden Rohstoffen in Industrie und Gewerbe; Ökopark Hartberg 29. Nov. 2001*
- KROMUS, S. (2001): *The Green Biorefinery as a Tool for Sustainable Regional Development; Symposium 1<sup>st</sup> TOS; Budapest 2001*
- KROMUS, S. (2001): *www.biorefinery.net; NIB-Network for the Implementation of Biorefineries*; in: *Biorefinica 2001 International Symposium "Green Biorefinery"; Teltow/Berlin 10./11. Okt. 2001*
- Kromus, Stefan; Narodoslowsky, Michael; Krotscheck, Christian (April 2002): *Grüne Bioraffinerie: Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer nachhaltigen Kulturlandschaftsnutzung; Endbericht eines gleichnamigen Projekts im Rahmen der Österreichischen Bund-Bundesländerkooperation.*
- HPLP (1996): *Das Hanf-Produktlinien-Projekt, Studie des nova-Instituts (Hürth/Köln) in Zusammenarbeit mit dem IAF/FH Reutlingen und dem ifeu-Institut Heidelberg, Hürth, Dezember 1996.*
- Marini, Ingo (2002): *Biogene Brennstoffe, Persönliche Mitteilung, TU-Wien, Inst. für Verfahrens-, Brennstoff und Umwelttechnik.*
- Soyez, Konrad; Kamm, Birgit; Kamm, Michael (Hsgr) (1998): *Die Grüne Bioraffinerie – Ein ökologisches Technologiekonzept für regional nachhaltige Produktions- und Wertschöpfungsprozesse; Erweiterte Tagungsmaterialien des 1. Symposiums „Grüne Bioraffinerie“, Brandenburgisches Umweltforschungszentrum Neuruppin, 8.-9.10.1997; Verlag Gesellschaft für ökologische Technologie und Systemanalyse e.V. 1998 (Beiträge zur ökologischen Technologie Band 5); ISBN: 3-929672-06-5*
- SUSTAIN (Hsgr) (1999): *The Green Biorefinery, Proceedings 2<sup>nd</sup> Internat. Symposium "The Green Biorefinery"; Kornberg Institut, Haus der Region Feldbach-Schloß Kornberg, 13.-14.10.1999.*

## 5. CHARAKTERISIERUNG VON GRASFASERN [CHARACTERISATION OF GRASS FIBRES]

*AUTHORS: ASSIST.-PROF. DR. MAJDA SFILIGOJ-SMOLE; ASSOC.-PROF. DR. KARIN STANA-KLEINSCHKEK, ASSIST.-PROF. DR. TATJANA KREZE, ASSIST.-PROF. DR. SIMONA STRNAD  
LABORATORY FOR CHARACTERISATION AND PROCESSING OF POLYMERS (LCP),  
INSTITUTE OF TEXTILE CHEMISTRY, UNIVERSITY OF MARIBOR,  
SI-2000 MARIBOR, SMETANOVA 17, SLOVENIA; [HTTP://LOPPM.FS.UNI-MB.SI](http://loppm.fs.uni-mb.si)*

### 5.1. Introduction

Recently, due to the growing awareness regarding sustainable development the utilization of green biomass attracts much attention [1-18, 55]. Responding to these requests some renewable resources like excess green biomass (e.g. grass, clover, lucerne) were tested whether they could be utilized in a new innovative way [3, 15]. A promising utilisation pathway for excess green biomass is offered by the technology concept of GREEN BIOREFINERIES. Petroleum refineries generate efficiently a multitude of products from crude-oil at a very large scale. Similarly, GREEN BIOREFINERIES process and convert green biomass as raw material into a range of individual marketable products (multi-product-system) [57-60].

An essential process unit in a GREEN BIOREFINERY plant is the *mechanical fractionation* unit, where the raw material biomass (green and/or ensilaged) is separated into a *liquid* phase (press juice) and a *solid* phase (press cake). The press juice contains water soluble value added substances (e.g. lactic acid, amino acids etc.), the press cake consists of fibre fractions of different length and width.

One basic requirement for the identification of possible industrial products based on fibres from green biomass is the knowledge of fundamental properties of these fibres (e.g. chemical composition, morphology, geometry, mechanical properties etc.).

### 5.2. Objectives and Methods

The work described in this chapter was conducted by the *Laboratory for Characterisation and Processing of Polymers (LCP) of the University of Maribor, SLOVENIA (Assist.-Prof. Dr. Majda Sfiligoj-Smole, Assoc.-Prof. Prof. Dr. Karin Stana-Kleinschek, Assist.-Prof. Dr. Tatjana Kreze and Assist.-Prof. Dr. Simona Strnad).*

The main objective of the work was devoted to characterisation of grass fibres. Grass is an annual plant with bundles of elementary fibre cells bound by pectin middle lamellae. Parenchyma cells separate fibre bundles from each other. The work was structured as follows:

#### 4# (1) *Development of Methods for Characterisation of Grass Fibres:*

- methods for determination of mechanical properties of grass fibre bundles (tenacity, elongation),
- methods for determination of linear density (fineness) of grass fibre bundles,
- methods for light microscopic observation of grass structures,
- methods for preparation of grass samples for obtaining light microscopic images,
- image processing and quantification of morphological properties.

#### (2) *Characterisation of grass fibres*

- morphological and geometrical properties of grass fibre bundles (e.g. fibre length, diameter, linear density (fineness), shape of cross section etc.),
- mechanical properties of grass fibre bundles (tenacity, elongation),
- fibre content of grasses and legumes in stems and leaves.

## 5.3. Fundamentals-I: Plant Tissues

### 5.3.1. Plant Structure

The proportion of leaf to stem and thereby the morphological and chemical structure of plants is varying due to the stage of growth  $\psi 19\beta$ . The prevailing environment also influences the rate of development of leaves and stems. In the plant structure different tissues are observed, e.g. parenchyma, collenchyma, sclerenchyma, different vascular systems, cambium, epidermis etc. (cf. Fig. 5-1). Simple plant tissues are represented by parenchyma, collenchyma and sclerenchyma. Parenchyma is composed of cells with thin primary walls, collenchyma of cells of unevenly thickened primary cell walls and sclerenchyma of cells having thick secondary cell wall  $\psi 20\beta$ . The last type of cells is of particular importance for the bast fibres production  $\psi 27,32,33\beta$ .

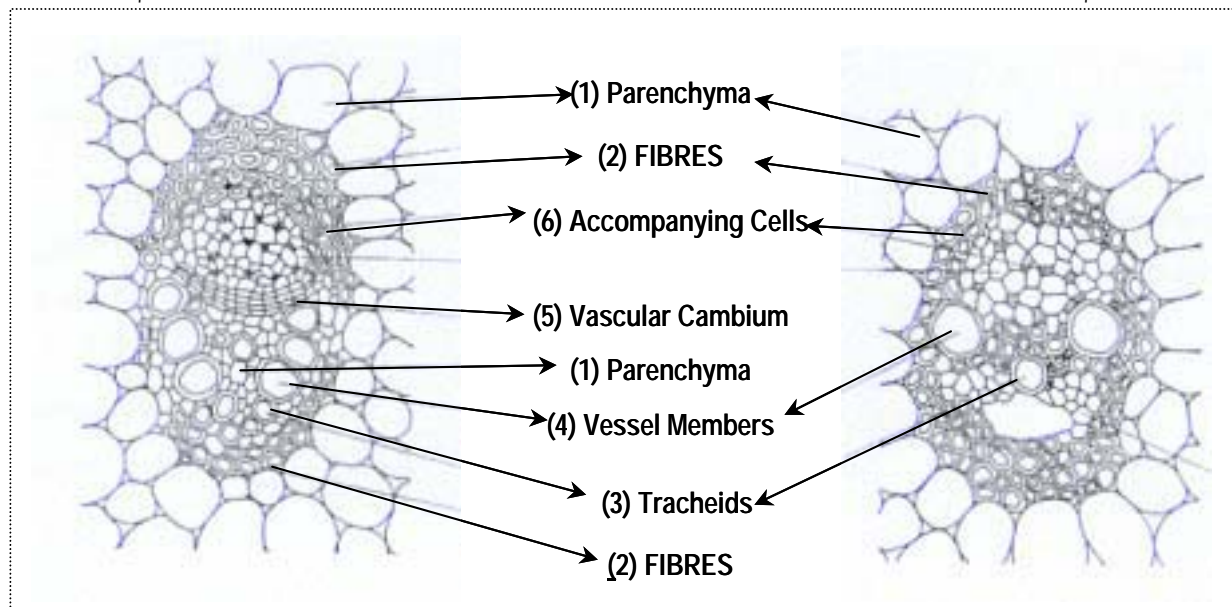


Fig. 5-1: Vascular tissue in monocotyledons and dicotyledons, respectively  $\psi 22\beta$

- 4# **Parenchyma (1)**: Following cell division, parenchyma cells become enlarged into a somewhat complex but nearly spherical shape. The cell walls in parenchyma are thin. The cell cross-section often appears circular. There are clearly distinguishable intercellular spaces among the cells. Parenchyma cells contain a living protoplast and are associated with photosynthesis, storage and the production of new structures. Parenchyma cells are found in cortex of the stem and root and comprise the majority of the leaves tissue  $\psi 21\beta$ .
- 4# **Collenchyma**: A modification of parenchyma is collenchyma with primary cell walls thickened irregularly. It is a supportive tissue in young plants and it is found near the surface of stems and around the veins in leaves  $\psi 21\beta$ .
- 4# **Sclerenchyma**: In mature plants structural rigidity is provided by the deposition of different substances, e.g. lignin and cellulose, in secondary cell wall. The tissue formed is called sclerenchyma. Sclerenchyma cells are very variable in shape and size but often do not contain living protoplasm at maturity  $\psi 20, 21\beta$ . There are two basic forms of sclerenchyma cells:
- (a) *sclereids* which are of irregular shape and have highly lignified walls, and
  - (b) *fibre cells (2)* which are long thin cells also with thick secondary walls.



*Fibre cells (2)* are elongated cells and they occur in different parts of plants, mainly in stem and leaves. They can be found in ground and vascular tissues, but sometimes they occur in dermal tissues as well. Very often fibres strengthen the vascular tissues (cf. **Fig. 5-1**)  $\psi$ 21 $\beta$ . Fibres can occur in layers or in strands. A number of vegetable fibres are of great commercial importance, e.g. linen fibre from *Linum usitatissimum*, jute from *Corchorus capsularis*, manila fibre from *Musa textilis*, hemp etc.  $\psi$ 23-33 $\beta$ .

- 4# *Xylem*: Besides tissues that are modified mainly for storage and for structural rigidity, higher plants have developed a system for the conduction of water and minerals from the soil via the roots to the rest of the plant and to carry the products of photosynthesis from the leaves throughout the plant. It is the vascular system. Xylem with the main cells *tracheids (3)* and *vessel members (4)* provides water and minerals transport. Primary xylem is laid down in the young plant. Xylem and phloem, the both conductive tissues, are found in association in vascular bundles  $\psi$ 21 $\beta$ .
- 4# *Phloem*: The other vascular tissue, which is involved in the transport of the products of photosynthesis throughout the plant, is the phloem. In young plants it is found in close proximity to the xylem in vascular bundles or in the stele, but always situated towards the outside of the plant stem or root  $\psi$ 21 $\beta$ .
- 4# *Cambium (5)*: In the plant some cells remain which do not lose the ability to divide to form new cells. These are cambial cells  $\psi$ 21 $\beta$ .
- 4# *Epidermis*: A single layer of cells, which covers and protects the plant, is the epidermis. The outer walls of epidermal cells contain the fatty substance cutin. A waxy layer, the cuticle, covers the surface. These two together prevent the loss of moisture from the plant to the environment  $\psi$ 21 $\beta$ .

### 5.3.2. Morphology of Stem and Leaf

The morphology of a stem and a leaf are schematically given in Fig. 5-2 and Fig. 5-3, respectively.

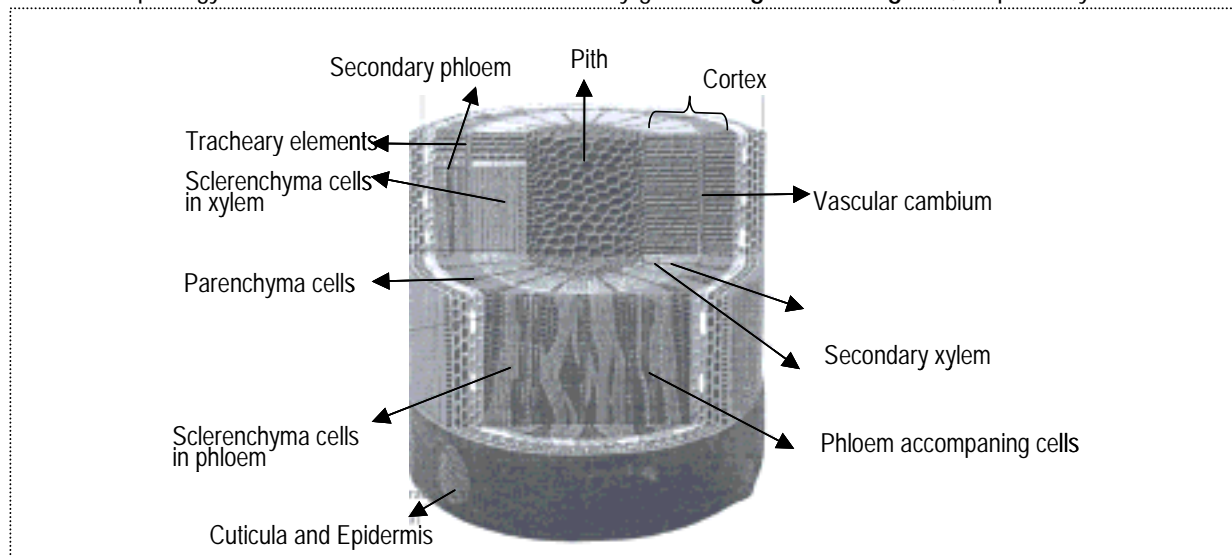


Fig. 5-2: A cross-section of a plant stem  $\psi 22\beta$ .

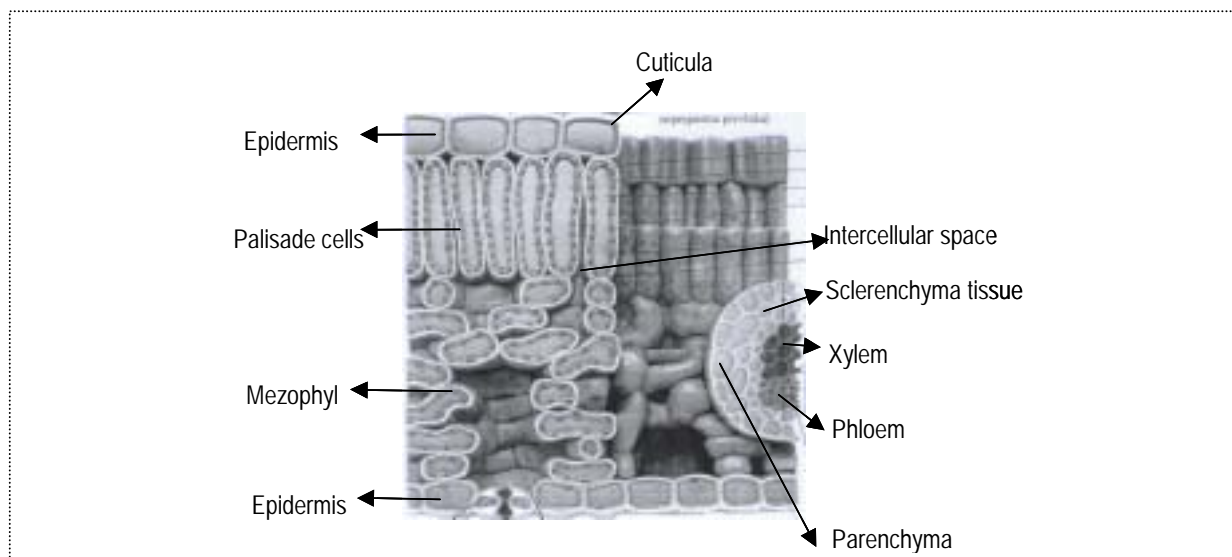


Fig.5-3: A cross-section of a plant leaf  $\psi 22\beta$ .

The mesophyll tissue consists of chlorenchyma tissue separated into a distinct palisade zone in the upper portion of the leaf, and spongy mesophyll in the lower portion. The palisade zone usually consists of either two or three rows of cells, approximately twice as high as they are broad. The spongy mesophyll extends from below the palisade layer to the epidermis. It contains loosely arranged thin walled, chloroplast containing cells, with numerous intercellular spaces  $\psi 39\beta$  (cf. Fig 5-3).

## 5.4. Fundamentals-II: Grasses and Legumes

Cool – season grasses are biologically and economically important constituents of many rangeland ecosystems  $\psi 36,40\beta$ . The most important representatives in the group of grasses are  $\psi 34,35\beta$ .

- 4# Perennial ryegrass (*Lolium perenne*), Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*), Hybrid ryegrasses (*Lolium perenne x multiflorum*, tetraploid varieties of *Lolium perenne* and *Lolium multiflorum*),
- 4# Timothy (*Phleum pratense*),
- 4# Cocksfoot (*Dactylis glomerata*),
- 4# Fescues: Meadow fescue (*Festuca pratensis*), tall fescue (*Festuca arundinasea*), red fescue (*Festuca rubra*),
- 4# Bromes (*Bromus willdenowii*)

Legumes are presented by  $\psi 34\beta$ :

- 4# White clover (*Trifolium repens*), Red clover (*Trifolium pratense*), Lucerne (*Medicago sativa L.*)

### 5.4.1. The Poaceae (Gramineae), The Grasses

Poaceae form one of the largest plant families consisting of some 650 to 785 genera and about 10.000 species  $\psi 37\beta$ . Members of this family occur abundantly in every climatic region. Due to a wide distribution and a very high variety of species in the group the classification is not easy. Generally several sub-families or groups are recognised. *Festucoideae* contain most of the temperate grasses. Grasses belonging to this subfamily are adapted to cool climates. Photosynthesis follows the  $C_3$  pathway  $\psi 21\beta$ . Warm season  $C_4$  species are being more numerous in warm climates and seasons  $\psi 38\beta$ . The *Panicoideae* include many highly productive grasses and cereals which follow  $C_4$  type photosynthesis  $\psi 21\beta$ . Cereals and especially wheat (*Triticum*), an annual plant, are one of the most important in this group  $\psi 21\beta$ .

#### 5.4.1.1. Ryegrasses (*Lolium*)

The genus contains annual, biennial and perennial species. Perennial ryegrass (*Lolium perenne*) is the most common pasture grass in many temperate regions. It is extremely persistent. Perennial ryegrass is an outcrossing species and therefore there is a perceptible genetic change as successive generation of the same ecotype adapt themselves to the prevailing environment. In consequence many climatic races exist, and no single population remains unchanged over a period of time  $\psi 21\beta$ . Two species in the genus *Lolium* are among the most important forage grasses in the world  $\psi 36,37\beta$ :

- 4# *Lolium perenne* (English ryegrass) (cf. Fig. 5-4a),
- 4# *Lolium multiflorum* (Italian or annual ryegrass).
- 4# Seeds mixtures: The majority of farmers sow seeds mixtures, rather than monocultures of a single cultivar. The reasons for combining different grass species together reflect a view that different genotypes may possess different but compatible characteristics, or exploit different natural resources  $\psi 34\beta$ .
- 4# Hybrid ryegrasses (*Lolium perenne, multiflorum*) (*Lolium x hybridum*): Breeders have produced hybrid ryegrasses in an attempt to combine the vigorous growth of Italian ryegrass with the longevity of perennial ryegrass  $\psi 34\beta$ .

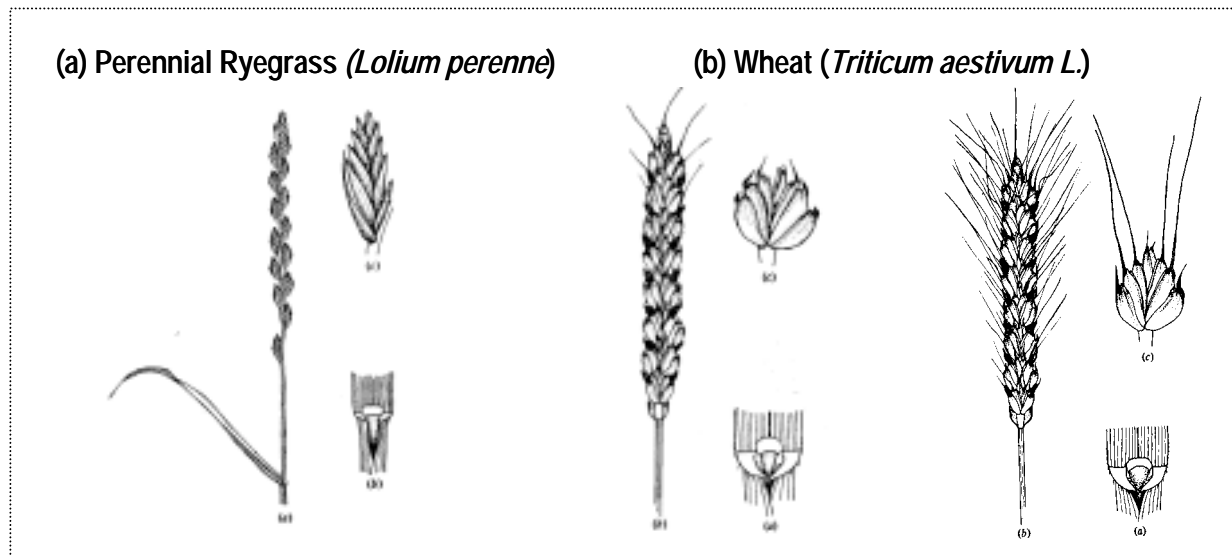


Fig. 5-4: A schematic presentation of some grasses: (a) Perennial Ryegrass (*Lolium perenne*) [21].  
(b) Wheat (*Triticum aestivum* L.); auricles and ligule, spike, spikelet with hooked awn points and long terminal awns, respectively  $\psi 21\beta$ .

#### 5.4.1.2. Wheat (*Triticum aestivum* L.)

It is composed of rounded or rolled shoots. At the junction of sheath and lamina is a small rounded ligule and the leaves terminate in a pair of moderately prominent auricles, each supplied with a few bristle – like hairs (Fig. 5-4)  $\psi 21\beta$ .

#### Wheatgrasses (*Agropyron* and several species in other genera)

These perennial grasses are members of the *Triticeae* tribe, which also includes the annual cereal crops. From 100 to 150 species of wheatgrasses have been described. Approximately 100 of these are native to Eurasia and from 22 to 30 are considered native to North America. The wheatgrasses are generally adapted to a range of conditions ranging from subhumid to arid climatic conditions  $\psi 36\beta$ .

#### 5.4.2. Pasture or Forage Legumes

##### 5.4.2.1. Clover (*Trifolium*)

The genus *Trifolium* derives its name from its characteristic compound leaf which is trifoliate. Clovers are annual or perennial in habit. Many of them have weak stems or are prostrate, thus making them highly persistent under grazing.  $\psi 21\beta$ .

##### 4# White clover (*Trifolium repens*)

This species is especially well adapted to grazing because of its prostrate growth habit and branching network of stolons  $\psi 21\beta$ .

##### 4# Red clover (*Trifolium pratense*)

It is a short lived (2 years) perennial, usually sown with grasses. However, shoot development and leaf dimensions may be altered substantially by temperature, irradiance, water availability, and /or defoliation  $\psi 21\beta$ .

##### 5.4.2.2. Lucerne (*Medicago sativa* L.)

The *Medicago sativa* complex belongs to the section *Falcago*, subsection *Falcatae* within the genus *Medicago*. The genus comprises more than 60 different species among annuals and perennials  $\psi 39\beta$ . Cell division and differentiation in the Lucerne shoot apical meristem give rise to epidermal, cortical and vascular tissues. The

young stem is nearly square in cross section. The epidermis surrounds the stem, followed by chlorenchyma. (chloroplast – containing) and collenchyma tissue. At the angles of the stem, collenchyma cells are more numerous and may form a pronounced longitudinal ridge. In mature stem tissue, collenchyma may occupy the area from the epidermis to the starch sheath. Both leaf surfaces have stomata with the average density from 146 to 265 mm<sup>-2</sup>. The innermost layer of the cortex is the starch sheath. Large, compactly arranged parenchyma cells compose the pitch, which is in the centre of the stem  $\psi$ 39 $\beta$ . The parenchyma cells in the central portion of the pith are unligified, in the contrast to the smaller lignified cells near the vascular bundles. The parenchyma cells near the centre of the pith may disintegrate during maturation, so that the stem becomes hollow  $\psi$ 39 $\beta$ . Vascular bundles are collateral. The phloem is limited outwardly by strands of elongated thick-walled perivascular fibres that supplement the xylem vessels and collenchyma tissue for mechanical support  $\psi$ 39 $\beta$ .

Three different tissues are observed in leaves, i.e., epidermis, the vascular system and mesophyll tissue, respectively. The structure of a leaf includes an upper and lower epidermis, palisade and spongy mesophyll, and vascular tissue. The first leaf is usually unifoliolate, the second and subsequent leaves are normally pinnately trifoliolate. Leaves with more than three leaflets (multifoliolate) are not uncommon.  $\psi$ 39 $\beta$ .

#### 5.4.3. Chemical and Physical Characteristics of Grasses

The plant-structure can be divided into cell content and cell walls. The cell wall has the most obvious function in the morphogenesis. It provides mechanical and structural support for plant organs. In addition, walls play important roles in water balance, ion exchange, cell recognition, and protection from biotic stresses  $\psi$ 38 $\beta$ . The cell walls are considered to consist of pectin substances, structural polysaccharides, hemicellulose, cellulose and lignin  $\psi$ 34 $\beta$ . In **Table 5-1** the chemical composition of grasses according to  $\psi$ 1, 15 $\beta$  is given. Typical concentrations of carbohydrates in *temperature legumes* and *cool season grasses* are  $\psi$ 38 $\beta$ .

4# cellulose:	200 – 350 g kg <sup>-1</sup> DM (legumes),	150 – 400 g kg <sup>-1</sup> DM (grasses),
4# hemicelluloses:	40 – 170 g kg <sup>-1</sup> DM (legumes),	20 - 270 g kg <sup>-1</sup> DM (grasses),
4# pectin:	40 – 120 g kg <sup>-1</sup> DM (legumes),	10 – 20 g kg <sup>-1</sup> DM (grasses).

**Table 5-1:** The chemical composition of grasses  $\psi$ 1, 15 $\beta$

No.	Component	Unit			
1	Ashes	g/kg DM	40,40	_	51,50
2	Water Soluble Carbohydrates	g/kg DM	9,30	_	89,20
3	Proteins	g/kg DM	28,10	_	82,70
4	NDF - Neutral detergent fibre fraction	g/kg DM	673,60	_	849,00
5	ACF- Acid detergent fibre fraction	g/kg DM	420,30	_	567,80
6	Lignin	g/kg DM	57,30	_	84,20
7	Hemicellulose	g/kg DM	253,30	_	305,50
8	Cellulose	g/kg DM	362,80	_	489,00

Carbohydrates represent 50 – 80% of the dry biomass and are the most abundant compounds found in plants. They constitute most of the plant cell wall. The walls of plant cells (primary and the secondary cell wall) can be considered as a composite consisting of cellulose fibrils embedded within a matrix of lignin and hemicellulosic polysaccharides  $\psi$ 41 $\beta$ . Schematic presentation of cellulose structure is given in **Fig. 5-5a**  $\psi$ 15, 41 $\beta$ .

Individual cells are adjoined by the middle lamellae, which consists primarily of pectic substances, which serve as a intercellular binding agent  $\psi 38\beta$ . Pectins, i.e. pectic polysaccharides, are found in middle lamella and primary cell wall dicotyledons, where they may constitute up to 50% of the cell wall  $\psi 15\beta$ . In monocotyledons, the proportion of pectic polysaccharides, for which a high content of D-galacturonic acid is characteristic, is normally lower  $\psi 15\beta$ .

*Lignin* is an insoluble, amorphous macromolecule. These are highly branched phenolic polymers (cf. Fig. 5-5b)  $\psi 15\beta$ . The basic structural unit of lignin is the phenylpropane ( $C_6C_3$ ) unit. In the biosynthesis of lignin, the phenylpropane structure is provided by three cinnamic acids, i.e. p-coumaric, ferulic, and sinapic acid. These monomeric units are joined together by C-to-C and strong ether linkages that are highly resistant to chemical hydrolysis. Cross-linkages are formed with carbohydrates (e.g. Lignocellulose), proteins, and other plant constituents  $\psi 39\beta$ .

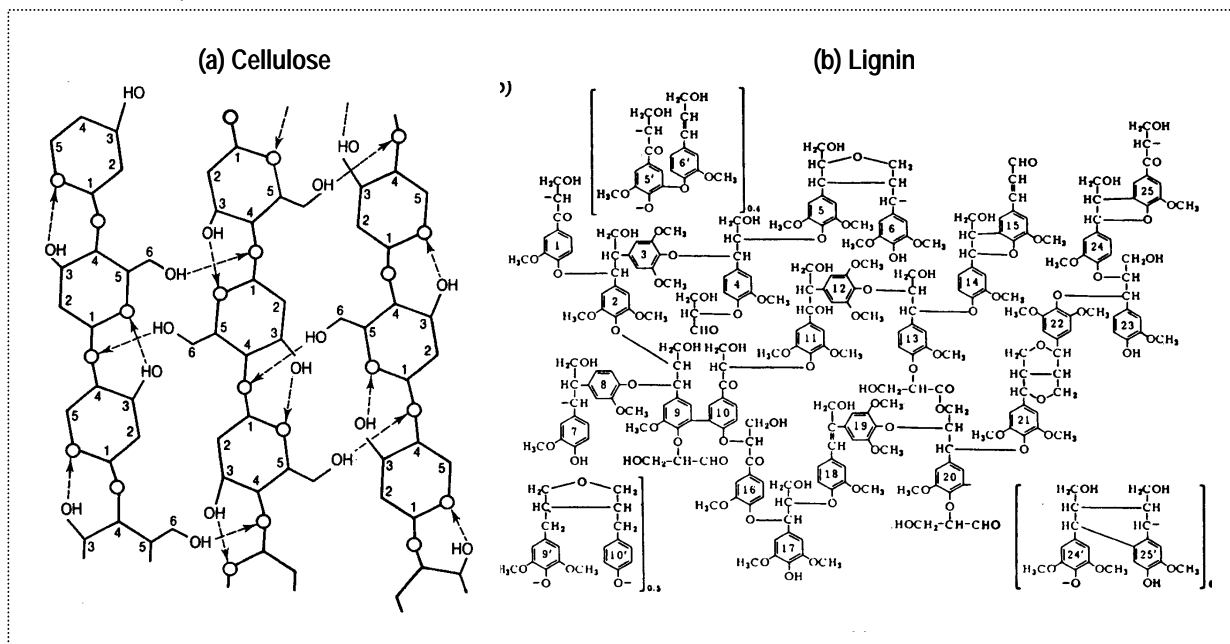


Fig. 5-5: The structure of cellulose  $\psi 15, 41\beta$  and lignin [15].

Leaf and stem fractions differ considerably in chemical composition. Leaves generally contain greater concentrations of cell wall polysaccharides and lignin than do stems. A large difference in composition is observed for legumes, whereas leaf and stem fraction of grasses and cereal straws are more similar in composition  $\psi 38\beta$ . With advancing maturity, the concentration of cellulose, hemicellulose and lignin in grass all increase  $\psi 34\beta$ . In contrast, compared with grasses at comparable growth stages, legumes are characterised by reduced amounts of cell walls with marked lower hemicellulose but higher concentration of pectic substances and lignin  $\psi 34\beta$ .

Cell content are comprised primarily of the cell nucleus and cytoplasm and hence account for a major part of proteins, peptides, nucleic acids, lipids, sugars and starches found in the plants. In the early stages of growth the protein is the major contributor. As grass matures its content decreases, however, with an increase in the ration between stem and leaves. The concentration of sugars increases although a strong influence of environmental conditions of light and temperature. Relative to grasses legumes contain more proteins, organic acids and minerals but less soluble carbohydrates. Irrigation has only marginal effects on chemical composition  $\psi 34\beta$ .

#### 5.4.4. Cellulose Fibres for Textile and Technical Applications

For textile and technical applications different cellulose fibres can be used. Fibres can be classified most conveniently by referring to the part of the plant from which they come. There are three main groups ψ16,27β.

- 4# *bast or stem fibres*, which form the fibrous bundles in the inner bark (phloem or bast) of the stem of dicotyledenous plants,
- 4# *leaf fibres* which run lengthwise through the leaves of monocotyledenous plants,
- 4# *fibres of seeds and fruits*

For technical purposes mainly flax, hemp, jute, ramie, sisal and coir are used ψ33β. **Table 5-2** collects some properties of important technical cellulose fibres like chemical composition (content of celluloses, hemicelluloses and lignin), geometrical properties (fibre length, diameter) and mechanical properties (tensile strength, elongation, modulus) ψ16,31,32, 41β.

Technical fibres are in form of bundles of individual fibre cells held together by natural binding material. Seen in cross-section the fibre cell is polygonal, usually with five to six sides or cylindrical in shape. It has thick walls and a broad lumen. On the fibre surface some deformations are observed due to mechanical process of fibre preparation. Cellulose bast fibres are highly resistant

**Table 5-2: Properties of important technical cellulose fibres (bast fibres) ψ16,31,32, 41β.**

No. fibres		flax	jute	hemp	coir
<b>(1) Chemical composition</b>					
1	cellulose and hemicell. (%)	75-78	67-74	77-78	
2	lignin (%)	2 – 4	11-16	4 – 8	
<b>(2) Geometrical properties of individual fibre cells</b>					
3	length (mm)	6-65	2-6	13-26	0.4 – 1.0
4	mean diameter (σm)	10 – 33	15 - 35	5-32	12 – 24
<b>(3) Geometrical and mechanical properties of technical fibres (fibre bundles)</b>					
5	length (cm)	45-60	150-300	200	15 – 30
6	tensile strength cN/tex	40-60	23-31	29-47	15
7	elongation (%)	1.4 – 3.0	1.3 – 1.8	1,8	25-27
8	Initial modulus (cN/dtex)	183	170-180	183-200	34.47
9	effects of moisture regain	12.0	13.75	12.5	12.0

## 5.5. Experimental

### 5.5.1. Materials (Grass and Legume Samples)

A number of grasses and legumes, respectively were involved in the project (cf. Tab. 5-3). However, for the detailed study only some these grasses / legumes were used. Stem and leaf samples were obtained from fresh (green) as well as from ensilaged grasses of the first and the second harvesting. Elementary grass fibres were isolated from the following species:

- 4# Hybrid ryegrass (*Lolium hybridum GUMPENSTEIN*)
- 4# Wheat straw (*Triticum aestivum L.*)
- 4# Trefoil (*Trifolium pratense*)
- 4# Lucerne (*Medicago sativa L.*)

Additionally, stem and leave samples obtained from a GREEN BIOREFINERY pilot plant [59,60] were also studied. These samples represent pressed grass (press cake obtained after mechanical fractionation (extruder press) of ensilaged grass into a liquid phase (press juice) and a solid phase (press cake)).

**Table 5-3: Grass and legume samples involved in the work on characterisation of fibres from green biomass.**

1	2	3	4	5	6	7	8
No	Grass / Legume		Harvesting	green / ensilaged	Date of Cutting	Date of Pressing	0x/1x/2x pressed
<b>(1) Fibre samples from GREEN BIOREFINERY experiments 2001 (press cake)</b>							
1	"Kleegrass"	Mix*)	1st harv.	green	17.05.2001	17.05.2001	1x
2	"Kleegrass"	Mix*)	1st harv.	ensilaged	17.05.2001	10.07.2001	1x
3	"Kleegrass"	Mix*)	2nd harv.	green	21.06.2001	21.06.2001	1x
4	Hybrid ryegrass	<i>Lolium hybridum GUMPENSTEIN</i>	3rd harv.	ensilaged	09.08.2001	24.09.2001	1x
5	Cocksfoot (Knautgras)	<i>Dactylis glomerata</i>	2nd harv.	green	07.08.2001	07.08.2001	1x
6	Cocksfoot (Knautgras)	<i>Dactylis glomerata</i>	2nd harv.	ensilaged	07.08.2001	27.09.2001	1x
<b>(2) Green biomass samples from 2002, 7.5.2002</b>							
7	Perennial ryegrass (Engl. Ryegrass)	<i>Lolium perenne</i>	1st harv.	green	07.05.2002		0x
8	Meadow fescue (Wiesenschwingel)	<i>Festuca pratensis</i>	1st harv.	green	07.05.2002		0x
9	Hybrid ryegrass	<i>Lolium hybridum GUMPENSTEIN</i>	1st harv.	green	07.05.2002		0x
10	Cocksfoot (Knautgras)	<i>Dactylis glomerata</i>	1st harv.	green	07.05.2002		0x
11	Red clover (Rotklee)	<i>Trifolium pratense</i>	1st harv.	green	07.05.2002		0x
<b>(3) Fibre sample from GREEN BIOREFINERY experiments 2002 (press cake)</b>							
12	Lucerne (Luzerne)	<i>Medicago sativa</i>	1st harv.	green	24.05.2002	24.05.2002	1x
13	Wheat (Weizengras)	<i>Triticum aestivum L.</i>	1st harv.	green	?	06.06.2002	1x

\* Mix of 20% *Lolium hybridum GUMPENSTEIN*, 20% *Lolium perenne*, 20% *Dactylis glomerata*, 10% *Trifolium pratense*, 10% *Phleum pratensis*, 10% *Trifolium repens* and 10% *Festuca pratensis*.

### 5.5.2. Isolation Methods for Elementary Fibres from Grass and Legume Samples

For the isolation of elementary grass fibres different retting processes were used. *Retting* is the process of separating fibres from non-fibre tissues in bast plants. Different conditions of alkaline and acid treatment were tested and the optimal procedure is given in Table 5-4. Additionally, retting was also performed by means of enzymes, which were developed by the microbes on the plants under wet conditions at room temperature.

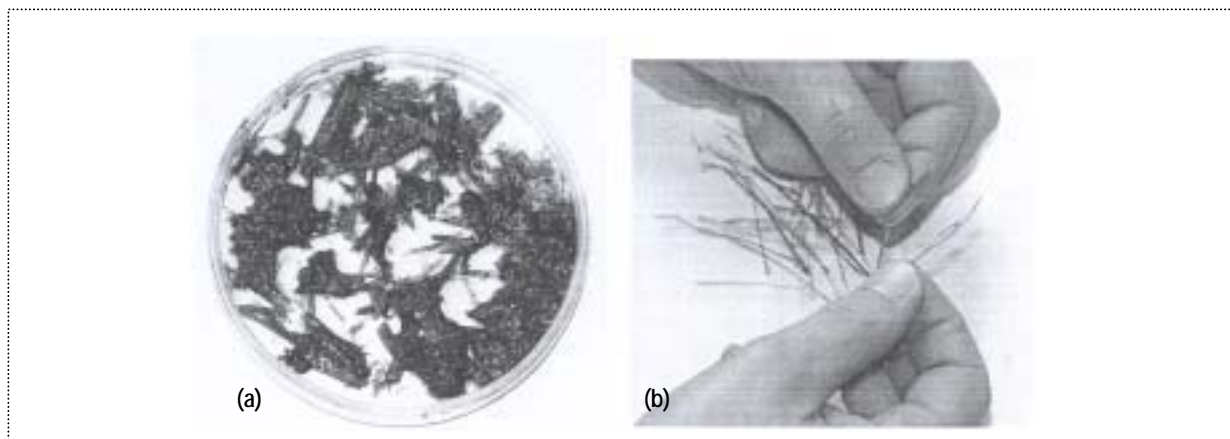


By means of these retting methods the pectin structures connecting fibres with other plant tissues were loosened and elementary fibres or fibre bundles, respectively could be mechanically separated as shown in Fig. 5-6. Separation of elementary grass fibres was performed under *wet* conditions due to very low bending rigidity of dry grasses. A laboratory dyeing apparatus - *Turbomat* - was used for the heat treatment of plants.

**Table 5-4: Isolation processes of elementary grass fibres and fibre bundles**

No.	Isolation process	chemical agent	temperature, [°C]	treatment time
1	Acidic treatment (hydrolysis)	10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	90 °C	3 h
2	Alkaline treatment	1% NaOH	100°C	1h
3	Biologic process	enzymes*)	20°C	2 weeks

\*) enzymes, developed by microbes on the plants under wet conditions at room temperature



**Fig. 5-6: Mechanical separation of elementary grass fibres and fibre bundles: (a) Retting of stem and leaf samples, resp. (b) mechanical separation of elementary fibres and fibre bundles, resp.**

### 5.5.3. Analytical Methods

#### (1) Determination of mechanical properties of grass stems and leaves (tenacity, elongation)

Tenacity of grass stems and leaves was determined in accordance with ISO norm *Textile fibres – Determination of breaking force and elongation at break of individual fibres ISO 5079 (1995) ψ51β*. However, the breaking strength in the axial direction of the whole stems and leaves was determined in the dry state on the dynamometer *Statigraph Textechno M*. Due to the inherent variability of most biological materials and many mechanical damages due to the process of ensiling and pressing in the GREEN BIOREFINERY, it was important to obtain a representative sample for the testing.

#### (2) Determination of linear density (fineness) of grass leaves and stems

The fineness of grass leaves and stems was determined gravimetrically following the ISO norm *ISO 1973 (1976) Determination of linear density – gravimetric method ψ52β*.

#### (3) Light microscopic observation of grass structures

The light microscopic test were performed on whole leaves and stems and on ultimate fibres and fibre bundles. Different structures were observed on cross- sections and on longitudinal views of stems and leaves.

#### (4) Preparation of grass sample for obtaining light microscopic images

Stems and leaves, respectively were aligned in a capsule and then embedded in methacrylate resin. Once the specimen was satisfactorily aligned and embedded, the *microtome* was used to prepare thin sections ψ42,43β.

### (5) Image processing and quantification

The morphological characteristics of stems and leaves of different grass species were microscopically observed. Therefore a Microscope Axiotech 25 HD (+pol) equipped with the CCD SONY video camera model DXC-151AP to resolve images and a frame grabber (grey and »true colour« signal; 8 bit resolution/channel (RGB 8:8:8); image memory 3MB to digitise the image and a host computer with Kontron KS 300 (Kontron Elektronik) software for image processing were used. On the microscopical stem and leaves cross section samples the quantification of fibres sclerenchyma cells was performed  $\psi 44-46\beta$ .

For better fibre cells identification in stems and leaves a cellulose coloured complex with ClZnJ solution was prepared  $\psi 47-50\beta$ . After treating the samples in the test solution lignified cellulose was deeply stained.

The quantitative analysis was carried out in order to obtain basic quantitative data on grass fibres, such as area of the single fibre or group of fibres [micrometer<sup>2</sup>], diameter of a single fibre or group of fibres [micrometer] and distances [micrometer] between the most distant and least distant points on the area of the fibre. Measurements were made using a Carl Zeiss software KS 300, which runs on a computer connected to the image analysis equipment consisting of a microscope and a digital camera. Quantitative characteristics were determined on photographs, which were previously obtained on image analysis system; only those with fully visible cross sections of leaf and stem fibres were used.

We chose characteristics to be measured and prepared and created a macro in KS 300, which enabled us to carry out the measurements step by step. A certain photograph was selected and loaded in an active window. Then we interactively encircled the whole area of a single fibre or group of fibres with a mouse. Software calculated necessary values from the given round shape of the marked area. To evaluate the fibre content in grass plants the cross section area of fibre bundles was measured and compared to the cross section area of the whole stem or leaf.

Lengths of fibres were determined similarly; a photograph with a whole length of a single fibre was loaded and then we interactively drew a line along the centre line of the fibre. When done, software automatically takes note of value of the measurement.

Several measurements were made in order to achieve as accurate results as possible; an arithmetical value was calculated from the obtained measurements.

### (6) Characterisation of ultimate and technical fibres

In addition to, the geometrical and mechanical properties of isolated elementary fibres and fibre bundles that were obtained by different processes of grass fibres retting, i.e., separation of the fibres from the rest of the plant (e.g. acidic, alkaline and enzymatic treatment) were studied. For the technical fibres (fibre bundles) mechanical properties (in wet state) determination a Lenzing Vibrodyn dynamometer was involved. The linear density of the isolated fibre bundles was determined on a Lenzing Vibroscop apparatus. The standard test method for strain/stress determination of textile fibres and yarns according to ISO 5079 (1995)  $\psi 51\beta$  was used therefore. For the evaluation of stem and leaf tenacity their fineness was obtained gravimetrically according to ISO 1973 (1976)  $\psi 50\beta$ . As mechanical and geometrical properties vary considerably according to temperature and humidity, and all samples for testing were conditioned and prepared in the ISO standard atmosphere for textile testing of 65  $\pm$ 2% relative humidity and 20  $\pm$ 2°C  $\psi 53\beta$ .

## 5.6. Results

### 5.6.1. Mechanical Properties of Whole Structures of Grass Stems and Leaves

Tenacity–elongation properties of stems and leafs of Ryegrass (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN) were measured in dry state on a dynamometer *Statigraph Textechno M*. Note: Tenacity–elongation properties were measured for the *whole* grass structures (not for elementary fibres) for considering the possibilities of their application for some technical products. The measured data are given in Table 5-5. Statistically evaluated results are collected in Table 5-6 and Table 5-7.

*Table 5-5: Breaking force and elongation at break in axial direction of the whole grass structure of bastard ryegrass (Lolium hybridum GUMPENSTEIN).*

TEST	ELONGATION %	FORCE N	TENACITY cN/tex	WORK TO RUPTU cm*N
1	0..85	4.36	1.32	0.24
2	1..05	5.92	1.80	0.40
3	0..81	6.37	1.94	0.30
4	0..79	5.33	1.62	0.24
5	0..96	4.68	1.42	0.29
6	1..95	7.79	2.37	0.91
7	0..78	2.77	0.84	0.14
8	1..21	6.26	1.90	0.42
9	0..13	2.03	0.62	0.02
10	1..28	4.29	1.30	0.34
11	6..31	1.68	0.51	0.15
12	1..27	5.42	1.65	0.44
13	0..53	3.65	1.11	0.13
14	1..05	5.25	1.60	0.35
15	1..00	4.86	1.48	0.29
16	0..80	3.39	1.03	0.20
17	0..55	3.38	1.03	0.14
18	0..81	4.09	1.24	0.22
19	1..01	4.79	1.46	0.32
20	1..09	7.93	2.41	0.49
21	0..58	4.07	1.24	0.16
22	0..98	4.87	1.48	0.30
23	1..54	9.23	2.81	0.85
24	2..09	14.28	4.34	1.51
25	0..97	5.52	1.68	0.33
26	1..51	5.71	1.74	0.47
27	0..84	3.79	1.15	0.20
28	0..85	4.55	1.38	0.25
29	0..26	2.18	0.66	0.04
30	5..66	1.02	0.31	0.16
31	0..82	5.27	1.60	0.28
32	0..86	3.99	1.21	0.23
33	1..57	7.70	2.34	0.70
34	0..46	2.42	0.74	0.09
35	3..71	1.67	0.51	0.34
36	1..27	4.25	1.29	0.36
37	2..47	16.74	5.09	2.20
38	1..62	3.30	1.00	0.31
39	0..85	3.64	1.11	0.22
40	1..02	2.29	0.70	0.17
41	0..77	3.57	1.09	0.21
42	1..30	5.98	1.82	0.40
43	0..98	6.92	2.10	0.39
44	1..86	3.96	1.21	0.50
45	1.17	19.96	2.53	1.39
46	0.31	8.54	1.08	0.18
47	0.87	16.71	2.12	0.89
48	0.96	13.58	1.72	0.82
49	1.61	19.96	2.53	2.00

One sees, that the mechanical properties of ryegrass stems and leafs vary considerably, due to different histories of the grass samples, i.e. due to deformations and damages caused by the treatment of grasses in the BIORREFINERY (ensiling, pressing, drying), due to different maturity grade and due to different conditions during

the growth period of grass. This inhomogeneity of samples is confirmed also by very high variation coefficients at measurements (cf. **Table 5-6** and **Table 5-7**). Nevertheless, mechanical properties in axial of grass *stems* are somewhat lower than those of grass *leaves*, although the differences are not significant:

- 4# tenacity: 1,47 cN/tex (stem) < 1,97 cN/tex (leaf),
- 4# elongation: 1,28 % (stem) < 1,12 % (leaf).

Tenacity–elongation properties of the investigated plant structures indicate that these structure are rather rigid reflected by *low elongations* as well as *high brittleness* of stems and leaves.

**Table 5-6: Mean tenacity and elongation at break of Ryegrass stems (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN).**

Property	Mean value	Standard deviation	Variation coefficient
Breaking force (N)	4.83 N	2.84	58.65
Tenacity (cN/tex)	1.47 cN/tex	0.86	58.64
Elongation at break (%)	1.28 %	1.14	88.57

\*Measurement conditions: temperature 20°C, relative humidity 65%, and test time 1.49s

**Table 5-7: Mean tenacity and elongation at break of Ryegrass leaves (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN).**

Property	Mean value	Standard deviation	Variation coefficient
Breaking force (N)	15.49 N	5.41	34.91
Tenacity (cN/tex)	1.97 cN/tex	0.69	34.91
Elongation at break (%)	1.12 %	0.70	62.32

\*Measurement conditions: temperature 20°C, relative humidity 65%, and test time 1.67s

### 5.6.2. Linear Density of Grass Stems and Leaves (Fineness)

The linear density of Ryegrass stems and leaves( fineness) was determined gravimetrically. Results are collected in **Table 5-8**. One sees, that the linear density of ryegrass stems is much higher when compared to the linear density of leaves: 788 tex (stem) > 329 tex (leaves). However, this difference in fineness of the two plant structures was expected due to the differences with respect to their specific function in the plant.

**Table 5-8: Linear density (fineness) of Ryegrass stems and leaves (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN).**

Plant Structure	Linear Density (Fineness), mean value
stem (ryegrass)	788 tex
leaf (ryegrass)	329 tex

### 5.6.3. The Morphology of Different Grasses and Legumes

Fig. 5-7 shows structures in the cross section of a ryegrass stem (*Lolium hybridum* GUMENSTEIN): Vascular tissue strengthened by the sclerenchyma fibres can be seen. Fig. 5-8 & Fig 5-9 show structures in the cross section and in the longitudinal section of a ryegrass leaf. One sees vascular tissue accompanied by fibre cells.

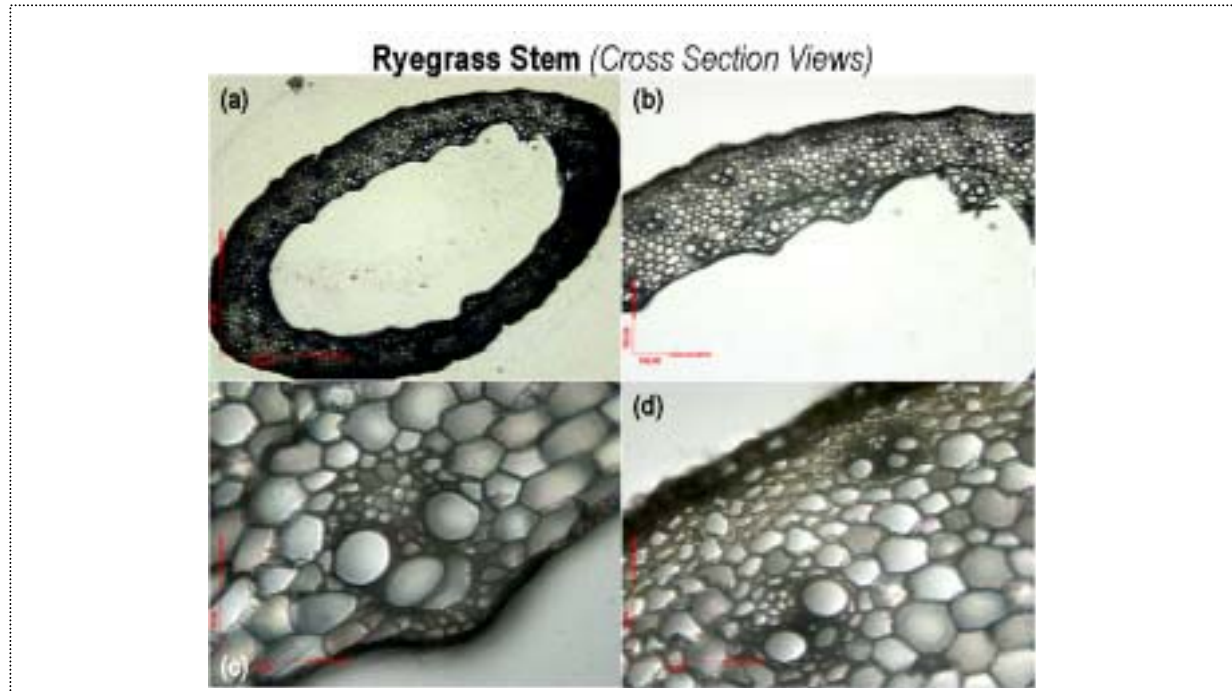


Fig. 5-7: Structures in the cross section of a Ryegrass stem (*Lolium hybridum* GUMENSTEIN). One sees the vascular tissue strengthened by the sclerenchyma fibres.

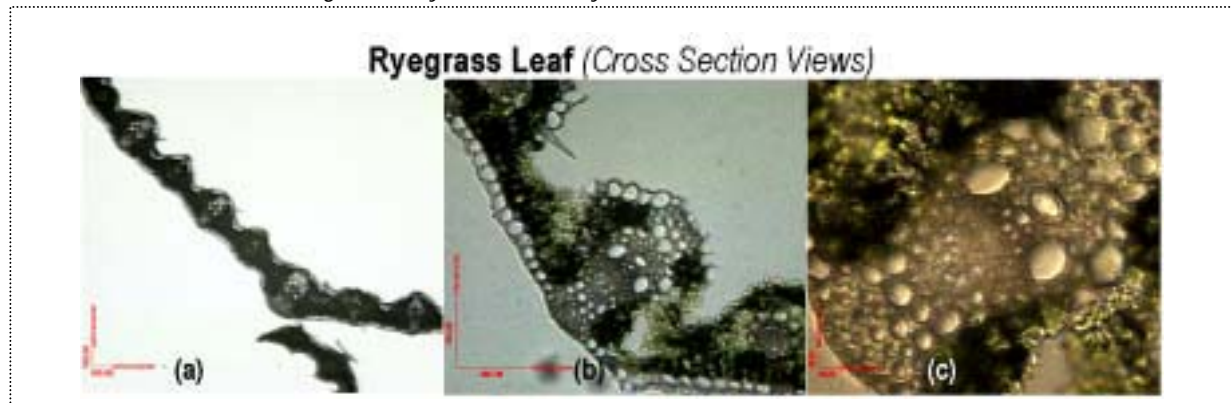


Fig. 5-8: Structures in the cross section of a ryegrass leaf (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN). One sees vascular tissue accompanied by fibre cells.



Fig. 5-9: Structures in the longitudinal section of a Ryegrass leaf (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN).

Fig. 5-10 shows again structures in the cross section of a Ryegrass stem (*Lolium hybridum GUMPENSTEIN*).

Fig. 5-11 shows the structures in the cross section of a Lucerne stem (*Medicago sativa L.*). One sees, that a layer of epidermis cells covers the stem, below it there are densely packed parenchyma cells. Major vascular bundles are located in folds with smaller bundles between.

Fig. 5-12 shows the structures in the cross section of a Trefoil stem (*Trifolium pratense*). One sees, that the cross- sections of the vascular structures are nearly triangular with several very dense multi - layers of fibre cells on the outer side of these structures.

Fig. 5-13 shows the structures in the cross section of a Wheat leaf (*Triticum aestivum*). One sees, that a layer of cellulose fibre cells was detected under the epidermis and additional sclerenchyma cells bundles are strengthening vascular systems.

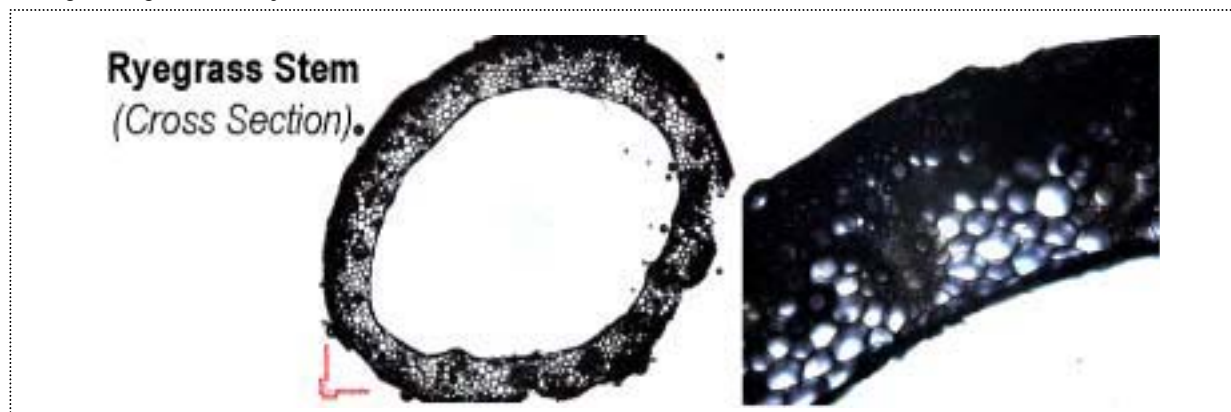


Fig.5-10: Structures in the cross section of a Ryegrass stem (*Lolium hybridum GUMPENSTEIN*).



Fig. 5-11: Structures in the cross section of a Lucerne stem (*Medicago sativa L.*).

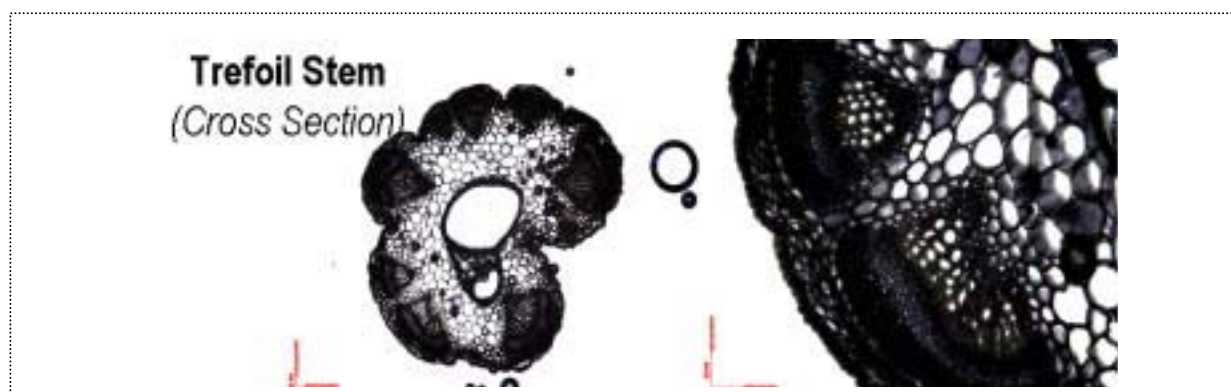
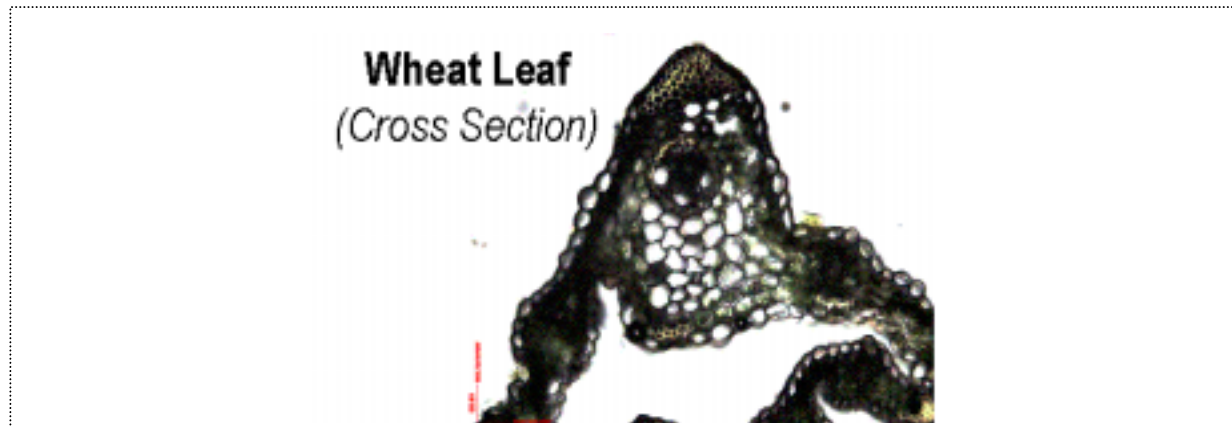


Fig. 5-12: Structures in the cross section of a Trefoil stem (*Trifolium pratense*).



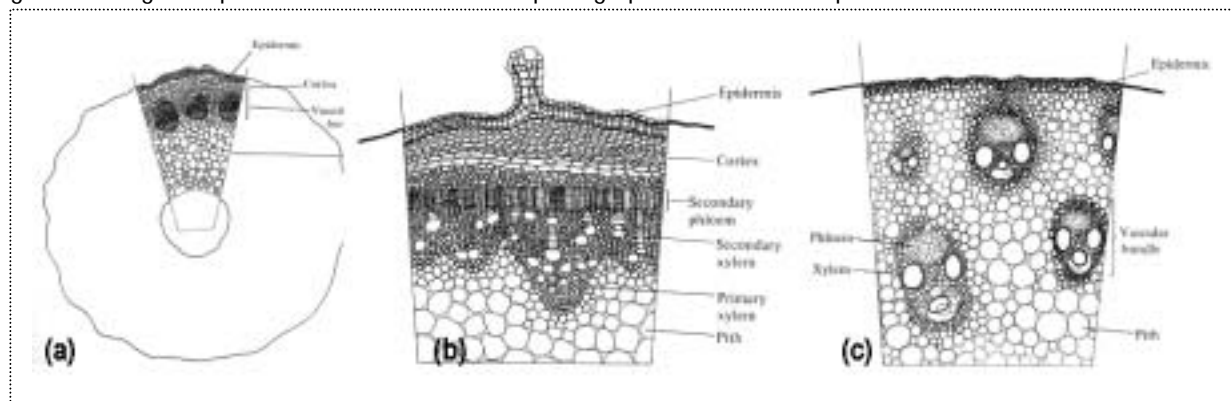
**Fig. 5-13:** Structures in the cross section of a Wheat leaf (*Triticum aestivum*).

Regarding the shape of cross sections one observes an even and oval cross-section in the case of grasses, and a rather folded shape in the case of legumes (cf. Fig. 5-11 and Fig. 5-12).

Different structures could be clearly observed on the cross-section views. The epidermis surrounds the stems. Especially pronounced are large, compactly arranged parenchyma cells. The parenchyma cells near the centre of the stem are disintegrated during maturation, so that the stem becomes hollow. The hollow occupies about 2/3 of the cross-section; only in the trefoil stem it is smaller (Fig. 5-10, Fig. 5-11 and Fig. 5-12).

Fibre structures are accompanying the vascular system. Additional fibre layers were found under the epidermis. On the grass samples that were immersed in ClZnJ solution a coloured cellulose complex is obtained and the cellulose fibres can be easily identified. Different tissues are observed in leaves, i.e., epidermis, the vascular system and mesophyll tissue, respectively (Fig. 5-8, Fig. 5-9 and Fig. 5-13).

Grasses and legumes are belonging to the group of monocotyledon and dicotyledon plants. For identification of different structures on cross-sections a schematic presentation of monocotyledon and dicotyledon stem and leaf cross-section is given in Fig. 5-14 and Fig. 5-15. The fibre structures are differently organized in various grass and legume species as confirmed on microphotographs and schematic presentations of cross-sections.



**Fig. 5-14:** Transverse section of a primary and a secondary dicotyledon stem and transverse section of a monocotyledon stem, respectively  $\psi 4\beta$ .

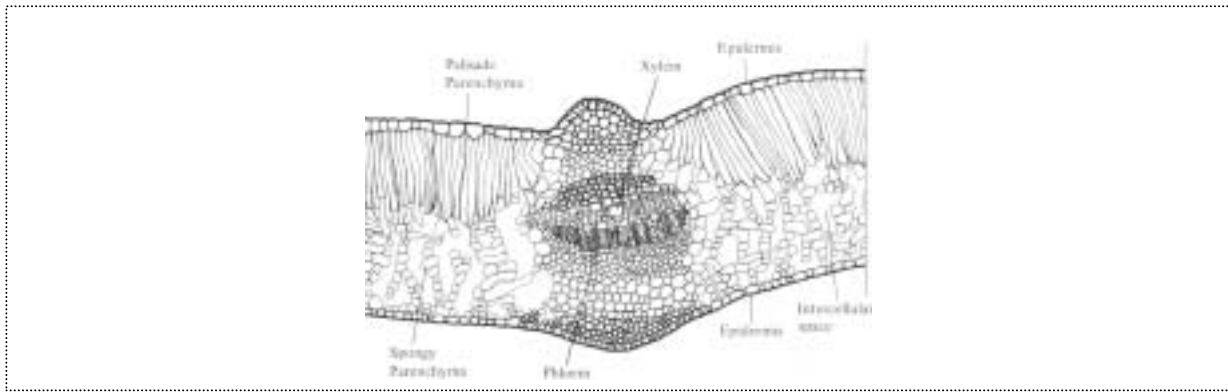


Fig. 5-15: Transverse section of a dicotyledon leaf  $\psi 4\beta$ .

A comparison of the organization of observed structures in different grass and legume species (cf. Figs 5-7 to 5-13) with the conventional sources of textile bast fibres like line, hemp, kenaf and ramie (cf. Fig. 5-16) shows that all these different plants exhibit the same *structures* in stems. Differences may be observed only with respect to geometrical properties of stem structures and fibre cells.

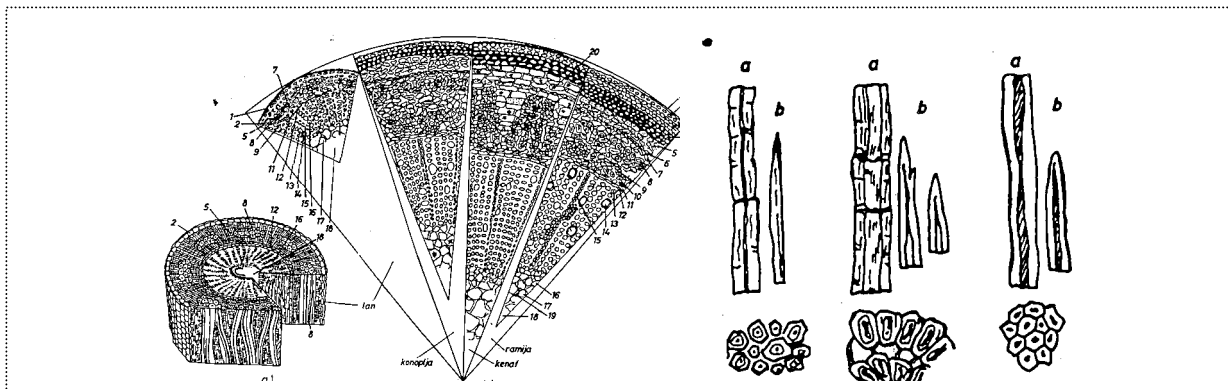


Fig. 5-16: The morphology of linen, hemp, kenaf and ramie stem and linen, hemp and jute ultimate fibres, respectively [56]



#### 5.6.4. Fibre Content of Grasses and Legumes in Stems and Leaves

The procedure for determining the fibre content of stems and leaves (percentage of fibres in the cross sections of stems and leaves) consists of several steps: First, the area of the irregular stem or leaf cross-section has to be determined. For a better recognition of fibre structures in the cross sections stems and leaves were *Cl-Zn-J* treated before being observed microscopically and analysed.

##### (1) Fibre Content in Stems

Due to the deviations of the stem cross-section forms from the regular geometrical forms the diameter was determined at several positions. After determining the stem diameter maximum and minimum (feretmin and feretmax) the software calculated the average area. In the same way the area of the lumen and fibre surfaces were calculated. The fibre content represents the ratio between the difference of the whole area and the lumen area and the fibre area. **Tab. 5-9** presents the results. One sees that all investigated grass species do have a high content of fibres in stems regardless the fibres origin: Ryegrass (39,5 %) > lucerne (34,5%) > trefoil (20,2%). Regarding wheat stems the fibre content could not be determined because wheat stemas have been heavily damaged during processing in the BIOREFINERY.

*Table 5-9: Fibre content in stems of different grass species.*

Grass species		Ryegrass ( <i>Lolium hybridum Gumpenstein</i> )	Trefoil ( <i>Trifolium pratense</i> )	Lucerne ( <i>Medicago sativa L.</i> )
Whole stem area	$\Psi\sigma m^2\beta$	4 542 047.41	1 901 115.14	540 298.66
Lumen area	$\Psi\sigma m^2\beta$	2 440 239.26	131 793.05	176 306.40
Stem area	$\Psi\sigma m^2\beta$	2.101 808.15	1 769 322.09	363 992.26
Fibre area	$\Psi\sigma m^2\beta$	829 884.45	357 378.51	125 341.47
<b>Fibre content</b>	<b><math>\Psi\% \beta</math></b>	<b>39.5 %</b>	<b>20.2 %</b>	<b>34.5 %</b>

##### (2) Fibre Content in Leaves

The procedure of determining the fibre content in grass *leaves* was very similar. However, microscopical photographs of the leaf cross-section were prepared and a part of the leaf was approximated by a rectangle, which dimensions were measured and the leaf area was calculated. Previously the leaves were treated in *ClZnJ* solution for better identification of fibre structures. In this marked leaf area the surface covered by fibre cells was measured. **Table 5-10** shows the results. One sees that with respect to the fibre content in leaves the differences between different grasses and legumes species is not relevant. Wheat (10%) > ryegrass and lucerne (about 7%). Regarding trefoil leaves the fibre content could not be determined because trefoils leaves were damaged, broken and torn after pressing in the BIOREFINERY. Furthermore, it was not possible to measure the whole leaves as they were heavily damaged due to the process of plant pressing in the BIOREFINERY.

*Table 5-10: Fibre content in leaves of different grass species.*

Grass species		Ryegrass ( <i>Lolium hybridum Gumpenstein</i> )	Lucerne ( <i>Medicago sativa L.</i> )	Wheat ( <i>Triticum aestivum L.</i> )
Leaf area	$\Psi\sigma m^2\beta$	661 388.31	80 695.60	401 629.82
Fibre area	$\Psi\sigma m^2\beta$	52 357.96	5 598.87	40 618.16
<b>Fibre content</b>	<b><math>\Psi\% \beta</math></b>	<b>7.9 %</b>	<b>6.9 %</b>	<b>10.1 %</b>

### 5.6.5. Geometrical and Mechanical Properties of Ultimate Technical Grass Fibres

Ultimate fibres and fibre bundles were isolated chemically and biologically from stems and leaves of the following 4 species of grasses and legumes, respectively:

- 4# Ryegrass (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN)
- 4# Wheat (*Triticum aestivum* L.)
- 4# Red clover (*Trifolium pratense*)
- 4# Lucerne (*Medicago sativa* L.)

For obtaining technical grass fibres (fibre bundles), stems and leaves were subjected to biological as well chemical retting process (cf. Tab. 5-4). Additionally, fibre bundles had to be separated mechanically (by hand), as shown in Fig. 5-6. The influence of these different retting processes (fibre isolation methods) on the properties of the obtained fibres was studied. The geometrical properties (e.g. fibre length) were determined on *microphotographs* using the *image analysis technique*.

Fig. 5-17 gives longitudinal views of the ultimate fibres isolated from the leaf of different species of grasses and legumes by applying different isolation methods (NaOH and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

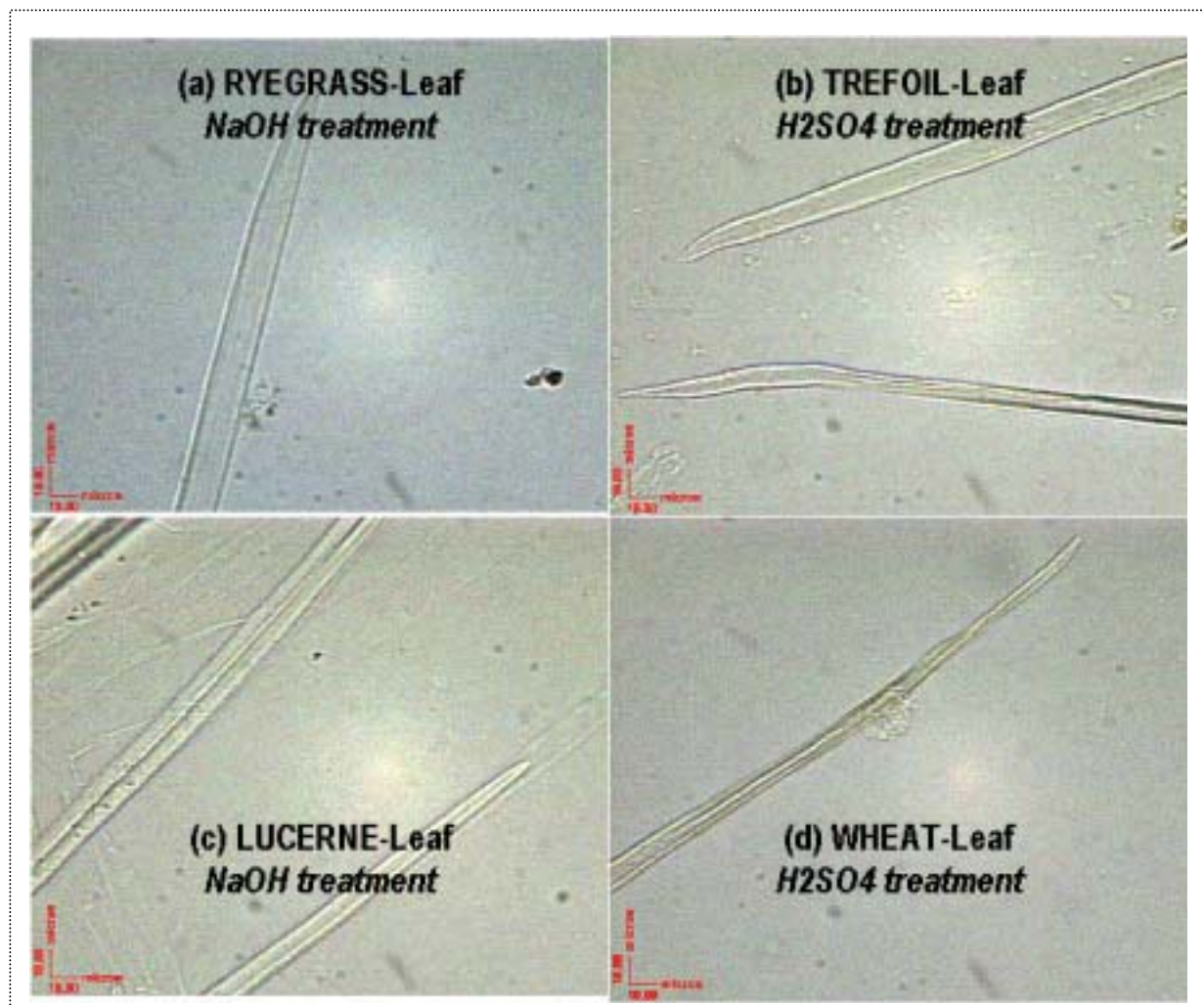


Fig. 5-17: Ultimate fibres isolated from the leaf of different species of grasses and legumes, respectively: (a) Ryegrass (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN), (b) Trifol / red clover (*Trifolium pratense*), (c) Lucerne (*Medicago sativa* L.), (d) Wheat (*Triticum aestivum* L.). Trifol and wheat fibres were isolated by H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> treatment, ryegrass and lucerne by NaOH treatment.

In the following Figures the influences of different processes on the obtained fibres is demonstrated:

- 4# è Fig. 5-18: Influence of *fibre isolation method* (NaOH vs H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) on the obtained fibres
- 4# è Fig. 5-19: Influence of the *ensiling process* (green vs. ensiled) on the obtained fibres
- 4# è Fig. 5-20: Influence of origin of the fibre within the plant (*stems vs leaves*)
- 4# è Fig. 5-21: NaOH method damages fibre surface
- 4# è Fig. 5-22: Comparison of longitudinal and transverse view of an enzyme retted technical grass fibre

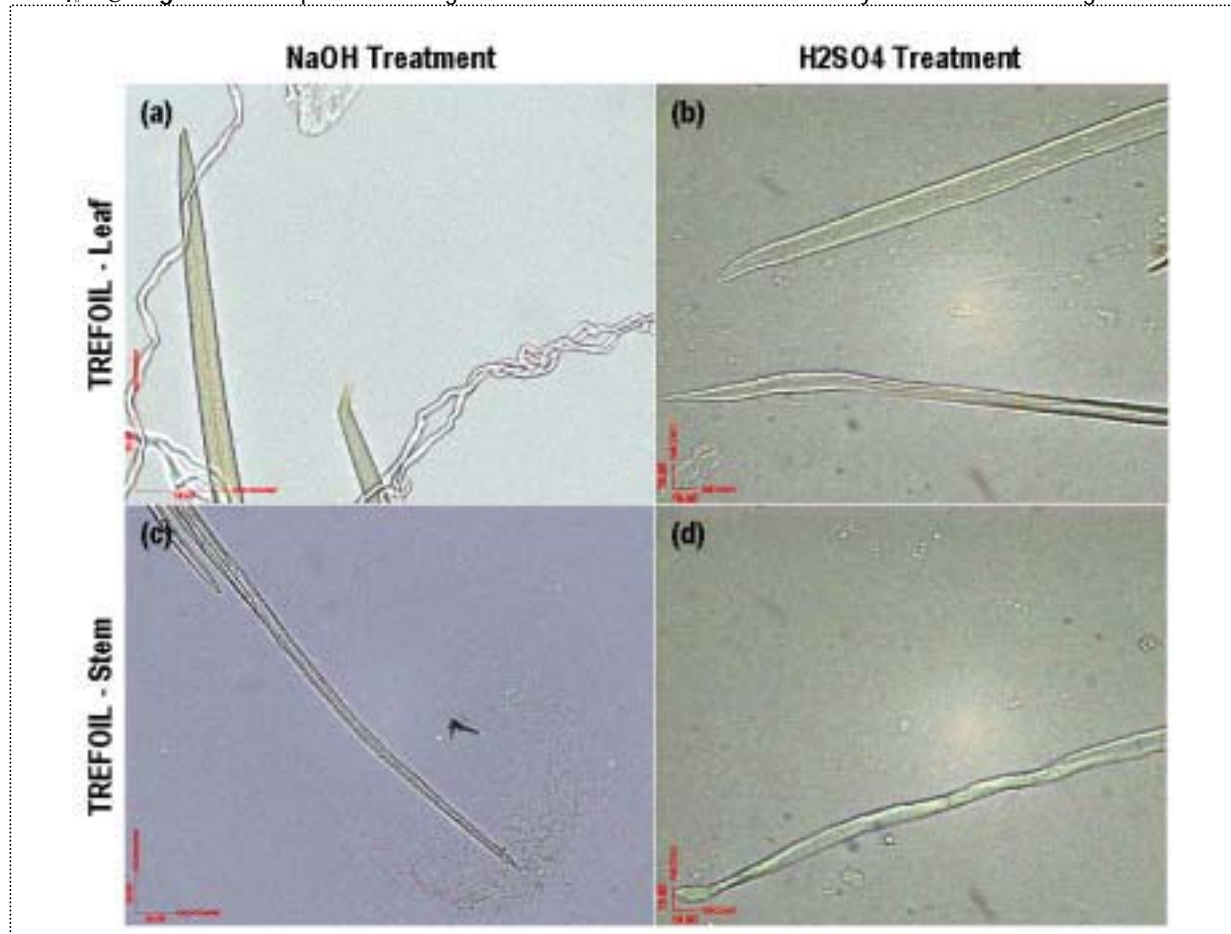


Fig. 5-18: Influence of fibre isolation method on the obtained fibres (NaOH vs H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-treatment).

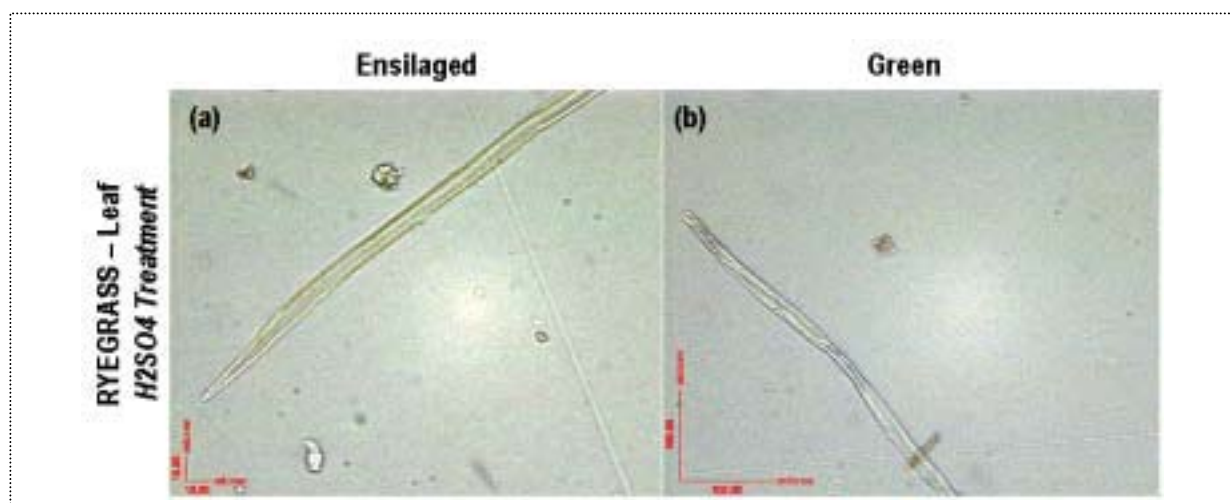


Fig. 5-19: Influence of the ensiling process on the obtained fibres (ensiled vs green).

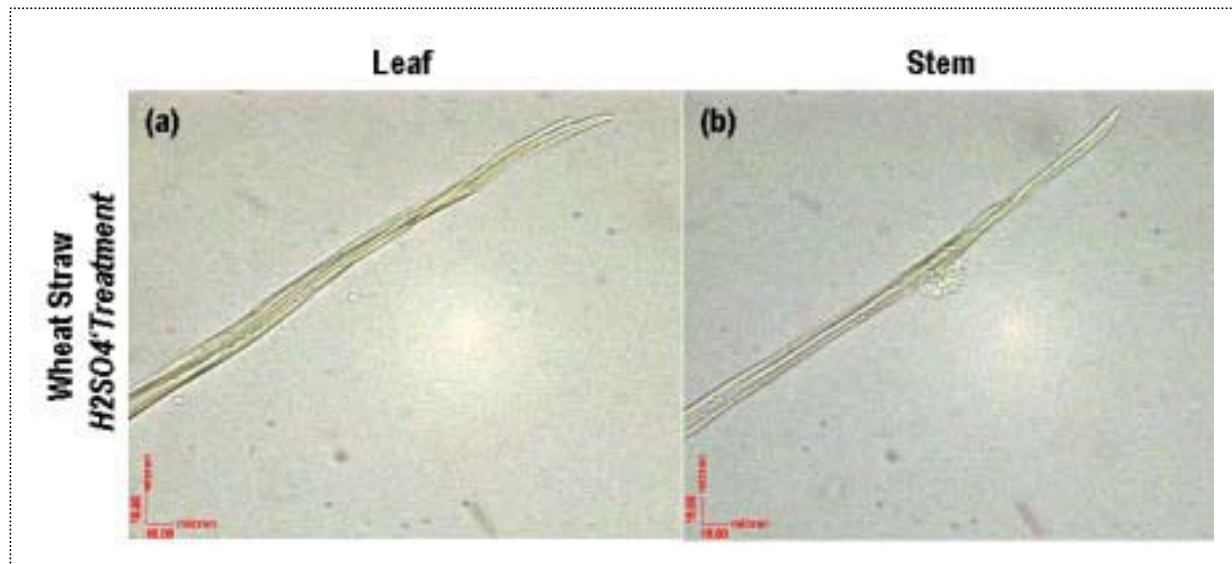


Fig. 5-20: Influence of origin of fibres within the plant on the obtained fibres (leaf vs stem).

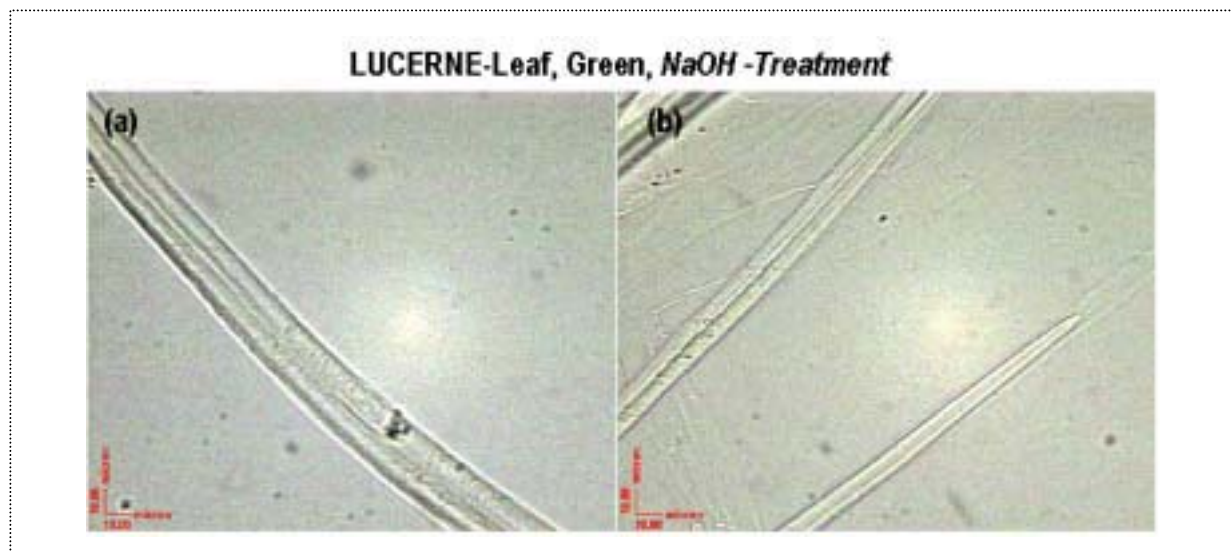


Fig. 5-21: Damage of the fibre surface due to NaOH isolation method.

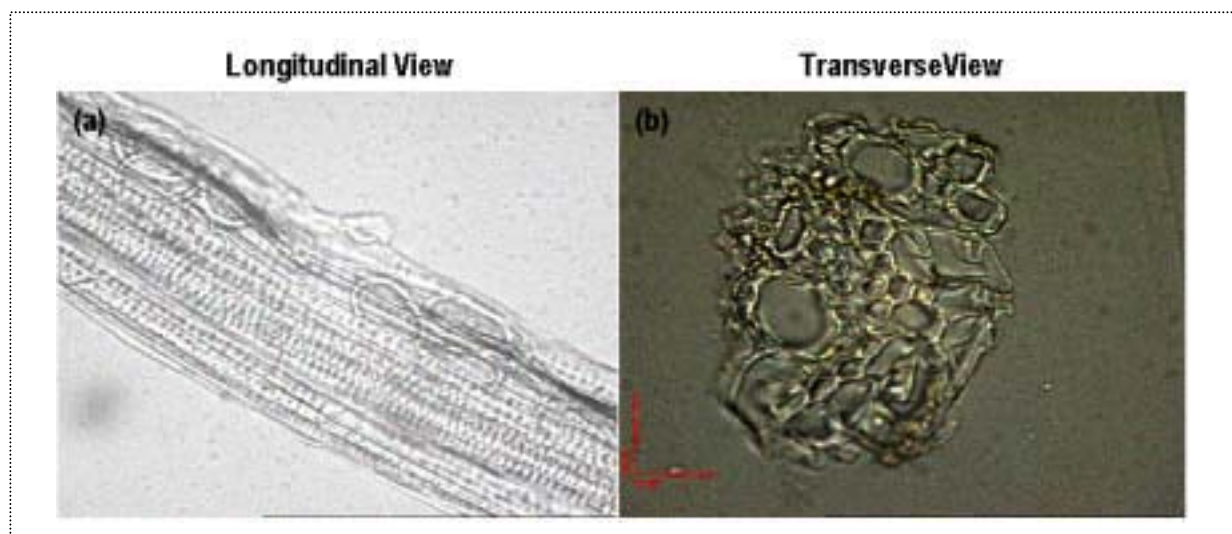


Fig. 5-22: Comparison of longitudinal and transverse view of an enzyme retted technical grass fibre. Tracheary elements can be observed.

Fig. 5-22 shows that the fibre bundles were mainly inhomogeneous and sclerenchyma cells were often accompanied by tracheary elements.

Fig. 5-23 gives an example of the strain-stress behaviour ( $\omega/\kappa$  behaviour) of technical fibres isolated from ryegrass leaves. The mechanical properties of the obtained fibres like linear density / fineness and  $\omega/\kappa$  curves are strongly oscillating, because of the unequal structure of the technical fibres due to the different number of fibre cells in the bundle and due to addition of strange structures like conductive cells.

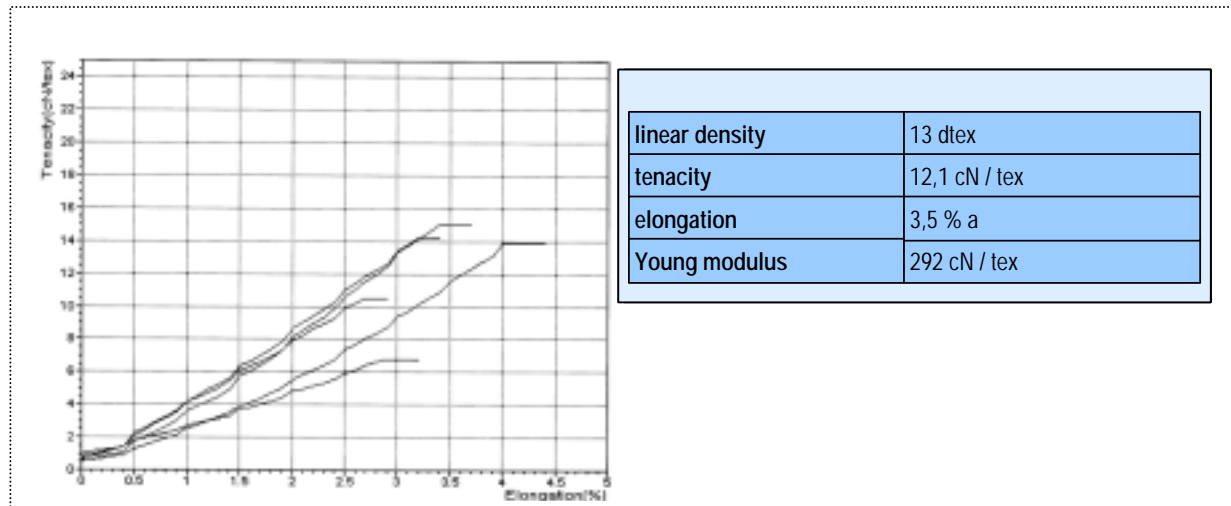


Fig. 5-23:  $\omega/\kappa$  curves of technical fibres isolated from Ryegrass leaves by enzymatical retting.

Table 5-11 collects mechanical properties of grass and legume fibre bundles of different histories:

- 4# green vs ensilaged,
- 4# pressed once or twice in a BIOREFINERY,
- 4# originating from leaves and stems
- 4# isolated by biological retting

The investigated technical fibres were tested on a dynamometer in a *wet* state, as it was impossible to test *dry* fibres due to their very high brittleness.

Roughly, there are no significant differences between ultimate fibres from different origin (i.e. grass vs legume species, stem vs leaf). Neither does the ensiling process negatively influence the fibre properties. However, the NaOH isolation process damages the fibre surface slightly as shown in Fig. 5-21.

- 4# Tenacity: Tab. 5-11 shows a slight tendency of higher tenacity of stem fibres, although an unique model can not be established due to the very strong variability of the samples. The found values for tenacity vary from 7.5 to 21 cN/tex. These values are comparable with the tensile strength some textile bast fibres (e.g. jute: 23-31 cN/tex; hemp: 29-47 cN/tex; coir: 15 cN/tex; cf. Table 5-2).
- 4# Elongation at Break: Tab. 5-11 shows that with respect to elongations at break the collected values are rather low, but higher than in the case of whole stems or leaves (cf. Tab. 5-6 & Tab. 5-7). The elongations are varying between 1.5 to 5.5 %. These values are also comparable with the elongation for some textile bast fibres (e.g. jute: 1,3-1,8%; hemp: 1,8 %; cf. Table 5-2).

**Table 5-11: Mechanical properties of grass and legume fibre bundles of different History: Green vs ensilaged, pressed once or twice in a BIOREFINERY, originating from leaves and stems, isolated by biological retting.**

No.	Grass species	green / ensilaged	1x/2x pressed	stem / leaf	Linear density	Tenacity	Elongation
					dtex	cN/tex	%
<b>(1) Red clover (<i>Trifolium pratense</i>)</b>							
1	Trefoil	green	1x	stem	105,0	20,1	3,0
2	Trefoil	green	1x	leaf	22,0	9,7	4,5
3	Trefoil	ensilaged	2x	stem	44,0	21,4	2,8
4	Trefoil	ensilaged	2x	leaf	20,0	6,8	2,8
<b>(2) Ryegrass (<i>Lolium hybridum</i> GUMPENSTEIN)</b>							
5	Ryegrass	green	1x	stem	52,0	11,4	1,3
6	Ryegrass	green	1x	leaf	15,0	12,9	4,0
7	Ryegrass	ensilaged	1x	stem	36,0	21,4	1,7
8	Ryegrass	ensilaged	1	leaf	13,0	12,1	3,5
<b>(3) Lucerne (<i>Medicago sativa</i> L.)</b>							
9	Lucerne	green	1x	stem	48,0	13,7	1,5
10	Lucerne	green	1x	leaf	31,0	7,5	5,7
11	Lucerne	green	2x	stem	65,0	13,3	2,1
12	Lucerne	green	2x	leaf	20,0	13,1	4,9
<b>(4) Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)</b>							
13	Wheat	green	1x	stem	46,0	9,1	4,6
14	Wheat	green	1x	stem	38,0	16,1	1,5
<b>(5) Bast Fibres</b>							
15	Jute			stem		23-31	1,3-1,8
16	Hemp			stem		29-47	1,8
17	Coir			stem		15,0	25-27

Table 5-12 summarizes all characteristic geometrical and mechanical properties of ultimate and technical grass fibres. The length of the elementary cells in grasses and legumes is between 0.5 and 3 mm, slightly shorter fibre cells are present in leaves when compared to the cells from stems. The diameter of the isolated cells is approximately 15 – 18  $\mu\text{m}$ .

**Table 5-12: Geometrical and mechanical properties of ultimate and technical grass fibres.**

No.	Property		Grass Species			
			Ryegrass ( <i>Lolium hybridum</i> GUMPENSTEIN)	Wheat grass ( <i>Triticum</i> <i>aestivum</i> L.)	Red Clover ( <i>Trifolium pratense</i> )	Lucerne ( <i>Medicago</i> <i>sativa</i> L.)
<b>(1) Fibre Content in Stem and Leaf</b>						
1	Fibre content in grass stem	%	39,5	no value	20,2	34,5
2	Fibre content in grass leaf	%	7,9	10,1	no value	6,9
<b>(2) Geometrical Properties</b>						
3	Length of the elementary fibres in grass stem	mm	900-1100	800-1300	2100-3200	1200
4	Length of the elementary fibres in grass leaf	mm	400-700	1300	600-1000	600-1300
5	Diameter of isolated cells	$\mu\text{m}$	15-18	15-18	15-18	15-18
<b>(3) Mechanical Properties</b>						
6	Linear density of the fibre bundles	dtex	12-100	37-45	20-105	19-65
7	Tenacity of the fibre bundles	cN/tex	6-21	9-17	6-21	7-14
8	Elongation of the fibre bundles	%	1-5	1-5	2-4,5	1-6

## 5.7. Summary and Conclusions

For any employment of grass fibres the *separation of fibres* from the rest of the plant is required. Chemical and biological retting, i.e., acidic, alkaline and enzymatic treatment enable the mechanical isolation of grass fibres. It is shown, that in comparison to the acid hydrolytic decomposition of the pectin structures the alkaline treatment causes some surface damages on isolated fibres, but enzyme treated fibres are of good quality. However, the mechanical separation of the fibre structures from the retted stems or leaves is possible only on *wet* plants due to the very high dry grass brittleness.

*Mechanical properties* of isolated grass fibre bundles are comparable to the properties of conventional textile bast fibres, although due to the very *low bending tenacity* and to the high exacting isolation process the utilization of grass is only reasonable in form of the whole stem of leaf for some technical application (e.g. insulation, nonwoven textiles, etc).

## 5.8. References

- ψ1β *Fechner, Manfred; Hertwig Frank (1994):  
 Papier aus Gras noch Zukunftsmusik; Neue Landwirtschaft 11(1994) 29-31*
- ψ2] *Girouard, Patrick; Samson, Roger (2000):  
 The potential role of perennial grasses in the pulp and paper industry;  
 Resource Efficient Agricultural Production – REAP-Research Report, Canada, 2000.*
- ψ3β *Girouard, Patrick; Samson, Roger (2000):  
 Perennial Grasses: A promising alternative for new Growth in the Pulp and Paper Industry;  
 Resource Efficient Agricultural Production – REAP-Research Report, Canada, 2000.*
- [4] *Kultaturve (2003):  
 ERIOTEX® Fabrics from cotton grass,  
 Webpage Kultaturve, <http://www.kultaturve.fi/index.htm>*
- ψ5β *Kultaturve (2003):  
 Novel fibres from the bog. ERIOTEX® fibre from cotton-grass (Eriophorum vaginatum);  
 Kultaturve; <http://www.kultaturve.fi/research.htm>*
- ψ6β *World Wide Wheat Weavers (2003)  
 Straw around the world;  
[www.geocities.com/nawwstrawart](http://www.geocities.com/nawwstrawart)*
- ψ7β *Ecotopia (2003)  
 Green fashion – From waste to useful product. Fabrics from cotton grass fibre,  
<http://www.ecotopia.be/yearbook/fashion.html>*
- ψ8β *Wheat straw as a paper Fibre Source (2003)  
<http://www.p2days.org/ref/04/03951.html>*
- ψ9β *Arctic Cotton Grass (2003)  
[www.zeuter.com/~tburden/atq/science/biology/life/plants/tracheo/spermops/](http://www.zeuter.com/~tburden/atq/science/biology/life/plants/tracheo/spermops/)*
- ψ10β *INARO (2003):  
 Nachwachsende Rohstoffe - Industriepflanzen,  
 Website INARO, <http://www.inaro.de/Deutsch/Rohstoff/Rohstinh.htm>, (2003)*
- ψ11β *Nova Institut (2003):  
 Nachwachsende Rohstoffe – Marktanalysen, Machbarkeitsstudien, Marketingkonzepte, Internationale  
 Beratung; Website nova-Institut <http://www.nova-institut.de/nr/nr.htm> (2003).*
- ψ12β *Ebskamp, Michel J.M. (2002):  
 Engineering flax and hemp for alternative to cotton; Trends in Biotechnology 20/6 (2002) 229-230*
- ψ13β *Garcia – Jaldon, D.; Dupeyre, D.; Vignon M.R. (1998):  
 Fibres from Semi-Retted Hemp Bundles by Steam Explosion Treatment;  
 Biomass and Bioenergy 14/3 (1998) 251-260*
- ψ14β *Herman, A.S; Nickel, J.; Riedel, U. (1998):  
 Construction materials based upon biologically renewable resources – from components to finished  
 parts; Polymer Degradation and Stability 59 (1998) 251-261*
- ψ15β *Sajjonkari – Pahkala, Katri (2001):  
 Non-wood plants as raw material for pulp and paper.*



*Dissertation, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki (2001)*

ψ16β *Robinson, Rowan (1996):*

***The great book of Hemp***; Park street Press, Vermont (1996)

ψ17β *Fisher G. (1994):*

***Natural fibres; first choice for technical applications***;  
*Technical Textiles International, Vol. 3 (1994) p.24-27*

ψ18β *Sfiligoj-Smole, Majda; Korosec, Damjan (2001):*

***Alternative insulation made of natural fibres***.  
*Proceedings of the 1st Autex conference, 26th to 29th June, 2001, Povo de Varzim, Portugal. Vol. 1, Tecnitex 2001 : designing textiles for technical applications.*

ψ19β *DLG (1982):*

***Futterwerttabellen für Wiederkäuer***; erarbeitet von der Dokumentationsstelle der Universität Hohenheim,  
DLG Verlag, Frankfurt am Main (1982)

ψ20β *Pazourek, Jaroslav; Votrubova, Olga (1997):*

***Atlas of Plant Anatomy***, Peres Publishers, Prague (1997)

ψ21β *Lange, R.H.M.; Hill, G.D. (1991):*

***Agricultural Plants***, Cambridge University Press, Cambridge, New York (1991)

ψ22β *Gogala, N. (1995):*

***Iz življenja rastlin [Plants]***  
1.izdaja, DZS, Ljubljana (1995)

ψ23β *Struik, P.C.; Amaducci, S.; Bullard, M.J.; Stutterheim, N.C.; Venturi, G.; Cromack H.T.H. (2000):*

***Agronomy of Fibre Hemp in Europe***, *Industrial Crops and Products 11 (2000) 107-118*

ψ24β *DiCandilo, M.; P.Ranalli, C.Bozzi, B.Focher, G.Mastromei (2000):*

***Preliminary results of tests facing with the controlled retting of hemp***;  
*Industrial Crops and Products 11 (2000) 197- 203*

ψ25β *Haudek, Heinz Werner, Viti, Erna (1978):*

***Textil Fasern***, Verlag Johann L.Bondi& Sohn, Wien (1978)

ψ26β *Hanf, C.H.; Drescher, K. (1996):*

***Hanf***; Universität Kiel; Landwirtschaftsverlag Münster (1996)

ψ27β *Lewin, M.; Pearce, E.M. (1998):*

***Handbook of Fiber Chemistry***; Marcel Dekker; New York (1998)

ψ28β *Mukhopadhyay, S.K. (1992):*

***Advances in Fibre Science***; Textile Institute, Manchester (1992)

ψ29β *Lewin, M.; Sello, B. S. (1983):*

***Handbook of Fibre Science and technology, Volume I***, Marcel Dekker, New York Basel

ψ30β *Lewin, M.; Sello, B. S. (1984):*

***Handbook of Fibre Science and technology, Volume II***, Marcel Dekker, New York Basel

ψ31β *Bobeth, Wolfgang (1993):*

***Textile Faserstoffe***, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1993)

ψ32β *Gordon Cook. J. (1993):*

- Handbook of Textile fibres, Natural Fibres, Merrow Publishing, Durham (1993)*
- ψ33β Horrocks, A.R.; Anand, S.C. (2000):  
*Handbook of Technical Textiles, The Textile Institute, Cambridge (2000)*
- ψ34β Holmes, William: *Grass (1989):*  
*Grass -Its Production and Utilization,*  
*The British Grassland Society, Blackwell Scientific Publications, Oxford, London Edinburgh (1989)*
- ψ35β Petersen Asmus (1981):  
*Die Gräser als Kulturpflanzen und Unkräuter auf Wiese, Weide und Acker,*  
*Akademie Verlag Berlin (1981)*
- ψ36β Moser, L.E., Buxton, D.R., Casler, M.D. (1996):  
*Cool-Season Forage Grasses, American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin USA Publishers*  
*Madison (1996)*
- ψ37β Watson, Leslie; Dallwitz, J. Michael (1992):  
*The Grass Genera of the World; CAB International, Wallingford , Oxon UK (1992)*
- ψ38β Fahey, George C. Jr. (1994):  
*Forage Quality, Evaluation and Utilization, American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin USA*  
*Publishers Madison (1994)*
- ψ39β Hanson, A.A., Barnes, D.K., Hill, R.R. (1988):  
*Alfalfa and Alfalfa Improvement; American Society of Agronomy, Inc, Madison, Wisconsin USA Publishers*  
*Madison (1988)*
- ψ40β Klapp, Ernst (1957):  
*Taschenbuch der Gräser; Paul Parey , Berlin, Hamburg (1957)*
- ψ41β Krässig, H.A. (1992):  
*Cellulose, Gordon and Breach Science Publishers, Switzerland, USA (1992)*
- ψ42β Greaves, P.H., Saville, B.P. (1995):  
*Microscopy of Textile Fibres, Bios Scientific Publishers Limited, Oxford, (1995)*
- [43] The Textile Institute (1985):  
*Identification of Textile Materials, The Textile Institute, (1985)*
- ψ44β Inoue, S. (1986):  
*Video Microscopy, Plenum Press NY 1986*
- ψ45β Russ, J. C. (1995):  
*The Image Processing Handbook, Second Edition, CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London-Tokyo,*  
*1995*
- ψ46β Smolej, V. (1995):  
*Image Processing and Quantification, Procedures in Electron Microscopy, J. Willson, Academic press,*  
*1995, Module 12.*
- ψ47β Döcke, W. (1977):  
*Prüfen von Textilien, VEB Fachbuchverlag, Leipzig (1977)*
- ψ48β Latzke, P.M., Hesse, R. (1974):  
*Textilien, Prüfen, Untersuchen, Auswerten; Schiele & Sohn; Berlin (1974)*

- ψ49β Happey, F. (1978):  
**Applied Fibre Science**, Academic Press, London, New York, San Francisco (1978)
- ψ50β Mitchell, John (1987):  
**Applied Polymer Analysis and Characterization**, Hanser Publishers, Munich, Vienna, New York (1987)
- ψ51β ISO 5079 (1995):  
**Textile fibres – Determination of breaking force and elongation at break of individual fibres**
- ψ52β ISO 1973 (1976):  
**Determination of linear density – gravimetric method**
- ψ53β ISO – 139 (1973):  
**Textiles – Standard atmospheres for conditioning and testing**
- ψ54β Slater, K. (1993):  
**Chemical Testing and Analysis**, Textile Progress, 25, ½ (1993)
- ψ55β Collier, B.J.; Collier, J.R.; Petrovan, S.; Dever, M.; Li, Z.; Ling Wei. X. (2002):  
**Rheology of lyocell solutions from different cellulose sources**, Polymer Fibres 2002, Manchester 10 – 12 July (2002)
- ψ56β Jovanovic, R.S. (1989):  
**Cellulose Native and Chemical Fibres (Celulozna prirodna i hemijska vlakna)**, Građevinska knjiga, Beograd (1989)
- [57] Soyes, Konrad; Kamm, Birgit; Kamm, Michael (Hsgr) (1998):  
**Die Grüne Bioraffinerie**,  
Beiträge zur Ökologischen Technologie – Band 5, Verlag Gesellschaft für ökologische Technologie und Systemanalyse e.V., Berlin, ISBN: 3-929672-06-5, (= Erweiterte Tagungsmaterialien des 1. Symposiums „Grüne Bioraffinerie“, Brandenburgisches Umweltforschungszentrum Neuruppin, 8.-9-10.1997
- [58] Narodoslowsky, 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.
- [59] Wachter, Bruno; Mandl, Michael; Berghold, Hans; Reinhofer, Marion; Stuhlbacher, Arnold; 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.
- [60] Wachter, Bruno; Mandl, Michael (08/2002):  
**Grüne Bioraffinerie – Verwertung der Grasfaserfraktion**;  
Zwischenbericht 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, 8.8.2002.



## 6. MAHL- UND ÖFFNUNGSVERSUCHE FÜR GRASFASERN

AUTOREN: **DI BETTINA MIHALYI, DR. ANDREAS BARTL UND O.UNIV.-PROF. DR. INGO MARINI**  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN, INSTITUT FÜR VERFAHRENSTECHNIK,  
UMWELTECHNIK UND TECHNISCHE BIOWISSENSCHAFTEN  
A-1060 WIEN, GETREIDEMARKT 9/166, [WWW.VT.TUWIEN.AC.AT](http://WWW.VT.TUWIEN.AC.AT)

### 6.1. Einleitung

Eine innovative Möglichkeit zur alternativen Verwertung der im zunehmenden Ausmaß von der Landwirtschaft nicht mehr für traditionelle Zwecke benötigten Grünlandbiomasse (Viehfütterung, Milchwirtschaft) bietet das Technologiekonzept einer sogenannten GRÜNEN BIORAFFINERIE. Die Grundidee dabei ist die, dass in Analogie zu einer *Erdölraffinerie* der Rohstoff „Grünlandbiomasse“ (z.B. Gras, Klee, Luzerne etc.) in einer einzigen Verarbeitungsanlage möglichst vollständig (Ganzpflanzennutzung) und ohne Anfall von Abfällen (zero-waste) in eine Vielzahl verkaufbarer Produktgruppen weiterverarbeitet wird. Ein wesentlicher Verfahrensschritt in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE ist jener der *mechanischen Fraktionierung* der primären Rohstoffe (z.B. Gras oder Grassilage) in eine *flüssige* Fraktion (Presssaft) und in eine *feste* Fraktion (Presskuchen). Der Presssaft enthält wasserlösliche Wertstoffe (z.B. Milchsäure und Aminosäuren), der Presskuchen besteht zum überwiegenden Teil aus Grasfasern unterschiedlichster Größe.

Angesichts der Tatsache, dass die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Faserfraktion mengenmäßig den größten Stoffstrom darstellt, wird die Gesamtwirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE wesentlich vom entsprechenden Beitrag der Faserfraktion bestimmt. Es ist also essentiell, für diese Faserfraktion Verwertungsmöglichkeiten mit möglichst hohem Wertschöpfungsniveau zu identifizieren. Eine denkbare derartige Verwertungsmöglichkeit besteht darin, die Faserfraktion – nach geeigneter Aufbereitung – als Rohstoff in der Bauindustrie bzw. für diverse Baustoffprodukte einzusetzen.

### 6.2. Zielsetzung und Methodik

Naturfasern sind im Vergleich zu Kunstfasern (man-made fibers) sehr unregelmäßig, sowohl hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften als auch hinsichtlich ihrer Längen- und Dickenverteilung.

Ziel der in diesem Kapitel beschriebenen und am *Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften der Technischen Universität Wien (Univ.-Prof. Dr. Ingo Marini, DI Bettina Mihalyi und Dr. Andreas Bartl)* durchgeführten Arbeiten war es, verschiedene Grasfaserproben so aufzubereiten, dass diese zu neuen Produkten weiter verarbeitet werden können. Im einzelnen wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

#### 4# (1) *Mahlversuche für diverse Grasfaserrohstoffe*

Es erfolgt eine Homogenisierung des Rohmaterials mittels *trockener* Mahlprozesse. Durch Variation der Mühlenparameter kann die Längen- und Dickenverteilung der Fasern beeinflusst werden, um das Material für eine bestimmte Anwendung zu optimieren.

#### 4# (2) *Mechanische Öffnungsversuche für diverse Grasfaserrohstoffe*

Es wurden auf einer industriellen Ballenöffner- bzw. Kardenanlage Grundlagenversuche zur mechanischen Öffnung diverser Grasfaserproben durchgeführt.

### 6.3. Mahlversuche für verschiedene Grasfaserrohstoffe

#### 6.3.1. Grundlagen

Um natürliche Fasermaterialien in technische Produkte mit konstanter Qualität einarbeiten zu können, müssen sie vorher homogenisiert werden. Bei der Erzeugung von Kurzfasern wird das Ausgangsmaterial einer Trockenmahlung unterzogen, welche mit unterschiedlichen Mahlaggregaten ausgestattet sein können. Durch geeignete Wahl des Mahlaggregates kann der gewünschte Zerkleinerungseffekt beeinflusst werden..

- 4# Längenreduktion (Faserschnitt) und
- 4# Durchmesserreduktion (Fibrillation).

Am Markt sind eine Vielzahl von Mühlen erhältlich, die sich hinsichtlich der bei der Zerkleinerung wirkenden Kräfte voneinander unterscheiden (s. **Abb. 6-1**), wobei für das Mahlen von Fasern vor allem folgende Mahlaggregate zum Einsatz kommen:

- 4# Schneidmühlen
- 4# Prall- und Hammermühlen

spröde				nicht spröde		
hart	mittelhart	weich trocken	weich feucht	plastisch	visko-elastisch	gummi-elastisch
Backenbrecher						
Rundbrecher						
Strahlmühlen						
Schwingmühlen (trocken und naß)						
Rührwerksmühlen (naß)						
Kugelmühlen (trocken und naß)						
Stabmühlen (trocken und naß)						
Prall und Hammerbrecher						
Prall- und Hammermühlen						
Wälzmühlen						
Walzenmühlen (trocken und naß)						
Walzenbrecher						
Schneidmühlen						

**Abb. 6-1:** Einteilung der Mühlen nach der Materialeigenschaft des Aufgabeguts.

#### Schneidmühlen

Schneidmühlen kann man grundsätzlich in Strangschneidmühlen und Haufwerksschneidmühlen einteilen. Der Unterschied besteht vor allem in der Art der Aufgabegut-Zuführung.

- 4# Strangschneidmühlen (Guillotine-Schnitt, Guillotine-Flock): Aufgabegut sind Endlos-Filamente, der Prozess wird auch als *Guillotine-Schnitt* bezeichnet, das Produkt als *Guillotine-Flock*. Die Schnittlänge des Mahlgutes ergibt sich aus der einstellbaren Vorschubgeschwindigkeit sowie der Schnittfrequenz.
- 4# Haufwerksschneidmühlen (Schneidmahlung, Mahl-Flock): Aufgabegut sind Stapelfasern (bzw. Fasern mit unterschiedlicher Ausgangslänge), der Prozess wird auch als *Schneidmahlung* bezeichnet, das Produkt auch als *Mahl-Flock*. Die geometrischen Abmessungen der Einzelindividuen des Mahlgutes werden von den Parametern Siebweite, Luftstrom, Schnittfrequenz etc. bestimmt.

Beide Systeme haben einen mit Messern besetzten Rotor sowie im Gehäuse gelagerte Festmesser (Stator) [Stieß 1997]. Betrachtet man die Längenverteilungen der Mahlprodukte beider Systeme, so ist diese bei Haufwerksschneidmühlen breit streuend, bei der Strangschneidmühle dagegen ergibt sich eine sehr scharf definierte Schnittlänge [Höfft 1985].

Für die Herstellung von „Flock“ aus Naturfasern kommt nur die Schneidmahlung in Frage, da die Natur mit Ausnahme der Seide keine Endlosfilamente liefert. Außerdem ist die Ausgangslänge bei diesen Fasern meist zu kurz und auch die Längenverteilung äußerst inhomogen.

### Prall- und Hammermühlen

Abb. 6-2 zeigt das Prinzip einer Pralltellermühle sowie einer Zahnscheibenmühle.

#### Pralltellermühle

- 4# Fächerschlägerwerk mit 8 Schlägern
- 4# Prallrippenmahlbahn mit Siebrost und Sieb (0,5 – 3,0 mm)
- 4# Prallflächenmahlbahn mit Austrittsspalt
- 4# Kombinierte Prall- Reib- und Scherbeanspruchung
- 4# Geeignet für:
  - weiche und mittelharte spröde Stoffe,
  - faserige und feuchte Stoffe,
  - wärmeempfindliche Thermoplaste

#### Zahnscheibenmühle

- 4# Rotierende und Feststehende Zahnscheibe
- 4# Hinsichtlich Gutbeanspruchung zwischen Prall- und Schneidmühlen
- 4# Intensive Scher- und Schneidbeanspruchung
- 4# Zum Zerkleinern und Aufschließen von
  - organischen Produkten (Holz, Papier,
  - Zellulose, Lumpen; Leder- und
  - Gummiabfällen, Kork, Knochen, ...)

Auch bei diesen Mühlen wird das Mahlgut mit einem Luftstrom ausgetragen und in einem Schwerkraftabscheider abgetrennt. Durch die höhere Scherbeanspruchung des Mahlgutes eignen sich diese Mühlen vor allem zur Reduktion bzw. Homogenisierung des Faserdurchmessers von Naturfasern.

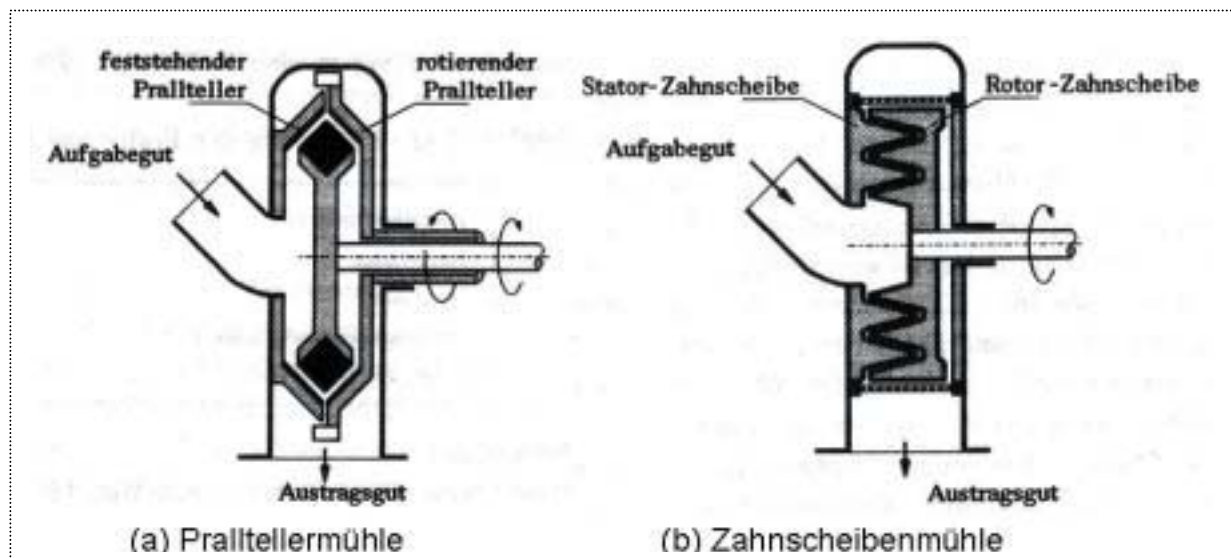


Abb. 6-2: Prinzip einer Pralltellermühle sowie einer Zahnscheibenmühle [Stieß, 1997].

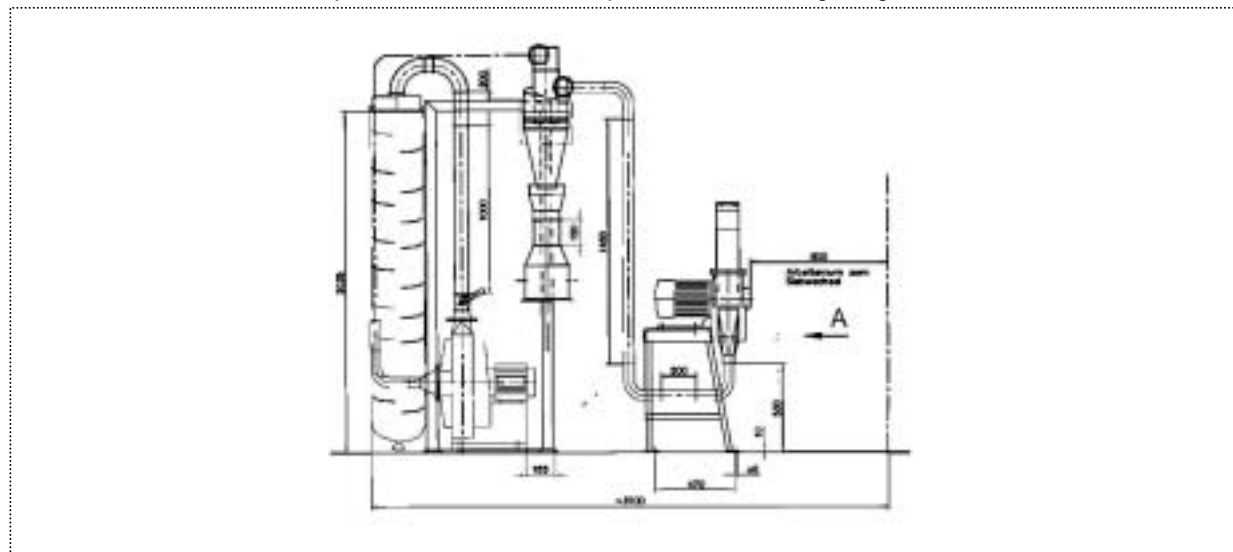
### 6.3.2. Verwendete Geräte

#### (1) Schneidmühle „Rotoplex 20/12 RO“ der Fa. Alpine-Hosokawa (Augsburg)

Für die Mahlversuche mit diversen Grasfaserproben wurde eine Schneidmühlanlage der Type *Rotoplex 20/12 RO* der Fa. *Alpine-Hosokawa (Augsburg)* verwendet (s. **Abb. 6-3 & Abb. 6-4**). Bei dieser Schneidmühle sind grundsätzlich zwei unterschiedliche Typen von *Siebeinlagen* einsetzbar: Lochsieb und Riffeltrapezsieb (jeweils in verschiedenen Lochgrößen). Die Abtrennung des Fasermaterials aus dem Luftstrom erfolgt in einem Zyklon. Eine Modifikation des Zyklons könnte zur Klassierung des Mahlgutes dienen. Die Abluft wird über das Gebläse in den Filtersack geleitet.



**Abb. 6-3:** Schneidmühle „Rotoplex 20/12 RO“ der Fa. Alpine Hosokawa (Augsburg).



**Abb. 6-4:** Prinzipskizze der für die Mahlversuche verwendeten Schneidmühlanlage (Längenangaben in mm).

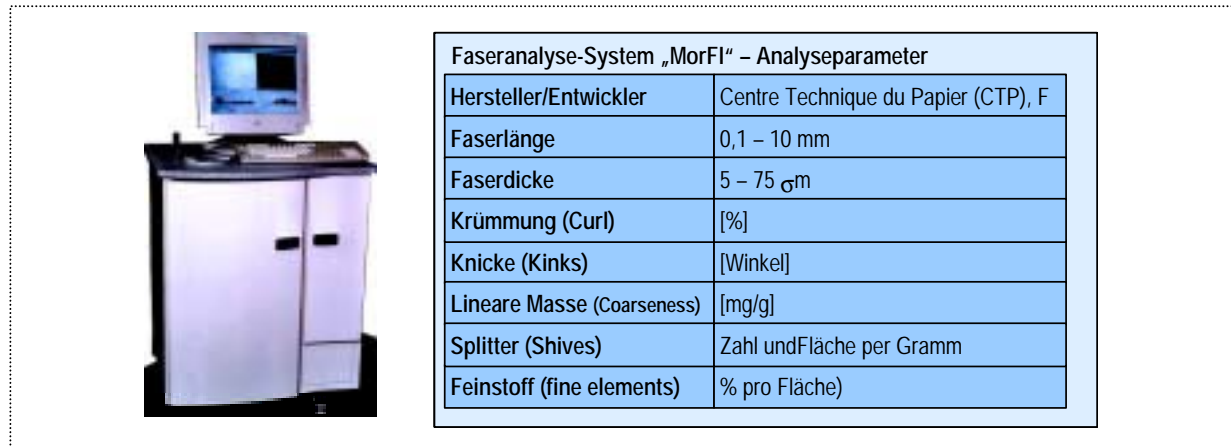
#### (2) Labor- Feinprallmühle „100 UPZ II“ der Fa. Alpine (Augsburg)

Für die Mahlversuche mit diversen Grasfaserproben wurde eine Prallmühle der Type „100 UPZ“ der Fa. Alpine eingesetzt.

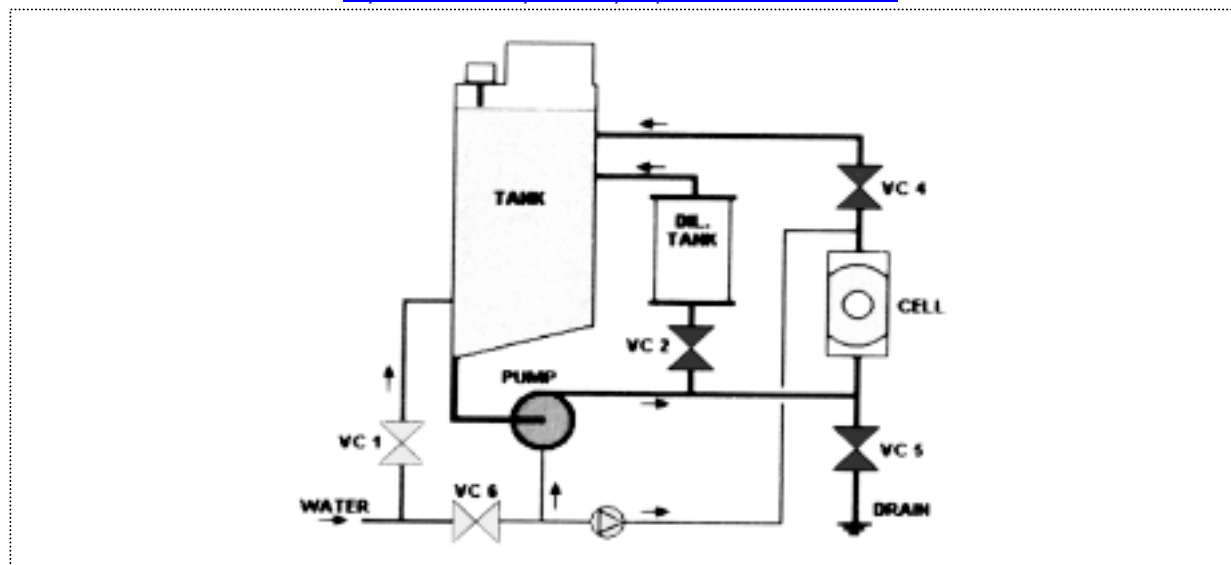


### (3) Fasereranalyse-System „MorFi“; Centre Technique du Papier (CTP)

Für die Charakterisierung des im Zuge der Mahlversuche mit unterschiedlichen Mühlen erhaltenen Mahlguts wurde das sogenannte „MorFi Faseranalysegerät“ eingesetzt, ein Messsystem, das vom Centre Technique du Papier (CTP, Frankreich) für den Papier- und Zellstoffbereich entwickelt wurde (s. **Abb. 6-5** & **Abb. 6-6**). Mit diesem Analysensystem lassen sich beispielsweise die morphologischen Eigenschaften der Fasern, der Faserbündel, der Splitter und der Feinelemente im Zellstoff ermitteln.



**Abb. 6-5:** Faseranalysegerät „MorFi“ des Centre Technique du Papier (CTP), France und mit Hilfe dieses Geräts messbare Parameter. <http://www.webctp.com/ctp/fr/ps/caracterisation.html>



**Abb. 6-6:** Funktionsprinzip des Faseranalysegeräts „MorFi“.

Das Prinzip dieses Faseranalyse-Systems besteht darin, dass Bilder einer, die *Faserpartikel enthaltenden, fließenden Suspension* mittels einer hochauflösenden CCD Kamera aufgezeichnet und unter Verwendung einer speziellen *Bildverarbeitungssoftware* ausgewertet werden. Mit Hilfe dieses Geräts lassen sich Parameter wie Faserlänge, Faserdicke, Krümmung der Fasern, Knicke, lineare Masse, Splitter und der Feinstoffanteil bestimmen (s. **Abb. 6-5**). Die Längen der Einzelfasern werden durch Abtastung jedes einzelnen Segmentpfades nach dem Skelettierungsprozess berechnet. Die Breitenberechnung erfolgt gleichzeitig mit der Längenberechnung und stellt einen Durchschnittswert über die gesamte Länge der Einzelfaser dar, weil sie für jeden Skelettpunkt (alle 10  $\mu\text{m}$ ) berechnet wird. Für die Faserlänge und die Faserdicke können 10 Klassen angegeben werden, die Krümmung und die Knicke werden in maximal 5 Klassen unterteilt.

Probenvorbereitung:

Die eingewogenen Grasfaserproben wurden über Nacht in Wasser eingeweicht, mit einem *Standard Aufschlagegerät* (Propellerrührer in einem Gefäß mit Einbauten) der Firma PTI (Paper Testing Instruments, [www.ptiaustria.com](http://www.ptiaustria.com)) 30.000 Umdrehungen lang bei 3.000 U/min suspendiert und anschließend sofort in das Analysengerät übergeführt.

**6.3.3. Mahlversuche mit Schneidmühle**

(1) Grasfaserrohstoffe

Tab. 6-1 gibt einen Überblick über die für die Mahlversuche in der Schneidmühle verwendeten Grasfaserrohstoffe.

Tab. 6-1: Grasfaserrohstoffe für Mahlversuche mittels einer Schneidmühle der Type „Rotoplex 20/12 RO“.

Nr	Grasart	Schnitt	grün od. siliert	1x/2x gepresst	Schnitt-datum	Abpress-datum	Sonstiges	Namenskürzel
1	Kleegras, grün Mischung*)	2. Schnitt	grün	1x	21.06.01	21.06.01		KLG-2S-G-PK1
2	Kleegras, siliert Mischung*)	1. Schnitt	siliert	1x	17.05.01	10.07.01		KLG-1S-S-PK1
3	Grasprobe "2B-AG**)	?	?	?	?	?	Vorgeschichte unklar	2B-AG

\*)Kleegras=Mischung aus 20% Bastard Raygras (Lolium hybridum GUMPENSTEIN), 20% Englisches Raygras (Lolium perenne), 20% Knaulgras (Dactylis glomerata), 10% pratense), 10% Timothe (Phleum pratensis), 10% Weissklee (Trifolium repens) und 10% Wiesenschwingel (Festuca pratensis).  
 \*\*)Grasprobe der Firma "2B-AG (CH-8600 Dübendorf)", [www.2bio.ch](http://www.2bio.ch)

(2) Versuchsdurchführung

- 4# Die beiden Kleegrasproben (grün + siliert) wurden zunächst mit der Schneidmühle „20/12 RO“ geschnitten. Das entstandene Mahlgut wurde über den Zyklon aus dem Luftstrom abgetrennt und anschließend im „MorFi Faseranalysator“ hinsichtlich Faserlänge und Faserdurchmesser analysiert.
- 4# Die dritte Grasprobe („2B-AG“) wurde jedoch *nicht* mit der Schneidmühle geschnitten, sondern im Anlieferungszustand im „MorFi Faseranalysator“ untersucht.

(3) Versuchsergebnisse

Abb. 6-7 gibt einen Vergleich der gemessenen Faserlängen- und Faserdickenverteilung für die zwei mittels einer Schneidmühle der Type „Rotoplex 20/12 RO“ gemahlene Kleegrasproben (grün und siliert) sowie für die ungemahlene Grasprobe „2B-AG“.

(3.1) Faserlängenverteilung

Aus Abb. 6-7 sieht man, dass generell die *Faserlänge* bei allen 3 untersuchten Proben sehr gering ist (größtenteils unter 0,5 mm). Zwischen den beiden Kleegrasproben (grün und siliert) sind keine signifikanten Unterschiede erkennbar. Die Grasprobe „2B-AG“ ist nur geringfügig länger. So beträgt der prozentuelle Anteil der Fasern im Längenbereich Länge 0,1- 0,2 mm

- 4# „Kleegras, grün“ 62%
- 4# „Kleegras, siliert“ 69%
- 4# Grasprobe „2B-AG“ 54%

Zur Grasprobe „2B-AG“ muss angemerkt werden, dass deren Vorgeschichte leider unbekannt ist. Möglicherweise wurden dieser Fasern keiner Abpressung unterzogen, wie dies bei den beiden Kleegrasproben der Fall ist.

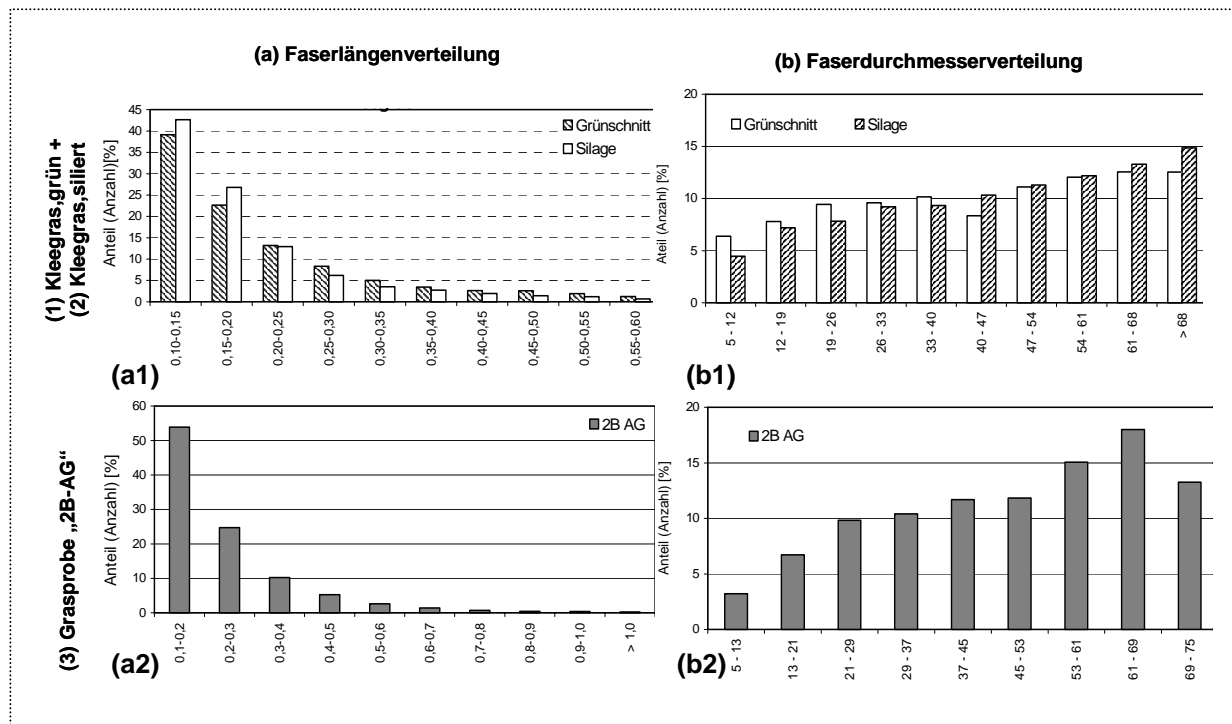


Abb. 6-7: Faserlängen- und Faserdurchmesserverteilung für zwei mittels einer Schneidmühle der Type „Rotoplex 20/12 RO“ gemahlene Klee grasproben (grün und siliert) sowie für die ungemahlene Grasprobe „2B-AG“.

### (3.2) Faserdurchmesserverteilung

Aus Abb. 6-7 erkennt man, dass der Faserdurchmesser aller 3 untersuchten Grasfaserproben jeweils eine sehr breite Verteilung aufweist. Zwischen den beiden Klee grasproben (grün und siliert) sind wiederum keine signifikanten Unterschiede erkennbar. Für die beiden Klee grasproben beträgt im obersten Durchmesserbereich (> 68 μm) der Anteil der entsprechenden Fasern etwa 15%, was sehr hoch ist. Hinsichtlich der Grasprobe der „2B-AG“ scheint es, dass deren Durchmesser etwas weniger breit gestreut ist. Dies müsste allerdings in weiteren Versuchen bestätigt werden.

### (3.3) Diskussion der Ergebnisse

An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass die obigen Ergebnisse hinsichtlich der Faserdurchmesser- und Faserlängenverteilung von gemahlene Grasfasern mit Vorbehalt zu betrachten sind:

- 4# Bedingt durch die Funktionsweise des *MorFi-Faseranalysegeräts* (Faserpartikel in einer fließenden Suspension, CCD-Kamera, Bildverarbeitungssoftware) kommt es im Zuge des Analyseprozesses zu einer Quellung der Faserpartikel, wodurch dickere Fasern vorgetäuscht werden als im trockenen Zustand tatsächlich vorhanden sind. Dieses Quellverhalten kann bei den einzelnen Faserproben durchaus unterschiedlich sein, sodass im trockenen Zustand möglicherweise deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Faserproben hinsichtlich der Durchmesser- und Faserlängenverteilung existieren könnten. Um dies eingehender zu untersuchen, könnten noch Quellwertbestimmungen durchgeführt werden.
- 4# Weiters zeigten Versuche mit dem *MorFi-Faseranalysegerät*, dass dieses Gerät aufgrund der Morphologie der Faserproben Faserpartikel mit einem Durchmesser von > 75 μm *nicht* als Faser identifizieren kann, obwohl in den untersuchten Proben der Anteil der Faserpartikel mit einem Durchmesser > 75 μm beträchtlich gewesen sein dürfte.

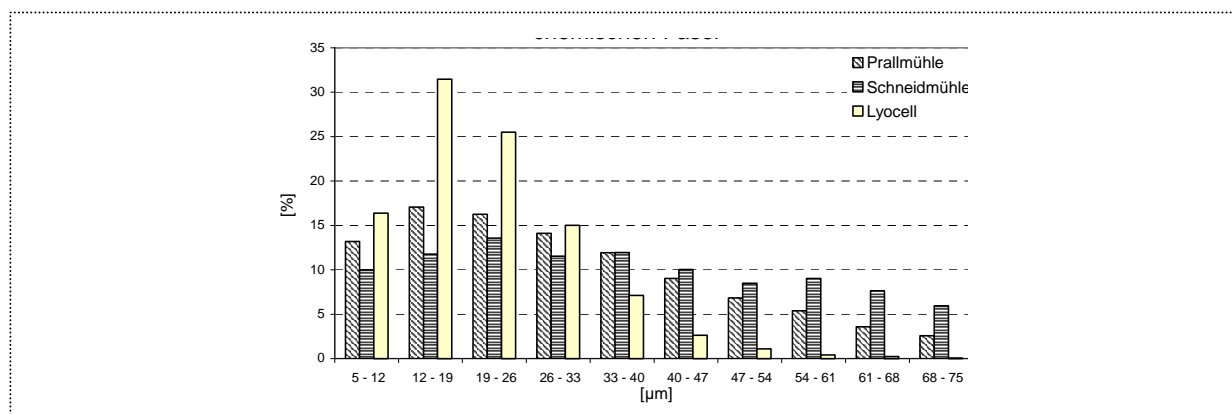
- 4# Auch hinsichtlich der Faserlängen dürften alle Partikel, deren Länge  $< 0,1$  mm war, nicht als Faser identifiziert worden sein, weil das verwendete Faseranalysesystem keine Partikel  $< 0,1$  mm nachweisen kann (Nachweisgrenze).
- 4# Insgesamt wird durch die Tatsache, dass für Faserlänge und Faserdicke gleichermaßen *breite* Verteilungen gefunden wurden, der Schluss nahegelegt, dass unter Umständen ein beträchtlicher Anteil der untersuchten Faserproben jeweils *nicht* als Faser definiert werden kann, d.h. dass diese Partikel nicht die Anforderung nach einem Mindestwert für das Durchmesser / Längenverhältnis von 10 : 1 erfüllen. Die untersuchten Partikel dürften stattdessen eher spanartigen Charakter haben.

Aus den oben genannten Punkten folgt, dass sich gemahlenes Gras möglicherweise bei der weiteren Verarbeitung *nicht* wie Fasermaterial verhält und dass deshalb gemahlenes Gras auch nur – wenn überhaupt – im begrenzten Ausmaß Eigenschaften von Fasermaterial aufweist.

### 6.3.4. Fibrillierungsversuche mit einer Prallmühle

Wie im vorhergehenden **Abschn. 6.3.3.** beschrieben, führt die Vermahlung von getrocknetem Grasfasermaterial mittels einer *Schneidmühle* zu einer unbefriedigend *breiten* Faserdurchmesser-Verteilung des Mahlguts. Es wurde deshalb in einem Vorversuch mit Hanffasern getestet, ob sich durch Verwendung einer Prallmühle - anstelle der Schneidmühle - eine günstigere Faserdurchmesser-Verteilung erzielen lässt.

**Abb. 6-8** zeigt einen Vergleich der Faserdurchmesser-Verteilung unterschiedlich gemahlener Hanffasern (Prallmühle vs Schneidmühle). Um die Ergebnisse besser vergleichen zu können, ist auch die Faserdurchmesser-Verteilung der synthetischen LYOCELL-Faser angegeben. Man sieht, dass sich mit Hilfe einer Prallmühle die Faserdicken-Verteilung tendenziell im gewünschten Sinne beeinflussen lässt, d.h. der Anteil der dickeren Faserfraktionen nimmt ab, jener der dünneren dagegen nimmt zu. Dieser Effekt lässt sich durch die von der Prallmühle auf das Mahlgut ausgeübte Scherbeanspruchung erklären. Prallmühlen scheinen also grundsätzlich für eine Fibrillierung von Naturfasermaterial geeignet zu sein, in dem Sinne, dass es zu einer Reduktion des Faserdurchmessers bei gleichzeitiger Beibehaltung der Faserlänge kommt.



**Abb. 6-8:** Einfluss verschiedener Mühlentypen (Prallmühle vs Schneidmühle) auf die Faserdurchmesser-Verteilung gemahlener Hanffasern. Aus Vergleichsgründen ist auch die Faserdurchmesser-Verteilung der synthetischen LYOCELL-Faser angegeben.

(1) Grasfaserrohstoffe

Tab. 6-2 gibt einen Überblick über die für Fibrillierungsversuche mit einer Prallmühle verwendeten Grasfaserrohstoffe.

Tab. 6-2: Grasfaserrohstoffe für die Fibrillierungsversuche mit einer Prallmühle.

Nr	Grasart	Schnitt	grün od. siliert	1x/2x gepresst	Schnitt-datum	Abpress-datum	Sonstiges	Namenskürzel
1	Klee gras (Mischung*)	1.Schnitt	siliert	1x	07.05.02	10.06.02		KLG-1S-S-PK1
2	Luzerne (100% <i>Medicago sativa</i> L.)	1.Schnitt	grün	1x	07.05.02	10.06.02		LU-1S-G-PK1
3	Weizengras (100% <i>Triticum aestivum</i> L.)	1.Schnitt	grün	2x		06.06.02		WG-1S-G-PK2

\*)Klee gras=Mischung aus 20% Bastard Ray gras (Lolium hybridum GUMPENSTEIN), 20% Englisches Ray gras (Lolium perenne), 20% Knaul gras (Dactylis glomerata), 10% Rotklee (Trifolium pratense), 10% Timothe (Phleum pratensis), 10% Weissklee (Trifolium repens) und 10% Wiesenschwingel (Festuca pratensis).

(2) Versuchsdurchführung

Zunächst wurde für die Faserproben in einer Schneidmahlung jeweils die Faserlänge gekürzt. Anschließend erfolgte eine Vermahlung (Durchmesserreduktion) in einer Labor-Feinprallmühle vom Typ „100 UPZ-II“ der Firma Alpine, und zwar unter Verwendung eines Fächerschläge - Einsatzes sowie einer Prallrippenmahlbahn. Das entstandene Mahlgut wurde im „MorFi-Faseranalysator“ hinsichtlich Faserdurchmesser- und Faserlängenverteilung analysiert. Die Vorbereitung der Proben für die Analyse im „MorFi-Faseranalysator“ erfolgte analog zu derin im vorhergehenden Abschn. 6.3.2.3 beschriebenen Vorgangsweise.

(3) Versuchsergebnisse

Abb. 6-9 gibt einen Vergleich der gemessenen Faserlängen- und Faserdickenverteilung für drei mittels der Labor-Feinprallmühle „100 UPZ II“ der Firma Alpine gemahlene Grasproben (Klee gras, Luzerne, Weizengras).

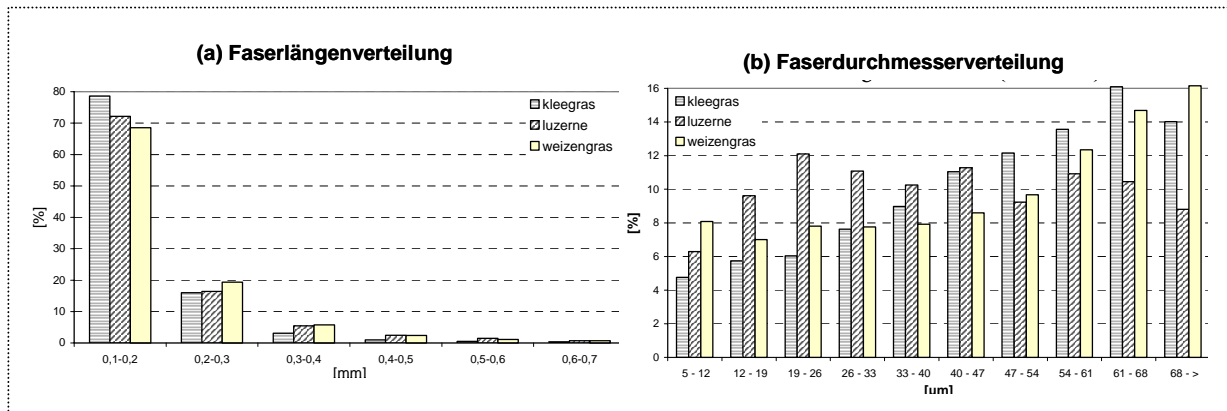


Abb. 6-9: Faserlängen- und Faserdurchmesserverteilung für drei mittels einer Labor-Feinprallmühle vom Typ „100 UPZ II“ der Firma Alpine gemahlene Grasproben (Klee gras, Luzerne, Weizengras).

(3.1) Faserlängenverteilung

Aus Abb. 6-9 sieht man, dass die Fasern im Vergleich zur Schneidmahlung (s. Abb. 6-7) noch kürzer geworden sind. Die mittlere arithmetische Faserlänge beträgt

- 4# Klee gras, siliert 175 µm
- 4# Luzerne: 198 µm
- 4# Weizengras 210 µm

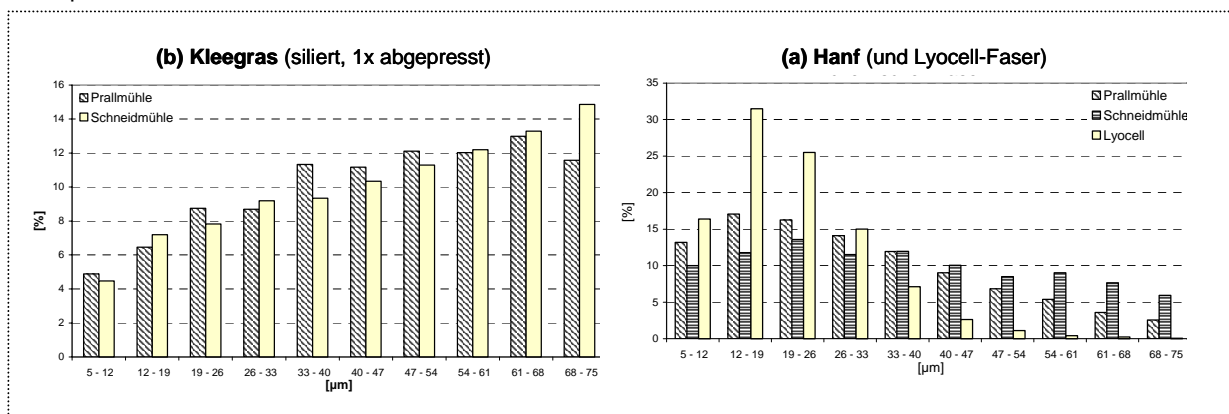
### (3.2) Faserdurchmesser-Verteilung

Aus **Abb. 6-9** sieht man, dass man bei Vermahlung von Grasfasermaterialien mit einer *Prallmühle* - im Vergleich zur Vermahlung in einer *Schneidmühle* – tendenziell *kleinere* Faserdurchmesser sowie eine etwas *engere* Faserdickenverteilung erhält.

### (3.3) Diskussion

Die soeben vorgestellten Ergebnisse sind insofern mit Vorbehalt zu betrachten, als für die Mahlversuche mit der Schneidmühle bzw. mit der Prallmühle unterschiedliche Grasfasermaterialien mit unterschiedlicher Vorgeschichte (z.B. Pressmethode) verwendet wurden.

Um festzustellen, ob und wie sich die Mühlentype (Prallmühle vs Schneidmühle) auf die Faserdickenverteilung auswirkt, wurde am Beispiel der Klee grasprobe eine Vermahlung mit beiden Mühlentypen durchgeführt. **Abb. 6-10** zeigt das Ergebnis dieses Versuchs: Eine Vermahlung von Grasfasermaterial mit einer *Prallmühle* ergibt - im Vergleich zur Vermahlung mit einer *Schneidmühle* - tendenziell tatsächlich *kleinere* Faserdurchmesser sowie eine etwas *engere* Faserdickenverteilung. Ein ähnliches Ergebnis wurde ja auch bereits bei der Vermahlung von Hanffasern mit beiden Mühlentypen erhalten (s. **Abb. 6-8**). Um diesen Befund abzusichern, wäre allerdings noch eine weitere Versuchsserie mit frisch abgepressten und noch feuchten Faserproben erforderlich.



**Abb. 6-10:** Einfluss verschiedener Mühlentypen (Prallmühle vs Schneidmühle) auf die Faserdurchmesser-Verteilung gemahlener Klee grasfasern sowie gemahlener Hanffasern (s. **Abb. 6-8**).

Da im Bezug auf die Zuverlässigkeit der Charakterisierung gemahlener Grasfasern mittels des „MorFi-Faseranalysesystems“ einige Bedenken aufkamen, wurde das von der Schneidmühle erzeugte Mahlgut der verschiedenen Grasfaserproben mikroskopisch untersucht.

**Abb. 6-11** zeigt Mikroskopische Aufnahmen des Mahlguts des von einer Schneidmühle erzeugten Mahlguts verschiedener Grasproben (Klee gras, Luzerne, Weizengras) sowie einer Hanffaserprobe. Man sieht deutlich, dass die gemahlene Grasfasern keinen runden, sondern einen flachen Querschnitt haben (Bruchstellen), also eher *plättchenartige* Struktur aufweisen. Zusätzlich kann man erkennen, dass ein großer Anteil des Materials *keine* faserige Struktur aufweist, dass also das Längen / Durchmesser-Verhältnis zu niedrig ist. Da aber das „MorFi-Faseranalysesystem“ nur Partikel mit einem bestimmten Mindestwert für das Längen / Durchmesser - Verhältnis als Fasern erkennt, wird im Fall des plättchenartigen Grasrohstoffmaterials ein beträchtlicher Anteil des Probenmaterials vom Faseranalysesystem *nicht* erfasst.



Abb. 6-11: Mikroskopische Aufnahmen des Mahlguts des von einer Schneidmühle erzeugten Mahlguts verschiedener Grasproben (Kleégras, Luzerne, Weizengras) sowie einer Hanffaserprobe.

### 6.3.5. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen, Weitere Arbeiten

Die in dieser Arbeit durchgeführten Mahlungen von verschiedenen für eine GRÜNE BIORAFFINERIE typischen Grasfasermaterialien (Presskuchen) führten zu einigen recht interessanten Ergebnissen. Allerdings sind diese Ergebnisse mit Vorbehalt zu betrachten, da das eingesetzte „MorFi-Faseranalysesystem“ in seiner derzeitigen Form nicht zur Charakterisierung des *gesamten* Probenmaterials geeignet ist, d.h. bedeutende Fraktionen gemahlener Grasfasern werden von diesem Analysesystem derzeit noch nicht erfasst. Die Analyseergebnisse stellen deshalb lediglich Anhaltspunkte für zukünftige Arbeiten dar.

Auf die ursprünglich geplante Bestimmung des *Quellwertes* des Fasermaterials wurde vorerst verzichtet. Grund dafür ist, das die mikroskopischen Aufnahmen der gemahlenden Grasfasern eine *plättchenartige* Struktur der Fasern zeigen. Dadurch wird die Schwankungsbreite der vom „MorFi-Faseranalysesystem“ ermittelten Faserdicke bzw. Faserlänge abhängig davon, in welcher Lage das zu vermessende Partikel durch die Messzelle geht (flach, hochkant). Im Vergleich dazu spielt eine Dickenzunahme infolge Quellung eine eher geringere Rolle.

- 4# Es hat sich gezeigt, dass es mit Hilfe einer Prallmühle möglich ist, Grasfasermaterialien derart zu zerkleinern, dass man - im Vergleich zur Vermahlung in einer Schneidmühle – tendenziell kleinere Faserdurchmesser sowie eine etwas engere Faserdickenverteilung erhält.
- 4# Beurteilt man das Ergebnis der Mahlversuche mit dem freien Auge, so ist eine Prallmühle in der Lage, die Homogenität von Grasfasermaterial wesentlich zu verbessern (weniger Prügel).

### Weitere Forschungsarbeiten

- 4# Durchführung weiterer Mahlversuche mit alternativen Mahlwerkzeugen (z.B. Schlag statt Stift) mit dem Ziel einer optimalen Fibrillierung des Grasfasermaterials,
- 4# Optimierung der Faserabmessungen im Hinblick auf mögliche Einsatzgebiete wie (1) Porenbildner bei der Ziegelherstellung, (2) Filtrationshilfsmittel für die Anschwemmfiltration, (3) Verbesserung der rheologischen Eigenschaften von Anstrichen, (4) kurzfaserverstärkte Kunststoffe.
- 4# Da die Grasfaserproben für die Mahlversuche bis zu deren Verarbeitung bereits einige Monate gelagert waren, war das Fasermaterial sehr *spröde* und enthielt nach der Mahlung einen sehr *hohen Feinstaubanteil*. Um diese Kurzfasern (Feinstaub) als Rohstoff für diverse Produkte einsetzen zu können, müssen aber Zusammensetzung und Eigenschaften dieser Kurzfasern genauer bekannt sein. Es ist daher nötig, für Natur-Kurzfasern eine bessere Charakterisierungsmethode zu entwickeln, die zuverlässig und einfach zu handhaben ist und auch eine umfassende Information über die Abmessungen und die Eigenschaften des Fasermaterials liefert.



## 6.4. MECHANISCHE ÖFFNUNGSVERSUCHE FÜR VERSCHIEDENE GRASFASERROHSTOFFE

### 6.4.1. Zielsetzung

Ziel der in diesem Abschnitt beschriebenen Grundlagenversuche war es, festzustellen, ob es grundsätzlich möglich ist, den in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Graspresskuchen mittels des sogenannten „Kardierverfahrens“ zu Grasfaservliesen zu verarbeiten.

### 6.4.2. Herstellung von Naturfaservliesen im sogenannten Kardierverfahren - Grundlagen

Abb. 6-13 zeigt das prinzipielle Verfahrensschema der Herstellung von Vliesen im Kardierverfahren. Wesentliche Verfahrensschritte sind dabei:

- 4# (2) Ballenöffnung
- 4# (7) Faserflorbildung (Karde, Walzenkrepel)
- 4# (8) Vliesbildung (Steilarmleger, Horizontalarmleger)
- 4# (9) Vliesverfestigung

Weitere Verfahrensschritte sind: (1) Lagerung der Rohstoffe (Natur- und Kunststofffasern in Ballenform), (2) Ballenöffnung (d.h. Auflösung der Faserballen zu Faserflocken), (3) Imprägnierung der Naturfasern mit Flamm- & Insektenschutzmitteln, (4) Mischen/Dosieren der Faserflocken der einzelnen Faserarten, (5) Speisen, (6) Wägen & Dosieren, (10) Schneiden & Besäumen der Rohvliese, (11) Verpacken und (12) Lagerung der Fertigprodukte.

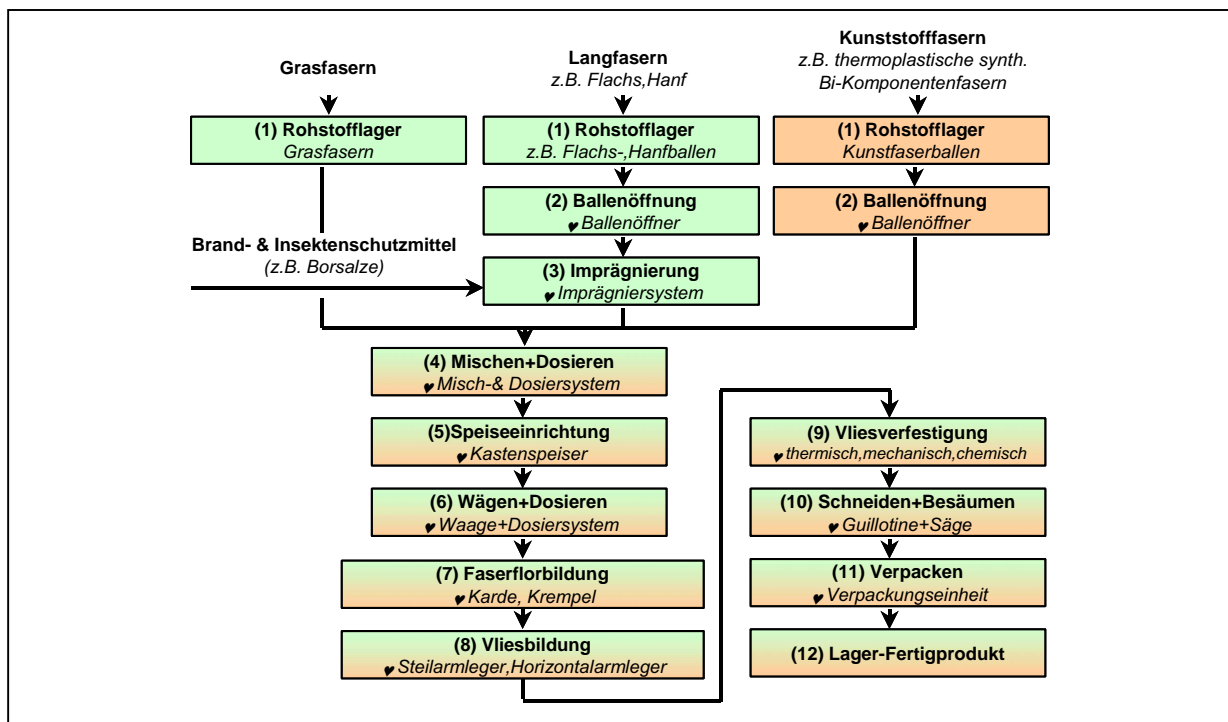


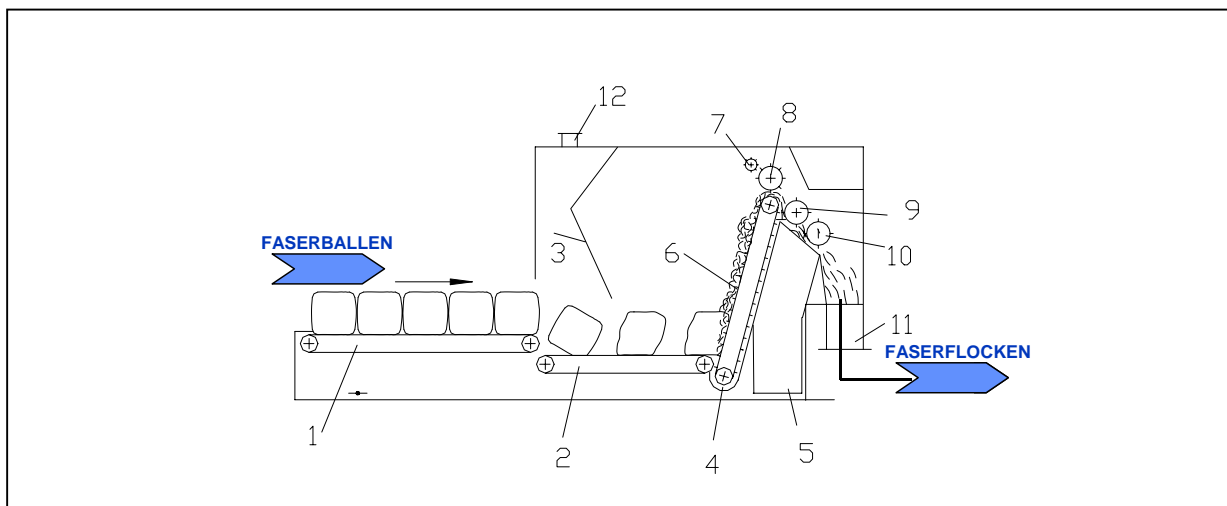
Abb. 6-13: Verfahrensschema der Herstellung von Naturfaservliesen im sogenannten „Kardierverfahren“.

Das Kardierverfahren ist eines der wichtigsten Verfahren zur Herstellung von Naturfaser-Dämmstoffen. Voraussetzung dafür ist allerdings ein Fasermindestlänge von etwa 40 mm, da bei kürzeren Fasern die Kardiermaschine (7) nicht funktioniert. Auf Kardieranlagen werden beispielsweise Flachsfasern und Schafwolle zu Dämmvliesen verarbeitet, wobei diese Dämmvliese zwecks Erhöhung der Festigkeit vernadelt sein können. Zusätzlich kann eine der beiden Vliesseiten noch mit einer PE- oder Aluminiumfolie ausgestattet werden [Heraklith 2001a].

### Verfahrensschritt Ballenöffnung (2)

In diesem Verfahrensschritt werden die zunächst die Naturfaser- bzw. Kunststofffaserballen vom Verpackungsmaterial befreit und danach einem sogenannten *Ballenöffner* zugeführt. Dessen Aufgabe es ist, das in Ballen vorliegende Fasermaterial in Faserflocken aufzulösen und diese in der Folge intensiv miteinander zu vermischen.

**Abb. 6-14** zeigt das Prinzip einer Faserballenöffners. Über zwei *Zuführtische* (1,2) werden die Faserballen in das Innere des Ballenöffners (Mischraum) gefördert. Die Innenseite des Zuführtisches wird durch eine Bürstenwalze sauber gehalten. Der Mischraum ist zur Ballenaufgabe hin durch eine *Prallplatte* (3) begrenzt. Ein schräg nach oben führender *Nadeltisch* (6) reißt Fasermaterial vom Ballen ab und fördert dieses nach oben bis zu einer mit mehreren Nadelleisten ausgerüsteten *Rückstreichwalze* (8). Die *Abstreichwalze* (9) kämmt die Fasern vom *Nadeltisch* (6). Die *Abstreichwalze* (9) ist mit einer *Reinigerwalze* (10) kombiniert, diese mit einem Reinigungsrost. Schmutz wird im *Abfallraum* (5) gesammelt. Das erhaltene Fasermaterial wird nach der *Reinigerwalze* (10) abgesaugt und über eine pneumatische Transportleitung zum sogenannten Flockenspeiser gefördert.



**Abb. 6-14:** Prinzip eines Ballenöffners: (1) erster Zuführtisch, (2) zweiter Zuführtisch, (3) Prallblech, (4) Putzmulde, (5) Abfallraum, (6) Nadeltisch, (7) Putzwalze, (8) Rückstreichwalze, (9) Abstreichwalze, (10) Reinigerwalze, (11) Misch Tisch, (12) Staubabzug [Trützschler 2002a+b zitiert in Brandstätter 2002].

### Verfahrensschritt Faserflorbildung (7)

Zentraler Verfahrensschritt des Kardierverfahrens ist die Behandlung des Fasergemisches in einer sogenannten *Karde* (*Kardiermaschine*) bzw. *Krempel*. Deren Hauptaufgabe ist es, aus einem in Wirrlage vorliegenden Fasermaterial längsgerichtete Faserflore zu erzeugen, die im nachfolgenden Verfahrensschritt zu einem Vlies weiterverarbeitet werden. Einzelaufgaben der Karde sind [Müssig 1997: S. 19]:

- 4# Vereinzelung der Faser aus der Faserflocke
- 4# weitere Reinigung der Fasern (Entfernung von Fremdbestandteilen und Kurzfasern)
- 4# intensive Mischung der Fasern
- 4# Verfeinerung und Kürzung der Faserbündel
- 4# Strecken und Orientieren der Einzelfasern bzw. Faserbündel
- 4# Parallelisieren der Fasern zu einem Faserflor

Abb. 6-15 zeigt die prinzipielle Arbeitsweise einer derartigen Karde, Über einen Zuführtisch (1) werden die Faserflocken an ein mit zahlreichen kleinen Nadeln ausgerüstetes Walzensystem übergeben. Zwischen der Hauptwalze / Tambour (2) und einem Arbeiter / Wender-Paar (3+4) erfolgt das Auflösen der Faserflocken zu Einzelfasern sowie im Anschluss daran deren Vermischen und Parallelisieren. Der Wender (3) entnimmt vom Arbeiter (4) Fasern und führt diese wieder der Haupttrommel (2) zu, wodurch es zu einer sehr guten Durchmischung der Fasern kommt. Entlang des Umfangs der Haupttrommel (2) sind mehrere derartige Arbeiter/Wender-Paare angeordnet. An der Abstreifwalze (5) erfolgt die Übernahme des an der Oberfläche der Hauptwalze (2) entstandenen Faserflors.

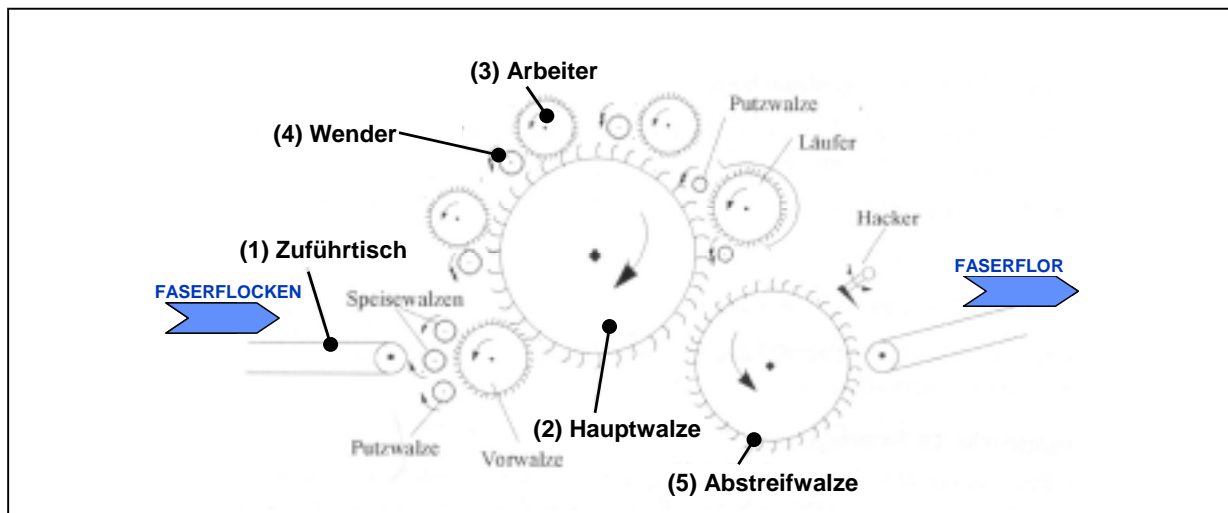


Abb. 6-15: Prinzipieller Aufbau einer Karde bzw. Krempel zur Erzeugung von längsgerichteten Faserflören [Müssig 1997, S.20].

Wie bereits besagt, ist eine Voraussetzung für die Verarbeitbarkeit von Naturfasern auf einer Karde die, dass die zu verarbeitenden Fasern eine Faserlänge von mindestens 40-80 mm aufweisen [Nova Institut 1996]. Wenn Grasfasern auf einer Kardenanlage zu Faserflören und weiter zu Faservliesen verarbeitet werden sollen, so müssen die Grasfasern also eine Mindestlänge von etwa 40-80 mm aufweisen. Weiters sollte das Grasfasermaterial möglichst homogen sein, aus möglichst schlanken Fasern bzw. Faserbündeln bestehen (hohes Längen/Durchmesserverhältnis) und keine nennenswerten Staub- sowie Grobanteile enthalten. Eine weitere Voraussetzung für eine Verarbeitbarkeit von Grasfasern auf einer Karde besteht darin, dass die zu verarbeitenden Grasfasern eine Mindestbiegefestigkeit besitzen müssen, da sie sonst während der Bearbeitung in kleinere Teile zerbrechen (Staubbildung).

#### Verfahrensschritt Vliesbildung (8)

Die sekundäre Vlieslegung erfolgt in einer sogenannten Querlegeeinrichtung, wobei das von der Karde kommende Faserflor schichtenförmig abgelegt wird wodurch erst da eigentliche Vlies entsteht. Für diese Aufgabe kommen mehrere Apparatebauformen zum Einsatz: *Steilarmleger* und *Horizontalarmleger*, wobei letztere noch in *Gegenläufer* und *Gleichläufer* unterteilt werden können [Albrecht et al 2000: S. 159f.].

#### Verfahrensschritt Vliesverfestigung (9)

Für die Verfestigung des im Steilarm- bzw. Horizontalarmleger gebildeten Vlieses stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung [Albrecht et al. 2000: S. 269ff.]:

- 4# Mechanische Verfahren (Vernadeln, Vermaschen, Verwirbeln)
- 4# Thermische Verfahren (Heißluft, Kalander, Schweißen)

#### 4# Chemische Verfahren (Imprägnieren, Sprühen, Bedrucken, Schäumen)

Bei Dämmstoffvliesen kommen vor allem Vernadeln (mechanisches Verfahren), Heißluft (therm. Verfahren) und Sprühen (chem. Verfahren) zum Einsatz.

##### (a) Vliesverfestigung durch Vernadeln (mechanisches Verfahren)

Bei diesem Verfahren kommt der Verfestigungseffekt aus zwei Gründen zustande: Erstens infolge von Faserverschlingungen, die durch senkrechte Einstiche einer Vielzahl von Nadeln erzeugt werden, und zweitens dadurch, dass es infolge der Verdichtung zu einer erhöhten Faserhaftung kommt.

Abb. 6-16 zeigt die eine schematische Darstellung des Vernadelungsprozesses [Müssig 1997: S. 34]: Ein mehrschichtiges Faserflor wird mittels des Zuführtisches (1) zur Abstreifplatte (2) transportiert. Der Transport des sich allmählich zu einem Nadelfilz verdichtenden Faserflors durch die Nadelzone erfolgt durch die beiden Abzugswalzen (3). Der Nadelbalken (4) mit dem Nadelbrett (5) und den Filznadeln (6) wird mit einem Exzenter (7) angetrieben. Durch die exzentrische Lagerung wird der Nadelbalken auf und ab bewegt. Das zu verfestigenden Faserflor wird zwischen Abstreifplatte (2) und Grundplatte (8) hindurchgeführt, deren jeweilige Lochung mit der Anordnung und Dicke der verwendeten Nadeln übereinstimmt. Die Grundplatte (8) bildet die Unterlage und baut beim Einstechen der Nadeln den erforderlichen Gegendruck auf. Die Abstreifplatte (2) hat die Aufgabe, das Faserflor beim Herausziehen der Nadeln zurückzuhalten. Der Weitertransport der Faserflors erfolgt, wenn sich der Nadelbalken (4) in seiner oberen Position befindet. Die Festigkeit des so erzeugten Nadelfilzes wird durch Einstichtiefe und die Anzahl der Einstiche pro Flächeneinheit bestimmt. Wenn infolge der Faserverschlingungen die Beweglichkeit der Fasern stark abnimmt, bewirken zusätzliche Nadeleinstiche eine Beschädigung der Fasern, jedoch keine Verbesserung der Festigkeit des Filzes.

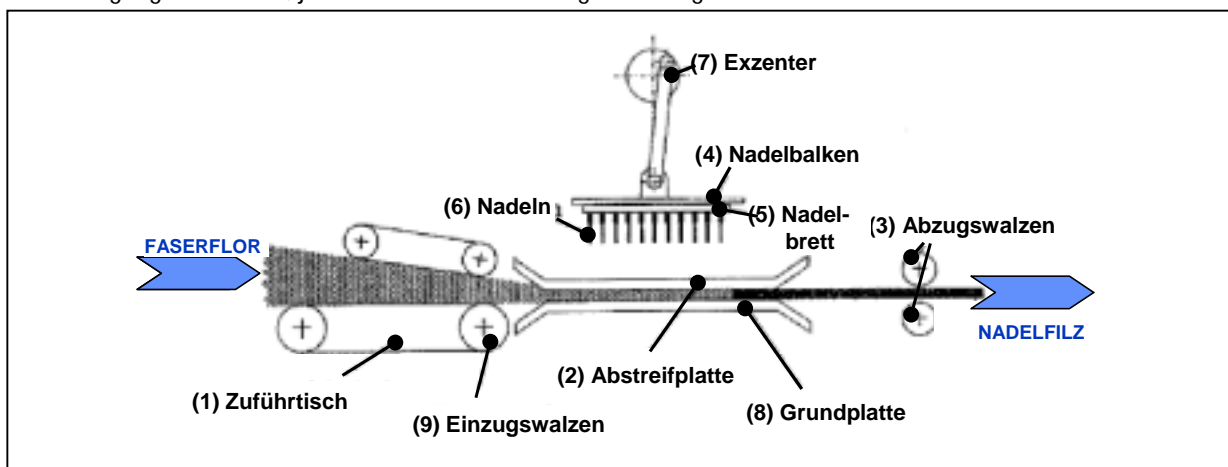


Abb. 6-16: Schematische Darstellung des Vernadelungsprozesses [Müssig 1997: S.34].

Die erzielte Qualität eines genadelten Vlieses ist von der Faserfestigkeit, der Dehnung der Fasern sowie von geometrischen Faktoren wie Faserfeinheit, Kräuselung, Faserlänge und Faserquerschnitt abhängig. Die optimale Faserlänge für genadelte Vliese liegt im Bereich von 50-80 mm. Je höher die Faserlänge, umso höher sind Festigkeit, Dichte und Luftdurchlässigkeit des Vlieses. Bei der Vernadelung von Naturfasern ist darauf zu achten, dass die Fasern in hoher Reinheit und Homogenität vorliegen (d.h. möglichst gleiche Dicken und Längen; keine Grobanteile), da es sonst die Vernadelmaschine beschädigt werden könnte (Brechen der Nadeln). Weiters ist es erforderlich, dass die zu vernadelnden Fasern eine mechanische Mindestfestigkeit besitzen (insbesondere Biegefestigkeit), da sonst die Fasern brechen.

### (b) Vliesverfestigung mittels Heißluft (thermische Verfahren)

Bei diesen Verfahren kommt der Verfestigungseffekt durch ein Verkleben von oberflächlich aufgeschmolzenen thermoplastischen Kunststofffasern mit den anderen Faserkomponenten des Vlieses zustande. Üblicherweise werden ca. 10-20% derartiger Kunststofffasern verwendet. Bei dieser Verfestigungsmethode ist darauf zu achten, dass es im vorhergehenden Verfahrensschritt „Vliesbildung“ zu keiner Entmischung der einzelnen Faserarten kommt, d.h. Dichte und Längenverteilung der einzelnen Faserarten sollten ähnlich sein. Die Entsorgung derartiger Vliese muss thermisch erfolgen, da eine Deponierung nicht gestattet ist. Es ist jedoch eine Recyclierung seitens des Herstellers denkbar.

### (c) Vliesverfestigung durch Sprühen (chemisches Verfahren)

Das bereits fertig gelegte Vlies wird mittels Zerstäubungsdüsen mit einem Bindemittel besprüht (z.B. Kartoffel- oder Maisstärke). Die Bindemitteltröpfchen dringen in das Vliesinnere ein und verkleben dessen Fasern, was den Verfestigungseffekt bewirkt. Beispielsweise werden von der österreichischen Firma „Waldviertler Flachshaus“ Flachsdämmmatten mit einer Vliesdicke von 40 – 200 mm produziert, die mit 10% Kartoffelstärke besprüht werden [Waldviertler Flachshaus 2001]. Das Besprühen mit Bindemitteln zwecks Vliesverfestigung kann im Prinzip mit dem Besprühen mit Brand- und Insektenschutzmitteln kombiniert werden. In beiden Fällen sollte aber durch geeignete Maßnahmen dafür gesorgt werden, dass es zu keinen größeren Konzentrationsunterschieden dieser Substanzen über die Vliesdicke kommt, da sonst die einzelnen Vlieschichten entsprechend große unterschiedliche Eigenschaften aufweisen würden.

### Weitere Verfahrensschritte

- 4# Im Rohstofflager (1) werden die Natur- und Kunststofffasern in Ballenform vorrätig gehalten.
- 4# Im Verfahrensschritt *Imprägnierung* (3) erfolgt eine Ausrüstung der Naturfaserflocken mit Brand- und Insektenschutzmitteln. Zumeist werden dafür Borsalze verwendet (z.B. Borsäure  $H_3BO_3$ , Borax  $Na_2B_4O_7$ , Polybor  $Na_2B_8O_{13}$ ). Es kommen dafür aber auch Verbindungen wie Ammoniumphosphat, Ammoniumsulfat, Wasserglas oder Antimontrioxid  $Sb_2O_3$  zum Einsatz. Die Ausrüstung der Fasern mit Brand- und Insektenschutzmitteln kann aber auch vom Faserlieferanten übernommen werden, wodurch man sich den Verfahrensschritt Imprägnierung ersparen würde. Eine weitere Möglichkeit sich diesen Verfahrensschritt zu ersparen, besteht darin, dass man die Imprägnierung erst nach der Vliesbildung am fertigen Vlies vornimmt.
- 4# Im Verfahrensschritt *Mischen & Dosieren* (4) werden die mit Brand- und Insektenschutzmittel imprägnierten Naturfaserflocken in einem bestimmten Verhältnis mit thermoplastischen Kunststofffasern (z.B. Bi-Komponentenfasern vermischt), die später im Prozess in einem Erwärmungsschritt oberflächlich aufschmelzen, dadurch mit den übrigen Fasern verkleben und dadurch eine Vliesverfestigung bewirken. In der Regel werden dem natürlichen Fasermaterial ca. 15-20% Kunstfasern beigemischt.
- 4# Im Verfahrensschritt *Speisen* (5) ist ein sogenannter Kastenspeiser für eine gleichmäßige und kontinuierliche Beschickung der im Prozess nachfolgenden Kardiermaschine bzw. Karde zuständig. Bevor das Fasermaterial in den Kastenspeiser gelangt, wird es meist noch auf metallische Gegenstände hin untersucht, denn diese würden die Kardiermaschine beschädigen. Es kann auch eine Beschichtung der Fasern mit sogenannten „Softener“ vorgenommen werden, um eine bessere Verarbeitung in der Karde und eine ungewollte elektrostatische Aufladung der Fasern zu verhindern.
- 4# Der Verfahrensschritt *Wägen & Dosieren* (6) stellt sicher, dass unmittelbar nachfolgende Kardiermaschine mit einer zeitlich konstanten Menge an Fasermaterial beschickt wird.

- 4# Im Verfahrensschritt *Schneiden & Besäumen (10)* wird das verfestigte Rohvlies auf die gewünschten Abmessungen geschnitten. *Verpacken (11)* und *Fertigproduktlager (12)* schließen den Herstellprozess ab.

### 6.4.3. Verwendete Grasfaserproben für Öffnungsversuche

Tab. 6-3 gibt einen Überblick über die für die Vlieslegeversuche nach dem „Kardiervfahren“ verwendeten Grasfaserproben: (1) Kleegrasmischung (Mischung aus verschiedenen Gräsern und Kleearten). (2) Knauelgras (100% *Dactylis glomerata*). Bei Grasprobe 1 handelt es sich um den getrockneten Presskuchen von siliertem Material, bei Grasprobe-2 um den getrockneten Presskuchen von Grünmasseproben, wobei der Wassergehalt jeweils ca. 10% betrug (d.h. 90% TS-Gehalt).

Tab. 6-3: Grasfaserproben für Öffnungsversuche

Prob. Nr.	Grasart	Schnitt	grün od. siliert	Schnitt-datum	Abpress-datum	1x/2x gepresst	Kurzbezeichnung	Menge
1	Klee gras <i>Mischung*</i> )	1.Schn.	siliert	17.5.01	10.7.01	1x	KLK-01-S1-S-PK1	75 kg
2	Knauelgras <i>Dactylis glomerata</i>	2.Schn.	grün	7.8.01	7.8.01	1x	KG-01-S2-G-PK1	75 kg

\*) Mischung aus 20% Bastard Raygras (*Lolium hybridum GUMPENSTEIN*), 20% Englisches Raygras (*Lolium perenne*), 20% Knauelgras (*Dactylis glomerata*), 10% Rotklee (*Trifolium pratense*), 10% Timothee (*Phleum pratensis*), 10% Weissklee (*Trifolium repens*) und 10% Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*).

### 6.4.4. Versuchsdurchführung und Versuchsergebnisse

Die Grundlagenversuche zur Überprüfung der Anwendbarkeit des Kardiervfahrens zur Herstellung von Grasfaserfloren wurden in einer industriellen Technikumsanlage der Fa. *Lenzing Lyocell GmbH & Co KG (A-7561 Heiligenkreuz / Lafnitztal)* durchgeführt. Abb. 6-17 zeigt das entsprechende Verfahrensschema: Wichtige Anlagenkomponenten sind: (1) Zuführtisch (für Faserballen bzw. loses Fasermaterial), (2) Ballenöffner, (3) Förderventilator + pneumatischen Förderleitungen, (4) Kasten- bzw. Flockenspeiser, (5) Krempelwolf, (6,7,8) einige Mischeinrichtungen und (9) Karde bzw. Krempel.

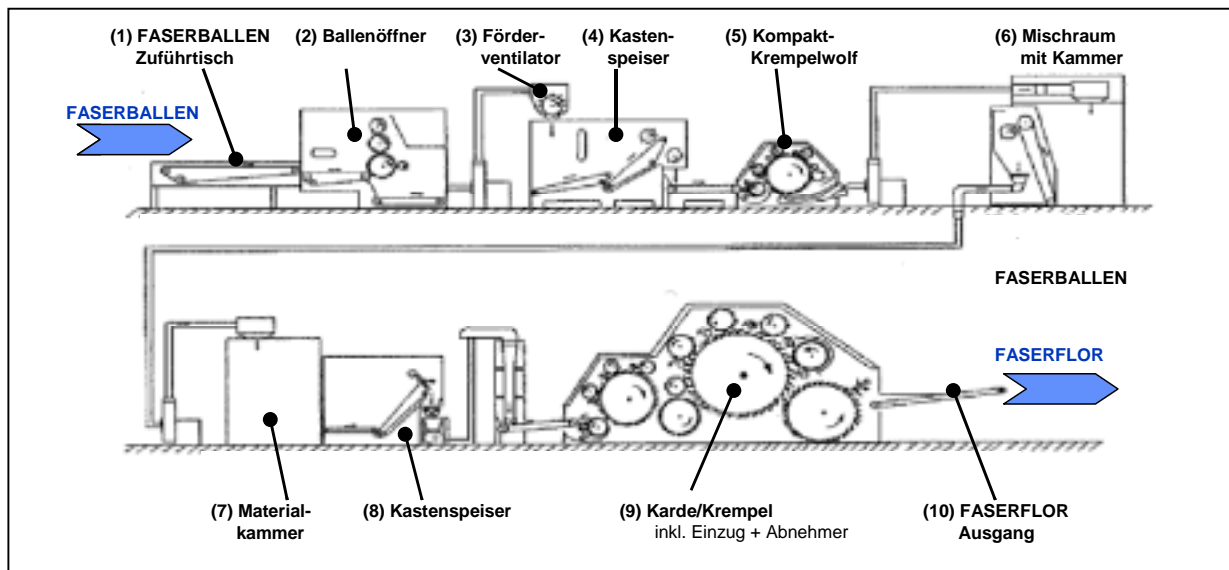


Abb. 6-17: Verfahrensschema einer Anlage zur Herstellung von längsgerichteten Faserfloren. Wichtige Anlagenteile: (1) Zuführtisch für Faserballen, (2) Ballenöffner, (3) Förderventilator, (4) Kasten-/Flockenspeiser, (5) Kompakt-Krempelwolf, (6) Mischraum, (7) Materialkammer, (8) Kasten-/Flockenspeiser, (9) Karde/Krempel (inkl. Einzug+Abnehmer) [Müssig 1997: S. 20].

**Abb. 6-18** zeigt die für die Grundlagenversuche verwendete Technikumsanlage, wobei aufgrund der weiter unten geschilderten Versuchsergebnisse lediglich die Systemkomponenten *Zuführtisch (1)*, *Ballenöffner (2)*, *Förderventilator+Saugleitung (3)* und *Flockenspeiser (4)* tatsächlich zum Einsatz kamen. Diese Systemkomponenten sollten folgende Aufgaben erfüllen. Angelieferte Faserballen werden über den *Zuführtisch (1)* in den *Ballenöffner (2)* gefördert, wo das in Ballen vorliegende Fasermaterial in Faserflocken aufgelöst wird und mittels *Förderventilator (3)* bzw. Saugleitung im Luftstrom zur *Flockenspeiseranlage (4)* transportiert wird. Dieser Flockenspeiser bildet eine homogene Faserschicht und beschickt über mehrere Mischeinrichtungen die nachgeschaltete Karde. Im gegenständlichen Grundlagenversuch wurde jedoch diese Karde aufgrund des Versuchsverlaufs *nicht* angekoppelt.



**Abb. 6-18:** Gesamtansicht der Technikumsanlage zur Herstellung von Faserflocken und Faservliesen nach dem Kardiervfahren.



**Abb. 6-19:** Details der Technikumsanlage: (a) Zuführtisch: Hier erfolgte die Aufgabe des losen Grasfasermaterials, (b) Ballenöffner – Seitenansicht, (c) „Schmutz“ im Abfallraum des Ballenöffners, (d) pneumatische Förderleitung – verstopft durch Grasfasermaterial, (e) Grasfasermaterial im Flockenspeiser der Karde, das jedoch aus dreierlei Gründen für eine sinnvolle Weiterverarbeitung auf der Karde (Faserflorbildung) ungeeignet ist: zu kurz, zu wenig schlank und zu brüchig.

Der Versuchsverlauf stellt sich wie folgt dar: Grasfaserprobe-1 (Kleegrass-siliert: KLG-01-S1-S-PK1) wurde auf den *Zuführtisch* (s **Abb. 6-19a**) aufgegeben und gelangte so in den *Ballenöffner* (s. **Abb. 6-19b**). Entgegen den Erwartungen kam es jedoch im Ballenöffner zu keiner nennenswerten Öffnung der Fasern, d.h. es kam weder zu einem Längsaufspalten einzelner Grasfasern (d.h. Erhöhung des Schlankheitsgrads) noch zu einer merklichen Flockenbildung. Ein Erklärung dafür wäre, dass die vorgelegten Grasfasern zu *kurz* (im Mittel 30 mm), zu wenig *schlank* und zu *brüchig* waren. Wegen dieser Eigenschaften kommt es zu keinem Verhaken der einzelnen Grasfasern und somit auch zu keiner Flockenbildung. Der größte Teil der vorgelegten Grasfasern gelangte nicht

in die Flockenspeiseranlage für die Karde, sondern wurde im Abfallraum des Ballenöffners – gewissermaßen als Schmutz - abgeschieden (s. **Abb. 6-19c**).

Eine weitere Komplikation ergab sich dadurch, dass zwar ein bestimmter Grasfaseranteil in die Flockenspeiseranlage „wollte“, diese aber nicht erreichte, weil sich dieses Material in der pneumatischen Saugleitung, die Ballenöffner und Flockenspeiseranlage miteinander verbindet, absetzte, und zwar in einem Ausmaß, dass nach ca. 15 min Betrieb diese Saugleitung vollkommen mit Grasfasermaterial verstopft war (s. **Abb. 6-19d**). Eine Erklärung dafür wäre, dass die verfügbare Saugleistung der Förderleitung für Grasmaterial zu gering war. Eine Anpassung dieser Förderleistung an das Transportproblem (Grasfasern sind schwerer als die sonst zu transportierenden Fasern) sollte jedoch grundsätzlich möglich sein.

Dasjenige Grasfasermaterial, das es bis zur Flockenspeiseranlage der Karde „schaffte“ (s. **Abb. 6-19e**), verursachte dort Komplikationen, und zwar durch Verlegung des Speiseschachts dieser Anlage. Außerdem ist nach visueller Beurteilung dieses Fasermaterial nach wie vor nicht geeignet, auf der Karde zu einem Faserflor weiterverarbeitet zu werden. Die Fasern waren zu kurz (kleiner als 30 mm), zu wenig schlank und zu brüchig. Wäre eine Faserflorbildungsversuch auf der Karde durchgeführt worden, wäre diese möglicherweise beschädigt worden, dadurch, dass sich die Grasfasern von den Tausenden von Häkchen der Haupttrommel der Karde nicht mehr gelöst sondern sich darauf festgefressen hätten. Aus diesem Grund wurde auf einen Florbildungsversuch aus Grasfasern mittels einer Karde verzichtet.

Leider konnten auch mit der zweiten Grasprobe (Knautgras-grün KG- 01-S2-G-PK1) keine besseren Ergebnisse erzielt werden.

#### ***6.4.5. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen, Weitere Arbeiten***

Das Kardierverfahren zur Herstellung von Faserflocken und in weiterer Folge von genadelten Faservliesen scheint für die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Grasfaserfraktion – zumindest vorerst – *nicht* geeignet zu sein. Dafür sind mehrere Gründe anzuführen: Erstens sind die Grasfasern zu kurz, sie müssten eine Mindestlänge von 40-80 mm haben. Zweitens sind sie zu wenig schlank. Das ließe sich durch geeignete Zerkleinerungsmethoden (z.B. mittels eines Lehmann-Extruders) vielleicht in den Griff kriegen. Drittens sind die Grasfasern zu brüchig (führt zu Staubentwicklung), was ein gravierendes Problem darstellen dürfte.

In Folgeversuchen sollte dennoch versucht werden, für besonders aufbereitetes Grasfasermaterial einzelne Systemkomponenten des Kardierverfahrens zur Herstellung von Vliesen auf ihre Anwendbarkeit hin zu überprüfen. Das für diese Versuche verwendete Grasfasermaterial müsste aus einer homogenen Fraktion schlanker, langer Grasfasern bestehen (Mindestlänge 60 mm), die frei von nennenswerten Staub- und Grobanteilen ist. Insbesondere sollte überprüft werden, ob sich die mittels eines Lehmann-Extruders zerkleinerten Grasproben, nach Abscheiden der Staubanteile mittels Walzensortierer oder Schwingsiebe auf einer Kardieranlage zu Faserflocken verarbeiten lassen. In dieser Hinsicht besonders aussichtsreich scheinen Weizengrasproben zu sein.



## 6.5. Referenzen

- Albrecht, Wilhelm; Fuchs, Hilmar, Kittelmann, Walter (Hsgr) (2000):*  
**Vliesstoffe – Rohstoffe, Herstellung, Anwendung, Eigenschaften, Prüfung**  
Weinheim, Wiley-VCH, 2000, ISBN: 3-527-29535-6.
- Brandstätter, Manfred (2002):*  
**Grasfasern – Ein potentieller Rohstoff für die Dämmstoff- und Plattenindustrie;**  
Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben, Institut für Verfahrenstechnik des Industriellen Umweltschutzes,  
November 2002.
- Heraklith (2001a):*  
**Information package for sheep wool and flax fibre thermal insulation products;**  
Heraklith Consulting & Engineering GmbH, A-Fürnitz, 2001.
- Heraklith (2001b):*  
**Information package for wood wool building and insulation boards (“Heraklith-Platte”);**  
Heraklith Consulting & Engineering GmbH, A-Fürnitz, 2001.
- Höfl, K. (1985):*  
**Zerkleinerungs- und Klassierungsmaschinen;**  
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1985
- Müssig, Jörg (1997):*  
**Herstellung von technischen „Nonwoven“-Produkten (Vliesen) unter Einsatz von Naturfasern;**  
Abschlußbericht zum Projekt FV 057 ausgeführt vom Faserinstitut Bremen e.V. (Fibre), 112 Seiten, 1997.
- Nova Institut (1996):*  
**Das Hanfproduktlinienprojekt (HPLP);**  
Hürth/Köln. 1996.
- Stieß, M. (1997):*  
**Mechanische Verfahrenstechnik 2;**  
Springer Verlag 1997; ISBN 3-540-55852-7
- Trützscher (2002a):*  
**Ballenöffner (für die Auflösung von Faserballen in Flocken und für Mischung dieser Flocken);**  
Prospekt der Fa. Trützscher GmbH & Co KG, D-41199 Mönchengladbad, [www.truetzschler.de](http://www.truetzschler.de)
- Trützscher (2002b):*  
**Ballenöffner-Systeme für Chemie- und Naturfasern;**  
Homepage der Fa. Trützscher GmbH & Co KG, D-41199 Mönchengladbach,  
[www.truetzschler.de/2.Produktprogramm/2.3.a.Ballenabarbeitung.html](http://www.truetzschler.de/2.Produktprogramm/2.3.a.Ballenabarbeitung.html)
- Waldviertler Flachshaus (2001):*  
**Produkte aus dem Waldviertler Flachshaus (Dämmplatten, Fugendämmstreifen, Granulat, Mulch, Rohrschalen, Stopfwolle, Trittschalldämmung, Wärmewolle)**  
Prospekt Waldviertler Flachshaus GmbH, A-3533 Friedersbach, 2001. s. auch:  
[www.waldland.at/flachshaus/flachshaus\\_frame.htm](http://www.waldland.at/flachshaus/flachshaus_frame.htm)



## 7. DÄMMSTOFFE AUS GRASFASERMATERIAL

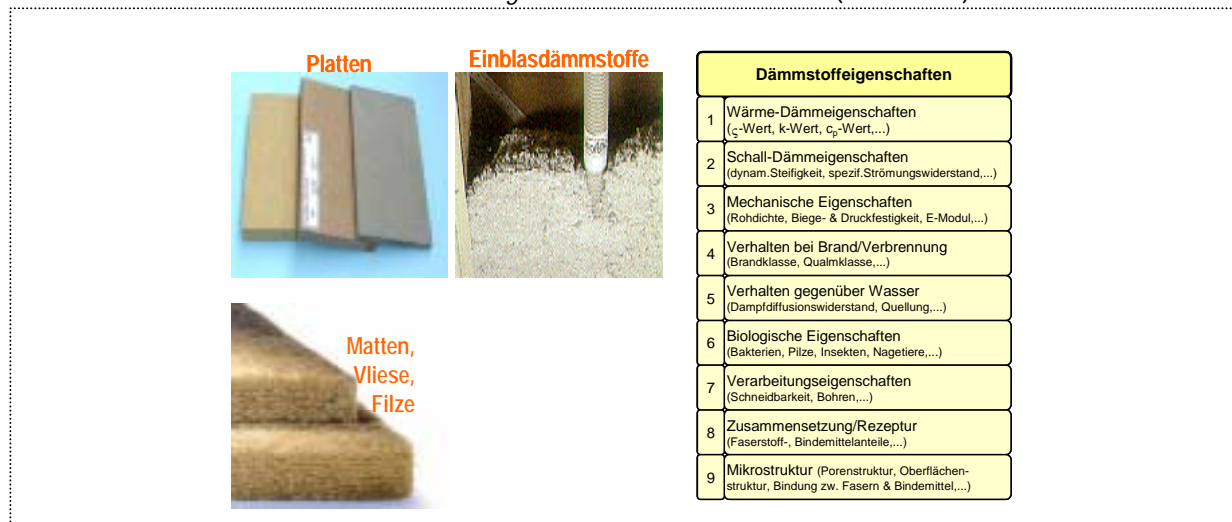
Verfasser: *DR. WOLFGANG STADLBAUER, FINKLHAM 92, A-4075 BREITENAICH*

### 7.1. Einleitung

Bei der Herstellung von Dämmstoffen finden zunehmend nachwachsende Rohstoffe Verwendung. Dies nicht zuletzt wegen des Umstands, dass Dämmstoffe aus Mineralfasern und Hartschäumen zunehmend auf Kritik stoßen (Umweltbelastung, Gesundheitsgefährdung). Faserhaltige Dämmstoffe gibt es in unterschiedlichen *Zustandsformen* (s. **Abb. 7-1**), die jeweils unterschiedliche Verfahrenstechniken zu deren Herstellung erfordern: Platten, Matten, Vliese, Filze, Einblasdämmstoffe, Schüttungen etc. Faserhaltige Dämmstoffe bestehen aus einer Reihe funktioneller Komponenten:

- 4# Faserstoff (Holzfasern, Altpapier, Flachs, Hanf, Stroh,...)
- 4# Bindemittel (mineralisch, biogen, thermoplastisch,...)
- 4# Additive (Brandhemmer, Hydrophobierung, Fungizide,..)

Die Herausforderung bei der Entwicklung von Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe besteht nun darin, für jede dieser funktionellen Komponenten einen geeigneten nachwachsenden Rohstoff zu finden, wobei selbstverständlich alle relevanten *Dämmstoffeigenschaften* zu erreichen sind (s. **Abb. 7-1**).



**Abb. 7-1:** Dämmstoffe aus Naturfasern: Zustandsformen und wichtige Dämmstoffeigenschaften.

### 7.2. Zielsetzung und Methodik

Ziel der in diesem Kapitel beschriebenen und von *Dr. Wolfgang Stadlbauer* durchgeführten Arbeiten war es, zu überprüfen, ob die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Grasfaserfraktion grundsätzlich dafür geeignet sind, in faserhaltigen Dämmstoffen als Faserrohstoff verwendet zu werden. Die Arbeiten wurden wie folgt untergliedert:

- 4# **(1) Screening-Phase 1:** Herstellung und Charakterisierung einer ersten Serie von Dämmstoff-Probekörpern (Wärme, Schall) mit Grasrohstoffen als wesentlicher Rohstoffkomponente. Ziel: Durch Variation ausgewählter Einflussgrößen soll eine Orientierung gebende erste Vorstellung davon erlangt werden, wie wesentliche Dämmstoffeigenschaften von wichtigen Einflussgrößen abhängen.

- 4# **(2) Screening-Phase 2:** Herstellung einer zweiten Serie von Dämmstoff-Probekörpern, wobei die Abhängigkeit ausgewählter Dämmstoffeigenschaften (abhängige Variable) von wesentlichen Einflussgrößen (unabhängige Variable) an entsprechenden Probekörpern untersucht wird.
- 4# **(3) Bewertung der beider Screening-Phasen + Auswahl der „besten“ Resultate für Weiterentwicklung:** Zunächst werden Kriterien für eine Reihung der in den beiden Screeningphasen hergestellten Probekörper hinsichtlich der jeweiligen Eignung für eine Weiterentwicklung zu einem Dämmstoffprototypen entwickelt. Auf Basis dieser Kriterien wird ein Vorschlag für eine derartige Weiterentwicklung erstellt (z.B. Akustik, aufgehendes Mauerwerk). Weiters erfolgt eine Abschätzung der technologischen und ökonomischen Machbarkeit einer industriellen Produktion eines grasfaserhaltigen Dämmstoffs.

### 7.3. Rohstoffe und Versuchsplan

#### 7.3.1. Grasfasern

Für *Screeningphase-1* wurden Grasfasern aus der Ernte 2001 verwendet. Die Faserproben wurden von Joanneum Research im getrockneten Zustand für die Versuche zur Verfügung gestellt. **Tab. 7-1** gibt einen detaillierten Überblick über die Grasfaserproben und ihren Aufbereitungsschritten.

Für *Screeningphase-2* wurde die Fasermatrix - in Absprache mit der Projektleitung (JOANNEUM RESEARCH) – wesentlich erweitert (s **Tab. 7-2** sowie **Abb. 7-2a,b,c**). Die Fasergewinnung erfolgte durch die Projektleitung, die für die Versuche benötigten Fasern wurden im getrockneten Zustand angeliefert. Die verwendeten Grasfaserproben repräsentieren folgende variierte Einflussgrößen:

- 4# (1) Grassorten: Klee gras, Bastard Ray gras, Weizengras und Luzerne,
- 4# (2) Konservierungszustand: siliert vs. grün,
- 4# (3) Erntezeitpunkt: 1./2. Schnitt,
- 4# (4) Anzahl Abpressungen: 1x / 2x abgepresst)
- 4# (5) Zerfaserungszustand: Faseraufschlussverfahren Hammermühle (HM) vs. thermomechanische Zerfaserung (TMZ).

**Tab 7-1:** Grasfaserproben für *Screeningphase-1*.

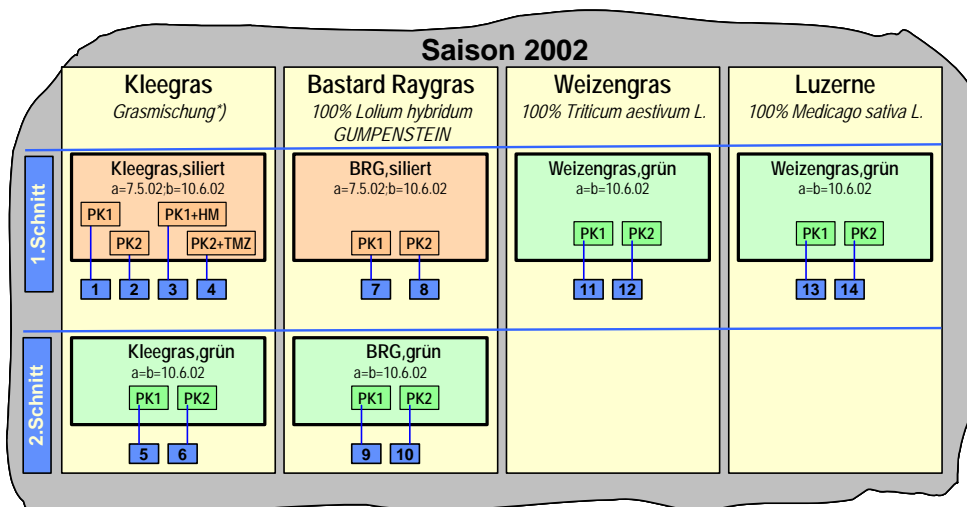
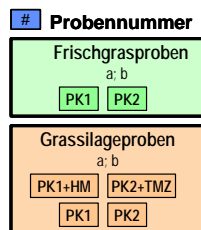
Nr.	Grasart	Schnitt	grün od. siliert	Abpress- datum	1x/2x gepresst	Namenskürzel
1	Knautgras	1.Schnitt	siliert	27.09.2001 27.09.2001 27.09.2001	1x	KNG1-1S-S-PK1
2	Knautgras	1.Schnitt	grün	07.08.2001	1x	KNG1-1S-G-PK1
3	Knautgras	1.Schnitt	grün	07.08.2001	1x	KNG2-1S-G-PK1
4	Klee gras	1.Schnitt	siliert	10.07.2001	1x	KLG-1S-S-PK1
5	Klee gras	1.Schnitt	siliert	21.06.2001	1x	KLG2-1S-S-PK1
6	Dauerwiese	1.Schnitt	grün	25.06.2001	1x	DWA-1S-G-PK1

Tab 7-2: Grasfaserproben für Screeningphase-2.

Nr.	Grasart	Schnitt	grün od. siliert	1x/2x gepresst	Schnitt-datum	Abpress-datum	Faserauf-schluss*)	Namenskürzel
1	Kleegras	1.Schnitt	siliert	1x	7.5.02	ca.10.6.02	keines	KLG-1S-S-PK1
2	Kleegras	1.Schnitt	siliert	2x	7.5.02	ca.10.6.02	keines	KLG-1S-S-PK2
3	Kleegras	1.Schnitt	siliert	1x	7.5.02	ca.10.6.02	HM	KLG-1S-S-PK1-HM
4	Kleegras	1.Schnitt	siliert	2x	7.5.02	ca.10.6.02	TMZ	KLG-1S-S-PK2-TMZ
5	Kleegras	2.Schnitt	grün	1x	ca. 10.6.02	ca. 10.6.02	keines	KLG-2S-G-PK1
6	Kleegras	2.Schnitt	grün	2x	ca. 10.6.02	ca. 10.6.02	keines	KLG-2S-G-PK2
7	Bastard Raygras	1.Schnitt	siliert	1x	7.5.02	ca. 10.6.02	keines	BRG-1S-S-PK1
8	Bastard Raygras	1.Schnitt	siliert	2x	7.5.02	ca. 10.6.02	keines	BRG-1S-S-PK2
9	Bastard Raygras	2.Schnitt	grün	1x	ca. 10.6.02	ca. 10.6.02	keines	BRG-2S-G-PK1
10	Bastard Raygras	2.Schnitt	grün	2x	ca. 10.6.02	ca. 10.6.02	keines	BRG-2S-G-PK2
11	Weizengras	1.Schnitt	grün	1x	ca. 10.6.03	ca. 10.6.03	keines	WG-1S-G-PK1
12	Weizengras	1.Schnitt	grün	2x	ca. 10.6.04	ca. 10.6.04	keines	WG-1S-G-PK2
13	Luzerne	1.Schnitt	grün	1x	ca. 10.6.05	ca. 10.6.05	keines	LU-1S-G-PK1
14	Luzerne	1.Schnitt	grün	2x	ca. 10.6.06	ca. 10.6.06	keines	LU-1S-G-PK2

\*) HM=Hammermühle, TMZ=thermomechanische Zerkleinerung

### Legende



\*) Mischung aus 20% Bastard Raygras (*Lolium hybridum GUMPENSTEIN*), 20% Englisches Raygras (*Lolium perenne*), 20% Knaulgras (*Dactylis glomerata*), 10% Rotklee (*Trifolium pratense*), 10% Timothe (*Phleum pratensis*), 10% Weissklee (*Trifolium repens*) und 10% Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*).

Abb. 7-2a: Grasfaserproben für Screeningphase-2 zur Herstellung von Dämmstoffen aus Grasfasermaterial.

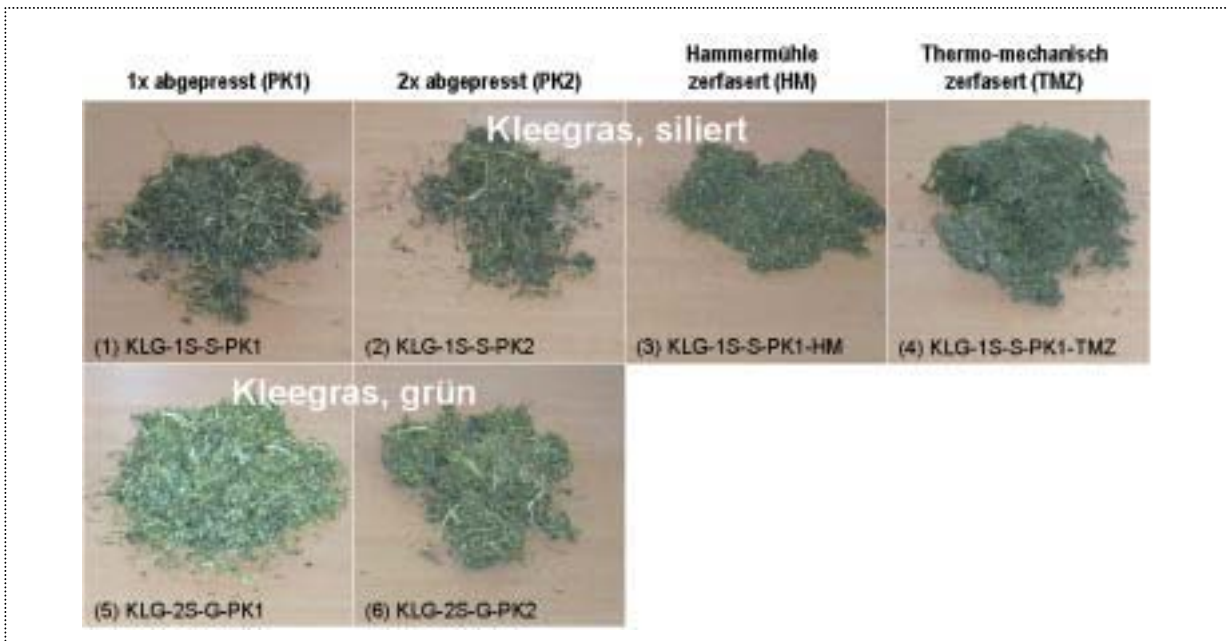


Abb. 7-2b: Grasfaserproben 1-6 (Klee gras).

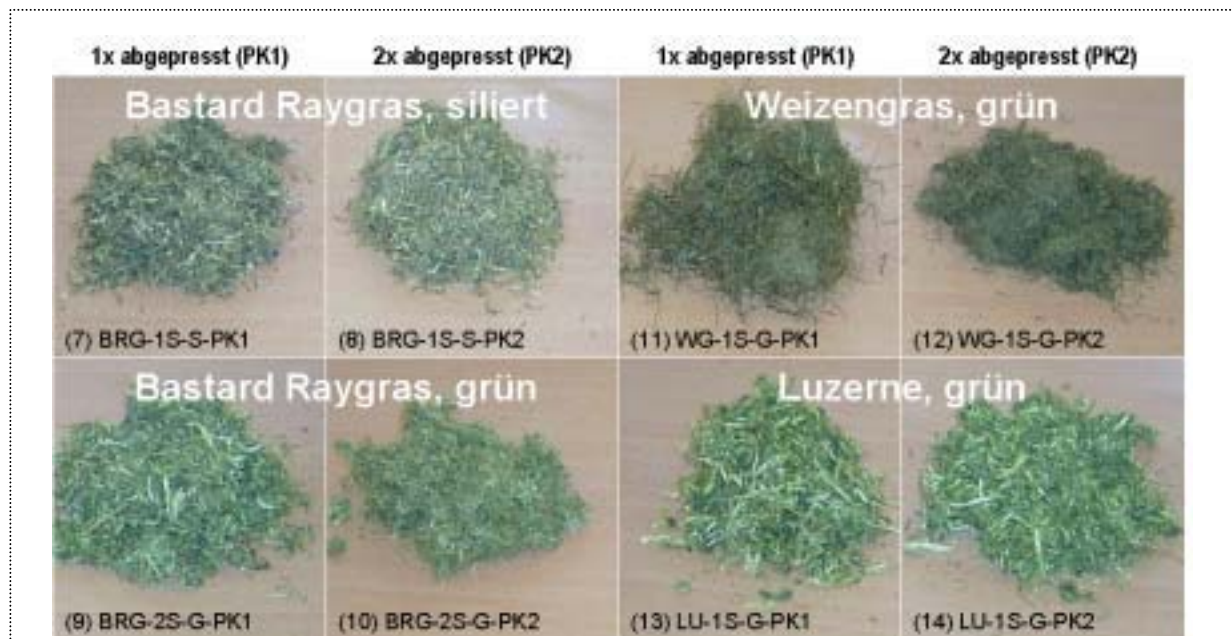


Abb. 7-2c: Grasfaserproben 7-14 (Bastard Ray gras, Weizengras und Luzerne).

### 7.3.2. Bindemittel

In den beiden Projektphasen wurde die Tauglichkeit verschiedener anorganischer / mineralischer sowie organischer Bindemittel untersucht. Die Auswahl erfolgte in enger Abstimmung mit dem Industriepartner *Heraklith AG*, um die Praxisnähe zu gewährleisten.

**Tab. 7-3** gibt einen Überblick über die verwendeten Bindemittel. In *Screeningphase-1* wurden 2 anorganische Bindemittel (Kauster und Sicoat) sowie 2 organische Bindemittel (Acrylatdispersion und Latexemulsion) verwendet. In *Screeningphase-2* wurden - aufbauend auf den Ergebnissen von Screeningphase-1 – lediglich Kauster und Acrylatdispersion (hier allerdings zwei Arten) als Bindemittel verwendet.

*Tab. 7-3: Verwendete Bindemittel.*

Nr.	Bindemittel	Beschreibung	Screening-phase-1	Screening-phase-2
1	Kauster	kaustisch gebrannter Magnesit (MgO)	JA	JA
2	SICOAT	in Natronlauge aufgeschlossene Kieselerde	JA	NEIN
4	Latexemulsion		JA	NEIN
4	Acrylatdispersion	Acronal 7D, Acronal 80D	JA	JA

#### (1) Kauster

**Eigenschaften:** Kauster ist Magnesiumoxid MgO (gebrannte, calcinierte Magnesia, Bittererde, Magnesia usta). Kauster ist ein sehr reaktionsfähiges, feinkristallines Material (lockeres weißes Pulver), das knapp über der Zersetzungstemperatur der Ausgangssubstanzen gebrannt wird. Im großtechnischen Verfahren wird Kauster aus stückigem (bis ca. 50 mm) oder feinkörnigem Magnesiumcarbonat in Schachtföfen, Drehrohrföfen, Etagenöfen oder in den von der Zementindustrie bekannten Wärmetauscherföfen bei ca. 600-1000°C gebrannt. Beim Kausterbrand müssen die Reaktionsbedingungen sehr sorgfältig auf die Verunreinigungen im Aufgabegut abgestimmt werden, weil sonst durch ein Überbrennen die reaktionsfähigen 5-100 nm großen MgO-Kristallite zu stark wachsen und damit reaktionsträge werden.

**Herstellung:** Ausgangsmaterialien für die Magnesiaherstellung sind grobkristalline und dichte Magnesit-Gesteine (Magnesiumcarbonat).

**Verwendung:** Von den nach Art und Temperatur des Calciniervorganges verschiedenen Magnesia-Qualitäten dient Sintermagnesia zur Herstellung von Feuerfest- sowie auch Wärmespeichermaterialien. Schmelzmagnesia verwendet man als Isoliermaterial in der Elektrowärmeindustrie. Reaktionsfähiger Magnesia-Kauster wird eingesetzt in Magnesitbindern (Sorelzement).

**Sorelzement (Magnesiacement):** Unter Sorelzement versteht man sogenannte Magnesitbinder, den man durch Verrühren von gebranntem Magnesit (MgO) mit einer konzentrierten Magnesiumchloridlösung erhält. Nach einiger Zeit erstarrt das Gemisch zu einer festen, marmorharten Masse. Das sich unter Wärmeentwicklung gebildete Magnesiumoxidchlorid ist nicht wasserfest und eignet sich daher zu Verarbeitung in Innenräumen, z.B., im Gemisch mit inerten Füllstoffen und Pigmenten als Fußbodenbelag. Fußbodenplatten aus einem Gemisch von Sägemehl und Sorelzement (nach Verpressung unter ca. 400 bar) sind unter dem Begriff Steinholz (Xyolith) in der Vergangenheit bekannt geworden.

Großen Anwendungsbereich haben heute magnesiagebundene wärme- und schalldämmende Leichtbauplatten. Sie werden aus sehr fein nachgemahlten Magnesia-Kauster und Magnesiumsulfatlösung als

Binder sowie imprägnierter Fichtenholzwolle auf vollautomatischen Bandformmaschinen bei Temperaturen von ca. 60°C hergestellt und anschließend nachgehärtet. Die Platten sind schwer entflammbar und bei einseitigem Putzauftrag sogar feuerhemmend, außerdem durch die Bindung feuchtigkeitsunempfindlich (aber nicht nasserestent).

### (2) SICOAT

*Sicoat* ist ein mineralisches, wasserlösliches, anorganisches Material, welches als dickflüssige Paste in den Handel gelangt. Basis bildet dabei ein Natriumsilikat der Formel  $\text{Na}_2\text{O} \cdot m \text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ , wobei „m“ der sogenannte hydraulische Modul ist und hier im Verhältnis zu den herkömmlichen „Wassergläsern“ relativ hoch. *Sicoat* wird nach einem patentierten Verfahren aus amorpher Kieselsäure hergestellt.

### (3) Latex

Latex und Naturkautschuk hergestellt ist ein hochmolekulares Polyisopren (Isopren = 2-Methyl-1,3-Butadien), welches sich aus 500 bis 5000 Isoprenbausteinen zusammensetzt. Sowohl Latex als auch Kautschuk lassen sich auf vielfältiger Weise technisch einsetzen, wobei das Gros des Latex bereits in den Erzeugerländern zu Kautschuk verarbeitet wird.

Der Latex wird in den Milchröhren der Pflanzen gebildet und besteht aus einer kolloidalen Suspension von Kautschukpartikeln in einer wässrigen Lösung. Die frisch aus dem Baum austretende Naturgummimilch ist eine weißlich-gelbe, manchmal auch graue, milchähnliche Flüssigkeit ohne auffälligem Geruch.

Je nach Herkunft und Umweltbedingungen kann die Zusammensetzung der Latexmilch schwanken. Sie enthält etwa 25-40% (meist 30-35%) Kautschuk, ca. 2% Proteine, ca. 1,6% Harze, ca. 1,5% Zucker und ca. 0,5% anorganische Bestandteile, ferner geringe Mengen an Fettsäuren und anderen organischen Verbindungen (z.B. Lecithin und andere phosphorhaltige Verbindungen).

Polysopren liegt im Latex in Form von langen, geknäulten Molekülketten vor.

Heute wird die Latexmilch vor allem als Bindemittel in der Naturfarbenindustrie verwendet. Anstriche mit Naturlatex ergeben einen elastischen, wasserabweisenden, aber trotzdem luftdurchlässigen Film, der die Oberfläche wie eine Haut überzieht. Latex findet sich aber auch in natürlichen Klebstoffen.

### (4) Acrylatdispersionen ACRONAL 7D und ACRONAL 80D

Acrylatdispersionen sind klassische Bindemittel für Beschichtungen und Lacke. Sie bestehen aus Arylsäureestern, welche in Wasser dispergiert sind. Durch die Wahl der Estergruppen kann man Systeme mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften herstellen. So sind Systeme möglich, deren Glasübergangstemperaturen weit unter der Raumtemperatur liegen, d.h. diese Systeme bleiben sehr lange klebrig (z.B. *Acronal 80 D* mit einer Glasübergangstemperatur von  $-53^\circ\text{C}$ ), aber auch solche, welche nach dem Trocknen einen nichtklebrigen Film bilden (z.B. *Acronal 7 D*). Beide Dispersionen haben einen Feststoffanteil von 50%. Beim Trocknen nähern sich die Dispersionskugeln, welche das Polymer enthalten, durch den Wasserentzug immer mehr aneinander, bis sie sich schließlich berühren und eine durchgehende Polymermatrix bilden :



### 7.3.3. Versuchsplan (Versuchsmatrix)

#### (1) Screeningphase-1

In Absprache mit der JOANNEUM RESEARCH GmbH und dem Industriepartner *Heraklith AG* wurde für die Screeningphase-1 die in **Tab. 7-4** dargestellte Versuchsmatrix festgelegt. Für die Herstellung der Probeplatten wurden Grassorten aus der Ernte 2001 verwendet (s. **Tab. 7-1**).

Aus **Tab. 7-4** sieht man, dass in der Screeningphase-1 Probeplatten mit Bindemittelanteilen kleiner als 50% hergestellt wurden (Rezepturen 1, 6, 9, 11-19). Diese Rezepturen führten jedoch – unabhängig von der verwendeten Bindemittelart – aufgrund der großen Oberfläche der Grasfasern zu keinen formstabilen Platten. Die Platten sehen zwar „auf den ersten Blick“ sehr gut aus (infolge des Pressvorganges hatten sie eine sehr schöne und dichte Oberfläche), beim Herausschneiden der Prüfkörper zerbröckelten diese jedoch, und zwar aufgrund nicht ausreichender innerer Festigkeit infolge Bindemittelmangels im Platteninneren.

**Tab. 7-4:** Versuchsmatrix für Screeningphase-1 (Rezepturen der Probeplatten).

Nr	Grasart	Grasart		Rezeptur				
		grün od. siliert	Interne ProbenNr	Gras (%)	Kauster (%)	Sicoat (%)	Acrylat (%)	Preßdruck
1-1	Knautgras	siliert	6b-4/1	35	65			
1-2	Knautgras	siliert	6b-4/1	50	50			
1-3	Knautgras	siliert	6b-4/1	75	25			
1-4	Knautgras	grün	6a-5/1	35	65			
1-5	Knautgras	grün	6a-5/1	50	50			
1-6	Knautgras	grün	6a-5/1	75	25			
1-7	Knautgras	siliert	6b-4/1	35		65		
1-8	Knautgras	siliert	6b-4/1	50		50		
1-9	Knautgras	siliert	6b-4/1	75		25		
1-10	Knautgras	siliert	6b-4/1	50			50	
1-11	Knautgras	siliert	6b-4/1	75			25	
1-12	Knautgras	siliert	6b-4/1	90			10	
1-13	Knautgras	siliert	6b-4/1	75			25	niedrig
1-14	Knautgras	siliert	6b-4/1	75			25	mittel
1-15	Knautgras	siliert	6b-4/1	75			25	hoch
1-16	Knautgras	grün	6b-4/1	75			25	
1-17	Kleegras-2	siliert	3a-6	75			25	
1-18	Kleegras-1	siliert	2b-7	75			25	
1-19	Dauerwiese	grün	4a-5	75			25	

#### (2) Screeningphase-2

Basierend auf den Ergebnissen der Screeningphase-1 wurde mit JOANNEUM RESEARCH für Screeningphase-2 die in **Tab. 7-5** dargestellte Versuchsmatrix definiert. Für die Herstellung der Probeplatten wurden Grassorten aus der Ernte 2002 verwendet (s. **Tab. 7-2**).

- 4# Bei Rezepturen (2-33)-(2-35) wurden die Fasern vor dem Mischen gewässert, um deren Saugvermögen zu verringern. Dazu wurden die Faserproben 30 Minuten mit Wasser bedeckt, anschließend wurde das Wasser per Hand abgepresst und die Fasern gewogen. Die Wasseraufnahme betrug bei allen 3 Proben mehr als 200%. Mit diesen nassen Fasern wurden die Mischungen wie oben beschrieben angefertigt. Auffallend war, dass bei diesen 3 Mischungen während des Pressvorganges relativ große Wasser- / Bindemittelmengen ausgepresst wurden.

- 4# *Bei den Rezepturen (2-36) und (2-37)* handelt es sich um Mischungen, welche bereits in der 1. Screeningphase geprüft worden sind und hier noch einmal in das Prüfprogramm eingebaut wurden.

Tab. 7-5: Versuchsmatrix für Screeningphase-2 (Rezepturen der Probepplatten).

Nr.	Grasart	Bezeichnung	Bindemittel	Trockenrezeptur			
				Gras (%)	Kauster (%)	Acronal 7D (%)	Acronal 80D (%)
2-1	Kleegras	KLG-1S-S-PK1	Kauster	50	50		
2-2	Kleegras	KLG-1S-S-PK2	Kauster	50	50		
2-3	Kleegras	KLG-1S-S-PK1-HM	Kauster	50	50		
2-4	Kleegras	KLG-1S-S-PK2-TMZ	Kauster	50	50		
2-5	Kleegras	KLG-2S-G-PK1	Kauster	50	50		
2-6	Kleegras	KLG-2S-G-PK2	Kauster	50	50		
2-7	BRG*)	BRG-1S-S-PK1	Kauster	50	50		
2-8	BRG*)	BRG-1S-S-PK2	Kauster	50	50		
2-9	BRG*)	BRG-2S-G-PK1	Kauster	50	50		
2-10	BRG*)	BRG-2S-G-PK2	Kauster	50	50		
2-11	Weizengras	WG-1S-G-PK1	Kauster	50	50		
2-12	Weizengras	WG-1S-G-PK2	Kauster	50	50		
2-13	Luzerne	LU-1S-G-PK1	Kauster	50	50		
2-14	Luzerne	LU-1S-G-PK2	Kauster	50	50		
2-15	Kleegras	KLG-1S-S-PK1	Acronal 7D	49		51	
2-16	Kleegras	KLG-1S-S-PK2	Acronal 7D	49		51	
2-17	Kleegras	KLG-1S-S-PK1-HM	Acronal 7D	49		51	
2-18	Kleegras	KLG-1S-S-PK2-TMZ	Acronal 7D	49		51	
2-19	Kleegras	KLG-2S-G-PK1	Acronal 80D	54			46
2-20	Kleegras	KLG-2S-G-PK2	Acronal 80D	54			46
2-21	BRG*)	BRG-1S-S-PK1	Acronal 80D	54			46
2-22	BRG*)	BRG-1S-S-PK2	Acronal 7D	49		51	
2-23	BRG*)	BRG-2S-G-PK1	Acronal 80D	54			46
2-24	BRG*)	BRG-2S-G-PK2	Acronal 80D	54			46
2-25	Weizengras	WG-1S-G-PK1	Acronal 80D	54			46
2-26	Weizengras	WG-1S-G-PK2	Acronal 7D	49		51	
2-27	Luzerne	LU-1S-G-PK1	Acronal 80D	54			46
2-28	Luzerne	LU-1S-G-PK2	Acronal 7D	49		51	
2-29	Kleegras	KLG-1S-S-PK1	Kauster	30	70		
2-30	Kleegras	KLG-1S-S-PK2	Kauster	30	70		
2-31	Kleegras	KLG-1S-S-PK1-HM	Kauster	30	70		
2-32	Kleegras	KLG-1S-S-PK2-TMZ	Kauster	30	70		
2-33	Kleegras	KLG-1S-S-PK2	Kauster	30	70		
2-34	Kleegras	KLG-1S-S-PK2	Kauster	50	50		
2-35	Kleegras	KLG-1S-S-PK2	Acronal 7D	49		51	
2-36	Knautgras	KNG-1S-S	Kauster	50	50		
2-37	Knautgras	KNG-1S-S	Acronal 7D	49		51	

\*) BRG=Bastard Raygras

### 7.3.4. Herstellung der Probplatten

Zunächst erfolgte eine innige Vermischung des Grasfasermaterials mit dem Bindemittel (Zwangsmischverfahren, mindestens 15 Minuten). Bei der Verwendung von Kauster als Bindemittel trat bei hohen Kauster-Anteilen das Problem auf, dass sich Kauster-Agglomerate bildeten, welche sich auch durch Verlängerung der Mischzeit nicht zerstören ließen. Außerdem musste bei Kauster als Bindemittel neben der stöchiometrischen Menge der Härterlösung (Bittersalz) auch noch zusätzlich Wasser zugesetzt werden (ca. 20% bezogen auf die Trockenrezepturmasse), da die sehr trockenen Grasfasern die Härterlösung zu schnell aufgesaugt hätten. Zu große Wassermengen mussten jedoch auch vermieden werden, da sonst beim Pressvorgang eine Kausterlösung ausgepresst wurde, das optimale Verhältnis wurde in Vorversuchen ermittelt.

Daran anschließend wurde die Faser-Bindemittel-Masse in den Rahmen einer Heizpresse eingefüllt (s. **Abb. 7-3a**) und in der Heizpresse unter Wärmebeaufschlagung (90°C, mindestens 20 Minuten) bei konstantem Pressdruck zu Platten verpresst. Die Platten waren nach dieser Zeit bereits hantierbar (s. **Abb. 7-3b**), die Endaushärtung erfolgte dann im Trockenschrank bei ca. 80°C. Nach dem Konditionieren im Klimaschrank (23°C und 50% rel. Feuchte) wurden die Plattenränder weggeschnitten und aus den mittleren Plattenbereichen die erforderlichen Prüfkörper herausgeschnitten.



**Abb. 7-3a:** Heizpresse zur Herstellung der Probplatten: (a) Einfüllen der Faser-Bindemittel-Mischung in den Pressrahmen, (b) Probplatte nach dem Verpressen.

Abben 7-3b,c,d zeigen die hergestellten Probplatten, Tab. 7-6 gibt eine Kurzbeschreibung dieser Probplatte hinsichtlich mechanischer Stabilität, Druckfestigkeit, Bröseln, Faserstruktur, Faserverteilung und Farbe der Platten.

Bei der Herstellung aller Probplatten kam es zu einer starken Geruchsentwicklung (Gestank), und zwar sowohl beim Verpressen als auch während des Trocknens. Diese Geruchsentwicklung trat unabhängig von der verwendeten Grassorte auf und war durch ihre Intensität sehr störend. Auch ein erneutes Aufwärmen der Proben führte - je nach Höhe der Temperatur - wieder zu mehr oder minder starker Geruchsbelästigung. Diese Erscheinung trat auch bei den Platten aus der Screeningphase-1 (waren 1 Jahr alt) auf.

Schlussfolgerung: Die bei Dämmplatten aus Grasfasern derzeit auftretende starke Geruchsentwicklung stellt einen starken Hinderungsgrund für die Verwendung dieser Dämmplatten im Innenausbau dar. Aus gegenwärtiger Sicht scheint also Grasfasermaterial nicht als Ersatz für die klassische Holzwoleleichtplatte geeignet zu sein, es sei denn, es kommen geeignete Methoden zur Geruchsreduktion zur Anwendung

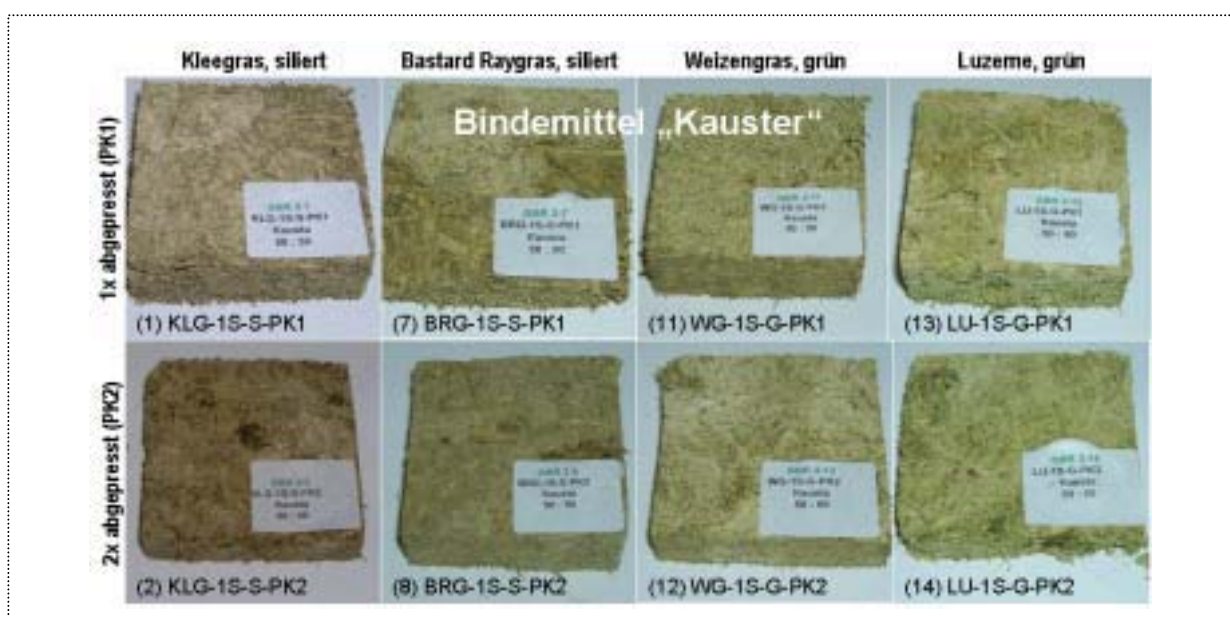


Abb. 7-3b: Probepplatten aus verschiedenen Grasfaserarten mit Kauster als Bindemittel.



Abb. 7-3c: Probepplatten aus unterschiedlich aufbereitetem Klee gras mit der Acrylatdispersion ACRONAL 7D als Bindemittel.

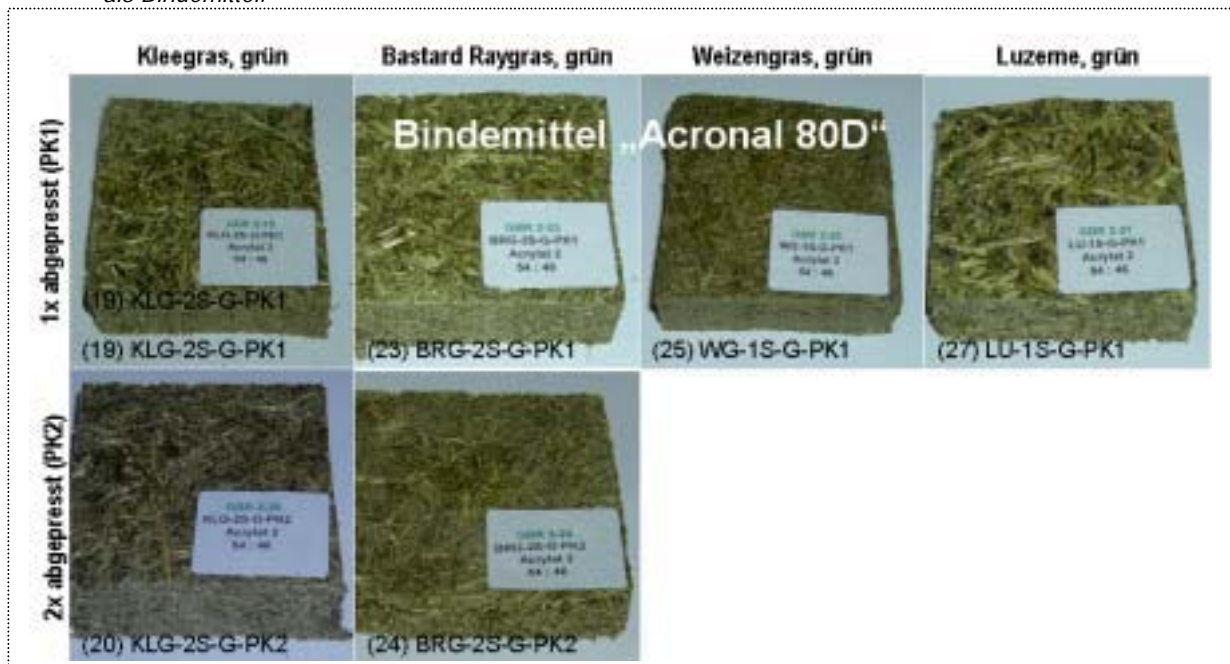


Abb. 7-3d: Probepplatten aus diversen Grasarten mit der Acrylatdispersion ACRONAL 80D als Bindemittel.

*Tab. 7-6: Kurzbeschreibung der Grasfaserprobplatten hinsichtlich mechanischer Stabilität, Druckfestigkeit, Bröseln, Faserstruktur, Faserverteilung und Farbe der Platten.*

Nr.	Grasart	Bindemittel	Mechan. stabil J/N	druckfest J/N	bröselig J/N	Faserstruktur	Faserverteilung	Sonstiges
2-1	Kleegras	Kauster	Ja	Ja	Nein	grob	homogen	
2-2	Kleegras	Kauster	Ja	Ja	Nein	grob	teilw.inhom.	
2-3	Kleegras	Kauster	Nein	Nein	Ja	fein	teilw.inhom.	
2-4	Kleegras	Kauster	Nein	Nein	Ja	fein	teilw.inhom.	
2-5	Kleegras	Kauster	Ja	Ja	Nein	grob	homogen	
2-6	Kleegras	Kauster	Ja	Ja	Nein	grob	teilw.inhom.	
2-7	BRG*)	Kauster	Ja	Ja	Nein	grob	teilw.inhom.	
2-8	BRG*)	Kauster	Ja	Ja	Nein	grob	homogen	
2-9	BRG*)	Kauster	Ja	begrenzt	Nein	grob	teilw.inhom.	
2-10	BRG*)	Kauster	Ja	Ja	Nein	grob	homogen	
2-11	Weizengras	Kauster	Ja	Ja	Nein	mittelfein	homogen	
2-12	Weizengras	Kauster	Ja	sehr druckfest	Nein	mittelfein	k.A.	Kauster "ausgeschwommen"
2-13	Luzerne	Kauster	Ja	Ja	Nein	sehr grob	inhomogen	
2-14	Luzerne	Kauster	Ja	Ja	Nein	sehr grob	teilw.inhom.	
2-15	Kleegras	Acronal 7D	Ja	Ja	Nein	grob	k.A.	dunkle Farbe
2-16	Kleegras	Acronal 7D	Ja	Ja	Nein	grob	k.A.	dunkle Farbe
2-17	Kleegras	Acronal 7D	Ja	Ja	k.A.	fein	k.A.	dunkle Farbe
2-18	Kleegras	Acronal 7D	Ja	Ja	k.A.	mittelfein	k.A.	dunkle Farbe
2-19	Kleegras	Acronal 80D	Ja	sehr weich	k.A.	grob	k.A.	
2-20	Kleegras	Acronal 80D	Ja	weich	k.A.	grob	k.A.	
2-21	BRG*)	Acronal 80D	Ja	weich	k.A.	grob	k.A.	
2-22	BRG*)	Acronal 7D	Ja	Ja	k.A.	grob	k.A.	
2-23	BRG*)	Acronal 80D	Ja	sehr weich	k.A.	grob	k.A.	
2-24	BRG*)	Acronal 80D	Ja	weich	k.A.	grob	k.A.	
2-25	Weizengras	Acronal 80D	Ja	relativ weich	k.A.	relativ fein	k.A.	
2-26	Weizengras	Acronal 7D	Ja	mittelweich	k.A.	relativ fein	k.A.	leicht eindrückbar
2-27	Luzerne	Acronal 80D	Ja	weich	k.A.	sehr grob	k.A.	
2-28	Luzerne	Acronal 7D	Ja	Ja	k.A.	sehr grob	k.A.	
2-29	Kleegras	Kauster	sehr stabil	Ja	k.A.	grob	inhomogen	
2-30	Kleegras	Kauster	sehr stabil	Ja	k.A.	grob	inhomogen	Kausteragglomerate
2-31	Kleegras	Kauster	wenig stab	Ja	k.A.	fein	inhomogen	Kausteragglomerate
2-32	Kleegras	Kauster	wenig stab	mittelweich	k.A.	fein	inhomogen	
2-33	Kleegras	Kauster	Ja	Ja	k.A.	grob	k.A.	Kauster teilw. ausgeschwemmt
2-34	Kleegras	Kauster	Ja	mittelweich	k.A.	grob	k.A.	Kauster teilw. ausgeschwemmt
2-35	Kleegras	Acronal 7D	Ja	Ja	k.A.	grob	k.A.	dunkle Farbe
2-36	Knautgras	Kauster	Ja	hart	k.A.	mittelfein	k.A.	
2-37	Knautgras	Acronal 7D	Ja	hart	k.A.	mittelfein	k.A.	

\*) BRG=Bastard Ravaras

## 7.4. Ergebnisse der werkstofflichen Prüfungen

Die gemäss **Abschn. 7.3.4** hergestellten Platten mit einer Dicke von 20-30 mm (es wurden mehrere Pressrahmen unterschiedlicher Dicke verwendet) wurden einer Reihe von werkstofflichen Prüfungen unterzogen, um die Eignung dieser Platten als Dämmmaterialien zu verifizieren. Das Prüfraster wurde in diversen Vorbesprechungen mit dem Auftraggeber JOANNEUM RESEARCH sowie dem Industriepartner *HERAKLITH AG* gemeinsam definiert, und zwar wie folgt:

- 4# (1) Rohdichte (nach EN 1602),
- 4# (2) Biegefestigkeit (nach ÖNORM B12089),
- 4# (3) Druckspannung bei 10% Stauchung (nach EN 826),
- 4# (4) Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{10\text{tr}}$  (nach DIN 52612),
- 4# (5) Wasseraufnahme (nach EN 1609),
- 4# (6) Schallabsorptionsgrades  $\alpha_s$  (nach DIN 1101),

### 7.4.1. Messergebnisse - Übersicht

In **Tab. 7-6 & Tab. 7-7** sind die Ergebnisse der werkstofflichen Prüfungen der Musterplatten aus den beiden Screeningphasen im Überblick dargestellt.

*Tab. 7-6: Messergebnisse für die Musterplatten der Screeningphase-1.*

Nr	Grasart	Bindemittel	Rohdichte	Biegefestigkeit	Druckspannung	Wärmeleit-
					bei 10% Stauchung	fähigkeit
			(kg/m <sup>3</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kPa)	(mW / m K)
1-1	Knaulgras	Kauster	517,22	0,25	131,9	88,3
1-2	Knaulgras	Kauster	357,88	0,26	254,3	82,7
1-3	Knaulgras	Kauster	281			
1-4	Knaulgras	Kauster	502,16	0,35	482	87,1
1-5	Knaulgras	Kauster	362,25	0,27	286,4	77,3
1-6	Knaulgras	Kauster	278,15			
1-7	Knaulgras	Sicoat	281,26	0,22	126,2	72,3
1-8	Knaulgras	Sicoat	355,61	0,27	142,8	75,9
1-9	Knaulgras	Sicoat	328,44			
1-10	Knaulgras	Acrylat	277,64	0,12	28,1	66,4
1-11	Knaulgras	Acrylat	243,67			
1-12	Knaulgras	Acrylat				
1-13	Knaulgras	Acrylat	229,76			
1-14	Knaulgras	Acrylat	245,18			
1-15	Knaulgras	Acrylat	251,98			
1-16	Knaulgras	Acrylat	239,67			
1-17	Kleegras	Acrylat	237,06			
1-18	Kleegras	Acrylat	241,81			
1-19	Dauerwiese	Acrylat	244,21			
	HWL*)		440	1,8	>200	<90

\*)HWL = Holzwolle-Leichtbauplatte

Tab. 7-7: Messergebnisse für die Musterplatten der Screeningphase-2.

Nr.	Grasart*)	Bindemittel	Dichte	Biegefestigkeit	Druckspannung	Wärmeleitfähigkeit
					bei 10% Stauchung	
			(kg/m <sup>3</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(kPa)	(mW / m K)
2-1	Kleegras	Kauster	320,83	0,28	220,4	77,3
2-2	Kleegras	Kauster	440,89	0,29	238,5	79,9
2-3	Kleegras	Kauster	360,01	0,16	77,6	70,3
2-4	Kleegras	Kauster	405,16	0,20	127,3	72,5
2-5	Kleegras	Kauster	420,83	0,29	258,3	78,4
2-6	Kleegras	Kauster	397,66	0,29	240,1	80,0
2-7	BRG	Kauster	299,53	0,25	195,3	77,3
2-8	BRG	Kauster	375,73	0,24	204,2	76,5
2-9	BRG	Kauster	275,26	0,24	172,0	75,0
2-10	BRG	Kauster	329,14	0,24	180,2	75,8
2-11	Weizengras	Kauster	332,81	0,22	175,4	71,1
2-12	Weizengras	Kauster	352,43	0,23	166,0	74,9
2-13	Luzerne	Kauster	353,13	0,25	153,8	67,7
2-14	Luzerne	Kauster	425,61	0,26	166,4	71,0
2-15	Kleegras	Acronal 7D	532,88	0,32	291,3	81,0
2-16	Kleegras	Acronal 7D	556,19	0,30	298,5	77,5
2-17	Kleegras	Acronal 7D	417,19	0,30	295,4	75,3
2-18	Kleegras	Acronal 7D	507,29	0,29	305,0	79,2
2-19	Kleegras	Acronal 80D	262,86	0,11	35,7	67,3
2-20	Kleegras	Acronal 80D	361,72	0,10	39,3	67,0
2-21	BRG	Acronal 80D	211,63	0,09	24,3	62,5
2-22	BRG	Acronal 7D	318,91	0,22	180,3	71,5
2-23	BRG	Acronal 80D	318,33	0,11	25,5	66,3
2-24	BRG	Acronal 80D	308,39	0,12	28,5	64,0
2-25	Weizengras	Acronal 80D	465,63	0,10	38,5	67,0
2-26	Weizengras	Acronal 7D	350,80	0,21	120,4	71,1
2-27	Luzerne	Acronal 80D	429,69	0,12	43,3	62,7
2-28	Luzerne	Acronal 7D	324,88	0,23	141,8	70,0
2-29	Kleegras	Kauster	636,72	0,31	312,0	75,3
2-30	Kleegras	Kauster	604,63	0,33	351,0	81,7
2-31	Kleegras	Kauster	663,19	0,26	230,0	74,3
2-32	Kleegras	Kauster	603,65	0,25	212,1	76,4
2-33	Kleegras	Kauster	514,64	0,34	422,7	66,5
2-34	Kleegras	Kauster	373,85	0,23	148,3	63,0
2-35	Kleegras	Acronal 7D	290,42	0,32	295,3	67,8
2-36	Knaulgras	Kauster	470,00	0,12	38,1	66,4
2-37	Knaulgras	Acronal 7D	447,50	0,26	254,0	82,7

\*) BRG=Bastard Raygras

### 7.4.2. Rohdichte der Probplatten

Die „Grasdämmstoffplatte“ kann mit dem Standardprodukt *Holzwoleleichtbauplatte (HWL)* verglichen werden. Fast alle untersuchten Proben erfüllen diese Anforderung, unabhängig vom verwendeten Bindemittel.

Rohdichtebereich einer Holzwoleleichtbauplatte (DIN 1101)

$440(-50/+100)\text{kg/m}^3 = 390\text{-}540 \text{ kg/ m}^3$  (bei 25 mm Plattendicke)

#### (a) Ergebnisse der Screeningphase-1

Abb. 7-4 zeigt die Abhängigkeit der Rohdichte von Knaulgrasplatten mit Kauster als Bindemittel von der Art der Grasvorbehandlung (gün vs siliert). Man sieht, dass die Art der Grasvorbehandlung keinen Einfluss auf die Rohdichte hat. Abb. 7-5 zeigt die Abhängigkeit der Rohdichte von Knaulgrasplatten von Bindemittelart (Kauster vs Sicoat) und Bindemittelkonzentration. Es fällt auf, dass im Fall von Sicoat als Bindemittel die Rohdichte der Platte mit abnehmender Bindemittelkonzentration zunächst ansteigt. Dieses unerwartete Verhalten ist aber möglicherweise auf einen Fehler im Experiment zurückzuführen. In jedem Fall befinden sich die für die Rohdichte gefundenen Werte (300 – 500 kg/m<sup>3</sup>) in der Größenordnung des von der Norm DIN 1101 für Holzwoleleichtbauplatten geforderten Wertebereichs 390-540 kg/m<sup>3</sup>.

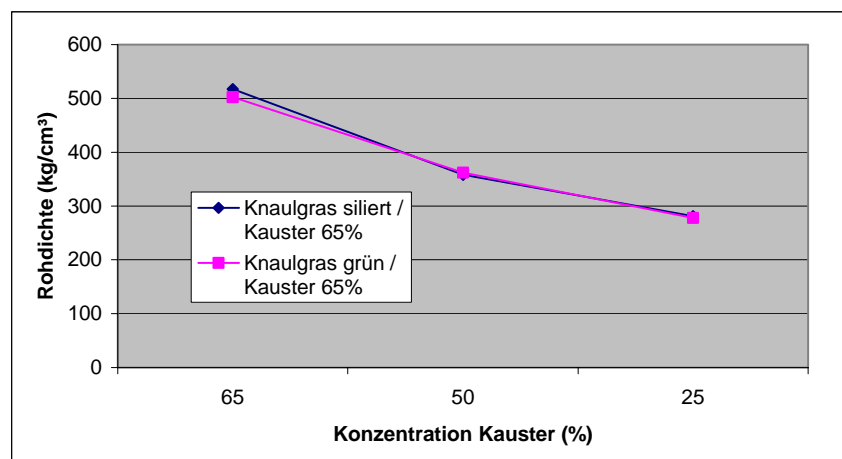


Abb. 7-4: Rohdichte von Knaulgrasplatten mit Kauster als Bindemittel in Abhängigkeit von der Art der Grasvorbehandlung (grün vs siliert) und der Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. Tab. 7-6).

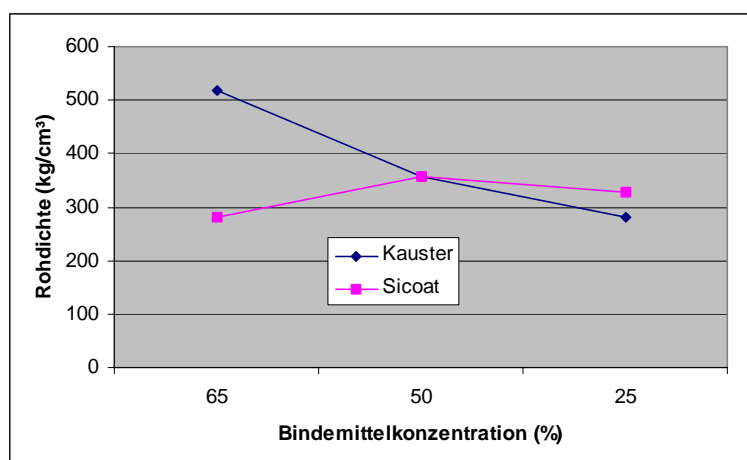


Abb. 7-5: Rohdichte der Knaulgrasplatten als Funktion von Bindemittelart (Kauster vs Sicoat) und Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. Tab. 7-6).



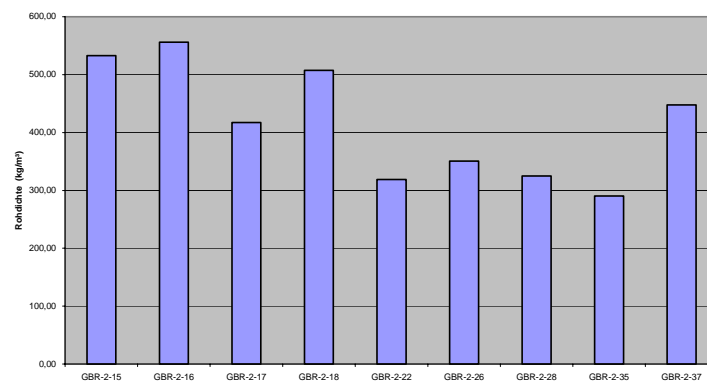
(b) Ergebnisse der Screeningphase-2

**Abb. 7-6** zeigt die Rohdichte verschiedener Probeplatten mit *Acronal 7D* als Bindemittel. Man sieht:

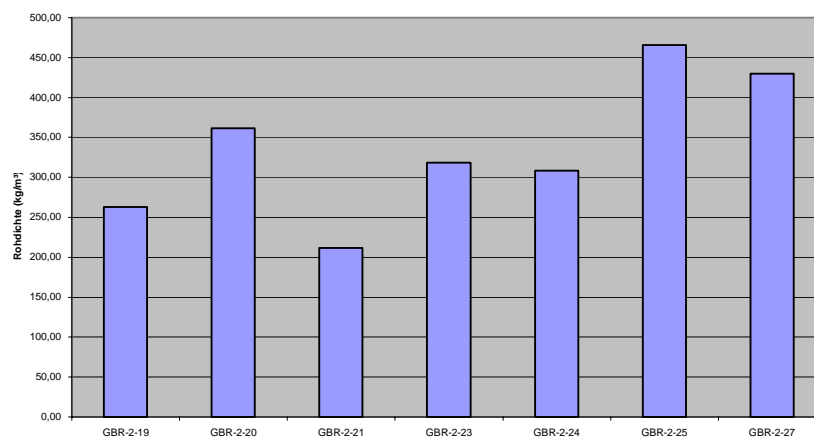
- 4# Platten aus Klee gras (Platten 2-15 bis 2-18) weisen mit 400 – 550 kg/m<sup>3</sup> höhere Rohdichten auf als Platten aus den anderen Grasarten, was darauf hinweist, dass im Fall von Klee gras ein höherer Kompaktierungsgrad erreichbar ist als im Fall der übrigen Grasarten.
- 4# Vorwässern der Fasern bewirkt eine Verringerung der Rohdichte der entsprechenden Platten: 300 kg/m<sup>3</sup> (Platte 2-35) < 500 kg/m<sup>3</sup> (Platte 2-16).
- 4# Der für sämtliche Probeplatten ermittelte Bereich der Rohdichte von 300-550 kg/m<sup>3</sup> entspricht ungefähr dem von der Norm DIN 1101 für Holz wolle leicht bauplatten geforderten Bereich von 390-540 kg/m<sup>3</sup>.

**Abb. 7-7** zeigt Rohdichte von Probeplatten mit *Acronal 80D* als Bindemittel. Man sieht, dass

- 4# Platten aus Weizen gras (Platte 2-25) bzw. Luzerne (Platte 2-27) mit jeweils einem Wert von ca. 450 kg/m<sup>3</sup> eine Rohdichte aufweisen, die innerhalb des von der Norm DIN 1101 für Holz wolle leicht bauplatten geforderten Bereichs von 390-540 kg/m<sup>3</sup> liegt,
- 4# Platten aus allen übrigen Grasarten Klee gras und Bastard Ray gras mit einem Wertebereich von 200-350 kg/m<sup>3</sup> eine niedrigere Rohdichte aufweisen als von der Norm DIN 1101 gefordert.



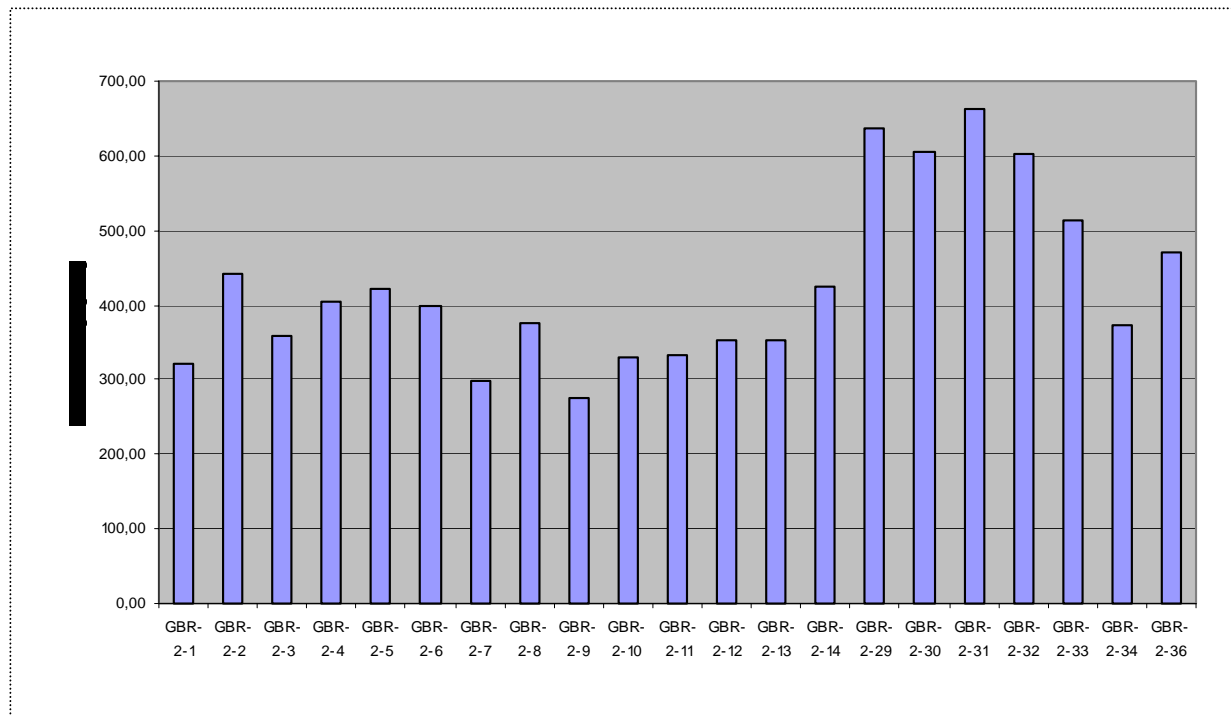
**Abb.7-6:** Rohdichte der Probeplatten mit *Acronal 7D* als Bindemittel (Zahlenwerte s. Tab. 7-7).



**Abb.7-7:** Rohdichte der Probeplatten mit *Acronal 80D* als Bindemittel (Zahlenwerte s. Tab. 7-7).

**Abb. 7-8** zeigt die Rohdichte der Probeplatten mit Kauster als Bindemittel. Man erkennt, dass

- 4# Platten mit hoher Bindemittelkonzentration (70% statt 50%) eine deutliche höhere Rohdichte aufweisen: 500-650 kg/m<sup>3</sup> (Platten 2-29 bis 2-33) > 280-440 kg/m<sup>3</sup> (Platten 2-1 bis 2-14, 2-34 & 2-36),
- 4# alle übrigen Platten mit einer Rohdichte im Bereich 280-440 kg/m<sup>3</sup> im unteren Bereich des von der Norm DIN 1101 für die Holzwolle-Leichtbauplatte (HWL) geforderten Wertebereich 390-540 kg/m<sup>3</sup> liegen.



**Abb. 7-8:** Rohdichte von Probeplatten mit Kauster als Bindemittel (Zahlenwerte s. Tab. 7-7).

### Schlussfolgerungen

- 4# Für Grasfaserplatten mit der organischen Acrylatdispersion „Acronal 7D“ als Bindemittel beträgt der gemessene Rohdichtebereich 300-550 kg/m<sup>3</sup> und entspricht damit in etwa dem von der Norm DIN 1101 für Holzwolleleichtbauplatten geforderten Bereich von 390-540 kg/m<sup>3</sup>.
- 4# Für Grasplatten mit der organischen Acrylatdispersion „Acronal 80D“ als Bindemittel liegen die gemessenen Rohdichtewerte lediglich im Fall von Weizengras und Luzerne mit 450 kg/m<sup>3</sup> innerhalb des von DIN 1101 für Holzwolleleichtbauplatten geforderten Bereichs von 390-540 kg/m<sup>3</sup>. Grasplatten aus Kleegrass und Bastard Raygras hingegen weisen mit 200-350 kg/m<sup>3</sup> deutlich zu geringe Werte auf.
- 4# Für Grasplatten mit dem mineralischen Bindemittel Kauster beträgt – bei mäßiger Bindemittelkonzentration - der gemessene Rohdichtebereich 280-440 kg/m<sup>3</sup>, und liegt damit am unteren Ende des von DIN 1101 für Holzwolleleichtbauplatten geforderten Wertebereichs von 390-540 kg/m<sup>3</sup>. Eine Erhöhung der Rohdichte lässt sich jedoch durch eine Erhöhung der Bindemittelkonzentration erreichen.

### 7.4.3. Biegefestigkeit der Probplatten

Mindestbiegefestigkeit einer Holzwoleleichtbauplatte (DIN 1101): 1,8 N/mm<sup>2</sup>.

#### (a) Ergebnisse der Screeningphase-1

Abb. 7-9 zeigt die Biegefestigkeit von Knaulgrasplatten mit Kauster als Bindemittel als Funktion der Grasvorbehandlungsart (grün vs siliert) sowie der Bindemittelkonzentration. Man sieht, dass im untersuchten Konzentrationsbereich für

- 4# *silierte* Grasproben die Biegefestigkeit praktisch unabhängig ist von der Bindemittelkonzentration,
- 4# *grüne* Grasproben hingegen die Biegefestigkeit mit sinkender Bindemittelkonzentration abnimmt, was auf die Verringerung der anorganischen Matrix zurückzuführen ist.

Abb. 7-10 zeigt die Abhängigkeit der Biegefestigkeit von Knaulgrasplatten von Bindemittelart (Kauster vs. Sicoat) und Bindemittelkonzentration. Man sieht, dass bei hohen Bindemittelkonzentrationen Kauster-gebundene Platten eine höhere Biegefestigkeit aufweisen als Sicoat-gebundene Platten. Allerdings verliert sich dieser Unterschied bei abnehmender Bindemittelkonzentration.

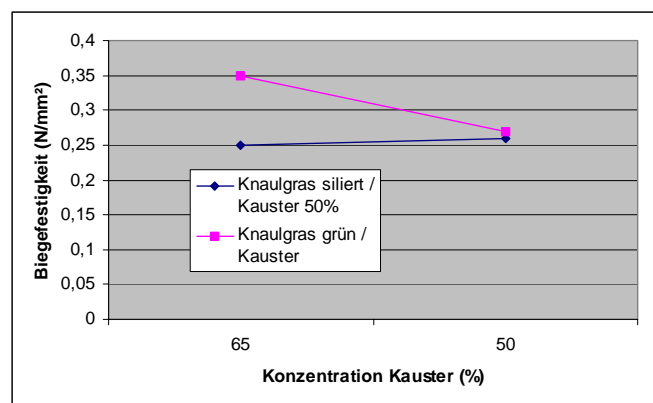


Abb. 7-9: Biegefestigkeit von Knaulgrasplatten mit Kauster als Bindemittel als Funktion der Art der Grasvorbehandlung (grün vs siliert) sowie der Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. Tab. 7-6).

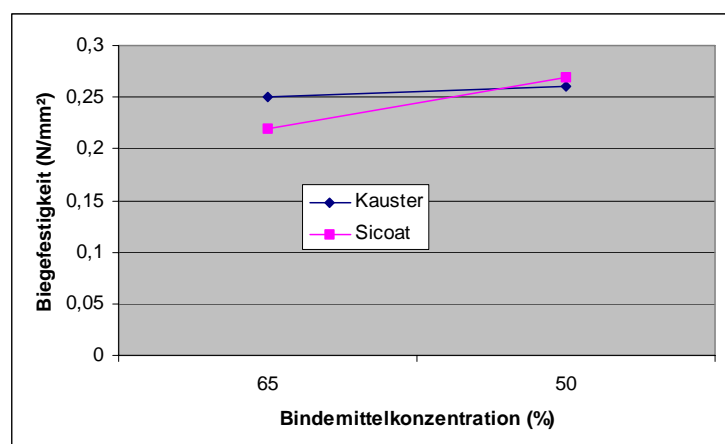


Abb. 7-10: Biegefestigkeit von Knaulgrasplatten als Funktion von Bindemittelart (Kauster vs. Sicoat) und Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. Tab. 7-6).

(b) Ergebnisse der Screeningphase-2

Abb.7-11 zeigt die Biegefestigkeit von Grasplatten mit **Acronal 7D** als Bindemittel. Man sieht, dass

- 4# Platten aus *Kleegrass* (2-15 bis 2-18 und 2-35) die höchsten Werte für die Biegefestigkeit aufweisen (ca. 0,30 N/mm<sup>2</sup>),
- 4# Platten aus den anderen Grassorten geringere Biegefestigkeiten aufweisen,
- 4# für sämtliche Grassorten lediglich Biegefestigkeiten erreichbar sind, die wesentlich unterhalb des von der Norm DIN 1101 für Holzwolleleichtbauplatten geforderten Mindestwerts von 1,8 N/mm<sup>2</sup> liegen.

Abb.7-12 zeigt die Biegefestigkeit von Grasplatten mit **Acronal 80D** als Bindemittel. Man sieht, dass es sich bei diesem Bindemittel um eine sehr „weiche“ Dispersion handelt, da die entsprechenden Musterplatten um rund 60% niedrigere Biegefestigkeiten aufweisen (0,09 – 0,12 N/mm<sup>2</sup>) als im Fall von Acronal 7D als Bindemittel. Die von der Norm DIN 1101 geforderte Mindestbiegefestigkeit von 1,8 N/mm<sup>2</sup> wird bei weitem nicht erreicht.

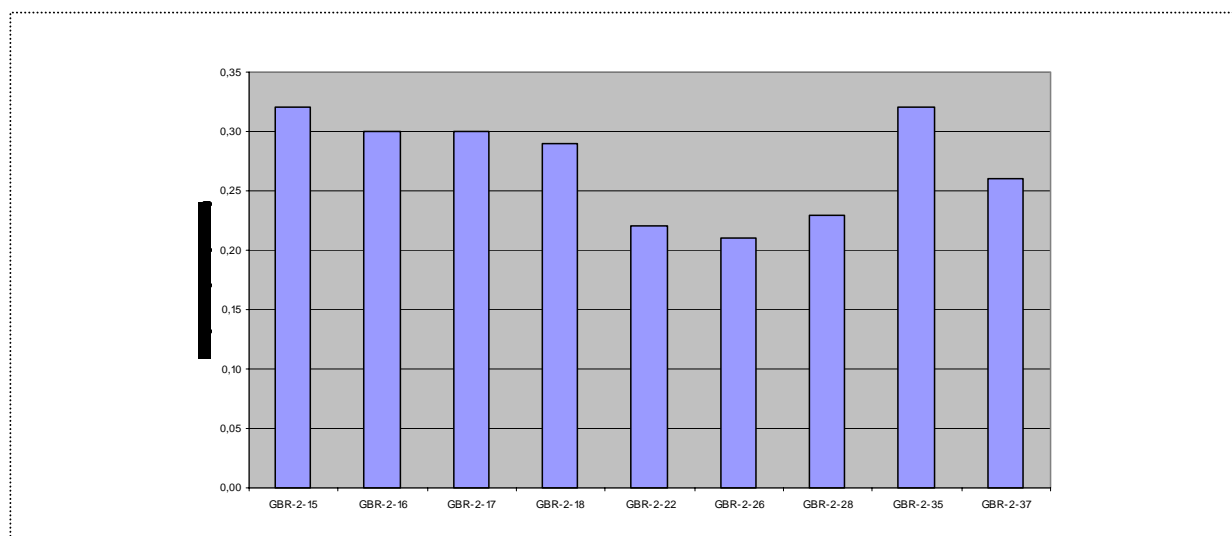


Abb. 7-11: Biegefestigkeit der Grasfaserplatten mit **Acronal 7D** als Bindemittel (Zahlenwerte s. Tab. 7-7).

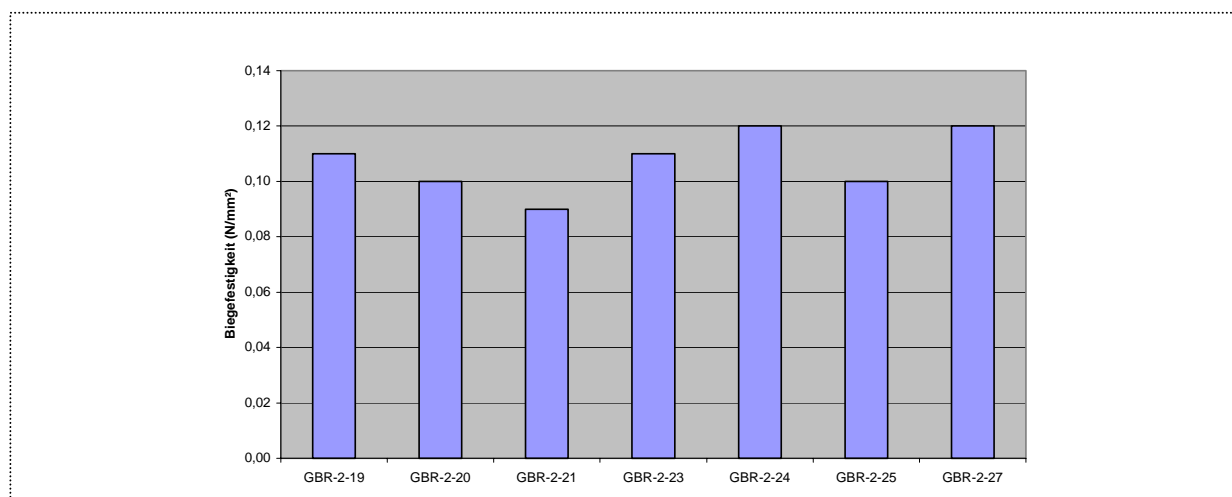
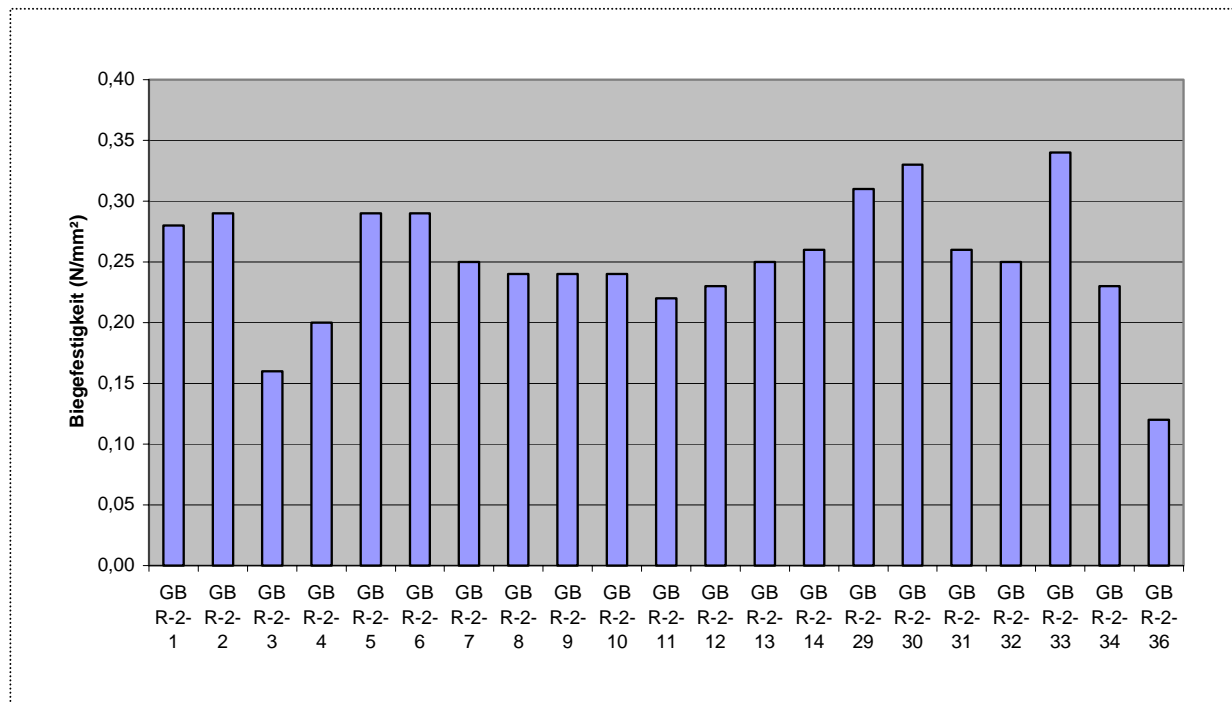


Abb. 7-12: Biegefestigkeit der Grasfaserplatten mit **Acronal 80D** als Bindemittel (Zahlenwerte s. Tab. 7-7).

**Abb.7-13** zeigt die Biegefestigkeit von Grasplatten mit **Kauster** als Bindemittel. Man sieht,

- 4# dass eine Zerkleinerung der Grasfraktion eine deutliche Abnahme der Biegefestigkeit der entsprechenden Platten bewirkt: 0,15-0,20 N/mm<sup>2</sup> (Proben 2-3 & 2-4) < 0,28 N/mm<sup>2</sup> (Proben 2-1 & 2-2).
- 4# dass aber ansonsten keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen Grasart bzw. Vorbehandlung und Biegefestigkeit erkennbar sind,
- 4# dass für sämtliche Musterplatten die gemessenen Biegefestigkeiten (0,10 – 0,35 N/mm<sup>2</sup>) wesentlich niedriger sind als der von DIN 1101 geforderte Mindestwert von 1,8 N/mm<sup>2</sup>.



**Abb. 7-13:** Biegefestigkeit der Grasfaserplatten mit **Kauster** als Bindemittel (Zahlenwerte s. Tab. 7-7).

#### Schlussfolgerung

Die Werte für die Biegefestigkeit der untersuchten Musterplatten aus Grasfasermaterial liegen im Bereich von 0,09 bis 0,35 N/mm<sup>2</sup>, was deutlich niedriger ist als der von der Norm DIN 1101 für Holzwolleleichtbauplatten geforderten Mindestwert von 1,8 N/mm<sup>2</sup>. Wegen dieser deutlich zu geringen Biegefestigkeit scheint also – vorerst – eine Eignung von Grasfaser-Dämmplatten als Ersatz für die klassische Holzwolleleichtbauplatte nicht möglich.

#### 7.4.4. Druckspannung der Probeplatten bei 10% Stauchung

Mindestdruckspannung einer Holzwolleleichtbauplatte bei 10% Stauchung (DIN 1101): 200 kPa

##### (a) Ergebnisse der Screeningphase-1

Abb. 7-14 zeigt die Druckspannung von Knaulgrasplatten bei 10% Stauchung mit Kauster als Bindemittel als Funktion der Art der Grasvorbehandlung (grün vs siliert) sowie der Bindemittelkonzentration. Man sieht:

- 4# Bei hoher Bindemittelkonzentration (z.B. 65%) weisen Platten aus *grünem* Grasfasermaterial eine höhere Druckspannung bei 10% Stauchung auf als *silierte* Grasproben: 300-500 kPa (grün) > 150-250 (siliert). Demnach sind Platten aus grünem Grasfasermaterial deutlich stabiler gegen Druck als Platten aus siliertem Fasermaterial, was auf eine bessere Verankerung grüner Fasern in der Matrix schließen lässt als dies bei silierten Fasern der Fall ist.
- 4# Bei niedrigerer Bindemittelkonzentration (z.B. 50%) scheint es keinen Einfluss der Grasvorbehandlung (grün vs. siliert) auf die Druckspannung zu geben, d.h. man erhält für Platten aus grünem bzw. siliertem Fasermaterial ähnliche Druckspannungswerte (ca. 250-300 kPa).

Abb. 7-15 zeigt die Druckspannung von Knaulgrasplatten bei 10% Stauchung als Funktion von Bindemittelart (Kauster vs. Sicoat) und Bindemittelkonzentration. Man sieht, dass man im gesamten untersuchten Bindemittelkonzentrationsbereich für Kauster als Bindemittel höhere Druckspannungen erhält als für Sicoat als Bindemittel. Insgesamt liegen jedoch die gemessenen Druckspannungen mit 125-250 kPa niedriger als in Abb. 7-14.

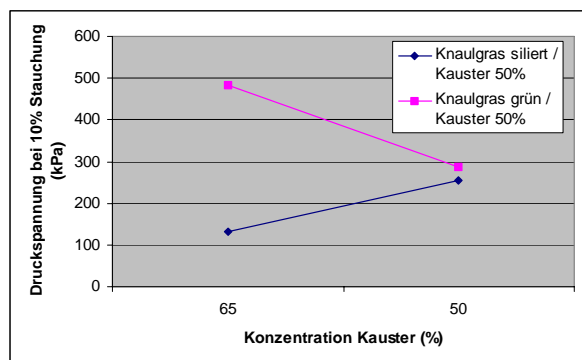


Abb. 7-14: Druckspannung von Knaulgrasplatten bei 10% Stauchung mit Kauster als Bindemittel als Funktion der Art der Grasvorbehandlung (grün vs siliert) sowie der Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. Tab. 7-6).

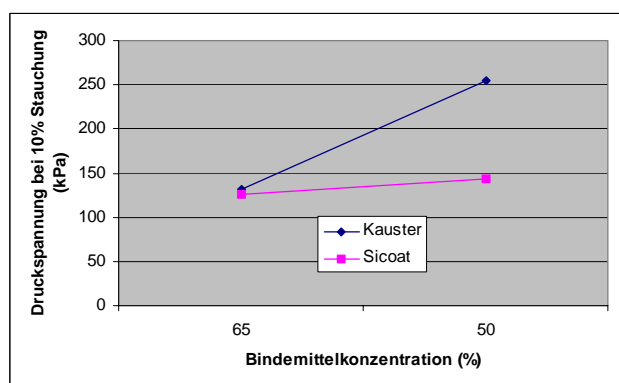


Abb. 7-15: Druckspannung von Knaulgrasplatten bei 10% Stauchung als Funktion von Bindemittelart (Kauster vs. Sicoat) und Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. Tab. 7-6).

(b) Ergebnisse der Screeningphase-2

Abb. 7-16 zeigt die Messwerte für die Druckspannung von Grasfaserplatten bei 10% Stauchung mit *Acronal 7D* als Bindemittel. Ergebnis:

- 4# Für Platten aus Klee gras (Platten 2-15 bis 2-18, 2-35) bzw. Knaut gras (2-37) liegt die gemessene Druckspannung bei 10% Stauchung im Bereich 250-300 kPa, d.h. diese Platten erfüllen die von DIN 1101 für Holzweichfaserplatten geforderte Bedingung einer Mindestdruckspannung von 200 kPa.
- 4# Für Platten aus Bastard Ray gras (2-22), Weizengras (2-26) sowie Luzerne (2-28) liegt der gemessene Druckspannungsbereich mit 120-180 kPa jedoch deutlich niedriger als der von DIN 1101 geforderte Mindestwert von 200 kPa.
- 4# Eine Vorwässerung der Fasern (Probe 2-35) bringt *keine* Verbesserung der Druckfestigkeit der Platten: Platte 2-35 (gewässert) bzw. Platte 2-16 (ungewässert) haben mit jeweils 300 kPa die gleiche Druckfestigkeit.

Abb. 7-17 zeigt die Messwerte für die Druckspannung von Grasfaserplatten mit *Acronal 80D* als Bindemittel. Für sämtliche Platten liegen die gemessene Druckspannung mit 25-40 kPa wesentlich niedriger als in Abb. 7-16, d.h. bei Verwendung der sehr „weichen“ Acrylatdispersion *Acronal 80D* fällt - im Vergleich zur Acrylatdispersion *Acronal 7D* - die Druckfestigkeit der Platten drastisch nach unten.

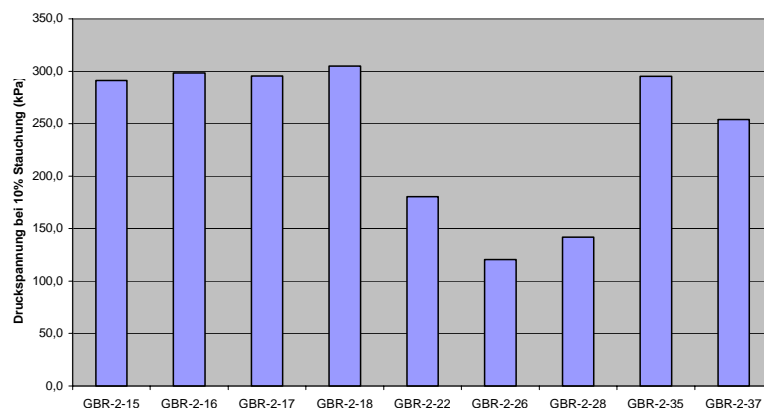


Abb. 7-16: Druckspannung von Grasfaserplatten bei 10% Stauchung mit *Acronal 7D* als Bindemittel (s. Tab.7-7).

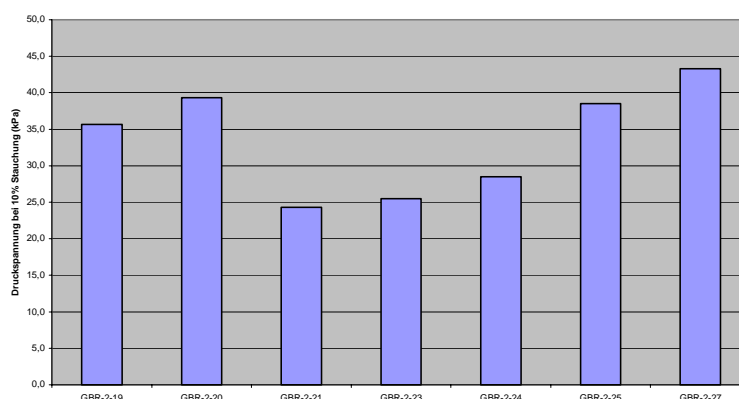
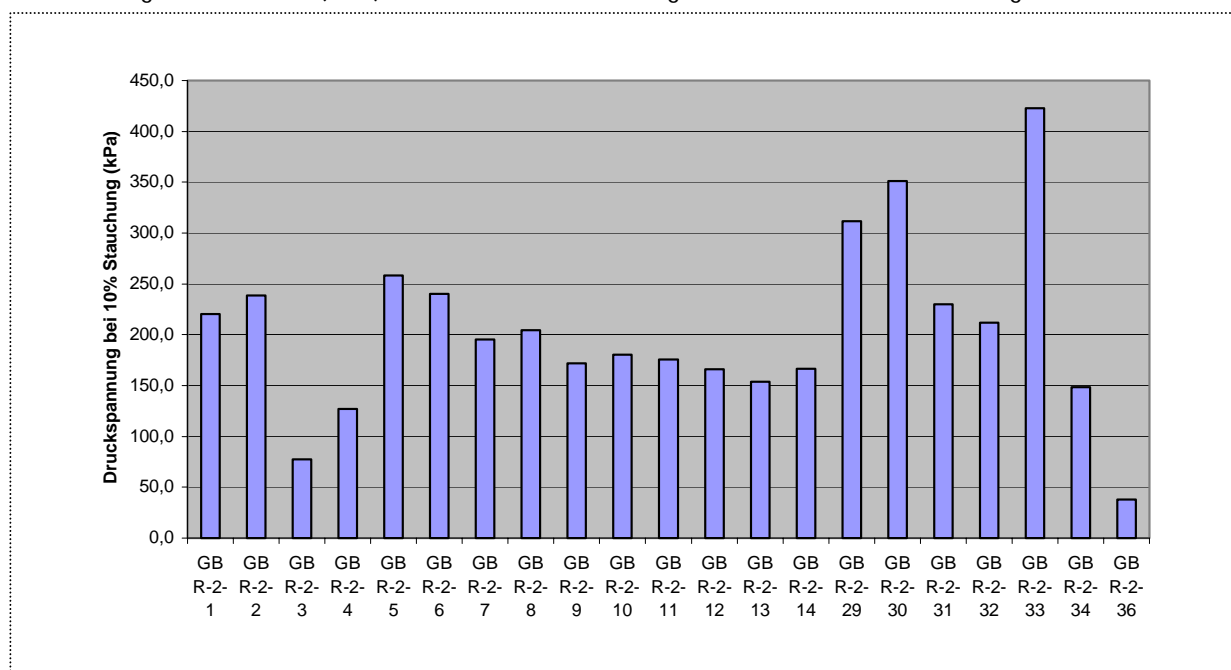


Abb. 7-17: Druckspannung von Grasfaserplatten bei 10% Stauchung mit *Acronal 80D* als Bindemittel (Tab.7-7)

**Abb. 7-18** zeigt die Messwerte für die Druckspannung von Grasfaserplatten bei 10% Stauchung mit Kauster als Bindemittel.

- 4# Am Beispiel von Platten aus Klee gras (2-1 bis 2-4) erkennt man, dass sich eine Zerkleinerung der Grasfasern mittels Hammermühle (Platte 2-3) bzw. thermomechanischer Zerkleinerung (Platte 2-4) negativ auf die Druckstabilität der daraus hergestellten Platten auswirkt. Die entsprechende Druckfestigkeit sinkt von ca. 225 kPa (Platten 2-1 & 2-2) auf 75-125 kPa (Platten 2-3 & 2-4).
- 4# Eine Erhöhung der Bindemittelkonzentration bewirkt auch eine Erhöhung der Druckstabilität der Platten.
- 4# Für etwa die Hälfte der Probeplatten findet man Druckspannungswerte > 200 kPa (Platten 1, 2, 5, 6, 8, 29-33), d.h. diese Platten erfüllen die von DIN 1101 geforderte Bedingung eines Mindestwerts von 200 kPa.
- 4# Überraschend ist der sehr niedrige - mehrmals gemessene - Druckspannungswert der aus Knaul gras hergestellten Platte (2-36) von 40 kPa. Eine Erklärung dafür ist vorerst noch nicht möglich.



**Abb. 7-18:** Druckspannung von Grasfaserplatten bei 10% Stauchung mit Kauster als Bindemittel (s. Tab. 7-7).

Schlussfolgerungen

- 4# Für Grasfaserplatten mit der Arylatdispersion *Acronal 7D* bzw. Kauster als Bindemittel lassen sich jeweils Platten herstellen, deren Druckspannung bei 10% Stauchung jeweils die von DIN 1101 für Holzwoleleichtplatten geforderte Bedingung einer Mindestdruckspannung von 200 kPa erfüllt. Mit der Arylatdispersion *Acronal 80D* als Bindemittel lassen sich jedoch keine Platten mit einer ausreichend hoher Druckfestigkeit herstellen, d.h. diese Platten sind zu weich.
- 4# Eine Zerkleinerung des Grasfasermaterials (z.B. Vermahlung mittels Hammermühle, thermomechanische Zerkleinerung etc.) wirkt sich negativ auf die Druckstabilität der daraus hergestellten Platten aus (Druckfestigkeit sinkt ab), was dadurch leicht erklärbar ist, dass sich kurze Fasern weniger gut in die Bindemittelmatrix einbinden lassen als lange Fasern. Für ein möglichst hohe mechanische Stabilität der aus Grasfasern hergestellten Platten sind also möglichst lange Grasfasern erforderlich. Eine Zerkleinerung des Fasermaterials wirkt sich da kontraproduktiv aus.



### 7.4.5. Wärmeleitfähigkeit der Probeplatten

Maximalwert für Wärmeleitfähigkeit einer Holzwoleleichtbauplatte (DIN 1101): 90 mW/m K

#### (a) Ergebnisse der Screeningphase-1

Abb. 7-19 zeigt die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von Knautgrasplatten mit Kauster als Bindemittel von der Art Grasvorbehandlung (grün vs siliert) sowie der Bindemittelkonzentration. Abb. 7-20 zeigt die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von Knautgrasplatten von Bindemittelart (Kauster vs. Sicoat) und Bindemittelkonzentration. Man sieht:

- 4# Die Wärmeleitfähigkeit aller Platten zusammengenommen liegt im Bereich 70-88 mW/m K, d.h. von sämtlichen Grasfaserprobeplatten wird den in der Norm DIN 1101 für eine Holzwoleleichtbauplatte geforderten Maximalwert von 90 mW / m K *nicht* überschreiten. Demnach haben alle Grasfaserprobeplatten ein ausreichendes Wärmedämmvermögen.
- 4# Weder die Art der Grasvorbehandlung (grün vs. siliert) noch die Bindemittelart (Kauster vs Sicoat) zeigen einen signifikanten Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit der Platten.

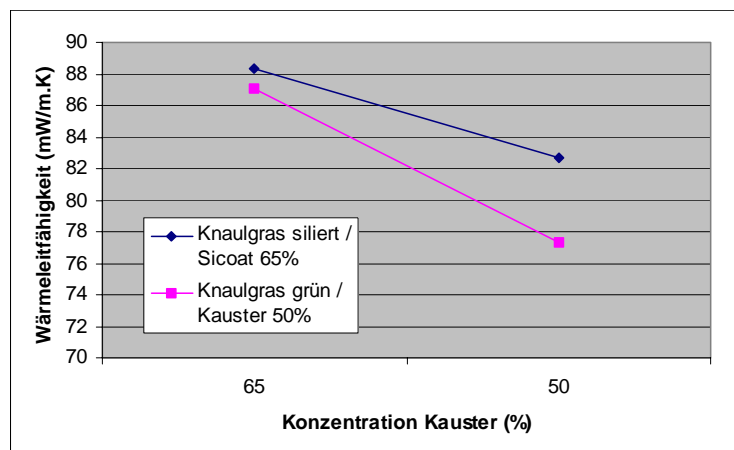


Abb. 7-19: Wärmeleitfähigkeit von Knautgrasplatten mit Kauster als Bindemittel als Funktion der Art der Grasvorbehandlung (grün vs siliert) sowie der Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. Tab.7-6).

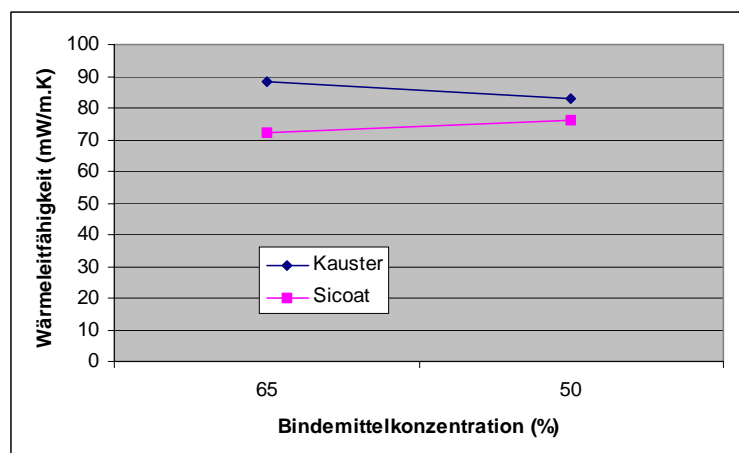


Abb. 7-20: Wärmeleitfähigkeit von Knautgrasplatten als Funktion von Bindemittelart (Kauster vs. Sicoat) und Bindemittelkonzentration (Zahlenwerte s. Tab. 7-6).

### (b) Ergebnisse der Screeningphase-2

In Tab. 7-7 sind die Messwerte aus Screeningphase-2 für Wärmeleitfähigkeit mit den drei Bindemittel Acronal 7D, Acronal 80D und Kauster aufgelistet. Man sieht, dass für sämtliche Probeplatten der Wärmeleitwert kleiner ist als der in der Norm DIN 1101 für eine Holzwolleleichtbauplatte geforderte Maximalwert von 90 mW/m K, d.h. sämtliche untersuchten Grasfaserplatten haben ein ausreichendes Wärmedämmvermögen.

### Schlussfolgerungen

- 4# Von sämtlichen Grasfaser-Probeplatten wird der für eine Holzwolleleichtbauplatte in der Norm DIN 1101 geforderte Maximalwert für die Wärmeleitfähigkeit von 90 mW / m K unterschritten, d.h. alle untersuchten Grasfaser-Probeplatten weisen ein ausreichendes Wärmedämmvermögen auf.

### **7.4.6. Wasseraufnahme der Probeplatten**

In beiden Screeningphasen wurden die Probeplatten einem Test hinsichtlich der Stabilität gegenüber Wasser Wasseraufnahmeverhalten gemäss Norm EN 1609) unterzogen. Leider mussten in beiden Fällen die entsprechenden Versuche nach etwa 10 Tagen abgebrochen werden, weil sich nach dieser Zeitspanne die Probeplatten während der Lagerung in Wasser ausnahmslos „aufgelöst“ hatten, d.h. sie verloren die innere Festigkeit und damit auch ihre Form.

- 4# Bei Platten mit den Acrylatdispersionen als Bindemittel ist dieses Verhalten nicht verwunderlich, da bei diesen Platten eine mehr oder minder stark ausgeprägte Re-Emulgierbarkeit bekannt ist.
- 4# Für die Kauster-gebundenen Platten wurde allerdings aber eine höhere Wasserstabilität erwartet. Ursache für das vorzeitige Auflösen dieser Platten ist vermutlich die starke Wasseraufnahme bzw. eine starke Quellung der Grasfasern. Durch die damit verbundene Zunahme des Volumens kommt es höchstwahrscheinlich zu einem „Aufsprengen“ der anorganischen Matrix.

### Schlussfolgerung

- 4# Grasfaserplatten sowohl mit Kauster als auch mit Acrylatdispersionen zeigen in Kontakt mit Wasser eine starke Wasseraufnahme (Quellung) was zu einer allmählichen Auflösung dieser Platten bei längerem Wasserkontakt führt. Sämtliche untersuchten Grasfaser-Probeplatten weisen somit eine unzureichende Wasserstabilität auf, womit sich die Frage erhebt, durch welche Maßnahmen sich die Stabilität von Grasfaser-Dämmplatten erhöhen lässt.

### 7.4.7. Schallabsorptionsgrad der Probplatten

Tab. 7-8 und Abb. 7-21 zeigen jeweils die Abhängigkeit der Schallabsorptionsgrade der Knaulgrasplatten aus Screeningphase-1 bei unterschiedlichen Frequenzen in Abhängigkeit von Bindemittelart (Kauster, Sicoat, Acrylat) und Art der Grasvorbehandlung (grün, siliert), wobei der Bindemittelgehalt jeweils 50% beträgt. Als Referenz wurde das Schallabsorptionsverhalten zweier weiterer Platten eingefügt: (1) Holzwolleleichtbauplatte (HWL) und (2) BASOTEC Schallschutzplatte der Fa. Greiner Eurofoam. Ergebnis:

- 4# Das Schallabsorptionsverhalten hängt von der Bindemittelart ab.
- 4# Grasfaserplatten haben ein erhebliches Schallabsorptionsverhalten vor allem im Frequenzbereich von 400 bis 1000Hz. In diesem Bereich sind die Messwerte deutlich höher im Vergleich zur HWL Platte bzw. liegen in vergleichbaren Rahmen zu speziellen „Schallschutzplatten“ wie BASOTEC.
- 4# Das Schallabsorptionsverhalten der Grasplatten im Frequenzbereich über 1000Hz nimmt wieder ab. Diese Charakteristik ist eher ungewöhnlich. Die Messwerte in diesem Bereich könnten aber durch das Messverfahren verfälscht sein.

Tab. 7-8: Schallabsorptionsgrade für Probplatten aus Screeningphase-1. (Rezeptur der Platten s. Tab. 7-4).

Nr	Schallabsorptionsgrad									
	100 Hz	160 Hz	250 Hz	315 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz	1600 Hz	Mittelwert
1-1	0,047	0,101	0,25	0,398	0,855	0,981	0,947	0,818	0,593	0,502
1-2	0,051	0,1	0,192	0,292	0,707	0,927	0,963	0,813	0,51	0,451
1-4	0,053	0,128	0,272	0,431	0,884	0,979	0,927	0,797	0,578	0,512
1-5	0,052	0,096	0,203	0,286	0,707	0,927	0,962	0,815	0,516	0,451
1-7	0,046	0,089	0,194	0,303	0,752	0,957	0,94	0,758	0,473	0,444
1-8	0,039	0,065	0,123	0,18	0,463	0,696	0,87	0,832	0,524	0,375
1-10	0,04	0,068	0,118	0,169	0,408	0,617	0,811	0,827	0,549	0,361
HWL*)	0,05		0,12		0,22			0,49	0,91	

\*)HWL = Holzwolle-Leichtbauplatte

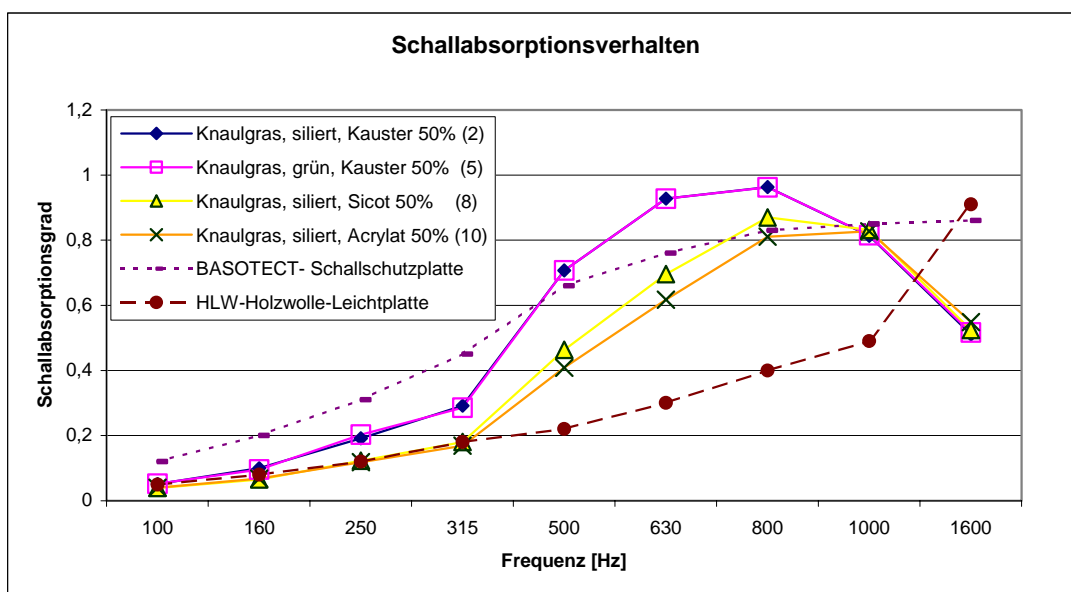


Abb. 7-21: Schallabsorptionsgrade bei unterschiedlichen Frequenzen von Knaulgrasplatten in Abhängigkeit von Bindemittelart (Kauster, Sicoat, Acrylat) und Art der Grasvorbehandlung (grün, siliert).

Angesichts der Tatsache, dass die in Screeingphase-2 hergestellten Probeplatten sowohl hinsichtlich Biegefestigkeit (s. **Abschn. 7.4.3**) als auch hinsichtlich der Geruchsentwicklung (s. **Abschn. 7.3.4**) deutlich die Anforderungen an das Referenzprodukt Holzwoleleichtbauplatte verfehlten, wurde für diese Grasfaserprobeplatten auf die zeitaufwendige und teure Messung des Schallabsorptionsverhaltens verzichtet.

## 7.5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Rahmen dieses Projektes wurde die Eignung diverser unterschiedlicher Grasfasern (Knautgras, Klee gras, Bastard Raygras, Luzerne und Weizengras) mit unterschiedlichen Vorbehandlungsstufen (1. und 2. Schnitt, grün und siliert, 1 oder 2 Abpressungen, Hammermühle bzw. thermomechanische Vorzerkleinerung) als Rohstoff für ein Dämmmaterial untersucht. Als Bindemittel wurden sowohl anorganische (Kauster und Siocoat) als auch organische (2 unterschiedliche Acrylatdispersionen und Latex) verwendet.

Es ließen sich ab einer Bindemittelkonzentration von 50% (bezogen auf die Trockenmasse) relativ vernünftige Platten fertigen, auch einige der untersuchten relevanten Parameter zeigten, dass diese Produkte mit den im Wettbewerb stehenden Holzwoleleichtplatten (HWL) konkurrieren könnten.

Jedoch ergaben sich im Laufe der Untersuchungen einige KO-Kriterien, welche einer möglichen Eignung dieser „Grasplatten“ als Dämmstoff in der Innen- bzw. Außenanwendung im Wege stehen:

- 4# **Geruchsbelästigung:** die starke Geruchsbelästigung – speziell bei etwas höheren Temperaturen – erlaubt keinen Einsatz dieser Platten im Innenbereich. In Folgearbeiten könnte versucht werden, Grasfasermaterial zu „waschen“ und anschließend zu überprüfen, ob durch diese Art einer zusätzlichen Vorbehandlung das Geruchsproblem grundsätzlich reduzierbar ist.

Schlussfolgerung. Solange das Problem der Geruchsbelästigung nicht gelöst ist, solange erübrigen sich weitere Versuche zur Überprüfung der Eignung von Grasfasermaterial als Rohstoff für thermisches / akustisches Dämmmaterial.

- 4# **Mechanische Stabilität:** Bedingt durch die geringe mechanische Stabilität der Grasfasern ergeben sich leider auch – unabhängig vom verwendeten Bindemittel – unbefriedigende mechanische Stabilitäten der Plattenproben, speziell bei der Biegefestigkeit. Leider zeigten sowohl silierte als auch unsilierte Fasern das gleiche nicht zufriedenstellende Verhalten.
- 4# **Wasserbeständigkeit:** Alle untersuchten Proben zeigten – unabhängig vom Bindemittel – eine absolut unbefriedigende Wasserbeständigkeit, sodass der Einsatz dieser Produkte im Baubereich nicht forciert werden kann.

Zusammenfassend muss leider festgestellt werden, dass diese sehr umfangreiche Versuchsreihe sehr eindeutig zu dem Ergebnis geführt hat, dass der Einsatz der in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Grasfaserfraktion als Dämmstoff im Baubereich – vorerst - nicht empfohlen werden kann. Grundvoraussetzung dafür wäre es, das Problem der sehr intensiven Geruchsentwicklung dieses Dämmstoffes (sowohl als Losedämmung als auch als Plattenware) zu lösen.

## 8. GRASFASERN ALS FÜLL- UND VERSTÄRKUNGSSTOFF FÜR THERMOPLASTISCHE KUNSTSTOFFE

Verfasser: *DR. WOLFGANG STADLBAUER, FINKLHAM 92, A-4075 BREITENAICH*

### 8.1. Einleitung

Der Markt für naturfasergefüllte Polymere entwickelte sich in den letzten Jahren dramatisch, speziell in den USA und Japan mit jährlichen Zuwachsraten von 25% und mehr. Auch in Europa begann mit Beginn der 90er-Jahre das Interesse an diesen Werkstoffen immer mehr zu steigen. Neben Hanf- und Flachsfasern, welche primär im Automobilbereich verwendet werden, werden auch Holz- und andere zellulosehaltige Fasern immer interessanter. Dabei handelt es sich aber eigentlich um nichts Neues, setzte doch schon zu Beginn des letzten Jahrhunderts *Baekeland*, der Erfinder des *Bakelits*, Holz als Zusatzstoff zur Eigenschaftsmodifizierung zu. Durch den Einsatz von lignozellulosehaltigen Füllstoffen (Holzmehl und Holzfasern) kann man heute speziell die mechanische Stabilität (Biegesteifigkeit) von Thermoplasten gewaltig erhöhen.

### 8.2. Zielsetzung

Im Rahmen der in diesem Kapitel beschriebenen Arbeiten sollte die grundsätzliche Eignung der in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Grasfaserfraktion als Füll- und Verstärkungsstoff für thermoplastische Kunststoffe untersucht werden (speziell Polypropylen). Zu diesem Zweck wurden Faser-Kunststoff-Compounds erzeugt (70% Polymer + 30% Grasfasern) und die entsprechenden mechanischen Kennwerte ermittelt.

### 8.3. Rohstoffe und Versuchsplan

#### 8.3.1. Rohstoffe und Rezeptur

Tab. 8-1 zeigt die für die Grundlagenversuche zur Überprüfung der grundsätzlichen Eignung von Grasfasern als Füll- bzw. Verstärkungsstoff in thermoplastischen Kunststoffen verwendeten Rohstoffe.

*Tab. 8-1: Verwendete Rohstoffe für die Erzeugung von Faser-Kunststoff-Compounds.*

Rohstoff	Anteil (%)
Fasern Kleegras, 1.Schnitt, siliert, 2x abgepresst, thermomech. zerfasert (KLG-1S-S-PK2-TMZ)	30%
Kunststoff Polypropylenhomopolymer „HD 120 MO“ (Fa. Borealis)	70%

#### 8.3.2. Herstellung des Faser-Kunststoff-Compounds

Für das homogene Einmischen der Grasfasern in die Kunststoffschmelze wurde ein Technikumscompounder (*Prism TSE 24 HC – Zweischnckenextruder*) mit gravimetrischer Dosierung (sowohl für das Polymer als auch für den Füllstoff) verwendet (s. **Abb. 8-1a**). Das Polymergranulat wurde durch den Hauptdosierung, die Grasfasern durch den Sidefeeder in den Extruder gefördert. Die Grasfasern ließen sich problemlos fördern und in die Polymerschmelze einarbeiten. An der Extruderdüse entstanden jedoch starke Ablagerungen. Auch war die Geruchsentwicklung nicht unerheblich. Verfahrensparameter waren:

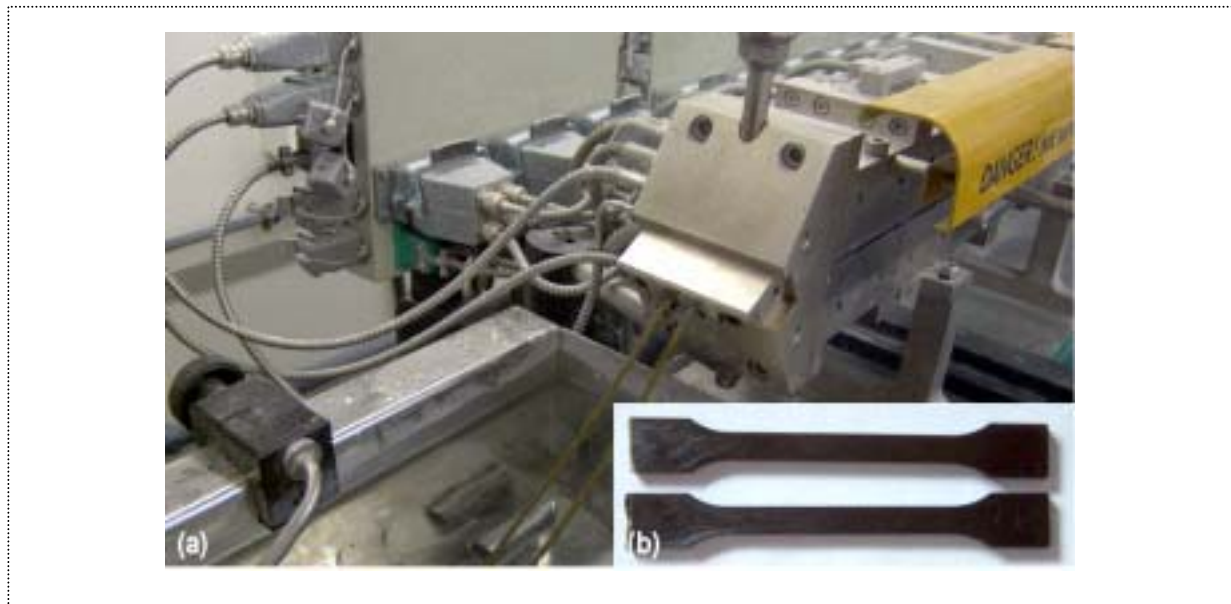
- 4# Massetemperatur : 230°C
- 4# Es wurde eine Zweilochdüse verwendet.
- 4# Die austretende Polymerschmelze wurde in einem Wasserbad gekühlt und nach einer Lufttrocknung granuliert.

### 8.3.3. Herstellung der Prüfkörper

Die Prüfkörper wurden gemäß *ÖNORM EN ISO 3167 „Kunststoffe – Vielzweckprobekörper“* hergestellt (s. **Abb. 8-1b**). Das Granulat wurde vor der Herstellung der Prüfkörper 2 Tage im Trockenschrank bei 50°C getrocknet. Verfahrensparameter:

- 4# Verwendete Spritzgießmaschine: Engel ES 80/25,
- 4# Spritztemperatur: 210°C
- 4# Werkzeugtemperatur: 75°C

Die Proben wurden anschließend gemäß *ÖNORM EN ISO 291 „Kunststoffe – Normklimare für Konditionierung und Prüfung“* mindestens 88 Stunden im Normklima (23°C und 50% relative Feuchte) gelagert, bevor sie für die jeweiligen Messungen verwendet wurden.



**Abb. 8-1:** Herstellung von *Grasfaser-Kunststoff-Compounds*: (a) Extruderdüse mit austretender *Polymerschmelze*, (b) *Universalprüfkörper*.

## 8.4. Ergebnisse der werkstofflichen Prüfungen

### 8.4.1. Zugversuche

- 4# Die Bestimmung der Zugeigenschaften erfolgte nach *DIN EN ISO 527-1*.
- 4# Die Proben wurden unmittelbar vor der Prüfung dem Klimaschrank entnommen.
- 4# Verwendete Prüfmaschine: *Zwick Universalprüfmaschine TC-FR020 TH*

**Tab. 8-2:** Maße der Prüfkörper für die Zugversuche.

Abmessung	Mittelwert (mm)	Mindestwert (mm)	Höchstwert (mm)
b (Breite)	9,98	9,98	9,98
h (Dicke)	4,036	4,03	4,04
l (paralleler Teil)	80 mm		

Tab. 8-3: Geräteparameter für Zugversuch (Zwick Universalprüfmaschine TC-FR020 TH).

Prüfgeschwindigkeit	2,0mm/min
Prüfgeschwindigkeit E Modul	1,0mm/min
Methode E Modul	Regression bei 0,05-0,25%
Kraftsensor	20kN
Dehnungsmesseinrichtung	Längenänderungsaufnehmer
Spanneinrichtung	Pneumatische Backen mit einem Spanndruck von 200kPa

Tab. 8-4: Prüfergebnisse und Statistik der Zugversuche.

Nr.	Probendicke mm	Probenbreite mm	E - Modul MPa	Fmax N	$\kappa$ - Fmax +
1	4,04	9,98	1446,35	23,37	6,06
2	4,04	9,98	1446,81	23,45	6,16
3	4,03	9,98	1534,01	23,63	5,42
		Mittelwert	1475,72	23,48	5,88
		Standardabweichung	50,48	0,13	0,40

#### 8.4.2. Biegeversuche

- 4# Die Bestimmung der Biegeeigenschaften erfolgte nach *DIN EN ISO 178*.
- 4# Die Proben wurden unmittelbar vor der Prüfung dem Klimaschrank entnommen.
- 4# Verwendete Prüfmaschine: *Zwick Universalprüfmaschine TC-FR020 TH*

Tab. 8-5: Maße der Prüfkörper für die Biegeversuche.

Abmessung	Mittelwert (mm)	Mindestwert (mm)	Höchstwert (mm)
b (Breite)	9,98	9,98	9,98
h (Dicke)	4,04	4,03	4,04
l (paralleler Teil)	80		

Tab. 8-6: Geräteparameter für Biegeversuch (Zwick Universalprüfmaschine TC-FR020 TH).

Prüfgeschwindigkeit	2,0mm/min
Prüfgeschwindigkeit E Modul	2,0mm/min
Methode E Modul	Regression bei 0,05-0,25%
Kraftsensor	500N
Dehnungsmesseinrichtung	Traverse
Auflagerradius	5mm
Biegefinneradius	5mm

Tab. 8-7: Prüfergebnisse und Statistik der Biegeversuche.

Nr.	Probendicke mm	Probenbreite mm	E - Modul MPa	Fmax N	$\kappa$ - Fmax +
1	4,04	9,98	2295,32	43,39	5,55
2	4,04	9,98	576,79	45,34	5,54
3	4,04	9,98	1131,02	45,01	5,34
4	4,04	9,98	2067,38	43,53	5,43
		Mittelwert	1517,63	44,32	5,47
		Standardabweichung	804,50	1,00	0,10

### 8.4.3. Bestimmung der Charpy-Schlagzähigkeit

- 4# Die Bestimmung der Schlagzähigkeit nach Charpy erfolgt nach *DIN EN ISO 179-1/1eU*
- 4# Die Proben wurden unmittelbar vor der Prüfung dem Klimaschrank entnommen.
- 4# Verwendete Prüfmaschine: *Pendelschlagwerk Zwick 5113.300*

Tab. 8-8: Prüfergebnisse und Statistik der Schlagzähigkeitsversuche

Nr.	Probendicke mm	Probenbreite mm	Schlagarbeit J	Schlagzähigkeit kJ/m <sup>2</sup>
1	4,04	9,98	0,59	14,75
2	4,04	9,98	0,59	14,66
3	4,04	9,98	0,50	12,32
4	4,04	9,98	0,58	14,51
5	4,04	9,98	0,52	12,94
Mittelwert			0,56	13,84
Standardabweichung			0,04	1,13

### 8.4.4. Vergleich mit anderen Füll- und Verstärkungsstoffen

Tab. 8-9 gibt einen Vergleich der in den Zug-, Biege- und Schlagzähigkeitsversuchen ermittelten Kennwerte für das reine, ungefüllte Polypropylenpolymer „HD 120 MO“ mit den entsprechenden Kennwerten bei Verwendung unterschiedlicher Füllstoffe (Grasfasern, Glimmer, Talkum). Man sieht, dass Grasfasern als Füllstoff zwar die Zugfestigkeit des Polymers geringfügig erhöhen, dass dieser Effekt jedoch sehr gering ist im Vergleich zum Fall, in dem Talkum oder Glimmer als Füllstoff verwendet wird. Auch die Schlagzähigkeit liegt bei Verwendung von Grasfasern als Füllstoff unterhalb der entsprechenden Werte für Glimmer bzw. Talkum.

Tab. 8-9: Vergleich der in Zug-, Biege- und Schlagzähigkeitsversuchen ermittelten Kennwerte für für das reine, ungefüllte Polymer „HD 120 MO“ sowie der entsprechenden Kennwerte unter Verwendung von Grasfasern, Glimmer bzw. Talkum als Füllstoff

Thermoplast	HD 120 MO (100%)	HD 120 MO (70%)	HD 120 MO (70%)	HD 120 MO (70%)
Füllstoff	keiner	Grasfasern (30%)	Glimmer (30%)	Talkum (30%)
<b>Zugversuch</b>				
E-Modul (MPa)	1055	1475,72	2450	3200
Fmax (Mpa)	28,5	23,48	29,5	33,5
Dehnung bei Fmax (%)	13,8	5,88	3,6	4,1
<b>Biegeversuch</b>				
E-Modul (Mpa)	1550	1517,63	3350	4550
Fmax (Mpa)	40	804,5	54	60,07
Dehnung bei Fmax (%)	6,4	5,46	4,2	4,21
<b>Schlagzähigkeit (Charpy)</b>				
Schlagarbeit (J)	o.B.	0,56	1	1,12
Schlagzähigkeit (kJ/m <sup>2</sup> )	o.B.	13,84	24,8	27,5

### Schlussfolgerung

Der Einsatz von Grasfasern als Verstärkungsstoff von thermoplastischen scheint nach diesen ersten Ergebnissen in dieser Form nicht sinnvoll, es muss einerseits die Faser-Matrix-Haftung durch Zugabe geeigneter Haftvermittler erhöht werden, andererseits muss man aber auch Grasfasern mit höherer Eigenfestigkeit verwenden.



## 8.5. Referenzen

*DIN EN ISO 178:*

*Bestimmung der Biegeeigenschaften [von Kunststoff-Prüfkörpern]*

*DIN EN ISO 179-1/1eU:*

*Bestimmung der Charpy-Schlagzähigkeit [von Kunststoff-Prüfkörpern]*

*DIN EN ISO 527-1:*

*Bestimmung der Zugeigenschaften [von Kunststoff-Prüfkörpern]*

*ÖNORM EN ISO 291:*

*„Kunststoffe – Normklimate für Konditionierung und Prüfung“*

*ÖNORM EN ISO 3167*

*„Kunststoffe – Vielzweckprobekörper“*







## 9. MATERIALIEN IM GARTEN- UND LANDSCHAFTSBAU AUS GRASFASERN

Verfasser: *DR. WOLFGANG STADLBAUER, FINKLHAM 92, A-4075 BREITENAICH*

### 9.1. Einleitung

Im gewerblichen Gartenbau sowie im Landschaftsbau (Ingenieurbiologie) sind eine Reihe von Produkten im Einsatz, die Naturfasern als Rohstoffkomponente verwenden, und wo prinzipiell auch der Einsatz von Grasfasern als Rohstoff denkbar ist (s. **Abb. 9-1**):

- 4# Anzucht-/Kulturtöpfe aus Kokosfasern, Chinaschilf, Altpapier,...
- 4# Mulchscheiben/-matten aus Holzfasern, Flachs, Hanf, Stroh,...
- 4# Pflanzensubstratmatten aus Hanf, Kokos, Stroh,...
- 4# Begrünungs-/Erosionsschutzmatten aus Flachs, Hanf, Stroh,...

<b>Anzucht- &amp; Kulturgefäße</b>	<b>Mulchabdeckungen</b>	<b>Produktlinien im Garten- &amp; Landschaftsbau aus Pflanzenfasern</b>
		
		
<b>Pflanzensubstrat-Matten</b>	<b>Begrünungsmatten/ Rollrasen</b>	
1	Anzucht- & Kulturgefäße (Töpfe, Schalen, Container,...)	
2	Baumschulbedarf (Mulchabdeckungen, Substrate,...)	
3	Begrünungen (Böschungen, Dächer) (Begrünungsmatten & -vliese, Rollrasen,...)	
4	Floristik (Steckhilfen, Schäume, Gitter, Kränze,...)	
5	Friedhofsbedarf (Steckhilfen, Römer, Schalen, Töpfe,...)	
6	Geotextilien (Erosionsschutzmatten & -vliese,...)	
7	Kulturschutz (Vogelfraß, Hagel, Hitze) (Matten, Vliese, Netze,...)	
8	Mulchabdeckungen (Matten, Vliese, Scheiben, lose,...)	
9	Pflanzensubstrate (Substratmatten, Anzucht-töpfe, Erdmischungen,...)	
10	Torfersatz (Pflanzensubstrat, Bodenverbesserungsmittel, Mulchabdeckung,...)	
11	Verpackung/Transportverpackung (Schäume, Formteile, Chips,...)	

**Abb. 9-1:** Mögliche Grasfaser-Produktlinien im Garten- und Landschaftsbau.

### 9.2. Zielsetzung

Ziel der in diesem Kapitel beschriebenen Arbeiten war es, zu überprüfen, ob die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Grasfaserfraktion grundsätzlich dafür geeignet ist, in Produkten für den Garten- und Landschaftsbau als wesentliche primäre Rohstoffquelle verwendet zu werden.

Im Vorfeld wurde in Abstimmung mit dem Projektmanagement die Entscheidung getroffen, die Aktivitäten auf folgende zwei Produktarten zu konzentrieren:

- 4# Mulchscheiben aus Grasfasern
- 4# Pflanztöpfe aus Grasfasern

### 9.3. Mulchscheiben aus Grasfasern

#### Screeningphase-1:

In einer ersten Phase der Arbeiten wurde als Faserrohstoff siliertes Knau gras (KG-1S-S-PK1) und zwei organische Bindemittel (Acrylatdispersion *Acronal 7D* und Latex) verwendet. Durch zusätzliches Einbringen von Wasser bzw. Befeuchten der Fasern vor dem Zusetzen des Bindemittels gelang es, den Bindemittelanteil auf 25% zu reduzieren, jedoch ließ die mechanische Stabilität dieser Platten zu wünschen übrig. Außerdem ergab die Acrylatdispersion sehr harte und spröde Platten.

#### Screeningphase-2:

Daher wurde in der zweiten Phase der Arbeiten der Bindemittelanteil wieder erhöht (40%). Außerdem wurde als Bindemittel nur mehr Latex verwendet. Als Faserrohstoff wurde das in der größerer Menge vorhandene Klee gras (KLG-1S-S-PK2) verwendet. Die Herstellung der Platten für die Mulchscheiben erfolgte analog zu der in **Kapitel 7** beschriebenen Herstellungsweise von Dämmstoffplatten aus Grasfasern. Die Plattenabmessungen betragen 250 x 250 x 10 mm.

*Tab. 9-1: Für die Versuche zur Herstellung von Mulchplatten verwendete Grasfaserrohstoffe und Bindemittel.*

Nr	Rohstoff	Screeningphase-1	Screeningphase-2
<b>Grasfaserrohstoffe</b>			
1	Knau gras, 1.Schnitt, siliert, 1x abgepresst (KG-1S-S-PK1)	Ja	Nein
2	Klee gras, 1.Schnitt, siliert, 2x abgepresst (KLG-1S-S-PK2)	Nein	Ja
<b>Bindemittel</b>			
1	Arcylatdispersion ACRONAL 7D	Ja	Nein
2	Latex	Ja	Ja

**Abb. 9-2** zeigt Anwendungsmöglichkeiten für die hergestellten Mulchscheiben aus Grasfasern. Allerdings wären noch Zeitstandsversuche im Freiland erforderlich (d.h. Überprüfung der Praxistauglichkeit durch Einwirkung von Bewitterung und Bodenorganismen), da diese aufgrund der Witterung während der Projektlaufzeit noch nicht durchgeführt werden konnten.



*Abb. 9-2: Anwendungsmöglichkeiten für Mulchscheiben aus Grasfasern (Klee gras) und Latex als Bindemittel.*

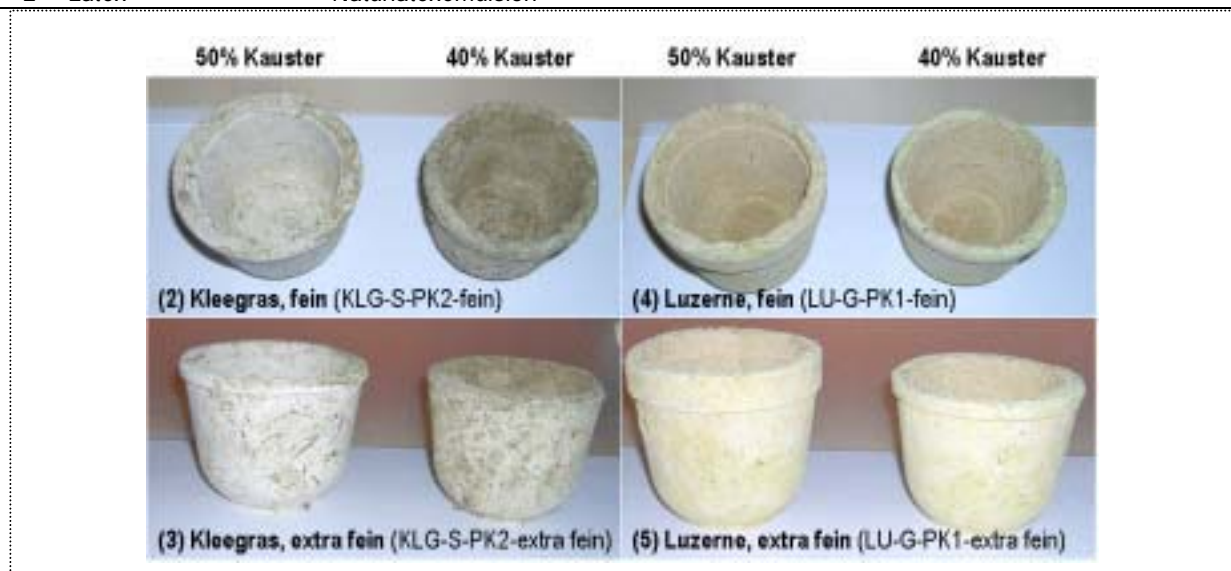
## 9.4. Pflanztöpfe aus Grasfasern

Ein *Vorversuch* zur Herstellung von Pflanzentöpfen aus Grasfasermaterial sowie Kauster bzw. Acrylat als Bindemittel führte zum Ergebnis, dass normale Grasfaserproben (d.h. solche, wie sie sich in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE im Verfahrensschritt „mechanische Fraktionierung“ von Frischgras bzw. Grassilage ergeben) zu *grob* sind für eine Pflanzentopfformung, d.h. durch die Grobheit des Fasermaterials ist es nicht möglich, eine Faser-Bindemittelmasse durch Druckaufbringung (Pressstempel) sich soweit verfließen zu lassen, wie es für den Erhalt einer Topfform erforderlich wäre. In den nachfolgenden *Hauptversuchen* wurden deshalb *feinere* Grasfaserfraktionen verwendet (s. **Tab. 9-2**), die durch Siebung aus größeren Fasern erhalten wurden.

- 4# Kauster als Bindemittel: Es ließen sich aus allen Grasfaserproben problemlos Töpfe herstellen.  
Gewählte Rezeptur für Mustertöpfe (s. **Abb. 9-3**):
- Bindemittelkonzentration: 40-50%,
  - zusätzlich ca. 20% Wasser, um eine gut fließfähige Masse zu erhalten.
- 4# Acrylat als Bindemittel: Dieses Bindemittel erwies sich als zu *klebrig* für eine problemlose Entformung, d.h. der Topf ist nur schwer (bzw. überhaupt nicht) aus der Form herauszubringen. Aus diesem Grund wurde in weiterer Folge auf eine Fertigung von Töpfen mit Acrylat als Bindemittel verzichtet.

**Tab. 9-2:** Für die Pflanztopfherstellversuche verwendete Grasfaserrohstoffe und Bindemittel.

Nr	Rohstoff	Beschreibung
<b>Grasfaserrohstoffe</b>		
1	KLG-1S-S-PK2-TMZ	Kleegras, 1.Schnitt, siliert, 2x abgepresst, thermo-mechanisch zerfasert (TMZ)
2	KLG-S-PK2-fein	Kleegras, siliert, 2x abgepresst, feiner Siebdurchgang
3	KLG-S-PK2-extra fein	Kleegras, siliert, 2x abgepresst, extra feiner Siebdurchgang
4	LU-G-PK1-fein	Luzerne, grün, 1x abgepresst, feiner Siebdurchgang
5	LU-G-PK1-extra fein	Luzerne, grün, 1x abgepresst, extra feiner Siebdurchgang
<b>Bindemittel</b>		
1	Kauster	kaustisch gebrannter Magnesit (MgO)
2	Latex	Naturlatexemulsion



**Abb. 9-3:** Pflanztöpfe aus unterschiedlichen Grasfaserfraktionen mit Kauster als Bindemittel (40% und 50%).

## 9.5. Zusammenfassung & Schlussfolgerung

- 4# Die Verwendung von Grasfaserfraktionen aus der Grünen Bioraffinerie für Produkte im Gartenbau (Mulchscheiben und Pflanztöpfe) ist prinzipiell machbar, wie die oben angeführten Beispiele zeigen. Hier spielt die starke Geruchsbelästigung durch die Grasfasern keine oder nur eine untergeordnete Rolle.
- 4# Versuche, bindemittelfreie Platten ähnlich dem seit langem bekannten Faserguß zu erzeugen, führten leider zu keinem Erfolg, da die Platten nicht die gewünschte bzw. erforderliche Festigkeit erhielten.
- 4# Falls diese Verwertungsschiene in Betracht gezogen wird, muss im nächsten Schritt ein Produktionskonzept überlegt werden, da es sich bei den o.e. Produkten um low-cost-Produkte handelt und der am Markt befindliche Wettbewerb bereits stark etabliert ist.

## 10. FUTTERMITTELPELLETS AUS ABGEPRESSTEN GRASFASERN UND FÜTTERUNGSVERSUCHE

VERFASSER: **AO. UNIV.-PROF. DR. CHRISTINE IBEN UND DR. ELISABETH WAGNER**

VETERINÄRMEDIZINISCHE UNIVERSITÄT WIEN, INSTITUT FÜR ERNÄHRUNG,  
 A-1210 WIEN, VETERINÄRPLATZ 1; [HTTP://WWW.VU-WIEN.AC.AT/124/INDEX.HTM](http://www.vu-wien.ac.at/124/index.htm)

**DI WALTER HASLINGER**

FACHHOCHSCHULE WIENER NEUSTADT, STUDIENGANG MLR / PRODUKT- & PROJEKTMANAGEMENT  
 A-3250 WIESELBURG, ROTTENHAUSER STRASSE 1, [WWW.WIESELBURG.FHWN.AC.AT](http://www.wieselburg.fhwn.ac.at)

**ING. JOHANN PAYERL**

FEX-ÖKO-FASERVERARBEITUNGS-GMBH,  
 A-2183 NEUSIEDL / ZAYA, DOBERMANNSDORFERSTRASSE 1

### 10.1. Einleitung

Zahlreiche Tiere benötigen *rohfaserreiches* Futter. Pferde etwa benötigen Futter mit mindestens 18% Rohfaseranteil in der Futter-Trockensubstanz bzw. 1kg Rauhfutter pro Tag je 100 kg Körpergewicht. Für Kleintiere im Heimbereich (z.B. Kaninchen, Meerschweinchen, Chinchillas etc.) gelten im Prinzip ähnliche Kriterien wie bei Pferden. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch in bezug auf Gebindegröße und Vertriebsweg. Futtermittel für Kleintiere werden in kleinen Gebinden über die Supermärkte von Handelsketten vertrieben, Pferdefutter dagegen über Großvertrieb in Säcken und Ballen. Die Pelletform für diese Futtermittel wird wegen eine Reihe damit verbundener *Vorteile* angestrebt (s. **Abb. 10-1**).

- 4# Höchstmaß an Homogenität hinsichtlich der physikal. & chem. Eigenschaften,
- 4# Qualitätskonstanz,
- 4# hohe Energiedichte (Brennstoffpellets),
- 4# verbessertes Schütt- & Dosierverhalten,
- 4# verbesserte Transportierbarkeit,
- 4# reduzierte Staubentwicklung bei div. Umschlagvorgängen,
- 4# reduzierter Bedarf an Lagervolumen.

Vorteile von Futtermitteln in Pelletsform	
1	geringeres Lagervolumen (1/4 gegenüber loseem Heu)
2	geringere Staubentwicklung im Stall (wichtig für Tiergesundheit)
3	geringerer Heuverschleiß (Tier kann weniger schmackhafte Futteranteile nicht aussondern)
4	geringerer Arbeitsaufwand beim Füttern (wichtig bei Sportpferden; häufiger Standortwechsel)
5	geringere Umstellungsbelastung (wichtig bei Sportpferden)
6	verbesserte Transportierbarkeit (wichtig bei Sportpferden)
7	gleichbleibende Qualität (häufiger Chargenwechsel kann Koliken verursachen)
8	ermöglicht Herstellung von „Alleinfutter“ (enthält alle notwendigen Futtermittelelemente)

**Abb. 10-1:** Vorteile von Futtermitteln in Pelletform.

## 10.2. Zielsetzung und Methodik

Ziel der in diesem Kapitel beschriebenen Arbeiten war es, festzustellen, ob die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Grasfaserfraktion als Komponente von rohfaserreichen Tierfuttermittelpellets verwendbar ist. Die Arbeiten erfolgten unter der Federführung des *Instituts für Ernährung* der *Veterinärmedizinischen Universität Wien (Univ.-Prof. Dr. Christine Iben)* in Zusammenarbeit mit

- 4# FH Wiener Neustadt, FH-Studiengang Management des Ländlichen Raums (MLR) in Wieselburg (DI Walter Haslinger),
- 4# Fa. FEX ÖKO-Faserverarbeitungs-GmbH in Neusiedl/Zaya (Ing. Johann Payerl) und
- 4# JOANNEUM RESEARCH, Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme (Dr. Wachter und DI Mandl)

Die Arbeiten wurden wie folgt untergliedert:

- 4# **(1) Faseranalytik (Nährstoff-, Mineralstoff- & Energiegehalte):** Durchführung von chemischen Analysen für unterschiedliche Grasrohstoffe für Tierfutterpellets mit dem Zweck, die grundsätzliche Tauglichkeit der untersuchten Grasrohstoffe für deren Einsatz als Tierfuttermittel zu beurteilen.
- 4# **(2) Pelletversuche:** Durchführung grundlegender Pelletversuche für Grasrohstoffe für Futtermittelpellets mit dem Ziel der Identifikation der optimalen Verfahrensparameter für die Herstellung größerer Mengen an Futtermittelpellets für die nachfolgenden Fütterungsversuche.
- 4# **(3) Fütterungsversuche:** Durchführung von Fütterungsversuchen an mehreren Gruppen von jeweils 10 Meerschweinchen. Zweck dieser Fütterungsversuche ist es, festzustellen, inwieweit die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallenden Grasfasern in Pelletform als Futtermittel für Heimtiere geeignet sind.

## 10.3. Faseranalytik (Nährstoff-, Mineralstoff- & Energiegehalte)

### 10.3.1. Grasfaserrohstoffe

Tab. 10-2 bzw. Abb. 10-2 geben jeweils einen Überblick über die Grasfaserrohstoffe, für die jeweils eine Analyse der Nährstoff-, Mineralstoff- und Energiegehalte durchgeführt wurde. Insgesamt wurden 3 Grasarten untersucht, wobei jeweils grüne und/oder silierte Proben untersucht wurden.

- 4# (1) Luzerne (*Medicago sativa L.*) grün (Proben 1-3),
- 4# (2) Bastard Ryegras (*Lolium hybridum GUMPENSTEIN*) siliert (Proben 4-7), grün (Proben 12-14),
- 4# (3) Klee gras (*Mischung aus div. Gras- & Kleearten*) siliert (Proben 8-11), grün (Proben 15-17),

Für jede dieser Grasarten wurden jeweils mehrere Faserproben mit unterschiedlicher „Geschichte“ analysiert mit dem Zweck, den Einfluss verschiedener Vorbehandlungsschritte auf wichtige Fasereigenschaften zu quantifizieren:

- 4# AW (Anwelkprobe, nach dem Mähen leicht angewelkt, Ausgangsmaterial für Silage),
- 4# FEED (Grünmasse und/oder Silage als Feed für Presse),
- 4# PK1 (Presskuchen-1, Grünmasse und/oder Silage 1x abgepresst),
- 4# PK2 (Presskuchen-2, Grünmasse und/oder Silage 2x abgepresst)..



Tab. 10-1: Grasfaserproben für Faseranalytik.

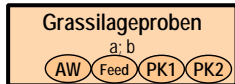
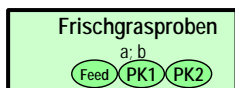
1	3	4	5	6	7	8	9	10
Nr	Grasart	Schnitt	grün od. siliert	0x/1x/2x gepresst	Schnitt-datum	Abpress-datum	Sonstiges	Namenskürzel
1	Luzerne	1.Schnitt	grün	0x	23.05.02	23.05.02	wiesenfrisch	LU-230502-1S-HG
2	Luzerne	1.Schnitt	grün	1x	23.05.02	23.05.02		LU-230502-1S-PK1
3	Luzerne	1.Schnitt	grün	2x	23.05.02	23.05.02		LU-230502-1S-PK2
4	BRG*)	1.Schnitt	grün	0x	07.05.02	keines	wiesenfrisch	BRG-070502-1S-AW-G
5	BRG*)	1.Schnitt	siliert	0x	07.05.02	28.05.02	gehäckselt	BRG-070502-280502 -1S-BonSI3
6	BRG*)	1.Schnitt	siliert	1x	07.05.02	28.05.02		BRG-070502-280502 -1S-BonSI3-PK1
7	BRG*)	1.Schnitt	siliert	1x	07.05.02	28.05.02		BRG-070502-280502 -1S-BonSI3-PK2
8	Kleegras**)	1.Schnitt	grün	0x	07.07.02	keines	wiesenfrisch	KLG-070502-1S-AW-G
9	Kleegras**)	1.Schnitt	siliert	0x	07.05.02	31.05.02	gehäckselt	KLG-070502-310502-BonSI6-HS
10	Kleegras**)	1.Schnitt	siliert	1x	07.05.02	31.05.02		KLG-070502-310502-BonSI6-PK1
11	Kleegras**)	1.Schnitt	siliert	2x	07.05.02	31.05.02	vor Press. <b>befeuchtet</b>	KLG-070502-310502-BonSI6-PK2(1x)+ KLG-070502-310502-BonSI6-PK6
12	BRG*)	2.Schnitt	grün	0x	11.06.02	11.06.02	wiesenfrisch	BRG-110602-S2-G-HS1
13	BRG*)	2.Schnitt	grün	1x	11.06.02	11.06.02		BRG-110602-S2-G-PK1
14	BRG*)	2.Schnitt	grün	2x	11.06.02	11.06.02	vor Press. <b>bedampft</b>	BRG-110602-S2-PK2
15	Kleegras**)	2.Schnitt	grün	0x	13.06.02	13.06.02	wiesenfrisch	KLG-130602-S2-G-HS
16	Kleegras**)	2.Schnitt	grün	1x	13.06.02	13.06.02		KLG-130602-S2-G-PK1
17	Kleegras**)	2.Schnitt	grün	2x	13.06.02	13.06.02	vor Press. <b>bedampft</b>	KLG-130602-S2-G-PK2-B1

\*)BRG=Bastard Raygras (Lolium hybridum GUMPENSTEIN)

\*\*)Kleegras=Mischung aus 20% Bastard Raygras (Lolium hybridum GUMPENSTEIN), 20% Englisches Raygras (Lolium perenne), 20% Knaulgras (Dactylis glomerata), 10% Rotklee (Trifolium pratense), 10% Timothe (Phleum pratensis), 10% Weissklee (Trifolium repens) und 10% Wiesenschwingel (Festuca pratensis).

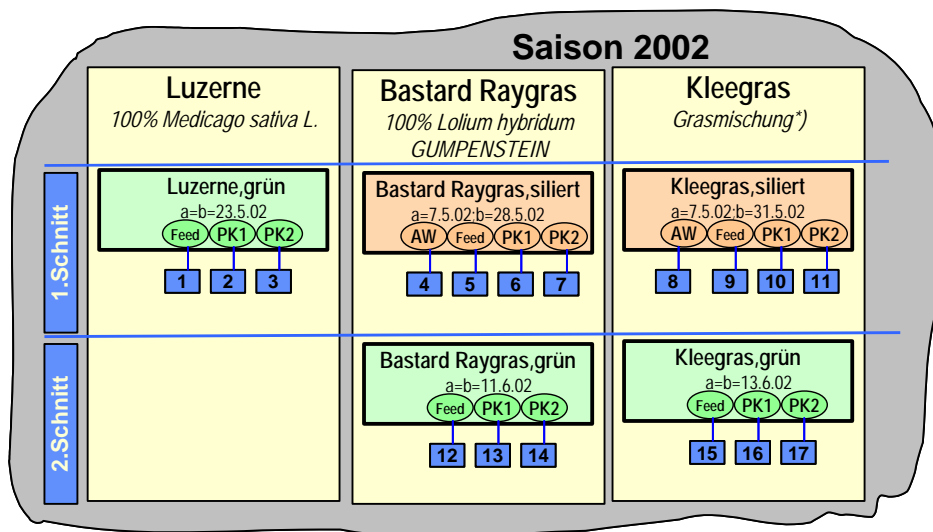
Legende

# Probennummer



mit

- a = Erntedatum
- b = Abpressdatum
- AW =Anwelkprobe (nach Mähen)
- Feed=Grünmasse und/oder Silage vor Abpressen
- PK1 = Presskuchen-1 (1x abgepresst)
- PK2 = Presskuchen-2 (2x abgepresst)



\*) Mischung aus 20% Bastard Raygras (Lolium hybridum GUMPENSTEIN), 20% Englisches Raygras (Lolium perenne), 20% Knaulgras (Dactylis glomerata), 10% Rotklee (Trifolium pratense), 10% Timothe (Phleum pratensis), 10% Weissklee (Trifolium repens) und 10% Wiesenschwingel (Festuca pratensis).

Abb. 10-2: Grasfaserproben für Faseranalytik.

### 10.3.2. Gemessene Parameter

Tab. 10-2 gibt einen Überblick über die für die in Tab. 10-1 aufgelisteten Grasfaserproben jeweils gemessenen Parameter (abhängige Variable). Die Bestimmung der Rohnährstoffe erfolgte mittels der *Weender Analyse* [Neuman & Brassler 1976].

Tab. 10-2: Gemessene Parameter (Faseranalytik).

Nr.	Gemessene Parameter	Einheit*)	Einheit
1	Trockensubstanz (TS)	% uS	
2	Rohasche (Ra)	% uS	%TS
3	Rohprotein (Rp)	% uS	%TS
4	Rohfett (Rfe)	% uS	%TS
5	Rohfaser (Rfa)	% uS	%TS
6	N-freie Extraktstoffe (NfE)	% uS	%TS
7	Bruttoenergie (GE)	J/g uS	J/g TS
8	Calcium (Ca)	g/kg uS	g/kg TS
9	Phosphor (P)	g/kg uS	g/kg TS
10	Magnesium (Mg)	g/kg uS	g/kg TS

\*) uS = ursprüngliche Substanz

#### Trockensubstanz (TS)

Die Trockensubstanz enthält sämtliche bei 103 °C nichtflüchtigen Bestandteile des Futters.

Bestimmung: vierstündiges Trocknen im Trockenschrank bei 103 °C.

#### Rohasche (Ra)

Darunter versteht man Mineralstoffe sowie alle sonstigen anorganischen Stoffe (z.B. Silikate).

Bestimmung: sechsstündige Veraschung der Futtermittel im Muffelofen bei 550 °C.

#### Rohfett (Rfe)

Ist eine heterogene Gruppe von Stoffen, die sich in Petroläther (Siedepunkt 40 bis 60 °C) lösen. Diese analytisch als Ätherextrakt definierte Stoffgruppe enthält neben den eigentlichen Fetten (Neutralfette) Lipide (Phospholipide, Sphingolipide, Steroide, Carotinoide) und andere ätherlösliche Stoffe.

Bestimmung: achtstündige Extraktion des Futters mit Petroläther im Soxhletapparat.

#### Rohprotein (Rp):

Kann neben Proteinen auch N-haltige Verbindungen nichteiweißartiger Natur enthalten.

Bestimmung: *Kjeldahlverfahren* – Oxidation der Futtermittel mit konzentrierter Schwefelsäure, Überführung des Stickstoffs in die Ammoniumform. Nach Zugabe von Natronlauge wird Ammoniak freigesetzt, in vorgelegte Säure überdestilliert und titrimetrisch erfasst.

#### Rohfaser (Rfa):

Ist der in verdünnten Säuren und Laugen unlösliche fett- und aschefreie Rückstand und enthält unlösliche Anteile von Zellulose, Hemizellulose und Lignin.

Bestimmung: 30 min kochen in 1,25 %iger H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, waschen mit heißem Wasser, danach 30 min kochen in 1,25 % KOH, anschließend waschen mit heißem Wasser und Aceton, trocknen und wiegen; Ra des Rückstandes bestimmen und abziehen.

### N-freie Extraktstoffe (NfE)

Diese enthalten hauptsächlich Stärke und Zucker, lösliche Anteile von Zellulose, Hemizellulose, Pektinen und Lignin. NfE werden rechnerisch ermittelt (TS–Ra-Rfe-Rp-Rfa).

### Ca, Na, K, Mg, Cu, Zn

Die Bestimmung von Calcium, Natrium, Kalium, Magnesium, Mangan, Kupfer und Zink erfolgte nach vorheriger Lösung der Rohasche in verdünnter Säure mittels Atomabsorptionsphotometer, Phosphor wurde photometrisch erfasst.

### 10.3.3. Ergebnisse der Faseranalytik

Tab. 10-3 bzw. Tab. 10-4 geben eine Zusammenstellung der gemessenen Roh Nährstoff-, Mineralstoff- und Energiegehalte der *ursprünglichen Substanz (uS)* bzw. der *Trockensubstanz (TS)* der Grasfaserproben.

Tab. 10-3: Gemessene Roh Nährstoff-, Mineralstoff- und Energiegehalte der ursprünglichen Substanz (uS) der Grasfaserproben aus Tab. 10-1.

Lfde Nr	Grasart	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		TS % uS	Ra % uS	Rp % uS	Rfe % uS	Rfa % uS	NfE % uS	Sum2-6 % uS	GE J/g uS	Ca g/kg uS	P g/kg uS	Mg g/kg uS
1	Luzerne	20,03	2,17	3,54	0,58	6,82	6,92	20,03	3601	2,8	0,34	0,41
2	Luzerne	25,02	2,09	4,36	0,75	8,32	9,5	25,02	4484	2,98	0,33	0,3
3	Luzerne	22,19	1,51	3,73	0,78	9,19	6,98	22,19	4133	2,62	0,31	0,26
4	BRG	22,36	2,36	4,2	0,79	6,43	8,59	22,37	4026	1,28	0,4	0,38
5	BRG	20,89	2,31	3,83	0,67	5,78	8,31	20,9	3522	1,66	0,44	0,35
6	BRG	46,68	2,55	6,12	2,02	18,38	17,61	46,68	9068	1,9	0,34	0,34
7	BRG	52,15	2,28	10,64	2,87	20,1	16,26	52,15	10444	6,74	1,2	1,36
8	Kleegras	19,62	2,22	5,24	0,68	4,24	7,23	19,61	3605	1,7	0,48	0,47
9	Kleegras	21,43	2,54	5,34	1,03	5,28	7,24	21,43	4338	1,31	0,14	0,16
10	Kleegras	43,63	3,22	8,9	2,68	14,82	14,01	43,63	7340	2,59	0,37	0,45
11	Kleegras	55,94	2,59	11,13	3,17	21,1	17,95	55,94	9887	3,3	0,41	0,45
12	BRG	23,96	2,05	4,81	0,63	8,09	8,38	23,96	4486	1,33	0,33	0,45
13	BRG	43,88	3,32	6,1	1,28	13,36	19,82	43,88	8321	1,67	0,51	0,52
14	BRG	58,46	3,99	8,36	1,83	19,15	25,13	58,46	10971	2,45	0,81	0,62
15	Kleegras	19,04	1,58	3,67	0,77	5,32	7,7	19,04	3600	0,94	0,24	0,26
16	Kleegras	35,79	2,2	4,56	1,49	10,16	17,38	35,79	6687	1,9	0,38	0,4
17	Kleegras	51,36	3,54	7,99	1,75	15,5	22,58	51,36	9810	2,48	0,44	0,46

\*)BRG=Bastard Raygras

**Tab. 10-4: Gemessene Roh Nährstoff-, Mineralstoff- und Energiegehalte der Trockensubstanz (TS) der Grasfaserproben aus Tab. 10-1.**

Lfde Nr	Grasart	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		TS %TS	Ra %TS	Rp %TS	Rfe %TS	Rfa %TS	NfE %TS	Sum2-6 %TS	GE J/g TS	Ca g/kg TS	P g/kg TS	Mg g/kg TS
1	Luzerne	100	10,84	17,63	2,9	34,02	34,56	99,95	17976	13,99	1,7	2,03
2	Luzerne	100	8,34	17,44	2,98	33,25	37,98	99,99	17925	11,93	1,31	1,19
3	Luzerne	100	6,8	16,81	3,5	41,42	31,46	99,99	18626	11,82	1,41	1,19
4	BRG	100	10,54	18,8	3,51	28,74	38,41	100,00	18002	5,72	1,78	1,68
5	BRG	100	11,05	18,33	3,22	27,65	39,75	100,00	16854	7,93	2,11	1,69
6	BRG	100	5,46	13,1	4,34	39,37	37,72	99,99	19425	4,08	0,72	0,72
7	BRG	100	4,37	20,4	5,5	38,55	31,18	100,00	20028	12,93	2,29	2,61
8	Kleegras	100	11,31	26,73	3,45	21,63	36,87	99,99	18377	8,65	2,43	2,39
9	Kleegras	100	11,85	24,93	4,79	24,66	33,77	100,00	20239	6,12	0,67	0,74
10	Kleegras	100	7,37	20,41	6,15	33,96	32,11	100,00	16824	5,93	0,85	1,04
11	Kleegras	100	4,62	19,9	5,66	37,73	32,09	100,00	17676	5,9	0,73	0,8
12	BRG	100	8,56	20,08	2,61	33,78	34,97	100,00	18722	5,55	1,36	1,88
13	BRG	100	7,57	13,9	2,91	30,45	45,17	100,00	18965	3,8	1,16	1,18
14	BRG	100	6,83	14,31	3,12	32,76	42,99	100,01	18767	4,19	1,38	1,06
15	Kleegras	100	8,31	19,29	4,07	27,91	40,43	100,01	18907	4,95	1,24	1,34
16	Kleegras	100	6,14	12,74	4,17	28,38	48,57	100,00	18682	5,32	1,07	1,13
17	Kleegras	100	6,9	15,56	3,41	30,18	43,96	100,01	19099	4,84	0,85	0,9

\*)BRG=Bastard Raygras

(1) Luzerne, grün (Proben 1-3)

Die Roh Nährstoff- und Mineralstoffgehalte entsprechen den für Luzerne üblichen Werten. Eine Veränderung dieser Werte durch den Pressvorgang ist nicht feststellbar.

(2) Bastard Raygras, siliert (Proben 4-7)

Bastard Raygras wies grün bzw. siliert ähnlich hohe Trockensubstanz (TS)- & Eiweißgehalte auf. Durch einmaliges Abpressen stieg der TS-Gehalt auf mehr als den doppelten Wert an, der Eiweißgehalt sank von 18,33 auf 13,10 % in der TS. Nach 2maligem Abpressen lag der TS-Gehalt über 50 %, der Eiweißgehalt in der TS betrug 20,40 %. Möglicherweise kommt dieser hohe Eiweißwert durch eine Inhomogenität der Proben zustande, denn der Eiweißgehalt dürfte nicht höher sein als nach dem 1. Abpressen. Ähnliches gilt für den Ca-Gehalt.

(3) Kleegras, siliert (Proben 8-11)

Kleegras wies grün und siliert ähnliche TS- und Roh Nährstoffgehalte auf. Durch das Abpressen verdoppelte sich der TS-Gehalt um nach dem 2. Abpressen um weitere 12 % auf 55,95 % zu steigen. Der Rohproteingehalt verringerte sich durch das Abpressen um 4 bzw. 6 %.

(4) Bastard Raygras, grün (Proben 12-14) und (5) Kleegras, grün (Proben 15-17)

Das Bastard Raygras 2. Schnitt, das grün abgepresst wurde, zeigte ebenfalls eine Erhöhung des TS-Gehaltes durch das Abpressen sowie eine Verminderung des Rohproteingehaltes. Dasselbe Bild zeigte sich beim Kleegras, welches grün abgepresst wurde.

Rohfasergehalte (Rfa)

Abb. 10-3 gibt einen Überblick über die Rohfasergehalte (Rfa) der Grasfaserproben bezogen auf ursprüngliche Substanz (uS) bzw. auf Trockensubstanz (TS). Man sieht, dass Letztere im Bereich von 21,5 – 41,5 % TS liegen.

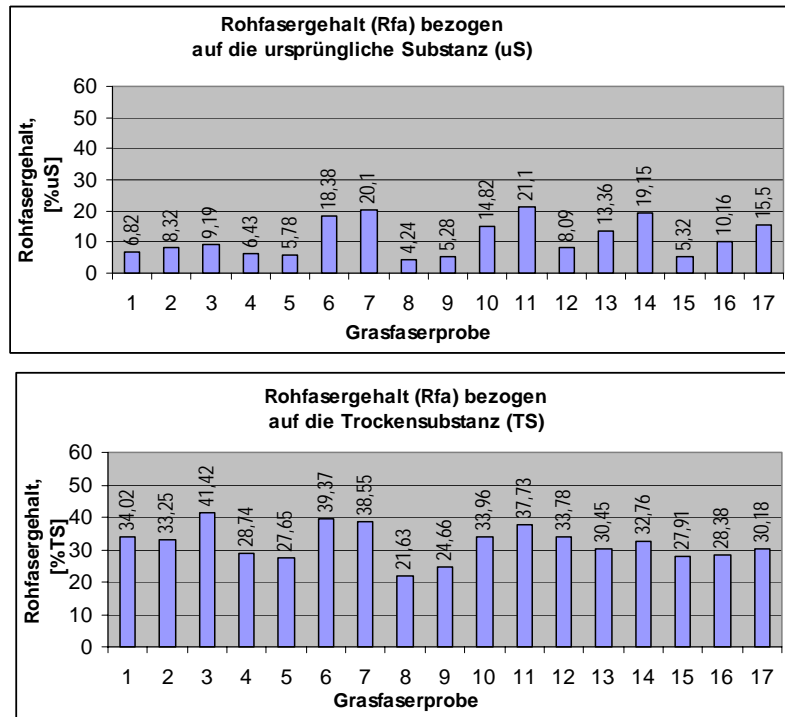


Abb. 10-3: Rohfasergehalte (Rfa) der Grasfaserproben bezogen auf ursprüngliche Substanz (uS) bzw. auf Trockensubstanz (TS).

Schlussfolgerung

Alle untersuchten Grasfaserproben wären als Tierfutter einsetzbar. Die sehr unterschiedlichen Gehalte an Ca und P müssten bei der Rationsgestaltung beachtet werden.

## 10.4. Pelletierversuche

### 10.4.1. Grundlagen zur Pelletierung halmgutartiger Biomasse

Abb. 10-4 zeigt das prinzipielle Verfahrensschema der Herstellung von Pellets aus halmgutartiger Biomasse (z.B. Getreidestroh, Wiesenheu, Futtergräser, Landschaftspflegeheu, Chinaschilf etc.). Wesentliche Verfahrensschritte sind:

- 4# (2) Ballenauflösung (z.B. mittels Reißwalzen, Kratzböden)
- 4# (3) Feinzerkleinerung (z.B. mittels Schneid- und/oder Hammermühlen)
- 4# (5) Pelletierung (z.B. mittels Kollergang-, Zahnradpressen)

Weitere Verfahrensschritte sind: (1) Lagerung der Rohstoffe (in Ballenform oder als loses Material), (4) Mischen & Dosieren (Bindemittel und/oder Wasser, falls erforderlich), (6) Verpacken (Absacken der fertigen Pellets) und (7) Lagerung des Fertigprodukts.

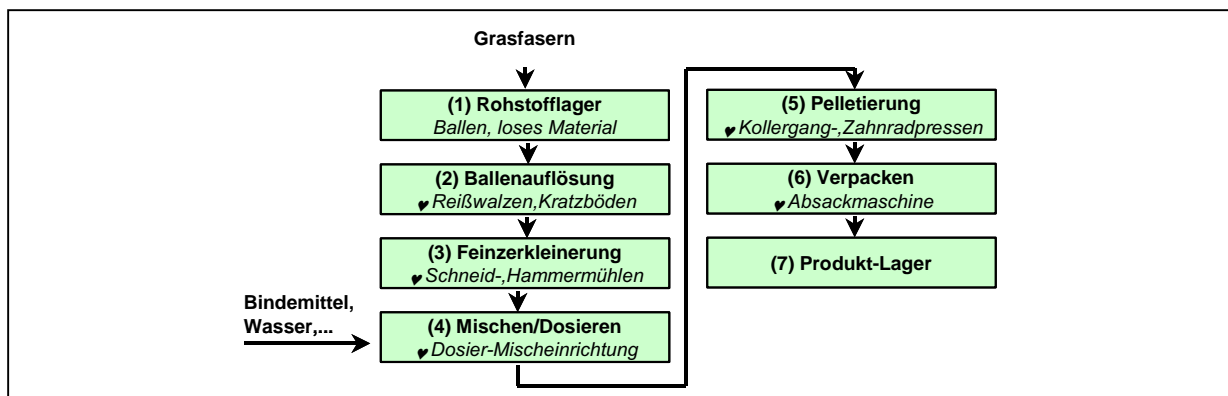


Abb. 10-4: Verfahrensschema der Herstellung von Pellets aus halmgutartiger Biomasse (z.B. Wiesenheu, Futtergräser, Stroh etc.).

#### Verfahrensschritt Ballenauflösung (2)

Die Auflösung von Halmgutballen hat den Zweck, den Zusammenhalt sowie die hohe Dichte des Halmgutmaterials rückgängig zu machen, um es in eine misch- bzw. dosierfähige Form zu überführen. In der Regel wird dabei aus diskontinuierlich anfallenden Ballen ein kontinuierlicher Materialfluss erzeugt. Bei der Ballenauflösung müssen zunächst die Bindschnüre entfernt werden, bevor die Ballen von den Auflöswerkzeugen (z.B. Reißwalzen, Reißtrommeln, Kratzböden, liegende Schlegelwellen) erfasst und aufgelöst werden. Der eigentliche Auflösvorgang kann um einen Vorzerkleinerungsschritt ergänzt sein [Bioenergie-Info-Net 2002a].

#### Verfahrensschritt Feinzerkleinerung (3)

Bei der Mahlzerkleinerung von biogenem Halmgut werden vielfach Schneid- und/oder Hammermühlen verwendet. Durch Verwendung von Siebeinsätzen wird gewährleistet, dass eine bestimmte maximale Partikelgröße nicht überschritten wird [Bioenergie-Info-Net 2002a].

#### Verfahrensschritt Pelletierung (5)

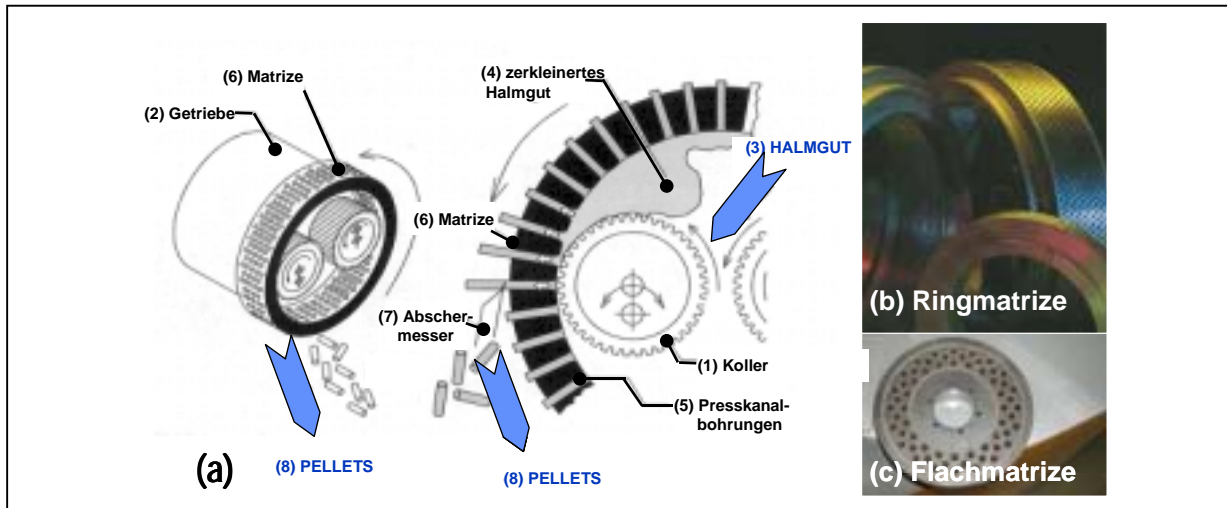
Stationär eingesetzte Pelletierpressen arbeiten meist nach dem *Kollergangprinzip* (s. Abb. 10-5), selbstfahrende Pelletiermaschinen arbeiten nach dem Prinzip der *Zahnradverdichtung*. Bei Pelletierpressen nach dem Kollergangprinzip sind 2-5 *Rollen* ("Koller") (1) an einer bzw. an mehreren gekreuzten Achsen angebracht, die eine gemeinsame Drehachse besitzen und über ein *Getriebe* (2) gemeinsam angetrieben werden. Halmgut

(3) wird von diesen leicht gezahnten *Rollen/Koller* (1) erfasst, etwas *zerkleinert* (4) und durch die *Presskanalbohrungen* (5) einer *Matrize* (6) gepresst. Ein *Abschermesser* (7) schneidet schließlich die *Pellets* (8) ab. Je nach Geometrie der Matrize unterscheidet man zwischen

4# Ringmatrizenpressen (s. **Abb. 10-5a,b**)

4# Flachmatrizenpressen (s. **Abb. 10-5c**)

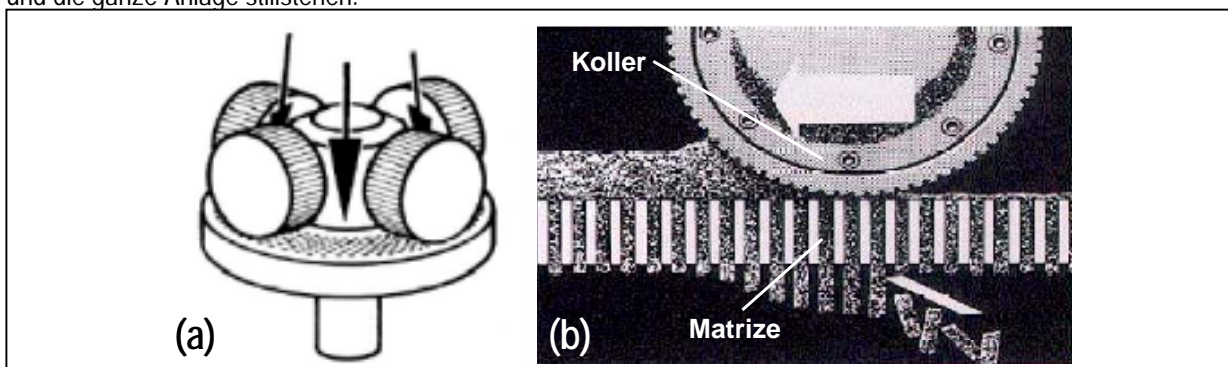
Die Durchsatzleistung von Pelletierpressen ist von verschiedenen Faktoren abhängig (z.B. Feinheitsgrad des zu verpressenden Halmguts, Größe und offene Fläche der Matrize etc.). Zu beachten ist, dass eine Steigerung der Durchsatzleistung eine Qualitätseinbuße zur Folge haben kann [Bioenergie-Info-Net 2002a].



**Abb. 10-5:** Pelletierung von biogenem Halmgut mittels „Kollergangprinzip“: (a) Funktionsprinzip einer Kollergangpresse mit Ringmatrize [Biomasse-Info-Net 2002a], (b) Ringmatrize [Tritec 2002], (c) Flachmatrize [Haslinger 2002].

### Flachmatrizenpressen

**Abb. 10-6** zeigt das Schema einer Flachmatrizenpresse. Die Materialzuführung erfolgt senkrecht von oben im freien Fall. Die Verdichtung findet in den offenen Presskanälen der Matrize statt. Die auf der Matrize liegende Materialschicht wird von den Kollern überrollt. Die einzelnen in einen Presskanal (dieser wird in der Sekunde mehrmals überrollt) eingewalzten Scheibchen verbinden sich weitgehend kompakt zu einem endlosen Pressstrang, der immer weiter vorgeschoben wird und schließlich auf der Matrizenunterseite austritt, um mit Messern in beliebig einstellbare Zylinderlängen zerteilt zu werden. Es muss immer eine Presskraft gefunden und eingesetzt werden, die die Reibkraft des Pellets im Kanal übersteigt. Andernfalls würde die Matrize blockieren und die ganze Anlage stillstehen.

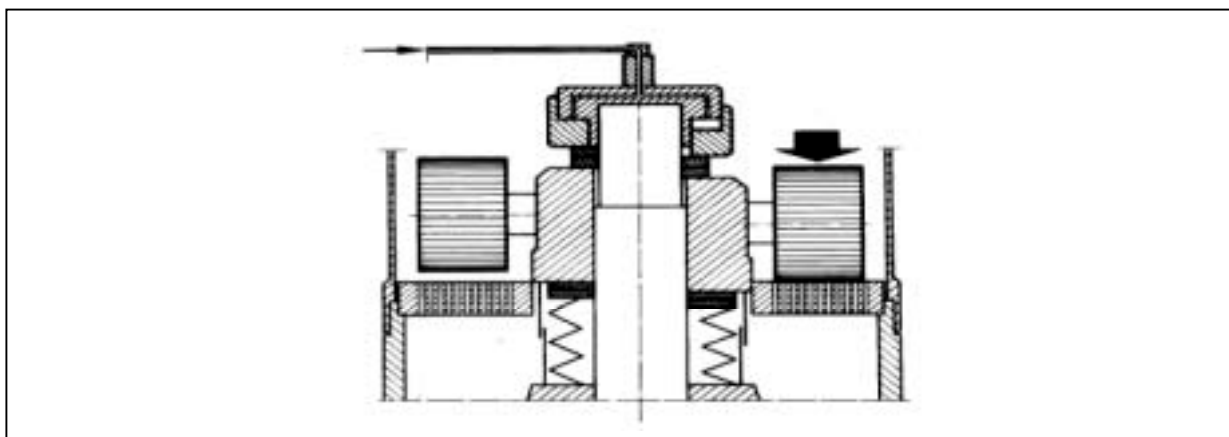


**Abb. 10-6:** Flachmatrizenpresse (a) Schema; (b) Matrize und Koller. Quelle: [Tesis 2003]

Ziel ist es, ein in sich homogenes Pellet zu erhalten, dem man die scheinbarweise Herstellung nicht ansieht und dessen Konsistenz bei mechanischer Beanspruchung weitgehend erhalten bleibt. Durch den Materialteppich auf der Matrize stellt sich zwischen den Kollern und der Matrize ein Spalt, der für die Kompaktierung eine erhebliche Bedeutung hat, ein. Es ist wünschenswert, diesen Spalt stufenlos einstellen und auch während der Produktion den Materialerfordernissen anpassen zu können sowie den Betriebszustand der Presse anhand des Produktdruckes gegen die Kollerrollen zu kontrollieren. Darüber hinaus bietet die Presshydraulik durch ein integriertes Druckentlastungsventil Sicherheit gegen eventuell in die Presse gelangte Fremdkörper.

Ing. Reinhard Bog, der die Firma Kahl, die Flachmatrizenpressen konstruiert, in Österreich vertritt, macht für „seine“ Presse folgende Vorzüge geltend.

- 4# hydraulisch regulierbarer Pressdruck (s. **Abb. 10-7**) Eine hydraulische Kollerkopfverstellung ermöglicht eine Justierung des Abstandes zwischen Kollern und Matrize im laufenden Betrieb. Im Gegensatz zur Ringmatrizenpresse, wo die Koller einzeln über einen Exzenter auf der Kollerachse bei stehender Maschine eingestellt und arretiert werden, wird bei der Flachmatrizenpresse der gesamte Kollerkopf von einer gesperrten, hydraulischen Einstellmutter gehalten.
- 4# Bei der Flachmatrizenpresse entstehen zwischen Koller und Matrize - aufgrund des Abrollens eines Zylinders auf einer Kreisbahn - Scherkräfte. Dieser positive und negative Schlupf bewirkt zusätzlich einen Aufschluss und eine Vorzerkleinerung des Materials sowie eine Verringerung der erforderlichen Presskraft.
- 4# vergleichsweise niedriger Energiebedarf;
- 4# Kaufpreis; robuste Bauart;
- 4# kleiner Verschleiß;
- 4# geringe Lärmentwicklung;
- 4# universelle Einsetzbarkeit durch gute Anpassungsfähigkeit an das Aufgabematerial;
- 4# einfaches Ausbohren bei Verstopfung infolge zu trockenem Material durch erneutes Anfahren mit hohem Druck.



**Abb. 10-7:** Presshydraulik einer Flachmatrizenpresse [Telesis 2003]



### 10.4.2. Pelletierversuche in einer industriellen Pelletieranlage

#### Verwendete Grasfaserproben für Pelletierversuche

Tab. 10-5 gibt einen Überblick über die Pelletierversuche verwendeten Grasfaserproben, wobei es sich bei diesen Proben jeweils um den getrockneten Presskuchen von siliertem Material mit ca. 90% TS-Gehalt handelt.

- 4# (1) Mischung aus Bastard Raygras (*Lolium hybridum GUMPENSTEIN*) & Knaulgras (*Dactylis glomerata*)
- 4# (2) Extensive Dauerwiese (Mischung aus verschiedenen Gräsern, Kleearten, Kräutern & Leguminosen).

Tab. 10-5: Grasfaserproben für Pelletierungsversuche.

Prob. Nr.	Grasart	Schnitt	grün od. siliert	Schnitt-datum	Abpress-datum	1x/2x gepresst	Kurzbezeichnung	Menge
1	Bastard Raygras + Knaulgras*)	1.Schn.	siliert	5.5.00	21.3.01	1x	BRG-00-S1-S-PK1	55 kg
		2.Schn.	siliert	9.8.00	21.3.01	1x	KG-00-S2-S-PK1	
2	Dauerwiese Mischung**)	1.Schn.	siliert	25.6.01	21.8.01	1x	DW-01-S1-S-PK1	100 kg

\*) Mischung aus ca. 50% Bastard Raygras (*Lolium hybridum GUMPENSTEIN*) und 50% Knaulgras (*Dactylis glomerata*).

\*\*\*) Extensive Dauerwiese (Admont) bestehend aus: 75% Gräser + Klee [Goldhafer (*Trisetum flavescens*), Knaulgras (*Dactylis glomerata*), Wiesenfuchsschwanz (*Aleopecurus pratensis*), Wiesenrispengras (*Poa pratensis*), Weißklee (*Trifolium repens*)], 23 % Kräuter [Geißfuß/Giersch (*Aegopodium podagria*), Hanhnenfuß (*Ranunculus*)] und 2 % Leguminosen [Gemeiner Löwenzahn (*Taraxacum officinale*)].

#### Versuchsdurchführung und Versuchsergebnisse

Die Pelletierversuche wurden in einer industriellen Produktionsanlage der Firma *FEX ÖKO-Faserverarbeitungs-GmbH* in A-2183 Neusiedl/Zaya unter der Federführung von Herrn *Ing. Johann Payerl* durchgeführt. Diese Anlage ist auf die Pelletierung von Getreidestroh hin ausgelegt bzw. optimiert [FEX 2002].

Abb. 10-5 zeigt das prinzipielle Verfahrensschema, Abb. 10-6 und Abb. 10-7 einige Systemkomponenten dieser Anlage:

- 4# *Ballenöffner* zur Erzeugung eines kontinuierlichen Halmgutflusses aus verdichteten Halmgutballen
- 4# *Hammermühle* zur Feinzerkleinerung des aufgelösten Halmgutmaterials
- 4# *Ringmatrizenpresse* zur Pelletierung von Halmgut (z.B. Getreidestroh, Wiesenheu,...)
- 4# *Absackmaschine* zur Verpackung der fertigen Halmgutpellets



Abb. 10-6: Systemkomponenten der verwendeten Pelletieranlage: (a) Ballenauflöser, (2) Hammermühle für Feinzerkleinerung des aufgelösten Halmgutmaterials, (3) Absackmaschine zur Verpackung der fertigen Pellets.



**Abb. 10-7:** Pelletierpresse (Ringmatrizenpresse): (a) Gesamtansicht, (b,c) Details der Pelletierpresse.

Bei den Pelletierversuchen kam lediglich die zentrale Systemkomponente *Ringmatrizenpresse* zum Einsatz, da das zu pelletierende Grasfasermaterial bereits in loser und zerkleinerte Form vorlag (Faserlängen 20-50mm) und deshalb die vorgeschalteten Systemkomponenten *Ballenauflösung* und *Feinzerkleinerung* nicht notwendig waren. Erfreulicherweise konnte bereits im ersten Pelletierversuch mit Grasprobe-1 (Mischung aus jeweils abgepresster Silage von Bastard Raygras und Knautgras) ein gutes Ergebnis erzielt werden, (d.h. es konnten ohne nennenswerte Komplikationen Graspellets hergestellt werden, und zwar ohne Zugabe irgendwelcher Bindemittel (s. **Abb. 5.8-5**). Auch der zweite Pelletierversuch mit Grasprobe-2 (Mischung aus Gräsern, Kräutern und Leguminosen einer extensiv bewirtschafteten Dauerwiese) erbrachte ein zufriedenstellendes Ergebnis, d.h. auch in diesem Fall konnten ohne Zugabe von Bindemitteln vernünftig aussehende Graspellets hergestellt werden.



**Abb. 10-8:** Grasfaserpellets als Ergebnis der Pelletierversuche.

#### Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der Pelletierversuche mit zwei Arten von Grasfasermaterial in einer für die Pelletierung von Getreidestroh optimierten industriellen Pelletieranlage zeigen, dass es erfreulicherweise ohne größere Komplikationen möglich ist, die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Grasfaserfraktion ohne Bindemittelzugabe zu Pellets zu verpressen.

### 10.4.3. Pelletierungsversuche im Labormaßstab und Herstellung von Futtermittelpellets für Fütterungsversuche

#### Grasfaserrohstoffe für Pelletierungsversuche

Tab. 10-6 bzw. Abb. 10-8 bzw. geben jeweils einen Überblick über die Grasfaserrohstoffe für die Pelletierungsversuche in einer Laboranlage bzw. für die im nachfolgenden Abschn. 10.5 beschriebenen Fütterungsversuche mit Meerschweinchen. Insgesamt wurden 2 Grasarten untersucht:

- 4# (1) Luzerne (*Medicago sativa* L.),
- 4# (2) Klee gras (Mischung aus diversen Gras- und Kleearten).

wobei sich die Proben hinsichtlich Konservierungszustand (grün vs siliert) und Anzahl der Abpressungen (1x oder 2x abgepresst) voneinander unterscheiden.

Tab. 10-6: Grasfaserrohstoffe für Pelletierungsversuche in einer Laborpelletieranlage bzw. für Fütterungsversuche.

1	3	4	5	6	7	8	9	10
Nr	Grasart	Schnitt	grün od. siliert	0x/1x/2x gepresst	Schnitt-datum	Abpress-datum	Namenskürzel	Menge, (kg)
1	Luzerne	1.Schnitt	grün	1x	23.05.02	23.05.02	LU-1S-G-PK1	60,00
2	Luzerne	1.Schnitt	grün	2x	23.05.02	23.05.02	LU-1S-G-PK2	30,00
3	Kleegras*)	1.Schnitt	siliert	1x	07.05.02	31.05.02	KLG-1S-S-PK1	60,00
4	Kleegras*)	1.Schnitt	siliert	2x	07.05.02	31.05.02	KLG-1S-S-PK2	30,00
5	Kleegras*)	2.Schnitt	grün	1x	13.06.02	13.06.02	KLG-2S-G-PK1	60,00

\*)Kleegras=Mischung aus 20% Bastard Raygras (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN), 20% Englisches Raygras (*Lolium perenne*), 20% Knaulgras (*Dactylis glomerata*), 10% Rotklee (*Trifolium pratense*), 10% Timothe (*Phleum pratensis*), 10% Weissklee (*Trifolium repens*) und 10% Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*).

#### Legende

# Probennummer

Frischgrasprobe  
a, b  
(PK1) (PK2)

Grassilageproben  
a, b  
(PK1) (PK2)

mit

a = Erntedatum

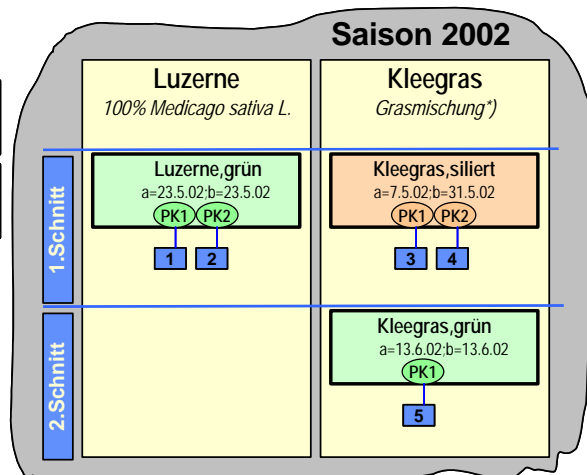
b = Abpressdatum

PK1 = Presskuchen-1

(1x abgepresst)

PK2 = Presskuchen-2

(2x abgepresst)



\*) Mischung aus 20% Bastard Raygras (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN), 20% Englisches Raygras (*Lolium perenne*), 20% Knaulgras (*Dactylis glomerata*), 10% Rotklee (*Trifolium pratense*), 10% Timothe (*Phleum pratensis*), 10% Weissklee (*Trifolium repens*) und 10% Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*).

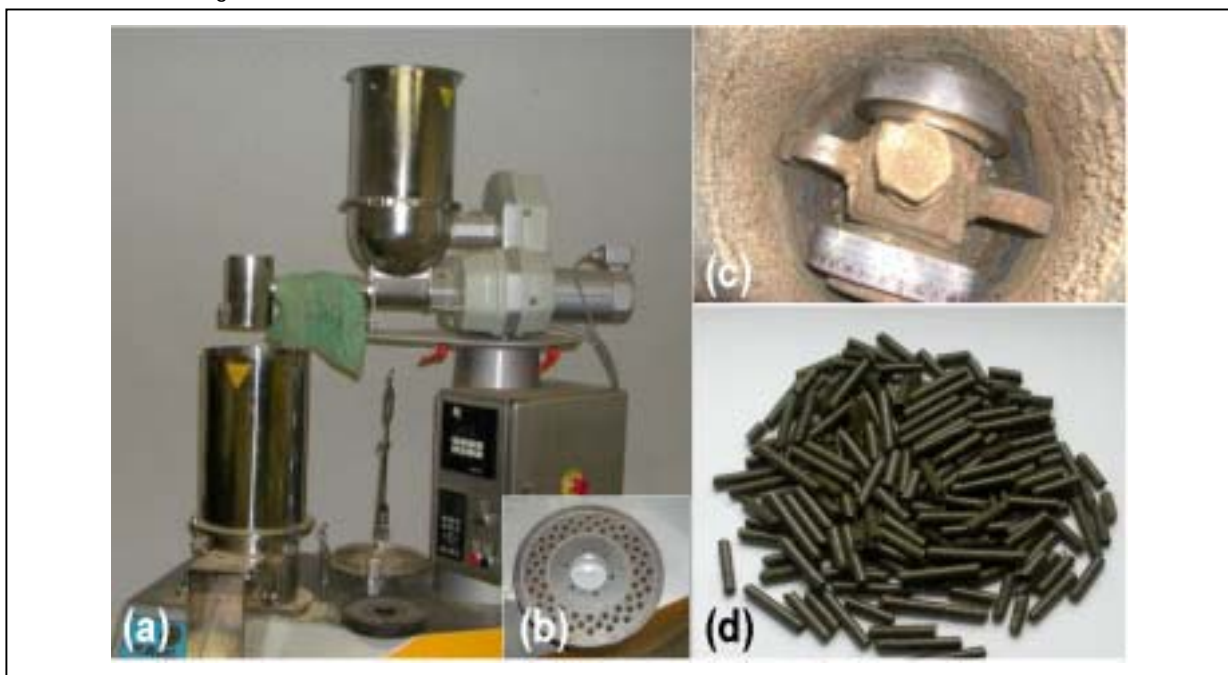
Abb. 10-8: Grasfaserrohstoffe für Pelletierungsversuche in einer Laborpelletieranlage bzw. für Fütterungsversuche.

#### Versuchsdurchführung und Versuchsergebnis

Die Pelletierungsversuche im Labormaßstab wurden an der *Fachhochschule Wiener Neustadt, Studiengang Management des Ländlichen Raums / Produkt- und Projektmanagement in A-3250 Wieselburg* unter der Federführung von Herrn *DI Walter Haslinger* durchgeführt.

Unter Verwendung der in **Abb. 10-9** dargestellten Laborpelletieranlage, einer Flachmatrizenpresse, wurden zunächst grundlegende Pellettierversuche mit den in **Tab. 10-6** aufgelisteten Grasfaserrohstoffen durchgeführt, deren Zweck die Identifikation möglichst optimaler Verfahrensparameter für die Herstellung größerer Mengen an Futtermittelpellets für die in **Abschn. 10.5** beschriebenen Fütterungsversuche (Meerschweinchen) war. Variierte Parameter (unabhängige Variable) waren: (1) Matrizengeometrie (z.B. Lochdurchmesser 4, 6, 8 mm), (2) Pressverhältnis (Verhältnis Lochdurchmesser / wirksamem Pressweg), (3) Wassergehalt des zu pelletierenden Grasfaserrohstoffs und (4) Spanlänge des Grasfaserrohstoffs (Korngröße). Als Funktion dieser Parameter wurden folgende Pelletseigenschaften (abhängige Variable) gemessen oder beschrieben: (1) Feinanteil und Abrieb, (2) Wassergehalt und (3) optische Eigenschaften (Glanz der Oberfläche) der Pellets. In enger Abstimmung mit dem *Institut für Ernährung der Veterinärmedizinischen Universität Wien (Univ.-Prof. Dr. Christine Iben)* konnten Futtermittelpellets mit zufriedenstellenden Eigenschaften hergestellt werden (s. **Abb. 10-9d**).  
Ergebnis:

- 4# Grasfaserpellets haben geschlossene, glänzende Oberfläche (**Abb. 10-9 (d)**),
- 4# optimale Pelletsgröße (Lochdurchmesser) für Fütterungsversuche mit Meerschweinchen: 4mm, bei einem Pressverhältnis von ~ 1 : 3,5
- 4# es sind Graspellets mit hoher Abriebfestigkeit und geringem Feinanteil möglich (bei Anfeuchten des Ausgangsmaterials). Allerdings wurden für die Fütterungsversuche mit Meerschweinchen „weichere“ Pellets hergestellt.



**Abb. 10-9:** Laborpelletieranlage zur Herstellung von Pellets aus halmgutartiger Bioamasse (z.B. Wiesenheu, Futtergräser etc.): (a)-(c) Anlagenteile, (d) 4mm Futtermittelpellets für Fütterungsversuche mit Meerschweinchen.

### Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der Pellettierversuche mit unterschiedlichen Arten von Grasfasermaterial in einer Laborpelletieranlage zeigen, dass es erfreulicherweise ohne größere Komplikationen möglich ist, die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Grasfaserfraktion ohne Bindemittelzugabe zu Futtermittelpellets zu verpressen.

## 10.5. Fütterungsversuche

Die Fragestellung der in diesem Abschnitt beschriebenen Arbeiten war, ob abgepresstes Grasfasermaterial (grün und/oder siliert) - wie es typischerweise als Faserfraktion in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfällt - in getrocknetem Zustand als Tierfutter geeignet ist (Grasfaserpellets). Im Einzelnen galt es folgende Detailfragen zu beantworten:

- 4# Sind Grasfaserpellets verträglich?
- 4# Sind die Nährstoffgehalte dieser Grasfaserpellets „bedarfsgerecht“?
- 4# Werden Grasfaserpellets von den Tieren akzeptiert?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden folgende Untersuchungen durchgeführt.

- 4# (1) Analyse der Energie-, Rohnährstoff- und Mineralstoffgehalte von Grasfaserpellets
- 4# (2) Akzeptanztest an Meerschweinchen & Chinchillas,
- 4# (3) Verdaulichkeitstest mit Meerschweinchen.

### 10.5.1. Analyse der Energie-, Rohnährstoff- und Mineralstoffgehalte

#### (1) Grasfaserrohstoffe für Faserpellets

Tab. 10-7 bzw. Abb. 10-10 geben jeweils einen Überblick über die Grasfaserrohstoffe, aus denen gem. Abschn. 10.4.3 Futtermittelpellets für die Fütterungsversuche hergestellt wurden.

Tab. 10-7: Grasfaserrohstoffe für Herstellung der Grasfaserpellets für Fütterungsversuche.

Nr	Grasart	Schnitt	grün od. siliert	0x/1x/2x gepresst	Schnitt-datum	Abpress-datum	Namenskürzel	Menge, (kg)
1	Luzerne	1.Schnitt	grün	1x	23.05.02	23.05.02	LU-1S-G-PK1	60,00
2	Luzerne	1.Schnitt	grün	2x	23.05.02	23.05.02	LU-1S-G-PK2	30,00
3	Kleegras*)	1.Schnitt	siliert	1x	07.05.02	31.05.02	KLG-1S-S-PK1	60,00
4	Kleegras*)	1.Schnitt	siliert	2x	07.05.02	31.05.02	KLG-1S-S-PK2	30,00
5	Kleegras*)	2.Schnitt	grün	1x	13.06.02	13.06.02	KLG-2S-G-PK1	60,00

\*)Kleegras=Mischung aus 20% Bastard Raygras (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN), 20% Englisches Raygras (*Lolium perenne*), 20% Knaulgras (*Dactylis glomerata*), 10% Rotklee (*Trifolium pratense*), 10% Timothe (*Phleum pratensis*), 10% Weissklee (*Trifolium repens*) und 10% Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*).

#### Legende

■ Probennummer

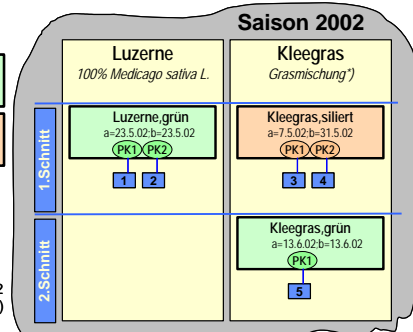
■ Frischgrasprobe  
a, b  
(PK1) (PK2)

■ Grassilageproben  
a, b  
(PK1) (PK2)

mit  
a = Erntedatum  
b = Abpressdatum

PK1 = Presskuchen-1  
(1x abgepresst)

PK2 = Presskuchen-2  
(2x abgepresst)



\*) Mischung aus 20% Bastard Raygras (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN), 20% Englisches Raygras (*Lolium perenne*), 20% Knaulgras (*Dactylis glomerata*), 10% Rotklee (*Trifolium pratense*), 10% Timothe (*Phleum pratensis*), 10% Weissklee (*Trifolium repens*) und 10% Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*).

Abb. 10-10: Grasfaserrohstoffe für Herstellung der Grasfaserpellets für Fütterungsversuche.

### (2) Futtermittel für Fütterungsversuche

Für die Fütterungsversuche wurden aus Vergleichsgründen zusätzlich zu Luzerne- und Klee graspellets auch *Heucubes* getestet. Um eine bedarfsgerechte Versorgung zu gewährleisten, wurde *Bunny-Meerschweinchenfutter* als Ergänzung zum Rohfutter gefüttert (s. Tab. 10-8).

**Tab. 10-8:** Für Fütterungsversuche verwendete Futtermittel (s. Tab. 10-7).

Nr.	Grasart	Details
1	Luzerne, 100% <i>Medicago sativa</i> L.	grün, 1.Schnitt, 1x abgepresst, pelletiert grün, 1.Schnitt, 2x abgepresst, pelletiert
2	Kleegrass, <i>Grasmischung*</i> )	siliert, 1.Schnitt, 1x abgepresst, pelletiert grün, 2.Schnitt, 1x abgepresst, pelletiert
3	Heucubes	
4	Bunny-Meerschweinchenfutter	[ <i>Bunny 2003</i> ]

\*)Mischung aus 20% Bastard Raygras (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN), 20% Englisches Raygras (*Lolium perenne*), 20% Knautgras (*Dactylis glomerata*), 10% Rotklee (*Trifolium pratense*), 10% Timothe (*Phleum pratensis*), 10% Weissklee (*Trifolium repens*) und 10% Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*).

### (3) Charakterisierung der eingesetzten Futtermittel

Tab. 10-9 gibt eine Auflistung der für jedes der eingesetzten Futtermittel gemessenen Parameter, Tab. 10-10 gibt eine Zusammenstellung der entsprechenden Messwerte.

**Tab. 10-9:** Parameter zur Charakterisierung der Futtermittel für Fütterungsversuche.

Nr.	Parameter	Einheit*)	Methode**)	Nr.	Parameter	Einheit	Methode**)
1	Trockensubstanz (TS)	% uS	(1)	11	Natrium (Na)	g/kg uS	(3)
2	Rohasche (Ra)	% uS	(1)	12	Kalium (K)	g/kg uS	(3)
3	Rohprotein (Rp)	% uS	(1)	13	Eisen	mg/kg uS	(3)
4	Rohfett (Rfe)	% uS	(1)	14	Mangan	mg/kg uS	(3)
5	Rohfaser (Rfa)	% uS	(1)	15	Kupfer	mg/kg uS	(3)
6	N-freie Extraktstoffe (NfE)	% uS	(1)	16	Zink	mg/kg uS	(3)
7	Bruttoenergie (GE)	J/g uS	(2)	17	Hemizellulose**)	% uS	(5)
8	Calcium (Ca)	g/kg uS	(3)	18	Zellulose**)	% uS	(5)
9	Phosphor (P)	g/kg uS	(4)	19	Kutin**)	% uS	(5)
10	Magnesium (Mg)	g/kg uS	(3)	20	Lignin**)	% uS	(5)

\*)uS = ursprüngliche Substanz

\*) Analysemethoden: (1)=Weender Rohnährstoffanalyse [*Neumann & Brassler 1976*],

(2) Kalorimeter, (3) Absorptionsspektrophotometer, (4) Flammenphotometer, (5) van Soest Faseraufschluss

### Methodenbeschreibung „Rohfaseraufschluss nach Van Soest“

Der Rückstand nach dem Kochen mit saurem Detergentium (Hexadecyltrimethylbromid in 1 n H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) wird als ADF (acid detergent fiber) bezeichnet und enthält vorwiegend Zellulose, Kutin und Lignin. Nach Hydrolyse der Zellulose mit 72 %iger H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bleiben vorwiegend Lignin und Kutin im Rückstand. Nach Hydrolyse des Lignins und Bestimmung der Silikate bleibt Kutin im Rückstand. Die Hemizellulose erhält man, wenn von dem durch Kochen in neutraler Detergentienlösung (Natriumlaurylsulfat, EDTA, pH 7) die ADF abgezogen werden.

**Tab. 10-10: Gemessene Parameter der Futtermittel für Fütterungsversuche.**

Nr	Parameter	Einheit	Akzeptanztest		Verdaulichkeitsversuch			
			Luzerne, grün	Kleegras, siliert	Luzerne, grün	Kleegras, siliert	Heu	Bunny
			LU-1S-G-PK2	KLG-1S-S-PK(?)	LU-1S-G-PK2	KLG-1S-S-PK(?)		
1	Trockensubstanz (TS)	%uS	89,39	90,08	88,58	88,76	91,99	89,55
2	Rohasche (Ra)	%uS	8,00	5,67	8,02	6,56	3,87	8,76
3	Rohprotein (Rp)	%uS	15,22	16,42	16,4	15,99	9,14	17,96
4	Rohfett (Rfe)	%uS	2,37	5,39	2,16	2,06	1,58	3,06
5	Rohfaser (Rfa)	%uS	28,74	27,74	29,13	25,88	28,73	14,32
6	N-freie Extraktstoffe (NfE)	%uS	35,06	34,87	32,87	38,27	48,67	45,45
	<b>Summe 2-6</b>	<b>%uS</b>	<b>89,39</b>	<b>90,09</b>	<b>88,58</b>	<b>88,76</b>	<b>91,99</b>	<b>89,55</b>
7	Energie (GE)	J/g TS	16569,00	18133,00	16639	16930	16980	16074
8	Calcium	g/kg uS	11,78	6,33	11,15	4,6	2,73	16,9
9	Phosphor	g/kg uS	2,61	0,92	2,41	2,43	2,05	6,56
10	Magnesium	g/kg uS	1,50	1,05	1,33	1,1	0,85	2,3
11	Natrium	g/kg uS	1,50	1,55	0,75	0,43	0,93	3,25
12	Kalium	g/kg uS	26,75	17,20	17,25	17,75	12,3	16,75
	<b>Summe 8-12</b>	<b>g/kg uS</b>	<b>44,14</b>	<b>27,05</b>	<b>32,89</b>	<b>26,31</b>	<b>18,86</b>	<b>45,76</b>
13	Eisen	mg/kg uS	301,00	554,00	321,00	102,00	30,00	93,00
14	Mangan	mg/kg uS	25,00	65,00	24	100	30	125
15	Kupfer	mg/kg uS	13,00	20,00	10	9	5	37
16	Zink	mg/kg uS	11,00	10,00	7	8	6	35
	<b>Summe 13-16</b>	<b>mg/kg uS</b>	<b>350,00</b>	<b>649,00</b>	<b>362,00</b>	<b>219,00</b>	<b>71,00</b>	<b>290,00</b>
17	Hemizellulose	%uS	14,23	13,22	18,67	23,71	22,20	12,28
18	Zellulose	%uS	6,54	5,26	6,73	6,59	6,58	1,47
19	Kutin	%uS	1,34	0,75	1,44	1,10	0,42	1,07
20	Lignin	%uS	27,34	25,91	28,00	24,40	25,02	1,58
	<b>Summe 17-20</b>	<b>%uS</b>	<b>49,45</b>	<b>45,14</b>	<b>54,84</b>	<b>55,80</b>	<b>54,22</b>	<b>16,40</b>

\*) Anzahl der Abpressungen leider nicht dokumentiert, d.h. entweder Probe "KLG-1S-S-PK1" oder Probe "KLG-1S-S-PK2"

Aus Tab. 10-10 (Zeilen 17-20) sieht man, dass die untersuchten Grasfaserproben (ursprüngliche Substanz, uS) zu ca. 45-55% aus Hemizellulose, Zellulose, Kutin und Ligni bestehen. Die Differenz auf 100% setzt sich aus Wasser, Rohprotein (Rp), Rohfett (Rfe), Rohasche (Ra) und Stickstoff-freien Extrakten (NfE) zusammen. Wie hier zu sehen ist, ist ein großer Anteil der Faserstoffe löslich und erscheint bei der Rohnährstoffanalyse in den NfE.

Tab. 10-10 (Zeile 5) zeigt, dass sowohl Luzernefasern als auch Kleegrasfasern einen hohen Rohfaseranteil aufweisen (Rfa = ca. 29,13 %TS bzw. 25,88 %TS), der völlig ausreichend wäre für die Herstellung eines Alleinfutters oder Ergänzungsfutters (Heuersatzfutters) für Meerschweinchen. Dieses „Heuersatzfutter“ hätte mehrere Vorteile:

- 4# es staubt nicht,
- 4# es erfordert geringe Lagerkapazität,
- 4# es wird nicht als Einstreu verwendet und nicht durch Kot verschmutzt,
- 4# es können problemlos die benötigten Vitamine zugemischt werden (vor allem das für Meerschweinchen lebensnotwendige Vitamin C).

Für Alleinfutter für Meerschweinchen werden allgemein folgende Inhaltsstoffe empfohlen (Angaben gelten für wachsende Tiere; erwachsene Tiere stellen keine so hohen Ansprüche an den Eiweißgehalt):

4#	Rohprotein:	18%	4#	Phosphor:	0,4 – 0,7 %
4#	Rohfaser:	> 10%	4#	Magnesium:	0,1 %
4#	Calcium:	0,8 - 1 %	4#	Vitamin C:	200 mg C/kg

Durch Zugabe von Getreide, Mineralstoffen, Eiweißfutter und Vitamin C sowie anderer Vitamine zur den Grasfaserrohstoffen können diese Anforderungen problemlos erreicht werden.

Mögliche Rezeptur für Alleinfutter für Meerschweinschweinchen

- 4# 50% Luzernefasern,
- 4# 30% Getreide (Hafer, Weizen),
- 4# 17-25 % Eiweißträger (Sojaextraktionsschrot, Sonnenblumenextraktionsschrot,...),
- 4# 2 - 3 % Mineralstoffträger und
- 4# 1 % Vitamin- und Spurenelementvormischung.

Eine derartige Futtermittelmischung würde folgende Inhaltsstoffgehalte ergeben:

4#	Ro	20%	4#	Phos	0,6%
	hprotein:			phor:	
4#	Ro	17%	4#	Ener	11,7 MJ DE
	hfaser:			giegehalt:	
4#	Cal	1 %			
	cium:				

Der Rohfasergehalt von etwa 20% in der Trockensubstanz (TS) wäre für Heimtiere, die meist ohnehin zu wenig Rohfaser erhalten, günstig. Bei Verwendung eines höheren Anteils an Grasfasern in der Futtermittelrezeptur (z.B. 70 %) können Eiweißträger eingespart werden (es wären lediglich ca. 13 – 16 % nötig). Allerdings steigt dadurch der Rohfasergehalt im Futter (22 %). Für die Erzeugung eines Ergänzungsfutters zu Getreide müssten lediglich Vitamine und evtl. Mineralstoffe zugemischt werden.



## 10.5.2. Akzeptanztest mit Meerschweinchen und Chinchillas (Fütterungsversuch-1)

### (1) Versuchstiere und Versuchsdurchführung

Als Versuchstiere wurden gehalten (s. **Abb. 10-11**):

#### 4# Meerschweinchen:

Insgesamt 40 Tiere in 4 Gruppen a 10 Tiere unterteilt.

Diese wurden 42 Tage lang mit den Luzernefaserpellets bzw. Klee graspellets – anstelle von Heu - sowie mit Bunny-Meerschweinchenfutter gefüttert.

#### 4# Chinchillas:

Insgesamt 11 Chinchillas in 4 Gruppen zu 2, 3 bzw. 4 Tieren

Diese wurden 15 Tage lang mit Luzernefaserpellets bzw. Klee graspellets - anstelle von Heu – gefüttert.



**Abb. 10-11:** Versuchtieren für Fütterungsversuche (Meerschweinchen bzw. Chinchillas rechts).

### (2) Versuchsergebnisse

**Tab. 10-11** zeigt die *Futtermittelaufnahme* von Meerschweinchen und Chinchillas im Akzeptanztest.

4# Meerschweinchen: Man sieht, dass offensichtlich sowohl die Luzernefaserpellets als auch die Klee graspellets von den Meerschweinchen gerne aufgenommen werden. Die Akzeptanz war mit jener von Heucubes vergleichbar.

4# Chinchillas zeigten dagegen eine deutliche Vorliebe für Luzernepellets, während die Klee graspellets kaum akzeptiert wurden.

Schlussfolgerung: Die bei Meerschweinchen gewonnenen Ergebnisse hinsichtlich der Akzeptanz von Luzernefaserpellets bzw. Klee graspellets als Futtermittel sind nicht ohne weiteres auf andere Tierarten übertragbar.

**Tab. 10-12** zeigt die *Körpermassenentwicklung* von Meerschweinchen bei Gabe von definierten Futtermengen (s. **Tab. 10-13**). Man sieht, dass die Gewichtszunahmen bei den mit den Faserpellets gefütterten Tieren höher waren als bei jenen, die Heu erhielten. Die Ursache hierfür liegt vermutlich einerseits in der größeren aufgenommenen Futtermenge, andererseits in der besseren Verdaulichkeit der Faserrationen (s. **Tab. 10-16**).

Tab. 10-11: Futteraufnahme von Meerschweinchen und Chinchillas im Akzeptanztest.

1	2	3	4	5	6	7	8
<b>I. MEERSCHWEINCHEN</b>							
<b>(a) Futteraufnahme pro Gruppe und gesamte Versuchslaufzeit (10 Tiere/Gruppe, 42 Tage)</b>							
Gruppe	Geschlecht	Bunny*)	Luzerne-Pellets	Kleegras-Pellets	Gesamt	%Bunny	%Grasfaser-Pellets
		g	g	g	g	%	%
1	m	9.823,2	11.026,0		20.849,2	47,12%	52,88%
2	m	11.381,9		9.963,3	21.345,2	53,32%	46,68%
3	w	9.947,4	8.055,9		18.003,3	55,25%	44,75%
4	w	10.367,0		8.050,0	18.417,0	56,29%	43,71%
<b>(b) Futteraufnahme pro Tier und Tag, Mittelwerte und Standardabweichung (in Klammern)</b>							
Gruppe	Geschlecht	Bunny*)	Luzerne-Pellets	Kleegras-Pellets	Gesamt	%Bunny	%Grasfaser-Pellets
		g/Tier Tag	g/Tier Tag	g/Tier Tag	g/Tier Tag	%	%
1	m	23,39 (4,22)	26,25 (4,07)		49,64	47,12%	52,88%
2	m	27,10 (6,81)		23,72 (5,52)	50,82	53,32%	46,68%
3	w	23,68 (4,05)	19,18 (6,58)		42,87	55,25%	44,75%
4	w	24,68 (4,82)		19,17 (5,03)	43,85	56,29%	43,71%
<b>II. CHINCHILLAS</b>							
<b>Futteraufnahme pro Tier und Tag</b>							
Gruppe	Geschlecht	Bunny*)	Luzerne-Pellets	Kleegras-Pellets	Gesamt	%Bunny	%Grasfaser-Pellets
		g/Tier Tag	g/Tier Tag	g/Tier Tag	g/Tier Tag	%	%
1	m	14,0	16,8		30,88	45,47%	54,53%
2	w	18,1		2,3	20,43	88,74%	11,26%
3	m	16,6	12,6		29,20	56,95%	43,05%
4	m	17,0		2,7	19,73	86,16%	13,84%

\*) Meerschweinchenfutter

Tab. 10-12: Körpermasseentwicklung von Meerschweinchen bei Gabe von definierten Futtermengen.

Nr	Futtermittel		Körpermasse (KM)		
			1. Tag	6.Tag	Zunahme
			g	g	g
1	Heucobs	x	802,0	806,0	3,6
		s	59,6	48,3	21,0
2	Luzerne	x	815,0	838,0	23,7
		s	87,3	86,3	22,0
3	Kleegras	x	774,0	795,5	21,0
		s	78,0	76,2	

Tab. 10-13: Vergleich der angebotenen und tatsächlich aufgenommenen Futtermenge.

Nr.	Futtermittel	Angebote Futtermenge, g/Tier/Tag	Tatsächlich aufgenommen Futtermenge, g/Tier/Tag
1	Luzernepellets	40	34,8
2	Kleegraspellets	40	39,9
3	Heucobs	40	33,4
4	Bunny Meerschweinchenfutter	20	20

### 10.5.3. Verdaulichkeitstest mit Meerschweinchen

#### (1) Versuchstiere

Als Versuchstiere standen 36 Meerschweinchen zur Verfügung, die während der Verdaulichkeitsuntersuchungen paarweise in Käfigen gehalten wurden (18 Käfige). Die Käfige waren mit Lochblechböden ausgestattet. Auf die Böden wurden perforierte Kunststoffmatten gelegt, um Verletzungen zu vermeiden. Wasser stand über Flaschen mit Nippel ad libitum zur Verfügung, das Futter wurde in speziellen Futterspendern angeboten. Der Kot wurde während der Sammelperioden täglich 2 Mal gesammelt, um Verluste zu vermeiden.

#### (2) Versuchsdurchführung

Um eine bedarfsgerechte Versorgung der Meerschweinchen zu gewährleisten, wurde zu den Faserproben eine bestimmte Menge des Meerschweinchenfutters gefüttert. Um dennoch die scheinbare Verdaulichkeit (sV) der Faserproben aus der analytisch ermittelten sV der Gesamtration berechnen zu können, erfolgte an 12 Tieren (6 Käfige) eine Bestimmung der sV des Meerschweinchenfutters. Während des Verdaulichkeitsversuches erhielten die Tiere Luzernefaserpellets, Kleegraspellets oder Heu ad libitum (Aufnahmemengen s. **Tab. 10-13**) und jeweils 20 g *Bunny-Meerschweinchenfutter*. Die entsprechenden Futtermittelmengen sind in **Tab. 10-14** aufgelistet.

Die Meerschweinchen wurden über einen Zeitraum von 10 Tagen mit der Versuchsration eingefüttert. Die Kotsammelperiode dauerte 4 Tage, anschließend wurde der Rohnährstoff- und Energiegehalt der Kotproben bestimmt und die Verdaulichkeit berechnet.

**Tab. 10-14:** Für Verdaulichkeitsversuche verwendete Futtermittel und Futtermittelmengen.

Nr.	Futtermittel	verfütterte Menge, (g/Tier/Tag)	Anmerkung
1	Luzernepellets	ad libitum	hergestellt gem. <b>Abschn. 10.5.1</b>
2	Kleegraspellets	ad libitum	hergestellt gem. <b>Abschn. 10.5.1</b>
3	Bunny-Meerschweinchenfutter	20 g/Tier/Tag	entspricht etwa 50 % der bei <i>ad libitum</i> Angebot aufgenommenen Menge
4	Heu	ad libitum	

(3) Versuchsergebnisse

Tab. 10-15 zeigt die gemessenen Rohnährstoff- und Energiegehalte der Kotproben, die zur Berechnung der sV herangezogen wurden.

In Tab. 10-16 ist die sV der Futtermittel aufgelistet. Die sV eines Nährstoffes errechnet sich aus dem mit dem Futter aufgenommenen Nährstoff abzüglich des mit dem Kot ausgeschiedenen Nährstoffes ( $sV \% = \frac{g \text{ Nährstoff im Futter} - g \text{ Nährstoff im Kot}}{g \text{ Nährstoff im Futter}} \cdot 100$ ). Zu diesem Zweck wurden die aufgenommene Futtermenge sowie die ausgeschiedene Kotmenge während der Kotsammelperiode festgehalten und die Rohnährstoffe im Futter und in den Kotproben analytisch bestimmt. Entgegen den Erwartungen war die analytisch ermittelte scheinbare Verdaulichkeit der Luzernefaserpellets, der Klee graspellets sowie des Heus durchwegs höher als die scheinbare Verdaulichkeit des Meerschweinchenfutters.

Tab. 10-15: Rohnährstoff- und Energiegehalte der Kotproben.

1	2	3	4	5	6	7	8
Stall Nr.	TS*)	Ra*)	Rp*)	Rfe*)	Rfa*)	NfE*)	GE*)
	% uS	% uS	% uS	% uS	% uS	% uS	J/g TS
<b>(a) Heu + Bunny</b>							
1	60,36	3,42	4,63	1,1	20,65	30,56	11575
2	60,31	3,26	5	1,31	20,51	30,23	11466
3	59,72	6,62	5,87	1,01	20,4	28,81	11593
4	64,08	3,68	6,54	1,17	22,98	29,71	12315
5	68,34	3,99	9,76	1,26	24,01	29,32	13003
6	69,84	4,16	10,3	1,42	24,14	29,82	13333
x	63,78	4,19	7,02	1,21	22,12	29,74	12214
s	4,42	1,24	2,43	0,15	1,79	0,63	804
<b>(b) Luzerne-Pellets + Bunny</b>							
7	76,22	4,65	8,66	2,87	35,52	24,52	15257
8	68,97	4,76	8,24	1,96	31,25	22,76	13773
9	61,97	4,45	6,74	1,89	28,36	20,53	14327
10	77,74	5,2	8,82	6,25	34,24	23,23	14964
11	55,3	4,5	5,67	1,89	23,54	19,7	10911
12	64,56	2,74	6,63	2,23	27,87	25,09	12831
x	67,46	4,38	7,46	2,85	30,13	22,64	13677
s	8,62	0,85	1,29	1,71	4,45	2,14	1609
<b>(c) Klee gras-Pellets + Bunny</b>							
13	58,99	4,14	8,23	2,50	20,41	23,71	11553
14	74,08	5,07	10,65	3,08	25,52	29,76	14450
15	47,99	3,74	6,61	1,25	16,36	20,03	9230
16	77,84	3,69	8,81	2,69	28,30	34,35	15206
17	57,26	4,63	5,55	1,51	20,23	25,34	10173
18	37,00	2,53	3,47	1,66	10,94	18,4	7280
x	58,86	3,97	7,22	2,12	20,29	25,27	11315
s	15,43	0,88	2,55	0,74	6,24	5,99	3064

\*)TS=Trockensubstanz; Ra=Rohasche; Rp=Rohprotein; Rfe=Rohfett; Rfa=Rohfaser; NfE=N-freie Extraktstoffe; GE=Bruttoenergie

**Tab. 10-16: Scheinbare Verdaulichkeit (%) der Energie- und Rohnährstoffe des aufgenommenen Gesamtfutters sowie der einzelnen Faserfraktionen (n=6).**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nr	Futtermittel	TS	Ra	Rp	Rfe	Rfa	NfE	GE
<b>(1) Luzerne-Pellets</b>								
1	Luzerne + Bunny x	72,76	82,85	84,18	57,54	54,62	77,75	69,32
2	s	2,38	2,92	2,17	21,87	4,16	2,44	3,29
3	Luzerne x	76,47	92,03	91,58	56,1	61,8	79,48	74,07
4	s	4,84	5,14	5,15	37,59	6,89	4,71	6,1
<b>(2) Klee gras-Pellets</b>								
5	Klee gras + Bunny x	72,04	78,63	81,15	60,54	60,01	72,56	69,88
6	s	5,83	5,24	6,05	10,67	11,96	6,31	7,56
7	Klee gras x	74,72	84,85	85,88	60,52	68,46	70,56	74,05
8	s	9,11	9,64	10,29	16,62	15,89	10,34	11,81
<b>(3) Heu</b>								
9	Heu + Bunny x	69,04	72,01	75,55	73,38	57,91	71,7	66,72
10	s	1,99	9,48	6,86	2,51	5,1	1,77	2,37
11	Heu x	69,93	74,28	76,85	87,36	66,36	69,12	69,71
12	s	3,47	24,75	16,7	4,68	4,27	3,32	3,16
<b>(4) Bunny</b>								
13	Bunny x	67,02	71,7	73,11	60,57	31,55	75,85	60,86
14	s	3,58	3,2	3,29	9,34	7,57	2,34	4,34

\*)TS=Trockensubstanz; Ra=Rohasche; Rp=Rohprotein; Rfe=Rohfett; Rfa=Rohfaser; NfE=N-freie Extraktstoffe; GE=Bruttoenergie

Die scheinbaren Verdaulichkeiten (sV) der organischen Substanz (oS; oS = TS – Ra) lässt sich einerseits aus dem Rohfasergehalt (Rfa) der Trockensubstanz (TS) wie folgt berechnen:

$$sV = 92,94 - 1,44 \times Rfa$$

mit

sV                    scheinbare Verdaulichkeit der organischen Substanz (oS)

Rfa   [%TS]       Rohfaseranteil in Trockensubstanz

**Formel (1)**

**Tab. 10-17: Aus dem Rohfasergehalt (Rfa) der Trockensubstanz (TS) berechnete Werte für die scheinbare Verdaulichkeit (sV) der organischen Substanz (oS).**

Nr.	Futtermittel	scheinbare Verdaulichkeit (sV) der organischen Substanz (oS), [%]
1	Bunny-Meerschweinchenfutter	72,28%
2	Heu	51,53%
3	Luzernepellets	50,95%
4	Klee gras pellets	55,63%

Die nach **Formel (1)** berechnete scheinbare Verdaulichkeit (sV) der organischen Substanz (oS) des *tatsächlich* aufgenommenen Futters (20 g Bunny/Tier/Tag + Luzernepellets, Klee graspellets oder Heu, jeweils ad libitum) beträgt:

**Tab. 10-18:** Gemessene Werte für die scheinbare Verdaulichkeit (sV) der organischen Substanz (oS).

Nr.	Futtermittel	scheinbare Verdaulichkeit (sV) der organischen Substanz (oS), [%]
1	Bunny	67,02%
2	Bunny + Heu	56,02 % (s=1,71)
3	Bunny + Luzernepellets	54,37 % (s=1,04)
4	Bunny + Klee graspellets	57,19 % (s=0,24)

Vergleicht man **Tab. 10-17** und **Tab. 10-18**, so sieht man, dass

- 4# im Fall des Meerschweinchenfutters Bunny der im Fütterungsversuch *gemessene* Wert für die scheinbaren Verdaulichkeit (sV) der organischen Substanz (oS) geringfügig niedriger ist als der gemäss Formel (1) aus dem Rohfasergehalt berechnete Wert (67,02% < 72,28%),
- 4# im Fall von Heu, Luzernepellets und Klee graspellets die im Fütterungsversuch *gemessenen* Werte für die scheinbare Verdaulichkeit der organischen Substanz jedoch wesentlich höher sind als die aufgrund des Rohfasergehalts (Rfa) berechneten Werte.

Meerschweinchen sind in der Lage, durch Aufnahme von Blinddarmkot (Caecophagie) die Versorgung mit Eiweiß (Bakterieneiweiß) und B-Vitaminen zu sichern. Möglicherweise wurde durch eine vermehrte Bildung und Aufnahme von Blinddarmkot eine höhere Verdaulichkeit der Faserproben erreicht als bei Verfütterung des Meerschweinchenfutters. Die scheinbare Verdaulichkeit (sV) des Meerschweinchenfutters wurde 14 Tage vor der Untersuchung der Versuchsrationen getestet. Da die Tiere zum Zeitpunkt der Verdaulichkeitsversuche bereits 6 Monate alt waren, ist es unwahrscheinlich, dass das Alter der Tiere und damit die Entwicklung des Verdauungstraktes einen Einfluss auf die Verdaulichkeit der Futtermittel ausgeübt haben. Die sV der Energie und der Rohnährstoffe (mit Ausnahme der sV des Rohfettes) der Faserpellets war höher als jene des Heus.

## 10.6. Zusammenfassung Schlussfolgerungen

- 4# Der Akzeptanzversuch an Meerschweinchen hat gezeigt, dass Rauhfutterpellets aus abgepresstem und getrocknetem Fasermaterial (Luzerne bzw. Klee gras) - wie es in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfällt – von Meerschweinchen gut aufgenommen werden und gut verträglich sind;
- 4# Der Verdaulichkeitsversuch hat gezeigt, dass die getesteten Grasfaserpellets einen mindestens ebenso hohen Nährwert aufwiesen wie Heu und für die Heimtierfütterung geeignet sind.
- 4# Die durchschnittliche scheinbare Verdaulichkeit (sV) der Grasfaserpellets (Luzernepellets bzw. Klee graspellets) war mit jener der Heupellets vergleichbar bzw. geringgradig höher.
- 4# Die getesteten Grasfasern sind sowohl als Rauhfutter in der Heimtierernährung geeignet als auch als Rauhfutterkomponente zur Herstellung von Alleinfuttermitteln für Meerschweinchen und andere Nagetiere und Kaninchen.

## 10.7. Referenzen

Neumann, K., Brassler, R. (1976):

*Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik*

In: Schmitt, L. (Hrsg.): *Die chemische Untersuchung von Futtermitteln*, 3. Aufl., Bd.3;

Verlag J. Neumann-Neudamm, Melsungen-Berlin-Basel-Wein.

Bunny (2003):

*Fa. Bunny Tierernährung*, Helga Ostermann, D-49311 Melle.

Telesis (2003):

*Schema einer Flachmatrizenpresse*, <http://www.telesis.at> (7.5.2003).





## 11. MARKTANALYSE FÜR MÖGLICHE PRODUKTE EINER GRÜNEN BIORAFFINERIE

VERFASSER: **CHRISTIAN HIEL**  
 KEYDREAMS MARKETING,  
 A-3013 TULLNERBACH PRESSBAUM, BIHABERGSTRASSE 1

### 11.1. Einleitung

Ein nachhaltiger Erfolg der Umsetzung des Konzepts einer GRÜNEN BIORAFFINERIE ist nur dann möglich, wenn diese nicht nur in technologischer Hinsicht realisierbar ist, sondern auch wirtschaftlich betrieben werden kann. Die Wirtschaftlichkeit hängt unter anderem von den Marktchancen der in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE produzierbaren Produkte ab.

### 11.2. Zielsetzung und Methoden

Ziel der in diesem Kapitel beschriebenen und von *KEYDREAMS Marketing (Christian Hiel)* durchgeführten Arbeiten war es, für verschiedene mögliche Produktgruppen einer GRÜNEN BIORAFFINERIE Marktchancen zu sichten und zu beurteilen, wobei auf die marktrelevantesten Verwertungsoptionen fokussiert wurde, um dadurch Empfehlungen für die weitere Ausrichtung der Projektentwicklung abgeben zu können. (s. **Tab. 11-1**).

*Tab. 11-1: Mögliche Produkte einer GRÜNEN BIORAFFINERIE.*

Nr.	Produktgruppe	Produktbeispiele
1	<i>Proteine und Aminosäuren</i>	4# Proteine 4# Aminosäuren
2	<i>Milchsäure &amp; Milchsäurederivate</i>	4# Milchsäure 4# Ethyllactat (ökologisches Lösungsmittel) 4# Polylactat (PLA)
3	<i>Faserprodukte</i>	4# Dämmstoffe 4# Spezialtierfuttermittel (Pferde, Kleinnager) 4# Materialien für den Gartenbau

### 11.3. Grundlagen - Anforderungen vom Markt

#### 11.3.1. Trendgefüge Unternehmen

Die Industrieunternehmen setzen auf Nachhaltigkeit ihrer bestehenden Produkte bzw. Produktionsverfahren. Das ergab eine von der Unternehmensberatung *Arthur D. Little* bei 500 Unternehmen (mit europäischem und nordamerikanischem Ursprung) durchgeführte Befragung. Wichtige Faktoren der Umweltorientierung der Firmen sind, geordnet in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit [*Arthur D. Little, 1998*]:

- 4# Vermeidung von Emissionen (49 % der befragten Firmen),
- 4# Umwelt Auditing (46 %),
- 4# Energieeffizienz (36 %),
- 4# Design for Environment, Schaffung geschlossener Kreislaufsysteme,
- 4# Betriebsökologie, Ökoeffizienz und Umweltkostenbewertung (selten angemerkt).

Weiters konstatiert eine neue Studie des *Future Trend Institute* eine Trendwende bei den Marketingzielen von Unternehmen. Bei einer Befragung von 300 Managern und Hochschulprofessoren in Deutschland und Österreich, die in Kooperation mit der Wirtschaftsuniversität Wien durchgeführt wurde, ortete das Institut mehrere strategische Entwicklungen, die in den nächsten Jahren Management und Marketing nachhaltig verändern sollen. So sind für Marketing-Manager auf einer siebenstufigen Punkteskala folgende Aspekte wichtig [*Future Trend Institut 1999*]:

- 4# Aufbau und die Pflege langfristiger Kundenbeziehungen (5,5 von 7 möglichen Punkten),
- 4# Schaffung neuer Märkte (5,1 Punkte),
- 4# Relationship-Marketing (5,0 Punkte).

Bei der Unternehmensentwicklung geht es hauptsächlich um *Flexibilität & Geschwindigkeit*. Auch Zukunftsgestaltung und die *Stärkung von Kernkompetenzen* sind aus unternehmensinterner Sicht wichtige Zukunftsthemen. Das bedeutet mehr den je, dass der Erfolg neuer nachhaltiger Rohstoffe und Produkte nur dann gewährleistet ist, wenn dem Unternehmen daraus kein Nachteil bzw. keine Unsicherheit in der laufenden Produktion entsteht und/oder das Potential eines Pioniergewinnes (marktanteilmäßig oder monetär) in überschaubaren Zeiträumen (max. 3 Jahre) erwirtschaftet wird.

### 11.3.2. Trendgefüge Gesellschaft

„Öko ist out, lange lebe Öko“. Aus den 70iger und 80iger Jahren ist den dezitiert ausgewiesenen Ökoprodukten das Image geblieben, sie seien umständlich, teuer und nicht besonders gut. Dabei wollen die Verbraucher durchaus wissen, was die Umwelt schont. Lediglich der Altruismus für Öko-Produkte ist aus der Mode gekommen. Die Verbraucher wollen perfekte Produkte, und dazu gehört auch Umweltverträglichkeit. Wenn eine Ware professionell ist und einen angemessenen Preis hat, kann „öko“ ein wirksames Zusatzargument für die Kaufentscheidung sein. Öko allein ist allerdings zuwenig. In unserer Gesellschaft haben - neben dem Preis/Leistungsverhältnis - folgende in der nachfolgenden **Abb. 11-1** aufgelisteten Faktoren einen grundlegenden Einfluss auf unser Entscheidungs- und Kaufverhalten:



- Erlebnisorientierung und emotionale Ansprache
- Sicherheit und technologischer Fortschritt
- Vereinfachung und Entlastung
- Individualität und Selbstverwirklichung
- demonstrative Vernunft
- Natürlichkeit und Gesundheit
- Umweltverträglichkeit und Energiebewußtsein

**Abb. 11-1:** Einflussfaktoren für Entscheidungs- und Kaufverhalten.

Produkte sind Dienstleistungen sind Produkte:

Die Zielgruppe jener Konsumenten, die als sogenannte „Early adopters“ bereit sind neue Produkte zu testen, finden sich natürlich nach wie vor auch unter ökobewußten Menschen. Diese Zielgruppe ist erfahrungsgemäß relativ schmal und mit maximal 1-2% des potentiellen Gesamtmarktes zu bewerten.

Die Zielgruppe jener Konsumenten, die als sogenannte „Early adopters“ bereit sind neue Produkte zu testen, finden sich natürlich nach wie vor auch unter ökobewußten Menschen. Diese Zielgruppe ist erfahrungsgemäß relativ schmal und mit maximal 1-2% des potentiellen Gesamtmarktes zu bewerten.

Die Massenmärkte sind nur dann erreichbar, wenn die angebotenen Produkte sowohl auf technischer als auch auf emotionaler Basis, zumindest das gleiche Dienstleistungsniveau haben wie die bisherigen. Dies gilt selbstverständlich genauso für KäuferInnen von Rohstoffen und Halbfertigprodukten wie für den Endkonsumenten.

## 11.4. Märkte für Proteine und Aminosäuren

### 11.4.1. Proteine

#### 11.4.1.1. Proteinprodukte im Nahrungsmittel- und Futtermittelbereich

Nach aktuellen Analysen der Unternehmensberatung *Frost und Sullivan* wird der europäische Markt für Proteinzusätze im Nahrungs- und Futtermittelbereich weiter an Volumen zulegen (s. **Tab. 11-2**): Zur Zeit wird der Markt mit ca. 6,86 Mrd. US-\$ beziffert, und soll in den nächsten 7 Jahren auf 9 Mrd. US-\$ steigen

*Tab.11-2: Gegenwärtiger und erwarteter Markt für Proteinproduktzusätze im Nahrungs- und Futtermittelbereich [Frost & Sullivan 1999].*

Nr.	Jahr	Marktvolumen
1	2002	6,86 Mrd. US-\$
2	2009	9,00 Mrd. US-\$ (Prognose)

In Folge der jüngsten BSE-Krise (Rinderwahnsinn) sowie des Auftretens der Maul- und Klauenseuche hat sich die Marktstruktur in den letzten Jahren drastisch verändert; und zwar durchaus im Sinne des gegenständlichen BIORAFFINERIE-Projekts: Sowohl die Futtermittel- als auch die Lebensmittelindustrie haben Tierproteine durch andere Produkte ersetzt. Zudem hat die Ablehnung genmanipulierter Sojaprodukte durch die Verbraucher, hier speziell im europäischen Raum, Auswirkungen gezeigt.

Heute sind die Lebensmittelhersteller vor allem an Proteinen mit verbesserter Funktionalität (functional food und Nahrungsergänzungsmittel) und gesundheitsfördernden Eigenschaften interessiert, um dadurch die Herstellungskosten zu senken und Marketingaktivitäten zu unterstützen. Hier kommen vor allem transgene Pflanzen und Spezialzüchtungen zum tragen.

Mengenmäßig ist mit 33 Prozent des Protein-Gesamtmarkts nach wie vor das *Fischprotein* das bedeutendste Protein. Der mit 2,35 Mrd. US-\$ höchste Umsatz wurde im Jahr 2000 allerdings mit *Ei-Protein* erzielt. Am Sektor der *Pflanzenproteine* wurden 1994 folgende in **Tab. 11-3** aufgelisteten Mengen angebaut:

*Tab. 11-3: 1994 produzierte Pflanzenproteinmengen.*

Pflanzenart	Produzierte Proteinmenge, (in 1000 Tonnen)
Sojabohne	136.700
Rapssamen	29.900
Sonnenblumen	22.200
Weizen	52.800
Erbsen	14.500

Auf dem europäischen Markt gibt es derzeit über 200 Hersteller von Proteinzusatzprodukten. Zu den Marktführern gehören

4# DMV            4# Armor Protéines    4# Sanovo Food  
 4# MD Food      4# Nive                    4# ADM

*Profetas Projekt [Momers 2002]:* Zur Zeit läuft in den Niederlanden das multidisziplinäre IT Projekt "Profetas". Die Forscher haben sich ein großes Ziel gesetzt: Binnen weniger Jahre wollen sie die westliche Nahrungsmittelproduktion vollkommen verändern. Fleisch in Fast Food und verarbeiteten Lebensmitteln wollen

sie verschwinden lassen - und ersetzen durch "NPF": "novel protein foods", ein Kunstfleisch auf Basis pflanzlicher Proteine

Nicht weniger als 40 Prozent des gesamten Fleischkonsums, so haben die Forscher ausgerechnet, könnte dereinst mit "Protex" oder "Fibrex" bestritten werden: mit Pseudofleisch aus der Fabrik, Hightech-Designerfood, dessen Eiweiße aus Bohnen stammen, aus Weizen oder Soja - oder sogar aus Pilzen wie Fusarium.

Mit von der Partie sind neben der Universität von Wageningen die Universitäten von Amsterdam und Twente in Enschede. Um die Abschaffung des Fleisches kümmern sich Ökologen, Wirtschaftswissenschaftler, Lebensmittelchemiker, Chemiker, Biologen, Gesellschaftswissenschaftler und Marketingspezialisten - nur ein Koch fehlt noch. Weitere Experten steuert der Chemiekonzern DSM bei; auch der weltweit zweitgrößte Lebensmittelproduzent Unilever ("Rama", "Du darfst") ist an dem "Profetas"-Projekt beteiligt.

#### 11.4.1.2. Proteinprodukte als Rohstoffe im Chemiebereich

Proteine als Rohstoffe im chemisch-technischen Bereich finden hauptsächlich in den in **Tab. 11-4** aufgelisteten Bereichen Verwendung. Als Rohstoff im chemisch-technischen Bereich müssen Proteine allerdings mit fossilen Rohstoffen konkurrieren, für die bereits bewährte und kostengünstige Produktlinien vorhanden sind (s. **Tab. 11-5**). Ausschließlich zur Proteingewinnung im chemisch-technischen Bereich angebaute Pflanzen gibt es nicht, und es dürfte sie auch in Zukunft kaum geben.

*Tab. 11-4: Anwendungsgebiete und Preise für Proteinprodukte im Sinne von Rohstoffen für den Chemiebereich.*

Anwendungsgebiet	Preis, in €/kg
Papierstrichmittel	1,50-5,50
Ettikettierklebstoffe	2,50-5,50
Leime, Kleber	2,50
Lederdeckfarbe	2,50-5,50
Kosmetika	2,50

*Tab. 11-5: Preisvergleich von Proteinen unterschiedlicher Provenienz mit petrochemischen Produkten.*

Proteine	Preis, in €/kg	Petrochemische Produkte	Preis, in €/kg
Soja	2,5 – 3,5	Acrylsäure	1,5
Erbsen	3,0 – 3,5	1,4 Butandiol	1,5
Weizen	0,5 – 0,8	Polyvinylacetat	3,0 – 3,5
Raps	1,0 – 1,5	Polyvinylalkohol	2,25 – 2,75
Kartoffel	0,5 – 0,8	Polyacrylat	3,5 – 4,0
Casein	2,25 – 3,5	1,2-Propandiol	0,7

## 11.4.2. Aminosäuren

### 11.4.2.1. Einleitung – Verwendungsmöglichkeiten für Aminosäuren

Im Verlaufe des gegenständlichen Projekts wurde vereinbart, sich im Produktsegment Proteine und Aminosäuren auf folgende Produktgruppen zu konzentrieren:

- |                 |                    |                   |
|-----------------|--------------------|-------------------|
| (1) L-Alanin    | (5) L-Isoleucin    | (9) L-Prolin      |
| (2) L-Asparagin | (6) L-Leucin       | (10) L-Tryptophan |
| (3) L-Glutamin  | (7) L-Methionin    | (11) L-Tyrosin    |
| (4) L-Histidin  | (8) L-Phenylalanin | (12) L-Valin      |

Das Potential für diverse Futterzusätze mit Zusatznutzen liegt - wie die Recherche ergeben hat - nicht im Bereich des Gesamtproteins - sondern in der speziellen Verwendung von essentiellen Aminosäuren als Futterergänzungsmittel.

Aminosäuren sind nicht nur die Grundbausteine der Proteine, sondern auch ein prosperierender Markt. Von den ca. 22 in den Nahrungseiweißen vorkommenden Aminosäuren sind 9 für den Menschen "essentiell", d.h. sie werden nicht im menschlichen Körper gebildet, sondern mit der Nahrung zugeführt. Bei diesen Aminosäuren handelt es sich um

- |                |                   |                |
|----------------|-------------------|----------------|
| (1) Histidine  | (4) Lysine        | (7) Threonine  |
| (2) Isoleucine | (5) Methionine    | (8) Tryptophan |
| (3) Leucine    | (6) Phenylalanine | (9) Valine     |

Die essentiellen Aminosäuren *Leucin*, *Isoleucin* und *Valin* werden wegen ihrer chemischen Struktur auch verzweigt-kettige Aminosäuren genannt (*Branched Chain Amino Acids* "BCAA").

Praktisch können alle Aminosäuren in freier Form auf dem Markt erworben werden. Einigen Produkten / Stoffen werden anabole Wirkungen zugesprochen. Dies beruht auf der Tatsache, dass diese die menschlichen Wachstumshormone fördert. Ähnlich wie Schlaf oder hartes Training.

Genau an diesem Punkt sieht die Nahrungsmittelindustrie die große Chance für einen neuen wachsenden Markt. Zielsetzung dabei ist es, speziell auf dem Sektor von *Functional Food* und *Functional Feed* die Vorteile der einzelnen Aminosäuren zu kommunizieren und zu nutzen.

In der Sportphysiologie sind in den letzten Jahren essentielle Aminosäure stark kontrovers diskutiert worden: Auf der einen Seite wird eine Leistungssteigerung durch Hinauszögern der Ermüdung postuliert, und auf der anderen Seite werden den essentiellen Aminosäuren eine Leistungsverminderung durch Beschleunigen des Eintritts der Ermüdung nachgesagt. Beide Hypothesen sind theoretisch nachvollziehbar und für beide Hypothesen gibt es (leider nur) indirekte "Beweise".

Auch die Wirkung von essentiellen Aminosäuren als Nahrungsergänzungsmittel für den täglichen Gebrauch steht in Diskussion, da eine Überdosierung einzelner Aminosäuren vermutlich zur Entgleisung des körpereigenen Aminosäurehaushaltes führen kann. Diese Diskussionen wird aber de facto unter Ausschluss der Öffentlichkeit geführt. Für den Konsumenten gewinnen Nahrungsergänzungsmittel eine immer größer werdende Bedeutung. Sie liegen voll im Trend der Wellness- und Gesundheitsbewegung und des subjektiven Wohlbefindens. Das Marketing der Nahrungsmittelkonzerne wird auch dahingehend ausgerichtet.

Aminosäuren werden weiters als Geschmacksverstärker eingesetzt. Einige Aminosäuren sind an der Geschmacksbildung und -wahrnehmung beteiligt, haben jedoch keinen Eigengeschmack. Sie sind daher als "geschmacksbeeinflussende Stoffe" für Lebensmittel zugelassen.

4# **Geschmacksverstärker:**

*Glutamin, Glycin*

4# **Backmittelzusatz:**

*Cystein, Cystin*

4# **Futtermittelzusätze:**

Die in der Tierhaltung eingesetzten Futtermittel enthalten zumeist nicht das gesamte Spektrum der essentiellen Aminosäuren. Die fehlenden Aminosäuren werden großtechnisch produziert und dem Futter zugesetzt, wie etwa *Lysin, Tryptophan, Methionin und Threonin*.



Quelle: Stock

11.4.2.2. Marktvolumen für Aminosäuren

Reine Aminosäuren als Nahrungsergänzung sind relativ jung am Markt. Erst Ende der 70iger Jahre wurde speziell im Sportbereich mit Nutzung der Produkte begonnen. Es etablierte sich schnell ein Markt, der von internationalen Konzernen besetzt wurde. Hauptabsatzgebiete sind dabei der asiatische Kontinent mit 41 % und der nordamerikanische Kontinent mit 29% (s. **Abb.**). Zur Zeit werden zwei relevante Marktstudien zum Globalen Aminosäure-Markt angeboten. Beide Studien sehen im Markt ähnliche Wachstumsraten.

4# (1) „World Amino Acids to 2004“

[Freedonia, 2000] (s. Tab. 11-6):

- (1) Der Weltmarkt für Aminosäuren hat ein jährliches Wachstumspotential von 5%.
- (2) Unter dieser Annahme beträgt der Gesamtmarkt \$ 660 Millionen im Jahr 2003 bzw. \$ 885 Millionen im Jahr 2009.
- (3) Der hauptsächliche Wachstum liegt im Bereich Tierfutterzusätze, Nahrungsmittel und Nahrungsergänzungsmittel: ca. \$178 Millionen (2000) auf \$ 244 Millionen im Jahr 2003 und \$331 Millionen im Jahr 2009.

**World Amino Acids Demand by Region**  
(\$5.6 billion US, 1999)



Quelle: [Freedonia 2000]

- (4) Lysine wird sich zur wichtigsten Aminosäure entwickeln, da sie immer mehr im Bereich der Tierfuttermittel eingesetzt werden wird, hier ganz besonders im Bereich von der Hühner und Schweinezucht.

- (5) Der asiatisch pazifische Raum bleibt weiterhin Marktführer in Produktion und Verbrauch.

4# **Business Communications** sieht ebenfalls ein Gesamtpotential von ca \$ 650 Millionen bis ins Jahr 2003 (s. **Tab. 11-7**), wobei der Sektor Süßstoff/-Geschmacksverstärker nach wie vor die größte Gruppe am Nahrungsmittelsektor bleibt. [Business Communications 1999].

*Tab. 11-6: Gegenwärtiger und zukünftiger Markt für Aminosäureprodukte [Freedonia Group, 2000].*

Nr.	Jahr	Marktvolumen
<b>Aminosäuren-Gesamt</b>		
1	2003	660 Mio US-\$
2	2009	885 Mio US-\$
<b>Aminosäuren im Bereich Tierfutterzusätze, Nahrungsmittel &amp; Nahrungsergänzungsmittel</b>		
1	2000	178 Mio US-\$
2	2003	244 Mio US-\$
3	2009	331 Mio US-\$

*Tab.11-7: Gegenwärtiger und zukünftiger Markt für Aminosäureprodukte [Business Communications 1999].*

Markt Bereich	1998	2003	+ % 98-03
Pharma/Nutraceuticals	211.3	303.8	7.5
Food Sweeteners	200.0	322.2	10.0
Bioresearch and Others	20.0	23.8	3.5
<b>Total</b>	<b>431.3</b>	<b>649.8</b>	<b>8.5</b>

Es wird davon ausgegangen, dass die Forschung auf dem Sektor der Wirksamkeit, Nutzen und Dossierung der einzelnen Aminosäuren in den nächsten Jahren stark zunehmen wird, um die einzelnen Einsatzgebiete erweitern zu können. Auch wird die Forschung nach neuen Aminosäuren vorangetrieben werden. So wurden 2002 auf dem amerikanischen Markt *L-theanine* (wurde als Trademark geschützt; <http://www.l-theanine.com>; <http://www.gettingwell.com>) eingeführt, eine Aminosäure die nur im Teestrauch vorkommt. 1-2% der Trockenmasse des grünen Tees und kommt nur in der reinen Form vor und nicht als Protein gebunden vor.

#### 11.4.2.3. Preissituation für Aminosäureprodukte

Die Produzenten haben sich in den letzten Jahren auf die steigenden Forderungen des globalen Marktes eingestellt. Die Produktionskapazität kann bei den meisten Aminosäuren langfristig den Marktbedürfnissen voll und ganz entsprechen (s. **Tab. 11-8**). Dies machte sich in den letzten Jahren auch bei der Preisentwicklung bemerkbar (s. **Tab. 11-9**).

*Tab.11-8: Produktionskapazität für verschiedene Aminosäuren. Quelle: [Guangzho CCM Chemicals, März 2001].*

Aminosäure	Glycine	Cysteine	Proline	Leucin	Lysine	Methionine	Valine
<b>Kapazität,</b> [Mt/Jahr]	15.000	7.500	1.000	1.000	3.000	1.300	900
<b>Produktion,</b> [Mt/Jahr]	7.000	2.000	500	600	700	600	400
	9.000	2.500	600	700	900	700	500



**Tab. 11-9: Preisentwicklung für ausgewählte Aminosäuren. Quelle: [Guangzho CCM Chemicals, März 2001].**

Aminosäure	Preis, [Euro/kg ab Werk]		
	1997	1999	2001
L-alanine	5,00 – 6,00	3,50-4,50	3,00 – 3,30
L-aspartic acid	2,00 – 2,10	1,20 –1,40	1,20 – 1,40
L-cysteine	18,00 – 35,00	6,50 – 8,00	5,70 – 6,20
L-cystine	22,00 – 40,00	8,40 – 11,00	7,00 – 8,00
L-tyrosine	13,00 – 23,60	9,90 – 12,60	10,00 – 12,70
L-valine	27,00 – 33,70	16,30 – 27,90	10,00 - 11,80
L-isoleucine	46,50 –80,00	28,50 – 40,00	18,50 – 20,40
L-leucine	15,80 – 22,30	10,20 – 20,50	6,90 – 7,10
L-lysine	4,50 – 5,60	3,20 – 4,20	3,80 – 3,90
DL- Phenylalanine	17,60 – 30,00	12,80 – 18,00	15,30
L-Proline	19,90 – 20,20	13,80 – 16,30	13,20 – 14,40
L-threonine	26,00	14,40 – 18,00	11,30 – 13,10

**Tab. 11-10** vergleicht die durchschnittlichen Marktpreise ab Fabrik mit den Großhandels- und Endkonsumentenpreisen. Auch hier zeigt sich, dass die bei den Nahrungsergänzungsmittel erzielten Preise wenig mit tatsächlichen Gestehungskosten zu tun hat, sondern vielmehr mit dem Investment in ein sog. persönliches emotionales Hoffnungskapital „Gesundheit / Jugend“ seitens der Konsumenten.

**Tab. 11-10: Durchschnittspreise für ausgewählte Aminosäuren**

Aminosäure	Preise, [Euro/kg]		
	Reinstoff Durchschnitts- Marktpreis ab Fabrik <i>[Guangzho CCM Chemicals, 2001]</i>	Reinstoff für den Wiederverkäufer <i>[OMIKRON GmbH Naturwaren, 2003]</i>	Reinstoffe für den Endkonsumenten <i>[OMIKRON GmbH Naturwaren, 2003]</i>
L-Alanin	3,00 – 3,30	120,00	200,00
L-Asparagin Monohydrat	n.a	65,00	112,00
L-Asparaginsäure	1,20 – 1,40	55,00	120,00
L-Glutamin	n.a.	110,00	255,00
L-Glutaminsäure	n.a.	50,00	65,00
L-Histidin	n.a.	195,00	370,00
L-Isoleucin	18,50 – 20,40	204,00	n.a.
L-Leucin	6,90 – 7,10	125,00	198,00
L-Methionin	30,00	133,00	224,00
L-Phenylalanin	15,30	117,00	215,00
L-Prolin	13,20 – 14,40	176,00	n.a.
L-Tryptophan	n.a.	280,00	540,00
L-Tyrosin	10,00 – 12,70	120,00	390,00
L-Valin	10,00 – 11,80	85,00	195,00

Es ist anzunehmen, dass aufgrund der intensiven Forschung und Entwicklung, hier ganz besonders im chinesischen Bereich, die Produktionsprozesse vereinfacht, die Kapazitäten gesteigert und die Preise langfristig weiter sinken werden. In China ist die Produktion und Forschung und Entwicklung auf dem Sektor der Aminosäuren seit den 80er Jahren mit großer staatlicher Unterstützung vorangetrieben worden. China liefert heute alle gängigen Aminosäuren in allen jenen Qualitäten, die die besten Marktpreise erzielen. Der Ausbau der Produktionsstätten wird weiter vorangetrieben. Zielsetzung der chinesischen Produzenten ist es, die eigenen Marktanteile jährlich um 5% zu steigern und die Produktionskosten um 10-15% zu senken.

Weiters wird intensiv auf dem Sektor der Neuentwicklung von Aminosäuren mit klarer Wirkungsstruktur gearbeitet. Hier verlässt man sich voll und ganz auf die Möglichkeiten der Biotechnologie und genetischer Adaption.

## 11.5. Märkte für Milchsäure und Milchsäurederivate

Milchsäure und deren Derivate haben das Potential für zukünftige Schlüsselchemikalien. Zur Zeit laufen sowohl in der Industrieforschung als auch in der Grundlagenforschung vielversprechende Projekte auf diesem Sektor. Auch sind schon einige Produkte mehr oder weniger erfolgreich auf dem Markt.

### 11.5.1. Milchsäure-Polymere (Biopolymere)

#### 11.5.1.1. Einleitung – Verwendungsmöglichkeiten für Milchsäurepolymere

Neste Chemicals schätzte 1997 die Marktzunahmen für Biopolymere allein in Europa von 105.000 t/a im Jahr 1995 auf ca. 350.000t/a im Jahr 2005 (s. Tab. 11-11), wobei der Anteil für das Milchsäurepolymer Polylactat (PLA) ca 100.000 t/Jahr betragen könnte. Hauptsächliche Anwendungsgebiete für diese Milchsäure-Polymere sind folgende Marktsegmente (s. Tab. 11-12):

- (1) Medizin: Dieses Marktsegment wurde aufgrund des zu erwartenden hohen Forschungs- und Entwicklungsaufwands in der gegenständlichen Markterhebung nicht weiterverfolgt.
- (2) Verpackungen und Folien (s. Abb. 11-3)

Tab. 11-11: Gegenwärtiger und zukünftiger Markt für Biopolymere in Europa [Neste Chemicals 1999]

Nr.	Jahr	Marktvolumen, [t/Jahr]
1	1995	105.000 t/Jahr
2	2005	350.000 t/Jahr, davon 100.000 t/Jahr Polylactat (PLA)



Abb. 11-3: Folien für Landwirtschaft auf Milchsäure-Polymeren [BASF, 2001].

Tab. 11-12: Verwendungsmöglichkeiten für Milchsäure- Polymere.

Nr.	Produkt	Beschreibung	Hersteller/Vertrieb
<b>1. Medizinische Anwendungen</b> (Preise liegen zwischen 500 und 2.600 Euro/kg)			
1-1	Chirurgische Implantate	Ersatz für Knochen, Nägel oder Platten	4# Chugai Pharmaceuticals Inc. (Jpn): Produkt „Neofix“
1-2	„Controlled delivery“	Zielgerichtete Ort- und Zeitplatzierung von medizinischen Wirkstoffen im menschlichen Körper	4# Abbot Laboratories (USA) 4# Medisorb technologies Int. (USA) 4# Birmingham Polymeres Inc. (USA) 4# DanBioSyst (UK)
1-3	Chirurgisches Nähgarn		
1-4	Stützgewebe für		

Nr.	Produkt	Beschreibung	Hersteller/Vertrieb
	Hautzellkulturen		
1-5	Abbaubare Gewebekleber		
<b>2. Verpackungen und Folien</b> (Rohstoffpreise liegen zwischen 2 und 12 Euro/kg)			
2-1	Folien für Landwirtschaft (Gemüseanbau)	Folien können nach Gebrauch wieder eingearbeitet werden	
2-2	Verpackungen	Verminderung des Müllaufkommens.	

11.5.1.2. Produktbeispiel „ECOFLEX“ (BASF)

Eigendarstellung BASF (BASF2001)

„Und am Ende einfach in den Kompost. Der bioabbaubare Kunststoff Ecoflex®. Manchmal wäre eine Plastiktüte für den Biomüll einfach praktisch: keine durchgeweichten Papierbeutel, etwas mehr Schutz vor dem Geruch. Aber Kunststoff und Kompost? Bisher unvereinbar, weil Kunststoffe gerade nicht verrotten. Der Kunststoff Ecoflex der BASF bietet jedoch neue Möglichkeiten für Kunststofftüten, die nach dem Gebrauch in den Kompost wandern und nicht auf die Mülldeponie oder in die Verbrennung. Ecoflex ist bio-abbaubar, Mikroorganismen verwerten es in ihrem Stoffwechsel innerhalb von rund 80 Tagen vollständig.

Weitere mögliche Anwendungen: Folienbeschichtungen für Pappbehälter, die im Gebrauch robust sind, aber danach kompostiert werden können, oder Agrarfolien, die sich nach ihrem Einsatz einfach unterpflügen lassen. Neben seinen Vorteilen bei der Entsorgung hat Ecoflex auch bei Verarbeitung und Gebrauch klare Stärken: Es ist reißfest und elastisch, wasserfest und unempfindlich gegen Feuchtigkeitsschwankungen machen auch den Einsatz von reinem Ecoflex für Müllbeutel, Tragetaschen und Frischhaltefolien sinnvoll.

Biologisch abbaubare Kunststoffe:

Wird Biomüll im Haushalt gesammelt, kann's schon mal ein bisschen unappetitlich werden. Bei Kartoffelschalen oder Salatblättern beginnen Fäulnisbakterien und Pilze ihr Werk eben nicht erst in der Kompostieranlage. Kaum jemand, der sich da nicht schon mal gewünscht hätte, er könne das Zeug einfach in einem Plastikbeutel entsorgen. Genau hier ergeben sich Chancen für biologisch abbaubare Kunststoffe. Unter bestimmten Umwelteinflüssen, wie sie beispielsweise im Boden oder in Kompost vorhanden sind, werden diese Werkstoffe von Mikroorganismen angegriffen und abgebaut. Dadurch eröffnen sich alternative Verwertungs- und Entsorgungswege.

Die BASF-Innovation Ecoflex® ist eine Produktklasse vollständig biologisch abbaubarer Kunststoffe, die das bestehende Kunststoffsortiment der BASF ergänzt. Erfolgversprechende Anwendungen finden sich überall dort, wo für Kunde und Umwelt Vorteile liegen.

So sind z.B. Tragetaschen aus Ecoflex® oder mit Ecoflex® beschichtete Papiertüten konsumentennah und zweifach funktional: Erst für den Einkauf mehrfach genutzt, können sie nach Gebrauch als Müllbeutel mit den organischen Abfällen kompostiert werden. Interessante Einsatzgebiete für Ecoflex® ergeben sich auch bei Verpackungen. Insbesondere Kleinverpackungen, die nach Gebrauch stark mit Lebensmittelresten verunreinigt sind, können so ökologisch verwertet werden.

Auch im Agrarbereich können Folien aus Ecoflex® sinnvoll eingesetzt werden: Nach Gebrauch als Abdeckfolie, können sie auf dem Feld unterpflügt werden, wo sie sich im Boden dann vollständig abbauen. Das führt nicht zuletzt zu Kosteneinsparungen, da das personalintensive Abräumen vom Feld und das teure Entsorgen entfallen.

### 11.5.1.3. Produktbeispiel NATUREWORKS™ (Cargill Dow)

1997 haben sich *Cargill Incorporation* und *Dow Chemical Company* zu einem 50:50 joint venture namens *CargillDow Polymeres* zusammengeschlossen. Beide Unternehmen sind global Players auf diversen chemischen, landwirtschaftlichen und Nahrungsmittelmärkten. Ziel des Unternehmens war es, einen patentierten Polymerwerkstoff namens *NatureWorks™* auf den Markt zu bringen. Dieses Produkt ist eine Werkstofffamilie für Fasern und extrudierbaren bzw. spritzbaren Kunststoff. Die Forschung und Entwicklung stand unter einem sehr zielgruppenorientierten Ansatz: *„...to produce revolutionary products that don't change lives. That is, their goal is to change the world, but with technology that does not require sacrifice of things such as product quality.“*



Quelle: [Cargill Dow 2003]

Nature Works™ ist ein Polylactat (PLA) aus einjährigen Getreidepflanzen, die in einem Fermentationsprozess umgewandelt werden. CargillDow verwendet dafür Mais.

Ursprünglich wurde Nature Works™ in einer kleineren Fabrik in der Nähe von Minneapolis mit einem Jahresausstoß vom 4.000m<sup>3</sup>/anno produziert. Aufgrund der gewonnenen Erfahrung sowie diverser Marktstudien wurde von Cargill Dow in Blair, Nebraska die erste industrielle Produktionsstraße für PLA gebaut. Jahreskapazität 140.000m<sup>3</sup>. Die Nachfrage wird von Cargill Dow innerhalb der nächsten 8-10 Jahren auf 450.000 Jahrestonnen geschätzt, zur Zeit liegt sie bei rund 100.000m<sup>3</sup>/anno



Quelle: [Cargill Dow 2003]

Mit der Eröffnung der Fabrik wurde 2001 eine Wirtschaftskooperation mit *Mitsui Chemicals* vereinbart, um den japanischen Markt, der als großer Hoffnungsmarkt gesehen wird, entsprechend bearbeiten zu können. Für Europa ist innerhalb der nächsten fünf Jahre mit dem Bau einer eigenen Fabrik zu rechnen, wobei der Focus für den Standort auf Holland bzw. auf die neuen Beitrittskandidaten gelegt wird.

Zur Zeit werden 6 verschiedene Varianten des Werkstoffes angeboten, wobei die Palette laufend erweitert werden soll (s. Tab. 11-13). Die Werkstoffeigenschaften wurden den klassischen Eigenschaften jener Produkte aus der Erdölchemie angepasst und um die Vorteile des Nawaro-Ansatzes erweitert. NatureWorks™ kann extrudiert, spritzgegossen, und geblasen werden. Es kann transparent oder opaque angewandt werden und orientiert sich dabei an PP und PET. Es gewährleistet hohen Aromaschutz, verhält sich in der Bruchhärte ähnlich

wie PET, hat hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Ölen und Fetten und ist gut bedruckbar. Durch die Rohstoffbasis einjährige Pflanzen ist es CO<sub>2</sub> neutral und biologisch vollständig abbaubar.

Durchschnittspreis für NatureWorks™ Granulat: 2,50 Euro / kg ab Hafen Holland

*Tab. 11-13: Varianten des Werkstoffs Nature Works™ von Cargill Dow. Quelle: [Cargill Dow, 2003]*

Nr.	NatureWorks™ Granulat	Verarbeitungsart	Anwendungsbeispiele
1	PLA Polymer 2002D	Extrusion / Thermoforming	Durchsichtig, Milchflaschen, Jausenboxen, Drinkgefäße, Blister
2	PLA Polymer 2002D	Extrusion / Thermoforming	Undurchsichtig; Flaschen, Lebensmittelboxen, Essgeschirr, Drinkgefäße
3	PLA Polymer 3000D	Injection Molding	Für klassische Spritzgussverfahren
4	PLA Polymer 4031D	Biaxially Oriented Films	LamNiate, Verpackungsmaterial im Lebensmittelbereich
5	PLA Polymer 4060D	Heat Seal Layer	Coextrusion für Biaxially Oriented Films
6	PLA Polymer 7000D	Injection Stretch Blow	Gebblasene Flaschen und Folien

#### 11.5.1.4. MarTec Reports

Für den Polymermarkt gibt es zwei hochinteressante Marktstudien deren Zukauf den Budgetrahmen des Projektes bei weitem gesprengt hätte, und daher nur auszugsweise Verwendung fand. Bei einer Intensivierung dieser Produktschiene erscheinen sie aber empfehlenswert.

*Martec Group (1998):*

***Biodegradable Polymers in North America & Europe (PO81),***

*Published: July 1998, Price: \$2,500*

*Martec Group (2000):*

***Current Situation and Strategies of Chemical Companies on Functional Plastics (E21-9),***

*Published: July 2000, Price: \$2,500*

### 11.5.2. Ethyl-Lactat (Lösungsmittel)

Ethyl-Lactat könnte als Ersatzstoff für Ethyl-Acetat Verwendung finden.

#### 11.5.2.1. Einleitung – Verwendungsmöglichkeiten für Ethyl-Acetat bzw. Ethyl-Lactat

Einsatzgebiete für Ethyl-Acetat (und damit mögliche Einsatzgebiete für Ethyl-Lactat) sind in **Tabelle 11-14** zusammengefasst:

**Tab. 11-14: Verwendungsmöglichkeiten für Ethyl-Acetat (bzw. für Ethyl-Lactat).**

Nr.	Einsatzgebiet	Beschreibung
1	Lösungsmittel	für Kollodiumwolle, Schiessbaumwolle, Zelluloid usw.,
2	Lösungsmittel	für Herstellung koffeinfreier Kaffeesorten usw
3	chem. Grundstoff	für Herstellung von Klebstoffen, Nagellackentfernern, Isocyanatlacken, Nitrocelluloselacken, Acetylcelluloselacken usw.
4	Aromatisierungsmittel	von Bonbons, Fruchtsäften, Likören, Limonaden (Bestandteil von künstlichem Apfel-, Birnen-, Erdbeer-, Himbeer- und Johannisbeeräther)
5	Reinigungsmittel	für fette und ölige Oberflächen

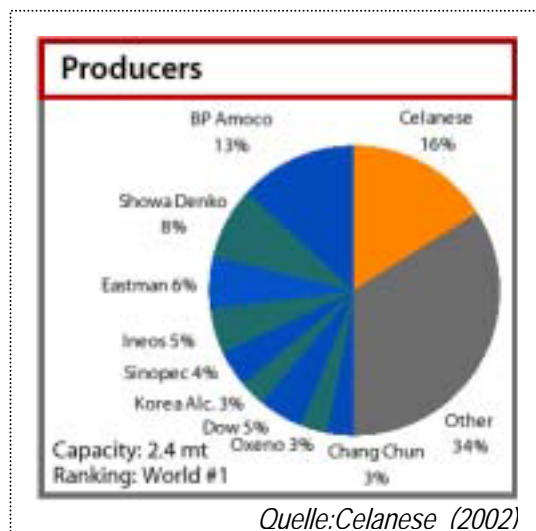
4# Synonyme für Ethyl-Acetat: Essigester, Äthylacetat, Essigsäureethylester, ethyl acetate (e)

4# Eigenschaften Ethyl-Acetat: Farblose Flüssigkeit mit charakteristischem Geruch. Leicht flüchtige, brennbare Flüssigkeit mit entzündlichen Dämpfen (schwerer als Luft). Entzündung durch heiße Oberflächen, Funken oder offene Flammen. Gefahren für die Gesundheit: In großen Konzentrationen können die Dämpfe narkotische Wirkung haben. Aufgrund des hohen Dampfdruckes wird eine gesundheitsschädliche Konzentration schnell erreicht. Die Dämpfe reizen Haut und Schleimhäute. Der Kontakt mit der stark entfettenden Flüssigkeit kann Hautreizungen hervorrufen.

#### 11.5.2.2. Marktvolumen Essigsäure bzw. Ethyl-Acetat

Bei der Herstellung der Grundbasis Essigsäure wird der Markt zwar von zwei großen Firmen dominiert, BP Amoco und Celanese. Doch sind hier im Bereich von 3 – 4 % Marktanteilen einige Asiatische Firmen zu finden und auch in kleineren Marktsegmenten tummeln sich noch viele regionale Produzenten. Die derzeitige Produktionskapazität (2001) beträgt 2,4mt, der Markt benötigt aber bereits 2,1mt. Der Marktwachstum wird mit 2,5-3,5% eingeschätzt. Der Hauptwachstum soll dabei aus der Farben- und Oberflächenindustrie kommen.

Dies ist mit einer der Gründe warum beide großen Unternehmen in den Ausbau ihrer Produktionskapazitäten investieren. So errichtet Celanese zur Zeit eine Essigsäure-Anlage in China. Als Standort wird der Nanjing Chemical Industry Park in der Provinz Jiangsu im Osten Chinas dienen. Für die Anlage ist eine Jahreskapazität von 600.000 Tonnen vorgesehen. Mit den Entwicklungs- und Baumaßnahmen für das Projekt soll in Kürze begonnen werden. Celanese erwartet den Start der Produktion für Ende 2005/Anfang 2006.



- 4# Über die Höhe der Investition für die Anlage wurde nicht gesprochen. Celanese bestätigte aber an der Öffentlichkeit seine Prognose für Investitionen in Sachanlagen in der Höhe von rund 230 Millionen Euro in 2003.
- 4# Im Segment Acetylprodukte werden die Investitionen in den kommenden drei Jahren in etwa den Abschreibungen entsprechen.
- 4# Bis zur Eröffnung dieser Anlage bleibt die 2001 eröffnete europäische Produktionsstätte von BP Amoco in Saltend, Hull UK mit einem Jahresausstoß von 220.000t/anno die zur Zeit größte Anlage.
- 4# In der Weiterverarbeitung der Essigsäure nimmt Ethylacetate mit 54% den größten Anteil ein, weitere Stoffschienen sind n-Butylacetat mit 35%, n-Propyl-Acetat mit 5%, i-Butylacetat mit 3% und i-Propyl acetat mit 3%.
- 4# Die größten Verbraucher sind der Europäische Markt mit 31% und der Asiatish Pazifische Raum mit 30%. Japan und Nordamerika liegen mit jeweils 12% gleichauf.

#### 11.5.2.3. Preissituation für Essigsäure bzw. Ethyl-Acetat

Die Preisentwicklung läuft, abhängig von der Erdölindustrie und aufgrund der knappen Produktionskapazitäten recht uneinheitlich. So reichte innerhalb der letzten 24 Monate bei BP Amoco der Verkaufspreis für Ethyl-Acetat zwischen einem Max. von Euro 2.000/t und einem Min. von Euro 600/t

- 4# Beide großen Unternehmen arbeiten zu Zeit neben der Erhöhung ihrer Produktionskapazität, intensiv an Kosteneinsparungsprogrammen innerhalb der Produktionskreisläufe sowie in der Distributionslogistik.
- 4# Die große Anzahl der kleinen asiatischen Produzenten kann durch ihre regionale Beschränkung die Distributionskosten entsprechend niedrig halten.

Durchschnittspreis für Ethyl-Acetat: 0,70 – 1,00 Euro / kg frei Haus



## 11.6. Märkte für Faserprodukte

Für die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Faserfraktion wurden mehrere Optionen zur Verwertung angedacht.

- 4# Dämmplatten für den Trockeninnenausbau,
- 4# Materialien für den Gartenbau,
- 4# Tierfutter

### 11.6.1. Dämmplatten für den Trockeninnenausbau

#### 11.6.1.1. Marktvolumen für Dämmstoffe

Der Dämmstoffmarkt steht und fällt mit der Baukonjunktur. Neue Impulse erhält der Markt zur Zeit nur von neuen Bauvorschriften zur Energieeinsparung. In einer Dämmstoffstudie des Beratungsunternehmens Frost und Sullivan rechnet man innerhalb des Zeitraums 1998 bis 2005 mit einem Umsatzanstieg von 5,4 Milliarden Euro auf 6,00 Milliarden Euro im Jahr 2005. [Frost und Sullivan 2000].

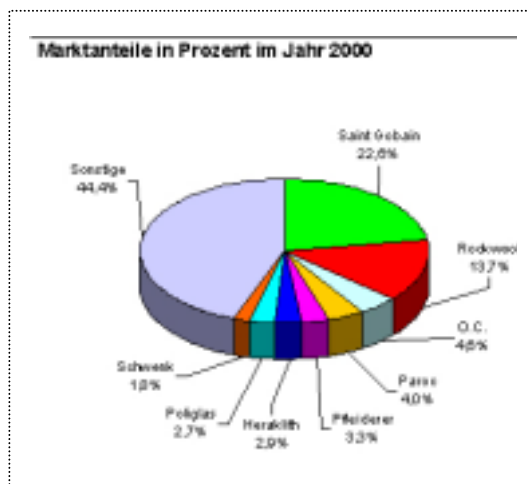
Die Mineralwolle ist mit über 55% Marktanteil das Größte Dämmstoffsegment, gefolgt von Schaumstoffen (PUR, EPS, XPS) mit einem Marktanteil von rund 40%. Innerhalb der Dämmstoffproduktgruppen wird in der Studie davon ausgegangen, dass es zu einer deutlichen Verschiebung von Schaumstoffen zu Mineralwolle kommen könnte. Die Ursache liegt in den verschärften Brandschutz- und Umweltbestimmung. Dadurch kam es und wird es auch weiterhin zu technischen Innovationen bei allen herkömmlichen Dämmstoffen kommen. (ozonfreundliche Aufschäumstoffe, neue Brandhemmungsmittel). Tab. 11-15 zeigt die Aufteilung des Dämmstoffmarkts in Europa.



Quelle: [Heraklith 2003]

Tab. 11-15: Dämmstoffmarkt in Europa. Quellen: [Frost und Sullivan 2000. Studie '99] und [Heraklith 2000]

Nr.	Firma	Umsatz, [Mio. Euro]
1	Saint Gobain Isover	1.470,0
2	Rockwool Int	892,0
3	O.C. Alcopor inkl. Knauf	296,0
4	Paroc	290,0
5	Pfeiderer	215,0
6	Heraklith	191,0
7	Poliglas	173,0
8	Schwenk	120,0
9	Sonstige	2.880,0
	<b>Gesamt rd.</b>	<b>6.500,0</b>



### 11.6.1.2. Preissituation für Dämmstoffe

Das Preisgefüge (s. Tab. 11-16) weist aufgrund der stagnierenden Baubranche und der geringen Marktdynamik eher nach unten. Diese rückläufigen Preise werden sich zwar klar auf die Erträge der Unternehmen auswirken, aber eine eventuelle Marktankurbelung erleichtern. Auch wird sich auf dem Gesamtmarkt mittelfristig keine weitere Wettbewerbsverdichtung ergeben. Große Hersteller wie Isover und Rockwool werden voraussichtlich in neue regionale Märkte expandieren und sich damit weitere Marktanteile sichern. Große Chancen sieht [Frost und Sullivan, 2000] aber auch für kleinere Firmen. Voraussetzung sind klar definierte und marktkonforme Produkte, gute Kontakte zu Großhändlern, und innovative Marketingstrategien. (Design und Verarbeitung).

**Tab. 11-16:** Preisgefüge für Dämmstoffplatten. Quelle: [Frost und Sullivan, 2000] und [Heraklith 2000].

Dämmstoff	Preis, [Euro/m <sup>3</sup> ]
Mineralwolle	45,00 – 90,00
EPS Polysterol	45,00 – 65,00
Naturdämmstoffe	180,00 – 230,00
MDF Platten	385,00
Spannplatten	313,00

### 11.6.2. Materialien für den Gartenbau

Alle Produkte aus diesem Sektor zeichnen sich durch extrem billige Produktion aus. Diese „Low Interest Products“ werden sehr schwer bis kaum durch entsprechende Produkte aus Grasfasern zu ersetzen sein. Auch befinden wir uns hier in der eigenen Kaskadennutzung im Wettbewerb zu ähnlichen Produkten aus Milchsäure-Polymeren (PLA):

- 4# Pflanztöpfe: Im Gartenbau werden z.Zt. hauptsächlich Transporttöpfe aus Kunststoff verwendet. Das Substitutionspotential liegt bei 12 000 –20.000t/a [Groot 1998] allein in Deutschland. Prinzipielle können alle benötigten Pflanzgefäße aus biologisch abbaubaren Werkstoffen (BAWs) hergestellt werden. Der Einsatzschwerpunkt müsste bei Pflanzen mit kurzer Kulturdauer und anschließenden Auspflanzen liegen. Es gibt bereits Produkte aus Papier, Kokos und Bioplast am Markt. Wobei hier Probleme der hohen Verdunstungsrate und der zum Teil starken Verpilzung/Veralgung noch gelöst werden müssen um wirklich konkurrenzfähig zu sein.
- 4# Vliese: Im Gartenbau werden Vliese (nichtgewebte Flächengebilde) als Schutz- und Flachvliese verwendet. Schutzvliese schützen vor extremer Witterung, Flachvliese bewirken eine Ernteverfrüfung und Ernteverlagerung. Zur Zeit werden PP Fasern verwendet.

### 11.6.3. Tierfuttermittel

Der Tierfuttermarkt teilt sich in prinzipiell in zwei große Bereiche.

- 4# Landwirtschaft und
- 4# Heimtierbereich

#### Tierfuttermittel für landwirtschaftlichen Bereich

Der landwirtschaftliche Bereich ist gekennzeichnet durch eine hohe Erwartung an gleichbleibende kostengünstige Qualität. Seit dem Verbot des Tiermehleinsatzes kommt es zu einer erhöhten Nachfrage nach eiweißreicheren pflanzlichen Futtermitteln wie z.B. Soja- und Rapsextraktionsschrott. Bei der Herstellung der Futtermittel werden große Mengen mit gleichbleibender Qualität benötigt. Der Trend der Futtermittelindustrie geht eindeutig in Richtung Futtermischungen sowie der Entwicklung neuer Futterenzyme. Weiters wird vor allem im asiatischen und amerikanischen Markt die Entwicklung gentechnisch veränderter Futtermittel vorangetrieben um besser Wachstumserfolge zu erzielen. Beispiele sind Mais mit viel Öl und Lysin, Durum Weizen mit hohem Glutenanteil.



Quelle: Vitakraft 2003

#### Tierfutter für Heimtierbereich

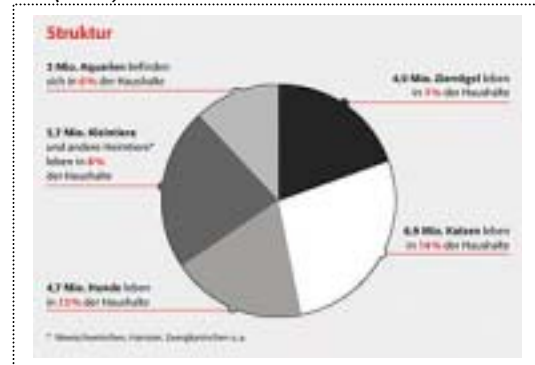
Der zweite Teil des Marktes gehört der Heimtieren. Hier ist global weiterhin mit moderaten Wachstumsraten zu rechnen. Die Preisgestaltung ist ähnlich dem Aminosäuremarkt, da mit relativ kostengünstigen Grundrohstoffen sehr große Gewinnspannen erreicht werden können. Die Produkte haben sich in den letzten Jahren zu einem unübersichtlichen Angebot verschiedener kleiner und ganz großer Firmen geführt. Tendenziell geht es zu einem höherwertigen Angebot bei dem Inhaltsstoffe, wie einem Modetrend entsprechend, die Gesunderhaltung des „kleinen Lieblings“ garantiert. Zum Teil sind die werblichen Aussagen und Aufmachungen dieser Tiernahrung nicht mehr von Nahrungsmittel für Menschen zu unterscheiden. Die industriell gefertigte Tiernahrung setzt immer mehr auf Convenience wie fertige Futtermischungen und Belohnungssnacks. Bezüglich der Marktgröße liegen nur Zahlen aus Deutschland vor. Es ist aber anzunehmen, dass sich der österreichische Markt nicht grundsätzlich davon unterscheidet.

#### 11.6.3.1. Marktvolumen Futtermittel für Heimtiere

Den größten Anteil am Heimtiersektor nehmen nach wie vor die Katzen ein. Die Hunde sind an zweiter Stelle wobei die Anzahl der Hunde insgesamt leicht rückläufig ist. Der für die Grasfaserfraktion interessante Marktanteil liegt im Bereich der Kleintiere (Hamster, Kaninchen Meerschweinchen, Ratten, Mäuse, uäm) Hier betrug die deutsche Population 2001 ca. 5,7 Millionen Tier, die in 8% der Deutschen Haushalte lebten. Entsprechen ist auch die Verteilung der jeweiligen Umsatzzahlen pro Produktgruppe in der Heimtierfertignahrung (s. Tab.11-17).

Tab. 11-17: Futtermittelmarkt für Heimtiere in Deutschland.  
Quelle: [Industriellenverband Heimtierhaltung, Düsseldorf (2001)]

Nr.	Tierart	Umsatz, [Mio. Euro]	[%]
	Hundefutter	849,00	42,0
	Katzenfutter	945,00	46,0
	Ziervogelfutter	106,00	5,0
	Zierfischfutter	60,00	3,0
	Sonstige *)	82,00	4,0
	<b>Gesamt</b>	<b>2.042,00</b>	<b>100,0</b>



\*)Kleinnagetierte

### 11.6.3.2. Preissituation Futtermittel für Heimtiere

Tab. 11-18: Exemplarische Beispiele für Futtermischungen für Heimtiere und Preise (eigene Marktbeobachtung)

Name	Hersteller	Inhaltsstoffe	Preis, [Euro/kg]
Genesis für Kaninchen	MSC Tierfutter	Luzernemehl (dehydriert), Weizenkleie, Sojabohnenhülsen, Gerste, Sojabohnen, Dikalziumphosphat, Salz, Kalziumkarbonat, Kulturhefe, Magnesiumoxyd, Yuccaextrakt, DL-Methionin, Cholin, Chloride, Ascorbinsäure (Vitamin C-Lieferant), Vitamin A, Vitamin D3, Vitamin E, Vitamin K, Vitamin B12, Thiamin, Riboflavin, Kalziumpantothenat, Niacin, Pyridoxin, Folsäure, Biotin, Eisensulfat, Zinkoxid, Kaliumjodid, Kobaltkarbonat, Natriumselenid	4,50
Vollwertmenü für Meer-schweinchen	Vitakraft	4# Getreide, pflanz.Nebenerzeugnisse, Gemüse, Bäckereierzeugnisse, Zuckerohrmelasse, Mineralstoffe 4# Inhaltsstoffe: 11,9% Rohproteine, 3,3% Rohfett, 6,7% Rohfaser, 9,7% Feuchtigkeit 4# Zusatzstoffe Vitamin E1, Vitamin A, Vitamin D3, Vitamin C, Vitamin B1, Vitamin B2, Vitamin B12, Nicotinsäure, Panthothensäure, Kupfer	6,00
Meerschwein-chenfutter	Quality Line	4# Getreide, Saaten, pflanzliche Nebenerzeugnisse, Gemüse, Nüsse, Mineralstoffe 4# Vitamin A, Vitamin D3, Vitamin C, Vitamin B1, Vitamin B2, Vitamin B6, Vitamin B12, Biotin	2,50
Knabberkisse n für Zwerg-kaninchen	Quality Line	4# Getreide, Luzernengrünmehl, pflanz. Eiweissextrakte, pflanz. Nebenerzeugnisse 4# Inhaltsstoffe: Rohproteine 14,5%, Rohfett 2,0%, Rohfaser 7,5%, Rohasche 3% Feuchtigkeit 10%	12,00

## 11.7. Weitere Verwertungsoptionen für Grasfasern

Alle weiteren Verwertungsoptionen wie Verbundwerkstoffe, Form & Pressteile, Biogasanlage, Papier; Karton, Zellulosequelle und Zugschlagstoffe in Baustoffen wurden während des Projektzeitraumes verworfen.

Zwei Hauptgründe waren dafür ausschlaggebend: Einerseits sind die Grundrohstoffe für die herkömmliche Produktionsschiene wesentlich kostengünstiger am Markt erhältlich und andererseits würde die Inhomogenität des Materials keine gleichbleibende Qualität nach Industriestandards gewährleisten.

## 11.8. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen

Aufgrund der derzeitigen Marktsituation der recherchierten Verwertungslinien sowie der Wirtschaftlichkeitsberechnung ergeben sich für die GRÜNE BIORAFFINERIE folgende diskussionswürdige Vermarktungsmöglichkeiten:

### 11.8.1. Aussichtsreiche Verwertungsmöglichkeiten

- 4# Aminosäuren: Hier gilt es den Forschungsschwerpunkt auf seltenere und wenn möglich noch unbekanntere Aminosäuren zu lenken. Weiters ist anzunehmen, dass der Markt auch weiterhin prosperieren wird. Die Margen zwischen Produktionskosten und Verkaufspreisen für solche Spezialprodukte wird mittelfristig auf relativ hohem Niveau stabil bleiben. Zusätzlich kann durch die regionale (EU) Verfügbarkeit die entsprechenden Logistikkosten gering gehalten werden.
- 4# Ethylactat/Milchsäure: 34% der weltweit produzierten Menge an Ethylacetat wird durch Betriebe, die weniger als 3% Marktanteil haben hergestellt. Hier ist eine weitere Entwicklung in Richtung Aromastoffe im Lebensmittel und Kosmetikbereich zu empfehlen. Dabei kann ein aufgrund der Herkunft des Rohstoffes ein eventueller erhöhter Marktpreis gegenüber dem Standardprodukt erzielt werden.
- 4# Tierfutter: Bei der Verwertung der Faserfraktion sollte die Ausrichtung eindeutig in Richtung erweiterten Heimtiermarkt (inkl. Pferde) ausgerichtet werden. Wichtig dabei ist, sich bereits jetzt mit der Produktentwicklung auseinanderzusetzen. Es ist zu empfehlen, sich mit entsprechenden Partnern (Produzenten) zusammenzuschließen, um die Bedürfnisse der Tierbesitzer durch entsprechend angereicherte und speziell komponierte Tierfütterung zu befriedigen. Im Heimtierfutterbereich könnten der emotionale Verkaufswert der „Bauernwiese“ gekoppelt mit den modernen Erkenntnissen eines „fürsorgenden Tierztes“ ähnlich hohe Margen erzielen werden wie im Aminosäuremarkt.

### 11.8.2. Erfolgsparameter

Es gibt noch zusätzlich Parameter die für einen möglichen Markterfolg für alle drei Verwertungsschienen bereits in den weiteren Projektentwicklungen vorangetrieben werden müssen. Zielsetzung ist dabei eine Erhöhung des Wertschöpfungspotentials für den Betreiber zu erreichen. Es ist daher empfehlenswert sich bereits im derzeitigen Stadium der Projekte mit der Produktentwicklung zu befassen

- 4# Hochpreispolitik/zielgruppenspezifische Produktentwicklung: Die Ausrichtung bei allen Entscheidungen bezüglich der Verfolgung diverser Verwertungsschienen sollte in Richtung Hochpreispolitik gehen. Dazu ist es aber auch notwendig, das potentielle Betreiber der GBR bereits im Vorfeld eine Produktentwicklung über das Rohstoffstadium hinaus überlegen. Nicht die einzelne Aminosäure, sondern eine Gesundheitsserie in Ampullen und Kapselform. Nicht der gepresste Grassknabberkern XY sondern eine Range von hochwertigen Tiernahrungsmenüs für „glückliche Tierbesitzer“ mit den entsprechenden Zusatzbenefits und Inhaltsstoffen.

- 4# Qualitätsstandards: Alle Produkte müssen den bestehenden und marktüblichen Qualitätsstandards entsprechen. Sie müssen zumindest das gleiche Wirkungs- und Dienstleistungspotential wie die herkömmlichen Mittbewerberprodukte haben.
- 4# Marktpartner/Vertrieb: Bereits im Projektentwicklungsstadium müssen zu jeder Verwertungsschiene entsprechende Markt- und Kooperationspartner (Produzenten und/oder Händler) gesucht und gefunden werden. Gemeinsam kann dann die Produktentwicklung marktkonform vorangetrieben werden. Weiters ist darauf zu achten das der potentielle Partner bereits ein bestehenden und funktionierende die Vertriebslogistik hat, um Synergien zu nutzen. Der Aufbau eines eignen Verkaufs ist aufgrund der hohen Kosten an Personal und Kommunikation erfahrungsgemäß nicht empfehlenswert.

### 11.8.3. Weniger aussichtsreiche Verwertungsmöglichkeiten

- 4# Fasern: Alle weiteren Verwertungsmöglichkeiten sind nach derzeitigem Wissensstand nicht empfehlenswert. Speziell am Fasersektor sind aufgrund der Struktur des Materials keine entsprechenden Marktqualitäten erreichbar. Die Aufbereitung des Materials zu marktkonformen Qualitäten würde des Rohmaterial entsprechend verteuern. Um eine standardisierte gleichbleibende Qualität zu erreichen, bestünde natürlich auch die Möglichkeit spezielle Grassorten anzubauen, dies würde aber der Intention der GBR widersprechen.
- 4# Proteine: Die Schiene Proteine ist aufgrund der Ausbeute, Art und Qualität sowie der bestehenden Marktstruktur und Marktentwicklung vorerst nicht weiter zu verfolgen.
- 4# Milchsäure-Polymere (PLA): PLA ist nunmehr in produktionstechnisch auf großindustrieller Niveau. Es ist daher nicht anzunehmen, dass sich allfällige Investments seitens der GBR und ihrer potentiellen Betreiber auf diesem Sektor jemals rechnen werden.

### 11.8.4. Verwertungslinien Natan

Das technische Büro für Verfahrenstechnik Natan in Feldbach hat in einer Wirtschaftlichkeitsanalyse die Produktionskosten der Rohstofflinien für diverse Modelle der grünen Bioraffinerie errechnet. In diesen Berechnungen hat sich eindeutig das Modell „Silage Linie“ (Variante A3) im derzeitigen Entwicklungsstand als vorteilhaft herauskristallisiert. Auch hier ist die Produktlinie „getrocknete Fasern“ nicht wirtschaftlich umsetzbar, aber die Aminosäuren können mit 0,90 Euro/kg und die Milchsäure mit 0,55 Euro/ kg produziert werden. Mit der oben empfohlenen marktkonformen Aufwertung der einzelnen Produktlinien hat die GBR gute Chancen ihre Produkte am Markt unterzubringen.

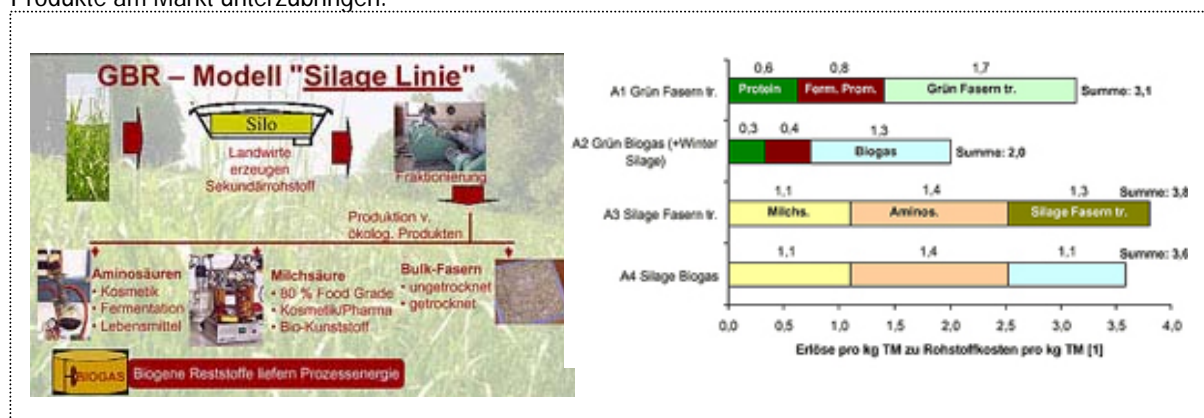


Abb. 11-4: Verwertungslinien „Natan“. Quelle: [NATAN 2002].

## 11.9. Quellenangaben / Literaturverzeichnis

### 11.9.1. Verwendete Quellen

Arthur D. Little (1998):

**Trendgefüge Unternehmen;**

Arthur D. Little, Downloadservice <http://www.adl.com>

Bahadir, M.; Parlar, H.; Spitteller, M. (Hrsg.) (2000):

**Umweltlexikon, 2. Auflage, Springer Verlag**

BASF (2001):

**ECOFlex Biologisch abbaubarer Werkstoff, Eigenbroschüre BASF.pdf**

Biederbick, Karlheinz (1977):

**Kunststoffe kurz und bündig, Vogel-Fachbuch Technik, 1977**

Business Communications (1999):

C.A.R.M.E.N. e.V. (1998):

**Biologisch Abbaubare Werkstoffe, Leitfaden und Produktkatalog, 2. überarbeitete Auflage 2001,**

Cargill Dow (2003):

**Fotos zum Biopolymer NATUREWORKS (s. Abschn. 11.5.1.3),**

<http://www.cargilldow.com/corporate/home.asp>

Cargill Dow (2003):

**Datenblätter zum Biopolymer NATUREWORKS (s. Tab. 11-13),**

<http://www.cargilldow.com/corporate/home.asp>

Celanese (Sept. 2002):

**Celanese in Depth, Finanzpräsentation Firmengruppe, [www.celanese.com/ir](http://www.celanese.com/ir) fin reporting**

Freedonia Group (2000):

**World Amino Acids, Study # 1264 May 2000, Price: \$4500**

Frost and Sullivan (1999):

**Marktstudie über Proteine**

<http://www.ebusiness.frost.com/prod/servlet/frost-home.pag>

Frost und Sullivan (2000):

**Dämmstoffstudie**

Interne Unterlagen Heraklith Dr. Manfred Doppelreiter (s. Abschn. 11.6.1, Tab. 11-15 & Tab. 11-16),

Future Trend Institut (1999):

**Future Trends - Zukunftsperspektiven in Marketing und Management;**

<http://www.wuv-studien.de/wuv/studien/032002/501/index.htm>

Groot, Linda et al. (2000):

**Biologisch abbaubare Werkstoffe im Gartenbau,**

KTBL Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. 2000

Guangzho CCM Chemicals (juni 2001):

**Amino Acids Products in China, Guangzhou CCM Chemicals Co.Ltd**

Heraklith (2000):

**Marktstudie Dämmstoffe / Dämmstoffplatten, Interne Unterlagen Dr. Manfred Doppelreiter**

IFA-Tulln (1998)

**Biotechnologie zur Produktion von marktrelevanten Chemikalien aus nachwachsenden Rohstoffen –**

**Ermittlung des Forschungsbedarfs, der technischen Umsetzbarkeit und des Marktpotentials,**

IFA Tulln 1998 Studie des bmvit.

IVH – Industriellenverband Heimtierhaltung (2001):

**Marktstudie Futtermittel für Heimtiere Deutschland, <http://www.zzf.de/presse/markt>**

KeyDreams Marketing (2003):

**Eigenarchiv " Always work in progress"**

z.zt rund 12.000 Artikel, Broschüren, Firmenberichte, Umweltberichte, statistische Daten und Studien über die Bereiche: Gesellschaft und Politik, Gesundheit, Chemie, Finanzen und Wirtschaft, Nachhaltigkeit, Bildung und

### *Philosophie*

*Kolstad Jeff (Chief Scientist Cargill-Dow) (2001):*

**Industrial Products from renewables resources; Cargill Dow, Präsentation 2001,**

*Kromus, Stefan; Narodoslawsky, Michael, Krotscheck, Christian (2002):*

**Grüne Bioraffinerie - Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer nachhaltigen Kulturlandschaftsnutzung**

*BBK Endbericht April 2002*

*Martec Group (1998):*

**Biodegradable Polymers in North America & Europe (PO81),**

*Published: July 1998, Price: \$2,500*

*Martec Group (2000):*

**Current Situation and Strategies of Chemical Companies on Functional Plastics (E21-9),**

*Published: July 2000, Price: \$2,500*

*Momers, C.A.M. Chris, (2002)*

**Das Profetas-Projekt, [http://www.nwo.nl/NWOHome.nsf/pages/NWOA\\_4WRG42\\_Eng?OpenDocument](http://www.nwo.nl/NWOHome.nsf/pages/NWOA_4WRG42_Eng?OpenDocument)>**

*NATAN – Krotscheck, Christian (2002):*

**Grüne Bioraffinerie in Österreich, Foliensammlung.pdf**

*Neste Chemicals (1999):*

**Info über Milchsäuremarkt in Europa 1995-2005, Presseaussendung**

*Niedersächsisches Umweltministerium (1999):*

**Biologisch abbaubare Kunststoffe,**

*Endbericht Expertenkommission „Kunststoffindustrie in Niedersachsen am Leitbild einer Nachhaltigen Entwicklung“ Arbeitskreis 2*

*OMIKRON GmbH Naturwaren (2003):*

**Preise Aminosäuren Klein- und Großmengen, Ländelstraße 32; D-74382 Neckarwestheim**

*Rajon, Malika (1999):*

**Amino Acids For Synthesis Application to Cross USD 600 Million in 2003,**

*Marktforschungsstudie (Zusammenfassung), <http://www.buscom.com>*

*Stagiaire, Daniel Johansson (2000):*

**Renewable Raw Materials a way to reduce greenhouse gas emissions for the EU industry,**

*DG Enterprise/E.1, 2000*

*Visch, S.M. (2001):*

**Biopolymers – what is their place in future society in relation with sustainable design,**

*Industrial design Engineering, TU Delft, 2001*

*Westermann, Karin (Hrsg) (1994):*

**Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen, Vogel Buchverlag 1994**



### 11.9.2. Internet Links

Ich erlaube mir p.t. Leser und Leserin darauf hinzuweisen, daß die nachfolgende Linkliste in den allermeisten Fällen nur die Startseite der jeweiligen Firma/Institution angibt. Aufgrund der Schnelllebigkeit des Mediums ist anzunehmen daß bei Veröffentlichung des Berichtes, die URLs der jeweiligen Unterseiten und ihre Informationen sich bereits wieder geändert haben. Ich empfehle allfällige Detailinformationen über seiteninterne Suchprogramme, Downloadbereiche und Archive sowie direkt über site-map links zu eruieren.

<http://apollo.zeit.de>  
<http://www.abbottlabs.com>  
<http://www.admworld.com>  
<http://www.agranet.de/4307.php>  
<http://www.ajinomoto.co.jp>  
<http://www.ajinomoto.com>  
<http://www.ajinomoto-europe-sales.de>  
<http://www.amoco.com>  
<http://www.archiv.hoechst.de>  
<http://www.asahi-kasei.co.jp>  
<http://www.aventis.com>  
<http://www.basf.de>  
<http://www.baxter.com>  
<http://www.beautynhealth.com>  
<http://www.beautynhealth.com>  
<http://www.carmen-ev.de>  
<http://www.celanese.com>  
<http://www.chemicalmarketreporter.com>  
<http://www.chemietechnik.de>  
<http://www.chemikalien.de>  
<http://www.chemlin.de>  
<http://www.chemlin.de>  
<http://www.chemweek.com>  
<http://www.degussa.com>  
<http://www.degussa-health-nutrition.com>  
<http://www.diestandard.at>  
<http://www.ecc-handel.de>  
<http://www.elektra.uni-wh.de/projektergebnisse/biofolie.htm>  
<http://www.equineworld.net>  
<http://www.europetshop.de>  
<http://www.focus-money.de>  
<http://www.foodingredientsonline.com>  
<http://www.freedoniagroup.com>  
<http://www.ftd.de>  
<http://www.futuretrendinstitut.com>  
<http://www.ibaw.org>  
<http://www.ibaw.org>  
<http://www.infochembio.ethz.ch>

<http://www.ipk-gatersleben.de>  
<http://www.ireds.at>  
<http://www.lab-agrarberatung.de>  
<http://www.ma.fal.de>  
<http://www.markt-aktuell.de>  
<http://www.markt-studie.de>  
<http://www.martec.com>  
<http://www.martech-reports.com>  
<http://www.maxygen.com>  
<http://www.nature.com>  
<http://www.naturkost.de>  
<http://www.newscientist.com>  
<http://www.nutrenaworld.com>  
<http://www.nwo.nl>  
<http://www.omikron-online.de>  
<http://www.ourfood.com>  
<http://www.plex.de>  
<http://www.p-mate.com>  
<http://www.preparedfoods.com>  
<http://www.proteinscience.org>  
<http://www.rainforest-newsletter.de>  
<http://www.roempp.com>  
<http://www.rosehip.de>  
<http://www.service.ngz-online.de>  
<http://www.spektrum.de>  
<http://www.tecnon.co.uk>  
<http://www.tuberlin.de>  
<http://www.ub.uni-siegen.de>  
<http://www.ufop.de>  
<http://www.virtualreview.ch>  
<http://www.vitakraft.com>  
<http://www.vitamehr.com>  
<http://www.vitaminprofis.de>  
<http://www.weltalmanach.de>  
<http://www.wholefoods.com>  
<http://www.wholefoodsmarket.com>  
<http://www.wirtschaftsblatt.at>  
<http://www.wk.or.at>  
<http://www.wuv-studien.de>  
<http://www.zmp.de>  
<http://www.zzf.de>  
<http://www-vetpharm.unizh.ch>

### 11.9.3. Referenzen KEYDREAMS Marketing

**Active Agent Holding (Wien):**

Beratung und Durchführung einer Workshopreihe „Old Economy meets New Economy“ zur Umstrukturierung des Unternehmens, Werbung im Internet, Wien

**AMC Management Systeme (Wien):**

Entwicklungsprojekt „Impulsprogramm Creative Industries“ für das BMWA

**ARGE Bundesverband Solar (Wien):**

Marktforschung und Konzeptentwicklung für den Solarmarkt in Österreich

**ARGE Schöpfungsverantwortung - Bischofskonferenz Österreich (Wien):**

Begleitende Beratung zum Aufbau einer koordinierten Umweltschutzarbeit inner-halb der Diözesen Österreichs

**Brau AG (Linz):**

Projekt UP-CYCLING, Designer entwickeln neue Produkte aus alten Werkstoffen

**BDO Auxilia - Wirtschaftstreuhand GmbH (Wien):**

Büroökologisierung und Etablierung eines ökonomischen Umweltpreises. Seit 1996 jährliche Organisation des BDO Auxilia Umweltpreises

**Bet & Win.com - Das virtuelle Wettbüro (Wien):**

Workshopreihe „Old Economy meets New Economy“

**Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Wien):**

Wirtschaftlichkeitsstudie zur „Grünen Bioraffinerie“ - Nutzung von Schnittgras für Proteine, Milchsäure und Fasern

**Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (Wien):**

Mitarbeit am Forschungsprojekt Sanfte Chemie und Nachwachsende Rohstoffe; Grundlagen und Perspektiven für Österreich

**BVEE - Bundesverband Erneuerbare Energien (Wien):**

Konzept- und Strategieentwicklung, Marketing- und Sponsoringberatung

**Die Informationsgesellschaft - Rupert Müller-Hartburg (Wien):**

Marketing- und Kommunikations-beratung

**Dombausekretariat St. Stephan (Wien):**

„Sonnenstrom für den Dom“, Projektmanagement für die Installation und Finanzierung einer Photovoltaikanlage für den Wiener Stephansdom

**Eigenprojekt - Alchemia Nawaro (Wien):**

ALCHEMIA – NAWARO - Beratung für Landwirte und Industrie am Sektor nachwachsende Rohstoffe, sanfte Chemie und Innovationsmanagement

**Greiner Holding Schaumstofftechnik (Kremsmünster):**

Werkstoffrecherche und Bewertung von Schaumstoffalternativen aus nach-wachsenden Rohstoffen

**Geburtshaus Nussdorf - Haus für die sanfte Geburt (Wien):**

Marketing - und Kommunikations-beratung

**Heraklith/Neusiedler (Fürnitz/Kematen):**

Entwicklung einer Akustikdämmplatte für den Trockeninnenausbau aus Zellulose und mineralischen Binder

**Internorm Fenster AG (Traun):**

Aus- und Fortbildungsprogramm für die Vorstandsebene, Projektberatung zur Substitution von PVC

**Kardinal König Haus - Bildungszentrum der Jesuiten (Wien):**

Fundraising und Kommunikationsberatung

**Leiner/Kika (St. Pölten):**

Aus- und Fortbildungsprogramm für Mitarbeiter, Abfallwirtschafts – und Produktlinienberatung

**Öko Park Hartberg - Der nachhaltige Gewerbepark (Hartberg):**

Entwicklung und Begleitung einer B2B Kampagne zur Betriebsansiedelung

**Öko Plan GmbH - Der Energiecheck (Wien):**

Kommunikations- und Medienberatung

**Österreichische Hochschülerschaft - Wirtschaftsuniversität (Wien):**

*„Ökowoche 98 und 99“ Organisationsberatung und Sponsoring-programm für Vortragsreihen und Ausstellung zum Thema Nachhaltig Wirtschaften.*

**Söldner Alexander Projektionstechnik - Medizinische Kamerasysteme (Pressbaum):**

*Produktentwicklung und Vermarktung*

**UAR Upper Austrian Research GmbH - Transfercenter für Kunststofftechnik (Wels):**

*Businessdevelopment, Projekt-entwicklung und Betreuung, Neukundengewinnung*

**Zellform GmbH (Prambachkirchen):**

*Entwicklung und Begleitung einer Unter-nehmensumstrukturierung und Markt-einführung eines neuen Werkstoffes, Erstellung einer Marktforschungsstudie*

**ZDiverse Projekte: Seminare/Workshops/Recherche/**

*Vorträge/Veröffentlichungen für Austria Solar BauQuester, Ernte fürs Leben, Einzelpersonen, Forschergruppe Neuwaldegg, Marktgemeinde Zistersdorf, Naturwarenkantor, Stadt Salzburg, Sphinx-ORACL, Rechtsanwaltskanzlei, Ökokreis Waldviertel, Umweltberater Südtirol, Verein KinderKriegen, Würth Hohenburger, Waldviertel Management, WIFI Österreich, WelcomeHome*



KeyDreams Marketing

Zukunft denken - Zukunft schaffen - Zukunft sichern

Bihabergstraße 1

A 3013 Tullnerbach Pressbaum

office@keydreams.at

0676 33 68 581

## 12. WIRTSCHAFTLICHKEIT EINER GRÜNEN BIORAFFINERIE

VERFASSER: **DR. BRUNO WACHTER UND DI MICHAEL MANDL**  
JOANNEUM RESEARCH, INSTITUT FÜR NACHHALTIGE TECHNIKEN UND SYSTEME (JOINTS)  
A-8010 GRAZ, ELISABETHSTRASSE 16-18, [WWW.JOANNEUM.AT](http://WWW.JOANNEUM.AT)

### 12.1. Einleitung und Zielsetzung

Ein nachhaltiger Erfolg der Umsetzung des Konzepts einer GRÜNEN BIORAFFINERIE ist nur dann möglich, wenn diese nicht nur in technologischer Hinsicht realisierbar ist, sondern auch wirtschaftlich betrieben werden kann. Gegenstand der in diesem Kapitel beschriebenen Arbeiten war deshalb die Durchführung einer ersten Wirtschaftlichkeitsanalyse für eine GRÜNE BIORAFFINERIE-Anlage, und zwar auf der Grundlage der bisherigen Ergebnisse aller drei Teilprojekte des Projektbündels GRÜNE BIORAFFINERIE (s. **Abb. 12-1**).

- 4# I. „Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft“ (Federführung *KORNBERG Institut*)
- 4# II. „Gewinnung von Proteinen aus Grassäften“ (Federführung *KORNBERG Institut*)
- 4# III. „Verwertung der Grasfaserfraktion“ (Federführung *JOANNEUM RESEARCH*)

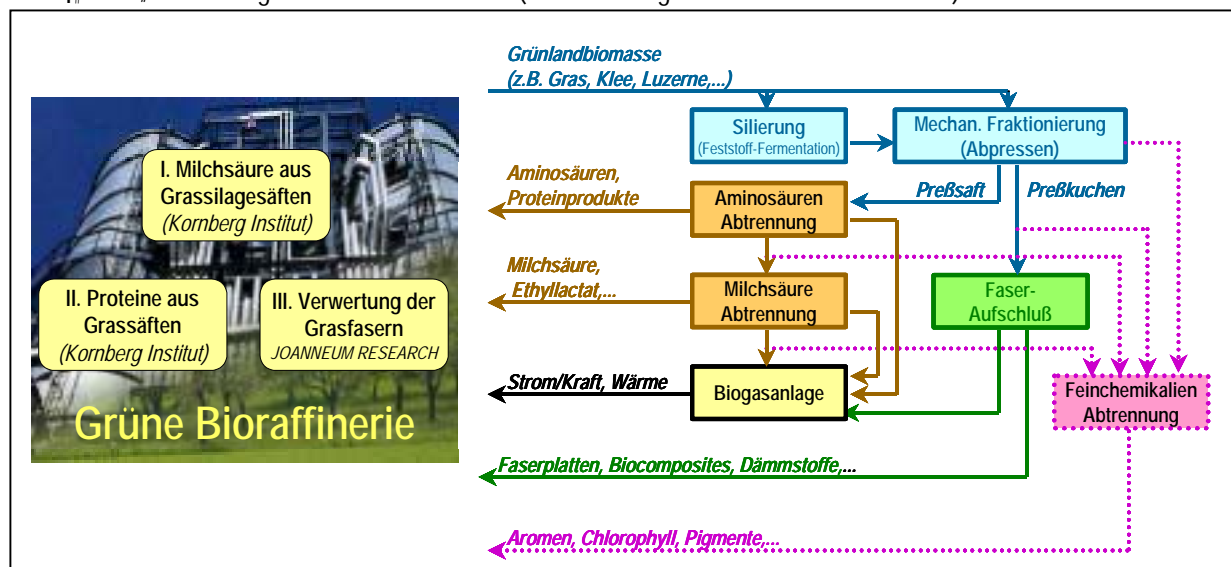


Abb.: 12-1: Teilprojekte des Projektbündels GRÜNE BIORAFFINERIE.

## 12.2. Methodik - Dynamische Investitionsrechnung

Die Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE wird unter anderem wesentlich von folgenden Einflussfaktoren bestimmt (**Abb. 12-2**):

### 4# (1) Investitionskosten

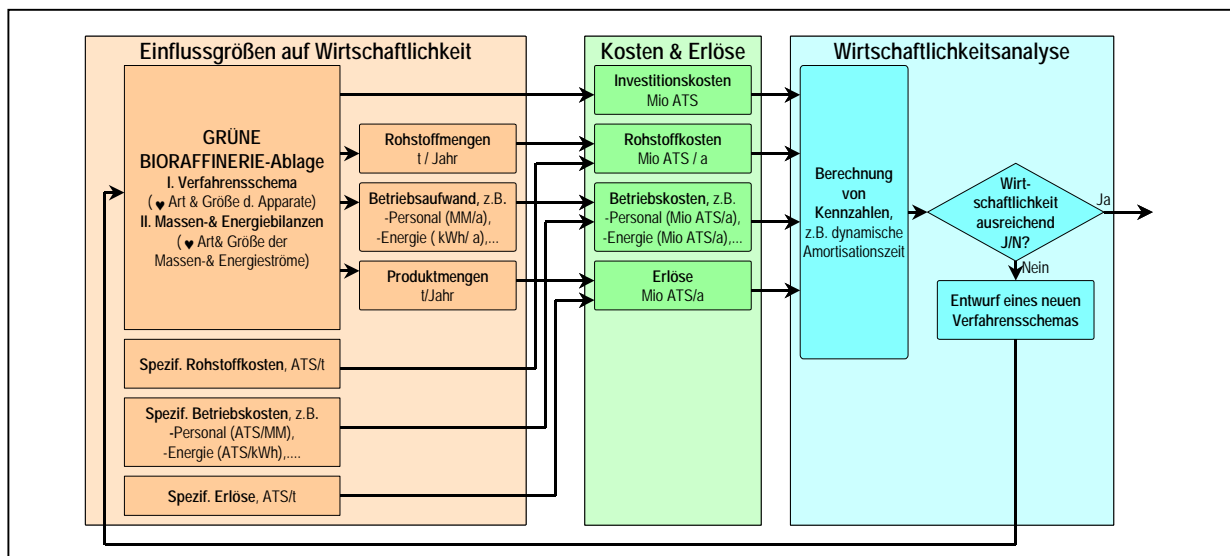
Kosten für Planung und Errichtung der GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage. Diese lassen sich im Prinzip aus *Verfahrensschema* sowie den *Massen- und Energiebilanzen* für die Anlage abschätzen, d.h. aus der Kenntnis von Art und Größe der Apparate und Maschinen der Anlage (Verfahrensschema) sowie der Art und Größe der Massen- und Energieströme der Anlage. Gegenwärtig lassen sich für eine GRÜNE BIORAFFINERIE-Anlage im Produktionsmaßstab allerdings noch keine ausreichend konkreten Verfahrensschemata sowie darauf basierende Massen- und Energiebilanzen erstellen, sodass eine Abschätzung plausibler Investitionskosten nur größenordnungsmäßig möglich ist.

### 4# (2) Rohstoffkosten

Kosten für den primären Rohstoff „Frischgras“ bzw. für den daraus hergestellten Rohstoff „Grassilage“. Eine Abschätzung dieser Rohstoffkosten findet sich in [Kromus 2002a,b] bzw. [Krotscheck et al. 2002]

### 4# (3) Erlöse für die Produkte der GRÜNEN BIORAFFINERIE

Erlöse für die Protein-, Milchsäure- und Faserprodukte. Eine Abschätzung möglicher Erlöse für Protein-, Milchsäure- und Faserprodukte aus einer GRÜNEN BIORAFFINERIE findet sich in Kap. 11 des vorliegenden Berichts.



**Abb. 12-2:** Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage, z.B. Verfahrensschema der Anlage (daraus ergeben sich Rohstoffmengen, Produktmengen, Energiebedarf etc.), spezifische Rohstoffkosten, spezifische Erlöse für die Produkte etc.

Abb. 12-3 zeigt einer Auflistung aller Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE, die in der in dieser Arbeit durchgeführten Wirtschaftlichkeitsanalyse als INPUT-Größen verwendet wurden.

- 4# (1) Anlagenkapazität und Anlagenauslastung (=> Rohstoffverbrauch),
- 4# (2) Investitionskosten,
- 4# (3) Finanzierung (Eigenmittelanteil, Fördermittelanteil),

- 4# (4) spezifische Produktausbeuten (prozessabhängig),
- 4# (5) spezifischer Betriebsmittelverbrauch (prozessabhängig),
- 4# (6) spezifische Erlöse für die Produkte (marktabhängig)
- 4# (7) Fixkosten (z.B. Personalkosten, Mietkosten,...)
- 4# (8) variable Kosten (z.B. Rohstoffkosten, Energiekosten,...)
- 4# (9,10) Sonstige Kalkulationsparameter (Diskontierungsrate, Abschreibungsrate)

<b>1 Anlagenkapazität &amp; Auslastung</b>		<b>6 Spezifische Erlöse</b>	
1.1 Jahreskapazität, [t TS/a]	6.000,00	6.1 Erlös Proteine, [ATS/kg]	11,00
1.2 Auslastung Sommer, [%]	80,00%	6.2 Erlös Milchsäure, [ATS/kg]	0,00
1.3 Auslastung Winter, [%]	50,00%	6.3 Erlös Fasern, [ATS/kg]	7,00
1.4 Anteil Sommer-Modus, [%]	50,00%	6.4 Erlös Sonstiges, [ATS/kg]	1,00
<b>2 Investitionskosten</b>		6.5 Erlös Biostrom, [ATS/kWh]	2,20
2.1 Anlagenkapital, [ATS]	36.000.000,00	6.6 Erlös Wärme, [ATS/kWh]	0,00
2.2 Umlaufkapital, [ATS]	0,00	<b>7 Fixkosten</b>	
<b>3 Finanzierung</b>		7.1 Betriebsleitung, [ATS/a]	500.000,00
3.1 EK/GK, [%]	40,00%	7.2 Schichtarbeit, [ATS/a]	800.000,00
3.2 Fö/GK, [%]	30,00%	7.3 Wartung & Reparatur, [ATS/a]	0,00
3.3 Laufzeit FK, [Jahre]	10,00	7.4 Miete Gebäude, [ATS/a]	500.000,00
3.4 Zinssatz FK, [%]	5,00%	7.5 Marketing & Vertrieb, [ATS/a]	200.000,00
<b>4 Spezifische Produkt-Erträge</b>		7.6 F&E, [ATS/a]	0,00
4.1 Ertrag Proteine, [kg/t TS]	112,00	7.7 Sonst. Fixkosten, [ATS/a]	400.000,00
4.2 Ertrag Milchsäure, [kg/t TS]	0,00	<b>8 Spezifische Kosten (Variable Kosten)</b>	
4.3 Ertrag Fasern, [kg/t TS]	330,00	8.1 Sommer-Rohstoff, [ATS/t TS]	1.000,00
4.4 Ertrag Sonstiges, [kg/t TS]	112,00	8.2 Winter-Rohstoff, [ATS/t TS]	1.500,00
4.5 Ertrag Biostrom, [kWh/t TS]	300,00	8.3 Strom, [ATS/kWh]	1,00
4.6 Ertrag Wärme, [kWh/t TS]	0,00	8.4 Prozeßwärme, [ATS/kWh]	0,00
<b>5 Spezifische Betriebsmittelverbräuche</b>		8.5 Analyse/QS, [ATS/t TS]	0,00
5.1 Verbrauch Strom, [kWh/t TS]	246,00	8.6 Lizenzgebühr, [ATS/t TS]	0,00
5.2 Verbrauch Wärme, [kWh/t TS]	0,00	8.7 Sonstiges, [ATS/t TS]	0,00
		<b>9 Diskontierung (DCF-Rechnung)</b>	
		9.1 Kalk. Zinssatz f. Diskont. [%]	10,00%
		<b>10 Steuerliche Abschreibung</b>	
		10.1 Nutzungsdauer, [Jahre]	10,00

**Abb.12-3:** Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (= Inputgrößen für Wirtschaftlichkeitsanalyse im Sinne einer dynamische Investitionsrechnung).

#### Wirtschaftlichkeitskennzahl „Dynamische Amortisationszeit“

Im Rahmen des gegenständlichen Projekts wurde für eine GRÜNE BIORAFFINERIE-Anlage im Pilotmaßstab eine Investitionsrechnung durchgeführt (Kapazität von 6.000 Jahrestonnen, d.h. der Rohstoffverbrauch beträgt 6.000 Tonnen Grassilage-Trockenmasse pro Jahr). Als Wirtschaftlichkeitskennzahl wurde die *dynamische Amortisationszeit* gewählt. Deren Berechnung erfolgte nach der in [Moser 1987] dargestellten Vorgangsweise wie folgt:

- 4# 1. Schritt: Kosten, Erlöse und Cash Flow (CF)  
 Die Berechnung erfolgt gemäss den in **Abb. 12-4** angegebenen Formeln.
- 4# 2. Schritt: Discounted Cash Flow (DCF)  
 Die Berechnung erfolgt gemäss der in **Abb. 12-5** angegebenen Formel.
- 4# 3. Schritt: Cumulated Discounted Cash Flow (DCFC)  
 Die Berechnung ist in **Abb. 12-6** schematisch dargestellt.
- 4# 4. Schritt: Dynamischen Amortisationszeit t.A.dyn  
 Das Berechnungsprinzip ist ebenfalls in **Abb. 12-6** dargestellt

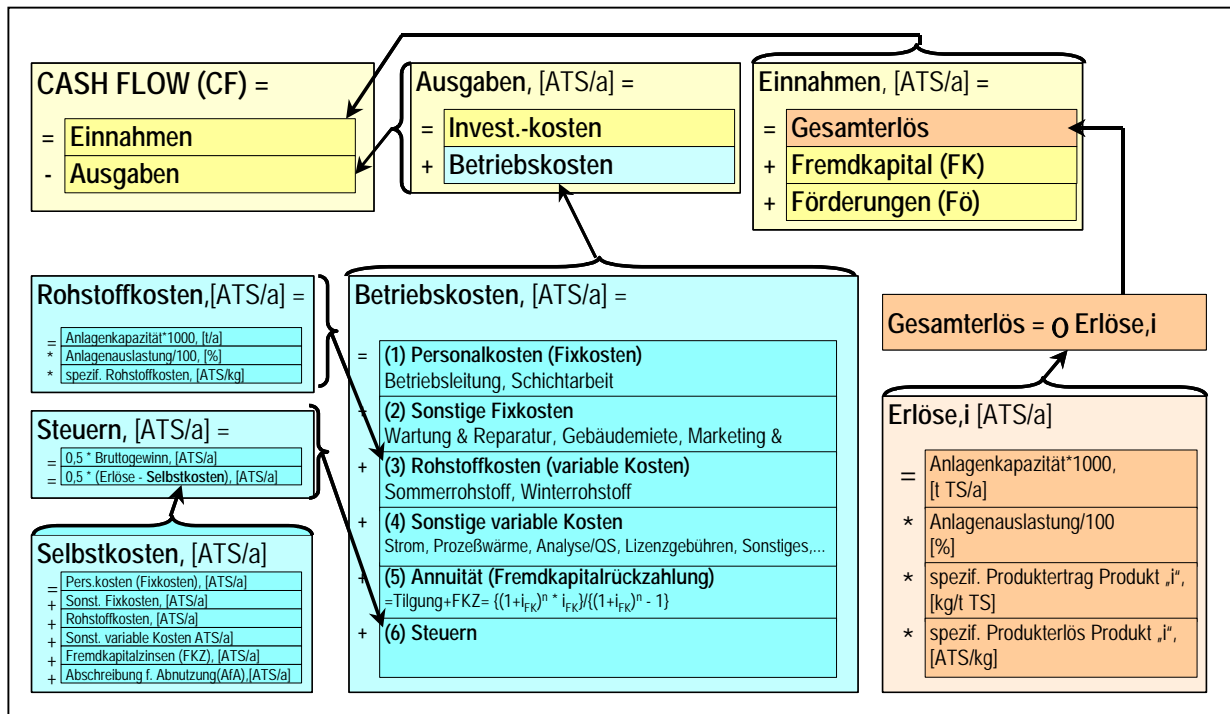


Abb.12-4: Berechnung der Kosten, Erlöse sowie des Cash-Flow (CF) einer verfahrenstechnischen Anlage.

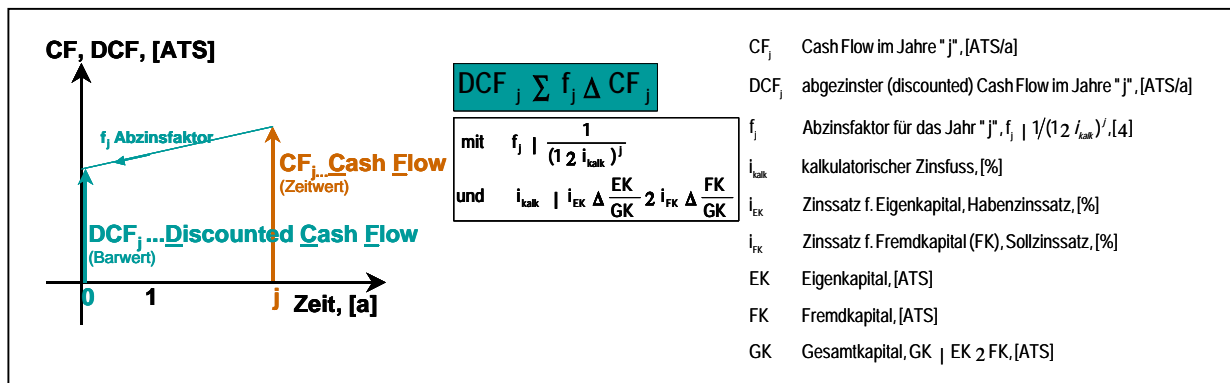


Abb.12-5: Berechnung des Discounted Cash Flow (DCF).

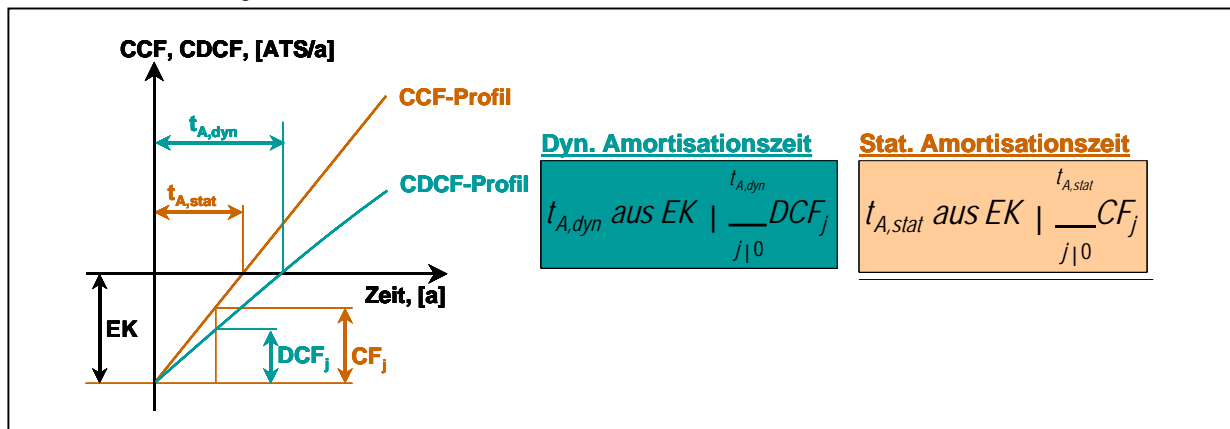


Abb.12-6: Berechnung des Cumulated Discounted Cash Flow (CDCF) sowie der Wirtschaftlichkeitskennzahlen „statische Amortisationszeit“ bzw. „dynamische Amortisationszeit“ für eine verfahrenstechnische Anlage.



Tab. 12-1 zeigt die untersuchten Wertebereiche ausgewählter Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Pilotanlage mit einer Kapazität von 6.000 Jahrestonnen (d.h. der Rohstoffverbrauch beträgt 6.000 Tonnen Grassilage-Trockenmasse pro Jahr), für die im Sinne einer Sensitivitätsanalyse die Wirtschaftlichkeit - repräsentiert durch die *dynamischen Amortisationszeiten* - berechnet wurde.

Tab. 12-1: Wertebereiche ausgewählter Einflussfaktoren auf Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Pilotanlage (Kapazität: 6.000 Jahrestonnen).

Nr.	Einflussfaktor	Wertebereich
1	Rohstoffkosten	500 – 2.000 ATS / t Trockensubstanz (TS)
2	Fixkosten (Personal etc.)	2 – 4 Mio ATS / a
3	spezif. Erlöse Proteine + Milchsäure	15 – 19 ATS / kg
4	spezif. Erlöse Fasern	1 – 7 ATS / kg
5	spezif. Produktausbeuten Proteine + Milchsäure	75 – 125 kg / t TS
6	spezif. Produktausbeute Fasern	200 – 400 kg / t TS
7	Fördermittelanteil am Gesamtkapital	0 – 40 %
8	Eigenkapitalanteil am Gesamtkapital	10 – 100 %
9	Gesamtkapital	30 – 50 Mio ATS

### 12.3. Ergebnisse - Sensitivitätsanalyse

In den nachfolgenden Abbildungen wird im Sinne einer *Sensitivitätsanalyse* der Einfluss wichtiger Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage gezeigt.

Abb. 12-8 zeigt die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (dynamische Amortisationszeit) von den Rohstoffkosten (*variable Kosten*) sowie von den Fixkosten (Personalkosten etc.).

- 4# Bei Fixkosten = const.: Rohstoffkosten ♣ ♥  $t_{A,dyn}$  ♣, d.h. bei konstant gehaltenen jährlichen Fixkosten (z.B. 4 Mio. ATS) bewirkt eine Erhöhung der Rohstoffkosten auch eine Erhöhung der Amortisationszeiten (was durchaus der Erwartung entspricht!),
- 4# Bei Rohstoffkosten = const.: Fixkosten ♣ ♥  $t_{A,dyn}$  ♣, d.h. bei konstant gehaltenen Rohstoffkosten (z.B. 1500 ATS / Tonne TS) bewirkt eine Erhöhung der Fixkosten ebenfalls eine Erhöhung der Amortisationszeiten (was wiederum der Erwartung entspricht).

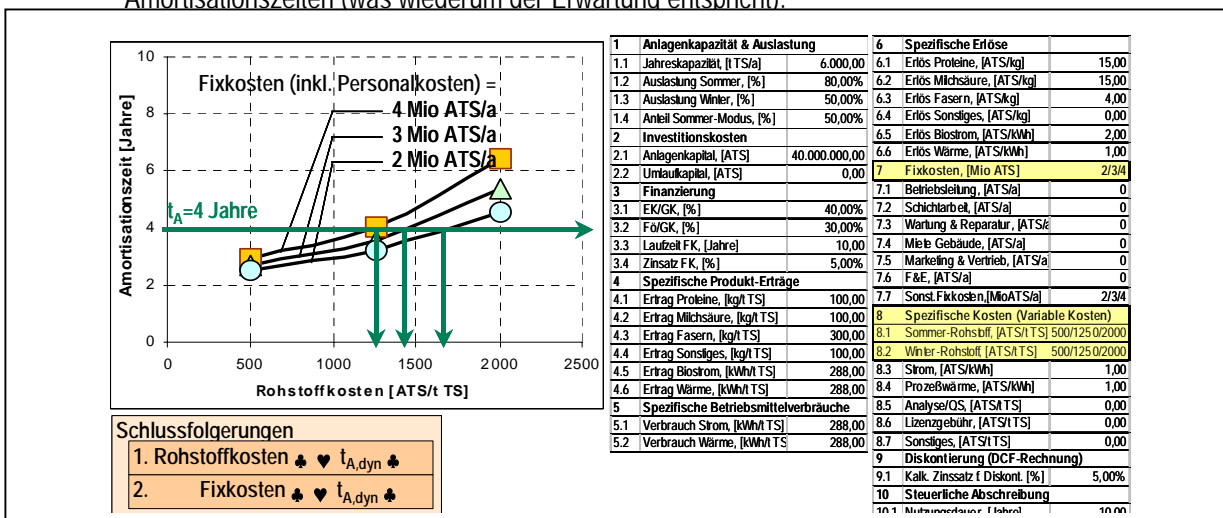


Abb. 12-8: Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (dynamische Amortisationszeit) von den Rohstoffkosten sowie von den Fixkosten.

Abb. 12-9 zeigt die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (dynamische Amortisationszeit) von den für die Produkte Proteine, Milchsäure und Fasern erzielten *spezifischen Erlösen*.

- 4# Bei Erlöse für Proteine + Milchsäure = const.: Erlös für Fasern ♣ ♥  $t_{A,dyn}$  ♦, d.h. bei konstant gehaltenen spezif. Erlösen für Proteine bzw. Milchsäure (z.B. jeweils 15 ATS / kg) bewirkt eine Erhöhung des für die Fasern erzielbaren spezif. Erlöses eine beträchtlich Reduktion der Amort.-zeiten.
- 4# Bei spezif. Erlös für Fasern = const.: Erlös für Proteine+Milchsäure ♣ ♥  $t_{A,dyn}$  ♦, d.h. bei einem konstanten spezif. Erlös für die Fasern (z.B. 2,0 ATS/kg) bewirkt eine Erhöhung der erzielbaren spezif. Erlöse für Proteine bzw. Milchsäure ebenfalls eine beträchtliche Reduktion der Amortisationszeiten.

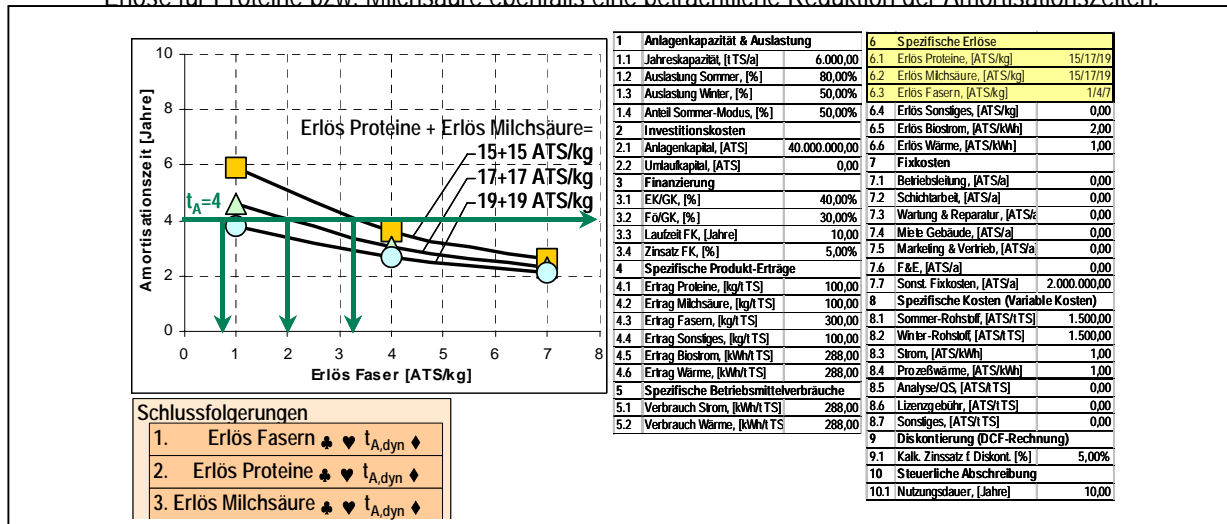


Abb. 12-9: Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit (dynamische Amortisationszeit) einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage von den für die Produkte Proteine, Milchsäure und Fasern erzielten spezifischen Erlöse.

Abb. 12-10 zeigt die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE (dynamische Amortisationszeit) von den auf eine Tonne Trockensubstanz (TS) bezogenen *spezifischen Produktausbeuten* bzgl. Proteinen, Milchsäure und Fasern:

- 4# Bei Protein + Milchsäureausbeute = const.: Faserertrag ♣ ♥  $t_{A,dyn}$  ♦, d.h. bei konstanter Protein- bzw. Milchsäureausbeute (z.B. jeweils 100 kg / t TS) bewirkt eine Erhöhung der Faserausbeute eine Reduktion der Amortisationszeiten.
- 4# Bei Faserausbeute = const.: Protein- bzw. Milchsäureertrag ♣ ♥  $t_{A,dyn}$  ♦, d.h. bei konstanter Faserausbeute (z.B. 300 kg / t TS) bewirkt ein Erhöhung der Protein- bzw. Milchsäureausbeute ebenfalls eine Reduktion der Amortisationszeiten.

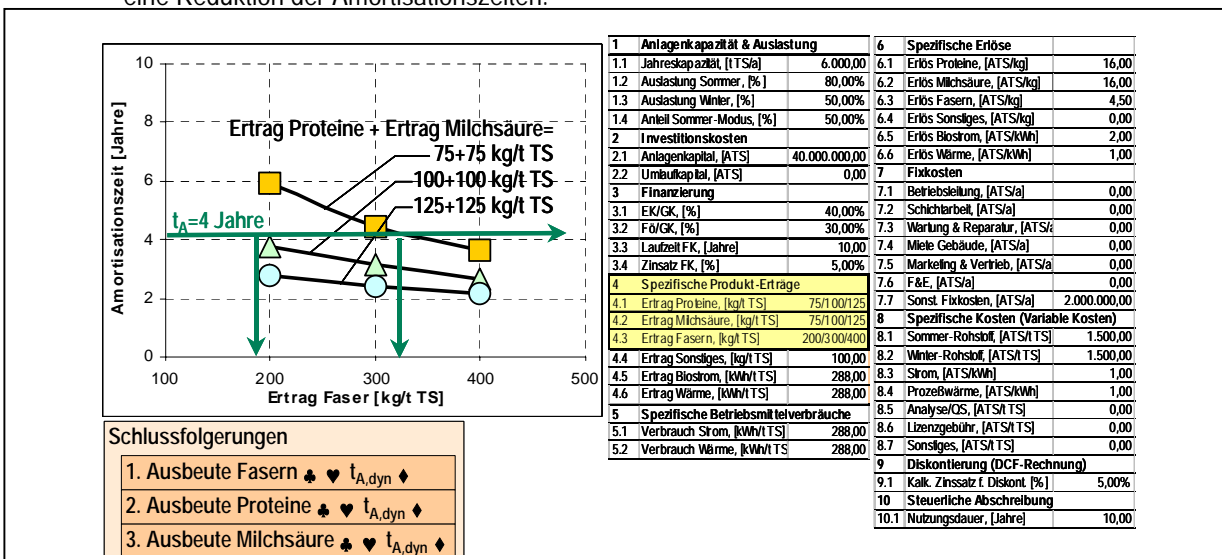


Abb. 12-10: Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (dynamische Amortisationszeit) von den spezifischen Produktausbeuten für Proteine, Milchsäure und Fasern.

Abb. 12-11 zeigt die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (dynamische Amortisationszeit) vom Fördermittelanteil (Fö/GK), d.h. vom prozentuellen Anteil der Fördermittel (Fö) am Gesamtkapital (GK). Man sieht, dass

- 4# Bei Fö/GK=const.: GK ♣ ♥ t<sub>A,dyn</sub> ♣, d.h. bei konstantem Fördermittelanteil (z.B. Fö/GK = 40%) nehmen bei steigendem Gesamtkapital (GK) die Amortisationszeiten zu.
- 4# Bei GK=const.: (Fö/GK) ♣ ♥ t<sub>A,dyn</sub> ♣, d.h. bei konstantem Gesamtkapital (z.B. GK = 40 Mio. ATS) nehmen bei steigendem Fördermittelanteil (Fö/GK) die Amortisationszeiten dagegen ab.

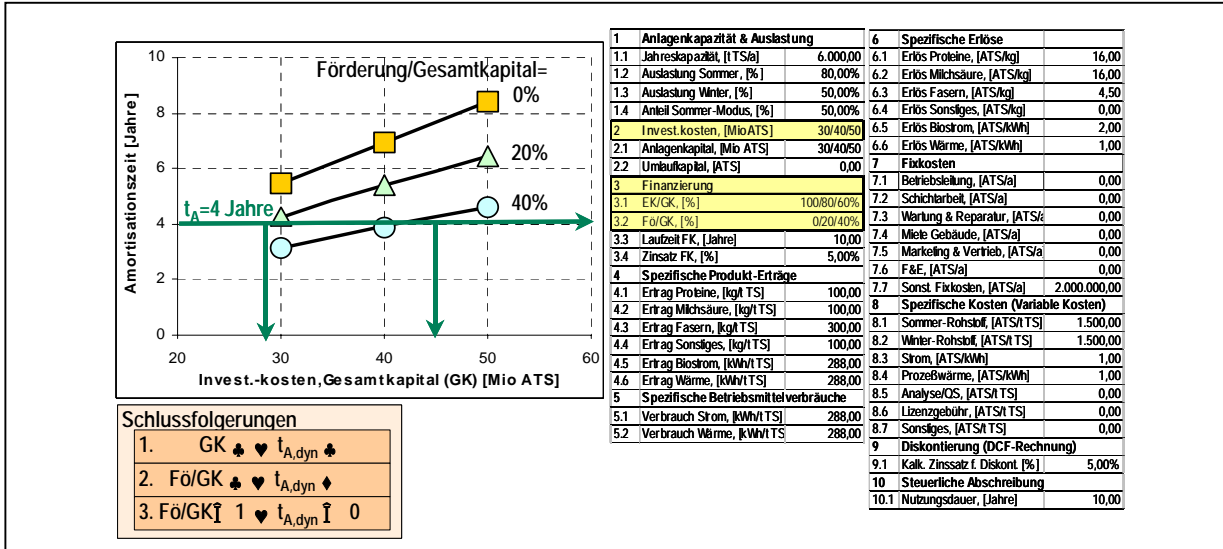


Abb. 12-11: Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (dynamische Amortisationszeit) vom Fördermittelanteil, d.h. vom Anteil der Fördermittel am Gesamtkapital.

Abb. 12-12 zeigt die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (dynamische Amortisationszeit) vom Eigenkapitalanteil (EK/GK), d.h. vom prozentuellen Anteil des Eigenkapitals (EK) am Gesamtkapital (GK). Man sieht, dass

- 4# Bei EK/GK=const.: GK ♣ ♥ t<sub>A,dyn</sub> ♣, d.h. bei konstantem Eigenkapitalanteil (z.B. EK/GK = 50%) nehmen bei steigendem Gesamtkapital (GK) die Amortisationszeiten zu.
- 4# Bei GK=const.: (EK/GK) ♣ ♥ t<sub>A,dyn</sub> ♣, d.h. bei konstantem Gesamtkapital (z.B. GK = 40 Mio. ATS) nehmen bei steigendem Eigenkapitalanteil (EK/GK) die Amortisationszeiten ebenfalls zu.

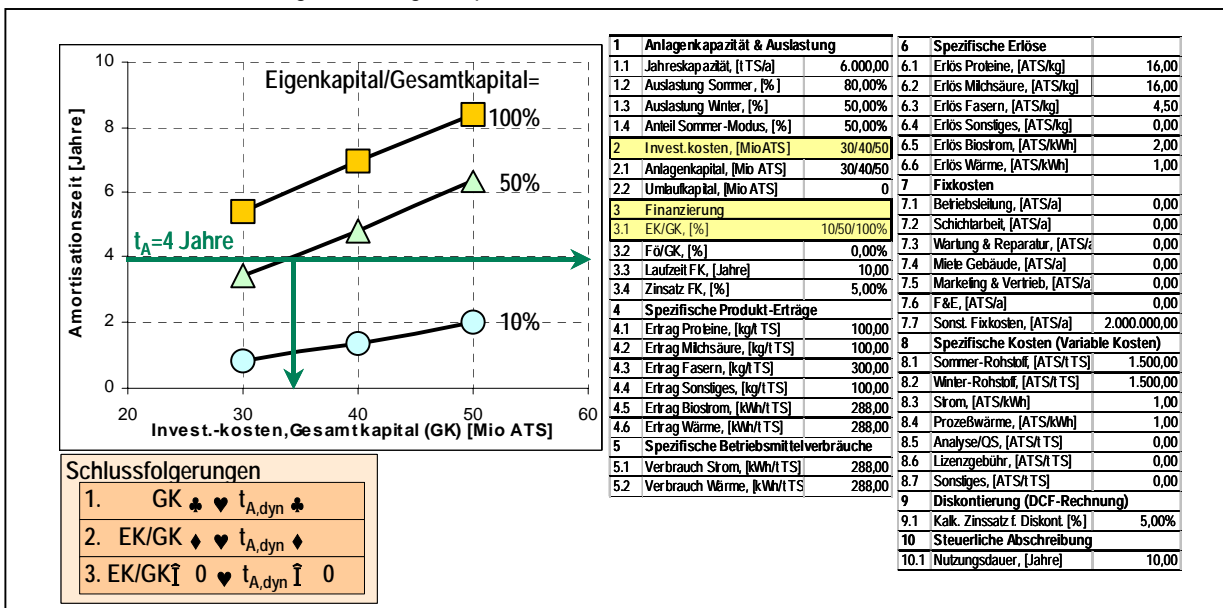


Abb. 12-12: Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage (dynamische Amortisationszeit) vom Eigenkapitalanteil, d.h. vom Anteil des Eigenkapitals am Gesamtkapital.

## 12.4. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen

Die Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE wird von einer Vielzahl von markt- und prozessabhängigen Einflussfaktoren bestimmt, wie etwa von den diversen Kosten (z.B. Investitionskosten, Rohstoffkosten, Personalkosten, Energiekosten, Betriebsmittelkosten etc.), von den spezifischen Produktausbeuten (kg Produkt pro Tonne Rohstoff), von den am Markt erzielbaren Erlösen für die produzierten Produkte, vom Finanzierungsmodell (Fördermittelanteil, Eigenmittelanteil) und von weiteren Faktoren.

Im Rahmen des gegenständlichen Projekts wurde exemplarisch für eine GRÜNE BIORAFFINERIE-Anlage im Pilotmaßstab mit einer Kapazität von 6.000 Jahrestonnen (d.h. 6.000 Tonnen Rohstoffrockensubstanz (TS), was etwa ca. 30.000 Tonnen frischer Grünmasse entspricht) eine dynamische Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt, und zwar im Sinne einer Sensitivitätsanalyse, d.h. es wurde die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeitskennzahl der *dynamischen Amortisationszeit* von den wichtigsten Einflussfaktoren ermittelt, wobei diese Einflussfaktoren innerhalb plausibler Wertebereiche variiert wurden: Rohstoffkosten: 500-2.000 ATS/t TS; Personalkosten und sonstige Fixkosten: 2-4 Mio ATS/a; spezif. Erlöse für Protein- und Milchsäureprodukte: 15-19 ATS/kg; spezif. Erlöse für Faserprodukte: 1-7 ATS/kg; spezif. Protein- und Milchsäureausbeuten: 75-125 kg/t TS; spezif. Faserausbeuten: 200-400 kg/t TS; Fördermittelanteil am Gesamtkapital: 0-40 %; Eigenkapitalanteil am Gesamtkapital: 10-100%; Gesamtkapital: 30-50 Mio ATS.

Die Ergebnisse dieser Wirtschaftlichkeitsanalyse (Sensitivitätsanalyse) sind jedoch lediglich als grobe Orientierungshilfen gedacht, da – mit Ausnahme der spezifischen Rohstoffkosten - für die meisten Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit noch keine ausreichend abgesicherten Werte vorliegen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann beispielsweise für die Investitionskosten für die Planung und Errichtung einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage lediglich eine sehr grobe Schätzung abgegeben werden, weil die Technologieentwicklung noch nicht ausreichend weit fortgeschritten ist. Es ist gegenwärtig leider noch nicht möglich, den für eine genauere Abschätzung der Investitionskosten erforderlichen Detaillierungsgrad hinsichtlich Anlagenschema (Art und Größe der verwendeten Apparate, Maschinen, Förderleitungen, MSR-Einrichtungen), Massen- und Energiebilanzen (Art und Größe der Massen- und Energieströme) sowie hinsichtlich der erreichbaren Produktqualitäten (bestimmen die am Markt für diese Produkte erzielbaren Erlöse) anzugeben.

Für eine genauere und adäquatere Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer GRÜNEN BIORAFFINERIE-Anlage ist daher eine weitere Ausarbeitung der technologischen Grundlagen unumgänglich. Beispielsweise gilt es die Frage zu klären, welche grundsätzliche Abtrenntechnologie und welcher apparatetechnischer Aufwand erforderlich ist, um aus Grassilagesäften ausreichend gereinigte Milchsäure bzw. Proteinfractionen zu gewinnen. Oder es gilt die Frage zu klären, mit welchen Zerfaserungsverfahren es möglich ist, aus dem Presskuchen homogene Faserfraktionen mit definierten Eigenschaften zu gewinnen (Faserlänge, Faserdurchmesser, Farbe, Restinhaltsstoffe), die als Rohstoff für bestimmte industrielle Faserprodukte einsetzbar sind (z.B. Plattenindustrie).

## 12.5. Referenzen

*Kromus, Stefan (2002a):*

**Wirtschaftlichkeitsbetrachtung GRÜNE BIORAFFINERIE;**

*In: 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, Kap.14 (S.178-209).*

*Kromus, Stefan; Narodoslawsky, Michael; Krotscheck, Christian (2002b):*

**Wirtschaftlichkeitsbetrachtung GRÜNE BIORAFFINERIE;**

*In: Kromus, Stefan; Narodoslawsky, Michael; Krotscheck, Christian (2002): Grüne Bioraffinerie: Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer nachhaltigen Kulturlandschaftsentwicklung; Endbericht zum gleichnamigen Projekt im Rahmen der Bund-Bundesländer Kooperation (BBK), Kornberg Institut, April 2002, Kap.5 (S.48-70).*

*Krotscheck, Christian; Kromus, Stefan; Narodoslawsky, Michael (2002):*

**Wirtschaftlichkeit verschiedener Varianten einer GRÜNEN BIORAFFINERIE;**

*Tagungsband Projektworkshop „Grüne Bioraffinerie – Verwertung der Grasfaserfraktion sowie von Grassäften“, ÖKOPARK Hartberg, 7. 11. 2002.*

*Moser, Franz (1987):*

**Planung von [verfahrenstechnischen] Anlagen – Wirtschaftlichkeitsanalyse von verfahrenstechnischen Projekten,**

*Skriptum TU-Graz, Institut für Grundlagen der Verfahrenstechnik, herausgegeben vom Skriptenreferat der Hochschülerschaft an der TU Graz GmbH, 1987.*

*Sattler, Klaus; Kasper, Werner (2000):*

**Verfahrenstechnische Anlagen – Planung, Bau, Betrieb;**

*Wiley-VCH Verlag GmbH, D-69469 Weinheim, 2000, ISBN 3-527-28459-1.*



## Annex A: Messwerte der Silier- und Abpressversuche 2001

### Inhalt

- Tab. A-1: Feed-Massenströmen sowie Trockensubstanzgehalte der Feeds, Presskuchen und Presssäfte
- Tab. A-2: Zusammensetzung der Trockensubstanz der Feeds
- Tab. A-3: Zusammensetzung der Trockensubstanz der Presskuchen
- Tab. A-4: Zusammensetzung der Trockensubstanz der Presssäfte
- Tab. A-5: Mittelwerte der Zusammensetzung der Trockensubstanzen der Feeds, Presskuchen und Presssäfte auf Basis aller Messwerte
- Tab. A-6: Mittelwerte der Zusammensetzung der Trockensubstanzen der Feeds, Presskuchen und Presssäfte nur auf Basis der plausibel scheinenden Messwerte

**Tab. A-1:** Gemessene Feed-Massenströmen (n,F) sowie gemessene Trockensubstanzgehalte von Feed (TS,F), Presskuchen (TS,K) und Presssaft (TS,S).

Prob. Nr	Prob. Nr Alt	Grasart	Schnitt	grün od. siliert	Bakt-stamm (IFA-Tulln)	Schnitt-datum	Abpress-datum	n,F	TS,F	TS,S	TS,K
								[kg]	[%]	[%]	[%]
FM1	KI-01	Kleegras	1.Schn.	grün	keiner	17.05.2001	17.05.2001	402,0	16,20	5,88	31,11
FM2	KI-05	Kleegras	2.Schn.	grün	keiner	21.06.2001	21.06.2001	378,0	17,96	5,14	38,13
FM3	KI-08	Dauerwiese	1.Schn.	grün	keiner	25.06.2001	25.06.2001	377,0	28,98	7,08	45,09
FM4	KI-13	Bastard-Ryegras	3.Schn.	grün	keiner	09.08.2001	09.08.2001	469,0	24,95	7,81	39,74
FM5	KI-11	Knaulgras	2.Schn.	grün	keiner	07.08.2001	07.08.2001	480,0	20,60	4,42	39,32
S1	KI-03	Kleegras	1.Schn.	siliert	IFA:M2	17.05.2001	10.07.2001	625,0	35,79	15,79	50,36
S2	KI-02	Kleegras	1.Schn.	siliert	IFA:S3	17.05.2001	12.07.2001	579,5	41,88	19,17	51,14
S3	KI-06	Kleegras	2.Schn.	siliert	IFA:M2	21.06.2001	23.08.2001	411,5	38,09	15,60	47,96
S4	KI-07	Kleegras	2.Schn.	siliert	IFA:S3	21.06.2001	27.08.2001	408,5	41,43	17,77	50,05
S5	KI-09	Dauerwiese	1.Schn.	siliert	IFA:M2	25.06.2001	20.08.2001	367,5	48,03	20,25	57,67
S6	KI-10	Dauerwiese	1.Schn.	siliert	IFA:S3	25.06.2001	21.08.2001	164,0	37,75	15,06	55,26
S7	KI-15	Bastard-Ryegras	3.Schn.	siliert	IFA:M2	09.08.2001	25.09.2001	541,0	29,94	11,96	46,07
S8	KI-14	Bastard-Ryegras	3.Schn.	siliert	IFA:S3	09.08.2001	24.09.2001	566,0	26,38	11,57	45,59
S9	KI-12	Knaulgras	2.Schn.	siliert	IFA:S3	07.08.2001	27.09.2001	246,0	43,36	17,62	53,46
FM1-5									21,74	6,07	38,68
S1-9									38,07	16,09	50,84

**Tab. A-2:** Zusammensetzung der Trockensubstanz der Feeds

Gras-probe	Zusammensetzung der Trockensubstanz des Feeds						Summe [% TM,F]
	[RP],F [% TM,F]	[RF],F [% TM,F]	[MS],F [% TM,F]	[Z],F [% TM,F]	[RA],F [% TM,F]	[S],F [% TM,F]	
FM1	18,54	29,94	0,00	4,47	9,10	37,95	100,00
FM2	16,79	30,58	0,00	16,09	9,04	27,49	100,00
FM3	10,22	37,60	2,52	10,18	6,59	32,89	100,00
FM4	18,00	30,21	0,00	16,33	9,83	25,63	100,00
FM5	14,86	36,61	0,00	8,88	10,12	29,53	100,00
S1	13,04	30,06	15,14	11,23	10,34	20,19	100,00
S2	16,95	30,54	10,60	1,96	9,94	30,01	100,00
S3	8,65	29,74	0,00	4,52	10,58	46,52	100,00
S4	12,81	29,49	7,94	6,20	10,23	33,32	100,00
S5	18,50	32,80	6,16	9,10	7,91	25,53	100,00
S6	14,85	34,25	7,50	7,76	7,46	28,18	100,00
S7	19,03	29,92	0,00	7,08	9,75	34,22	100,00
S8	17,05	26,59	0,00	7,43	10,41	38,52	100,00
S9	17,34	33,89	4,98	4,01	10,77	29,02	100,00
FM1-5	15,68	32,99	0,50	11,19	8,93	30,70	100,00
S1-9	15,36	30,81	5,81	6,59	9,71	31,72	100,00



Tab. A-3: Zusammensetzung der Trockensubstanz der Presskuchen

Gras- probe	Zusammensetzung der Trockensubstanz des Presskuchens						Summe [% TM,F]
	[RP],K [% TM,F]	[RF],K [% TM,F]	[MS],K [% TM,F]	[Z],K [% TM,F]	[RA],K [% TM,F]	[S],K [% TM,F]	
FM1	17,39	36,72	0,00	11,41	6,60	27,88	100,00
FM2	16,36	37,60	0,00	7,00	6,15	32,89	100,00
FM3	13,12	40,62	2,13	4,90	4,62	34,61	100,00
FM4	12,07	34,19	0,00	10,87	7,16	35,71	100,00
FM5	17,32	33,69	2,70	2,42	8,12	35,76	100,00
S1	10,74	37,08	6,51	5,94	7,12	32,61	100,00
S2	19,06	34,67	5,55	10,19	7,86	22,67	100,00
S3	11,99	32,69	0,00	3,67	8,70	42,95	100,00
S4	18,38	30,93	5,67	5,01	9,14	30,86	100,00
S5	11,58	34,41	4,04	6,76	6,24	36,97	100,00
S6	18,46	36,15	4,51	5,94	5,49	29,46	100,00
S7	15,52	37,55	0,00	4,52	6,49	35,93	100,00
S8	14,42	34,56	0,00	3,60	6,82	40,61	100,00
S9	14,75	35,66	4,49	3,68	8,55	32,86	100,00
FM1-5	15,25	36,56	0,97	7,32	6,53	33,37	100,00
S1-9	14,99	34,86	3,42	5,48	7,38	33,88	100,00

Tab. A-4: Zusammensetzung der Trockensubstanz der Presssäfte

Gras- probe	Zusammensetzung der Trockensubstanz des Presssafts						Summe [% TM,F]
	[RP],S [% TM,F]	[RF],S [% TM,F]	[MS],S [% TM,F]	[Z],S [% TM,F]	[RA],S [% TM,F]	[S],S [% TM,F]	
FM1	17,72	5,12	0,10	41,88	52,20	-17,03	100,00
FM2	24,31	-2,53	0,54	31,92	28,92	16,85	100,00
FM3	26,81	11,43	2,33	22,28	21,39	15,76	100,00
FM4	23,43	6,77	0,00	46,06	29,49	-5,75	100,00
FM5	19,41	59,10	2,34	23,61	44,66	-49,12	100,00
S1	21,32	-0,65	36,90	26,30	27,59	-11,45	100,00
S2	21,96	3,50	29,87	39,01	26,73	-21,07	100,00
S3	34,66	9,08	35,38	10,88	30,33	-20,32	100,00
S4	30,37	18,34	25,25	14,23	29,29	-17,49	100,00
S5	21,47	19,62	27,10	33,05	22,75	-23,99	100,00
S6	23,86	25,17	30,51	28,18	23,03	-30,75	100,00
S7	24,67	-2,83	20,60	12,26	62,16	-16,85	100,00
S8	30,08	2,40	28,91	10,46	27,37	0,78	100,00
S9	27,55	20,14	23,39	10,57	39,43	-21,08	100,00
FM1-5	22,34	15,98	1,06	33,15	35,33	-7,86	100,00
S1-9	26,21	10,53	28,66	20,55	32,08	-18,02	100,00

*A-5: Mittelwerte der Zusammensetzung der Trockensubstanzen der Feeds, Presskuchen und Presssäfte auf Basis aller Messwerte, d.h. dass in die Mittelwertbildung sowohl die plausibel als auch die fehlerhaft scheinenden Messwerte einbezogen werden.*

Gras-probe	Roh-protein [% TS]	Roh-faser [% TS]	Milch-säure [% TS]	Gesamt-zucker [% TS]	Roh-asche [% TS]	Sonstige Stoffe [% TS]	Summe [% TS]
<b>Feed</b>							
Frischmasse	15,68	32,99	0,50	11,19	8,93	30,70	99,99
Silage	15,36	30,81	5,81	6,59	9,71	31,72	100,00
<b>Presskuchen</b>							
Frischmasse	15,25	36,56	0,97	7,32	6,53	33,37	100,01
Silage	14,99	34,86	3,42	5,48	7,38	33,88	100,00
<b>Presssaft</b>							
Frischmasse	22,34	15,98	1,06	33,15	35,33	-7,86	99,99
Silage	26,21	10,53	28,66	20,55	32,08	-18,02	100,01

*A-6: Mittelwerte der Zusammensetzung der Trockensubstanzen der Feeds, Presskuchen und Presssäfte nur Basis der plausibel scheinenden Messwerte, d.h. fehlerhaft scheinende Messwerte (Analysefehler) sind in dieser Mittelwertbildung NICHT einbezogen. Als Folge davon weichen die jeweiligen Summen der prozentuellen Gehalte der einzelnen Komponenten von 100% etwas ab.*

Gras-probe	Roh-protein <sup>1)</sup> [% TS]	Roh-faser <sup>1)</sup> [% TS]	Milch-säure <sup>2)</sup> [% TS]	Gesamt-zucker <sup>3)</sup> [% TS]	Roh-asche <sup>4)</sup> [% TS]	Sonstige Stoffe <sup>1)</sup> [% TS]	Summe [% TS]
<b>Feed</b>							
Frischmasse	15,68	32,99	0,00	12,87	8,89	30,70	101,13
Silage	15,36	30,81	8,72	7,17	9,70	31,72	103,48
<b>Presskuchen</b>							
Frischmasse	15,25	36,56	0,00	6,30	6,51	33,37	98,00
Silage	14,99	34,86	5,13	4,89	7,49	33,88	101,23
<b>Presssaft</b>							
Frischmasse	22,34	15,98	0,00	30,97	31,11	-7,86	92,54
Silage	26,21	10,53	28,84	18,24	28,32	-18,02	94,12

1) Mittelwert aus 5 Frischmasseproben FM1-5 bzw. aus 9 Silageproben S1-9.

2) Mittelwert aus 6 Silageproben S1,2,4-6,9.

3) Mittelwert aus 4 Frischmasseproben FM2-5 bzw. aus 8 Silageproben S1,3-9.

4) Mittelwert aus 4 Frischmasseproben FM2-5 bzw. aus 8 Silageproben S1-6,8,9.

## Annex B:

# Komponenten-Massenströme (Ausbeuten) der Abpressversuche 2001

## Inhalt

- Tab. B-1: Komponenten-Teilmassenströme in den Feeds
- Tab. B-2: Komponenten-Teilmassenströme in den Presskuchen
- Tab. B-3: Komponenten-Teilmassenströme in den Presssäften
- Tab. B-4: Komponenten-Teilmassenströme in den Bilanzabweichungen
- Tab. B-5: Mittelwerte für die Komponenten-Teilmassenströme in den Feeds, Presskuchen, Presssäften und Bilanzabweichungen auf Basis aller Messwerte
- Tab. B-6: Mittelwerte für die Komponenten-Teilmassenströme in den Feeds, Presskuchen, Presssäften und Bilanzabweichungen nur auf Basis der plausibel scheinenden Messwerte

Tab. B-1: Komponenten-Teilmassenströme in den Feeds bezogen auf eine Tonne Feed-Trockensubstanz.

Gras- probe	Massenströme im Feed pro Tonne TS-Feed								
	m,RP,F [kg/t TM,F]	m,RF,F [kg/t TM,F]	m,MS,F [kg/t TM,F]	m,Z,F [kg/t TM,F]	m,RA,F [kg/t TM,F]	m,S,F [kg/t TM,F]	Summe [kg/t TM,F]	m,TS,F [kg/t TM,F]	Differenz [kg/t TM,F]
FM1	185,41	299,43	0,00	44,70	90,99	379,47	1000,00	1000,00	0,00
FM2	167,91	305,79	0,00	160,91	90,45	274,94	1000,00	1000,00	0,00
FM3	102,21	376,01	25,19	101,80	65,85	328,94	1000,00	1000,00	0,00
FM4	180,02	302,13	0,00	163,26	98,30	256,29	1000,00	1000,00	0,00
FM5	148,58	366,14	0,00	88,80	101,15	295,33	1000,00	1000,00	0,00
S1	130,39	300,61	151,43	112,31	103,38	201,88	1000,00	1000,00	0,00
S2	169,51	305,36	106,02	19,58	99,44	300,10	1000,00	1000,00	0,00
S3	86,53	297,38	0,00	45,16	105,75	465,18	1000,00	1000,00	0,00
S4	128,12	294,92	79,40	62,03	102,29	333,23	1000,00	1000,00	0,00
S5	185,03	328,00	61,62	90,98	79,09	255,27	1000,00	1000,00	0,00
S6	148,47	342,45	74,98	77,63	74,64	281,83	1000,00	1000,00	0,00
S7	190,30	299,21	0,00	70,80	97,50	342,19	1000,00	1000,00	0,00
S8	170,47	265,94	0,00	74,29	104,08	385,22	1000,00	1000,00	0,00
S9	173,39	338,85	49,81	40,12	107,67	290,15	1000,00	1000,00	0,00
FM1-5	156,83	329,90	5,04	111,89	89,35	306,99	1000,00	1000,00	0,00
S1-9	153,58	308,08	58,14	65,88	97,09	317,23	1000,00	1000,00	0,00

Tab. B-2: Komponenten-Massenströme in den Presskuchen bezogen auf eine Tonne Feed-Trockensubstanz.

Gras- probe	Massenströme im Presskuchen pro Tonne TS-Feed								
	m,RP,K [kg/t TM,F]	m,RF,K [kg/t TM,F]	m,MS,K [kg/t TM,F]	m,Z,K [kg/t TM,F]	m,RA,K [kg/t TM,F]	m,S,K [kg/t TM,F]	Summe [kg/t TM,F]	m,TS,K [kg/t TM,F]	Differenz [kg/t TM,F]
FM1	136,63	288,45	0,00	89,64	51,82	218,97	785,50	785,50	0,00
FM2	135,01	310,21	0,00	57,77	50,72	271,31	825,02	825,02	0,00
FM3	117,58	364,18	19,09	43,94	41,42	310,25	896,45	896,45	0,00
FM4	103,20	292,31	0,00	92,95	61,19	305,36	855,01	855,01	0,00
FM5	153,26	298,12	23,86	21,38	71,81	316,48	884,91	884,91	0,00
S1	87,42	301,83	53,03	48,34	57,99	265,45	814,06	814,06	0,00
S2	165,29	300,72	48,17	88,38	68,21	196,65	867,42	867,42	0,00
S3	104,96	286,03	0,00	32,11	76,15	375,83	875,08	875,08	0,00
S4	162,73	273,91	50,24	44,41	80,95	273,22	885,46	885,46	0,00
S5	103,25	306,70	36,02	60,28	55,58	329,55	891,39	891,39	0,00
S6	152,52	298,71	37,23	49,04	45,34	243,39	826,23	826,23	0,00
S7	125,89	304,56	0,00	36,62	52,64	291,39	811,10	811,10	0,00
S8	108,51	259,98	0,00	27,06	51,29	305,49	752,34	752,34	0,00
S9	130,64	315,79	39,75	32,63	75,74	290,94	885,48	885,48	0,00
FM1-5	129,13	310,65	8,59	61,14	55,39	284,47	849,38	849,38	0,00
S1-9	126,80	294,25	29,38	46,54	62,66	285,77	845,40	845,40	0,00

Tab. B-3: Komponenten-Teilmassenströme in den Presssäften bezogen auf eine Tonne Feed-Trockensubstanz

Gras-probe	Massenströme im Presssaft pro Tonne TS-Feed								
	m,RP,S [kg/t TM,F]	m,RF,S [kg/t TM,F]	m,MS,S [kg/t TM,F]	m,Z,S [kg/t TM,F]	m,RA,S [kg/t TM,F]	m,S,S [kg/t TM,F]	Summe [kg/t TM,F]	m,TS,S [kg/t TM,F]	Differenz [kg/t TM,F]
FM1	38,02	10,99	0,21	89,83	111,97	-36,52	214,50	214,50	0,00
FM2	42,53	-4,43	0,95	55,85	50,60	29,48	174,98	174,98	0,00
FM3	27,76	11,83	2,42	23,07	22,15	16,32	103,55	103,55	0,00
FM4	33,97	9,82	0,00	66,79	42,76	-8,34	144,99	144,99	0,00
FM5	22,34	68,02	2,69	27,17	51,40	-56,53	115,09	115,09	0,00
S1	39,63	-1,22	68,62	48,90	51,30	-21,29	185,94	185,94	0,00
S2	29,11	4,64	39,60	51,72	35,44	-27,94	132,58	132,58	0,00
S3	43,29	11,34	44,19	13,59	37,89	-25,39	124,92	124,92	0,00
S4	34,78	21,01	28,92	16,30	33,55	-20,03	114,54	114,54	0,00
S5	23,32	21,31	29,44	35,90	24,71	-26,06	108,61	108,61	0,00
S6	41,47	43,74	53,01	48,96	40,02	-53,44	173,77	173,77	0,00
S7	46,60	-5,35	38,91	23,15	117,41	-31,82	188,90	188,90	0,00
S8	74,50	5,95	71,59	25,91	67,78	1,92	247,66	247,66	0,00
S9	31,55	23,06	26,78	12,11	45,15	-24,13	114,52	114,52	0,00
FM1-5	32,92	19,25	1,25	52,54	55,77	-11,12	150,62	150,62	0,00
S1-9	40,47	13,83	44,56	30,73	50,36	-25,35	154,60	154,60	0,00

Tab. B-4: Komponenten-Teilmassenströme in den Bilanzabweichungen bezogen auf eine Tonne Feed-Trockensubstanz

Gras-probe	Massenströme in Bilanzabweichung pro Tonne TS-Feed								
	m,RP,Bil [kg/t TM,F]	m,RF,Bil [kg/t TM,F]	m,MS,Bil [kg/t TM,F]	m,Z,Bil [kg/t TM,F]	m,RA,Bil [kg/t TM,F]	m,S,Bil [kg/t TM,F]	Summe [kg/t TM,F]	m,TS,Bil [kg/t TM,F]	Differenz [kg/t TM,F]
FM1	10,76	0,00	-0,21	-134,78	-72,80	197,02	0,00	0,00	0,00
FM2	-9,62	0,00	-0,95	47,28	-10,87	-25,85	0,00	0,00	0,00
FM3	-43,13	0,00	3,69	34,79	2,28	2,37	0,00	0,00	0,00
FM4	42,85	0,00	0,00	3,52	-5,65	-40,72	0,00	0,00	0,00
FM5	-27,02	0,00	-26,55	40,24	-22,05	35,38	0,00	0,00	0,00
S1	3,34	0,00	29,78	15,08	-5,92	-42,28	0,00	0,00	0,00
S2	-24,89	0,00	18,25	-120,52	-4,22	131,38	0,00	0,00	0,00
S3	-61,72	0,00	-44,19	-0,54	-8,29	114,74	0,00	0,00	0,00
S4	-69,39	0,00	0,24	1,32	-12,22	80,05	0,00	0,00	0,00
S5	58,45	0,00	-3,83	-5,20	-1,20	-48,22	0,00	0,00	0,00
S6	-45,51	0,00	-15,27	-20,38	-10,73	91,88	0,00	0,00	0,00
S7	17,81	0,00	-38,91	11,03	-72,55	82,62	0,00	0,00	0,00
S8	-12,55	0,00	-71,59	21,32	-14,99	77,81	0,00	0,00	0,00
S9	11,21	0,00	-16,72	-4,61	-13,22	23,35	0,00	0,00	0,00
FM1-5	-5,23	0,00	-4,80	-1,79	-21,82	33,64	0,00	0,00	0,00
S1-9	-13,69	0,00	-15,80	-11,39	-15,93	56,81	0,00	0,00	0,00

**Tab. B-5:** Mittelwerte für Komponenten-Teilmassenströme in Feed, Presskuchen, Presssaft und Bilanzabweichung, jeweils auf Basis ALLER Messwerte, d.h. unter Verwendung sowohl der plausibel als auch der fehlerhaft scheinenden Messwerte.

Gras-probe	Roh-protein [kg/t TS-Feed]	Roh-faser [kg/t TS-Feed]	Milch-säure [kg/t TS-Feed]	Gesamt-zucker [kg/t TS-Feed]	Roh-asche [kg/t TS-Feed]	Sonstige Stoffe [kg/t TS-Feed]	Summe [kg/t TS-Feed]	TS,Ges [kg/t TS-Feed]	Differenz [kg/t TS-Feed]
<b>Feed</b>									
Frischmasse	156,83	329,90	5,04	111,89	89,35	306,99	1000,00	1000,00	0,00
Silage	153,58	308,08	58,14	65,88	97,09	317,23	1000,00	1000,00	0,00
<b>Presskuchen</b>									
Frischmasse	129,13	310,65	8,59	61,14	55,39	284,47	849,38	849,40	-0,02
Silage	126,80	294,25	29,38	46,54	62,66	285,77	845,40	845,40	0,00
<b>Presssaft</b>									
Frischmasse	32,92	19,25	1,25	52,54	55,77	-11,12	150,61	150,60	0,01
Silage	40,47	13,83	44,56	30,73	50,36	-25,35	154,61	154,60	0,01
<b>Bilanzabweichung</b>									
Frischmasse	-5,23	0,00	-4,80	-1,76	-21,82	33,64	0,03	0,00	0,03
Silage	-13,69	0,00	-15,80	-11,39	-15,93	56,81	0,00	0,00	0,00

**Tab. B-6:** Mittelwerte für Komponenten-Teilmassenströme in Feed, Presskuchen, Presssaft und Bilanzabweichung, jeweils nur auf Basis der plausibel erscheinenden Messwerte, d.h. fehlerhaft scheinende Messwerte (Analysefehler) sind in dieser Mittelwertbildung NICHT einbezogen. Als Folge davon weichen die jeweiligen Summen vom jeweiligen TS-Gesamtmassenstrom etwas ab.

Gras-probe	Roh-protein <sup>1)</sup> [kg/t TS-Feed]	Roh-faser <sup>1)</sup> [kg/t TS-Feed]	Milch-säure <sup>2)</sup> [kg/t TS-Feed]	Gesamt-zucker <sup>3)</sup> [kg/t TS-Feed]	Roh-asche <sup>4)</sup> [kg/t TS-Feed]	Sonstige Stoffe <sup>1)</sup> [kg/t TS-Feed]	Summe [kg/t TS-Feed]	TS,Ges [kg/t TS-Feed]	Differenz [kg/t TS-Feed]
<b>Feed</b>									
Frischmasse	156,83	329,90	0,00	128,69	88,94	306,99	1011,35	1000,00	11,35
Silage	153,58	308,08	87,21	71,67	97,04	317,23	1034,81	1000,00	34,81
<b>Presskuchen</b>									
Frischmasse	129,13	310,65	0,00	54,01	56,28	284,47	834,55	849,40	-14,85
Silage	126,80	294,25	44,07	41,31	63,91	285,77	856,11	845,40	10,71
<b>Presssaft</b>									
Frischmasse	32,92	19,25	0,00	43,22	41,73	-11,12	126,00	150,60	-24,60
Silage	40,47	13,83	41,06	28,10	41,98	-25,35	140,09	154,60	-14,51
<b>Bilanzabweichung</b>									
Frischmasse	-5,23	0,00	0,00	27,76	-9,07	33,64	47,10	0,00	47,10
Silage	-13,69	0,00	2,07	2,25	-9,04	56,81	38,40	0,00	38,40

1) Mittelwert aus 5 Frischmasseproben FM1-5 bzw. aus 9 Silageproben S1-9.

2) Mittelwert aus 6 Silageproben S1,2,4-6,9.

3) Mittelwert aus 4 Frischmasseproben FM2-5 bzw. aus 8 Silageproben S1,3-9.

4) Mittelwert aus 4 Frischmasseproben FM2-5 bzw. aus 8 Silageproben S1-6,8,9.

## Annex C: Abtrenngrade (Abpressversuche 2001)

### Inhalt

- Tab. C-1: Auf Presskuchen bezogene Abtrenngrade
- Tab. C-2: Auf Presssaft bezogene Abtrenngrade
- Tab. C-3: Auf Bilanzabweichung bezogene Abtrenngrade
- Tab. C-4: Kontrolle (Summe aus Tabellen C-1 bis C-3)
- Tab. C-5 Mittelwerte für Abtrenngrade auf Basis aller Messwerte
- Tab. C-6 Mittelwerte für Abtrenngrade nur auf Basis der plausibel erscheinenden Messwerte

*Tab. C-1: Auf Presskuchen bezogene Abtrenngrade (In den Presskuchen übergehender Anteil des Komponenten-Massenstroms).*

Gras- probe	Auf Presskuchen bezogene Abtrenngrade					
	m,RP,K/ m,RP,F	m,RF,K/ m,RF,F	m,MS,K/ m,MS,F	m,Z,K/ m,Z,F	m,RA,K/ m,RA,F	m,S,K/ m,S,F
	[% m,RP,F]	[% m,RF,F]	[% m,MS,F]	[% m,Z,F]	[% m,RA,F]	[% m,S,F]
FM1	73,69	96,33	#DIV/0!	200,55	56,95	57,70
FM2	80,40	101,45	#DIV/0!	35,90	56,07	98,68
FM3	115,04	96,85	75,77	43,16	62,90	94,32
FM4	57,33	96,75	#DIV/0!	56,94	62,25	119,14
FM5	103,15	81,42	#DIV/0!	24,08	70,99	107,16
S1	67,04	100,40	35,02	43,04	56,10	131,49
S2	97,51	98,48	45,44	451,36	68,60	65,53
S3	121,30	96,19	#DIV/0!	71,11	72,01	80,79
S4	127,01	92,88	63,28	71,59	79,14	81,99
S5	55,80	93,50	58,44	66,26	70,28	129,10
S6	102,72	87,23	49,65	63,17	60,75	86,36
S7	66,15	101,79	#DIV/0!	51,73	53,99	85,15
S8	63,66	97,76	#DIV/0!	36,43	49,28	79,30
S9	75,34	93,19	79,80	81,32	70,35	100,27
FM1-5	85,92	94,56	#DIV/0!	72,13	61,83	95,40
S1-9	86,28	95,71	#DIV/0!	104,00	64,50	93,33

*Tab. C-2: Auf Presssaft bezogene Abtrenngrade (In den Presssaft übergehender Anteil des Komponenten-Massenstroms).*

Gras- probe	Auf Presssaft bezogene Abtrenngrade					
	m,RP,S/ m,RP,F	m,RF,S/ m,RF,F	m,MS,S/ m,MS,F	m,Z,S/ m,Z,F	m,RA,S/ m,RA,F	m,S,S/ m,S,F
	[% m,RP,F]	[% m,RF,F]	[% m,MS,F]	[% m,Z,F]	[% m,RA,F]	[% m,S,F]
FM1	20,50	3,67	#DIV/0!	200,98	123,05	-9,62
FM2	25,33	-1,45	#DIV/0!	34,71	55,94	10,72
FM3	27,16	3,15	9,59	22,66	33,64	4,96
FM4	18,87	3,25	#DIV/0!	40,91	43,50	-3,26
FM5	15,04	18,58	#DIV/0!	30,60	50,81	-19,14
S1	30,40	-0,40	45,31	43,54	49,63	-10,54
S2	17,17	1,52	37,35	264,15	35,64	-9,31
S3	50,03	3,81	#DIV/0!	30,09	35,83	-5,46
S4	27,15	7,12	36,43	26,29	32,80	-6,01
S5	12,61	6,50	47,77	39,46	31,24	-10,21
S6	27,93	12,77	70,71	63,08	53,62	-18,96
S7	24,49	-1,79	#DIV/0!	32,70	120,42	-9,30
S8	43,70	2,24	#DIV/0!	34,87	65,12	0,50
S9	18,19	6,81	53,77	30,17	41,94	-8,32
FM1-5	21,38	5,44	#DIV/0!	65,97	61,39	-3,27
S1-9	27,96	4,29	#DIV/0!	62,70	51,81	-8,62



**Tab. C-3: Auf Bilanzabweichung bezogene Abtrenngrade (In die Bilanzabweichung übergehender Anteil des Komponenten-Massenstroms).**

Gras- probe	Auf Bilanzabweichung bezogene Abtrenngrade					
	m,RP,Bil/ m,RP,F	m,RF,Bil/ m,RF,F	m,MS,Bil/ m,MS,F	m,Z,Bil/ m,Z,F	m,RA,Bil/ m,RA,F	m,S,Bil/ m,S,F
	[% m,RP,F]	[% m,RF,F]	[% m,MS,F]	[% m,Z,F]	[% m,RA,F]	[% m,S,F]
FM1	5,81	0,00	#DIV/0!	-301,53	-80,00	51,92
FM2	-5,73	0,00	#DIV/0!	29,39	-12,01	-9,40
FM3	-42,19	0,00	14,64	34,17	3,46	0,72
FM4	23,80	0,00	#DIV/0!	2,15	-5,75	-15,89
FM5	-18,19	0,00	#DIV/0!	45,32	-21,80	11,98
S1	2,56	0,00	19,67	13,43	-5,73	-20,94
S2	-14,69	0,00	17,21	-615,50	-4,24	43,78
S3	-71,33	0,00	#DIV/0!	-1,20	-7,84	24,67
S4	-54,16	0,00	0,30	2,12	-11,94	24,02
S5	31,59	0,00	-6,21	-5,72	-1,52	-18,89
S6	-30,65	0,00	-20,36	-26,25	-14,37	32,60
S7	9,36	0,00	#DIV/0!	15,57	-74,41	24,15
S8	-7,36	0,00	#DIV/0!	28,70	-14,40	20,20
S9	6,47	0,00	-33,58	-11,49	-12,28	8,05
FM1-5	-7,30	0,00	#DIV/0!	-38,10	-23,22	7,87
S1-9	-14,25	0,00	#DIV/0!	-66,70	-16,30	15,29

**Tab. C-4: Kontrolle (Summe aus Tabellen C-1 bis C-3)**

Gras- probe	Kontrolle (Summenbildung)					
	Summe m,RP,i/ m,RP,F	Summe m,RF,i/ m,RF,F	Summe m,MS,i/ m,MS,F	Summe m,Z,i/ m,Z,F	Summe m,RA,i/ m,RA,F	Summe m,S,i/ m,S,F
	[% m,RP,F]	[% m,RF,F]	[% m,MS,F]	[% m,Z,F]	[% m,RA,F]	[% m,S,F]
FM1	100,00	100,00	#DIV/0!	100,00	100,00	100,00
FM2	100,00	100,00	#DIV/0!	100,00	100,00	100,00
FM3	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
FM4	100,00	100,00	#DIV/0!	100,00	100,00	100,00
FM5	100,00	100,00	#DIV/0!	100,00	100,00	100,00
S1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
S2	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
S3	100,00	100,00	#DIV/0!	100,00	100,00	100,00
S4	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
S5	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
S6	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
S7	100,00	100,00	#DIV/0!	100,00	100,00	100,00
S8	100,00	100,00	#DIV/0!	100,00	100,00	100,00
S9	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
FM1-5	100,00	100,00	#DIV/0!	100,00	100,00	100,00
S1-9	100,00	100,00	#DIV/0!	100,00	100,00	100,00

*Tab. C-5: Mittelwerte für Abtrennggrade auf Basis ALLER Messwerte, d.h. unter Verwendung sowohl der plausibel als auch der fehlerhaft scheinenden Messwerte.*

Gras-probe	Roh-protein [% m,RP-Feed]	Roh-faser [% m,RF-Feed]	Milch-säure [% m,MS-Feed]	Gesamt-zucker [% m,Z-Feed]	Roh-asche [% m,RA-Feed]	Sonstige Stoffe [% m,S-Feed]
<b>Presskuchen</b>						
Frischmasse	85,92	94,56	#DIV/0!	72,13	61,83	95,40
Silage	86,28	95,71	#DIV/0!	104,00	64,50	93,33
<b>Presssaft</b>						
Frischmasse	21,38	5,44	#DIV/0!	65,97	61,39	-3,27
Silage	27,96	4,29	#DIV/0!	62,70	51,81	-8,62
<b>Bilanzabweichung</b>						
Frischmasse	-7,30	0,00	#DIV/0!	-38,10	-23,22	7,87
Silage	-14,25	0,00	#DIV/0!	-66,70	-16,30	15,29
<b>Summe</b>						
Frischmasse	100,00	100,00	#DIV/0!	100,00	100,00	100,00
Silage	100,00	100,00	#DIV/0!	100,00	100,01	100,00

*Tab. C-6: Mittelwerte für Abtrennggrade nur auf Basis der plausibel erscheinenden Messwerte, d.h. fehlerhaft scheinende Messwerte (Analysefehler) sind in dieser Mittelwertbildung NICHT einbezogen. Als Folge davon weichen die jeweiligen Summen vom jeweiligen TS-Gesamtmassenstrom etwas ab.*

Gras-probe	Roh-protein <sup>1)</sup> [% m,RP-Feed]	Roh-faser <sup>1)</sup> [% m,RF-Feed]	Milch-säure <sup>2)</sup> [% m,MS-Feed]	Gesamt-zucker <sup>3)</sup> [% m,Z-Feed]	Roh-asche <sup>4)</sup> [% m,RA-Feed]	Sonstige Stoffe <sup>1)</sup> [% m,S-Feed]
<b>Presskuchen</b>						
Frischmasse	85,92	94,56	/	40,02	63,05	95,40
Silage	86,28	95,71	55,27	60,58	65,81	93,33
<b>Presssaft</b>						
Frischmasse	21,38	5,44	/	32,22	45,97	-3,27
Silage	27,96	4,29	48,56	37,52	43,23	-8,62
<b>Bilanzabweichung</b>						
Frischmasse	-7,30	0,00	/	27,76	-9,03	7,87
Silage	-14,25	0,00	-3,83	1,90	-9,04	15,29
<b>Summe</b>						
Frischmasse	100,00	100,00	/	100,00	99,99	100,00
Silage	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

1) Mittelwert aus 5 Frischmasseproben FM1-5 bzw. aus 9 Silageproben S1-9.

2) Mittelwert aus 6 Silageproben S1,2,4-6,9.

3) Mittelwert aus 4 Frischmasseproben FM2-5 bzw. aus 8 Silageproben S1,3-9.

4) Mittelwert aus 4 Frischmasseproben FM2-5 bzw. aus 8 Silageproben S1-6,8,9.