

Grüne Bioraffinerie Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer nachhaltigen Kulturlandschaftsnutzung

S. Kromus, M. Narodoslawsky, C. Krotscheck

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

18/2002

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

Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer
nachhaltigen Kulturlandschaftsnutzung

BBK/Projekt 2000/2002

S. Kromus, M. Narodoslowsky, C. Krotscheck

Kornberginstitut

Feldbach, April 2002

Projektteam

| Autoren | Institution | Adresse |
|--|---|---|
| C. Krotscheck, S. Kromus, W. Koschuh | Kornberg Institut, Steirisches Vulkanland Regionalentwicklung GmbH | Haus der Region Feldbach Dörfel 2 A-8330 Kornberg (ckrotscheck@imzentrum.at) |
| M. Narodoslawsky | Institut für Grundlagen der Verfahrenstechnik und Anlagentechnik, TU-Graz | Inffeldgasse 25 A-8010 Graz (braunegg@glvt.tu-graz.ac.at) |
| K. Buchgraber, R. Resch | Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft (BAL) - Gumpenstein | A-8952 Irdning (karl.buchgraber@bal.bmlf.gv.at) |
| H. Danner, M. Neureiter, S. Frühauf | IFA-Tulln; Abt. für Umweltbiotechnologie | Konrad Lorenz Str. 20 A-3430 Tulln (neureite@ifa-tulln.ac.at) |
| G. Braunegg, R. Bona, E. Wallner, M. Koller | AG Angewandte Physiologie, Institut für Biotechnologie, TU- Graz | Petersgasse 12 A-8010 Graz (braunegg@biote.tu-graz.ac.at) |
| W. Graf | ARGE Biogas | Blindengasse 4/10-11 A-1080 Wien |
| H. Steinmüller | wpa-Linz, Dr. Steinmüller Technisches Büro für Technische Chemie | Käfergutstraße 32 A-4020 Linz (tb.steinmueller@aon.at) |
| B. u. M. Kamm | Inst. f. Org. Chemie u. Strukturanalytik, Org. Synthesechemie, Univ. Potsdam | Forschungsstandort Teltow- Seehof Kantstraße 55 D-14513 Teltow (kamm@rz.uni-potsdam.de) |
| K. Richter, C. Idler, W. Reimann | Institut für Agrartechnik, Bornim | Max-Eyth-Allee 100 D-14469 Potsdam-Bornim (krichter@atb-potsdam.de) |
| P. Trinkaus, H. Berghold, M. Reinhofer, A. Schwendt, E. Steinlechner | Joanneum Research – Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung | Elisabethstraße 16-18/I A-8010 Graz (peter.trinkaus@joanneum.at) |

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|-----------|
| Inhaltsverzeichnis | 1 |
| Zusammenfassung | 6 |
| Die Grüne Bioraffinerie der Zukunft | 10 |
| 1 Einleitung | 16 |
| 1.1 BBK-Projekt "Grüne Bioraffinerie" | 16 |
| 2 Geschichtliche Entwicklung der Grünen Bioraffinerie | 18 |
| 2.1 Europa | 18 |
| 2.2 Österreich | 18 |
| 2.2.1 Versuche zu Gras als Lignozelluloserohstoff | 19 |
| 2.2.2 Weitere Entwicklung der Bioraffinerie in Österreich | 20 |
| 3 Die Grüne Bioraffinerie Österreich ein integriertes System zur Nutzung von Wiesengrünmasse und Silage | 21 |
| 4 Grundlagen für die Bewertung von Technologie und Wirtschaftlichkeit | 24 |
| 4.1 Rahmenkonzept – GBR Anordnung | 24 |
| 4.1.1 Definition der Modellvariante im Rahmen des BBK-Projekts | 25 |
| 4.2 Definition von Grüne Bioraffinerie Modulen (Process-Units) | 26 |
| 4.2.1 Biogasreferenzanlage – Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung | 27 |
| 4.2.2 GBR MODULE – Process Units | 33 |
| 4.2.3 MODUL 1-1 und MODUL 1-2 – Rohstoffe – Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung | 35 |
| 4.2.4 MODUL 2-1 und 2-2 – Fraktionierung – Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung | 37 |
| 4.2.5 MODUL 3-1 und 3-2 – Proteinogene Produkte – Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung | 41 |
| 4.2.6 MODUL 4 – Produkte aus Milchsäure (SJ) – Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung | 44 |
| 4.2.7 MODUL 5-1 und 5-2 – Presskuchenverwertung – Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung | 46 |
| 5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung – Grüne Bioraffinerie | 48 |
| 5.1 Grundüberlegungen | 48 |
| 5.2 Ermittlung der Rohstoffkosten | 49 |
| 5.3 Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Bioraffinerie | 53 |
| 5.4 Basisvariante Grasverwertung in Biogasanlage | 54 |
| 5.5 Verwertung von Wiesengrünmasse | 56 |
| 5.5.1 Erzeugung von Protein aus Presssaft von Wiesengrünmasse | 56 |
| 5.5.2 Nutzung von Presssaft als Fermentationsrohstoff | 58 |
| 5.5.3 Nutzung von Presskuchen als Faserrohstoff bzw. Futtermittel | 59 |
| 5.5.4 Gesamtnutzung von Presssaft und Presskuchen | 60 |
| 5.6 Verwertung von Silage | 64 |
| 5.6.1 Milchsäuregewinnung | 64 |
| 5.6.2 Verwertung des Presssaftes als Fermentationslösung | 66 |
| 5.7 Zusammenfassung | 67 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6 | Rohstoffe für eine Grüne Bioraffinerie – MODUL 1-1 und 1-2 | 71 |
| 6.1 | Dauerwiesen | 72 |
| 6.1.1 | Kräuter im Dauergrünland | 72 |
| 6.1.2 | Erträge im Dauergrünland | 72 |
| 6.2 | Wechselwiesen (Feldfutterbau) | 73 |
| 6.3 | Sämereiwiesen | 73 |
| 6.4 | Luzerne Bestände | 73 |
| 6.5 | Düngung von Wiesen und Grünfutterflächen | 74 |
| 6.5.1 | Kleereiche Mischbestände | 74 |
| 6.5.2 | Gräserreiche Bestände und Grasreinbestände | 74 |
| 6.6 | Bearbeitung und Ernte – Grünschnitt und Silagebereitung für eine Grüne Bioraffinerie | 75 |
| 6.7 | Auswahl von Silagestartern (Milchsäurebakterien) für Bioraffinerie Versuche – Milchsäureproduktion in der Silage | 76 |
| 6.7.1 | Auswahl der geeigneten Silagestarterkulturen anhand der stoffwechselphysiologischen Charakterisierung von Isolaten | 77 |
| 6.7.2 | Vergleich des Fermentationsverhalten der Einzelstämme im Labormaßstab | 77 |
| 6.7.3 | Definierung der Mischungen und Überprüfung der Wirksamkeit im Labormaßstab | 79 |
| 6.7.4 | Fermentation der Teststämme im Pilotmaßstab und Abmischung der gebrauchsfertigen Silagestarter | 81 |
| 6.7.5 | D- und L-Milchsäureproduktion | 81 |
| 6.7.6 | Schlussfolgerungen | 82 |
| 6.8 | Rohstoff-Versuche im Rahmen des BBK Projekts – Saison 2000 | 83 |
| 6.8.1 | Bevorzugte Flächen für die GBR Rohstoff-Versuche in Feldbach | 83 |
| 6.8.2 | Versuchsflächen 2000: Wiesen in Feldbach | 83 |
| 6.8.3 | Klimatische Bedingungen des Jahres 2000 | 83 |
| 6.8.4 | Ertragsproben 2000 | 85 |
| 6.8.5 | Silagebereitung 2000 | 85 |
| 6.8.6 | Silageanalytik 2000 | 87 |
| 6.8.7 | Zusammenfassung der Versuchsergebnisse 2000 | 88 |
| 6.9 | Rohstoff-Versuche im Rahmen des BBK Projekts – Saison 2001 | 96 |
| 6.9.1 | Klimatische Bedingungen des Jahres 2001 | 96 |
| 6.9.2 | Ertragsproben und Silagebereitung 2001 | 97 |
| 6.9.3 | Silageanalytik 2001 | 98 |
| 6.9.4 | Zusammenfassung der Versuchsergebnisse 2001 | 98 |
| 6.10 | Zusammenfassende Diskussion der Feldversuche 2000 und 2001 | 105 |
| 7 | Fest/Flüssig Fraktionierung von Wiesengrünmasse und Silage – MODUL 2-1 und 2-2 | 107 |
| 7.1 | Zustand des Rohmaterials | 107 |
| 7.1.1 | Zusammensetzung der Wiesengrünmasse allgemein in Österreich | 107 |
| 7.2 | Vorbehandlung des Rohstoffs (Zerkleinerung – Zellaufschluss) | 108 |
| 7.2.1 | Zerkleinerungstechnik | 108 |
| 7.2.2 | Desintegration oder Zellaufschluss – Modul 2-1; Proteingewinnung aus Wiesengrünmasse | 109 |
| 7.3 | Presstechnik Modul 2-1 und 2-2 | 111 |
| 7.4 | Pressversuche im Rahmen der Grüne Bioraffinerie Forschung | 112 |
| 7.4.1 | Pressversuch I – Herbst 2000 | 112 |
| 7.4.2 | Pressversuch II – März 2001 (im Rahmen "Fabrik der Zukunft") | 113 |
| 7.4.3 | Pressversuch III – Mai bis September 2001 (im Rahmen "Fabrik der Zukunft") | 113 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 7.5 | Schlussfolgerungen zu Modul 2-1- und 2-2 | 115 |
| 8 | Proteine, Peptide und Aminosäuren als Produkte einer Grünen Bioraffinerie – MODUL 3-1 A und 3-2 C | 117 |
| 8.1 | Protein -Theorie | 118 |
| 8.2 | Proteinuntersuchungen im Rahmen des BBK-Projekts | 120 |
| 8.3 | Grassaft, Inhaltsstoffe – GJ – MODUL 3-1 A | 121 |
| 8.3.1 | Stickstoffverbindungen im Grassaft | 122 |
| 8.3.2 | Gesamtanalytik | 126 |
| 8.4 | Technologien zur Proteinabtrennung aus Presssäften – MODUL 3-1 A | 127 |
| 8.4.1 | Hitzekoagulation und Zentrifuge – France Luzerne | 127 |
| 8.4.2 | Hitzekoagulation und Zentrifuge | 130 |
| 8.4.3 | Ultrafiltration | 130 |
| 8.4.4 | Ausbeuten | 131 |
| 8.5 | Produkte einer GBR aus GJ | 133 |
| 8.5.1 | Proteinkonzentrat als Futtermittel | 133 |
| 8.5.2 | Chemische Zusammensetzung | 136 |
| 8.5.3 | Rohproteingehalt | 136 |
| 8.5.4 | Aminosäuren, biologische Wertigkeit | 136 |
| 8.6 | Potenzielle Spezialprodukte aus Grünem Saft | 137 |
| 8.6.1 | Functional Feed 1 – Enzymaktives Futtermittel | 137 |
| 8.6.2 | Functional Feed 2 – Prebiotisches Futtermittel | 137 |
| 8.6.3 | Functional Food – prebiotischer Ballaststoff – synbiotische Lebensmittel | 138 |
| 8.6.4 | Rubsico | 138 |
| 8.6.5 | Aminosäuren aus GJ | 138 |
| 8.7 | Silagepresssaft (SJ) – MODUL 3-2 | 138 |
| 8.7.1 | Gesamtanalytik | 139 |
| 8.7.2 | Proteinabtrennung – MODUL 3-2 C | 140 |
| 8.7.3 | Produkte aus SJ im Rahmen der GBR | 141 |
| 8.8 | Diskussion der Versuchsergebnisse (GJ u. SJ) | 142 |
| 9 | Teilentproteiniertes GJ und SJ als Fermentationspromotor – MODUL 3-1 B und 3-2 D (3-2 D integriert in MODUL 4) | 143 |
| 9.1 | Material und Methoden | 143 |
| 9.1.1 | Stamm und Medium | 143 |
| 9.1.2 | Green Juice und Silage Juice UF-Permeate | 143 |
| 9.2 | Ergebnisse der Versuche mit Presssaft Permeat aus Frischgras | 144 |
| 9.2.1 | Schüttelkolbenversuche | 144 |
| 9.2.2 | Fermentationen im Bioreaktor | 145 |
| 9.3 | Ergebnisse der Fermentation mit Silagepresssaft Permeat | 147 |
| 9.3.1 | Allgemeines | 147 |
| 9.3.2 | Vorversuch 1 | 147 |
| 9.3.3 | Vorversuch 2 | 148 |
| 9.3.4 | Vorversuch 3 | 149 |
| 9.3.5 | Versuch im Bioreaktor | 150 |
| 9.3.6 | Weitere Eigenschaften des Silagesaft Permeats | 152 |
| 9.4 | Diskussion – GJ und SJ Permeat als Fermentationspromotor | 153 |
| 9.4.1 | Vergleich Fermentation mit GJ-Permeat und Fermentation ohne Zusatz | 153 |
| 9.4.2 | Diskussion der Versuche mit SJ-Permeat Zusatz | 154 |
| 9.5 | Teilentproteiniertes GJ und SJ als Produkt einer Grünen Bioraffinerie im Bereich industrieller Fermentationen | 154 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 10 | Herstellung von Milchsäure und Derivaten aus Silagepresssäften – | |
| | MODUL 4 | 156 |
| 10.1 | Einleitung | 156 |
| 10.2 | Herstellung von Ethyllactat | 156 |
| 10.2.1 | Produktbeschreibung – Ethyllactat | 157 |
| 10.3 | Herstellung von Dilactid | 157 |
| 10.3.1 | Produktbeschreibung Polylactid (PLA) | 158 |
| 10.4 | Weitere Produkte aus Milchsäure mit Relevanz für die Grüne Bioraffinerie | 159 |
| 10.4.1 | Milchsäure als Säuerungs- - und Konservierungsmittel | 159 |
| 10.4.2 | Milchsäure als Reinigungs- – und Desinfektionsmittel | 160 |
| 10.4.3 | Milchsäure als Futtermittelzusatz | 160 |
| 10.4.4 | Milchsäure als Neutralisationsmittel | 160 |
| 10.5 | Zu erwartende Preise von Milchsäureprodukten | 161 |
| 10.5.1 | Polymere aus Milchsäure (PLA) | 161 |
| 10.5.2 | Ethyllactat | 162 |
| 10.5.3 | Milchsäure im "Low-Price" Segment (Feed Grade 50 bis 80 %) | 162 |
| 10.6 | Spezifische Ausgangssituation für das BBK-Projekt Grüne Bioraffinerie | 162 |
| 10.7 | Entstehung der Milchsäure in Silage | 163 |
| 10.8 | Eigenschaften der Milchsäure | 163 |
| 10.9 | Herstellung und Abtrennung von Milchsäure im Rahmen des BBK-Projekts | 165 |
| 10.9.1 | Herstellung von Ethyllactat aus Silagepresssäften in Potsdam (D) | 165 |
| 10.9.2 | Versuche zur Herstellung von Aminiumlactaten | 176 |
| 10.9.3 | Zusammensetzung von Silagepresssäften – Versuche 2000 | 180 |
| 10.10 | Schlussfolgerungen und Technologische Implikationen | 185 |
| 11 | Verwertung des Presskuchens – MODUL 5-1 und 5-2 | 188 |
| 11.1 | Rohstoffzusammensetzung des Silagepresskuchens | 189 |
| 11.2 | Hydrolysereaktor | 189 |
| 11.3 | Extraktion des Rohstoffs | 189 |
| 11.4 | Versuchsplan | 190 |
| 11.5 | Durchführung der Hydrolyseversuche | 191 |
| 11.6 | Ergebnisse der Hydrolyseversuche | 192 |
| 11.7 | Versuche mit verschiedenen Silagen und Frischgräsern | 197 |
| 11.8 | Zusammenfassung der Ergebnisse | 199 |
| 12 | Biogastechnologie für eine Grüne Bioraffinerie – MODUL 6 | 200 |
| 12.1 | Ausgangspunkt – Energiepflanzenvergärung und Silagevergärung | 200 |
| 12.2 | Kriterien für eine ökonomische Bewertung | 200 |
| 12.3 | Vergleich von Fermentertechnologien für die Vergärung von Gras und Energiepflanzen | 201 |
| 12.3.1 | Zweikammersystem (ZS) | 201 |
| 12.3.2 | Propfenströmfermenter | 202 |
| 12.3.3 | Speicherdurchflusssystem mit Nachgärbehälter (TMR) | 203 |
| 12.3.4 | Systemvergleich – Geeignete Technologien für die Grüne Bioraffinerie | 203 |
| 12.3.5 | Erstellung eines techn. Anforderungsprofils von dezentralen Gemeinschaftsbiogasanlagen und Einzelbiogasanlagen für den Bereich Gras- und Energiepflanzenvergärung | 204 |
| 12.4 | Biogasertrag pro kg Trockenmasse | 205 |
| 12.4.1 | Weitere aufschlussreiche wissenschaftliche Arbeiten zum Thema Gasertrag | 209 |
| 12.5 | Abschätzung der Einsatzmöglichkeiten und Verwertung von Co-Substraten im Bereich der Gras- u. Energiepflanzenvergärung | 213 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 12.5.1 | Einsatzmöglichkeiten und Verwertung von Co - Substraten im Bereich der Gras- und Energiepflanzenvergärung. | 213 |
| 12.5.2 | Einflussfaktoren, die den Biogasprozess durch zusätzlichen Co - Substrate stören oder zum Erliegen bringen. | 214 |
| 12.5.3 | Ökonomische Bewertung von Co-Substraten | 216 |
| 12.5.4 | Strom u. Wärmeproduktion aus Biogas - die Energieverwertung muss wirtschaftlich ausgelegt sein. | 217 |
| 12.6 | Fördermöglichkeiten für Grasvergärungsanlagen | 218 |
| 12.7 | Schlussfolgerungen | 218 |
| 13 | Spezialkapitel: Untersuchungen zur Feinstofflichen Nutzung und Naturschutzfachlichen Wertigkeit von Wiesenökosystemen in der Oststeiermark | 219 |
| 13.1 | Einleitung | 219 |
| 13.2 | Methodik | 220 |
| 13.3 | Wiesennutzung aus naturschutzfachlicher Sicht | 223 |
| 13.3.1 | Die Bedeutung von Wiesen und Weiden für den Naturschutz | 223 |
| 13.3.2 | Wiesen und Weiden im Untersuchungsgebiet | 224 |
| 13.3.3 | Richtlinien für Wiesennutzung im Untersuchungsgebiet | 225 |
| 13.4 | Feinstoffliche Nutzung | 226 |
| 13.4.1 | Plantago lanceolata (Spitzwegerich) | 226 |
| 13.4.2 | Trifolium pratense (Wiesenklee) | 227 |
| 13.4.3 | Taraxacum officinale (Löwenzahn) | 228 |
| 13.4.4 | Poaceae (Süßgräser) | 229 |
| 13.4.5 | Gesamtwiesennutzung | 230 |
| 13.5 | Grasproduktion in den Bezirken Radkersburg, Feldbach, Fürstenfeld, Hartberg und Weiz | 231 |
| 13.6 | Betriebsgrößenverteilungen | 235 |
| 13.7 | Vorschläge für eine Standortauswahl | 243 |
| 14 | LITERATUR | 245 |
| 15 | ANHANG – ABKÜRZUNGEN | 255 |
| 16 | ANHANG – MODUL 1-1 und MODUL 1-2 | 257 |
| 17 | ANHANG – MODUL 2-1 und 2-2 | 286 |
| 18 | ANHANG – MODUL 3 und 4 | 288 |
| 19 | ANHANG – MODUL 5 | 298 |
| 20 | ANHANG – MODUL 6 | 305 |
| 21 | ANHANG – SPEZIALKAPITEL | 307 |

ZUSAMMENFASSUNG

Grüne Bioraffinerien sind integrierte Systeme zur ganzstofflichen Nutzung des nachwachsenden Rohstoffs Wiesengrünmasse ("Gras") bzw. Silage. Ziel ist es mittels nachhaltiger Technologien ein "Multi-Product" System aufzubauen, dass durch seine betriebswirtschaftliche Tragfähigkeit zum Erhalt der Kulturlandschaft und zur Einkommenssicherung der Landwirte beiträgt. Zur Durchführung dieses Projekts wurde ein schlagkräftiges primär österreichisches WissenschaftlerInnen-Team gebildet. Aber auch Partner aus Deutschland wurden für die Forschung an der österreichischen Variante der Grünen Bioraffinerie gewonnen.

Ziel des Projektes "Grüne Bioraffinerie" war es ein GBR Gesamtkonzept zu entwickeln, das die kleinräumige österreichische Landwirtschaft bestmöglich berücksichtigt. Durch die vorgegebene dezentrale Struktur wurde Silage als wichtiger Rohstoff identifiziert. Aufgabe war es nun diesen Rohstoff gemeinsam mit frischer Wiesengrünmasse zu erzeugen und umfassende Untersuchungen zu unternehmen, die es im Rahmen dieses Berichts erlauben eine aussagekräftige Technologiebeschreibung zu erarbeiten und ein GBR Modell zu entwickeln, das auf seine Wirtschaftlichkeit geprüft wird. Als Modellregion wurde das "Steirische Vulkanland" – als Teil der Oststeiermark.

Es wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- ⊠ Projektkoordination und Modellierung des Gesamtsystems (technologisch und wirtschaftlich)
- ⊠ Erzeugung der Rohstoffe (Wiesengrünmasse und Silage)
- ⊠ Erzeugung von geeigneten Silagestarterbakterien
- ⊠ Analytik der Rohstoffe
- ⊠ Analytik der Fraktionierungsprodukte
- ⊠ Abtrennungsversuche – Produkterzeugung
- ⊠ Potenzialanalyse der Hauptprodukte
- ⊠ Beurteilung der technischen Machbarkeit
- ⊠ Beurteilung der wirtschaftlichen Machbarkeit
- ⊠ Erhebung der ökologischen Faktoren bezüglich der Wiesen im Raum Feldbach, Stmk.
- ⊠ Potenzialerhebung der verfügbaren Wiesen in der Süd-Oststeiermark
- ⊠ Potenzialanalyse feinstofflicher Produkte (Low-Volume – High-Price)

Wiesengrünmasse birgt enormes Potenzial in Österreich. Nach Schätzungen des BAL-Gumpenstein könnten 500.000 bis 1.000.000 t TM (Tonnen Trockenmasse) Wiesengrünmasse durch geänderte Nutzungsbedingungen bis 2008 als nachwachsender Rohstoff (NAWARO) verfügbar werden. Sollte dieser Fall eintreten, so wäre der Rohstoff von der Wiese nach Holz wohl der wichtigste NAWARO in Österreich.

Wiesengrünmasse bietet allerdings nicht ein Spezialprodukt an, wie z.B. Stärke (Kartoffel, Mais) oder Zucker (Zuckerrübe), sondern zeichnet sich durch ihre Vielseitigkeit aus. Die wichtigsten Bestandteile von Gräsern sind *Zucker*, *Proteine (Aminosäuren)* und *Fasern*, aber auch *feinstoffliche Substanzen (z.B. Chlorophyll, Carotine oder Xanthophylle)* können gefunden werden.

Aufgrund der Erkenntnisse, die im Rahmen des BBK Projektes erarbeitet wurden, werden die Produkte auf ihre Wirtschaftlichkeit geprüft und dann, für Grün und Silage getrennt, ein Gesamtsystem modelliert. Als Referenzprozess (Benchmark) dient eine Biogasanlage, die zunächst mit den gesamten GBR Rohstoffen betrieben wird.

Um die Übersichtlichkeit des komplexen Systems zu gewährleisten werden Module (= Process-Units) definiert:

1. Rohstoffe - Anbau, Ernte, zum Teil Silierung mit Starterkulturen
2. Fraktionierung (Vorbereitung, Pressung)
3. Herstellung von Proteinkonzentraten (3-1 aus GJ; 3-2 aus SJ)
4. Herstellung von Milchsäure u. Derivaten aus Silagesaft
5. Herstellung von Grasfaserprodukten aus den Presskuchen
6. Umsetzung von Restströmen unterschiedlicher Zusammensetzung in einer Biogasanlage zur Erzeugung von Energie

Im Rahmen des Projekts wurden im Jahr 2000 und 2001 Feldversuche durchgeführt, um möglichst praxisnah Aussagen über die Rohstoffe einer Grünen Bioraffinerie zu erhalten. Wechselwiesen (Kleegras), Sämereiwiesen (Bastardraygras und Knaulgras) und Dauerwiesen wurden durch lokale Landwirte und dem Kornberg Institut bestellt, Ertragserhebungen durchgeführt und Silagen (Milchsäureerzeugung) mit speziellen Starterbakterien erzeugt. Das IFA-Tulln wählte die auf Milchsäureproduktion optimierten, Bakterienkulturen im Labor aus und erzeugte im Pilot-Maßstab gefriergetrocknete Silagestarter.

Die Silageerzeugung im Rahmen einer Grünen Bioraffinerie dient einerseits dazu den Rohstoff Wiesengrünmasse zu konservieren und ihn daher ganzjährig verfügbar zu halten, andererseits bietet die Silage ein wertvolles Fermentationsprodukt – die Milchsäure. Optimierte Starterkulturen bieten das Potenzial Milchsäure in Größenordnungen von 10 % i. d. TM Silage zu erzeugen.

Um wasserlösliche Produkte aus Wiesengrünmasse (Proteine) und Silage (Milchsäure) zu gewinnen ist ein Fraktionierungsschritt notwendig. Durch Vorbehandlung (Zerkleinerung bzw. Zellaufschluss) und Pressung wird das Ausgangsmaterial in einen Presssaft (Juice) und in einen faserreichen Presskuchen (~ 50 % TM) aufgetrennt. Im Presssaft befinden sich, je nach Rohstoff, die Hauptkomponenten Proteine, Zucker, Milchsäure und Asche. Durch die Fraktionierungseinheit wird die Ausbeute der im Saft gelösten Wertstoffe bestimmt. Sie stellt daher ein zentrales Modul der GBR dar.

Die BAL-Gumpenstein (Feststoff) und das IFA-Tulln (Saftphase) sorgten für umfassende und aussagekräftige Analytik. Auf Basis der Analyseergebnisse und Abtrennungsversuchen erstellten die Mitarbeiter des Kornberg Instituts eine aussagekräftige Technologiebewertung. Die These, dass Proteine aus Grünem Saft (Green Juice = GJ) und Silagesaft (Silage Juice = SJ) mit der selben Technologie abgetrennt werden können musste verworfen werden. Erste Aufreinigungsschritte der Milchsäure an der Universität Potsdam bei den deutschen Projektpartnern haben wichtige Informationen für die künftige Technologiegestaltung erbracht. Das Forscherteam erzeugte erfolgreich Ethyllactat aus einem SJ – Nanofiltrationspermeat.

Die Erkenntnisse aus den Versuchen ließen es zwingend erscheinen, dass die "Grüne Linie" und die "Silage Linie" technologisch und wirtschaftlich eigenständig bewertet werden. Ausnahme bildet die Biogasanlage, die die Reststoffe aus beiden Linien gesamt verwerten soll.

Das Institut für Biotechnologie der TU-Graz testete je ein GJ und ein SJ – Ultrafiltrationspermeat auf seine Tauglichkeit als Zuschlagsstoff in der PHA (Polyhydroxyalkanoate) Erzeugung. Die Versuche zeigten Erfolg und es kann nun davon ausgegangen werden, dass derartige Permeate, auch wenn die Milchsäure aus dem Saft abgetrennt wurde, in der Fermentationsindustrie als Promotoren eingesetzt werden können.

Die Verwertung des Presskuchens (PK) oblag im Rahmen dieses Projekts dem IFA-Tulln. Es sollte versucht werden die Presskuchen teilweise zu hydrolysieren, um gelöste Zucker zu gewinnen, die ebenfalls an die Fermentationsindustrie verkauft werden könnten. Es stellte sich allerdings heraus, dass die PKs eine derartig hohe Pufferkapazität besitzen, so dass die für die Hydrolyse notwendige pH Wert Absenkung mit Schwefelsäure nicht ausreichend stattfinden kann. Erst die Hydrolyse nach einer vorhergehenden Kaltwasserextraktion brachte brauchbare Ergebnisse. In die Wirtschaftlichkeitsberechnung fand dieses Produkt allerdings keinen Eingang, da die wirtschaftliche Lebensfähigkeit der PK Hydrolyse nicht gegeben ist. Weiterführende Forschung der Forschungsgesellschaft Joanneum (FGJ) befasst sich nun mit der direkten Verwertung des Presskuchens als z.B. Dämmstoff oder im Pflanzenbau (Vliese).

W. Graf von der ARGE Biogas erarbeitete den Biogasreferenzprozess. Sowohl Silagepresskuchen als auch ein SJ Ultrafiltrationspermeat wurde für Biogasversuche herangezogen. Die Ergebnisse zeigen, dass aus dem PK ca. 500 m³ Biogas/ t oTM und aus dem SJ-Permeat ca. 600 m³/t oTM erwartet werden können. Diese Daten flossen in die Modellierung des Biogasreferenzprozesses ein, der durch die Fa. ENTEC unterstützt wurde.

Durch das Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung des Joanneum Research in Graz wurde schließlich ein Spezialkapitel erstellt, dass sich mit der ökologischen Wertigkeit der Wiesen im Raum Feldbach auseinandersetzt. Die 10 am häufigsten gefundenen Arten wurden auf ihr feinstoffliches Potenzial hin überprüft. Zusätzlich konnte noch ausgeführt werden, wie viel Wiesengrünmasse im Raum Süd-Oststeiermark derzeit ungenutzt ist und für eine Grüne Bioraffinerie zur Verfügung stünde.

Die gesammelten Erkenntnisse fanden Eingang in Massenbilanzen und schließlich in die Modellierung der Wirtschaftlichkeit. H. Steinmüller zeigt in seinem Kapitel unter welchen Bedingungen einzelne Produkte, aber auch das Gesamtsystem wirtschaftlich sein können.

Die vorliegende Studie weist auf der Basis umfangreicher empirischer Untersuchungen und einer realistischen wirtschaftlichen Einschätzung des Potenzials der Grünen Bioraffinerie im österreichischen Kontext neue Wege zur Realisierung dieses Konzeptes. Ein wichtiger Aspekt in diesem Zusammenhang ist, dass sich Milchsäure eindeutig als Schlüsselprodukt für eine Grüne Bioraffinerie herauskristallisiert hat. Der wirtschaftliche Erfolg einer Bioraffinerie wird insbesondere davon abhängen, ob es gelingt, die Ausbeute an diesem Produkt zu optimieren. Demgegenüber tritt die Nutzung der frischen Grünmasse und die Produktion von Proteinen und Aminosäuren in ihrer Bedeutung deutlich in den Hintergrund.

Ein weiterer Aspekt, der durch die Untersuchungen zu Tage getreten ist, betrifft die Synergie mit anderen Verfahren, vor allem Verfahren zur biotechnologischen Nutzung

nachwachsender Rohstoffe. Hier zeigt sich, dass die Grüne Bioraffinerie sehr gut geeignet ist als Basis für weitere Verfahren zu dienen.

Grundsätzlich zeigt die vorliegende Studie, dass die Weiterverfolgung des Konzeptes der Grünen Bioraffinerie durchaus hohes technisches und wirtschaftliches Potenzial aufweist. Die konsequente technische Entwicklung dieses Konzeptes kann der weiteren Nutzung nachwachsender Rohstoffe wichtige Impulse geben und Österreich einen strategischen Vorsprung auf diesem Gebiet sichern.

DIE GRÜNE BIORAFFINERIE DER ZUKUNFT

Der österreichische Ausgangspunkt

Die wesentliche Aufgabe des vorliegenden Projektberichtes ist die Entscheidung über weitere technische Entwicklungen von Grünen Bioraffinerien insbesondere im österreichischen Kontext zu unterstützen. Der Bericht kann sich dabei auf umfangreiche experimentelle Grundlagen stützen, die es erlauben das wirtschaftliche Potential einer „österreichischen“ Grünen Bioraffinerie erstmals realistisch abzuschätzen. Die Ergebnisse des Projektes geben daher nicht nur eine Referenz in bezug auf den derzeitigen technischen Entwicklungszustand des Technologiesystems der Grünen Bioraffinerie wider (der in den Berichten der einzelnen Gruppen dargestellt ist), sondern bieten auch eine feste und realistische Basis für die Abschätzung des Aufwandes, der Chancen und Risiken der weiteren Entwicklung der Technologie.

Die Konzeption einer „österreichischen“ Grünen Bioraffinerie geht grundsätzlich von folgenden Prämissen aus:

- ⊘ Die Grüne Bioraffinerie muss zum landwirtschaftlichen Einkommen beitragen;
- ⊘ Die Grüne Bioraffinerie muss zur Erhaltung der Kulturlandschaft beitragen, indem sie die Bewirtschaftung von Grünland attraktiv erhält;
- ⊘ Die Grüne Bioraffinerie muss sich in die kleinteilige österreichische Landwirtschaftsstruktur eingliedern lassen;
- ⊘ Die Grüne Bioraffinerie muss einen positiven Beitrag zur wirtschaftlichen Stärkung von landwirtschaftlich ausgerichteten Regionen leisten.

Es steht außer Streit, dass die hier genannten Prämissen außerordentlich ambitioniert sind. Es steht weiters außer Streit, dass keines der herkömmlichen Konzepte der Grünen Bioraffinerie im Stande ist, diese Prämissen auch nur annähernd gemeinsam zu erfüllen. Es bedarf daher einer eigenständigen technologischen Entwicklung, um die Grüne Bioraffinerie mit Aussicht auf Erfolg in Österreich voranzutreiben.

Diese eigenständige Konzeption des Technologiesystems Grüne Bioraffinerie liegt dem vorliegenden Bericht zu Grunde. Sie geht von folgenden technischen Charakteristika aus:

- a) Zusammenspiel zwischen dezentralen Silageeinheiten und zentraler Aufarbeitung
- b) Milchsäure als Schlüsselprodukt
- c) Flexible Produktionstechnik, um dem Markt entsprechend Energie bzw. zusätzliche Produkte anbieten zu können.

ad a) Die Einpassung in die kleinteilige österreichische Landwirtschaft erfordert einen erhöhten logistischen Aufwand. Es ist daher notwendig, die Transportleistung soweit als möglich zu reduzieren. Dies führt einerseits dazu, dass Wertstoffe möglichst nah am Feld abgetrennt werden müssen. Andererseits kann die Lagerung des Rohstoffes dezentral erfolgen, wenn entsprechende Konservierung eingesetzt wird. Damit kann eine relativ kleine und billige zentrale Aufarbeitungsanlage die Produktion einer größeren Region verarbeiten, wobei der saisonale Anfall des Rohstoffes durch die dezentrale Lagerung ausgeglichen werden kann.

ad b) Als Konservierungsmethode für grüne Biomasse kommt insbesondere die Silage in Frage. Bei diesem Vorgang entsteht jedoch Milchsäure, die ihrerseits ein wertvoller Chemierohstoff mit einem aufnahmefähigen Markt ist. Presst man den Saft der Silage beim (dezentralen) Lager ab, so kann man den Presssaft in der zentralen Aufarbeitungseinheit aufarbeiten. In diesem Presssaft ist Milchsäure in technisch interessanten Konzentrationen vorhanden, sodass eine Gewinnung wirtschaftlich attraktiv erscheint. Preis und

Aufnahmefähigkeit des Marktes, ebenso wie die vielseitige Einsetzbarkeit der Milchsäure sprechen dafür, diesen Stoff als Schlüsselprodukt der Grünen Bioraffinerie zu definieren.

ad c) Grüne Biomasse ist ein komplexer Rohstoff, der neben den Zuckern, die im Vorgang der Silage zu Milchsäure vergoren werden, auch noch eine Vielzahl anderer Inhaltsstoffe zur Verfügung hält. Dabei können sowohl Energie (über die Biogasgewinnung) als auch Produkte wie Proteine oder Fasern hergestellt werden. Soll die Grüne Bioraffinerie wirtschaftlich Erfolg haben, so muss es möglich sein, die Produktpalette der jeweiligen Marktsituation anzupassen, um den größtmöglichen Ertrag zu erwirtschaften.

Diese Prämissen und die daraus folgenden technischen Charakteristika bildeten die Grundlage der Untersuchungen dieses Projektes. Um einen tragfähigen Überblick über die Potentiale dieses Technologiesystems zu erlangen wurden daher verschiedene Verwertungsschienen untersucht. Dabei wurde sowohl die Verwertung frischer Biomasse (insbesondere zur Gewinnung von Proteinen und Aminosäuren) untersucht als auch die Verwertung von Silage verfolgt. Umfangreiche Analysen der Inhaltsstoffe der verschiedenen Zwischenprodukte (Abpresssaft aus frischer Biomasse, Saft aus Silage, Presskuchen) wurden unternommen und verschiedene Verfahren zur Verwertung dieser Zwischenprodukte wurden technisch und wirtschaftlich bewertet. Die Ergebnisse wurden schlussendlich in einer umfassenden Wirtschaftlichkeitsanalyse zusammengefasst. Die technische Bewertung und die Wirtschaftlichkeitsanalyse liegen den in diesem Abschnitt vorgelegten Vorschlägen für die weitere technische Entwicklung einer österreichischen Grünen Bioraffinerie zu Grunde.

Grundsätzliche Lehren aus den Untersuchungen

Aus den Ergebnissen des Projektes können eine Reihe von Lehren gezogen werden, die für die weitere Entwicklung der Grünen Bioraffinerie von großer Bedeutung sind. Diese Lehren sollen im folgenden zusammengefasst und kommentiert werden.

Milchsäure als zentrales Schlüsselprodukt der Grünen Bioraffinerie bestätigt

Ein wesentliches Charakteristikum der Grünen Bioraffinerie ist es, dass sie aus einem komplexen Rohstoff ein breites Produktspektrum erzeugt. Im Rahmen des hier beschriebenen Projektes wurden die wirtschaftlichen Potentiale der verschiedenen möglichen Produktschienen auf der Basis empirischer Daten abgeschätzt. Milchsäure kristallisiert sich dabei als jenes Produkt heraus, das einen positiven Beitrag zur Ertragssituation einer Grünen Bioraffinerie leisten kann. Alle anderen Produktschienen (Proteine / Aminosäuren, Fasern, Futtermittel) sind derzeit entweder unwirtschaftlich oder (im Falle von Biogas) nur mit Förderung der Investition wirtschaftlich.

Neben der durch die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen dargestellten Bedeutung der Milchsäure im bestehenden Preisgefüge sind auch die Zukunftsaussichten dieses Produktes als besonders positiv einzuschätzen. Einerseits steigt der Verbrauch von Milchsäure weltweit. Andererseits profiliert sich Milchsäure immer stärker als Schlüsselprodukt einer auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden Stoffflusswirtschaft, da sie als Grundlage sehr unterschiedlicher Produktstränge (von Lebensmittelzusätzen über Lösungsmittel bis hin zu Plasten, um nur einige zu nennen) dienen kann.

Überschätzung der Protein- / Futtermittelchance

Eine Ausgangsbasis des Projektes war, dass Proteine als Grundlage für (Spezial-) Futtermittel eine tragende wirtschaftliche Rolle im Technologiesystem der Grünen Bioraffinerie spielen können. Aus diesem Grund wurden auch umfangreiche Untersuchungen mit frischer Wiesengrünmasse durchgeführt, in der Annahme, dass durch Abpressen frischer

Biomasse hochwertige Proteine für diesen Zweck gewonnen werden können. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung unterstützen diese Annahme nicht. Weder Menge noch Qualität der Proteine und Aminosäuren scheinen eine Verwertung von frischer Grünmasse zu rechtfertigen.

Überdies lässt die zukünftige Preisentwicklung auf diesem Gebiet keineswegs eine Wirtschaftlichkeit der Produktion von Proteinen und Aminosäuren aus Frischmasse erwarten. Obwohl durch den Wegfall von Tiermehl als Proteinquelle in Europa eine gewisse Eiweiß-Versorgungslücke entstanden ist, so hat das bisher keinen Einfluss auf die Preissituation von Futtermitteln im Allgemeinen. Ebenso wenig erscheint es absehbar, dass Zusatzqualifikationen von Proteinen und Aminosäuren (etwa „genfreie“ Proteine) einen Mehrpreis bedingen, der die Produktion aus Gras rechtfertigen würde. Allerdings ist vorstellbar, dass Spezialproteine, etwa aus Silagesaft, in einem anspruchsvolleren Marktsegment untergebracht werden können.

Entscheidende Bedeutung hoher Anlagenauslastung

Entsprechend der Grundkonzeption der „österreichischen“ Grünen Bioraffinerie ist die Anlagengröße beschränkt. Diese Beschränkung resultiert aus der Forderung nach möglichst kleinen Transporterfordernissen und aus der kleinräumigen und vielfältigen Struktur der österreichischen Kulturlandschaft, in der zusammenhängende große Grünlandflächen die Ausnahme bilden. Damit sind der prozesstechnischen „economy of scale“ Grenzen gesetzt. Dies bedeutet im Gegenzug, dass die Investkosten einen (im Vergleich zu anderen Verfahren) hohen Beitrag zu den Gesamtkosten liefern. Um unter diesen Bedingungen zu einem wirtschaftlichen Erfolg zu gelangen ist es notwendig, die (relativ kleinen und daher teuren) Anlagen so weit als möglich auszulasten.

Der in der österreichischen Konzeption vorgesehene Weg über die Silage als gekoppelter Lager- und Produktionsschritt erscheint vor diesem Hintergrund bestätigt zu werden. Allerdings erfordert der Betrieb der Grünen Bioraffinerie einen vollständig kontinuierlichen Betrieb der zentralen Aufarbeitung, ebenso wie der peripheren Systemteile, namentlich der Silos und vor allem der Fraktionierung (Abpressung des Saftes).

Entscheidende Bedeutung der hohen Ausbeuten

Wie in allen Verfahren, die aus nachwachsenden Rohstoffen Produkte im niedrigen und mittleren Preissegment erzeugen, spielen die Rohstoffkosten eine bedeutende Rolle für die Wirtschaftlichkeit des Systems. Im Falle der „österreichischen“ Grünen Bioraffinerie ist dieser Effekt noch dadurch verstärkt, dass dieses Technologiesystem einen Anreiz zur Erhaltung der Kulturlandschaft geben soll. Dies kann nur dann geschehen, wenn den Landwirten faire Preise für das Produkt Gras (bzw. Silage) bezahlt werden können.

Da die bisherigen Untersuchungen klar erkennen lassen, dass hochpreisige Produkte (etwa im Protein- oder Aminosäurenbereich) heute nicht wirtschaftlich realisiert werden können, muss der möglichst hohen Ausbeute besondere Bedeutung zukommen. Dies gilt vor allem für die Ausbeute am Schlüsselprodukt Milchsäure.

Hervorragende Vernetzungsmöglichkeiten mit biotechnologischen Verfahren

Die Untersuchungen im vorliegenden Projekt haben sehr klar auf die großen Synergiemöglichkeiten zwischen der Grünen Bioraffinerie und biotechnologischen Verfahren hingewiesen. Die Verwendung des Silagesaftes als Fermentationszusatz bewirkt generell Verkürzungen in der Fermentationsdauer, die teilweise drastisch sein können. Eine Koppelung der (zentralen Einheit der) Bioraffinerie mit biotechnischen Verfahren erscheint daher sinnvoll.

Struktur einer „österreichischen“ Grünen Bioraffinerie

Aus den Lehren des Projektes und aus den Grundsätzen des österreichischen Konzeptes der Grünen Bioraffinerie ergeben sich wichtige Hinweise für die zukünftige Gestaltung einer Bioraffinerie, die optimal an die Randbedingungen der österreichischen Situation angepasst sind. Die wesentlichen, neuen Kernelemente der Struktur des Technologiesystems der „österreichischen“ Grünen Bioraffinerie sind dabei:

Konzentration auf die Silageverwertung

Die Untersuchungen haben ergeben, dass für absehbare Zeit die Nutzung frischer Biomasse (mit der Herstellung von Proteinen und Aminosäuren als Schlüsselprodukt) nicht mit Aussicht auf wirtschaftlichen Erfolg verfolgt werden kann. Demgegenüber erscheint die Nutzung von Grassilage (und die damit verbundene Konzentration auf die Produktion von Milchsäure) erfolgversprechend. Dies ergibt sich insbesondere aus der Beachtung der österreichischen Randbedingungen (etwa der kleinräumigen Landwirtschaft), aber auch aus den wirtschaftlichen Analysen, die für die Produktklasse der Futtermittelzusätze keine dem Aufwand entsprechende Erlöse erwarten lässt.

Intensivierung der Milchsäure-Produktion

Da sich herausgestellt hat, dass Milchsäure das Schlüsselprodukt der Grünen Bioraffinerie ist und auch auf absehbare Zeit bleiben wird, ist es erforderlich die Produktion von Milchsäure weiter zu intensivieren. Dies kann dadurch erfolgen, dass der Silagevorgang stufenweise durchgeführt wird. Im einzelnen bedeutet das, dass nach Abpressung der Rest der Silagemasse einer neuerlichen Milchsäurefermentation unterworfen wird. Dazu muss diesem Rest eine neue Starterkultur zugeführt werden, die auch Cellulaseproduzenten beinhaltet. Mit Hilfe dieser Mikroorganismen soll der Aufschluss der Zellulose verstärkt werden. Damit wird der Rohstoff stärker genutzt und mehr Milchsäure erzeugt. Gleichzeitig werden auch die Lagersilos besser ausgenutzt, was zu einer weiteren Verbesserung der Kostenstruktur beitragen wird. Darüber hinaus ist es auf diese Art möglich, die ganzjährige Nutzung der zentralen Aufarbeitungseinheit sicherzustellen.

Koppelung der Grünen Bioraffinerie mit biotechnologischen Verfahren

Der Saft, der aus der Silage abgetrennt wird, eignet sich auch nach Entfernung der Milchsäure hervorragend für den Einsatz in biotechnologischen Verfahren als Stickstoffquelle, wobei er zusätzlich Vorteile für die Fermentationskinetik aufweist. Da bei direktem Einsatz dieses Saftes vor Ort (also direkt im Anschluss an die zentrale Aufarbeitung) die weitere Aufarbeitung wesentlich vereinfacht werden kann, ist auch hier mit Kosteneinsparungen zu rechnen, die den Restsaft wirtschaftlich interessant erscheinen lassen. Im Zusammenwirken mit einer billigen Kohlenstoffquelle kann hier fast die gesamte Bandbreite der biotechnischen Produkte erzeugt werden.

Von besonderem Interesse ist hier in erster Linie natürlich die Herstellung der Starterkulturen für die Weiterfermentation der Silage in den dezentralen Lagersilos. Freie Kapazitäten der Fermentationsanlage können aber auch zur Produktion von anderen Produkten wie Fetthefen (etwa zur Herstellung von Biodiesel) oder von Ethanol (etwa zur Herstellung von Treibstoffen) genutzt werden. Auch spezielle Anwendungen (etwa die Herstellung von Bioplasten) sind denkbar.

Nutzung der überschüssigen Aminosäuren zu Futterzwecken

Obwohl die primäre Produktion von Futtermittel aus dem Saft von frischer Wiesengrünmasse nicht erfolgversprechend erscheint, ist die Restnutzung des Silagesaftes nach der

Gewinnung der Milchsäure nach den vorliegenden Ergebnissen interessant. Hier kann durch Eindampfung ein Futtermittel erzeugt werden, das durchaus in der regionalen Landwirtschaft Absatz finden kann.

Weitere Entwicklungsschritte

Pilotanlage für eine „Kern-Bioraffinerie“

Für die weitere Entwicklung der Grünen Bioraffinerie ist es notwendig, zumindest den Kern einer Bioraffinerie im Pilotmaßstab zu realisieren. Dieser Kern umfasst insbesondere die Silage (die auch dezentral dargestellt werden kann) und die Fraktionierung. Diese Anlage muss so gestaltet sein, dass eine Eingliederung weiterer Aufarbeitungsschritte (Milchsäureabtrennung, Aminosäuregewinnung, Reduktion des Silagesaftes, biotechnische Weiterverarbeitung des Restsaftes, etc.) in der Folge möglich ist. Eine Anbindung an eine Biogasanlage ist dabei wünschenswert. Damit kann, den Fortschritten der weiteren und parallel dazu durchgeführten Entwicklung entsprechend, eine Gesamtpilotanlage schrittweise aufgebaut werden.

Die Notwendigkeit für eine solche Kern-Pilotanlage ergibt sich daraus, dass für alle weiteren Entwicklungen entsprechende Mengen von Silagesaft und dem festen Rückstand nach der Abpressung des Saftes erforderlich sind, die im Labormaßstab nicht erzeugbar sind.

Effiziente Trennverfahren für Milchsäure

Aus den Ergebnissen des Projektes folgt, dass eine Grüne Bioraffinerie im österreichischen Kontext insbesondere durch die Produktion von Milchsäure definiert ist. Dies erfordert verstärkte Anstrengungen im Bereich der Trenntechnik für Milchsäure, da nur durch eine effiziente und kostengünstige Aufarbeitungstechnologie der wirtschaftliche Erfolg sicher gestellt werden kann.

Hier muss technische Entwicklung ansetzen, wobei zuerst ein umfassendes Technologiescreening erforderlich ist. Verschiedene Membranverfahren, aber auch Fällungsverfahren mit verschiedenen Hilfsstoffen müssen hier verglichen und optimiert werden.

Diese Forschungs- und Entwicklungsaufgabe ist jedoch in einem größeren Rahmen zu sehen. Da Milchsäure in jedem Falle als Schlüsselprodukt einer zukünftigen Nutzung nachwachsender Rohstoffe zu sehen ist, hat die Trenntechnik für diese Produkt hohe Priorität und kann durchaus auch auf andere Herstellungsverfahren (etwa im Rahmen der klassischen Fermentation) angewandt werden. Diese Entwicklungsvorhaben ist in enger Zusammenarbeit mit der einschlägigen österreichischen Industrie (insbesondere aus dem Bereich der Verfahrenstechnik und des Anlagenbaues) durchzuführen, um eine möglichst reibungslose Übertragung des Wissens in die Praxis zu gewährleisten.

Entwicklung der „Nachsilage“

Die Nachnutzung des festen Rückstandes aus der Abpressung des Silagesaftes kann eine wesentliche Verbesserung der wirtschaftlichen Chancen einer Grünen Bioraffinerie ergeben. Hier muss eine entsprechende technische Entwicklung ansetzen, die Verfahrensparameter (insbesondere im Sinne des Zusammenwirkens von Cellulase-Produzenten und Milchsäurebakterien) abklärt. Hier ist die Zusammenarbeit zwischen biotechnologischen Forschungseinrichtungen und Firmen, die sich intensiv mit der Steuerung von Silage beschäftigen, zu suchen.

Weitere Produktentwicklungen

Neben diesen Entwicklungsaufgaben müssen auch andere Produktschienen weiter und intensiver verfolgt werden. Dies betrifft insbesondere die Frage der **Nutzung der Fasern** aus dem Silagerückstand, aber auch die Frage der **Nutzung weiterer Inhaltsstoffe**. Zu diesen Inhaltsstoffen zählen auch die Aminosäuren des Silagesaftes. Produktchancen vom Spezialfuttermittel bis zum Kosmetikwirkstoff können hier identifiziert werden.

Grundsätzlich zeigt die vorliegende Studie, dass die Weiterverfolgung des Konzeptes der Grünen Bioraffinerie durchaus hohes Potential aufweist. Dies betrifft sowohl die wirtschaftliche Umsetzung, die in einem Zeitraum der nächsten fünf Jahre ins Auge gefasst werden kann, als auch den Wissensgewinn, der für viele andere Verfahren auf der Basis nachwachsender Rohstoffe (Stichwort Milchsäure-Trennverfahren) nutzbar ist. Die konsequente technische Entwicklung dieses Konzeptes kann der weiteren Nutzung nachwachsender Rohstoffe wichtige Impulse geben und Österreich einen strategischen Vorsprung auf diesem Gebiet sichern

1 EINLEITUNG

Wiesengrünmasse und andere "Grüne Biomassen", wie z.B. Ernterückstände von Feldfrüchten beinhalten einen beträchtlichen Reichtum an Wertstoffen. Es existieren derzeit Ansätze, "Gras" in Zukunft nicht nur als Energiequelle, sondern auch als Rohstoff für Lebensmittel, Kosmetik- und Pharmaprodukte, zur Produktion von Chemikalien und biogenen Werkstoffen, wie Kunststoff und Verpackungsmaterial zu nutzen. Die Pflanzenfasern liefern den Ausgangsstoff für Dämmmaterial, Vliese oder Panele. Die Verarbeitung von Wiesengrünmasse wird in sogenannten „Grünen Bioraffinerien“ durchgeführt. Grüne Bioraffinerien sind kleine bis mittelgroße Systeme, die von Landwirten oder/und Klein- und Mittelunternehmern betrieben werden.

1.1 **BBK-Projekt "Grüne Bioraffinerie"**

Ziel des Projektes "Grüne Bioraffinerie" war es ein GBR Gesamtkonzept zu entwickeln, das die kleinräumige österreichische Landwirtschaft bestmöglich berücksichtigt. Durch die vorgegebene dezentrale Struktur wurde Silage als wichtiger Rohstoff identifiziert. Aufgabe war es nun diesen Rohstoff gemeinsam mit frischer Wiesengrünmasse zu erzeugen und umfassende Untersuchungen zu unternehmen, die es im Rahmen dieses Berichts erlauben eine aussagekräftige Technologiebeschreibung zu erarbeiten und ein GBR Modell zu entwickeln, das auf seine Wirtschaftlichkeit geprüft wird.

Als Modellregion wurde das "Steirische Vulkanland" – Bezirk Feldbach ausgewählt. In diesem Teil der Steiermark könnte eine Grüne Bioraffinerie einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Kulturlandschaft leisten.

Es konnten einige engagierte Landwirte zur Mitarbeit gewonnen werden.

Es wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- ⌘ Projektkoordination und Modellierung des Gesamtsystems (technologisch und wirtschaftlich)
- ⌘ Erzeugung der Rohstoffe (Wiesengrünmasse und Silage)
- ⌘ Erzeugung von geeigneten Silagestarterbakterien
- ⌘ Analytik der Rohstoffe
- ⌘ Analytik der Fraktionierungsprodukte
- ⌘ Abtrennungsversuche – Produkterzeugung
- ⌘ Potenzialanalyse der Hauptprodukte
- ⌘ Beurteilung der technischen Machbarkeit
- ⌘ Beurteilung der wirtschaftlichen Machbarkeit
- ⌘ Erhebung der ökologischen Faktoren bezüglich der Wiesen im Raum Feldbach, Stmk.
- ⌘ Potenzialerhebung der verfügbaren Wiesen in der Oststeiermark
- ⌘ Potenzialanalyse feinstofflicher Produkte (Low-Volume – High-Price)

Das Projektteam wird in Tabelle 1 vorgestellt. Das Projekt wurde zusätzlich von regionalen Betrieben unterstützt.

Tab. 1: Projektteam – BBK Projekt "Grüne Bioraffinerie"

| Institution | Person(en) | Aufgabe/Thema |
|--|--|--|
| Kornberg Institut, Steirisches Vulkanland Regionalentwicklung GmbH | C. Krotscheck, S. Kromus, W. Koschuh | Projektmanagement, Ernte und Betreuung der Felder in Feldbach; Rohstofflogistik, Proteinabtrennung, MS Abtrennung, Modellierung des Gesamtprozesses (GBR) |
| Institut für Grundlagen der Verfahrenstechnik und Anlagentechnik, TU-Graz | M. Narodoslowsky | |
| Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft (BAL) - Gumpenstein | K. Buchgraber, R. Resch | Basisdaten zu Grünland, Silage und Futterqualität sowie zur Lagerhaltung, Ernte und Betreuung der Wiesen in Buchau, Basisanalytik der feststoffl. Proben |
| IFA-Tulln; Abt. für Umweltbiotechnologie | H. Danner, M. Neureiter, S. Frühauf | Auswahl der Starterkulturen (Mikrobiologische Betreuung), Teilhydrolyse des Presskuchens, Analytik des Presssaftes |
| Inst. f. Biotechnologie, TU-Graz | G. Braunegg, R. Bona, E. Wallner, M. Koller | allgemeine Fermentationseigenschaften des Presssaftes, PHB Fermentation, Analytik |
| ARGE Biogas (Grass Power®) | W. Graf | Biogastechnologie; Einzelne Gärversuche – Referenzprozess "Biogas" |
| WPA-Linz, Dr. Steinmüller Technisches Büro f. Techn. Chemie | H. Steinmüller | Erfahrungen aus Projekten der Einjahrespflanzennutzung, Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, interne Projektkontrolle, Unterstützung im Bereich der Logistikentwicklung |
| Inst. f. Org. Chemie u. Strukturanalytik, Org. Synthesechemie, Univ. Potsdam (D) | B. u. M. Kamm | Beratung, Milchsäureabtrennung, Aminiumlactatherstellung |
| Institut für Agrartechnik, Bornim (D) | K. Richter, C. Idler, W. Reimann | Presssaftaufbereitung (UF, NF); Starterkulturen - Feldversuche |
| Joanneum Research – Inst. f. Umweltgeologie und Ökosystemforschung | P. Trinkaus, H. Berghold, M. Reinhofer, A. Schwendt, E. Steinlechner | Untersuchungen zur feinstofflichen Nutzung und naturschutzfachlichen Wertigkeit von Wiesenökosystemen im Bezirk Feldbach |

2 GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG DER GRÜNEN BIORAFFINERIE

2.1 *Europa*

Die Wurzeln der Grünen Bioraffinerie gehen zurück in das 18. Jahrhundert (Pirie, 1987), als zum ersten Mal Proteine aus einer Gras-Klee-Mischung abgetrennt wurden. Seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts wird weltweit Forschung auf dem Gebiet der "Leaf Protein Concentrates" (LPC) (Pirie 1987), (Telek and Graham 1983) betrieben, wobei Gras bzw. Luzerne als Rohstoff eine wesentliche Rolle spielen. Als Hauptprodukt wurde ein weißes Proteinkonzentrat angestrebt, das zum überwiegenden Teil aus Ribulose-1,5-bisphosphat carboxylase/oxygenase (Rubisco; EC 4.1.1.399) besteht. Ursprünglich war gedacht, mit diesem Proteinkonzentrat den Hunger in der Welt zu bekämpfen. Federführend waren der Brite N. W. Pirie (Pirie 1987), (Pirie 1966) und R. Carlsson aus Schweden (Kamm und Kamm 1998). Jedoch hat sich die Technologie in diesem Sinn nicht durchsetzen können, denn die für den menschlichen Verzehr erforderliche Reinheit konnte nicht erreicht werden.

Seit den späten 80er Jahren existieren jedoch in Frankreich (France Luzerne) große Anlagen zur Herstellung von grünem Futtermittelprotein aus Luzernen (engl. Alfalfa; lat. *medicago sativa*). France Luzerne hat inzwischen auch die Forschung an Humanernährung aus Luzerneprotein unter dem Stichwort "functional food" (European Commission 2000) wieder aufgenommen. Diese Proteine entstehen als "Nebenprodukt" der Futtertrockenwerke. Denn seit der Ölkrise wird in vielen Ländern vor der Trocknung im Trommeltrockner zur Energieeinsparung eine Presse vorangestellt. Die dabei endstehenden Säfte sind nicht nur reich an Proteinen, sondern eignen sich auch hervorragend als C/N-Quelle in Fermentationen. R. Carlsson (Schweden) war es, der in diesem Zusammenhang den Begriff der "Green Biorefinery" geprägt hat, denn er erkannte als erster das große Potenzial der Grünen Biomasse als nachwachsenden Rohstoff.

1990 startete Pauli Kiel (Kiel 1997) durch Anregung R. Carlssons in Dänemark die Initiative "Green Biorefinery". Die Intention des Projekts war ursprünglich die fermentative Herstellung eines L-Lysin Konzentrats, das in der Futtermittelindustrie Verwendung finden könnte. Inzwischen wurde das Konzept um eine Option erweitert, nämlich die Erzeugung von Milchsäure bzw. Ethyllactat in einer kontinuierlichen Fermentationsanlage mit Grassäften als Medium.

Seit 1996 wird an der Universität Potsdam (D) und dem Institut für Agrartechnik in Bornim (D) im Rahmen eines Grünen Bioraffinerie Forschungsschwerpunktes an einer Nutzung nachwachsender Rohstoffe zur Synthese diverser Chemikalien gearbeitet. B. und M. Kamm konnten für das österreichische Projekt als Partner gewonnen werden.

2.2 *Österreich*

Neben der Überzeugung, dass Gras-Klee-Luzerne extrem vielseitige und reichhaltige nachwachsende Rohstoffe sind, stehen beim österreichischen Projekt Grüne Bioraffinerie besonders auch ökologische und kulturlandschaftliche Elemente im Vordergrund.

Begonnen hat die "Nawaro-Gras-Forschung" in den späten 80er Jahren mit Verzuckerungsversuchen von Gras zur Produktion von Ethanol und dem Aufschluss von Grasfasern zur Papierherstellung (Steinmüller und Schneider 1991). Die Versuche wurden im Technikum der VOEST in Linz durchgeführt. Da es damals wie heute in Europa keine politischen Initiativen zur Ethanolerzeugung gab, wurde das Projekt wieder eingestellt.

2.2.1 Versuche zu Gras als Lignozelluloserohstoff

1991 wurde von H. Steinmüller und F. Schneider eine Studie mit dem Titel "Stellt Lignozellulose eine Alternative für die Österreichische Landwirtschaft dar?" vorgestellt (Steinmüller und Schneider 1991).

Im Rahmen der genannten Studie wird vom Anbau von Grünmasse zum Zwecke der Zellulosegewinnung gesprochen. Unter Grünmasse versteht man Kleegräser, Rotklee, Sommerklee, Zuckerhirse, Luzerne und Dauerwiese. Der Autor weist darauf hin, dass z.B. Raygras auch als Rohstofflieferant von Proteinen, freien Zuckern und Fasern sehr vielversprechend ist.

Die freien Zucker werden aus der Zellulose durch Säurehydrolyse oder enzymatische Verzuckerung gewonnen und einer weiteren Verwertung unterzogen.

Durch Fermentation kann man Ethanol, Hefe, aber vor allem auch organische Säuren, wie z.B. Zitronensäure oder Milchsäure gewinnen.

Als Beispiel sei hier die Verzuckerung einer Gras-Klee Mischung angeführt:

Die Mischung wurde bei 175°C 15 Minuten thermisch vorbehandelt, anschließend aufgeschlossen und händisch abgepresst. Danach folgte eine enzymatische Hydrolyse.

Tab. 2: Enzymatische Verzuckerung einer Gras/Klee Mischung (Steinmüller und Schneider 1991)

| Zuckerart | Zuckergehalt im Gras/Klee [g/100g TM] | Zuckergehalt nach Hydrolyse im Hydrolysat [g/100g TM] | Ausbeuten ^a [%] |
|---|---------------------------------------|---|----------------------------|
| Glucan | 19,2 | | |
| Glucose | 5,4 | 21,5 | 73 |
| Xylan | 4,7 | 4,9 | 96 |
| Arabinan | 1,9 | 1,2 | 57 |
| Fructose | 7,7 | 3,4 | 32 |
| Saccharose | 5,5 | | |
| ^{a)} Ausbeute = gewonnene Menge Zucker im Verhältnis zum Gesamtzuckergehalt des Rohmaterials (Gras/Klee Mischung). | | | |

In der Zeit, wo kein frisches Gras zur Verfügung steht, sollte die Anlage aus ökonomischen Gründen betrieben werden. Daher wurden auch Verzuckerungsversuche mit Grassilage durchgeführt.

Tab. 3: Enzymatische Verzuckerung einer Gras/Klee Silage (Steinmüller und Schneider 1991)

| Zuckerart | Zuckergehalt im Gras/Klee [g/100g TM] | Zuckergehalt nach Hydrolyse im Hydrolysat [g/100g TM] | Ausbeuten ^a [%] |
|---|---------------------------------------|---|----------------------------|
| Glucan | 20,5 | | |
| Glucose | | 11,1 | 49 |
| Xylan | 8,9 | | |
| Arabinan | 1,5 | | |
| Fructose | | 3,7 | |
| Xylose | | 1,0 | 10 |
| ^{a)} Ausbeute=gewonnene Menge Zucker im Verhältnis zum Gesamtzuckergehalt des Rohmaterials (Gras/Klee Mischung). | | | |

Steinmüller unternahm 1993 auch erste vielversprechende Silage-Abpressversuche im Kleinmaßstab. Die weitere Aufarbeitung der Milchsäure konnte jedoch nur theoretisch abgehandelt werden (Steinmüller 1994).

2.2.2 Weitere Entwicklung der Bioraffinerie in Österreich

1997 veranstaltete die Universität Potsdam (D) AG Grüne Bioraffinerie, das 1. Symposium zur Grünen Bioraffinerie. Dort wurde durch B. Kamm auch ein mögliches Verfahren zur Erzeugung von Dilactid aus fermentierten Grassäften und Silagesäften vorgestellt (Kamm und Kamm 1998), (Kamm, Kamm et al. 2000). Das große internationale Interesse zeigte, dass Gras, ebenso wie Klee und Luzerne, ein nachwachsender Rohstoff mit großem Potenzial ist. Angeregt durch diese Konferenz initiierten M. Narodoslawsky mit dem Verein SUSTAIN, und das Kornberg Institut, 1998 einen neuen Anlauf zu Forschungen an der Bioraffinerie Österreich (Kromus 1999). Die Ergebnisse dieser ersten Vorstudie waren vielversprechend und erhielten so große Resonanz, dass die Forschungstätigkeiten intensiviert wurden. Auch das 2. Internationale Symposium zur "Grünen Bioraffinerie" im Oktober 1999 in Feldbach (Schloss Kornberg) zeigte großes Zukunftspotenzial auf. Es wurde aber auch vor Augen geführt, dass effizientes Handeln im komplexen Bereich der Bioraffinerie europäische Zusammenarbeit erfordert.



3 DIE GRÜNE BIORAFFINERIE ÖSTERREICH EIN INTEGRIERTES SYSTEM ZUR NUTZUNG VON WIESENGRÜNMASSE UND SILAGE

Wiesengrünmasse birgt enormes Potenzial in Österreich. Nach Schätzungen des BAL-Gumpenstein könnten 500.000 bis 1.000.000 t TM (Tonnen Trockenmasse) Wiesengrünmasse durch geänderte Nutzungsbedingungen bis 2008 als nachwachsender Rohstoff (NAWARO) verfügbar werden. Sollte dieser Fall eintreten, so wäre der Rohstoff von der Wiese nach Holz wohl der wichtigste NAWARO in Österreich. Derzeit findet Wiesengrünmasse und Silage primär Verwendung als Grundfutter in der Milchviehwirtschaft. Durch geänderte EU-Förderregeln (z.B. Aufhebung der Quotenregelung für Milch) und durch weitere Intensivierungen in der Milchviehwirtschaft wird durch immer weniger Kühe die gleiche Menge an Milch zu erzeugen sein. Diese "Hochleistungstiere" benötigen allerdings weniger Grundfutter (Wiese), da die Nährstoffe immer häufiger durch "Krafftfutter" (sehr energiereiches Futter) zugeführt werden. Diese Zukunftsperspektive wird dazu führen, dass viele ursprünglich bewirtschaftete und daher offene Gebiete weiterhin mit Wald zuwachsen werden und immer mehr Grünlandflächen unproduktiv werden. Jährlich gehen in Österreich bereits jetzt rund 4.000 ha Grünland in Wald über. Die heutige Landschaft mit dem Wechsel zwischen Wald, Wiese, Weide, Alm, Ackerland, Wein- und Obstgärten ist weitgehend der landwirtschaftlichen Nutzung zu verdanken. Eine ordnungsgemäße Pflege und Erhaltung der Wiesenflächen in allen Lagen Österreichs sowie eine spezielle Betreuung wertvoller Pflanzen- und Tiergesellschaften ist demnach ein Anliegen der Kulturlandschaftserhaltung (Buchgraber 1998), (Buchgraber 2001b).

Wiesengrünmasse bietet allerdings nicht ein Spezialprodukt an, wie z.B. Stärke (Kartoffel, Mais) oder Zucker (Zuckerrübe), sondern zeichnet sich durch ihre Vielseitigkeit aus. Die wichtigsten Bestandteile von Gräsern sind *Zucker, Proteine und Fasern, aber auch feinstoffliche Substanzen (z.B. Chlorophyll, Carotine oder Xanthophylle)* können gefunden werden.

Daher stehen die genannten Inhaltsstoffe auch im Vordergrund bei dem Versuch, marktfähige Produkte aus dem vielseitigen Rohstoff zu erzeugen. Die vielversprechendsten Produkte in wirtschaftlicher und technologischer Hinsicht sind:

- ⌘ Milchsäure (aus den Zuckern), Milchsäureester bzw. Dilactid (Neutralisationsmittel, Lösungsmittel, Kosmetik, biologisch abbaubarer Kunststoff)
- ⌘ Proteine: weiß als Rubisco bzw. grün als bulk Produkt (Fermentationspromotor, Futtermittel, Klebstoff, Lackverbesserung, Lebensmittelindustrie)
- ⌘ Xanthophylle (hauptsächlich Lutein) als Bestandteil eines Proteinkonzentrats
- ⌘ Pflanzenfasern (Mulch- u. Wuchsvliese, Dämmstoffe, Futtermittel)
- ⌘ Energie (Strom, Wärme - über Biogasproduktion)



Fig. 1: Leitprodukte einer Grünen Bioraffinerie

Für die Verarbeitung von Wiesen grünmasse wird im Rahmen der Forschung und im internationalen Verbund eine neue Organisationsform geschaffen. Es sind einerseits Landwirte für die Produktion von Zwischenprodukten, und andererseits Industriebetriebe für die Produktion der Endprodukte beteiligt, die in Zukunft als Betreiberkonsortium auftreten könnten. Von Seiten der Industrie wird in den Forschungsprojekten mit Spezialisten für Proteine (Milchprodukte), Fasern, Milchsäure und Anlagenbau zusammengearbeitet. Diese Branchen sind es auch, die im Falle der Bildung eines Betreiberkonsortiums aus Landwirtschaft und Industrie den Part der Endprodukteherstellung übernehmen könnten.

Die Grüne Bioraffinerie stellt demnach ein "Multi-Product" System dar, um den Rohstoff Wiesen grünmasse und Silage mit Technologien ganzstofflich zu nutzen. Mit ganzstofflich ist gemeint, dass der Großteil der Gesamtmasse, im wesentlichen die Inhaltsstoffe Proteine, Zucker und Faserbestandteile, technologisch verwertet werden.

Dem Konzept der Grünen Bioraffinerie Österreich liegt primär die Silierung der Grünmasse zugrunde. Silierung als einfachste Variante der anaeroben Feststofffermentation bietet die Chance, Milchsäure kostengünstig zu erzeugen. Silage ist aufgrund der pH-Wert Absenkung durch die Gär säuren stabil lagerfähig und ermöglicht somit einen ganzjährigen kontinuierlichen Betrieb der Verarbeitungsanlagen. Durch die mögliche Koppelung mit Energiebereitstellung aus Biogas und der Verwertung von Co-Substraten (Gülle, Mist, biogene Abfälle) in einer Biogasanlage entsteht eine Wertschöpfungskette, die wesentlich zur Attraktivität des Konzeptes beiträgt. Für die Herstellung von einzelnen Produkten kann es aber auch von Bedeutung sein, dass ein Teil der Rohstoffmenge als frische Grünmasse (ohne Silierung) direkt Eingang in die Verarbeitungsschiene findet. Die Organisation läuft dann in dem Sinne ab, dass etwa während der Vegetationsperiode Frischmasse direkt von der Wiese verarbeitet wird, und im Winterhalbjahr mit Silage gefahren wird. Ob sich eine derartige Kombination lohnen kann ist Thema dieses Endberichts.



DIE GRÜNE BIORAFFINERIE ÖSTERREICH EIN INTEGRIERTES SYSTEM ZUR
NUTZUNG VON WIESENGRÜNMASSE UND SILAGE

Schlussendlich ist die zeitliche Abfolge der Prozessschritte so gewählt, dass sie den jahreszeitlichen Rohstoffangeboten und Anforderungen eines österreichischen Bauernhofes am besten entspricht.

4 GRUNDLAGEN FÜR DIE BEWERTUNG VON TECHNOLOGIE UND WIRTSCHAFTLICHKEIT

Aufgrund der Erkenntnisse, die im Rahmen des BBK Projektes erarbeitet wurden (siehe Kapitel zu den einzelnen Modulen), werden die Produkte auf ihre Wirtschaftlichkeit geprüft und dann, für Grün und Silage getrennt, ein Gesamtsystem modelliert.

Bezüglich der Wirtschaftlichkeitsrechnung wurden folgende Randbedingungen vereinbart:

1. Eine Grüne Bioraffinerie macht nur dann Sinn, wenn sie „wirtschaftlicher“ als die Direktverwertung der Wiesengrünmasse bzw. der Silage in einer Biogasanlage ist. Daher wird als Basisvariante (Referenz) diese Direktverwertung herangezogen.
2. Um in diesem Schritt nur den Einfluss der Verwertung des Rohstoffes zu bewerten, muss auch ein Basiskonzept hinsichtlich Ernte und Lagerung entwickelt werden, das für alle Varianten konstant gelassen wird.

4.1 Rahmenkonzept – GBR Anordnung

In Abhängigkeit davon, wie die Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft und Industrie gestaltet wird, ergeben sich unterschiedliche Organisationsformen, die sich auf die Anordnung der "Process Units" wesentlich auswirken. Die wichtigsten Faktoren für eine Entscheidung über das Organisationsprinzip sind:

- ⊘ Wo befindet sich eine Biogasanlage für Restströme (Bauernhof oder Industriebetrieb)
- ⊘ Wie sehen die Restströme für die Biogasanlage aus (z.B. nur Flüssigphase oder auch Fasern)
- ⊘ In welchem Umfang wird Frischmasse, die unmittelbar und rasch verarbeitet werden muss, in das System einbezogen



Fig. 2: Das System "Grüne Bioraffinerie" als Kooperationsmodell zwischen Landwirtschaft und Industrie

In Betracht kommen

- ☐ dezentrale
- ☐ semi-dezentrale und
- ☐ zentrale

Organisationsformen.

Dezentrale Organisation bedeutet, dass eine Biogasanlage beim Landwirt steht, eine mobile Presse und Vorreinigungsanlage (z.B. Filtration) die Bauernhöfe anfährt, und der aufkonzentrierte Saft in eine zentrale Anlage geführt und dort weiterverarbeitet wird. Die Aufarbeitung zu höherwertigem Proteinkonzentrat und Milchsäureprodukten passiert also zentral. Die jahreszeitliche Anpassung erfolgt auf die Weise, dass in der warmen Jahreszeit Wiesengrünmasse siliert wird, und nach Abschluss der Gärung abgepresst und zentral weiterverarbeitet wird. Der Festanteil kann direkt vor Ort als Futtermittel konditioniert werden, gleich zur Biogaserzeugung genutzt, oder zentral zu Fasern weiterverarbeitet werden.

Eine zentrale GBR ist so organisiert, dass der Rohstoff zur Gänze in eine zentrale Aufbereitungsanlage transportiert wird. Als dezentrales Element bleibt demnach nur mehr die Silierung direkt am Bauernhof. In diesem Fall ist selbst die Biogasanlage zentral angeordnet und kann nur bedingt mit landwirtschaftlichen Co-Substraten (Gülle, Mist, biogene Abfälle) betrieben werden (Transportaufwand). Die Fraktionierung erfolgt nun eben nicht mehr mobil vor Ort sondern stationär in der Zentrale, wo der Presssaft sofort weiterverarbeitet wird.

Dabei werden im wesentlichen Milchsäure und Proteine abgetrennt und weiterverarbeitet. Diese Variante scheint dann sinnvoll zu sein, wenn Fasern (Presskuchen) und Flüssigphase in ein und derselben Fabrik verarbeitet werden sollen, sprich wenn die einzelnen Ströme nicht auf verschiedene Produktionsstätten aufgeteilt und dort umgesetzt werden. Auch im Falle eines hohen Frischmasseanteils (Proteinherstellung) als Rohstoff scheint diese Variante sinnvoller, um hohe Produktqualität zu gewährleisten.

4.1.1 Definition der Modellvariante im Rahmen des BBK-Projekts

Aufgrund der Erkenntnisse bezüglich Technologie (Machbarkeit) und logistischen Überlegungen wurden folgende entscheidenden Punkte festgelegt und aufgrund dieser die Modellvariante für die Wirtschaftlichkeitsberechnung festgelegt:

- ☐ Die Grüne Linie (frische Wiesengrünmasse) kann nur zentral verarbeitet werden, da sehr wenig Zeit zwischen Fraktionierung und Erzeugung des Endprodukts liegen darf.
- ☐ Aus Silagesaft lassen sich Proteine nicht mit der selben Technologie abtrennen, wie aus grünem Saft. (Silagesaft wird vollständig der Milchsäureproduktion zugeordnet.)
- ☐ Die Milchsäureproduktion (Silage Linie) muss über das ganze Jahr voll ausgelastet sein.

è daraus folgt die vollständige technologische, aber nicht zwingend die örtliche, Trennung der beiden Linien (Grün und Silage).

Es wurde daher im Rahmen dieses Projektes eine Mischform von dezentral und zentral entwickelt (Fig. 3). Die Option dezentrale Aufbereitung bleibt demnach für die Silageverarbeitung aktuell und wichtig, hat aber für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zunächst untergeordnete Bedeutung und wird daher im Rahmen dieser Studie nicht einbezogen.

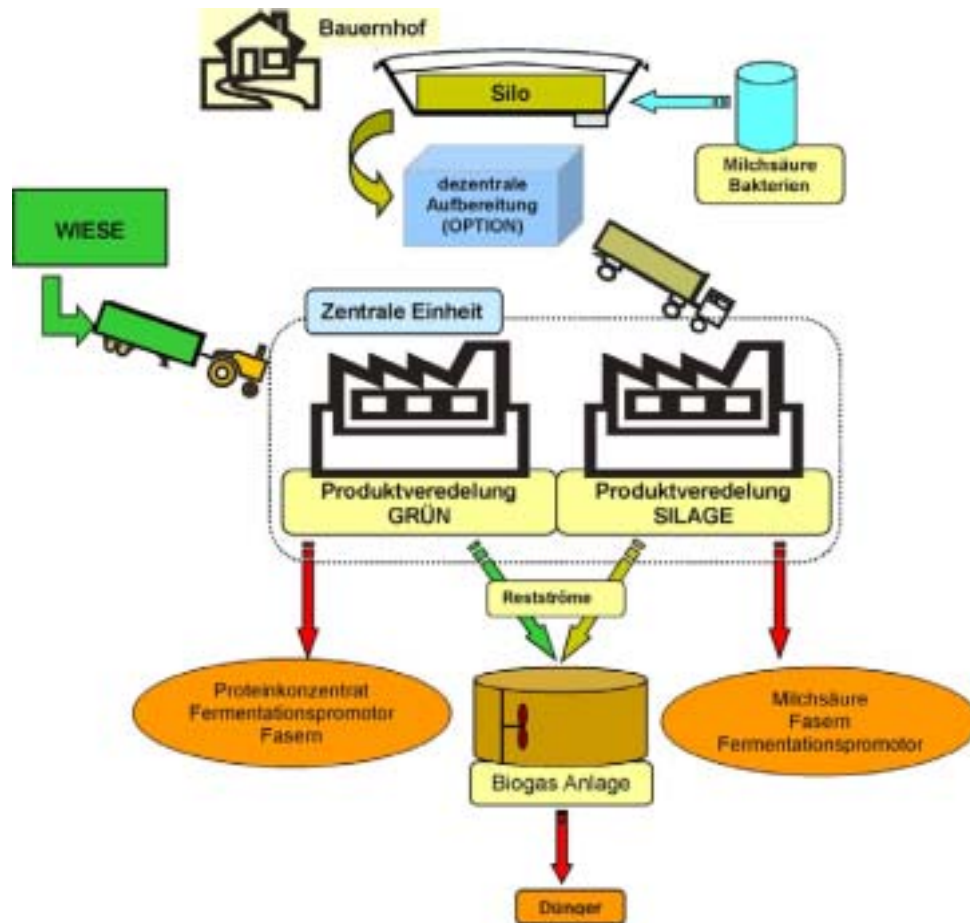


Fig. 3: Grüne Bioraffinerie Modellvariante für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

4.2 Definition von Grüne Bioraffinerie Modulen (Process-Units)

Durch die Variation der Produkte ändert sich die Zusammensetzung des Substrats, das für eine Biogasanlage zur Verfügung steht. Daher ist einer der wichtigsten Schlüssel zur Modellierung der Wirtschaftlichkeit die Erstellung einer vollständigen Bilanz auf Basis der organischen Trockenmasse. Als Referenzprozess wird eine Biogasanlage (Fa. ENTEC) definiert, die zunächst dafür ausgelegt wird die gesamte Rohstoffmenge direkt zu verarbeiten.

Für die weitere Berechnung verschiedener Varianten (Produktströme, oTM-Ströme) wurde eine MS Excel Datei erstellt. Aus der Darstellung der verschiedenen Möglichkeiten resultieren die Wirtschaftlichkeitsberechnungen in Kapitel 5.

4.2.1 Biogasreferenzanlage – Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Referenzanlage dient als Benchmark im Bereich der Wiesengrünmasse- und Silageverarbeitung. Alle weiteren möglichen Produkte werden wahlweise eingegliedert.

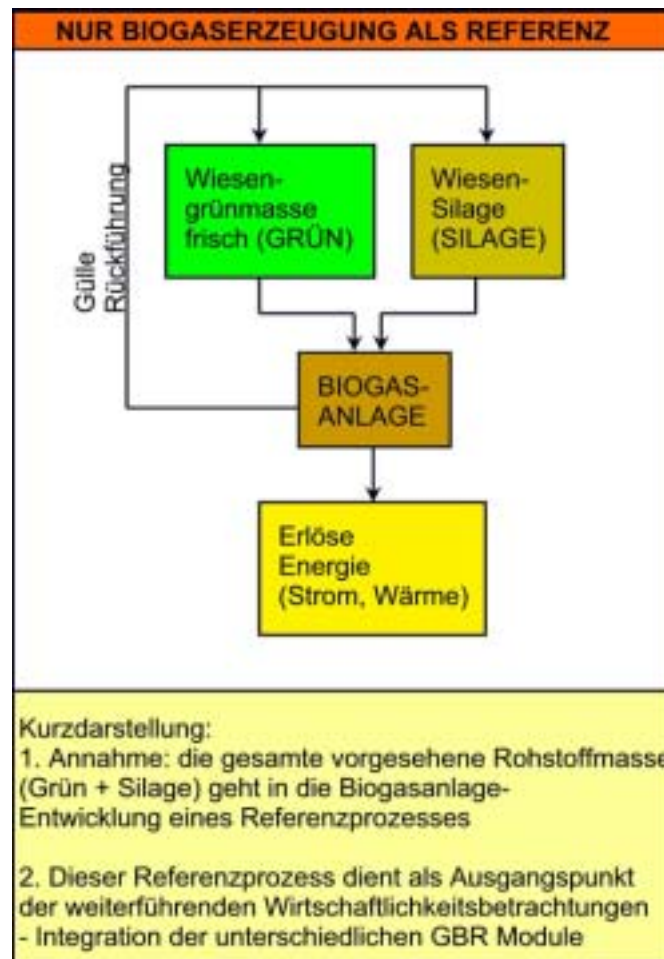


Fig. 4: Biogasanlage als GBR Referenzprozess

Grasvergärungsanlagen müssen wesentlich höhere technische Anforderungen erfüllen als herkömmliche Biogasanlagen, die mit Mist und Gülle beschickt werden. Einerseits sind die verarbeiteten biogenen Substratströme größer als in den üblichen konventionellen Biogasanlagen, andererseits ist das zugeführte biogene Substrat nicht so homogen und gleichmäßig strukturiert wie bei den meisten Biogasanlagen, die mit Gülle als Gärsubstrat arbeiten.

Als technologisch geeignete Bauformen sind in Kapitel 12 zwei mögliche Varianten beschrieben worden – der Propfenströmfermenter (PF) und das Speicherdurchflusssystem mit Nachgärbehälter (TMR). Nachdem allerdings das PF-System üblicherweise auf ein Fermentervolumen von 50 bis 150 m³ beschränkt ist und demnach keine 5000 t TM/a verarbeitet werden können schied dieses System aus. Als technologisches Referenzsystem wurde deshalb eine "GrassPower®" Anlage der Fa. ENTEC (Vlbg.) herangezogen. Es handelt sich um einen CSTR Reaktor an den ein Ablaufzwischenpeicher mit

Gasfassungssystem angeschlossen ist. Das vergorene Substrat (Biogas-Gülle) wird mittels einer Schneckenpresse abgepresst und gelagert bzw. von den Landwirten abgeholt und auf das Grünland als Dünger aufgebracht (Fig. 5). Alternativ zur Presse ist auch eine Dekanterzentrifuge vorstellbar.

Das System wurde von der Fa. ENTEC zunächst auf eine Leistung von 5000 t TM/a bei 365 Tagen Betrieb ausgelegt. Auf Basis dieser Information und weiteren Brancheninformationen über Investkosten von Biogasanlagen wurde danach eine Kurve errechnet, die für die Investitionskostenberechnung für eine Grüne Bioraffinerie herangezogen wurde (siehe Fig. 6).

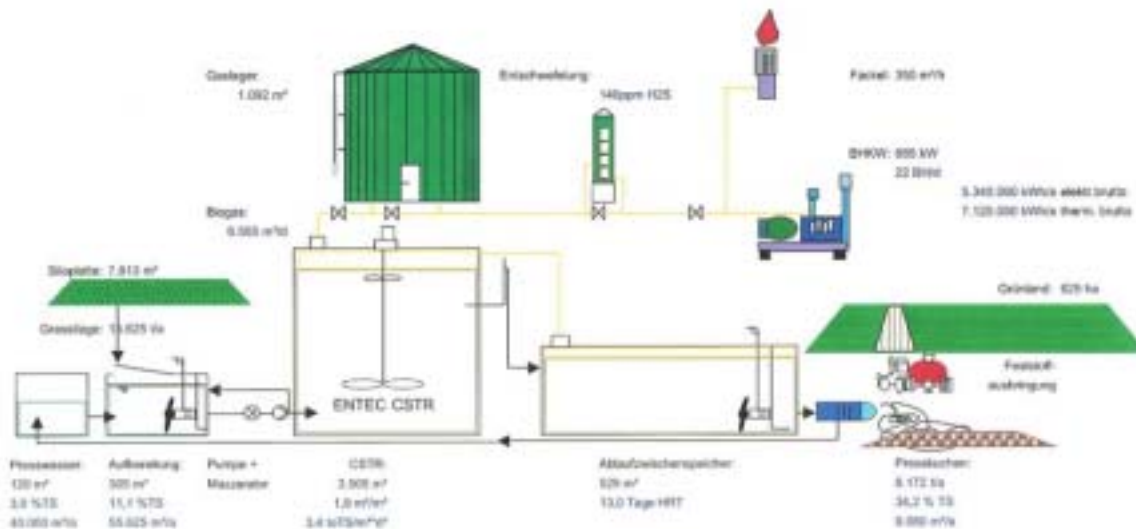


Fig. 5: Biogasanlagenschema erstellt von der Fa. ENTEC für die Vergärung von 5000 t TM im Rahmen des Projekts Grüne Bioraffinerie

Es wurde zunächst angenommen, dass ausschließlich Silage mit einem TM Gehalt von 32 % und einem oTM Gehalt von 87 % d. TM eingesetzt wird. Die Gasausbeute wurde analog zu Kapitel 12 mit 500 m³/t oTM festgelegt (Tab. 4 und 5).

Tab. 4: Ausgangsparameter für die Modellierung einer Basisbiogasanlage (5000 t TM/a Silage)

| Substrat | FM [t/a] | TM [t/a] | t FM/d | TM [%] | oTM [%] | Gasausbeute [m ³ / t oTM] | Gasproduktion [m ³ /d] |
|--------------|--------------|-------------|------------|-------------|------------|---|--------------------------------------|
| Grassilage | 15625 | 5000 | 43 | 32,0 | 0,87 | 500 | 5959 |
| Presswasser | 40000 | 1200 | 110 | 3,0 | 0 | | |
| Summe | 55625 | 6200 | 152 | 11,1 | | | 5959 |

Tab. 5: Auslegungsdaten der Bioraffinerie-Biogasanlage Basis 5000 t TM/a

| Fermenterdaten | | Auslegungsdaten | |
|--|----------|---------------------|-----------------------------------|
| HRT Hydraulische Verweildauer im anaerob. System | | | 23d |
| erford. Fermentervolumen | | | 3505m ³ |
| Volumen eines Vorlagebehälters | | | 305m ³ |
| Ablaufzwichenspeichervolumen | Tage HRT | 13 | 529m ³ |
| TM-Gehalt Beschickung | | | 11,1% |
| spez. Gasproduktionsrate | | | 1,9m ³ /m ³ |
| Raumbelastung | | | 3,4kg oTM/m ³ RV |
| BHKW-Daten | | | |
| BHKW-Leistung gewählt | | 704kW | |
| BHKW-Leistung erforderlich | | 665kW | |
| Laufzeit BHKW | | 22h/d (8000 h/a) | |
| Methangehalt im Biogas | | 62% | |
| Wirkungsgrad BHKW el | | 36% | |
| Wirkungsgrad BHKW th | | 48% | |
| Energiebilanz | | | |
| Energiegehalt Biogas | | 13485000kWh/a | |
| Stromproduktion BHKW | | 4854600kWh/a | |
| Stromüberschuss, Schätzung | | 3883680kWh/a | (Faktor 0,80) |
| Wärmeproduktion | | 6472800kWh/a | |
| Wärmeüberschuss, Schätzung | | 4207320kWh/a | (Faktor 0,65) |

Für die relevanten Anlagenteile wurde eine Pauschalsumme durch die Fa. ENTEC vorgeschlagen (Tab. 6).

**Tab. 6: Investitionskosten für eine ENTEC – Grüne Bioraffinerieanlage
(5000 t TM/a)**

| BIOGASANLAGE | | | |
|----------------------------------|--------------------|----------|--|
| für Bioraffinerie | | | |
| Pos.1 | € | % | Anmerkungen |
| Silo | bei Bauern | | |
| Lagerbunker | nicht kalk. | | |
| Förderband | nicht kalk. | | |
| Aufbereitungsbehälter | | | 300 m ³ ; hydr. Verschlussklappe, 2 Stk. SL Rührwerke, 1 Stk. LL-Rührwerke; Zerkleinerung, etc. |
| Pos.2 | | | |
| Fermenter ENTEC-CSTR | | | 3500 m ³ inkl. Rührwerk u. Entschwefelung, Pumpe, Wärmetauscher, pH-Messung |
| Pos.3 | | | |
| Ablaufzwischenpeicher | nicht kalk. | | |
| Entwässerung | | | Entwässerungsanlage 12 m ³ /h inkl. Beschickungspumpe + sonst. Installationen |
| Presswasserlagerbehälter | nicht kalk. | | |
| Pos.4 | | | |
| Gasreinigung | 82.000 € | 5,8 | inkl. Steuerung + Messeinrichtungen |
| Pos.5 | | | |
| Biogasspeicher | | | ENTEC TGZ; 1000 m ³ ; inkl. allen Arbeiten und Nebeninstallationen |
| Pos.6 | | | |
| Biogasfackel | | | ENTEC-FAII 300; inkl. Aufstellung |
| Pos.7 | | | |
| Gasverwertung | | | 740 kWel; Gasmotor inkl. Kat. etc. |
| Pos.8 | | | |
| Verrohrung | | | |
| Pos.9 | | | |
| Steuerung | | | |
| Pos.10 | | | |
| Engineering | | | |
| Pauschalrichtpreis | 1.328.000 € | 94,2 | |
| Endsumme (inkl. Optionen) | 1.410.000 € | | |

Die Endsumme wurde für die Erstellung der Investitionskostenkurve auf € 1.450.000 aufgerundet, da einige Positionen als nicht kalkuliert angegeben waren.

Gemeinsam mit W. Graf wurde eine Investitionskostenkurve anhand von Branchenerfahrungswerten erstellt (Tab. 7 und Fig. 6).

Tab. 7: Abschätzung der Investitionskosten nach Kapazität für Energiepflanzen-Biogasanlagen anhand von Branchenerfahrungen

| t TM/a | Investkosten |
|--------|--------------|
| 1000 | 620.000 € |
| 2000 | 860.000 € |
| 3000 | 1.100.000 € |
| 4000 | 1.330.000 € |
| 5000 | 1.450.000 € |

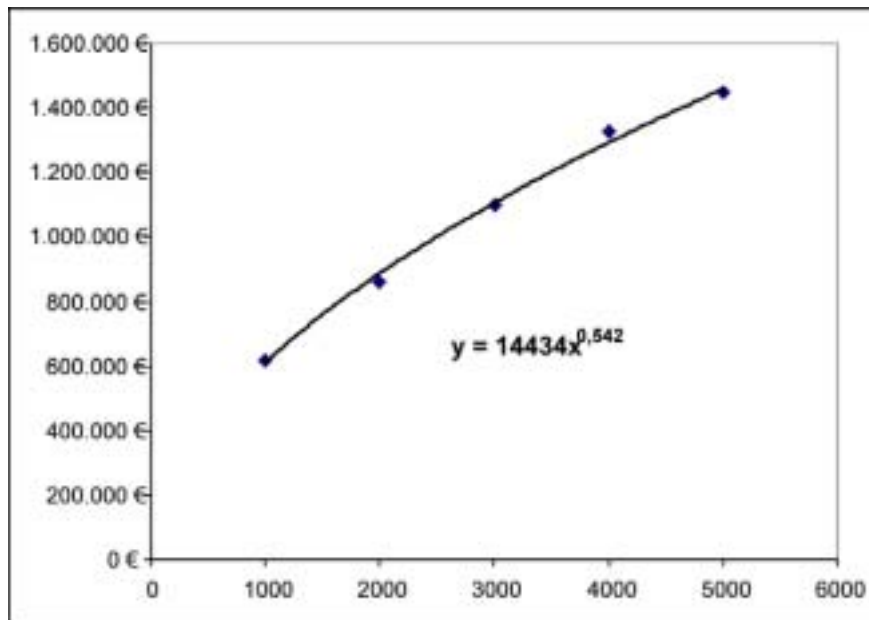


Fig. 6: Investitionskostenkurve für Energiepflanzen-Biogasanlagen anhand von Branchenerfahrungen

Anhand der Auslegungsparameter der Fa. ENTEC und der ermittelten Formel für die Abschätzung der Investitionskosten von Biogasanlagen können nun bei Variation der oTM Ströme die Reststoffbiogasanlage für die Grüne Bioraffinerie ausgelegt und die Investitionskosten festgelegt werden. Förderungen werden in die Wirtschaftlichkeitsmodellierung nicht einbezogen.

4.2.2 GBR MODULE – Process Units

Die entsprechenden Technologien (MODULE = Process Units) zur Erzeugung der beschriebenen Produkte liegen in sehr unterschiedlichem Reifegrad vor. Deshalb erscheint die Unterteilung in Endprodukte und der Aufbau der Wirtschaftlichkeitsmodellierung als "bottom up" Ansatz sinnvoll. Bevor allerdings an die Erzeugung von Produkten gedacht werden kann muss der Rohstoff Wiesengrünmasse bzw. Silage fraktioniert werden. Die Fraktionierung stellt den bestimmenden Schritt für die Erzielung von befriedigenden Produktausbeuten dar und ist daher von zentraler Bedeutung.

Für die Entscheidung über die Wirtschaftlichkeit eines möglichen GBR Systems werden demnach die Produkte herangezogen und darauf aufbauend entschieden:

1. wie viel darf die Process Unit kosten bzw. wenn die Process Unit bekannt ist, wie viel darf das Produkt kosten?
2. wie viel darf der Rohstoff kosten (è wie viel kann an die LW weitergegeben werden)?

Im Falle, dass Process Units für mehrere Produkte benötigt werden (z.B. Fraktionierung) werden die Kostenanteile auf Basis des oTM Anteils den Kostenträgern (Produkten) aufgeschlagen.

Demnach werden also folgende MODULE als "Process Units" definiert und beschrieben (Details siehe Blockdiagramme):

1. Rohstoffe - Anbau, Ernte, zum Teil Silierung mit Starterkulturen
2. Fraktionierung (Vorbereitung, Pressung)
3. Herstellung von Proteinkonzentraten (3-1 aus GJ; 3-2 aus SJ)
4. Herstellung von Milchsäure u. Derivaten aus Silagesaft
5. Herstellung von Grasfaserprodukten aus den Presskuchen
6. Umsetzung von Restströmen unterschiedlicher Zusammensetzung in einer Biogasanlage zur Erzeugung von Energie

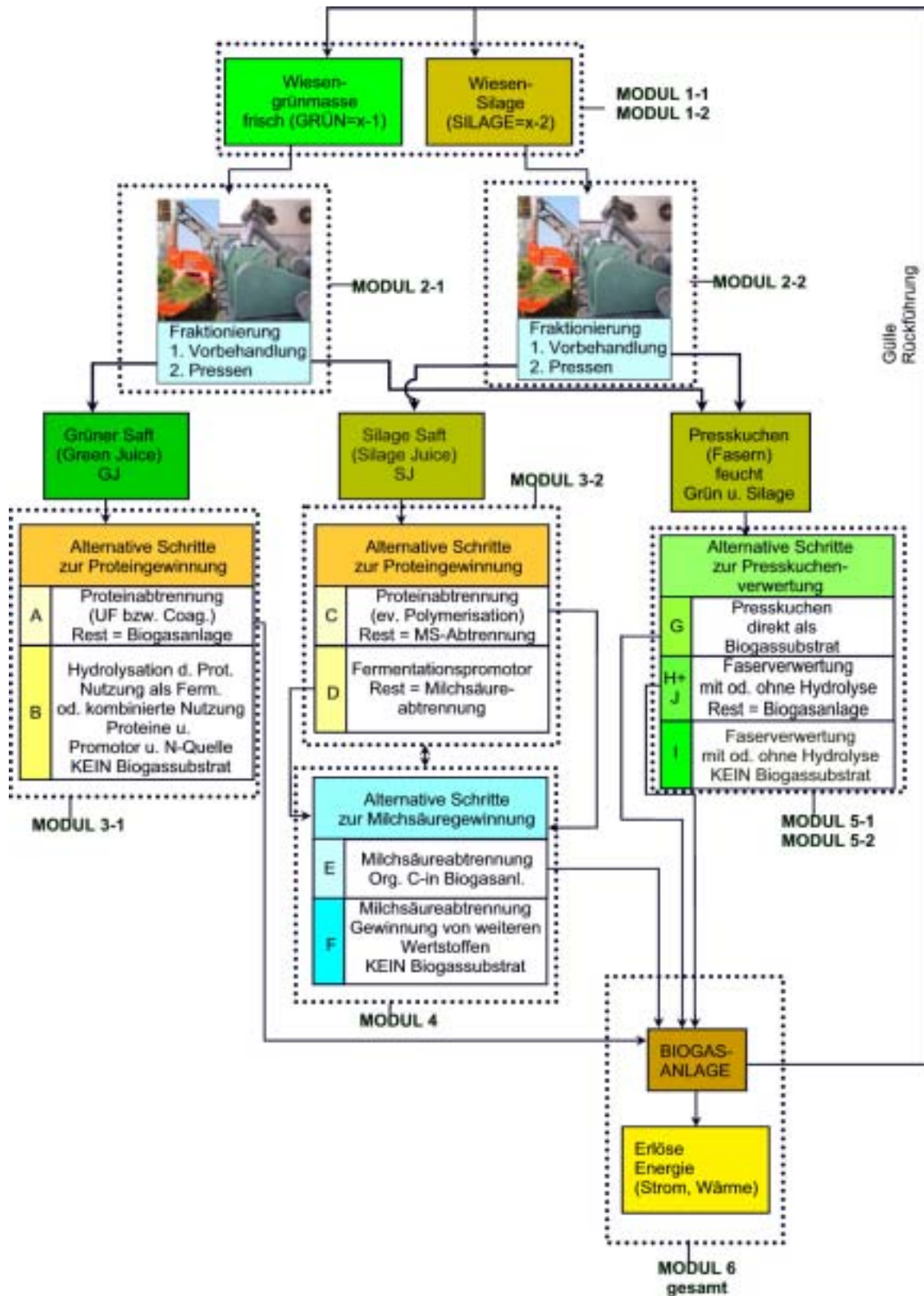


Fig. 7: MODULE der Grünen Bioraffinerie

Entsprechend des obigen Blockdiagramms werden alle "Grün-Module" mit Modul nr.-1 und alle "Silage-Module" mit Modul nr.-2 bezeichnet.

4.2.3 MODUL 1-1 und MODUL 1-2 – Rohstoffe – Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Da die Rohstoffe von zentraler Bedeutung sind werden die Kosten ausführlich im Kapitel "Wirtschaftlichkeitsbetrachtung" diskutiert. Die Silagestarterkosten werden hier dargestellt.

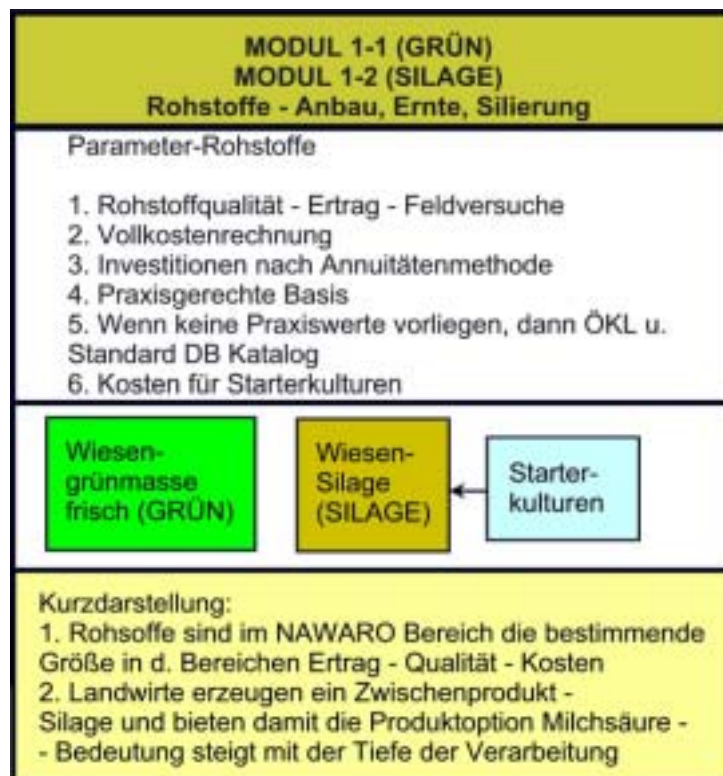


Fig. 8: MODUL 1-1 und 1-2 - Rohstoffe

Preise für Starterkulturen werden anhand von Auskünften der Fa. Lactosan (Stmk.) festgelegt. Üblicherweise werden Gebinde mit 15 kg Bakterieninhalt verkauft. Eine t FM muss mit ca. 0,5 kg Pulver (Bakterienmischung) angeimpft werden.

Die Preise sind abhängig von der Bestellmenge und dem Bestellzeitpunkt.

Tab. 8: Derzeitige Marktpreise für Silagestarterkulturen (Fa. Lactosan) – exkl. USt

| Menge | €t FM (exkl. MWSt) | €t TM (exkl. MWSt) (33 % TM) |
|---|-----------------------|------------------------------------|
| 1 Gebinde | 2,03 | 6,16 |
| 11 Gebinde | 1,83 | 5,56 |
| 20 Gebinde | 1,80 | 5,54 |
| Bei Frühbezug 3,57 € Nachlass | | |
| 1 Gebinde | 1,91 | 5,78 |
| 11 Gebinde | 1,71 | 5,18 |
| 20 Gebinde | 1,68 | 5,08 |
| Zahlung innerhalb von 8 Tagen 2 % Skonto | | |
| 1 Gebinde | 1,87 | 5,67 |
| 11 Gebinde | 1,67 | 5,07 |
| 20 Gebinde | 1,64 | 4,97 |

Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde demnach ein Preis pro Tonne FM von **€ 1,64** angenommen (€ 4,97 pro t TM). Dieser Preis exkl. USt fand Eingang in die Kalkulation der Rohstoffkosten. Es wird angenommen, dass die Starterkulturen von der Bioraffineriebetreibergesellschaft bezogen werden kann.

4.2.4 MODUL 2-1 und 2-2 – Fraktionierung – Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Fraktionierungsanlagen werden für Grün und Silage getrennt betrachtet, da es wirtschaftlich notwendig ist, dass die Anlage der Silagelinie (Milchsäureproduktion) ganzjährig zur Gänze ausgelastet ist. Außerdem bestehen für die Fraktionierung unterschiedliche Anforderungen in Abhängigkeit des eingesetzten Rohstoffs.

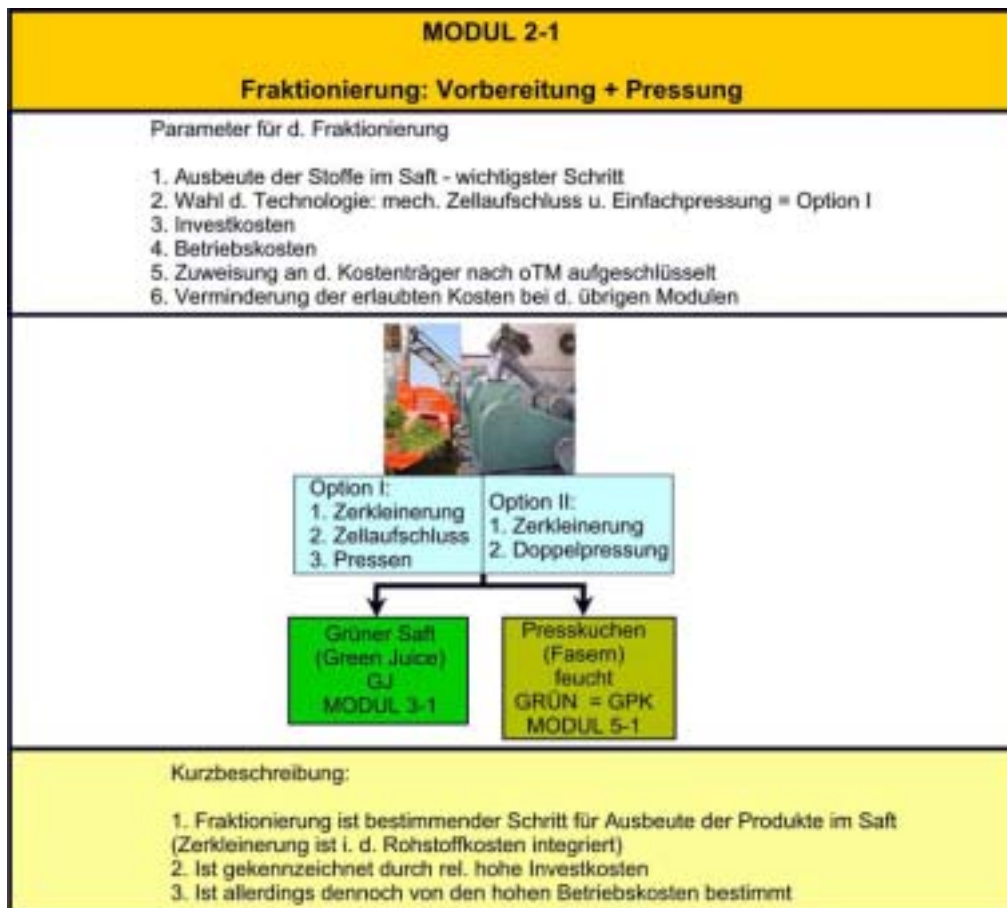


Fig. 9: Modul 2-1 – Fraktionierung von frischer Wiesen grünmasse

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wird ein Abpressgrad von 69 % bei einer TM im Saft von 10 % definiert.

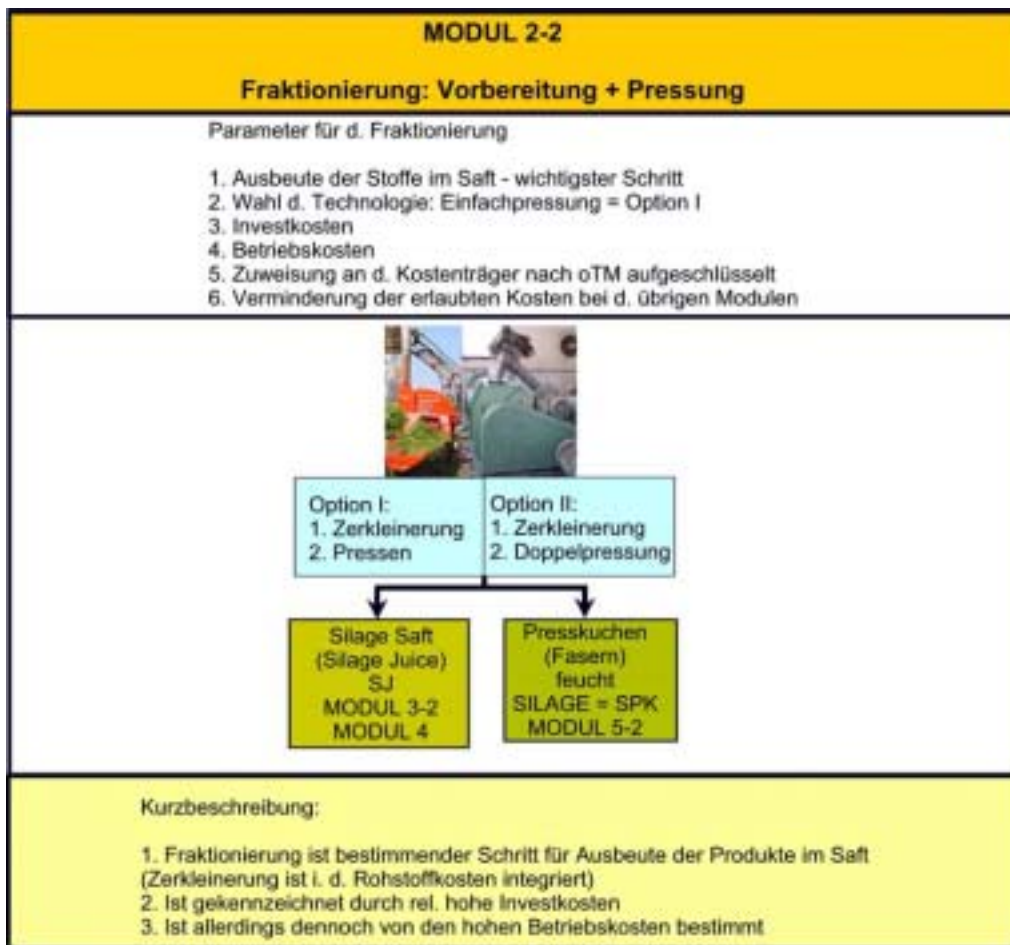


Fig. 10: MODUL 2-2 – Fraktionierung von Silage

Die Fraktionierung von Silage erfolgt im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsrechnung mit einem angenommenen Abpressgrad von 61 % mit 14,5 % TM im Saft.

Grundlage für die Abschätzung der Investitionskosten Fraktionierung – Modul 2-1 und 2-2 sind Basisangebote von namhaften Firmen in diesem Bereich. Zerkleinerungskosten für Grüngut- und Silageaufbereitung sind in den Rohstoffkosten integriert.

4.2.4.1 Zellaufschluss – Grüngutshredder (nur Modul 2-1)

Die Fa. Doppstadt (D) bietet einen Grüngutshredder an, der einerseits mobil einsetzbar und andererseits für die Anforderungen der Grünen Bioraffinerie geeignet scheint. Der Shredder ist als Schlegelmühle ausgeführt und mit einem Feinzerkleinerungskorb ausgestattet. Durch die Maschenweite von 40 bis 280 mm wird die Materialkorngröße bestimmt.

Das Gerät AK 430 Profi wird durch einen 315 kW Dieselmotor betrieben. Im Falle des Durchsatzes von Wiesengrünmasse kann ein Durchsatz von 21 t/h FM prognostiziert werden (Firmenauskunft). Die pauschalierten Investitionskosten belaufen sich auf € 169.000.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wird für das Down-scaling folgende übliche Formel benutzt:

$$\text{Preis 4 Neu} \mid \text{Preis} * \left. \frac{\frac{RC}{C_1}}{C_0} \right\}^{0,6}$$

C₀ Ausgangskapazität (z.B. 21 t FM/h)

C₁ Zielkapazität (z.B. 2,5 t FM/h)

Fig. 11: Formel für das Down-scaling der Maschineninvestition

Der Energieverbrauch wurde mit 15 kWh/t FM angenommen.

4.2.4.2 Schneckenpresse – Modul 2-1 und 2-2

Von der Fa. Ponndorf (Kassel, D) wurden Basispreise für Schneckenpressen verschiedener FM Input Kapazität zur Verfügung gestellt (Tab. 9).

Tab. 9: Investitionskosten von Schneckenpressen in Abhängigkeit der Kapazität [kg FM/h] – (Fa. Ponndorf 2001)

| Kapazität [kg FM/h] Input | Preis gesamt [€] | Preis [€/kg FM] | Leistung Motor [kW] | |
|---------------------------|------------------|-----------------|---------------------|-------------|
| 1400 | 103.110 € | 73,65 € | 22 | |
| 4000 | 135.670 € | 33,92 € | 37 | |
| 9000 | 193.390 € | 21,49 € | 55 | |
| 12300 | 318.400 € | 25,89 € | 90 | 2 mal 45 kW |

Aus diesen Daten wurde eine entsprechende Investitionskostenkurve generiert. Die durch die Trendlinie bestimmte Formel wird im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Berechnung der Investitionskosten herangezogen (Fig. 12).

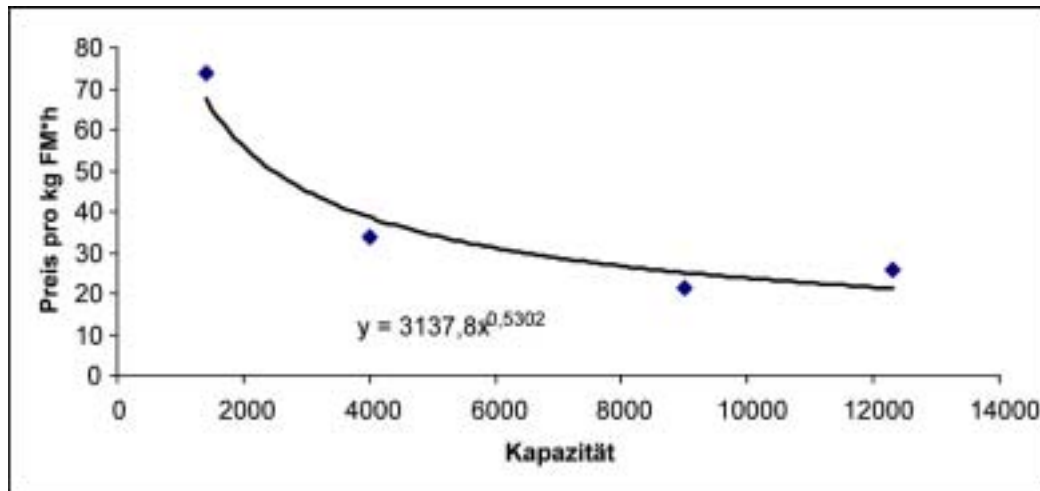


Fig. 12: Investitionskosten Trendlinie für Schneckenpressen auf Basis von Firmeninformationen (Fa. Ponndorf 2001)

Der Energieverbrauch wird sowohl für das Abpressen von Wiesengrünmasse als auch von Silage mit 25 kWh/t FM Input angenommen (vgl. Steinmüller 1994).

4.2.5 MODUL 3-1 und 3-2 – Proteinogene Produkte – Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung konzentriert sich aufgrund der Projektergebnisse auf Proteinkonzentrate aus GJ (Modul 3-1 A) bzw. ein Produkt, das als Fermentationspromotor eingesetzt werden kann aus GJ und aus SJ (CSL-Ersatz; Modul 3-1 B und 3-2 D).

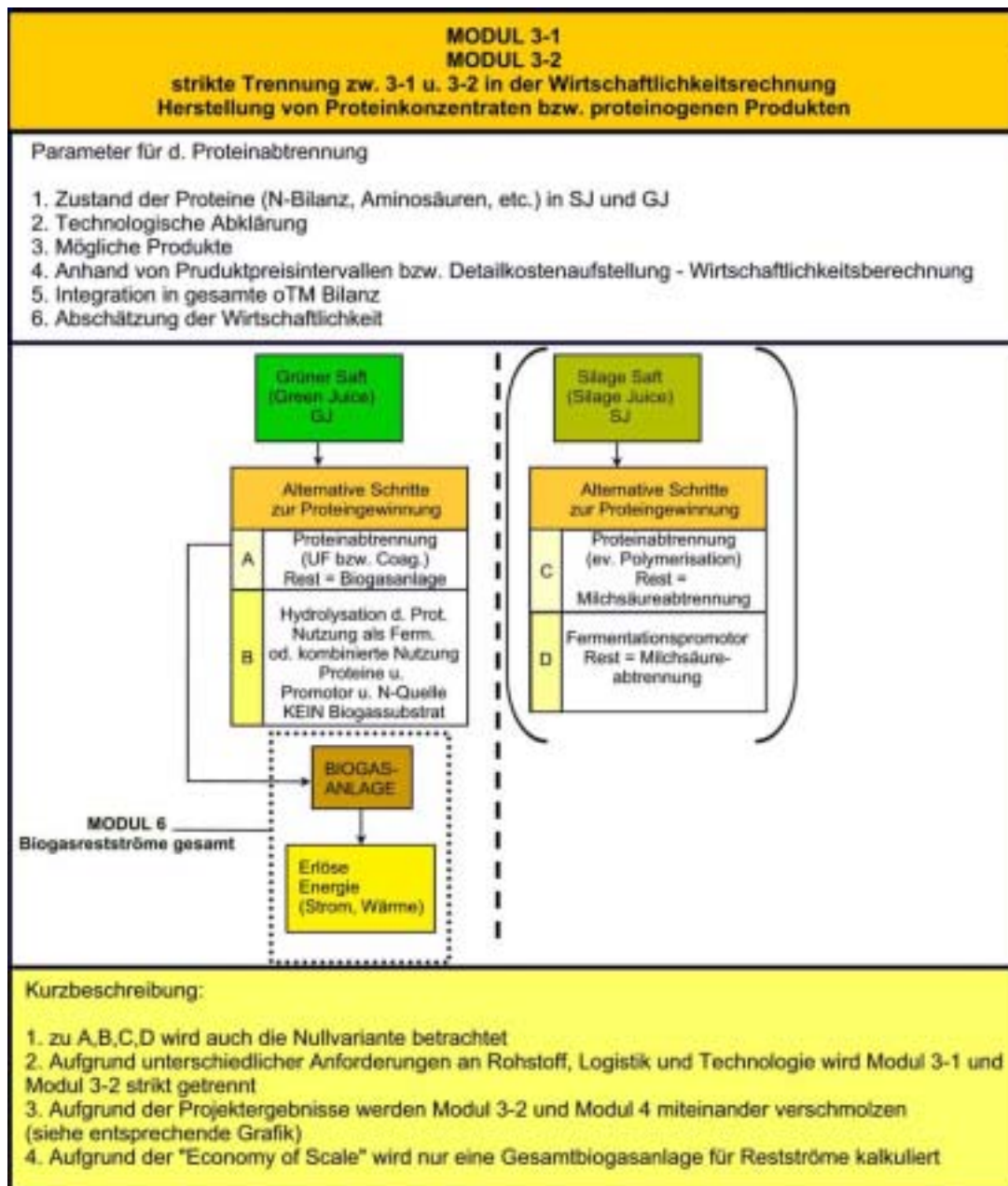


Fig. 13: MODUL 3-1 und 3-2 – Proteinogene Produkte

4.2.5.1 Grünes Protein – Modul 3-1 A

Aufgrund der Projekterkenntnisse wird im Rahmen dieser Studie lediglich die klassische Grüne Linie (GJ) näher betrachtet (SJ wurde in Modul 4 integriert). Es muss davon ausgegangen werden, dass der Einsatz von Membrantechnologie bei gleicher Ausbeute höhere Investkosten und ähnliche Betriebskosten verursacht. Die erreichbare Qualitätssteigerung des Produktes könnte diese Kostenerhöhung nur teilweise abfedern. Daher wird auf die Modellierung einer UF-Anlage zunächst verzichtet. Diese wird aber in weiterführender Forschung näher beleuchtet.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde ausgehend von den GBR-Versuchen ein optimierter Prozess angenommen. Mit besserer Fraktionierungstechnik (Zellaufschluss plus Einzelpressung) lässt sich eine Produktausbeute (FM) von 8 % der eingesetzten proteinreichen Trockenmasse äquivalent zu den France Luzerne Werten annehmen. Dies allerdings unter der Voraussetzung, dass ein Rohstoff mit $\varnothing 20$ % CP i. d. TM eingesetzt wird. Der erlösbare Produktpreis wird mit 0,7 €/kg FM Produkt angenommen (Alfalis 2002).

Für die Berechnung der Energiekosten wurde auf eigene Berechnungen zurückgegriffen. Betriebs- u. Investitionskosten für Pumpen, Rohre, Reinigung etc. werden hier nicht im Detail angeführt, da sie eine untergeordnete Rolle spielen. Sie sind aber mit Pauschalsummen im Kapitel "Wirtschaftlichkeit" integriert. Die Kalkulation von Investitions- u. Betriebskosten für die Fraktionierung wurde in Modul 2 abgehandelt.

4.2.5.1.1 Investitionskosten

Folgende zentrale Elemente werden für die Abtrennung von Grünen Proteinen aus GJ benötigt.

- ⌘ Dampfeinblasung (Steam-Injection – SI)
- ⌘ Dekanterzentrifuge
- ⌘ (Eindampfung) u. Trocknung (Sprühtrockner)

Da dieses Proteinprodukt primär für die Fa. LactoProt von Interesse ist, wird angenommen, dass sowohl die Infrastruktur für die Dampferzeugung als auch Eindampfung und Trocknung vorhanden ist. Daher werden diesbezüglich nur die Betriebskosten kalkuliert.

Das Steam-Injection System wurde mit € 15000 pauschaliert.

Die Dekanterzentrifuge ist das Herzstück der klassischen Proteinabtrennung. Bei ähnlichen Anwendungen ist die Firma Flottweg (D) einer der Marktführer. Es wurden Angebote von der Firma Flottweg für 2 Varianten eingeholt. Die große Dekanterzentrifuge Z4E (Rotordurchmesser 420 mm, 1260 mm Länge) mit bis zu 15 m³/h Durchsatz hat einen Komplettpreis von 150.000 €. Die etwas kleinere Z23 (Rotordurchmesser 230 mm) mit einem Maximaldurchsatz von 3 m³/h kostet inklusive Steuerung und Motor.60.000 €.

Im Zuge der Recherchen hat es sich gezeigt, dass am Markt auch gebrauchte generalüberholte Zentrifugen aller Typen verfügbar sind. Zu den 2 oben genannten Typen wurden nochmals 2 Angebote als Gebrauchsmaschinen bei der Fa. Winkelhorts (D) eingeholt und für die Kalkulation verwendet:

- ⌘ Z4E: 30.000 € (bis 3 m³/h) bei 11,9 kWh/t
- ⌘ Z23: 75.000 € (bis 15 m³/h) bei 11,9 kWh/t

4.2.5.1.2 Betriebskosten

☐ Steam Injection

Es wurde bei einem Sattdampfzustand von 212° C (20 bar) und einem ΔT von 50° C für den GJ ($c_p = 4,04 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$) eine Dampfmenge von 91,18 kg Dampf/t GJ ermittelt (Sicherheitsfaktor 1,1).

Der Dampf wird von der Fa. LactoProt mit 18,89 €/t kalkuliert. Zusätzlich fallen noch 4 % Gemeinkosten für die benötigte Dampfmenge an.

☐ Dekanterzentrifuge

Für die Dekanterzentrifuge wurde ein Energiebedarf von 11,9 kWh/t GJ ermittelt (70 % der Nennleistung).

☐ Trocknung

Für die Trocknung wurde allgemein ein Energiebedarf von 1 kWh/kg verdampftem Wasser angesetzt. Das Produkt ist mit 90 % TM definiert (= Produkt FM).

Die Kosten für Strom und Wärme sind mit 0,091 bzw. 0,044 €/kWh festgelegt worden.

Generell kann gesagt werden, dass die Betriebskosten die ausschlaggebende Größe darstellen. Allerdings kann in diesem Bereich nur wenig Einsparungspotenzial gefunden werden.

4.2.5.2 Grundlagen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung MODUL 3-1 B und 3-2 D

Nachdem ein teilentproteiniertes GJ bzw. der SJ Reststrom aus der Milchsäureabtrennung als potenzieller CSL Ersatz definiert werden konnte, ist es möglich den Preis für ein derartiges Produkt (meist mit 50 % TM) mit 0,25 €/kg TM festzulegen. Es wird angenommen, dass der Saft auf 50 % TM eingedampft wird. Dies geschieht mit einer bestehenden Anlage (z.B. Fa. LactoProt). Der Energieverbrauch (Fallstromverdampfer mit mechanischer Brändenverdichtung) wird von der Fa. GIG (GIG 1999) für CSL mit 11 bis 15 kWh/t verdampftem Wasser angegeben. Die Energie wird als Wärme mit 0,044 €/kWh gerechnet. Für die Berechnungen wurde der Wert 15 kWh/t verdampftem Wasser gewählt.

Weitere, wesentlich teurere, Fermentationszuschlagsstoffe wie z.B. Casein-Hydrolysat (70 €/kg) oder Hefehydrolysat (5,6 €/kg) wurden nicht in die Kalkulationen einbezogen, da nicht geklärt werden konnte, ob eine entsprechende Qualität auch erreichbar wäre.

4.2.6 MODUL 4 – Produkte aus Milchsäure (SJ) – Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Erzeugung von Silage dient einerseits zur Konservierung des Rohstoffs andererseits lässt sich, optimiert durch den Einsatz von Starterkulturen, auch ein wichtiges Produkt erzeugen – die Milchsäure.

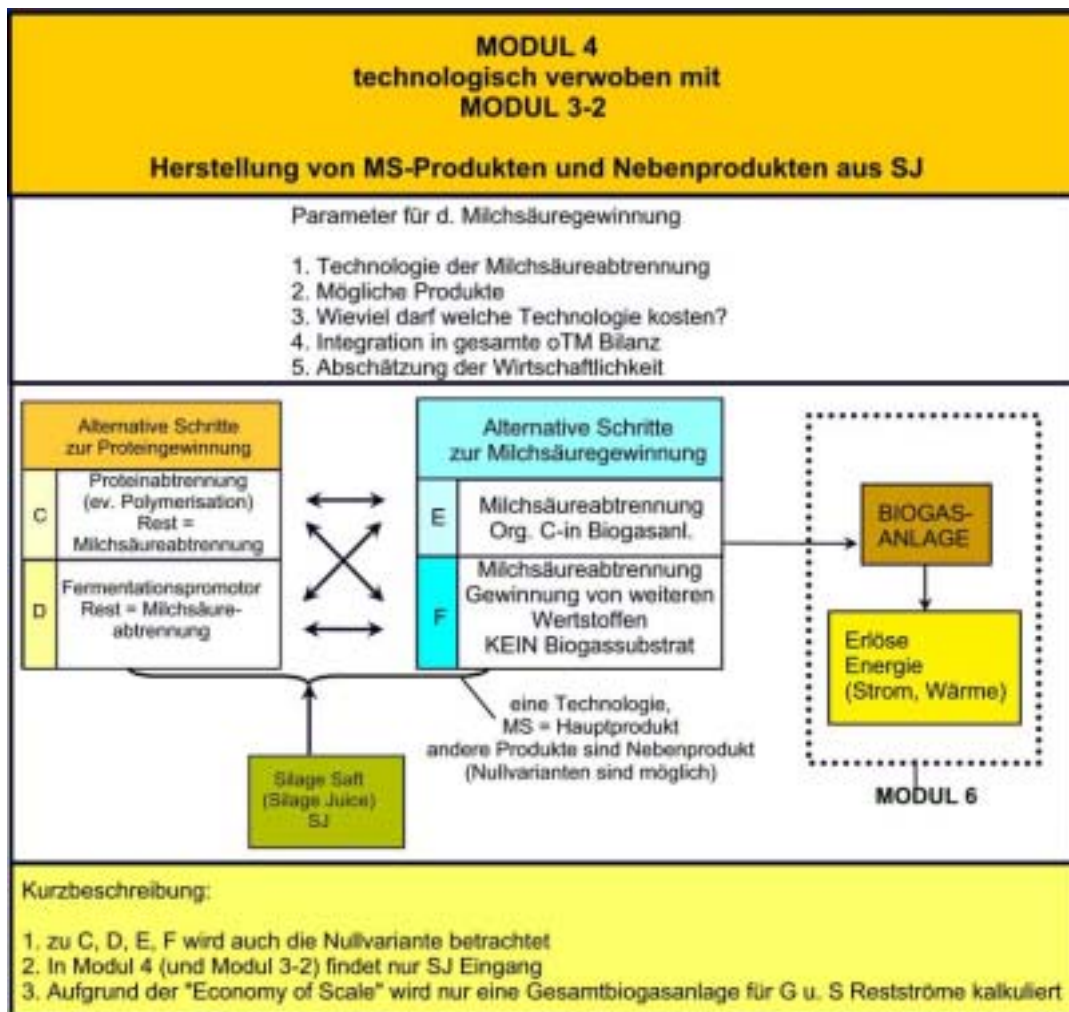


Fig. 14: MODUL 4 - Milchsäure

Aufgrund der Projektergebnisse wird die Technologie der Milchsäureabtrennung mit der Proteinabtrennung (und weiterer Produkte) verwoben (siehe auch Fermentationspromotor Modul 3-2 D).

Auf Basis des derzeitigen Standes des Wissens wird Ethyllactat (ökolog. Lösungsmittel) favorisiert und daher als Produkt der Grünen Bioraffinerie dargestellt.

Die zu erreichenden Ausbeuten werden im Rahmen weiterführender Forschung erhoben. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde ein Wert von 65,4 kg Milchsäure im Saft pro t TM Silage angenommen. Durch Verluste bei der Aufreinigung von 15 % und weiteren 5 % bei der Ethyllactatproduktion werden pro t TM 69,2 kg Ethyllactat produziert. Durch Optimierungen bei Silagebereitung und Presstechnik bzw. durch Doppelpressung könnte die Menge Milchsäure im Saft pro t TM Silage auf 75 bis 90 kg/t TM gesteigert werden. Dies wird aber im Rahmen dieser Studie nicht berücksichtigt, um dem Grundsatz der konservativen Wirtschaftlichkeitsmodellierung treu zu bleiben.

Die Investitionskosten werden mit 500.000 € pauschaliert.

Als Produktpreis werden 1,17 €/kg Ethyllactat angenommen. Damit wird bereits eine zu erwartende Preisentwicklung vorweggenommen. Der derzeitige Preis könnte mit ca. 3,5 €/kg festgelegt werden. Das eingesetzte Ethanol wird mit 0,55 €/kg kalkuliert.

Es wird angenommen, dass die Milchsäure vor der Ethyllactaterzeugung von 10 % Konzentration auf 50 % aufkonzentriert wird. Der Energieverbrauch (Fallstromverdampfer mit mechanischer Brüdenverdichtung) wird von der Fa. GIG (GIG 1999) für Zitronensäure mit 35 kWh/t verdampftem Wasser angegeben. Die Energie wird als Wärme mit 0,044 €/kWh gerechnet.

Betriebskosten für den Reaktionsprozess und die destillative Abtrennung werden im Rahmen dieser Studie nicht einbezogen. Es wurden allerdings Betrachtungen dahingehend angestellt, wie viel dieser Posten im Falle einer Umsetzung maximal kosten dürfte.

4.2.7 MODUL 5-1 und 5-2 – Presskuchenverwertung – Parameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Im Rahmen dieses Projekts wurde die Teilhydrolyse unterschiedlicher Presskuchen und von Heu betrachtet. Weitere Faserprodukte, wie Dämmstoffe, Vliese oder Panele sind denkbar und werden im Rahmen weiterführender Forschung, die von der Forschungsgesellschaft Joanneum ausgeführt wird, näher beleuchtet. Der Presskuchen könnte auch direkt als Futter beim Landwirt belassen werden. In diesem Fall wird keine eigene Kalkulation aufgestellt, sondern lediglich die Trockenmasse entsprechend reduziert. Alle übrigen Produkte werden aliquot nach TM bzw. oTM abgerechnet.

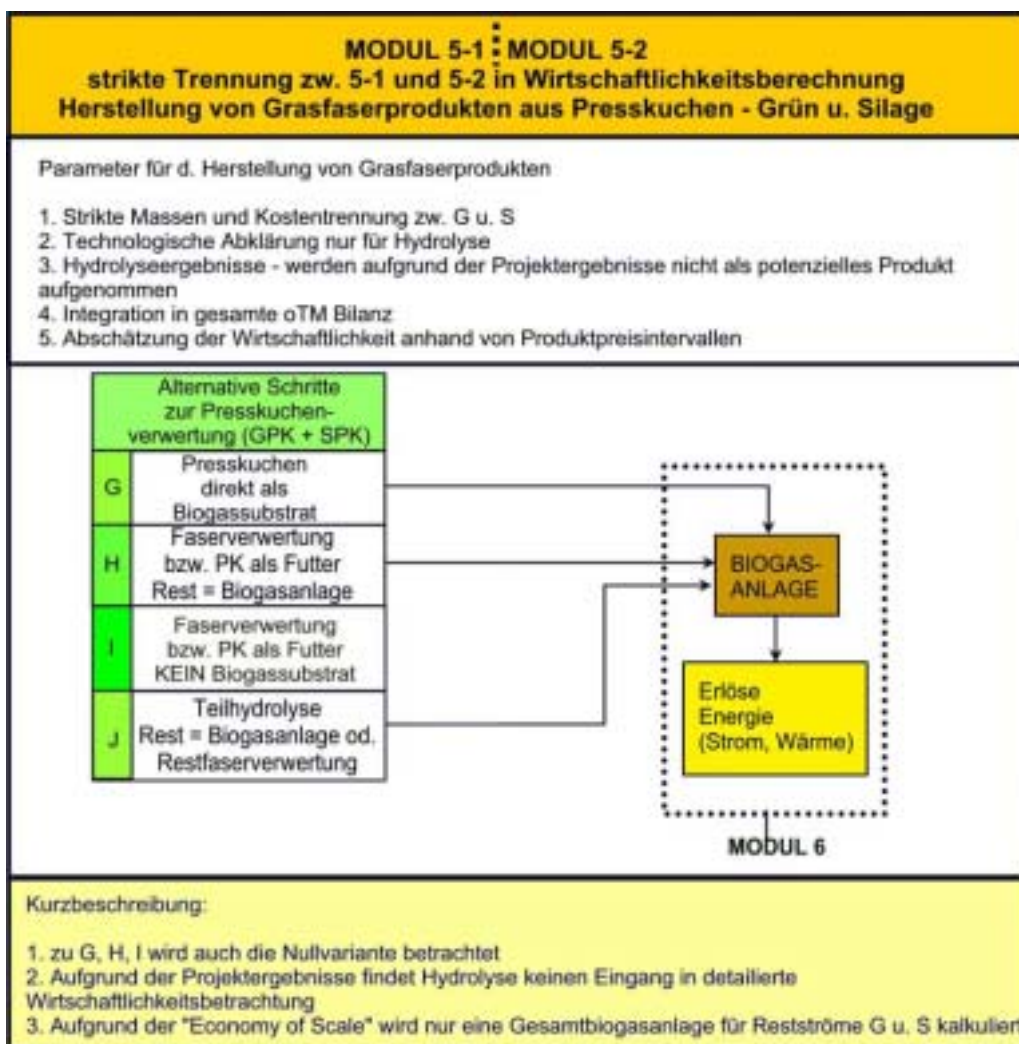


Fig. 15: MODUL 5-1 und 5-2 - Presskuchenverwertung

4.2.7.1 Verwertung des Presskuchens in einer Hydrolyseanlage

Die Gewinnung von monomeren Zuckern aus lignocellulosehaltigen Rohstoffen wie es auch der Presskuchen darstellt, wird seit vielen Jahren in der Literatur diskutiert. Die Ergebnisse der Hydrolyse zeigen (Kapitel 11), dass bedingt durch das Pufferverhalten des Silagesaftes, der noch im Presskuchen vorhanden ist, eine Hydrolyse nur dann stattfindet, wenn der Silagesaft durch entsprechende Wäsche mit Wasser entfernt wird und danach mit Schwefelsäure ein pH-Wert unter 3 eingestellt wird. Das so erhaltene Waschwasser, weist in verdünnter Form noch eine gehörige Menge an Milchsäure auf, sodass in einem weiteren Schritt zu überprüfen sein wird, ob eine Eindampfung dieser Lösung wirtschaftlich Sinn macht. In der ersten Überlegung hingegen, wird für dieses Waschwasser kein Erlös angesetzt.

Bei der Hydrolyse wird angenommen, dass sie bei einer Konzentration von 10 % TS durchgeführt wird und dass nach der Hydrolyse der Rückstand (50 % des Rohstoffeinsatzes) auf eine Konzentration von 50 % abgepresst werden kann.

Nach den Versuchen des IFA Tulln können aus den 7.800 Tonnen Presskuchen TM jährlich 1.170 Tonnen monomere Zucker gewonnen werden. Als Hilfsstoffe werden 400 Tonnen H_2SO_4 sowie 17.000 Tonnen Dampf benötigt. Schwefelsäure (96 %) wird mit einem Preis von 150 € pro Tonne und Dampf mit 19 € pro Tonne eingesetzt. Somit ergeben sich hierfür Kosten von 383.000 €, sodass jede Tonne Zucker mit 330 € belastet werden muss. Da diese Kosten bereits höher sind als vergleichbare am Markt kaufbare Zucker, wird von einer detaillierteren betriebswirtschaftlichen Analyse Abstand genommen. Eine Verbesserung der betriebswirtschaftlichen Situation könnte nur dann erreicht werden, wenn eine höhere Stoffkonzentration im Hydrolysereaktor erzielt werden kann, da dadurch die Dampfkosten deutlich reduziert werden könnten.

4.2.7.2 Produkte direkt aus dem Presskuchen (außer Biogas)

Es ist denkbar direkt aus GPK bzw. SPK hochwertige Produkte, wie Dämmmaterial, Vliese od. Panele herzustellen. Die Erzeugung entsprechender Prototypen läuft derzeit im Rahmen eines weiterführenden Forschungsprojekts. Allerdings existieren keine Marktpreise für Fasern aus Wiesengrünmasse bzw. Silage. Daher wird im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ausgeführt wie viel ein kg TM Presskuchen auf dem "Fasermarkt" erzielen müsste.

Für die Trocknung der Fasern auf 90 % TM wird ein Energieverbrauch von 1 kWh/kg verdampftem Wasser angenommen. Die Wärme wird in diesem Fall mit dem selben Preis berechnet, wie der Wärmeerlös der Biogasanlage – mit 0,033 €/kWh.

5 WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG – GRÜNE BIORAFFINERIE

5.1 Grundüberlegungen

Das Projekt „Grüne Bioraffinerie“ wurde gestartet, um Möglichkeiten zur außerlandwirtschaftlichen Nutzung von Wiesengrünmasse (hier auch als "Gras" bezeichnet) bzw. Silage von Dauerwiesen, Feldfutterbau sowie Samenvermehrungsanbau aufzuzeigen und die Wirtschaftlichkeit der gefundenen Alternativen zu überprüfen.

Die einfachste Nutzung wäre die Verwertung von Silage in einer Biogasanlage. Die Weiterentwicklung von Biogasfermentationen wurde in den letzten Jahren verstärkt betrieben (siehe Kapitel 12), sodass heute Verfahren zur Verfügung stehen, die großtechnisch genutzt werden können. Daher wird als Basisvariante die Verwertung des Grasses in einer Biogasanlage mit angeschlossener Kraft-Wärme-Kupplungsanlage verwendet.

Wiesengrünmasse, welches nach der Ernte aus ca. 80 % Wasser und 20 % Feststoff besteht, beinhaltet jedoch eine Vielzahl von Komponenten, die möglicherweise sinnvoller genutzt werden können, als sie in einer Biogasanlage zu verarbeiten. Dafür ist es jedoch notwendig, in einem ersten Schritt den Feststoff und die Flüssigkeit zu trennen. Die hierfür optimalste Form ist die Pressung mit einer Schneckenpresse. Diese Trennung wird in diesem Bericht als Fraktionierung bezeichnet. Die bei der Fraktionierung anfallenden Teilströme Feststoff und Presssaft enthalten nun unterschiedliche Grasbestandteile, die einer separaten Nutzung zugeführt werden können.

Aus dem Presssaft können sowohl die enthaltenen Proteine wie auch Zucker einer Verwertung zugeführt werden. Im vorliegenden Projekt wurde die Proteinabtrennung (Modul 3-1 A und 3-2 C) sowie die Nutzung des entproteinierten Presssaftes als Fermentationsrohstoff (Modul 3-1 B und 3-2 D) überprüft. Die jeweils anfallenden Restlösungen werden wiederum in einer Biogasanlage verwertet.

Aus dem Feststoff, der nach Abtrennung einen Trockensubstanzgehalt von ~50 % aufweist, können Fasern (Modul 5-1 und 5-2) oder Futtermittel hergestellt werden. Eine Einbringung in eine Biogasanlage, die die Restlösung der Saftverwertungsanlage verarbeitet, ist ebenfalls möglich.

Da der Rohstoff Gras als Frischsubstanz nur bestenfalls 6 Monate im Jahr zur Verfügung steht, werden seit Jahren bei der Futtergewinnung zwei Konservierungsverfahren angewendet.

- ☐ Heubereitung
- ☐ Silierung

Die Konservierungsform bei der Heubereitung ist die Trocknung. Durch den Entzug von Wasser werden für die Mikroorganismen die Wachstumsbedingungen verschlechtert und das Produkt konserviert. In Hinblick auf eine Nutzung der im Gras in gelöster Form vorkommenden Inhaltsstoffe ist jedoch diese Konservierungsform schlecht geeignet.

Bei der Silierung wird die Bildung von Milchsäure durch Bakterien genutzt, da es dadurch zu einem pH-Abfall kommt, wodurch der mikrobiologische Angriff auf das Gras hintangehalten wird. Bei dieser Konservierung entsteht einerseits ein zusätzliches Produkt (Milchsäure) andererseits bleibt die Möglichkeit der Nutzung anderer gelöster Bestandteile erhalten. Aus diesen Gründen wird zur Aufrechterhaltung der ganzjährigen Beschickung der Anlage die Silierung als Konservierungsmethode gewählt.

Als Produkte wurden untersucht:

- ☐ Proteine aus GJ Modul 3-1 A
- ☐ Fermentationsrohstoff Modul 3-1 B und 3-2 D (bzw. Modul 4)
- ☐ Ethyllactat Modul 4
- ☐ Fasern Modul 5-1 und 5-2
- ☐ Futtermittel Modul 5-1 und Modul 5-2

Die Reststoffe der einzelnen Produktionsschritte, die keiner weiteren Produktnutzung zugeführt werden können, werden in einer Biogasanlage verwertet.

5.2 Ermittlung der Rohstoffkosten

Obwohl in der Landwirtschaft üblicherweise mit Deckungsbeiträgen (variablen Kosten) gerechnet wird, soll hier mit Vollkosten kalkuliert werden, da nur so die Lebensgrundlage der Landwirte auch ohne Förderungen längerfristig gesichert ist.

Als Basis für die Ermittlung der Rohstoffkosten wurde ein typischer, aber effizienter österreichischer Betrieb ausgewählt,

- ☐ der eine Gesamtgrünlandfläche von 22 ha aufweist,
- ☐ der maschinell gut ausgestattet ist,
- ☐ der Zugriff auf überbetriebliche Leistungen durch den Maschinenring hat,
- ☐ der 8 ha seiner Flächen direkt um den Hof bewirtschaftet,
- ☐ dessen restliche 14 ha in einem durchschnittlichen Umkreis von 0,6 km angeordnet sind
- ☐ dessen Flächen einen hohen Ertrag aufweisen.

Auf Basis der Gesamtkostenermittlung für 22 ha wurden sowohl die Kosten pro ha als auch die Kosten pro t TM errechnet. Es kann angenommen werden, dass die Kosten pro t TM linear extrapolierbar sind.

Tab. 10: Annahmen für Rohstoffkostenberechnung

| Parameter | Einheit | Zahl |
|--|--------------------|-------------|
| 87 % 4 Schnitte Dauerwiese, intensiv - gleich Feldfutter | kg TM/ha*a | 10.000 |
| 13 % Streuwiesen - werden gleich oft gemäht wie Dauerwiese | kg TM/ha*a | 5.000 |
| Durchschnittsertrag Grünmasse | kg TM/ha*a | 9.350 |
| Trockenmasse Grünmasse | % | 18,00 |
| Trockenmasse Silage | % | 33,00 |
| Verlust der Trockenmasse durch Silieren (Feld u. Silo) | % Ausgangsmaterial | 20,00 |
| Durchschnittsertrag Silage | Kg TM/ha*a | 7.480 |
| Zinsen für Annuität | % | 4,5 |
| Abschreibung Silo | Jahre | 20,00 |
| Kreditzinsen | % | 6,0 |
| Silogröße | m ³ | 300 bis 400 |
| Kosten für Silo mit Eigenleistung inkl. 20 % MWSt | €/m ³ | 29,07 |
| qualifiziert Arbeitskraft Maschinenring inkl. 12 % MWSt | €/h | 10,90 |
| Arbeitskraft Eigenleistung | €/h | 8,72 |

Tab. 11: Kostenermittlung – Dauerwiese frisch (DW - G)

| Position | Kosten für 4 Schnitte [€/ha] | Kosten pro t TM [€/t TM] | % |
|---|------------------------------|--------------------------|---------------|
| Wiese abschleppen | 13,28 € | 1,42 € | 2,08 |
| Düngung - Gülle mit 5m ³ Fass (16 h je Schnitt) | 76,10 € | 8,14 € | 11,93 |
| Mistausbringung (je 6 Stunden 2x pro Jahr) | 18,43 € | 1,97 € | 2,89 |
| Unkrautbekämpfung (Ampfer) | 22,19 € | 2,37 € | 3,48 |
| Mähen | 53,64 € | 5,74 € | 8,41 |
| Ausmähen vom Bauern selbst (Randbereiche) | 20,98 € | 2,24 € | 3,29 |
| Schwaden | 30,53 € | 3,26 € | 4,79 |
| Schwaden Bauer selbst (kleine Flächen - Obstgarten) | 12,72 € | 1,36 € | 1,99 |
| Ladewagenbetrieb (Daten Praxiswerte BAL - Dr. Greimel) | 67,44 € | 7,21 € | 10,57 |
| Ladewagen klein für 1. Schnitt | 16,19 € | 1,73 € | 2,54 |
| Zusätzlicher Transport - 20 km Grün direkt mit JUMBO hin u. zurück zur GBR - Verarbeitung | 306,37 € | 32,77 € | 48,03 |
| SUMME Kosten Dauerwiese Grün | 637,87 € | 68,22 € | 100,00 |

Tab. 12: Kostenermittlung – Feldfutter frisch (z.B. KLG- G od. Luzerne)

| Position | Kosten für 4 Schnitte [€/ha] | Kosten pro t TM [€/t TM] | % |
|---|------------------------------|--------------------------|---------------|
| Pflügen alle 3 Jahre (12 h/3 a = 4 h) | 4,43 € | 0,47 € | 0,65 |
| Saat alle 3 Jahre (24 h/3 a = 8 h) | 29,62 € | 3,17 € | 4,37 |
| Saatgut alle 3 Jahre 25 kg/ha (2,67 €/kg laut DB Katalog inkl. MWSt) | 22,25 € | 2,38 € | 3,28 |
| Wiese abschleppen | 13,28 € | 1,42 € | 1,96 |
| Düngung - Gülle mit 5m ³ Fass (16 h je Schnitt) | 76,10 € | 8,14 € | 11,22 |
| Mistausbringung (je 6 Stunden 2x pro Jahr) | 18,43 € | 1,97 € | 2,72 |
| Unkrautbekämpfung (Ampfer) | 22,19 € | 2,37 € | 3,27 |
| Mähen | 53,64 € | 5,74 € | 7,91 |
| Ausmähen vom Bauern selbst (Randbereiche) | 20,98 € | 2,24 € | 3,09 |
| Schwaden | 30,53 € | 3,26 € | 4,50 |
| Schwaden Bauer selbst (kleine Flächen - Obstgarten) | 12,72 € | 1,36 € | 1,88 |
| nur Ladewagenbetrieb (Daten Praxiswerte BAL - Dr. Greimel) | 67,44 € | 7,21 € | 9,95 |
| Zusätzlicher Transport - 20 km Grün direkt mit JUMBO hin u. zurück zur GBR-Verarbeitung | 306,37 € | 32,77 € | 45,19 |
| SUMME Kosten Feldfutter Grün | 677,98 € | 72,51 € | 100,00 |

Bei dem frischen Rohstoff sieht man sehr deutlich, dass die Logistikkosten massiven Einfluss (48 % bzw. 45 %) auf die Rohstoffkosten haben. Der durchschnittliche Transportaufwand von 20 km lässt sich aber nur schwer reduzieren, da der Rohstoff in allen Stufen frisch zentral verarbeitet werden muss (Proteingewinnung). Dies ist ein Nachteil, der aus der klein strukturierten Landwirtschaft erwächst. Einsparungspotenzial hingegen bietet die Gülleausbringung, wenn sie überbetrieblich organisiert wird.

Tab. 13: Kostenermittlung Dauerwiese – Silage (DW-S)

| Position | Kosten für 4 Schnitte [€/ha] | Kosten pro t TM [€/t TM] | % |
|---|------------------------------|--------------------------|---------------|
| Wiese abschleppen | 13,28 € | 1,78 € | 2,04 |
| Düngung - Gülle mit 5m ³ Fass (16 h je Schnitt) | 76,10 € | 10,17 € | 11,71 |
| Mistausbringung (je 6 Stunden 2x pro Jahr) | 18,43 € | 2,46 € | 2,84 |
| Unkrautbekämpfung (Ampfer) | 22,19 € | 2,97 € | 3,42 |
| Mähen | 53,64 € | 7,17 € | 8,26 |
| Ausmähen vom Bauern selbst (Randbereiche) | 20,98 € | 2,81 € | 3,23 |
| Schwaden | 30,53 € | 4,08 € | 4,70 |
| Schwaden Bauer selbst (kleine Flächen - Obstgarten) | 12,72 € | 1,70 € | 1,96 |
| Selbstfahrhäcksler | 91,47 € | 12,23 € | 14,08 |
| Erntewagen 1 | 30,06 € | 4,02 € | 4,63 |
| Erntewagen 2 | 30,06 € | 4,02 € | 4,63 |
| Starter-Bakterien | 37,21 € | 4,97 € | 5,73 |
| Walzen - Traunsteiner Silo | 34,36 € | 4,59 € | 5,29 |
| Silo abdecken Arbeitszeit (5 Stunden pro Schnitt) | 9,25 € | 1,24 € | 1,42 |
| Siloanstrich | 4,85 € | 0,65 € | 0,75 |
| Folie (Annahme) | 3,32 € | 0,44 € | 0,51 |
| Kreditkosten (gleichbleibende Rückzahlung ab d. 1 Jahr) | 108,39 € | 14,49 € | 16,68 |
| Annuität Eigenleistung | 27,86 € | 3,72 € | 4,29 |
| Zusätzlicher Transport - 10 km nur eine Strecke nötig mit LKW | 24,93 € | 3,33 € | 3,84 |
| SUMME Dauerwiese Silage | 649,62 € | 86,85 € | 100,00 |

Tab. 14: Kostenermittlung Feldfutter Silage – (z.B. KLG-S)

| Position | Kosten für 4 Schnitte [€/ha] | Kosten pro t TM [€/t TM] | % |
|--|------------------------------|--------------------------|---------------|
| Pflügen alle 3 Jahre (12 h/3 a = 4 h) | 4,43 € | 0,59 € | 0,63 |
| Saat alle 3 Jahre (24 h/3 a = 8 h) | 29,62 € | 3,96 € | 4,20 |
| Saatgut alle 3 Jahre 25 kg/ha (2,67 €/kg laut DB Katalog inkl. MWSt) | 22,25 € | 2,97 € | 3,15 |
| Wiese abschleppen | 13,28 € | 1,78 € | 1,88 |
| Düngung - Gülle mit 5m ³ Fass (16 h je Schnitt) | 76,10 € | 10,17 € | 10,78 |
| Mistausbringung (je 6 Stunden 2x pro Jahr) | 18,43 € | 2,46 € | 2,61 |
| Unkrautbekämpfung (Ampfer) | 22,19 € | 2,97 € | 3,14 |
| Mähen | 53,64 € | 7,17 € | 7,60 |
| Ausmähen vom Bauern selbst (Randbereiche) | 20,98 € | 2,81 € | 2,97 |
| Schwaden | 30,53 € | 4,08 € | 4,32 |
| Schwaden Bauer selbst (kleine Flächen - Obstgarten) | 12,72 € | 1,70 € | 1,80 |
| Selbstfahrhäcksler | 91,47 € | 12,23 € | 12,96 |
| Erntewagen 1 | 30,06 € | 4,02 € | 4,26 |
| Erntewagen 2 | 30,06 € | 4,02 € | 4,26 |
| Starter-Bakterien | 37,21 € | 4,97 € | 5,27 |
| Walzen - Traunsteiner Silo | 34,36 € | 4,59 € | 4,87 |
| Silo abdecken Arbeitszeit (5 Stunden pro Schnitt) | 9,25 € | 1,24 € | 1,31 |
| Silostrich | 4,85 € | 0,65 € | 0,69 |
| Folie (Annahme) | 3,32 € | 0,44 € | 0,47 |
| Kreditkosten (gleichbleibende Rückzahlung ab d. 1 Jahr) | 108,39 € | 14,49 € | 15,35 |
| Annuität Eigenleistung | 27,86 € | 3,72 € | 3,95 |
| Zusätzlicher Transport - 10 km nur eine Strecke nötig mit LKW | 24,93 € | 3,33 € | 3,53 |
| SUMME Feldfutter Silage | 705,92 € | 94,37 € | 100,00 |

Es wird angenommen, dass im Falle der Silagebereitung die Logistikkosten signifikant gesenkt werden können (auf ca. 4 % der Gesamtkosten). Gründe sind einerseits der höhere TM Gehalt, die bessere Lage und Zugänglichkeit der Silos (es muss nicht jede Wiese einzeln angefahren werden) und die Möglichkeit die Silage, so sie nicht dezentral verarbeitet wird, per LKW zu den Standardtarifen zu transportieren.

Hohen Anteil an den Kosten hat die Gülleausbringung, der Selbstfahrhäcksler und die Kreditrate für den Silo. Ein überbetriebliches Güllemanagement kann hier ebenfalls zu einer Kostenreduktion beitragen. Einsparungen durch bessere Auslastung des Selbstfahrhäcksler, bedingt durch die Grüne Bioraffinerie, sind möglich. Allerdings muss festgehalten werden, dass sowohl Investitionskosten als auch Betriebskosten für Selbstfahrhäcksler sehr hoch sind. Die Kreditkosten für den Silo zu reduzieren wird kaum möglich sein, außer es werden große Gemeinschaftssilos gebaut, die aber eventuell das Landschaftsbild stören könnten.

Als Vergleichsgröße kann hier der reale Preis für eine Tonne TM Maissilage angegeben werden. Dieser Preis wird derzeit von einem feldbacher Landwirt mit Biogasanlage für "Energiepflanzen-Silage" bezahlt. Der Preis beträgt 66 €/t TM Silage.

Die obigen Berechnungen ergeben folgende Rohstoffkosten, die auch für die weitere Betrachtung verwendet werden.

Tab. 15: GBR – Rohstoffkosten auf Vollkostenbasis

| | |
|-----------------------------|---------|
| Grün DW | 68,22 € |
| Grün Feldfutter (> 20 % CP) | 72,51 € |
| Silage DW | 86,85 € |
| Silage Feldfutter | 94,37 € |

5.3 Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Bioraffinerie

Für die nachfolgend verwendete Kostenbetrachtung wird von folgenden Annahmen ausgegangen.

Tab. 16: Annahmen für Wirtschaftlichkeitsberechnung

| Parameter | Annahme |
|---|----------|
| Gesamtfläche | 1.145 ha |
| davon Dauerwiese | 294 ha |
| Jahresbetriebsstunden der Bioraffinerie | 8.000 |
| Anteil Kredit an Gesamtinvestition | 30 % |
| Zinssatz Kredit | 7 % |
| Laufzeit Kredit in Jahren | 10 |
| Zinssatz Annuität | 4,5 % |
| Laufzeit Annuität in Jahren | 8 |
| Versicherung in % der Investition | 1,5 |
| Instandhaltung in % der Investition | 1,5 |
| Kosten für Mess- und Regeltechnik in % der maschinellen Investition ex Biogasanlage | 20 |
| Arbeitsstunde (LW + Arbeiter) in € | 10,90 |

5.4 Basisvariante Grasverwertung in Biogasanlage

Im Kapitel 12 wurden die Möglichkeiten der Verwertung von Gras und Silage in einer Biogasanlage beschrieben. Unter Nutzung der dort beschriebenen Möglichkeiten lässt sich folgende Mengenbilanz und daraus abgeleitet die Wirtschaftlichkeitsrechnung darstellen. Die ökonomischen Betrachtungen wurden von H. Steinmüller ausgearbeitet.

Tab. 17: Rohstoffmengen für die Biogasanlage

| Substrat | FM [t/a] | TM [t/a] | t FM/d | TM [%] | oTM [%] |
|----------------------|----------------|---------------|--------------|-------------|---------|
| GRÜN gesamt | 7.560 | 1.663 | 45,0 | 22,0 % | 87 % |
| SILAGE gesamt | 29.568 | 9.787 | 177,1 | 33,1 % | 90 % |
| Presswasser* | 80.000 | 2.400 | 219,2 | 3,0 % | 0 % |
| SUMME | 117.128 | 13.850 | 222,1 | 11,8 | - |

*Das Presswasser welches beim Abpressen der Biogasgülle anfällt, wird zum Einstellen des Feststoffgehaltes zurückgeführt.

Tab. 18: Auslegungsdaten Biogasanlage

| Fermenterdaten | Wert | Einheit |
|--------------------------------|----------|----------------|
| HRT Verweildauer anaerob | 23 | d |
| erford. Fermentervolumen | 7381 | m ³ |
| Volumen eines Vorlagebehälters | 600 | m ³ |
| Ablaufzwischen Speichervolumen | 1000 | m ³ |
| TM-Gehalt Beschickung | 11,82 | % |
| BHKW-Daten | | |
| BHKW-Leistung gewählt | 1430 | kW |
| Laufzeit BHKW | 22 | h/d |
| | 8000 | h/Jahr |
| Methangehalt im Biogas | 62 | % |
| Wirkungsgrad BHKW el | 36 | % |
| Wirkungsgrad BHKW th | 48 | % |
| Energiebilanz | | |
| Energiegehalt Biogas | 31709266 | kWh/a |
| Stromproduktion BHKW | 11415336 | kWh/a |
| Stromüberschuss, Schätzung | 9703035 | kWh/a |
| Wärmeproduktion | 15220448 | kWh/a |
| Wärmeüberschuss, Schätzung | 9893291 | kWh/a |

Tab. 19: Produkterlöse der Biogasanlage

| Produkt | Erlöse | Energiepreis |
|---------|-------------|-----------------|
| Strom | 1.008.360 € | 0,104 € pro kWh |
| Wärme | 323.538 € | 0,033 € pro kWh |

Tab. 20: Jahreskostenermittlung – reine Biogasanlage

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Investment Biogas | 2.286.986 € |
| Kredit | -91.294 € |
| Annuität | -242.711 € |
| Rohstoffkosten GRÜN | -120.601 € |
| Rohstoffkosten SILAGE | -901.539 € |
| Personal | -16.000 € |
| Versicherung | -34.305 € |
| Instandhaltung | -34.305 € |
| Summe der Ausgaben | -1.440.754 € |
| Strom | 1.008.360 € |
| Wärme | 323.538 € |
| Summe Einnahmen | 1.331.898 € |
| Saldo | -108.856 € |

Aus dieser Berechnung ist ersichtlich, dass unter den getroffenen Annahmen die Biogasanlage nicht rentabel betrieben werden kann. Um einen ausgeglichenen Saldo zu erreichen, müssten entweder

- ⌘ die durchschnittlichen Rohstoffkosten um 11 % auf 79,76 Euro reduziert werden, oder
- ⌘ der Stromeinspeisetarif um 11 % auf 0,115 € erhöht werden, oder
- ⌘ die Investition mit 33 % verlorenem Zuschuss gefördert werden.

Die Reduktion der Rohstoffkosten wie auch ein Zuschuss von 33 % sind generell vorstellbar, sodass der Bau einer Biogasanlage zur Verwertung von Gras im Bezirk Feldbach eine mögliche Alternative darstellen kann.

5.5 Verwertung von Wiesengrünmasse

Tab. 21: Annahmen

| Parameter | Einheit | Wert |
|---|-----------|-------|
| Durchsatzleistung – Fraktionierung | t FM/h | 2,5 |
| Arbeitszeit pro Tag (4 bis 22 Uhr) | h | 18 |
| Betriebstage pro Woche | Tage | 7 |
| Saisondauer | Wochen | 24 |
| Jahresmenge Trockensubstanz | t TM/a | 1663 |
| Trockensubstanz Einsatzmaterial (leicht angewelkt) | % | 22 |
| Jahresmenge Frischsubstanz | t FM/a | 7560 |
| Hektarertrag | t TM/ha*a | 10 |
| benötigte Fläche | ha | 166 |
| Rohstoffzusammensetzung | % oTM | 87,4 |
| Mess- und Regeltechnik in % d. maschinellen Investition | % | 20 |
| Anteil Kredit an Investition | % | 30 |
| Zinssatz Kredit | % | 7 |
| Laufzeit Kredit | Jahre | 10 |
| Zinssatz Annuität | % | 4,5 |
| Laufzeit Annuität | Jahre | 8 |
| Versicherung in % d. Investition | % | 1,5 |
| Instandhaltung in % d. Investition | % | 1,5 |
| Rohstoffkosten | €/t TM | 72,51 |
| Arbeitsstunde (LW + Arbeiter) | € | 10,90 |

5.5.1 Erzeugung von Protein aus Presssaft von Wiesengrünmasse

Die Erzeugung von Proteinen als Erweiterung der Produktpalette aus Wiesengrünmasse wurde in Kapitel 8 diskutiert. Nachfolgend werden die erhaltenen Ergebnisse in einer Wirtschaftlichkeitsrechnung dargestellt, um abschätzen zu können, ob eine Proteinabtrennung ein Schritt zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit einer Grünen Bioraffinerie sein könnte.

Um Protein aus Wiesengrünmasse gewinnen zu können, ist es notwendig, diese auszupressen. Durch großtechnisch erprobte Verfahren wie die Koagulation und Zentrifugation, werden die Proteine aus dem Presssaft gewonnen.

Als erster Schritt der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist es daher notwendig, die Fraktionierung, also die Trennung von Presssaft und Presskuchen zu kalkulieren.

Da das Personal nicht 100 % den einzelnen Anlagen zugeordnet werden kann, werden von den Personalkosten der Grünen Linie (siehe nachfolgende Tabelle) der Biogasanlage 16.000 €, der Fraktionierung 33.618 € und der Proteingewinnung 33.000 € zugerechnet.

Tab. 22: Personalkosten der „Grünen Linie“

| Tätigkeit | Personen | Jahreskosten |
|---|----------|-----------------|
| Betriebsleiter+Verkauf+Marketing+F&E-Koord. | 0,25 | 14.896 € |
| Verwaltung | 0,25 | 8.276 € |
| Lager+Annahme+Proteine+Verpackung+Versand | 0,25 | 8.276 € |
| Betreuung Steuerung+Biogas | 0,25 | 9.931 € |
| Arbeiter je Schicht | 1 | 32.964 € |
| Labor | 0,25 | 8.276 € |
| Summe | | 82.618 € |

Die Investition für die maschinelle Ausrüstung der Fraktionierung (Presse plus Zellaufschluss) mit einer Leistung von 2,5 t Frischmasse pro Stunde belaufen sich auf €210.000.

Tab. 23: Kostenermittlung der Fraktionierung

| Kostenart | Jahreskosten | % |
|------------------------|-----------------|------------|
| Hilfsstoffe | 1.000 € | 1 |
| Strom | 28.076 € | 28 |
| Personalkosten | 33.000 € | 33 |
| Versicherung (1,5 %) | 3.141 € | 3 |
| Instandhaltung (1,5 %) | 3.141 € | 3 |
| Kredit | 8.360 € | 8 |
| Annuität | 22.224 € | 22 |
| ZS Modul 2-1 | 98.943 € | 100 |

In weiterer Folge wird das Protein durch Koagulation gewonnen.

Tab. 24: Einnahmen der Proteingewinnung

| Einnahmen | in [€/Jahr] |
|--------------|-------------|
| Proteinerlös | 93.139 € |

Tab. 25: Ausgaben der Proteingewinnung

| Ausgaben | in [€/Jahr] | % |
|--------------------------------|--------------------|------------|
| Rohstoffkosten | -8.545 € | 4 |
| Hilfsstoffe | -1.313 € | 1 |
| Dampf | -7.815 € | 4 |
| Wärme (Trocknung) | -12.847 € | 6 |
| Strom | -8.218 € | 4 |
| Personalkosten | -66.618 € | 30 |
| Versicherung (1,5 %) | -881 € | 0 |
| Instandhaltung (1,5 %) | -881 € | 0 |
| Anteil Modul 2-1 | -35.359 € | 16 |
| Anteilige GK (Basis oTM) | -25.874 € | 12 |
| Kredit | -2.345 € | 1 |
| Annuität | -6.235 € | 3 |
| Anteil Kredit Fraktionierung | -8.360 € | 4 |
| Anteil Annuität Fraktionierung | -22.224 € | 10 |
| Anteil Kredit Globale Kosten | -3.159 € | 1 |
| Anteil Annuität Global Kosten | -8.398 € | 4 |
| Summe Ausgaben | -219.072 € | 100 |

Daraus ergibt sich für die Proteingewinnung ein negativer Saldo von € -125.933 pro Jahr. Vergleicht man diesen negativen Saldo von € -125.933 mit den Kosten der Fraktionierung von € 98.943, so ist ersichtlich, dass die Proteingewinnung auch dann kein positives Ergebnis erzielt, wenn die Kosten für die Fraktionierung nicht der Proteingewinnung zugerechnet werden. Erst wenn durch eine verbesserte Technologie der Proteingewinnung entweder mehr oder höherpreisige Proteine gewonnen werden können, wird die Abtrennung wieder sinnvoll (siehe "Zukunft der Grünen Bioraffinerie").

5.5.2 Nutzung von Presssaft als Fermentationsrohstoff

In Kapitel 9 wurden die Möglichkeiten der Nutzung des Presssaftes als Fermentationsrohstoff und die dafür durchgeführten Versuche dargestellt und diskutiert. Die nachfolgende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung versucht zu ermitteln, wo die Grenzkosten für die Abgabe des Fermentationsrohstoff liegen. Dabei wird davon ausgegangen, dass bei nicht Einleitung des Presssaftes in die Biogasanlage geringere Gaserträge und somit geringere Erlöse für Strom und Wärme erzielt werden können. Der gewonnene Presssaft ist vor dem Verkauf auf 50 % TM einzudicken, sodass zusätzliche Investitionen und Betriebskosten zu berücksichtigen sind.

Bei der angenommenen Anlagengröße mit einem Durchsatz von 2,5 t Gras Frischsubstanz pro Stunde fallen im Jahr 4536 Tonnen Presssaft mit einem Gesamttrockenmassegehalt von 454 Tonnen an. Das verkaufsfähige Produkt mit 50 % TM ist somit 908 Tonnen.

Nach Überlegungen und den durchgeführten Fermentationsversuchen des Instituts für Biotechnologie der TU-Graz kann mit einem maximalen Verkaufswert von 250 € pro Tonne Trockensubstanz gerechnet werden, was einen Erlös als Fermentationsrohstoff von 113.500 € pro Jahr ergibt.

Um die Sinnhaftigkeit der Ausschleusung zu überprüfen werden nachfolgend die Grenzkosten ermittelt.

Tab. 26: Ermittlung der Mindererlöse der Biogasanlage

| Parameter | Menge | Einheit |
|---------------------------------|---------|-------------------------|
| Verringerte oTM in Biogasanlage | 323 | to |
| verringerte Biogasmenge | 161.500 | m ³ pro Jahr |
| verringerte Stromproduktion | 360.468 | kWh |
| verringerte Wärmeproduktion | 480.624 | kWh |
| verringertes Stromverkauf | 306.398 | kWh |
| verringertes Wärmeverkauf | 312.406 | kWh |

Verwendet man die in der gesamten Studie angewendeten Erträge für Strom und Wärme von 0,091 €/kWh bzw. 0,033 €/kWh so erhält man einen Mindererlös 27.880 € für Strom und 10.310 € für Wärme, also in Summe 38.190 €.

Diesem Mindererlös, dem normalerweise die geringeren Kosten für die Biogasproduktion gutgeschrieben werden sollten, was aber in diesem Fall nicht passiert, weil davon ausgegangen wird, dass die Brüden der Produkteindampfung in die Biogasanlage zurückgeführt werden, müssen noch die Kosten für die Fraktionierung sowie die Kosten für die Aufbereitung (Eindampfung) zu einem Produkt mit 50 % Trockensubstanz hinzugerechnet werden.

Wie bereits weiter oben dargestellt, verursacht die Fraktionierung Jahreskosten von 98.940 €. Weiters ist mit einem personellen Aufwand für die Aufbereitung als Fermentationslösung zu rechnen, der dem bei der Proteingewinnung vergleichbar ist, sodass zusätzliche 33.000 € anzusetzen sind. Addiert man nun die so ermittelten Kosten von 131.940 € mit den Mindererlösen von 38.190 € so erhält man eine Summe von 170.130 €, der ein Ertrag durch den Verkauf als Fermentationslösung von 113.500 € gegenübersteht, wobei die notwendigen Investitionskosten noch nicht berücksichtigt wurden. Somit kann gesagt werden, dass ein Verkauf als Fermentationslösung nur dann sinnvoll erscheint, wenn die Kosten der Fraktionierung auch auf andere Produkte angerechnet werden können.

5.5.3 Nutzung von Presskuchen als Faserrohstoff bzw. Futtermittel

Das zweite Produkt der Fraktionierung ist der Presskuchen. Nachfolgend wird untersucht, zu welchen Kosten der Presskuchen verkauft werden kann, damit die aliquoten Kosten (73 % d. TM) des Rohstoffes und der Fraktionierung gedeckt sind.

Tab. 27: Ermittlung des Mindestpreises

| | | |
|----------------------------------|-----------|--------|
| Gesamtrohstoffmenge | t TS/Jahr | 1.663 |
| Rohstoffmenge in Faserverwertung | t TS/Jahr | 1.210 |
| Rohstoffkosten | €/t TS | 72,51 |
| Rohstoffkosten Faserverwertung | €/Jahr | 87.737 |
| Gesamtkosten Fraktionierung | €/Jahr | 98.943 |
| Anteilige Kosten Fraktionierung | €/Jahr | 72.228 |
| Mindestpreis Faserrohstoff | €/t TS | 132 |

Weiters gilt zu bedenken, dass bei einer Verwertung des Feststoffes der Presssaft, wenn er nicht einer Verwertung zugeführt werden kann, entsorgt werden muss. Die Kosten in einer kleinen Biogasanlage sind deutlich höher als in einer größeren Anlage, sodass gesagt werden kann, dass der Presskuchen wirtschaftlich zu einem Preis von ca. 180 bis 200 Euro pro Tonne TM verkauft werden müsste. Dies ist eine Größenordnung, die an Hand der durchgeführten Recherchen als vernünftig angesehen werden kann.

5.5.4 Gesamtnutzung von Presssaft und Presskuchen

Abgeleitet von dem oben Gesagten wird nachfolgend die vollständige Verwertung des Grünschnittes zu Protein, Fermentationslösung und Faserrohstoff dargestellt.

Hierfür werden zuerst die Kosten für die organische Trockenmasse nach der Fraktionierung ermittelt.

Tab. 28: Verteilung der organischen Trockensubstanz

| | t oTM/Jahr | % oTM |
|-----------------|------------|-------|
| Gesamt | 1.454 | 100,0 |
| Proteinfraktion | 104 | 7,2 |
| Brown Juice | 220 | 15,1 |
| Presskuchen | 1.130 | 77,7 |

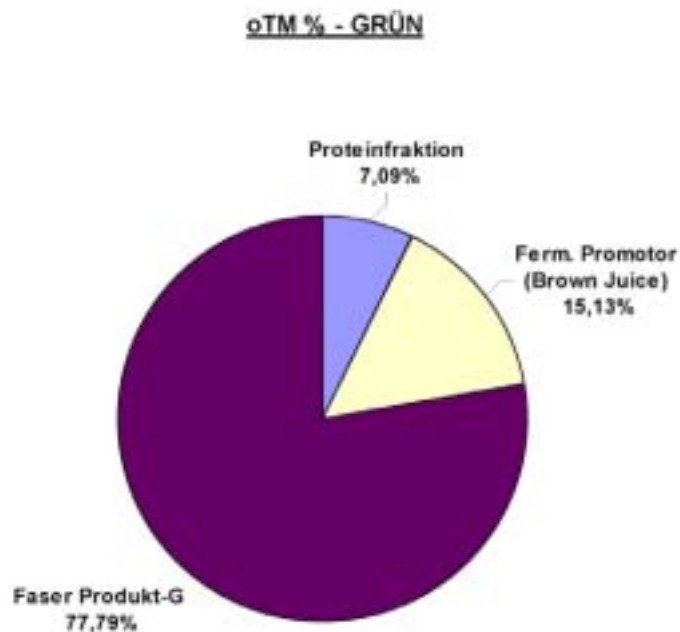


Fig. 16: Verteilung der organischen Trockensubstanz

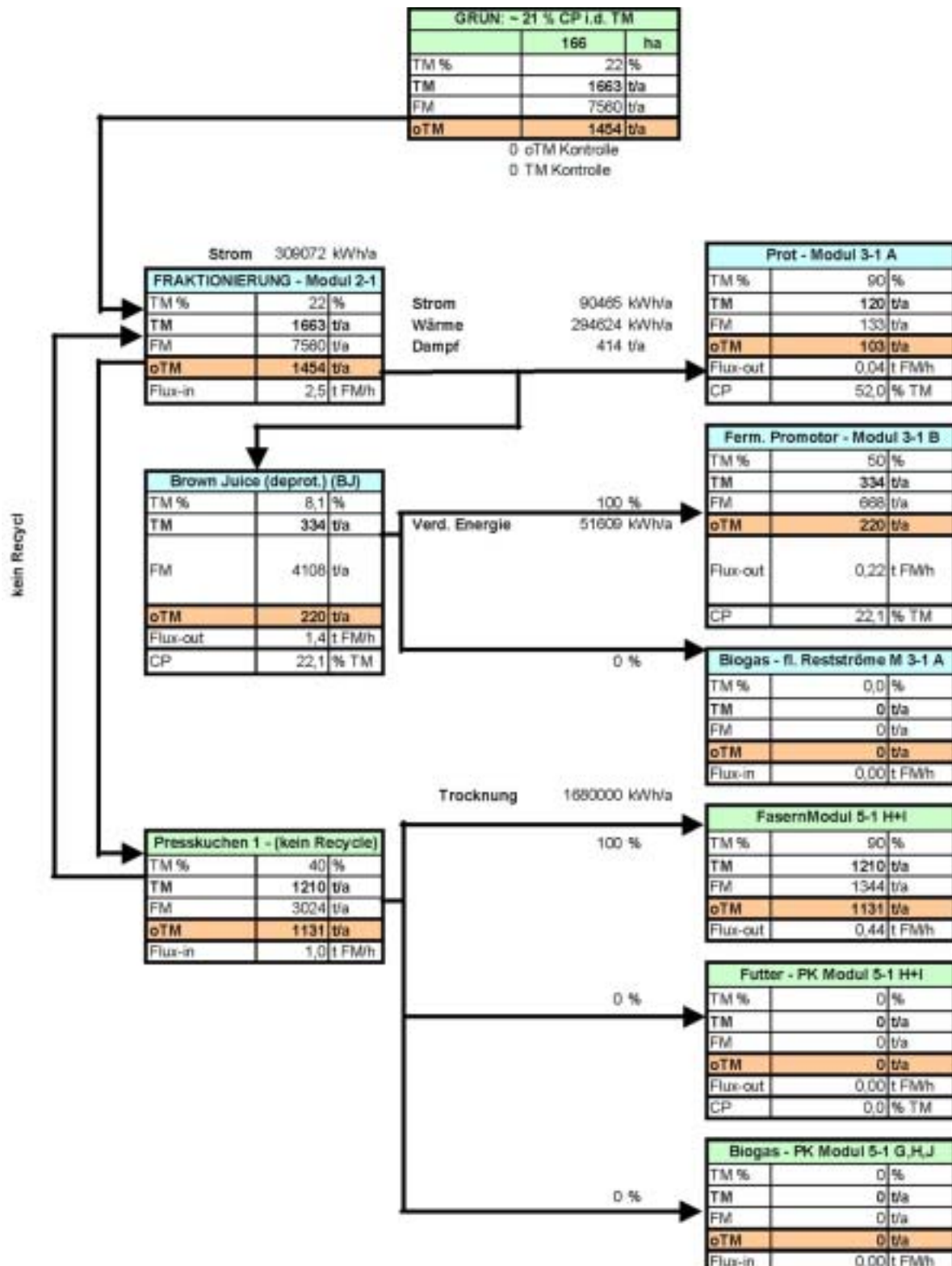


Fig. 17: Stoffflüsse (Produkt, oTM und TM) für die GBR Gesamtvariante - GRÜN

Bei der Kostenermittlung ist zu unterscheiden, ob der Saft oder der Presskuchen in die Biogasanlage geführt werden oder als Produkte verkauft werden. Denn nur als Produkte können die Teilströme Kosten für die Fraktionierung übernehmen, da für die Biogasanlage eine Fraktionierung nicht notwendig ist.

Tab. 29: Basisdaten

| | | |
|-----------------------------|------------|----------|
| Gesamtrohstoffmenge | t TM/Jahr | 1.663 |
| Gesamtrohstoffmenge | t oTM/Jahr | 1.454 |
| Rohstoffkosten | €/t TM | 72,5 € |
| Rohstoffkosten | €/t oTM | 82,9 € |
| Gesamtkosten Fraktionierung | €/Jahr | 98.943 € |

Tab. 30: oTM Kosten, wenn Presskuchen nicht als Produkt verwertet wird

| | % oTM | Anteil Rohstoffkosten | Anteil Fraktionierung | Jahreskosten | Kosten pro t oTM | Kosten pro t TM |
|-----------------|-------|-----------------------|-----------------------|--------------|------------------|-----------------|
| Proteinfraktion | 7,2 | 8.682 € | 31.946 € | 40.628 € | 389 € | 337 € |
| Braun Juice | 15,1 | 18.208 € | 66.997 € | 85.205 € | 389 € | 256 € |
| Presskuchen | 77,7 | 93.694 € | | 93.694 € | 83 € | 75 € |

Tab. 31: oTM Kosten, wenn gesamter Presskuchen als Produkt verwertet wird

| | % oTM | Anteil Rohstoffkosten | Anteil Fraktionierung | Jahreskosten | Kosten pro t oTM | Kosten pro t TM |
|-----------------|-------|-----------------------|-----------------------|--------------|------------------|-----------------|
| Proteinfraktion | 7,2 | 8.682 € | 7.124 € | 15.806 € | 151 € | 131 € |
| Braun Juice | 15,1 | 18.208 € | 14.940 € | 33.149 € | 151 € | 99 € |
| Presskuchen | 77,7 | 93.694 € | 76.879 € | 170.573 € | 151 € | 136 € |

Die Tabellen (30 u. 31) zeigen, dass Brown Juice als Fermentationslösung verkaufbar erscheint, auch wenn der Presskuchen in die Biogasanlage geleitet wird und somit keine Kosten der Fraktionierung übernimmt, dass Presskuchen ebenfalls verkaufbar ist und in diesem Fall sogar Kosten für die Fraktionierung übernehmen kann, wenn es gelingt, ein Preissegment um etwa 200 € pro Tonne zu finden.

Eine weitere Möglichkeit, die Abhängigkeiten von den einzelnen Verwertungswegen darzustellen, zeigt die nachfolgende Abbildung.

Zum Erhalt dieser Darstellung wurden folgende Annahmen getroffen:

- ⌘ Kostenverteilung (Fraktionierung, Personal, Steuerung, Overheads) auf alle drei Fraktionen gemäß deren oTM Anteilen
- ⌘ Investitionskosten für Proteinfractionierung 58.750 €
- ⌘ keine Investitionskosten für Eindampfung Presssaft
- ⌘ Erlös für Protein 0,70 € pro kg Rohprotein
- ⌘ Erlös für Fermentationslösung 200 € pro Tonne TS
- ⌘ Erlös für Faser 110 € pro Tonne TS
- ⌘ Kosten für Strom und Wärme immer zu den Konditionen wie Einspeisetarife

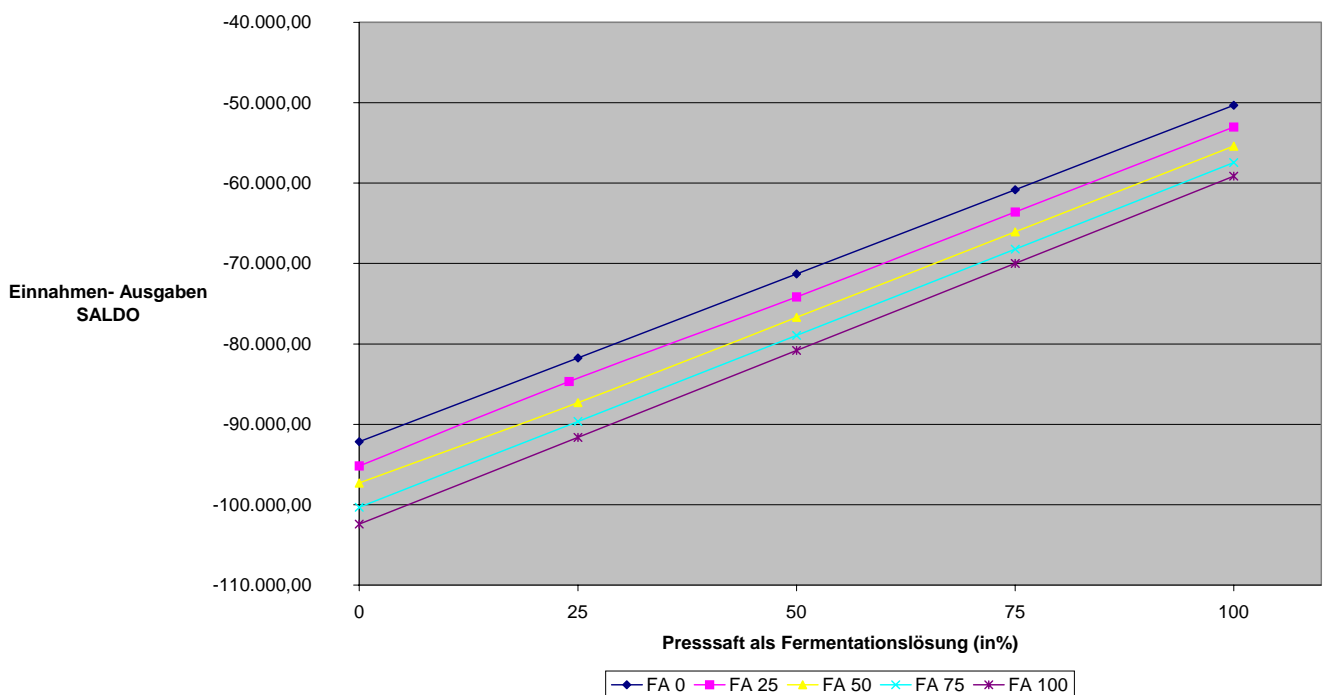


Fig. 18: Abhängigkeit des betriebswirtschaftlichen Ergebnisses von der Verwertung des Presssaftes als Fermentationslösung und des Presskuchens als Fasermaterial (FA)

5.6 Verwertung von Silage

Die folgenden Überlegungen basieren auf einer Anlage, die ganzjährig mit Silage betrieben wird.

Tab. 32: Tabelle 5-1: Annahmen Silageverwertung

| Parameter | Einheit | Wert |
|------------------------------------|----------------|-------|
| Trockensubstanz Einsatzmaterial | TM % | 33 |
| Jahresmenge Trockensubstanz | t TM/a | 9787 |
| Jahresmenge Frischsubstanz | t FM/a | 29568 |
| Rohstoffzusammensetzung | % oTM Rohstoff | 89,7 |
| Durchsatzleistung | t FM/h | 4,0 |
| Hektarertrag | t TM/ha*a | 10 |
| benötigte Fläche | ha | 979 |
| Anteil Dauerwiese | % | 30 |
| Saisondauer | Wochen Saison | 48 |
| Betriebstage pro Woche | Tage | 7 |
| Arbeitszeit pro Tag (4 bis 22 Uhr) | Stunden | 22 |

5.6.1 Milchsäuregewinnung

Die Erzeugung von Milchsäure als Erweiterung der Produktpalette aus Silage wurde in Modul 4 diskutiert. Nachfolgend werden die erhaltenen Ergebnisse in einer Wirtschaftlichkeitsrechnung dargestellt, um abschätzen zu können, ob eine Milchsäuregewinnung ein Schritt zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit einer „Grünen Bioraffinerie“ sein könnte.

Um Milchsäure aus Silage gewinnen zu können ist es notwendig die Silage auszupressen. Der erhaltene Presssaft entspricht zwar in seiner Zusammensetzung wegen der erhöhten Anteile an Protein, Zucker und Asche nicht der Fermentationslösung einer konventionellen Milchsäuregewinnung, trotzdem müsste es möglich sein, die als Stand der Technik vorhandenen Aufbereitungsschritte auch für diese Lösung zu adaptieren.

Als erster Schritt der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist es notwendig, die Fraktionierung (Trennung von Presssaft und Presskuchen) zu kalkulieren.

Da das Personal nicht eindeutig den einzelnen Anlagen zugeordnet werden kann, werden von den Personalkosten der Silage Linie (siehe Tabelle 33) der Biogasanlage 29.540 €, der Fraktionierung 100.000 € und der Milchsäuregewinnung 100.000 € zugerechnet.

Tab. 33: Personalkosten einer Silageverwertungsanlage

| Tätigkeit | Personen | Jahreskosten |
|---|----------|------------------|
| Betriebsleiter+Verkauf+Marketing+F+E-Koord. | 0,75 | 44.688 € |
| Verwaltung | 0,75 | 24.827 € |
| Lager+Annahme+Verpackung+Versand | 0,75 | 24.827 € |
| Betreuung Milchsäure+Steuerung+Biogas | 0,75 | 29.792 € |
| Arbeiter je Schicht | 1 | 80.580 € |
| Labor | 0,75 | 24.827 € |
| Summe | | 229.541 € |

Die Investition für die maschinelle Ausrüstung der Fraktionierung mit einer Leistung von 4 t Frischmasse pro Stunde belaufen sich auf € 194.000.

Tab. 34: Kostenermittlung der Fraktionierung

| Kostenart | Jahreskosten | % |
|------------------------|------------------|------------|
| Hilfsstoffe | 1.000 € | 1 |
| Strom | 68.923 € | 28 |
| Personalkosten | 100.000 € | 33 |
| Versicherung (1,5 %) | 2.900 € | 3 |
| Instandhaltung (1,5 %) | 2.900 € | 3 |
| Kredit | 7.719 € | 8 |
| Annuität | 20.521 € | 22 |
| ZS Modul 2-2 | 203.964 € | 100 |

Als nächster Schritt der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung soll ermittelt werden, zu welchen Mindestpreisen der Presssaft an eine Weiterverarbeitungsanlage abgegeben werden müsste, um die anteiligen Rohstoffkosten (20 %) und die Fraktionierungskosten abgedeckt zu erhalten.

Tab. 35: Ermittlung des Mindestpreises

| | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------|
| Gesamtrohstoffmenge | t TM/Jahr | 9.787 |
| Rohstoffmenge im Presssaft | t TM/Jahr | 1.993 |
| Rohstoffkosten | €/t TM | 92,12 € |
| Rohstoffkosten des Presssaftes | €/Jahr | 183.595 € |
| Gesamtkosten Fraktionierung | €/Jahr | 203.964 € |
| Milchsäuremenge | t/Jahr | 640 € |
| Mindestpreis Milchsäure in Lösung | €/t TM | 606 € |

Dieser Preis von 606 € pro Tonne Milchsäure ist sicherlich zu hoch, um den Presssaft an einen Dritten abzugeben. Dies auch deshalb, weil man bedenken muss, das im Presssaft

doch eine beträchtliche Menge an organischer Trockenmasse gelöst ist, die nicht in der Biogasanlage genutzt werden kann, wodurch der Preis für den Presssaft noch höher sein muss. Somit muss man an eine Weiterverarbeitung in der Grünen Bioraffinerie denken, damit der nach der Abtrennung der Milchsäure gewonnene Saft in die Biogasanlage zur Verarbeitung geschickt werden kann. Dadurch reduzieren sich die anteiligen Rohstoffkosten, die der Milchsäureproduktion anzurechnen sind, von 183.595 € auf 103.451 €, wodurch der Mindestpreis pro Tonne Milchsäure auf 480 € sinkt.

Obwohl in der Literatur kaum ökonomische Daten zur Aufarbeitung von Milchsäure gefunden werden können, kann man davon ausgehen, dass sich die Aufarbeitungskosten in einer Größenordnung von 0,2 bis 0,4 € pro Kilogramm Produkt bewegen. Dies würde bedeuten, dass Milchsäure um etwa 0,8 € pro Kilogramm erzeugbar sein müsste. Durch verbesserte Abtrennung sowie nochmalige Milchsäuregärung müsste es gelingen, die Milchsäureausbeute zu vergrößern und somit den Einfluss der Rohstoffkosten (dz. 287 € pro Tonne Milchsäure) zu reduzieren.

5.6.2 Verwertung des Presssaftes als Fermentationslösung

Eine weitere Möglichkeit den Silagepresssaft zu verwerten, wäre der Einsatz als Fermentationslösung. Wiederum könnte er als Substitutionsprodukt für Corn Steep Liquor verwendet werden. Wie bei der Verwendung des Grünsirups sind als Kosten die Fraktionierung, die anteiligen Rohstoffkosten, der geringere Verkaufserlös von Strom und Wärme sowie notwendige Investitionen für die Eindickung des Saftes auf 50 % TM zu berücksichtigen. Der geringere Verkaufserlös für Wärme und Strom wird deshalb voll kalkuliert, weil davon ausgegangen wird, dass die Brüden der Produkteindampfung in die Biogasanlage geleitet werden und daher die Biogasanlage nicht verkleinert werden kann.

Tab. 36: Mindestkostenkalkulation für milchsäurehaltigen Saft

| | | |
|--------------------------------|----------|--------------|
| Rohstoffkosten des Presssaftes | €/Jahr | 183.595 € |
| Gesamtkosten Fraktionierung | €/Jahr | 203.964 € |
| geringerer Stromerlös | €/Jahr | 122.060 € |
| geringerer Wärmeerlös | €/Jahr | 45.131 € |
| Summe | | 554.751 € |
| Kosten pro Tonne TM | € | 392 € |

Diesen Kosten steht ein Erlös von 200 bis 250 € pro Tonne Trockensubstanz gegenüber. Somit wird ersichtlich, dass der Verkauf als Fermentationslösung bestenfalls dann realisiert werden kann, wenn die Milchsäure davor entfernt wird. In diesem Fall stellt sich die Rechnung wie folgt dar.

Tab. 37: Mindestkostenkalkulation für milchsäurefreien Saft

| | | |
|---|----------|------------------|
| Rohstoffkosten des milchsäurefreien Presssaftes | €/Jahr | 80.144 € |
| Anteilige Kosten Fraktionierung | €/Jahr | 100.000 € |
| geringerer Stromerlös | €/Jahr | 75.101 € |
| geringerer Wärmeerlös | €/Jahr | 27.768 € |
| Summe | | 283.013 € |
| Kosten pro Tonne TS | € | 325 € |

5.7 Zusammenfassung

Die Verwertung von Silage ist sicherlich eine Möglichkeit Grünland und Feldfutterbauflächen außerhalb des Futtermittelmarktes unterzubringen. Die Gewinnung von Milchsäureprodukten ist aus heutigem Wissenstand betriebswirtschaftlich sinnvoll darstellbar. Der anfallende von Milchsäure befreite Presssaft könnte als Fermentationslösung eingesetzt werden. Die Erlöse sind jedoch derzeit geringer, als wenn der Saft in der Biogasanlage verwertet wird. Presskuchen könnte einerseits als Faserrohstoff oder andererseits in der Biogasanlage verwertet werden. Der Einsatz als Futtermittel scheint nur dann Sinn zu machen, wenn die Saftabtrennung dezentral erfolgt und somit die Verfütterung an Ort und Stelle erfolgen kann. Grünmasse hingegen kann nur dann in einer Grünen Bioraffinerie eingesetzt werden, wenn die Ausbeuten und Qualitäten der gewonnen Proteine deutlich gesteigert werden oder aber die Kosten für den Rohstoff deutlich reduziert werden.

Da die Verwertung von Silage in einer Anlage, die Milchsäure erzeugt und in der alle Reststoffe in einer Biogasanlage verarbeitet werden, nahe an der Wirtschaftlichkeitsgrenze liegt, wie nachfolgende Darstellung zeigt, könnte mit einer solchen Konfiguration der Start für eine Grüne Bioraffinerie erfolgen.

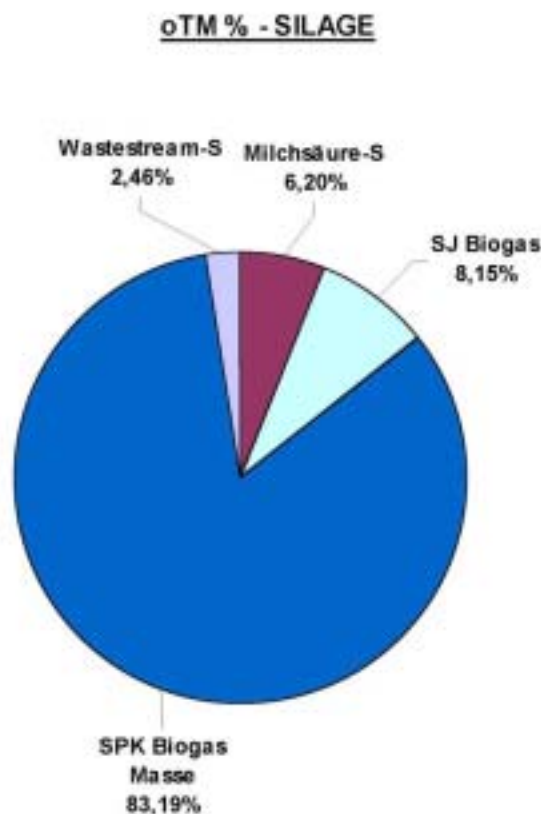


Fig. 19: oTM Aufteilung GBR – Milchsäure und Biogas

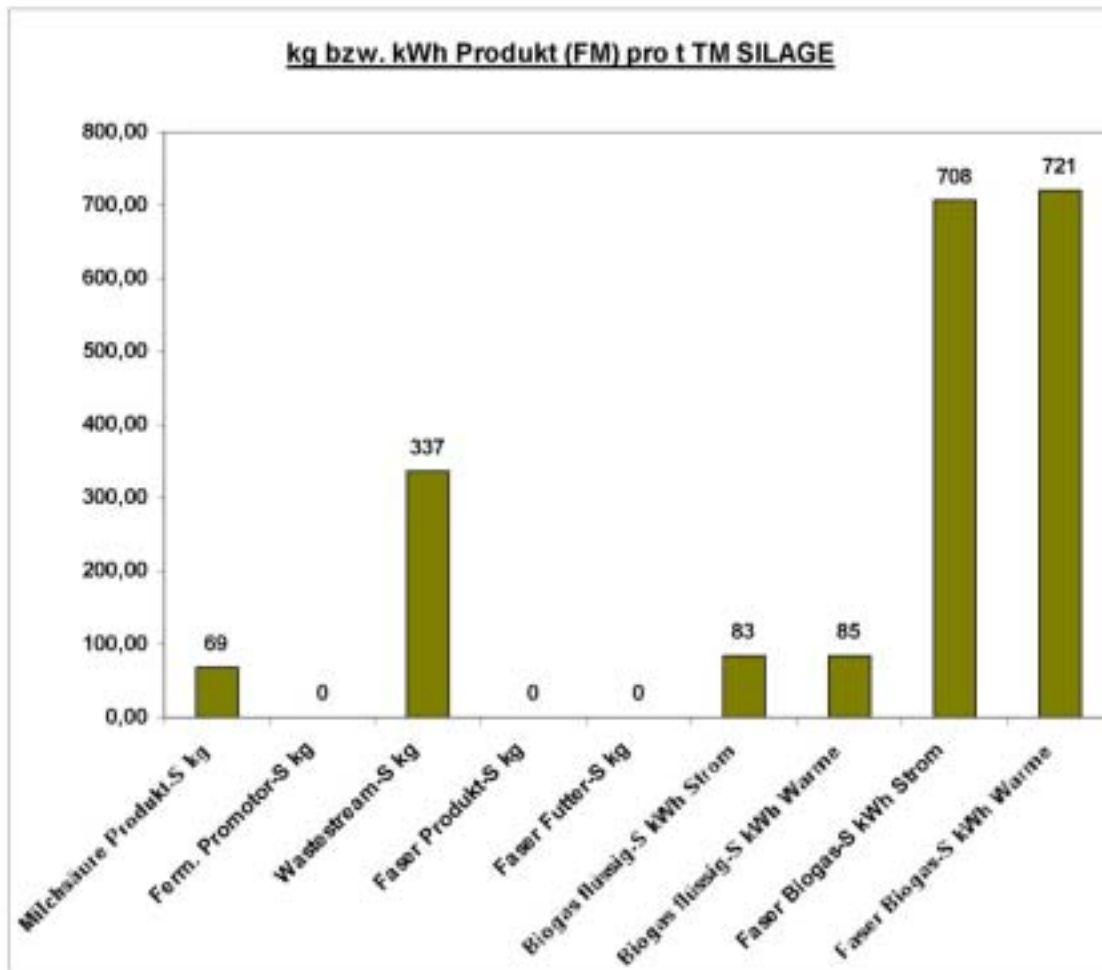


Fig. 20: Produkte (FM) – GBR Variante – Milchsäure und Biogas

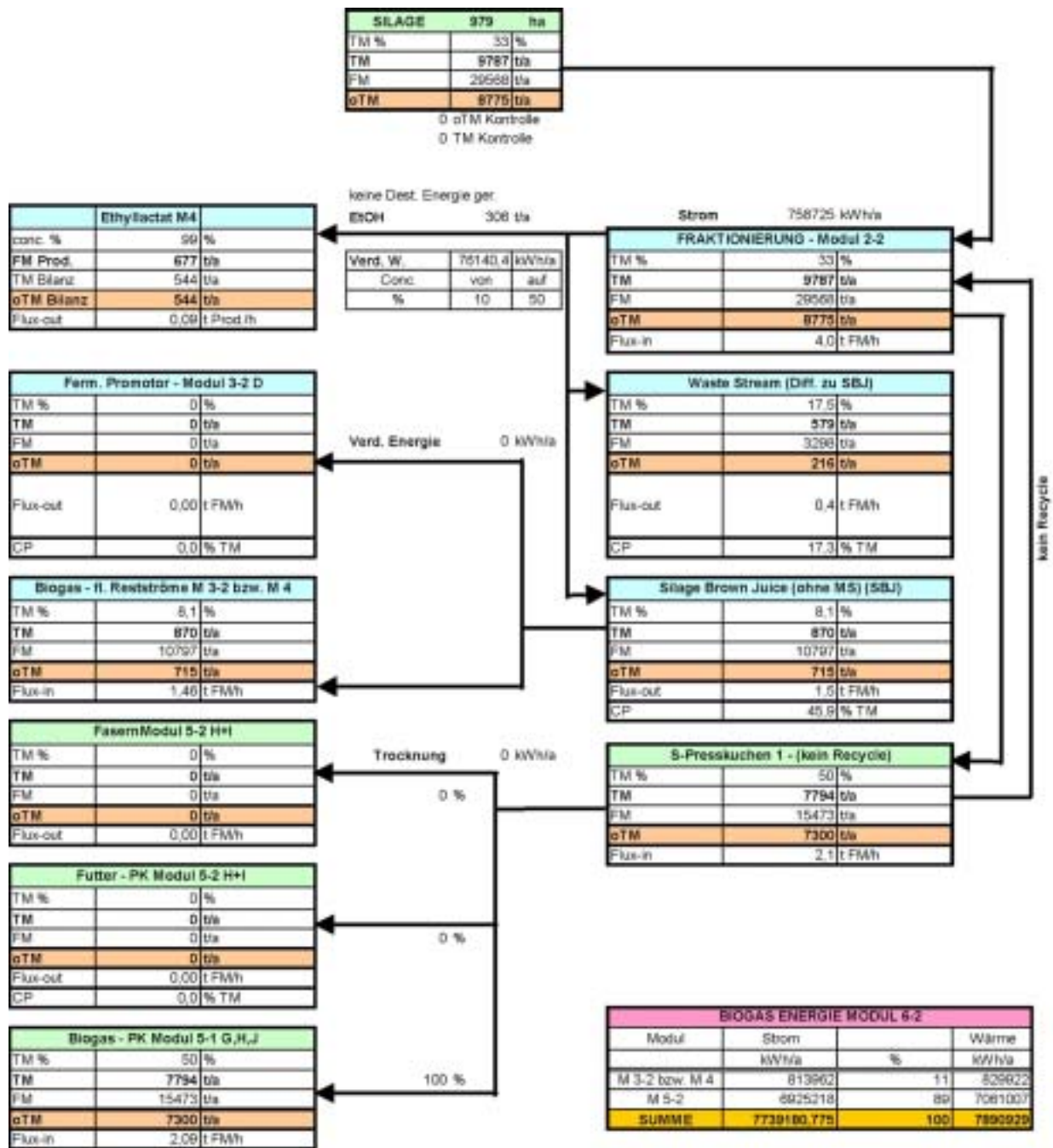


Fig. 21: Massenströme Produkt, oTM, TM – GBR-Silage – Milchsäure und Biogas

Tab. 38: Investitionskostenschätzung für die Silageverwertungsanlage

| Investitionsgut | Kosten in Euro |
|------------------------------------|----------------|
| Übergeordnete Einrichtungen | |
| Steuerung | 139.000 € |
| Zentrale Pumpen | 2.000 € |
| Verpackung | 10.000 € |
| Lager Adaptierung | 10.000 € |
| Labor | 0,00 € |
| Büroinfrastruktur | 7.000 € |
| Einzelanlagen | |
| Fraktionierung | 194.000 € |
| Biogasanlage | 1.800.000 € |
| Ethyllaktatanlage | 500.000 € |

Tab. 39: Erlöse

| Produkte | Erlöse pro Jahr in Euro |
|--------------|-------------------------|
| Ethyllactat | 792.627 € |
| Wärme | 258.055 € |
| Strom | 804.272 € |
| Summe | 1.854.954 € |

Tab. 40: Ausgaben

| Kostenart | Jahreskosten in Euro |
|---|----------------------|
| Rohstoffkosten | -901.539 € |
| Hilfsstoffe | -168.964 € |
| Wärme | -3.320 € |
| Personalkosten | -229.540 € |
| Versicherung (1,5 %) | -34.860 € |
| Instandhaltung (1,5 %) | -34.860 € |
| Anteil Fraktionierung | -75.724 € |
| Anteilige Gemeinkosten (Basis oTM) | -47.030 € |
| Kredit | -92.773 € |
| Annuität | -246.645 € |
| Anteil Kredit Fraktionierung | -7.718 € |
| Anteil Annuität Fraktionierung | -20.521 € |
| Anteil Kredit übergeordnete Einrichtungen | -6.693 € |
| Anteil Annuität übergeordnete Einrichtungen | -17.794 € |
| Summe Ausgaben | -1.887.981 € |

Mit Verwendung der obigen Abschätzungen errechnet sich ein Negativsaldo von 33.000 Euro pro Jahr. Bei einer entsprechenden Förderung der Investition von beispielsweise 30 % ließe sich bereits ein Überschuss von 80.000 Euro pro Jahr erwirtschaften. Eine Reduktion der Rohstoffkosten um 10 % würde das Ergebnis um weitere 90.000 Euro pro Jahr verbessern.

6 ROHSTOFFE FÜR EINE GRÜNE BIORAFFINERIE – MODUL 1-1 UND 1-2

Der österreichische Grünland- und Viehbauer nutzte bisher die Wiesen und Weiden mit seinen Rindern, Schafen, Ziegen und Pferden. Stand bisher in der traditionellen Bewirtschaftung die Produktion von hochqualitativen Lebensmitteln allein im Vordergrund, so wuchs in den letzten Jahren das gesellschaftliche Bewußtsein für eine intakte Kulturlandschaft, die den Lebensraum für eine vielfältige Tier- und Pflanzenwelt darstellt und einen ausreichenden Schutz für Trinkwasser und den Boden bietet (Buchgraber 1998). Wiesen bieten eine Fülle an ökologischen Funktionen. Speziell wenn Maislandwirtschaft durch Wiesen oder Wechselwiesen ersetzt wird kann ein beträchtlicher ökologischer Zugewinn entstehen. Auch eine sinnvolle Fruchtfolge mit Mais und Klee graswiesen oder eine Winterbegrünung und Futterwiese als Zwischenfrucht trägt zur Nachhaltigkeit einer Region bei (Kromus 1999).

Es kann allerdings nicht ausschließliches Ziel des Wiesenbaus sein, alle Flächen so intensiv wie möglich zu nutzen. Um die agrarökonomischen (viel und hochqualitative Grünmasse) und die ökologisch-sozialen (hohe Artenvielfalt, offene Kulturlandschaft) Aufgaben der Landnutzung geschickt zu vereinen, ist ein differenzierter, "abgestufter" Wiesenbau anzustreben. Dabei sollten auf jedem Bauernbetrieb (oder Kleinregion), neben sehr intensiv bewirtschafteten Klee-Gras Wiesen oder Leguminosendecken, ungedüngte Magerwiesen und wenig intensiv genutzte Heuwiesen vorhanden sein. In allen Wiesen muss eine besondere Gruppe von Gräsern bestandsbildend sein (dem Standort und der Nutzungsintensität angepasst), damit geringwertige Futterpflanzen und Unkräuter nicht zum Problem werden können (Dietl, Lehmann et al. 1998).

Obwohl die Feldversuche zur Grünen Bioraffinerie im Steirischen Vulkanland (Bezirk Feldbach, Steiermark.) erfolgen soll hier zunächst keine Standort gebundene Beschreibung der Wiesen erfolgen. Die Einteilung erfolgt in:

- ☐ Dauerwiesen
- ☐ Wechselwiesen (Feldfutterbau als Klee-Gras dominierter Bestand)
- ☐ Sämereiwiesen (Monokulturen)
- ☐ Leguminosenanbau (Beispiel Luzerne)

All diese Wiesen sind die wesentlichen und interessanten Rohstofflieferanten für die Grüne Bioraffinerie.

In weiterführenden Kapiteln werden dann die Versuchsergebnisse der im Raum Feldbach (Steirisches Vulkanland) bzw. Admont (Obersteiermark) durchgeführten Feldversuche der Saisonen 2000 und 2001 dargestellt. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Simulation von "Realbedingungen", d.h. Bedingungen, wie sie für eine Grüne Bioraffinerie relevant sind, durchgeführt. Ziel der Versuche war es Silagen mit hohen Milchsäuregehalten zu erzeugen und eine prozesstechnische Vorauswahl zu treffen. Milchsäure stellt ein Hauptprodukt der Grünen Bioraffinerie dar und ist durch Silierung von Wiesengrünmasse kostengünstig zu produzieren. Es sollte weiters getestet werden, ob sich im Labor gefundene Werte in der Praxis bestätigen lassen. Die Ergebnisse werden in diesem Bericht ausführlich diskutiert und Strategien für eine Grüne Bioraffinerie werden festgelegt.

6.1 Dauerwiesen

Bei Dauerwiesen (Dauergrünland) mit einer Artenvielfalt von ca. 50, stellt die Auswahl der richtigen Flächen hohe Anforderungen. Flächen mit einem hohen Anteil an Gräsern mit schlechter Futterqualität sollten jedenfalls vermieden werden. (z. B. Gemeine Rispe, Weiche Trespe, Wolliges Honiggras, Rohrschwengel, Borstgras, Rasenschmiele, etc.)

Wesentlich im Dauergrünland ist ein harmonischer, stabiler Bestand mit einem starken Grasgerüst und einer dichten Narbe.

Nicht wünschenswert sind im Dauergrünland: aufgelockerte Bestände, Ausfälle von wichtigen Gräsern, hohe Krautanteile oder totale Verkrautung, da dies in den meisten Fällen zur Instabilität des Ökosystems Wiese führt und den Bestand der jeweiligen artenreichen Dauerwiese gefährdet. Im Extremfall müsste dann eine hunderte Jahre alte Wiese umgebrochen (gepflügt) und neu angesät werden. Derartige Entwicklungen sind meistens auf nicht angepasste Nutzungsintensitäten bezüglich des Standorts zurückzuführen (Dietl, Lehmann et al. 1998), (Buchgraber, Deutsch et al. 1994).

6.1.1 Kräuter im Dauergrünland

Unter "Kräuter" versteht man in der Grünlandwirtschaft sämtliche Pflanzen, die nicht zu den Gräsern oder zu den Kleearten gehören.

Da auch Proteinkonzentrate als Futtermittel untersucht werden sollen, ist es wichtig, dass im Dauergrünland keine für Mensch und Tier (Rinder, Schweine, Geflügel) giftigen Pflanzen bzw. Kräuter mit antinutritiven Faktoren (ernährungsphysiologisch negativ wirkende Substanzen) vorkommen (z.B. Ampfer). Denn diese Substanzen könnten sich durch Wechselwirkungen mit den Proteinen bei der Aufkonzentrierung der Eiweiße ebenfalls aufkonzentrieren und sich negativ auf die Verbraucher auswirken.

Zusätzlich ist es wichtig zu beachten, dass es Kräuter mit einer Neigung zur Bestandsdominanz gibt (Ampfer, Brennnessel, Geißfuß, Pestwurz, etc.). Diese Kräuter sollten einen Anteil von 20 bis 40 Flächen-% keinesfalls übersteigen. Dies kann durch die entsprechende Bestandsführung (Düngung, Häufigkeit der Schnitte, punktuelle Unkrautbekämpfung) erfolgen.

Ursachen für Verunkrautung können sein (Kessler und Dietl 1997):

- ⊘ zu häufiges und im Frühling zu frühes Nutzen
- ⊘ Beschädigung der Pflanzendecke durch Maschinen, zu tiefer Schnitt, Bearbeitung bei nassem Boden
- ⊘ übermäßige Gaben von Gülle und mineralischem Stickstoff
- ⊘ Pilzbefall und Schädlingsbefall

Wesentlich für eine erfolgreiche Grünlandbewirtschaftung ist einerseits die optimale Phosphor, Kalium und Stickstoff (PKN)Versorgung als auch die Auswahl der Arten.

6.1.2 Erträge im Dauergrünland

Je nach Nutzungsintensität (sollte Standort spezifisch gewählt werden) der Dauerwiese und Geländeform lassen derartige Flächen bei 3-4 Schnitten pro Jahr Erträge zwischen 4000 und 9000 kg TM/ha*a (Trockenmasse pro Hektar und Jahr) erwarten (Buchgraber, Resch et al. 1998).

6.2 Wechselwiesen (Feldfutterbau)

In der Literatur (Buchgraber, Deutsch et al. 1994), (McGrath 1988) sind die bestgeeignetsten Gräser für eine Grüne Bioraffinerie angeführt (bezogen auf den Zucker- u. Proteingehalt):

- ☐ Italienisches Raygras (Welsches Weidelgras): *Lolium multiflorum*
- ☐ Englischs Raygras (Deutsches Weidelgras): *Lolium perenne*
- ☐ Bastard Raygras (Bastard Weidelgras) – Kreuzung zw. Italienischem und Englischem Raygras: *Lolium hybridum*
- ☐ Luzerne: *Medicago sativa* sind als Spezialkultur besonders reich an Proteinen (Lehmann und Jorquera 1999)

Ähnlich wie bei anderen Ackerfrüchten (Mais, Getreide), können bei mehrjährigem Grünland Monokulturen nur unter Einsatz von Herbiziden etabliert werden. Daher muss eine standortangepasste und ein gegen Unkräuter und Schädlinge resistenter Mischbestand etabliert werden (stabiles Ökosystem). Wesentlich für mehrjährige Wechselwiesen ist auch ein Kleeanteil von 20 – 50 %, da diese Leguminosen die Stickstoffversorgung des Gesamtbestandes wesentlich verbessern (Dietl 2000).

Interessant sind daher existierende ÖAG-Samenmischungen, wobei die für die Versuche vorliegende Mischung (IM) (siehe Anhang) einen Kompromiss zwischen intensiver und extensiver Bewirtschaftung darstellt (Buchgraber 2001a).

Wechselwiesen, wie Reingrasbestände, oder Klee-Gras-Mischbestände erlauben bis zu 5 (in milden Regionen bis zu 6) Schnitte mit Erträgen von 9000 bis 12000 kg TM/ha*a.

6.3 Sämereiwiesen

Speziell aus dem Raum Steirisches Vulkanland (Bezirk Feldbach, Steiermark) ist von der Möglichkeit der Nutzung von Sämereiwiesen in einer Grünen Bioraffinerie zu berichten. Im Raum Feldbach wird auf ca. 200 bis 300 ha Grassamenvermehrung betrieben. Der entsprechende Samentrocknungsbetrieb ist in der Gemeinde Auersbach/Wetzelsdorf angesiedelt. Grassamen werden 1 bis 2 mal im Jahr geerntet. Alle weiteren Schnitte könnten kostengünstig in eine Grüne Bioraffinerie Eingang finden.

Derzeit werden hauptsächlich angebaut:

- ☐ Bastardraygras (*Lolium hybridum*)
- ☐ Knaulgras (*Dactylis glomerata*)
- ☐ Rotklee (*Trifolium pratense*)

6.4 Luzerne Bestände

Luzerne (*Medicago sativa* als wichtigste Vertreterin) liefert nicht nur sehr hohe Trockenmasseerträge (bis 16 t Trockenmasse pro ha und Jahr) sondern produziert auch die höchsten Eiweißerträge (bis 2500 kg Rohprotein pro ha und Jahr).

Zusätzlich sind Luzerne Tiefwurzler (Ø 4 m) und ertragen daher Trockenheit relativ unbeschadet. Luzerne binden als Leguminose (Knöllchenbakterien in den Wurzeln) Luftstickstoff zur Nährstoffversorgung der Pflanze.

Allerdings wachsen Luzerne bevorzugt auf kalkhaltigen (basischen – pH > 6,5) Böden und mögen keine Staunässe. Luzerne sollten in warmen Regionen mit weniger als 1000 mm Jahresniederschlag angebaut werden.

Durch ihre Basizität und den geringen Zuckergehalt sind sie allerdings nur bedingt tauglich zur Silageerzeugung. Im Rahmen der Grünen Bioraffinerie, wo es um eine Maximierung der Milchsäure in der Silage geht, kommen sie nicht in die engere Auswahl zur Silagebereitung. Allerdings ist die Frischnutzung zur Proteinerzeugung mit Rohproteingehalten von bis zu 26 % in der Trockenmasse äußerst interessant (Lehmann und Jorquera 1999).

6.5 Düngung von Wiesen und Grünfutterflächen

Eine standortgerechte und ordnungsgemäße Düngung im Grünland nach der Wasserrechtsgesetznovelle 1990 liegt dann vor, wenn pro Hektar und Jahr nicht mehr als 210 kg feldfallender Stickstoff bzw. 3,5 DGVE (Düngergrößenveinheiten – 1 DGVE = jährliche Ausscheidung von 105 kg Stickstoff und 15 kg Phosphor) auf die Wiesen und Weiden rückgeführt werden (Buchgraber, Deutsch et al. 1994).

Allgemein kann gesagt werden, dass eine differenzierte Düngung in Abhängigkeit vom Standort, von der Hanglage, dem Pflanzenbestand, der Nutzungsfrequenz und dem angestrebten Ertragsniveau Voraussetzung für eine ökologisch sinnvolle und ökonomisch vertretbare Maßnahme ist (Buchgraber, Deutsch et al. 1994).

6.5.1 Kleereiche Mischbestände

Für kleereiche Mischbestände bzw. Klee-Gras Bestände muss eine Phosphor-Kalium (PK)-Versorgung sichergestellt sein, d.h. wenn Bodenwerte von über 10 mg/100 g Feinboden vorhanden sind, so reicht eine PK-Düngung auf Entzug (PK-Gabe bemessen nach der durch die Pflanzen entzogenen Nährstoffe). Es ist bei solchen Beständen mit angepassten Stallmist- bzw. Kompostgaben in gezieltem Umfang vorzugehen. Gülle- und Jauchegaben sollten auf kleereichen Beständen nur ausnahmsweise und in geringen Mengen verabreicht werden (Buchgraber, Deutsch et al. 1994).

6.5.2 Gräserreiche Bestände und Grasreinbestände

In gräserreichen Beständen bzw. Grasreinbeständen ist der Einsatz von Gülle bzw. Jauche wegen ihrer rascheren Stickstoffwirksamkeit in Gaben von max. 10 bis 15 m³/ha und Aufwuchs angebracht. Ebenso könnte, wenn der N-Bedarf nicht über Wirtschaftsdünger zu decken ist, hier auch mineralischer Stickstoff eingesetzt werden, wobei pro Aufwuchs, um das Grundwasser zu schützen, 30 bis 50 kg N/ha nicht überschritten werden sollen (Buchgraber, Deutsch et al. 1994).

Die verwendete Gülle sollte 1:1 oder 1:1,5 mit Wasser verdünnt und auf einen TM Gehalt von 6 % gebracht werden, um eine gute Pflanzenverträglichkeit zu gewährleisten.

In der Region Feldbach (Grüne Bioraffinerie Versuche) wird Grünland leider allzu häufig mit Mineraldünger (meist der Marke Nitromoncal) gedüngt, da argumentiert wird, dass die Pflanzen, speziell im Sommer, sonst durch die Basizität der Gülle (Ammonium) verätzt werden. Dies könnte jedoch bei einer sorgsameren Aufbereitung der Gülle (Belüftung, Verdünnung) vermieden werden. Auch von Biogasgülle wird berichtet, dass sie durch den geringeren Trockenmassegehalt trotz höherem pH Wert wiesenverträglicher ist (Amon, Graf, et al. 1997).

6.6 Bearbeitung und Ernte – Grünschnitt und Silagebereitung für eine Grüne Bioraffinerie

Die Flächen für eine Grüne Bioraffinerie werden so bearbeitet, wie es für die optimale Grünfutttergewinnung üblich ist (Buchgraber, Deutsch et al. 1994).

Wichtig zur Erzeugung von optimalen Silagen ist, dass die Ernte bis spätestens Ende Rispen- und Ährenschieben erfolgt. Das frische Gras muss bis zu einem optimalen TM-Gehalt von 30 bis 40 % angewelkt werden.

Punkt 1 bis 10 gibt einen Überblick über die erforderlichen Schritte bei Anbau und Ernte. Im Falle von Frischgras endet die Bearbeitung nach einer kurzen Anwelkphase von max. 4 Stunden und dem Häckseln. Daraufhin muss frische Wiesengrünmasse sofort verarbeitet werden.

1. Abschleppen der Flächen (Einebnen der Erdhaufen von Maulwürfen, Wühlmäusen, etc.)
2. Düngung mit Gülle im Ausmaß von 10 bis 15 m³/ha und Schnitt (Basis 6 % Trockenmasse); oder Vollkorn Mineraldünger (Phosphor-Kalium-Stickstoff Mischdünger) für die Intensiv- und Sämereiflächen.
3. Mähen zum richtigen Zeitpunkt (Ende Ähren und Rispenschieben der Leitgräser-1. Schnitt Anfang bis Mitte Mai) und in einer Mindesthöhe von 5-7cm.
4. 1 bis 2 mal zetzen (aufwerfen und verteilen) und wenden bis zu einem Trockenmassegehalt von 30 bis 35 % im Falle der Silierung. Im Falle der Frischgrasnutzung wird max. 4 Stunden angewelkt. Als Anwelken bezeichnet man die Phase des Antrocknens.
5. Schwaden.
6. Häckseln durch z.B. Selbstfahrhäcksler (Zerkleinerung) auf 2 bis 5 cm Länge – auffangen des Häckselgutes in Transportanhängern.
7. Transport zum Fahrsilo ("Traunsteiner" Silo).
8. Befüllen des Silos und Zugabe der Milchsäurebakterien.
9. Verdichten der Wiesengrünmasse (auspressen des Sauerstoffes) mittels schwerem Traktor und Walze (oder Radlader) – zu erreichende Dichte: 180 kg Trockenmasse pro m³.
10. Abdecken des Silos mit speziellen Silofolien und Absicherung gegen mechanische Einwirkung – möglichst luftdichte Abdeckung.

Der Gärprozess sollte nach ca. 3 Wochen abgeschlossen sein. Dies ist der Fall, wenn die Milchsäurebakterien aufgrund des niedrigen pH-Wertes bzw. aufgrund der Produktinhibition keine weitere Milchsäure erzeugen können.

6.7 Auswahl von Silagestartern (Milchsäurebakterien) für Bioraffinerie Versuche – Milchsäureproduktion in der Silage

Eine der günstigsten Varianten der Milchsäureerzeugung stellt sicher die Silierung von zuckerreicher Wiesengrünmasse dar. Die Silierung, besonders von Grünmasse, ist ja nichts anderes als eine Milchsäuregärung, wobei Milchsäure üblicherweise als „Nebenprodukt“ anfällt und ihre konservierende Funktion genutzt wird. Durch gezielte Verbesserungen in der Siliertechnik, hauptsächlich durch mikrobiologische Adaptierungen, kann Milchsäure in derart befriedigenden Ausbeuten erzeugt werden, dass sie vom Nebenprodukt zu einem interessanten und nutzbaren Rohstoff wird.

Milchsäure entsteht in der Silage durch anaeroben Abbau von Zuckern. Aus den in der Pflanze vorhandenen Zuckern (Kohlenhydraten) entsteht durch Glykolyse Pyruvat und daraus Milchsäure. Auch Proteine können zu Milchsäure abgebaut werden. Durch Desaminierung reagieren sie zu Oxosäuren, die wiederum in Pyruvat umgewandelt werden. Das Pyruvat kann dann mittels NAD zu verschiedensten Verbindungen reagieren, z.B. Ethanol, Propionat, Butyrat, und vor allem zu Milchsäure (Karlsson, Donecke et al. 1994).

Die Hauptwege der Fermentation können in homofermentativ und heterofermentativ eingeteilt werden. Homofermentative Bakterien oxidieren Hexosen (wie z.B. Glucose), wobei pro Mol Hexose 1,8 Mol Milchsäure entstehen. Man erhält dadurch aus 100 g Glucose 90 g Milchsäure. Heterofermentative Bakterien produzieren über einen anderen Mechanismus signifikante Mengen anderer Metabolite wie Essigsäure, Ethanol, Glykol, etc. (Woolford 1984)

Aus einem Pool von 260 Milchsäurebakterien, isoliert aus Silagen im Raum Niederösterreich und Oberösterreich, wurden von H. Danner und Mitarbeitern des IFA-Tulln vier Stämme ausgewählt. Die gewählten Stämme zeigen sich aufgrund ihres Fermentationsmusters, ermittelt in MRS-Bouillon, besonders geeignet als homofermentative Silagestarterkulturen. Es wurde die Wirkungsweise der Einzelstämme in Laborsilagen untersucht und die gewonnenen Daten als Grundlage zur Zusammenstellung von Mischungen für Startermaterial verwendet.

Fünf verschiedene Mischungen an homofermentativen Milchsäurebakterien wurden auf Gras getestet. Die eingesetzten Bakterienmenge entsprach der in der Praxis verwendeten Konzentration von $5 \cdot 10^5$ cfu/g FM Pflanzenmaterial.

Anhand der ermittelten Ergebnisse aus den Laborsilagen wurde eine dieser 5 Mischungen (M2) ausgewählt und zusätzlich mit einem in der Praxis bereits bewährten Starter produziert (S3). Eine Menge von jeweils 200 g Bakterienlyophilisat, ausreichend für die Behandlung von 40 t frischem Siliergut, wurde für weiter Versuche im Rahmen des BBK – Projektes „Grüne Bioraffinerie“ zur Verfügung gestellt.

Es wurden demnach folgende Punkte bearbeitet:

- ⊞ Auswahl der geeigneten Silagestarterkulturen für die Erzeugung von Milchsäure in Silagen
- ⊞ Vergleich des Fermentationsverhalten der Einzelstämme im Labormaßstab
- ⊞ Überprüfung der Wirksamkeit unterschiedlicher Mischungen von Mikroorganismen im Labormaßstab

ᐃ Fermentation der Teststämme im Pilotmaßstab und Abmischen der gebrauchsfertigen Silagestarter

6.7.1 Auswahl der geeigneten Silagestarterkulturen anhand der stoffwechselphysiologischen Charakterisierung von Isolaten

Eine am IFA-Tulln vorhandene umfangreiche Stammsammlung an Milchsäurebakterienisolaten aus Silagen bildet die Grundlage für die Auswahl der als Starterkulturen geeigneten Stämme. Diese Mikroorganismen wurden hinsichtlich ihrer Produktbildung auf MRS-Bouillon unter anaeroben Bedingungen einer stoffwechselphysiologischen Charakterisierung unterzogen. Somit konnten wichtige Ergebnisse zur Auswahl geeigneter Milchsäurebakterien für die Silagestarter gewonnen werden. Idealerweise erzielen Stämme, die Verwendung als homofermentative Silagestarterkulturen finden, eine hohe Konzentration an Milchsäure, nur wenig Essigsäure und einen tiefen pH-Wert. Aus dem zur Verfügung stehenden Pool an 260 Stämmen wurden vier bereits identifizierte Milchsäurebakterien ausgewählt, welche diese Kriterien erfüllen. Die Fermentationsmuster der gewählten Stämme sind in Tabelle 41 angeführt.

Tab. 41: Fermentationscharakteristika der ausgewählten Stämme in [g/100 ml] auf MRS Bouillon. (*L. rhamnosus*: in Mischungen M1, M2, M3 und S3, *L. plantarum* 1 in Mischungen M1, M4, M5, M6 sowie Produkt IFA-2, *L. plantarum* 2 in Mischung M2, *P. pentosaceus* in Mischungen M1, M3, M4, M5, S3 sowie Produkt IFA-1

| MSB-Stamm | <i>L. rhamnosus</i> | <i>L. plantarum</i> 1 | <i>L. plantarum</i> 2 | <i>Pc. pentosaceus</i> |
|--------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Glucose | -15,04 | -16,16 | -17,31 | -11,94 |
| Fructose | -1,66 | -1,63 | -1,68 | -1,77 |
| Mannitol | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 |
| Milchsäure | 14,50 | 16,88 | 16,20 | 13,20 |
| Glycerin | -0,30 | -0,29 | -0,30 | -0,29 |
| Essigsäure | 0,03 | 0,77 | 0,57 | 0,03 |
| Propionsäure | 0,35 | 0,15 | 0,18 | -0,01 |
| Ethanol | -0,02 | -0,36 | 0,07 | 0,12 |
| Buttersäure | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 0,00 |
| pH 48 | 3,83 | 3,62 | 3,76 | 3,79 |
| OD 48 | 8,30 | 7,45 | 7,62 | 6,32 |

6.7.2 Vergleich des Fermentationsverhalten der Einzelstämme im Labormaßstab

Das Fermentationsverhalten der vier gewählten Stämme wurde in Laborsilagen über einen Zeitraum von 74 Tagen untersucht. Das verwendete Pflanzenmaterial war geheckelter Ganzpflanzenmais mit einer epiphytischen Milchsäurebakterienkeimzahl von $9,5 \cdot 10^6$ cfu/g FM. Um die Wirkung der Versuchsstämme hervorheben zu können wurde das Pflanzenmaterial mit einer deutlich höheren Konzentration an Lyophilisaten der jeweiligen Einzelstämme beimpft, als in der Praxis üblich ($7 \cdot 10^8$ cfu/g FM). Silagen im Maßstab von 1 l (für Untersuchungstag 4 und 7) bzw. in 6,5 l Kübeln (Untersuchungstag 39 und 74) wurden getestet. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 22 bis 25 dargestellt.

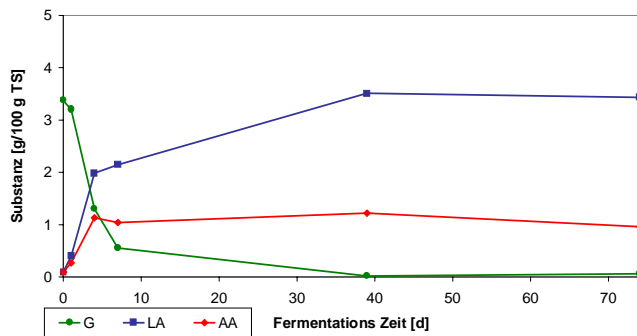


Fig. 22: Lactobacillus rhamnosus

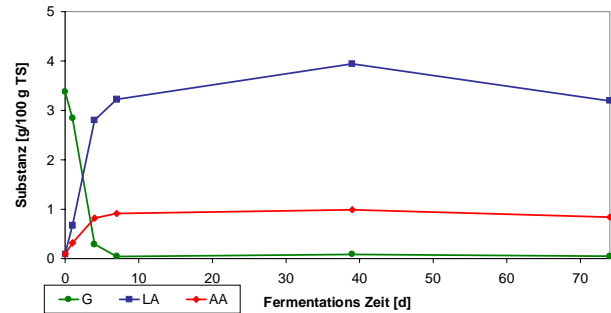


Fig. 23: Pediococcus pentosaceus

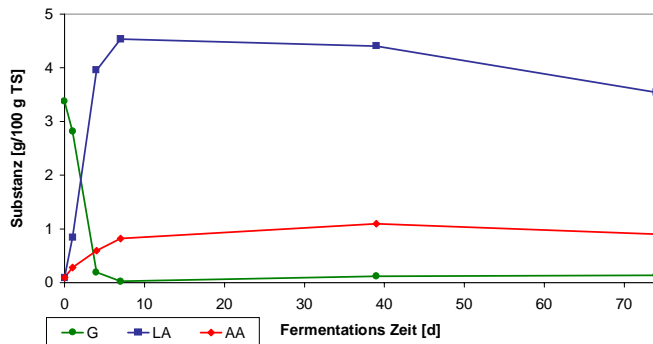


Fig. 24: Lactobacillus plantarum 1

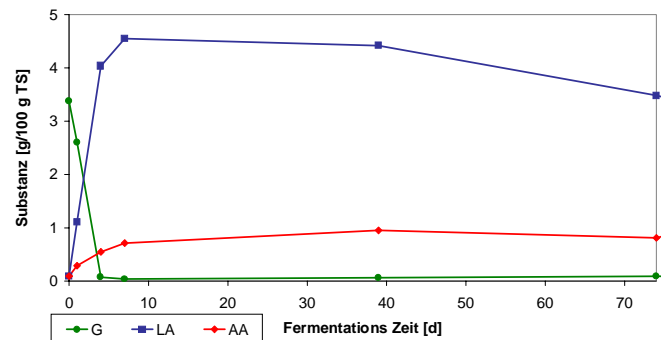


Fig. 25: Lactobacillus plantarum 2

Aus den Grafiken ist deutlich ersichtlich, daß die beiden *Lactobacillus plantarum* Stämme (Fig. 24 und 25) am schnellsten die zur Verfügung stehende Glucose verwerten und schon innerhalb von 7 bis 14 Tagen hohe Mengen an Milchsäure produzieren (4 bis 5 g/100g TS). Im weiteren Verlauf der Fermentation wird die Milchsäure teilweise wieder abgebaut. Die beiden anderen Stämme, *Lactobacillus rhamnosus* (Fig. 22) und *Pediococcus pentosaceus* (Fig. 23) bilden die Milchsäure langsamer und in geringeren Konzentrationen, jedoch wird hier die produzierte Milchsäure aber zu einem viel geringeren Anteil (Abbildung 23) bzw. nicht (Abbildung 22) abgebaut.

Die Ergebnisse zeigen, daß verschiedene homofermentative Spezies den Fermentationsverlauf der Silagen unterschiedlich beeinflussen. Milchsäurebakterien der Spezies *Lactobacillus plantarum* sind für eine rasche Milchsäureproduktion und in Folge dessen für eine rasche Senkung des pH-Wertes am Beginn des Silierprozesses verantwortlich. Somit ist eine rasche Konservierung des Siliergutes gesichert. Die untersuchten *Lactobacillus rhamnosus* und *Pediococcus pentosaceus* Stämme hingegen können bei Fortschreiten der Fermentationsdauer für eine annähernd stabilen Gehalt an Milchsäure sorgen, und bewirken somit eine anhaltende Konservierung. Es erscheint sinnvoll Mischungen aus unterschiedlichen homofermentativen Milchsäurebakterienstämmen zu

verwenden, um einen optimalen Fermentationsverlauf zu gewährleisten. Die in diesem Versuchsansatz ermittelten Daten geben eine wichtige Hilfestellung bei der Festlegung von Kulturmischungen als Silagestarter.

6.7.3 Definierung der Mischungen und Überprüfung der Wirksamkeit im Labormaßstab

Zusätzlich zu den vier ausgewählten Milchsäurebakterien wurde ein Stamm der Spezies *Enterococcus faecium*, welcher bereits in einem in der Praxis bewährten Produkt enthalten ist, zur Erstellung von Mischungen verwendet. In Tab. 42 sind die verwendeten Mischungen angeführt.

Tab. 42: Zusammensetzung der Startermischungen

| Anteile in % | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | S3 |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| <i>L. rhamnosus</i> | 20 | 80 | 80 | 0 | 0 | 30 |
| <i>Enterococcus faecium</i> | 20 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 |
| <i>L. plantarum 1</i> | 30 | 0 | 0 | 50 | 20 | 40 |
| <i>L. plantarum 2</i> | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Pediococcus pentosaceus</i> | 30 | 0 | 20 | 50 | 20 | 30 |

Um das optimale Mischungsverhältnis zu ermitteln wurden wiederum Silierversuche im Labormaßstab durchgeführt. Dazu wurden die sechs aufgelisteten Bakterienmischungen auf Gras als Siliergut ausgetestet. Die eingesetzte Menge betrug $5 \cdot 10^5$ cfu/g FM Gras. Untersuchungen der Laborsilagen im Maßstab von 1 l wurden jeweils nach 7, 14 und 21 Tagen durchgeführt. Für jeden Öffnungstag wurden eigene Silagen bereitet. Die Untersuchungsparameter waren:

- ⊘ pH-Wert
- ⊘ Trockensubstanz (TS)
- ⊘ Ammonium-N
- ⊘ Gärsäureverlauf mit HPLC

Tab. 43: Ergebnisse der chemischen Untersuchungen der Kontrolle (K) und den mit Mischung 1 bis 5 behandelten Silagen

| Probe | K | | | M1 | | | M2 | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 7 | 14 | 21 | 7 | 14 | 21 | 7 | 14 | 21 |
| Fermentationszeit [d] | | | | | | | | | |
| Citrat | 0,28 | 0,27 | 0,09 | 0,33 | 0,12 | 0,12 | 0,16 | 0,12 | 0,16 |
| Glucose | 0,75 | 0,34 | 0,29 | 1,17 | 0,25 | 0,20 | 0,32 | 0,24 | 0,33 |
| Xylose | #NV | 0,26 | 0,37 | #NV | 0,20 | 0,23 | #NV | 0,24 | 0,24 |
| Fructose | 3,00 | 1,45 | 1,54 | 4,88 | 1,87 | 2,09 | 2,10 | 1,39 | 1,58 |
| Mannitol | 0,00 | 0,53 | 0,79 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Arabinose | 0,37 | 0,12 | 0,00 | 0,24 | 0,13 | 0,13 | 0,16 | 0,21 | 0,17 |
| Succinat | 0,99 | 1,06 | 0,88 | 0,51 | 0,85 | 0,64 | 0,36 | 0,42 | 0,52 |
| Milchsäure | 5,49 | 7,03 | 8,49 | 7,13 | 7,38 | 9,47 | 8,34 | 9,87 | 9,01 |
| Essigsäure | 0,73 | 0,50 | 0,79 | 0,42 | 0,77 | 0,71 | 0,45 | 0,57 | 0,75 |
| Acetaldehyd | 0,87 | 1,17 | 0,79 | 0,03 | 0,84 | 0,18 | 0,01 | 0,00 | 0,24 |
| Ethanol | 0,67 | 0,56 | 0,68 | 0,19 | 0,37 | 0,15 | 0,20 | 0,00 | 0,19 |
| Buttersäure | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TS | 33,70 | 33,46 | 34,90 | 33,18 | 36,27 | 32,72 | 34,70 | 35,05 | 34,56 |
| pH | 5,15 | 4,33 | 4,30 | 4,13 | 4,10 | 3,97 | 4,07 | 3,94 | 3,99 |
| Am-N | 0,18 | 0,20 | 0,19 | 0,11 | 0,14 | 0,14 | 0,09 | 0,10 | 0,12 |
| Verluste | 0,99 | 1,39 | 1,38 | 0,40 | 0,74 | 0,57 | 0,50 | 0,50 | 0,66 |

| Probe | M3 | | | M4 | | | M5 | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 7 | 14 | 21 | 7 | 14 | 21 | 7 | 14 | 21 |
| Fermentationszeit [d] | | | | | | | | | |
| Citrat | 0,44 | 0,27 | 0,40 | 0,20 | 0,03 | 0,13 | 0,34 | 0,11 | 0,24 |
| Glucose | 0,71 | 0,46 | 0,42 | 0,12 | 0,10 | 0,13 | 0,38 | 0,20 | 0,20 |
| Xylose | #NV | 0,12 | 0,37 | #NV | 0,30 | 0,24 | #NV | 0,39 | 0,23 |
| Fructose | 3,49 | 2,27 | 3,32 | 0,89 | 0,39 | 0,98 | 3,64 | 1,68 | 2,04 |
| Mannitol | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Arabinose | 0,37 | 0,28 | 0,42 | 0,05 | 0,09 | 0,12 | 0,19 | 0,12 | 0,15 |
| Succinat | 0,12 | 0,55 | 0,22 | 0,67 | 0,68 | 0,79 | 0,57 | 0,64 | 0,66 |
| Milchsäure | 5,65 | 9,48 | 7,66 | 7,63 | 9,24 | 10,05 | 8,51 | 9,08 | 9,87 |
| Essigsäure | 0,48 | 0,93 | 0,68 | 0,94 | 0,95 | 1,07 | 0,63 | 0,81 | 0,74 |
| Acetaldehyd | 0,04 | 0,26 | 0,16 | 0,13 | 0,18 | 0,27 | 0,11 | 0,17 | 0,16 |
| Ethanol | 0,16 | 0,24 | 0,30 | 0,14 | 0,04 | 0,17 | 0,22 | 0,06 | 0,19 |
| Buttersäure | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TS | 35,84 | 32,73 | 33,19 | 33,12 | 33,86 | 31,45 | 30,95 | 34,81 | 32,29 |
| pH | 4,27 | 4,16 | 4,17 | 4,18 | 3,98 | 3,98 | 4,12 | 4,05 | 3,98 |
| Am-N | 0,11 | 0,15 | 0,15 | 0,13 | 0,13 | 0,14 | 0,12 | 0,13 | 0,14 |
| Verluste | 0,41 | 0,49 | 0,70 | 0,46 | 0,55 | 0,69 | 0,41 | 0,41 | 0,68 |

In Tabelle 43 sind die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen der verschiedenen Mischungen in Silagen und einer nicht behandelten Kontrolle angegeben.

Auswahlkriterien für eine optimale Mischung war wiederum die Bildung von möglichst viel Milchsäure und entsprechend wenig Essigsäure. Die höchsten Mengen an Milchsäure wurden nach 21 Tagen in Mischung 4 nachgewiesen (10 % der TS). Da in dieser Silage jedoch auch höhere Mengen an Essigsäure vorlagen (über 1 % der TS), wurde die Mischung 2 ausgewählt.

Zusätzlich konnte man auf eine bewährte Mischung (S3) zurückgreifen, die bereits 1999 in Großversuchen gute Ergebnisse, also Silagen mit sehr hohen Milchsäurewerten, aufzeigte.

6.7.4 Fermentation der Teststämmen im Pilotmaßstab und Abmischung der gebrauchsfertigen Silagestarter

Für das Projekt Grüne Bioraffinerie wurden gefriergetrocknete Reinkulturen als auch Mischungen von einzelnen Kulturen zur Verfügung gestellt. Bei den Reinkulturen handelte es sich um *P. pentosaceus* (im Produkt IFA-1) und *L. plantarum* 1 in Produkt IFA-2.

☐ Versuche 2000: IFA-1 und IFA-2

☐ Versuche 2001 M2 und S3

Vier unterschiedliche Bakterienstämme sind enthalten in den ausgewählten Mischungen M2 und S3 (Zusammensetzung siehe Tab. 42). Entsprechende Mengen der Einzelstämme wurden fermentiert und durch Lyophilisation haltbar gemacht. Von jedem der beiden Silagestarter wurden 200 g gemischt, wobei je Tonne Pflanzenfrischmasse 5 g Siliermittel aufgebracht werden müssen um die gewünschte Konzentration von $5 \cdot 10^5$ cfu/g FM zu erreichen. Das zur Verfügung gestellte Startermaterial je Mischung ist ausreichend um 40 Tonnen Silage zu behandeln.

6.7.5 D- und L-Milchsäureproduktion

Ziel der vorliegenden Versuchsreihe war es, die Bildung von L- und D-Milchsäure zu ermitteln. Die Versuche wurden durchgeführt auf Standard-MRS-Medium für *Lactobacillen* im Schüttelkolben (anaerob). Die Messung der D- und L-Milchsäure (Lactat) – Konzentration erfolgte falls nicht anders angegeben enzymatisch (nach Abzug der entsprechenden Blindwerte).

Tab. 44: Bildung von D- und L-Milchsäure ausgewählter Stämme

| | | Verhältnis | | | | | | | | | |
|-------------|------------------------------------|------------|--------|-------|-------|--------|---------|--------|-------|---------|--------|
| | | Total LA | | | | Gesamt | Mittelw | Gesamt | | Mittelw | |
| in Mischung | Stamm | D-Lact | L-Lact | Enzym | HPLC | MS | | L/D | | D-Lact | L-Lact |
| | | [g/l] | [g/l] | [g/l] | [g/l] | [g/l] | [g/l] | | | [%] | [%] |
| M1 / M5 | <i>Enterococcus faecium</i> I | 0,169 | 6,71 | 6,88 | 8,1 | 6,88 | | 39,77 | | 2,5 | 97,5 |
| M1 / M5 | <i>Enterococcus faecium</i> II | 0,199 | 7,12 | 7,32 | 8,0 | 7,32 | 7,10 | 35,70 | 37,73 | 2,7 | 97,3 |
| M2 / S3 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> I | 0,890 | 11,41 | 12,30 | 15,9 | 12,30 | | 12,82 | | 7,2 | 92,8 |
| M2 / S3 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> II | 0,736 | 12,94 | 13,68 | 16,4 | 13,68 | 12,99 | 17,58 | 15,20 | 5,4 | 94,6 |
| M2 | <i>Lactobacillus plantarum</i> LP2 | 4,895 | 8,46 | 13,36 | 16,7 | 13,36 | | 1,73 | | 36,6 | 63,4 |
| M2 | <i>Lactobacillus plantarum</i> LP2 | 4,649 | 8,15 | 12,80 | 17,3 | 12,80 | 13,08 | 1,75 | 1,74 | 36,3 | 63,7 |
| IFA1 / S3 | <i>Pediococcus pentosaceus</i> I | 2,363 | 6,92 | 9,29 | 11,4 | 9,29 | | 2,93 | | 25,4 | 74,6 |
| IFA1 / S3 | <i>Pediococcus pentosaceus</i> II | 2,302 | 6,73 | 9,03 | 11,4 | 9,03 | 9,16 | 2,92 | 2,93 | 25,5 | 74,5 |
| IFA2 / S3 | <i>Lactobacillus plantarum</i> LP1 | 3,468 | 7,63 | 11,10 | 15,7 | 11,10 | | 2,20 | | 31,3 | 68,7 |
| IFA2 / S3 | <i>Lactobacillus plantarum</i> LP1 | 3,360 | 7,36 | 10,72 | 15,8 | 10,72 | 10,91 | 2,19 | 2,20 | 31,3 | 68,7 |

Tabelle 44 zeigt das Verhältnis an D- und L-Milchsäure. Daraus geht sehr deutlich hervor, dass lediglich *Enterococcus faecium* und *Lactobacillus rhamnosus* primär ein Milchsäure-Isomer (L-Lactat) bilden, während *Lactobacillus plantarum* zumeist annähernd gleiche bzw. nur geringfügig höhere Konzentrationen an L-Milchsäure bilden. *Pediococcus pentosaceus* macht in etwa 75 % L-Milchsäure und 25 % D-Milchsäure.

Wollte man also primär ein Isomer herstellen, müsste weitestgehend auf die Aktivitäten von *L. plantarum* verzichtet werden oder z.B. auf Mischung M3 zurückgreifen. Damit werden allerdings andere Nachteile erkauft: die Säuerung, also Milchsäurebildung verläuft langsamer

(siehe Tabelle 3, M3 nach 7 Tagen: lediglich 5,65 % Milchsäure), damit wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass sich natürlich vorkommende Milchsäurebakterien, welche D-Milchsäure oder Essigsäure bilden können, verstärkt vermehren können. Weiters geht ein ganz wesentlicher Effekt von Silagestartern – nämlich die Erhöhung der Prozesssicherheit durch rasche pH-Absenkung möglicherweise verloren.

6.7.6 Schlussfolgerungen

Im Rahmen dieses BBK Projekts konnten Startermischungen gefunden werden, die mehr als bisher am Markt befindliche Produkte (z.B. BonSilage® der Fa. Lactosan) Milchsäure in der Silage bilden. Es handelt sich durchwegs um Bakterien, die leicht von der Industrie, so verlangt, hergestellt werden könnten.

Mit den jetzt getesteten Stämmen müssten zwar höhere Konzentrationen an L- als an D-Milchsäure erreicht werden. Um jedoch primär ein Isomer herzustellen, müsste ein geeigneter Ersatz für *L. plantarum* gefunden werden, ein Milchsäurebakterium, welches schnell säuert und dabei primär L-Lactat bildet. Auf Basis der bisherigen Erkenntnisse muss allerdings davon ausgegangen werden, dass ein höherer L(+)-Milchsäureanteil in der Silage mit Einbußen in der Gesamtmilchsäuremenge einhergeht.

6.8 Rohstoff-Versuche im Rahmen des BBK Projekts – Saison 2000

Die Versuche zur Erzeugung von Silagen (keine Wiesengrünmasse-Versuche), angeimpft mit speziellen Starterkulturen und ersten Versuchen zur Abpressung und Erzeugung von Silagesäften diente zur prinzipiellen Potenzialerhebung im Steirischen Vulkanland und um eine prozesstechnische Vorauswahl treffen zu können. Diesbezüglich ist zu erwähnen, dass sich die europaweite Bioraffinerie Forschung primär auf frische Grünmasse konzentriert und über die speziellen Anforderungen an die Verarbeitung von Grassilage kaum Informationen existieren. Natürlich ist die Silierung von Gras eine landwirtschaftliche Technik mit jahrtausende alter Tradition. Allerdings wurde immer Wert auf die optimale Futterqualität gelegt und daher war eine Optimierung in Richtung Milchsäure als Fermentationsprodukt oder die Konservierung von Proteinen sekundär. Auch die Faserzusammensetzung und Veränderung der Eigenschaften durch die Silierung wurde nie näher betrachtet. Zu dem Thema Silagepresssäften existiert nichteinmal ansatzweise Literatur. Im Gegenteil es wurde von vielen Seiten bezweifelt, dass hochwertige Anwelksilage (TM ca. 30 bis 40 %) überhaupt sinnvoll mittels Pressen fraktioniert werden kann. Auch gab es bisher keine Informationen über den Zustand von Proteinen in den Silagesäften. Erste Erkenntnisse diesbezüglich konnten generiert werden und werden in weiterführenden Projekten vertiefend erforscht. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Silierversuche zusammenfassend dargestellt. Die Detailergebnisse sind im Anhang zu finden.

6.8.1 Bevorzugte Flächen für die GBR Rohstoff-Versuche in Feldbach

- ⊠ Hügelland oder Seitentäler der Raab mit keiner bis mittlerer Hangneigung (0 – 10°)
- ⊠ Böden mit mäßiger bis mittlerer Erosionsgefahr (Böden mit hoher Erosionsgefahr können bei Erfolg der Bioraffinerie zusätzlich einbezogen werden)
- ⊠ Böden sollten schwach sauer bis sauer sein (75 % der Böden in Feldbach)
- ⊠ Die Bewirtschaftung sollte nicht durch zu große Feuchtigkeit, Dichtlagerung und zu große Hangneigung behindert werden

6.8.2 Versuchsflächen 2000: Wiesen in Feldbach

Für die Versuche im Jahr 2000 wurde versucht repräsentative Flächen zu finden. Leider besteht im Bereich Dauerwiesen von landwirtschaftlicher Seite kein Interesse mehr an der Bewirtschaftung (großes Potenzial für die Grüne Bioraffinerie). Daher sind die Flächen zum Teil in einem sehr ungepflegten Zustand (z.B. Ampferproblem). Glücklicherweise konnte mit der Familie Mandl, einem der letzten Milchviehbetriebe in der Region, ein wichtiger Partner bei der Rohstoffbereitung gewonnen werden.

Es wurden für die Silageversuche drei Flächen ausgewählt (Details zur Bewirtschaftung siehe Anhang):

1. Gumpensteiner Bastard – Raygraswiese einjährige Fruchtfolge mit Silomais als Feldfutteranbau (verwendete Abkürzung: **BRG00**) – 3 Schnitte für Versuche
2. Dauerwiese (verwendete Abkürzung **DW00**) – 1. Schnitt für Versuche (2. Schnitt nur Ertragsprobe)
3. Knau graswiese – Sämereiwiese (verwendete Abkürzung **KG00**) – 2. Schnitt (1. Schnitt war Samenernte) – (3. Schnitt nur Ertragsprobe)

6.8.3 Klimatische Bedingungen des Jahres 2000

Die Durchschnittstemperatur basierend auf Rohdaten betrug im Jahr 2000 10,5 °C, dieser Wert liegt ca. 1,5° C über dem langjährigen Durchschnitt.

Der Niederschlag lag bei 748 mm. Dies bedeutet keine wesentliche Abweichung vom Durchschnitt der Jahre 1990 bis 1998. Beachtenswert in diesem Zusammenhang ist allerdings die Niederschlagsverteilung und die Abweichung vom Durchschnitt über die Monate (Tab. 45).

Tab. 45: Klimatische Bedingungen des Jahres 2000 im Vergleich zum Durchschnitt der Jahre 1990 bis 1998 – Auersbach/Feldbach, Stmk.

| | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | August | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|---|------|------|------|-------|------|------|------|--------|-------|------|------|------|
| Niederschlag 2000 [mm] | 9 | 7 | 46 | 23 | 50 | 71 | 97 | 78 | 83 | 145 | 82 | 56 |
| Niederschlag relativ zum Durchschnitt (1990-1998) [%] | 57 | 32 | 130 | 41 | 69 | 56 | 101 | 93 | 90 | 194 | 111 | 111 |
| Temp. 2000 [° C] | -3,6 | 2,4 | 5,6 | 12,7 | 16,3 | 19,3 | 18,1 | 20,1 | 14,7 | 11,7 | 6,8 | 1,4 |
| Temp. Abweichung Durchschnitt (1990-1998) [° C] | -2,4 | 2,4 | 1,3 | 4,2 | 1,8 | 1,6 | -1,2 | 1,3 | 0,8 | 3,0 | 3,1 | 2,9 |

Tabelle 45 zeigt zunächst wesentlich geringere Niederschläge in den Monaten Jänner und Februar 2000, die allerdings im März 2000 zum Teil wieder wettgemacht wurden. Dies führte auch zu befriedigenden Erträgen beim 1. Schnitt (Mai). Die darauffolgenden Monate April bis Juni waren allerdings besonders trocken mit vielen Sonnentagen und zum Teil beträchtliche Ernteeinbussen bei Wiesengrünmasse mussten in Kauf genommen werden (2. und teilw. 3. Schnitt). Juli, August und September wichen nur leicht vom Durchschnitt ab und dementsprechend waren die Erträge im August und September (Knautgraswiese) befriedigend.

Glücklicherweise waren die Niederschläge im Oktober besonders hoch. Dadurch konnte die Klee gras Ansaat für das Jahr 2001 gut anwachsen. (Details siehe nachfolgende Kapitel)

Die Temperatur des Jahres 2000 im Vergleich zum Mittelwert der Jahre 1990 bis 1998 war immer höher, außer in den Monaten Jänner und Juli (weitere Details siehe Anhang).

6.8.4 Ertragsproben 2000

Zur Ertragsprobenahme wurde ein Holzrahmen mit 1 m² Innenfläche benutzt. Der Rahmen wurde an möglichst repräsentativen Punkten der Wiesenfläche aufgelegt, die Halme wurden innerhalb des Rahmens aufgerichtet. Daraufhin wurde mit einer Sichel eine Probe genommen. Ähnlich den Messern eines Mähwerks wurde die Sichel ca. 7 cm oberhalb des Bodens angesetzt.

Insgesamt wurde pro Fläche 10 mal 1 m² geschnitten. Die jeweiligen Sichelschnitte wurden einzeln gewogen (auf 20 g genau). Die 10 Einzelproben wurden gesammelt und gut vermischt. Danach wurde eine ca. 1,5 kg FM Probe gezogen, die beschriftet sofort im Kühlhaus Wetzelsdorf eingefroren wurde (ca. –10 bis –15 °C).

6.8.5 Silagebereitung 2000

Wichtig zur Erzeugung von optimalen Silagen ist, dass die Ernte bis spätestens Ende Rispen- u. Ährenschieben erfolgt (hoher Zucker- und geringerer Rohfaseranteil). Das frische Gras muss bis zu einem optimalen TM-Gehalt von 30 bis 40 % angewelkt werden, um die Silagestabilität zu gewährleisten und Sickerwässer zu vermeiden.

Zur Herstellung der angepflanzten Silagen wurden Rundballen mit einem Durchmesser von ca. 1,20 m (550 bis 600 kg) erzeugt. Die Pressung der Ballen wurde über den Maschinenring Raabtal organisiert und durch LW Schweinzer mit seiner New Holland 544 Presse mit höchstmöglichem Druck und der maximalen Anzahl der Schneidmesser durchgeführt.

Als Dosiergerät (AG-2 Hay Sprayer, Sprax Equipment Inc. –Kentucky) für das Aufspritzen der Bakterien wurde von der Fa. Pioneer-Saatgut ein 50 l Fass mit einer Vakuumpumpe mit Manometer und drei an einem Sprühgestänge montierten T-Jet Düsen zur Verfügung gestellt.

Benutzt wurden orangene Düsen mit folgenden Leistungsdaten bezogen auf den Druck der Vakuumpumpe (Tab. 46).

Tab. 46: Flüssigkeitsausstoß der orangenen T-Jet Düse

| Druck [bar] | Ausstoß je Düse [l/min] |
|----------------|----------------------------|
| 1,0 | 0,20 |
| 1,5 | 0,25 |
| 2,0 | 0,30 |
| 2,5 | 0,34 |
| 3,0 | 0,38 |

Mit dem Sprayer wurde ein theoretisches Inoculum von **10⁵ cfu/g FM** bei der Aufnahme der Wiesen grünmasse in die Ballenpresse aufgesprüht.

Um die Bakterienlösung aus den gefriergetrockneten Stämmen herzustellen wurde praxisgerecht kaltes Leitungswasser benutzt. Das Gerät wurde jeweils nach erfolgter Aufspritzen (vor dem nächsten Animpfen) gründlich mit Wasser gereinigt und alle Leitungen und Düsen wurden durchgespült.

Die Probennahme erfolgte nach ca. 30 Tagen und zum Teil zusätzlich nach ca. 120 Tagen bzw. wurden die Ballen für die Pressversuche im September 2000 und März 2001 in Schwechat beprobt.

Die Beprobung der Ballen mit dem Silagestecher erfolgte rund um den jeweiligen Ballen mit 4 bis 6 Einstichen ca. 80 cm tief. Die einzelnen Proben wurden verwogen und dann nochmals gut vermischt, woraufhin sie in je 1 kg Probensäcke abgefüllt und im Kühllager Wetzelsdorf eingefroren wurden.

Nach der Beprobung wurden die entstandenen Löcher mit Gewebeklebeband verschlossen. Leider dürfte die eingedrungene Luft zu Veratmungen und teilweise beträchtlicher Schimmelbildung geführt haben, sodass diese Art der Probennahme für die Versuche 2001 nicht mehr angewandt wurde.

Folgende Silagestarterkulturen wurden in der Saison 2000 verwendet:

Tab. 47: Verwendete Silagestarter der Saison 2000

| | |
|----------------------------|---|
| ATB | Milchsäurebakterien vom Inst. für Agrartechnik Bornim (D) |
| IFA-1 | Milchsäurebakterien vom IFA-Tulln – Stamm 1 |
| IFA-2 | Milchsäurebakterien vom IFA-Tulln – Stamm 2 |
| SB (SilaBac [®]) | kommerzieller Silagestarter der Fa. Pioneer-Saatgut |
| 0 | Nullprobe |

6.8.6 Silageanalytik 2000

Die Frischmasse- und Silageanalytik wurde bei der Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft (K. Buchgraber) – BAL Gumpenstein durchgeführt. In Tab. 48 sind die ermittelten Parameter dargestellt:

Tab. 48: Analytierte Parameter der Frischmasse und Silage an der BAL-Gumpenstein

| Parameter | Beschreibung |
|--------------------|---|
| TM | Trockenmasse in g/kg Frischmasse (FM) |
| XA | Rohasche in g/kg TM |
| XP bzw. CP | Rohprotein in g/kg TM |
| pH | pH Wert der Silage |
| XF | Rohfaser in g/kg TM |
| Zucker (Z) | Gesamtzucker in g/kg FM bzw. TM |
| MS | Milchsäure in g/kg FM bzw. TM |
| ES | Essigsäure in g/kg FM bzw. TM |
| BS | Buttersäure in g/kg FM bzw. TM |
| PS | Propionsäure in g/kg FM bzw. TM |
| NH ₄ -N | Ammoniumstickstoff in g/kg FM bzw. TM |
| XL | Rohfett in g/kg TM |
| dOM | Verdaulichkeit der organischen Masse in % |
| NEL | Nettoenergie-Laktation in MJ/kg TM |
| P | Phosphor in g/kg FM bzw. TM (2001) |
| K | Kalium in g/kg FM bzw. TM (2001) |
| Ca | Calcium in g/kg FM bzw. TM (2001) |
| Mg | Magnesium in g/kg FM bzw. TM (2001) |

Die Einzelergebnisse zu den Silierversuchen sind im Anhang detailliert dargestellt.

6.8.7 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse 2000

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt generell in % der TM.

Es wurden je Schnitt und je Startermischung zwei bis drei Ballen erzeugt. So eine Nullprobe gezogen wurde, wurde diese nur von einem Ballen genommen.

Tab. 49: Erzeugte Silageballen in der Saison 2000 GBR-Versuche – BRG00; DW00; KG00 – Auersbach/Feldbach

| Wiesenart | Schnittnummer | Ballenanzahl je Starter |
|------------------------|---------------|------------------------------|
| Bastardraygras (BRG00) | 1 | je 3 (IFA-1; IFA-2; SB) |
| | 2 | ATB=2 |
| | | 0=1 |
| | 3 | ATB=2 |
| | | IFA-1=2 |
| | | IFA-2=2 |
| SB=2 | | |
| Dauerwiese (DW00) | 1 | je 2 (ATB; IFA-1; IFA-2) |
| | | 0=1 |
| Knautgraswiese (KG00) | 2 | je 2 (ATB; IFA-1; IFA-2; SB) |
| | | 0=1 |

Gesamt wurden 34 Ballen erzeugt und jeweils nach ca. 30 bis 35 Tagen beprobt. Die Dauerwiesenballen wurden ein zweites mal nach 120 Tagen beprobt. Dazu wurden die Ballen zerlegt und die verschimmelten Teile entfernt.

6.8.7.1 Ertragserhebung

Wichtig für die Planung einer Grünen Bioraffinerie sind die zu erwartenden Hektarerträge (Tab. 50).

Tab. 50: Ertragserhebung FM – Saison 2000 GBR-Versuche – BRG00; DW00; KG00 – Auersbach/Feldbach

| Wiesenart | Erhobene Schnitte | Ertrag gemessen [kg FM/ha] | Ertrag gemessen [kg TM/ha] | TM Mittelw. [%] | Ertrag bei 4 Schnitten (hochger.) [kg TM/ha*a] | Ertrag bei 5 Schnitten (hochger.) [kg TM/ha*a] |
|-----------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|--|--|
| Bastard-Raygras | 3 | 53920 | 9284 | 17,2 | 11508 | 13733- |
| Dauer-Wiese | 2 | 13940 | 3848 | 27,6 | 7696 | - |
| Knautgras-Wiese | 2 | 28370 | 4678 | 16,5 | - | - |

Für die Silagebereitung muss ca. **20 % TM Verlust** berücksichtigt werden. Dies wurde anhand der Gesamtballenzahl pro ha eruiert.

Die Hochrechnung auf 4 bzw. 5 Schnitte basiert auf der Summe des ersten 1. Schnittes plus dem Mittelwert aus Schnitt 2 und 3 (so vorhanden) multipliziert mit der Anzahl der weiteren Schnitte.

Tab. 51: Silageertrag Saison 2000 GBR-Versuche – BRG00; DW00; KG00 bei 20 % TM -Verlust im Jahr 2000; Auersbach/Feldbach

| Wiesenart | Silageertrag 2 Schnitte [kg TM/ha*a] | Silageertrag 3 Schnitte [kg TM/ha*a] | Silageertrag 4 Schnitte [kg TM/ha*a] | Silageertrag 5 Schnitte [kg TM/ha*a] |
|-----------------|--|--|--|--|
| Bastard-Raygras | | 7427 | 9206 | 10986 |
| Dauerwiese | 3078 | 4618 | 6157 | - |
| Knautgraswiese | 3742 | - | - | - |

Für die Knautgraswiese werden nur zwei Schnitte kalkuliert, da der erste Schnitt für die Samenerzeugung im Juni/Juli herangezogen wird.

6.8.7.2 Ergebnisse der Silagebereitung mit dem Ziel der Milchsäurerzeugung für eine Grüne Bioraffinerie

In diesem Kapitel sollen die für eine Grüne Bioraffinerie relevanten Ergebnisse dargestellt werden. Die Eignung der Starterbakterien im Feldversuch für die Produktion von Milchsäure durch Silagefermentation konnte erfolgreich getestet werden. Durch die Größenordnung des Versuchs (Siloballen – direkte Feldversuche) kann und soll die Statistik nicht den Stellenwert einer Laborstatistik einnehmen. Die Daten sind aber sehr aussagekräftig und im Gegensatz zu Labordaten jedenfalls praxisrelevant. Alle weiteren Detailergebnisse sind im Anhang zu finden.

6.8.7.2.1 Ergebnisse und Diskussion bezüglich der Silageversuche der Bastardraygraswiese (BRG00)

Tab. 52 und Tab. 53 stellt zusammenfassend die Ergebnisse der Feldversuche dar. Ausgehend von hohen Zucker- und Proteinwerten konnten trotz widriger Witterungsverhältnisse qualitativ hochwertig Silagen hergestellt werden.

Tab. 52: Analyseergebnisse Frischmasse – BRG00

| Schnitt Nr. | TM [%] | XA [% d. TM] | CP [% d. TM] | XF [% d. TM] | Z [% d. TM] | pH | MS [% d. TM] | ES [% d. TM] | BS [% d. TM] | PS [% d. TM] | NH ₄ ⁺ -N [% d. TM] |
|-----------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|---|
| 1 ^{a)} | 16 (Annahme) | - | - | - | 16,0 | 6,3 | 0,17 | 0,06 | - | - | 0,01 |
| 2 | 17,6 | 9,9 | 13,5 | 32,8 | 18,1 | 5,7 | - | - | - | - | 0,15 |
| 3 ^{b)} | 20,9 | 8,7 | 20,0 | 28,0 | 17,0 | 5,9 | - | - | - | - | 0,11 |

^{a)} Untersuchung der Probe am IFA-Tulln; TM-Wert wurde nicht explizit bestimmt, daher Erfahrungswert
^{b)} Arithmetisches Mittel aus 2 Proben

Es werden die Mittelwerte der beprobten Ballen nach 30 bis 35 Tagen angegeben.

Tab. 53: Mittelwerte der Analyseergebnisse Silage – BRG00

| Schn. Nr. | Stamm | TM [%] | XA [% d. TM] | CP [% d. TM] | XF [% d. TM] | Z [% d. TM] | pH | MS [% d. TM] | ES [% d. TM] | BS [% d. TM] | PS [% d. TM] | NH ₄ ⁺ -N [% d. TM] |
|-----------|------------------|--------|--------------|--------------|--------------|-------------|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|---|
| 1 | IFA-1 | 44,0 | 11,2 | 15,8 | 28,0 | 12,2 | 3,9 | 11,6 | 0,1 | 0 | 0 | 0,13 |
| | IFA-2 | 43,7 | 11,9 | 16,3 | 29,1 | 13,1 | 4,0 | 11,3 | 0,2 | 0 | 0,02 | 0,10 |
| | SB ^{a)} | 42,7 | 11,3 | 16,3 | 28,5 | 12,5 | 4,3 | 11,7 | 0,2 | 0 | 0 | 0,11 |
| 2 | 0 | 46,1 | 9,8 | 14,9 | 28,5 | 10,3 | 4,7 | 3,2 | 0,5 | 0 | 0,3 | 0,12 |
| | ATB | 45,2 | 11,0 | 15,0 | 29,1 | 6,8 | 4,2 | 4,8 | 0,4 | 0 | 0,1 | 0,13 |
| 3 | 0 | 43,1 | 9,5 | 17,6 | 29,9 | 15,4 | 6,0 | 3,0 | 0,5 | 0 | 0 | 0,14 |
| | ATB | 44,2 | 9,5 | 16,9 | 29,3 | 16,1 | 5,8 | 6,7 | 1,1 | 0 | 0 | 0,14 |
| | IFA-1 | 43,5 | 9,5 | 16,2 | 28,6 | 13,6 | 4,8 | 9,9 | 1,1 | 0 | 0 | 0,18 |
| | IFA-2 | 46,2 | 9,3 | 16,5 | 27,3 | 13,2 | 4,4 | 7,9 | 0,3 | 0 | 0 | 0,15 |
| | SB | 48,9 | 9,2 | 16,7 | 27,5 | 13,2 | 4,6 | 5,4 | 0,4 | 0 | 0 | 0,15 |

^{a)} Ballen 2 wurde als Ausreißer definiert und nicht in den Mittelwert einbezogen (MS=17,5 % d TM). Dieser Ballen wurde allerdings für einen Pressversuch in Schwechat im März 2001 herangezogen.

Durch die Analytik wurde zwischen 67 und 82 % der Trockenmasse abgedeckt (Frischgras 1. Schnitt nur ca. 16 %).

Aufgrund der außergewöhnlichen Trockenheit und der teilw. heißen und trockenen Winde der Monate April bis Juni bzw. teilweise Juli, sind die Anwelkgrade leider alle oberhalb des Idealbereichs von 30 bis max. 40 % TM angesiedelt. Sehr schön sieht man das ungewöhnlich rasche Trocknen des Grases beim dritten Schnitt, wo beim letzten Ballen im Vergleich zum ersten Ballen (ca. 2 Stunden) der TM Gehalt der Silage um ca. 14 % höher ist.

Der Rohfasergehalt ist durch das witterungsbedingte rasche Hochschießen des Grases leicht über dem Idealwert von 27 % d. TM.

Die Werte für Rohasche bleiben relativ stabil. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass durch Zetten und Wenden bzw. Schwaden und das Ballenpressen keine od. kaum zusätzliche Asche (Erde, Staub) in die Silage eingebracht wurde.

In der idealen homofermentativen Milchsäurefermentation wird 1 Molekül Glucose od. Fructose in 2 Moleküle Lactat umgewandelt. In der Massenbilanz wird näherungsweise 1 kg Zucker dann in 1 kg Milchsäure bzw. Lactat umgewandelt.

Die Zuckerbilanz (Tab. 54) zeigt, dass der Saldo des ersten und des zweiten Schnittes durchwegs negativ ist. Diesbezüglich gibt es zwei Erklärungsmöglichkeiten.

1. Es wurden Zucker fermentiert, die durch die Analytik nicht gemessen wurden.
2. Zusätzliche fermentierbare wasserlösliche Zucker wurden durch Hydrolyse freigesetzt.

Die Zuckerbilanz des zweiten Schnittes zeigt einen positiven Saldo. Das bedeutet, dass weniger Milchsäure gebildet wurde, als Zucker verbraucht wurde. Die Zuckerabbaurate zeigt allerdings sehr hohe Werte. Hier könnte es sich um heterofermentative Vorgänge handeln oder es könnten Oxidationsprozesse ("Veratmung") stattgefunden haben.

Zuckerbilanz | Zucker d.FM 4 (MS 2 Zucker d.Silage); in [g/100gTM]

Tab. 54: Zuckerbilanz u. Zuckerabbaurate der Silagen – BRG00

| Schn. Nr. | Stamm | Zuckerbilanz [g/100g TM] | Zuckerabbaurate [%] |
|-----------|------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | IFA-1 | -7,8 | 24 |
| | IFA-2 | -8,4 | 18 |
| | SB ^{a)} | -8,2 | 22 |
| 2 | 0 | 4,6 | 43 |
| | ATB | 6,5 | 62 |
| 3 | 0 | -1,4 | 9 |
| | ATB | -5,8 | 5 |
| | IFA-1 | -6,5 | 20 |
| | IFA-2 | -4,1 | 22 |
| | SB | -1,6 | 22 |

Trotz der hohen TM-Gehalte wurden durch die Animpfung mit den IFA-Tulln – Stämmen sehr befriedigende Resultate erzielt. Der Mittelwert des 1. und 3. Schnitts zeigt für IFA-1 10,75 % Milchsäure in d. TM und für IFA-2 9,6 % Milchsäure in d. TM. Diese Ergebnisse sind auch kongruent mit den gefundenen Laborwerten. Allerdings konnte gezeigt werden, dass diese Bakterien (*P. pentosaceus* und *L. plantarum*) auch unter Extrembedingungen noch zufriedenstellende Ergebnisse liefern. Bezüglich des D- und L- Milchsäuregehalts ist anzumerken, dass IFA-1 ca. 75 % L(+)-Milchsäure und IFA-2 nur 69 % L(+)-Milchsäure bildet.

Dies sind Werte, die für eine Grüne Bioraffinerie als sehr interessant angenommen werden können, wobei allerdings die Zuckerabbaurate von nur 18 bis 24 % nicht befriedigend ist. Ein Grund für diese Werte ist sicherlich der hohe Trockenmassegehalt der Silagen. Weiterführende Forschung sollte sich darauf konzentrieren, wie der Zuckerumsatz verbessert werden kann.

Die Werte für den Kontrollballen ("0") weichen sehr stark von den IFA Werten ab. Dies zeigt, dass ein animpfen mit Bakterien sehr wichtig sein kann. Die Werte für den ATB Stamm sind leider nicht befriedigend. Die Werte für SilaBac sind zu unterschiedlich, um hier eine Aussage treffen zu können. Generell ist allerdings festzustellen, dass SilaBac auch Essigsäurebildner enthält und daher nur bedingt für eine Grüne Bioraffinerie einsatzfähig ist.

6.8.7.2.2 Ergebnisse und Diskussion bezüglich der Silageversuche der Dauerwiese (DW00)

Tab. 55 und Tab. 56 stellt zusammenfassend die Ergebnisse der Feldversuche dar. Ausgehend von mittleren Zucker- und Proteinwerten konnte trotz widriger Witterungsverhältnisse Silagen ohne Fehlgärungen hergestellt werden.

Tab. 55: Analyseergebnisse Frischmasse – DW00

| Schnitt Nr. | TM [%] | XA [% d. TM] | CP [% d. TM] | XF [% d. TM] | Z [% d. TM] | pH | MS [% d. TM] | ES [% d. TM] | BS [% d. TM] | PS [% d. TM] | NH ₄ ⁺ -N [% d. TM] |
|-------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| 1 | 26,1 | 7,2 | 14,8 | 29,6 | 13,6 | 5,33 | - | - | - | - | 0,1 |
| 2 | 31,5 | 7,7 | 11,0 | 29,1 | 10,6 | 5,32 | - | - | - | - | 0,1 |

Es werden die Mittelwerte der beprobten Ballen nach 30 bis 35 Tagen bzw. 120 bis 180 Tagen angegeben.

Tab. 56: Analyseergebnisse Silage – DW00

| Schn. Nr. | Stamm | TM [%] | XA [% d. TM] | CP [% d. TM] | XF [% d. TM] | Z [% d. TM] | pH | MS [% d. TM] | ES [% d. TM] | BS [% d. TM] | PS [% d. TM] | NH ₄ ⁺ -N [% d. TM] |
|--------------------|-----------------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| 1 nach 30 d | ATB | 68,1 | 8,7 | 13,0 | 28,4 | 14,4 | 6,0 | - | - | - | - | 0,1 |
| | IFA-1-1 | 57,9 | 7,8 | 12,6 | 30,1 | 8,2 | 4,1 | - | - | - | - | 0,1 |
| | IFA-1-2 | 64,7 | 7,7 | 12,7 | 29,7 | 12,6 | 5,4 | - | - | - | - | 0,1 |
| | IFA-1 ^{a)} | 61,3 | 7,8 | 12,7 | 30,0 | 10,4 | 4,8 | - | - | - | - | 0,1 |
| | Mittelw. | 61,3 | 7,8 | 12,7 | 30,0 | 10,4 | 4,8 | - | - | - | - | 0,1 |
| | IFA-2 | 67,8 | 9,3 | 13,1 | 29,2 | 12,7 | 5,7 | - | - | - | - | 0,1 |
| 1 nach 120 d | ATB | 66,5 | 7,6 | 12,2 | 29,1 | 13,0 | 5,5 | 0 | 0,1 | 0 | 0,04 | 0,1 |
| | IFA-1-1 ^{a)} | 58,8 | 8,0 | 12,2 | 31,0 | 8,6 | 5,2 | 4,1 | 0,2 | 0 | 0,1 | 0,1 |
| | IFA-1-2 | 69,8 | 7,4 | 10,7 | 28,2 | 14,2 | 5,6 | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 0,1 |
| | IFA-1 ^{b)} | 64,3 | 7,7 | 11,5 | 29,6 | 11,4 | 5,4 | 2,1 | 0,2 | 0 | 0,04 | 0,1 |
| | Mittelw. | 64,3 | 7,7 | 11,5 | 29,6 | 11,4 | 5,4 | 2,1 | 0,2 | 0 | 0,04 | 0,1 |
| | IFA-2 | 67,2 | 8,0 | 13,6 | 28,3 | 13,1 | 5,4 | | 0,3 | 0 | 0 | 0,15 |

^{a)} Große Unterschiede zw. Ballen 1 u. 2: IFA-1-1 = IFA-1, Ballen 1; etc.
^{b)} Mittelwert aus den zwei angegebenen Proben

Leider wurde das Grüngut bei enormer Hitze und Trockenheit viel zu lange angewelkt. Somit erhielten wir Trockenmassen, die schon in Richtung Heu gehen. Daher ist eine sinnvolle Auswertung nicht möglich. Aufgrund Materialmangels konnte keine "0" Probe erzeugt werden. Auch der SilaBac Versuch konnte nicht durchgeführt werden.

Als Begleitung der Feldversuche wurden im Falle der Dauerwiese Weckglasversuche durch ein Wissenschaftler Team (Leitung C. Idler) des Inst. für Agrartechnik Bornim (D) durchgeführt. Ziel war die Überprüfung der ATB eigenen Silagestämmen auf Produktion von L(+)-Milchsäure und die Abschätzung der Eignung der ATB Kulturen für eine Grüne Bioraffinerie. Leider konnten (siehe oben) die ATB Stämme mit den IFA-Tulln Stämmen nicht mithalten und wurden daher auch für die Versuche 2001 nicht mehr herangezogen.

6.8.7.3 Weckglasversuche des ATB-Bornim (D) zur Abklärung der Eignung von ATB-Stämmen für Grüne Bioraffinerien

Vom 7.-17. Mai 2000 arbeitete Frau C. Idler und Frau Mundt an der TU Graz am Institut für Grundlagen der Verfahrenstechnik und am Institut für Biotechnologie (Bioverfahrenstechnik). Die vorgeschlagenen Studien zielen darauf ab, das Silieren von Gras zu verbessern, indem man neu selektierte Milchsäure Bakterienarten als Starterkulturen einsetzt, und dadurch den Silage Prozess für eine lange Lagerung von Gras als Rohstoff und Ausgangsprodukt für hochwertige Produkte brauchbar macht. In diesem Fall lag das Hauptaugenmerk darauf, sicherzustellen, daß nur L(+)-Milchsäure und nicht D(-)-Milchsäure beim Silieren entsteht. Das Arbeitsprogramm beinhaltet mehrere Versuchsreihen verschiedener Bakterienarten im Labormaßstab und im Silomaßstab.

Folgende Versuchsparameter wurden für die 2l Weckglas-Versuche aufgestellt:

- ⊘ Material: 1. Schnitt einer Dauerwiese im Rahmen des "Grünen Bioraffinerie Projekts" (DW00)
- ⊘ Laborsilierung: 2 Liter-Weckgläser

Ergebnisse (Details siehe Anhang):

- ⊘ Gehalt an Trockenmasse: Bereich von 59,0-72,1 %
- ⊘ Probenahme: nach 30 und 120 Tagen.
- ⊘ Parameter: Trockenmasse, pH, Ammoniak, Fermentationssäuren (Milchsäure, Essigsäure, Buttersäure, Propionsäure, Valeriansäure, Capronsäure), L(+)-Milchsäure, WSC, Rohfaser, Rohprotein.

Im Mai 2000 war die Außentemperatur sehr hoch, sodass der Gehalt an Trockenmasse im Bereich von 60 – 68 % lag. Darum war die Säurekonzentration in diesen Versuchen nicht so hoch wie es sonst möglich gewesen wäre. Das beste Additiv für die Siloballen war die Starterkultur IFA-1.

Trotz des hohen Trockenmasse Anteils wurde während des Silierens L(+)-Milchsäure produziert. Die beste Einzel-Bakterienart war *Lactobacillus rhamnosus* Nr.100 (siehe Anhang). Bei der kombinierten Anwendung zweier Arten war es möglich, die Ausbeute an Milchsäure zu erhöhen. Die beste Mischkultur war die Kombination von Bakterium Nr.14 und 26 (siehe Anhang). Die Anwendung von drei Arten in Kombination war nicht erfolgreich. Die Erhöhung der Konzentration von 10^5 auf 10^7 cfu/g FM resultierte in einer höheren Milchsäurekonzentration.

Anlässlich dieser Versuchsansätze wurde vom ATB-Bornim eine neue Methode der Silage Probenvorbereitung für die Bestimmung von L(+)-Milchsäure entwickelt.

6.8.7.3.1 Ergebnisse und Diskussion bezüglich der Silageversuche der Knautgraswiese (KG00)

Tab. 57 und Tab. 58 stellen zusammenfassend die Ergebnisse der Feldversuche dar. Ausgehend von niedrigen Zuckerwerten aber hohen Proteingehalten wurden, trotz idealen TM-Werten, Silagen mit nur mittleren Milchsäuregehalten produziert. Es wurden allerdings keine Fehlgärungen beobachtet.

Tab. 57: Analyseergebnisse Frischmasse – KG00

| Schnitt Nr. | TM [%] | XA [% d. TM] | CP [% d. TM] | XF [% d. TM] | Z [% d. TM] | pH | MS [% d. TM] | ES [% d. TM] | BS [% d. TM] | PS [% d. TM] | NH ₄ ⁺ -N [% d. TM] |
|-------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| 1 | 14,8 | 13,3 | 18,4 | 32,1 | 5,3 | 5,7 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0,05 |
| 2 | 20,6 | 11,6 | 17,8 | 31,4 | 8,1 | 5,7 | - | 0,4 | 0 | 0 | 0,05 |

Es werden die Mittelwerte der beprobten Ballen nach 33 Tagen angegeben.

Tab. 58: Analyseergebnisse Silage – KG00

| Schn. Nr. | Stamm | TM [%] | XA [% d. TM] | CP [% d. TM] | XF [% d. TM] | Z [% d. TM] | pH | MS [% d. TM] | ES [% d. TM] | BS [% d. TM] | PS [% d. TM] | NH ₄ ⁺ -N [% d. TM] | |
|-----------|-----------------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|--|
| 1 | 0 | 33,6 | 13,1 | 17,0 | 31,8 | 2,5 | 4,8 | 2,8 | 0,7 | 0 | 0 | 0,16 | |
| | ATB | 37,3 | 12,9 | 17,4 | 31,3 | 3,2 | 4,7 | - | - | - | - | 0,18 | |
| | IFA-1-1 ^{a)} | 32,2 | 13,4 | 18,1 | 31,6 | 2,0 | 4,7 | 4,5 | 0,9 | 0 | 0,2 | 0,06 | |
| | IFA-1-2 | 35,4 | 12,4 | 17,1 | 31,2 | 3,8 | 4,6 | 8,4 | 0,2 | 0 | 0 | 0,2 | |
| | IFA-1 ^{b)} | 33,8 | 12,9 | 17,6 | 31,4 | 2,9 | 4,6 | 6,5 | 0,5 | 0 | 0,1 | 0,2 | |
| | Mittelw. | | | | | | | | | | | | |
| | IFA-2 | 36,8 | 12,4 | 18,1 | 31,0 | 3,2 | 4,8 | 7,5 | 1,7 | 0 | 0,17 | 0,27 | |
| SB | 34,9 | 11,8 | 19,0 | 31,4 | 2,6 | 5,2 | 2,7 | 1,8 | 0 | 0,26 | 0,35 | | |

^{a)} Große Unterschiede zw. Ballen 1 u. 2: IFA-1-1 = IFA-1, Ballen 1; etc.
^{b)} Mittelwert aus den zwei angegebenen unterschiedlichen Proben

Durch die Analytik wurde zwischen 65 und 74 % der Trockenmasse abgedeckt.

Nachdem der August 2000 wieder moderatere Temperaturen aufwies konnte ideal angelwelkt werden. Dies resultiert in Trockenmassen von 32 bis 37 %.

Der Rohfasergehalt ist mit 31 bis 32 % über dem Sollwert von 27 %. Dies ist wahrscheinlich auf die faserreichen Blätter des Knautgrases zurückzuführen, da ab dem 2. Schnitt (1. Schnitt nach der Samenernte) keine Stämme mehr ausgebildet werden.

Die Werte für Rohasche bleiben relativ stabil. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass durch Zetten und Wenden bzw. Schwaden und das Pressen keine od. kaum zusätzliche Asche (Erde, Staub), in die Silage eingebracht wurde.

Generell ist zu sagen, dass Knautgras verglichen mit den Raygräsern wesentlich weniger Zucker aufweist. 5,3 bzw. 8,1 % d. TM Zucker ist für hohe Milchsäureausbeuten sicher nicht ausreichend. Dennoch konnte mit den IFA-Stämmen bis zu 8 % d. TM Milchsäure erreicht werden.

Die Zuckerbilanz (Tab 44) zeigt, dass der Saldo teilweise negativ ist. Bei "0" und "SB" ist der Saldo exakt 0.

Die Zuckerabbaurate sieht schon wesentlich besser aus, als dies bei BRG00 der Fall war. Dies ist im wesentlichen auf die geringere Trockenheit zurückzuführen. Dennoch sollte durch Optimierung der Feststofffermentation versucht werden diese Abbaurate weiter zu steigern.

Zuckerbilanz | Zucker d.FM 4 (MS 2 Zucker d.Silage); in [g / 100g TM]

Tab. 59: Zuckerbilanz und Zuckerabbaurate – KG00

| Schn. Nr. | Stamm | Zuckerbilanz [g/100g TM] | Zuckerabbaurate [%] |
|-----------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 0 | 0 | 53 |
| | ATB | - | 40 |
| | IFA-1-1 ^{a)} | -1,2 | 62 |
| | IFA-1-2 | -6,9 | 28 |
| | IFA-1 ^{b)} | -4,1 | 45 |
| | Mittelw. | -4,1 | 45 |
| | IFA-2 | -5,4 | 40 |
| | SB | 0 | 51 |

^{a)} Große Unterschiede zw. Ballen 1 u. 2:
IFA-1-1 = IFA-1, Ballen 1; etc.
^{b)} Mittelwert der angegebenen unterschiedlichen Werte

Die Werte für den Kontrollballen ("0") weichen sehr stark von den IFA Werten ab. Dies zeigt, dass ein Animpfen mit Bakterien sehr wichtig sein kann. Die Werte für die SB Stämme sind nicht befriedigend.

6.9 Rohstoff-Versuche im Rahmen des BBK Projekts – Saison 2001

Basierend auf den Erkenntnissen der Versuche des Jahres 2000 wurden für 2001 großteils entsprechende neue Flächen ausgewählt. Wieder wurden Silagen mit speziellen Starterkulturen des IFA-Tulln erzeugt. Handelte es sich im Jahr 2000 um Reinkulturen, so kamen im Jahr 2001 optimierte Mischungen zum Einsatz.

Für die Versuche im Jahr 2001 wurden weitere interessante Flächen ausgewählt. Leider konnte auch für die Versuche 2001 keine entsprechende Dauerwiese (mittelintensiv ohne Ampferproblem) gefunden werden. Daher wurde die Gelegenheit ergriffen eine höher gelegene (800 m) Extensivwiese in der Obersteiermark bei Admont in Kooperation mit dem BAL-Gumpenstein zu bewirtschaften. Es wurden insgesamt vier Flächen ausgewählt:

1. Gumpensteiner Bastard – Raygraswiese – Sämereiwiese (verwendete Abkürzung: **BRG01**) (1. Schnitt nur Ertragsprobe) – 3. Schnitt Silierung
2. Klee-graswiese – Feldfutter – ÖAG-Mischung "IM" – 1. und 2. Schnitt Silierung (3. Schnitt nur Ertragsprobe)
3. Dauerwiese-Obersteiermark bei Admont - Buchau (verwendete Abkürzung **DW01 bzw. DWB01**) – 1. Schnitt Silierung
4. Knaulgraswiese – Sämereiwiese (verwendete Abkürzung **KG01**) – selbe Fläche wie 2000

Besonders die ÖAG-Mischung IM eignet sich hervorragend für die Silierung. Der relativ hohe Anteil an Raygräsern sorgt für ein intensives Wachstum hohe Zuckergehalte (gute Silierfähigkeit). Diese ÖAG-Mischung hält in milden Lagen bei nicht zu langer Schneelage zwei Winter durch (1 bis 2 Hauptnutzungsjahre). Diese Feldfutter-Intensivwiese kann 4 bis 6 mal pro Jahr gemäht werden. Weitere Details zu den Versuchsflächen sind im Anhang zu finden.

2001 wurde aus den Rohstoffen sowohl Grüner- bzw. Silagesaft mit einer sehr geeigneten Schneckenpresse (siehe Modul 2) hergestellt. Besonderes Augenmerk wurde bei den Versuchen 2001 aus aktuellem Anlass (BSE) auf die Gewinnung von Proteinen aus Frischmasse und Silage gelegt. Trotzdem war eine hohe Milchsäureausbeute erwünscht. Die Säfte wurden eingehend analysiert und die Ergebnisse inklusive Potenzialabschätzung werden in den entsprechenden Kapiteln dargestellt.

6.9.1 Klimatische Bedingungen des Jahres 2001

(Tab. 60) zeigt zunächst wesentlich geringere Niederschläge in den Monaten Februar, Mai, Juli und August 2001. Hohe Niederschläge im März 2001 führten auch zu sehr befriedigenden Erträgen beim 1. Schnitt (Mai). Die darauffolgenden Monate Mai bis August waren allerdings besonders trocken mit vielen Sonnentagen und beträchtliche Ernteeinbußen bei Wiesengrünmasse mussten in Kauf genommen werden (2. und 3. Schnitt). Teilw. kann man sogar von totalen Ernteauffällen sprechen.

Glücklicherweise waren die Niederschläge im September besonders hoch. Dadurch konnte sich die Klee-graswiese wieder erholen. Im Herbst wurde allerdings viel zu wenig Niederschlag beobachtet. Dies wird sich voraussichtlich auf die Saison 2002 auswirken.

Die Temperatur des Jahres 2000 im Vergleich zum Mittelwert der Jahre 1990 bis 1998 war höher, außer in den Monaten April, Juni, Sept., Nov. und Dez.

Tab. 60: Abweichung der Bedingungen des Jahres 2001 vom Durchschnitt der Jahre 1990 bis 1998

| | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | August | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|---|------|------|------|-------|------|------|------|--------|-------|------|------|------|
| Niederschlag 2001 [mm] | 23 | 5 | 50 | 58 | 33 | 104 | 65 | 19 | 170 | 42 | 22 | 4,5 |
| Niederschlag relativ zum Durchschnitt (1990-1998) [%] | 145 | 25 | 141 | 100 | 46 | 82 | 67 | 23 | 185 | 53 | 30 | 9 |
| Temp. 2001 [° C] | 0,3 | 2,5 | 7,1 | 8,8 | 17,4 | 17,7 | 20,8 | 21,1 | 12,8 | 13,1 | 2,6 | -3,2 |
| Temp. Abweichung Durchschnitt (1990-1998) [° C] | 3,9 | 0,1 | 1,5 | -3,9 | 1,1 | -1,6 | 2,7 | 2,3 | -1,1 | 4,4 | -1,1 | -1,7 |

6.9.2 Ertragsproben und Silagebereitung 2001

Die Probennahme und Silagebereitung erfolgte analog zum Jahr 2000. LW Schweinzer investierte im Frühjahr 2001 in eine neue Claas Ballenpresse, so dass diese anstatt der "New Holland" zum Einsatz kam. Zwischen den einzelnen Startermischungen wurden im Gegensatz zum Vorjahr zwei "Leerballe" erzeugt, um die Aufnahmeeinrichtung und den Pressraum der Ballenpresse zusätzlich zu reinigen.

Es wurde allerdings jeweils immer nur ein Ballen (2. Ballen = Backup) beprobt. Die Probennahme erfolgte nach ca. 55 Tagen. Die Beprobung der Ballen erfolgte durch vollständige Zerlegung des Ballens. Der Ballen wurde mit einem großen Epple Blasius Type 1046 Standhäcksler mit einem 45 kW_{el} Antrieb bei der Fa. Egger in Mitterlabill in Big Bags gehäckselt. Dies war gleichzeitig das Vorbereitungsprozedere für die Pressversuche. Daraufhin wurde der Big Bag zur Schneckenpresse der Fa. Hernach in Grasdorf gebracht. Dort wurde die Silage ausgepresst. Während des Pressvorgangs wurde aus mehreren Schichten (Durchschnittsprobe) im Big Bag eine Probe für die Analyse entnommen.

Die weniger erfolgreichen Starterkulturen des Jahres 2000 (ATB und SilaBac) wurden für die Versuche 2001 nicht mehr verwendet. Zum Einsatz kamen vom IFA-Tulln optimierte Stammisierungen, die u.a. auch die Einzelstämme des Jahres 2000 enthielten (IFA-S3).

Folgende Silagestarterkulturen wurden demnach in der Saison 2001 verwendet (siehe auch Kap. 6.7):

Tab. 61: Verwendete Silagestarter der Saison 2001

| | |
|--------|-----------------------------|
| IFA-M2 | Stammisierung des IFA-Tulln |
| IFA-S3 | Stammisierung des IFA-Tulln |

6.9.3 Silageanalytik 2001

Die Frischmasse- und Silageanalytik wurde analog zu 2000 bei der Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft (K. Buchgraber) – BAL Gumpenstein durchgeführt.

Die Einzelergebnisse zu den Silierversuchen sind im Anhang detailliert dargestellt.

Der CP (Rohprotein) Wert wurde, um die Anforderungen zur Erstellung der Massenbilanzen bei der Fraktionierung zu erfüllen im Gegensatz zu 2000 um den NH_4^+ -Anteil verringert. Dies bedeutet einen kleinen rechnerischen Unterschied gegenüber der Praxis bei der Darstellung landwirtschaftlicher Untersuchungen und der Versuche des Jahres 2000.

6.9.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse 2001

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt generell in % der TM.

Es wurden je Schnitt und je Startermischung zwei Ballen erzeugt. Auf eine Nullprobe (außer Dauerwiese-Admont) wurde aufgrund der Labor- und Vorjahresergebnisse generell verzichtet.

Tab. 62: Erzeugte beprobte Silageballen in der Saison 2000 GBR-Versuche – BRG00; DW00; KG00 – Auersbach/Feldbach

| Wiesenart | Schnittnummer | Ballenanzahl je Starter (beprob) |
|------------------------|---------------|----------------------------------|
| Bastardraygras (BRG01) | 3 | je 1 (IFA-M2; IFA-S3) |
| Kleegraswiese (KLG01) | 1 | IFA-M2=1 |
| | | IFA-S3=2 |
| Kleegraswiese (KLG01) | 2 | je 1 (IFA-M2; IFA-S3) |
| Dauerwiese (DW(B)01) | 1 | 0=2 |
| | | IFA-M2=2 |
| | | IFA-S3=1 |
| Knautgraswiese (KG00) | 2 | je 1 (IFA-M2; IFA-S3) |

Gesamt wurden 14 Ballen nach mindestens 55 Tagen beprob.

6.9.4.1 Ertragshebung 2001
Tab. 63: Ertragshebung FM – Saison 2001 GBR-Versuche – BRG01; KLG01; DW(B)01; KG01 – Auersbach/Feldbach bzw. Admont

| Wiesenart | Erhobene Schnitte | Ertrag gemessen [kg FM/ha] | Ertrag gemessen [kg TM/ha] | TM Mittelw. [%] | Ertrag bei 4 Schnitten (hochger.) [kg TM/ha*a] | Ertrag bei 5 Schnitten (hochger.) [kg TM/ha*a] |
|-----------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|--|--|
| Bastard-Raygras | 2 | 23480 | 4128 | 17,6 | 6906 | - |
| Kleegras-Wiese | 3 | 44590 | 7613 | 17,1 | 9352 | 11090 |
| Dauer-Wiese | BAL | - | - | - | - | - |
| Knaulgras-Wiese | 1 | 10890 | 1950 | 17,9 | - | - |

Für die Silagebereitung muss ca. **20 % TM Verlust** berücksichtigt werden.

Die Hochrechnung auf 4 bzw. 5 Schnitte basiert auf der Summe des ersten 1. Schnittes plus dem Mittelwert aus Schnitt 2 und 3 (so vorhanden) multipliziert mit der Anzahl der weiteren Schnitte.

Tab. 64: Silageertrag Saison 2001 GBR-Versuche – BRG01; KLG01; DW(B)01; KG01 bei 20 % TM -Verlust im Jahr 2001; Auersbach/Feldbach

| Wiesenart | Silageertrag 2 Schnitte [kg TM/ha*a] | Silageertrag 3 Schnitte [kg TM/ha*a] | Silageertrag 4 Schnitte [kg TM/ha*a] | Silageertrag 5 Schnitte [kg TM/ha*a] |
|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Bastard-Raygras | 3302 | 4414 | 5525 | - |
| Kleegras-Wiese | - | - | 7482 | 8872 |
| Dauerwiese | - | - | - | - |
| Knaulgraswiese | 3120 | - | - | - |

Bei der Bastardraygraswiese handelt es sich zum Unterschied des Vorjahres (2000) um eine Sämereiwiese (siehe Anhang) und steht daher für max. 3 bis 4 weitere Schnitte (außer Samenproduktion) zur Verfügung. Der Minderertrag gegenüber der vergleichbaren BRG00 Fläche ist auf die große Trockenheit zurückzuführen. Im Allgemeinen lassen sich BRG Ertragswerte ähnlich den KLG01 Werten bzw. BRG00 Werten erwarten.

Für die Knaulgraswiese werden nur zwei Schnitte kalkuliert, da der erste Schnitt für die Samenerzeugung im Juni/Juli herangezogen wird.

6.9.4.2 Ergebnisse der Silagebereitung mit dem Ziel der Milchsäurerzeugung für eine Grüne Bioraffinerie

In diesem Kapitel sollen die für eine Grüne Bioraffinerie relevanten Ergebnisse des Jahres 2001 dargestellt werden. Die Eignung der Starterbakterien im Feldversuch für die Produktion von Milchsäure durch Silagefermentation konnte erfolgreich durchgeführt werden. Durch die Größenordnung des Versuchs (Siloballen – direkte Feldversuche) kann und soll die Statistik nicht den Stellenwert einer Laborstatistik einnehmen. Die Daten sind aber sehr aussagekräftig und im Gegensatz zu Labordaten jedenfalls praxisrelevant. Alle weiteren Detailergebnisse sind im Anhang zu finden. Leider stehen die Analytwerte des BAL-Gumpenstein zum Teil im Widerspruch zu den gefundenen (siehe Modul 4) Presssaftwerten des IFA-Tulln. In einigen G und S Proben wurden derart hohe Essigsäurekonzentrationen (und keine Milchsäure) gefunden, die den tatsächlichen Werten nicht entsprechen können (vgl. Saftwerte; Auskunft BAL-Gumpenstein). Diese Ergebnisse mussten leider ausgesondert werden. Damit bleiben für die Auswertung der Feldversuche nur die im folgenden beschriebenen Werte relevant. Die vollständige Analytik ist dennoch im Anhang zu finden.

6.9.4.2.1 Ergebnisse und Diskussion bezüglich der Silageversuche der Bastardraygraswiese (BRG01)

Tab. 65 stellt zusammenfassend die Ergebnisse der Feldversuche dar.

Tab. 65: Analysenergebnisse Grünmasse – BRG01; Versuche 2001 – Auersbach/Feldbach

| Schnitt Nr. | TM [%] | XA [% d. TM] | CP ^{a)} [% d. TM] | XF [% d. TM] | Z [% d. TM] | pH | MS [% d. TM] | ES [% d. TM] | BS [% d. TM] | PS [% d. TM] | NH ₄ ⁺ -N [% d. TM] |
|-------------|--------|--------------|----------------------------|--------------|-------------|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|---|
| 1 | 16,6 | 9,2 | 13,3 | 19,8 | 31,9 | 6,5 | 0,00 | 0,00 | 0,18 | 0,00 | 0,05 |
| 3 | 19,9 | 9,8 | 17,4 | 30,2 | 16,3 | 7,1 | 0,00 | 0,55 | 0,00 | 0,00 | 0,10 |

^{a)} der CP Wert wurde abzüglich des NH₄⁺-Wertes in die Datenerfassung aufgenommen (rechn. Abweichung zu BAL Werten im Anhang)

Es werden die Werte der beprobten Ballen nicht angegeben, da die gemessenen Gärssäurewerte nicht der Realität entsprechen können. Im Ballen mit der Stammmischung IFA-M2 wurde 0 % MS und 26,1 % Essigsäure gemessen. Im Presssaft wurden aber 20,6 % Milchsäure i. d. TM und nur 1,2 % Essigsäure i. d. TM gefunden. Nach eigenen Erfahrungen und nach Auskunft des BAL-Gumpenstein (Resch 2002) kommen derart hohe Essigsäurekonzentrationen in Silagen nicht vor. Die BAL-Gumpenstein fand in all den Jahren der Versuchsdurchführung einen maximalen Wert für Essigsäure von 6,3 % i. d. TM (Resch 2002). Diese Messergebnisse wurden in allen 3 bis 4 Wiederholungen gefunden. Auch der gleichzeitig analysierte Presskuchen weist derartige Werte auf. Es konnte nicht verifiziert werden, ob eventuell bei Transport, Lagerung oder Probenaufbereitung Essigsäure in die Proben gelangt sein könnte.

Die Messwerte für den Silageballen mit den IFA-S3 Bakterien verhalten sich ähnlich. Die Werte müssen, daher leider ausgeschieden werden. Aufgrund der Milchsäurewerte im Saft kann aber davon ausgegangen, dass es sich um sehr hochwertige Silagen gehandelt hat. Eventuell können im Jahr 2002 Proben von den "Back-up" Ballen gezogen und analysiert werden.

6.9.4.2.2 Ergebnisse und Diskussion bezüglich der Silageversuche der Klee graswiese (KLG01)

Tab. 66 und Tab. 67 stellt zusammenfassend die Ergebnisse der Feldversuche dar.

Tab. 66: Analyseergebnisse Frischmasse – KLG01; Versuche 2001 – Auersbach/Feldbach

| Schnitt Nr. | TM [%] | XA [% d. TM] | CP ^{b)} [% d. TM] | XF [% d. TM] | Z [% d. TM] | pH | MS [% d. TM] | ES [% d. TM] | BS [% d. TM] | PS [% d. TM] | NH ₄ ⁺ -N [% d. TM] |
|-----------------|--------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| 1 ^{a)} | 34,2 | 9,1 | 18,5 | 29,9 | 4,5^{c)} | 6,1 | 0,00 | 0,29 | 0,00 | 0,00 | 0,08 |
| 2 | 17,6 | 9,0 | 16,4 | 30,6 | 16,1 | 5,1 | 0,00 | 0,33 | 0,00 | 0,00 | 0,07 |
| 3 | 18,7 | 9,5 | 11,7 | 33,8 | 9,5 | 6,0 | 0,00 | 0,91 | 0,00 | 0,00 | 0,11 |

^{a)} in angewelktem Zustand untersucht – daher hoher TM-Wert (TM Wert frisch ca. 16,2 %)

^{b)} der CP Wert wurde abzüglich des NH₄⁺-Wertes in die Datenerfassung aufgenommen (rechn. Abweichung zu BAL Werten im Anhang)

^{c)} dieser Wert kann leider nicht stimmen (vgl. Presskuchen des selben Materials: 11, 4 % Zucker i. d. TM)

Es werden die Analytikergebnisse der beprobten Ballen in Tab. 67 angeführt:

Tab. 67: Analytikergebnisse Silageballen – KLG01; Versuche 2001 – Auersbach/Feldbach

| Schn. Nr. | Stamm | TM [%] | XA [% d. TM] | CP [% d. TM] | XF [% d. TM] | Z [% d. TM] | pH | MS [% d. TM] | ES [% d. TM] | BS [% d. TM] | PS [% d. TM] | NH ₄ ⁺ -N [% d. TM] |
|-----------|----------------------|--------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|--|
| 1 | IFA-M2 | 35,8 | 10,3 | 12,4 | 30,1 | 11,2 | 3,9 | 15,1 | 1,37 | 0,00 | 0,84 | 0,10 |
| | IFA-S311 | 45,6 | 9,6 | 11,6 | 29,7 | 4,4 | 4,5 | 6,9 | 0,5 | 0,00 | 0,00 | 0,11 |
| | IFA-S312 | 41,9 | 9,9 | 16,1 | 30,5 | 2,0^{a)} | 4,3 | 10,6 | 0,67 | 0,00 | 0,05 | 0,14 |
| 2 | IFA-M2 ^{c)} | 38,1 | 10,6 | 7,5^{b)} | 29,7 | 4,5 | 4,1 | 0,0 | 21,8 ^{c)} | 0,00 | 0,00 | 0,19 |
| | IFA-S3 | 41,4 | 10,2 | 11,6 | 29,5 | 6,2 | 4,3 | 7,9 | 0,85 | 0,00 | 0,00 | 0,19 |

^{a)} Dieser Wert entspricht nicht dem Erwartungswert – vgl. Presskuchen 10,2 % Zucker i. d. TM – Wert muss in Frage gestellt werden.

^{b)} Dieser Wert entspricht nicht dem Erwartungswert – vgl. Presskuchen 11,2 % CP i. d. TM – Wert muss in Frage gestellt werden

^{c)} Problematik siehe BRG01 diese Silage muss aus der Auswertung genommen werden.

Durch die Analytik wurde zwischen 70 und 84 % der Trockenmasse abgedeckt.

Es konnten trotz Gewitterregen während der Anwelkphasen sehr hochwertige Silagen hergestellt werden. Die Trockenmassegehalte sind im höheren, aber für Silagen im akzeptablen Bereich angesiedelt. Gegenüber der Grünmasse ist der Aschegehalt etwas höher. Dies ist auf die Bearbeitung (zetten, wenden, schwaden, pressen) zurückzuführen. Allerdings sind die Werte ebenfalls im annehmbaren Bereich.

Die Wiese wurde am Ende des Ähren und Rispenschiebens gemäht. Die Rohfaserwerte zeigen dennoch leicht höhere Werte als dies zu vermuten gewesen wäre (Erwartungswert 27 %).

Die Zuckerbilanz kann aufgrund von divergierenden Analytikwerten nur für den zweiten Schnitt und den IFA-S3 Ballen aufgestellt werden (Tab. 68)

Zuckerbilanz | Zucker d.FM 4 (MS 2 Zucker d.Silage); in [g / 100g TM]

Tab. 68: Zuckerbilanz u. Zuckerabbaurate der Silagen – KLG01

| Schn. Nr. | Stamm | Zuckerbilanz [g/100g TM] | Zuckerabbaurate [%] |
|-----------|--------|--------------------------|---------------------|
| 2 | IFA-S3 | 2 | 61,5 |

Der Saldo der Zuckerbilanz zeigt einen stimmigen Wert, wenn er auf Basis der ursprünglichen Ausgangsprobe berechnet wird. Die Zucker wurden immerhin zu 61,5 % abgebaut. Allerdings könnte der Teil, der die positive Zuckerbilanz ausmacht durch "Veratmung" abgebaut worden sein (längere Anwelkphase wegen Gewitter). Der Milchsäuregehalt von ca. 8 % d. TM in diesem Ballen ist jedenfalls für eine Grüne Bioraffinerie ein ausreichender Wert.

Durch die Animpfung mit den IFA-Tulln – Stammmischungen wurden auch 2001 sehr befriedigende Resultate erzielt. Der erste Schnitt zeigt für den IFA-M2 Ballen 15,1 % MS i. d. TM. Die Ballen IFA-S3 des ersten Schnittes zeigen große Abweichung voneinander. Der Ballen IFA-S3!1 konnte offenbar durch seinen hohen TM Anteil von 45,6 % nur 6,9 % i. d. TM Milchsäure bilden. Der Ballen IFA-S3!2 mit nur 41,9 % TM wies dagegen eine Milchsäurekonzentration von 10,6 % i. d. TM auf. Der Mittelwert über alle drei IFA-S3 Ballen beläuft sich demnach auf nur 8,5 % i. d. TM. Dies zeigt wie wichtig neben Starterkulturen auch die Silagebedingungen sind (Anwelkgrad).

Diese Ergebnisse sind auch kongruent mit den gefundenen Laborwerten. Der Wert von 15,1 % MS i. d. TM kann aber nur bedingt als hochrechenbar angesehen werden (Annahme im Schnitt ebenfalls ca. 10 % MS i. d. TM). Dieser Wert könnte z. B. auf eine zufällig höhere Animpfdichte zurückgeführt werden. Demnach sollte davon ausgegangen werden, dass die beiden Stammmischungen auch im Praxisversuch verdeutlicht haben, dass sie hervorragend für eine Grüne Bioraffinerie geeignet sind.

Insgesamt muss bei der Mischung IFA-M2 mit einem geringfügig niedrigeren Wert für L-(+) Milchsäure gerechnet werden (*L. plantarum* LP2 nur ca. 64 % L-(+) MS).

6.9.4.2.3 Ergebnisse und Diskussion bezüglich der Silageversuche der Dauerwiese (DW(B)01)

Tab. 69 und Tab. 70 stellt zusammenfassend die Ergebnisse der Feldversuche dar. Es handelt sich um bei der Versuchsfläche um eine Extensivwiese auf 800 m Höhe. Demnach muss mit geringeren Milchsäureerträgen gerechnet werden.

Tab. 69: Analyseergebnisse Grünmasse – DW(B)01; Versuche 2001 – Admont, Stmk.

| Schnitt Nr. | TM [%] | XA [% d. TM] | CP [% d. TM] | XF [% d. TM] | Z [% d. TM] | pH | MS [% d. TM] | ES [% d. TM] | BS [% d. TM] | PS [% d. TM] | NH ₄ ⁺ -N [% d. TM] |
|-----------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| 1 ^{a)} | 29,0 | 6,6 | 9,8 | 37,6 | 10,2 | 5,33 | 2,5 ^{a)} | 0,62 | 0,00 | 0,00 | 0,10 |

^{a)} Probe genommen nach einer Transportzeit von ca. 2,5 Stunden

Es werden die Mittelwerte der beprobten Ballen nach ca. 55 Tagen angegeben.

Tab. 70: Analyseergebnisse Silage – DW(B)01; Versuche 2001 – Admont, Stmk.

| Schn. Nr. | Stamm | TM [%] | XA [% d. TM] | CP [% d. TM] | XF [% d. TM] | Z [% d. TM] | pH | MS [% d. TM] | ES [% d. TM] | BS [% d. TM] | PS [% d. TM] | NH ₄ ⁺ -N [% d. TM] |
|-----------|----------------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| 1 | 0 | 43,9 | 7,8 | 13,3 | 31,7 | 6,6 | 4,4 | 5,7 | 0,91 | 0,02 | 0,00 | 0,15 |
| | IFA-M2 | 47,9 | 7,6 | 13,3 | 33,5 | 5,1 | 4,3 | 5,9 | 0,66 | 0,02 | 0,00 | 0,14 |
| | IFA-S3 ^{a)} | 37,8 | 7,5 | 13,8 | 34,3 | 7,8 | 4,1 | 7,5 | 0,61 | 0,29 | 0,00 | 0,16 |

^{a)} nur ein Ballen beprobt

Es wurden insgesamt 69 bis 78 % der TM durch die Analytik erfasst.

Generell ist zu sagen, dass sich die Werte der Admonter extensiven Dauerwiese relativ gut mit den DW00 Ergebnissen decken (so Messwerte vorhanden sind). Trotz des generell geringeren Zuckergehalts bei Extensivwiesen und des höheren Rohfaseranteils (geringere Verdichtung möglich) kam es weder 2000 noch 2001 zu Fehlgärungen. Nur im Ballen IFA-S3 wurde ein leicht erhöhter Buttersäurewert gefunden.

Der Trockenmassewert der Silagen liegt, außer bei IFA-S3, oberhalb der Norm, dennoch konnten für Extensivwiesen sehr gute Milchsäurekonzentrationen gemessen werden. Die höheren CP Werte in der Silage gegenüber der Grünmasse können auf einen statistischen Fehler zurückgeführt werden.

Die Zuckerbilanz kann für alle Mittel- bzw. Einzelwerte aufgestellt werden (Tab 71)

Tab. 71: Zuckerbilanz u. Zuckerabbaurate der Silagen – DW(B)01

| Schn. Nr. | Stamm | Zuckerbilanz [g/100g TM] | Zuckerabbaurate [%] |
|-----------|--------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 0 | -2,1 | 35,3 |
| | IFA-M2 | -0,8 | 50,0 |
| | IFA-S3 | -5,1 | 23,5 |

Die Saldi der Zuckerbilanz zeigen stimmige Werte (im Rahmen der angenommenen statistischen Abweichung). Nur die Bilanz des Ballen IFA-S3 deutet auf eine "Zuckerzunahme" hin. Dies könnte, wie bereits beschrieben, auf Hydrolyse von Fasermaterial zurückgeführt werden. Die Zuckerabbauraten sind erwartungsgemäß niedriger als vergleichsweise bei KLG01. Dennoch ist der Wert für IFA-M2 mit 50 % als durchaus befriedigend anzusehen.

Durch die Animpfung mit den IFA-Tulln – Stammisierungen konnten bei IFA-M2 keine wesentlich anderen Werte als bei der Nullprobe erreicht werden. Der Ballen mit der IFA-S3 Mischung beinhaltet mit 7,5 % MS i. d. TM um ca. 32 % mehr Milchsäure als die Nullprobe. Dies entspricht dem Erwartungswert. Generell muss allerdings festgehalten werden, dass Starterkulturen bei Extensivwiesen sicher weniger gut die Nullvariante "outperformen" als zuckerreiche Feldfutter Wiesen, da das Rohmaterial generell schlechter fermentierbar ist.

Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass Starterbakterien zur Stabilität von Extensivwiesen Silagen beitragen können.

6.9.4.2.4 Ergebnisse und Diskussion bezüglich der Silageversuche der Knautgraswiese (KG01)

Tab. 72 und Tab. 73 stellt zusammenfassend die Ergebnisse der Feldversuche dar.

Tab. 72: Analyseergebnisse Grünmasse – KG01; Versuche 2001 – Auersbach/Feldbach

| Schnitt Nr. | TM [%] | XA [% d. TM] | CP [% d. TM] | XF [% d. TM] | Z [% d. TM] | pH | MS [% d. TM] | ES [% d. TM] | BS [% d. TM] | PS [% d. TM] | NH ₄ ⁺ -N [% d. TM] |
|-------------|--------|--------------|--------------|--------------|-------------|-----|--------------|--------------------|--------------|--------------|---|
| 2 | 17,9 | 10,1 | 14,4 | 36,6 | 8,9 | 6,2 | 0,00 | 42,8 ^{a)} | 0,00 | 0,00 | 0,08 |

^{a)} dieser Wert kann der Realität nicht entsprechen – stimmt mit dem Presssaft nicht überein – Gär säureanalytik muss daher verworfen werden

Es werden die Werte der beprobten Ballen nach 55 Tagen angegeben.

Tab. 73: Analyseergebnisse Silage – KG01; Versuche 2001 – Auersbach/Feldbach

| Schn. Nr. | Stamm | TM [%] | XA [% d. TM] | CP [% d. TM] | XF [% d. TM] | Z [% d. TM] | pH | MS [% d. TM] | ES [% d. TM] | BS [% d. TM] | PS [% d. TM] | NH ₄ ⁺ -N [% d. TM] |
|-----------|--------|--------|--------------|--------------|--------------|-------------|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|---|
| 1 | IFA-S3 | 43,4 | 10,8 | 16,6 | 33,9 | 4,0 | 4,4 | 5,0 | 0,32 | 0,00 | 0,00 | 0,11 |

Auf die Darstellung der Werte für Ballen IFA-M2 wird verzichtet, da wieder ein unerklärbar hoher Essigsäuregehalt gefunden wurde (siehe BRG01). Auch eine nähere Diskussion kann nicht erfolgen, da der gemessene Essigsäurewert in der Grünprobe nicht den Tatsachen entsprechen kann. Generell kann aber davon ausgegangen werden, dass der relativ niedrige Milchsäuregehalt von 5 % i. d. TM im Ballen IFA-S3 auf den geringen Zuckergehalt in der Ausgangsprobe zurückzuführen ist.

6.10 Zusammenfassende Diskussion der Feldversuche 2000 und 2001

Es wurden in den Saisonen 2000 und 2001 sowohl zuckerreiche Wechselwiesen (BRG00-Feldfutter; BRG01-Sämereiwiese und KLG01) als auch extensive Dauerwiesen für Silage-Feldversuche herangezogen, um zu zeigen ob auch unter Praxisbedingungen die Laborwerte zu erreichen sind. Als Kulturform, die speziell im Raum Feldbach zu finden ist wurde die Sämereiwiese Knaulgras (KG00, KG01) zusätzlich untersucht. Die reine Knaulgraswiese hat aber außerhalb der Region Steirisches Vulkanland keine Bedeutung.

Die klimatischen Bedingungen waren außerhalb des langjährigen Mittels angesiedelt. In beiden Jahren war es im Raum Feldbach ungewöhnlich heiß und trocken. Besonders im Jahr 2001 wurden große Trockenschäden in der Landwirtschaft registriert. Die vorherrschenden Klimabedingungen während der Versuchszeiträume 2000 und 2001 können demnach als "worst-case" Szenarien angesehen werden.

Die Erträge im Jahr 2000 waren dennoch sehr befriedigend und erreichten bei BRG00 bis zu 11,5 t TM/ha*a bei 4 Schnitten und bei Dauerwiese ca. 7,7 t TM/ha*a. Im Jahr 2001 mussten dann aber doch beträchtlich Ernteeinbußen in Kauf genommen werden. Bei einer Hochrechnung der BRG01 Wiese auf 4 Schnitte konnten nur noch 6,9 t TM/ha*a ermittelt werden. Bei der im Herbst 2000 frisch angesäten KLG01 war jedoch bei 4 Schnitten doch noch ein akzeptables Ergebnis von 9,4 t TM/ha*a zu finden. Bei Knaulgras gab es durch die Trockenheit ebenfalls entsprechende Mindererträge. Generell wurde festgestellt, dass durch die Vorarbeiten (Anwelkphase) bei der Silierung mit einem Trockenmasseverlust von um die 20 % gerechnet werden muss.

Es wurden für die Erzeugung von Silagen zur Milchsäurefermentation im Jahr 2000 zunächst vier unterschiedliche Starter getestet. Aufgrund dieser Ergebnisse konnte im Jahr 2001 dann auf zwei optimierte Starter des IFA-Tulln reduziert werden. Die Startermischung des Inst. für Agrartechnik Bornim (D) und das am Markt befindliche Produkt SilaBac® wurde aufgrund unbefriedigender Ergebnisse ausgeschieden.

Es muss betont werden, dass der Milchsäuregehalt in der Trockenmasse trotz des Einsatzes von Starterkulturen sehr abhängig vom Zustand des Rohmaterials ist. Anhand der gefundenen Werte, bei denen sicherlich aufgrund der Größenordnung und der Praxisnähe Abstriche in der Statistik gemacht werden müssen, lässt sich zusammenfassend feststellen, dass bei BRG00, BRG01, KLG01 die im Labor gefundenen Werte soweit bestätigt werden konnten. Bei dieser Art des Rohstoffs kann zumindest, sogar unter Extrembedingungen, mit **9 bis 11 % Milchsäure in der TM** gerechnet werden. Eventuell lassen sich diese Werte durch Optimierung der Silierung (Schnittzeitpunkt, Anwelkgrad) noch auf durchschnittliche 12 % d. TM optimieren. Dies würde aber weiterführender Forschung bedürfen. Weitere Steigerungen sind unwahrscheinlich, da Milchsäurebakterien dafür bekannt sind, dass sie durch ihr eigenes Produkt inhibiert werden.

Im Falle des Einsatzes von weniger zuckerhaltigen (KG00 und KG01) oder spät geschnittenen Extensivwiesen (DW00 und DW(B)01) konnten derart hohe Werte an Milchsäure nicht gefunden werden. Hier tragen die Starterkulturen primär zur Stabilität der Silage bei. Dennoch konnten im Jahr 2000 in mit IFA Bakterien angeimpften Knautgrassilagen 7 % MS i. d. TM gefunden werden. Im Jahr 2001 wurde allerdings in einer ausgewerteten Probe nur 5 % MS i. d. TM gefunden. Im Falle der Dauerwiesen waren es zwischen 4 und 7 % MS i. d. TM.

Wenn Milchsäure eines der wichtigsten Produkte in der Grünen Bioraffinerie ist (siehe Wirtschaftlichkeitskapitel), muss darauf geachtet werden, dass zuckerreiche Gräser (Wiesen), wie Raygrasflächen oder Klee graswiesen zum Einsatz kommen, so nicht Silagen aus anderen minderwertigeren (DW u. KG) Rohstoffen wesentlich kostengünstiger sind. Im Falle des Einsatzes hochwertiger Rohstoffe kann aber durch optimierte Starterkulturen mit durchgängig hohen Milchsäuregehalten gerechnet werden, auch wenn die klimatischen Bedingungen suboptimal sind.

Trotz der sehr guten IFA-Bakterien muss allerdings ein relativ hohes Maß an Qualitätsmanagement zur Silageerzeugung erfolgen. Die Landwirte müssen ihre langjährig eingefahrenen Arbeitsmuster (z.B. zu hohe Anwelkgrade) ablegen und für die Grüne Bioraffinerie gleichbleibend hohe Qualitätsstandards erfüllen. Dies kann einerseits durch Ausbildung erfolgen, aber es sind andererseits auch umfangreiche Kontrollen und Analysen zur Qualitätssicherung notwendig. Im Allgemeinen kann jedoch festgestellt werden, dass je interessanter der Preis ist, der dem Landwirten für seine Silage gezahlt wird, desto mehr wird er bereit sein sich den Anforderungen anzupassen (siehe Kap. 5).

7 FEST/FLÜSSIG FRAKTIONIERUNG VON WIESENGRÜNMASSE UND SILAGE – MODUL 2-1 UND 2-2

Eine der wichtigsten "Process-Units" bei der Verarbeitung von Wiesen grünmasse bzw. Silage in einer Grünen Bioraffinerie ist die Fraktionierung, die Trennung der Saftphase (Juice) mit den wichtigen Inhaltsstoffen Proteine und Milchsäure von der festen Phase (Presskuchen = faserreiches Strukturmaterial). Durch die Fraktionierungseinheit wird die Ausbeute der im Saft gelösten Wertstoffe bestimmt. Durch die Erhöhung des sogenannten Abpressgrades oder/und durch eine prozesstechnisch bewirkte Erhöhung der Trockenmasse im Presssaft wird die Ausbeute an Wertstoffen bestimmt.

Wesentliche Parameter sind:

- ⊞ Zustand des Rohmaterials (Gehalt an wasserlöslichen Proteinen, Milchsäure, Zucker, Asche, Feuchte, Faseranteil, etc.)
- ⊞ Vorbehandlung des Rohstoffs (Häcksler, Shredder, Mühle, sonstiger physikalisch-chemischer Zellaufschluss)
- ⊞ Presstechnik (eigentlicher Fraktionierungsschritt)

Vereinfachend wird oft die Ausbeute der Zielprodukte mit dem Erreichen eines bestimmten Abpressgrades in Zusammenhang gebracht. Im Rahmen dieses Projektes wird, wenn von "Abpressgrad" gesprochen wird die Ausbeute an Feuchte (gerechnet auf Basis der gemessenen Trockenmasse) angesprochen mit der die entsprechende TM transportiert wird. Weitere sehr wichtige Kennzahlen sind einerseits das Verhältnis von Trockenmasse im Saft zu Frischmasse-Input in % und andererseits das Verhältnis von gefundener Trockenmasse im Saft zu Trockenmasse-Input in % (weitere Details siehe Anhang).

7.1 Zustand des Rohmaterials

Die Pflanzenbestände der Wiesen, Weiden und Almen können im Alpenraum aufgrund der vielfältigen Pflanzengesellschaften und der damit bedingten artenreichen Vegetation sowie der unterschiedlichen Standorts- und Bewirtschaftungsverhältnisse in den einzelnen Regionen und Höhenstufen äußerst unterschiedlich zusammengesetzt sein. In Kapitel 6 wurde aufgezeigt wie sich die Zusammensetzung von Wiesen grünmasse mit einem durchschnittlichen TM Gehalt von ca. 20 % und Silage mit einem TM-Gehalt von 30 bis 40 % unterscheiden.

7.1.1 Zusammensetzung der Wiesen grünmasse allgemein in Österreich

In den Jahren 1986 bis 1997 wurden an der BAL Gumpenstein und im Futtermittellabor Rosenau nahezu 7000 unterschiedliche Futterproben aus der Praxis und aus exakten Feldversuchen auf Inhaltsstoffe hin für die Futterwertabelle untersucht (Buchgraber, Resch et al. 1998).

Abgeglichen mit neuesten Ergebnissen aus dem Jahr 2001 ergeben sich für die unterschiedlichen Wiesen folgende durchschnittliche Zusammensetzungen (Buchgraber 2001a):

Tab. 74: Inhaltstoffe von unterschiedlicher Wiesengrünmasse

| Wiesenart Stadium: Ähren/Rispenschieben | TM [%] | org. Masse [% TM] | Rohprotein [% TM] | Rohfaser [% TM] | Analysierte Probenanzahl [n] |
|---|-----------|-------------------------|----------------------|--------------------|------------------------------------|
| Feldfutter 1. Aufwuchs | 15,0 | 89,2 | 16,2 | 22,7 | 36 |
| Feldfutter 2. + Folgeaufwüchse | 17,9 | 87,3 | 16,5 | 22,8 | 43 |
| Dauerwiese 1. Aufwuchs | 17,6 | 88,9 | 16,3 | 22,7 | 146 |
| Dauerwiese 2. + Folgeaufwüchse | 17,4 | 87,0 | 16,4 | 22,5 | 532 |

Nachdem diese Werte nicht wesentlich von den in den Feldversuchen gefundenen Werten abweichen, kann davon ausgegangen werden, dass man mit Fraktionierungsversuchen auch in anderen Teilen Österreichs (außerhalb der Stmk.) zu vergleichbaren Ergebnissen kommen würde. Für die weiteren Betrachtungen und Stoffstrombilanzen (Inputmaterial-Parameter, Ausbeuten, etc.), speziell im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsmodellierung, wurden Daten aus diesem Projekt (Feststoff- und Saftanalysen) herangezogen.

7.2 Vorbehandlung des Rohstoffs (Zerkleinerung – Zellaufschluss)

Bevor der Saft aus der Wiesengrünmasse bzw. Silage gewonnen werden kann, ist es notwendig, dass der Rohstoff zumindest zerkleinert wird, um in eine entsprechende Presseinheit (meist Schneckenpresse) Eingang finden zu können. Um jedoch möglichst hohe Ausbeuten der oben beschriebenen Inhaltsstoffe, speziell der in den Pflanzenzellen vorliegenden Proteine, zu erreichen, ist es von großer Bedeutung, weitergehende sogenannte mechanische, chemisch-physikalische oder/und biotechnologische (enzymatische) Desintegration oder Zellaufschluss zu betreiben. Eine weitere interessante und unter Umständen kostengünstigere Option wäre die Doppelpressung des Rohstoffs anstatt des Zellaufschlusses. Im Falle von Silage, wo Milchsäure das potenzielle Hauptprodukt ist kann generell davon ausgegangen werden, dass die gut lösliche und nicht in den Zellen eingeschlossene Milchsäure durch Einfach- oder Doppelpressung gewonnen werden kann. D.h. in Modul 2-2 wird demnach kein Zellaufschluss eingeplant. Dies ist, neben logistischen Überlegungen, ein wichtiger technologischer Grund warum die Grüne und die Silage Schiene dieses Moduls getrennt betrachtet wird.

7.2.1 Zerkleinerungstechnik

Für die Zerkleinerung stehen hauptsächlich klassische Maschinen der Landtechnik oder Entsorgungstechnik zur Verfügung.

Dies sind:

- ☐ Selbstfahrhäcksler (motorisierter Häcksler)
- ☐ Standhäcksler (stationäre Maschine meist mit Elektromotor)
- ☐ Kurzschnittladewagen (Einzug ist mit Messerreihe ausgestattet – wird von Traktor gezogen)
- ☐ sonstige Shredder oder Häcksler der Entsorgungstechnik (mobil oder stationär)

Mit Häckslern erreicht man Schnittlängen zwischen 1 cm und 10 cm, mit Kurzschnittladewagen jedoch nur 5 cm bis 15 cm.

Für die Versuche im Rahmen der Grünen Bioraffinerie Forschung wurden im Jahr 2000 und 2001 Standhäcksler benutzt, die Gutlängen im Bereich 2 bis 7 cm erlaubten. Diese Längen waren ausreichend um bei den getesteten Pressen einen problemlosen Durchsatz zu erreichen, ohne dass es zu Umwicklungen und damit Stillstand der Pressenschnecken gekommen ist.

Diese Art der Behandlung kann jedoch nicht als Desintegration oder Zellaufschluss bezeichnet werden. Ist aber sicherlich zur Abpressung von Milchsäure und Silageproteinen ausreichend. Auch im Falle der Doppelpressung kann davon ausgegangen werden, dass die beschriebenen gängigen Maschinen eine ausreichende und kostengünstige Materialvorbereitung gewährleisten.

7.2.2 Desintegration oder Zellaufschluss – Modul 2-1; Proteingewinnung aus Wiesengrünmasse

Die Fragestellung des Zellaufschlusses von Gräsern oder Klee bzw. Luzernen wurde bereits vor ca. 100 Jahren im Zusammenhang mit optimierter Proteinabtrennung aus Wiesengrünmasse aufgeworfen (Pirie 1987). In der die Historie beschreibenden Literatur werden unterschiedlichste, teilweise aus heutigem Stand des Wissens "wilde" Maschinen und Methoden beschrieben, die hier nicht näher erläutert werden sollen. (Telek und Graham 1983).

Sehr wichtig allerdings ist die Unterscheidung zwischen folgenden Methoden:

- ⌘ Mechanischer Aufschluss
- ⌘ physikalisch-chemischer Aufschluss (Dampf, Druck, Säuren, Laugen, elektrische Spannung)
- ⌘ biotechnologischer Aufschluss (Enzyme) – Umwandlung von Fasermaterial in monomere Zucker und einhergehender Zellaufschluss

7.2.2.1 Mechanischer Aufschluss

Der in der Literatur am häufigsten beschriebene Aufschluss von Wiesengrünmasse bezieht sich auf die mechanische Bearbeitung des Rohstoffs um die Proteinausbeuten zu optimieren. Es kommen im wesentlichen folgende Geräte zum Einsatz:

- ⌘ Feinshredder (Mazerator)
- ⌘ Mühlen (Hammermühlen, Schlegelmühlen, Schneidmühlen)
- ⌘ Pulper (für Suspensionen z.B. als Substrat für Biogasanlagen)

In den wichtigsten Verfahren in diesem Bereich (Pro-Xan, VEPEX, France Luzerne) (France Luzerne 2000), (Telek und Graham 1983), aber auch in Deutschland in anderem Zusammenhang wurden und werden mechanische Geräte benutzt (Heier 1983). In Publikationen aus den USA werden ebenfalls Hammermühlen erwähnt (Koegl, Sreenath et al. 1999). Im Fall des VEPEX Prozesses handelte es sich um eine nicht näher beschriebene Eigenkonstruktion. In den übrigen Beschreibungen werden Hammer- bzw. Schlegelmühlen genannt.

Heier (Heier 1983) beschreibt eine technische Realisierung geeigneter Beanspruchungsverhältnisse durch dynamische Bearbeitung des Halmguts mit schnell umlaufenden Schlagwerkzeugen oder durch Umformung in Matrizenpressen. Pflanzenart, Pflanzenalter und Feuchtegehalt sind von entscheidender Bedeutung für Wirksamkeit, Durchsatz und Energiebedarf der Aufschlussmaschinen. Blattreiches Gut (Luzerne) kann laut Heier durch Extrusion gut aufgeschlossen werden, während Halmgut mit geringem Blattanteil (Gras) durch rotierende Hämmer am effektivsten aufgeschlossen wird. Heier beschreibt weiters die Entwicklung einer eigenen Hammerprallmühle in der das Gras durch schwere, rotierende Hämmer sowie beim Aufprall auf innen an dem geschlossenen Stator angebrachte Prallrippen zerschlagen und zerrieben wird. Claus gibt den Energiebedarf für das beschriebene System für junges Gras (Schnittzeit: Ähren-/Rispschieben) mit 60 kWh/t FM an (Claus 1985).

Auch in der Entsorgungstechnik werden Hammer- bzw. Schlegelmühlen (Grüngut Shredder) eingesetzt. Die Fa. Doppstadt bietet beispielsweise einen mobilen Shredder mit einem 315 kW Dieselmotor an und schätzt den möglichen Durchsatz mit ca. 21 t FM Gras/h. Bei voller Leistung würde dies einen Dieselverbrauch von ca. 40 l/h bedeuten. Umgerechnet wären das ca. 20 kWh/t Gras Energieverbrauch. 15 bis 20 kWh/t FM scheint daher ein brauchbarer Wert für moderne mechanische Aufschlussmaschinen zu sein.

7.2.2.2 Physikalisch-Chemischer Aufschluss

Diese Verfahren sind weit verbreitet, wenn es darum geht, Fasern aufzuschließen und Zellulose zu gewinnen (Papierindustrie). Auch für Gras werden in der Literatur Verfahren beschrieben, die darauf abzielen, Fasern in monomere Zucker umzuwandeln (Steinmüller und Schneider 1991), (Grass und Hansen 1999). In den beiden erwähnten Fällen wird der physikalisch-chemische Aufschluss mit enzymatischer Umsetzung der Zellulose in Zucker kombiniert. Auch im Rahmen dieses Projekts konnten Hydrolyseversuche durch das IFA-Tulln durchgeführt werden (Kap. 11).

Diese Verfahren werden in den unterschiedlichsten Temperaturbereichen, unter Druck, und pH Werten von stark sauer bis stark basisch betrieben (siehe auch Kap. 11). Da diese "brutale" Art der Behandlung eine Zerstörung der Proteine wahrscheinlich erscheinen lässt wird sie für die Grüne Bioraffinerie nur für die Presskuchenverwertung in Betracht gezogen (nach der Proteinabtrennung).

In diese Kategorie der Aufschlussmethoden fällt allerdings auch ein Verfahren, dass in jüngster Zeit vermehrt in der Lebensmitteltechnologie eingesetzt wird. Es handelt sich dabei um den Zellaufschluss mittels elektrischer Hochspannungsimpulse (HIS) oder englisch "High Intensity Electric Field Pulses" (HELP). Kurzzeitige (100 Nanosekunden bis wenige Millisekunden) Änderungen der elektrischen Feldstärke induzieren an bestimmten Stellen der Zellmembranoberfläche Ladungsverdichtungen. Wird das kritische Membranpotenzial von ca. 1 V (Volt) überschritten, führt dies zum Durchbruch der Membran. Pilotversuche werden derzeit zur optimierten Gewinnung von Kartoffelstärke durchgeführt. Auch für eine Grüne Bioraffinerie scheint dieses Verfahren interessantes Potenzial aufzuweisen. Denn bei niedrigen (50 % vom mechanischen Aufschluss) Investitionskosten wird ein Energieverbrauch von nur 3 kWh/t Frischmasse prognostiziert (Heinz 2002). Allerdings befinden sich alle Anlagen derzeit noch in der Erprobungsphase.

7.2.2.3 Biotechnologischer Aufschluss

Im Bereich des enzymatischen Aufschlusses wurde in den 80er und 90er Jahren des letzten Jahrhunderts ausgiebig geforscht. Meist wurde eine Kombination von Dampfaufschluss und enzymatischer Hydrolyse gewählt. Hierbei ging es primär um die Umwandlung von Fasermaterial (Zellulose, Hemizellulose) in monomere (fermentierbare) Zucker. Damit einhergehend wurden aber auch die Zellen aufgeschlossen.

Zusammenfassend kann betont werden, dass für die österreichische Grüne Bioraffinerie folgende Aufschlusstechnologien in die engere Wahl kommen:

- ⊞ Zerkleinerung ohne direkten Aufschluss (Häcksler) mit anschließender Einfach- oder Doppelpressung
- ⊞ Mechanischer Aufschluss mittels Mühle oder Shredder (Entsorgungstechnik) – nur für Modul 2-1
- ⊞ Zellaufschluss mittels elektrischer Hochspannungsimpulse – nur für Modul 2-1

7.3 Presstechnik Modul 2-1 und 2-2

Nach dem Zerkleinern bzw. Aufschluss (freilegen der Inhaltsstoffe, die in die flüssige Phase übertreten sollen) findet die eigentliche Fraktionierung (fest/flüssig Trennung) statt. Es existieren unzählige Anbieter von Schneckenpressen, die Geräte, die für eine GBR geeignet scheinen offerieren.

Anbieter sind z.B.: Fa. Vetter, Fa. Ponndorf, Fa. Huber Edelstahl (kostengünstige Rechengutpressen), Fa. Atlas-Stord oder Fa. Meri (Entsorgungs- u. Zellstofftechnik)

Angeboten werden "single = einfache" und "twin = doppel" Schnecken- oder Schraubenpressen. Im Falle von Doppelschneckenpressen arbeiten zwei parallel nebeneinanderliegende Schnecken gegeneinander das Gut auf.

Wesentlich für eine erfolgreiche Abpressung ist die Erreichung eines hohen Trockenmassegehalts im Presskuchen (Ø 50 %) (Koch 1983) und damit eines hohen Abpressgrades. Dies kann bei Silage durch Einfachpressung erfolgen oder im Falle des Einsatzes von Wiesengrünmasse durch Doppelpressung.

Natürlich ist auch der Trockenmassegehalt im Presssaft ausschlaggebend für befriedigende Ausbeuten der Zielprodukte (TM Presssaft 5 bis 20 %).

Für den Fall, dass im Rahmen des beschriebenen Moduls 3-1 A Grünmasseproteine nativ mittels Ultrafiltration gewonnen werden ist es von besonderer Bedeutung, dass die Safttemperatur durch das Pressen 40 bis 45° C nicht übersteigt, um eine Denaturierung der Proteine zu verhindern. In allen anderen Fällen spielt die Presstemperatur eine untergeordnete Rolle. Hier ist wesentlich die entsprechende Trockenmasseausbeute im Saft sicherzustellen. Generell ist allerdings zu erwarten, dass die Safttemperatur 85° C nicht übersteigen wird.

Im Falle der Verarbeitung von Anwelksilage (Trockenmasse von 30 bis 40 %) werden besondere Anforderungen an eine Presse gestellt. Viele Hersteller von Pressen bezweifelten im Rahmen der Recherchen, dass derartiges Material überhaupt ausgepresst werden kann. Inzwischen konnte von der Forschungsgruppe der österreichischen Grünen Bioraffinerie das Gegenteil bewiesen werden.

Besonders gute Erfahrungen wurden mit einer Schneckenpresse der Fa. Ponndorf (Kassel, D) gesammelt. Dieser Pressenbauer stellte im Rahmen des Projekts auch für verschiedene Optionen ein Angebot zur Verfügung, das Eingang in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen fand (siehe Kap. 4).

Steinmüller (1994) schätzte im Rahmen seiner Studie einen Energieverbrauch von 25 kWh/t FM Silage. Dieser Wert scheint aus heutiger Sicht nach wie vor aktuell zu sein.

7.4 Pressversuche im Rahmen der Grüne Bioraffinerie Forschung

Im Rahmen der bisherigen Forschungstätigkeit (Projekt "Fabrik der Zukunft") konnten verschiedene Abpressversuche durchgeführt werden, die hier zusammenfassend dargestellt werden sollen. Die Pressungen dienten auch der Herstellung der Säfte, die im Rahmen dieses BBK-Projekts analysiert und weiterverarbeitet wurden.

7.4.1 Pressversuch I – Herbst 2000

Für die Herstellung des SJ für die Versuche zur Milchsäureabtrennung an der Univ. Potsdam (D), wurde durch einen feldbacher Landwirt eine gebrauchte Rechengutschneckenpresse organisiert. Derartige Pressen sind üblicherweise in Kläranlagen installiert, um die Rechengutrückstände zu entwässern (Bild).

Das Gehäuse der Presse besteht aus rostfreiem Stahl. Die Schnecke wird von einem 3,3 kW_{el} Motor angetrieben. Der Gegendruck wird durch die Krümmung des Austragrohres erzeugt, das am Ende der Presszone an das Gehäuse angeflanscht ist. Der Saftaustrag erfolgt nicht über ein Sieb über die ganze Länge des Gehäuses, wie bei moderneren Pressen üblich, sondern über eine Öffnung am hinteren Ende des Gehäuses. Deshalb wurde die Presse leicht hängend installiert.



Fig. 26: Rechengut-Schneckenpresse eines Feldbacher Landwirts (Kromus, 2000)

Das silierte Gras wurde vor der Pressung gehäckselt (ca. 2 - 7 cm) und auf einen durchschnittlichen Trockenmassegehalt von 30 – 35 % mit H₂O-dest. angefeuchtet. Bei der Pressung wurde das Material weiter zerfasert. Es konnte ohne weitere Optimierungen ein TM Gehalt des Presskuchens von ca. 40 bis 45 % erreicht werden. Wenn der TM Gehalt des Saftes von 14 bis 23 % berücksichtigt wird, entspricht das einem Abpressgrad von bis zu 50 %. D. h. diese Pressenart ist prinzipiell geeignet, um Anwelksilage zu fraktionieren. Modernere Rechengutpressen sind bereits dafür ausgelegt TS Gehalte von bis zu 60 % zu erreichen. Eine derartige Hochdruckrechengutschneckenpresse wurde im März 2001 auf ihre Tauglichkeit getestet.

7.4.2 Pressversuch II – März 2001 (im Rahmen "Fabrik der Zukunft")

Der Abwasserverband Schwechat (NÖ) besitzt eine Hochdruckrechengutschneckenpresse der Fa. Huber-Edelstahl. Diese konnte einen Tag lang zu Abpressversuchen herangezogen werden. Leider stellte sich allerdings heraus, dass diese Presse zunächst für den Einsatz in einer Grünen Bioraffinerie nur bei Adaptierung der Steuerung und des Pressendesigns (Hochdruckteil, Gegendruckrohr) geeignet ist. Daraufhin wurde für alle weiteren Pressversuche und zur Erzeugung des Presssaftes im Rahmen dieses Projektes eine Schneckenpresse der Fa. Ponndorf herangezogen.

7.4.3 Pressversuch III – Mai bis September 2001 (im Rahmen "Fabrik der Zukunft")

Aufgrund der Vorversuche im September 2000 und März 2001 konnte festgestellt werden, dass Schneckenpressen für das Auspressen von Anwelksilagen prinzipiell geeignet sind. Mit der Fa. Hernach, einem Krenverarbeiter im Süd-Westen des Bez. Feldbach konnte ein im Fraktionieren von Pflanzenrestmassen erfahrener Partner gefunden werden. Alle Pressversuche der Saison 2001 wurden deshalb bei der Fa. Hernach durchgeführt.

Diese Kooperation war auch deshalb wichtig, da es für die Produktabtrennungsversuche unbedingt notwendig war entsprechende (halbtechnische) Mengen Presssaft zu erzeugen. So konnten pro Pressung bis zu 300 kg Presssaft aus Frischmasse (Grüner Saft) und Silage (Silage Saft) erzeugt werden.

Durch die wichtigen Erfahrungen dieser Pressversuche wird es nun möglich sein für nächstes Jahr bereits einen weiteren Optimierungsschritt zu gehen bzw. die Presstechnik ausschreibungsreif vorliegen zu haben.

7.4.3.1 Vorbehandlung – Häckseln

Bei der Futtermittelfirma Egger in Mitterlabill konnte ein leistungsfähiger Standhäcksler angemietet werden. Folgender Häcksler wurde benutzt:

- ⊗ Buchmann, Epple Blasius 1040
- ⊗ Motordrehzahl 700 U/min

Das Gerät ist mit 6 Schneidmessern ausgestattet und wurde mit 2 Umlaufgeschwindigkeiten der Schneidwalzen, betrieben.



Fig. 27: Standhäcksler der Fa. Egger

7.4.3.2 Versuchsdurchführung Pressung

Es handelt sich bei der Presse um ein Modell der Fa. Ponndorf Typ 403 BJ 1984 mit 9,3 kW_{el}. Nachdem die Pressversuche generell sehr gut verlaufen sind, wurde der Kontakt zur Fa. Ponndorf intensiviert und Angebote für GBR-Pressen wurden eingeholt.



Fig. 28: Versuchspressen der Firma Hernach in Grasdorf

Pro Versuch wurden ca. 500 kg Material, Frischgras bzw. Silage abgepresst. Der entstehende Saft (bis 300 kg) wurde sofort auf 10 bis 12° C abgekühlt und innerhalb einer Stunde auf 4° C gebracht, in desinfizierte und lebensmittelechte 20 l HDPE Kanister abgefüllt und für ca. 12 bis 24 h bei -2° C gelagert bzw. gleich bei -21° C tiefgefroren. Es ist anzunehmen, dass bei -21° C tiefgefrorener Saft zumindest ein Jahr lagerfähig ist.

Durch diese Arbeitsweise sollte Proteolyse verhindert werden. Somit wurde ein Saft erhalten, der in annähernd nativem Zustand analysiert werden kann - allerdings mit der Einschränkung der Reaktionen, die durch das Einfrieren hervorgerufen werden.



Der Presskuchen wurde in Big Bags aufgefangen und zum JR-RIF Hartberg verbracht, wo er zunächst luftgetrocknet und zwischengelagert wurde. Teile des getrockneten Presskuchens wurden dann für die Hydrolyseversuche des IFA-Tulln herangezogen.

7.4.3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse – Relevanz für BBK-Projekt

Es wurden in den Monaten Mai bis September 2001 14 erfolgreiche Pressungen durchgeführt. Die gewonnene Saftmenge betrug pro Pressung zwischen 70 und 300 kg. Der durchschnittliche Abpressgrad Grün betrug 63 % der Abpressgrad Silage 50 %.

Das Inputmaterial Grün war mit einem durchschnittlichen TM Gehalt von 22 % eingebracht worden, die Silage mit 38 %. Der GPK war mit ca. 39 % TM entsprechend feuchter als der SPK mit durchschnittlich 51 %.

Die gefundene Trockenmasse im Saft bezogen auf den TM – Input war bei Grün und Silage mit 15,8 bzw. 15,5 % annähernd gleich. Die Relation TM Saft zu FM Input war aber für Grün nur 3,2 % und für Silage immerhin 5,6 %. Dies bedeutet, dass im Falle der Verarbeitung von Grünmasse ca. 75 % mehr Masse umgesetzt werden muß, um die selbe Menge Trockenmasse im Saft zu erhalten.

Alle Silagepressungen mit einem TM Gehalt des Inputmaterials bis 42 % waren als problemlos einzustufen. Bei trockenerem Material bzw. Material mit hohen Rohfaserwerten wurde dieses Modell einer Schneckenpresse teilweise überbeansprucht. Im Rahmen des Grüne Bioraffinerie Projekts kann aber nun davon ausgegangen werden, dass Silage mit einem TM Gehalt von 30 bis 40 % problemlos abgepresst werden kann. Die Detailergebnisse werden im Rahmen des Projektbündels "Fabrik der Zukunft" dargestellt.

7.5 Schlussfolgerungen zu Modul 2-1- und 2-2

Es gibt mehrere Optionen der Fraktionierung. Bei Wiesengrünmasse ist dies:

- ☐ Zerkleinerung und Einfachpressung
- ☐ Zerkleinerung und Doppelpressung
- ☐ Zellaufschluss (mechanisch) und Einfachpressung
- ☐ Zellaufschluss (mechanisch) und Doppelpressung

Durch den Zellaufschluss bzw. die Doppelpressung von Wiesengrünmasse kann davon ausgegangen, dass sich das gewinnbare Proteinprodukt (Produkt mit 50 % CP i. d. TM) bei Einsatz von Protein reichen Rohstoffen (z. B. Luzerne) auf 8 % d. Input TM beläuft (siehe Modul 3-1 A).

Im Falle von Silage beschränken sich die sinnvollen Optionen auf:

- ☐ Zerkleinerung und Einfachpressung
- ☐ Zerkleinerung und Doppelpressung

Im Falle der Doppelpressung kann davon ausgegangen werden, dass sich die Milchsäureausbeute von 50 bis 70 % auf 75 bis 85 % der Gesamtmilchsäure in der Silage steigern lässt.

Es konnte im Rahmen der Forschungen zur Grünen Bioraffinerie bewiesen werden, dass Presstechnik existiert, die auch geeignet ist Anwelksilagen mit TM Gehalten bis zu 40 %



abzupressen. Bei Wiesengrünmasse muss, um die selbe Menge Trockenmasse im Saft zu erhalten um ca. 75 % mehr Masse (hauptsächlich Wasser) umgesetzt werden, als bei der Fraktionierung von Silage. Durch die hohen Anforderungen an die Presstechnik, speziell im Fall der Silage wurde nicht der günstigste Anbieter ausgewählt, sondern jener von dessen Technologie zu erwarten ist, dass sie den Belastungen standhält.

8 PROTEINE, PEPTIDE UND AMINOSÄUREN ALS PRODUKTE EINER GRÜNEN BIOAFFINERIE – MODUL 3-1 A UND 3-2 C

In diesem Projekt wurde die Eignung von Wiesen grünmasse und Silage als Rohstoff für Proteinprodukte untersucht. Primäres Zielprodukt ist ein Proteinkonzentrat mit Rohproteinanteil von mindestens 50 %, verwendbar als Futtermittel in Konkurrenz zu Sojaprodukten und Tiermehl. Das Produkt soll als Proteinquelle wertvoller als Sojaschrot (ca. 45 % Rohprotein) und von der Herkunft unbedenklicher als Sojaisolate (Verdacht auf genmanipulierte Ausgangsstoffe) und Tiermehl (BSE) sein. Als spezielle, wirtschaftlich interessante, Produktvariante wäre die Produktion eines Milchaustauschers (MAT) zu sehen für welchen sich die Fa. LactoProt sehr interessiert. Anhand von Analytik und Versuchen wird das Potenzial aufgezeigt. Die entsprechenden Technologien werden beleuchtet und umfassende Daten für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden erstellt. Weitere Einsatzmöglichkeiten von Proteinen, Aminosäuren und Proteinkonzentraten werden ebenfalls aufgezeigt.

Die Wiesen grünmasse bzw. der Silagerohstoff (im Text auch als "Gras" bezeichnet) besteht aus Vertretern der Familie der Süßgräser, (*Poaceae/Gramineae*) und Klee (Untergruppe der Fam. der Schmetterlingsblütler, *Fabaceae*, zu den *Fabaceae* gehört auch Luzerne/Alfalfa). Das Gras stammt von intensiv bewirtschafteten Flächen (Feldfutterbau), Sämereiwiesen und extensiv bewirtschafteten Dauerwiesen (2 Schnitte) (siehe Kapitel 6)

Gras ist bekannt als proteinreiches Grundfutter (12 bis 18 % Rohprotein in der TM) für Rinder und dient vor allem in der Milchwirtschaft als wichtige Futterbasis. Bei einem möglichen Jahreshektarertrag von 7 bis 12 t TM/ha ist Gras ein wesentlich effizienterer Proteinproduzent als Soja (siehe Tabelle 75).

Tab. 75: Rohproteinerträge verschiedener Pflanzen (Kohler 1983, GBR 2001)

| | Soja-Samen | Luzerne | GBR-Wiese |
|----------------------|-------------------|----------------|------------------|
| Erntertrag, kg TM/ha | 1.944 | 10.125 | 9.350 |
| kg CP/ha, Pflanze | 746,50 | 2.025,00 | 1530,60 |

Im Rahmen eines weiterführenden Projekts des Impulsprogramms „Fabrik der Zukunft“ wurde frisches Rohmaterial mit einer Schneckenpresse gepresst. Der anfallende Saft mit durchschnittlich 25 % des ursprünglichen Rohproteins diente uns als Ausgangsmaterial zur Herstellung eines Proteinkonzentrats.

Je nach Rohmaterial wurde Grüner Saft (GJ aus Wiesen grünmasse) = MODUL 3-1 und Silagesaft (SJ aus Wiesen-Silage) = MODUL 3-2 hergestellt.

Aufgabe dieses Projektteils war es folgende Fragen zu beantworten:

- ⊞ Welches Proteinpotenzial existiert in steirischen bzw. österreichischen Wiesen?
- ⊞ Was ist der Unterschied zw. GJ u. SJ bezüglich der Proteingewinnung?
- ⊞ Welche Technologie eignet sich für welche Säfte am besten?
- ⊞ Welche Qualität kann durch unterschiedliche Technologien voraussichtlich erreicht werden?
- ⊞ Wie hoch sind die Ausbeuten bezogen auf das Rohmaterial Wiesengrünmasse bzw. Silage?
- ⊞ Wie sind Produkte und Technologien wirtschaftlich einzuordnen?

Ausgangspunkt ist die, seit den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts, praktizierte Technik mittels Dampfblasung Proteine in einem Luzernepresssaft zu koagulieren und danach mittels Dekanterzentrifugen abzutrennen. Diese Technik wird zur Zeit noch von der Firma France Luzern (Frankreich) praktiziert (France Luzerne 2000).

Im Laufe der Forschung zur Grünen Bioraffinerie wurde die Eignung von GJ und SJ als Ausgangsrohstoff für ein Proteinkonzentrat untersucht. Dabei kam die bewährte Technologie und andererseits Ultrafiltration zur Abtrennung der Proteine zur Anwendung. Die dabei entstandenen Proteinprodukte lieferten erste Hinweise auf Ausbeuten und damit auf ein Proteinpotential.

8.1 Protein -Theorie

Die Proteine, die im Rahmen dieses Projekts gewonnen werden sind Blattproteine (engl. Leaf Protein). Der Rohstoff Gras (Familie der Süßgräser, *Poaceae/Gramineae*) und Klee (Untergruppe der Fam. der Schmetterlingsblütler, *Fabaceae*) besteht je nach Erntezeitpunkt zu einem großem Teil aus Blättern.

Zur Beschreibung/Klassifikation der Proteine gibt es eine Vielzahl von Methoden. Sinnvoll für dieses Projekt ist die Einteilung in

- ⊞ Molmasse,
- ⊞ Enzyme und Nichtenzyme,
- ⊞ die Unterscheidung zwischen grünem (chlorophyllhaltigem) und weißem Protein,
- ⊞ die Einteilung in Fraktionen nach der Löslichkeit (z.B.: in Fraktionen die nach Hitzebehandlung nach 50°C und 85°C koagulieren und unlöslich sind)

Tab. 76: Blattproteine

| | Molmasse [Dalton] | Art | Grün/Weiß |
|---|------------------------------|-----------------|------------------|
| Rubisco ¹ | 550.000 | Enzym | Weiß |
| Grosse Untereinheit von Rubisco ¹ | 55.000 | Enzym | Weiß |
| kleine Untereinheit von Rubisco ¹ | 14.000 | Enzym | Weiß |
| ATPasen ² | 59.000, 55.000... | Enzym | Weiß |
| P-700-chlorophyll proteins, PSII ¹ | 68.000 | Enzym | Grün |
| P-680-chlorophyll proteins, PSI ² | ~56.000 | Enzym | Grün |
| LHC-II-Protein ² | 28.000 - 25.000 | Enzym | Grün |
| LHC-I-Protein ² | 19.000 - 23.000 | Enzym | Grün |
| Alpha und Beta Tubulin ² | ~100.000 | Strukturprotein | - |
| 32.000 Mr-Membrane Protein ¹ | 32.000 | - | - |
| Ribosomal Protein ² | - | - | Weiß |
| Actin ² | 42.000 | Strukturprotein | - |
| Proteasen | | Enzym | Weiß |
| Phytasen | | Enzym | Weiß |
| 1...Boulter 1982 2...Nultsch 2001 | | | |

Die meisten Veröffentlichungen bezüglich Proteine in Blattmaterial beziehen sich auf Luzerne (Alfalfa, *Medicago sativa*). Daneben gibt es auch Literaturwerte zu Raygras (damit sind meist *Lolium Perenne* und *Lolium Multiflorum* gemeint). Raygras und Luzerne gelten in diesem Projekt als Referenzrohstoffe und wenn möglich wird auf Werte dieser Arten (Artengruppen) Bezug genommen.

Die Identifizierung und Quantifizierung der Proteine in den Fraktionen (Frisch, Silage, Presssaft – GJ u. SJ, Proteinprodukt) ist aufwendig und komplex und konnte im Rahmen des BBK Projekts durchgeführt werden. Meist sind indirekte Bestimmungen nötig. Das bedeutet einen hohen Analytikaufwand.

Eines der wichtigsten indirekten Bestimmungsmerkmale ist der Stickstoffgehalt. In Proteinen, bzw. in den Proteinbausteinen - den Aminosäuren - ist unverhältnismäßig viel Stickstoff vorhanden. Geht man davon aus, dass der Grossteil des Stickstoffs einer Probe in Proteinen eingebaut ist, so lässt sich proportional zum Stickstoffgehalt eine ungefähre Proteinmasse bestimmen. In der Praxis wird der (organische) Stickstoff nach Kjeldahl (siehe Analytikbeschreibung) bestimmt. Der Proteingehalt ergibt sich dann aus Stickstoffmasse mal dem allgemein anerkannten Faktor 6,25 und wird als Rohprotein bezeichnet.

Zur Quantifizierung der gesamten Proteinanteile im Frischgras werden die Proteine aus der Frischmasse extrahiert (Messman et al. 1994). Der Rohproteingehalt des Ausgangsmaterials für die Werte in beträgt bei Alfalfa 24,3 % und 23,1 % bei Raygras. Bei der Laborextraktion wird eine Stickstoff-Ausbeute von 82 % (Alfalfa/Luzerne) und 91 % (Raygras) erreicht (Messmann et al. 1994).

Das Extrakt beinhaltet neben dem Proteinstickstoff nicht in Proteine eingebauten Stickstoff (Non-Protein-Nitrogen, NPN), der nach Abtrennung der Proteine aus dem Extrakt bestimmt

wird. Multipliziert man diesen Stickstoffanteil ebenfalls mit 6,25 und zieht diesen Massenanteil von der Rohproteinmenge des Extrakts ab so bekommt man den „True Protein“ genannten Anteil.

Der „True Protein“ – Anteil am Blattprotein gilt als Obergrenze für die mögliche Proteinausbeute. Wird Gras als Ausgangsmaterial genommen so verringert sich dieser Anteil aufgrund des zusätzlichen Stengelmaterials.

In Raygras wurden 7 verschiedenen Proteine mit nennenswerten Massenanteilen identifiziert (Messmann et al 1994). Die Anteile der einzelnen Proteine:

- ⊘ Rubisco, 42 %
- ⊘ 30 kD-Fraktion, 13 %
- ⊘ 47 kD-Fraktion, 10 %
- ⊘ Andere, <7 %

Alle Prozentwerte bezogen auf Total Electrophoretically Identified Protein - TEIP (100 % ist gleich Gesamtintensität aller Elektrophoresebanden).

In anderen Quellen (Makoni et al. 1993) werden folgende Fraktionen in erntfrischen Alfalfablättern beobachtet (Elektrophoresebanden):

- ⊘ Rubisco, 560 kD, Fraktion 1
- ⊘ verschieden Proteine von 21 bis 48 kD – Fraktion 2
- ⊘ verschieden Proteine, Banden über 10 kD, vereinzelt bis 260 kD – Fraktion 2B
- ⊘ Banden bei 15-18 kD, 28-30 kD, 60 kD – Fraktion 3, Grüne Fraktion

8.2 Proteinuntersuchungen im Rahmen des BBK-Projekts

Es wurden im Rahmen dieses Projekts keine Proteine aus dem Rohmaterial Gras extrahiert, da die prozesstechnische Gewinnung und Abklärung im Vordergrund stand. Allerdings wird der Presssaft mittels Elektrophorese (SDS-Page) im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht. Dabei soll der Einfluss des Pressens (Erwärmung) und einer darauffolgenden Lagerung bei unterschiedlichen Temperaturen (0 bis 35° C) untersucht werden. Dies ist deshalb von Bedeutung, da für eine Grüne Bioraffinerie optimale Lagerbedingungen für Saft und Produkt gefunden werden müssen.

Bei GJ ist zu erwarten, dass es durch, in der Pflanze vorhandene Proteasen, zu einem enzymatischen Proteinabbau kommt. Bei SJ ist zu prüfen ob Proteine mit der ursprünglichen Molekülgröße vorhanden sind und ob diese Proteine über einen längeren Zeitraum stabil bleiben (Lagerung).

Das ist vor allem auch für eine mögliche Abtrennung von Bedeutung. Nur Moleküle ab einer gewissen Größe können Hitzeaggregiert oder per Ultrafiltration abgetrennt werden. Im Bereich von 150 bis 15 kD wurden bei GJ folgende Banden gefunden:

132 kD, 78 kD, **67 kD**, **63 kD**, 47 kD, 36 kD, **23 kD**

Eine eindeutige Identifizierung der einzelnen Banden war bisher nicht möglich, da es keine eindeutigen Übereinstimmungen mit den Literaturwerten gab. Die Banden bei 67 und 63 kD

waren die intensivsten – es könnte sich um eine große (54 kD) und kleine Rubiscoeinheit (14 kD), die noch zusammenhängen, handeln. Bei einer Untersuchung eines mit Ultrafiltration aufkonzentrierten Saftes wurde eine entsprechende Intensitätssteigerung der 67 und 63 kD Banden beobachtet.

Bei SJ wurden bisher nur schwache Banden bei 78 kD und 47 kD gefunden.

8.3 Grassaft, Inhaltsstoffe – GJ – MODUL 3-1 A

Die Rede ist von „grünem Presssaft“. Mit der Fraktion „grüner Presssaft“ ist der Saft nach einer mechanischen Pressung erntefrischer Wiesengrünmasse gemeint. Bei den Pressungen im Rahmen der „Fabrik der Zukunft“ wurde frische Grünmasse mit durchschnittlich 20 % Trockenmasse verpresst. Die Trockenmasseausbeute im Saft betrug rund 16 %. Im Durchschnitt betrug die Rohproteinausbeute 25 %.

Über Grassäfte und deren Inhaltsstoffe ist wenig bekannt. Als Vergleichsbasis dienen die Untersuchungen von Andersen und Kiel (Andersen und Kiel 2000).

Andersen und Kiel haben Ende der Neunzigerjahre Presssäfte aus Alfalfa (Luzerne), Klee gras (50 % Weißer Klee und 50 % Ray gras (Lolium Perenne)) und Italienisches Ray gras (Lolium Multiflorum) untersucht. Die beschriebenen Trockenmassen (6 bis 5,5 %) in den Säften lassen auf niedrigere Ausbeuten als in den unten beschriebenen technologischen Prozessen schließen, aber die Vergleichbarkeit mit den Pressungen der Grünen Bioraffinerie im Jahr 2001 ist in einem hohen Maße gegeben

Tab. 77: Grassäfte von P. Kiel (Andersen und Kiel 2000)

| | TM [g/kg] | CP [g/kg TM] | WSC [g/kg TM] | Freie Kohlenhydrate [g/kg TM] | Fructan [g/kg TM] | organische Säuren [g/kg TM] |
|-----------------------------------|--------------|-----------------|------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| GJ, Luzerne (Medicago sativa) | 60,2 | 349 | 137,0 | 135,8 | 0 | 98,7 |
| Klee gras | 59,4 | 264 | 330,8 | 219,5 | 111,3 | 62,9 |
| Ray gras, (Lolium multiflorum) | 53,8 | 174 | 449,4 | 283,1 | 166,3 | 92,4 |

Zu bedenken ist, dass mit Rohprotein nur der gemessene organische Stickstoff im Saft gemeint ist. Unter Fructan sind Polysaccharide aus einem einzelnen Glucose und zwei bis n Fructosemolekülen gemeint. Gräser speichern Fructan des Phlein-Typs (Levan, beta 2-6 verknüpft) in den Blättern und Inulin (beta 2-1 verknüpft) in den Ähren. (Hegnauer 1986).

In der Arbeit von Kiel/Andersen wurde der Fructananteil unter dem wasserlöslichen Kohlenhydrat durch Bestimmen der monomeren Zucker vor und nach einer schwachen Hydrolyse als Differenzmenge bestimmt.

8.3.1 Stickstoffverbindungen im Grassaft

Ein sehr wichtiges Ergebnis des Projekts ist, dass die Bestimmung der Proteinmengen über die Bestimmung des organischen Stickstoff (Rohprotein = $6,25 \cdot N$) zu irreführenden Ergebnissen führen kann, da der Rohproteingehalt auch nicht-proteinogene Stickstoffverbindungen wie z.B. Nukleinsäuren enthält, die keinen Nährwert haben.

Alternativ zur Rohproteinbestimmung nach Kjeldahl wurde folgende Analytikmethoden angewendet.

- ⊘ Zur Identifizierung des Aminosäurenstickstoffs im Saft wurde ein Hydrolysat des Saftes per Aminosäuren-HPLC quantitativ untersucht.
- ⊘ Der Ammoniumgehalt (NH_4^+) wurde bestimmt. (Kjeldahlmethode ohne vorhergehenden Säureaufschluss)
- ⊘ Die Proteinmenge wird nach der Methode von Lowry und Mitarbeitern (Lowry et al, 1951) im Rahmen einer laufenden Diplomarbeit bestimmt.

Mittels der Aminosäurenmessung lässt sich eine Obergrenze für die Totalmenge des Proteins bestimmen. Denn die gemessene Aminosäurenmasse ist die Summe der freien Aminosäuren plus der in Proteinen eingebauten Aminosäuren.

Die Methode nach Lowry liefert ein Ergebnis mit einem mittleren Fehler von bis zu 30 % (Holtzhauser M., 1997). Aber für die Bestimmung der abtrennbaren Proteinmenge ist dieser Wert am aussagekräftigsten da die Methode auf Eigenschaften (Peptidketten, einer bestimmte Größe) beruht, die auch für die Abtrennungsmethoden bestimmend sind. Wie bereits beschrieben wird dieser Lowry Wert durch SDS-Page ergänzt.

Nach Auswertung aller Ergebnisse ist die Stickstoffverteilung im Saft folgende:

- ⊘ Der grüne Rohsaft mit einer Trockenmasse von 5,2 bis 7,8 % hat einen Rohproteingehalt von 17 % (Dauerwiese 1. Schnitt), 18 % (Knautgras zweiter Schnitt), 23 % (Bastard Raygras 3. Schnitt) bis 25 % (Kleegras zweiter Schnitt). Hier ist der gemessene Gesamtstickstoff (abzüglich Ammoniumstickstoff) mal 6,25 gemeint.
- ⊘ Der durchschnittliche Ammoniumanteil beträgt 0,2 bis 0,3 % der Trockenmasse.
- ⊘ Die Summe aller Aminosäuren entspricht 30 bis 60 % des Rohproteins oder 7 bis 14 % der Trockenmasse im Saft.
- ⊘ Die Lowry Methode liefert ein Analytikergebnis von 4 bis 6 g Protein pro Liter oder rund 4 bis 8 % der Trockenmasse

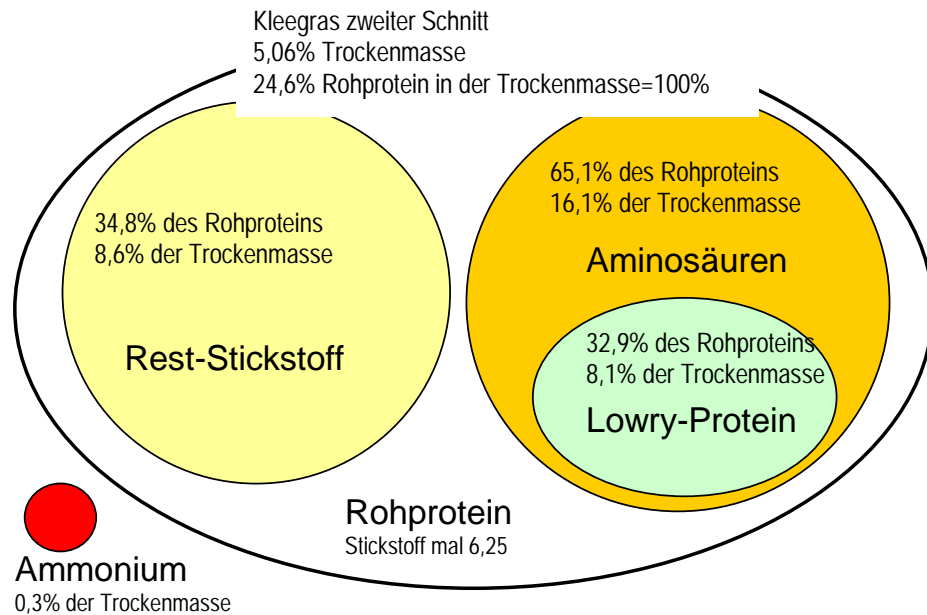


Fig. 29: Schema der Stickstoffkomponenten im grünem Presssaft am Beispiel des repräsentativen Saft aus Klee gras zweiter Schnitt

Tab. 78: Werte zum GJ aus Klee gras 2. Schnitt

| Rohstoff für grünen Presssaft | Trockenmasse [g/kg FM] | Rohprotein [g/kg TM] | Summe der AA [g/kg TM] | Ammonium [g/kg TM] | "Lowry-Protein" [g/kg TM] |
|-------------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|--------------------|---------------------------|
| Klee gras 2. Schnitt | 5,06 | 246,34 | 160,57 | 3,27 | 81,04 |

AA...Aminosäuren; Asparagin als Asparaginsäure und Glutamin als Glutaminsäure gemessen; Methionin, Cystein, Prolin und Tryptophan wurden nicht gemessen; zur Bestimmung der Gesamtaminosäurenmasse wurde ein Aminosäurespektrum wie bei Rubisco (NCBI 2002) angenommen; daraus: Gesamtaminosäurenmasse ist die Summe der sechszehn bestimmten Aminosäuren dividiert durch 0,8841

Grundsätzlich lassen sich aber folgende Hauptaussagen zu den Grassäften tätigen:

- ⊘ Der Anteil des Nicht-Aminosäuren-Stickstoffs am Gesamtstickstoff beträgt bis zu 50 % und kann sehr stark schwanken.
- ⊘ Der Anteil der freien Aminosäuren und als Oligopeptide gebundenen Aminosäuren beträgt bis zu 50 % der gesamten Aminosäurenmasse.

Zur ersteren Aussage ist zu bemerken, dass bei selbem Ausgangsmaterial (Bastardraygras 3. Schnitt) einmal 62 % des Stickstoffs als Aminosäuren gemessen wurde (GJ) und bei SJ annähernd 100 % als Aminosäurenstickstoff identifiziert wurde.

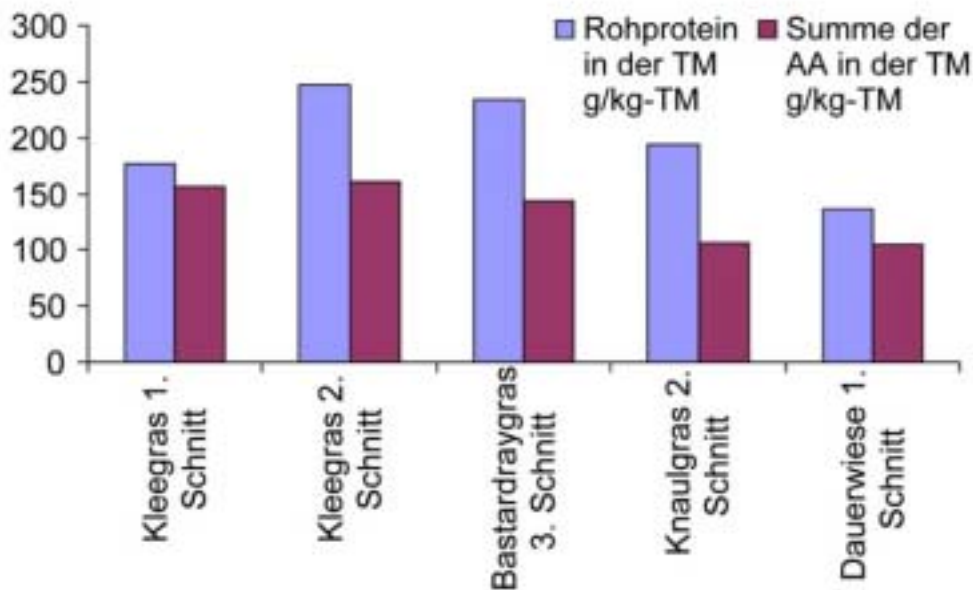


Fig. 30: Vergleich der Rohprotein und Aminosäureanteile im GJ

Das Aminosäurenprofil der grünen Säfte (GJ) und Silagesäfte (SJ) ist nicht komplett. Es konnten vier 4 Aminosäuren aufgrund des hohen Analytikaufwandes nicht gemessen werden. Darunter ist auch das sehr wichtige Methionin und das ebenfalls limitierende Tryptophan. Die Aminosäurenspektren der unterschiedlichen Proteinquellen unterscheiden sich auf den ersten Blick nur gering voneinander. Bei genauerer Betrachtung gibt es aber für jede Proteinquelle typische Charakteristika wie z.B. hoher Glutamin- und Glutaminsäureanteil in Soja.

Grundsätzlich lassen sich aber folgende Hauptaussagen zu den Grassäften tätigen:

Das Aminosäurespektrum ist breit gestreut. Alle Aminosäuren sind in einem für ein Futtermittel notwendigen Anteil vorhanden. Es gibt keine Aminosäure mit einem Anteil von über 15 %.

Charakteristisch für alle Säfte (GJ und SJ) ist der hohe Alaninanteil (doppelte so viel wie bei Soja und Hühnereiweiß), der relativ geringe Argeninanteil und mit etwas weniger Signifikanz der hohe Asparginsäureanteil. Die gefunden Besonderheiten im Aminosäurespektrum gelten mit nur geringen Abweichungen für alle beprobten Säfte. Neben den 20 proteinogenen Aminosäuren wurde mittels HPLC noch eine nicht proteinogene Aminosäure gefunden. Es handelt sich dabei mit hoher Wahrscheinlichkeit um GABA (4 Aminobuttersäure), die in allen Säften mit gleichwertigem Anteil vorkommt.

Bei Silagesaft sind diese Charakteristika noch deutlicher zu sehen. Argenin ist kaum mehr vorhanden dafür steigt der Anteil an den wichtigen essentiellen Aminosäuren wie Lysin, Leucin, Isoleucin und Threonin.

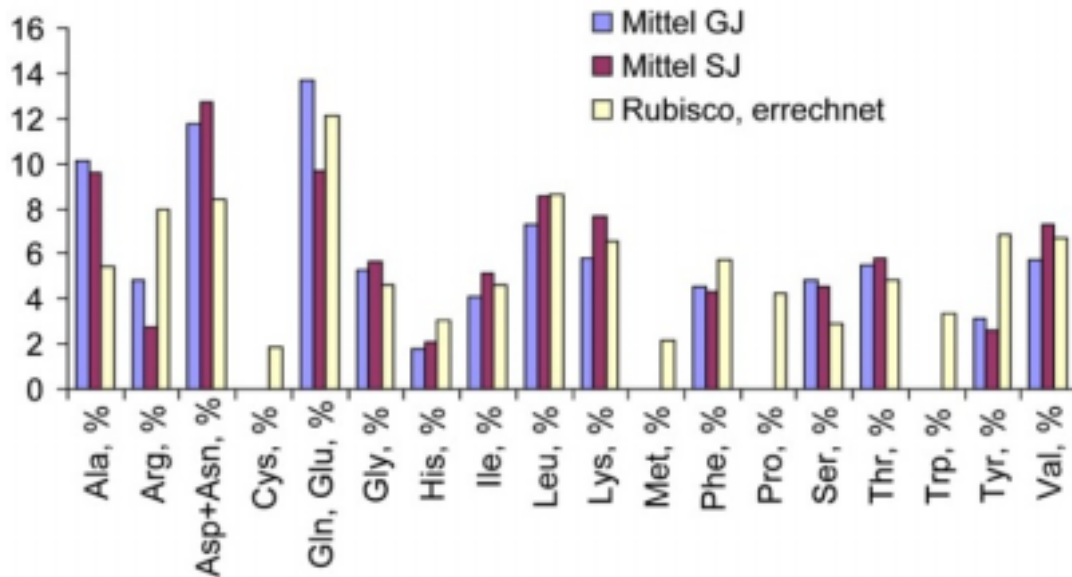


Fig. 31: Aminosäurespektrum von Grünem Saft (GJ) und Silagesaft (SJ), jeweils über alle Saftproben gemittelte Werte verglichen mit dem errechneten Spektrum des Blattproteins Rubisco

Eine Übereinstimmung mit den Charakteristika des Rubiscospektrums konnte nur wegen der Abweichungen bei den Aminosäuren Alanin, Tyrosin und Serin nur bedingt gefunden werden. Dies ist überraschend, da der Rubiscoanteil rund die Hälfte des echten Proteins ausmachen sollte (das sind also rund 25 % bis 40 % der Aminosäuren).

Eine Untersuchung des Aminosäurespektrums eines Proteinkonzentrates (Hitze-koaguliert und Ultrafiltration von GJ) aus Grassaft zeigt nicht mehr die typischen Saftcharakteristika (hoher Alaninanteil geringer Argeninanteil) der für Rubisco typische Tyrosinanteil erhöht sich aber kaum.

Das verschwinden der Rohsaftcharakteristika im Proteinprodukt lässt sich erklären wenn man annimmt, dass im großen Pool der freien Aminosäuren und Oligopeptiden der Anteil an Alanin und Asparaginsäure sehr hoch ist. Dieser Anteil lässt sich weder durch Koagulation noch Ultrafiltration abtrennen. Dies bestätigt sich auch durch die Analyse des Ultrafiltrationspermeats von GJ (Klee gras 2. Schnitt) wo der Alaninanteil am Gesamtspektrum mit 16 % gemessen wurde.

Eine mögliche Interpretation dieser Hinweise ist, dass ein Teil des Rubiscos während des Pressens nicht in Lösung geht und im Presskuchen verbleibt. Dieser sollte aber, um die Ausbeuten zu erhöhen in den Saft übergeführt werden.

Die vorhandenen Ergebnisse der Aminosäureanalytik in Kombination mit der SDS-Elektrophorese und Proteinbestimmung nach Lowry deuten darauf hin, dass ein großer Teil (bis zu 50 %) der Aminosäuren als freie Aminosäuren oder als sehr kurzkettige Oligopeptide (DP < 11) im Saft, bzw. im löslichen Anteil in der Pflanze, vorhanden ist (Povoden 2002). Dies hat zur Folge, dass dieser Aminosäureanteil weder per Hitze-koagulation mit anschließender Zentrifugation noch durch herkömmliche Ultrafiltration (MWCO Ø 1 kD) abgetrennt werden kann.

Bei SJ ist dieser Effekt noch größer, da es trotz rascher pH-Wert Absenkung und hoher Silagestabilität während der Silierung zu beträchtlicher Proteolyse kommt. Weiterführende Untersuchungen lassen vermuten, dass der Abbau allerdings nicht immer zu einer Totalhydrolyse führt.

Die detaillierten Daten zu allen Säften sind im Anhang als Tabellen beigelegt.

8.3.2 Gesamtanalytik

Neben den Methoden zur Bestimmung der Proteine bzw. der Aminosäuren und der Stickstoffverbindungen kamen noch folgende Analytikmethoden für verschiedenen Stoffgruppen zum Einsatz.

- ☐ HPLC zur Bestimmung von monomeren Zuckern und organischen Säuren
- ☐ Aschenbestimmung zur quantitativen Bestimmung des Rohascheanteils
- ☐ Einzelne Kationenbestimmung zur Aufschlüsselung der Rohasche in Einzelkomponenten

Die gesamten Ergebnisse sind im Anhang nach folgendem Schema aufgeschlüsselt:

- ☐ Überblickstabelle

Tab. 79: Hauptstoffgruppen im GJ

| Rohstoff für grünen Presssaft | TM [g/kg FM] | CP [g/kg TM] | Zucker und org. Säure [g/kg TM] | Asche [g/kg TM] | pH |
|-------------------------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|------|
| Klee gras 1. Schnitt | 5,88 | 177,23 | 453,96 | 521,99 | 6,06 |
| Klee gras 2. Schnitt | 5,06 | 246,34 | 391,83 | 288,68 | 6,16 |
| Bastardray gras 3. Schnitt | 7,81 | 234,26 | 512,25 | 294,91 | 5,88 |
| Knaut gras 2. Schnitt | 4,42 | 194,12 | 302,66 | 446,57 | 5,86 |
| Dauerwiese 1. Schnitt | 7,55 | 136,14 | 438,67 | 196,31 | 6,09 |

- ☐ Detailtabellen

Unter **Zucker und org. Säuren** wird der Anteil der einzelnen Zuckermonomere und organischen Säuren aufgeschlüsselt. Hier sind vor allem die zwei Hauptzucker Glucose und Fructose zu beachten.

Unter **Asche** werden die gemessenen Ionen als Bestandteil der Rohasche aufgelistet. Hier ist zu beachten, dass nicht für alle Ionen eine Analytikmethode zur Verfügung stand. So ist zum Beispiel eine der Kaliummasse annähernd äquivalente Chlor-Ionenanzahl zu vermuten.



8.4 Technologien zur Proteinabtrennung aus Presssäften – MODUL 3-1 A

Als Referenzprozess gilt die Produktion eines Proteinkonzentrats aus Luzernen, wie er aktuell bei der Firma France Luzerne praktiziert wird. Produkt ist ein Proteinkonzentrat mit 52 % Rohprotein in der Trockenmasse. Die angewandte Technologie ist die oben erwähnte, alt bewährte Hitzekoagulation mit anschließender Zentrifugation.

Die zweite untersuchte Technologie ist die Ultrafiltration. Durch neue Technologien und Materialien bei der Filtermembranherstellung nimmt diese Trennmethode immer mehr an Performance zu und gilt unter Experten als Technologie der Zukunft. Im Gegensatz zur Hitzekoagulation werden die Proteine nicht denaturiert. Das lässt eine bessere Verfügbarkeit der Proteinbausteine (Ostrowski-Meissner H. T. 1983) und eventuell eine Erhaltung der Enzymaktivitäten erwarten.

8.4.1 Hitzekoagulation und Zentrifuge – France Luzerne

Mit Koagulation ist die irreversible Verklumpung der Kolloidteilchen zu großen Aggregaten bezeichnet. Koagulation tritt ein, wenn sich die Teilchen so nahe kommen, dass sie auf der Potentialkurve in das wahre Minimum der potentiellen Energie bei kleinen Abständen kommen, wo die anziehenden van der Waals-Kräfte dominieren. (gegenüber der elektrostatische Abstoßung der elektrischen Doppelschicht der einzelnen Kolloidteilchen) (Atkins 2000).

Ein Hitzeeintrag durch Dampfeinblasung ist die einfachste Methode zur Koagulation von Proteinen (Kolloidteilchen). Alternativ dazu wäre Koagulation durch isoelektrische Fällung bei einem pH-Wert von ca. 4,0 möglich. Da das Endprodukt aber als Futtermittel mit natürlichem Charakter verkauft werden soll ist ein Eintrag von Chemikalien zu vermeiden.

Je nach Maximaltemperatur während der Koagulation fällt ein Anteil der löslichen Proteine aus. Die nun entstandenen größeren unlöslichen Teilchen können mittels eines Gravitationsgradienten in einer Dekanterzentrifuge leicht abgetrennt werden. Die für die Koagulation notwendige Zeitdauer beträgt 10 Sekunden (Ostrowski-Meissner 1983) bis 5 Minuten (Koch 1983).

Die Firma France Luzern wendet die Hitzekoagulation zur Gewinnung eines Proteinkonzentrats aus Luzernepresssaft an. Nach einer schonenden Kaltpressung wird der Presssaft zuerst auf 40°C erwärmt und dann per Dampfeinblasung kurz auf 85° C erhitzt. Der koagulierte Saft wird in Dekanterzentrifugen in ein Proteinkonzentrat und einen entproteinierten Saft aufgetrennt. Das feuchte Konzentrat wird in Wirbelschichtbett schonend getrocknet und unter inerter Stickstoffatmosphäre gelagert.

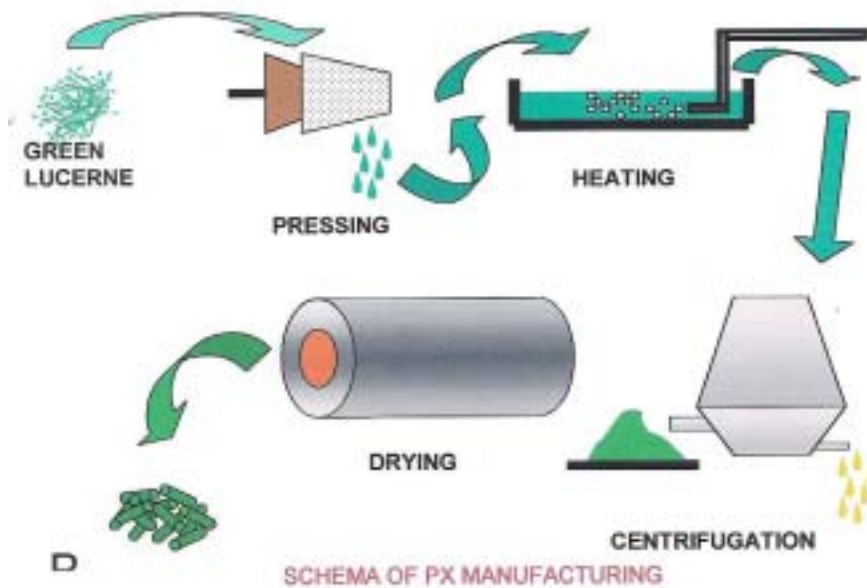


Fig. 32: Schema der Produktion von Super PX (France Luzerne)

Die Firma France Luzerne verarbeitet an mehreren Standorten in Frankreich Luzerne. Im Werk Aulnay aux Planches werden jährlich 150.000 t Grünmasse mit 19 % TM zu 80.000 t Saft mit 10 % TM verpresst. Aus diesem Saft wird 2.200 t PX-Super hergestellt (France Luzerne 2000). Das pigmentreiche, grüne PX-Super wird als natürliches Proteinprodukt mit hohem Xanthophyllanteil vermarktet. (siehe auch Datenblatt Fig. 34)

Der Produktionsprozess (kurze Zeiten zwischen Ernte und Verarbeitung, keine chemischen Zusätze, schonenste Behandlung beim Pressen und Trocknen) ist unter diesem Gesichtspunkt zu betrachten.



Bei ca. 20 % Rohproteinanteil in der geernteten Luzerne werden 2 Produkte erzeugt. (Die Größe der Flächen entspricht dem Prozentanteil der Gesamttrockenmasse.)

Das Luzernegrünmehl wird als Futter verkauft. Super-PX ist mit 52 % Rohprotein i. d. Produkttrockenmasse und einem hohen Anteil an Xanthophyll ein hochpreisiges Nebenprodukt.

Der entproteinierte Saft, der immerhin geschätzte 26 % des ursprünglichen Rohproteins beinhaltet (Rest ist vor allem Zucker und Asche) wird bei ähnlichen Prozessen dem Hauptprodukt (Pellets oder Grünmehl) nach einer Trocknung beigemischt. Bei France Luzerne ist keine Verwendung bekannt

Fig. 33: Produkte aus Luzerne – France Luzerne

| PX Super | | | |
|---|-------------------------|------------------------|---------------------|
| SPECIFICATIONS GUARANTEED BY CONTRACT : | | | |
| | Dry matter basis | | as fed basis |
| ✓ Moisture | | | 10 % |
| ✓ Crude Protein | 52 % DM | | 46,8 % |
| ✓ Xanthophylls | 1250 ppm DM | | 1125 ppm |
| INDICATIVE ANALYSES : | | | |
| | Dry matter basis | | as fed basis |
| ✓ Metabolizable Energy (broilers) | 3 110 kcal/kg | | 2 800 kcal/kg |
| ✓ Fat | 10,4 % | | (9,4 %) |
| linoleic acid | 1,6 % | | (1,4 %) |
| linolenic acid | 5,2 % | | (4,7 %) |
| ✓ Crude Fiber | 2,7 % | | (2,4 %) |
| ✓ Ash | 14,0 % | | (12,6 %) |
| Ca | 4,1 % | | (3,7 %) |
| P | 0,90 % | | (0,81 %) |
| ✓ Carotene | 500 ppm | | 450 ppm |
| ✓ Tocopherol | 500 ppm | | 450 ppm |
| AMINO ACID COMPOSITION % dry matter (% as fed) : | | | |
| Lysine | 3,38 (3,04) | Isoleucine | 2,50 (2,25) |
| Méthionine | 1,14 (1,03) | Leucine | 4,58 (4,12) |
| Méthionine + Cystine | 1,61 (1,45) | Valine | 2,96 (2,66) |
| Tryptophane | 1,04 (0,94) | Histidine | 1,25 (1,13) |
| Threonine | 2,55 (2,30) | Arginine | 3,12 (2,81) |
| Glycine | 2,65 (2,37) | Phenylalanine | 2,91 (2,62) |
| Glycine + Sérine | 4,99 (4,59) | Phenylalanine+Tyrosine | 5,25 (4,73) |

Juillet 2000

Fig. 34: Datenblatt zum Referenzprodukt PX Super von France Luzerne

8.4.2 Hitzekoagulation und Zentrifuge

Im Rahmen der weiterführenden GBR Forschung wurde versucht den Produktionsprozess zur Gewinnung eines Proteinkonzentrat zu reproduzieren.

Als Ausgangsmaterialien dienten die beschriebenen Graspresssäfte.

Die Dampfblasung erfolgte im 10 Liter Maßstab bei Maximaltemperaturen von 90° C und pH 6,0. Der koagulierte Saft wurde in einer Becherzentrifuge in einen festen Niederschlag (Pellet) und einen entproteinierten Überstand getrennt. Ziel war die Abschätzung der möglichen Proteinausbeuten, der Rohproteingehalt im Konzentrat und die technische Durchführbarkeit

Die Versuche sind noch nicht abgeschlossen, es zeigt sich aber, dass der Prozess wie beschrieben durchführbar ist, aber je nach Ausgangsmaterial der Proteinertrag und der Rohproteingehalt im Produkt stark schwankt. D.h. wesentlich zur Proteingewinnung ist in diesem Fall nicht die verwendete Technologie zur Proteinabtrennung, sondern der Zustand des Rohmaterials und die Ausbeute bei der Fraktionierung.

Daten zum Produkt und zur Ausbeute siehe 8.4.4

8.4.3 Ultrafiltration

Alternativ zum klassischem Verfahren (Hitzekoagulation und Zentrifuge) kommt die Ultrafiltration als Trenntechnik in Frage.

Vorteile der Ultrafiltration:

- ⊘ Keine Denaturierung der Proteine
- ⊘ Erhaltung der Löslichkeit
- ⊘ Eventuell Erhaltung der Enzymaktivität
- ⊘ Modulbauweise und damit leichtes Up-scaling

Die Denaturierung der Proteine hat die Unlöslichkeit des Proteinprodukts zur Folge. Ein durch Ultrafiltration gewonnenes lösliches Proteinkonzentrat wäre vielseitiger einsetzbar (z.B. als hochwertigerer Milchaustauscher)

Ultrafiltration ist ein druckgetriebenes Membranverfahren zur Trennung von niedermolekularen gelösten Stoffen und Makromolekülen. Dabei ist zur klaren Trennung ein deutlicher Größenunterschied zwischen den zu fraktionierenden Stoffen notwendig.

Als typisches Beispiel für die Ultrafiltration ist die Auftrennung von Molke in Proteine (Konzentrat bzw. Retentat) und Salze+Lactose (Permeat) zu nennen.

Üblicherweise wird die Ultrafiltration als Querstromverfahren realisiert. Dabei wird die röhrenförmige Membran parallel zur Porenmembran durchströmt (Cross Flow).

Die Höhe des Permeatfluxes (der Strom des entproteinierten Safts) ist ausschlaggebend für die Dimension und damit für Investitionskosten der Anlage.

In der Vergangenheit (Ostrowsky-Meissner 1983) ist bereits versucht worden mittels Ultrafiltration Proteine aus einem Pflanzensaft aufzukonzentrieren. Positiv werden die funktionellen Eigenschaften wie Löslichkeit, Emulgierbarkeit von Membranproteinprodukten



erwähnt (Fuhrmeister 2001). Die Wirtschaftlichkeit hängt sehr von dem erzielbaren Permeatflux und der damit verbundenen Anlagengröße ab.

Im Rahmen der "Fabrik der Zukunft" wurden Ultrafiltrationsversuche mit verschiedenen Trenngrenzen (Molecular Weight Cut Off - MWCO) durchgeführt. Für einen Ausbeutenvergleich wird unter 8.4.4 das Ergebnis eines repräsentativen Versuchs angeführt.

8.4.4 Ausbeuten

Bei der Herstellung von Proteinkonzentraten aus Luzernen (*Alfalfa, Medicago sativa subsp. sativa*) müssen noch zwei weitere in der Literatur prominent angeführte Produktionsprozesse erwähnt werden.

Pro Xan (Kohler 1983) ist der Markenname eines in den siebziger Jahren patentierten Prozesses zur Verwertung von Luzernen. Frische Luzerne wird in Hammermühlen zerkleinert und in einer Tandemschneckenpresse verpresst. In der zweiten Presse wird das Pressgut mit einem Teil des entproteinierten Saftes aus dem Proteinabtrennungsschritt versetzt, um die Extraktion zu verbessern. Der so gewonnene Saft wird sofort mit Ammoniak neutralisiert und bei 80 bis 90° C 10 bis 20 Sekunden per Dampfeinblasung erhitzt. Das koagulierte Protein wird mittels Dekanterzentrifugen abgetrennt und bei 60 bis 80° C schonend getrocknet. Der entproteinierte Saft wird zum Teil auf 50 % Trockenmasseanteil eingedampft und dem Presskuchen beigemischt. Die dabei entstehenden Luzerne Pellets sind das Hauptprodukt des Prozesses.

VEPEX (Koch 1983) ist die verbesserte/modifizierte ungarische Variante des Pro Xan Prozesses. Ausgangsmaterial ist ebenfalls Luzerne. Erwähnenswert ist ein nicht näher beschriebener Desintegrator zur Zerkleinerung der Grünmasse vor dem Pressen und die relativ hohe Temperatur des Saftes (bis 40°C) nach dem Pressen.

Tab. 80: Vergleich der Rohproteinausbeuten der unterschiedlichen Technologien

| | Pro Xan ¹ | VEPEX ² | GBR Versuche | GBR Versuche | France Luzern ³ |
|---|----------------------|----------------------|-----------------|----------------------|-------------------------------|
| Prozess: | Coag.+ Zentrifuge | Coag.+ Zentrifuge | UF | Coag.+ Zentrifuge | Coag.+ Zentrifuge |
| Ausgangsmasse [kg TM] | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Pflanze [kg-CP/t-TM] | 200 | 210 | 163,7 | 163,7 | 200 |
| [kgTM Saft/t TM] | - | 322,5 | 175,0 | 175,0 | 285,7 |
| [kg CP im Saft/t TM] | 134 | - | 42,5 | 42,5 | - |
| Produkt [kg TM/ t TM] | 180 | 207,5 | 59,7 | 34 | 77,19 |
| CP im Produkt pro t TM Rohstoff [kg CP/t TM] | 102,6 | 115,9 | 23,1 | 17,3 | 40,1 |
| CP % d. TM Produkt | 57,0 | 55,8 | 38,7 | 50,9 | 52,0 |
| Ausbeute TM Prod. [%] | 18,00 | 20,80 | 6,00 | 3,40 | 7,70 |
| Ausbeute CP [%] | 51,30 | 55,20 | 14,10 | 10,60 | 20,10 |
| 1...Kohler 1983 2...Koch 1983 3...France Luzerne 2000 | | | | | |

Beim Pro Xan Prozess und auch beim VEPEX-Prozess sind sehr hohe Ausbeuten erzielt worden. Inwieweit ProXan und VEPEX ihren Prozess sehr optimistisch dargestellt haben und wie viel der zusätzlichen Ausbeute auf die Doppelpressung zurückzuführen ist kann heute nur näherungsweise für den VEPEX Prozess dargestellt werden. Bei Einfachpressung kann, unter Annahme der gleichen CP Konzentration im Presssaft, von 136,7 kg TM Produkt aus einer t TM Rohstoff ausgegangen werden. Dies sind einerseits nur 66 % des durch die Doppelpressung erreichbaren, andererseits aber dennoch um 77 % mehr Produkt TM als dies France Luzerne angibt.

Die Daten von France Luzerne sind jedenfalls bezogen auf derzeit laufende Werke in Frankreich und daher praxisrelevant. Wichtige Unterschiede zwischen Pro Xan/VEPEX und France Luzerne sind das Einfachpressen, das schonendere Pressen und die fehlende Chemikalienzugabe bei France Luzerne.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Ausbeutensteigerung von 50 %, durch Doppelpressung erreicht (VEPEX Daten), durch annähernd doppelten Energieverbrauch erkauft werden müsste. Dass dies keine wirtschaftliche Option für die GBR darstellt scheint gesichert zu sein.

Ingesamt überrascht aber der Unterschied bei den Ausbeuten zwischen GBR und France Luzerne. Bei den Ausbeuten der beiden GBR Prozesse ist zu berücksichtigen, dass die Pressung mit nicht optimierter Technologie durchgeführt wurde. Die etwas höhere Ausbeute beim Ultrafiltrationsprozess (UF) ist zu relativieren, da nur mit Faktor 4,5 (8,3 aus 38 Liter) aufkonzentriert wurde. Realistischer wäre ein Faktor 12 (rund 20 % Trockenmasse im Retentat, 8,3 l aus 100 Litern). Damit wäre auch die im Kreislauf verbleibende Leermenge

geringer und die Ausbeute würde mit der des Koagulationsprozesses ungefähr übereinstimmen.

Zur Erklärung der geringeren Ausbeute der GBR-klassisch von nur 43 % bezogen auf die Ausbeute von France Luzerne gibt es verschiedene Ansätze:

1. Geringerer Ertrag wegen proteinärmerem Rohstoff:

Das für die Proteinkonzentratherstellung verwendete Klee gras hat einen Rohproteingehalt von 16,4 % gegenüber \varnothing 20 % bei Luzerne. Der Anteil an extrahierbarem Protein (echtem Protein) ist aber bei Luzerne und Raygrasblättern gleich. Der Rubiscoanteil im echten Protein (TEIP) ist bei Raygras mit 42 % etwas geringer als bei Luzerne (51 %). Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass bei Gras mehr Stengelmateriale im Rohstoff ist. Insgesamt lässt sich dadurch eine Ausbeuteverringere durch den proteinärmeren Rohstoff von rund 20 % bis 25 % gegenüber France Luzerne abschätzen und erklären. Allerdings beträgt die Proteinausbeute im Produkt (Koagulation) bei dem genannten GBR Versuch nur 43 % des France Luzerne Prozesses. Daher können die Unterschiede im Rohstoff nicht die einzig ausschlaggebende Größe darstellen.

2. Fraktionierung müsste optimiert werden:

Die Fraktionierung im Rahmen der GBR-Versuche erfolgte mittels Häcksler und Einfachpressung. Das System war nicht optimiert. Durch Zellaufschluss oder/und Doppelpressung kann erwartet werden, dass die Proteinausbeuten auf den Wert, den France Luzerne angibt, angehoben werden können. Dies bedeutet allerdings zusätzliche Investitionskosten und eine entsprechende Steigerung der Betriebskosten. Details dazu sind im Wirtschaftlichkeitskapitel zu finden. Deshalb wurde zunächst die Einfachpressung als günstigste Variante getestet.

Es kann davon ausgegangen werden, dass durch eine technologische Optimierung und der Wahl eines proteinreicheren Rohstoffs (CP \varnothing 20 % i. d. TM) die Ausbeuten des France Luzerne Prozesses erreicht werden können (Produkt: 8 % d. Wiesen TM). Es muss allerdings massiv daran gezweifelt werden, dass die Werte der beschriebenen ProXan bzw. VEPEX Prozesse für eine Grüne Bioaffinerie Österreich relevant sind.

8.5 Produkte einer GBR aus GJ

Hauptziel ist ein hochwertiges Futtermittel aus Wiesengrünmasse. Neben diesem Hauptprodukt wird hier ein Überblick über potentielle Spezialprodukte gegeben.

8.5.1 Proteinkonzentrat als Futtermittel

Proteine bestehen aus 20 verschiedenen L-Aminosäuren, die über Peptidbindungen miteinander verknüpft sind. Proteine werden im Körper in ihre Bestandteile, die Aminosäuren, zerlegt. Diese dienen als Ausgangsstoffe für die eigene Zellsubstanz (eigene Enzyme, Strukturproteine, Transportproteine, Immunoproteine etc.). Einige der Aminosäuren können vom Körper nicht selbst aufgebaut werden und müssen diesem mit der Nahrung zugeführt werden (essentielle Aminosäuren). Neben der Funktion als Lieferant von Bausteinen spielen einige Aminosäuren eine Rolle bei der Steuerung von Stoffwechsellvorgängen (Hormone). Als Proteinlieferanten dienen üblicherweise pflanzliche

Produkte (z.B.: Getreide, Hülsenfrüchte, Soja) oder tierische Produkte (z.B.: Milch, Ei, Fleisch, Fisch). Die Proteine unterscheiden sich hinsichtlich ihrer biologischen Wertigkeit.

Die biologische Wertigkeit eines Proteins (g gebildetes Körperprotein pro 100 g Nahrungsprotein) wird durch den absoluten Gehalt an essentiellen Aminosäuren bestimmt, aber auch durch das Mengenverhältnis der essentiellen Aminosäuren zueinander und zu den nicht essentiellen Aminosäuren, sowie durch Faktoren wie Verdaulichkeit und Verfügbarkeit. Zur Bestimmung der biologischen Wertigkeit gibt es mehrere in vivo und in vitro Methoden (Belitz 2001).

Die "Biologische Wertigkeit- BW" beruht auf dem Prinzip des Ersatzes von körpereigenem Protein nach einer proteinfreien Diät einer Testperson.

Die Ermittlung des "Net Protein Utilization – NPU“) beruht auf dem selben Prinzip und erfolgt im Tierversuch. Der für ein Futtermittel wohl am aussagekräftigste Index ist die "Protein Efficiency Ratio - PER". Die PER errechnet sich aus dem Verhältnis Gewichtszunahme eines Versuchstieres zu verfügbares Protein.

Tab. 81: Biologische Wertigkeit einiger Nahrungsproteine nach verschiedenen Methoden (Belitz, 2001)

| Protein aus | BW | NPU | PER | limitierende AA |
|-----------------|----|-----|-----|-----------------|
| Hühnerei | 94 | 93 | 3,9 | |
| Kuhmilch | 84 | 81 | 3,1 | Met |
| Fisch | 76 | 80 | 3,5 | Thr |
| Rindfleisch | 74 | 67 | 2,3 | Met |
| Kartoffeln | 73 | 60 | 2,6 | Met |
| Sojabohnen | 73 | 61 | 2,3 | Met |
| Reis | 64 | 57 | 2,2 | Lys, Trp |
| Bohnen | 58 | 38 | 1,5 | Met |
| Weizenmehl-weiß | 52 | 57 | 0,6 | Lys, Thr |

Da alle Proteine aus den gleichen proteinogenen Aminosäuren zusammengesetzt sind, liegt die Ursache für die Qualitätsunterschiede in der prozentualen Zusammensetzung der einzelnen Aminosäuren. Aus diesem Grund ist neben der Angabe des Proteingehalts die Aminosäurezusammensetzung für die Beurteilung von großer Bedeutung. Die in geringster Konzentration vorliegende essentielle Aminosäure - auch die limitierende Aminosäure genannt - bestimmt den Wert des gesamten Proteins. Die im Futtermittel am häufigsten auftretenden limitierenden Aminosäuren sind Methionin, L-Lysin, L-Threonin, und L-Tryptophan (in der Reihe ihrer Wichtigkeit). Durch Zugabe dieser Aminosäuren kann das Defizit ausgeglichen und die gesamte Wertigkeit der des Proteins verbessert werden (Supplementierung).

Tab. 82: Steigerung der biologischen Wertigkeit (PER) einiger Nahrungsproteine durch Zusatz von Aminosäuren (Belitz 2001)

| Protein aus | ohne | 0,2 % Lys | 0,4 % Lys | 0,4% Lys 0,2% Thr | 0,4% Lys 0,07% Trp | 0,4% Lys 0,07% Trp 0,2% Thr |
|-------------------|------|-----------|-----------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Casein (Referenz) | 2,5 | | | | | |
| Weizenmehl | 0,65 | 1,56 | 1,63 | 2,67 | | |
| Mais | 0,85 | | 1,08 | | 2,5 | 2,59 |

Die höchste bis jetzt beobachtete biologische Wertigkeit hat ein Gemisch aus 35 % Eiweißprotein und 65 % Kartoffelprotein (Belitz, 2001).

Ein weiteres Kriterium zur Beurteilung von Proteinen ist die Verfügbarkeit der Aminosäuren. Diese wird durch die Proteinstruktur und den Stoffwechsel, der zum Abbau vorhanden ist, beeinflusst. Weiterhin können auch andere äußere Einflüsse, z.B. bei der Lagerung und Pelletierung auf Grund von chemischen Reaktionen (Denaturierung, Maillard Reaktionen), zu einer Änderung der Verfügbarkeit von Aminosäuren führen.

Die Beurteilung der Qualität der Proteine erfolgt durch chemische Analyse der Zusammensetzung und in Fütterungsversuchen. Die Fütterungsversuche werden meist im Vergleich zu Soja und Fischmehl durchgeführt.

In Summe sind also folgende Informationen zur Charakterisierung eines Futtermittels notwendig:

- ⊠ chemische Zusammensetzung
- ⊠ Qualität des Proteins (Aminosäurezusammensetzung)
- ⊠ Verfügbarkeit der Inhaltsstoffe
- ⊠ Mikrobiologische Bewertung
- ⊠ Test bezüglich biologischer Sicherheit (Toxizität, Teratogenität, Cancerogenität, Mutagenität)

Im Rahmen eines weiterführenden Projekts wurden mit den Technologien Koagulation/Zentrifuge bzw. Ultrafiltration Proteinkonzentrate erzeugt und nach diesen Richtlinien untersucht. Im Rahmen des Projekts konnten aber keine Mengen, wie für Fütterungsversuche notwendig, erzeugt werden. Zwei dieser Versuche werden hier exemplarisch dargestellt.

Produkt 1: Hitzekoagulieretes (90°C) Proteinkonzentrat aus Klee gras 2. Schnitt

Produkt 2: UF-Konzentrat (Cut Off, 15 kD) aus Klee gras 2. Schnitt

8.5.2 Chemische Zusammensetzung

Die Proteinprodukte wurden nach dem selben Schema wie die Säfte analysiert. Bei dem klassischen Proteinprodukt ist zusätzlich ein höherer Fett- und Faseranteil zu erwarten (siehe auch Datenblatt zu Super-PX)

Tab. 83: Stoffgruppen im Proteinkonzentrat

| Verfahren | Trocken- masse [g/kg FM] | Rohprotein [g/kg TM] | Zucker und org. Säure [g/kg TM] | Asche [g/kg TM] |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| UF | 103,2 | 388 | 224, | 173 |
| Hitze + Zentrifuge | 932,5 | 510 | 102 | 116 |

8.5.3 Rohproteingehalt

Der Rohproteingehalt ist direkt proportional zum gemessenen Stickstoff (Stickstoff mal 6,25). Hier ist wieder darauf hinzuweisen, dass das UF Produkt mit einem geringen Faktor aufkonzentriert wurde (siehe Ausbeuten 8.4.4). Man sieht das hitzeokoagulierte Proteinkonzentrat enthält keinen „Reststickstoff“, theoretisch ergibt sich ein Aminosäurenüberschuss der aber durch die Ungenauigkeit in der Messung herrührt. Der Reststickstoff (Differenz zwischen Rohprotein und Aminosäurensomme) im ultrafiltriertem Produkt stammt hauptsächlich aus dem nicht filtrierte Anteil (Leermenge) der durch den Versuchsaufbau bedingt war.

Tab. 84: Stickstoffbilanz; Aminosäurenanteil im Rohprotein

| | TM [g/kg FM] | CP [g/kg TM] | Amino- säuren [g/kg TM] | Ammonium [g/kg TM] |
|--------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------------|
| UF | 103,2 | 388 | 319 | 6 |
| Hitze + Zentrifuge | 932,5 | 510 | 531 | 6 |

8.5.4 Aminosäuren, biologische Wertigkeit

Für die biologische Wertigkeit des Proteins im Konzentrat sind Fütterungsversuche notwendig. Ein Vergleich mit dem hochwertigen Hühnereiweiß zeigt aber ein hervorragendes Aminosäurenprofil beider Konzentrate. Die limitierenden Aminosäuren (Lys, Thr) sind mengenmäßig ausreichend vorhanden. Methionin und Tryptophan konnten bisher noch nicht analytisch erfasst werden - hier könnte ein Versorgungslücke aber auch eine positive potentielle Quelle entdeckt werden.

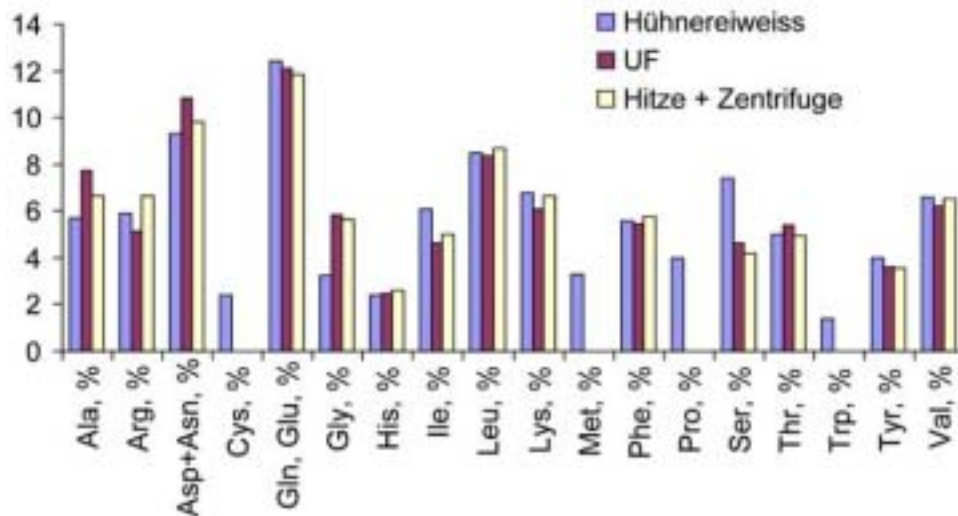


Fig. 35: Aminosäurespektrum der zwei Proteinprodukte aus Gras (UF...ultrafiltriertes Konzentrat, Hitze + Zentrifuge....klassisch gewonnenes Konzentrat), verglichen mit dem hochwertigem Hühnereiweiß (Belitz 2001)

Für die Verfügbarkeit der Aminosäuren sind nur Fütterungsversuche ausschlaggebend, die die Produktion größerer Mengen, als sie bisher hergestellt werden können, erfordern.

8.6 Potenzielle Spezialprodukte aus Grünem Saft

Alternativ zu einem reinen Futtermittelprodukt aus Wiesenproteinen könnte der Rohstoff weitere Produktoptionen bieten.

8.6.1 Functional Feed 1 – Enzymaktives Futtermittel

Die Proteine im Gras sind im Gegensatz zu anderen Futterproteinen wie z.B. Sojaprotein keine Speicherproteine sondern Enzyme. Neben dem massenmäßig zahlreichen Rubisco und den Proteinen des Photosystems I und II sind vor allem Proteasen (Proteinabbauende Enzyme – bedingen bessere Verfügbarkeit der Aminosäuren) und Phytasen (Phytin abbauende Enzyme – bedingen bessere Phosphoraufnahme) von Interesse.

Es wäre zu prüfen ob in einem schonend hergestellten Proteinkonzentrat (Ultrafiltration) noch Aktivität dieser Enzyme vorhanden ist

8.6.2 Functional Feed 2 – Prebiotisches Futtermittel

Gräser mit C3-Weg der Photosynthese (gemäßigte Klimazone) neigen zur Fructanspeicherung.(Hegnauer 1986). In Gräsern wird die Polyfructose (Fructan) hauptsächlich beta 2-6 verknüpft (Levan) und wird ausgehend von Trisacchariden wie Ketose zu Ketten mit einem Molekulargewicht von 12 kD (Pollock, Cairns 1991) polymerisiert. Kühe haben sicher einen enzymatischen Weg gefunden diese Polysaccharide direkt zu nutzen. Für andere Tiere könnte dieses wasserlösliche Fructan vom Levantyp als prebiotischer Ballaststoff (wie ja auch das Fructan Inulin aus Chicoree oder Topinampur als prebiotischer Ballaststoff eingesetzt wird) dienen.



8.6.3 Functional Food – prebiotscher Ballaststoff – synbiotische Lebensmittel

Eine Untermenge der Fructane sind die kurzkettigen Fructooligosaccharide (bis zu 10 Fructoseeinheiten). Fructooligosaccharide aus der Chicoreewurzel mit beta 1-2 Verknüpfung (Inulin-Typ) sind derzeit wohl die wirtschaftlich wichtigsten Prebiotiker (Buckenhüskes 2001). Wenn Fructan in Gräsern die selben Eigenschaften wie Inulin hat (Beständigkeit gegen Enzyme im Magen, Verwertbarkeit für Bakterien im Dickdarm) wäre hier ein Einsatz von Oligofructose aus Gras als hochwertiges Lebensmittel – synbiotisches Lebensmittel – denkbar.

8.6.4 Rubsico

Rubsico wird industriell derzeit nicht hergestellt, es existiert aber eine Versuchsanlage, die von France Luzerne betrieben wurde (Petin 2000). Reines Rubsico könnte auf Grund der funktionellen Eigenschaften (Antonov und Soshinsky 1992) in der Nahrungsmittelherstellung als Zusatz für Saucen und Würste, aber auch Desserts wie Mousse-au-Chocolat verwendet werden (European Commission 2000). Vergleicht man Rubsico mit Casein könnten sich die Erlöse auf ca. € 2,54/kg bis € 5,00/kg Rubsico belaufen (Auro 2001).

8.6.5 Aminosäuren aus GJ

Eine der Erkenntnisse dieses Projekts ist, dass nur ein gewisser Teil der Aminosäuren als makromolekulares Protein vorhanden ist. Die freien Aminosäuren im entproteinierten Saft sind ein Wertstoff.

8.7 Silagepresssaft (SJ) – MODUL 3-2

Anders als beim Presssaft aus Wiesengrünmasse handelt es sich bei Silagesaft (SJ) um einen Rohstoff, der unabhängig von Jahreszeit und Witterung immer zur Verfügung steht. Da Silage einen geringeren Wasseranteil als Wiesengrünmasse beinhaltet, hat der Presssaft einen höheren Trockenmassenanteil (bis zu 20 %). Durch die vorhandene Milchsäure liegt der pH Wert bei 3,7 bis 4,5.

Der Rohproteingehalt i. d. TM der Silagesäfte entspricht ungefähr dem der Frischsäfte (GJ), allerdings ist der Aminosäurenanteil im Rohprotein bei einigen Silagesäften extrem hoch (bei Bastardraygras bis zu 100 %)

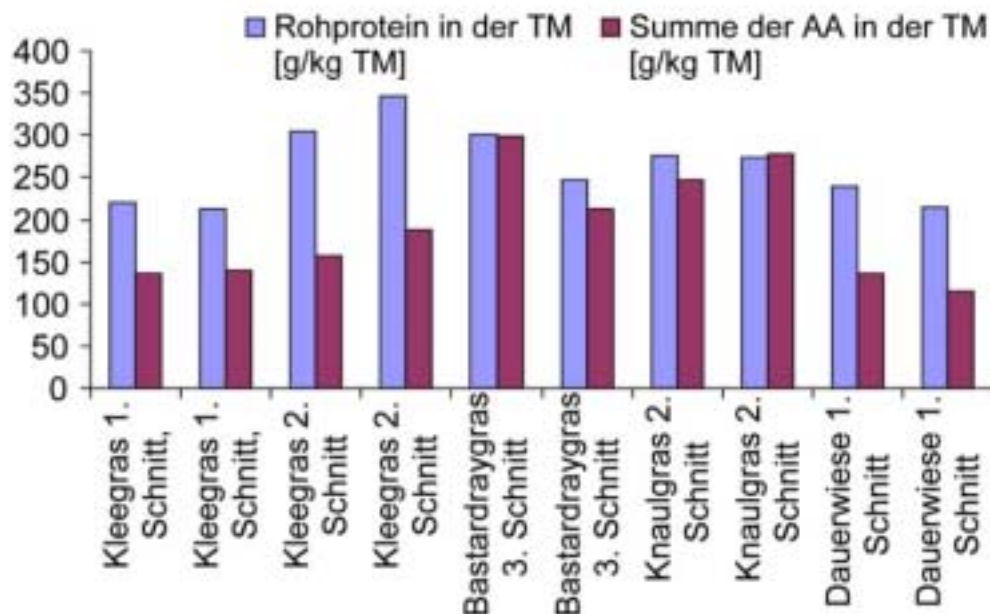


Fig. 36: Rohprotein und Aminosäurenanteile im SJ

8.7.1 Gesamtanalytik

Wie bei GJ wurde der Saft hinsichtlich seiner Zusammensetzung untersucht. Neben dem Stickstoffschwerpunkt kommt bei den Silagesäften eine genauere Untersuchung der Milchsäure hinzu. Die einzelnen Ergebnisse sind im Anhang folgendermaßen dargestellt:

Überblickstabelle:

Tab. 85: Silagesäfte, Hauptstoffgruppen

| SJ aus | Starter | TM [g/kg FM] | CP [g/kg TM] | Zucker und org. Säure [g/kg TM] | Asche [g/kg TM] | pH |
|---------------------------|---------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------|------|
| Kleegras 1. Schnitt, | IFAS3 | 19,17 | 219,57 | 780,57 | 267,32 | 4,32 |
| Kleegras 1. Schnitt, | IFAM2 | 15,79 | 213,15 | 737,38 | 275,90 | 4,11 |
| Kleegras 2. Schnitt | IFAS3 | 17,77 | 303,64 | 503,05 | 292,94 | 4,29 |
| Kleegras 2. Schnitt | IFAM2 | 15,13 | 346,55 | 587,79 | 303,31 | 4,20 |
| Bastardraygras 3. Schnitt | IFAS3 | 11,57 | 300,83 | 467,60 | 273,69 | 2,60 |
| Bastardraygras 3. Schnitt | IFAM2 | 11,96 | 246,67 | 399,07 | 621,57 | 2,56 |
| Knaulgras 2. Schnitt | IFAS3 | 17,62 | 275,47 | 417,57 | 394,28 | 2,20 |
| Knaulgras 2. Schnitt | IFAM2 | 12,16 | 273,36 | 492,41 | 435,61 | 0,00 |
| Dauerwiese 1. Schnitt | IFAS3 | 15,06 | 238,60 | 718,77 | 230,33 | 4,21 |
| Dauerwiese 1. Schnitt | IFAM2 | 20,25 | 214,74 | 714,59 | 227,51 | 4,35 |

☐ Detailtabellen:

Im Unterschied zum GJ besteht nun die Untergruppe Zucker und organische Säuren zum Großteil aus Milchsäure und geringeren Anteilen aus Fructose und Glucose. Die Ergebnisse der HPLC-Messung ist in der Detailtabelle „**Zucker und org. Säuren**“ zu finden.

Unter **Asche** werden die gemessenen Ionen als Bestandteil der Rohasche aufgelistet. Hier ist zu beachten, dass nicht für alle Ionen eine Analytikmethode zur Verfügung stand. So ist zum Beispiel eine der Kaliummasse äquivalente Chlor-Ionenanzahl zu vermuten.

Milchsäure wurde von 2 Instituten gemessen. Die Werte vom IFA Tulln (siehe auch Zucker und org. Säuren) und die Werte von Inst. Für Biotechnologie der TU-Graz werden unter „Milchsäure“ gegenübergestellt. Zusätzlich wurde L-Milchsäure bestimmt.

8.7.2 Proteinabtrennung – MODUL 3-2 C

Der Versuch aus einem Silagepresssaft Protein abzutrennen ist ein völlig neuer Ansatz und wird bisher in der Literatur nicht beschrieben.

Ziel der Proteinabtrennung ist:

- ☐ die Gewinnung des Wertstoffes Protein/Aminosäuren und
- ☐ Reinigung des Saftes zur Gewinnung des Wertstoffes Milchsäure.

Wie in der Diskussion in 8.3.1 erwähnt liegen die meisten Proteine im SJ doch, in größerem Ausmaß als zunächst vermutet, als freie Aminosäuren und Polypeptiden bzw. Oligopeptiden vor. Im Rahmen der Forschungstätigkeit ("Fabrik der Zukunft") wurde Versucht die Trenntechniken zur Gewinnung von Proteinen aus GJ auf den SJ anzuwenden.

8.7.2.1 Hitzeokoagulation und Zentrifugation:

Koagulation per Dampfeinblasung bei 90° C, danach Zentrifugation in der Becherzentrifuge. Die Ausbeute war sehr gering. Nur 2,6 % der Trockenmasse und 3,1 % des Rohproteins findet sich im Produkt (Pellet) wieder. Dieses Ergebnis war geringer als es die Literatur über den Proteinabbau in Silage vermuten ließ (Messmann 1994; Makoni 1993). Der entproteinierte Saft ist zwar klar unterscheidet sich aber in der Zusammensetzung kaum vom Ausgangsmaterial.

8.7.2.2 Ultrafiltration (MWCO 15 kD):

Durch UF kommt es zu einer geringen Rückhaltung doch diese Trockenmasserückhaltung kann auch als Membranwiderstand interpretiert werden, da die Trockenmassendifferenz zwischen Retentat und Permeat konstant bleibt. Das Retentat unterscheidet sich in der Zusammensetzung kaum vom Ausgangsmaterial.

Bei einem weiteren Ultrafiltrationsversuch wurde mit einem MWCO von 1 kD gearbeitet. Mit dieser niedrigen Trenngrenze ist nur mehr ein geringer Flux zu erwarten und dementsprechend kostenintensiver würde eine Produktionsanlage sein. Wie beim Versuch mit 15 kD kommt es zu einer geringen Rückhaltung der Trockenmasse. Jedoch zeigt die Analyse der Aminosäuren, dass sich im Retentat vermehrt Aminosäuren anreichern. Die Ausbeute beträgt über 20 % (hochgerechnet auf kontinuierliche Ultrafiltration) und das deutet

auf Vorhandensein von Poly- und Oligopeptiden mit einem Polymerisationsgrad von $DP = 9$ bis 120 hin (Durchschnittliches Molekulargewicht einer Aminosäure: 110 g/mol).

Dies bedeutet, dass die Technologien, wie sie für Grüne Säfte anwendbar sind (Koagulation bzw. UF) für Silagesaft nicht zum Einsatz kommen können. Dies hat extrem wichtige Implikationen auf das Gesamtsystem, da dadurch eine getrennte Führung der GJ und SJ Fraktion notwendig ist. Dies ist der Grund warum das Projektteam dazu übergegangen ist die Wirtschaftlichkeit der Grünen Linie und der Silage Linie getrennt zu betrachten und die Technologie der Proteinabtrennung (Peptide und Aminosäuren) aus dem SJ dem Modul 4 angegliedert wurde. Dies bedeutet, dass die Option MODUL 3-2 C aus den weiteren Betrachtungen herausgenommen wird.

8.7.3 Produkte aus SJ im Rahmen der GBR

8.7.3.1 SJ als proteinreiches Futtermittel

Die Herstellung eines Proteinkonzentrat als Futtermittel mit den selben Technologien wie sie für GJ angewandt werden, scheint nach den ersten Versuchen unrealistisch zu sein.

Die für die Abtrennung ungünstige Aminosäurenstruktur (freie Aminosäuren und kurze Peptidketten) hat aber als Futtermittel seine Vorteile und es besteht Nachfrage für hydrolysiertes Protein (Danner - Biomin 2002). Hydrolysiertes Protein kann schneller und mit weniger Energieaufwand aufgenommen werden. Störend bei einem Einsatz von reinem SJ wäre der hohe Aschenanteil und eventuell der niedrige pH-Wert.

8.7.3.2 SJ als Fermentationsmedium in der Biotechnologie

Dieses interessante Produkt wird im Rahmen des nächsten Kapitels behandelt (Kap. 9).

8.7.3.3 SJ als Ausgangsstoff für die Gewinnung von einzelnen Aminosäuren oder eines Hydrolysats

Ein Einsatzgebiet für einzelne Aminosäuren wäre die Pharmazie. Proteinhydrolysate könnten je nach Qualitätsstandard in der Futtermittelindustrie und der Lebensmittelindustrie (Spezialernährung im Gesundheits- und Sportbereich) eingesetzt werden.

Da Silagesaft bis zu 30 % (z. B. BRG01 SJ) der Trockenmasse aus Aminosäuren besteht scheint dieser Weg sinnvoll. Der Silagesaft steht dabei allerdings in Konkurrenz zu anderen Rohstoffen wie Melasse (Amino 2002) und Soja. Für Silagesaft spricht das breite Spektrum der Aminosäuren und die Vermutung, dass ein Grossteil der Aminosäuren als freie Aminosäuren vorliegen.

Die Extraktion von Aminosäuren aus natürlichen hydrolysierten Extrakten steht in Konkurrenz zur fermentativen Herstellung von Aminosäuren. Lysin als wichtigste und nach Glutamin häufigste Aminosäure wird in großem Maßstab fermentativ, meist mit gentechnisch modifizierten Stämmen, hergestellt und kostet am freien Markt rund 1,50 € pro kg (Lysinhydrochlorid 60 bis 80 % - Futterqualität). Dieser erzielbare Preis erscheint für eine Grüne Bioraffinerie nicht attraktiv genug zu sein.

8.7.3.4 Oligo- und Polypeptide:

Die Beständigkeit der noch vorhandenen Polypeptide im Silagesaft gegenüber den proteolytischen Aktivitäten während des Silierens könnte von einer bestimmten Zusammensetzung und damit verbundenen Eigenschaften (z.B. Beständigkeit gegen Cysteinproteasen) stammen. Polypeptidgemische mit einer nicht statistischen Zusammensetzung und definierten Eigenschaften könnten bei einer gefundenen Anwendung (Pharmazie, Kosmetik, etc.) ein hochpreisiges Produkt darstellen.

8.8 Diskussion der Versuchsergebnisse (GJ u. SJ)

Es konnte gezeigt werden, dass der Rohstoff Wiesengrünmasse, sowohl Grün als auch Silage, im Bereich Proteine bzw. Aminosäuren ein vielfältiges und hohes Potenzial besitzt. Die Zusammensetzung der proteinogenen Bestandteile (Aminosäurespektrum) in den Presssäften kann dem Vergleich mit hochwertigsten Futtermitteln standhalten und teilweise die Qualität überbieten.

Es muss allerdings festgehalten werden, dass die zu erwartenden Ausbeuten sowohl aus Klee graswiese (GJ) als auch aus Luzernen (CP Ø20 % i. d. TM) weder mit der klassischen Technologie der Koagulation und Zentrifugation noch mittels der modernen Membrantrenntechnik an die in der Literatur kolportierten Werte herankommen kann (ProXan und VEPEX). Nach derzeitigem Stand des Wissens könnten Optimierungen, die mit beträchtlichen zusätzlichen Kosten einhergehen, lediglich die Ausbeuten des einzigen real existierenden Prozesses (France Luzerne) erreichen (8 % Produkt gerechnet von der Rohstoff TM). Diese Erkenntnis hat bedeutende Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit dieses Prozessmoduls.

Bei der Untersuchung unterschiedlicher Silagesäfte wurde festgestellt, dass das Aminosäurespektrum annähernd gleich jenem der Grünen Säfte ist, allerdings war teilweise der Anteil der Aminosäuren am gemessenen Rohprotein wesentlich höher (bis 100 %). Die Aminosäuren liegen allerdings nur mehr zu einem geringen Teil als Proteine vor, sondern sind zu Poly- bzw. Oligopeptiden oder freien Aminosäuren hydrolysiert. In den gemessenen Säften sind wesentlich größere Mengen hydrolysierten Bestandteile festzustellen, als dies in der Literatur für Silagen (Davies, Merry, et al. 1998) beschrieben wird. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der Fraktionierungsprozess die hydrolysierten Proteinbestandteile bevorzugt. Diese Erkenntnis hat massiven Einfluss auf die zu verwendende Technologie, da SJ mit sehr großer Wahrscheinlichkeit nicht mit der selben Process-Unit aufbereitet werden kann, wie GJ. D.h. eine völlige technologische Trennung (auch der Fraktionierung) der Grünen und der Silage Linie ist notwendig. Diese wurde im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung vorgenommen. Des Weiteren wurde die SJ – Linie dem Modul 4 zugeordnet, da die gewonnenen Erkenntnisse nun eine integrierte Abtrennung der Silagesaftkomponenten (Milchsäure, proteinogene Bestandteile, Zucker und Asche) als Wertstoffe zwingend erscheinen lassen. D.h. die Option MODUL 3-2 C scheint als eigenständig Variante nicht mehr auf. MODUL 3-2 D wird mit MODUL 4 kombiniert.

Für die Definition eines speziellen Proteinfuttermittels (Milchaustauscher) aus Wiesengrünmasse stünde demnach nur mehr der GJ zur Disposition, wo allerdings die Möglichkeiten der Ausbeutesteigerung begrenzt erscheinen. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung hat gezeigt, dass nach derzeitigem Stand des Wissens die Grüne Linie alleine nicht lebensfähig ist. Es muss daher in Betracht gezogen werden sich auf die Silagelinie zu spezialisieren und andere, in Kombination mit der Milchsäurenutzung, "Proteinmärkte" zu erschließen, als dies mit einem klassischen Grünen Protein möglich wäre.

9 TEILENTPROTEINIERTER GJ UND SJ ALS FERMENTATIONSPROMOTOR – MODUL 3-1 B UND 3-2 D (3-2 D INTEGRIERT IN MODUL 4)

Polyhydroxyalkanoate (PHA) sind biologisch abbaubare Polyester der R-3-Hydroxyalkansäuren. Diese können fermentativ als in Bakterien eingeschlossene Speicherstoffe hergestellt werden. PHAs sind aufgrund ihrer Eigenschaften als Ersatz für herkömmliche - da auf der Basis von Erdöl produzierte - Thermoplaste einsetzbar. Dass dies derzeit noch nicht geschieht, liegt vor allem an den im Vergleich viel zu hohen Herstellungskosten für PHA (Verhältnis etwa 1/10). Um die Produktion zu verbilligen, kann zum Beispiel die Medienzusammensetzung für die Aufzucht der PHA-Bildner dahingehend verändert werden, daß ein schnelleres Wachstum der Bakterien erfolgt. Dies wurde im Rahmen des Projektes Grüne Bioraffinerie mit Graspresssaft als Fermentationszusatzstoff versucht und die Ergebnisse im folgenden dargestellt. Die Versuche wurden durch R. Bona und MitarbeiterInnen des Instituts für Biotechnologie der TU-Graz durchgeführt.

9.1 Material und Methoden

9.1.1 Stamm und Medium

Für die PHA-Produktion diente der gut untersuchte Stamm *Ralstonia eutropha* DSM 545 mit dem für diesen Stamm optimierten Mineralmedium mit Glucose als Kohlenstoffquelle.

9.1.2 Green Juice und Silage Juice UF-Permeate

Als Zusatz wurden je ein Presssaft-Permeat von Silagegras (SJ-Permeat) und eines von frischem Gras (GJ-Permeat) gewählt. Das geschah vor allem deshalb, da eine sterile Zugabe nötig war. Diese war aber nur über Sterilfiltration zu erreichen. Beim Autoklavieren fallen Proteine aus und sind daher für die Kultur nicht mehr als Nährstoffe zugänglich. Andererseits war eine Sterilfiltration nur mit den erhaltenen Permeaten machbar.

Der Presssaft von folgendem Rohstoff wurde mit einem MWCO von 15 kD ultrafiltriert und das Permeat für die Versuche herangezogen:

- ☐ Klee graswiese 2. Schnitt (KLG01)
- ☐ Klee gras-Silage 1. Schnitt, angeimpft mit IFA-S3 Bakterien (KLG01-IFAS3)

Tab. 86: Zusammensetzung der gewählten Presssaft UF-Permeate

| | KLG01 2. Schnitt Permeat | KLG01-IFAS3 1. Schnitt Permeat |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Asche | 27,4 | 26,2 |
| Unzugeordneter N | 1,9 | 1,3 |
| Ammonium | 0,28 | 0,06 |
| AA | 12,3 | 13,3 |
| Andere organ. Säuren | 0,1 | 2,0 |
| Alkohole | 0,8 | 2,1 |
| MS | 0,5 | 29,3 |
| Zucker | 34,6 | 43,2 |

Ziel der Versuche war es, durch Zusatz von GJ bzw. SJ Permeat die Wachstumsgeschwindigkeit von *Ralstonia eutropha* zu erhöhen und damit die Produktion zu verbilligen. Um die optimale Konzentration an GJ bzw. SJ Permeat im Mineralmedium herauszufinden wurde in Vorversuchen in Schüttelkolben mit verschiedenen Konzentrationen experimentiert. Danach wurden mit den aus den Vorversuchen bestimmten optimalen Konzentrationen der beiden Graspresssäfte Fermentationen im 2 l - Maßstab durchgeführt um genaue kinetische Daten zu erhalten. Zum Vergleich diente eine Fermentation unter gleichen Bedingungen aber ohne Zusatz von GJ bzw. SJ Permeat.

9.2 Ergebnisse der Versuche mit Presssaft Permeat aus Frischgras

9.2.1 Schüttelkolbenversuche

Folgende Konzentrationen an Graspresssaft Permeat wurden in den Vorversuchen eingesetzt: 0 %, 0,5 %, 1,0 %, 2,5 %, 5 %, 10 %, und 13,5%. Nachfolgende Abbildung zeigt den Verlauf der Wachstumskurven mit den verschiedenen Zusätzen an Graspresssaft.

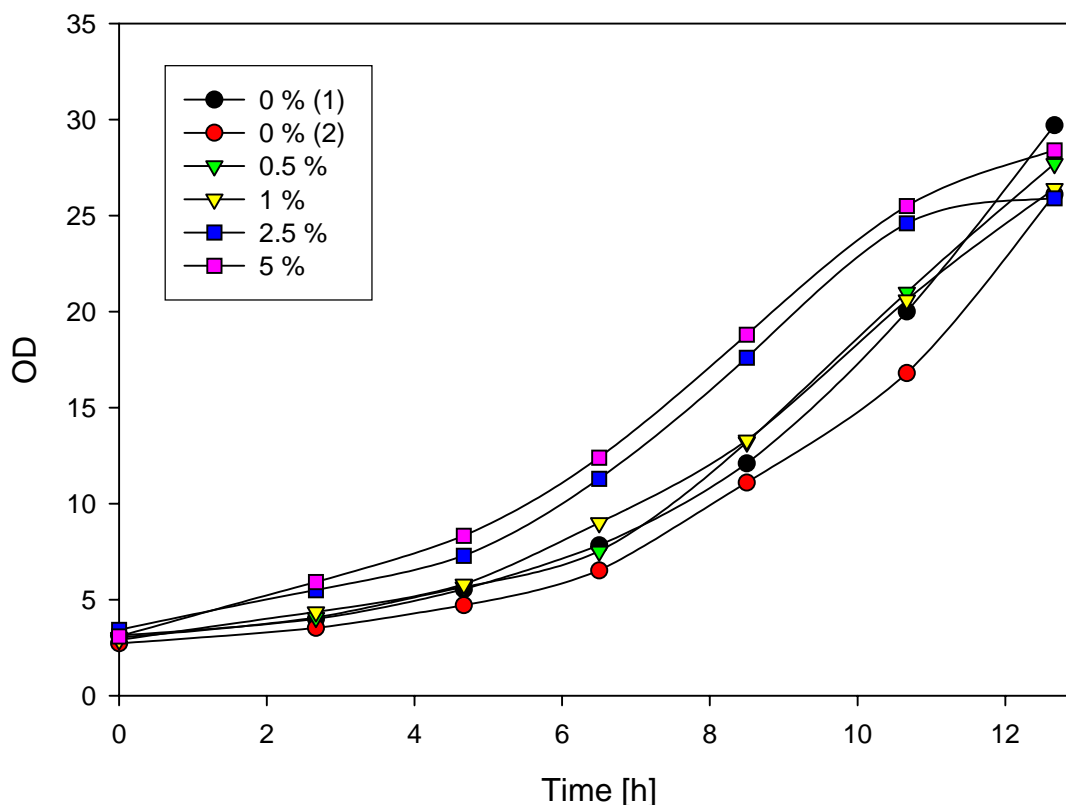


Fig. 37: Wachstumskurven der Schüttelkolbenversuche mit verschiedenen Konzentrationen an Graspresssaft.

Wie man aus der Abbildung erkennen kann, ergibt sich mit der Zugabe von 5 % an Grassaft Permeat der höchste Biomassezuwachs mit der Zeit. Die lag-Phase wird also verkürzt. Versuche mit höheren Konzentrationen ergaben keine Verbesserung mehr. Aus diesen Ergebnissen wurde für die Fermentation eine Zugabe von 5 % gewählt.

9.2.2 Fermentationen im Bioreaktor

Folgende Kurve zeigt den Verlauf der wichtigsten Konzentrationen im Medium der Fermentation.

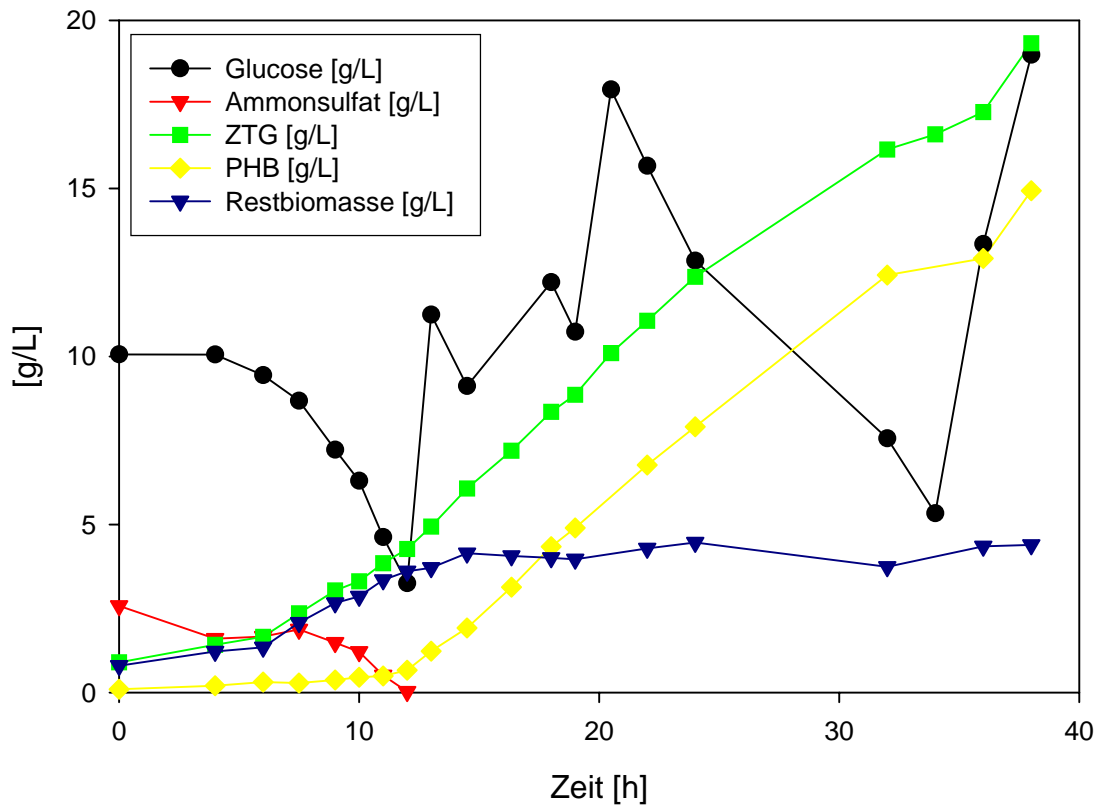


Fig. 38: Fermentation mit 5 % Graspresssaft, Verlauf der Konzentrationen an C-Quelle, N-Quelle, Zelltrockengewicht, PHB und Restbiomasse.

Zum Vergleich sieht man in der unten folgenden Abbildung dasselbe Diagramm aus der Fermentation ohne Zugabe von Graspresssaft Permeat.

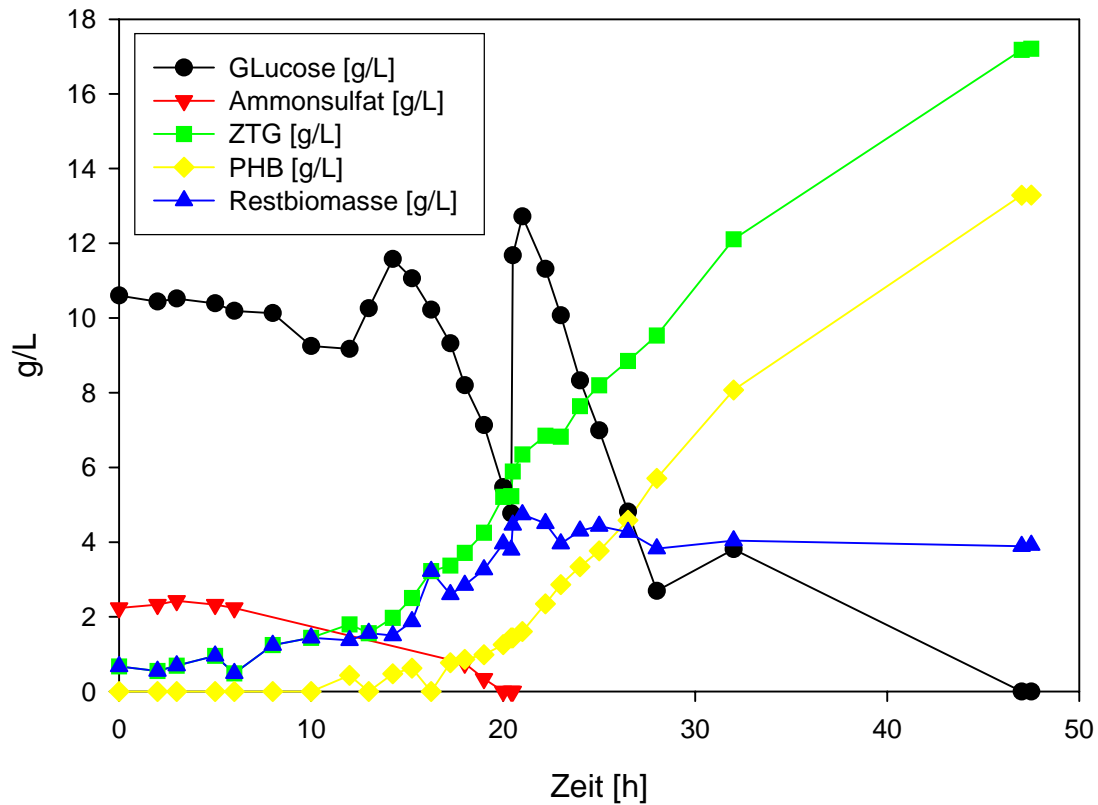


Fig. 39: Fermentation ohne Graspresssaft, Verlauf der Konzentrationen an C-Quelle, N-Quelle, Zelltrockengewicht, PHB und Restbiomasse.

Folgende Tabelle stellt die aus den Fermentationen erhaltenen Daten einander gegenüber.

Tab. 87: Daten aus der Fermentation mit Graspresssaft Permeat und der Vergleichsfermentation

| | Ohne Zusatz | Mit 5 % Zusatz |
|--|-------------|----------------|
| Fermentationsdauer [h] | 48 | 38 |
| Dauer der Wachstumsphase [h] | 20 | 11 |
| Restbiomasse (ohne PHB) [g/L] | 3,9 | 4,4 |
| PHB [g/L] | 13,3 | 14,9 |
| PHB [% ZTG] | 77,3 | 77,3 |
| $Y_{ZTG/Glucose}$ | 0,61 | 0,67 |
| $Y_{Restbiomasse/Glucose}$ | 0,14 | 0,13 |
| $Y_{PHB/Glucose}$ | 0,47 | 0,54 |
| $Y_{Restbiomasse/Ammonsulfat}$ | 1,62 | 1,36 |
| Produktivität [g PHB h ⁻¹ L ⁻¹] | 0,29 | 0,39 |
| μ_{max} [h ⁻¹] | 0,20 | 0,24 |

9.3 Ergebnisse der Fermentation mit Silagepresssaft Permeat

9.3.1 Allgemeines

Für die in diesem Teil des Berichts beschriebenen Versuche wurde auf Grund seiner analytischen Werte das Permeat eines bei 15 kD ultrafiltrierten Silagepresssaftes verwendet. Die Entscheidung für die Verwendung dieses Saftes erfolgte auf Grund seiner wesentlichen Analysedaten (siehe Tabelle 88). Für die Ermittlung der entsprechenden Vorbehandlung dieses Fermentationszusatzes und vor allem für die Entscheidung, welche Saftkonzentration am vorteilhaftesten einzusetzen wäre, waren eine Reihe von Vorversuchen notwendig, wie sie im Folgenden beschrieben werden.

Tab. 88: Analysewerte des verwendeten SJ-Permeats

| | |
|---------------------------------|-------|
| pH | 4,34 |
| Trockenmasse [g/100g] | 19,52 |
| TKN (Gesamtstickstoff) [g/100g] | 0,78 |
| Aschegehalt [g/100g] | 5,12 |
| Ammoniumgehalt [g/100g] | 0,1 |
| Glucose [g/l] | 32,50 |
| Gesamtmilchsäure [g/l] | 57,25 |

9.3.2 Vorversuch 1

Bei diesem Vorversuch handelt es sich um eine Serie von Schüttelkolbenfermentationen im 100 ml Maßstab. Verglichen wurde das Wachstum von *Ralstonia eutropha* – Zellen über Messung der optischen Dichte bei 420 nm. Als Medium wurde das Minimalmedium nach *Küng* verwendet, welches mit sterilfiltrierten Silagesaftpermeaten versetzt wurde, so dass sich Silagesaftkonzentrationen im Gesamtmedium von 0, 0,1, 0,5, 1 sowie 2,5 % [v/v] ergaben. Inoculiert wurde mit 5 % bezogen auf das Gesamtvolumen.

Die folgende Abbildung zeigt eine graphische Darstellung des Verlaufes der optischen Dichten über die gesamte Versuchsdauer.

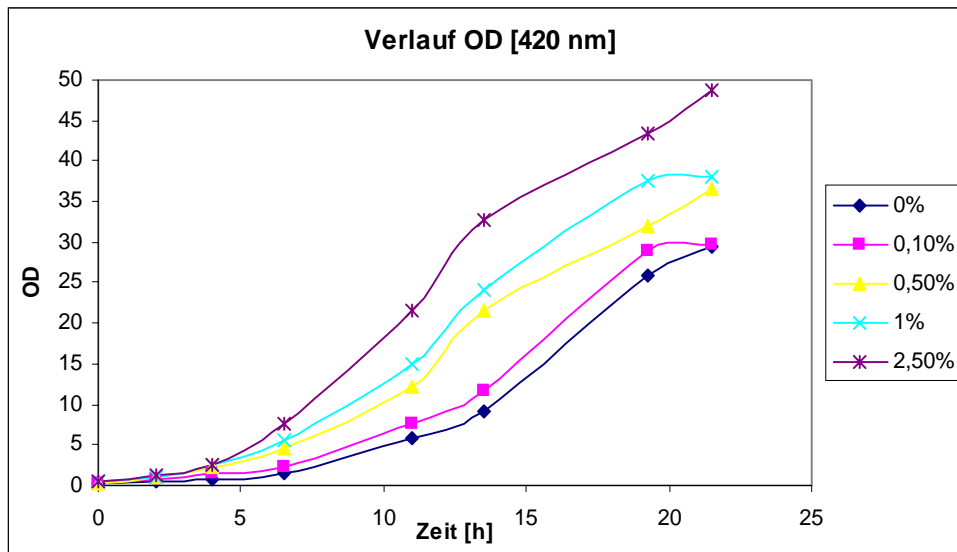


Fig. 40: Verlauf der optischen Dichte bei Vorversuch 1

9.3.2.1 Diskussion von Vorversuch 1

Aus Abb. 37 ist deutlich erkennbar, dass sich bei einem Silagesaftzusatz von 2,5 % der positivste Effekt bezüglich des Wachstumsverlaufes ergibt. Eine rasche Überwindung der lag – Phase (Anlaufphase der Fermentation) mit steigendem Silagesaftanteil ist aus der Graphik ebenso abzulesen wie das Erreichen von deutlich höheren Endzelldichten.

Wichtigste Aussage: der Zusatz von Silagesaft wirkt sich in jeder Schüttelkolbenfermentation dieser Versuchsreihe positiv im Vergleich zum reinen Minimalmedium nach Küng aus.

Aus den Ergebnissen dieses Vorversuches ergab sich die Planung und Durchführung des zweiten Vorversuchs.

9.3.3 Vorversuch 2

Aufbauend auf der Erkenntnis aus Vorversuch 1, wonach ein Zusatz von 2,5 Volumsprozenten zu einem positiveren Ergebnis verglichen mit niederen Konzentrationen führt, wurde eine weitere Versuchsreihe angestellt, aus der ein mögliches oberes Limit des Silagesaftzusatzes ermittelt werden sollte. Der Vorgangsmodus war ident mit Vorversuch 1, als Testkonzentrationen wurden diesmal folgende Volumsanteile an Silagesatz getestet: 2,5 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20%.

Ergebnis: Nur bei 2,5 % [v/v] ergab sich ein positiver Effekt; bei höheren Konzentrationen führte der Zusatz des sauren Silagesaftes zu einem starken Abfall des pH Wertes des Gesamtmediums, der deutlich außerhalb des optimalen Bereiches für den Organismus lag. Die sich daraus ergebende notwendige Einstellung des pH – Wertes des Silagesaftes wurde im Rahmen von Vorversuch 3 durchgeführt.

9.3.4 Vorversuch 3

Silagesaft wurde mit konzentrierter wässriger Ammoniaklösung titrimetrisch auf pH 7,00 eingestellt; ein Silagesaftvolumen von 145 ml erforderte dazu einen Zusatz von 0,4 ml 25 %iger Ammoniaklösung. Die restliche Versuchsdurchführung erfolgte wie bei Vorversuch 1 beschrieben; die zur Anwendung gekommenen Silagesaftanteile waren ident mit dem zweiten Vorversuch. Abbildung 41 gibt einen Überblick über die Auswirkung der verschieden starken Saftzusätze auf das Wachstum der Zellkulturen.

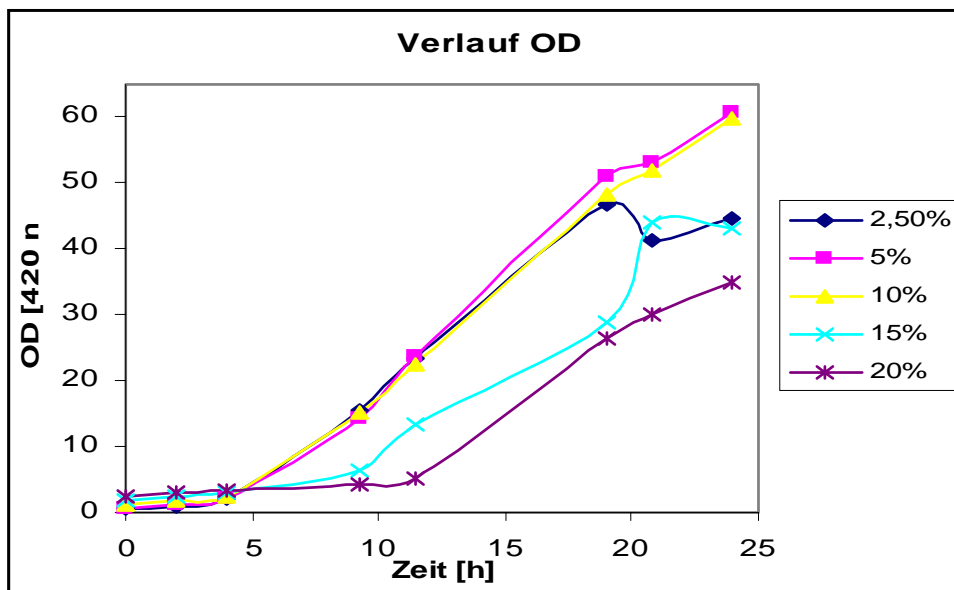


Fig. 41: Verlauf der optischen Dichte bei Vorversuch 3

Aus Abb. 41 zeigt sich ein sehr rascher Anstieg der optischen Dichten bei Silagesaftkonzentrationen von 2,5, 5 und 10 Volumsprozent. Bereits nach rund 5 Stunden ergibt sich eine deutliche Zunahme der optischen Dichten bei diesen Konzentrationen. Das bakterielle Wachstum geht in seinen exponentiellen Bereich über. Auf der anderen Seite zeigt sich bei sehr hohen Saftzugaben (15 bzw. 20 % v/v) eine dramatische Verzögerung zu Beginn der Fermentationen; die log – Phasen dauern hier signifikant länger als bei der vergleichbaren Fermentation mit reinem KÜng – Medium (siehe Abb. 37).

Diese beiden höchsten Konzentrationen kamen deshalb nicht in die engere Wahl; sie zeigen negativen Einfluss auf den Fermentationsverlauf. Der Vergleich zwischen 5 und 10 Volumsprozentansätzen auf der einen und 2,5 Volumsprozentansätzen auf der anderen Seite zeigt, dass ein Einbruch in der Wachstumskurve bei 2,5 % rascher eintritt als bei 5 bzw. 10 % v/v (rascheres Verbrauchen der Nährstoffquellen aus dem Saft).

Die beste Ausnützung der positiven Eigenschaften des Silagesaftes auf den Fermentationsverlauf ist demnach bei 5 bzw. 10 Volumsprozenten Saftzusatz gegeben, eine genaue Analyse der kinetischen Daten (besonders bezüglich der spezifischen Wachstumsgeschwindigkeit) zu Beginn der Fermentation brachte leichte Vorteile für einen Volumsanteil von 5 % zu Tage, weshalb auch diese Konzentration im folgenden *scale – up* Versuch (größerer Maßstab des Bioreaktors) zur Anwendung gelangte.

9.3.5 Versuch im Bioreaktor

Anders als bei den vorhin beschriebenen Schüttelkolbenfermentationen ergibt sich im Bioreaktor die Möglichkeit, während des Prozesses korrigierend auf auftretende negative Einflüsse zu reagieren (z.B.: Korrektur des pH – Wertes, Verbesserung des Sauerstoffeintrages durch Änderung der Begasungsraten bzw. der Rührerdrehzahl). Des weiteren ist ein solcher Prozess durch online – Erfassung signifikanter Prozessparameter (z.B.: Verfolgung von Temperatur, pH-Wert, Gelöstsauerstoffkonzentration usw.) leicht makroskopisch erfassbar.

Der hier beschriebene Versuch wurde, ebenso wie die in diesem Bericht beschriebenen Fermentationen mit reinem Küng – Medium sowie grünem Grassaft, in einem 2 Liter Bioreaktor durchgeführt. Gleich wie die beiden anderen Fermentationen, wurde auch hier eine Inoculumstärke von 10 % eingesetzt, die Zugabe von mineralischen Bestandteilen (Phosphatpuffer, Mineralsalze, Stickstoffquelle Ammoniumsulfat) erfolgte nur einmal zu Beginn des Prozesses (Batch – Verfahren); das Substrat Glucose wurde bei Bedarf zugesetzt (Fed – Batch), um eine ausreichende Versorgung mit ca. 10 g/l zu gewährleisten. Allfällige pH – Korrekturen erfolgten, wenn nötig, über Zusatz von Natriumhydroxid (10 %) bzw. Phosphorsäure (10 %). Der Zusatz von mit Ammoniumhydroxid neutralisiertem Silagesaft erfolgte wiederum durch Sterilfiltration des Saftes zum Fermentationsmedium, wobei eine in Vorversuch 3 ermittelte Volumskonzentration von 5 % eingestellt wurde.

Abbildung 42 zeigt ein Gesamtbild der während des Prozesses zu den Zeitpunkten der Probenahmen herrschenden Substrat- und Produktkonzentrationen. Abbildung 43 veranschaulicht wiederum den Verlauf der Bildung des Produktes 3 – PHB im direkten Vergleich mit der Entwicklung der bakteriellen Restbiomasse, Abbildung 44 zeigt den jeweiligen Anteil des Produktes an der Gesamtbiomasse.

Eine Diskussion des Versuches im 2 Liter Bioreaktor ist in Abschnitt 9.3.5.1 gegeben.

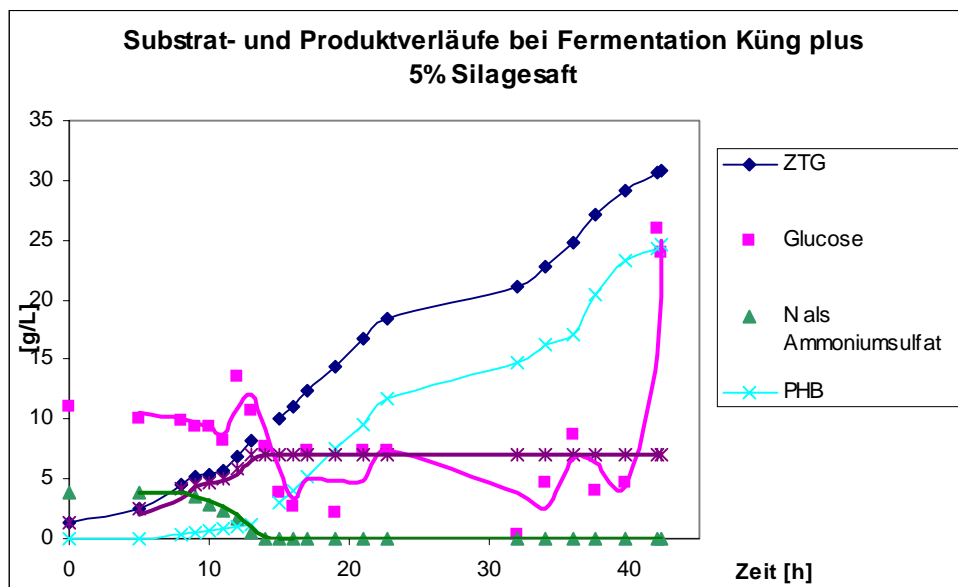


Fig. 42: Substrat- und Produktverläufe bei Fermentation in 2 Literreaktor (Medium: Küng + 5 % Silagesaft)

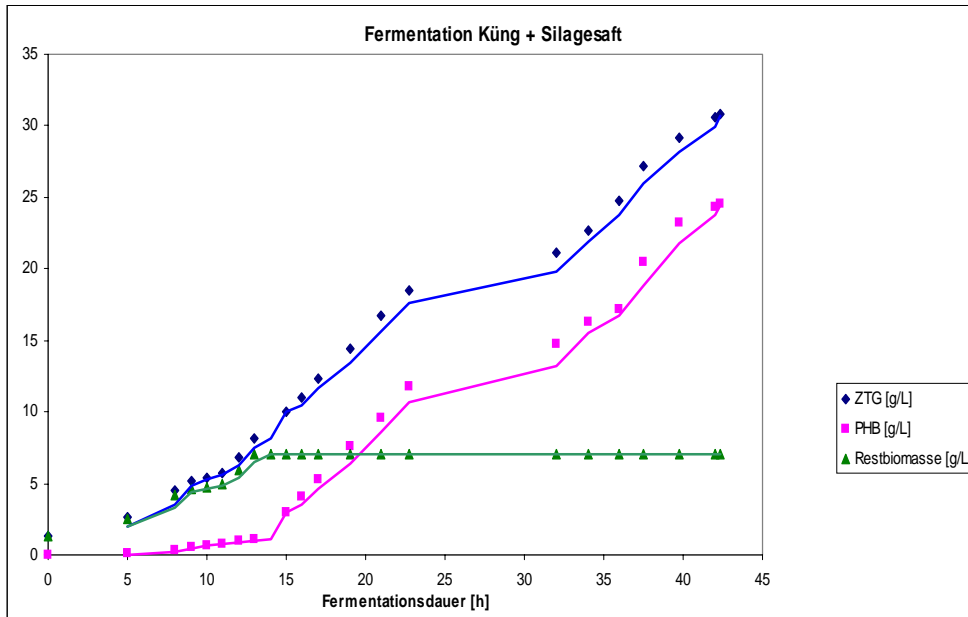


Fig. 43: Verlauf von Zelltrockengewicht, Restbiomasse und 3 – PHB

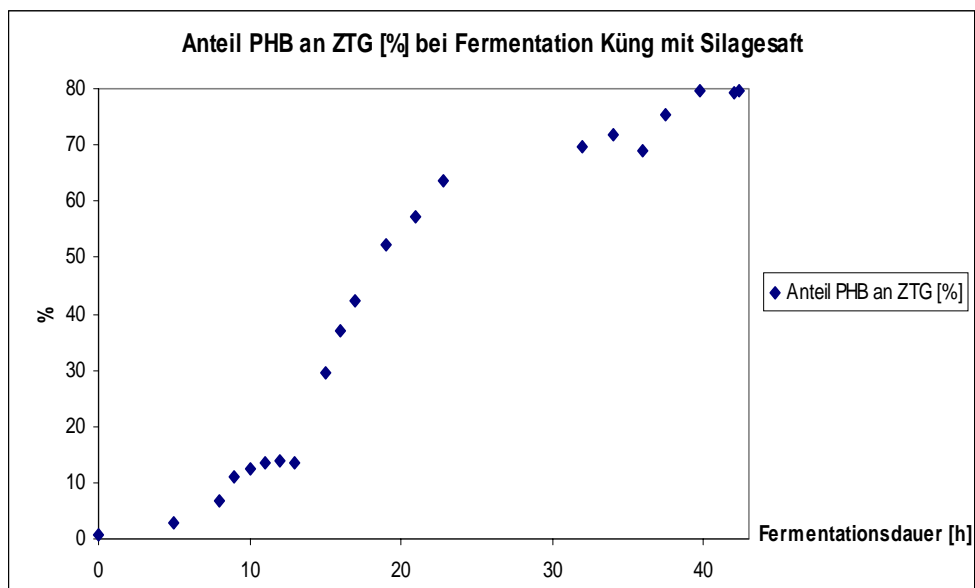


Fig. 44: Anteil von 3 – PHB an Zelltrockengewicht



9.3.5.1 Diskussion des Bioreaktorversuchs

Vergleichbar mit den aus den Vorversuchen erhaltenen Ergebnissen zeigt sich eine rasche Überwindung der lag – Phase (Anlaufphase) des bakteriellen Wachstums im Vergleich zur Fermentation mit reinem KÜng – Medium.

In diesem Prozess war es möglich, die Konzentration der bakteriellen Restbiomasse auf ca. 7 g/l im Vergleich zu ca. 4 g/l beim Versuch ohne Silagesaftzusatz zu erhöhen, was bedeutet, dass hier eine deutlich höhere Dichte von zur Polymerproduktion befähigten Zellen zur Verfügung steht.

Diese Zellen waren auch in der Lage, 3 – PHB bis zu einem Ausmaß von knapp 80 % der gesamten Zellmasse zu speichern, ein Wert ähnlich dem bei Verwendung von reinem KÜng – Medium.

Die höhere Konzentration an Restbiomasse führt jedoch zu einer deutlich höheren Ausbeute an Polymer, durch die beschriebene Beschleunigung des bakteriellen Wachstums erhöht sich die volumetrische Produktivität nochmals auf 0,58 g/l*h verglichen mit 0,29 g/l*h ohne Zusatz von Silagesaft. Diese volumetrische Produktivität stellt auch einen wesentlichen Faktor zur wirtschaftlichen Optimierung des Prozesses durch den Zusatz von Silagesaft dar. Beim Vergleich der spezifischen Produktivitäten ergibt sich eine Steigerung von 0,08 1/h gegen 0,07 1/h.

9.3.6 **Weitere Eigenschaften des Silagesaft Permeats**

Um festzustellen, welche Bestandteile des KÜngmediums teilweise durch Silagesaftzusatz ersetzt werden können, wurden folgende Limitationsversuche durchgeführt: Eine erste Reihe an Schüttelkolbenversuchen sollte das bakterielle Wachstums von *Ralstonia eutropha* – Kulturen in vollständigem KÜng – Medium mit dem Wachstum von Zellen in solchen Medien zeigen, in denen jeweils eine Komponente des Mediums fehlt. Die Verhältnisse der optischen Dichten der jeweiligen limitierten Ansätze nach 24 Stunden Fermentationsdauer sind in Abbildung 6 in einem Pareto – Chart aufgetragen und mit jenen Verhältnissen verglichen, welche sich aus einer Versuchsreihe ergaben, bei der die fehlende Komponente durch Zusatz von 1 Volumsprozent von nicht ultrafiltriertem Silagesaft ersetzt wurde. Die Sterilisierung des Silagesaftes erfolgte hier nicht durch Sterilfiltration, sondern durch Hitzesterilisierung.

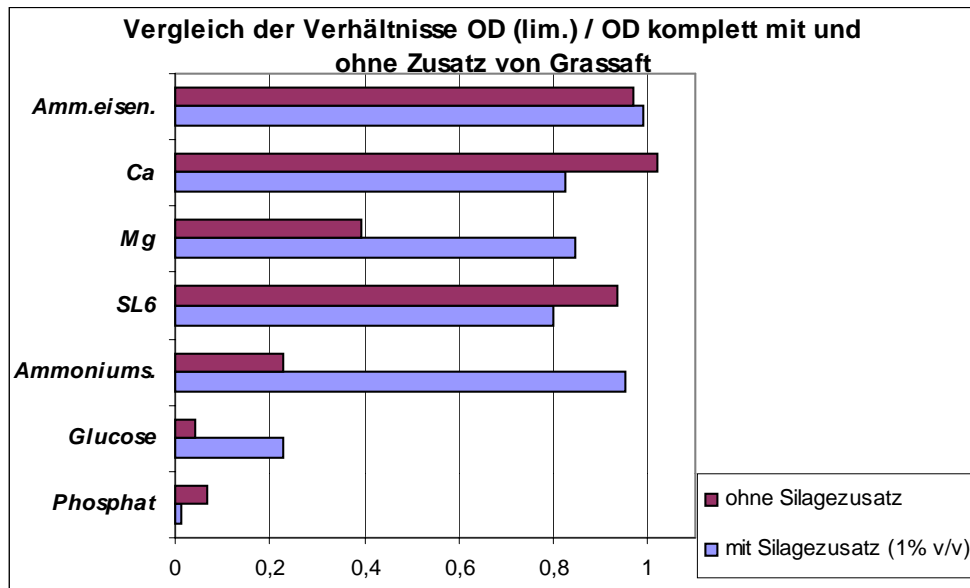


Fig. 45: Pareto – Chart

Abbildung 45 zeigt eine hohe Ersetzbarkeit der anorganischen Stickstoffquelle Ammoniumsulfat durch die dem Silagesaft immanenten stickstoffhaltigen Anteile.

Die Verwertbarkeit von Kohlenstoffquellen des Silagesaftes zeigt sich im zweiten Balkenpaar von unten, allerdings ist die Konzentration der vorhandenen Zucker bei weitem nicht ausreichend, um für eine genügende Versorgung mit Kohlenstoffquelle zu sorgen.

Anorganischer Magnesiumzusatz kann laut Graphik weitgehend ausgeglichen werden, da anscheinend Magnesiumanteile aus dem Silagesaft (Chlorophyllreste?) von den Zellen gut verwertet werden können.

Kein Ansteigen der optischen Dichte wurde beobachtet, wenn man phosphatfreies Medium mit Silagesaft versetzt. In beiden Fällen (mit und ohne Zusatz von Silagesaft) konnte sich kein optimaler pH – Wert im Medium einstellen.

9.4 Diskussion – GJ und SJ Permeat als Fermentationspromotor

9.4.1 Vergleich Fermentation mit GJ-Permeat und Fermentation ohne Zusatz

Wie man anhand Tabelle 87 erkennen kann, gleichen sich die Daten von erhaltenem Zelltrockengewicht bzw. produziertem PHB sehr genau bzw. stimmen die jeweils über die gesamte Fermentationsdauer berechneten Ertragskoeffizienten (Y) gut überein. Der Unterschied zwischen den beiden Fermentationen ist erkennbar anhand der kinetischen Daten, wie zum Beispiel der volumetrischen Produktivität. Der höhere Wert für die Fermentation mit Grassaft ist auf die kürzere Fermentationsdauer zurückzuführen. Wie man anhand der beiden Abbildungen erkennen kann, ist bei der Fermentation mit Grassaft Permeat das Ende der Wachstumsphase – also die Limitierung der Stickstoffquelle – um acht Stunden früher erreicht als bei der Vergleichsfermentation. Die lag-Phase ist deutlich verkürzt und das exponentielle Wachstum beginnt damit früher. Das bedeutet, die Auswirkung der Zugabe des Graspresssaftes liegt vor allem in einer Verkürzung der Fermentationsdauer, speziell der Wachstumsphase. Durch die Inhaltsstoffe der Supplementes ließ sich, wie man anhand er Ertragskoeffizienten erkennen kann, nicht mehr Biomasse erzielen noch die absolute Menge an produziertem PHB erhöhen.

9.4.2 Diskussion der Versuche mit SJ-Permeat Zusatz

Der Einsatz von Silagesaft als Zusatz zum Minimalmedium nach Küng zeigt sich positiv durch Beschleunigung des Zellwachstums, der Bildung höherer Zellkonzentrationen und dadurch zu einer enormen Steigerung der volumetrischen Produktivität in der Herstellung von 3-Polyhydroxybutyrat durch *Ralstonia eutropha*. Unter gleichen Fermentationsbedingungen konnte durch Einsatz von 5 % v/v Silagesaft die **doppelte volumetrische Produktivität** erreicht werden.

Es darf nicht vergessen werden, dass es sich bei dem beschriebenen Prozess im 2 Liter – Maßstab um eine reine **Modellfermentation** als prinzipielle Machbarkeits- und Kinetikstudie zur Verwendung von Silagesaft als Fermentationszusatz handelt. Interessant wäre deshalb in Zukunft die Durchführung von weiteren Fermentationen mit Silagesaftzusätzen, etwa die wiederholte Zugabe von kleinen Portionen während der Wachstumsphase zur Erreichung von noch höheren Zelldichten und höheren Produktausbeuten. Diese Möglichkeit sowie die Entwicklung von kontinuierlichen Zulaufstrategien würde ebenfalls zu einer weiteren Effizienzsteigerung des Prozesses führen, stellt allerdings einen beträchtlichen Zeit- und Kostenaufwand dar. Abb. 42 lässt erahnen, dass intensive Befassung mit einer Optimierung des Gesamtmediums (Küng plus Silagesaftanteil) bezüglich der Reduzierung bzw. Entfernung von Bestandteilen des Küng – Mediums einen weiteren Fortschritt bedeuten könnte.

9.5 Teilentproteiniertes GJ und SJ als Produkt einer Grünen Bioraffinerie im Bereich industrieller Fermentationen

Die ausgewählten Permeate eines Graspresssafts und eines Silagesaftes, repräsentieren zwei Produkte aus der "Grünen Bioraffinerie". Die Forschungsergebnisse im Schüttelkolben-Maßstab zeigen, dass ein 5 %iger v/v Zusatz von diesen Permeaten die beste Wirkung auf das Wachstum von *Ralstonia eutropha*, typischen PHA- produzierenden Mikroorganismen, ausüben. Die Firma *Monsanto* hat in den Achtziger Jahren mit diesen Mikroorganismen PHA-Produktion durchgeführt.

Die präsentierten Fermentationsergebnisse zeigen, dass die zugesetzten Säfte sehr positiv auf das Wachstum von Mikroorganismen wirken. Es wurde auch klar gezeigt, dass die zugesetzten Säfte keine wesentliche Rolle bei der Materialbilanz spielen. Der Zuwachs von Restbiomasse bei der Fermentation mit Silagesaft Permeat ist größtenteils anorganischem Stickstoff aus der Ammoniaklösung zuzuordnen, welche für die Saftneutralisation zugesetzt wurde.

Daher können keine großen Ersparnisse durch "echte" N- und C- Substrate mit zugesetzten Säften erwartet werden. Aber, wie gezeigt werden konnte, beeinflussen die Säfte die Produktivität der gesamten Prozesse positiv.

Um die Ergebnisse besser vergleichen zu können, wurde das Arbeitsvolumen der Fermenter für die Produktion von 1000 Kilogramm PHA pro Jahr ausgerechnet. In der Produktion ist es üblich, dass ein Jahr 11 Arbeitsmonate hat (bzw. 8000 Stunden). Es wurden 12 Stunden zwischen zwei Produktionschargen zur Fermenter-Vorbereitungen eingeplant.

Die Ergebnisse zeigen, dass man das Fermentervolumen von 450 Liter nur durch GJ bzw. SJ Permeatzusätze auf 370 bzw. 230 Liter reduzieren kann. Dies könnte sich unmittelbar auf die Investitionskosten auswirken.

Es besteht daher die realistische Chance, dass derartige Permeate, auch wenn aus dem Silagesaft die Milchsäure entfernt wurde, als Zuschlagstoffe in der Fermentationsindustrie



Eingang finden könnten. Üblicherweise werden heute in kleinerem Maßstab Hefeextrakt oder Pepton eingesetzt. In großtechnischen Anlage kommt meist Corn Steep Liquor (CSL) (= Maisquellwasser) zum Einsatz. Dieses CSL, dass primär ein Importprodukt ist, könnte durch GJ bzw. SJ Permeate, so sie gleichbleibende Qualität aufweisen, ersetzt werden.

10 HERSTELLUNG VON MILCHSÄURE UND DERIVATEN AUS SILAGEPRESSSÄFTEN – MODUL 4

10.1 *Einleitung*

Im letzten Jahrzehnt ist das Interesse an der Produktion von Milchsäure merklich gestiegen. Mögliche Wachstumsmärkte im Polymerbereich und im Chemikaliensektor haben die Aufmerksamkeit vieler Firmen nach sich gezogen. Milchsäure könnte in naher Zukunft eine wichtige neue bio-organische "Plattform-Chemikalie" werden, ähnlich wie das derzeit Ethylen (Ethen) in der Petrochemie ist.

Milchsäure (MS), fermentativ gewonnen aus nachwachsenden Kohlenhydrat reichen Rohstoffen hat das Potenzial eine der wichtigsten Commodity Chemikalien zu werden. MS kann genutzt werden, um biologisch abbaubare Kunststoffe, oxygenierte Chemikalien, umweltfreundliche Lösungsmittel, Pflanzenwachstumsregulatoren und andere spezielle Chemikalien herzustellen. Dieser Grundstoff stellt also die Grundlage für eine diverse Prozessindustrie mit hoher Wertschöpfung dar.

Bei diesem Projekt konzentrierte sich die Forschungstätigkeit auf die kostengünstige Produktion von Milchsäure durch Silierung zuckerreicher Wiesengrünmasse unter Anwendung von Starterbakterien.

Die für eine österreichische Grüne Bioraffinerie zunächst interessantesten Milchsäureprodukte sind in den folgende Kapiteln beschrieben. Danach folgt die Darstellung der Projektergebnisse der Saisonen 2000 und 2001 und die Beschreibung der Implikationen auf die zukünftigen Arbeiten (Forschungsstrategie).

10.2 *Herstellung von Ethyllactat*

Ethyllactat entsteht durch die Veresterung von Milchsäure mit Ethanol. Es ist ein für viele Zwecke verwendbares und dadurch sehr wertvolles Produkt.

Eigenschaften:

- ⊘ biologisch abbaubar
 - ⊘ ungiftig
 - ⊘ ausgezeichnetes Lösungsmittel
 - ⊘ geringe Flüchtigkeit
 - ⊘ hoher Siedepunkt
- (Holten 1971)

Ethyllactat wurde 1844 von Lepage entdeckt. Die ersten kommerziellen Anwendungen begannen kurz vor dem ersten Weltkrieg als Lösungsmittel für Zelluloseverbindungen.

1910 wurde das Produkt unter "Lactonal" eingetragenes Markenzeichen von Boehringer. Anfang der 20er Jahre wurde von Du Pont Ethyllactat als Lösungsmittel für Nitro Zellulose – Autolacke eingesetzt, was eine große Einsparung in der Produktion bedeutete, da die Trocknungszeit jetzt wenige Stunden betrug, jedoch herkömmliche Lacke mehrere Tage trocknen mussten.

Die Produktion war im Vergleich zu Ethylenglykol, einer Substanz mit ähnlichen Eigenschaften, zu teuer und so konnte sich Ethyllactat trotz seiner hervorragenden Eigenschaften als Lösungsmittel für Nitrozellulose nicht so richtig durchsetzen.

Die Herstellung beruht auf destillativen Verfahren. Milchsäure wird mit Ethanol im Überschuss erhitzt, wobei Ethyllactat und Nebenprodukte entstehen. Danach wird über eine Destillation zunächst Ethanol und Wasser als Azeotrop abgenommen und das Ethanol rückgewonnen, danach wird reines Ethyllactat abdestilliert. Weitere Chancen, um die mögliche Rückführung des Ethanols zu verbessern bzw. Nebenprodukte im Sumpf zu halten bietet auch Pervaporation (Datta 1998). Vakuumdestillation, bei der dann nicht so hohe Temperaturen notwendig sind, könnte zur Energieeinsparung beitragen. Fig. 46 zeigt das Verfahren einer Pervaporation.

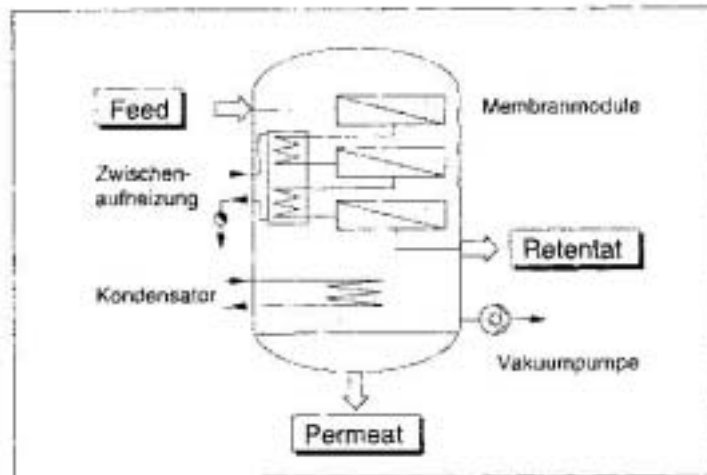


Fig. 46: Schema einer Pervaporationsanlage (Membranverfahren 2001)

10.2.1 Produktbeschreibung – Ethyllactat

Wie bereits oben erwähnt, handelt es sich bei Ethyllactat um ein hervorragendes Lösungsmittel, z.B. für Nitrozellulose mit dem großen Vorteil, dass es biologisch abbaubar und ungiftig ist (im Gegensatz zum schädlichen Ethylenglykol – siehe Weinskandal). Die letale Dosis von Glykol bei 50 % (LD_{50}) der Ratten liegt bei 4.7 g/kg Körpergewicht, außerdem darf ein MAK (maximale Arbeitsplatzkonzentration) Wert von 10 ml/m³ nicht überschritten werden (MERCK 1999).

10.3 Herstellung von Dilactid

Wenn zwei Milchsäure Moleküle sich zu einem ringförmigen Ester zusammenschließen, ist die resultierende Verbindung das Dilactid. Die Darstellungsmethoden in der Literatur (Holten 1971) werden prinzipiell, mit leichten Variationen bezüglich Vakuum und Temperatur, wie folgt beschrieben:

Die Milchsäure wird bei Normaldruck auf ca. 120° C erhitzt, wobei Wasser verdampft. (Bei der Reaktion entsteht Wasser, wenn man dieses entfernt, verschiebt sich das Gleichgewicht in Richtung des Produkts). Die Temperatur wird weiter auf ca. 140° C erhöht und gleichzeitig

ein Vakuum von 10 mm Hg (Millimeter Quecksilbersäule) erzeugt. Auf diese Weise wird das Wasser entfernt, danach wird das entstandene Dilactid bei nochmaliger Druckverminderung auf ca. 5 mm Hg abdestilliert und kondensiert.

Mit schwach basischen Katalysatoren wie z.B. Zn-Staub kann man Ausbeuten von 90 % erreichen.

Die GBR Österreich Projektpartner B. u. M. Kamm (Kamm, Kamm et al. 2000) haben ein Verfahren entwickelt, das die Möglichkeit bietet, aus komplexen milchsäuren Lösungen mit Aminen (è Aminiumlactate) einen organischen kristallinen Feststoff mit niedrigem Schmelzpunkt zu erzeugen.

Die Kristalle sind das Ausgangsmaterial für einen neuen, gegenüber herkömmlichen Verfahren verkürzten Syntheseweg zum Dilactid, dem wichtigsten Zwischenprodukt bei der Herstellung von Polylactiden. Aminiumlactate eignen sich auch sehr gut als Basismaterial für weitere chemische Synthesen und könnten außerdem auch als Wirkstoff oder als Matrixmaterial in der pharmazeutischen und kosmetischen Industrie eingesetzt werden. Aminiumlactat ist als Feststoff gut handhabbar und lagerfähig. Nach der Erzeugung des Dilactids kann das Amin z.B. über die Erzeugung eines Monosulfats recycelt werden.

Weiterer Forschungsbedarf wurde allerdings zu folgenden Punkten identifiziert:

- ⊘ Notwendige Eingangsreinheit der Silagesaft-Milchsäure um befriedigende Ausbeuten zu erreichen.
- ⊘ Rückgewinnung des Amins aus Nebenprodukt haltigen Sumpfen.
- ⊘ Bei dem Verfahren kommt konzentrierte Schwefelsäure zum Einsatz und das könnte in weitere Folge zu Umweltbelastungen führen, da die entstehende große Anzahl an Salzen sehr schwer wiederverwertet werden kann und somit als Sondermüll deponiert werden müsste.

10.3.1 Produktbeschreibung Polylactid (PLA)

Polylactid entsteht durch Polymerisation des oben erwähnten Dilactid. Dieses Polymer hat Eigenschaften wie Kunststoff (z.B. PE od. PS), es ist aber biologisch abbaubar. PLA wird beispielsweise von der Firma Cargill Dow kommerziell hergestellt. Die Erzeugung benötigt 20-50 % weniger Energie aus fossilen Ressourcen, als die Produktion von Kunststoffen aus Erdöl, wenn man den Verbrauch an Energie für die Herstellung der benötigten Ausgangsstoffe ebenfalls berücksichtigt. Das Verfahren selbst ist jedoch energieaufwendiger als die Verfahren der petrochemischen Konkurrenz, die jedoch Jahrzehnte Vorsprung an Forschung und Entwicklung hat. Unternehmensvertreter von Cargill Dow erwarten, dass der Energiebedarf weiter sinken wird, da die Verfahren laufend verbessert werden (Gerngross und Slater 2000).

Interessant ist auch ein Vergleich der Entsorgungskosten verschiedener Materialien am Beispiel der Firma GUT (GUT 2002):

Tab. 89: Beispiel für Müllentsorgungstarife (GUT 2002)

| Packstoffgruppe | GUT Lizenztarife ab 07/2001 inkl. Abholung |
|---|--|
| | Betrag in € pro 100 kg |
| Wellpappe | 7.78 |
| Papier | 18.17 |
| LDPE Folien | 47.96 |
| PET Flaschen | 67.00 |
| PS, PP | 90.84 |
| Verbund PE-Papier | 18.17 |
| biogene Verpackungen (z. B. PLA) | 18.17 |
| Glas | 8.50 |
| Holz | 2.18 |
| Ferrometall | 32.70 |
| Aluminium | 41.42 |

Im Vergleich zu Polypropylen (PP), Polyethylenterephthalat (PET) und Polystyrol (PS) ist die Entsorgung von biogenen Kunststoffen erheblich günstiger, obwohl auch bei biologisch abbaubaren Kunststoffen ein mögliches Recycling ins Auge gefasst werden sollte, da es sich doch um wertvolle Stoffe handelt.

10.4 Weitere Produkte aus Milchsäure mit Relevanz für die Grüne Bioraffinerie

Für biotechnologisch erzeugte Milchsäure befindet sich im ländlichen Raum ein breites Anwendungspotenzial. Als Säuerungs- – und Konservierungsmittel, als Reinigungs- – und Desinfektionsmittel, sowie als Neutralisationsreagenz. Außerdem bestehen Verwendungsmöglichkeiten als Futtermittelzusatz (Feed-Grade-Milchsäure) oder ökologisches Enteisungsmittel.

10.4.1 Milchsäure als Säuerungs- - und Konservierungsmittel

Wirtschaftsgetreide muss nach der Ernte getrocknet, oder, bei Feuchtegehalten oberhalb 14 %, konserviert werden, um Qualitätsverluste zu vermeiden. Milchsäure kann hier statt der bisher angewendeten Propionsäure als Konservierungsmittel eingesetzt werden. Zur Einschätzung des Konservierungserfolges wurden sowohl chemische (Zucker, Stärke, Rohprotein, TM, pH-Wert) als auch mikrobiologische Parameter (Zahl der Hefen und Schimmelpilze) herangezogen. 90 %ige Milchsäure ist bei gleicher Aufwandmenge ebenso zur Konservierung geeignet wie 90 %ige Propionsäure jedoch ist Propionsäure wesentlich giftiger als Milchsäure, nach MERCK (MERCK 1999) liegt die letale Dosis LD₅₀ von Propionsäure bei 50 % der Ratten bei 39 mg/kg Körpergewicht, für Milchsäure bei 3543 mg/kg). Die Inhaltsstoffe bleiben erhalten, die Zahl der Schimmelpilze und Hefen liegt nach einjähriger Lagerung unter einem Schwellenwert für Verderbererreger von $2,0 \cdot 10^4$ KbE/g FM (Koloniebildende Einheiten pro Gramm Frischmasse) (Idler 1994), (Idler und Fuchs 1995).

Auch bei Buchweizen konnte die konservierende Wirkung von Milchsäure nachgewiesen werden.

Bei Grünhanf bewirkt der Zusatz von Milchsäure, dass der Hanf bis zu einem Jahr als Silage lagerfähig bleibt, und dass die Langfasern eine besondere Güte erreichen. Hier zeigt sich, dass Technologien zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe voneinander profitieren können, denn Bauplatten, die aus diesen besonderen Langfasern gefertigt wurden, zeichnen sich durch eine hohe Biegefestigkeit aus (Ehlert, Idler et al. 1997). Das Verfahren ist als Patent angemeldet. Das Material kann darüber hinaus fast jede gewünschte Form annehmen, ist leicht und umweltgerecht zu entsorgen und dadurch eine echte Alternative für Polystyrol.

10.4.2 Milchsäure als Reinigungs- – und Desinfektionsmittel

Der Einsatz von Desinfektionsmitteln in der landwirtschaftlichen Tierhaltung dient dem vorbeugenden Gesundheitsschutz oder der Bekämpfung von Infektionskrankheiten und anzeigepflichtigen Tierseuchen. Es werden sowohl alkalische als auch saure und neutrale Mittel verwendet. Bei allen Produkten muß entsprechend dem Gesetz die biologische Abbaubarkeit in aquatischen Systemen gewährleistet werden. Für die Verwendung als Reinigungs- –und Desinfektionsmittel im Bereich der Tierhaltung weist Milchsäure besonders günstige bakterien- und pilzhemmende Eigenschaften auf (Steiger 1986). Ihr Einsatz scheint z.B. in der Euterpflege sinnvoll zu sein.

10.4.3 Milchsäure als Futtermittelzusatz

Fütterungszusätze, die den Verdauungsablauf stabilisieren, haben einen hohen Stellenwert, da durch sie verhindert werden kann, dass bei Jungtieren zu hohe Aufzuchtverluste entstehen. Besonders bei Ferkeln kommt es nach dem Absetzen durch einen zu hohen pH-Wert im Magen zu einer verminderten Eiweißverdauung und damit verbunden zu einer Roheiweißanhäufung im Dünndarm. Das hat zur Folge, daß es zu Durchfallerkrankungen kommt. Dass eventuell eine weniger eiweißintensive Ernährung das Problem ebenso lösen könnte, liegt wahrscheinlich nicht im Interesse der Wirtschaft, da der Masterfolg dadurch geringer würde.

Auch als Trinkwasserzusatz hat sich Milchsäure bewährt. Besonders in der Geflügelaufzucht kann durch Absenken des pH-Wertes des Wassers und die damit verbundene Hemmung des Bakterienwachstums eine Stabilisierung der Tiergesundheit erreicht werden. Auf Grund der geringeren Korrosivität der Milchsäure im Vergleich z.B. zur ähnlich wirksamen Ameisensäure wird das Trinkwassersystem nicht so in Mitleidenschaft gezogen.

10.4.4 Milchsäure als Neutralisationsmittel

In Genehmigungsverfahren für die Neueinrichtung von Tierställen bzw. für den Umbau von Tieranlagen gibt es in Abhängigkeit von der Tieranzahl Auflagen für Maßnahmen zur Senkung der Ammoniakemission. Laut DI Schretzmayer von der Bezirkshauptmannschaft Mödling, zuständig für genannte Genehmigungsverfahren, müssen z.B. Hühnerställe ab einer Anzahl von 48.000 Legehennen einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) unterzogen werden in deren Rahmen dann auch die Belastung durch Ammoniak geprüft wird. Besonders relevant ist es, wenn die Ställe innerhalb von 300 Meter an Bauland oder an Wasserschutzgebiete grenzen.

Dass es für Ammoniak, ebenso wie für das klimarelevante Methan noch keine verbindlichen Grenzwerte gibt, hat verschiedene Ursachen. Zum einen gibt es noch keine quantifizierbaren Aussagen über die Auswirkungen von Ammoniak und Methan auf die Umwelt (außer als

Treibhausgas), andererseits fehlt es an geeigneten, routinemäßig einsetzbaren Messverfahren für diese Gase (Berg und Hörnig 1997).

Zur Verminderung der Ammoniak- und Methanemission wurde Milchsäure als Güllezusatz erfolgreich eingesetzt. Das Ansäuern der Gülle auf pH-Werte um 4,5 verschiebt das Ammoniak/Ammonium Gleichgewicht zu Gunsten der Ammoniumionen, so daß es zu keiner Freisetzung von Ammoniak kommt. Untersuchungen an Rinder –und Schweinegülle haben gezeigt, dass die Wirkung der derzeit zugesetzten Salpetersäure durch Milchsäure noch verstärkt werden konnte. Abgesehen davon, dass Salpetersäure wieder eine Menge Nitrat in das System einbringt, konnte, im Gegensatz zu Salpetersäure, bei Zusatz von Milchsäure keine Methanfreisetzung mehr registriert werden. Schon bei pH-Werten ab 5,0 kommt die Methanfreisetzung zum Erliegen (Berg und Hörnig 1997). Inwieweit Veränderungen in der Mikroflora der Methansäurebakterien durch den Zusatz von Milchsäure dafür die Ursache ist, oder ob es sich um Substratveränderungen handelt, bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten.

10.5 Zu erwartende Preise von Milchsäureprodukten

Milchsäure birgt laut internationaler Meinung enormes Potenzial als zukünftige Plattform-Chemikalie. Dementsprechend ist man auch bestrebt die Produktionskosten und damit die Verkaufspreise für Milchsäureprodukte massiv zu senken. Für eine Grüne Bioraffinerie ist es daher von großer Bedeutung einerseits Nischenmärkte (Öko-Markt) zu finden wo Weltmarkverhältnisse nicht direkten Einfluss auf den erzielbaren Preis haben und andererseits aber dennoch zu versuchen zukünftige Weltmarktpreise zu kalkulieren und die Herstellungskosten dieser zukünftigen Entwicklung anzupassen.

10.5.1 Polymere aus Milchsäure (PLA)

Für die Marktchancen in der EU von Polymeren aus Milchsäure (PLA) wurden von H. Danner (IFA-Tulln) folgende Daten recherchiert (Danner 1998):

Tab. 90: Marktpotenzial von Kunststoffen in der EU bis 2002 (Danner 1998)

| Produktkategorie | 1995 | 2000 | 2005 |
|--|------------|------|------|
| | [1000 t/a] | | |
| Gesamt Abbaubare Kunststoffe, Marktpotential | 105 | 179 | 349 |
| Abbaubare Kunststoffe: Erwarteter u. tatsächlicher Markt | 56 | 145 | 275 |
| Biopolymere Erwarteter u. tatsächlicher Markt | 6 | 80 | 200 |
| Poly(lactic acid) Polymere (PLA) | 0 | 40 | 107 |

Polymere auf Milchsäurebasis sind heute „low volume – high price“ – Produkte. Im Handel erhältliche PLA-Produkte werden um € 500,00/kg angeboten. Es überrascht daher nicht, dass derzeit vorrangig medizinische Anwendungen bekannt sind (Danner 1998).

In den USA wurde zu Beginn des Jahres 2002 eine US \$ 300 Mio. PLA (Poly Lactic Acid) Anlage fertiggestellt und in Betrieb genommen (Cargill Dow 2002). Die Anlage soll unter Vollast ca. 140000 t/a PLA produzieren. Betrieben wird diese Fabrik durch ein Joint Venture der Firmen Dow u. Cargill. Letzten eigenen Recherchen zufolge wurden Chargen aus einer früheren Pilotanlage für ca. € 3 /kg PLA Granulat (frei Rotterdam) verkauft.



Die Firma teilte allerdings mit, dass der Preis für ein PLA Basisprodukt in Zukunft auf ca. € 1,16 bis 1,50/kg fallen könnte. Der Rohstoff für die Milchsäurefermentation ist Maisstärkehydrolysat.

Anwendungsgebiete können künftig sein: Medizin, Controlled Liberation, Sustained release, Kleber, Folien für die Landwirtschaft, Verpackungen, Co-Polymeren für Pharmazie und Kosmetik.

10.5.2 Ethyllactat

Der Markt für Milchsäureester generell wird derzeit auf ca. 91.000 t/a geschätzt (Danner 1998). Da es sich bei Ethyllactat aber um ein ökologisches Lösungsmittel mit hohem Substitutionspotenzial handelt, sind zukünftige Märkte nur schwer abschätzbar.

Für durchschnittliches Ethyllactat kann derzeit ein Preis von ca. € 3,50/kg (Purac 2001), bei Abnahme von ca. 100 t/a, eingesetzt werden. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass Ethyllactat einen ähnlichen Preisverfall, wie PLA erleben wird. D.h. mit Ethyllactat könnte in Zukunft unter € 1,50/kg zu Erlösen sein. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde daher ein Preis von nur 1,17 €/kg Ethyllactat gewählt.

Neben den vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten und der Umweltfreundlichkeit von Ethyllactat, kann auch die Option der ökologischen Produktion des Ethanol hervorgehoben werden. Weltweit werden 93 % des Ethanol aus nachwachsenden Rohstoffen fermentativ hergestellt (60 % aus Zuckerrohr bzw. Zuckerrübe; 33 % aus Mais u. ä.). Die Weltproduktion wird zu ca. 65 % von Nord- und Südamerika abgedeckt. Europa trägt 15 % bei. In Europa wurden in jüngster Zeit neue Bioalkoholanlagen in Betrieb genommen (Frankreich, Niederlande, Spanien). Der Preis für Ethanol liegt ca. bei € 0,55/kg.

10.5.3 Milchsäure im "Low-Price" Segment (Feed Grade 50 bis 80 %)

Milchsäure im Bereich der Neutralisation, Futter- oder Gülleaufbereitung oder als Enteisungsmittel muss, trotz seiner höheren Umweltfreundlichkeit, mit low-price Produkten der Petrochemie konkurrieren. Nachdem hier eine Entspannung kurzfristig nicht in Sicht ist muss mit Preisen zwischen 0,44 und 0,66 €/kg gerechnet werden. Selbst eine Grüne Bioraffinerie kann allerdings bei einem derartigen Preisgefüge nur schwer mithalten. Daher wird im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen primär das Produkt "Ethyllactat" betrachtet.

10.6 Spezifische Ausgangssituation für das BBK-Projekt Grüne Bioraffinerie

Derzeit beschränkt sich die weltweite Forschung auf dem Sektor der Milchsäureproduktion allerdings fast zur Gänze auf Submerssysteme. Auch die Bioraffineriekonzepte in Deutschland und Dänemark forschen an der Verwertung des frischen Presssaftes (GJ) in derartigen Fermentationssystemen. Dieser Presssaft ist nicht lagerfähig und muss, so er nicht energieaufwendig pasteurisiert wird, innerhalb einer Ernteperiode verbraucht werden. Zusätzlich kann es sich bei diesen Säften immer nur um einen Zuschlagsstoff von ca. 20 % zu üblichen Fermentationsmedien, wie z.B. Roggenschrot Hydrolysat handeln. (Kamm, Kamm et al. 2000)

In Österreich befasst sich das IFA-Tulln (H. Danner) seit einigen Jahren mit der fermentativen Erzeugung von Milchsäure. In einem kontinuierlichen Verfahren wird z.B. Stärkehydrolysat (Dextrose) gemeinsam mit entsprechenden Zuschlagsstoffen zu Milchsäure umgewandelt. Die Abtrennung erfolgt u. a. mittels Elektrodialyse. Die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens wurde im Rahmen einer Dissertation (Madzingaidzo 1999) allerdings als grenzwertig bezeichnet. Im Rahmen der selben Arbeit wurde auch versucht Milchsäure aus Eluaten von verschiedenen Silagen durch Elektrodialyse abzutrennen, was keine befriedigenden Ergebnisse brachte, auch wenn festgestellt wurde, dass Silagefermentation sicherlich eine der billigsten Methoden zur Erzeugung von Milchsäure darstellt. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen waren hier auf ein Einproduktsystem beschränkt.

Als Konklusion der Arbeiten des IFA-Tulln, auch beschrieben in (Madzingaidzo, Danner et al. 1999), muss zur Kenntnis genommen werden, dass die Abtrennung von Milchsäure aus inhomogenen Medien wie z.B. Silagesäften oder Lignocellulosehydrolysaten mittels Elektrodialyse bei derzeitigem Stand der Technik keine Zukunft hat.

Es existieren jedoch Verfahren die das Potenzial bergen eine kostengünstige Möglichkeit der Abtrennung von Milchsäure aus komplexen Medien darzustellen.

10.7 Entstehung der Milchsäure in Silage

In Modul 1-2 wurde beschrieben unter welchen Bedingungen Milchsäure im Rahmen der Grünen Bioraffinerie erzeugt werden soll. Durch Stammauswahl des IFA-Tulln konnten in den Saisonen 2000 und 2001 Silagen mit relativ hohem Milchsäuregehalt erzeugt werden.

10.8 Eigenschaften der Milchsäure

Milchsäure, 2-Hydroxypropionsäure, $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-COOH}$ mit einer Molmasse von 90,08 g/mol ist die einfachste Hydroxycarbonsäure mit einem asymmetrischen C-Atom. Sie kommt daher in einer racemischen (DL-Milchsäure) und in zwei optisch aktiven Formen vor (L(+) bzw. D(-)). Die Siedepunkte der reinen racemischen und der optisch aktiven Säuren lassen sich auch bei vermindertem Druck wegen der Neigung zur Bildung intermolekularer Ester nur sehr schwer bestimmen. Sie liegen vermutlich sehr eng beieinander. In der Literatur finden sich Werte zwischen 119° C und 123° C bei 16-20 mbar (Cramer 1995).

Milchsäure dissoziiert in wässrigen Lösungen in ein Proton (H^+) und in ein Lactat Anion (LA^-). Die Menge der dissoziierten Milchsäure ist durch den pK_a Wert bestimmt. Der pK_a Wert von Milchsäure beträgt 3,86 bei 25° C (bei 50° C ca. 3,89).

Fig. 47 zeigt wie viel % freie Säure in Abhängigkeit des pH-Wertes vorliegt. Natürlich handelt es sich bei Silagesaft um eine komplexe Substanz so dass diese Kurve nur sehr bedingt stimmen kann. Es wird noch zu zeigen sein, wie Titrationen des Puffersystems mit Aminen (Piperazin und Imidazol) zur Herstellung von Aminiumlactaten verlaufen. Sicher ist jedoch, dass durch pH-Wert Absenkung mit z.B. Schwefelsäure (H_2SO_4) auf $\text{pH} = 1,5$ freie Säure erzeugt werden kann, die dann für eventuelle Veresterungen zu Verfügung steht.

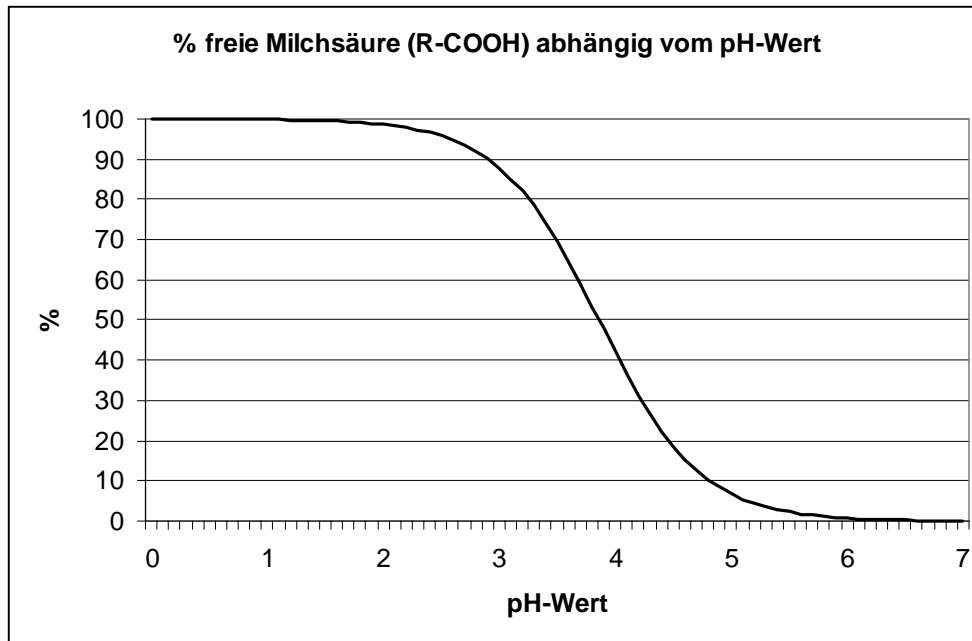


Fig. 47: Prozent freie Milchsäure (R-COOH) in Abhängigkeit des pH-Werts

Theoretisch liegt also bei pH 4 die Milchsäure im Silagesaft zu 42 % als freie Säure vor. Die Firma Purac vertreibt beispielsweise 80 % ige Milchsäure mit einem pH Wert von <2. Dies bedeutet, dass theoretisch 98 bis 99 % der Milchsäure als freie Säure vorliegt (Purac 2001). Durch das zusätzliche Vorliegen von Lactoylmilchsäure bzw. Oligomeren kann jedoch davon ausgegangen werden, dass nur ca. 89 % der Gesamtmilchsäure direkt (ohne Hydrolyse) mit einer starken Base titrierbar sind (Holten 1971).

Milchsäure ist durch ihre bifunktionelle Struktur (-OH, -COOH) prädestiniert für die interne Esterbildung. Einen ringförmigen Ester von 2 Milchsäuremolekülen nennt man Dilactid. Mit einem geeigneten Katalysator kann man dieses Dilactid in der Hitze zu Polylactid polymerisieren. Das Produkt hat ähnliche Eigenschaften wie die Kunststoffe aus der Petrochemie. Die Produkteigenschaften können durch Zusatzstoffe und Variation der Reaktionsbedingungen gesteuert werden. Ebenso kann man Copolymere (z.B. mit Glykolsäure) aus Milchsäure gewinnen (Kamm, Kamm et al. 2000), (Kamm und Kamm 1997), (Datta 1998).

Polylactid ist biokompatibel und wird in der Medizin als Implantatwerkstoff und Nähmaterial in den Körper eingebracht. Das Material ist biologisch abbaubar, das Polymer wird von Mikroorganismen lediglich zu CO₂ und Wasser umgesetzt.

10.9 Herstellung und Abtrennung von Milchsäure im Rahmen des BBK-Projekts

Bakterien vom IFA Tulln, wie bereits beschrieben, werden für die Silierung eingesetzt. Milchsäure wird erfolgreich in Größenordnungen bis 10 % d. TM Silage erzeugt (siehe Kapitel 6). Verschiedene Pressversuche zeigten, dass schon mit relativ niedrigen Abpressgraden beachtliche Milchsäureausbeuten zu erzielen sind. Unter Abpressgrad versteht man strenggenommen den Anteil gewonnen Wassers nach der Pressung im Verhältnis zur Wassermenge im Ausgangsmaterial. Im Presssaft aus Silagen sind neben der Milchsäure auch Proteine und Asche und an Zuckern vor allem Glucose und Fructose enthalten. Deswegen müssen zur Gewinnung reiner Milchsäure noch weitere Reinigungsschritte durchgeführt werden.

Im zweiten Halbjahr 2000 konnten Versuche mit milchsauren Silagepresssäften im Labor von B. Kamm, Forschungsstandort Teltow, Universität Potsdam (D), zur Herstellung von Ethyllactat und Aminiumlactaten durchgeführt werden. Am Inst. für Agrartechnik, Bornim-Potsdam (D) (Richter, Reimann) wurden Filtrationsversuche mittels Ultrafiltration und Nanofiltration als Vorreinigungsschritte durchgeführt. Bei befriedigendem Permeatflux konnten Feststoffe erfolgreich abgetrennt werden, ohne dass es zu sogenannten „fouling“ Prozessen gekommen ist.

10.9.1 Herstellung von Ethyllactat aus Silagepresssäften in Potsdam (D)

Zur Herstellung von Ethyllactat im Labor (Univ. Potsdam, D) wurde ein Silagepresssaft einer Bastardraygraswiese (Reingrasbestand) herangezogen. Fig. 48 zeigt die entsprechende Pressbilanz und Zusammensetzung der Edukte und Produkte. Die Pressung fand am 21. Sept. 2000 in Feldbach, Stmk. statt. Dies ist auch der Tag an der die Silageprobe genommen wurde. Allerdings wurde diese Silage bereits einmal am 3. Aug. 2000 beprobt. In dieser Probe konnten noch 9,5 % Milchsäure in d. TM und 13,3 % Zucker i. d. TM gemessen werden. D.h. es handelte sich ursprünglich um eine trockene, aber sehr hochwertige Silage, die mit "IFA-2" Stämmen angeimpft worden war. Durch die Lagerung nach der Probennahme hat wohl Veratmung von Zucker und Milchsäure stattgefunden.

Der Presssaft wurde in Graz auf 80° C erhitzt, um die Lagerfähigkeit zu erhöhen und dann nach Potsdam gebracht.

Fig. 49 zeigt die Zusammensetzung des Silagepresssaftes in % d. TM. Die Summe von 110 % ist auf die Messmethodik zurückzuführen und stellt keinen Fehler dar.

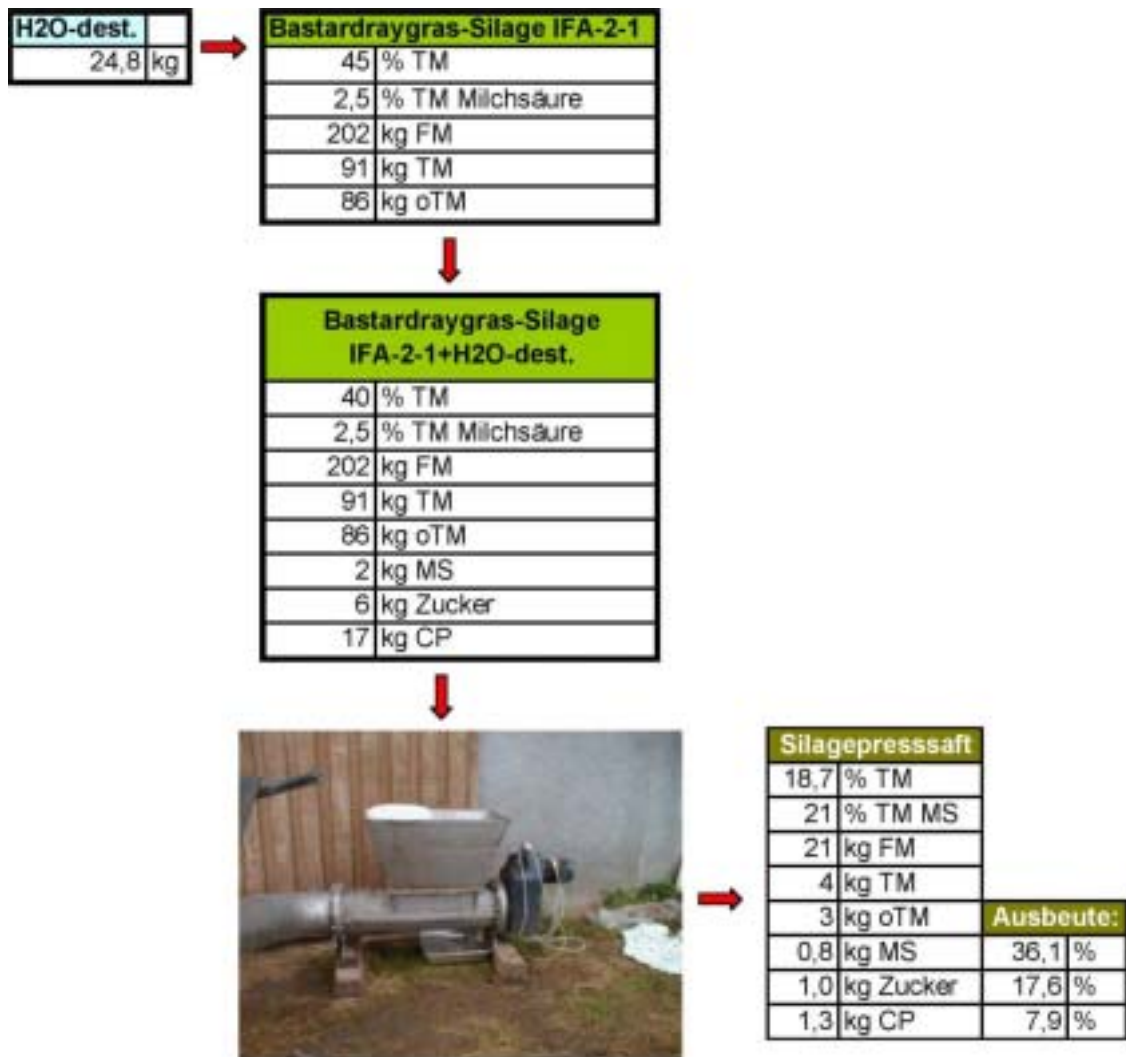


Fig. 48: Pressbilanz – Bastardraygrassilagepresssaft für Ethyllactatversuch 2000 (MS = Milchsäure; CP = Rohprotein)



Fig. 49: Zusammensetzung des Presssaftes in % d. TM

10.9.1.1 Aufbereitung des Silagepresssaftes mittels Ultrafiltration und Nanofiltration

Der oben beschriebene Silagepresssaft mit ca. 21 % Milchsäure in der TM (39,76 g/l) konnte am Inst. für Agrartechnik Bornim, Deutschland (ATB-Bornim) im Technikum mittels Ultrafiltration und Nanofiltration weiter aufbereitet werden. Hierzu wurde zunächst eine Ultrafiltrationsanlage mit keramischer Siliziumcarbid Membran (Fa. TAMI) verwendet.

Tab. 91: Kennwerte der UF-Membran zur Aufbereitung von SJ – ATB-Bornim (D)

| Bez. | Material | Trenngrenze [σm] bzw. [kD] | Kanaldurchmesser [mm] | Rohrlänge [mm] | Filterfläche [m ²] |
|----------|----------------|----------------------------|-----------------------|----------------|--------------------------------|
| SiC-0,05 | Siliziumcarbid | 0,05 bzw. 100 | 16 | 900 | 0,05 |

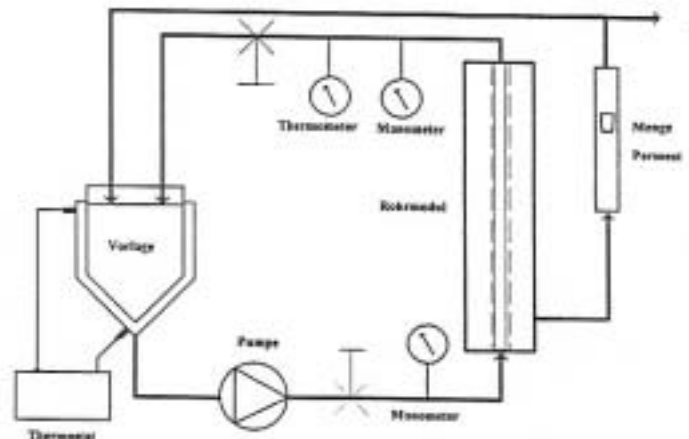


Fig. 50: Mikro bzw. Ultrafiltrationsanlage des ATB-Bornim

Es wurden 19 kg Presssaft vorgelegt und innerhalb von 80 Minuten ultrafiltriert (siehe Tabelle).

Tab. 92: Messwerte des UF – Versuchs – ATB-Bornim (D)

| Membran | Zeit | Temp. [°C] | Menge [ml/min] | Druck [bar] | |
|----------|-------|------------|----------------|-------------|--------|
| | | | | Zulauf | Ablauf |
| SiC-0,05 | 10:20 | 10,4 | 148 | 3,2 | 0 |
| | 10:50 | 24,0 | 160 | 2,5 | 0 |
| | 10:55 | 21,0 | 280 | 2,7 | 1 |
| | 11:20 | 28,6 | 218 | 2,1 | 1 |
| | 11:40 | | | | |

Der Flux von 178 l/m²*h zu Beginn und 262 l/m²*h am Ende scheint sehr befriedigend zu sein (Erwartungswert ca. 100 l/m²*h). Allerdings muss bezweifelt werden, dass derartige Werte im großtechnischen Maßstab auch erzielbar wären.

Folgende Massenbilanz kann hierfür aufgestellt werden:

| Silagepresssaft | | Retentat | |
|-----------------|-----------|----------|-----------------|
| 18,7 | % TM | 20,4 | % TM |
| 21 | % TM MS | 15,6 | % TM Milchsäure |
| 19 | kg FM | 4 | kg FM |
| 3,55 | kg TM | 0,82 | kg TM |
| 2,52 | kg oTM | 0,83 | kg oTM |
| 0,76 | kg MS | 0,13 | kg MS |
| 0,95 | kg Zucker | 0,17 | kg Zucker |
| 1,18 | kg CP | 0,27 | kg CP |

| Permeat | | Diskrepanz (Messfehler) | |
|---------|-----------------|-------------------------|---------------------------|
| 17,3 | % TM | SJ-Permeat-Retentat | |
| 15,2 | % TM Milchsäure | | |
| 15,0 | kg FM | 0,00 | kg FM 0,0 % |
| 2,60 | kg TM | 0,14 | kg TM 4,0 % zu wenig |
| 1,95 | kg oTM | -0,07 | kg oTM -2,7 % zu viel |
| 0,39 | kg MS | 0,23 | kg MS 31,0 % zu wenig |
| 0,52 | kg Zucker | 0,26 | kg Zucker 27,5 % zu wenig |
| 0,86 | kg CP | 0,05 | kg CP 4,2 % zu wenig |

Fig. 51: Massenbilanz der Ultrafiltration (0,05 μm) – ATB Bornim (D)

Nachdem die Bilanzen für Trockenmasse zu 96 % und für die organische Trockenmasse zu 97,3 % stimmen ist anzunehmen, dass sich die Diskrepanz für Milchsäure und Zucker durch die für diese Säfte nicht optimierte HPLC-Analytik erklären lassen. Die UF mit der 0,05 μm (ca. 100 kD) Porengröße sollte den Proteingehalt im Permeat reduzieren (Vorreinigung). Dies konnte jedoch nicht bewerkstelligt werden, da die Proteine offenbar vollständig hydrolysiert vorlagen. Bei einer FM Reduktion um den Faktor 4,75 wurde Protein mit dem ähnlichen Massenfaktor von 4,37 reduziert. Dies bedeutet, dass keine Aufkonzentrierung des Rohproteins stattgefunden hat. Allerdings wurde der Saft von Trübstoffen befreit. Das Permeat wurde nun für den nächsten Aufreinigungsschritt in der Kaskade herangezogen, der Nanofiltration.

Die Nanofiltrations- bzw. Umkehrosroseanlage des ATB-Bornim ist der UF-Anlage sehr ähnlich, nur dass sie eine Hochdruckpumpe besitzt. Die NF wurde in diesem Versuch mit 30 bar betrieben (Fig. 52).

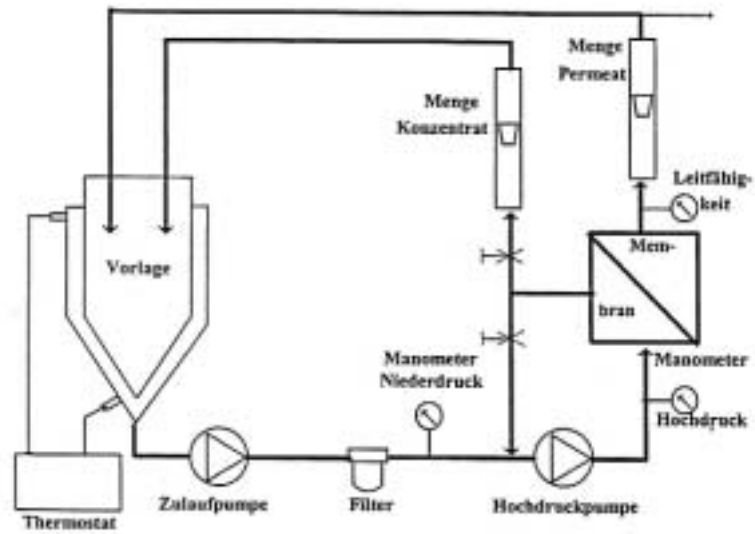


Fig. 52: NF bzw. UO – Anlage des ATB-Bornim (D)

Die Eigenschaften der Membran werden in Tab. 93 beschrieben.

Tab. 93: NF-Membran des ATB-Bornim

| | |
|------------------|------------------------|
| Bezeichnung | OS-UO-201-CO-15 |
| Firma | Osmota, Rutesheim |
| Material | Multipolymer |
| Art | Nanofiltration |
| NaCl-Rückhalt | 15 % |
| Moduldurchmesser | 61 mm |
| Modullänge | 976 mm |
| Filterfläche | 2,4 m ² |
| max. Systemdruck | 40 bar |

Die Messwerte des Versuchs sind in Tab. 94 angeführt.

Tab. 94: Messwerte der Nanofiltration

| Zeit | Temp. [°C] | Druck [bar] | Konzentrat [L/h] | Permeat [ml/min] | Flux [l/m ² *h] | Vordruck [bar] | Membran |
|-------|------------|-------------|------------------|------------------|----------------------------|----------------|---------|
| 9:30 | 12 | 0 | 300/300 | | | 2,80 | OS-15 |
| 9:40 | 14 | 30 | 300/300 | 410 | 10,25 | 3,10 | |
| 10:10 | 21 | 30 | 300/300 | 120 | 3,00 | 3,05 | |
| 10:40 | 29 | 30 | 300/300 | 60 | 1,50 | 3,10 | |

Erwartungsgemäß reduzierte sich der Flux nach einer Stunde um ca. den Faktor 10. Gründe dafür sind der hohe TM Anteil im Retentat und zweitens das nicht optimierte System. Es wurde allerdings eine Reduktion der Zucker und des Rohproteins erreicht.

| UF-Permeat | | NF-Retentat | |
|------------|-----------------|-------------|-----------------|
| 17,3 | % TM | 23,8 | % TM |
| 15,2 | % TM Milchsäure | 5,9 | % TM Milchsäure |
| 15,0 | kg FM | 3,86 | kg FM |
| 2,60 | kg TM | 0,92 | kg TM |
| 1,95 | kg oTM | 0,75 | kg oTM |
| 0,39 | kg MS | 0,05 | kg MS |
| 0,52 | kg Zucker | 0,05 | kg Zucker |
| 0,86 | kg CP | 0,35 | kg CP |

| NF-Permeat | | Diskrepanz (Messfehler) | |
|------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|
| UFPerm.-NFPerm.-NFRet. | | | |
| 23,7 | % TM | | |
| 8,3 | % TM Milchsäure | | |
| 11,14 | kg FM | 0,00 | kg FM 0,0 % |
| 2,64 | kg TM | -0,96 | kg TM -37,1 % zu viel |
| 2,33 | kg oTM | -1,14 | kg oTM -58,5 % zu viel |
| 0,22 | kg MS | 0,12 | kg MS 30,7 % zu wenig |
| 0,10 | kg Zucker | 0,37 | kg Zucker 70,2 % zu wenig |
| 0,14 | kg CP | 0,37 | kg CP 43,3 % zu wenig |

Fig. 53: Massenbilanz der Nanofiltration – ATB-Bornim (D)

Die Massenbilanz zeigt das Phänomen der TM bzw. oTM Zunahme. Worauf dies zurückzuführen ist konnte nicht eruiert werden. Allerdings bildeten sich bei Aufkonzentrierung des NF-Permeats im Vakuum Rotationsverdampfer stabförmige Kristalle, die nicht näher identifiziert werden konnten. Nach Filtration durch eine Fritte wurde eine Löslichkeitsbestimmung der Kristalle durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass sie in Wasser und in siedendem DMSO löslich waren. Der Schmelzpunkt (Fp) wurde mit ca. 340° C festgelegt. Inwieweit und welches Material aus dem NF-System in das Permeat hätte gelangen können konnte nicht geklärt werden. Jedoch konnte nach Abtrennung der Kristalle das Permeat für den Ethyllactat-Versuch herangezogen werden. Die Diskrepanz der Massenbilanz muss wieder auf die nicht optimale Analytik zurückgeführt werden.

Durch die NF konnte jedoch der CP- und Zuckergehalt maßgeblich reduziert werden (der Messfehler ist aufgrund der höheren Komplexität primär im Retentat zu vermuten). Auch der Aschegehalt, eine der Hauptaufgaben der NF, konnte wesentlich verringert werden.

Tab. 95: Reduktion der Ionen bzw. Asche durch NF – ATB-Bornim (D)

| Ion/Asche | UF-Perm. [g/l] | NF-Perm. [g/l] | Reduktion % |
|-------------------------|-------------------|-------------------|------------------------|
| Cl | 7,23 | 5,11 | 29,3 |
| P | 2,01 | 0,425 | 78,9 |
| SO ₄ | 2,25 | 0,171 | 92,4 |
| NO ₃ -N | 2,11 | 1,42 | 32,7 |
| Na | 0,176 | 0,125 | 29,0 |
| K | 18,9 | 13,8 | 27,0 |
| Mg | 0,843 | 0,05 | 94,1 |
| Ca | 3,68 | 0,237 | 93,6 |
| Summe Ionen | 37,199 | 21,338 | 42,6 |
| | % d. TM | % d TM | Reduktion % |
| Asche gravimetr. | 24,9 | 11,6 | 53,4 |

Die Tabelle zeigt die Absolutwerte der Ionenkonzentration im Vergleich zur gravimetrischen Aschebestimmung bezogen auf die TM. Nachdem allerdings zuviel Trockenmasse im Permeat gefunden wurde ist der Wert von 42,6 % Aschereduktion glaubhafter. Dieser Wert scheint für dieses nicht optimierte System sehr befriedigend zu sein.

10.9.1.2 Einengung des NF-Permeats und Überführung in Ethyllactat



Fig. 54: NF-Permeat des Silagesafts und Destillationsapparat zur Herstellung von Ethyllactat – Univ. Potsdam (D)

Vorbehandlung des Rohmaterials

Es wurde von 8075,89 g Ausgangslösung (Milchsäuregehalt 19,7 g/l) auf 977,12 g Lösung aufkonzentriert mit einem theoretischen Milchsäuregehalt von 162,8 g/l. Die oben erwähnten nadelförmigen Kristalle wurden mittels einer Fritte abgetrennt und wie beschrieben untersucht.

Zielprodukt

Ziel war die Herstellung eines Milchsäure-Ethylesters (engl. Ethyl-lactate) mit einem Siedep. 154°C (1 bar) und einer spez. Dichte von 1,03 g/cm³. Der Brechungsindex beläuft sich auf 1,411 (25°C).

Methode

Saure Veresterung der wässrigen Milchsäure Lösung mit Ethanol und destillative Entfernung des Chargen- und Produktwassers mittels Ethanol und anschließender Destillation des Milchsäureethylesters.

Durchführung

⌘ Ca. 350 ml der hellgelben wässrigen NF-Silagelösung (Milchsäureanteil ca. 16 %) wurde in einen 1 l Rührreaktor – (1l NI-Reaktorunterteil, 5-Hals-Reaktordeckel mit 30 cm-Säulen-Kolonnenkopf (Heizbandgewickelt), Glasmantelthermoelement, PTFE-Rührer mit Rührhülse, Kammdichtung, 3 elektron. Messstellen + Regelgerät (Sumpftemperatur, Kopftemperatur, Manteltemperatur, elektron. Heizkorb mit Regelgerät) – verbracht und mit 600 ml technischem Ethanol versetzt. Unter gutem Rühren wird mittels ca. 50 %iger H₂SO₄ ein pH-Wert zwischen 1,0 und 1,4 eingestellt, wobei ein weißes Produkt ausfällt (Schwefelsäure als Katalysator)

Laut Analyse war in diesem Niederschlag keine Milchsäure.

- ⌘ Anschließend wurde die Mischung zum Sieden erhitzt (Sumpf ca. 80°C, Kopf: ca. 77-81°C). Zunächst wurde die Flüssigkeit 30 min unter Rückfluss auf dieser Temperatur gehalten.
- ⌘ Danach wurden bei ca. 78-79° C 300 ml des Ethanol/Wassergemisches bei einer Abnahmegeschwindigkeit von ca. 6 ml/min abgenommen.
- ⌘ Anschließend wurden weitere 300 ml Ethanol (Überschuss zur quantitativen Umsetzung) zugegeben und die Abnahme-Prozedur nach einer ca. halbstündigen Einstellung (Rückfluss ohne Abnahme und ohne neuerliche pH-Wert-Einstellung) wiederholt. Auf diese Weise werden weitere 400 ml eines Ethanol/Wasser-Gemisches abgenommen.
- ⌘ Der Reaktor mit Inhalt wurde über Nacht abgekühlt und der feste, weiße Rückstand im Wasserstrahlvakuum über eine G4-Fritte abgesaugt.

In der Zwischenzeit wird eine weiterer NF-Silagesaft der gleichen Ausgangscharge analog destillativ und filtrativ aufgearbeitet, sodass schließlich die gesamten 977 g verarbeitet wurden.

- ⌘ Die beiden ethanolischen, schwefelsauren NF-Silagelösungen wurden sodann vereinigt in den Reaktor verbracht und über den Kolonnenkopf wurden weitere ca. 400 ml Ethanol/Wasser-Gemisch destillativ entfernt.
- ⌘ Nach Zugabe von weiteren 300 ml techn. Ethanol wurde nun zunächst der gesamte Ethanol sowie verbliebenes Wasser entfernt.
- ⌘ Bei einer Sumpftemperatur von ca. 135 bis 160°C destillierte dann, recht einheitlich, doch unter Begleitung von Dämpfen ein hellgelbes, viskoseres, stark aromatisch (nach

- Ester) riechendes Produkt ab. Es kann davon ausgegangen, dass es sich um den gewünschten Milchsäureethylester handelte.
- ⊘ Das Produkt (ca. 150-200 ml, ungenau wegen der Vorversuche) wurde gesammelt und mittels festem NaHCO_3 neutralisiert.
 - ⊘ Nach Beendigung der Produktdestillation wurde die Sumpftemperatur probeweise auf bis zu 180°C erhöht. Flüssige Bestandteile siedeten im Reaktor unter gleichzeitiger starker Verteuerung und Gasbildung (NO_x , SO_x). Eine destillative Abnahme der siedenden Bestandteile gelang unter Normaldruck jedoch nicht mehr.
 - ⊘ Nach Abkühlen wurde der schwarze Rückstand mit ca. der doppelten Menge Ethanol verrührt, mit NaHCO_3 neutralisiert und über Nacht stehen gelassen. Er wurde am nächsten Tag im Wasserstrahlvakuum über eine G4-Fritte abgesaugt

Vermutete Nebenprodukte und –reaktionen

Es handelt sich um Nebenprodukte, die im Sumpf od. als Gas gefunden wurden, allerdings nicht in das Zielprodukt gelangten.

- ⊘ Lävulinsäure, Lävulinsäureethylester
- ⊘ Furfural, (Hydroxymethyl)-furfural
- ⊘ alle möglichen Nebenprodukte der schwefelsauren Zuckerhydrolyse sowie nachfolgender Derivatisierungen (z.B. Veresterung)

Schlussfolgerungen

1. unter der Voraussetzung, dass es sich bei dem abgenommenen Produkt um Ethyllactat handelt, kann der Versuch als gelungen betrachtet werden. Dies würde bedeuten, dass aus o.a. NF-Silage-Säften Milchsäure-Ethylester nach technischer Verfeinerung potenziell umgänglich darstellbar ist.
2. Es kann weiters angenommen werden, dass durch den hohen Ethanolüberschuss die Milchsäure quantitativ in Ethyllactat übergeführt werden konnte (Annahme: 95 %)
3. Es ist zu prüfen, ob die Rückstände sinnvoll zu Chemieprodukten (vgl. Nebenreaktionen und –produkte) aufgearbeitet werden können. Ist dies möglich würde der hohe Zuckeranteil sogar potentiell Vorteilhaft sein.
4. Derzeit erkannte Probleme und Verbesserungen:
 - a. Eine gefüllte Säule (event. Molekularsieb, Aktivkohle) kann auch bei Normaldruckdestillation dazwischen geschaltet werden. Bei obigem Versuch wurde eine ca. 30 cm lange Leersäule verwendet.
 - b. Der Einfluss der Schwefelsäure auf die Gesamtreaktionen ist zu untersuchen. Prüfung anderer Veresterungskatalysatoren.
 - c. Technisch wäre eventuell destillativ auch leichtes Vakuum bzw. ein N_2 -Gas-Strom zu prüfen um die Rückstände schonender zu behandeln.

10.9.2 Versuche zur Herstellung von Aminiumlactaten

Silagepresssäfte wurden zunächst mit Aminen (Imidazol und Piperazin) titriert, um zu sehen inwieweit sich Titrationsverläufe ergeben, die auf eine erfolgreiche Reaktion von Aminen mit Milchsäure schließen lassen. Zusätzlich sollte ermittelt werden wie viel der gemessenen Milchsäure sich als Aminiumlactat ausbilden lässt. Bei der Auswertung wurden die weiteren Gär säuren (z.B. Essigsäure), die in sehr geringen Konzentrationen vorlagen nicht berücksichtigt.

Beispielhaft wird hier der bereits oben detailliert beschriebene SJ herangezogen. Es handelte sich ursprünglich um einen Saft mit 39,76 g/l Milchsäure bei einem pH Wert von 4,25. Das erzeugte Nanofiltrationspermeat wies dann allerdings nur noch eine Konzentration von 19,7 g/l Milchsäure bei einem pH Wert von 4,15 auf.

Die theoretisch vorliegende freie Milchsäure bei diesen pH Werten ist 29 % (pH 4,25) bzw. 34 % (pH 4,15).

Fig. 55 zeigt den Titrationsverlauf für Imidazol zu Imidazolactat. Fig. 56 zeigt die Titrationskurve für Piperazin als Titrator zu Piperaziniumdilactat.

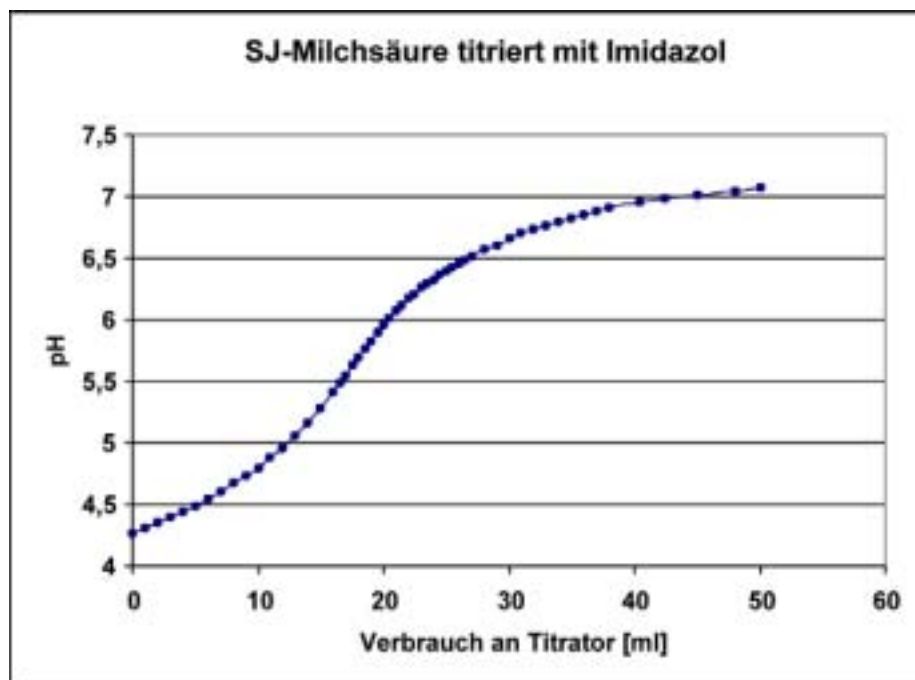


Fig. 55: Titrationskurve von unbehandeltem SJ titriert mit Imidazol zu Imidazolactat

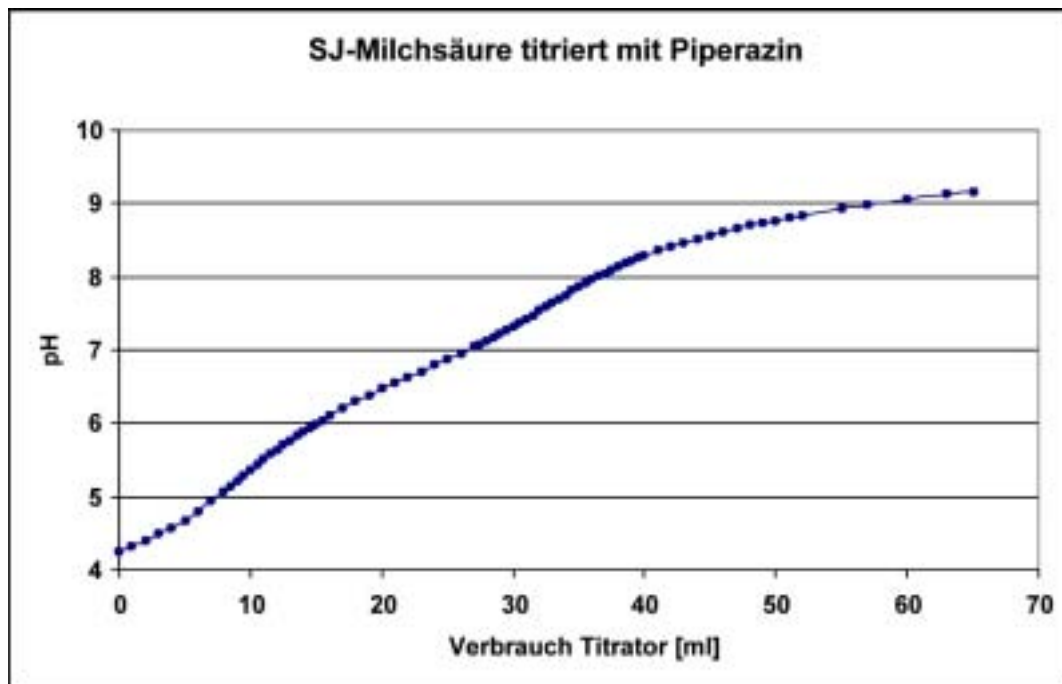


Fig. 56: Titration curve of untreated SJ titrated with Piperazine to Piperaziniumdilactat

The inflection points of the curves were determined over the slope between the individual measurement points. Where the slope reached a maximum, the inflection point was determined.

The so-calculated theoretical titratable lactic acid amount was determined by titration with Imidazole with 14.5 g/l or 36.5% of the total lactic acid. Very similar is also the value for Piperazine as a titrant. From 13.5 g/l lactic acid, Piperaziniumdilactat was formed. This is equivalent to a yield of 34% based on the total lactic acid in the juice. In comparison, the expected value would have been 29%. At first glance, there is a greater affinity to the amines than to other salt-forming substances in the juice. Nevertheless, the yields for a technical implementation are low.

Fig. 57 shows how the titration with Imidazole from the above-described NF-permeate proceeds. It was found that 7.3 g/l Imidazolactat was formed, which corresponds to a yield of 37.1%. This value differs only insignificantly from the untreated juices and is already very close to the expected value of 34%. That is, it could be that for the theoretically better yields in the case of the untreated juices, not only affinity differences, but also other interactions of the juice with the amines are decisive, which do not affect the appearance of the titration curve. The actually formed amine lactate amount could therefore be lower than what the calculation would suggest. However, it could be shown that amine lactates can also form in complex lactic acid solutions. Further experiments did not show any significant differences to the results shown.

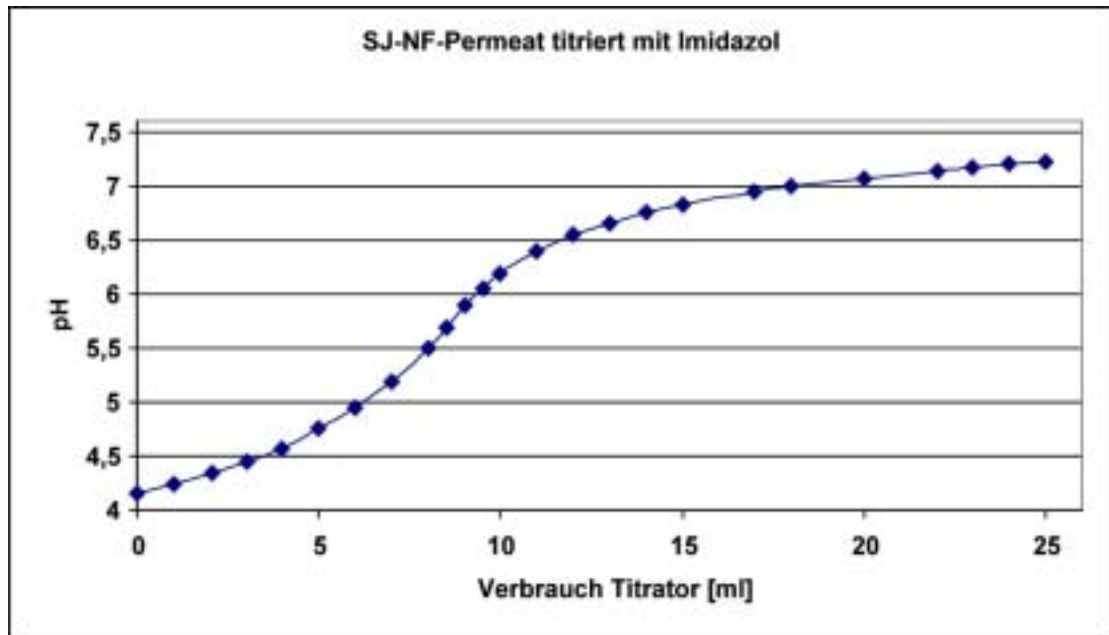


Fig. 57: Titrationskurve von NF-Permeat titriert mit Imidazol zu Imidazolactat

10.9.2.1 Kristallisationsversuche von Aminiumlactaten aus SJ

Nachdem bewiesen werden konnte, dass Aminiumlactate aus der Milchsäure in den Silagesäften gebildet werden kann, wurde der oben beschriebene und weitere Silagesäfte für Kristallisationsversuche herangezogen. Aminiumlactate können nach B. Kamm (Kamm, Kamm et al. 2000) wichtige Zwischenprodukte bei der Herstellung von Dilactid bzw. Polylactid darstellen. Zunächst wurden unbehandelte bzw. zentrifugierte (20 min. bei 10000 g) Silagesäfte mit Imidazol titriert, um festzustellen inwieweit die organischen Säuren im SJ in das entsprechende Salz überführbar sind. Daraufhin wurde eine größere Menge Saft überstöchiometrisch mit einem Amin (Piperazin bzw. Imidazol) versetzt und unter Vakuum bei 50° C zu einer hoch-viskosen klebrigen dunkelbraunen Masse einrotiert. Diese Substanz wurde in ca. 10 facher Menge technischem Methanol aufgenommen und unter Rühren bzw. Schütteln gelöst, wobei ein weiß-bräunlicher kristalliner Bodensatz anfiel. Die Lösung wurde durch eine Fritte filtriert und der Rückstand getrocknet. Das methanolische Filtrat wurde am Rotationsverdampfer unter reduziertem Druck (ca. 0,01 bar) bei einer Wasserbadtemperatur von 30 bis 40° C eingeeengt und die so erhaltene hoch-viskose braune Masse auf einem Tonteller luftgetrocknet. Auch unter Variation der Versuchsparameter konnte allerdings kein kristallines Zielprodukt (Aminiumlactat) gewonnen werden (vgl. Kamm 1996). Erst nach weiterer Umkristallisation in Acetonitril erhielt man nadelförmiges weißes Aminiumlactat mit einem Schmelzpunkt von 110 bis 160° C. Trotz der kristallinen Struktur des Materials war der Schmelzpunkt schwer bestimmbar.

Die Ausbeuten an Aminiumlactat waren allerdings trotz mehrmaliger Versuche und Variation der Parameter (Zentrifugation, Filtration, Fällung) derart gering, dass hier auf eingehende Massenbilanzen verzichtet wird.

Durch Dünnschichtchromatographie konnte jedoch trotz der zahlreichen Nebenprodukte gezeigt werden, dass Aminiumlactat aus Silagesäften mit gängigen Labormethoden, wenn auch mit geringen Ausbeuten erzeugt werden kann.

Tab. 96: Legende zur DC-Auswertung (Bild)

| Probe/Substanz | Bez. auf DC-Bild |
|--|------------------|
| Vergleichssubstanz: | |
| Lysinhydrochlorid (als basische Aminosäure) | X2 |
| Piperazin | Pip |
| Piperaziniumdilactat | V |
| Proben | 1 |
| | 2 |
| | 3 |
| | 4 |
| | 5 |

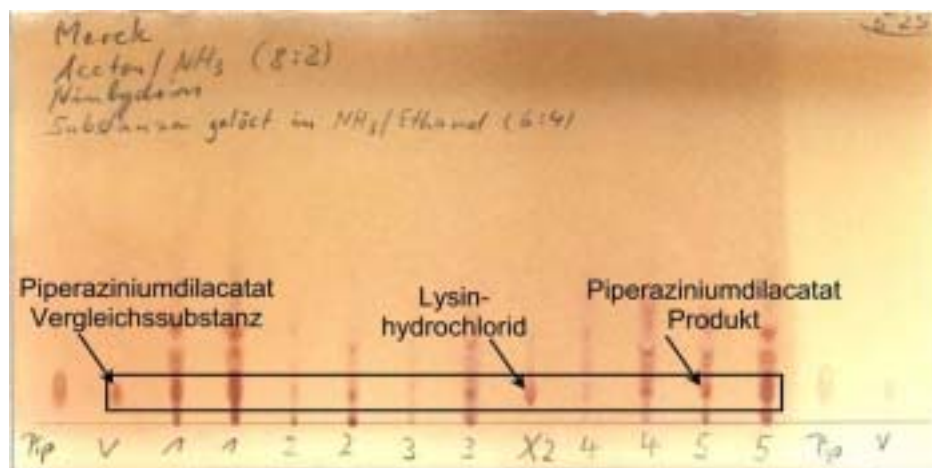


Fig. 58: Dünnschichtchromatographie Auswertung - Piperaziniumdilactat

Die Versuche lassen allerdings die Schlussfolgerung zu, dass die erprobten Wege technisch nicht übertragbar sind. Deshalb wird nun im Rahmen eines weiterführenden Projektes ("Fabrik der Zukunft") untersucht wie und in welcher Tiefe Silagesäfte (z.B. wie bereits gezeigt mittels UF/NF) aufgereinigt werden müssen, um eine sinnvolle Herstellung von Aminiumlactat zu gewährleisten. Wesentlich dabei wird die Entfernung der Asche sein, die für die hohe Pufferkapazität (hoher pH Wert) verantwortlich sind.

10.9.3 Zusammensetzung von Silagepresssäften – Versuche 2000

Wie in Kapitel 7 beschrieben konnten im Rahmen des Projekts "Fabrik der Zukunft" im Jahr 2001 Pressversuche mit einer Schneckenpresse der Fa. Ponndorf unternommen werden. Die Milchsäure beinhaltenden Silagepresssäfte wurden am IFA-Tulln analysiert. Die Zusammensetzung dieser Säfte scheint zum Großteil auch die Zusammensetzung zu repräsentieren, wie sie bei einer Umsetzung der Grünen Bioraffinerie zu erwarten ist. Es werden hier einige zusammenfassende Betrachtungen dargestellt und dann ein "Up-scaling Saft" aus den Mittelwerten der 3 besten Ergebnisse von Klee gras, Dauerwiese und Bastardray gras Silage präsentiert.

Weitere Betrachtungen bezüglich der Saftzusammensetzung können im Kapitel Protein und im Anhang gefunden werden.

Es wurde aus folgenden Silagen Silagepresssäfte gewonnen:

Tab. 97: Analytierte Silagepresssäfte (SJ) der Saison 2001

| Wiesenart | verwendete Bakterien | Probennr. IFA-Tulln |
|--|----------------------|---------------------|
| Klee graswiese 1. Schnitt (KLG-01S2) | IFA-M2 | 9/11 |
| | IFA-S3 | 9/12 |
| Klee graswiese 2. Schnitt (KLG-01S2) | IFA-M2 | 9/14 |
| | IFA-S3 | 9/9 |
| Dauerwiese Admont 1. Schn. (DW(B)-01S1) | IFA-M2 | 9/10 |
| | IFA-S3 | 9/15 |
| Knau graswiese 2. Schnitt (KG-01S2) | IFA-S3 | 1/5 |
| Bastardray graswiese 3. Schn. (BRG-01S3) | IFA-M2 | 1/7 |
| | IFA-S3 | 1/4 |

Es wurden demnach im Jahr 2001 9 Silagesäfte aus unterschiedlichen Rohstoffen erzeugt. Fig. 59 zeigt, dass in den Silagesäften neben der Milchsäure drei weitere Nebenprodukte zu finden sind. Wir können also von vier Produkten in den Silagesäften sprechen, die je ca. ¼ der Trockenmasse ausmachen. Dies hat natürlich wichtige Implikationen für die weitere Behandlung der Säfte (wertvolle Nebenprodukte) und die Technologie der Milchsäuregewinnung.

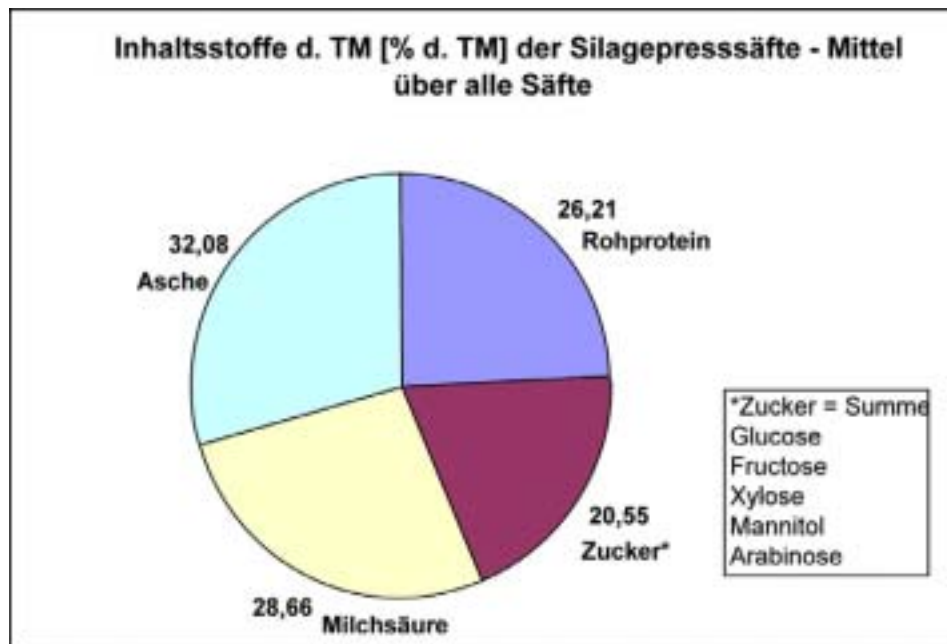


Fig. 59: Inhaltsstoffe der Silagesäfte [% d. TM] – Mittel über alle Säfte

Die Summe der relativen Trockenmasse Zusammensetzung liegt in Fig. 59 bei 107,5 %. Ausschlaggebend dafür ist die Messmethode zur Bestimmung der Trockenmasse (bei 105° C) und stellt keinen Fehler in der Analytik dar. Die **Trockenmasse** als Mittelwert über alle 9 Säfte beträgt **16,04 %**.

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde ein Presssaft aus den bezüglich Modul 4 besten drei Säften von Klee gras, Dauerwiese, und Bastardray gras (Mittelwerte aus 9/11; 9/15 und 1/4) auf Basis der Ergebnisse 2001 zusammengestellt, welcher hier nun im Detail dargestellt werden soll Tab. 98 und Fig. 60. Es kann angenommen werden, dass diese SJs einen repräsentativen Werte für ein GBR "Up-scaling" bieten.

**Tab. 98: Zusammensetzung eines Silagesaftes auf Basis der drei besten Säfte –
Versuche 2001**

| | | |
|------------------------|---------------|---------------------|
| TM | 14,14 | % d. FM |
| pH | 4,05 | |
| Asche | 26,00 | % d. TM |
| NH ₄ -N | 0,52 | % d. TM |
| Rohprotein | 25,09 | % d. TM |
| Zucker Summe | 21,64 | % d. TM |
| Milchsäure | 32,11 | % d. TM |
| Essigsäure | 1,41 | % d. TM |
| Buttersäure | 0,33 | % d. TM |
| Propionsäure | 0,00 | % d. TM |
| Ethanol | 1,18 | % d. TM |
| Glycerol | 0,69 | % d. TM |
| 1,2 Propandiol | 0,00 | % d. TM |
| 2-Propanol | 0,33 | % d. TM |
| Succinat | 2,44 | % d. TM |
| Acetaldehyd | 0,53 | % d. TM |
| theor. Summe TM | 112,27 | % d. gem. TM |

Die Abweichung der Summe der relativen Werte gegenüber dem gemessenen TM Wert ist wiederum auf die Messmethodik zurückzuführen und stellt keinen Fehler dar. Auf die Zusammensetzung des Rohproteins wird in Kapitel 8 näher eingegangen.

Die Summe der Zucker setzt sich im wesentlichen aus Glucose und Fructose zusammen. Fig. 61 zeigt die gemessene Zusammensetzung.

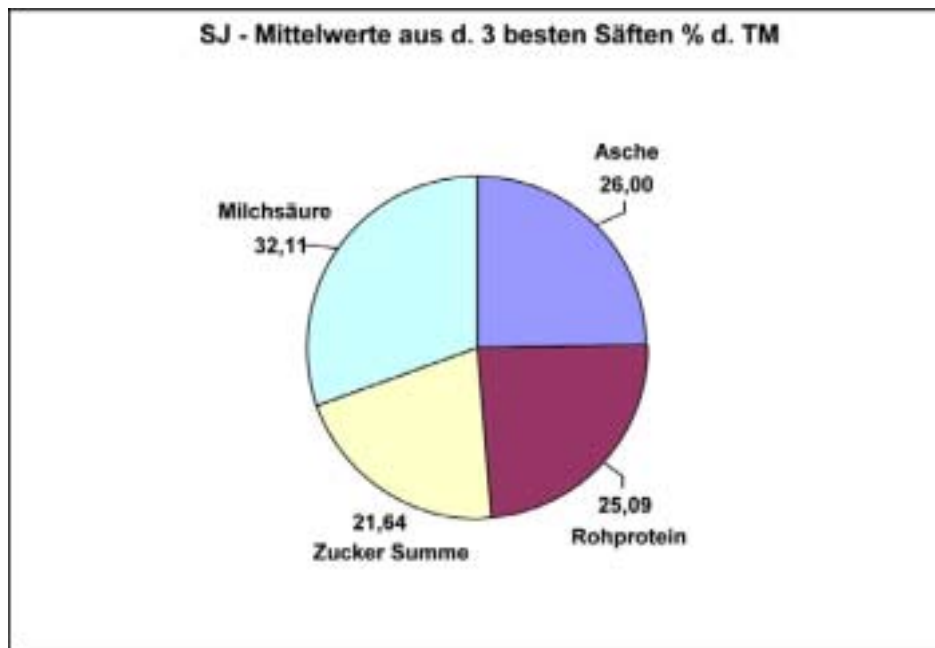


Fig. 60: SJ Zusammensetzung in % d. TM – Mittelwerte d. drei besten Säfte – Versuche 2001

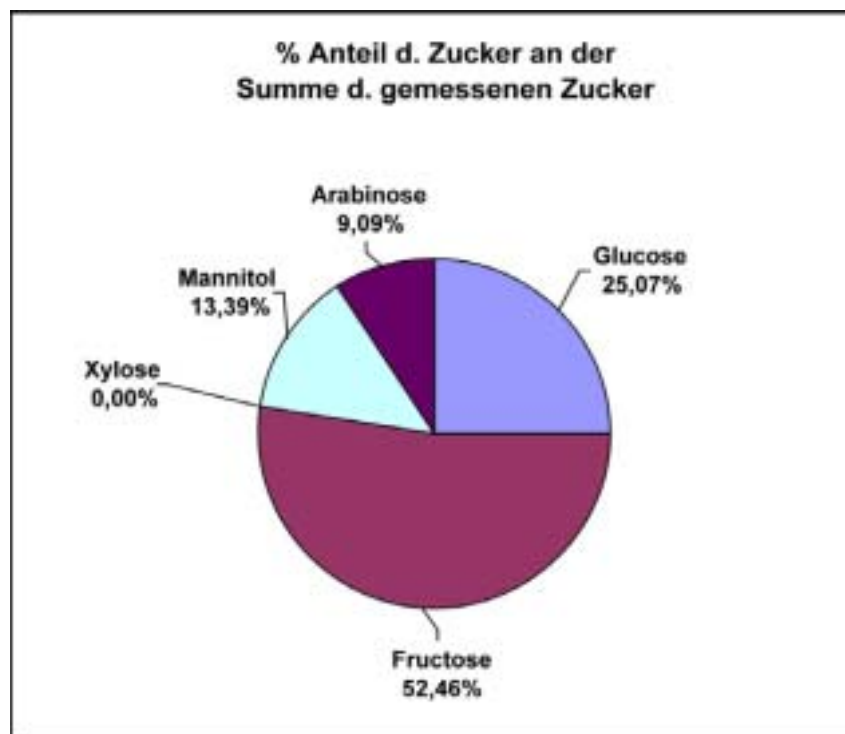


Fig. 61: Zusammensetzung der Zucker als Mittelwert der 3 besten Säfte – Versuche 2001

57,10 % der gravimetrisch bestimmten Asche konnten als die Ionen PO_4^{-3} , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} und Na^+ identifiziert werden. Speziell die Ionen K, Ca, und Na sind bekannt dafür, dass sie Salze mit Milchsäure bilden. Fig. 62 zeigt die Zusammensetzung der gravimetrisch (550°C) bestimmten Asche.

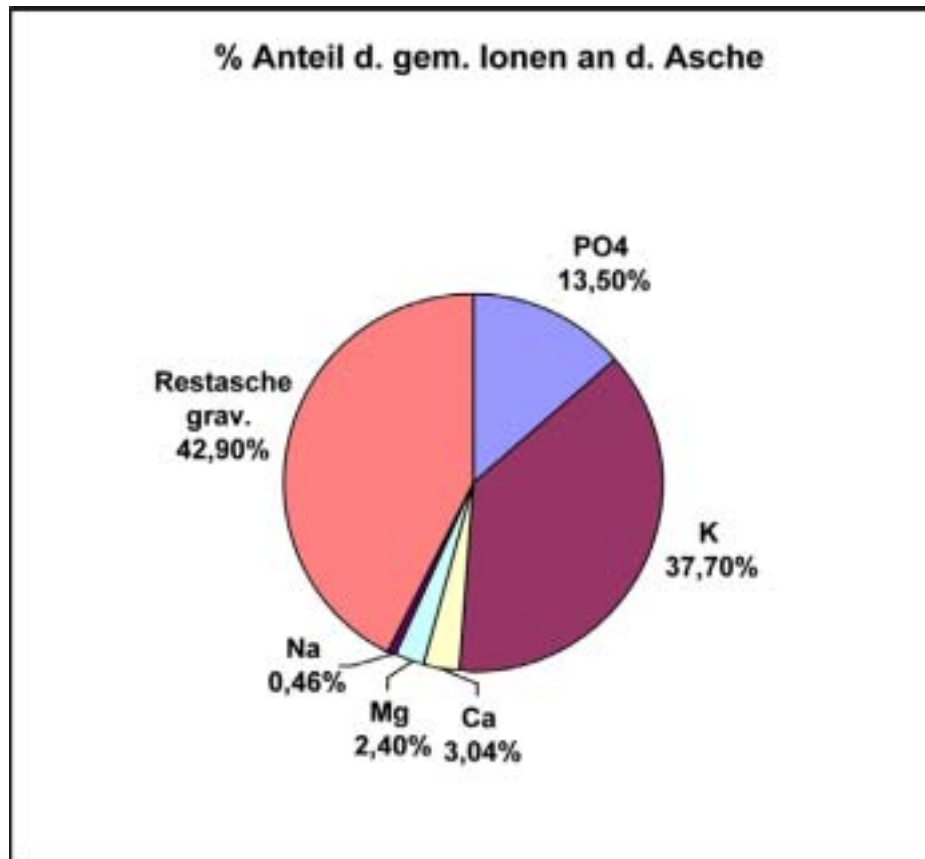


Fig. 62: Zusammensetzung der gravimetrisch bestimmten Asche als Mittelwert der drei besten Säfte – Versuche 2001

In 100 g Safttrockenmasse sind demnach 0,3 mol Na, K, Mg und Ca Ionen und 0,36 mol Milchsäure. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass ein Teil der Ionen im Saft als Salz vorliegen – z.B. Chlorid (NaCl , KCl). Als Beispiel kann die Cl Konzentration in 100 g TM des oben beschriebenen Ethyllactat Versuchs herangezogen werden. Es konnten im Ausgangssaft 0,11 mol in 100 g TM gefunden werden.

Milchsäure bildet aber auch mit NH_4^+ ein Ammoniumlactat. NH_4^+ liegt in den Säften in der Größenordnung von 0,04 mol in 100 g TM vor.

Die Abweichungen der Messwerte der vier wichtigsten Komponenten der 9 untersuchten Säfte können groß sein. Allerdings lässt sich keine Korrelation zwischen den Parametern erkennen. Das heißt z.B. dass ein hoher Milchsäuregehalt in der Trockenmasse nicht gleichbedeutend mit einem niedrigen Zuckergehalt in d. TM ist.

Tab. 99: Min/Max Werte der 9 untersuchten Silagesäfte – Versuche 2001

| Parameter | min. [% d. TM] | max. [% d. TM] |
|-----------------|----------------|----------------|
| Milchsäure | 20,6 | 36,9 |
| Zucker Summe | 10,5 | 39,0 |
| Rohprotein | 21,3 | 34,7 |
| Asche | 22,8 | 62,2 |

10.10 Schlussfolgerungen und Technologische Implikationen

Es konnte durch Herstellung von Silagepresssäften aus unterschiedlichen Silagen (Klee gras, Dauerwiese, Bastardraygras und Knaulgras) festgestellt werden, dass die Säfte im wesentlichen aus 4 Hauptkomponenten bestehen, die je ca. ¼ der Trockenmasse ausmachen. Dies bedeutet, dass Silagesaft erstens nicht nur Milchsäure als Hauptprodukt bietet, die es zu nutzen gilt, sondern auch hydrolysierte Proteine (siehe Kap. 8), leicht zugängliche und verwertbare Zucker und Mineralstoffe beinhaltet. Es konnte gezeigt werden, dass SJ nach Abtrennung der Milchsäure einen wertvollen Rohstoff in der Fermentationsindustrie darstellen könnte (Kap. 9). Aber auch Substanzen, wie einzelne Aminosäuren, durch Chromatographie gewonnen, könnten attraktive Co-Produkte sein.

Zunächst müssen aber Wege gefunden werden die Milchsäure entweder als freie Säure oder als Lactat zu isolieren. Es konnte im Rahmen dieses Projektes gezeigt werden, dass Membranverfahren ein taugliches Mittel darstellen könnten, um die Silagesäfte soweit aufzureinigen, um sie zugänglich für eine Ethyllactat Produktion zu machen. Milchsäureethylester sollte zunächst auch in der künftigen Entwicklung der Grünen Bioraffinerie das wichtigste Zielprodukt aus Silagesäften sein. Das Projekt ermöglichte darzustellen, dass der Aminiumlactat Weg als Zwischenprodukt zur Herstellung von Dilactid bzw. Polylactid doch wesentlich höhere Anforderungen an die Reinheit der Milchsäure stellt, als zunächst angenommen. Hier sollten Wege gefunden werden, wie z.B. chromatographische Methoden, um Milchsäure als freie Säure für eine Aminiumlactatbildung zugänglich zu machen. Diese beschriebenen Wege werden deshalb im Rahmen eines weiterführenden "Fabrik der Zukunft" Projekts näher untersucht.

Als wichtigste Erkenntnis dieses Projekts ist zu sehen, dass zum ersten mal Silagepresssäfte in ihrer Gesamtzusammensetzung untersucht wurden. Diese Ergebnisse sind auch international bereits auf großes Interesse gestoßen. Milchsäure ist in ausreichend großen Mengen enthalten, so dass es jedenfalls lohnenswert erscheint an ihrer Abtrennung weiter zu arbeiten. Durch die Zusammensetzung wurde aber auch klar, dass doch beträchtliche Unterschiede zu herkömmlichen Fermentationssystemen bestehen. Wenn z.B. Stärkehydrolysat mit Zuschlagsstoffen als Rohstoff in Submerssystemen eingesetzt wird entsteht doch ein Rohsubstrat, dass zumindest aus 70 % (bis 90 %) Milchsäure i. d. TM besteht (In-Boung Yeo 1998, Cramer 1995).

Die Milchsäure liegt da allerdings immer als Na-, Ca- oder Ammonium- Lactat vor, da während der Fermentation, um einen pH Wert von ca. 6 aufrecht zu erhalten, entsprechende Basen zudosiert werden. Die Abtrennungskosten für Milchsäure liegen in der klassischen Fermentationsindustrie bei bis zu 70 % der Gesamtherstellungskosten (Madzingaidzo 1999). Daraus kann gefolgert werden, dass die Komplexität der Silagesäfte nicht unbedingt die Abtrennungskosten pro Kilogramm Produkt erhöhen muss, da auch die herkömmlichen

Wege technologisch aufwendig sind. Im Gegenteil es könnten die interessanten Co-Produkte zur Wirtschaftlichkeit wesentlich beitragen. Allerdings muss festgestellt werden, dass aufgrund der Zusammensetzung der SJs herkömmliche Technologien nicht oder nur sehr bedingt angewandt werden können. Es sollten Process-Units entwickelt werden, die spezifisch an Silagesäfte oder generell an Produktströme aus der Feststofffermentation angepasst sind.

Aktuelle Szenarien dazu sind chromatographische Methoden, Membranverfahren, Ionenaustauscher und Kombinationen davon. Die in Fig. 64 erwähnte Elektrodialyse (ED) wird wahrscheinlich vor allem aus wirtschaftlichen Gründen nicht zur Anwendung kommen und sei hier nur der Vollständigkeit wegen erwähnt. In Fig. 63 ist ein Schema mit Chromatographie dargestellt. Alternativ sind auch Fällungsverfahren von Bedeutung.

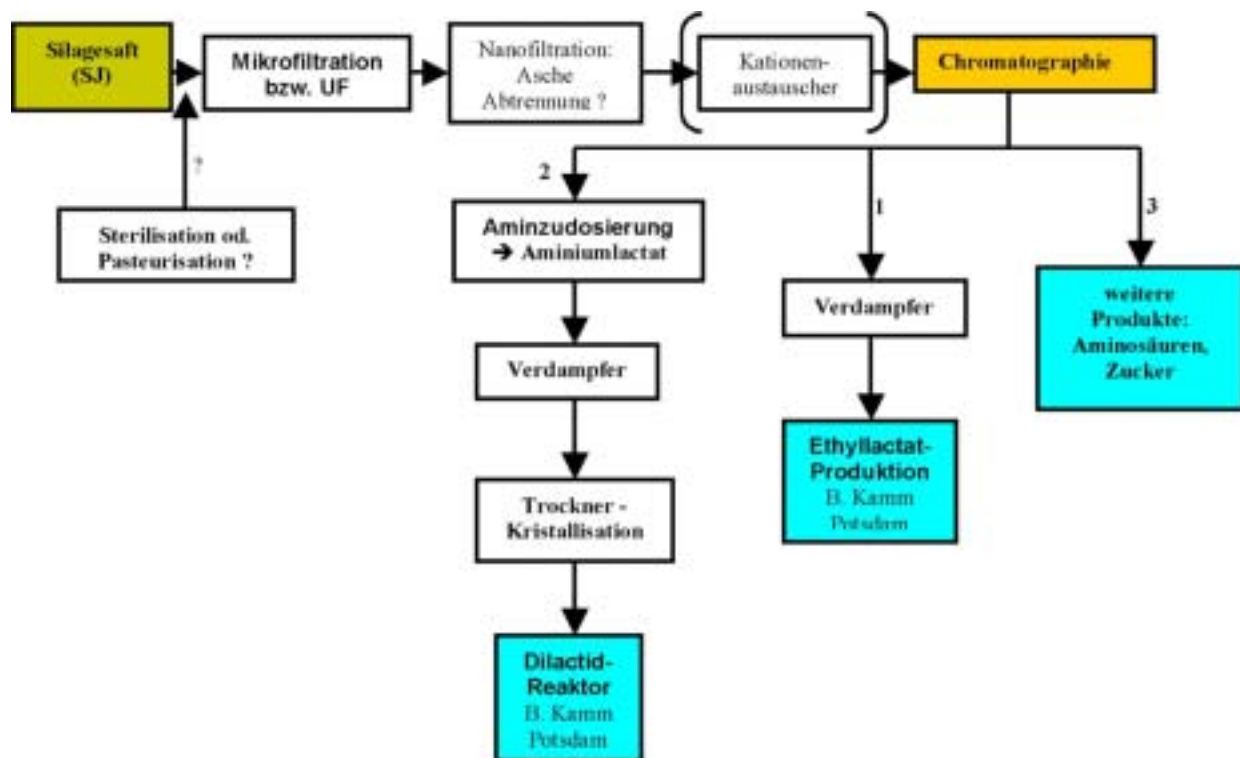


Fig. 63: Schema einer Milchsäureaufbereitung mit Chromatographie

Membranverfahren sind bei allen Szenarien fixer Bestandteil, in Fig. 64 ist aber z.B. ein Ionenaustauscher integriert

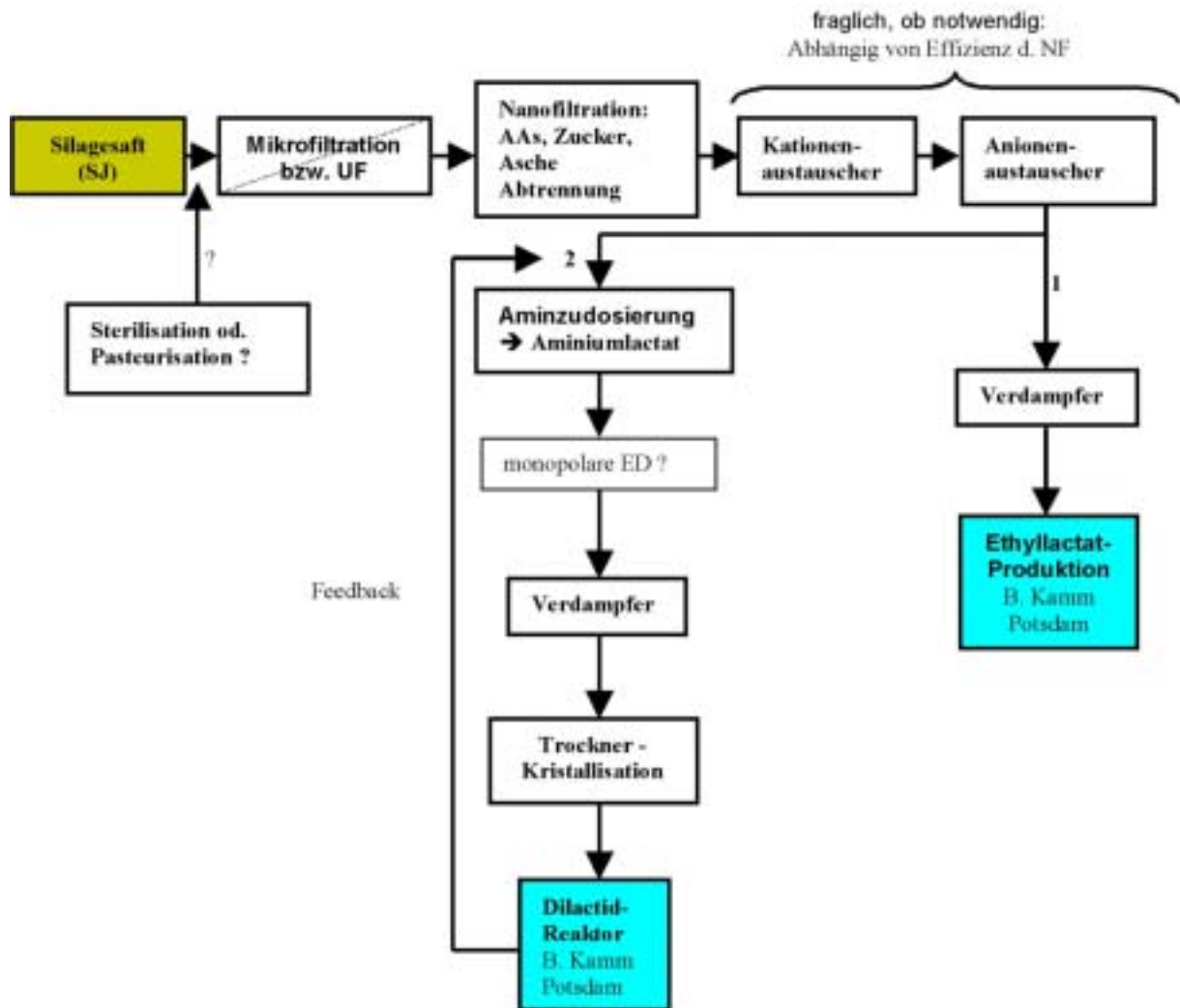


Fig. 64: Schema einer Milchsäureaufbereitung mit Ionenaustauscher

11 VERWERTUNG DES PRESSKUCHENS – MODUL 5-1 UND 5-2

Es kann davon ausgegangen werden, dass ca. 40 bis 70 % der Frischmasse als Faserreicher Presskuchen anfällt. Der Trockenmassegehalt des Presskuchens wird je nach Fraktionierungsmethode in der Grünen Linie 40 % und bei der Silage Linie bis 55 % betragen. Im Gegensatz zu Flachs oder Hanf bietet Gras allerdings keine Bastfasern, sondern als Fasern ist Lignozellulose angesprochen, die im wesentlichen aus Zellulose, Hemizellulose und Lignin besteht.

Die Fasererzeugung aus dem Presskuchen ist im Detail noch sehr wenig erforscht. Dadurch ergeben sich viele Unbekannte in Bezug auf vorbereitende Behandlungen des Presskuchens. Realistisch betrachtet kann man den Presskuchen nach einer weiteren Trocknung eventuell zu Dämmmaterial in der Baustoffindustrie weiterverarbeiten oder im Bereich Mulch- u. Pflanzvliese einsetzen. Natürlich wird auch an eine Verwertung als Strukturfutter (Raufutter) in der Pferdezucht gedacht. Hochwertige Textilfasern können nicht erwartet werden. Als weitere Möglichkeit bietet sich immer die Vergärung in einer Biogasanlage an. Forschungen zur stofflichen Verwertung des Presskuchens werden derzeit im Rahmen der Programmlinie "Fabrik der Zukunft" von der Forschungsgesellschaft Joanneum Research – Regionale Forschungs- u. Innovationsstelle Hartberg durchgeführt.

Europaweit wird immer öfter die Möglichkeit diskutiert aus billigen Pentosenquellen Fermentationsprodukte herzustellen. Hierzu werden meist landwirtschaftliche Abfälle, wie Stroh oder Holzreste herangezogen und hydrolysiert. Pentosen sollen dann von bestimmten, zum Teil gentechnisch veränderten Organismen, in z.B. Alkohol umgewandelt werden. Während der Hydrolyse werden, vor allem durch hohe Temperaturen, auch Zuckerabbauprodukte wie Furfural und Hydroxymethylfurfural gebildet, die nicht nur die Zuckerausbeuten verringern, sondern darüber hinaus in höheren Konzentrationen toxisch auf Mikroorganismen wirken und dadurch die Fermentierbarkeit von Hydrolysaten stark beeinträchtigen können. Im Zuge der Optimierung des Hydrolyseprozesses sollte daher auch auf die Vermeidung dieser Produkte ein Augenmerk gelegt werden.

Bei Rohstoffen wie Holz oder Stroh ist in der Regel der Zusatz von Säure bei der Hydrolyse notwendig, um die in Form von Polymeren vorliegenden Hemicellulosezucker in Monomere umzuwandeln. Da im Fall von Silagepresskuchen der Rohstoff auf Grund des Milchsäuregehaltes bereits einen niedrigen pH-Wert aufweist, und durch die mikrobielle Tätigkeit während des Silierprozesses bereits eine bessere Zugänglichkeit der Hemicellulose zu erwarten ist, sollte die Zugabe von Schwefelsäure beim Hydrolyseprozess entweder verzichtbar oder zumindest vermindert sein.

Im Falle der Verwertung der Faserfraktion der Grünen Bioraffinerie könnten mit der Hydrolyse zusätzlich neue Wege der Faserbehandlung beschritten werden. Die Hemizellulose wird zu Pentosen hydrolysiert, und die restliche Zellulose und Lignin Fraktion wird als hochwertige Faser verwertet. Die beschriebenen Hydrolyse Versuche wurden am IFA-Tulln (M. Neureiter) durchgeführt.

11.1 Rohstoffzusammensetzung des Silagepresskuchens

Es wurden 7 verschiedene Presskuchen untersucht, wobei der eigentliche Versuchsplan mit Rohstoff 5b) (KLG-01S1-IFAM2!1-SG), Kleeegrassilage Presskuchen des 1. Schnitts, durchgeführt wurde. Mit den restlichen Rohstoffen wurden jeweils nur zwei Versuche unter den Bedingungen durchgeführt, die aufgrund der Ergebnisse des Versuchsplans als optimal herausgestellt haben. Die Zucker- und Klason-Ligningehalte der Rohstoffe sind aus Tabelle 100 ersichtlich.

Tab. 100: Zusammensetzung der Rohstoffe in g/100 g Trockenmasse

| Probenbezeichnung der Presskuchen | | Glucan [g/100 g] | Xylan [g/100 g] | Galactan [g/100 g] | Arabinan [g/100 g] | Klason Lignin [g/100 g] |
|-----------------------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| 4 | Dauerwiese 1. Schnitt - Grün | 36,07 | 18,54 | 2,43 | 2,93 | 22,13 |
| 3 | Klee gras 2. Schnitt - Grün | 34,52 | 15,85 | 2,61 | 2,46 | 20,43 |
| 5b) | Klee gras 1. Schnitt - Silage | 33,98 | 15,09 | 2,58 | 2,60 | 18,70 |
| 1a) | Knaut gras 2. Schnitt - Silage | 29,93 | 13,51 | 1,39 | 2,13 | 19,78 |
| 6 | Knaut gras 2. Schnitt - Grün | 31,71 | 12,82 | 1,50 | 2,20 | 23,18 |
| 7 | Dauerwiese 1. Schnitt - Silage | 32,31 | 16,39 | 2,53 | 2,57 | 20,97 |
| 8 | Klee gras 2. Schnitt - Silage | 30,31 | 14,35 | 1,95 | 2,12 | 20,21 |
| | extrahierte Silage 5b) | 28,12 | 15,56 | n.d. | 2,94 | 25,22 |
| | Heu | 35,35 | 16,47 | n.d. | 3,10 | 21,99 |

11.2 Hydrolysereaktor

Für die Hydrolyseversuche wurde ein 20 l Batch-Hydrolysereaktor verwendet. Der Reaktor besteht aus einem zylindrischen Rohr aus rostfreiem Stahl mit 95 cm Länge und 16,5 cm Durchmesser. Die Heizung erfolgt über elektrische Heizelemente, die um den eigentlichen Reaktor angeordnet sind und von einer Isolierung umgeben sind. Die Temperatur wird mit einem Pt 100 im Reaktor gemessen, der Druck kann von einem Manometer abgelesen werden. Der Reaktor kann an beiden Enden zur Reinigung oder Befüllung geöffnet werden. An einem Ende ist ein Kugelventil mit einem Innendurchmesser von 5 cm befestigt. Der Reaktorinhalt wird durchmischt, indem der Reaktor mit Hilfe eines Elektromotors bewegt wird. Die Experimente durch das Öffnen des Kugelventils beendet. Dadurch entspannt sich der Druck im Reaktor und der Reaktorinhalt wird in ein Auffanggefäß befördert

11.3 Extraktion des Rohstoffs

Da die ersten Versuche (Tabelle 101) nicht die gewünschten Ausbeuten zeigten, wurde der Einfluss des Rohstoffs auf den pH-Wert genauer untersucht. Tabelle 102 zeigt die gemessenen pH-Werte von verschiedenen Schwefelsäure-Lösungen und die pH-Werte, die gemessen wurden, wenn diese Lösungen mit 15 % Silagepresskuchen (Nr. 5a) versetzt wurden. Es ist offensichtlich, daß das Silagematerial eine Pufferwirkung zeigt. Zur Überprüfung wurden Lösungen mit unterschiedlicher Schwefelsäurekonzentration hergestellt, die jeweils mit 10 % Silagepresskuchen versetzt wurden. Der pH-Wert wurde vor und nach 20 min Autoklavieren gemessen. Die Werte sind in Tabelle 103 dargestellt. Es ist klar ersichtlich, dass durch die Erhitzung ein weiterer pH-Anstieg erfolgt.

Die Vermutung, dass bei der Hydrolyse von Silagepresskuchen der Zusatz von Säure eingeschränkt oder sogar vermieden werden kann, wurde durch diese Ergebnisse widerlegt.

Tab. 101: Vorversuche, 170 °C, 10 min.; TS – Rohstoff 86 %

V 20 °C und V 90 °C, wurden im kleinen Maßstab bei jeweils 20 bzw. 90° C mit destilliertem Wasser durchgeführt

| | V1 | V2 | V3 | V 20°C | V 90°C | Maximum: |
|--|-------|-------|-------|-----------|-----------|----------|
| Rohstoff [kg] | 0,523 | 0,523 | 0,523 | 10,406 g | 10,406 g | |
| Wasser [l] | 2,477 | 2,392 | 2,307 | 49,540 ml | 49,540 ml | |
| H ₂ SO ₄ (6 %) [l] | 0,000 | 0,085 | 0,170 | - | - | |
| Glucose [g/l] | 0,493 | 0,484 | 0,458 | 0,536 | 0,598 | 66,619 |
| Xylose [g/l] | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,088 | 0,101 | 30,257 |
| Fructose [g/l] | 0,770 | 0,840 | 0,803 | 1,236 | 1,371 | |
| Arabinose [g/l] | 0,440 | 0,560 | 0,626 | 0,091 | 0,099 | 5,212 |
| Milchsäure [g/l] | 3,426 | 3,279 | 2,994 | 3,163 | 3,372 | |
| Ameisensäure [g/l] | 0,173 | 0,171 | 0,148 | 0,075 | 0,105 | |
| Essigsäure [g/l] | 0,280 | 0,248 | 0,235 | 0,103 | 0,099 | |

Tab. 102: pH Werte von Schwefelsäurelösungen mit und ohne Silagepresskuchen

| | dest. H ₂ O | 0,2% H ₂ SO ₄ | 0,4% H ₂ SO ₄ |
|-------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| reine Säure | 6,38 | 1,62 | 1,38 |
| Säure + 15% Silagepresskuchen | 4,04 | 3,52 | 3,12 |

Tab. 103: pH Werte von Schwefelsäurelösungen mit 10 % Silagepresskuchen vor und nach 20 min. autoklavieren

| Säurekonzentration | 0,5 % | 0,6 % | 0,7 % | 0,8 % | 0,9 % | 1,0 % |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| pH vor Erhitzen | 2,60 | 2,47 | 2,20 | 1,96 | 1,84 | 1,71 |
| pH nach Erhitzen | 2,74 | 2,65 | 2,41 | 2,09 | 2,00 | 1,89 |

Erfahrungsgemäß ist ein pH-Wert von unter 2 für brauchbare Ausbeuten notwendig. Die in diesem Fall benötigten Säurekonzentrationen sind aber vom wirtschaftlichen Standpunkt aus nicht mehr vertretbar. Es wurde daher entschieden, die puffernden Substanzen mit Hilfe von Wasser zu extrahieren.

Dazu wurden 15 kg Silagepresskuchen mit 200 l Osmosewasser versetzt. Nach etwa 15 min wurden 135 l Flüssigkeit entfernt und durch frisches Wasser ersetzt. Nach weiteren 20 min wurde das gesamte Material auf einen Trockensubstanzgehalt von ca. 15 % abgepresst. Der feste Rückstand wurde wieder mit frischem Wasser auf 200 l ergänzt. Nach 15 min wurden 60 l Flüssigkeit entfernt und durch frisches Wasser ersetzt. Schließlich wurde das Material ein letztes Mal abgepresst und zum Trocknen aufgelegt. Nach ca. 1 Woche Trocknen bei Zimmertemperatur wurde ein Trockensubstanzgehalt von 75,5 % erreicht. Mit diesem Material werden die Versuche durchgeführt.

11.4 Versuchsplan

Die Experimente erfolgen nach einem rotierbaren und orthogonalen 2³ Versuchsplan mit 9 Zentralpunkten und Sternpunkten. Die untersuchten Parameter sind Säurekonzentration, Temperatur und Trockensubstanzanteil im Reaktor. Dieser Versuchsplan erlaubt die Abschätzung der Signifikanz der einzelnen Parameter und der 2-Faktor-Wechselwirkungen mittels ANOVA und ermöglicht außerdem die Berechnung einer Antwortfläche zur

Abschätzung der Optima. Die Antwortgrößen sind in diesem Fall die Ausbeuten der verschiedenen Zucker bzw. Zuckerabbauprodukte, die Gesamtzuckerausbeute, sowie die Menge an abgebauten Zuckern. Optional können auch noch weitere Antwortgrößen, wie z.B. Faserqualität, etc. beurteilt werden. Die Experimente werden randomisiert durchgeführt. Der Versuchsplan ist in Tab. 104 dargestellt.

11.5 Durchführung der Hydrolyseversuche

Nach der Extraktion des Rohstoffs wurde ein Trockensubstanzgehalt von 75,5 % bestimmt. Die Einwaage für die einzelnen Versuche beträgt jeweils 0,530 kg, das entspricht einer Einwaage von 400 g trockenem Material. Der Rohstoff wird in den Reaktor gefüllt und mit der entsprechenden Menge Wasser und Säure versetzt. Anschließend wird der Reaktorinhalt aufgeheizt, bis die gewünschte Temperatur erreicht ist (Heizdauer ca. 10-15 min). Von diesem Zeitpunkt an wird die eigentliche Reaktionszeit (10 min) gemessen, nach deren Ende der Versuch wie oben beschrieben beendet wird. Im Auffanggefäß werden 12 l Wasser vorgelegt um einen zu hohen Verlust durch Verdampfung zu vermeiden, und um die Reaktionslösung abzukühlen. Der Reaktor wird mit 5 l Wasser gewaschen, um etwaige Reste zu entfernen. Dieses Material wird dem restlichen Hydrolyserückstand vermischt. Die Flüssigkeit wird über ein Filtertuch abfiltriert, während der Feststoff anschließend mit 40 l Wasser gewaschen und auf einen Trockensubstanzgehalt von 15-20 % abgepresst wird. Der Feststoff wird schonend getrocknet und steht für weitere Untersuchungen (z.B.: Beurteilung der Faserqualität) zur Verfügung.

Tab. 104: Versuchsplan: t = const. = 10 min.

| | | H ₂ SO ₄ [%] | T [°C] | TS [%] | TS im Experiment [kg] | Einwaage Rohmaterial [kg] | Wasser [l] | H ₂ SO ₄ (6 %) [l] | Gesamt [kg] |
|----|-----|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|--|----------------|
| 1 | T- | 0,500 | 162 | 13,00 | 0,400 | 0,530 | 2,324 | 0,223 | 3,077 |
| 2 | C | 0,500 | 170 | 13,00 | 0,400 | 0,530 | 2,324 | 0,223 | 3,077 |
| 3 | C | 0,500 | 170 | 13,00 | 0,400 | 0,530 | 2,324 | 0,223 | 3,077 |
| 4 | ++ | 0,600 | 165 | 16,00 | 0,400 | 0,530 | 1,760 | 0,210 | 2,500 |
| 5 | -- | 0,400 | 175 | 10,00 | 0,400 | 0,530 | 3,230 | 0,240 | 4,000 |
| 6 | --- | 0,400 | 175 | 16,00 | 0,400 | 0,530 | 1,830 | 0,140 | 2,500 |
| 7 | S+ | 0,668 | 170 | 13,00 | 0,400 | 0,530 | 2,249 | 0,298 | 3,077 |
| 8 | C | 0,500 | 170 | 13,00 | 0,400 | 0,530 | 2,324 | 0,223 | 3,077 |
| 9 | C | 0,500 | 170 | 13,00 | 0,400 | 0,530 | 2,324 | 0,223 | 3,077 |
| 10 | TS- | 0,500 | 170 | 7,95 | 0,400 | 0,530 | 4,113 | 0,386 | 5,029 |
| 11 | C | 0,500 | 170 | 13,00 | 0,400 | 0,530 | 2,324 | 0,223 | 3,077 |
| 12 | --+ | 0,400 | 165 | 16,00 | 0,400 | 0,530 | 1,830 | 0,140 | 2,500 |
| 13 | C | 0,500 | 170 | 13,00 | 0,400 | 0,530 | 2,324 | 0,223 | 3,077 |
| 14 | C | 0,500 | 170 | 13,00 | 0,400 | 0,530 | 2,324 | 0,223 | 3,077 |
| 15 | TS+ | 0,500 | 170 | 18,05 | 0,400 | 0,530 | 1,535 | 0,151 | 2,217 |
| 16 | S- | 0,332 | 170 | 13,00 | 0,400 | 0,530 | 2,399 | 0,148 | 3,077 |
| 17 | +++ | 0,600 | 175 | 16,00 | 0,400 | 0,530 | 1,760 | 0,210 | 2,500 |
| 18 | --- | 0,400 | 165 | 10,00 | 0,400 | 0,530 | 3,230 | 0,240 | 4,000 |
| 19 | C | 0,500 | 170 | 13,00 | 0,400 | 0,530 | 2,324 | 0,223 | 3,077 |
| 20 | ++ | 0,600 | 165 | 10,00 | 0,400 | 0,530 | 3,110 | 0,360 | 4,000 |
| 21 | T+ | 0,500 | 178 | 13,00 | 0,400 | 0,530 | 2,324 | 0,223 | 3,077 |
| 22 | C | 0,500 | 170 | 13,00 | 0,400 | 0,530 | 2,324 | 0,223 | 3,077 |
| 23 | +- | 0,600 | 175 | 10,00 | 0,400 | 0,530 | 3,110 | 0,360 | 4,000 |

11.6 Ergebnisse der Hydrolyseversuche

Die Ergebnisse in Tabelle 105 und 106 gehen davon aus, daß der gesamte lösliche Zucker zurückgewonnen werden kann (z.B. durch Extraktion). Die Angabe erfolgt in g Zucker pro 100 g trockener Rohstoff. Diese Werte wurden für die statistische Auswertung mittels Statgraphics 5.0 herangezogen. Auf Basis dieser Werte wurden die folgenden optimalen Bedingungen errechnet: Säurekonzentration: 0,53 %; Temperatur: 162°C; Trockensubstanz: 10 %; die durch das Modell errechneten Ausbeuten sowie die tatsächlichen Ausbeuten in zwei Versuchsansätzen sind ebenfalls in Tabelle 105 und 106 zu finden. Die Pareto-Diagramme in Fig. 65 zeigen die Signifikanz der untersuchten Einflussgrößen und ihrer Wechselwirkungen. Effekte die kleiner als die eingezeichnete Linie sind, sind nicht signifikant. Fig. 66 - 68 zeigen die Antwortflächen für die Ausbeuten an Zucker, Xylose und Furfural, die anhand des statistischen Modells errechnet wurden. Tabelle 107 zeigt die Zusammensetzung der festen Hydrolyserückstände.

Tab. 105: Ausbeuten von Zuckern und Zuckerabbauprodukten

Die Werte in Klammern geben die Konzentrationen nach einer Nachhydrolyse des Hydrolysates bei einer Schwefelsäurekonzentration von 2,4 % bei 120°C und 20 min an.

| Nr. | Säure [%] | T [°C] | TS [g/100 g] | Zucker [g/100 g] | Abgebaute Zucker [g/100 g] | Glucose [g/100 g] | Xylose [g/100 g] | Arabinose [g/100 g] |
|---------|-----------|--------|--------------|------------------|----------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| 18 | 0,400 | 165 | 10 | 17,24 (20,42) | 1,05 | 1,15 (2,37) | 13,21 (14,96) | 2,87 (3,09) |
| 12 | 0,400 | 165 | 16 | 7,39 (17,08) | 0,87 | 0,30 (1,87) | 4,68 (12,44) | 2,41 (2,77) |
| 5 | 0,400 | 175 | 10 | 18,93 (20,65) | 1,87 | 1,83 (2,60) | 14,36 (15,11) | 2,74 (2,94) |
| 6 | 0,400 | 175 | 16 | 11,11 (16,52) | 1,53 | 0,54 (1,86) | 8,40 (12,31) | 2,17 (2,36) |
| 20 | 0,600 | 165 | 10 | 22,12 (20,08) | 0,16 | 2,36 (2,61) | 16,71 (14,55) | 3,04 (2,92) |
| 4 | 0,600 | 165 | 16 | 14,98 (17,79) | 1,47 | 1,02 (2,03) | 11,49 (13,13) | 2,48 (2,63) |
| 23 | 0,600 | 175 | 10 | 19,63 (10,79) | 0,00 | 2,92 (1,78) | 14,20 (7,57) | 2,52 (1,43) |
| 17 | 0,600 | 175 | 16 | 15,86 (15,97) | 2,23 | 1,52 (2,14) | 12,08 (11,60) | 2,26 (2,23) |
| 16 | 0,332 | 170 | 13 | 10,93 (17,23) | 1,08 | 0,49 (1,91) | 8,12 (12,74) | 2,32 (2,58) |
| 7 | 0,668 | 170 | 13 | 19,91 (21,18) | 2,03 | 2,31 (2,85) | 14,86 (15,29) | 2,75 (3,04) |
| 1 | 0,500 | 162 | 13 | 16,48 (20,92) | 1,30 | 1,02 (2,31) | 12,56 (15,30) | 2,90 (3,31) |
| 21 | 0,500 | 178 | 13 | 17,04 (16,14) | 0,00 | 1,90 (2,29) | 12,77 (11,61) | 2,37 (2,23) |
| 10 | 0,500 | 170 | 8 | 21,60 (20,33) | 1,52 | 2,62 (2,71) | 16,06 (14,66) | 2,91 (2,95) |
| 15 | 0,500 | 170 | 18 | 11,40 (17,28) | 1,55 | 0,64 (2,13) | 8,46 (12,66) | 2,30 (2,48) |
| 2 | 0,500 | 170 | 13 | 16,94 (18,60) | 1,87 | 1,42 (2,26) | 12,95 (13,66) | 2,58 (2,68) |
| 3 | 0,500 | 170 | 13 | 16,76 (19,50) | 1,83 | 1,27 (2,27) | 12,77 (14,31) | 2,72 (2,92) |
| 8 | 0,500 | 170 | 13 | 16,60 (21,13) | 1,55 | 1,24 (2,45) | 12,74 (15,61) | 2,62 (3,06) |
| 9 | 0,500 | 170 | 13 | 16,93 (19,10) | 1,09 | 1,13 (2,17) | 12,92 (14,02) | 2,88 (2,90) |
| 11 | 0,500 | 170 | 13 | 16,15 (16,85) | 1,45 | 1,27 (2,08) | 12,38 (12,36) | 2,50 (2,41) |
| 13 | 0,500 | 170 | 13 | 15,93 (17,20) | 1,27 | 1,22 (2,10) | 12,21 (12,63) | 2,49 (2,47) |
| 14 | 0,500 | 170 | 13 | 18,23 (19,89) | 1,83 | 1,55 (2,41) | 13,92 (14,71) | 2,77 (2,77) |
| 19 | 0,500 | 170 | 13 | 18,44 (20,36) | 1,83 | 1,54 (2,54) | 14,12 (14,93) | 2,78 (2,89) |
| 22 | 0,500 | 170 | 13 | 16,57 (17,51) | 0,00 | 1,49 (2,17) | 12,65 (12,86) | 2,43 (2,48) |
| | | | | | | | | |
| | 0,530 | 162 | 10 | 21,13 | 1,13 | 1,78 | 16,23 | 3,11 |
| A | 0,530 | 162 | 10 | 15,29 (16,97) | 0,96 | 1,36 (1,92) | 11,84 (12,63) | 2,08 (2,42) |
| B | 0,530 | 162 | 10 | 16,71 (18,68) | 0,98 | 1,36 (2,14) | 12,84 (13,74) | 2,50 (2,79) |
| | | | | | | | | |
| Maximum | | | | 52,27 | | 31,24 | 17,69 | 3,34 |

Tab. 106: Ausbeuten von Zuckern und Zuckerabbauprodukten, Fortsetzung

| Nr. | Säure [%] | T [°C] | TS [g/100 g] | HMF [g/100 g] | Furfural [g/100 g] | Milchsäure [g/100 g] | Essigsäure [g/100 g] |
|-----|-----------|--------|--------------|---------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| 18 | 0,400 | 165 | 10 | 0,08 | 0,59 | 0,09 | 1,44 |
| 12 | 0,400 | 165 | 16 | 0,09 | 0,46 | 0,10 | 0,63 |
| 5 | 0,400 | 175 | 10 | 0,12 | 1,07 | 0,12 | 1,97 |
| 6 | 0,400 | 175 | 16 | 0,09 | 0,89 | 0,09 | 0,99 |
| 20 | 0,600 | 165 | 10 | 0,11 | 0,73 | 0,13 | 2,46 |
| 4 | 0,600 | 165 | 16 | 0,11 | 0,83 | 0,08 | 1,45 |
| 23 | 0,600 | 175 | 10 | 0,15 | 1,27 | 0,18 | 2,55 |
| 17 | 0,600 | 175 | 16 | 0,17 | 1,26 | 0,10 | 1,80 |
| 16 | 0,332 | 170 | 13 | 0,09 | 0,60 | 0,05 | 0,78 |
| 7 | 0,668 | 170 | 13 | 0,14 | 1,16 | 0,14 | 2,44 |
| 1 | 0,500 | 162 | 13 | 0,10 | 0,73 | 0,11 | 1,40 |
| 21 | 0,500 | 178 | 13 | 0,15 | 1,24 | 0,13 | 1,99 |
| 10 | 0,500 | 170 | 8 | 0,11 | 0,86 | 0,16 | 2,43 |
| 15 | 0,500 | 170 | 18 | 0,17 | 0,83 | 0,16 | 1,04 |
| 2 | 0,500 | 170 | 13 | 0,13 | 1,07 | 0,09 | 1,66 |
| 3 | 0,500 | 170 | 13 | 0,12 | 1,05 | 0,10 | 1,59 |
| 8 | 0,500 | 170 | 13 | 0,10 | 0,89 | 0,12 | 1,62 |
| 9 | 0,500 | 170 | 13 | 0,08 | 0,61 | 0,11 | 1,40 |
| 11 | 0,500 | 170 | 13 | 0,10 | 0,82 | 0,09 | 1,49 |
| 13 | 0,500 | 170 | 13 | 0,11 | 0,70 | 0,09 | 1,47 |
| 14 | 0,500 | 170 | 13 | 0,13 | 1,03 | 0,10 | 1,80 |
| 19 | 0,500 | 170 | 13 | 0,13 | 1,04 | 0,10 | 1,80 |
| 22 | 0,500 | 170 | 13 | 0,10 | 0,75 | 0,10 | 1,66 |
| | | | | | | | |
| | 0,530 | 162 | 10 | 0,08 | 0,64 | - | - |
| A | 0,530 | 162 | 10 | 0,03 | 0,58 | 0,07 | 1,65 |
| B | 0,530 | 162 | 10 | 0,07 | 0,55 | 0,09 | 1,67 |

Tab. 107: Zusammensetzung der festen Hydrolyserückstände

| Nr. | Säure [%] | T [°C] | TS [g/100 g] | Klason Lignin [g/100 g] | Glucose [g/100 g] | Xylose [g/100 g] | Arabinose [g/100 g] | Essigsäure [g/100 g] |
|-----|-----------|--------|--------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|----------------------|
| 18 | 0,400 | 165 | 10 | 29,00 | 60,42 | 5,24 | 0,00 | 0,76 |
| 12 | 0,400 | 165 | 16 | 30,25 | 56,05 | 8,41 | 0,16 | 1,23 |
| 5 | 0,400 | 175 | 10 | 29,50 | 60,41 | 3,36 | 0,00 | 0,57 |
| 6 | 0,400 | 175 | 16 | 28,10 | 59,14 | 5,07 | 0,00 | 0,93 |
| 20 | 0,600 | 165 | 10 | 31,10 | 61,08 | 3,61 | 0,00 | 0,47 |
| 4 | 0,600 | 165 | 16 | 29,90 | 59,93 | 4,93 | 0,00 | 0,86 |
| 23 | 0,600 | 175 | 10 | 32,29 | 61,22 | 2,21 | 0,00 | 0,14 |
| 17 | 0,600 | 175 | 16 | 32,01 | 59,20 | 3,86 | 0,00 | 0,62 |
| 16 | 0,332 | 170 | 13 | 28,69 | 59,49 | 6,17 | 0,08 | 0,99 |
| 7 | 0,668 | 170 | 13 | 27,34 | 62,18 | 3,18 | 0,00 | 0,47 |
| 1 | 0,500 | 162 | 13 | 29,63 | 60,74 | 5,27 | 0,00 | 0,87 |
| 21 | 0,500 | 178 | 13 | 31,49 | 61,05 | 3,19 | 0,00 | 0,40 |
| 10 | 0,500 | 170 | 8 | 32,47 | 63,67 | 3,32 | 0,00 | 0,40 |
| 15 | 0,500 | 170 | 18 | 30,40 | 57,55 | 5,91 | 0,09 | 0,73 |
| 2 | 0,500 | 170 | 13 | 29,58 | 61,37 | 4,04 | 0,00 | 0,70 |
| 3 | 0,500 | 170 | 13 | 29,64 | 61,65 | 4,40 | 0,00 | 0,73 |
| 8 | 0,500 | 170 | 13 | 32,05 | 60,91 | 4,71 | 0,00 | 0,59 |
| 9 | 0,500 | 170 | 13 | 31,91 | 61,70 | 5,18 | 0,00 | 0,79 |
| 11 | 0,500 | 170 | 13 | 32,42 | 60,55 | 4,65 | 0,00 | 0,72 |
| 13 | 0,500 | 170 | 13 | 33,72 | 61,21 | 4,73 | 0,00 | 0,73 |
| 14 | 0,500 | 170 | 13 | 29,18 | 59,22 | 4,42 | 0,00 | 0,65 |
| 19 | 0,500 | 170 | 13 | 30,57 | 60,39 | 4,33 | 0,00 | 0,59 |
| 22 | 0,500 | 170 | 13 | 30,74 | 59,95 | 4,09 | 0,00 | 0,47 |
| A | 0,530 | 162 | 10 | 29,87 | 58,46 | 4,32 | 0,06 | 0,56 |
| B | 0,530 | 162 | 10 | 31,24 | 55,89 | 4,51 | 0,00 | 0,62 |

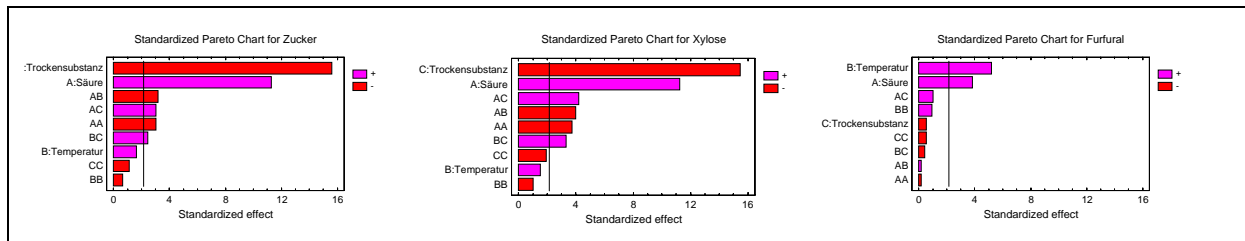


Fig. 65: Pareto Diagramme für die Ausbeuten an Gesamtzucker, Xylose und Furfural. Effekte unterhalb der eingezeichneten Linie sind nicht signifikant.

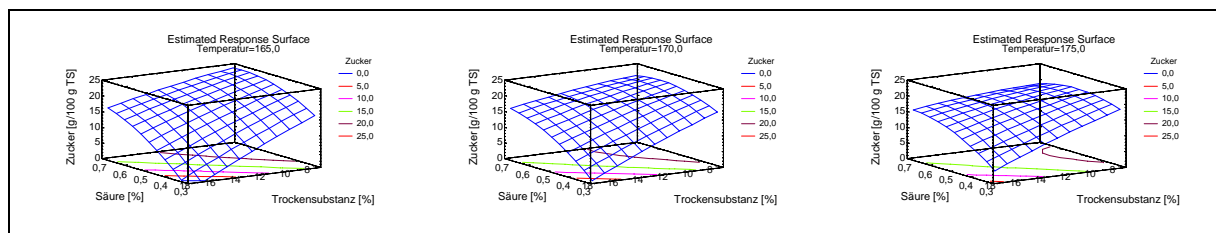


Fig. 66: Errechnete Antwortflächen für die Zuckerausbeuten in Abhängigkeit von Säurekonzentration und Trockensubstanzgehalt bei verschiedenen Temperaturen

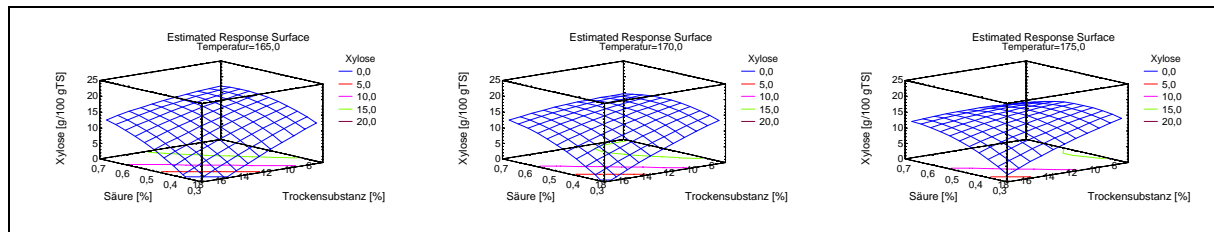


Fig. 67: Errechnete Antwortflächen für die Xyloseausbeuten in Abhängigkeit von Säurekonzentration und Trockensubstanzgehalt bei verschiedenen Temperaturen

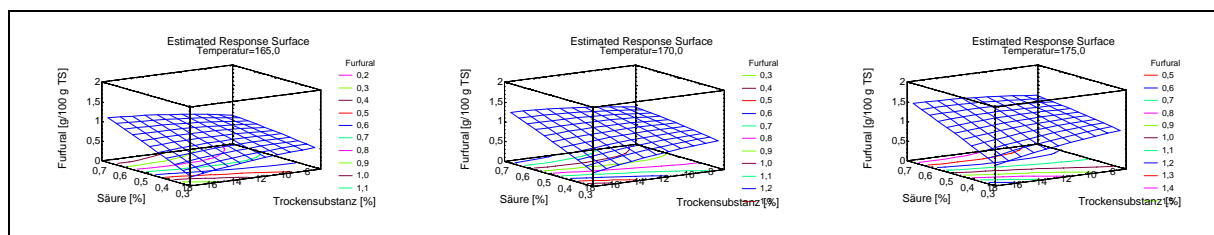


Fig. 68: Errechnete Antwortflächen für die Furfuralausbeuten in Abhängigkeit von Säurekonzentration und Trockensubstanzgehalt bei verschiedenen Temperaturen

Aus Fig. 65-68 ist ersichtlich, dass die Trockensubstanz einen stark negativen Einfluss auf die Zuckerausbeuten zeigt. Das heißt, dass höhere Trockensubstanzgehalte niedrigere Ausbeuten zur Folge haben. In praktischen Anwendungen werden jedoch üblicherweise höhere Trockensubstanzgehalte bevorzugt, da sie konzentriertere Zuckerlösungen liefern. Zudem kann dieser Effekt auf Grund der positiven Wechselwirkung zwischen Säurekonzentration und Trockensubstanz zum Teil durch höhere Säurekonzentrationen ausgeglichen werden. Darüber hinaus bewirken niedrige Trockensubstanzgehalte einen höheren Säureverbrauch (absolut). Für die weiteren Versuche wurde daher ein Trockensubstanzgehalt von 10 % als Kompromiss gewählt. Für die Bildung von Zuckerabbauprodukten ist die Trockensubstanz nicht signifikant.

Erhöhte Säurekonzentrationen bewirken sowohl höhere Zuckerausbeuten als auch vermehrte Furfuralbildung. Für die Zuckerausbeuten erscheint die Temperatur nicht signifikant, was auch auf einen zu engen Abstand zwischen den untersuchten Levels zurückgeführt werden kann, allerdings verschlechtern höhere Temperaturen durch die Wechselwirkungen mit Säurekonzentration und Trockensubstanz die Ausbeuten. Für die Furfuralbildung ist die Temperatur hingegen der signifikanteste Einflussfaktor. Daher wurde für die zusätzlichen Versuche eine niedrige Temperatur (162° C) gewählt.

Wie aus Tabelle 105 ersichtlich ist, sind die unter den errechneten Bedingungen erzielten Ausbeuten deutlich von den erwarteten Werten entfernt. Das könnte einerseits auf eine Veränderung des Rohmaterials während der Lagerung zurückzuführen sein, da zwischen den Versuchen mehrere Wochen liegen, andererseits liegen die Werte für Temperatur und Trockensubstanz im Randbereich des Versuchsplanes, wo die Vorhersagekraft des Modells eventuell stärker als vermutet beeinträchtigt ist.

11.7 Versuche mit verschiedenen Silagen und Frischgräsern

Die Versuche wurden wie unter 11.5 beschrieben durchgeführt. Es wurden 0,4 kg Trockensubstanz eingewogen und mit 3,6 l Schwefelsäure (0,53 %) versetzt (10 % TS). Die Reaktionstemperatur betrug 162°C. Der Versuch mit 5b) (Kleegraspresskuchen 1. Schnitt - Silage, z.T. bereits unter 11.6 beschrieben) wurde mit dem oben beschriebenen extrahierten Material durchgeführt. Da zu erwarten war, dass Frischgraspresskuchen und Heu weniger Pufferwirkung als Silagen zeigen, wurden die Versuche mit 3 (Kleegras 2. Schnitt - Grün) und Heu ohne Vorbehandlung durchgeführt. Wie aus den untenstehenden Tabellen zu entnehmen ist, erwies sich diese Annahme als unrichtig, da die Ausbeuten vor allem bei Rohstoff Nr. 3 sehr dürftig ausfielen. Ursprünglich war geplant, zum Vergleich den unter 11.4 beschriebenen Versuchsplan mit Heu durchzuführen, weil davon auszugehen war, dass für diesen Rohstoff keine Extraktion notwendig sein würde. Da die Zuckerausbeute nur bei ca. 50 % des Hemicellulosezuckers liegt und die gemessenen Werte für Glucose und Fructose vermutlich schon als Monomere vorliegen, wurde auf die zusätzlichen Versuche mit Heu verzichtet. Bei Versuchen mit Weichholz und Stroh unter vergleichbaren Bedingungen konnten Ausbeuten von mindestens 70 % erzielt werden.

Die restlichen Rohstoffe wurden daher vor der Hydrolyse einer Kaltwasserextraktion unterzogen:

0,400 g Trockensubstanz wurden mit 6 l Osmosewasser versetzt. Nach 10 min wurden 4,5 l Flüssigkeit (Extrakt 1) entfernt und weitere 6 l frisches Osmosewasser zugesetzt. Nach weiteren 10 min wurden 6 l Flüssigkeit entfernt (Extrakt 2) und wiederum 6 l frisches Osmosewasser zugesetzt. Durch die Entfernung von 4,253 l Flüssigkeit (Extrakt 3) wurde der gewünschte Trockensubstanzgehalt eingestellt. Die erforderliche Säurekonzentration wurde durch Zugabe von 318 ml H₂SO₄ (6 %) erreicht.

Eine Übersicht der Ergebnisse ist in Tabelle 108 dargestellt. Detaillierte Ergebnisse sind den Tabellen im Anhang zu entnehmen.

Tab. 108: Ausbeuten von Zuckern und Zuckerabbauprodukten verschiedener Rohstoffe (T=162°C, Säurekonzentration = 0,53 %, TS=10%, t=10 min)

Angaben: Rohstoffzusammensetzung [g/100 g TS], Ausbeuten in g/100 g TS nach Extraktion und Hydrolyse, sowie die im Feststoff verbleibende Menge. Werte der Doppelbestimmungen sind durch einen Schrägstrich getrennt. Die Werte in Klammern geben die Konzentrationen nach einer Nachhydrolyse des Hydrolysates bei einer Schwefelsäurekonzentration von 2,4 % bei 120°C und 20 min an.

| | Klason Lignin [g/100 g] | Gesamtzucker [g/100 g] | Glucose [g/100 g] | Xylose/ Fructose [g/100 g] | Furfural [g/100 g] | Essigsäure [g/100 g] | Milchsäure [g/100 g] |
|--|-------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------|
| 5a) Klee gras 1. Schnitt - Silage | | | | | | | |
| Rohstoff | 25,22 | 52,26 | 31,24 | 17,69 | | | |
| Hydrolysat | | 14,92/16,36 (16,57/18,29) | 1,33/1,33 (1,87/2,03) | 11,56/12,57 (12,33/13,46) | 0,56/0,54 | 1,62/1,64 (1,91/2,15) | |
| Rückstand (fest) | 14,94/18,67 | 31,42/39,27 | 29,23/36,54 | 2,16/2,70 | | 0,28/0,35 | |
| Heu | | | | | | | |
| Rohstoff | 21,99 | 61,51 | 39,28 | 18,71 | | | |
| Hydrolysat | | 10,77 (13,33) | 1,07 (2,60) | 7,83 (8,59) | 0,30 | 0,37 (1,11) | |
| Rückstand (fest) | 28,24 | 37,87 | 31,78 | 5,87 | | 0,90 | |
| 3 Klee gras 2. Schnitt- grün | | | | | | | |
| Rohstoff | 20,43 | 59,16 | 38,35 | 18,01 | | | |
| Hydrolysat | | 3,81/4,46 (13,87/13,62) | 0,34/0,33 (2,45/2,53) | 1,83/2,46 (9,28/8,83) | 0,33/0,23 | 0,35/0,39 (1,42/1,37) | |
| Rückstand (fest) | 19,39/22,62 | 32,05/35,17 | 25,94/29,39 | 2,16/2,70 | | 0,75/0,74 | |
| 8 Klee gras 2. Schnitt- Silage | | | | | | | |
| Rohstoff | 20,21 | 52,39 | 33,67 | 16,31 | | | |
| Extrakt | | 0,82/0,63 | 0,31/0,31 | 0,38/0,19 | | 0,05/0,07 | 4,72/4,68 |
| Hydrolysat | | 12,21/11,28 (14,22/14,11) | 0,91/0,71 (1,52/1,47) | 9,43/8,70 (10,58/10,49) | 0,40/0,53 | 1,06/0,82 (1,67/1,60) | 0,40/0,37 |
| Rückstand (fest) | 15,67/16,46 | 25,94/26,58 | 23,72/24,11 | 2,11/2,37 | | 0,25/0,32 | |
| 4 Dauerwiese 1. Schnitt - grün | | | | | | | |
| Rohstoff | 22,13 | 64,48 | 40,08 | 21,07 | | | |
| Extrakt | | 2,69/2,60 | 0,63/0,62 | 1,98/1,92 | | 0,13/0,10 | 0,23/0,19 |
| Hydrolysat | | 16,51/16,35 (19,23/18,95) | 1,71/1,68 (2,57/2,61) | 12,44/12,30 (13,89/13,58) | 0,51/0,46 | 1,25/1,22 (1,98/1,88) | 0,06/0,08 |
| Rückstand (fest) | 15,31/14,28 | 27,98/26,84 | 25,61/24,45 | 2,31/2,28 | | 0,30/0,30 | |
| 7 Dauerwiese 1. Schnitt - Silage | | | | | | | |
| Rohstoff | 20,97 | 57,45 | 35,91 | 18,63 | | | |
| Extrakt | | 1,09/1,74 | 0,18/0,27 | 0,91/1,39 | | 0,03/0,07 | 2,36/2,78 |
| Hydrolysat | | 14,47/13,34 (16,23/17,53) | 1,11/0,00 (1,82/1,97) | 11,04/11,05 (11,82/12,77) | 0,46/0,44 | 1,02/1,05 (1,65/1,80) | 0,48/0,36 |
| Rückstand (fest) | 15,62/15,84 | 28,47 | 28,28 | 26,12/25,97 | | 0,29/0,28 | |
| 6 Knaul gras 2. Schnitt - grün | | | | | | | |
| Rohstoff | 23,18 | 52,30 | 35,23 | 14,57 | | | |
| Extrakt | | 0,02/0,03 | 0,00/0,01 | 0,01/0,02 | 0,00/0,00 | 0,26/0,25 | 0,03/0,01 |
| Hydrolysat | | 5,72/4,88 (12,78/12,50) | 0,29/0,26 (2,12/2,12) | 3,83/3,06 (8,70/8,40) | 0,39/0,34 | 0,31/0,28 (1,10/1,06) | 0,02/0,00 |
| Rückstand (fest) | 20,32/20,04 | 31,30/31,39 | 27,34/26,91 | 3,82/4,25 | | 0,52/0,59 | |
| 1 Knaul gras 2. Schnitt - Silage | | | | | | | |
| Rohstoff | 19,78 | 51,04 | 33,26 | 15,36 | | | |
| Extrakt | | 2,35/2,29 | 0,36/0,35 | 1,76/1,70 | | 0,09/0,13 | 4,12/3,95 |
| Hydrolysat | | 9,71/9,08 (11,58/12,65) | 0,50/0,43 (1,09/1,20) | 7,45/6,88 (8,60/9,32) | 0,38/0,34 | 0,57/0,50 (1,14/1,27) | 0,54/0,69 |
| Rückstand (fest) | 19,13/21,11 | 34,18/38,45 | 31,49/35,16 | 2,70/3,23 | | 0,35/0,43 | |

11.8 Zusammenfassung der Ergebnisse

Entgegen den ursprünglichen Erwartungen führt die Verwendung von Silagepresskuchen als Rohstoff für die Hydrolyse von Hemicellulose nicht zu einer Reduktion der eingesetzten Säure. Durch die starke Pufferung der Proben ist sogar die Zugabe von mehr Säure notwendig als bei Materialien wie Stroh oder Holz. Die Pufferwirkung ist vermutlich primär auf die während des Silierprozesses gebildeten organischen Säuren zurückzuführen. Allerdings ist dieselbe Wirkung auch bei Frischgraspresskuchen und Heu zu beobachten, die nur geringe Mengen an organischen Säuren enthalten. Offensichtlich spielen hier noch andere Faktoren, wie zum Beispiel das Entstehen von basischen Substanzen durch den Abbau von Proteinen, eine Rolle.

Um dennoch eine Aussage über die Gewinnung von Hemicellulosezuckern aus den untersuchten Rohstoffen machen zu können, wurde vor der Hydrolyse eine Extraktion mit kaltem Wasser durchgeführt. Dabei konnten aus Silagepresskuchen zwischen 2,5 bis 4,5 g Milchsäure je 100 g Trockenmasse extrahiert werden. Zucker wurden bis zu ca. 2 g/100 g TM extrahiert, wobei diese überwiegend in Form von Glucose und Fructose vorlagen. Extrakte aus Frischgraspresskuchen enthielten nur geringe Mengen an Zuckern und Säuren, dennoch konnte durch die Extraktion eine Verbesserung der Ausbeuten an Monosacchariden erzielt werden.

Um optimale Bedingungen herauszufinden, wurde mit extrahiertem Presskuchen der Probe 5a) (Kleegraspresskuchen, 1. Schnitt - Silage) ein statistischer Versuchsplan durchgeführt. Die untersuchten Parameter waren Säurekonzentration, Temperatur und Trockensubstanzgehalt. Den Ergebnissen zufolge sind niedrigere Temperaturen (etwa 160°C) und dafür höhere Säurekonzentrationen (0,5-0,6 % H₂SO₄) vorzuziehen, da erhöhte Temperaturen zu einer verstärkten Bildung von Zuckerabbauprodukten (Furfural) führen. Der Trockensubstanzgehalt im Hydrolysereaktor zeigt einen stark negativen Effekt, wodurch niedrigere Trockensubstanzgehalte zu höheren Ausbeuten führen. Es ist allerdings zu beachten, dass niedrigere Trockensubstanzgehalte zu einem höheren Säureverbrauch führen. Niedrigere Ausbeuten bei hohen Trockensubstanzgehalten können zum Teil durch höhere Säurekonzentrationen kompensiert werden, wobei die absolut verbrauchte Menge an Säure in etwa gleich ist.

Es zeigte sich, dass maximal in etwa 20 % der Trockenmasse als freie Zucker gewonnen werden können. Das entspricht in etwa dem erwarteten Maximalwert, allerdings werden unter diesen Bedingungen bereits erhebliche Mengen an Zuckerabbauprodukten gebildet, die eine anschließende Fermentation empfindlich stören würden. Unter Bedingungen, die akzeptable Werte für Furfural liefern, sind in etwa 15 g Monosaccharide ausgehend von 100 g TM zu erwarten, wobei die Ausbeuten auch rohstoffabhängig sind. So liegt zum Beispiel Knautgras mit ca. 5,3 g/100 g TM (Frischgras) bzw. 9,4 g/100 g TM (Silage) am unteren Ende der Skala, während mit Dauerwiese (16,4 g/100 TM Frischgras; 13,9 g/100 g TM Silage) unter diesen Bedingungen die besten Ausbeuten zu erzielen sind.

Obwohl in manchen Experimenten nur geringe Ausbeuten an Monosacchariden erzielt wurden, konnte durch die Nachhydrolyse der Hydrolysate gezeigt werden, dass auch bei diesen Versuchen bereits der Grossteil der Hemicellulosezucker in gelöster Form, jedoch als Polymer, vorliegt. Offensichtlich lässt sich der überwiegende Teil der Hemicellulose schon bei moderateren Bedingungen und eventuell sogar ohne vorhergehende Extraktion gewinnen. Allerdings ist eine entsprechende Nachbehandlung (z.B.: Anwendung von Enzymen) erforderlich, um die polymeren Zucker in leicht fermentierbare Monosaccharide umzuwandeln.

12 BIOGASTECHNOLOGIE FÜR EINE GRÜNE BIORAFFINERIE – MODUL 6

Eine wichtige "Process-Unit", ausgearbeitet von W. Graf (Grass Power ®), der Grünen Bioraffinerie ist die Erzeugung von Biogas aus den biogenen Restströmen der Produktionseinheit. Dies kann im Sinne von Co-Fermentation gemeinsam mit Gülle oder reinstofflich mit oder ohne Faserrestmassen erfolgen. Entsprechend diesen Möglichkeiten muss die Technologie adaptiert und geplant werden. Die Biogasanlage dient außerdem als Referenzprozess an dem die Wirtschaftlichkeit des Grüne Bioraffinerie Gesamtkonzepts gemessen wird.

Wesentlicher Beitrag der Biogas-Unit zum Gesamtprojekt ist die sinnvolle Schließung des Kreislaufs, die Bereitstellung von Prozessenergie (Wärme, Elektrizität), Zusatzeinkommen durch netto Stromverkauf für das Gesamtsystem und die Erzeugung von wertvollem Dünger (Biogas-Gülle) für die Bioraffinerie Wiesen.

Erfahrungsgemäß steht der ökonomische Erfolg einer Biogasanlage in unmittelbarem Zusammenhang mit Größe, Bauart und Typ des Fermenters. Gerade im Bereich der Gras- und Energiepflanzenvergärung werden an den Fermenter sehr hohe Anforderungen in Bezug auf Funktionstüchtigkeit und einfachste Bedienung gestellt, da im Regelfall eine sehr große Menge - meist auch noch in sehr kurzer Zeit - an biogenem Material fermentiert wird.

12.1 Ausgangspunkt – Energiepflanzenvergärung und Silagevergärung

Biogasgewinnung aus Gras und Energiepflanzen ist eine Weiterentwicklung der allseits bekannten Anaerobgärung. Biogas aus Gras und Energiepflanzen ist ein Gasmisch, das sich aus folgenden Gasen zusammensetzt:

- ⊘ Methan (CH₄): 60 - 75 %
- ⊘ Kohlendioxid (CO₂): 23 - 38 %
- ⊘ Wasserstoff (H₂): ca. 1,7 - 1,8%.

Mit Hilfe von Silage kann das ganze Jahr Biogas erzeugt werden. Mit einer Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist es möglich, aus Biogas nicht nur Strom, sondern auch Wärme zu erzeugen. Durch die leichte Speicherbarkeit des Biogases kann sogar wertvoller Tagesspitzenstrom sekundengenau in das Netz eingespeist werden. Im Bereich der KWK-Technik wurden in den letzten Jahren erstaunliche Fortschritte gemacht, so dass man von einem elektrischen Wirkungsgrad von 32 – 38 % und einem Gesamtwirkungsgrad von über 80 % ausgehen kann.

12.2 Kriterien für eine ökonomische Bewertung

Wesentliche Kriterien für eine ökonomische Bewertung von Biogasanlagen sind folgende Punkte:

1. Biogastechnologie
2. Biogasertrag pro Kilo Trockenmasse (TM) bzw. organischer Trockenmasse (oTM)
3. Strom- und Wärmeproduktion pro Kubikmeter Biogas
4. Investkosten der Grasvergärungsanlage

12.3 Vergleich von Fermentertechnologien für die Vergärung von Gras und Energiepflanzen

Herzstück jeder Biogasanlage ist der Fermenter. Die Bauart des Fermenters gibt der Biogasanlage ihren Namen. Der Vollständigkeit halber sei hier auf das breite Spektrum der Fermentertypen und Gärssysteme hingewiesen. Nicht alle vorhandenen Fermentertypen haben sich im Dauerbetrieb bewährt, demzufolge auch nicht in der Praxis durchsetzen können. Grundsätzlich lassen sich die Biogasanlagentypen folgendermaßen unterteilen:

1. Batchsystem (Absetziges System)
2. Kontinuierliche Verfahren – einstufig gerührte Durchflusssysteme
 - a. Rührkesselfermenter (TMR)
 - b. Speicherdurchflusssystem auf Basis gasdichter Güllelager
 - c. Speicherdurchflusssystem mit Nachgärbehälter
 - d. Zweikammer-System (ZS)
 - e. Feststoff-Fermenter-System "ANACOM"
3. Pfropfenströmfermenter (PF)

Für Österreich können im wesentlichen das Zweikammersystem, der Pfropfenströmfermenter und das Speicherdurchflusssystem mit Nachgärbehälter als relevante Technologien zur Verwertung von Wiesengrünmasse bzw. Silagen angesehen werden.

12.3.1 Zweikammersystem (ZS)

Das Zweikammersystem ist eine österreichische Erfindung. Es besteht durch die Rührtechnik, die mit Gasdruck erfolgt. Ein mechanisches Rührwerk ist nicht mehr notwendig. Die Größe des Fermenters ist variabel und richtet sich nach der Substratmenge, die pro Jahr verarbeitet wird. Der Gärbehälter ist in getrennte Funktionsräume unterteilt. Die tieferliegende Hauptgärkammer ist mit dem darüber liegenden Nachgärraum durch kommunizierende Schächte verbunden. In Deckennähe sind diese Funktionsräume mit einer Gasleitung verbunden. Aus der Nachgärkammer wird das produzierte Gas über eine weitere Leitung dem Gaslager und anschließend der Verwertung zugeführt. Durch die Verriegelung des Gasabganges aus der Hauptgärkammer verdichtet sich das freiwerdende Gas und drückt dabei den Spiegel der Gärmasse nach unten. Die dadurch verdrängte Gärmasse wird in die darüberliegende Nachgärkammer gedrückt. Dort kann die aktive Biomasse sedimentieren und wird beim anschließenden Mischvorgang in die Hauptgärkammer zurückgespült. Dadurch kommt es zu einer Anreicherung der Biomasse im Fermenter, was eine höhere Abbauleistung bewirkt. Nach Erreichen der gewünschten Mischmenge wird der Gasüberdruck (durch automatisches Öffnen der Verbindungsleitung) in die Nachgärkammer abgelassen, und die nach oben geförderte Gärmasse kann kurzfristig in die Hauptgärkammer zurückfließen. Substratanteile mit starkem Auftrieb werden dabei gegen die Zwischendecke gepresst, aufgerissen und neu eingemischt, wodurch eine immer wiederkehrende Durchfeuchtung der erfolgt. Sandige Ablagerungen, wie zum Beispiel Muschelgrit bei der Hühnerhaltung, werden über den Grundschlammabzug entfernt. Schwimmdecken können sich - vorausgesetzt die Korngröße des zugeführten Substrates ist nicht zu groß - durch das ständige Mischen des Substrates nicht bilden.

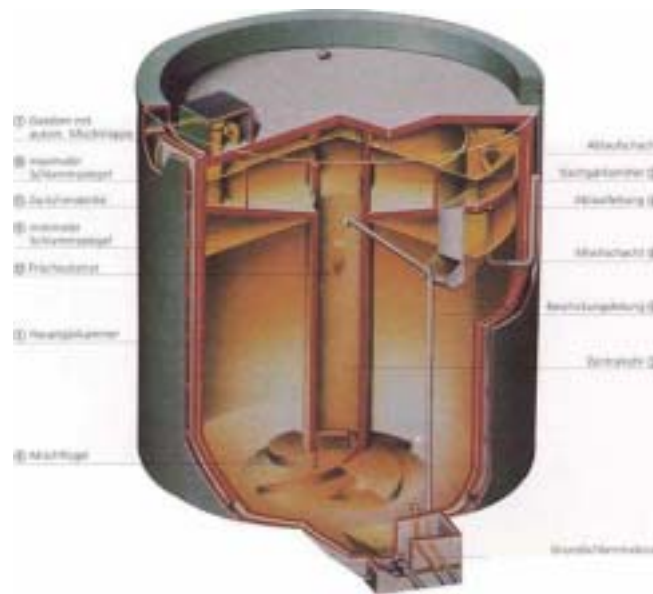


Fig. 69: Zweikammersystem – BIMA Reaktor der Fa. ENTEC

12.3.2 Propfenströmfermenter

In der Praxis besser bekannt als Rohrfermenter oder Stahltank mit einem gasdichtem Nachgärbehälter.

Dieser Anlagentyp wurde in kurzer Zeit von individueller Selbstbauweise zur Praxisreife vervollständigt. Speziell die Bauern haben bei diesem Typ unentgeltlich und ohne wissenschaftliche Unterstützung viel Forschungsarbeit geleistet. Die Praktiker schätzen diesen Fermentertyp wegen seiner Robustheit und Langlebigkeit (eine bestehende Anlage läuft schon seit 20 Jahren ohne größere Probleme).

Dieser kontinuierlich betriebene Fermenter zeichnet sich durch eine sehr große Einsatzvariabilität aus. Gewöhnlich wird in der Praxis die liegende, manchmal auch leicht geneigte röhrenförmige Bauform, in Stahl- oder in Betonausführung, gewählt. In der Stahlbauweise werden - vor allem aus wirtschaftlichen Gründen - fast immer Fermentergrößen zwischen 50 m³ und 150 m³ installiert. Aus Beton gefertigte Fermenter könnten jedoch viel größer gebaut werden. Herzstück des Rohrfermenters ist das axial angeordnete Haspelrührwerk. Diese Rührwerkordnung gibt auch die Substratfließrichtung vor. In der Praxis herrschen unterschiedliche Meinungen über die optimale Umdrehungsgeschwindigkeit des Rührwerks. Es kann jedoch von einer Durchschnittsgeschwindigkeit von einer Umdrehung bis vier Umdrehungen in der Minute ausgegangen werden.

Die Arme des Haspelrührwerks sollen so angeordnet sein, dass sie mindestens 95 % des Gärraums bestreichen. Die Armstellung des Rührwerks kann von Fall zu Fall verschieden sein. Konstruktionsvorgabe wird immer das eingesetzte Substrat sein. Zum Beispiel verhält sich Hühnergülle anders im Gärraum als Grassilage. Der Rühreffekt des Haspelrührwerks soll so lokal wie möglich gehalten werden, damit die Erzeugung kleinräumiger Strömungsturbulenzen gewährleistet ist. Durch genau festgelegte Einschaltintervalle (viertel- oder halbstündig sind die Regel) werden diese Strömungsturbulenzen verstärkt. Dadurch können sowohl die Schwimmschichten als auch Sinkschichten effizient verhindert werden.

Im Gegensatz zu den **TMR-Fermentern** verringert sich beim **PF** mit zunehmendem Substratfeststoffgehalt die Durchmischung des gesamten Fermenterinhalt. Angestrebt wird daher ein "pfropfenförmiges Durchwandern" des Gärsubstrates, das eine "Längsdurchmischung" nicht zulässt. Der "Vorschub", das heißt die Menge und Geschwindigkeit der Durchwanderung des Fermenters wird durch die Beschickungspumpe bestimmt.

Als bewiesen kann auch folgende Erkenntnis angesehen werden, dass die relative Geschwindigkeit der Entmischung mit abnehmendem Feststoffgehalt steigt. Das lässt folgende Schlussfolgerung zu: Für die Behandlung dünnflüssiger Substrate und organisch belasteter Abwässern eignet sich das **PF-System** äußerst schlecht.

Die Heizung ist beim **PF-System** entweder im Rührwerk mit eingebaut, oder, wenn der Tank als Doppelmanteltank ausgeführt ist, in diesem integriert. Beide Varianten haben Vor- und Nachteile die von Fall zu Fall abzuwägen sind.

12.3.3 Speicherdurchflusssystem mit Nachgärbehälter (TMR)

Dieser Typ ist in der Praxis sehr beliebt, weil Kosten und Bauaufwand leicht kalkulierbar und nachvollziehbar sind. Fermenter und Nachgärbehälter bilden eine Einheit und können als geschlossenes System bezeichnet werden. Auch bei diesem System wird der Fermenter im Regelfall aus Beton in Schalungsbauweise errichtet. Neuerdings werden aber immer öfter auch Stahlbehälter als Fermenter eingesetzt. Auch der Nachgärbehälter wird fast immer aus Beton errichtet, kann aber auch in Stahlbauweise installiert werden.

Im Bereich der Biogastechnik für die Landwirtschaft werden stehende zylindrische Bauformen gewählt und eingesetzt. Viereckige und mehreckige Bauformen haben sich in der Landwirtschaft nicht bewährt. Sonderbauformen, wie z.B. die Eiform oder der Zylinder mit kegeligem Abschluss unten wie oben, findet man eher bei Kläranlagen, wo sie als Faultürme eingesetzt werden.

Bestechend am TMR (Totally Mixed Reactor) ist zweifellos das variable Faulraumvolumen. Heute ist man in der Lage, Gärraumvolumina von bis zu 5.000 m³ und in Sonderfällen noch mehr zu bauen und sicher zu betreiben. Die Fermenter werden in unseren Breitengraden immer im mesophilen oder thermophilen Bereich betrieben. Das setzt natürlich ein funktionstüchtiges Heizungssystem im Fermenter voraus. Durch die mehrmalige Durchmischung des Substrates im Fermenter wird man den Milieuansprüchen der einzelnen Bakteriengruppen (Hydrolyse bzw. Methanogenese) nicht wirklich gerecht. Diese suboptimalen Bedingungen werden in der Praxis aber durch relativ lange Verweilzeiten wieder wettgemacht. Es kommt durch die längeren Verweilzeiten zu einem gewissen Verdünnungseffekt. Außerdem ist man in der Praxis der Ansicht, dass die einzelnen Stoffgruppen des zugeführten Gärmaterials immer unterschiedlich lange Abbauzeiten aufweisen, wodurch eine genaue Trennung zwischen Hydrolyse und Methanbildung ohnehin nicht vorgenommen werden kann.

12.3.4 Systemvergleich – Geeignete Technologien für die Grüne Bioraffinerie

Systemvergleiche sind erwiesenermaßen immer schwierig, weil im Regelfall die Randbedingungen sehr unterschiedlich sind. Eines kann man allerdings sehr wohl klar feststellen: Wo liegen die Stärken, wo liegen die Schwächen der gängigsten Systeme. Für Österreich ist dies für Energiepflanzenvergärung in den Tabellen 109 und 110 dargestellt.

Tab. 109: Systemvergleich – geeignete Technologien für die Grüne Bioraffinerie

| Substrat | Zweikammer-system | Pfropfenström-fermenter | TMR Speicherdurchflusssystem mit Nachgärbeh. |
|---|-------------------|-------------------------|--|
| Silage | 8 | 7 | 7 |
| Grünschnitt | 8 | 7 | 7 |
| Legende: 7 empfehlenswert; 8 nicht empfehlenswert | | | |

Die ökonomische Betrachtung bringt folgendes Ergebnis:

Tab. 110: Ökonomische Betrachtung der Fermentersysteme für eine GBR

| Kosten | Zweikammersyst. | Pfropfenströmferm. | TMR Speicherdurchflusssystem mit Nachgärbeh. |
|--|-----------------|--------------------|--|
| Investkosten | 8 | 7 | 7 |
| Betriebskosten ^{a)} | 7 | 8 | 8 |
| Legende: 7 günstig; 8 relativ hoch ^{a)} bezüglich Energieverbrauch und Verschleißteile | | | |

12.3.5 Erstellung eines techn. Anforderungsprofils von dezentralen Gemeinschaftsbiogasanlagen und Einzelbiogasanlagen für den Bereich Gras- und Energiepflanzenvergärung

Im Bereich der Gras -und Energiepflanzenvergärung könnten - sowohl für Einzelanlagen als auch für Gemeinschaftsanlagen - für die Bauern neue Einkommensmöglichkeiten geschaffen werden. Voraussetzung ist die Erstellung eines einheitlichen technischen Anforderungsprofils für Biogasanlagen im Bereich der Gras -und Energiepflanzenvergärung. Zu untersuchen ist einerseits, ob eine einheitliche Anlagentechnik zu einer Investkostenreduktion führen könnte, andererseits ob dadurch etwaige neue Erkenntnisse aus der Wissenschaft schnell und flächendeckend umzusetzen sind. Zu untersuchen ist auch, ob und wie schnell die möglicherweise daraus resultierenden ökonomischen Vorteile an die Praktiker weitergegeben werden können.

Die Erstellung eines einheitlichen technischen Anforderungsprofils für Biogasanlagen im Bereich der Gras -und Energiepflanzenvergärung ist zur Zeit noch nicht möglich, da die zuständigen Sachverständigen in den einzelnen Bundesländern Biogasanlagen nach unterschiedlichen Kriterien bewerten.

Außer Zweifel stehen die Erkenntnisse der ökonomischen Vorteile für die Praktiker hinsichtlich eines einheitlichen technischen Anforderungsprofils für Biogasanlagen zur Gras - und Energiepflanzenvergärung.

Nach Angaben von Praktikern könnte durch ein einheitliches technisches Anforderungsprofil bis zu **25 %** der zur Zeit üblichen Investsummen eingespart werden.

12.4 Biogasertrag pro kg Trockenmasse

Für die ökonomische Bewertung ist die leicht erzielbare Biogasausbeute pro Tonne Trockenmasse Gras bzw. Energiepflanzen einerseits und die Biogasqualität andererseits von Bedeutung, weil diese unmittelbar von der Anlagengröße und der technischen Ausstattung einer Grasvergärungsanlage abhängen.

Im Rahmen diese Projekts konnten bei der Fa. ENTEC zwei Batchversuche durchgeführt werden, die das Biogaspotenzial von Presskuchen und Presssaft aufzeigen konnten.

Es wurde ein Presskuchen einer BRG01 – 3. Schnitt Silage, die mit IFA-M2 Bakterien angeimpft war und ein Ultrafiltrationspermeat eines Silagepresssaftes einer KLG01 – 1. Schnitt Silage, die mit IFA-S3 Bakterien angeimpft war für die Untersuchungen herangezogen. Ziel der UF sollte zunächst die Abtrennung der Proteine als Produkt sein. Diese erfolgte mit einem MWCO von 15 kD.

Die Zusammensetzungen der Substrate sind in Tab. 111 bzw. Fig. 70 zusammengestellt.

Tab. 111: Zusammensetzung eines KLG01 – IFA-M2 UF015 Silagesaftpermeats für Biogasversuche

| | | | | |
|---|-------|------|------|---------|
| TM ^{a)} | 22,0 | % FM | | |
| CP | 20,9 | % TM | | |
| Aminosäuren | 12,5 | % TM | 59,9 | % d. CP |
| NH ₄ -N | 0,6 | % TM | | |
| Milchsäure | 28,3 | % TM | | |
| Zucker | 37,5 | % TM | | |
| Rest HPLC | 6,0 | % TM | | |
| Asche ^{a)} | 26,0 | % TM | | |
| TM gefunden | 119,2 | % | | |
| ^{a)} Analysenwert d. Fa. ENTEC weitere Werte gemessen von IFA-Tulln | | | | |

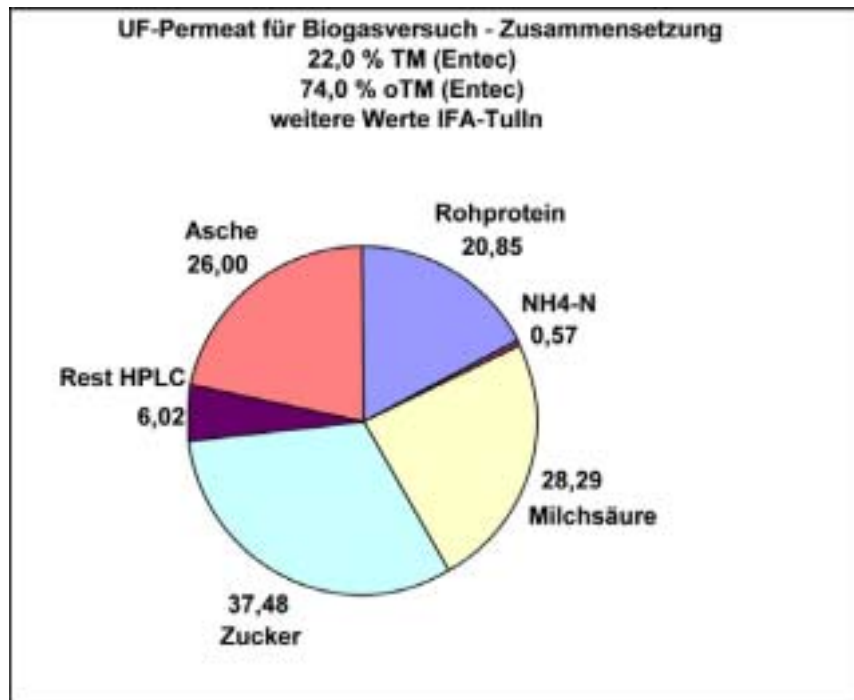


Fig. 70: Zusammensetzung eines KLG01 – IFA-M2 Silagesaftpermeats (UF015) für Biogasversuche

Die Rückhaltung des Rohproteins (CP) bzw. der Aminosäuren war bei diesem Ultrafiltrationsversuch äußerst gering. Offenbar lagen die Proteinbestandteile hydrolysiert als Oligopeptide bzw. freie Aminosäuren vor. Die Rückhaltung der Aminosäuren lag bei nur 11,3 %. Dies bedeutet, dass ca. 90 % des Rohproteins im beschriebenen Permeat zu finden war.

Tab. 112: Zusammensetzung eines BRG01 – IFA-S3 Silagepresskuchens für Biogasversuche

| | | |
|---|-------|------|
| TM ^{a)} | 47,00 | % FM |
| Asche ^{a)} | 7,00 | % TM |
| CP | 15,09 | % TM |
| NH4-N | 0,07 | % TM |
| Rohfaser | 37,55 | % TM |
| Rohfett | 4,79 | % TM |
| Zucker | 4,52 | % TM |
| PO4 | 0,44 | % TM |
| K | 1,72 | % TM |
| Ca | 0,54 | % TM |
| Mg | 0,16 | % TM |
| pH | 3,9 | |
| TM gef. | 69,01 | % |
| ^{a)} Analysenwert d. Fa. ENTEC weitere Werte gemessen von BAL-Gumpenstein | | |



Fig. 71: Zusammensetzung eines BRG01 – IFA-S3 Silagepresskuchens für Biogasversuche

Es wurde zu den beschriebenen Substraten je ein Batchversuch durchgeführt (Tab. 113 u. Fig. 72).

Tab. 113: Gas- bzw. Methanerträge der Batchversuche – SJ Permeat und SPK

| GASERTRÄGE | | SJ-Permeat | SPK |
|--|------------|------------|------|
| je Probe zugeführt | [l/kg] | 110 | 254 |
| je TM zugeführt | [l/kg] | 500 | 539 |
| je oTM zugeführt | [l/kg] | 674 | 581 |
| METHANERTRÄGE | | | |
| je Probe zugeführt | [l/kg] | 94 | 216 |
| je TM zugeführt | [l/kg] | 425 | 459 |
| je oTM zugeführt | [l/kg] | 573 | 495 |
| ABBAUGRAD | | | |
| CH ₄ -Ertrag je oTM abgebaut (Schätzwert) | [ml/g oTM] | 700 | 500 |
| rechnerischer Abbaugrad | [% oTM] | 81,8 | 98,9 |

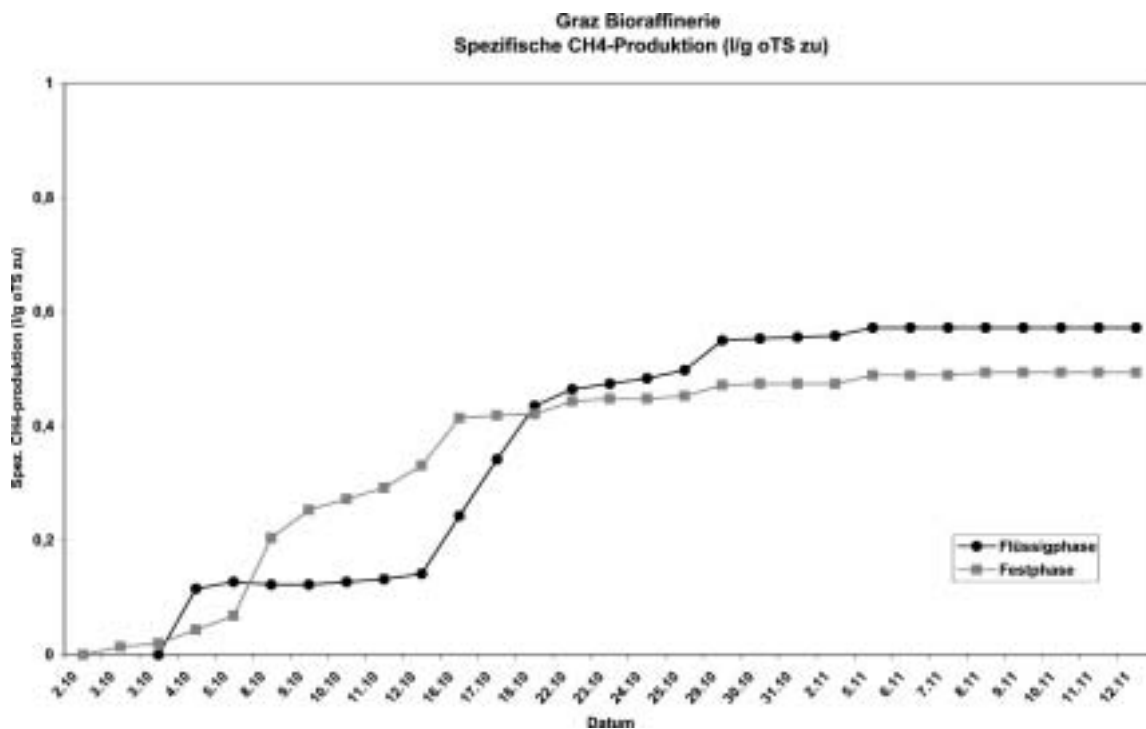


Fig. 72: Spezifische CH₄-Produktion [l/g oTM] des SJ-Permeats bzw. des SPKs

Das SJ-Permeat zeigt zunächst eine längere Lag-Phase bietet aber nach Ablauf der Versuchsdauer eine insgesamt höhere spez. CH₄-Produktion.

Für die Auslegung der Biogasanlage im Rahmen dieses Grünen Bioraffinerie Projekts wurde anhand dieser Versuche ein spezifischer Biogasertrag für die Presskuchen bzw. Grünmassen und Silagen von näherungsweise **500 m³/t oTM bzw. 600 m³/t oTM** für die flüssigen biogenen Restströme festgelegt. Diese optimistischen Werte wurden auch deshalb gewählt, um nicht bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung die übrigen Module wirtschaftlicher erscheinen zu lassen nur weil ein sehr konservativer Biogasertrag eingesetzt wurde.

12.4.1 Weitere aufschlussreiche wissenschaftliche Arbeiten zum Thema Gasertrag

Zwei wissenschaftliche Arbeiten sind diesbezüglich besonders aufschlussreich:

1. das in Bayern durchgeführte Projekt "Graskraft" und
2. das Schweizer Projekt "Energiegras/Feldholz".

12.4.1.1 Forschungsprojekt "Graskraft", Triesdorf (Bayern) – (Krieg et al. 1995)

Einer der Schwerpunkte der Versuche lag bei den Biogasausbeuten, die mit Frischgras und Silage zu erzielen waren. Weiters wurde nach einer effizienten Substratführung gesucht, die einfach, betriebssicher und erschwinglich war.

Die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt "Graskraft" werden hier wiedergegeben:

12.4.1.1.1 Substrate

Grasgrünschnitt

Der Grasgrünschnitt wurde in der Vegetationsperiode in verschiedenen Schnittlängen und Vegetationsaltersstufen geworben. Weiters wurde der durch Pflegemaßnahmen des Betriebsgeländes laufend anfallende Grünschnitt verwendet.

Silage

Ziel der Verwertung von Silage war es, eine kontinuierliche Biogasgewinnung über das ganze Jahr sicherzustellen. Aus wirtschaftlichen Gründen wurde für die Konservierung der Biomasse die Silage gewählt.

12.4.1.1.2 Spezifische Gaserträge

Grundsätzlich kann zu den Biogaserträgen folgendes gesagt werden:

- ⊘ Bei der Verwertung von Silage sind die Biogaserträge geringfügig (1 – 3 %) höher als bei der reinen Grasverwertung. Die Durchschnittserträge für Silo und Grünschnitt liegen bei 450 - 460 Liter Biogas pro Kilo Trockenmasse.
- ⊘ Unabhängig von der Substratart verringert sich der Gasertrag bei zunehmender Faulraumbelastung.
- ⊘ Der Gasertrag hängt von der Zusammensetzung des Substrates ab. Je geringer der Anteil an langkettiger Zellulose, desto höher ist der Biogasertrag.

Tab. 114: Spez. Gaserträge unterschiedlicher Grünmassearten (Krieg et al. 1995)

| Substratart | Trockensubstanz- gehalt (TM) in % | Raumbelastung(B _R) (kg TM/m ³ d) | Spezif. Biogasertrag (l/kg TM zugef.) |
|-------------|--------------------------------------|--|--|
| Silage I | 2,25 | 1,0 | 473 |
| Silage II | 3,38 | 1,5 | 465 |
| Grüngut I | 1,35 | 0,6 | 462 |
| Grüngut II | 1,80 | 0,8 | 455 |
| Grüngut III | 3,38 | 1,5 | 425 |
| Silage III | 5,85 | 2,6 | 436 |

12.4.1.1.3 Gasqualität

Die Biogasqualität kann als zufriedenstellend bezeichnet werden. Im Durchschnitt wurden mehr als 65 % Methan pro Kubikmeter Biogas erreicht.

Die durchschnittliche Schwefelwasserstoffmenge betrug 250 ppm pro Kubikmeter Biogas. Schwefelwasserstoff kann einfach, effizient und kostengünstig vom Biogas abgetrennt werden.

Ammoniak wurde nicht festgestellt.

Der Kohlendioxidgehalt stand in unmittelbarem Verhältnis zum Methangehalt.

12.4.1.1.4 Prozess-Stabilität

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass sich beide Substratformen im Gärprozess sehr stabil verhielten.

Ein signifikantes Zeichen für einen stabilen Gärprozessverlauf war auch der konstant hohe Methangehalt im Biogas, der nie unter 65 % abfiel. Ein niedriger pH Wert (<5) hatte auf die Prozess-Stabilität keine negative Auswirkung.

Die Substrataufbereitung erfolgte in einem Anmischbehälter. Starke Flotation und schlechte Homogenisierungseigenschaften zeigten sehr schnell die Grenzen der gängigen Rührtechnik für konventionelle Biogasanlagen auf. Für diesen halbtechnischen Betrieb verwendete man schließlich ein Propellerrührwerk ohne Gegenschneide.

12.4.1.2 Projekt Energiegras/Feldholz – Bundesamt Energiewirtschaft, Tänekon (Schweiz) 1997

In Zusammenarbeit mit zahlreichen Institutionen wie

- ⌘ der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalt in Reckenholz,
- ⌘ der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Institut für Energietechnik,
- ⌘ der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik und
- ⌘ INFOENERGIE

wurden im Bereich Energiegewinnung aus Gras bedeutende Erkenntnisse gewonnen.

In der Zeit von 1993 bis 1996 wurde von INFOENERGIE, Tänekon (Projektleiter Dr. U. Baserga, K. Egger) das Teilprojekt "Biogas aus Energiegras" fachspezifisch erarbeitet. Dabei wurden für die Grasvergärung Dimensionsgrundlagen sowohl für Feststofffermenter als auch für Flüssigsysteme konzipiert.

Für die Untersuchung wurden Grünland, Ackerland und Grasland herangezogen.

Das übergeordnete Ziel des Projektes war die Entwicklung und Evaluierung von Anlagenkonzepten sowie der Betrieb einer Pilotanlage für die Vergärung von Energiegras zur Biogaserzeugung. Als Energiegras wurde in erster Linie Grasschnitt und dessen Konservierungsprodukte - Heu, Silage - aus extensiv bewirtschafteten Wiesenflächen (= Extensogras) bezeichnet. Auch Reinsaaten von einheimischen ertragreichen Gräsern wurden in die Versuche mit einbezogen.

12.4.1.2.1 Grasarten

Die Gasausbeuten und die Abbaugeschwindigkeit von Extensogras und den Reinsaaten Timothee, Knautgras und Rohrglanzgras unterscheiden sich nur unwesentlich. Mit Ausnahme des Wiesenfuchsschwanzes, der sowohl eine langsamere Abbaugeschwindigkeit als auch eine geringere Biogasausbeute aufweist (420 Liter pro Kilo organischer Substanz) kann mit Erträgen zwischen 500 und 600 Litern pro Kilo organischer Substanz (OS) gerechnet werden. Das Gras einer Futterwiese liefert Erträge von etwa 700 Liter Biogas pro Kilo OS.

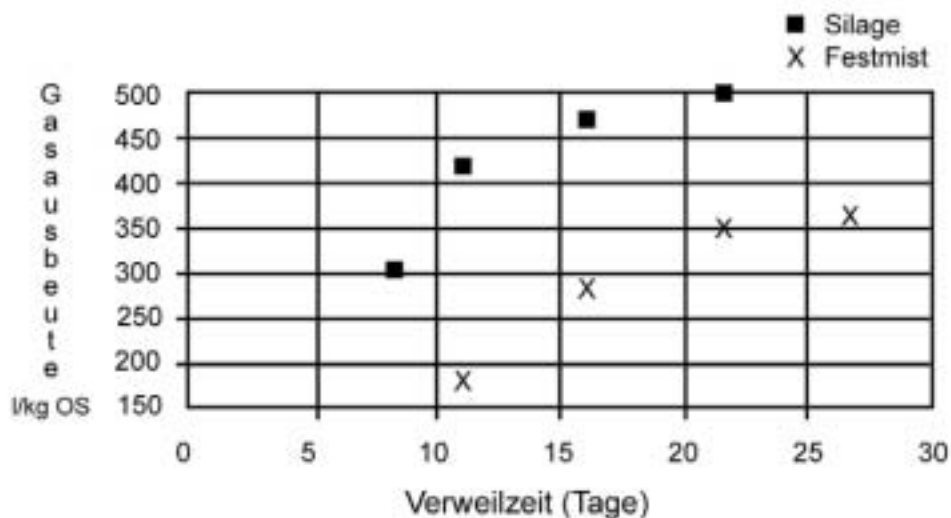


Fig. 73: Gasausbeute in Abhängigkeit der Verweilzeit

12.4.1.2.2 Graskonservierung und -zerkleinerung

Der Einfluss der Graskonservierung und der Konservierungsart (Silieren, Trocknen) auf die Gasausbeute ist vernachlässigbar. Siliertes Extensogras, Heu und Frischgras liefern praktisch identische Endgasausbeuten.

12.4.1.2.3 Lagerung

Für die Konservierung von Energiegras sind die üblichen Silierverfahren (Fahrsilo, Ballensilage und Hochsilo) ohne Bedenken anzuwenden.

Eine Verrottung des Materials infolge Lufteintrag kann schon nach wenigen Tagen

12.4.1.2.4 Gärtemperatur und Verweilzeit

Die Gärtemperatur hat praktisch keinen Einfluss auf die maximal erreichbare Gasausbeute.

Bei der für die Praxis empfohlenen Verweilzeit von 20-25 Tagen fällt der Temperatureinfluss nicht mehr ins Gewicht. Als Richtwert kann eine untere Grenze der Gärtemperatur von 35°C empfohlen werden.

12.4.1.2.5 Prozess-Stabilität

Eine Möglichkeit zur Aufrechterhaltung der Prozess-Stabilität des Fermenters ist die Rezirkulation von vergorenem Material.

12.4.1.3 Weitere vergleichende Biogaserträge von Gras, Rindergülle und Stroh:

Biogasgärversuche im Labor wurden auch von anderen Wissenschaftlern durchgeführt und werden hier in gestraffter Form dokumentiert (Tabellen 115 bis 117).

Tab. 115: Biogausausbeute verschiedener Substrate

| Kaltwasser Bernd: Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 1980 | | |
|---|-----------------------------------|--|
| Rohstoff | Gasausbeute (l/kg oTM) | Mittlere Gasausbeute (l/kg oTM) |
| Gras | 280 - 550 | 415 |
| Weizenstroh | 200 - 300 | 250 |
| Gerstenstroh | 250 - 300 | 275 |
| Roggenstroh | 200 - 300 | 250 |
| Rindergülle | 90 - 310 | 200 |

Tab. 116: Biogausausbeute verschiedener Substrate

| Schuchardt Frank: 2. Fachgespräch FAL Braunschweig-Völkenrode, 1982 | | |
|--|-----------------------------------|---|
| Rohstoff | Gasausbeute (l/kg oTM) | Mittlere Gasausbeute (m³/t frisch) |
| Gras | 516 | 65 |
| Gras-Silage | 617 | 230 |
| Stroh (div.) | 293 | 264 |
| Rindergülle | 275 | 25 |

Tab. 117: Gaserträge verschiedener Substanzen

| Gasertrag in Liter pro Kilo Trockenmasse (TM) Wiesengras (1. Schnitt, Ende Blüte) | | |
|--|-----------------|-----------------------------|
| Quelle: Dr. Rutzmoser, Dr. Spann: Zielwertorientierte Futteroptimierung (ZIFO) BLT Grub, 1997 | | |
| Stoffgruppe | kg/kg TM | Gasertrag in l/kg TM |
| Verdauliche Kohlenhydrate | 0,534 | 427 |
| Verdauliches Rohprotein | 0,069 | 48 |
| Verdauliches Rohfett | 0,014 | 17 |
| Summe | | 492 |

Durch Abtrennung der Proteine aus der Grassilage kann anhand des geringen Anteils der Proteine an der Biogasproduktion eine signifikante Abweichung des Biogasertrages nahezu ausgeschlossen werden.

Zusammenfassend kann aufgrund dieser Literaturrecherche folgende Aussage bezüglich der Biogausausbeuten von Gras bzw. Grassilage und nachfolgend von Grassilagepresskuchen getroffen werden:

Der mittlere Gasertrag von Grassilage kann mit 450 Liter Biogas pro Kilo Trockenmasse (TM) mit einem durchschnittlichen Methangehalt von 60 - 65 % als gesichert angenommen werden.

12.5 Abschätzung der Einsatzmöglichkeiten und Verwertung von Co-Substraten im Bereich der Gras- u. Energiepflanzenvergärung

Die Abschätzung der Verwertung von Co- Substraten in Gras -und Energiepflanzenvergärungsanlagen ist nicht nur aus betriebstechnischer Sicht, sondern auch aus ökonomischer Sicht von Bedeutung. Die Verwertung von Co - Substraten in Gras -und Energiepflanzenvergärungsanlagen stellt im Regelfall wahrscheinlich keine großen Probleme für die Anlagentechnik dar. Zu prüfen ist jedoch, in welchen Mengen, in welcher Qualität und in welcher Art die Co - Substrate dem Gärprozess zugeführt werden können. Zu prüfen ist auch, ob Synergieeffekte durch die Zugabe von Co - Substraten im technischen, logistischen und ökonomischen Bereich erzielt werden können.

12.5.1 Einsatzmöglichkeiten und Verwertung von Co - Substraten im Bereich der Gras- und Energiepflanzenvergärung.

Alle biogenen organischen Stoffe eignen sich prinzipiell zur Biogasgewinnung. Ausgenommen sind jene Stoffe, deren Ligninanteil zu hoch ist. Nachfolgend eine Auflistung der wichtigsten Co-Substrate.

Tab. 118: Biogasmengenrichtwerte für die gängigsten Substrate, die sich mitunter nach oben und auch nach unten verschieben können

| Substratart | Gasmenge in m ³ /kg oTM | Verweilzeit (.:Tage) |
|-------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Rindergülle | 0,2 - 0,25 | 30 |
| Schweinegülle | 0,3 - 0,45 | 30 |
| Hühnerkot | 0,3 - 0,46 | 35 |
| Gras | 0,3 - 0,55 | 28 |
| Speisereste | 0,3 - 0,40 | 33 |
| Fettabscheider | 0,9 - 1,5 | 12 |
| Kartoffelkraut | 0,35 - 0,56 | 20 |
| Alt-Fritier-Fett | 0,95 - 1,04 | 10 |
| Flotatfett | 0,95 - 1,2 | 12 |
| Hausmüll | 0,25 - 0,4 | 33 |
| Zuckerrübenblatt | 0,45 - 0,55 | 20 |
| Gemüseabfälle | 0,3 - 0,42 | 30 |
| Futtermüll | 0,4 - 0,55 | 22 |
| Maissilage | 0,4 - 0,6 | 30 |
| Sudangrassilage | 0,4 - 0,5 | 30 |
| Blut | 0,5 - 0,65 | 34 |
| Destillatschlempe | 0,35 - 0,45 | 14 |
| Marktabfälle | 0,4 - 0,8 | 35 |
| Panseninhalt | 0,3 - 0,4 | 50 |
| CCM | 0,6 - 0,7 | 25 |

Die Verwertung von Co - Substraten im Bereich der Gras- und Energiepflanzenvergärung ist möglich und aus ökonomischen Gründen erwünscht. Da eine große Anzahl von Co - Substraten den Faulprozess im Fermenter destabilisieren kann, ist es wichtig, auf die Prozessstabilität zu achten, da im Bereich der Gras- und Energie-Pflanzenvergärung grundsätzlich ein sehr labiles Gärverhalten feststellbar ist. Das bedeutet für den Anlagenbetreiber, die Herkunft und Zusammensetzung der Co - Substrate genau zu kontrollieren.

12.5.2 Einflussfaktoren, die den Biogasprozess durch zusätzlichen Co - Substrate stören oder zum Erliegen bringen.

Überlastete Gärprozesse kündigen sich meist durch ein Absinken der Biogasproduktion an, das mit einer Verschlechterung der Gasqualität einhergeht. Grundsätzlich kann man die Ursachen für einen gestörten Gärprozess in zwei große Gruppen einteilen:

1. Mechanische Störungen
2. Biochemische Störungen

Mechanische Störungen führen generell zu biochemischen Störungen.

12.5.2.1 Mechanische Störungen

12.5.2.1.1 Schwimmdeckenbildung

Eine der häufigsten Ursachen für einen gestörten Gärprozess ist der Aufbau einer Schwimmdecke, vorwiegend hervorgerufen durch gestörte oder kaputte Durchmischungseinrichtungen. Gerade bei der Grasvergärung ist besonders auf das Durchmischungssystem zu achten. Vorbeugen kann man dieser Problematik nur durch eine durchdachte Vorbehandlung des Substrates und/oder über geeignete Rührwerke.

12.5.2.1.2 Sinkschichten

Sinkschichten können den Gärprozess gleichfalls nachhaltig stören, allerdings werden hier die Probleme gegenüber den Schwimmschichten eher indirekt über die verminderte Wärmezufuhr hervorgerufen. Speziell bei Speicherdurchflussanlagen können die Sinkschichten die Wärmezufuhr überhaupt zum Erliegen bringen.

Außerdem lassen sich Sinkschichten für gewöhnlich nur mit "Muskelkraft" beseitigen. Das heißt, der Fermenter muss zu diesem Zwecke geleert werden. Vorbeugen kann man diesem Problem nur durch einen gut funktionierenden Grundschlammabzug.

12.5.2.2 Biochemische Störungen

12.5.2.2.1 Temperatur

Chemische Prozesse laufen um so schneller ab, je höher die Umgebungstemperatur ist, weil die Reaktionsgeschwindigkeit der chemischen Umsetzungsprozesse mit zunehmender Temperatur stark ansteigt. Speziell für den biologischen Abbau gilt das allerdings nur bedingt, weil auch die Aktivität der Enzyme eine große Rolle spielt. Enzyme sind sehr temperaturempfindlich und können durch zu hohe Temperaturen irreversibel geschädigt werden. Das optimale Temperaturspektrum für sie liegt im Bereich zwischen 25°C und 55°C.

12.5.2.2.2 Ammoniumkonzentration

Ammonium (NH_4^+) wird durch den Abbau stickstoffhaltiger Verbindungen (Proteine) gebildet. Im Wasser steht es im Gleichgewicht mit freiem Ammoniak (NH_3). Die Biogasausbeute nimmt mit steigendem NH_x ab.

Bei einem NH_4 -Gehalt von mehr als 3000 mg pro Liter tritt eine starke Störung des biochemischen Ablaufes im Fermenter auf. Praktiker verweisen allerdings immer wieder darauf, dass durch ein vorsichtiges Herantasten an das Optimum auch NH_4 -Konzentrationen von bis zu 5000 mg pro Liter von geeigneten Bakterienstämmen problemlos abgebaut werden. Auch wenn diese empirische Erkenntnis zur Zeit noch nicht durch einen wissenschaftlichen Großversuch abgesichert ist, sind diese Aussagen von Anlagenbetreibern für die Vergärung von Grüngut sehr wichtig, weil anscheinend auch ein hoher Anteil an Leguminosen im Grüngut nicht zwangsläufig zu Gärhemmungen durch eine Überkonzentration von NH_4 führen muss.

12.5.2.2.3 Kurzkettige Fettsäuren

Der Einfluss von kurzkettigen Fettsäuren (C1-C6) auf die Biogasproduktion steht in einem funktionellen Zusammenhang mit den Ammoniakwerten. Es ist noch ungeklärt, wie weit die zwei Substanzgruppen allein oder in kombinierter Aktion den Abbau beeinflussen.

Die Gesamtsäurekonzentration und insbesondere der Anteil an Propionsäure sind gute Indikatoren für den anaeroben Prozessverlauf. Propionatkonzentrationen unter 200 mg/l wirken sich nicht störend auf die Biogasproduktion aus. Steigt die Propionatkonzentration auf über 300 mg/l, ist der Gärprozessablauf allerdings akut in Gefahr. Die Gesamtsäurewerte sollten keinesfalls die kritische Grenze von 3 g/l erreichen.

12.5.2.2.4 Metallkonzentration

Metalle können den biochemischen Prozess im Fermenter in zweierlei Hinsicht nachhaltig stören: Einmal, indem wichtige Spurenelemente (Ni, Fe, etc.) für den Mikroorganismenaufbau fehlen, andererseits durch zu hohe Konzentrationen von PI, Cu, etc.

Die Prozessstabilität ist mit zunehmender Größe der Biogasanlage für den ökonomischen Erfolg von großer Bedeutung. Ein instabiler Faulprozess bringt zwangsläufig schlechtere bis gar keine Biogasausbeuten. Kein Biogas bedeutet in der Regel keine Einnahmen aus dem Energieverkauf, sondern zusätzliche Kosten für die Bereitstellung der nötigen Prozessenergie für den Fermenter.

Da bei einem instabilen Faulprozess auch die Entsorgungsgebühren für die Co - Substrate wegfallen (weil bei einem instabilen Faulprozess keine zusätzlichen Co - Substrate dem Fermenter zugeführt werden sollen und daher nicht vom Entsorger angenommen werden können), kann sich die ökonomische Belastung für den jeweiligen Betreiber in kurzer Zeit dramatisch verschärfen.

12.5.3 Ökonomische Bewertung von Co-Substraten

Werden Co-Substrate zugeführt, dann muß jedoch in die ökonomische Bewertung der Kostenaufwand für die Ausbringung der Co-Substrate in der vergorenen Gülle mitgerechnet werden, da dieser Kostenaufwand erheblich sein kann. Das gleiche gilt natürlich auch für den Gülletransport von und zu einer Biogasanlage, wobei der Größe des Transporters eine entscheidende Rolle zukommt.

Daher gilt folgende Formel:

$$K_T = t \cdot S_M$$

K_T = Transportkosten

S_M = Co-Substratmenge

t = Transportkosten pro m³ zugef. Co-Substrat

Diese Kosten müssen im Entsorgungsbeitrag mit eingerechnet werden.

Muss das Co-Substrat auch noch gereinigt werden, dann muß die Reinigungsschiene voll in die Kostenkalkulation aufgenommen werden. In die Kostenkalkulation müssen ebenso jene Kosten, die durch die Bereitstellung von zusätzlichem Lagerraum anfallen, aufgenommen werden.

12.5.4 Strom u. Wärmeproduktion aus Biogas - die Energieverwertung muss wirtschaftlich ausgelegt sein.

Im Bereich der Energieumwandlung spielt neben der Stromgewinnung natürlich auch die Wärmegewinnung eine tragende Rolle.

Für die ökonomische Betrachtung spielt die Wärmeproduktion jedoch keine entscheidende Rolle, da nur in Ausnahmefällen lukrative Preise erzielt werden können. Am ehesten ist dies bei Verbundanlagen - in Kombination mit einem Fernheizwerk - möglich. Im Rahmen einer Grünen Bioraffinerie wäre Wärme natürlich eine wichtige Ressource, die auch mit einem entsprechenden Preis kalkuliert werden kann.

Bestmögliche Nutzung bieten auch Gemeinschaftsanlagen mehrerer Bauern.

Der elektrische Wirkungsgrad spielt für die erzeugbare Strommenge eine große Rolle. Folgende Tabelle macht das deutlich. (Methangehalt im Biogas = 65 %):

Tab. 119: Strommengenerzeugung in Abhängigkeit vom Wirkungsgrad

| Biogas/Jahr [m ³] | Elektrischer Wirkungsgrad [%] | Erzeugte Strommenge pro Jahr [kWh/a] |
|----------------------------------|-------------------------------------|---|
| 360.000 (800 t TM) | 25 | 577.000 |
| | 28 | 655.000 |
| | 32 | 741.000 |
| 600.000 (1.350 t TM) | 25 | 975.000 |
| | 28 | 1.092.000 |
| | 32 | 1.235.000 |
| | 34 | 1.326.000 |
| | 36 | 1.404.000 |
| 900.000 (2000 t TM) | 25 | 1.346.000 |
| | 28 | 1.547.000 |
| | 32 | 1.729.000 |
| | 34 | 1.856.000 |
| | 36 | 1.965.600 |
| 1.050.000 (2.350 t TM) | 25 | 1.706.000 |
| | 28 | 1.911.000 |
| | 32 | 2.161.000 |
| | 34 | 2.320.000 |
| | 36 | 2.457.000 |
| 1.260.000 (2.800 t TM) | 25 | 2.020.000 |
| | 28 | 2.293.000 |
| | 32 | 2.593.000 |
| | 34 | 2.784.600 |
| | 36 | 2.948.400 |

12.6 Fördermöglichkeiten für Grasvergärungsanlagen

In Österreich existiert derzeit ausschließlich die Option einer Landesförderung für die Investitionskosten. Diese beruht allerdings auf individueller Entscheidung und ist nicht exakt determiniert. Bundeszuschüsse werden dann bis zu 30 % gewährt, wenn eine neuartige Nutzung der erzeugten Wärme nachgewiesen werden kann. Allgemein wird davon ausgegangen, dass die existierenden Stromeinspeisetarife die eigentliche Unterstützung für einen wirtschaftlichen Betrieb darstellen.

Folgende Kriterien sind in jedem Fall nachzuweisen:

1. Die Anlage muss wirtschaftlich betrieben werden können, soll heißen der Ertrag muß höher sein als die Ausgaben.
2. Wird eine Anlage mit einem BHKW ausgestattet, muss die Wärme nachweisbar sinnvoll verwertet werden.

12.7 Schlussfolgerungen

Der Fermentationsprozess ist bei reiner Wiesengrünmasse (das zeigte bisher die Praxis) erheblich instabiler als beim Einsatz von Silage. Erfahrungsgemäß neigt Wiesengrünmasse zur Schwimmschichtenbildung, aber auch zur Schaumbildung. Biogasausbeute, als auch Biogasqualität sind aber ebenso vielversprechend wie bei Grassilage. Der Fermentationsprozess bei Heu ist ähnlich zu bewerten wie bei Stroh. Heu könnte allerdings als Heumehl für die Biogasgewinnung attraktiv sein. Allgemein muss betont werden, dass die Prozessführung noch nicht auf solch gesicherten Daten beruht, wie dies bei der Vergärung von Vieh-Gülle der Fall ist. Hier wäre es notwendig weitere Forschungsaktivitäten anzuknüpfen, um offene technologische Fragestellungen klären und einen durchgängig stabilen Prozess garantieren und zu können.

Um eine positive ökonomische Bewertung erzielen zu können, müssen die Investkosten und auch die möglichen anderen Wertschöpfungsmöglichkeiten, wie z.B. Proteingewinnung berücksichtigt werden. Die Abtrennung von Proteinen beeinflusst den Biogasertrag nur geringfügig.

Der Bau und Betrieb einer Grasvergärungsanlage muss auch ohne Förderungen wirtschaftlich sein, weil Investförderungen politischen Entscheidungen unterliegen und jederzeit erheblich reduziert oder sogar gestrichen werden können.

Biogas könnte in Zukunft nicht nur als Brennstoff in Gasmotoren eingesetzt werden, sondern gereinigt auch in bestehende Erdgasnetze eingespeist bzw. als Treibstoff oder zur Methanolerzeugung eingesetzt werden. Dies könnte zu einer deutlich höheren Wertschöpfung führen (siehe Anhang).



13 SPEZIALKAPITEL: UNTERSUCHUNGEN ZUR FEINSTOFFLICHEN NUTZUNG UND NATURSCHUTZFACHLICHEN WERTIGKEIT VON WIESENÖKOSYSTEMEN IN DER OSTSTEIERMARK

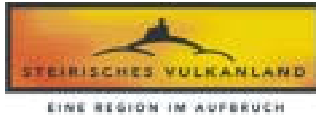
13.1 Einleitung

Die am Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung (P. Trinkaus et al.) durchgeführten Arbeiten lassen sich in 3 Arbeitspakete gliedern, nämlich Arbeitspaket 1 „Erarbeitung von Richtlinien für Wiesennutzung aus der Sicht des Naturschutzes“, Arbeitspaket 2 „Feinstoffliche Nutzung der im Gebiet vorherrschenden Wiesenarten“ und Arbeitspaket 3 „regionale Verteilung und Verfügbarkeit von Phytomasse aus Wiesennutzung“.

Im Arbeitspaket 1 (Kapitel 13.3) wurden ausgehend von bereits bestehenden Kartierungen und Untersuchungen in der ersten Phase des Projekts umfassende Erhebungen über die flächenmäßige Ausdehnung von Wiesen und Weiden in den Bezirken Weiz, Hartberg, Fürstenfeld, Feldbach und Radkersburg durchgeführt. Basierend auf diesen Vorerhebungen wurden im Bezirk Feldbach charakteristische Landschaftstypen für detailliertere Untersuchungen ausgewählt. In einer zweiten Phase wurden vegetationskundliche Untersuchungen unter Berücksichtigung von Abundanz und Deckungsgrad (nach BRAUN-BLANQUET 1964) durchgeführt. In der dritten Phase wurden aufbauend auf diesen Ergebnissen Richtlinien für eine nachhaltige Wiesennutzung unter besonderer Berücksichtigung der Ressource Biodiversität erarbeitet.

Die Literaturrecherchen und Freilandarbeiten stellten auch die Basis für die im Arbeitspaket 2 (Kapitel 13.4) durchgeführten Tätigkeiten dar, nämlich Erhebungen bezüglich Möglichkeit einer feinstofflichen Nutzung der 10 im Bezirk Feldbach am häufigsten vorkommenden Wiesenarten.

Die regionale Verteilung bzw. Verfügbarkeit von Phytomasse aus Wiesennutzung spielt eine entscheidende Rolle für den Betrieb einer Grünen Bioraffinerie und war Inhalt des Arbeitspakets 3 (Kapitel 13.5, 13.6 und 13.7). Grundvoraussetzung für die Wirtschaftlichkeit ist das Vorhandensein von ausreichenden Pflanzenmengen. Hinsichtlich der notwendigen Logistik für den Rohstofftransport und im Hinblick auf die Auswahl der Betriebsweise bzw. des Standortes einer Bioraffinerie ist auch die räumliche Verteilung von Bedeutung. So sind beispielsweise für den wirtschaftlichen Betrieb einer zentralen Grasfermentation gewisse Mindestflächen in einem räumlich begrenzten Einzugsgebiet notwendig. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen dieses Projektteiles eine Abschätzung potentieller Grasmengen und deren regionaler Verteilung für den Raum Oststeiermark durchgeführt. Der Untersuchungsbereich umfasste beim Arbeitspaket 3 die 5 politischen Bezirke Weiz, Hartberg, Fürstenfeld, Feldbach und Radkersburg.



13.2 Methodik

Die Erstellung der Richtlinien für Wiesennutzung aus der Sicht des Naturschutzes basierte auf der Auswertung vorhandenen Datenmaterials für die Bezirke Hartberg, Weiz, Fürstenfeld, Feldbach und Radkersburg sowie auf eigenen Erhebungen in verschiedenen Regionen des Bezirks Feldbach. Die Nomenklatur der Pflanzen folgt ADLER, OSWALD & FISCHER 1994.

Bezüglich der Literaturrecherche betreffend die feinstoffliche Nutzung wurde basierend auf vorliegendem Datenmaterial und auf eigenen Geländeerhebungen im Bezirk Feldbach eine Auswahl von 10 vorherrschenden Wiesenarten getroffen.

Bei der Potentialabschätzung der nutzbaren Biomasse wurde zur Auswertung folgendes Datenmaterial herangezogen:

Datenmaterial:

- ⌘ Datenmaterial von Statistik Austria auf Gemeindeebene für die Bezirke: Hartberg; Weiz; Feldbach; Fürstenfeld; Radkersburg
Land- und forstwirtschaftliche Betriebe und Flächen von 1999
Betriebsanzahl und Flächen in Hektar; Kulturarten und sonstige Flächen
Größenstufen der Kulturflächen; Feldfrüchte
Halte und Viehbestand
- ⌘ Produktionsdaten unterschiedlicher Wiesentypen (Quelle: HYDRO ARGRI DÜLMEN GMBH 1993: Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau)
- ⌘ Futtermittelbedarf (Quelle: STEIERMÄRKISCHE LANDWIRTSCHAFTSKAMMER 2001 und HYDRO ARGRI DÜLMEN GMBH 1993: Faustzahlen f. die Landwirtschaft)

Zur Darstellung des Nutzungspotentiales wurde die Gesamtproduktion errechnet und dem Gesamtverbrauch an Futtermitteln gegenübergestellt. Daraus lässt sich eine mögliche Überschussproduktion an Gras darstellen. Die Berechnungen und Darstellungen der Ergebnisse erfolgten auf Gemeindeebene und auf Bezirksebene.

Zur Berechnung der Gesamtproduktion an Gras wurden die dafür relevanten Nutzungskategorien einmähdige Wiese, mehrmähdige Wiese, Almen und Bergmähder, Hutweiden und Kulturweiden, Streuwiesen, Luzerne, Klee gras, Ackerwiesen und Brachflächen mit und ohne Beihilfen herangezogen. Bei den verwendeten Produktionsdaten handelt es sich um Mittelwerte aus Ertragsdaten unterschiedlicher Wiesentypen. Aus den nachfolgenden Tabellen sind die in die Berechnungen eingeflossenen Daten bzw. die dazu verwendeten Basisdaten ersichtlich.

Tab. 120: Ertragsdaten für unterschiedliche Wiesenkategorien (Mittelwerte)

| Kategorie | Ertrag TM dt/ha | Mittelwert aus Nummer (v. Tab. 2) |
|----------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| einmähdige Wiesen | 21 | 1, 2, 3 |
| mehrmähdige Wiesen | 92 | 4, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 16, 17 |
| Almen und Bergmähder | 85 | 12 |
| Streuwiesen | 100 | 13, 14, 15 |
| Luzerne | 95 | |
| Kleegras | 87 | |
| Hutweiden | 22 | |
| Kulturweiden | 120 | |
| Ackerwiesen, -weiden | 120 | 6, 7, 14, 15, 18, 19, 20, 21 |
| Brachflächen ohne Beihilfe | 95 | 4, 5, und Daten von Luzerne |
| Brachflächen mit Beihilfe | 95 | 4, 5, und Daten von Luzerne |

Tab. 121: Ertragsdaten unterschiedlicher Wiesentypen (nach HYDRO ARGRI DÜLMEN GMBH 1993)

| Nr. | Wiesentyp (Werte in Klammer=Anzahl der Mahd) | Ertrag MW TM dt/ha | Nr. | Wiesentyp (Werte in Klammer=Anzahl der Mahd) | Ertrag MW TM dt/ha |
|-----|---|--------------------|-----|--|--------------------|
| 1 | arme Bergwiese (1) | 12,5 | 12 | Berggoldhaferwiese (3x) | 85 |
| 2 | Rotschwengel-Straußgraswiese (1) | 22,5 | 13 | Wiesenfuchsschwanzwiese (3) | 100 |
| 3 | trockene Glatthaferwiese (2) | 50 | 14 | Wiesenfuchsschwanzwiese (4x) | 110 |
| 4 | Glatthafer frisch/feucht (2-3) | 85 | 15 | Wiesenfuchsschwanzwiese (5x) | 120 |
| 5 | Glatthafer feucht (3-4) | 107,5 | 16 | voralpine Mähwiese (3x) | 85 |
| 6 | Glatthafer Intensivwiese (4-5) | 122,5 | 17 | voralpine Mähwiese (4x) | 90 |
| 7 | Glatthafer Intensivwiese, weidelgrasreich (4-5) | 130 | 18 | voralpine Mähwiese (5x) | 110 |
| 8 | Extensivwiesen (2xgen.) kleearm | 70 | 19 | weidelgrasreiche Weiden u. Mähweiden (3x) | 110 |
| 9 | Extensivwiesen (2xgen.) kleereich (>15%) | 70 | 20 | weidelgrasreiche Weiden u. Mähweiden (4x) | 125 |
| 10 | Galtthaferwiese (3x) | 90 | 21 | weidelgrasreiche Weiden u. Mähweiden 5x | 135 |
| 11 | wechseltrockene Glatthaferw. (3x) | 85 | | | |

Zur Berechnung der Nutzungspotentiale wurde der Gesamtertrag der Grünflächen dem Verbrauch als Futtermittel gegenübergestellt.

Die Hochrechnung des Futtermittelverbrauches erfolgte anhand von Viehbestandsdaten (STATISTIK AUSTRIA - Erhebung 1999) und Angaben über den Futtermittelbedarf (STMK. LANDWIRTSCHAFTSKAMMER 2001 - mündliche Mitteilung). Die Konservierungs- und Fütterungsverluste von 20 % sind in den Verbrauchsdaten eingerechnet. Weiters wurde das

Verhältnis Alt- zu Jungvieh von 2:1 bei Einhufern und von 1:1, bei Rindern, Schafen und Ziegen berücksichtigt.

Folgende Daten sind in die Berechnungen eingeflossen:

Tab. 122: Futtermittelbedarf - zur Berechnung herangezogene Werte

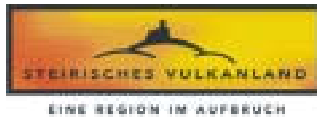
| | Futtermittelbedarf kg TM/Tier/Tag | | | Verh. Alt/Jung |
|-----------------|--|------------------|----------|-------------------|
| | zur Berechnung herangezogener Wert | erwachsenes Tier | Jungtier | |
| Einhufer | 10 | 10 | 5 | 02:01 |
| Rinder | 11 | 12,3 | 6 | 01:01 |
| Schafe | 1,2 | 1 | | |
| Ziegen | 1,2 | 1 | | |

Darstellung der Ergebnisse in Karten

Die von Statistik Austria erworbenen Daten auf Gemeindebasis wurden mittels eines Visual Basic- Programms aufbereitet, sodass eine Datenauswertung in Excel und eine Übernahme der Daten in das Geographische Informationssystem ArcGis (Neuste Version von Arc/Info) ermöglicht wurde. Im Geographischen Informationssystem erfolgte die Verknüpfung der aufbereiteten Tabellen mit der digitalen Gemeindekarte. Dadurch ist es möglich, die tabellarisch vorliegenden Daten räumlich zuzuordnen. Die Ergebnisse der darauf basierenden Datenauswertungen werden in Form thematischer Karten dargestellt.

Karte I: Grasproduktion und -verbrauch

Karte II: Standortauswahl



13.3 Wiesennutzung aus naturschutzfachlicher Sicht

13.3.1 Die Bedeutung von Wiesen und Weiden für den Naturschutz

Die Abnahme der Wiesenflächen innerhalb der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche steht im ursächlichen Zusammenhang mit sozio-ökonomischen und strukturellen Veränderungen in der Landwirtschaft. Sie hat weitreichende ökologische und physiognomische-visuelle Veränderungen des Landschaftsraumes zur Folge (STEINBUCH 1995).

Kleinräumige Nutzungsstrukturen, sogenannte Halbkulturformationen, wie zum Beispiel extensiv genutzte Wiesen und Weiden, Streuobstwiesen aber in vielen Regionen Mitteleuropas auch bereits typische Fettwiesen, sind durch zahlreiche und zum Teil vollkommen unterschiedliche Entwicklungen (siehe NIKLFELD 1986), nämlich durch Umwandlung in Ackerland, Aufforstung, Drainagierung, Umwidmung in Bauland und Kommassierung und schließlich auch durch Nutzungsintensivierung in Form einer Umwandlung in sogenannte Ansaatgrünländer („Wiesenäcker“), zunehmend vom Verschwinden aus unserer Kulturlandschaft bedroht. Bis Mitte des 20. Jahrhunderts waren artenreiche von stenöken Pflanzen besiedelte Wiesen in der mitteleuropäischen Kulturlandschaft weit verbreitet. Diese Wiesen waren in der Folge der traditionellen Nutzung über einen Zeitraum von vielen Jahrzehnten entstanden (DREIER & HERZOG 2001). Die danach verstärkt einsetzende Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion führte in weiten Bereichen Mitteleuropas dazu, dass diese Wiesentypen und die für sie charakteristischen Arten stark zurückgegangen sind (siehe z.B.: NIKLFELD 1999, FISCHER & STÖCKLIN 1997). Diese Entwicklung hat sich in den letzten 15 Jahren, wenn man die Anzahl der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen als Indikator heranzieht, noch beschleunigt (vergleiche NIKLFELD 1986 und NIKLFELD & SCHRATT-EHRENDORFER 1999).

Die vom UMWELTFORUM 1992 durchgeführten Erhebungen haben gezeigt, dass auf die Zerstörung naturnaher Grenzertragsflächen bisher viel zu wenig Rücksicht genommen wurde. Dieser Nutzungswandel hat negative Auswirkungen auf die Biodiversität, das Landschaftsbild sowie auf Bodenabtrag und Hangstabilität. Die sogenannten Halbkulturformationen, wie beispielsweise Wiesen und Weiden, leisten einen sehr bedeutenden Beitrag zur Erhaltung des für mitteleuropäische Verhältnisse außergewöhnlichen floristischen Artenreichtums Österreichs (ELLMAUER 1994/95). Der Beitrag nachhaltig bewirtschafteter Kulturbiotope für den floristischen Artenreichtum Österreichs ist als außergewöhnlich hoch einzuschätzen. Zirka 30 Prozent der stenöken Gefäßpflanzenarten Österreichs sind auf derartig extensiv genutzte Biotope spezialisiert. Auch für verschiedene Kryptogamengruppen (Moose – siehe KRISAI 1999, GRIMS & KÖCKINGER 1999, SAUKEL & KÖCKINGER 1999; Flechten – siehe TÜRK & HAFELLNER 1999, Pilze – siehe KRISAI-GREILHUBER 1999).

GEPP & ZORN 1994 führen an, dass auch aus faunistischer Sicht eine Nutzungsänderung von strukturierten Wiesenflächen hin zu großflächigen Forstmonokulturen zumindest für einige Tiergruppen (z.B. Tagfalter) den Verlust wertvoller Trittsteinbiotope der Kulturlandschaft bedeutet (siehe weiters: SCHNEIDER & WALTER 2001, BIRRER & al. 2001). Dies gilt auch für Intensivierungsmaßnahmen in der Wiesennutzung, wie beispielsweise Erhöhung der Schnitzzahlen, Erhöhung der Düngemengen und die Einsaat hochproduktiver Grasarten, zumal die Renaturierung von Intensivgrünland in naturschutzfachlich hochwertige Wiesen zeit- und kostenaufwendig ist (JACOT & LEHMANN 2001, BOSSHART 2001), weil extensive Bewirtschaftung von bislang intensiv

bewirtschafteten Wiesen in den meisten Fällen nicht ausreicht sondern Neusaaten von sogenannten „Heugrassaaten“ notwendig ist (LEHMANN & JACOT 2001).

13.3.2 Wiesen und Weiden im Untersuchungsgebiet

Das im Rahmen dieses Projektes bearbeitete Untersuchungsgebiet (die Bezirke Weiz, Hartberg, Fürstenfeld, Feldbach und Radkersburg) umfasst die planar/colline bis montan/subalpine Höhenstufe und liegt im Einflussbereich des mitteleuropäisch-montanen, des subkontinentalen und subillyrischen Klimas, mit durchschnittlichen Jahresniederschlägen von 800 mm bis 1200 mm und Jahresdurchschnittstemperaturen zwischen etwa 6 und 9 Grad Celsius (WAKONIGG 1978). Das Ausgangsmaterial für die Böden ist überwiegend saures, kristallines Substrat, während kalkhaltige und basenreiche Materialien im Berg- und Hügelland nur eher punktuell eine Rolle spielen.

Die aktuellste vegetationskundliche Bearbeitung von Wiesen und Weiden in den Bezirken Weiz, Hartberg, Fürstenfeld, Feldbach und Radkersburg wurde von STEINBUCH 1995 durchgeführt. Bei den von ihr untersuchten und im Rahmen dieses Projekts relevanten Gesellschaften handelt es sich um intensiv genutzte Wiesen und Weiden (Arrhenatherion, Phyteumo-Trisetion und Cynosurion), um extensiv genutzte Wiesen und Weiden (Brometalia erecti, Nardetalia, Molinion, Calthenion) und um Wiesenbrachen (Filipendulion und Brachipodium pinatum-Rasen).

Da die hohe bis sehr hohe Wertigkeit der im Untersuchungsgebiet wesentlich seltener auftretenden Assoziationen der Verbände/Ordnungen Brometalia erecti, Nardetalia, Molinion und Calthenion aus naturschutzfachlicher Sicht (große Anzahl gefährdeter Pflanzenarten) ohnehin außer Zweifel steht (siehe STEINBUCH 1995, ELLMAUER & MUCINA 1993, ELLMAUER 1993, MUCINA & KOLBEK 1993), erfolgt hier lediglich eine detailliertere Auseinandersetzung mit den in den untersuchten Bezirken wesentlich häufigeren intensiver genutzten Wiesen und Weiden (Arrhenatheretalia = gedüngte Frischwiesen und –weiden), von denen jedoch eine gar nicht so geringe Anzahl an Assoziationen und auch Subassoziationen aus naturschutzfachlicher Sicht bemerkenswert erscheinen.

Zu der Ordnung Arrhenatheretalia (Frischwiesen und Wieden) gehören die Tal-Fettwiesen (Arrhenatherion), die Mittelgebirgs-Goldhafer-Wiesen (Phyteumo-Trisetion) und die Fettweiden (Cynosurion).

Die einzelnen Assoziationen des Arrhenatherion sind aus naturschutzfachlicher Sicht höchst unterschiedlich zu bewerten. Das Pastinaco – Arrhenatherum elatioris, nämlich mehr oder weniger intensiv genutzte Wiesen auf mäßig trockenen bis frischen Böden, ist eine Assoziation, die am besten charakterisiert ist bei zweimaliger Mahd und mäßiger Düngung. Derartige Frischwiesen werden zwar oft pauschal als floristisch wertlos charakterisiert, jedoch stellte STEINBUCH 1995 in diesen Wiesentypen im Untersuchungsgebiet 27 gefährdete Gefäßpflanzen (davon 2 stark gefährdet und 1 Art vom Aussterben bedroht) fest, was die naturschutzfachliche Bedeutung derartiger zweischüriger Fettwiesen unterstreicht. Ähnliches gilt für die Fuchsschwanzwiesen des Untersuchungsgebietes, in denen von STEINBUCH 1995 im Untersuchungsgebiet 24 gefährdete Gefäßpflanzen (davon 2 stark gefährdet und 1 Art vom Aussterben bedroht) festgestellt wurden. Auch hier führen starke Düngung und Erhöhung der Schnitzzahl auf 3 oder mehr zu einer mehr oder weniger deutlichen Verringerung des Artenspektrums. Eine wesentlich geringere Zahl gefährdeter Arten (7 davon 2 stark gefährdet) haben im Untersuchungsgebiet die Berg –



Glatthaferwiesen (Alchemillo - Arrhenatheretum). Die artenärmste und naturschutzfachlich minderwertigste Assoziation des Untersuchungsgebietes (keine gefährdeten Arten) stellt das *Trifolium repentis* – *Lolietum perennis* dar. Ähnliche naturschutzfachlich geringwertige und oft ebenso 4-mal gemähte Wiesentypen sind die im Untersuchungsgebiet in den letzten Jahren zunehmenden „Kunstwiesen“ (z.B.: mit *Lolium multiflorum*, *Bromus hordeaceus*, *Dactylis glomerata*, *Phleum pratense*).

Das im obigen Absatz für die Assoziationen des Arrhenatherion Dargelegte trifft auch für die Assoziationen des Verbandes *Phyteumo* – *Trisetion* zu. Vom Naturschutzstandpunkt sind auch bei den Mittelgebirgs-Goldhafer-Wiesen in erster Linie die eher mageren artenreichen Typen von Bedeutung, da im wesentlichen nur sie gefährdete Arten aufweisen. Leider ist in den letzten Jahren auch in diesen Höhenbereichen (500m – 1100m) durch die Grünlandintensivierung eine Zunahme der „Kunstwiesen“ erfolgt (STEINBUCH 1995).

Insgesamt gesehen, birgt das Flach-, Hügel- und Bergland der Oststeiermark noch immer eine Vielzahl an Wiesentypen, wenngleich STEINBUCH 1995 anmerkt, dass viele Wiesen, die im Rahmen ihrer Arbeit bearbeitet wurden, im Zuge des landwirtschaftlichen Strukturwandels bereits als Äcker, Obst- oder Weingärten umgenutzt oder aufgeforstet wurden.

13.3.3 Richtlinien für Wiesennutzung im Untersuchungsgebiet

Basierend auf den Ausführungen in den beiden vorangehenden Kapiteln erfolgt die Erstellung für Richtlinien für eine zukünftige Wiesennutzung aus der Sicht des Naturschutzes.

1. Keine Nutzungsintensivierung von Wiesen und Weiden, die in Naturschutzgebieten liegen.
2. Keine Nutzungsintensivierung von Wiesen und Weiden, die innerhalb von Natura 2000 Gebieten liegen, wobei die beiden großen nach Vogelschutz-Richtlinie geschützten Gebiete „Teile des südoststeirischen Hügellandes“ und „Teile des steirischen Jogllandes“ von dieser rigiden Nutzungsbeschränkung vorerst einmal ausgenommen werden.
3. Keine Nutzungsintensivierung von Wiesen und Weiden, die im geplanten Ramsar-Schutzgebiet liegen.
4. Keine Nutzungsintensivierung von ein- bis zweischürigen ungedüngten oder wenig gedüngten Extensivwiesen, deren Erhaltung im Rahmen des **BEP** (Biotop Erhaltungs- und Förderungs-Programm) oder des **ÖPUL** (= Österreichisches Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft = **Österreichisches Programm umweltschonender Landwirtschaft**) gesichert werden soll. Im Rahmen der Förderung erfolgt eine Leistungsabgeltung, beziehungsweise ein teilweiser finanzieller Ersatz von Ertragsentgang durch die Einhaltung verschiedener Auflagen.

Zusätzlich wünschenswert wäre aus der Sicht des Naturschutzes generell ein Verzicht auf eine Nutzungsintensivierung bei sämtlichen Wiesen, die als ein- bis zwei-, eventuell sogar 3-schürige Wiesen bewirtschaftet werden und deren Artengarnituren sich durch das Vorhandensein stenöker Arten auszeichnen. Eine Ausarbeitung derart spezifischer Richtlinien, welche gegebenenfalls auch die beiden großen nach Vogelschutz-Richtlinie

geschützten Gebiete „Teile des südoststeirischen Hügellandes“ und „Teile des steirischen Jogllandes“ berücksichtigen wird (zum Beispiel mit der Zielsetzung: Erhaltung extensiver Wiesen und Wiesen als Brutstätten für Vögel und als Habitate, die zur Nahrungssuche frequentiert werden), ist aus der Sicht des Naturschutzes jedoch erst dann möglich, wenn das Untersuchungsgebiet (Einzugsgebiet für eine zukünftige „Grüne Bioraffinerie“) wesentlich eingeschränkt wird, was aber erst nach vorher erfolgter Standortwahl möglich ist. Bei einer solchen Detailplanung wären auch unbedingt die beiden naturschutzfachlich orientierten Raumplanungsgrundlagen das „Biodigitop“ und der „Öko-Kataster“ zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse des Projekts „Biodigitop“ (im Wortgebilde "Biodigitop" wird das Wort "Biotop" um Silben aus dem Wort "Digitalisierung" erweitert – siehe ZIMMERMANN & TALKER 1995), welches die Aktualisierung des älteren Datenbestandes mittels Geländebegehung und Luftbildkontrolle, eine vielseitig auswertbare EDV-Bearbeitung des aktualisierten Datenbestandes, die Kartendarstellung der naturschutzfachlich hochwertigen Biotope mit Hilfe eines GIS und die Fortschreibung und flächenscharfe Ergänzung des vorliegenden Datenbestandes (siehe ZIMMERMANN & TALKER 1996) umfasst, stellen eine unerlässliche Planungshilfe für die Behandlung naturschutzfachlicher Fragestellungen dar.

Der "Öko-Kataster" ist ein gemeindespezifisches Naturraumprojekt des Steirischen Volksbildungswerkes. Gemeinsam mit der Gemeinde und ihren Bewohnern werden Kulturlandschaften, Naturräume und Siedlungsbereiche nach naturschutzfachlichen Kriterien bewertet und erfasst. Das Ergebnis ist ein "Öko-Kataster-Plan", der den Ist-Zustand der naturräumlichen Situation in der Gemeinde widerspiegelt und das Potenzial an natürlichen und naturnahen Lebensraumbereichen aufzeigt. Auf Basis dieser Bestandsaufnahme werden Ideen und Vorschläge für Erhaltung, Schutz, Pflege und Entwicklung der Landschaft und des Siedlungsraumes erarbeitet und in einem Maßnahmenkatalog zusammengefasst.

Zusätzlich wird angesichts des hohen Tempos, in dem in den letzten Jahren Veränderungen in der mitteleuropäischen Kulturlandschaft stattfinden, im Falle einer Konkretisierung der „Grünen Bioraffinerie“ auch Geländearbeit zur Verifizierung des vorhandenen Datenmaterials notwendig sein.

13.4 Feinstoffliche Nutzung

Die Auswertung einschlägiger vegetationskundlicher und pflanzensoziologischer Literatur, statistischen Datenmaterials und eigene Geländeerhebungen im Bezirk Feldbach ergab, dass es in den letzten Jahrzehnten zu einer deutlichen Reduzierung extensiv genutzter Wiesen gekommen ist.

Die zehn im Bezirk Feldbach vorherrschenden Wiesenarten sind die Poaceae (Süßgräser) *Dactylis glomerata*, *Arrhenatherum elatius*, *Alopecurus pratense*, *Phleum pratense*, *Lolium perenne*, *Holcus lanatus*, *Festuca rubra* und *Festuca pratensis* sowie die drei Zweikeimblättrigen *Taraxacum officinale*, *Trisetum pratense* und *Plantago lanceolata*.

13.4.1 Plantago lanceolata (Spitzwegerich)

Plantago lanceolata, ein Wegerichgewächs (Plantaginaceae), ist eine perennierende im gesamten Mitteleuropa weit verbreitete Wiesen- und Ruderalpflanze und stellt keine besonderen Standortansprüche. Besonders geeignet sind jedoch frische, eher saure, leicht humose Böden (DACHLER & PELZMANN 1989). In Deutschland wird gegenwärtig auch der



Anbau von *Plantago lanceolata* (neben anderen Heilpflanzen) auf grundwasserbeeinflussten Niedermooren getestet (SCHALITZ & ZALF 2000).

Der Spitz- wie auch der Breitwegerich gehören zu den Kräutern mit hohem Heilwert. Die getrockneten Blätter (Handelsbezeichnung: Folium Plantaginis – Spitzwegerichblatt) enthalten Schleim, Gummi, Harze und werden in Form von Tees, Sirup und Pastillen bei Entzündungen des Mund- und Rachenraumes eingesetzt.

Außerdem enthalten die Blätter Tannine, das Senföl Sulphoraphen und die Glycoside Aucubin (verantwortlich für die Missfärbung der Blätter bei unsachgemäßer Trocknung) und Catalpol, die bei der Hydrolyse Rhamnose, Galaktose, Arabinose und Mannose bilden (DACHLER & PELZMANN 1999). Zusätzlich zu den oben angeführten Wirkungen werden die Blätter des Spitzwegerichs auch zur Beschleunigung des Heilungsprozesses bei Verletzungen und zur Linderung des Juckreizes bei Insektenstichen eingesetzt (PERCHT 2001) und finden auch als antirheumatisches Mittel Anwendung (SCHIFFGEN & WASKOW 1998).

Die im Handel erhältlichen Blätter stammen großteils aus Anbau und teilweise auch aus Wildsammlungen. In den nördlichen Ländern Osteuropas (Polen, Estland, Litauen und Letland) zählen die Blätter von *Plantago lanceolata* zu den wichtigsten Sammeldrogen (GOESSLER & al. 2000).

Nicht offizinell sind im Gegensatz zu den Blättern die Wurzeln, die jedoch nicht minder heilkräftig sind (WILLFORT 1967).

Der Preis, den Apotheken für 100 g getrocknete Droge (entspricht zirka 700 bis 800 g Frischgewicht) bezahlen, liegt niedriger als beim Löwenzahn, nämlich bei zirka 0,8 Euro.

13.4.2 *Trifolium pratense* (Wiesenklee)

Trifolium pratense, ein Schmetterlingsblütler (Fabaceae), ist eine perennierende im gesamten Mitteleuropa weit verbreitete Wiesen- und Ruderalpflanze und stellt keine besonderen Standortansprüche. Der Wiesenklee wird als blühendes Kraut geerntet (Herba Trifolii pratensis), oder es werden die Blüten nur alleine gesammelt (Flores Trifolii pratensis). Sowohl der Rote als auch der vermehrt in Wiesen mit sehr hohen Schnitzzahlen anzutreffende Weiße Wiesenklee sind nicht offizinell, allerdings wird der Rote Wiesenklee in der Volksheilkunde äußerlich gegen Gicht und Rheumatismus und innerlich zur Anregung der Gallen- und Lebertätigkeit, bei akuter Verstopfung und Appetitlosigkeit (insbesondere in Osteuropa) angewandt (WILLFORT 1967).

Früchte und Kraut von Rotklee (dieser ist Soja hinsichtlich der Quantität und Qualität der Isoflavone deutlich überlegen) und Soja sind besonders reich und vielfältig an verschiedensten Phytoöstrogenen (PRICE & FENWICK 1985). Das sind Pflanzeninhaltsstoffe mit östrogenen Wirkung (MURKIES & al. 1998). Die Auswertung epidemiologischer Daten zeigt, dass eine an Phytoöstrogenen reiche Ernährung einen positiven Einfluss auf verschiedene chronische Erkrankungen wie Osteoporose, Herz-Kreislauf- und Hormonabhängige Krebserkrankungen hat (STONEK & al. 2001). Die zu den Phytoöstrogenen zählenden Isoflavone üben diese Wirkung aber nicht nur durch unmittelbare Interaktion mit dem Östrogenrezeptor, sondern auch durch inhibitorische Effekte auf bestimmte Enzyme des Hormonmetabolismus, auf die DNA-Topoisomerase und Tyrosinkinase (BURKE 1992),

bzw. durch Stimulation der Proliferation und Differenzierung von speziellen Zellsystemen z.B. Osteoblasten.

Jüngste klinische Untersuchungen mit einem standardisierten Rotklee-Extrakt (Menoflavon®) (ist in Österreich in Apotheken erhältlich) an postmenopausalen Frauen zeigen eine signifikante Reduktion menopausaler Beschwerden im Vergleich zur Placebogruppe. Laboruntersuchungen belegen eindrucksvoll, dass Rotklee-Isoflavone besonders selektiv am Östrogenrezeptor beta wirken und damit Herz/Kreislauf und Knochen schützen. Aus den bis dato vorliegenden Daten lässt sich schließen, dass Rotklee-Extrakt ein potentes Substrat zur Behandlung postmenopausaler Beschwerden sein dürfte (STONEK & al. 2001).

13.4.3 *Taraxacum officinale* (Löwenzahn)

Der in Fettwiesen und auf Ruderalstellen häufig vorkommende und abgesehen von der ausreichenden Nährstoffversorgung wenig anspruchsvolle Löwenzahn (Familie Asteraceae) birgt ebenso wie die Wegericharten bedeutende Heilkräfte in sich, wobei sich bei nur wenigen Heilpflanzen die volksheilkundlichen und die wissenschaftlich medizinischen Anwendungen derart decken wie bei dieser Art.

Zu Heilzwecken gesammelt werden die Wurzeln (*Radix Taraxaci*), die Laubblätter vor der Blüte (*Herba Taraxaci* – wird zu den in Ungarn wichtigsten aus Wildsammlungen stammenden Drogen gerechnet – NEMETH 2001), Wurzel und Kraut gemeinsam (*Taraxaci radix cum herba*), welche in Kombination in der Volksmedizin als Lebertherapeuticum Verwendung finden (BECKER & RECHLING 1999) und die Blüten allein (*Flores Taraxaci*) zur Blütezeit. Auf die zu Speisewecken geernteten Pflanzenorgane wird später noch detaillierter eingegangen. Offizinell sind das blühende Kraut oder die Wurzel mit Kraut oder die Löwenzahnwurzel allein. Aus letzterer wird der Löwenzahnextrakt (*Extractum Taraxaci*) erzeugt. Alle Pflanzenteile müssen im Schatten getrocknet werden. In der Homöopathie wird eine aus der frischen ganzen Pflanze hergestellte Essenz gegen Rheuma, Leberleiden und Zuckerkrankheit angewandt (WILLFORT 1967).

Die Inhaltsstoffe in den Pflanzenteilen von *Taraxacum officinale* wechseln stark mit der Jahreszeit. Der Löwenzahn ist somit ein Musterbeispiel dafür, wie wichtig es ist, bestimmte Pflanzenteile zu einer bestimmten Jahreszeit zu sammeln, wenn ein zu Heilzwecken benötigter Inhaltsstoff dort in maximaler Ausbeute vorhanden ist. So enthält beispielsweise die frische Wurzel im Frühjahr (Mitte März bis Mitte April) 17-20 % Zucker und Lävulin. Der Milchsafte ist eine Emulsion von Eiweiß, Harz, einem wachsartigen Stoff Taraxerin und Bitterstoff Taraxin. An Stelle des Milchsafte tritt gegen Mitte August das Inulin. Die Frühjahrswurzel enthält auch die meisten Bitterstoffe, die Wurzel ab Mitte August bis Ende September das meiste Inulin, die Oktoberwurzel das meiste Taraxerin und Lävulin. Die ganze Pflanze enthält Cholin, Bitterstoff, Stärke, die sich bei längerer Lagerung in Fruchtzucker umwandelt, Inulin, Taraxerin, Saponin, Fett, Spuren von ätherischem Öl, Wachs, Schleim, Kautschuk, Zucker, Eiweiße, Lävulin und Taraxin. Vermehrt im Kraut zu finden sind Kalium, Kalzium, Mangan, Natrium, Kieselsäure, Schwefel und ein hoher Vitamin-C-Gehalt vor allem im Frühjahr in den frischen Blättern (WILLFORT 1967).

Der außergewöhnliche Reichtum an wichtigen Heil- und Aufbaustoffen macht den Löwenzahn zu einer hervorragenden Heilpflanze mit folgenden Heilanzeigen: Gicht, Rheumatismus, Skrophulose, Hautekzemen, Schuppenflechte, Geschwülsten, Geschwüren, Blutkrankheiten, Fettsucht, Alterserscheinungen, Darmträgheit, Störungen der Leber- und



Gallentätigkeit und Wassersucht. Aufgrund des hohen Inulingehaltes ist der Löwenzahn auch bei Zuckerkrankheit zu empfehlen (WILLFORT 1967, PERCHT 2001, LIPP 2002), da Inulin im Körper zu D-Fructose abgebaut wird, wird es von Diabetikern besser vertragen als andere Kohlenhydrate, die aus Glucose aufgebaut sind, weswegen sich auch die inulinhaltigen Knollen von *Helianthus tuberosus* (Topinambur) für die Diät von Diabetikern eignen (DENFER & al. 1978, BECKER & REICHLING 1999).

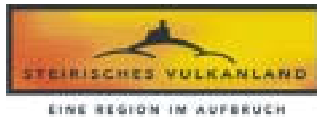
Vor allem die Wurzel des Löwenzahns hat eine auflösende, erfrischende, reinigende, eröffnende, schweißtreibende und stärkende Kraft. Sie beeinflusst alle Ausscheidungen des Körpers, besonders der Galle, wirkt schmerzlos harntreibend und beschleunigt daher die Ausscheidung von Giftstoffen.

Das bereits erwähnte Inulin (Hauptbestandteil Fructose) ist für medizinische Anwendungen attraktiv, denn es hat keine toxischen Auswirkungen und wird rasch über die Nieren ausgeschieden. Eine seit langem etablierte Nutzung ist die Untersuchung der Filtrationsleistung der Nieren auf Grundlage der Ausscheidung von zugeführtem Inulin, die sogenannte Inulin-Clearance. Die Hauptanwendungsbereiche für Inulin sind in der Medizin die Bestimmung der glomerulären Filtrationsrate, als Trägersubstanz für Arzneimittel und zur Volumenabschätzung des extrazellulären Raums, in der Chemischen Industrie zum Einkapseln von Pharmazeutika und als Phosphatersatz (Komplexbildner) in Reinigungsmitteln und in der Biotechnologie als Basis für Kraftstoffe und Spirituosen. Zur Zeit liegt das Hauptinteresse auf den Möglichkeiten zur Nutzung der Fructose und hier vor allem auf die Nutzung des aus der Fructose gewonnenen Hydroxymethylfurans (HMF), welches Angriffspunkte für verschiedene chemische Reaktionen bietet. Dies macht HMF zu einer Schlüsselsubstanz für die Herstellung einer Vielzahl an Chemikalien, die solche auf Rohölbasis ersetzen können (LANGKAU & BONK 1998). Als Inulinpflanzen angebaut werden bislang in Deutschland Topinambur und Wurzelzichorie, beides Asteraceen wie auch der Löwenzahn. Neben den Inulin speichernden Arten sind vor allem in Mitteleuropa kultivierbare stärkehaltige Pflanzen (Kartoffeln, Mais, Getreide, etc. – siehe LANGE 1998) als Rohstoffquellen geeignet, da die Stärke in ihre Glucosebausteine zerlegt und diese zu Fructose umgeformt (isomerisiert) werden. Bis vor kurzem wurde die Forschung und Entwicklung zur industriellen Anwendung von Inulin und Fructose zögerlich betrieben. Erst in den letzten Jahren wird die Forschung in Richtung Züchtung (auch Einsatz gentechnischer Methoden – siehe WASKOW 1998), Chemie und Technik sowie auch in Richtung Gentechnik (z.B.: Zuckerrübe) zur Inulinnutzung vermehrt betrieben (LANGKAU & BONK 1998).

Zu Speisezwecken gesammelt werden in Europa die jungen Löwenzahnblätter für Salatzubereitung (= „Röhrlsalat“), die Blätter gemeinsam mit den Wurzeln für die Teezubereitung und die Blütenknospen des Löwenzahns (PERCHT 2001). In Japan werden auch die Wurzeln als Gemüse zubereitet (LIPP 2002). Der Preis für 1kg junge Löwenzahnblätter auf den Grazer Märkten bewegte sich im Frühjahr 2002 zwischen 11 und 13 Euro. Vergleichsweise niedrig liegt der Preis, den Apotheken für 100 g getrocknete Droge (entspricht zirka 700 bis 800 g Frischgewicht) bezahlen, nämlich etwa bei 1,2 Euro.

13.4.4 Poaceae (Süßgräser)

Fructosane sind neben Stärke, Cellulose und Pektinen wichtige Polysaccharide der Pflanzen. Bei den Fructosanen sind zwei Typen zu unterscheiden, nämlich der Inulintyp (Inulin), der in erster Linie bei Vertretern der Familie Asteraceae (Korbblütler) als Speichersubstanz zu finden ist (siehe diesbezüglich *Taraxacum officinale*), und der Phleintyp, der bei einigen



Gräsern aber auch bei verschiedenen Mikroorganismen als Reservopolysaccharid dient. Beim Inulintyp erfolgt die Verknüpfung der Fructosemoleküle in Form einer beta-glycosidischen Bindung vom C-1 zum C-2 Atom (DENFFER & al. 1978).

Beim Phleintyp (benannt nach Phleum = Lieschgras) werden die Fructoseeinheiten über C-6 – C-2 Bindungen aneinandergelinkt. Das Wiesenlieschgras (*Phleum pratense*) und der nahe Wiesenfuchsschwanz sind zwei sehr häufige Grasarten im Untersuchungsgebiet. Die Vertreter der Gattungen *Phleum* und *Alopecurus* gehören zur Unterfamilie Phleaeae. Zusätzlich werden Vertreter der Unterfamilie Poeae als Fructosan-Speicher angeführt (ELLENBERG, MAYER & SCHAUERMANN 1986). Von den oben erwähnten Wiesenarten sind *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *Festuca rubra* und *Festuca pratensis* der Unterfamilie Poeae zuzuordnen. 2 weitere Arten aus dieser Unterfamilie sind im Untersuchungsgebiet ebenfalls häufig anzutreffen nämlich *Poa pratensis* und *Poa trivialis*.

13.4.5 Gesamtwiesennutzung

Der Preis, den Apotheken für 100 g getrocknete „Heublumenmischung“ bezahlen, liegt noch um einiges hinter dem für Löwenzahn oder auch Spitzwegerich, nämlich etwa bei 0,5 Euro. Bei einem jährlichen Ertrag einer Fettwiese von ca. 10 Tonnen Trockensubstanz pro Hektar, käme man somit auf ca. 50.000 Euro pro Hektar. Allerdings ist die Zusammensetzung dieser „Heublumenmischungen“ genormt und stammt aus kontrolliertem Anbau. Fettwiesen und insbesondere extrem grasreiche und kräuterarme Fettwiesen, wie sie im Untersuchungsgebiet vorherrschen, eignen sich nicht für eine derartige Nutzung.

Eine Vielzahl von Arbeiten, die sich mit Bestimmungen von Chlorophyllgehalten beschäftigen, ist für eine Hochrechnung auf Chlorophyllgehalte von Wiesenbeständen nicht geeignet, da sich die Bestimmungen nur auf den Chlorophyllgehalt von Blättern beziehen (z.B.: GRILL & al. 1990, GRILL, GUTTENBERGER & STEINLECHNER 1990) und somit ein Hochrechnen auf Gehalte bezogen auf Gesamttrockenmassen viel zu hohe Werte ergeben würde.

Für Wiesen gibt LARCHER 1984 und LARCHER 1994 mittlere Chlorophyllgehalte von 1,3 Gramm pro Quadratmeter an. Dies entspricht bei einem Trockenmasseertrag von 10 Tonnen pro Jahr 13 kg Chlorophyll pro Hektar. Dass es sich hierbei um realistische Werte handelt, bestätigen die Arbeiten von NYACHARO & al. 2001, die für Weizen Spitzenwerte von rund 2mg/g Trockenmasse und Minimalwerte von 1,2 mg/g Trockenmasse feststellten.

In Anbetracht der Tatsache, dass Chlorophyllgehalte von Wiesen wie auch die von Äckern von der Nährstoffversorgung (GRILL & al. 1990, GRILL, GUTTENBERGER & STEINLECHNER 1990, NYACHARO & al. 2001) von der Wasserversorgung (NYACHARO & al. 2001) vom Mährhythmus (beeinflusst den Anteil des Festigungsgewebes) und auch von der Artenzusammensetzung abhängen, sind die oben angeführten 13 kg pro Hektar als Richtwert zu verstehen, der bei Intensivwiesen mit oftmaligem Schnitt und ausreichender Düngung sicher zu übertreffen ist.

13.5 Grasproduktion in den Bezirken Radkersburg, Feldbach, Fürstenfeld, Hartberg und Weiz

Die Berechnung ergab für die ausgewählte Region eine Gesamtproduktionsmenge an Phytomasse in Wiesen von 640.126,2 Tonnen/Jahr. Demgegenüber steht ein Verbrauch als Futtermittel von 475.930,7 Tonnen/Jahr. Als "Überschussproduktion" bleiben 164.195,5 Tonnen/Jahr, die der Bioraffinerieanlage zugeführt werden könnten. Für den Aufbau einer geeigneten Logistik zum Betrieb einer Bioraffinerieanlage sowie für die Standortwahl ist die räumliche Aufteilung und Verfügbarkeit der vorhandenen Grasmengen von entscheidender Bedeutung.

Aus Karte 1 "Grasproduktion und -verbrauch" (siehe Anhang) sind die Gesamtproduktionsdaten der einzelnen Gemeinden den Verbrauchsdaten gegenübergestellt. Die potentielle Überschussmenge an Gras ist aus dieser Karte als Differenz zwischen den beiden Balken ersichtlich. Weiters ist in dieser Karte die Produktionsmenge, die aus den Brachflächen kommt, gesondert dargestellt. Eine detaillierte Datenaufstellung auf Gemeindeebene befindet sich im Anhang.

Bei Betrachtung der regionalen Verteilung der verfügbaren Grasmengen zeigen sich, bedingt durch die unterschiedliche Strukturierung der Landwirtschaft starke räumliche Unterschiede.

Die höchsten Überschussproduktionsmengen sind im Bezirk Weiz mit einem Anteil von 81.820,1 Tonnen/Jahr und im Bezirk Feldbach mit 43.448,6 Tonnen/Jahr zu finden. Im Bezirk Fürstenfeld beträgt das Potential an nutzbarem Gras 11.721,5 Tonnen/Jahr und im Bezirk Hartberg mit 17.558,7 Tonnen/Jahr. Am geringsten ist der Überschuss im Bezirk Radkersburg mit 9.646,5,1 Tonnen/Jahr.

Tab. 123: Produktion und Verbrauch in den einzelnen Bezirken

| | Produktion [t/Jahr] | Verbrauch [t/Jahr] | Überschussproduktion [t/Jahr] |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Gesamtes Untersuchungsgebiet | 640.126,2 | 475.930,7 | 164.195,5 |
| Weiz | 251.590,0 | 169.769,9 | 81.820,1 |
| Hartberg | 217.331,2 | 199.772,5 | 17.558,7 |
| Fürstenfeld | 26.967,4 | 15.245,9 | 11.721,5 |
| Feldbach | 115.640,9 | 72.192,3 | 43.448,6 |
| Radkersburg | 28.596,7 | 18.950,3 | 9.646,5 |

Eine differenzierte Betrachtung der landwirtschaftlichen Strukturierung und Bewirtschaftungsformen macht den Unterschied in der Gesamtproduktion und im Verbrauch als Futtermittel in den Bezirken Hartberg und Weiz gegenüber den Bezirken Feldbach, Fürstenfeld und Radkersburg deutlich.

Grundsätzlich dominiert in den Bezirken Hartberg und Weiz Grünlandnutzung mit Rinderhaltung, während in den Bezirken Feldbach, Fürstenfeld und Radkersburg Ackerbau und Schweinehaltung überwiegt.

Nachfolgende Tabellen (Tab. 124 und Tab. 125) zeigen die Produktion, aufgeteilt nach unterschiedlichen Nutzungsformen und den Verbrauch als Futtermittel, aufgeteilt nach Viehhaltung.

Tab. 124: Gesamtproduktionsmengen an Gras, aufgeteilt nach Wiesentypen bzw. Nutzungsformen [t/TM/Jahr]

| [t TM/Jahr] | Wiesen | | | Almen | Weiden | | Ackerwiesen, Klee, Luzerne | | | Brachflächen | | |
|---------------|----------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------------------|--------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Bezirk | einmähdig | mehrmähdig | Streuwiesen | Almen | Hutwiesen | Kulturwiesen | Kleegras | Luzerne | Ackerwiesen | ohne Beihilfe | mit Beihilfe | ges. |
| Weiz | 1.005,9 | 147.420,8 | 1.370,0 | 20.867,5 | 1.392,6 | 35.028,0 | 5.881,2 | 66,5 | 29.808,0 | 2.223,0 | 6.526,5 | 8.749,5 |
| Hartberg | 697,2 | 112.414,8 | 2.010,0 | 7.182,5 | 506,0 | 15.540,0 | 38.593,2 | 180,5 | 26.964,0 | 836,0 | 12.407,0 | 13.243,0 |
| Fürstenfeld | 123,9 | 14.950,0 | 960,0 | 0 | 85,8 | 444,0 | 661,2 | 47,5 | 1.392,0 | 959,5 | 7.343,5 | 8.303,0 |
| Feldbach | 1.110,9 | 87.418,4 | 2.770,0 | 85,0 | 288,2 | 2.604,0 | 2.496,9 | 199,5 | 3.924,0 | 2413,0 | 12.331,0 | 14.744,0 |
| Radkersburg | 277,2 | 20.543,6 | 910,0 | 0 | 59,4 | 144 | 391,5 | 38,0 | 780,0 | 750,5 | 4.702,5 | 5.453,0 |
| Gesamt | 3.215,1 | 382.747,6 | 8.020,0 | 28.135,0 | 2.332,0 | 53.760,0 | 48.024,0 | 532,0 | 62.868,0 | 7.182,0 | 43.310,5 | 50.492,5 |

Tab. 125: Tab.6: Futtermittelverbrauch [t TM/Jahr]

| Bezirk [t TM/Jahr] | Einhufer | Rinder | Schafe | Ziegen |
|--------------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|
| Weiz | 3.212,0 | 163.093,3 | 2.974,0 | 490,6 |
| Hartberg | 3.504,0 | 194.273,8 | 1.640,3 | 354,3 |
| Fürstenfeld | 846,8 | 13.964,2 | 356,5 | 78,4 |
| Feldbach | 2.861,6 | 67.576,5 | 1.483,5 | 270,7 |
| Radkersburg | 445,3 | 18.204,0 | 250,1 | 50,8 |
| Gesamt | 10.869,7 | 457.111,8 | 6.704,5 | 1.244,8 |

Insgesamt gesehen überwiegen im gesamten Untersuchungsgebiet die mehrmähdigen Wiesen mit einem Anteil an der Gesamtgrasproduktion von 60 %. Der Anteil der Ackerwiesen an der Gesamtproduktion beträgt rund 10 %, jener von Kleegras 8 %. Weitere 8 % an der Gesamtproduktionsmenge nehmen Kulturweiden ein. Der Produktionsanteil der Brachflächen beträgt rund 8 %, wobei hier nur 1 % auf Brachflächen ohne Beihilfe entfällt. Einmähdige Wiesen und Streuwiesen haben mit nur je 1 % einen sehr geringen Anteil an der Gesamtproduktion, Hutweiden mit 0,4 % und Luzernenanbau mit weniger als 0,1 % sind als vernachlässigbare Produktionsgrößen anzusehen.

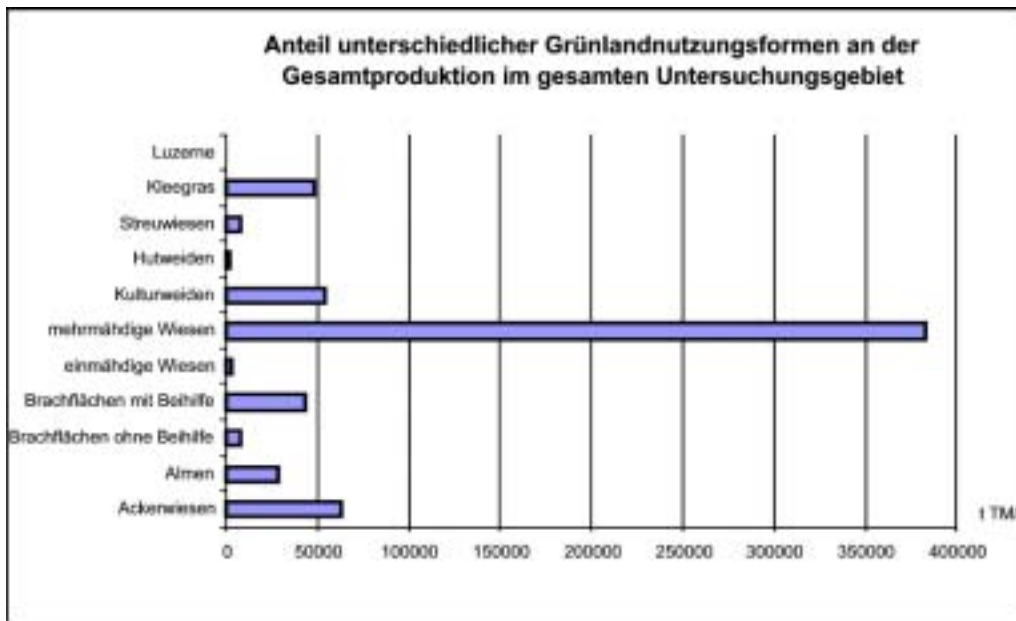


Fig. 74: Anteil unterschiedlicher Grünlandnutzungsformen an der Gesamtproduktion im Untersuchungsgebiet

Ein etwas differenzierteres Bild zeigt sich bei näherer Betrachtung der einzelnen Bezirke.

Im Bezirk Weiz haben die mehrmähdigen Wiesen einen Anteil von 59 % an der Gesamtproduktion. 14 % Grasproduktion kommt von Kulturweiden, 12 % von Ackerwiesen, 8 % der Grasproduktion erfolgt auf Almen. Der Anteil an Streuwiesen, einmähdigen Wiesen und Hutweiden ist vernachlässigbar gering. Der Anteil an Brachflächen an der Gesamtproduktion liegt bei 3 %.

Ähnlich gelagert ist die Produktionsverteilung im Bezirk Hartberg. Hier beträgt der Anteil an mehrmähdigen Wiesen 53 %, der Anteil an Ackerwiesen 12 %. Weitaus höher ist hier die Produktion von Klee gras mit einem Anteil von 18 % an der Gesamtproduktion. Die Produktion aus Brachflächen beträgt 6 % an der Gesamtproduktion.

Der größte Brachflächenanteil ist im Bezirk Fürstenfeld mit einem Anteil von 31 % an der Gesamtproduktion. Mehrmähdige Wiesen haben in diesem Bezirk einen Anteil von 56 %, Ackerwiesen von 5 %. Wie aus dem nachfolgenden Diagramm ersichtlich haben alle anderen Nutzungsformen eine untergeordnete Rolle.

Der weitaus größte Anteil an mehrmähdigen Wiesen ist im Bezirk Feldbach zu finden, mit 77 %. Der Anteil an Grasproduktion aus Brachflächen beträgt hier 13 %. Alle anderen Wiesennutzungsformen spielen hier ebenfalls eine untergeordnete Rolle. Ein sehr ähnliches Bild zeigt sich im Bezirk Radkersburg mit einem Produktionsanteil von 72 % aus mehrmähdigen Wiesen und von 19 % aus Brachflächen.

Detaillierte Produktionsdaten auf Gemeindeebene sind tabellarisch im Anhang dargestellt. Nachfolgende Diagramme (Abb.75) verdeutlichen nochmals den Anteil der unterschiedlichen Wiesennutzungstypen an der Gesamtproduktion.

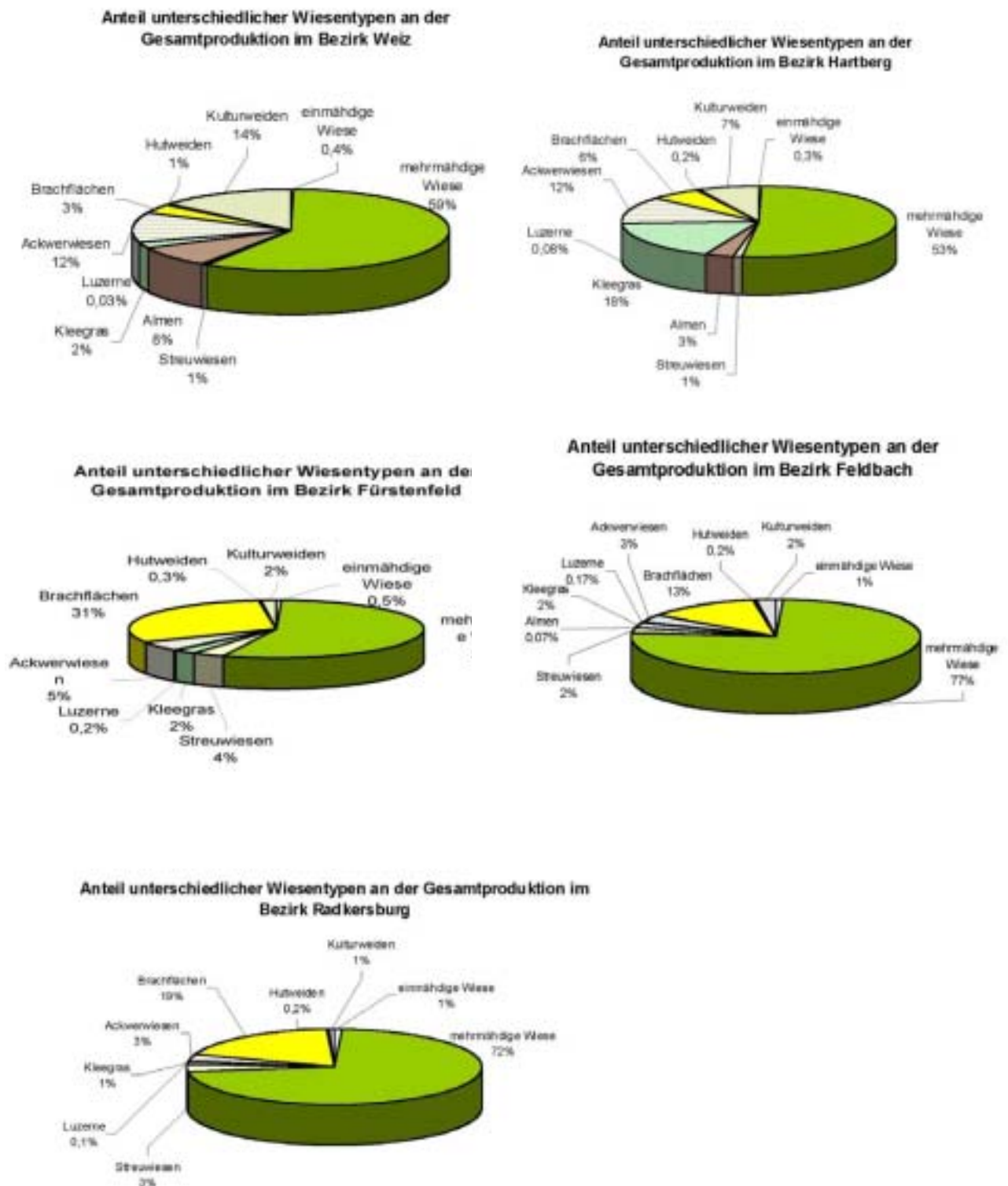
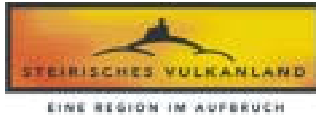


Fig. 75: Anteil unterschiedlicher Wiesentypen an der Gesamtproduktion in den ausgewählten Bezirken



13.6 Betriebsgrößenverteilungen

Für die Auswahl der Betriebsweise einer Bioraffinerie, für die Standortauswahl sowie für den Aufbau der notwendigen Logistik ist neben den bereits beschriebenen Parametern die Betriebsgröße der landwirtschaftlichen Betriebe und deren Lage bzw. Verteilung von Bedeutung.

Auffallend ist die unterschiedliche Strukturierung der Landwirtschaft in den nördlichen Bereichen des Bezirkes Weiz und Hartberg (Fischbacher Alpen und Joglland) mit einem relativ hohen Anteil an großen Betrieben (der Anteil der Betriebe mit Flächen zwischen 30 - 50 ha und 50-60 ha überwiegt) gegenüber den südlicheren Regionen dieser beiden Bezirke und gegenüber dem Bezirk Fürstenfeld, Feldbach und Radkersburg in denen Betriebe unter 5 ha und zwischen 5 und 10 ha Größe überwiegen hervor.

Noch deutlicher wird dieses Bild bei Betrachtung der durchschnittlichen Flächengrößen relevanter Nutzungsformen.

Es ist nur möglich, durchschnittliche Flächengrößen zu berechnen, da die Daten nicht auf Betriebsebene vorliegen und deswegen die Gesamtfläche der relevanten Nutzungsformen eines Betriebes nicht eruiert werden kann.

Ebenso wenig kann für eine Betriebsgrößenklasse das durchschnittliche Flächenausmaß aller relevanten Nutzungsformen pro Betrieb bestimmt werden. Es ist jedoch für jede Betriebsgrößenklasse möglich, das durchschnittliche Flächenausmaß einer Nutzungsform pro Betrieb zu berechnen. Für die mehrmähdigen Wiesen und die Brachflächen wurde das durchschnittliche Flächenausmaß pro Betrieb berechnet, weil diese einen maßgeblichen Anteil an der Gesamtproduktion aufweisen.

Das durchschnittliche Flächenausmaß der mehrmähdigen Wiesen und der Brachflächen hängt nur in geringem Ausmaß von der Gesamtbetriebsgröße ab. Besonders große Betriebe über 100 ha besitzen oft nur einen sehr kleinen Flächenanteil, der zur Grasproduktion genutzt wird. Dementsprechend gibt es im gesamten Untersuchungsgebiet nur vereinzelt Betriebe, deren Brachflächen oder mehrmähdige Wiesen eine Fläche von mehr als 15 ha aufweisen.

In den nördlichen Regionen des Untersuchungsgebietes, Fischbacher Alpen und Joglland, überwiegen einige wenige große Betriebe mit mehrmähdigen Wiesen. Brachflächen gibt es in dieser Region kaum. In den südlicheren Bereichen der Bezirke Weiz und Hartberg, sowie im Bezirk Feldbach, Fürstenfeld und Radkersburg überwiegen kleine Betriebe (<2 ha) mit mehrmähdigen Wiesen. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Betrachtung der Brachflächenverteilung.

Bei Betrachtung der Verteilung der Grasproduktion und des Grasverbrauches auf die unterschiedlichen Betriebsgrößen zeigt sich für die einzelnen Bezirke folgendes Bild. Die Abbildungen 76 und 77 zeigen Grasproduktions- und -verbrauchsmengen im Bezirk Weiz aufgeteilt auf die Betriebsgrößenklassen. Die Darstellungen verdeutlichen, dass die größte Überschussmengen an Gras in den Betriebsgrößenklassen zwischen 30 und 50 ha, mit einer Produktionsmenge von etwas über 14.000 t TM/Jahr und in der Größenklasse zwischen 10 und 20 ha mit einer Produktionsmenge von über 13.000 t TM/Jahr anfallen. Der Produktionsanteil aus Brachflächen ist in Betrieben zwischen 10-20 ha und 5-10 ha am

größten, mit rund 2.000 t TM/Jahr. Auffällig ist, dass der Anteil an Brachflächen in Betrieben über 50 ha verschwindend klein ist.

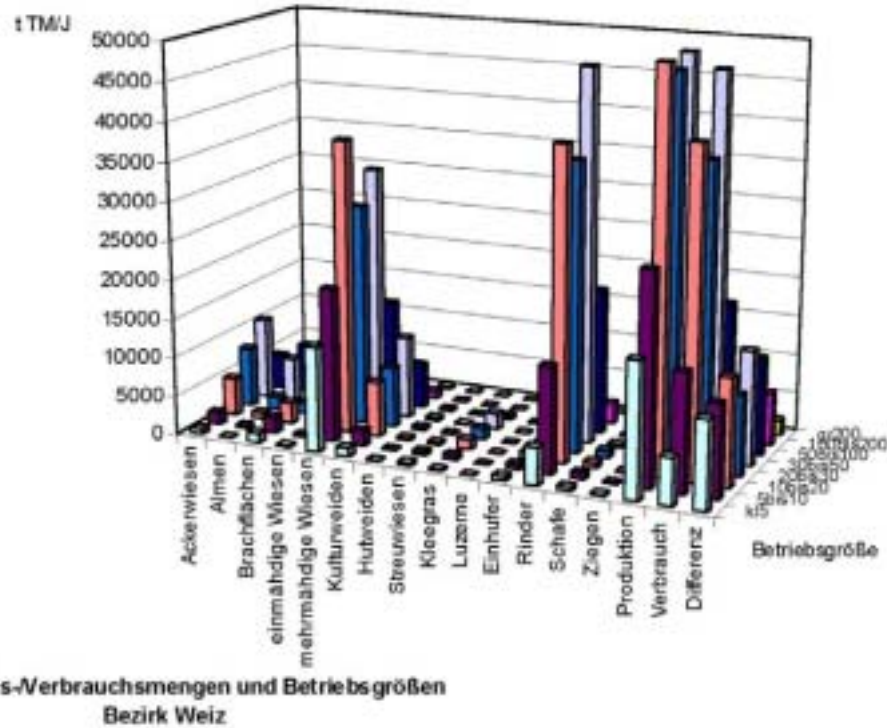


Fig. 76: Produktions- u. Verbrauchsmengen aufgeteilt auf Betriebsgrößenklassen

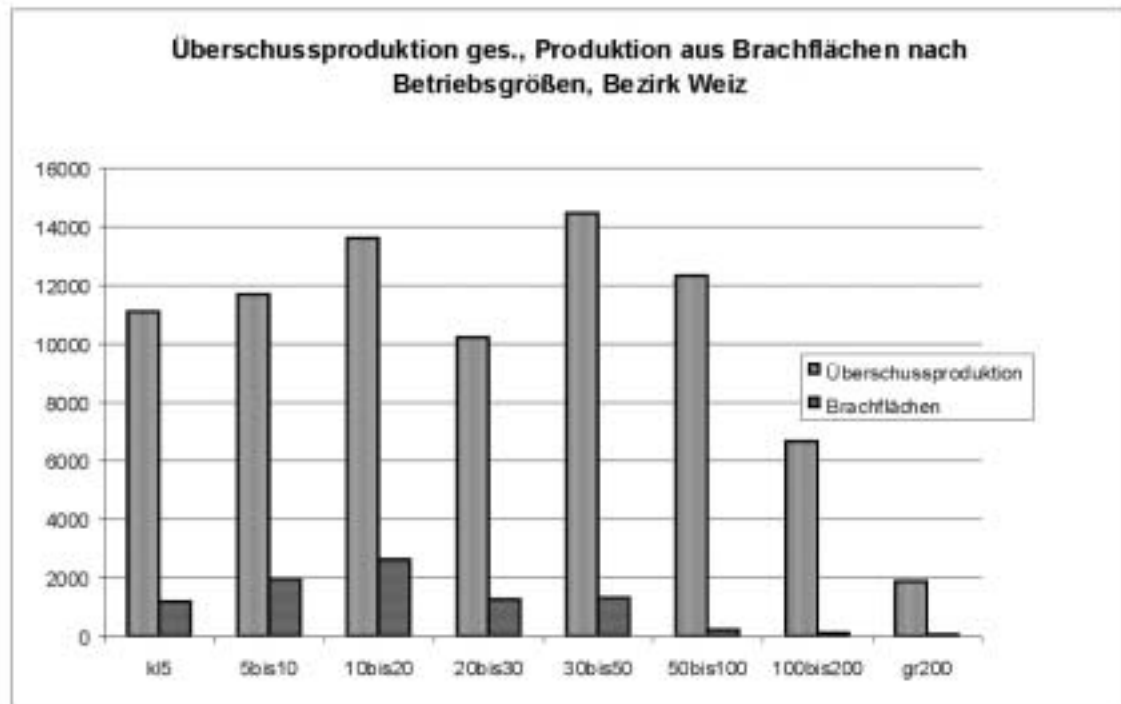


Fig. 77: Überschussproduktion (t TM/Jahr) an Gras aufgeteilt auf Betriebsgrößen und Produktion aus Brachflächen

Im *Bezirk Hartberg* wird deutlich, dass Betriebe zwischen 20 und 30 ha und zwischen 30 und 50 ha Größe im Verhältnis zum Verbrauch zu wenig Gras produzieren und daher Zukäufe von Gras oder anderen Futtermitteln erfolgen. Am größten ist hier die Überschussproduktion in kleinen Betrieben (unter 5 ha) mit rund 8.000 t TM/Jahr und in Betriebsgrößenklassen zwischen 5 und 10 ha mit rund 7.000 t TM/Jahr. In großen Betrieben ist die Überschussproduktion gering. Der Anteil an Brachflächen ist bei den mittleren Betriebsgrößen am höchsten.

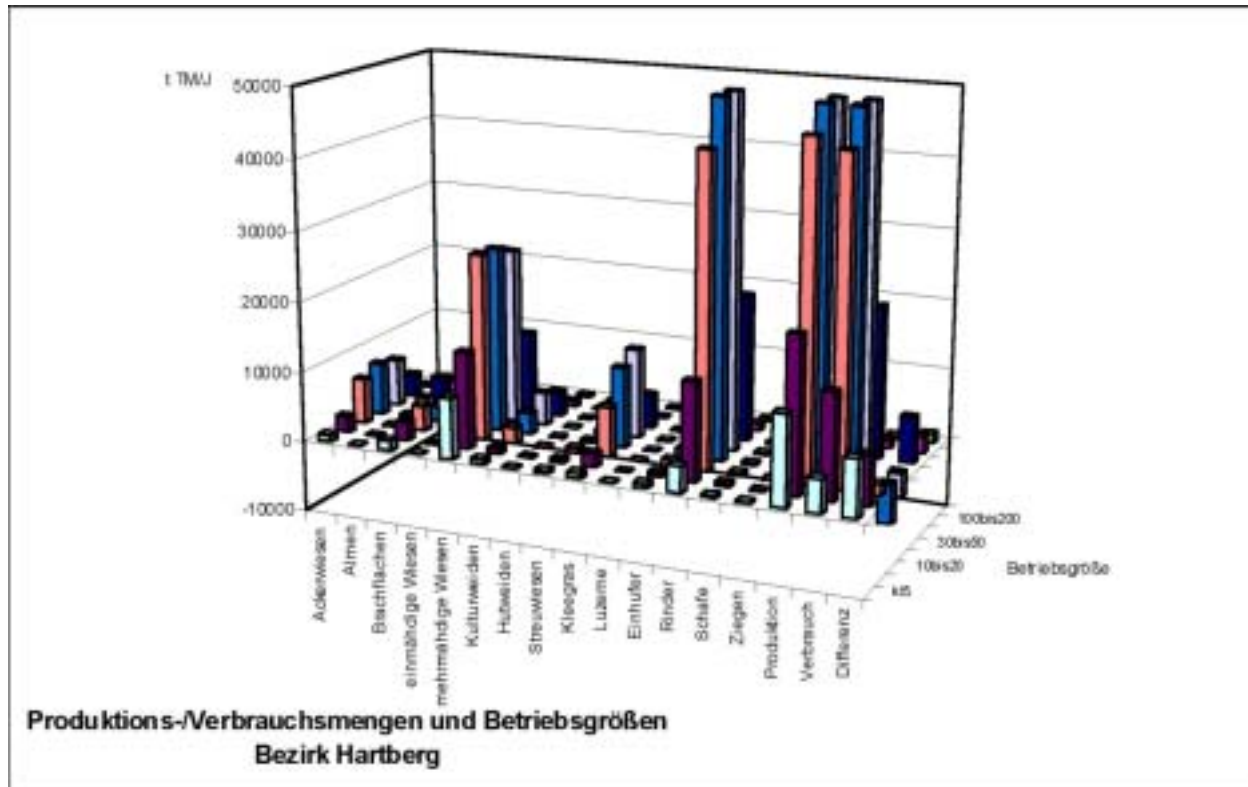


Fig. 78: Produktions- u. Verbrauchsmengen aufgeteilt auf Betriebsgrößenklassen

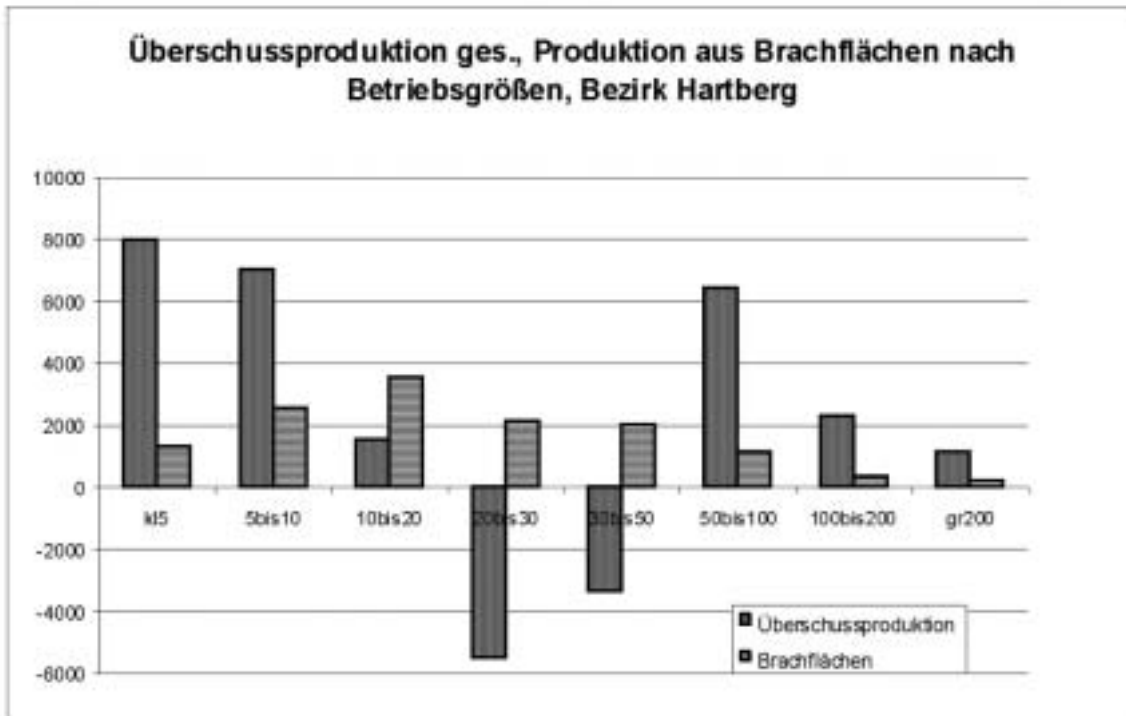


Fig. 79: Überschussproduktion an Gras aufgeteilt auf Betriebsgrößen und Produktion aus Brachflächen

Im *Bezirk Fürstenfeld* liegen die höchsten Überschussproduktionsmengen bei den Betrieben der Größenklasse zwischen 5 und 10 ha (rund 3.500 t TM/Jahr) und bei Betrieben unter 5 ha (rund 2.700 t TM/J). Der Anteil der Brachflächen ist in den Betrieben zwischen 10 und 20 ha am größten.

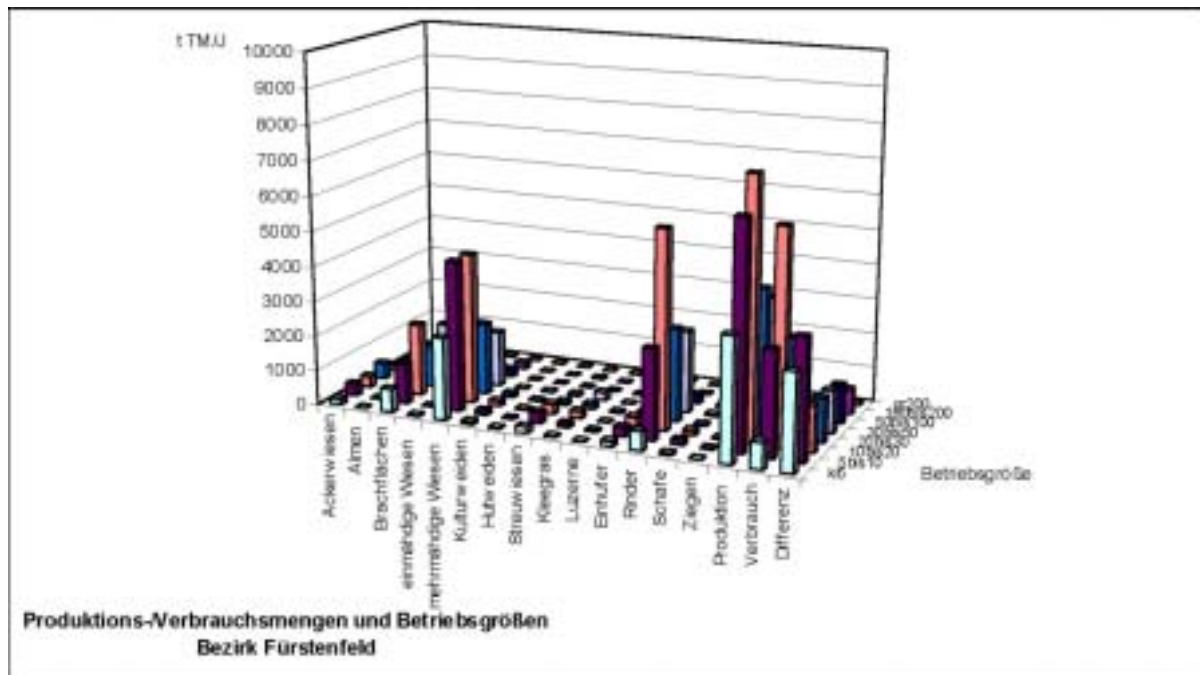


Fig. 80: Produktions- u. Verbrauchsmengen aufgeteilt auf Betriebsgrößenklassen

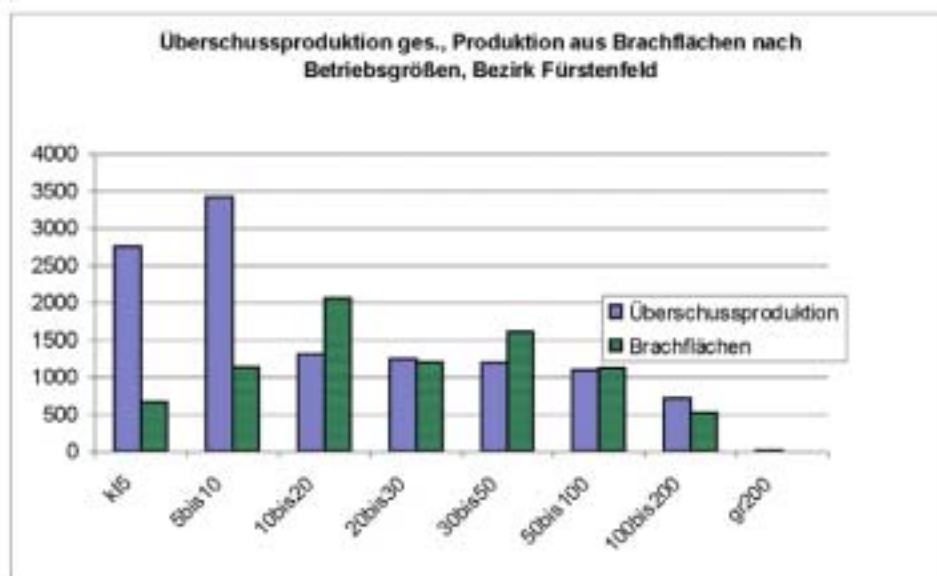


Fig. 81: Überschussproduktion (t TM/ha) an Gras aufgeteilt auf Betriebsgrößen und Produktion aus Brachflächen

Die Hauptmenge der Überschussproduktion an Gras im Bezirk Feldbach kommt aus Betrieben unter 5 ha Größe bzw. aus Betrieben zwischen 5 und 10 ha. Der Anteil großer Betriebe an der Grasproduktion ist vernachlässigbar gering.

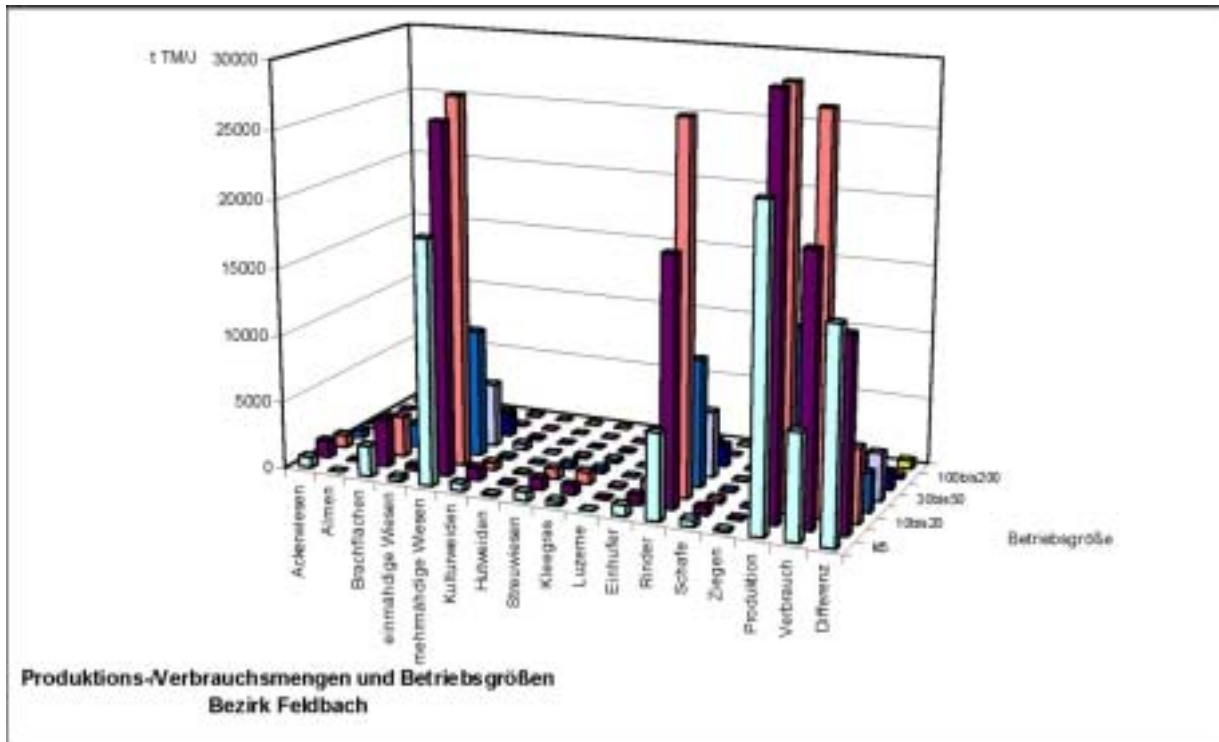


Fig. 82: Produktions- u. Verbrauchsmengen aufgeteilt auf Betriebsgrößenklassen

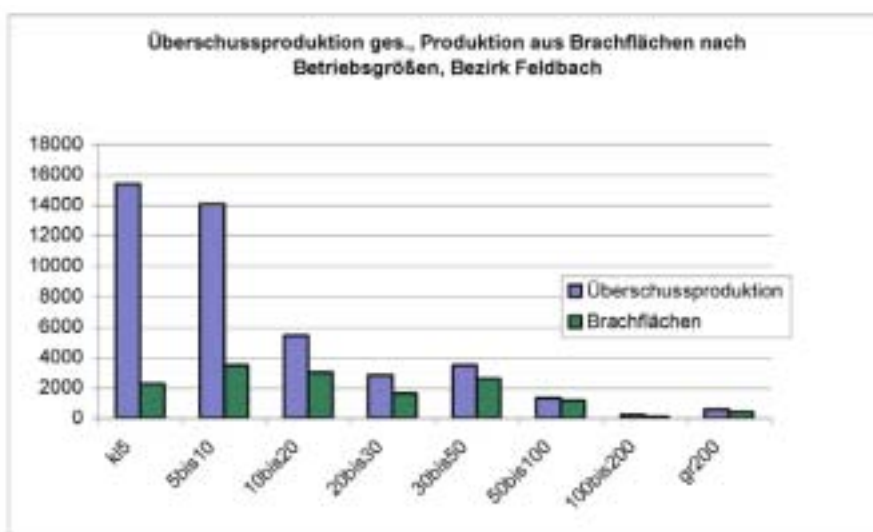


Fig. 83: Überschussproduktion (t TM/ha) an Gras aufgeteilt auf Betriebsgrößen und Produktion aus Brachflächen

Im Bezirk Radkersburg ist die Produktionsverteilung ähnlich gelagert. Der Hauptanteil der Überschussproduktion kommt aus Betrieben unter 5 ha (rund 15.000 t TM/J) und Betrieben zwischen 5 und 10 ha Größe. Der Anteil an Brachflächen ist in Betrieben zwischen 30 und 50 ha am höchsten.

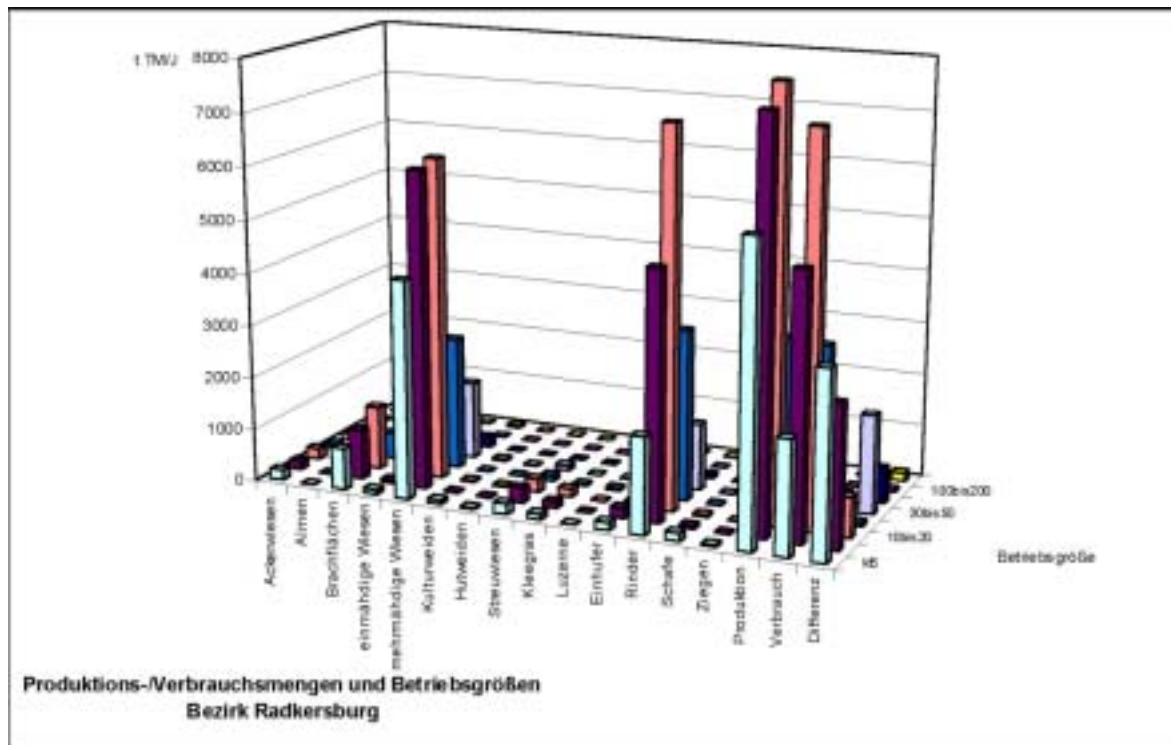


Fig. 84: Produktions- u. Verbrauchsmengen aufgeteilt auf Betriebsgrößenklassen

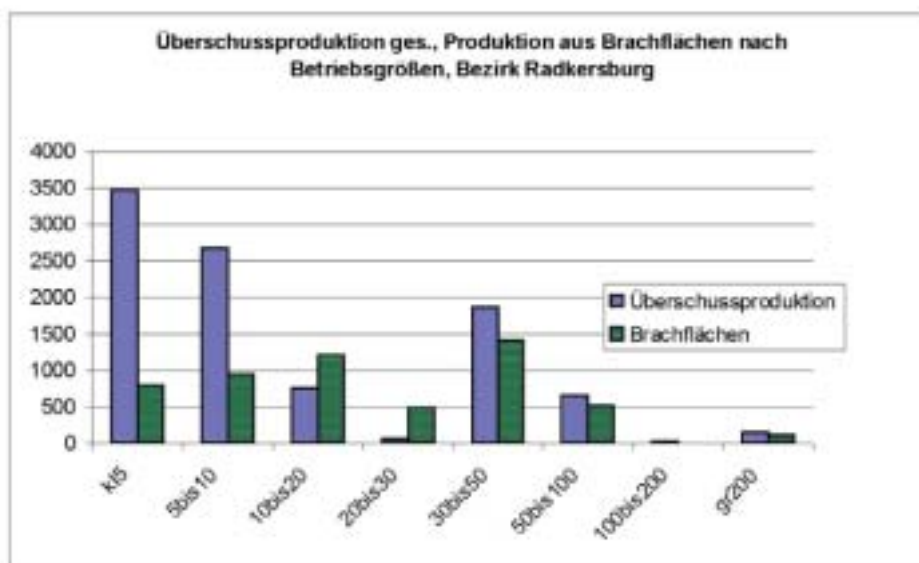


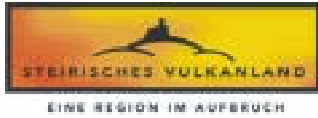
Fig. 85: Überschussproduktion (t TM/ha) an Gras aufgeteilt auf Betriebsgrößen und Produktion aus Brachflächen

13.7 Vorschläge für eine Standortauswahl

Für die Auswahl eines geeigneten Standortes für eine Bioraffinerieanlage und den Aufbau einer geeigneten Logistik zur Sammlung des Grases sind unter anderem die anfallenden Grasmengen in einer Region von Bedeutung.

Aus der Karte II "Standortberechnung" sind Zentren, in welchen im Umkreis von 15 km ein hoher Anteil an Überschussproduktion (Produktion t TM/Jahr) vorhanden ist, ersichtlich. Die Standortberechnungen wurden mit Hilfe des Geographischen Informationssystems durchgeführt. Im ersten Schritt wurde die Überschussproduktion für jede Gemeinde berechnet. Im zweiten Schritt wurde die durchschnittliche Überschussproduktion pro Hektar und Gemeinde berechnet. Ursprünglich sollte für diese Berechnung die Landnutzungskarte herangezogen werden, sodass sich diese Berechnung nur auf die Flächen mit Grünlandnutzung bezogen hätte. Bei der Bearbeitung stellte sich jedoch heraus, dass die Grünlandfläche in der Landnutzungskarte auch Nutzungsformen umfasst, die nicht zur Grasproduktion herangezogen werden können, weshalb letztendlich diese Karte doch nicht zur Berechnung verwendet wurde. Auf dieser Basis wurde für jede Zelle (Zellgröße 100 * 100 m) in der Karte die gesamte Überschussproduktion im Umkreis von 15 km berechnet. Das entspricht einer Fläche von etwas mehr als 700 km².

In der untersuchten Region kristallisieren sich zwei Zentren mit einer Überschussproduktion zwischen 40.000 - 50.000 t TM/Jahr (in der Karte rot eingezeichnet), heraus. Diese liegen im Bezirk Weiz und Feldbach. Während im Bezirk Weiz die Kulturweiden und die mehrmähdigen Wiesen maßgeblich zur Gesamtproduktion beitragen, sind im Bezirk Feldbach die Brachflächen entscheidend. Rund um diese Zentren liegen Bereiche mit einer Produktion von 20.000 - 30.000 t TM/Jahr (in der Karte orange bezeichnet).



Gebiete mit geringer Überschussproduktion (zwischen 0 - 10.000 t TM/J und 10.000- 20.000 t TM/J) liegen vor allem im Bezirk Hartberg und Radkersburg und in Fürstenfeld im Grenzbereich zum Burgenland.

Die vorliegende Berechnung der "Zentren" der Überschussproduktion sollte für eine tatsächliche Standortauswahl nur als Orientierungshilfe herangezogen werden. Überschussproduktionsdaten aus den angrenzenden Bezirken bzw. aus dem Burgenland wurden im Rahmen dieses Projektes in den Berechnungen nicht berücksichtigt. Unter Einbeziehung dieser Daten könnte möglicherweise ein ganz anderes Bild entstehen.

Bei der konkreten Auswahl des Standortes ist es notwendig, in den ausgewählten Regionen kleinräumige, regionale Strukturen, wie Bereitschaft der Landwirte, Flächengröße des tatsächlich zur Verfügung stehenden Grünlandes, ev. Förderungsmöglichkeiten, Nutzungsbeschränkungen, Verkehrswege, Infrastruktur, etc. detaillierter zur betrachten und bei der Auswahl zu berücksichtigen.

14 LITERATUR

- [1] ADLER W., OSWALD K. & FISCHER R. (1994): Exkursionsflora von Österreich. Stuttgart, Wien.
- [2] ALFALIS (2002). Persönliche Information, S. Kromus
- [3] AMINO GMBH (2002): Produkthomepage – www.amino.de
- [4] AMON, T., W. GRAF, et al. (1997). Landwirtschaftliche Biogasanlagen in : ÖKL Baumerkblatt No.61. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik. Wien.
- [5] ANDERSEN M., KIEL P (2000). Integrated utilisation of green biomass in the green biorefinery, Industrial Crops and Products 11, 129-137.
- [6] ANTONOV Y. A., SOSHINSKY A. A (1992). The Effect of the Main Physico Chemical Factors and the Presence of Denaturating Agents upon the stability of the Secondary, tertiary and quaternary Structures of Ribulose-1,5-Biphosphate Carboxylase from Alfalfa. In: Food proteins: Structure and Functionality, VCH.
- [7] ATKINS P. W. (1996): Physikalische Chemie, VCH
- [8] AURO (2001) - FA. AURO NATURFARBEN: Persönliche Information. S. Kromus
- [9] BARANIAK, B., A. BARANIAK, et al. (1989). "Protein concentrate from alfalfa and cocksfoot by polyelectrolyte precipitation." Die Nahrung 33: 491-495.
- [10] BECKER H & REICHLING J. (1999): Grundlagen der pharmazeutischen Biologie.- 4. Aufl. Stuttgart.
- [11] BELITZ et al. (2001): Lehrbuch der Lebensmittelchemie, Springer.
- [12] BERG, W. AND G. HÖRNIG (1997). Emission reduction by acidification of slurry. Investigations and assessment. International Symposium Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities, Vinkeloord, Niederlande.
- [13] BIRRER S., BOLLMANN K., GRAF R., WEGGLER M. & WEIBEL U. (2001): Welche Wiesen nutzen Vögel?- Schriftenr. FAL 39, Artenreiche Wiesen, S. 45-52.
- [14] BMLF (2000). Standarddeckungsbeiträge und Daten für die Betriebsberatung 1999/2000/2001-Ausgabe Ostösterreich, Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft.
- [15] BONK, M. (2001). Internetinformation, www.inaro.de.
- [16] BOSSHARD A. (2001): Wie erfolgreich ist die Ansaat artenreicher Wiesen in der Praxis?- Schriftenr. FAL 39, Artenreiche Wiesen, S. 76-86.
- [17] BOULTER D., PARTHIER B.: Encyclopedia of plant physiology 14A – Structure, biochemistry and physiology of plant proteins, Springer-Verlag Heidelberg 1982

- [18] BRAUN-BLANQUET J. 1964 : Pflanzensoziologie.- 3. Aufl. New York.
- [19] BRAY, W. J. and C. HUMPHRIES (1979). "Preparation of white leaf protein concentrates using a polyanionic flocculent." J. Sci. Food Agric. 30: 171-176.
- [20] BUCHGRABER, K. (1998). Nutzung und Konservierung des Grünlandfutters im österreichischen Alpenraum. Irdning, BAL Gumpenstein.
- [21] BUCHGRABER, K. (2001a). BAL-Gumpenstein, Persönliche Information.
- [22] BUCHGRABER, K. (2001b). Kann die Grünlandnutzung in Österreich auch künftig aufrecht erhalten werden? Wintertagung des Ökosozialen Forums, Steiermark.
- [23] BUCHGRABER, K. AND R. RESCH (1993). Der Einfluss der Produktion von Grassilagen auf die Futterqualität und Gärbiologie sowie die Auswirkungen auf die Verfütterung und Milchqualität in der Praxis-Silageprojekt "Steirisches Ennstal".
- [24] BUCHGRABER, K., A. DEUTSCH, et al. (1994). Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung, Leopold Stocker Verlag; Graz.
- [25] BUCHGRABER, K., R. RESCH, et al. (1998). "Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum; in : Der fortschrittliche Landwirt-Sonderbeilage." Der fortschrittliche Landwirt - Sonderbeilage 2/1998.
- [26] BUCKENHÜSKES H.J. (2001). Functionelle Lebensmittel, Eigenverlag Fa.Gewürzmüller, Stuttgart.
- [27] BURKE T.R. (1992): Protein-tyrosin kinase inhibitors.- Drugs Future, 17, S. 119-131.
- [28] CARGILL DOW (2002). Internetinformation der Firma.
- [29] CLAUS, H. G. (1985). "Saftabpressen-für die Praxis interessant?" Landtechnik 4(Jahrgang p.158 April 1985).
- [30] CRAMER, A. (1995). Optimierung der Aufarbeitsverfahren zur Gewinnung von Milchsäure aus Fermentationsmaischen, Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien.
- [31] DACHLER M. & PELZMANN H. (1998): Heil- und Gewürzpflanzen.- Wien.
- [32] DACHLER M. & PELZMANN H. (1999): Arznei- und Gewürzpflanzen.- Wien.
- [33] DANNER and FA. BIOMIN (2002): Persönliche Information , Koschuh.

- [34] DANNER, H. (1998). Endbericht: Biotechnologie zur Produktion von marktrelevanten Chemikalien aus nachwachsenden Rohstoffen., IFA-Tulln.
- [35] DANNER, H., B. MAZINGAIDZO, et al. (1999). Austrian and European Markets for Products from a Green Biorrefinery. SUSTAIN Second "Int. Symposium on The Green Biorefinery", Kornberg.
- [36] DATTA (1998). Patent: Esterification of fermentation - derived acids via pervaporation. U.S.A.
- [37] DAVIES, D. R., J. R. MERRY, et al. (1998). "Proteolysis During Ensilage of Forages Varying in Soluble Sugar Content." J. Dairy Sci. 81: 444-453.
- [38] DEFREMERY, D., R. E. MILLER, et al. (1973). "Centrifugal separations of white and green protein fractions from alfalfa." J.Agric.Food Chem. 21: 886-889.
- [39] DEFREMERY, D., R. E. MILLER, et al. (1975). "Pilot plant production of an edible white fraction leaf protein concentrate from alfalfa." J.Agric.Food Chem. 23: 620-626.
- [40] DENFER D., EHRENDORFER F., MÄGDEFRAU K. & ZIEGLER H. (1978): Lehrbuch der Botanik.- Stuttgart, New York.
- [41] DIETL, W. (2000). Persönliche Information.
- [42] DIETL, W., J. Lehmann, et al. (1998). Wiesengräser, Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale Schweiz.
- [43] DRAHL, I. and K. D. SCHWENKE (1986). "Functional properties of plant proteins;Part VII. Rheological properties of succinylated proteins from faba beans." Die Nahrung 30: 311-318.
- [44] DREIER S. and HERZOG F. (2001): Ökologische Qualität von Wiesen.- Schriftenr. FAL 39, Artenreiche Wiesen, S. 17-24.
- [45] ECOCHARD, R., G. CAVALIE, et al. (1991). "Rubisco content and specific activity in barley." J. exp. Bot. 42: 39-43.
- [46] EHLERT, D., C. IDLER, et al. (1997). Ernte und Konservierung von Hanf. Internationale Tagung Landtechnik, Braunschweig.
- [47] EHLERT, D., C. IDLER, et al. (1997). Hanfernte 1996 in Brandenburg. Flachstagung, Bonn.
- [48] ELLENBERG H., MAYER R. & SCHAUERMANN J. (Hrsg.) (1986): Ergebnisse des Sollinprojekts.- Stuttgart.

- [49] ELLIS, R. J. (1979). "The most abundant protein in the world." Trends biochem. Sci. 4: 241-244.
- [50] ELLIS, R. J. (1981). "Chloroplast Proteins: synthesis, transport and assembly." Ann. Rev. Plant Phys. 32: 111-137.
- [51] ELLMAUER T. & MUCINA L. (1993): Molinio-Arrhenatheretea.- In: MUCINA L., GRABHERR G. & ELLMAUER T.: Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil 1: Anthropogene Vegetation.- S. 297-385, Jena.
- [52] ELLMAUER T. (1993): Calluno-Ulicetea.- In: MUCINA L., GRABHERR G. & ELLMAUER T.: Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil 1: Anthropogene Vegetation.- S. 402-419, Jena.
- [53] ELLMAUER T. 1994/95: Biodiversity hot-spots in Österreich - eine Annäherung.- Z. Ökologie und Naturschutz 3: S. 271-279.
- [54] EUROPEAN COMMISSION (2000). RTD info/28 December 2000: 40.
- [55] FA. PONNDORF (2001): Persönliche Information.
- [56] FISCHER M. & STÖCKLIN J. (1997): Local extinction of plant in remnants of extensively used calcareous grasslands 1950-1985.- Conservation Biology 11, S. 727-737.
- [57] FRANCE LUZERNE (2000): Alfalis – Dossier PX, France Luzerne.
- [58] FUHRMEISTER H. (2001). Herstellung von Proteinprodukten auf der Grundlage eines Verfahrens zur Stärkegewinnung aus Markerbsen, Dissertation an der TU Berlin.
- [59] GALACTIC (1998). Company and Product Information April 1998.
- [60] GEPP J. & ZORN S. (1994): 10 Jahre Rote Listen gefährdeter Tierarten in Österreich.- in: Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz: Rote Listen gefährdeter Tiere in Österreich.- 7-34.
- [61] GERNGROSS, T. U. and S. C. SLATER (2000). Wie grün sind grüne Kunststoffe? Spektrum der Wissenschaft. 12/2000: 58-63.
- [62] GIG (1999): Fa. für Anlagenbau, Persönliche Information.
- [63] GOESSLER R., KUPKE J., SCHWIERZ A. & NIEFIND B. (2000): Arznei- und Gewürzpflanzen in Osteuropa.- Berlin.
- [64] GRILL D., GUTTENBERGER H. & STEINLECHNER E. (1990): ASC – Zusammenfassung der Feldversuche.- Inst. Pflanzenphysiologie, Univ. Graz.

- [65] GRILL D., GUTTENBERGER H., STEINLECHNER E., EHRLICH U. & TAUSZ M. (1990): ASC – Feldversuche.- Inst. Pflanzenphysiologie, Univ. Graz.
- [66] GRIMS F. & KÖCKINGER H. (1999): Rote Liste gefährdeter Laubmoose (Musci) Österreichs.- In: Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Rote Listen gefährdeter Pflanzen Österreichs, 2. Aufl., S. 157-171.
- [67] GUT (2002):www.gut.at. Homepage, Müllentsorgungskosten.
- [68] HEGNAUER R. (1986): Chemotaxonomie der Pflanzen Bd. 7, Birkhäuser Verlag Basel.
- [69] HEIER, W. (1983). "Das Fraktionieren von Gras." Grundl. Landtechnik 33(2): 45-56.
- [70] HEINZ, V. (2002). Persönliche Information. S. Kromus. TU Berlin.
- [71] HOLTEN, C. H. (1971). Lactic Acid, Properties and Chemistry of Lactic Acid and Derivates., Verlag Chemie.
- [72] HOLTZHAUSER M. (1997). Biochemische Labormethoden, Springer.
- [73] HYDRO ARGRI DÜLMEN GMBH (1993): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau.
- [74] IDLER, C. (1994). Einsatz von Milchsäure und Milchsäurepräparaten bei der biologischen Konservierung von Futtermitteln. Bornimer Agrartechnische Berichte. 6: 43-53.
- [75] IDLER, C. and H. FUCHS (1995). "Milchsäure konserviert Futtergetreide." Landtechnik 50 (1): 38-39.
- [76] IN-BOUNGYEO (1998): Untersuchungen zum Einsatz von Membrantrennverfahren bei der Aufbereitung von Gülle und landwirtschaftlichen Abwässern und zur Wertstoffgewinnung am Beispiel von Milchsäure, Dissertation an der Humboldt Universität Berlin.
- [77] JACOT K. and LEHMANN J. (2001): Wie können artenreiche Wiesen neu angelegt werden?- Schriftenr. FAL 39, Artenreiche Wiesen, S. 69-75.
- [78] KAMM B. et al. (1996): Sachbericht 1. Zwischenbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FKZ: 96163190-U "Cyclische Monomere für biologisch abbaubare Werkstoffe aus milchsäurehaltigen wäßrigen Lösungen. Potsdam, Teltow.

- [79] KAMM, B. and M. KAMM (1997). Patent: Verfahren zur Herstellung von organischen Aminiumlactaten und deren Verwendung zur Herstellung von Dilactid. EU-Patent.
- [80] KAMM, B. and M. KAMM (1998). Die Grüne Bioraffinerie in: Beiträge zur ökologischen Technologie, Vol.5. Berlin, Gesellschaft für ökologische Technologie und Systemanalyse e.V. 5.
- [81] KAMM, B., M. KAMM, et al. (2000). "Formation of Aminium Lactates in Lactic Acid Fermentation." *Acta Biotechnol.* 20: 289-304.
- [82] KARLSSON, P., D. DONECKE, et al. (1994). Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler, Georg Thieme Verlag Stuttgart New York.
- [83] KESSLER, W. and W. DIETL (1997). Unkrautregulierung in Naturwiesen. Schweiz, Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaus.
- [84] KIEL, P. (1997). Technologische Aspekte und Perspektiven von Gras-Folgeprodukten in :B. Kamm "Die Grüne Bioraffinerie".
- [85] KOCH, L. (1983). The Vepex process. Leaf Protein Concentrates. L. Telek, AVI Publishing Company Inc. Westport Connecticut.
- [86] KOEGL, R. G., H. K. SREENATH, et al. (1999). "Alfalfa Fiber as a Feedstock for Ethanol and Organic Acids." *Applied Biochemistry and Biotechnology* 77-79: 105-115.
- [87] KOHLER G. O., EDWARDS R. H., DE FREMERY D. (1983): LPC for Feed and Foods: The Pro-Xan Process, Leaf Protein Concentrates. L. Telek, AVI Publishing Company Inc. Westport Connecticut.
- [88] KRIEG A. et al. (1995): Forschungsprojekt "Graskraft" Triesdorf (Bayern).
- [89] KRISAI R. (1999): Zur Gefährdungssituation von Moosen in Österreich.- In: Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Rote Listen gefährdeter Pflanzen Österreichs, 2. Aufl., S. 153-156.
- [90] KRISAI-GREILHUBER (1999): Rote Liste gefährdeter Großpilze Österreichs.- In: Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Rote Listen gefährdeter Pflanzen Österreichs, 2. Aufl., S. 229-266.
- [91] KROMUS, S. (1999). Elaboration of a decentralized "Green Biorefinery" for the Austrian Region of Feldbach - A sustainable Concept? Dep. of Env. Sciences-Environmental Systems Analysing Group. Wageningen, Wageningen Agricultural University (WAU).
- [92] LANGE U. (1998): Stärke.- In: WASKOW F. (Hrsg.): Leitfaden Nachwachsende Rohstoffe.- S. 71-92, Heidelberg.

- [93] LANGKAU J. & BONK M. (1998): Zucker.- In: WASKOW F. (Hrsg.): Leitfaden Nachwachsende Rohstoffe.- S. 60-70, Heidelberg.
- [94] LARCHER W. (1984): Ökologie der Pflanzen.- 4. Aufl., Stuttgart.
- [95] LARCHER W. (1994): Ökologie der Pflanzen.- 5. Aufl., Stuttgart.
- [96] LEHMANN J. & JACOT K. (2001): Bewirtschaftung, Ertrag und Futterwert artenreicher Wiesen.- Schriftenr. FAL 39, Artenreiche Wiesen, S. 93-99.
- [97] LEHMANN, J. and M. JORQUERA (1999). Luzerne - "Königin der Futterpflanzen", Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaus, Schweiz.
- [98] LIPP E. (2002): Löwenzahn – der gute alte „Röhrlsalat“.- Der fortschrittliche Landwirt, 7, S. 18-19.
- [99] LOWRY ET AL (1951): Protein measurement with the Folin phenol reagent, Biol. Chem. 193: 265-275.
- [100] MADZINGAIDZO, L. (1999). Technical, Economical and Environmental Perspectives in the Production of Chemicals from Renewable Resources _ A Case Study on Lactic Acid Production and Purification. Department of Environmental Biotechnology, IFA-Tulln. Tulln, BOKU Wien.
- [101] MADZINGAIDZO, L., H. DANNER, et al. (1999). Membrane technology for lactic acid separation & purification. The Green Biorefinery, Feldbach, Austria.
- [102] MAKONI N. F., ET AL (1993): Characterization of Protein Fractions in Fresh, Wilted and Ensiled Alfalfa, J. Dairy Sci. 76:1934-1944.
- [103] MCGRATH, D. (1988). "Seasonal Variation in the Water-Soluble Carbohydrates of Perennial Italian Ryegrass under Cutting Conditions." Irish J. Agric. Res. 27: 131-139.
- [104] MEMBRANVERFAHREN (2001). Vorlesungsskriptum Membranverfahren TU Graz.
- [105] MERCK (1999). Chemikalien, Reagenzien,
- [106] MESSMAN, M. A., W. P. WEISS, et al. (1994). "Changes in Total and Individual Protein During Drying, Ensiling and Ruminant Fermentation of Forages." J. Dairy Sci. 77: 492-500.
- [107] MOTHESS, R., K. D. SCHWENKE, et al. (1990). "Rapeseed protein-polyanion interactions. Soluble complexes between the 2-S-protein fraction and phytic acid." Die Nahrung 34: 375-385.

- [108] MUCINA L. and KOLBEK J. (1993): Festuco-Brometea.- In: MUCINA L., GRABHERR G. & ELLMAUER T.: Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil 1: Anthropogene Vegetation.- 420-492, Jena.
- [109] MURKIES A.L., WILCOX G. & DAVIES S.R. (1998): Phytoestrogenes.- J. Endocrin. Metabol. 83 (2), S. 297-303.
- [110] NCBI (2002): Homepage der National Center for Biotechnology Information – www.ncbi.nlm.nih.gov.
- [111] NEMETH E. (2001): Anbau und Markt von Arznei- und Gewürzpflanzen in Ungarn.- Bernburger Winterseminar zu Fragen der Arznei- und Gewürzpflanzenproduktion, S. 10-11.
- [112] NIKLFELD H. & SCHRATT-EHRENDORFER L. (1999): Rote Liste gefährdeter Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta und Spermatophyta) Österreichs – 2. Fassung.- In: Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Rote Listen gefährdeter Pflanzen Österreichs, 2. Aufl., S. 33-153.
- [113] NIKLFELD H. (1986). Einführung zu den Roten Listen gefährdeter Pflanzen Österreichs.- In: Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz, Rote Listen gefährdeter Pflanzen Österreichs.- 5-15.
- [114] NULTSCH W. (2001): Allgemeine Botanik, Thieme.
- [115] NYACHARO J.M., BRIGGS K.G., HODDINOTT J. & JOHNSON-FLANAGAN A.M. (2001): Chlorophyll content, chlorophyll fluorescence and water deficit in spring wheat.- Cereal Research Comm., 29 (1-2), S.135-142.
- [116] OSTROWSKI-MEISSNER H. T. (1983): Protein Concentrates from Pasture Herbage and their Fractionation into Feed and Food-grade Products, Leaf Protein Concentrates. L. Telek, AVI Publishing Company Inc. Westport Connecticut.
- [117] PERCHT C. (2001): Kräuter für Leib und Seele.- Gröbming.
- [118] PETIN B. (2000): Luzerne, ein interessantes Pflänzchen; in FTE-info, Nr. 28, Europäische Union, Dez 2000.
- [119] PIRIE, N. W. (1966). "Leaf protein as human food." Science: 1701-1705.
- [120] PIRIE, N. W. (1987). Leaf Protein. Cambridge, Cambridge University Press.
- [121] POLLOCK C. J., CAIRNS A. J. (1991): Fructan Metabolism in Grasses and Cereals, Annu. Rev. Plant Mol. Biol. 42:77-101.
- [122] POVODEN G. (2002): Proteinabbau in Grassäften, Diplomarbeit an der TU-Graz (unpublished).
- [123] PRICE K.R. & FENWICK G.R. (1985): Naturally occurring oestrogens in foods – a review.- Food Addit. Contam., 2, S. 73-106.

- [124] PURAC, F. (2001). Persönliche Information. S. Kromus.
- [125] RAUTENBACH, R. (1997). Membranverfahren, Grundlagen der Modul,- und Anlagenauslegung. New York, Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- [126] RAUTENBACH, R. (1997): Membranverfahren, Grundlagen der Modul,- und Anlagenauslegung. New York, Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- [127] RESCH, R. (2002): BAL-Gumpenstein, Persönliche Information.
- [128] SAUKEL J. & KÖCKINGER H. (1999): Rote Liste gefährdeter Lebermoose (Hepaticae) und Hornmoose (Anthoceratae) Österreichs.- In: Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Rote Listen gefährdeter Pflanzen Österreichs, 2. Aufl., S.172-186.
- [129] SCHALITZ & ZALF (2000): Erste Ergebnisse und Erfahrungen mit dem Anbau von Heil- und Gewürzpflanzen auf Niedermoor.- Bernburger Winterseminar zu Fragen der Arznei- und Gewürzpflanzenproduktion, S. 36.
- [130] SCHIFFGEN C. & WASKOW F. (1998): Arznei- und Heilpflanzen.- In: WASKOW F. (Hrsg.): Leitfaden Nachwachsende Rohstoffe.- S. 186-199, Heidelberg.
- [131] SCHNEIDER K. & WALTER T. (2001): Fauna artenreicher Wiesen: Zielarten, Potential und Realität am Beispiel der Tagfalter und Heuschrecken.- Schriftenr. FAL 39, Artenreiche Wiesen, S. 34-44.
- [132] SOLOMONS G.L. (1986): Production of Biomass by Filamentous Fungi., Comprehensive Biotechnology Vol. 3, 483-505.
- [133] STATISTIK AUSTRIA (1999): Datenmaterial - Erhebung.
- [134] STEIERMÄRKISCHE LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (2001): - mündliche Mitteilung
- [135] STEIGER, A. (1986). Desinfektion, Gustav Fischer Verlag Jena.
- [136] STEINBUCH E. (1995): Wiesen und Weiden der Ost-, Süd- und Weststeiermark.- Dissertationes Botanicae 253, Berlin, Stuttgart.
- [137] STEINMÜLLER, H. (1994). Milchsäure aus Silagefermentationen, Endbericht. Ö. I. f. K. Linz. Linz.
- [138] STEINMÜLLER, H. and F. SCHNEIDER (1991). Stellt Lignozellulose eine Alternative für die Österr. Landwirtschaft dar? (unpublished). Stellt Lignozellulose eine Alternative für die Österr. Landwirtschaft dar?, Linz.
- [139] STONEK F., METKA M., RIEDL A.M. & HUBER J. (2001): Rotklee und Phytohormone.- Österreichische Apothekerztg. 21, S. 1-8.

- [140] TELEK, L. and H. D. GRAHAM (1983). Leaf Protein Concentrates. Connecticut, AVI Publishing Company.
- [141] TÜRK R. & HAFELLNER J. (1999): Rote Liste gefährdeter Flechten (Lichenes) Österreichs.- 2. Fassung.- In: Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Rote Listen gefährdeter Pflanzen Österreichs, 2. Aufl., S. 187-228.
- [142] UMWELTFORUM (1992): Expertenforum Energiewaldforschung.- Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (Hrsg.), Wien.
- [143] WAKONIGG H. (1978): Witterung und Klima in der Steiermark.- Wiesbaden.
- [144] WANG, J. C. and J. KINSELLA (1976). "Functional properties of novel proteins: alfalfa protein." J. Food Sci. 41: 286-292.
- [145] WASKOW F. (1998): Gentechnik und Nachwachsende Rohstoffe.- In: WASKOW F. (Hrsg.): Leitfaden Nachwachsende Rohstoffe.- S. 215-221, Heidelberg.
- [146] WILLFORT R. (1967): Gesundheit durch Heilkräuter.- 8. Aufl., Linz.
- [147] WOOLFORD, M. K. (1984): "The Silage Fermentation." Microbiology Series 14.
- [148] ZIMMERMANN A. & TALKER H. (1995): BIODIGITOP. Naturschutz per Computer. - Naturschutzbrief 166, S. 3-10.
- [149] ZIMMERMANN A. & TALKER H. (1996): Das Projekt „BIODIGITOP“.- Sauteria 8, S. 305-314.

15 ANHANG – ABKÜRZUNGEN

| | |
|--------------------------|--|
| # | Einheit [kg, kWh, tkm, ...] |
| € | Euro (1 € ~ 0,9 US \$) |
| A | Fläche [m ²] |
| a | Jahr |
| AA | Amino Acid (Amino Säure) |
| ATB | Silagestarter d. Inst. für Agrartechnik Bornim (D) |
| BHKW | Block Heiz Kraft-Werk |
| BJ | Brown Juice = entproteinierter Green Juice (GJ) |
| BOD _{anaerobic} | Biological Oxygen Demand – Anaerobic [g BOD _{anaerobic} /l] |
| BRG | Bastardraygraswiese |
| BS | Buttersäure |
| BW | Biologische Wertigkeit (Aminosäuren) |
| cfu/g FM | Colony forming Units pro Gramm Frischmasse – Einheit zur Beschreibung der Lebendbakterien (dt. [kbE/g FM]) |
| CO ₂ -eq | Carbon Dioxide equivalents [kg] |
| COD | Chemical Oxygen Demand [g COD/l] |
| CP | Crude Protein (Rohprotein) – ((TKN - NH ₄ ⁺ -N)*6,25) |
| c _p | spez. Wärmekapazität [kJ/kg*K] |
| CSL | Corn Steep Liquor (= Maisquellwasser) |
| d | Tag |
| DC | Dünnschichtchromatographie |
| DMSO | Dimethylsulfoxid |
| dOM | Verdaulichkeit der organischen Masse % |
| DW | Dauerwiese |
| DW(B) | Dauerwiese in der Buchau bei Admont |
| ES | Essigsäure |
| EtOH | Ethanol |
| f | Sicherheitsfaktor |
| FM | Frischmasse |
| F _p | Schmelzpunkt [° C] |
| G | Grün (Wiesengrünmasse frisch) |
| GBR | Grüne Bioraffinerie (Green Biorefinery) |
| GJ | Green Juice – Grüner Presssaft |
| GPK | Grüner Presskuchen |
| HDPE | High Density Poly Ethylene |
| HPLC | High Pressure Liquid Chromatography |
| H _u | net calorific value [kWh/m ³] |
| IFA-1 | Silagestarter des IFA-Tulln |
| IFA-2 | Silagestarter des IFA-Tulln |
| IFA-M2 | Silagestarter des IFA-Tulln |
| IFA-S3 | Silagestarter des IFA-Tulln |
| k | heat transfer coefficient [W/m ² *K] |
| KbE/g FM | Koloniebildende Einheiten pro Gramm Frischmasse |
| kD | Kilo Dalton [1 Dalton = 1 kg/kmol] |
| KG | Knautgraswiese |
| KLK | Klee-Gras Wiese |
| KWK | Kraft-Wärme-Kopplung |
| LA | Lactic Acid (auch MS = Milchsäure) |

| | |
|-------------|--|
| MOH | Methanol |
| MS | Milchsäure (auch LA = Lactic Acid) |
| MWCO | Molecular Weight Cut Off [kD] |
| NAWARO | Nachwachsender Rohstoff |
| NEL | Nettoenergie-Laktation in MJ/kg TM |
| NF | Nanofiltration |
| NPN | Non Protein Nitrogen (Nicht Protein Stickstoff) |
| NPU | Net Protein Utilization |
| OM | Organische Masse |
| oTM od. oTS | organische Trockenmasse (= organische Trockensubstanz) |
| PE | Polyethylen |
| PER | Protein Efficiency Rate |
| PET | Polyethylenterephthalat |
| pH | pH Wert |
| PHA | Polyhydroxyalkanoate |
| PHB | Polyhydroxybutyrate (Polyhydroxybuttersäure) |
| PLA | Poly Lactic Acid = Polylactid |
| PP | Polypropylen |
| PS | Propionsäure |
| PS | Polystyrol |
| S | Silage (im Projekt Wiesensilage) |
| SB | Sila Bac – Silagestarter der Fa. Pioneer |
| SBJ | Silage Brown Juice = um die Milchsäure befreiter Silagepresssaft |
| SJ | Silage Juice - Silagepresssaft |
| SPK | Silagepresskuchen |
| TEIP | Total Electrophoretical Identified Protein |
| TKN | Total Kjehldal Nitrogen |
| TM od. TS | Trockenmasse (= Trockensubstanz) |
| UF | Ultrafiltration |
| UO | Umkehrosmose |
| WSC | Water Soluble Carbohydrates (Wasserlösliche Kohlenhydrate) |
| XA | Rohasche |
| XF | Rohfaser |
| XL | Rohfett |
| XP | Rohprotein (TKN*6,25) |
| Z | Zucker |
| ÷T | Temperatur Differenz [° C] |
| ξ_{el} | Elektrischer Wirkungsgrad [%] |
| ξ_{th} | Thermischer Wirkungsgrad [%] |
| $\psi\#$ | Dichte [kg/m ³] |

16 ANHANG – MODUL 1-1 UND MODUL 1-2

16.1 Böden im Bezirk Feldbach

Als Grundlage der Darstellung dient die Österreichische Bodenkartierung, 1982 und die Erläuterungen zur Bodenkarte (BMLF, 1982).

Feldbach kann in zwei Landschaftsräume gegliedert werden:

1. Talboden der Raab
2. Hügelland: sehr verschiedene Substrate

95,8 % der Böden sind kalkfrei

Insgesamt sind 49 Bodenformen mit 22191 ha identifiziert worden. Ca. 20 % der Böden gelten als trocken bis mäßig trocken. D.h. Wasser ist kein limitierender Faktor.

16.1.1 Erosionsgefahr

Im Steirischen Hügelland spielt Bodenerosion eine große Rolle. Diesbezüglich ist Winderosion allerdings zu vernachlässigen. Wichtig ist allerdings, die Erosion, die durch heftige Niederschläge verursacht wird.

Tab. 126: Erosion durch Wasser im Raum Feldbach

| Art und Stärke der Erosionsgefahr | ha | % |
|--|--------------|--------------|
| nicht gefährdet | 5985 | 27.0 |
| mäßig bis stark überschwemmungs- und überstauungsgefährdet | 3847 | 17.3 |
| mäßig (42,5 %) bis hoch abschwemmungs- und rutschgefährdet | 12359 | 55.7 |
| Total | 22191 | 100.0 |

16.1.2 Bodenreaktion

Prinzipiell wachsen die Gräser, die für uns von Interesse sind auf basischen bis sauren Böden.

Tab. 127: Bodenreaktion im Raum Feldbach

| Bodenreaktion | ha | % |
|--|--------------|-------------|
| alkalisch bis neutral | 799 | 3,6 |
| neutral bis schwach sauer | 1234 | 5,6 |
| schwach sauer bis sauer | 16721 | 75,3 |
| sauer – Unterboden stark sauer – stark sauer | 3437 | 15,5 |

16.1.3 Böden für die Bioraffinerie

Die Talböden im Raabtal sind bestens geeignete Ackerflächen. Zur Etablierung einer Fruchtfolge und zum Schutz der Umwelt (speziell des Grundwassers) wäre hier der Anbau von Wechselwiesen mit hohen Erträgen wünschenswert und sinnvoll.

Bei stärkerer Hangneigung muss mit geringeren Erträgen von 20 bis 30 % gerechnet werden. Trotzdem ist es wesentlich sich auf erosionsgefährdete Gebiete zu konzentrieren, da eine wesentliche ökologische Aufgabe der Grünen Bioraffinerie die Vermeidung von Bodenerosion darstellt.

16.1.4 Bevorzugte Flächen

- ⊘ Hügelland oder Seitentäler der Raab mit keiner bis mittlerer Hangneigung (0 – 10°)
- ⊘ Böden mit mäßiger bis mittlerer Erosionsgefahr (Böden mit hoher Erosionsgefahr können bei Erfolg der Bioraffinerie zusätzlich einbezogen werden)
- ⊘ Böden sollten schwach sauer bis sauer sein (75 % der Böden in Feldbach)
- ⊘ Die Bewirtschaftung sollte nicht durch zu große Feuchtigkeit, Dichtlagerung und zu große Hangneigung behindert werden

16.2 Versuchsflächen 2000: Wiesen in Auersbach/Feldbach

1. Gumpensteiner Bastard – Raygraswiese einjährige Fruchtfolge mit Silomais als Feldfutteranbau (verwendete Abkürzung: **BRG00**)

Tab. 128: Versuchsfläche 2000: Reingrasbestand – Feldfutteranbau (BRG00) – Auersbach/Feldbach

| | | | | |
|------------------------------------|----------|---|---------------------------------------|--|
| Wiese 1: | | Reingrasbestand Futteranbau | |  |
| Art: | | Bastard-Raygras, | <i>Lolium hybridum</i> Gumpenstein | |
| Fläche: | | ebene Fläche im Auersbachtal, Zwischen Wetzelsdorf und Auersbach; "Ebenacker" | | |
| Größe | | 1,8 ha | | |
| Boden: | | | | |
| Anzahl der Schnitte f. Versuche: | | 3 | | |
| Schnitte gesamt 2000 | | 4 (4. Schnitt Heuballen) | | |
| Düngung (Angaben pro ha) | 01.03.00 | 54 m ³ Rindergülle ° N-verfügbar: 159 kg N-gesamt: 243 kg P ₂ O ₅ : 92 kg K ₂ O: 486 kg | | |
| | 24.03.00 | 190 kg N; 190 kg P; 76 kg K 28, 5 kg Spurenelemente (Vollkorn Plus) | | |
| | 10.05.00 | 189 kg N (Nitromoncal) | | |
| | 08.06.00 | 40 m ³ Rindergülle ° 120 kg N-verfügbar 180 kg N-gesamt P ₂ O ₅ : 68 kg K ₂ O: 360 kg | | |
| | 08.06.00 | 108 kg N (Nitromoncal) | | |
| Unkrautbekämpfung: | | 2 l Banvel M/ha | | |
| Silagebereitung mit Bakterien von: | | ATB-Bornim, IFA-Tulln, SilaBac [®] d. Fa. Pioneer | | |

2. Dauerwiese (verwendete Abkürzung **DW00**)

Tab. 129: Versuchsfläche 2000: Dauerwiese 2 bis 3-mähdig (DW00) – Auersbach/Feldbach

| | | | | | |
|------------------------------------|----------|--|--|------------------------------|--|
| | |  | | | |
| Wiese 2: | | Dauerwiese | | 50 % Gräser | |
| | | | | 10 % Klee | |
| | | | | 40 % Kräuter | |
| Arten | Gräser | Raygräser | | <i>Lolium...</i> | |
| | | Knautgras | | <i>Dactylis glomerata</i> | |
| | | Wiesenfuchsschwanz | | <i>Alopecurus pratensis</i> | |
| | | Wolliges Honiggras | | <i>Holcus lanatus</i> | |
| | | Glatthafer (wenig) | | <i>Arrhenatherum elatius</i> | |
| | Klee | Weissklee | | <i>Trifolium repens</i> | |
| | Kräuter | Spitzwegerich (bis 25 %) | | <i>Plantago lanceolata</i> | |
| | | Ampfer (bis 3 %) | | <i>Rumex obtusifolius</i> | |
| | | Hahnenfuss | | <i>Ranunculus</i> | |
| Fläche: | | leicht hängige Fläche; Fuchsriegel/Auersbach – "Hörzerweise" | | | |
| Größe | | 0,8 ha | | | |
| Boden: | | | | | |
| Anzahl der Schnitte f. Versuche: | | 1 (2. Schnitt nur Ertragsprobe) | | | |
| Schnitte gesamt | | 2 (2. Schnitt Heuballen) | | | |
| Düngung: (Angaben pro ha) | 25.03.00 | 60 kg N; 60 kg P; 24 kg K; 9 kg Spurenelemente (Vollkorn Plus) | | | |
| | 10.05.00 | 67,5 kg N (Nitromoncal) | | | |
| Unkrautbekämpfung: | | keine | | | |
| Silagebereitung mit Bakterien von: | | ATB-Bornim, Glasversuche mit Dr. Idler, IFA-Tulln | | | |

3. Knaulgraswiese – Sämereiwiese (verwendete Abkürzung **KG00**)

Tab. 130: Versuchsfläche 2000: Knaulgraswiese – Sämereiwiese; Auersbach/Feldbach

| | | |
|---------------------------------------|--|-------------------------------|
| Wiese 3: | Reingrasbestand – Samenanbau | |
| Art: | Knaulgras | <i>Dactylis glomerata</i> |
| Fläche: | ebene Fläche im Auersbachtal, Ortseinfahrt Auersbach von Wetzelsdorf kommend bei Trafostation | |
| Größe: | 1 ha | |
| Boden: | | |
| Anzahl der Schnitte f. Versuche: | 1 Schnitt nach Samenernte (2. nur Schnitt Ertragsprobe) | |
| Schnitte gesamt | 3 (1. Schnitt Samenernte 2. Schnitt kompostiert) | |
| Düngung: (Angaben pro ha) | März 00 | 108 kg N (Nitromoncal) |
| | Juli 00 | 54 kg N (Nitronmoncal) |
| Unkrautbekämpfung: | 2 l Banvel M/ha | |
| Silagebereitung mit Bakterien von: | ATB-Bornim, IFA-Tulln, SilaBac® d. Fa. Pioneer | |

16.3 Versuchsflächen 2001: Wiesen in Auersbach/Feldbach und Admont


1. Gumpensteiner Bastard – Raygraswiese – Sämereiwiese (verwendete Abkürzung: **BRG01**)

Tab. 131: Versuchsfläche 2001/1: Reingrasbestand – Sämereiwiese (BRG01) – Auersbach/Feldbach

| | | |
|------------------------------------|---|--|
| Wiese 1: | | Reingrasbestand - Sämereiwiese |
| Art: | Bastard-Raygras | <i>Lolium hybridum</i> Gumpenstein |
| Fläche: | ebene Fläche im Auersbachtal, Gem. Rohrbach "Hausacker" | |
| Größe: | 2,2 ha | |
| Boden: | | |
| Anzahl der Schnitte f. Versuche: | 2 (1. Schnitt nur Ertragsprobe) | |
| Schnitte gesamt: | 4 (2. Schnitt Samenernte) | |
| Düngung: (Angaben pro ha) | 21.03.01 | 20 m ³ Rindergülle ° N-verfügbar: 60 kg N-gesamt: 90 kg P ₂ O ₅ : 34 kg K ₂ O: 180 kg |
| | 24.03.01 | 54 kg N (Nitromoncal) |
| | Mai 2001 | 25 m ³ Rindergülle ° N-verfügbar: 75 kg N-gesamt: 113 kg P ₂ O ₅ : 43 kg K ₂ O: 225 kg |
| | Mai 2001 | 54 kg N (Nitromoncal) |
| | Juli 2001 | 40,5 kg N (Nitromoncal) |
| Unkrautbekämpfung: | 2 l Banvel M/ha | |
| Silagebereitung mit Bakterien von: | IFA-Tulln | |

2. Klee graswiese – Feldfutter – ÖAG-Mischung "IM"

Tab. 132: Versuchsfläche 2001/2: Klee graswiese 4 bis 6-mährdig (KLG01) – Auersbach/Feldbach

| | | | | | |
|------------------------------------|-----------|---|---|---------------------------------------|--|
| | |  | | | |
| Wiese 2: | | Fl. - % | Klee graswiese ÖAG-Mischung "IM" | | |
| Arten | | 10 | Rotklee | <i>Trifolium pratense</i> | |
| | | 10 | Weißklee | <i>Trifolium repens</i> | |
| | | 20 | Bastardraygras | <i>Lolium hybridum</i> Gumpenstein | |
| | | 20 | Englisches Raygras (=Dt. Weidelgras) | <i>Lolium perenne</i> | |
| | | 20 | Knaulgras | <i>Dactylis glomerata</i> | |
| | | 10 | Wiesenschwingel | <i>Festuca pratensis</i> | |
| | | 10 | Timothe (Wiesenlieschgras) | <i>Phleum pratense</i> | |
| Fläche: | | ebene Fläche; unterhalb des Waldes – Straße von Wetzelsdorf nach Rohrbach "Gottlich Pachtacker" | | | |
| Größe: | | 1 ha | | | |
| Boden: | | | | | |
| Anzahl der Schnitte f. Versuche: | | 3 (3. Schnitt nur Ertragsprobe) | | | |
| Anzahl d. Schnitte gesamt: | | 4 (3. Schnitt Heuballen) | | | |
| Düngung: (Angaben pro ha) | März 2001 | 54 kg N (Nitromoncal) | | | |
| | Mai 2001 | 68 kg N (Nitromoncal) | | | |
| Unkrautbekämpfung: | | keine | | | |
| Silagebereitung mit Bakterien von: | | IFA-Tulln | | | |

Die ÖAG-Mischung IM eignet sich hervorragend für die Silierung. Der relativ hohe Anteil an Raygräsern sorgt für ein intensives Wachstum und für beste Futterqualitäten, auch mit hohen Zuckergehalten (gute Silierfähigkeit). Diese ÖAG-Mischung hält in milden Lagen bei nicht zu langer Schneelage zwei Winter durch. (1 bis 2 Hauptnutzungsjahre)

Diese Feldfutter-Intensivwiese kann 4 bis 6 mal pro Jahr gemäht werden.

3. Dauerwiese-Obersteiermark bei Admont - Buchau (verwendete Abkürzung **DW01**)

Tab. 133: Versuchsfläche 2000/3: Dauerwiese 2 bis 3-mähdig (DW01) – Admont, Stmk.

| Wiese 3: | Dauerwiese | | 75 % Gräser |
|------------------------------------|--|-------------------------------|------------------------------|
| | | | 2 % Leguminosen |
| | | | 33 % Kräuter |
| Arten | Gräser | Goldhafer | <i>Trisetum flavescens</i> |
| | | Knautgras | <i>Dactylis glomerata</i> |
| | | Wiesenrispengras | <i>Poa pratensis</i> |
| | | Wiesenfuchsschwanz | <i>Alopecurus pratensis</i> |
| | Leguminosen | Weissklee | <i>Trifolium repens</i> |
| | | Wicke | <i>Vicia cracca</i> |
| | Kräuter | Kuhblume (Gemeiner Löwenzahn) | <i>Taraxacum officinale</i> |
| | | Geißfuß (Giersch) | <i>Aegopodium podagraria</i> |
| | | Hahnenfuss | <i>Ranunculus</i> |
| Fläche: | ebene Fläche; Buchau/Admont; ca. 800 m Seehöhe | | |
| Boden: | | | |
| Anzahl der Schnitte f. Versuche: | 1 | | |
| Schnitte gesamt | 2 bis 3 | | |
| Düngung: | - | | |
| Unkrautbekämpfung: | keine | | |
| Silagebereitung mit Bakterien von: | IFA-Tulln | | |

Es handelt sich um eine Moorwiese wenig intensiv genutzt und mäßig gedüngt, könnte sich bei häufigerem Schnitt zu einer mittel-intensiven Wiese mit höherem Leguminosenanteil entwickeln.

4. Knaulgraswiese – Sämereiwiese (verwendete Abkürzung **KG01 ident mit KG00**)

Tab. 134: Versuchsfläche 2001/4: Knaulgraswiese – Sämereiwiese; Auersbach/Feldbach

| | | |
|---------------------------------------|-----------|---|
| Wiese 4: | | Reingrasbestand – Samenanbau |
| Art: | | Knaulgras <i>Dactylis glomerata</i> |
| Fläche: | | ebene Fläche im Auersbachtal, Ortseinfahrt Auersbach von Wetzelsdorf kommend; bei Trafostation |
| Größe: | | 1 ha |
| Boden: | | |
| Anzahl der Schnitte f. Versuche: | | 1 |
| Düngung: | März 2001 | 50 m ³ Rindergülle ° N-verfügbar: 150 kg N-gesamt: 225 kg P ₂ O ₅ : 85 kg K ₂ O: 450 kg |
| | März 2001 | 40 kg N; 40 kg P; 16 kg K; 6 kg Spurenelemente (Vollkorn Plus) |
| | Juli 2001 | 68 kg N (Nitromoncal) |
| Unkrautbekämpfung: | | 2 l Banvel M/ha |
| Silagebereitung mit Bakterien von: | | IFA-Tulln |

16.4 Klimatische Bedingungen in Feldbach/Auersbach

Der Bezirk Feldbach ist an den Süd-östlichen Ausläufern der Alpen gelegen und durch seine Hügellandschaft gekennzeichnet. Mitteleuropäische Klimabedingungen mit illyrischem Einfluss (hauptsächlich im Süden) sind prägend. Durch den sog. Nordstau an den Alpen sind leichte Inversionswetterlagen zu beobachten, die speziell im Frühjahr und Herbst zu lokalen Winden und Nebel in den Tälern führen können. Allgemein tritt Wind allerdings sehr selten auf. Im Jänner spricht man sogar von Windarmut mit Geschwindigkeiten von nur 0,7 bis 1,3 m/s.

Die Jahresmitteltemperatur, gemessen in Wetzelsdorf/Raab (HD-Nr. NL4102), der Jahre 1990 bis 1998 lag bei 8,9° C.

Jahresmittel Lufttemperatur 4102 Wetzelsdorf/Raab (1990-1996)

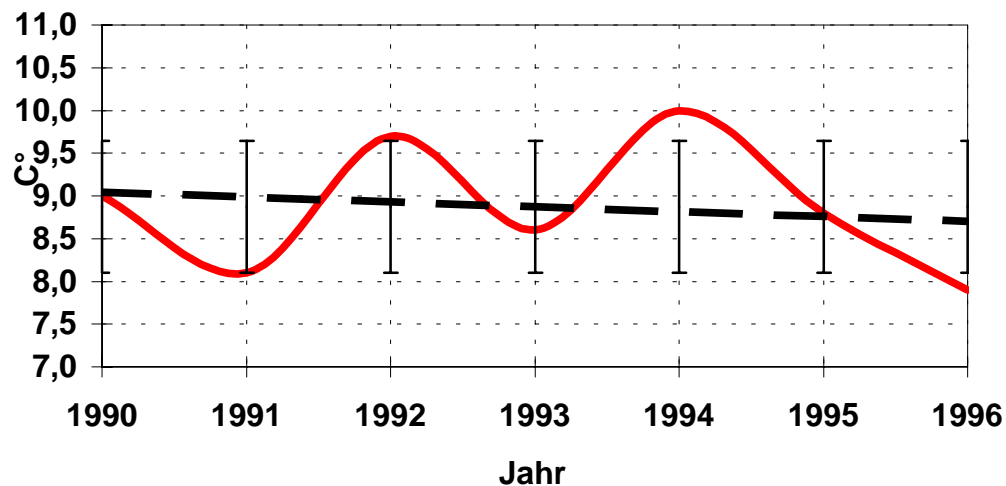


Fig. 86: Jahresmittel Lufttemperatur 4102 – Wetzelsdorf/Raab (1990-1996)

Die durchschnittlichen Jahresniederschläge der Jahre 1990 bis 1998 lagen bei 799 mm.

16.4.1 Geeignete Gräser und Wiesenarten bezogen auf das Klima

Diese gemäßigten Durchschnittstemperaturen und Niederschlagsmengen sind für den Anbau von zuckerhaltigen und ertragreichen Raygräsern, wie Italienisches Raygras (*Lolium multiflorum*) bzw. Bastardraygras (*Lolium hybridum*) bestens geeignet. Auch Knaulgras (*Dactylis glomerata*) als Horstgrasbeimischung ist eine interessante Art für diese Region. Weniger gut geeignet sind Gräser wie Englisches Raygras (*Lolium perenne*) oder Wiesenfuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*), die eher an rauhere, niederschlagsreichere Bedingungen angepasst sind.

Natürlich können mittelintensive (3 bis 4 Schnitte) Dauerwiesen mit einer mittel hohen Artenvielfalt auch sehr gut gedeihen. Besonders die leicht hängigen Lagen sind für Dauerwiesen bestens geeignet. Leider existieren im Bezirk Feldbach derzeit kaum gut gepflegte Wiesen dieser Ausprägung

16.5 Silageanalytik Allgemein

Die Frischmasse- und Silageanalytik wurde bei der Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft (Dr. Buchgraber) – BAL Gumpenstein durchgeführt.

Die Analytik wurde entsprechend den gängigen Normen (z.B. VDLUFA bzw. Dr. HAAS) für landwirtschaftlich Untersuchungen durchgeführt.

Tab. 135: Analytierte Parameter der Frischmasse und Silage am BAL-Gumpenstein

| Parameter | Beschreibung |
|--------------------|---|
| TM | Trockenmasse in g/kg Frischmasse (FM) |
| XA | Rohasche in g/kg TM |
| XP | Rohprotein in g/kg TM |
| pH | pH Wert der Silage |
| XF | Rohfaser in g/kg TM |
| Zucker | Gesamtzucker in g/kg FM bzw. TM |
| MS | Milchsäure in g/kg FM bzw. TM |
| ES | Essigsäure in g/kg FM bzw. TM |
| BS | Buttersäure in g/kg FM bzw. TM |
| PS | Propionsäure in g/kg FM bzw. TM |
| NH ₄ -N | Ammoniumstickstoff in g/kg FM bzw. TM |
| XL | Rohfett in g/kg TM |
| dOM | Verdaulichkeit der organischen Masse in % |
| NEL | Nettoenergie-Laktation in MJ/kg TM |
| P | Phosphor in g/kg FM bzw. TM |
| K | Kalium in g/kg FM bzw. TM |
| Ca | Calcium in g/kg FM bzw. TM |
| Mg | Magnesium in g/kg FM bzw. TM |

16.6 Detailergebnisse der Feldversuche 2000

16.6.1 Detailergebnisse der Silageversuche Bastard-Raygras Wiese (BRG00)

Tab. 136: Wetterbedingungen and den Tagen der Ernte – BRG00

| Schnitt | Datum | Uhrzeit | V/F/A/S | Temp. [° C] | Nieder-schlag [mm] | Bemerkung |
|--|------------|---------|---------|--------------|--------------------|------------------------|
| 1 | 02.05.2000 | 07:00 | V | 15,00 | 0 | |
| | | 14:00 | | 22,40 | | |
| | | 21:00 | | 14,40 | | |
| | 03.05.2000 | 07:00 | F | 10,60 | 0,1 | NS i. d. Nacht |
| | | 14:00 | | 20,20 | | |
| | | 21:00 | | 16,20 | | |
| | 04.05.2000 | 07:00 | A | 14,40 | 0 | |
| | | 14:00 | | 21,20 | | |
| | | 21:00 | | 16,80 | | |
| | 05.05.2000 | 07:00 | S | 13,60 | 0 | |
| | | 14:00 | | 21,20 | | |
| | | 21:00 | | 12,00 | | |
| 2 | 04.06.2000 | 07:00 | V | 17,60 | 0 | |
| | | 14:00 | | 29,40 | | |
| | | 21:00 | | 21,00 | | |
| | 05.06.2000 | 07:00 | F | 20,80 | 0 | |
| | | 14:00 | | 19,60 | | |
| | | 21:00 | | 21,40 | | |
| | 06.06.2000 | 07:00 | S | 22,00 | 19 | NS nach Silierung |
| | | 14:00 | | 18,40 | | |
| | | 21:00 | | 16,00 | | |
| 3 | 03.07.2000 | 07:00 | V | 20,40 | 0 | |
| | | 14:00 | | 30,00 | | |
| | | 21:00 | | 22,20 | | |
| | 04.07.2000 | 07:00 | F/S | 20,20 | 0 | heißer, trockener Wind |
| | | 14:00 | | 31,20 | | |
| | | 21:00 | | 24,40 | | |
| V=Tag vor dem Schnitt F=Probenahme Frischgras u. Mahd A=Anwelkphase S=Silierung | | | | | | |

Tab. 137: Datum der Schnitte und erzeugte Silage – BRG00

| Schnitt Nr. | Datum Mahd | Datum Silierung | verwendete Bakterien | Ballenanzahl |
|-------------|------------|-----------------|-----------------------------|--|
| 1 | 03.05.2000 | 05.05.2000 | IFA-1; IFA-2; SB | je 3 |
| 2 | 05.06.2000 | 06.06.2000 | ATB; 0 | ATB=2 0=1 |
| 3 | 04.07.2000 | 04.07.2000 | ATB; IFA-1; IFA-2; SB; 0 | ATB=2 IFA-1=2 IFA-2=2 SB=2 0=1 |

Gesamt wurden Proben vom jeweiligen Frischgras vor der Anwelkphase gezogen und 21 Ballen erzeugt und nach ca. 30 bis 35 Tagen beprobt.

16.6.2 Ertragserhebung BRG00

Tab. 138: Ertragserhebung für eine Bastardraygraswiese – Futteranbau im Jahr 2000; Auersbach/Feldbach

| Wiesenart | Schnitt Nr. | Ertrag/Schnitt [kg FM/ha] | Ertrag/Schnitt [kg TM/ha] | TM [%] | Ertrag bei 4 Schnitten [kg TM/ha*a] | Ertrag bei 5 Schnitten [kg TM/ha*a] |
|-----------------|-------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Bastard-Raygras | 1 | 30220 | 4835 | 16 (Annahme) | - | - |
| Bastard-Raygras | 2 | 15320 | 2695 | 17,6 | - | - |
| Bastard-Raygras | 3 | 8380 | 1754 | 20,9 | - | - |
| Summe | - | 53920 | 9284 | - | 11508 | 13733 |

Für die Silagebereitung muss ca. **20 % TM Verlust** berücksichtigt werden.

Die Hochrechnung auf 4 bzw. 5 Schnitte basiert auf der Summe des ersten 1. Schnittes plus dem Mittelwert aus Schnitt 2 und 3 multipliziert mit der Anzahl der weiteren Schnitte.

Tab. 139: Silageertrag einer Bastardraygraswiese – Futteranbau bei 20 % TM - Verlust im Jahr 2000; Auersbach/Feldbach

| Wiesenart | Silageertrag 3 Schnitte [kg TM/ha*a] | Silageertrag 4 Schnitte [kg TM/ha*a] | Silageertrag 5 Schnitte [kg TM/ha*a] |
|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Bastard-Raygras | 7427 | 9206 | 10986 |

16.6.3 Ergebnisse der Silageversuche – Dauerwiese (DW00)

Die Silierung des 1. Schnittes der Dauerwiese wurde von Frau Dr. Idler des ATB Bornim mit Weckglasversuchen und zusätzlichen ATB-Stämmen im Rahmen einer wissenschaftlichen Kooperation begleitet. Frau Dr. Idler hielt sich vom 7. bis zum 17. Mai in Österreich auf.

Tab. 140: Wetterwerte an den Tagen der Ernte – DW00

| Schnitt | Datum | Uhrzeit | V/F/A/S | Temp. [° C] | Niederschlag [mm] | Bemerkung |
|--|------------|---------|---------|--------------|-------------------|-----------|
| 1 | 14.05.2000 | 07:00 | V | 11,20 | 0 | |
| | | 14:00 | | 23,40 | | |
| | | 21:00 | | 12,40 | | |
| | 15.05.2000 | 07:00 | F | 14,60 | 0 | |
| | | 14:00 | | 25,40 | | |
| | | 21:00 | | 13,60 | | |
| | 16.05.2000 | 07:00 | S | 15,20 | 0 | |
| | | 14:00 | | 27,30 | | |
| | | 21:00 | | 14,80 | | |
| 2 | 09.07.2000 | 07:00 | V | 11,60 | 0,3 | |
| | | 14:00 | | 20,20 | | |
| | | 21:00 | | 13,00 | | |
| | 10.07.2000 | 07:00 | F | 14,40 | 2,7 | |
| | | 14:00 | | 26,60 | | |
| | | 21:00 | | 18,60 | | |
| V=Tag vor dem Schnitt F=Probenahme Frischgras u. Mahd A=Anwelkphase S=Silierung | | | | | | |

Tab. 141: Datum der Ernten – DW00

| Schnitt Nr. | Datum Mahd | Datum Silierung | verwendete Bakterien | Ballenanzahl |
|-------------|------------|------------------|----------------------|--------------|
| 1 | 15.05.2000 | 16.05.2000 | ATB; IFA-1; IFA-2 | je 2 |
| 2 | 10.07.2000 | nur Ertragsprobe | - | keine |

Gesamt wurden Proben vom jeweiligen Frischgras vor der Anwelkphase gezogen und 6 Ballen erzeugt und nach ca. 30 bis 35 Tagen beprobt. Außerdem erfolgte eine Beprobung der Ballen nach ca. 120 Tagen indem die Ballen komplett auseinander genommen wurden und die verschimmelten Teile entfernt wurden.

**Tab. 142: Ertragserhebung für eine Dauerwiese im Jahr 2000;
Auersbach/Feldbach**

| Wiesenart | Schnitt Nr. | Ertrag/Schnitt [kg FM/ha] | Ertrag/Schnitt [kg TM/ha] | TM [%] | Ertrag bei 3 Schnitten [kg TM/ha*a] | Ertrag bei 4 Schnitten [kg TM/ha*a] |
|--------------|-------------|---------------------------|---------------------------|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Dauerwiese | 1 | 10000 | 2607 | 26,1 | - | - |
| Dauerwiese | 2 | 3940 | 1241 | 31,5 | - | - |
| Summe | - | 13940 | 3848 | - | 5772 | 7696 |

Für die Silagebereitung muss ca. **20 % TM Verlust** berücksichtigt werden. Die Hochrechnung auf 3 bzw. 4 Schnitte basiert auf dem Mittelwert des ersten 1. und des 2. Schnittes, da beim 2. Schnitt ungewöhnlich niedriger Ertrag (Trockenheit) gemessen wurde.

**Tab. 143: Silageertrag einer Dauerwiese bei 20 % TM -Verlust im Jahr 2000;
Auersbach/Feldbach**

| Wiesenart | Silageertrag 2 Schnitte [kg TM/ha*a] | Silageertrag 3 Schnitte [kg TM/ha*a] | Silageertrag 4 Schnitte [kg TM/ha*a] |
|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Dauerwiese | 3078 | 4618 | 6157 |

Bei dieser Versuchsfläche scheinen auf Dauer 2 bis 3 Schnitte zur Silierung an den Standort angepasst.

16.6.4 Ergebnisse der Silageversuche Knautgraswiese – Sämereiwiese – KG00

Tab. 144: Wetterwerte zu den Schnitten der KG00 – Auersbach/Feldbach

| Schnitt nach Samenernte | Datum | Uhrzeit | V/F/A/S | Temp. [° C] | Niederschlag [mm] | Bemerkung |
|--|------------|---------|---------|-------------|-------------------|-----------|
| 1 | 07.08.2000 | 07:00 | V | 15,00 | 0 | |
| | | 14:00 | | 23,60 | | |
| | | 21:00 | | 15,60 | | |
| | 08.08.2000 | 07:00 | F | 15,40 | 0 | |
| | | 14:00 | | 24,00 | | |
| | | 21:00 | | 15,60 | | |
| | 09.08.2000 | 07:00 | S | 15,00 | 0 | |
| | | 14:00 | | 25,00 | | |
| | | 21:00 | | 16,80 | | |
| 2 | 24.09.2000 | 07:00 | V | 11,40 | 0 | |
| | | 14:00 | | 16,00 | | |
| | | 21:00 | | 12,80 | | |
| | 25.09.2000 | 07:00 | F | 11,40 | 0 | |
| | | 14:00 | | 18,20 | | |
| | | 21:00 | | 14,40 | | |
| V=Tag vor dem Schnitt F=Probenahme Frischgras u. Mahd A=Anwelkphase S=Silierung | | | | | | |

Tab. 145: Datum der Schnitte und erzeugte Silageballen – KG00 – Auersbach/Feldbach

| Schnitt Nr. | Datum Mahd | Datum Silierung | verwendete Bakterien | Ballenanzahl |
|-------------|------------|-----------------|--------------------------|-------------------|
| 1 | 08.08.2000 | 09.08.2000 | 0; ATB; IFA-1; IFA-2; SB | 0=1 sonst je 2 |
| 2 | 25.09.2000 | - | - | keine |

Gesamt wurden Proben vom jeweiligen Frischgras vor der Anwelkphase gezogen und 7 Ballen erzeugt und nach 33 Tagen beprobt.

16.6.5 Ertragserhebung KG00

Tab. 146: Ertragserhebung für eine Knautgraswiese – Samenbau im Jahr 2000; Auersbach/Feldbach – Schnitte für Bioraffinerie (ohne Samenerzeugung)

| Wiesenart | Schnitt Nr. | Ertrag/Schnitt [kg FM/ha] | Ertrag/Schnitt [kg TM/ha] | TM [%] |
|--------------|-------------|---------------------------|---------------------------|--------|
| Knautgras | 1 | 20240 | 3000 | 14,8 |
| Knautgras | 2 | 8130 | 1678 | 20,6 |
| Summe | - | 28370 | 4678 | - |

Für die Silagebereitung muss ca. **20 % TM Verlust** berücksichtigt werden.

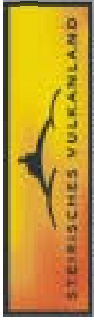
Tab. 147: Silageertrag einer Knautgraswiese – Samenbau im Jahr 2000; Auersbach/Feldbach – Schnitte für Bioraffinerie (ohne Samenerzeugung)

| Wiesenart | Silageertrag 2 Schnitte [kg TM/ha*a] |
|-----------|--------------------------------------|
| Knautgras | 3742 |

16.6.6 Analytikergebnisse zu den G und S Proben 2000 (BAL-Gumpenstein)

Tab. 148: Analytikergebnisse des BAL-Gumpenstein – GBR-Silageversuche 2000 – TEIL 1

| Wiese | Datum1 | Datum2 Probenn. | Schnitt | Starter/ GRÜN | Ballen Nr. | TM | pH | XA | XP | XF | Zucker | MS | ES | BS | PS | NH4-N | XL | dOM | NEL |
|-------|----------|--------------------|---------|------------------|---------------|-------|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|----|-------|-------|------|------|-----|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BRG00 | 05.05.00 | 05.06.00 | 1 | IFA-1 | 1 | 442,9 | 3,9 | 108,6 | 159,1 | 279,1 | 113,8 | 124,6 | 2,032 | 0 | 0,000 | 1,287 | 29,1 | 73,1 | 6,1 |
| BRG00 | 05.05.00 | 05.06.00 | 1 | IFA-1 | 2 | 443,2 | 3,9 | 105,1 | 155,8 | 279,3 | 138,8 | 112,1 | 0,903 | 0 | 0,000 | 1,151 | 28,3 | 74,1 | 6,2 |
| BRG00 | 05.05.00 | 05.06.00 | 1 | IFA-1 | 3 | 434,5 | 3,9 | 122,0 | 158,9 | 281,8 | 113,2 | 111,4 | 1,381 | 0 | 0,000 | 1,427 | 29,7 | 72,8 | 5,9 |
| BRG00 | 05.05.00 | 05.06.00 | 1 | IFA-2 | 1 | 425,7 | 3,9 | 107,6 | 159,9 | 282,2 | 124,3 | 100,1 | 1,644 | 0 | 0,705 | 0,940 | 31,5 | 72,1 | 6,0 |
| BRG00 | 05.05.00 | 05.06.00 | 1 | IFA-2 | 2 | 432,2 | 4,1 | 110,2 | 170,5 | 290,5 | 119,6 | 112,4 | 2,082 | 0 | 0,463 | 1,087 | 32,6 | 75,3 | 6,3 |
| BRG00 | 05.05.00 | 05.06.00 | 1 | IFA-2 | 3 | 453,8 | 4,0 | 138,5 | 158,0 | 299,5 | 147,6 | 125,2 | 2,204 | 0 | 0,000 | 0,903 | 25,1 | 69,4 | 5,4 |
| BRG00 | 05.05.00 | 07.06.00 | 1 | SB | 1 | 422,2 | 4,2 | 118,2 | 165,7 | 279,5 | 118,0 | 120,6 | 2,132 | 0 | 0,000 | 1,208 | 32,2 | 71,5 | 5,8 |
| BRG00 | 05.05.00 | 07.06.00 | 1 | SB | 2 | 421,2 | 4,4 | 113,8 | 165,0 | 282,2 | 151,9 | 175,0 | 3,086 | 0 | 0,000 | 1,092 | 35,2 | 74,1 | 6,2 |
| BRG00 | 05.05.00 | 07.06.00 | 1 | SB | 3 | 432,5 | 4,3 | 108,6 | 160,1 | 290,7 | 132,3 | 113,1 | 2,081 | 0 | 0,000 | 1,064 | 37,0 | 70,2 | 5,7 |
| BRG00 | 05.06.00 | | 2 | GRÜN | | 175,9 | 5,7 | 98,7 | 135,1 | 327,5 | 180,8 | n | n | n | n | 1,478 | 18,6 | 64,4 | 5,2 |
| BRG00 | 06.06.00 | 05.07.00 | 2 | 0 | 1 | 461,4 | 4,7 | 98,2 | 149,1 | 285,3 | 102,5 | 31,9 | 4,768 | 0 | 3,034 | 1,192 | 29,5 | 67,3 | 5,5 |
| BRG00 | 06.06.00 | 05.07.00 | 2 | ATB | 1 | 452,4 | 4,2 | 102,4 | 147,1 | 293,5 | 66,5 | 42,0 | 5,526 | 0 | 2,874 | 1,370 | 27,5 | 66,8 | 5,4 |
| BRG00 | 06.06.00 | 05.07.00 | 2 | ATB | 2 | 451,3 | 4,2 | 117,6 | 152,7 | 288,1 | 69,6 | 55,0 | 2,881 | 0 | 0,000 | 1,263 | 29,3 | 66,4 | 5,2 |
| BRG00 | 04.07.00 | | 3 | GRÜN | | 217,7 | 5,9 | 86,0 | 187,4 | 285,3 | 168,6 | n | n | n | n | 1,102 | 20,7 | 57,5 | 4,4 |
| BRG00 | 04.07.00 | | 3 | GRÜN | | 200,9 | 5,9 | 88,3 | 212,8 | 273,7 | 170,7 | n | n | n | n | 0,996 | 22,9 | 61,2 | 4,9 |
| BRG00 | 04.07.00 | 03.08.00 | 3 | 0 | 1 | 431,1 | 6,0 | 94,6 | 175,7 | 299,2 | 154,0 | 30,4 | 12,758 | 0 | 0,000 | 1,415 | 34,8 | 64,2 | 5,2 |
| BRG00 | 04.07.00 | 03.08.00 | 3 | ATB | 1 | 446,0 | 5,9 | 92,3 | 166,3 | 288,3 | 138,8 | 45,7 | 8,296 | 0 | 0,000 | 1,278 | 34,1 | 61,2 | 4,8 |
| BRG00 | 04.07.00 | 03.08.00 | 3 | ATB | 2 | 438,7 | 5,7 | 98,3 | 172,5 | 296,7 | 182,8 | 89,1 | 13,905 | 0 | 0,000 | 1,596 | 34,3 | 59,9 | 4,6 |
| BRG00 | 04.07.00 | 03.08.00 | 3 | IFA-1 | 1 | 441,2 | 5,0 | 98,0 | 152,0 | 292,5 | 144,6 | 111,3 | 17,226 | 0 | 0,000 | 1,745 | 32,8 | 62,3 | 4,9 |
| BRG00 | 04.07.00 | 03.08.00 | 3 | IFA-1 | 2 | 429,2 | 4,5 | 92,4 | 171,8 | 280,2 | 128,1 | 86,0 | 4,194 | 0 | 0,000 | 1,841 | 35,1 | 62,6 | 5,0 |
| BRG00 | 04.07.00 | 03.08.00 | 3 | IFA-2 | 1 | 450,4 | 4,4 | 92,7 | 166,5 | 276,2 | 133,0 | 95,0 | 1,776 | 0 | 0,000 | 1,621 | 34,3 | 60,7 | 4,8 |
| BRG00 | 04.07.00 | 03.08.00 | 3 | IFA-2 | 2 | 474,4 | 4,4 | 93,6 | 164,0 | 270,6 | 130,1 | 62,2 | 4,005 | 0 | 0,000 | 1,349 | 33,7 | 64,7 | 5,2 |
| BRG00 | 04.07.00 | 03.08.00 | 3 | SB | 1 | 478,7 | 4,6 | 92,8 | 167,5 | 275,5 | 128,9 | 51,2 | 3,760 | 0 | 0,000 | 1,421 | 34,1 | 61,0 | 4,8 |
| BRG00 | 04.07.00 | 03.08.00 | 3 | SB | 2 | 498,8 | 4,6 | 91,5 | 167,0 | 274,2 | 135,9 | 57,3 | 3,609 | 0 | 0,000 | 1,564 | 33,6 | 60,5 | 4,8 |



Tab. 149: Analytikergebnisse des BAL-Gumpenstein – GBR-Silageversuche 2000 – TEIL 2

| Wiese | Datum1 | Datum2 Probenn. | Schnitt | Starter/ GRÜN | Ballen Nr. | TM | pH | XA | XP | XF | Zucker | [g/kg TM] | | | | | XL | dOM | NEL |
|-------|----------|--------------------|---------|------------------|---------------|-------|-----|-------|-------|-------|--------|-----------|--------|----|-------|-------|------|------|-----|
| | | | | | | | | | | | | ES | BS | PS | NH4-N | % OM] | | | |
| DW00 | 15.05.00 | | 1 | GRÜN | | 260,7 | 5,3 | 71,9 | 147,7 | 296,3 | 135,8 | n | n | n | n | 0,959 | 20,4 | 54,9 | 4,2 |
| DW00 | 16.05.00 | 14.06.00 | 1 | ATB | 1 | 693,8 | 6,2 | 79,7 | 128,5 | 301,9 | 149,6 | n | n | n | n | 0,706 | 23,2 | 61,8 | 5,0 |
| DW00 | 16.05.00 | 14.06.00 | 2 | ATB | 2 | 667,1 | 5,8 | 93,4 | 130,5 | 266,2 | 137,6 | n | n | n | n | 0,809 | 28,6 | 57,4 | 4,4 |
| DW00 | 16.05.00 | 15.06.00 | 1 | IFA-1 | 1 | 578,9 | 4,1 | 78,2 | 126,3 | 301,1 | 82,2 | n | n | n | n | 1,036 | 31,5 | 60,1 | 4,8 |
| DW00 | 16.05.00 | 15.06.00 | 1 | IFA-1 | 2 | 646,8 | 5,4 | 76,8 | 126,8 | 297,2 | 126,0 | n | n | n | n | 0,866 | 26,0 | 60,6 | 4,9 |
| DW00 | 16.05.00 | 15.06.00 | 1 | IFA-2 | 1 | 678,7 | 5,9 | 105,0 | 131,3 | 297,4 | 133,3 | n | n | n | n | 0,796 | 22,7 | 58,0 | 4,4 |
| DW00 | 16.05.00 | 15.06.00 | 1 | IFA-2 | 2 | 677,0 | 5,5 | 81,6 | 130,8 | 286,1 | 121,1 | n | n | n | n | 0,768 | 27,0 | 59,4 | 4,7 |
| DW00 | 16.05.00 | 09.10.00 | 1 | ATB | 1 | 676,3 | 5,7 | 74,2 | 128,2 | 291,8 | 117,7 | 0,0 | 0,887 | 0 | 0,887 | 0,725 | 26,9 | 63,8 | 5,3 |
| DW00 | 16.05.00 | 26.09.00 | 1 | ATB | 2 | 652,8 | 5,4 | 78,6 | 115,8 | 289,3 | 143,1 | 0,0 | 1,072 | 0 | 0,000 | 1,088 | 27,1 | 62,6 | 5,1 |
| DW00 | 16.05.00 | 23.10.00 | 1 | IFA-1 | 1 | 600,1 | 4,9 | 80,2 | 125,5 | 292,0 | 84,0 | 48,3 | 2,166 | 0 | 1,166 | 1,150 | 28,8 | 59,7 | 4,8 |
| DW00 | 16.05.00 | 23.10.00 | 1 | IFA-1 | 1 | 576,7 | 5,5 | 78,9 | 118,8 | 328,6 | 87,6 | 33,8 | 2,254 | 0 | 0,867 | 1,058 | 28,9 | 62,2 | 5,1 |
| DW00 | 16.05.00 | 02.10.00 | 1 | IFA-1 | 2 | 697,8 | 5,6 | 74,4 | 107,3 | 281,8 | 142,2 | 0,0 | 0,717 | 0 | 0,000 | 0,946 | 25,0 | 62,5 | 5,1 |
| DW00 | 16.05.00 | 16.10.00 | 1 | IFA-2 | 1 | 636,0 | 5,3 | 80,5 | 148,5 | 285,9 | 121,9 | 11,2 | 1,101 | 0 | 1,258 | 0,928 | 28,6 | 60,7 | 4,9 |
| DW00 | 16.05.00 | 13.09.00 | 1 | IFA-2 | 2 | 708,4 | 5,5 | 79,9 | 124,2 | 280,0 | 139,9 | 0,0 | 1,976 | 0 | 0,000 | 0,918 | 26,3 | 59,6 | 4,7 |
| DW00 | 10.07.00 | | 2 | GRÜN | | 315,0 | 5,3 | 76,7 | 109,8 | 291,4 | 105,7 | 0,0 | 1,587 | 0 | 0,000 | 0,857 | 26,2 | 59,8 | 4,8 |
| KG00 | 08.08.00 | | 1 | GRÜN | | 148,2 | 5,7 | 133,4 | 183,6 | 321,1 | 52,6 | 0,0 | 4,723 | 0 | 0,000 | 0,540 | 29,3 | 60,7 | 4,5 |
| KG00 | 09.08.00 | 11.09.00 | 1 | 0 | 1 | 335,6 | 4,8 | 130,8 | 169,8 | 317,5 | 24,7 | 28,3 | 7,151 | 0 | 0,000 | 1,549 | 36,5 | 63,4 | 4,8 |
| KG00 | 09.08.00 | 11.09.00 | 1 | ATB | 1 | 372,4 | 4,7 | 126,3 | 171,7 | 315,5 | 29,0 | n | n | n | n | 1,477 | 35,4 | 61,9 | 4,6 |
| KG00 | 09.08.00 | 11.09.00 | 1 | ATB | 2 | 373,9 | 4,8 | 131,1 | 176,8 | 310,5 | 35,8 | n | n | n | n | 2,166 | 36,0 | 63,6 | 4,8 |
| KG00 | 09.08.00 | 11.09.00 | 1 | IFA-1 | 1 | 322,4 | 4,7 | 133,6 | 181,4 | 315,5 | 19,9 | 45,3 | 8,685 | 0 | 2,171 | 1,799 | 36,3 | 62,4 | 4,6 |
| KG00 | 09.08.00 | 11.09.00 | 1 | IFA-1 | 2 | 354,0 | 4,6 | 124,1 | 171,1 | 311,8 | 37,9 | 84,2 | 1,695 | 0 | 0,000 | 2,260 | 36,6 | 61,8 | 4,7 |
| KG00 | 09.08.00 | 11.09.00 | 1 | IFA-2 | 1 | 371,8 | 4,8 | 120,4 | 173,6 | 307,9 | 32,5 | 81,5 | 13,986 | 0 | 3,497 | 2,690 | 33,5 | 61,1 | 4,6 |
| KG00 | 09.08.00 | 11.09.00 | 1 | IFA-2 | 2 | 364,5 | 4,8 | 127,0 | 187,5 | 310,9 | 31,6 | 69,1 | 20,027 | 0 | 0,000 | 2,689 | 36,4 | 62,0 | 4,7 |
| KG00 | 09.08.00 | 11.09.00 | 1 | SB | 1 | 374,9 | 4,9 | 121,0 | 185,3 | 310,1 | 28,8 | 54,7 | 15,471 | 0 | 2,934 | 3,228 | 36,7 | 63,2 | 4,8 |
| KG00 | 09.08.00 | 11.09.00 | 1 | SB | 2 | 323,1 | 5,5 | 114,8 | 193,9 | 317,1 | 23,8 | 0,0 | 21,356 | 0 | 2,167 | 3,838 | 37,0 | 63,0 | 4,9 |
| KG00 | 25.09.00 | | 2 | GRÜN | | 206,4 | 5,7 | 115,9 | 177,9 | 313,9 | 81,4 | 0,0 | 4,360 | 0 | 0,000 | 0,484 | 29,1 | 67,9 | 5,4 |

16.6.7 Mikrobiologie bzw. Silage – Wissenschaftlerinnen des Inst. f. Argrartechnik – Bornim im Rahmen des Projekts Grüne Bioraffinerie 2000

Tab. 150: Versuchsmatrix der 2 l Weckglas - Silierversuche mit DW00 – Auersbach/Feldbach

| 16.Mai 2000 | | | | |
|-------------|------------|----------------------------|--|-----------------------|
| Varianten | Krugnummer | Bakterium | | Inkubation [cfu/g FM] |
| 1 | 1-10 | Blindprobe, ohne Bakterium | | - |
| 2 | 11-20 | Bakt1 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> Nr. 14 | 10 ⁵ |
| 3 | 21-30 | Bakt2 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> Nr.100 | 10 ⁵ |
| 4 | 31-40 | Bakt3 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> Nr.126 | 10 ⁵ |
| 5 | 41-50 | Bakt4 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> Nr.127 | 10 ⁵ |
| 6 | 51-60 | Bakt5 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> Nr.128 | 10 ⁵ |
| 7 | 61-70 | Bakt5 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> Nr.128 | 10 ⁷ |
| 17.Mai 2000 | | | | |
| 8 | 71-80 | Blindprobe, ohne Bakterium | | - |
| 9 | 81-90 | Bakt1/2 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> Nr.14/100 | 10 ⁵ |
| 10 | 91-100 | Bakt1/3 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> Nr.14/126 | 10 ⁵ |
| 11 | 101-110 | Bakt1/4 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> Nr.14/127 | 10 ⁵ |
| 12 | 111-120 | Bakt1/5 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> Nr.14/128 | 10 ⁵ |
| 13 | 121-130 | Bakt1/6 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> Nr.14/132 | 10 ⁵ |
| 14 | 131-140 | Bakt1/6 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> Nr.14/132 | 10 ⁷ |
| 15 | 141-150 | Bakt1/3/5 | <i>Lactobacillus rhamnosus</i> Nr.14/126/128 | 10 ⁵ |

Tab. 151: Zusammenfassung der Auswertung von Einzelstämmen von Milchsäurebakterien

| Varianten | d | TS 105°C [%] | pH | Roh- faser | [% TS] | | | Roh- protein | NH ₄ -N [mg/kg OS] | C : N | Milch- säure | L + Milch- säure | Essig- säure [% TS] | n- Butter- säure | Ethanol | MSB [cfu/g FM] |
|-------------------------|-----|--------------------|-----|---------------|--------|--------|--------|-----------------|-------------------------------------|-------|-----------------|------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| | | | | | o TS | Zucker | Zucker | | | | | | | | | |
| Kontrolle | 30 | 55,6 | 5,8 | 30,4 | 92,2 | 9,0 | 13,2 | 254 | 22,0 | 0,32 | 0,06 | 0,84 | - | 0,45 | 1,9 f10 ⁵ | |
| | 120 | 53,0 | 5,9 | 30,7 | 92,5 | 8,6 | 13,4 | 372 | 22,8 | 0,55 | 0,14 | 2,07 | - | 9,05 | n.u. | |
| Stamm 14 | 30 | 58,2 | 4,9 | 31,3 | 92,9 | 8,7 | 12,6 | 253 | 23,3 | 1,56 | 1,45 | 0,79 | - | 0,69 | 6,1 f10 ⁸ | |
| | 120 | 57,4 | 4,4 | 31,8 | 93,2 | 6,4 | 12,2 | 289 | 24,9 | 3,03 | 2,67 | 3,22 | - | 2,73 | n.u. | |
| Stamm 100 | 30 | 56,1 | 4,5 | 30,4 | 92,9 | 7,3 | 12,9 | 255 | 22,6 | 3,03 | 2,81 | 0,78 | - | 0,94 | 3,1 f10 ⁸ | |
| | 120 | 55,8 | 4,3 | 31,4 | 93,2 | 5,9 | 13,3 | 304 | 22,8 | 3,47 | 3,33 | 2,84 | - | 2,69 | n.u. | |
| Stamm 126 | 30 | 56,4 | 4,8 | 31,8 | 92,8 | 6,5 | 13,4 | 352 | 21,9 | 1,40 | 1,23 | 0,81 | - | 0,71 | 2,9 f10 ⁸ | |
| | 120 | 53,6 | 4,4 | 32,8 | 92,9 | 3,7 | 14,7 | 381 | 20,8 | 2,82 | 2,80 | 2,16 | - | 2,09 | n.u. | |
| Stamm 127 | 30 | 56,9 | 4,5 | 31,8 | 93,0 | 7,4 | 12,4 | 253 | 28,6 | 2,71 | 2,28 | 0,59 | - | 1,38 | 1,2 f10 ⁸ | |
| | 120 | 57,4 | 4,6 | 32,2 | 93,2 | 7,1 | 12,2 | 314 | 24,6 | 3,23 | 2,72 | 2,91 | - | 4,07 | n.u. | |
| Stamm 128 | 30 | 52,0 | 4,3 | 30,4 | 92,5 | 6,9 | 12,8 | 238 | 22,8 | 3,92 | 2,37 | 0,72 | - | 0,89 | 4,0 f10 ⁸ | |
| | 120 | 56,4 | 4,7 | 32,2 | 92,9 | 6,8 | 13,2 | 298 | 22,8 | 3,25 | 2,87 | 2,40 | - | 5,33 | n.u. | |
| Stamm 128 ¹⁾ | 30 | 54,3 | 4,6 | 31,8 | 92,6 | 5,1 | 11,8 | 277 | 24,8 | 2,73 | 1,80 | 0,88 | - | 0,6 | 4,7 f10 ⁸ | |
| | 120 | 57,1 | 4,4 | 31,3 | 93,0 | 4,6 | 12,0 | 280 | 25,0 | 4,19 | 3,27 | 3,15 | - | 2,10 | n.u. | |

¹⁾ höhere Impfdichte. Kursive Werte sind Wiederholungswerte

Tab. 152: Zusammenfassung der Auswertung von Stammmischungen von Milchsäurebakterien

| Varianten | d | TS 105°C [%] | pH | Roh- faser | [% TS] | | | NH ₄ -N [mg/kg OS] | C : N | Milch- säure | L + Milch- säure | Essig- säure [% TS] | n- Butter- säure | Ethanol | MSB [cfu/g FM] |
|---------------------------------|-----|--------------------|-----|---------------|--------|--------|-----------------|-------------------------------------|-------|-----------------|------------------------|---------------------------|------------------------|---------|----------------------|
| | | | | | o TS | Zucker | Roh- protein | | | | | | | | |
| Kontrolle | 30 | 37,9 | 6,3 | 31,8 | 88,6 | 3,8 | 15,2 | 852 | 18,5 | 1,84 | 0,81 | 0,86 | 0,05 | 1,15 | 4,3 f10 ⁷ |
| | 120 | 35,6 | 5,7 | 31,7 | 88,6 | 3,2 | 15,0 | 1.501 | 19,2 | 3,40 | 1,60 | 8,14 | 6,03 * | 9,26 | n.b. |
| Stämme 14/ 100 | 30 | 55,5 | 4,1 | 33,2 | 92,2 | 4,5 | 12,7 | 242 | 22,8 | 4,18 | 3,56 | 0,84 | 0,01 ²⁾ | 0,69 | 6,9 f10 ⁸ |
| | 120 | 57,2 | 4,3 | 33,3 | 93,4 | 4,2 | 13,3 | 341 | 22,4 | 3,45 | 3,03 | 2,18 | - | 2,80 | n.b. |
| Stämme 14/ 126 | 30 | 48,5 | 4,6 | 31,9 | 90,9 | 4,7 | 13,8 | 349 | 20,9 | 2,07 | 2,64 | 0,7 | - | 0,61 | 7,7 f10 ⁸ |
| | 120 | 46,4 | 4,3 | 33,2 | 91,4 | 3,7 | 13,3 | 406 | 22,2 | 4,22 | 4,17 | 1,07 | - | 1,18 | n.b. |
| Stämme 14/ 127 | 30 | 56,8 | 4,3 | 33,0 | 92,2 | 4,7 | 13,2 | 242 | 21,7 | 4,07 | 3,77 | 0,5 | - | 0,48 | 1,1 f10 ⁹ |
| | 120 | 52,0 | 4,1 | 33,3 | 92,2 | 3,6 | 12,8 | 273 | 23,2 | 4,18 | 2,98 | 4,09 | - | 1,37 | n.b. |
| Stämme 14/ 128 | 30 | 56,6 | 4,4 | 35,1 | 62,2 | 6,0 | 12,7 | 200 | 22,8 | 2,73 | 2,60 | 0,49 | - | 0,5 | 2,0 f10 ⁸ |
| | 120 | 56,3 | 4,3 | 31,3 | 92,9 | 5,4 | 12,4 | 230 | 24,3 | 3,86 | 2,85 | 2,96 | - | 2,88 | n.b. |
| Stämme 14/ 132 | 30 | 64,0 | 5,1 | 33,8 | 93,0 | 8,2 | 11,8 | 254 | 24,6 | 2,35 | 2,19 | 0,38 | - | 0,35 | 5,0 f10 ⁸ |
| | 120 | 57,1 | 4,2 | 32,4 | 93,1 | 5,2 | 11,8 | 280 | 25,4 | 3,54 | 3,08 | 2,84 | - | 7,95 | n.b. |
| Stämme 14/ 132 ¹⁾ | 30 | 55,4 | 4,4 | 32,8 | 92,5 | 5,9 | 11,6 | 222 | 25,2 | 4,12 | 3,45 | 0,48 | - | 0,43 | 9,4 f10 ⁸ |
| | 120 | 54,6 | 4,1 | 32,5 | 92,8 | 4,4 | 11,9 | 228 | 25,2 | 4,43 | 4,05 | 4,20 | - | 2,83 | n.b. |

¹⁾ höhere Impfdichte. *Kursive Werte sind Wiederholungswerte*

* ... + 0,28 % TS i-Buttersäure und 0,7 %TS Propionsäure

16.7 Ergebnisse der Feldversuche 2001 – Auersbach/Feldbach bzw. Admont, Stmk.

16.7.1 Ergebnisse der Bastard-Raygras Wiese (BRG01)

Tab. 153: Wetterwerte für BRG01 Schnitte – Auersbach/Feldbach

| Schnitt | Datum | Uhrzeit | V/F/A/S | Temp. [° C] | Nieder-schlag [mm] | Bemerkung |
|--|----------|---------|---------|-------------|--------------------|--------------|
| 1 | 26.04.01 | 07:00 | V | 9,4 | 0 | |
| | | 14:00 | | 9,8 | | |
| | | 21:00 | | 6 | | |
| | 27.04.01 | 07:00 | F | 5,2 | 0 | |
| | | 14:00 | | 18 | | |
| | | 21:00 | | 7,4 | | |
| 3 | 6.08.01 | 07:00 | F | - | 2,9 | in der Nacht |
| | | 14:00 | | - | | |
| | | 21:00 | | - | | |
| | 07.08.01 | 07:00 | V | - | 0 | |
| | | 14:00 | | - | | |
| | | 21:00 | | - | | |
| | 8.08.01 | 07:00 | A, S | - | 0 | |
| | | 14:00 | | - | | |
| | | 21:00 | | - | | |
| V=Tag vor dem Schnitt F=Probenahme Frischgras u. Mahd A=Anwelkphase S=Silierung | | | | | | |

Tab. 154: Silierdaten – BRG01; Versuche 2001 – Auersbach/Feldbach

| Schnitt Nr. | Datum Mahd | Datum Silierung | verwendete Bakterien | Ballenanzahl |
|-------------|------------|-----------------|----------------------|--------------|
| 3 | 08.08.2001 | 08.08.2000 | IFAM2, IFAS3 | je 2 |

Von der Sämereiwiese BRG01, wurde nur der Augustschnitt zu Versuchszwecken siliert. Es wurden insgesamt 4 Ballen erzeugt und 2 Ballen beprobt.

Tab. 155: Ertragserhebung für eine Bastardryegraswiese BRG01 – Sämereiwiese im Jahr 2001; Auersbach/Feldbach

| Wiesenart | Schnitt Nr. | Ertrag/Schnitt [kg FM/ha] | Ertrag/Schnitt [kg TM/ha] | TM [%] | Ertrag bei 4 Schnitten [kg TM/ha*a] |
|-----------------|-------------|------------------------------|------------------------------|-----------|---|
| Bastard-Raygras | 1 | 16500 | 2739 | 16,6 | - |
| Bastard-Raygras | 3 | 6980 | 1389 | 19,9 | - |
| Summe | - | 23.480 | 4128 | - | 6906 |

Für die Silagebereitung muss ca. **20 % TM Verlust** berücksichtigt werden.

Die Hochrechnung auf 4 Schnitte basiert auf der Summe von Schnitt 1 plus 3 mal dem Wert von Schnitt 3.

Tab. 156: Silageertrag einer Bastardryegraswiese – Futteranbau bei 20 % TM - Verlust im Jahr 2000; Auersbach/Feldbach

| Wiesenart | Silageertrag 3 Schnitte [kg TM/ha*a] | Silageertrag 4 Schnitte [kg TM/ha*a] |
|-----------------|--|--|
| Bastard-Raygras | 4414 | 5525 |

16.7.2 Ergebnisse der Silageversuche – Dauerwiese (DW01)

Die Ergebnisse sind am BAL-Gumpenstein in Bearbeitung – werden

16.7.3 Ergebnisse der Knautgraswiese – Sämereiwiese – KG01

Tab. 157: Wetterwerte für KG01 Schnitte – Versuche 2001 – Auersbach/Feldbach

| Schnitt nach Samenernte | Datum | Uhrzeit | V/F/A/S | Temp. [° C] | Niederschlag [mm] | Bemerkung |
|-------------------------|------------|---------|---------|-------------|-------------------|--------------|
| 2 | 06.08.2001 | 07:00 | F, V | - | 2,9 | in der Nacht |
| | | 14:00 | | - | | |
| | | 21:00 | | - | | |
| | 7.08.2001 | 07:00 | A, S | - | 0 | |
| | | 14:00 | | - | | |
| | | 21:00 | | - | | |

V=Tag vor dem Schnitt
F=Probenahme Frischgras u. Mahd
A=Anwelkphase
S=Silierung

Tab. 158: Silierdaten für KG01; Versuche 2001 – Auersbach/Feldbach

| Schnitt Nr. | Datum Mahd | Datum Silierung | verwendete Bakterien | Ballenzahl |
|-------------|------------|-----------------|----------------------|------------|
| 1 | 07.08.2000 | 07.08.2000 | IFAM2, IFAS3 | je 2 |

Insgesamt wurden 4 Ballen erzeugt und 2 Ballen für Abpressversuche herangezogen.

Tab. 159: Ertragserhebung für eine Knautgraswiese KG01 – Samenbau im Jahr 2001; Auersbach/Feldbach

| Wiesenart | Schnitt Nr. | Ertrag/Schnitt | Ertrag/Schnitt | TM | Ertrag bei 2 Schnitten |
|-----------------|-------------|----------------|----------------|------|------------------------|
| | | [kg FM/ha] | [kg TM/ha] | [%] | [kg TM/ha] |
| Knautgras Wiese | 1 | 10890 | 1950 | 17,9 | |
| Summe | - | 10890 | 1950 | | 3899 |

Basis für die Hochrechnung für 2 Schnitte ist die Vervielfachung des ersten Schnitts. Für die Silagebereitung muss ca. **20 % TM Verlust** berücksichtigt werden.

Tab. 160: Silageertrag einer Knaulgraswiese – Samenbau bei 20 % TM -Verlust im Jahr 2000; Auersbach/Feldbach

| Wiesenart | Silageertrag 1 Schnitt [kg TM/ha*a] | Silageertrag 2 Schnitte [kg TM/ha*a] |
|-----------------|---|--|
| Bastard-Raygras | 1559 | 3120 |

16.7.4 Ergebniss der Klee graswiese - Futteranbau 2001 - KLG01

Tab. 161: Wetterwerte zu KLG01-Schnitten; Versuche 2001 – Auersbach/Feldbach

| Schnitt | Datum | Uhrzeit | V/F/A/S | Temp. [° C] | Nieder- schlag [mm] | Bemerkung |
|--|----------|---------|---------|----------------|---------------------------|--|
| 1 | 16.05.01 | 07:00 | | 17,2 | 0 | |
| | | 14:00 | | 24,6 | | |
| | | 21:00 | | | | |
| | 17.05.01 | 07:00 | V (F) | 19 | 0 | Ertragsprobe und Frischgrasprobe |
| | | 14:00 | | 27,2 | | |
| | | 21:00 | | 21 | | |
| | 18.05.01 | 07:00 | F, A, S | 18 | 2,8 | heftiger Platzregen während des Silierens. Anwelkzeit von 10 bis 17Uhr |
| | | 14:00 | | 26,4 | | |
| | | 21:00 | | 13,2 | | |
| 2 | 20.06.01 | 07:00 | V | 16,80 | 1 | |
| | | 14:00 | | 21,00 | | |
| | | 21:00 | | 16,40 | | |
| | 21.6.01 | 07:00 | F, A, S | 17,80 | 0 | |
| | | 14:00 | | 25,60 | | |
| | | 21:00 | | 17,40 | | |
| 3 | 15.7.01 | 07:00 | | 23,40 | 0 | |
| | | 14:00 | | 32,60 | | |
| | | 21:00 | | 24,40 | | |
| | 16.7.01 | 07:00 | S | 22,60 | 0 | Ertragsprobe, Frischgraspürobe, Silage vom Bauern, keine Silage für Versuche |
| | | 14:00 | | 31,40 | | |
| | | 21:00 | | 21,00 | | |
| V=Tag vor dem Schnitt F=Probenahme Frischgras u. Mahd A=Anwelkphase S=Silierung | | | | | | |

Tab. 162: Silierdaten KLG01; Versuche 2001 – Auersbach/Feldbach

| Schnitt Nr. | Datum Mahd | Datum Silierung | verwendete Bakterien | Ballenanzahl |
|-------------|------------|-----------------|----------------------|--------------|
| 1 | 18.5.2001 | 18.5.2001 | IFAM2,IFAS3 | je 3 |
| 2 | 21.06.2001 | 21.06.2000 | IFAM2,IFAS3 | je 2 |

Es wurden insgesamt 10 Ballen erzeugt von denen insgesamt 4 beprobt wurden.

Tab. 163: Ertragserhebung für eine Klee graswiese – Futteranbau im Jahr 2001; Auersbach/Feldbach

| Wiesenart | Schnitt Nr. | Ertrag/Schnitt [kg FM/ha] | Ertrag/Schnitt [kg TM/ha] | TM [%] | Ertrag bei 5 Schnitten [kg TM/ha*a] |
|--------------------|-------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|--|
| Klee gras Wiese | 1 | 25530 | 4136 | 16,2 - Annahme | |
| Klee gras Wiese | 2 | 12500 | 2250 | 18,0 | |
| Klee gras Wiese | 3 | 6560 | 1227 | 18,7 | |
| Summe | - | 44590 | 7613 | | 11090 |

Für die Silagebereitung muss ca. **20 % TM Verlust** berücksichtigt werden.

Die Hochrechnung auf 5 Schnitte basiert auf der Summe Schnitt 1 und dem Mittelwert aus Schnitt 2 und 3 mal vier.

Tab. 164: Silageertrag einer Klee graswiese – Futteranbau bei 20 % TM -Verlust im Jahr 2001; Auersbach/Feldbach

| Wiesenart | Silageertrag 3 Schnitte [kg TM/ha*a] | Silageertrag 5 Schnitte [kg TM/ha*a] |
|--------------------|--|--|
| Klee gras Wiese | 6090 | 8872 |



16.7.5 Analytikergebnisse zu den G und S Proben 2001 (BAL-Gumpenstein)

Tab. 165: Analytikergebnisse des BAL-Gumpenstein – GBR-Silageversuche 2001 – TEIL 1

| Wiese | Schnitt | G/S | Silage! Ballen Nr. | TM | XA | NH4-N | XP | CP | XF | XL | Zucker | MS | ES | BS | PS | P | K | Ca | Mg | pH | IFA Nr.PS |
|---------|---------|-----|--------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|--------|--------|-------|-------|------|-------|------|------|------|-----------|
| | | | | [g/kg FM] | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KLGO1 | 1S | G | | 342,3 | 91,0 | 0,79 | 185,4 | 180,5 | 299,4 | 18,0 | 44,7 | 0,00 | 2,92 | 0,000 | 0,000 | 3,34 | 31,25 | 5,06 | 1,97 | 6,07 | x |
| KLGO1 | 1S | S | M2!1 | 357,9 | 103,4 | 1,03 | 130,4 | 123,9 | 300,6 | 32,5 | 112,3 | 151,43 | 13,69 | 0,000 | 0,838 | 3,48 | 32,72 | 5,59 | 2,19 | 3,93 | 9/11 |
| KLGO1 | 1S | S | S3!1 | 456,1 | 95,6 | 1,12 | 122,6 | 115,6 | 297,4 | 29,8 | 44,3 | 69,28 | 5,04 | 0,000 | 0,000 | 3,31 | 29,81 | 4,16 | 2,06 | 4,45 | x |
| KLGO1 | 1S | S | S3!2 | 418,8 | 99,4 | 1,43 | 169,5 | 160,6 | 305,4 | 30,5 | 19,6 | 106,02 | 6,69 | 0,000 | 0,478 | 3,55 | 32,09 | 6,51 | 2,38 | 4,33 | 9/12 |
| KLGO1 | 2S | G | | 179,6 | 90,4 | 0,67 | 167,9 | 163,7 | 305,8 | 18,4 | 160,9 | 0,00 | 3,34 | 0,000 | 0,000 | 3,89 | 29,51 | 5,05 | 2,52 | 6,20 | 9/1 |
| KLGO1 | 2S | S | M2!1 | 380,9 | 105,8 | 1,86 | 86,5 | 74,9 | 297,4 | 32,4 | 45,2 | 0,00 | 217,92 | 0,000 | 0,000 | 3,13 | 31,35 | 6,56 | 2,73 | 4,12 | 9/14 |
| KLGO1 | 2S | S | S3!2 | 414,3 | 102,3 | 1,88 | 128,1 | 116,4 | 294,9 | 33,8 | 62,0 | 79,40 | 8,45 | 0,000 | 0,000 | 3,59 | 30,14 | 5,24 | 2,72 | 4,25 | 9/9 |
| DW(B)01 | 1S | G | | 289,8 | 65,9 | 0,62 | 102,2 | 98,3 | 376,0 | 28,5 | 101,8 | 25,19 | 6,21 | 0,000 | 0,000 | 2,37 | 19,84 | 2,85 | 1,44 | 4,62 | 9/2 |
| DW(B)01 | 1S | G | 0!1 | 494,9 | 68,4 | 1,33 | 147,4 | 139,1 | 307,4 | 34,8 | 86,5 | 50,72 | 7,48 | 0,404 | 0,000 | 2,35 | 20,08 | 4,45 | 2,42 | 4,50 | x |
| DW(B)01 | 1S | SG | 0!2 | 383,1 | 88,0 | 1,59 | 136,4 | 126,4 | 325,7 | 30,8 | 44,9 | 63,96 | 10,70 | 0,000 | 0,000 | 2,35 | 23,58 | 6,22 | 3,39 | 4,24 | x |
| DW(B)01 | 1S | S | M2!1 | 480,3 | 79,1 | 1,25 | 185,0 | 177,2 | 328,0 | 32,6 | 91,0 | 61,62 | 7,70 | 0,000 | 0,000 | 2,73 | 21,18 | 5,96 | 4,29 | 4,26 | 9/10 |
| DW(B)01 | 1S | SG | M2!2 | 476,8 | 73,1 | 1,53 | 97,7 | 88,1 | 342,6 | 38,3 | 10,5 | 55,79 | 5,45 | 0,419 | 0,000 | 2,83 | 23,81 | 4,39 | 1,98 | 4,34 | x |
| DW(B)01 | 1S | S | S3!2 | 377,5 | 74,6 | 1,62 | 148,5 | 138,4 | 342,5 | 38,7 | 77,6 | 74,98 | 6,09 | 2,914 | 0,000 | 2,59 | 23,12 | 3,04 | 1,65 | 4,14 | 9/15 |
| BRG01 | 1S | G | | 166,0 | 91,7 | 0,54 | 136,0 | 132,6 | 198,0 | 18,9 | 318,7 | 0,00 | 0,00 | 1,808 | 0,000 | 3,87 | 34,10 | 5,23 | 2,02 | 6,50 | x |
| BRG01 | 3S | G | | 198,5 | 98,3 | 0,96 | 180,0 | 174,0 | 302,1 | 30,9 | 163,3 | 0,00 | 5,54 | 0,000 | 0,000 | 3,57 | 31,95 | 7,05 | 2,61 | 6,22 | 9/8 |
| BRG01 | 3S | S | M2!1 | 299,4 | 97,5 | 1,30 | 190,3 | 182,2 | 299,2 | 35,3 | 70,8 | 0,00 | 260,50 | 0,000 | 0,000 | 2,54 | 32,43 | 6,83 | 2,34 | 3,80 | 1/7 |
| BRG01 | 3S | S | S3!1 | 263,8 | 104,1 | 1,93 | 170,5 | 158,4 | 265,9 | 41,1 | 74,3 | 0,00 | 281,25 | 0,000 | 0,000 | 2,86 | 27,53 | 7,17 | 2,78 | 3,98 | 1/4 |

Tab. 166: Analytikergebnisse des BAL-Gumpenstein – GBR-Silageversuche 2001 – TEIL 2

| Wiese | Schnitt | G/S | Silage! Ballen Nr. | TM [g/kg FM] | XA | NH4-N | XP | CP | XF | XL | Zucker | MS | ES | BS | PS | P | K | Ca | Mg | pH | IFA Nr.PS |
|-------|---------|-----|--------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|-------|--------|-------|-------|------|-------|------|------|------|-----------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KG01 | 2S | G | | 179,1 | 101,2 | 0,78 | 148,6 | 143,7 | 366,1 | 26,8 | 88,8 | 0,00 | 428,36 | 0,000 | 0,000 | 3,37 | 33,82 | 4,71 | 2,41 | 6,21 | 9/3 |
| KG01 | 2S | S | S3!1 | 433,6 | 107,7 | 1,20 | 173,4 | 165,9 | 338,9 | 39,4 | 40,1 | 49,81 | 3,23 | 0,000 | 0,000 | 2,81 | 36,70 | 5,37 | 3,15 | 4,43 | 1/5 |
| KG01 | 2S | S | S3!1 | 534,6 | 85,5 | 1,08 | 147,5 | 140,7 | 356,6 | 47,1 | 36,8 | 44,89 | 2,43 | 0,000 | 0,000 | 2,33 | 27,66 | 5,51 | 2,58 | 4,37 | 1/5 |
| KG01 | 2S | S | M2!1 | 461,4 | 107,5 | 0,74 | 192,6 | 188,0 | 348,6 | 34,2 | 31,4 | 0,00 | 176,19 | 0,000 | 0,000 | 2,71 | 34,52 | 7,02 | 2,10 | 4,72 | 1/6 |
| KLG01 | 3S | G | | 187,1 | 95,1 | 1,07 | 123,9 | 117,2 | 338,3 | 23,9 | 95,1 | 0,00 | 9,09 | 0,000 | 0,000 | 3,30 | 30,33 | 5,83 | 2,80 | 6,01 | x |

17 ANHANG – MODUL 2-1 UND 2-2

17.1 Exkurs: Abpressgrad

Unter Abpressgrad versteht man strenggenommen den Anteil gewonnenen Wassers nach der Pressung im Verhältnis zur Wassermenge im Ausgangsmaterial. Da die Bezeichnung Abpressgrad aber nicht genormt ist, gibt es Autoren, die ihn unterschiedlich interpretieren. Steinmüller (1994) verwendete z.B. die Menge des gewonnenen Saftes (inklusive der Trockenmasse, die darin enthalten ist) im Verhältnis zur Wassermenge des Ausgangsmaterials. So dürfte nach Steinmüller für eine Milchsäureausbeute von 75 % ein Abpressgrad von etwa 57 % ausreichend sein.

$$\text{Abpressgrad} \mid 100 * \frac{\text{Saftmasse}}{\text{Silagemasse} + \text{Trockenmasse}} [\text{in}\%]$$

Fig. 1. Abpressgrad nach (Steinmüller 1994)

Heier (1983) gibt den Abpressgrad oder Massenfaktor als ζ_m an:

$$\zeta_m \mid 100 * \frac{\text{Saftmasse}}{\text{Grasmasse}(\text{Input})} [\text{in}\%]$$

Fig. 2. Abpressgrad od. Massenfaktor nach (Heier 1983)

Unserer Meinung nach sollte sich der Abpressgrad allerdings ausschließlich auf die Bilanz des Wassers (gemessen als Feuchte) beziehen, um eine vollständige Massenbilanz zuzulassen.

Der Abpressgrad kann dann massenunabhängig auf Basis der gemessenen Trockenmassen in Ausgangsmaterial, Saft und Presskuchen errechnet werden.

$$A \mid 100 * \left[14 \frac{(TS_{IN} * TS_{PK}) + 4 (TS_S * TS_{PK})}{TS_{PK}^2 + 4 (TS_S * TS_{PK})} * \frac{(14 TS_{PK})}{14 TS_{IN}} \right]$$

A.....Abpressgrad in %

TS_{IN}.....Trockenmasseanteil im Ausgangsmaterial in %/100

TS_{PK}.....Trockenmasseanteil im Presskuchen in %/100

TS_S.....Trockenmasseanteil im Saft

Fig. 3. Abpressgrad basierend auf der Feuchtebilanz (gemessene Trockenmasse in den drei Strömen); Eigene Berechnung

Als wahrscheinlich noch aufschlussreicheres Kriterium ist der Vergleich der folgenden Relationen:

$$TM\ 4\ SaftAusbeute\ |\ \frac{TM\ 4\ Saft}{FM\ 4\ Input} * 100\ \text{ bzw. } TM\ 4\ SaftAusbeute2\ |\ \frac{TM\ 4\ Saft}{TM\ 4\ Input} * 100$$

Fig. 87: Trockenmasse – Ausbeute im Saft als Relation von Frischmasseinput bzw. Trockenmasseinput

Besonders die erste Relation zeigt sehr schön auf wieviel Wasser "unnötig" durch das Fraktionierungssystem geschläust wird, wenn man davon ausgeht, dass die Presse auf Basis der Frischmasse ausgelegt wird.

18 ANHANG – MODUL 3 UND 4

18.1 Analytik Methode – IFA-TULLN

Im Rahmen des Projektes wurden am IFA-Tulln (S. Frühauf) Analysen von Silagen, Presskuchen und Presssäften durchgeführt. Die verwendeten Methoden sind untenstehend beschrieben.

18.1.1 Probenlagerung/-teilung

Alle Proben wurden im Gefrierraum bei -20 °C gelagert. Für die erste Analyse wurden die Proben schonend im Wasserbad bei 30 °C unter mehrmaligem Bewegen aufgetaut.

Die so aufgetauten Proben waren immer noch kühl. Nun wurden die für die einzelnen Analysen benötigten Mengen in entsprechende Gefäße unter kräftigem Schütteln abgefüllt und sofort wieder eingefroren oder analysiert.

18.1.2 Trockensubstanz

Die Bestimmung der Trockensubstanz erfolgte an zwei Parallelproben nach dem Darrverfahren. Dazu wurden je 10 g flüssige Probe (Frischgewicht; bei festen Proben 5 g) in ausgeglühte Porzellantiegel eingewogen und im Trockenschrank (Heraeus T6200) bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz (über Nacht) getrocknet, in einem Exsikkator rückgekühlt und dann ausgewogen (Darrgewicht). Die Trockensubstanz errechnet sich als Gewichts Differenz in Prozent.

18.1.3 Aschegehalt

Im Anschluss an die Trockensubstanzbestimmung wurden diese Tiegel im Muffelofen (Heraeus M110) bei 550 °C über 8 Stunden verascht, in einem Exsikkator rückgekühlt und dann ausgewogen. Der Aschegehalt errechnet sich ebenso als Gewichts Differenz in Prozent.

18.1.4 pH-Wert

Der pH-Wert wurde in etwa 50 ml Probe mittels eines pH-Meters (WTW pH537) ermittelt. Bei festen Proben wurde ein wässriger Extrakt (siehe HPLC-Analyse) hergestellt und gemessen.

18.1.5 Proteinbestimmung (nach Kjeldahl)

18.1.5.1 TKN (Kjeldahl-Stickstoff)

Die Probe (0,75 g bei festen Proben bzw. 2,2 g bei flüssigen Proben; Frischgewicht; zwei Parallelproben) wird auf nassem Wege aufgeschlossen. Der schwefelsaure Aufschluß wird mit Natronlauge alkalisiert. Der freigesetzte Ammoniak wird durch Destillation abgetrennt und in Borsäure aufgefangen, die mit Salzsäure titriert wird.

Reagenzien und Geräte:

⚡ Schwefelsäure p.A. ($\rho = 1,84\text{ g/ml}$, 96 %-ig)

⚡ Kjeltabs

⚡ Natronlauge p.A. 30 %ig

⚡ Borsäurelösung: 100 g Borsäure p.A. werden in warmen Wasser gelöst, mit 2,5 ml Mischindikator 5 versetzt und auf 5 l mit aqua dest aufgefüllt.

⚡ HCl (0,1 N)

⚡ Mischindikator 5 Merck Nr. 6103

⚡ Kjeldatherm Gerhardt

⚡ Vapodest Gerhardt

⚡ Scrubber Unit Turbosog Gerhardt (Absaugeinheit)

Durchführung:

0,75g bzw. 2.2 g Probe werden in die Kjeldahlkolben eingewogen und mit dest. Wasser von den Wänden gespült. Eine Katalysatortablette (Kjeltab) wird zugesetzt und mit 20 ml Schwefelsäure und mit einem Temperaturprogramm langsam erhitzt (20 min. 120 °C, 30 min. 140 °C, 50 min. 160 °C, 50 min. 180°C, 50 min. 200 °C, 50 min. 250 °C, 40 min. 300 °C, 40 min. 350°C, 40 min. 420 °C) aufgeschlossen. Das Programm beinhaltet das Einschalten der Absaugereinheit mit dem Start deselbigen. Nach dem Abkühlen wird der fertige Aufschluß in die Destillationsapparatur eingesetzt .

Destillation:

Es werden 5 Sekunden Wasser zugesetzt. Der saure Aufschluß wird mit Natronlauge alkalisch gemacht und das freiwerdende Ammonium durch Wasserdampfdestillation in eine saure Vorlage übergeleitet. Dazu wird für 15 Sekunden Natronlauge zugesetzt, um pH 14 zu erreichen. Die Destillation erfolgt 4 Minuten. Als Vorlage werden 25 ml 2 %ige Borsäure mit Mischindikator 5 verwendet. Zusätzlich ist eine pH-Elektrode in den Vorlagenbehälter integriert der die Tirtation bis zum Ausgangs-pH-Wert steuert. Titriert wird mit 0,1 N HCl. Zuerst erfolgt die Bestimmung des Blindwertes wofür ein leerer Kjeldahlkolben eingesetzt wird und mit dem Programm unter „Calibration“ Blindwert bestimmt wird.

Die Berechnung erfolgt automatisch mit dem Programm auf %-N. Damit wird der Gesamt-N erfaßt.

Berechnung der Ergebnisse:

$N_{\text{org}} + \text{NH}_4^+ - \text{N} \text{ [mg/g]} = (\text{ml Säureverbrauch} * \text{Normalität der Säure} * 14 * 1000) / \text{Einwaage}$

18.1.5.2 Ammonium-Stickstoff

Am IFA wird Ammonium nach der DEVARDA-Methode bestimmt, welche sehr gut für Proben mit Gehalten an Ammonium-N von 0,5-1000mg/l geeignet ist. Da Proben mit Ammoniumgehalten von um die 5 % bis 30 % des Gesamtstickstoffs erwartet werden und die Methode sehr gut reproduzierbar und gut automatisiert ist, erscheint sie ideal für diese Anwendung. Die Methode entspricht der DIN 38 406 Norm (Teil 5) für Klärschlamm und Abwasser.

Geräte und Reagenzien:

- ≠ Vapodest Gerhardt
- ≠ Kjeldahlkolben
- ≠ 30 %ige Natronlauge
- ≠ Borsäure J.T.Baker Nr.0055, Mischindikator 5
- ≠ Salzsäure 0,1 N (0,1 mol/l) bzw. 0.05 N

Durchführung:

Etwa 50 g Probe werden in einem großen Kjeldahlkolben eingewogen, sodass der Verbrauch an 0.1 N HCl zwischen 3 ml und 24 ml lag. War der Verbrauch zu niedrig, wurde die Probenmenge erhöht, war er zu hoch, wurde die Menge reduziert. Bei festen Proben wurde je nach Konzentration zwischen 1 g und 5 g eingewogen (Frischgewicht, Doppelbestimmung). Der Kjeldahlkolben wird in die in Wasserdampfdestillationsapparatur (Vapodest-Gerät, Gerhardt) eingesetzt und 4 Minuten destilliert. Das Programm ist so eingestellt, daß zuvor 5 Sekunden destilliertes Wasser und 5 Sekunden lang 30 %-ige Natronlauge dazu dosiert wird. Anschließend an die Destillation des Ammoniums in die Borsäurevorlage erfolgt eine automatische Titration mit 0,1 N HCl In gleicher Weise wird eine Blindprobe untersucht, bei der anstelle der Probe 50 ml destilliertes Wasser verwendet werden.

Vorlage: 2 %ige Borsäure mit

Titersäure: 0,1 N HCl

Berechnung: $\text{NNH}_4 \text{ (mg/l)} = [(\text{Verbr. Probe} - \text{Verbr. BW}) * \text{Titer} * 14 * 1000] / \text{Einwaage}$

18.1.5.3 Rohprotein

Der Gehalt des Rohproteins errechnet sich aus der Differenz des TKN-Wertes (Kjeldahl-Stickstoff) und des zugehörigen Ammoniumstickstoffgehaltes, die mit dem Proteinfaktor 6.25 multipliziert wird.

18.1.6 **Aminosäuren**

18.1.6.1 Hydrolyse mit Salzsäure (normale Analyse):

100 µl Probe werden in einem Röhrchen mit Schraubverschluss überführt, im Speed Vac getrocknet und mit 1 ml HCl, (c = 6,0 mol/l), die 0,1% Phenol und Thioglycolsäure enthält, aufgenommen. Danach wird das Röhrchen mit Stickstoff begast. Die Hydrolyse erfolgt 20 Stunden bei 115 °C. Nach der Hydrolyse werden 300 nmol NVA zugesetzt. Ein aliquoter Teil von 25 µl wird in ein Röhrchen pipettiert und im Speed Vac getrocknet. Nach dem Trocknen wird die Probe in 1ml dest. H₂O aufgenommen.

4 µl werden mit OPA derivatisiert.

18.1.7 **HPLC-Bestimmung von Zuckern, organischen Säuren und Alkoholen**

Etwa 0,6 ml der flüssigen Proben wurden zentrifugiert (10 min bei 12500 Upm, Beckman CS15). Anschließend wurden die Proben mit destilliertem Wasser verdünnt (meist 1:10 und 1:50) und einer Carrez-Fällung zur Ausfällung von Proteinen und Fetten unterzogen. Bei festen Proben wurde ein Wasserextrakt hergestellt (1 g Probe in 10 ml destilliertem Wasser), über Nacht bei 4 °C aufbewahrt und zentrifugiert (siehe oben).

Die Bestimmung von Zuckern, organischen Säuren und Alkoholen wurde mittels eines chromatographischen Systems (Hewlett Packard, Serie 1100) gekoppelt mit einem RI-Detektor (HP1047A) durchgeführt. Die Trennung erfolgte über eine Polyspher OA KC-Säule unter folgenden Bedingungen:

Säulentemperatur: 42°C
Fluss: 0,400 ml/min (entspricht einem Druck von ca. 60-70 bar)
Säule: Polyspher OA KC-Säule
Laufmittel: 0.01 N Schwefelsäure

Folgende externe Standards (Kalibration über Peakhöhe) kamen zum Einsatz: Maltose, Lactose, Citrat, Glucose, Xylose, Fructose, Mannitol, Arabinose, Succinat, Milchsäure, Glycerol, Ameisensäure, Essigsäure, 1,2-Propandiol, 1,3-Propandiol, Acetaldehyd, Propionsäure, Ethanol, iso-Buttersäure, 2-Propanol, Buttersäure, 1-Propanol, Iso-Valeriansäure, Valerianic Acid (jeweils 10 mg/l bis 1000 mg/l).

18.1.8 **HPLC-Bestimmung von Zuckern und Zuckerabbauprodukten**

Für die Zuckerbestimmung aus Rohstoffen und Hydrolysaten wurde eine Macherey-Nagel ET 300/7.8 Nucleogel SUGAR Pb Säule unter folgenden Bedingungen verwendet:

Säulentemperatur: 85°C
Fluss: 0,400 ml/min (entspricht einem Druck von ca. 47-50 bar)
Detektortemperatur: 35°C
Säule: Macherey-Nagel ET 300/7.8 Nucleogel SUGAR Pb Column
Laufmittel: Milli-Q-Wasser

Da diese Säule nicht mehr in entsprechender Qualität nachgeliefert werden konnte, wurde alternativ eine Thermo Hypersil HyperREZ XP Carbohydrate Pb Säule bei einem Fluss von 0,600 ml/min verwendet. Diese Säule ist allerdings nicht in der Lage, Arabinose und Mannose zufriedenstellend zu trennen.

Es wird mit externen Standards über die Peakhöhe kalibriert. Der Bereich der Kalibrierung liegt zwischen 10 und 700 mg/l. Die kalibrierten Komponenten sind Cellobiose, Glucose, Xylose, Galactose, Arabinose, Mannose, Hydroxymethylfurfural und Furfural.

18.1.9 ICP (Kationen)

Etwa 2 ml Probe wurden zentrifugiert (10 min, 8000 Upm, Beckman GS6) und anschließend filtriert (Spritzenvorsatzfilter 0.45 µm). Die Proben wurden 1:100 mit destilliertem Wasser verdünnt und mittels ICP untersucht.

Folgende Ionen wurden analysiert: P (PO_4 errechnet: P -Wert* 3,06567), Mg, Ca, K und Na.

18.1.10 Bestimmung von Zuckern und Klason-Lignin

Für die Klason-Lignin Bestimmung wurde eine modifizierte Methode nach TAPPI T249 cm-85 verwendet. Durch eine komplette Hydrolyse der Kohlenhydrate lassen sich diese über HPLC als Monosaccharide nachweisen, während der säureunlösliche Ligninanteil durch Filtration abgetrennt wird und ausgewogen werden kann. Da in diesem Fall keine Bestimmung der Extraktstoffe durchgeführt wurde, können die Werte für das Klason Lignin entsprechend erhöht sein.

Die bei einer Temperatur von 60 °C getrockneten Proben wurden gemahlen (Mühle: Retsch ZM1000, Partikelgröße von etwa 0.5 mm).

Die gemahlten Muster wurden über Nacht im Trockenschrank bei 105 °C getrocknet und anschließend in verschließbare Kolben eingewogen (0.3 g). Die Proben werden mit 3 ml 72% H_2SO_4 versetzt und 1 Stunde bei 30°C inkubiert. Nach Zugabe von 87 ml dest. Wasser werden die Proben 20 min bei 120°C autoklaviert. Die Proben werden mit einem Glasfaserfilter filtriert, und der Rückstand (=Klason Lignin) wird mit 2x 100 ml dest. Wasser gewaschen. Die Filter werden auf Petrischalen gegeben und über Nacht bei 105°C getrocknet. Nach dem Abkühlen im Exsikkator werden die Filter ausgewogen.

Für die Zuckerbestimmung mittels HPLC werden 10 ml vom Überstand entnommen und mit $\text{Ba}(\text{OH})_2$ neutralisiert.

18.2 Ergebnisse

Tab. 167: Inhaltsstoffe im GJ, Übersicht

| IFA-Probe | Rohstoff für grünen Presssaft | Trockenmasse, [g/kg FM] | Rohprotein in der TM, [g/kg TM] | Zucker und org. Säure [g/kg TM] | Rohasche [g/kg TM] | pH-Wert |
|-------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|---------|
| 1/1 | Kleegras 1. Schnitt | 5,88 | 177,2 | 453,9 | 521,9 | 6,06 |
| 9/1+ 2/6 | Kleegras 2. Schnitt | 5,06 | 246,3 | 391,8 | 288,6 | 6,16 |
| 9/8 | Bastardraygras 3. Schnitt | 7,81 | 234,2 | 512,2 | 294,9 | 5,88 |
| 9/3 | Knaulgras 2. Schnitt | 4,42 | 194,1 | 302,6 | 446,5 | 5,86 |
| 2/3 | Dauerwiese 1. Schnitt | 7,55 | 136,1 | 438,6 | 196,3 | 6,09 |

Tab. 168: Zucker und organische Säuren im GJ

| | Kleegras, 1.Schnitt | Kleegras, 2.Schnitt | Bastardraygras 1.Schnitt | Knaulgras, 2.Schnitt | Dauerwiese, 1.Schnitt |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|
| IFA-Probe | 1/1 | 9/1+2/6 | 9/8 | 9/3 | 2/3 |
| Trockenmasse [g/kg-FM] | 5,88 | 5,06 | 7,81 | 4,42 | 7,55 |
| Summe Zucker+org. Säuren [g/kg TM] | 454 | 383 | 512 | 303 | 439 |
| Lactose [g/kg TM] | 17,93 | 24,61 | 18,19 | 29,14 | 27,21 |
| Citrat [g/kg TM] | 0 | 17,39 | 13,94 | 9,72 | 14,27 |
| Glucose [g/kg TM] | 229,12 | 152,36 | 213,46 | 77,56 | 129,07 |
| Xylose [g/kg TM] | 0 | 15,79 | 12,2 | 8,73 | 8,1 |
| Fructose [g/kg TM] | 189,69 | 145,47 | 223,86 | 128,78 | 202,14 |
| Mannitol [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Arabinose [g/kg TM] | 0 | 11,08 | 11,1 | 21,04 | 12,97 |
| Succinat [g/kg TM] | 2,14 | 3,82 | 2,34 | 2,46 | 1,57 |
| Milchsäure [g/kg TM] | 1 | 2,75 | 0 | 23,38 | 0 |
| Glycerol [g/kg TM] | 2,16 | 7,61 | 8,36 | 0 | 5,18 |
| Essigsäure [g/kg TM] | 0 | 0,76 | 1,43 | 1,85 | 0 |
| Acetaldehyd [g/kg TM] | 1,33 | 0 | 3,91 | 0 | 17,35 |
| Propionsäure [g/kg TM] | 6,62 | 0 | 2,41 | 0 | 0 |
| Ethanol [g/kg TM] | 0 | 0,9 | 1,05 | 0 | 0 |
| 2-Propanol [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Buttersäure [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Iso-Buttersäure [g/kg TM] | 0 | 0 | 0. | 0. | 0 |
| 1,3-Propandiol [g/kg TM] | 3,98 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1-Propanol [g/kg TM] | 0 | 0 | 0. | 0. | 0 |
| Iso-Valeriansäure [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0. | 0 |
| Valerianic Acid [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0. | 0 |
| Ameisensäure [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1,2-Propandiol [g/kg TM] | 0 | 9,29 | 0 | 0 | 20,8 |
| Maltose [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0. | 0 |

Tab. 169: Aschenbestandteile im GJ

| Rohstoff für grünen Presssaft | Kleegras, 1. Schnitt | Kleegras, 2. Schnitt | Bastard-raygras, 3. Schnitt | Knaulgras, 2. Schnitt | Dauerwiese, 1. Schnitt |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| IFA-Probe | 1/1 | 9/1+2/6 | 9/8 | 9/3 | 2/3 |
| Trockenmasse [g/kg FM] | 5,9 | 5,1 | 7,8 | 4,4 | 7,6 |
| Rohasche [g/kg TM] | 522 | 289 | 295 | 447 | 196 |
| PO4 [g/kg TM] | 25 | 32 | 21 | 34 | 20 |
| K [g/kg TM] | 102 | 111 | 109 | 174 | 73 |
| Ca [g/kg TM] | 12 | 11 | 17 | 11 | 7 |
| Mg [g/kg TM] | 5 | 6 | 7 | 9 | 4 |
| Na [g/kg TM] | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 |

Tab. 170: Inhaltsstoffe im SJ, Übersicht

| IFA-Probe | Rohstoff für Silage | Starterkultur | Trockenmasse, [g/kg FM] | Rohprotein in der TM, [g/kg TM] | Zucker und org. Säure [g/kg TM] | Rohasche [g/kg TM] | pH-Wert |
|-----------|---------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|---------|
| 9/1+2/6 | Kleegras 2. Schnitt | grün | 5,06 | 246,34 | 391,83 | 288,68 | 6,16 |
| 9/12 | Kleegras 1. Schnitt, | IFAS3 | 19,17 | 219,57 | 780,57 | 267,32 | 4,32 |
| 9/11 | Kleegras 1. Schnitt, | IFAM2 | 15,79 | 213,15 | 737,38 | 275,90 | 4,11 |
| 9/9 | Kleegras 2. Schnitt | IFAS3 | 17,77 | 303,64 | 503,05 | 292,94 | 4,29 |
| 9/14 | Kleegras 2. Schnitt | IFAM2 | 15,13 | 346,55 | 587,79 | 303,31 | 4,20 |
| 1/4 | Bastardraygras 3. Schnitt | IFAS3 | 11,57 | 300,83 | 467,60 | 273,69 | 3,90 |
| 1/7 | Bastardraygras 3. Schnitt | IFAM2 | 11,96 | 246,67 | 399,07 | 621,57 | 3,84 |
| 1/5 | Knaulgras 2. Schnitt | IFAS3 | 17,62 | 275,47 | 417,57 | 394,28 | 4,39 |
| 1/6 | Knaulgras 2. Schnitt | IFAM2 | 12,16 | 273,36 | 492,41 | 435,61 | - |
| 9/15 | Dauerwiese 1. Schnitt | IFAS3 | 15,06 | 238,60 | 718,77 | 230,33 | 4,21 |
| 9/10 | Dauerwiese 1. Schnitt | IFAM2 | 20,25 | 214,74 | 714,59 | 227,51 | 4,35 |



STUBSCHES MÜLLERLAND
 德國 威斯特法倫 州 威斯特法倫 州 威斯特法倫 州

ANHANG – MODUL 3 UND 4

Tab. 171: Zucker und org. Säuren im SJ

| | Kleegras 2. Schnitt | Kleegras 1. Schnitt, | Kleegras, 1. Schnitt, | Kleegras, 2. Schnitt | Kleegras, 2. Schnitt | Kleegras, 2. Schnitt | Bastard- raygras, 3. Schnitt | Bastard- raygras, 3. Schnitt | Knaulgras, 2. Schnitt | Knaulgras, 2. Schnitt | Dauerwiese, 1. Schnitt | Dauerwiese, 1. Schnitt |
|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Vergleichs- wert-Grün | IFAS3 | IFAM2 | IFAS3 | IFAM2 | IFAS3 | IFAM2 | IFAS3 | IFAM2 | IFAS3 | IFAS3 | IFAM2 |
| IFA-Probe | 9/1+2/6 | 9/12 | 9/11 | 9/9 | 9/14 | 1/4 | 1/7 | 1/5 | 1/6 | 9/15 | 9/10 | |
| Trockenmasse [g/kg-FM] | 5,06 | 19,17 | 15,79 | 17,77 | 15,13 | 11,57 | 11,96 | 17,62 | 12,16 | 15,06 | 20,25 | |
| Summe Zucker+org. Säuren [g/kg TM] | 391,83 | 780,57 | 737,38 | 503,05 | 587,79 | 467,60 | 399,07 | 417,57 | 492,41 | 718,77 | 714,59 | |
| Lactose [g/kg TM] | 24,61 | 28,07 | 32,06 | 31,56 | 33,12 | 24,07 | 33,79 | 31,74 | 24,46 | 31,44 | 29,26 | |
| Citrat [g/kg TM] | 17,39 | 11,88 | 8,13 | 7,34 | 4,57 | 1,42 | 4,19 | 1,35 | 0,43 | 6,88 | 9,16 | |
| Glucose [g/kg TM] | 152,36 | 169,56 | 83,11 | 47,22 | 40,73 | 45,54 | 60,20 | 39,01 | 65,93 | 34,11 | 58,66 | |
| Xylose [g/kg TM] | 15,79 | 0 | 0 | 0 | 21,65 | 0 | 0 | 28,12 | 0 | 0 | 0 | |
| Fructose [g/kg TM] | 145,47 | 204,61 | 157,49 | 39,90 | 0,00 | 43,15 | 49,50 | 27,53 | 41,29 | 140,00 | 147,39 | |
| Mannitol [g/kg TM] | 0,00 | 0 | 0,00 | 37,35 | 30,93 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86,92 | 124,44 | |
| Arabinose [g/kg TM] | 11,08 | 15,93 | 22,36 | 17,88 | 15,48 | 15,92 | 12,87 | 11,06 | 13,07 | 20,75 | 0 | |
| Succinat [g/kg TM] | 3,82 | 10,41 | 44,51 | 17,80 | 22,11 | 12,18 | 12,57 | 13,70 | 7,40 | 16,58 | 13,36 | |
| Milchsäure [g/kg TM] | 2,75 | 298,68 | 369,01 | 252,52 | 353,75 | 289,07 | 205,96 | 233,89 | 310,03 | 305,09 | 271,03 | |
| Glycerol [g/kg TM] | 7,61 | 0 | 20,70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Essigsäure [g/kg TM] | 0,76 | 15,56 | 0 | 29,12 | 36,50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26,21 | 31,02 | |
| Acetaldehyd [g/kg TM] | 0,00 | 0 | 0 | 4,62 | 7,53 | 15,95 | 11,73 | 13,96 | 12,44 | 7,61 | 7,15 | |
| Propionsäure [g/kg TM] | 0,00 | 4,40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,60 | 0 | 0 | 0 | |
| Ethanol [g/kg TM] | 0,90 | 17,65 | 0 | 11,84 | 15,27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27,74 | 15,61 | |
| 2-Propanol [g/kg TM] | 0,00 | 3,82 | 0 | 5,91 | 6,16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,51 | 4,37 | |
| Buttersäure [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,64 | 0 | 0,87 | 9,94 | 3,14 | |
| Iso-Buttersäure [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,61 | 1,75 | 4,15 | 8,99 | 0 | 0 | |
| 1,3-Propanol [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,44 | 2,18 | 4,55 | 4,74 | 0 | 0 | |
| 1-Propanol [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,25 | 3,70 | 3,93 | 2,75 | 0 | 0 | |
| Iso-Valeriansäure [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Valerianic Acid [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Ameisensäure [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |



ANHANG – MODUL 3 UND 4

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,2-Propan diol [g/kg TM] | 9,29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Maltose [g/kg TM] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tab. 172: Asche SJ

| IFA-Probe | Rohstoff | Starter-kultur | Trocken- masse [g/kg FM] | Roh- asche [g/kg TM] | PO4 [g/kg TM] | K [g/kg TM] | Ca [g/kg- TM] | Mg [g/kg TM] | Na [g/kg TM] |
|-----------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 9/1+2/6 | Kleegras 2. Schnitt | Vergleichs- wert-Grün | 5,06 | 288,7 | 31,6 | 109,3 | 11,2 | 6,4 | 0,9 |
| 9/12 | Kleegras, 1. Schnitt, | IFAS3 | 19,17 | 267,3 | 35,8 | 111,6 | 12,8 | 5,4 | 1,1 |
| 9/11 | Kleegras, 1. Schnitt, | IFAM2 | 15,79 | 275,9 | | | | | |
| 9/9 | Kleegras, 2. Schnitt | IFAS3 | 17,77 | 292,9 | | | | | |
| 9/14 | Kleegras, 2. Schnitt | IFAM2 | 15,13 | 303,3 | 42,7 | 114,4 | 13,0 | 7,3 | 1,3 |
| 1/4 | Bastard- raygras, 3. Schnitt | IFAS3 | 11,57 | 273,7 | 29,7 | 100,3 | 1,6 | 6,2 | 2,2 |
| 1/7 | Bastard- raygras, 3. Schnitt | IFAM2 | 11,96 | 621,6 | | | | | |
| 1/5 | Knautgras, 2. Schnitt | IFAS3 | 17,62 | 394,3 | 40,9 | 143,5 | 8,0 | 8,2 | 1,7 |
| 1/6 | Knautgras, 2. Schnitt | IFAM2 | 12,16 | 435,6 | | | | | |
| 9/15 | Dauerwiese, 1. Schnitt | IFAS3 | 15,06 | 230,3 | | | | | |
| 9/10 | Dauerwiese, 1. Schnitt | IFAM2 | 20,25 | 227,5 | | | | | |

19 ANHANG – MODUL 5

19.1 Anhang

Tab. 173: Hydrolyse von 5b) (Klee gras 1. Schnitt - Silage)

| A | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] |
|-----------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|-------------|--------------|
| Rohmaterial | 400 g | 100,88 | 209,06 | 0,00 | 124,97 | 70,74 | 13,35 | 0,00 | 0,00 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 18,54 l | 0,00 | 55,04 | 3,44 | 4,91 | 42,64 | 7,49 | 0,11 | 2,07 |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,57 l | 0,00 | 4,66 | 0,29 | 0,42 | 3,61 | 0,63 | 0,01 | 0,18 |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 59,70 | 3,73 | 5,32 | 46,25 | 8,13 | 0,12 | 2,25 |
| fester Rückstand | 200 g | 59,74 | 125,67 | 0,00 | 116,93 | 8,63 | 0,11 | 0,00 | 0,00 |
| Summe | | 59,74 | 185,37 | 3,73 | 122,25 | 54,88 | 8,24 | 0,12 | 2,25 |
| Recovery: | 97% | 97,57 | 202,19 | 0,00 | 120,86 | 68,42 | 12,91 | 0,00 | 0,00 |

| B | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] |
|-----------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|-------------|--------------|
| Rohmaterial | 400 g | 100,88 | 209,06 | 0,00 | 124,97 | 70,74 | 13,35 | 0,00 | 0,00 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 18,79 l | 0,00 | 60,96 | 3,58 | 4,97 | 46,85 | 9,13 | 0,27 | 2,02 |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,38 l | 0,00 | 4,48 | 0,26 | 0,37 | 3,44 | 0,67 | 0,02 | 0,15 |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 65,44 | 3,84 | 5,34 | 50,29 | 9,80 | 0,29 | 2,17 |
| fester Rückstand | 250 g | 78,10 | 150,99 | 0,00 | 139,72 | 11,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Summe | | 78,10 | 21,43 | 6,04 | 145,06 | 61,56 | 9,80 | 0,29 | 2,17 |
| Recovery: | 97% | 98,10 | 203,28 | 0,00 | 121,52 | 68,79 | 12,98 | 0,00 | 0,00 |

Tab. 174: Hydrolyse von Heu

| | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] |
|-----------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|-------------|--------------|
| Rohmaterial | 400 g | 87,95 | 246,03 | 0,00 | 157,10 | 74,85 | 14,08 | 0,00 | 0,00 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 18,88 l | 0,00 | 40,91 | 3,86 | 4,05 | 29,73 | 7,13 | 1,43 | 1,15 |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,00 l | 0,00 | 2,17 | 0,20 | 0,21 | 1,57 | 0,38 | 0,08 | 0,06 |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 30,87 | 4,07 | 4,27 | 19,09 | 7,51 | 1,51 | 1,21 |
| fester Rückstand | 300 g | 112,95 | 151,47 | 0,00 | 127,12 | 23,47 | 0,89 | 0,00 | 0,00 |
| Summe | | 112,95 | 182,34 | 4,07 | 131,39 | 42,56 | 8,39 | 1,51 | 1,21 |
| Recovery: | 96% | 84,51 | 236,42 | 0,00 | 150,97 | 71,93 | 13,53 | 0,00 | 0,00 |

Tab. 175: Hydrolyse von 3) (Klee gras 2. Schnitt - Grün)

| A | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] |
|-----------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|----------------|---------------------|
| Rohmaterial | 400 g | 81,71 | 236,63 | 0,00 | 153,40 | 72,04 | 11,19 | 0,00 | 0,00 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 17,88 l | 0,00 | 14,15 | 2,59 | 1,27 | 6,79 | 6,10 | 0,47 | 1,21 |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,37 l | 0,00 | 1,08 | 0,20 | 0,10 | 0,52 | 0,47 | 0,04 | 0,09 |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 15,23 | 2,79 | 1,36 | 7,30 | 6,56 | 0,51 | 1,30 |
| fester Rückstand | 235 g | 77,58 | 128,19 | 0,00 | 103,76 | 23,55 | 0,88 | 0,00 | 0,00 |
| Summe | | 77,58 | 143,42 | 2,79 | 105,13 | 30,85 | 7,44 | 0,51 | 1,30 |
| Recovery: | 93% | 75,80 | 219,51 | 0,00 | 142,30 | 66,83 | 10,38 | 0,00 | 0,00 |
| B | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] |
| Rohmaterial | 400 g | 81,71 | 236,63 | 0,00 | 153,40 | 72,04 | 11,19 | 0,00 | 0,00 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 19,23 l | 0,00 | 16,75 | 1,72 | 1,24 | 9,25 | 6,26 | 0,24 | 0,87 |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,25 l | 0,00 | 1,09 | 0,11 | 0,08 | 0,60 | 0,41 | 0,02 | 0,06 |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 17,83 | 1,83 | 1,32 | 9,85 | 6,67 | 0,26 | 0,92 |
| fester Rückstand | 263 g | 90,50 | 140,66 | 0,00 | 117,54 | 22,59 | 0,52 | 0,00 | 0,00 |
| Summe | | 90,50 | 154,04 | 1,83 | 118,86 | 27,99 | 7,19 | 0,26 | 0,92 |
| Recovery: | 99% | 80,70 | 233,70 | 0,00 | 151,51 | 71,15 | 11,05 | 0,00 | 0,00 |

Tab. 176: Hydrolyse von 8 (Kleegrass 2. Schnitt - Silage)

| A | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] | Milch-säure [g] |
|-----------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|-------------|--------------|-----------------|
| Rohmaterial | 400 g | 80,84 | 209,58 | 0,00 | 134,69 | 65,24 | 9,65 | 0,00 | 0,00 | |
| Extrakt 1 | 4,50 l | 0,00 | 2,41 | 0,00 | 0,90 | 1,12 | 0,39 | 0,00 | 0,00 | 13,96 |
| Extrakt 2 | 6,00 l | 0,00 | 0,77 | 0,00 | 0,29 | 0,36 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 4,30 |
| Extrakt 3 | 4,25 l | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,60 |
| Summe Extrakt | | 0,00 | 3,29 | 0,00 | 1,24 | 1,52 | 0,53 | 0,00 | 0,00 | 18,86 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 18,93 l | 0,00 | 46,07 | 2,57 | 3,43 | 35,59 | 7,05 | 0,13 | 1,50 | |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,14 l | 0,00 | 2,77 | 0,15 | 0,21 | 2,14 | 0,42 | 0,01 | 0,09 | |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 48,83 | 2,72 | 3,64 | 37,72 | 7,47 | 0,14 | 1,59 | |
| fester Rückstand | 183 g | 62,70 | 103,76 | 0,00 | 94,86 | 8,43 | 0,47 | 0,00 | 0,00 | |
| Summe | | 62,70 | 152,59 | 2,72 | 98,5 | 46,15 | 7,94 | 0,14 | 1,59 | |
| Recovery: | 96% | 77,95 | 202,09 | 0,00 | 129,88 | 62,91 | 9,30 | 0,00 | 0,00 | |
| B | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] | Milch-säure [g] |
| Rohmaterial | 400 g | 80,84 | 209,58 | 0,00 | 134,69 | 65,24 | 9,65 | 0,00 | 0,00 | |
| Extrakt 1 | 4,50 l | 0,00 | 1,71 | 0,00 | 0,92 | 0,41 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 14,22 |
| Extrakt 2 | 6,00 l | 0,00 | 0,71 | 0,00 | 0,27 | 0,33 | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 4,03 |
| Extrakt 3 | 4,25 l | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,47 |
| Summe Extrakt | | 0,00 | 2,50 | 0,00 | 1,23 | 0,77 | 0,50 | 0,00 | 0,00 | 18,72 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 18,91 l | 0,00 | 41,60 | 3,38 | 2,62 | 32,07 | 6,91 | 0,21 | 1,94 | |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,61 l | 0,00 | 3,54 | 0,29 | 0,22 | 2,73 | 0,59 | 0,02 | 0,17 | |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 45,13 | 3,66 | 2,84 | 34,80 | 7,50 | 0,23 | 2,11 | |
| fester Rückstand | 192 g | 65,84 | 106,30 | 0,00 | 96,45 | 9,48 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | |
| Summe | | 65,84 | 151,44 | 3,66 | 99,28 | 44,28 | 7,87 | 0,23 | 2,11 | |
| Recovery: | 99% | 79,72 | 206,68 | 0,00 | 132,83 | 64,34 | 9,52 | 0,00 | 0,00 | |

Tab. 177: Hydrolyse von 4 (Dauerwiese 1. Schnitt - Grün)

| A | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] | Milch-säure [g] |
|-----------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|-------------|--------------|-----------------|
| Rohmaterial | 400 g | 88,51 | 257,92 | 0,00 | 160,30 | 84,28 | 13,33 | 0,00 | 0,00 | |
| Extrakt 1 | 4,50 l | 0,00 | 8,03 | 0,00 | 1,84 | 5,95 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,69 |
| Extrakt 2 | 6,00 l | 0,00 | 2,29 | 0,00 | 0,55 | 1,65 | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 0,18 |
| Extrakt 3 | 4,25 l | 0,00 | 0,43 | 0,00 | 0,11 | 0,32 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 |
| Summe Extrakt | | 0,00 | 10,76 | 0,00 | 2,51 | 7,92 | 0,33 | 0,00 | 0,00 | 0,90 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 18,69 l | 0,00 | 61,57 | 6,30 | 6,38 | 46,41 | 8,78 | 2,29 | 1,92 | |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,35 l | 0,00 | 4,46 | 0,46 | 0,46 | 3,36 | 0,64 | 0,17 | 0,14 | |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 66,03 | 6,75 | 6,84 | 49,77 | 9,42 | 2,45 | 2,06 | |
| fester Rückstand | 190 g | 61,25 | 111,93 | 0,00 | 102,45 | 9,23 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | |
| Summe | | 61,25 | 177,96 | 6,75 | 109,30 | 59,00 | 9,66 | 2,45 | 2,06 | |
| Recovery: | 96% | 85,27 | 248,46 | 0,00 | 154,43 | 81,19 | 12,84 | 0,00 | 0,00 | |
| B | | | | | | | | | | |
| | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] | Milch-säure [g] |
| Rohmaterial | 400 g | 88,51 | 257,92 | 0,00 | 160,30 | 84,28 | 13,33 | 0,00 | 0,00 | |
| Extrakt 1 | 4,50 l | 0,00 | 8,29 | 0,00 | 1,95 | 6,13 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,62 |
| Extrakt 2 | 6,00 l | 0,00 | 1,84 | 0,00 | 0,45 | 1,36 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,13 |
| Extrakt 3 | 4,25 l | 0,00 | 0,26 | 0,00 | 0,07 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 |
| Summe Extrakt | | 0,00 | 10,40 | 0,00 | 2,47 | 7,69 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,77 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 18,73 l | 0,00 | 61,04 | 6,33 | 6,28 | 45,95 | 8,82 | 2,52 | 1,72 | |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,33 l | 0,00 | 4,34 | 0,45 | 0,45 | 3,27 | 0,63 | 0,18 | 0,12 | |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 65,38 | 6,78 | 6,72 | 49,21 | 9,45 | 2,70 | 1,85 | |
| fester Rückstand | 181 g | 57,11 | 107,35 | 0,00 | 97,81 | 9,13 | 0,42 | 0,00 | 0,00 | |
| Summe | | 57,11 | 172,73 | 6,78 | 104,53 | 58,34 | 9,86 | 2,70 | 1,85 | |
| Recovery: | 97% | 85,98 | 250,55 | 0,00 | 155,72 | 81,87 | 12,95 | 0,00 | 0,00 | |

Tab. 178: Hydrolyse von 7 (Dauerwiese 1. Schnitt - Silage)

| A | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] | Milch-säure [g] |
|-----------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|-------------|--------------|-----------------|
| Rohmaterial | 400 g | 83,89 | 229,80 | 0,00 | 143,62 | 74,51 | 11,67 | 0,00 | 0,00 | |
| Extrakt 1 | 4,50 l | 0,00 | 3,81 | 0,00 | 0,62 | 3,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8,56 |
| Extrakt 2 | 6,00 l | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Extrakt 3 | 4,25 l | 0,00 | 0,53 | 0,00 | 0,09 | 0,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,87 |
| Summe Extrakt | | 0,00 | 4,35 | 0,00 | 0,71 | 3,64 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,42 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 18,84 l | 0,00 | 53,88 | 3,88 | 4,14 | 41,11 | 8,63 | 0,81 | 1,72 | |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,40 l | 0,00 | 3,99 | 0,29 | 0,31 | 3,05 | 0,64 | 0,06 | 0,13 | |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 57,87 | 4,17 | 4,45 | 44,15 | 9,27 | 0,88 | 1,84 | |
| fester Rückstand | 194 g | 62,48 | 113,90 | 0,00 | 104,49 | 9,41 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Summe | | 62,48 | 171,77 | 4,17 | 108,94 | 53,56 | 9,27 | 0,88 | 1,84 | |
| Recovery: | 97% | 81,61 | 223,57 | 0,00 | 139,72 | 72,49 | 11,35 | 0,00 | 0,00 | |

| B | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] | Milch-säure [g] |
|-----------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|-------------|--------------|-----------------|
| Rohmaterial | 400 g | 83,89 | 229,80 | 0,00 | 143,62 | 74,51 | 11,67 | 0,00 | 0,00 | |
| Extrakt 1 | 4,50 l | 0,00 | 4,57 | 0,00 | 0,75 | 3,82 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 7,43 |
| Extrakt 2 | 6,00 l | 0,00 | 2,11 | 0,00 | 0,30 | 1,54 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 3,33 |
| Extrakt 3 | 4,25 l | 0,00 | 0,27 | 0,00 | 0,04 | 0,20 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,38 |
| Summe Extrakt | | 0,00 | 6,95 | 0,00 | 1,09 | 5,56 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 11,14 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 18,80 l | 0,00 | 49,78 | 3,58 | 0,00 | 41,26 | 8,52 | 0,70 | 1,63 | |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,35 l | 0,00 | 3,57 | 0,26 | 0,00 | 2,96 | 0,61 | 0,05 | 0,12 | |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 53,35 | 3,83 | 0,00 | 44,22 | 9,14 | 0,75 | 1,74 | |
| fester Rückstand | 191 g | 63,35 | 113,10 | 0,00 | 103,87 | 9,23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Summe | | 63,35 | 166,46 | 3,83 | 103,87 | 53,45 | 9,14 | 0,75 | 1,74 | |
| Recovery: | 97% | 81,25 | 222,58 | 0,00 | 139,11 | 72,17 | 11,30 | 0,00 | 0,00 | |

Tab. 179: Hydrolyse von 6 (Knaulgras 2. Schnitt - Grün)

| A | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] | Milch-säure [g] |
|-----------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|-------------|--------------|-----------------|
| Rohmaterial | 400 g | 92,72 | 209,21 | 0,00 | 140,92 | 58,28 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Extrakt 1 | 4,50 l | 0,00 | 0,07 | 0,00 | 0,02 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,09 |
| Extrakt 2 | 6,00 l | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 |
| Extrakt 3 | 4,25 l | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Summe Extrakt | | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,02 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 18,93 l | 0,00 | 21,40 | 2,30 | 1,09 | 14,32 | 6,00 | 0,00 | 1,46 | |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,32 l | 0,00 | 1,49 | 0,16 | 0,08 | 0,99 | 0,42 | 0,00 | 0,10 | |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 22,89 | 2,46 | 1,17 | 15,31 | 6,41 | 0,00 | 1,56 | |
| fester Rückstand | 235 g | 81,27 | 125,18 | 0,00 | 109,35 | 15,28 | 0,55 | 0,00 | 0,00 | |
| Summe | | 81,27 | 148,07 | 5,45 | 110,52 | 30,59 | 6,96 | 0,00 | 1,56 | |
| Recovery: | 98% | 90,43 | 204,03 | 0,00 | 137,43 | 56,84 | 9,75 | 0,00 | 0,00 | |
| B | | | | | | | | | | |
| | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] | Milch-säure [g] |
| Rohmaterial | 400 g | 92,72 | 209,21 | 0,00 | 140,92 | 58,28 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Extrakt 1 | 4,50 l | 0,00 | 0,12 | 0,00 | 0,04 | 0,07 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,03 |
| Extrakt 2 | 6,00 l | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 |
| Extrakt 3 | 4,25 l | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Summe Extrakt | | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,04 | 0,08 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,06 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 18,81 l | 0,00 | 18,29 | 2,01 | 0,98 | 11,45 | 5,86 | 0,00 | 1,27 | |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,28 l | 0,00 | 1,24 | 0,14 | 0,07 | 0,78 | 0,40 | 0,00 | 0,09 | |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 19,53 | 2,15 | 1,05 | 12,23 | 6,25 | 0,00 | 1,36 | |
| fester Rückstand | 234 g | 80,16 | 125,57 | 0,00 | 107,65 | 17,00 | 0,92 | 0,00 | 0,00 | |
| Summe | | 80,16 | 145,11 | 5,50 | 18,70 | 29,23 | 7,18 | 0,00 | 1,36 | |
| Recovery: | 97% | 89,72 | 202,43 | 0,00 | 136,36 | 56,40 | 9,68 | 0,00 | 0,00 | |

Tab. 180: Hydrolyse von 1a) (Knautgras 2. Schnitt - Silage)

| A | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] | Milch-säure [g] |
|-----------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|-------------|--------------|-----------------|
| Rohmaterial | 400 g | 79,11 | 204,14 | 0,00 | 133,03 | 61,42 | 9,69 | 0,00 | 0,00 | |
| Extrakt 1 | 4,50 l | 0,00 | 6,58 | 0,00 | 1,00 | 4,89 | 0,70 | 0,00 | 0,00 | 11,93 |
| Extrakt 2 | 6,00 l | 0,00 | 2,48 | 0,00 | 0,37 | 1,86 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 4,01 |
| Extrakt 3 | 4,25 l | 0,00 | 0,35 | 0,00 | 0,05 | 0,27 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,55 |
| Summe Extrakt | | 0,00 | 9,42 | 0,00 | 1,42 | 7,02 | 0,97 | 0,00 | 0,00 | 16,49 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 17,88 l | 0,00 | 36,07 | 3,07 | 1,84 | 27,70 | 6,53 | 0,60 | 1,40 | |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,37 l | 0,00 | 2,75 | 0,23 | 0,14 | 2,11 | 0,50 | 0,05 | 0,11 | |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 38,83 | 3,30 | 1,98 | 29,81 | 7,03 | 0,64 | 1,51 | |
| fester Rückstand | 235 g | 76,51 | 136,73 | 0,00 | 125,94 | 10,79 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | , |
| Summe | | 76,51 | 175,56 | 3,30 | 127,93 | 40,60 | 7,03 | 0,64 | 1,51 | |
| Recovery: | 93% | 73,39 | 189,36 | 0,00 | 123,40 | 56,98 | 8,98 | 0,00 | 0,00 | |
| B | Menge | Klason Lignin [g] | Gesamt-zucker [g] | Abgebaute Zucker [g] | Glucose [g] | Xylose/ Fructose [g] | Arabinose [g] | HMF [g] | Furfural [g] | Milch-säure [g] |
| Rohmaterial | 400 g | 79,11 | 204,14 | 0,00 | 133,03 | 61,42 | 9,69 | 0,00 | 0,00 | |
| Extrakt 1 | 4,50 l | 0,00 | 7,26 | 0,00 | 1,10 | 5,42 | 0,74 | 0,00 | 0,00 | 12,48 |
| Extrakt 2 | 6,00 l | 0,00 | 1,66 | 0,00 | 0,26 | 1,22 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 2,91 |
| Extrakt 3 | 4,25 l | 0,00 | 0,23 | 0,00 | 0,04 | 0,18 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,40 |
| Summe Extrakt | | 0,00 | 9,15 | 0,00 | 1,40 | 6,81 | 0,94 | 0,00 | 0,00 | 15,79 |
| Flüssigkeit (abgepresst) | 19,23 l | 0,00 | 34,12 | 3,04 | 1,62 | 25,85 | 6,65 | 0,71 | 1,28 | |
| Flüssigkeit (gebunden) | 1,25 l | 0,00 | 2,22 | 0,20 | 0,11 | 1,68 | 0,43 | 0,05 | 0,08 | |
| Flüssigkeit (gesamt) | | 0,00 | 36,34 | 3,24 | 1,73 | 27,53 | 7,08 | 0,76 | 1,37 | |
| fester Rückstand | 263 g | 84,44 | 153,80 | 0,00 | 140,66 | 12,93 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | |
| Summe | | 84,44 | 190,13 | 3,24 | 142,39 | 40,47 | 7,28 | 0,76 | 1,37 | |
| Recovery: | 99% | 78,13 | 201,61 | 0,00 | 131,39 | 60,66 | 9,57 | 0,00 | 0,00 | |

20 ANHANG – MODUL 6

20.1 Welche technischen Möglichkeiten bei der Verwertung des anfallenden Biogases außerdem stehen noch zur Verfügung.

20.1.1 Biogas als Treibstoff

Bis vor kurzem galt der Einsatz von Biogas als Treibstoff für Fahrzeuge als nicht ökonomisch. Steuerliche Anreizprogramme könnten die Treibstoffgewinnung aus Biogas jedoch schon in Bälde lukrativ machen.

Versuche in der Schweiz haben nun ergeben, dass Biogas als Treibstoff gegenüber dieselbetriebenen Fahrzeugen eine um 96% geringere Ozonbelastung verursacht. Der erneuerbare Energieträger Biogas ist außerdem CO₂-neutral.

Um den Anforderungen als Treibstoff gerecht zu werden, muss das Biogas jedoch eine definierbare Reinheitsstufe erreichen. Kritische Stoffe wie zum Beispiel H₂S, H₂O und CO₂ müssen entfernt werden. Dies ist mit der derzeit verfügbaren Technik bereits möglich

Folgende technische Möglichkeiten stehen zur Verfügung:

1. Wasserabtrennung: Zur Entfernung des im Biogas vorhandenen Wasserdampfes werden in der Regel drei Methoden angewandt:
 - a. Der Biogasstrom wird Zentrifugalkräften ausgesetzt, durch die der Wasserdampf in Form von Wassertröpfchen ausfällt und abgeschieden werden kann.
 - b. Kondensationsabscheidung innerhalb der Biogasleitung (von der Produktionsstelle zum Verwerter) durch Abkühlung des Gasstromes.
 - c. Wasserdampfabtrennung mit Hilfe eines Gebläses. Der Biogasstrom wird bei etwa 2°C durch eine Membran geleitet, dabei kondensiert der Wasserdampf und die Wassertröpfchen werden aus dem Gasstrom abgetrennt.
2. Wasserwäscher für CO₂-Entfernung CH₄ und CO₂ haben eine unterschiedliche Lösbarkeit in wässrigen Lösungsmitteln. Genau diese Eigenschaften werden bei diesem Verfahren ausgenutzt. Der Betriebsdruck sollte bei 6 - 10 bar und einer Temperatur von 10-20°C liegen. Das CO₂ wird mittels Brauchwasser in der Adsorptions-Kolonnen aus dem Gasstrom entfernt. Wenn anstatt Wasser Selexol eingesetzt wird, kann man auch H₂S entfernen. Das gereinigte Biogas kann eine CH₄-Konzentration von 96% erreichen.
3. Membran-Trennverfahren Bei diesem Verfahren kann man zwischen Hoch- und Niederdrucktechnik wählen. Durch die Hochdruckgasreinigung bei 10 bis 35 bar kann das Biogas bis zu einem CH₄-Gehalt von 96% gereinigt werden. Bei der Niederdruckgasreinigung beträgt der Druck etwa 1 bar und der Grad der Reinigung liegt auch bei 96% CH₄.
4. PSA (Pressure Swing Adsorption)-Verfahren Die Biogasaufbereitungsanlage besteht aus einem Kompressor, einem Kondensationskühler und einer Kolonne von Molekularsieben. Diese Molekularsieve sind über eine Steuerung so geschaltet, dass bei der Regeneration des Molekularsiebes wenig Gas entspannt wird. In der Gesamtkolonnen verläuft die Reaktion "Beladen" und die Regenerierung "Desorption-

Druckausgleich" zeitversetzt. Dadurch erfolgt eine gleichmäßige Produktion von Reingas. Reinheitsgrade von bis zu 96% CH₄ sind möglich.

20.1.1.1 Sonderform: Methanol aus Biogas

Methanol (CH₃OH) ist nicht nur ein wichtiger Chemierohstoff, sondern auch als Energieträger für Verbrennungsmotoren sehr interessant.

Methanol wird heute aufgrund des niedrigen Erdgaspreises und der einfachen Verfahrensführung fast ausschließlich aus Erdgas hergestellt. In Laborversuchen hat sich jedoch gezeigt, dass Methanol auch aus Biogas erzeugt werden kann. Da Biogas zu 60-75% aus Methan (CH₄) besteht, ist die Methode der partiellen katalytischen Oxidation auch für Biogas prinzipiell geeignet, sofern entsprechende Katalysatoren verwendet werden.

Der CO₂-Anteil im Biogas geht bei dieser Methode für Methanolerzeugung allerdings verloren. Es gibt aber ein industrielles Verfahren, bei welchem nicht Sauerstoff, sondern CO₂ als Oxidationsmittel verwendet wird. Das CO₂ wird dabei selbst zu Methanol reduziert. Dadurch kann man die Ausbeute an Methanol steigern.

Dieses Verfahren erfordert allerdings ein sehr reines Biogasgemisch, insbesondere muss dieses frei von reduzierenden Schwefelverbindungen wie H₂S oder organischen Schwefelverbindungen sein.

Nach ersten Schätzungen ist die Methanolgewinnung aus Biogas nur dann ökonomisch sinnvoll, wenn große Mengen Biogas verfügbar sind. Die Untergrenze liegt bei 1.000 m³ Biogas pro Tag, um die Kosten für die Umwandlung vertretbar zu halten.

Mit Hilfe der Grasvergärung ist diese Biogasmenge jedoch schon ab 30-40 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche zu erzielen (Extremlagen ausgenommen).

Neben seinen vielfältigen Einsatzmöglichkeiten (Industrie, Gewerbe und Einzelverbraucher) ist Methanol auch wegen seiner leichten Speicherbarkeit ein Energieträger mit Zukunft.