

Grüne Bioraffinerie Phase III

Entwicklung von Technologien zur Prozessintensivierung
hinsichtlich Gewinnung und Verwertung von Milchsäure,
Aminosäuren und Fasern

M. Mandl, S. Novalin, M. Reinhofer, D. Astleitner, Vu H.T.,
S. Kromus, T. Zwickmair, M. Tauber, H. Böchzelt, H. Schnitzer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

2a/2011

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 Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Grüne Bioraffinerie Phase III

Entwicklung von Technologien zur Prozessintensivierung
hinsichtlich Gewinnung und Verwertung von Milchsäure,
Aminosäuren und Fasern

Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Hans Schnitzer, DI Michael Mandl,
Dr. Michael Lukas, Mag. Dr. Marion Reinhofer, Dr. Michael Tauber,
Dr. Herbert Böchzelt (Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme;
JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH.)

Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Senad Novalin, Dr. Vu H. Thang (Universität für Boden-
kultur Wien, Department f. Lebensmittelwissenschaften u. –technologie)

DI Doris Astleitner, Univ. Prof. Dr. Florin Florineth (Universität für Bodenkul-
tur Wien, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau)

Dr. Stefan Kromus (Biorefinery Systems)

Dr. Markus Neureiter (IFA-Tulln, Abteilung Umweltbiotechnologie)

DI Wolfgang Glasl (VTU Engineering GmbH)

Helmut Gössler (PDC Verfahrenstechnische Entwicklungsges. mbH)

Mag. Patricia Novalin-Canoy (Gradient process technology GesmbH)

Sabine Herneth (Herneth Gartenbau)

Ing. Walter Retschek (Aquasol Handelsges. mbH)

Hr. J. Derhaschnig, DI M. Fürnsinn (Hydrogreen Landschaftsbau GmbH)

Graz, Februar 2010

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

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

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

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

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

INHALTSVERZEICHNIS

1	DEUTSCHE KURZFASSUNG	2
2	ABSTRACT	4
3	PROJEKTABRISS	6
4	EINLEITUNG	11
4.1	Allgemeine Einführung zum Thema Grüne Bioraffinerie.....	11
4.2	Vorarbeiten zum Themenkomplex Grüne Bioraffinerie	13
4.3	Themenstellung und Fokus der Forschungsarbeiten.....	15
4.4	Einpassung in die Programmlinie Fabrik der Zukunft	16
4.5	Aufbau des Berichts.....	17
5	ZIELE DES PROJEKTES	18
6	STRATEGIEN ZUR PROZESSINTENSIVIERUNG	19
6.1	Einleitung	19
6.2	Resilierung des Presskuchens.....	20
6.2.1	<i>Versuche zur Resilierung</i>	21
6.2.1.1	<i>Methodik der Resilierungsversuche</i>	21
6.2.1.2	<i>Versuche mit Beimengung von Molkezusatz</i>	22
6.2.1.3	<i>Versuche mit Beimengung von Enzymen</i>	23
6.2.1.4	<i>Interpretation der Versuche zur Resilierung des Presskuchens</i>	25
6.2.2	<i>Faseraufbereitung für die Versuchsreihe Begrünungsversuche bzw. Torfersatz</i>	25
6.2.3	<i>Wasseraufnahmevermögen</i>	26
7	ABTRENNTECHNOLOGIEN FÜR DIE WERTSTOFFE DER FLÜSSIGEN FRAKTION (MILCHSÄURE, AMINOSÄUREN)	28
7.1	Einleitung und Ziele	28
7.2	Stand der Technik und Forschung im Bereich chromatographische Abtrennung von Milchsäure	28
7.3	Stand der Technik und Forschung im Bereich chromatographische Abtrennung von Aminosäuren.....	29
7.3.1	<i>Zusammenfassende Bewertung der vorliegenden Literaturquellen und Untersuchungen</i>	35
7.4	Versuchsdurchführung.....	36
7.4.1	<i>Analytik</i>	36
7.4.1.1	<i>Zuckeranalytik</i>	36
7.4.1.2	<i>Aminosäureanalytik</i>	36
7.4.1.3	<i>Verwendete Modelllösungen für die Aminosäureversuche</i>	36
7.4.1.4	<i>Versuchsanlage</i>	37
7.5	Ergebnisse und Diskussion.....	40
7.5.1	<i>Abtrennung von Aminosäuren aus Grassilagesäften mittels Chromatographie</i> ...	40
7.5.1.1	<i>Ergebnisse Chromatographieversuch 1: XAD 1600; pH = 2,0;</i>	40
7.5.1.2	<i>Ergebnisse Chromatographieversuch 2: XAD 1600; pH = 7,0;</i>	41

7.5.1.3	Ergebnisse Chromatographieversuch 3: UBK 530, K ⁺ -konditioniert; pH = 4,2 42	
7.5.1.4	Ergebnisse Chromatographieversuch 4: UBK 530; K ⁺ -konditioniert; pH = 10,5.....	44
7.5.1.5	Ergebnisse Chromatographieversuch 5: MDS 4368 Lewatit; SO ₄ ²⁻ - konditioniert; pH = 4,0; Modelllösung B.....	45
7.5.1.6	Ergebnisse Chromatographieversuch 6: ODS-A; pH = 7,0; Modelllösung B	47
7.5.1.7	Ergebnisse Chromatographieversuch 7: MDS 1368; Ca ²⁺ -konditioniert; pH = 7,0; Modelllösung A	48
7.5.1.8	Ergebnisse Chromatographieversuch 8: MDS 1368 Lewatit; Ca ²⁺ - konditioniert; pH = 3,5; Modelllösung B.....	49
7.5.1.9	Ergebnisse Chromatographieversuch 9: MDS 1368 Lewatit; Ca ²⁺ - konditioniert; pH = 3,8; Modelllösung B.....	51
7.5.2	Zusammenfassung – Abtrennung von Aminosäuren	52
7.6	Untersuchungen zur Abtrennung von Milchsäure aus Grassilagesäften mittels Chromatographie	54
7.6.1	Einführung	54
7.6.2	Materialien und Methoden.....	54
7.6.3	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	54
7.6.3.1	Adsorptionsisotherme	55
7.6.3.2	Mobile Phase – Einfluss der Überströmgeschwindigkeit bzw. Flussrate	56
7.6.3.3	Einfluss der Stoffkonzentration im Feed	58
7.6.3.4	Einfluss des Aufgabevolumens	59
7.6.3.5	Trennversuche mit Silagesaft.....	60
7.6.4	Zusammenfassung der chromatographischen Trennversuche für Milchsäure	62
8	TORFERSATZ – KULTURMEDIEN AUS GRASFASERN FÜR DEN GARTENBAU....	64
8.1	Übersicht und Ausgangslage	64
8.2	Recherche zu Torfersatz- und Kulturmedien	65
8.2.1	Einleitung.....	65
8.2.2	Torfersatzprodukte	66
8.2.2.1	Holzreststoffe	69
8.2.2.2	Landwirtschaftliche Reststoffe	69
8.2.2.3	Kokosfaser	70
8.2.2.4	Faserpflanzen	70
8.2.2.5	Rückstände aus Zellstoff- und Papierindustrie.....	71
8.2.2.6	Komposte	71
8.2.3	Darstellung existierender Alternativprodukte.....	73
8.2.4	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	78
8.3	Anforderungen an das Substrat im Betrieb des Projektpartners.....	79
8.4	Substratcharakterisierung	81
8.4.1	Untersuchungsablauf und Methodik.....	81
8.4.2	Physikalische Eigenschaften.....	83
8.4.3	Organische Substanz	89
8.4.4	Nährstoffe.....	89
8.4.5	Pflanzenverträglichkeit	91
8.4.5.1	Wachstumstest 1:.....	91

8.4.5.2	Wachstumstest 2.....	93
8.4.5.3	Zusatztest – Grasfaservlies.....	99
8.5	Feldversuche	101
8.5.1	Versuchsordnung und -durchführung.....	101
8.5.2	Ergebnisse – Pflanzversuche.....	102
8.5.2.1	Phänologie	102
8.5.2.2	Phänologische Dokumentation	103
8.5.3	Depot-Düngeverhalten und Wasserhaltevermögen der Testsubstrate	113
8.5.4	Wasserhaltevermögen der Substrate.....	114
8.5.5	Struktur der getesteten Substrate	115
8.5.6	Sonstige Eigenschaften der Testsubstrate.....	115
8.6	Zusammenfassende Beurteilung der Testsubstrate	117
8.7	Beitrag der Produktgruppen „Substrate“ zur Gesamtwirtschaftlichkeit	119
9	EROSIONSSCHUTZ- UND BEGRÜNUNGSMEDIEN AUS GRASFASERN FÜR DEN LANDSCHAFTSBAU.....	121
9.1	Einleitung	121
9.2	Ausgangsmaterialien, Anforderungsprofil und Umfeldanalyse	122
9.2.1	Herstellung der Begrünungsmatten.....	124
9.2.2	Planung und Ausführung der Begrünungsversuche.....	125
9.2.3	Lage des Aufnahmegebietes.....	126
9.2.4	Versuchsdesign.....	126
9.2.4.1	Geometrie der Versuchsflächen.....	127
9.2.5	Erhobenen Parameter und angewandte Methodik.....	128
9.2.5.1	Frequenzrahmen.....	128
9.2.5.2	Phänologische Fotoreihe	128
9.2.5.3	Keimfähigkeit und Artenprüfung des eingesetzten Saatgutes	128
9.2.5.4	Vitalität	128
9.2.5.5	Frequenz der eingesäten Arten / eingewanderten Arten	129
9.2.5.6	Abundanz der eingewanderten Arten.....	129
9.2.5.7	Gräser- und Kräuterverhältnis.....	129
9.2.5.8	Deckungsgrad.....	129
9.2.5.9	Anzahl der Blühtriebe.....	129
9.2.5.10	Mittlere Blatthöhe	130
9.3	Anlage der Versuchsflächen	130
9.3.1	Einleitung zur Ansaatmethode Anspritzverfahren	130
9.3.2	Verwendete Zuschlagstoffe der Anspritzbegrünung	130
9.3.2.1	Verwendete Saatgutmischung	131
9.3.2.2	Dünger: „Rekuform“® 38-N.....	131
9.3.2.3	Klebemittel „Pro Terra 2000 Bodenerosionsschutzmittel“.....	131
9.3.2.4	Faserprodukt „Zellugrün“® Versuchsflächenfarbe gelb	132
9.3.3	Durchführung der Anspritzbegrünung	132
9.3.4	Aufbringen der Begrünungsmatten	134
9.4	Ergebnisse der Begrünungsversuche	135
9.4.1	Darstellung der Ergebnisse.....	135
9.4.1.1	Phänologische Fotoreihe	135

9.4.1.2	<i>Keimfähigkeit</i>	140
9.4.1.3	<i>Vitalität</i>	140
9.4.1.4	<i>Frequenz der eingesäten Arten in Prozent</i>	140
9.4.1.5	<i>Frequenz der eingewanderten Arten in Prozent</i>	143
9.4.1.6	<i>Abundanz der eingewanderten Arten</i>	144
9.4.1.7	<i>Deckungsgrad durch Abloten in Prozent</i>	145
9.4.1.8	<i>Gräser- und Kräuterverhältnis in Prozent</i>	147
9.4.1.9	<i>Anzahl der Blühtriebe</i>	149
9.4.1.10	<i>Mittlere Blatthöhe in cm</i>	151
9.4.2	<i>Diskussion der Ergebnisse</i>	154
9.4.2.1	<i>Phänologische Fotoreihe</i>	154
9.4.2.2	<i>Keimfähigkeit</i>	155
9.4.2.3	<i>Vitalität</i>	155
9.4.2.4	<i>Frequenz der eingesäten Arten</i>	155
9.4.2.5	<i>Gräser- und Kräuter-Verhältnis</i>	156
9.4.2.6	<i>Deckungsgrad</i>	156
9.4.2.7	<i>Frequenz der eingewanderten Arten</i>	157
9.4.2.8	<i>Abundanz der eingewanderten Arten</i>	157
9.5	Betrachtung der Wirtschaftlichkeit im Anwendungssegment Anspritzbegrünung..	158
9.6	Zusammenfassung zum Themenbereich Begrünung	159
10	ÜBERSICHT DER PRODUKTE DER GRÜNEN BIORAFFINERIE	160
10.1	Marktrecherche im Bereich Aminosäuren.....	160
10.1.1	<i>Anwendungsbereiche essentieller Aminosäuren</i>	161
10.1.2	<i>Marktpotential essentieller Aminosäuren</i>	161
10.1.3	<i>Einsatzbereiche – hoch preisige Produkte</i>	162
10.1.4	<i>Preise von Aminosäuren</i>	163
10.1.5	<i>Konkurrenzverfahren zur Gewinnung von AS</i>	164
10.2	Aminosäurengemische der Grünen Bioraffinerie	164
10.3	Milchsäureprodukt aus der Grünen Bioraffinerie	164
10.4	Verwertung der Faserfraktion der Grünen Bioraffinerie	165
10.5	Biogas	166
11	BESCHREIBUNG DER GESAMTECHNOLOGIE DER GRÜNEN BIORAFFINERIE FÜR EINE IMPLEMENTIERUNG EINER PILOTANLAGE	168
11.1	Primäre Fraktionierung	168
11.2	Allgemeine Darstellung der Technologie zur Wertstoffabtrennung aus dem Presssaft.....	170
11.3	Detaillierte Darstellung der Prozesskette zur Aufbereitung von Grassilagesaft.....	171
11.4	Charakteristik des Hybridprozess (Kombination NF/ED) zur Abtrennung von Milch- und Aminosäuren.....	174
11.5	Empfohlene Prozessverschaltung für die Pilot-/ Demonstrationsanlage	176
12	DETAILANGABEN IN BEZUG AUF DIE ZIELE DER PROGRAMMLINIE FABRIK DER ZUKUNFT	178
12.1	Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie	178
12.2	Beitrag zu den sieben Leitlinien nachhaltiger Technologieentwicklung.....	179

12.3	Einbeziehung der Zielgruppen und deren potentieller Nutzen	181
12.4	Beschreibung des Umsetzungspotentials und Wirtschaftlichkeit.....	182
12.4.1	<i>Spezifisches Erlöspotential der Grünen Bioraffinerie</i>	184
12.5	Demonstrationspotential der Projektergebnisse	186
13	SCHLUSSFOLGERUNGEN	187
14	AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN	188
15	VERZEICHNISSE	189
15.1	Literaturverzeichnis.....	189
15.2	Abbildungsverzeichnis	194
15.3	Tabellenverzeichnis	198

1 Deutsche Kurzfassung

Das vorliegende Projekt baut auf eine Reihe von bereits durchgeführten Projekten zur Grünen Bioraffinerie auf, welche auf die Entwicklung von Produkten aus dem Rohstoff Grassilage abzielten. Im Wesentlichen sind dies die Abtrennung der Wertstoffe Milchsäure (MS) und Aminosäuren (AS) aus dem Presssaft, sowie die Verwertung der anfallenden Grasfaser für diverse Faserprodukte oder Biogas. Aufbauend auf die vorlaufenden Arbeiten wurden im vorliegenden Projekt folgende Schwerpunkte bearbeitet:

- (1) Chromatographischer Trennverfahren für Milchsäure und Aminosäuren;
- (2) Anwendung der Grasfaserfraktion für die Begrünung (Landschaftsbau) sowie als Pflanzmedium (gewerblicher Gartenbau)
- (3) Grundlegende Untersuchungen zu einer möglichen Prozessintensivierung
- (4) Entwicklung einer Prozessverschaltung für eine Pilotanlage.

Die gewählte Methodik ist dem jeweiligen Themenbereich angepasst.

Abtrennung von Aminosäuren mittels Chromatographie: Nach dem vorliegenden Ergebnisstand geht hervor, dass mit dem Harz XAD 1600 die komplette Lösung in Gruppen aufgetrennt werden kann, wobei eine signifikante Abtrennung der hydrophoben Aminosäuren Leucin/Isoleucin erzielbar ist. Bei Verwendung von XAD 1600 Harz ist das Trennverhalten von Leucin/Isoleucin nur begrenzt vom pH-Wert abhängig. Gleichzeitig ist klar ersichtlich, dass eine Trennung einzelner Aminosäuren, unter den gewählten Bedingungen, nicht realisierbar ist. Bei Verwendung von UBK 530 Harz in K⁺-konditionierter Form scheint es möglicherweise zu einer Überlagerung von Ionenaustausch-, Ionenausschluss- und Komplexbildungseffekten zu kommen. Zur Untersuchung des vorliegenden Sachverhaltes im Detail sind hier weiterführende Untersuchungen notwendig. Allerdings zeigt sich wiederum, dass die Trennung einzelner Aminosäuren mit dem vorliegenden UBK 530 Harz in K⁺-konditionierter Form letzten Endes nicht realisierbar ist.

Die Aminosäuren Glutamat und Aspartat liegen bei pH = 4,0 als Anion vor und treten bei Verwendung von MDS 4368 in SO₄²⁻-konditionierter Form mit den koordinativ an die stationäre Phase gebundenen Sulfat-Ionen in eine Konkurrenzreaktion ein, was ein „Festkleben“ an der stationären Phase verursacht. Möglicherweise ist es hier zu einem teilweisen Ionenaustausch gekommen, weshalb das beobachtete Trennverhalten wiederum als unzureichend zu klassifizieren ist. Zur Klärung des vorliegenden Sachverhaltes sind hier weiter Untersuchungen notwendig.

Das Trennergebnis von ODS-A reversed Phase-Material zeigt, dass es zu keiner signifikanten Rückhaltung der überwiegenden Anzahl der Aminosäuren und der Monosaccharide kommt. Die Aminosäuren Leucin, Phenylalanin und Tryptophan wechselwirken über ihre hydrophoben Seitenketten mit der stationären Phase, was eine signifikante Rückhaltung dieser Aminosäuren bewirkt. Die Wiederfindungsrate der separierten Aminosäure Phenylalanin liegt allerdings bei 16 %. Aufgrund dieses Umstandes

ist das beobachtete Trennverhalten der Aminosäure Phenylalanin unter Verwendung von ODS-A Harzmaterial als unzureichend zu klassifizieren.

Bei Verwendung von MDS 1368 Ca^{2+} -konditioniert scheint es möglicherweise zu einer Überlagerung von Ionenaustausch-, Ionenausschluss- und Komplexbildungseffekten zu kommen. Eine prozesstechnisch relevante Separation der Aminosäuren Aspartat und Glutamat ist ab höheren Retentionszeiten zu erzielen. Die Aminosäuren Threonin, Serin, Valin, Glycin, Asparagin, Leucin, Isoleucin können mit diesem Harztyp bestenfalls nur in Gruppen abgetrennt werden.

Abtrennung von Milchsäure aus Grassilagesäften mittels Chromatographie

Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, die Milchsäure in undissoziierter Form mittels Chromatographie zu isolieren bzw. zu gewinnen. Auf der Basis von Literaturrecherchen wurde beschlossen, ein neutrales Polymerharz mit der Bezeichnung XAD 1600 zu verwenden. Der Einfluss wichtiger Prozessparameter wurde mit Modelllösungen untersucht. Dabei konnten Reinheitsgrade zwischen 93,2 und 99,9 % erreicht werden, wobei die Ausbeuten bei 99,4 % lagen. In weiterer Folge wurden Trennversuche mit Grassilagesaft durchgeführt. Die komplexere Zusammensetzung führte zu einer Reduktion des Reinheitsgrades (ca. 97 %). Obwohl etwa 99 % der mineralischen Inhaltsstoffe abgetrennt wurden, konnten organische Säuren, insbesondere Essigsäure, nicht reduziert werden. Darüber hinaus war eine Trennung von diversen Aminosäuren ebenfalls nicht möglich. Nach dem derzeitigen Stand der Untersuchungen, sollte vor einem chromatographischen Prozess eine Vortrennung zwischen Milchsäure und Aminosäuren vorgenommen werden.

Verwertung der Grasfaserfraktion: Die Untersuchungen zur Eignung der Grasfaser für Begrünungszwecke im Landschaftsbau sowie im Einsatzbereich Pflanzsubstrat wurden anhand konkreter Tests durchgeführt. Die durchgeführten Feldversuche zur Hangbegrünung haben gezeigt, dass der Grasfaserpresskuchen zur Anspritzbegrünung gut geeignet ist. Eine bessere Vegetationsentwicklung als bei Konkurrenzprodukten ist nicht argumentierbar. Aus der Sicht der Wirtschaftlichkeit ergeben sich beim Einsatz von Grasfasern im Vergleich zu einem handelsüblichen Produkt wesentliche Kostenvorteile. Die durchgeführten Versuche im Bereich Pflanzsubstrat lieferten sowohl im Labor als auch unter Praxisbedingungen eines Partnerbetriebes durchwegs negative Ergebnisse. Eine weitergehende Aufbereitung des Faserpresskuchens der Grünen Bioraffinerie scheint zwingend nötig.

Prozessintensivierung: Im Rahmen des Projektes wurde auch die Möglichkeit einer Prozessintensivierung durch eine erneute Silierung des gewonnenen Presskuchens untersucht. Ziel der Arbeiten war es, die Gesamtausbeute an Milchsäure zu erhöhen. Die vorliegenden Ergebnisse zeigten auf, dass eine Wiederholung der Milchsäuregärung mit dem Substrat Silagepresskuchen nicht homo-fermentativ in Richtung Milchsäure abläuft.

Prozessverschaltung: Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse dieses und bereits abgeschlossener Projekte wurde eine Prozessverschaltung zur Separation von Milchsäure und Aminosäuregemischen vorgeschlagen, welche erstmals in einer Pilotanlage umgesetzt werden soll.

2 Abstract

The project targets on the development of a Green Biorefinery based on the feedstock grass silage generating the key products lactic acid (LA), amino acid (AA), biogas and optionally grass fibre applications and products.

Objectives

The presented R&D work continues the development done so far and focuses on the investigation of chromatography for separating valuable substances like amino acids and lactic acid out of juice fractions. Additionally, the application of grass fibre for landscaping and greening (e.g. greening of slopes in the field of road construction) as well as horticulture substrate is being investigated by means of lab and field tests.

The main focus of the presented work is in the field of performing systemic runs for testing different chromatography resins for separation AA and LA out pre-treated silage juice. The results indicate that the "integrated" separation of LA and AA fraction by means of one single chromatography process seems not feasible. The continued experiments were performed using two different juice fractions, which were either rich on LA or AA. These fractions could be obtained by applying nano-filtration technology.

Chromatography for Separation of amino acids

Based on the investigations with the resin XAD 1600 one can say that a separation in different amino acid fractions is possible. Especially a fraction of hydrophobic amino acids Leucin/Isoleucin is achievable. Under usage of the resin XAD 1600 the separation-behaviour of Leucin/Isoleucin only depends to a small degree on the pH-value. However, the separation of individual amino acids is not possible under the chosen process conditions. The usage of UBK 530 resin in K⁺-form perhaps seems to generate an overlay of ionexchange, ionexclusion and complex-building-effects. For the investigation of this phenomenon in detail additional investigations must be carried out. However, the separation of individual amino acids by usage of UBK 530 resin in K⁺-form is not possible under the chosen process conditions. At pH = 4 the amino acids Glutamate and Aspartate appear in their anionic form. Therefore they can exchange itself with the coordinated-bound SO₄²⁻ on the stationary phase which could cause adsorption of the amino acids. Perhaps here a partial ion-exchange takes place. To clarify this issue additional investigations must be made. However, due to the separation-behaviour of this type of resin an amino acid separation relevant for process technology cannot be achieved. The separation-result from ODS-A reversed-phase-material shows, that no significant retention of the majority of the amino acids and monosaccharides takes place. The partially hydrophobic amino acids Leucin, Phenylalanine and Tryptophan interact with the stationary phase, which causes a significant retention of these amino acids. The recovery rate of the separated amino acid Phenylalanine is only 16 %. Due to this result the obtained separation-behaviour of the amino acids Phenylalanine by usage of ODS-A resin must be classified as insufficient.

It seems that ion-exchange, ion-exclusion and complex-building-effects take place simultaneously due to usage of MDS 1368 Ca^{2+} -conditioned resin. A separation of the amino acids Aspartate and Glutamate relevant for processtechnology is acievable only at a higher retention-time. The amino acids Threonine, Serine, Valin, Glycine, Asparagin, Leucine, Isoleucine could only be separated in groups by using this type of resin.

Chromatography for Separation of lactic acid

The aim of the investigations was to recover lactic acid in undissociated form from grass silage juice. For this purpose, chromatographic separation using neutral polymeric resin Amberlite XAD 600 was investigated. The important factors affecting separation performance were investigated with model solutions. The obtained results showed that lactic acid solutions with the purity varying from 93.2 to 99.9 % could be obtained at the recovery yields over 99.4 %. After experiment with the model solutions, the separations with grass silage juices were further processed. Due to the complex composition of the silage juices, the purity of products decreased to 94 % at the recovery yield of 97 %. Although 99 % of inorganic salts and sugars were separated from lactic acid organic acids in general and acetic acid in particular caused a lower purity. It seems that organic acids could not be separated from lactic acid by neutral resin Amberlite XAD 1600. Besides the organic acid problem, some amino acids were remained in the products as impurities.

Utilisation of grass fibre

A field study investigated the technical feasibility of applying grass press cake in hydro-seeding application. The result an a basic level was positive, but data collected can not indicate better performance than products already available on the market ("Zellugrün"®), However, economic advantages have been identified for using grass press cake in hydro-seeding in comparison with other fibre fractions.

The use of grass press cake for horticultural application in general performed quite poor. Major problems were identified which highly indicate further processing (washing, disintegrating etc.) of grass fibres for that application. Because of the revenue potential in that sector the application is considered quite challenging.

Process intensification

A further improvement of process chain is also investigated. It targets on a potential increase of lactic acid recovery by running an additional fermentation step with the generated press cake. Intermediate data indicate that second lactic acid fermentation with press cake does not only produce lactic acid but a variety of organic acids and ethanol.

Process set-up

A design of the recommended process set-up for lactic acid and amino acids separation out of silage juice has been developed and is presented for the first scale-up in a pilot plant.

3 Projektabriss

Prozessintensivierung durch Resilierung

Versuchsergebnisse aus Vorprojekten hatten in der Silage bzw. im Presskuchen deutliche Gehalte an Restzucker identifiziert. Ausgangspunkt dieser Untersuchungen war die Vermutung, dass eine Resilierung des bereits abgepressten Silagepresskuchens unter gewissen Rahmenbedingungen (z.B. Restzuckergehalt oder Einsatz von Enzymen zur teilweisen Hydrolyse der Zellulose) möglich ist, und somit eine weitere Intensivierung (Erhöhung der abtrennbaren Milchsäureausbeute) erreicht werden könnte. Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurde eine Resilierungs-Versuchsreihe durchgeführt. Dabei wurde frischer Silagepresskuchen (nach der 2. Pressung) erneut angefeuchtet und mit Additiven versehen (Molkekonzentrat, einem Enzymprodukt, sowie einem „Silagestarter“) und im Labormaßstab siliert. Die so generierten Proben wurden nach einer Silagezeit von 25 und 75 Tagen geöffnet und hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung untersucht.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen auf, dass die ursprüngliche Annahme, dass durch eine Resilierung nochmals eine nennenswerte Menge an Milchsäure generiert werden könnte, nicht bestätigt werden konnte. Die in Form von Molke beigemengte Zuckermenge wurde primär in Richtung anderer organischer Substanzen wie Essigsäure oder Ethanol verstoffwechselt. Ebenso war auch die Wirkung des beigefügten Enzymproduktes – Hydrolyse von Hemizellulosen zu C5-Zuckern – nicht nachweisbar.

Chromatographische Trennverfahren zur Abtrennung von Aminosäuren

Es wurde eine Reihe von Chromatographieversuchen zur Abtrennung von Aminosäuren durchgeführt. Die Versuche wurden einerseits bei unterschiedlichen Prozessparametern – im Wesentlichen ist es der pH-Wert – und unter Verwendung verschiedener Säulenmaterialien durchgeführt. Bei den Versuchen wurde nicht mit dem originalen Silagesaft sondern mit zwei unterschiedlichen Modelllösungen gearbeitet.

Übersicht Prozessparameter der verwendete Säulenmaterialien und pH-Werte der durchgeführten chromatographischen Versuche:

1) XAD 1600, neutrales Harz	bei pH 2,0
2) XAD 1600, neutrales Harz	bei pH 7,0
3) UBK 530, K ⁺ konditioniert,	bei pH 4,2
4) UBK 530, K ⁺ konditioniert ,	bei pH 10,5
5) MDS 4368 Lewatit, SO ₄ ²⁻ -konditioniert;	bei pH 4,0;
6) ODS-A	bei pH 7,0
7) MDS 1368, Ca ²⁺ -konditioniert;	bei pH 7,0
8) MDS 1368, Lewatit; Ca ²⁺ -konditioniert;	bei pH 3,5;
9) MDS 1368, Lewatit; Ca ²⁺ -konditioniert;	bei pH 3,8

Die Ergebnisse der Versuchsreihe können wie folgt zusammengefasst werden:

Nach dem vorliegenden Ergebnisstand geht hervor, dass mit dem Harz XAD 1600, die komplette Lösung in Gruppen aufgetrennt werden kann, wobei eine signifikante Abtrennung der

hydrophoben Aminosäuren Leucin/Isoleucin erzielbar ist. Bei Verwendung von XAD 1600 Harz ist das Trennverhalten von Leucin/Isoleucin nur begrenzt vom pH-Wert abhängig. Gleichzeitig ist klar ersichtlich, dass eine Trennung einzelner Aminosäuren unter den gewählten Bedingungen nicht realisierbar ist.

Bei Verwendung von UBK 530 Harz in K^+ -konditionierter Form scheint es möglicherweise zu einer Überlagerung von Ionenaustausch-, Ionenausschluss- und Komplexbildungseffekten zu kommen. Zur Untersuchung des vorliegenden Sachverhaltes im Detail sind hier weiterführende Untersuchungen notwendig. Allerdings zeigt sich wiederum, dass die Trennung einzelner Aminosäuren mit dem vorliegenden UBK 530 Harz in K^+ -konditionierter Form letzten Endes nicht realisierbar ist.

Die Aminosäuren Glu und Asp liegen bei $pH = 4,0$ als Anion vor und treten bei Verwendung von MDS 4368 in SO_4^{2-} -konditionierter Form mit den koordinativ an die stationäre Phase gebundenen Sulfat-Ionen in eine Konkurrenzreaktion ein, was ein „Festkleben“ an der stationären Phase verursacht. Möglicherweise ist es hier zu einem teilweisen Ionenaustausch gekommen. Der vorliegende Sachverhalt ist hier nicht restlos geklärt.

Das Trennergebnis von ODS-A reversed Phase-Material zeigt, dass es zu keiner signifikanten Rückhaltung der überwiegenden Anzahl der Aminosäuren und der Monosaccharide kommt. Die Aminosäuren Leu, Phe und Trp wechselwirken über ihre hydrophoben Seitenketten mit der stationären Phase, was eine signifikante Rückhaltung dieser Aminosäuren bewirkt. Die Wiederfindungsrate der separierten Aminosäure Phe liegt bei 16 %. Aufgrund dieses Umstandes ist das beobachtete Trennverhalten der Aminosäure Phe unter Verwendung von ODS-A Harzmaterial als unzureichend zu klassifizieren. Bei Verwendung von MDS 1368 Ca^{2+} -konditioniert scheint es zu einer Überlagerung von Ionenaustausch-, Ionenausschluss- und Komplexbildungseffekten zu kommen.

Eine prozesstechnisch relevante Separation der Aminosäuren Asp und Glu ist ab höheren Retentionszeiten zu erzielen. Die Aminosäuren Thr, Ser, Val, Gly, Asn, Leu, Ile können mit diesem Harztyp bestenfalls nur in Gruppen abgetrennt werden.

Insgesamt kann gesagt werden, dass nach dem derzeitigen Ergebnisstand eine Trennung des vorliegenden Aminosäurengemisches in einzelne Aminosäuren kaum durchführbar ist.

Abtrennung von Milchsäure mittels Chromatographie

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Harztyp XD 1600 durchaus geeignet ist, um Milchsäure aus einem komplexen Gemisch abzutrennen. Sind allerdings in der Feedlösung neben Kohlenhydraten (Glucose) und anorganischen Salzen auch verschiedene Aminosäuren enthalten, wie dies bei einem Silagesaft der Fall ist, so ist eine Trennung in einem Chromatographieschritt nicht möglich. Für die Bewältigung dieses Problems sind auf jeden Fall Kombinationsverfahren erforderlich. Diese dargestellten Untersuchungen sind auch in einer Veröffentlichung (*Vu Thang, Novalin 2008*) umfassender dargestellt.

Was die Trennung der Milchsäure von Zuckern und Salzen anbelangt, so können die Resultate äußerst positiv bewertet werden. Allerdings lässt sich mit diesem Chromatographieschritt keine Trennung zwischen Milchsäure und Aminosäuren erzielen.

Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, die Milchsäure in undissoziierter Form mittels Chromatographie zu isolieren bzw. zu gewinnen. Auf der Basis von Literaturrecherchen und früheren Arbeiten wurde beschlossen, ein neutrales Polymerharz mit der Bezeichnung XAD 1600 zu testen. Der Einfluss wichtiger Prozessparameter wurde mit Modelllösungen untersucht.

Bei der Trennung der Milchsäure durch Chromatographie kann der pH-Wert eine wesentliche Rolle spielen. Die Adsorption findet praktisch erst unterhalb des pH-Wertes von 3 statt. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden die weiteren Untersuchungen bei einem pH-Wert von 2 durchgeführt.

Die Produktivität eines chromatographischen Trennprozesses wird von der Konzentration bzw. vom Massendurchsatz im hohen Maße beeinflusst. Wie die Untersuchungen gezeigt haben, ist der Reinheitsgrad auch bei relativ hohen Ausgangskonzentrationen akzeptabel.

Die Strömungsgeschwindigkeit hat einen wesentlichen Einfluss bei der chromatographischen Trennung von Substanzen. Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass die Reinheit der abgetrennten Milchsäure bis zu einer Strömungsgeschwindigkeit von $3,06 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ bei 98,6 % lag. Bei einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit auf $6,12 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ nahm die Reinheit auf 93,2 % ab. Auf Basis der erforderlichen Reinheit können die Prozessparameter festgelegt werden.

In weiterer Folge wurden Trennversuche mit Grassilagesaft durchgeführt. Die komplexere Zusammensetzung führte zu einer Reduktion des Reinheitsgrades (ca. 97 %). Obwohl etwa 99 % der mineralischen Inhaltsstoffe abgetrennt wurden, konnten organische Säuren, insbesondere Essigsäure, nicht reduziert werden. Darüber hinaus war eine Trennung von diversen Aminosäuren ebenfalls nicht möglich.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass zunächst ein relativ klares Bild vorliegt, was den grundsätzlichen Einsatz der Chromatographie anbelangt. Nach dem derzeitigen Stand der Untersuchungen sollte vor einem chromatographischen Prozess eine Vortrennung zwischen Milchsäure und Aminosäuren vorgenommen werden.

Beurteilung des Anwendungspotentials von Grasfasern aus der Grünen Bioraffinerie für Pflanzsubstrate für den gewerblichen Gartenbau

Zu diesem Thema wurde eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt. Die Untersuchung physikalischer Parameter wie Teilchendichte, Porenvolumen, Rohdichte und Schrumpfungswert, sowie Wasserhaltekapazität der Grasfasern, ergab nur leichte Unterscheidungen in diesen Eigenschaften gegenüber den Vergleichssubstraten Torf bzw. „Blumenerde“.

Wesentlich für den Einsatz der Testsubstrate für Topfkulturen war die Feststellung des Wasserhaltevermögens bzw. des Wasserauf- und -abgabevermögens. Grundsätzlich zeigte sich, dass die Wasserhaltekapazität der reinen Grasfaser im Vergleich zu Torf oder „Blumenerde“ niedrig ist. Das Grasfasermaterial hat einen sehr hohen, leicht reaktiven organischen Anteil im Vergleich zu den untersuchten Vergleichssubstraten (handelsübliche Pflanzsubstrate und Torf), was sich aus der Herkunft des Materials (siliertes Gras) erklärt. Der pH-Wert ist im

sauren Milieu (pH~4,5). Die Nährstoffgehalte sind im Vergleich zu anderen Pflanzsubstraten (Torf) hoch. Sie liegen in leicht löslicher Form vor und werden rasch ausgewaschen.

Es wurden Pflanzenverträglichkeitstests zweier reiner Grasfaserfraktionen mit Kresse und anderen Gewürzkräutern durchgeführt, welche im Vergleich zu den Referenzsubstraten Torf und handelsüblicher Blumenerde eine stark verringerte Menge an oberirdischem Aufwuchs aufzeigten. Die Ursache dafür wird in der hohen Menge eluierbarer Stoffe der unbehandelten Grasfaser gesehen. Ein Zusatztest, welcher Kresse auf einem nass gelegten Grasfaservlies kultivierte, ergab eine gute Bestandsentwicklung. Dies wird durch den nassen Refinerprozess begründet, der zu einer Auswaschung löslicher Komponenten führt. Ein Eluattest des Grasfaservlieses zeigte deutlich geringere Konzentrationen löslicher Komponenten im Eluat auf (ca. Faktor 10 kleiner als unbehandelte Grasfaser).

Es wurden mit drei verschiedene Testsubstrate (reine Grasfasern, Grasfaser-Erdemischungen, sowie eine Grasfaser-Kalkmischung) Pflanzversuche mit Perlagonie, Basilikum und Petersilie unter den im gewerblichen Gartenbau üblichen Voraussetzungen angesetzt.

Sowohl die Untersuchungen im Labor-, als auch im Glashausversuch verdeutlichen, dass die getesteten Grasfasersubstrate bzw. Substratmischungen nicht bzw. nur sehr eingeschränkt als Pflanzsubstrat in Frage kommen. Für eine erfolgreiche Substratherstellung aus Grasfaserückständen aus der Grünen Bioraffinerie zeigt sich, dass weitere Verfahrensschritte zur Aufbereitung der Grasfasern, wie zum Beispiel die vorangehende Kompostierung der Grasfaser, erforderlich sind.

Beurteilung des Anwendungspotentials der Grasfasern für Produkte im Landschaftsbau (Erosionsschutz und Begrünung)

Die Eignung der Grasfaser für Hangbegrünungen wurde im Zusammenhang mit dem Anspritzverfahren in einem Feldversuch untersucht. Dabei wurden zwei unterschiedlich feine Grasfaserfraktionen im Vergleich zu einem handelsüblichen Faserprodukt („Zellugrün“®), sowie eine Nullvariante (ohne Faserbeimengung) verwendet. Der Feldversuch erfolgte unter Praxisbedingungen, d.h. es wurden die in der Praxis üblichen Gerätschaften für die Anspritzbegrünung eingesetzt, gängige Saatmischungen und Saatstärken angewandt, sowie eine typische Ausgangssituation (Geländeeinschnitt Neigung 1 : 1; anstehender Rohboden) ausgesucht.

Die Versuchsflächen wurden leider durch ein Starkregeneignis, welches am Folgetag der Aussaat auftrat, stark in Mitleidenschaft gezogen. Die Ergebnisse des Feldversuches sind leider nicht eindeutig, jedoch können folgende zusammenfassende Aussagen getroffen werden:

1. Grasfaserfraktionen der Grünen Bioraffinerie sind als Mulchbeigabe für Anspritzbegrünungen grundsätzlich geeignet. Die in der Praxis etablierte Technologie kann die Grasfasern unmittelbar einsetzen.

2. Die Vegetationsentwicklung auf Flächen mit Grasfaserbeimengung ist mit Referenzflächen, auf welchen ein handelsübliches Produkt eingesetzt wurde, vergleichbar. Eine bessere Eignung ist nicht argumentierbar.
3. Grasfasern sind im Vergleich mit dem Referenzprodukt „Zellugrün“® deutlich billiger.

Einsatz- und Erlöspotentiale der Schlüsselprodukte Milchsäure und Aminosäuren

Für beide Produkte der Grünen Bioraffinerie wurden mögliche Produktanwendungen spezifiziert und zusammengestellt. Im Rahmen des Projektes wurde vom Projektpartner Gradient eine umfangreiche Markterhebung im Bereich Aminosäuren durchgeführt, welche dem Bericht als Anhang beigefügt ist. Wesentliche Vermarktungspotentiale ergeben sich für Aminosäurengemische der Grünen Bioraffinerie, vor allem in den „High-grade“ Anwendungen Personal Care, sowie Speziallebensmittel (Gesundheits- und Sportbereich). Letzteres ist durch das ausgesprochen hochwertige Aminosäurespektrum des Silagesaftes (besonders reich an den essentiellen Aminosäuren Leucin, Isoleucin, Valin, Threonin und Tryptophan) realistisch. Für die beiden Schlüsselprodukte wurden Erlösszenarios auf Basis unterschiedlicher Ausbeuten bzw. erzielbarer Verkaufserlöse erstellt.

Prozessverschaltung für die Errichtung einer Pilotanlage der Grünen Bioraffinerie

Auf Basis dieser Ergebnisse und zuvor durchgeführter Projekte wurde ein Prozessschema für die Abtrennung von Milchsäure und Aminosäuregemischen entwickelt, welches in einer Pilotanlage umgesetzt werden soll. Die Prozesskette der Silagesaftaufbereitung besteht aus der Kombination Ultrafiltration (UF, cut-off 1 kDA) – Enthärtung (Kationenaustausch) – Nanofiltration (NF, cut-off 300 DA) – Elektrodialyse (ED monopolar) – Umkehrosmose (RO) – sowie Ionenausschluss-Chromatographie (IXC Kationenaustausch).

Die Abtrennung der Milchsäure erfolgt aus dem Permeat der NF – nachdem die Konzentration durch einen RO-Prozess etwas angehoben wurde – mittels Elektrodialyse (ED). Das Diluat der ED wird dem Prozess rückgeführt, sodass nicht abgetrennte Milchsäure im System bleibt. Die Abtrennung der Aminosäuren erfolgt aus dem Retentat der NF und wird mittels Kationenaustausch empfohlen. Bei diesem Prozess werden die Aminosäuren als Mischung gewonnen. Die Abtrennung von Einzelaminosäuren (z.B. durch Chromatographie) konnte bis dato nicht befriedigend gelöst werden.

4 Einleitung

4.1 Allgemeine Einführung zum Thema Grüne Bioraffinerie

Motivation

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

Was ist eine Bioraffinerie

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

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

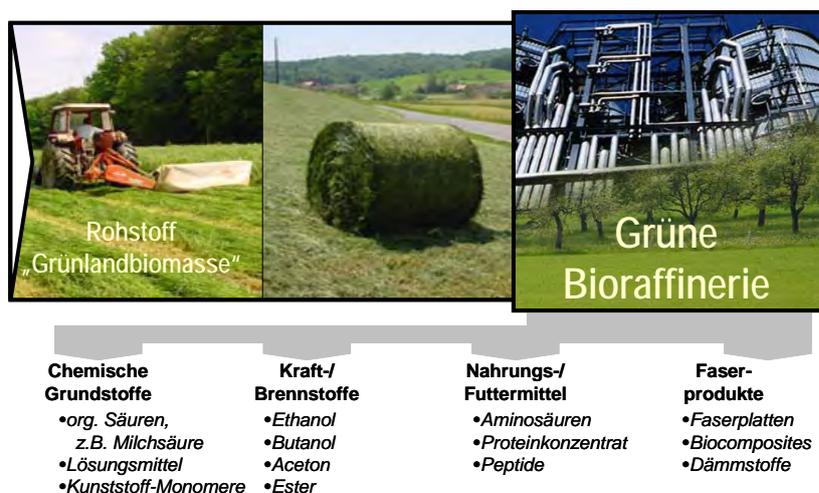


Abbildung 4-1: Prinzip einer Grünen Bioraffinerie mit möglichen Produktgruppen

Auf Basis der Grundidee der Bioraffinerie wurde von einem interdisziplinären Forscherteam das Technologiekonzept *Grüne Bioraffinerie Österreich* entwickelt. Das Konzept der *Grünen*

Bioraffinerie Österreich unterscheidet sich von anderen derzeit auf internationaler Ebene entwickelten Bioraffinerie-Konzepten dadurch, dass es besondere Rücksicht nimmt auf die spezifischen Bedingungen österreichischer Regionen (z.B. kleine Betriebsgrößen, Verwertungsoption für gegenwärtige/zukünftige Grasflächen).

Charakteristika der Grünen Bioraffinerie Österreich

(1) Milchsäure als Schlüsselprodukt

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

(2) Kombination von dezentralem und zentralem Verfahrenskonzept

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

(3) Flexible Produktionstechnik

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

Prozessablauf

Aus dem Rohstoff Grünlandbiomasse wird in der Vegetationsperiode Silage erzeugt, welche lagerfähig ist und somit ganzjährig einem industriellen Prozess zugeführt werden kann. Durch eine mechanische Fraktionierung entstehen zwei Stoffströme: der Presssaft und der Presskuchen. Der Saft wird weiter aufbereitet und aus diesem die Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren abgetrennt. Dabei nicht genutzte Saftanteile werden in einer Biogasanlage verwertet. Der Presskuchen kann einerseits zu einer für die Industrie verwertbaren Faserfraktion aufbereitet und getrocknet werden, oder direkt in die Biogasanlage eingeschleust werden. Die Abtrennung von Feinchemikalien ist eine weitere zukünftige Verwertungsoption, welche gegenwärtig nicht entwickelt wird.

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

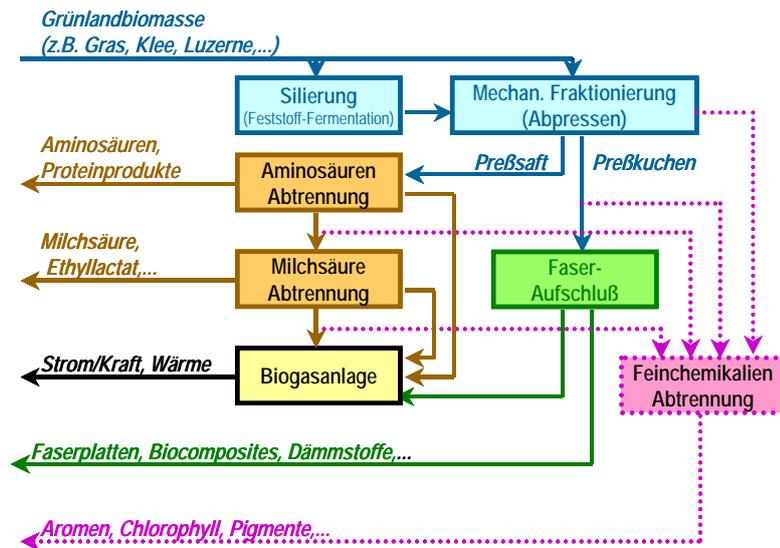


Abbildung 4-2: Schema Prozessablauf Grüne Bioraffinerie Österreich

Neue Chancen für den ländlichen Raum

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

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

4.2 Vorarbeiten zum Themenkomplex Grüne Bioraffinerie

Folgend werden einige Vorarbeiten bzw. Projekte im Themenkomplex Grüne Bioraffinerie zusammengefasst:

1999: Grundlegende Bioraffinerie-Studie mit dem Titel „*Elaboration of a decentralized „Green Biorefinery“ for the Austrian Region of Feldbach – A Sustainable Concept*“ [Kromus 1999] wurde vorgelegt.

2000-2002: BBK-Projekt Grüne Bioraffinerie: Im Zeitraum 2000-2002 wurde unter der Federführung des Kornberg Instituts im Rahmen der Bund-Bundesländerkooperation (BBK) das Forschungsprojekt „*Grüne Bioraffinerie – Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer nachhaltigen Kulturlandschaftsentwicklung*“ durchgeführt und mit der Vorlage eines Endberichts abgeschlossen [Kromus, Narodoslowsky, Krotscheck, 2002].

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

2001-2003: Fabrik der Zukunft, 1. Ausschreibung: Projektbündel „Grüne Bioraffinerie I“: Im Zeitraum 2001-2003 liefen im Rahmen des vom *Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)* initiierten Programms „Fabrik der Zukunft (FdZ)“ unter der Federführung von JOANNEUM RESEARCH und dem KORNBERG INSTITUT drei Teilprojekte zum Thema „Grüne Bioraffinerie“:

(1) „Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft“
[Kromus et al., 2003]

(2) „Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Proteinen aus Grassäften“
[Koschuh et al., 2003]

(3) „Grüne Bioraffinerie – Verwertung der Grasfaserfraktion“
[Wachter, Mandl, 2003].

2003-2006: Fabrik der Zukunft, 2. Ausschreibung: Projektbündel „Grüne Bioraffinerie II“: Unter der Federführung von JOANNEUM RESEARCH und der Universität für Bodenkultur Wien wurden zwei weitere Teilprojekte zum Thema „Grüne Bioraffinerie“ bearbeitet:

(1) „Grüne Bioraffinerie – Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion“
[Mandl et al., 2006].

(2) Grüne Bioraffinerie – Entwicklung von Schlüsseltrenntechnologien zur Gewinnung von Wertschubstanzen aus Grassilagesäften [Novalin et al., 2005].

Eine umfassende Darstellung der bisherigen österreichischen F&E-Aktivitäten zum Thema „Grüne Bioraffinerie“ findet sich in folgenden zwei Dissertationen:

Kromus Stefan: „Grüne Bioraffinerie Österreich – Entwicklung eines integrierten Systems zur Nutzung von Grünlandbiomasse“ Dissertation, Technische Universität Graz, 2002;

Koschuh Werner: „Grüne Bioraffinerie Österreich – Fraktionierung von Wertstoffen aus Presssäften von chloroplastenreicher Biomasse“ (CRB), Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien, 2005.

4.3 Themenstellung und Fokus der Forschungsarbeiten

Im gegenständlichen Forschungsprojekt wurde eine Reihe von Themenbereichen behandelt, die wie folgt gegliedert wurden:

- (1) Primäre Fraktionierung und Prozessintensivierung;
- (2) Abtrenntechnologien für die Wertstoffe Milchsäure und Aminosäure – Schwerpunkt Chromatographie;
- (3) Nutzung der Grasfaserfraktion: Einsatz der anfallenden Grasfaserfraktion für mögliche Produkte in den Anwendungsbereichen (i) Kulturmedium für den gewerblichen Gartenbau (Torfersatz) und (ii) Erosionsschutz und Begrünungsmedien für den Landschaftsbau;
- (4) Vermarktungspotential der Schlüsselprodukte der Bioraffinerie, Erlöspotential und Wirtschaftlichkeit;
- (5) Vorbereitungen für die Etablierung einer Pilotanlage – Vorschlag einer konkreten Prozessverschaltung.

Ad 1 Primäre Fraktionierung und Prozessintensivierung

Gegenstand dieser Arbeiten war die Bereitstellung ausreichender Mengen an Grassilagepresssäften bzw. Grasfaserfraktionen, die Verifikation bisher erzielter Ergebnisse im Bereich der mechanischen Fraktionierung, sowie die Evaluierung möglicher Ansätze zur Intensivierung der Basisprozesse der Grünen Bioraffinerie. Ziel dieser Arbeiten war eine Maximierung der Ausbeuten der anfallenden Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren. Gleichzeitig sollten die Eigenschaften der Faserfraktion möglichst erhalten bleiben. Die Resilierung des Presskuchens wurde hinsichtlich der Machbarkeit und Erhöhung der Ausbeute an Milchsäure untersucht.

Ad 2 Abtrenntechnologien für Wertstoffe

Gegenstand war die Weiterentwicklung der Prozesstechnologie zur Abtrennung von Wertstoffen (Milchsäure, Aminosäuren) aus den Silagepresssäften, wobei der Fokus der Arbeiten auf die aussichtsreichen aber bisher noch nicht untersuchten **„chromatographischen Abtrennverfahren“** gelegt wurde. Die Zusammensetzung von Silagesäften zeigt hohes wirtschaftliches Potential (Milchsäure, Aminosäuren). Im Rahmen bisheriger „Fabrik der Zukunft“ Ausschreibungen konnten zwar bereits wesentliche Verfahrensvarianten zur Abtrennung der Wertstoffe (Milchsäure und Aminosäuren) erfolgreich getestet werden, aussichtsreiche *chromatographische Abtrennverfahren* konnten darin jedoch bislang *noch nicht entwickelt werden*. Diese Arbeiten schlossen daher nahtlos an die Vorprojekte an.

Ad 3 Nutzung der Grasfaserfraktion

Die Eignung der in einer Grünen Bioraffinerie anfallenden Faserrückstände als Rohstoff für Torfersatzprodukte für den gewerblichen Gartenbau bzw. für Erosionsschutz- und Begrünungsprodukte für den Landschaftsbau wurde gemeinsam mit Firmenpartnern untersucht. Diese Arbeiten erfolgten vor dem Hintergrund der Resultate von Vorarbeiten. Demnach ist sowohl im gewerblichen Gartenbau als auch im Landschaftsbau (GALA-Bau) eine Reihe von Produkten im Einsatz, bei denen im Prinzip Grasfasermaterialien eine wesentliche Rohstoffkomponente darstellen könnten. Basierend auf grundlegenden Untersuchungen zur Charakterisierung der pflanzenbaulich relevanten Eigenschaften der Grasfaserrückstände zielten die Untersuchungen darauf ab, ein geeignetes Pflanz- bzw. Kulturmedium sowie ein Erosionsschutz- und Begrünungsmedium zu entwickeln.

Der Fokus der Produktentwicklung im Bereich *Kulturmedien für den gewerblichen Gartenbau* wurde mit der Firma Herneth definiert. Der Anwendungsbereich *Erosionsschutz und Begrünung* wurde gemeinsam mit den Firmen Hydrogreen und Aquasol konkretisiert.

Ad 4 Vermarktungspotential der Schlüsselprodukte der Bioraffinerie, Erlöspotential und Wirtschaftlichkeit

Die durchgeführten Arbeiten beschreiben das Vermarktungspotential der Schlüsselprodukte Milchsäure und Aminosäuren. Der Schwerpunkt lag in diesem Zusammenhang bei den Aminosäuren, welche – die entsprechende Qualität vorausgesetzt – auch in lukrativen „High-grade“ Anwendungen vermarktet werden könnten.

Ad 5 Vorbereitungen für die Etablierung einer Pilotanlage

Dieses Projekt ist ein wichtiger Baustein bei der Entwicklung der Abtrenntechnologie der Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren. Auf Basis dieser Ergebnisse und bereits abgeschlossener Projekte wird eine Prozessverschaltung erstellt, welche für die Etablierung einer Pilotanlage empfohlen wird.

Aus der Sicht des Gesamtprojektes lag der Themenschwerpunkt im Bereich der chromatographischen Trennverfahren für die Wertstoffe Milchsäure und Aminosäure im Besonderen.

Essentieller Meilenstein in der Technologieentwicklung war die Konkretisierung der Prozessverschaltung für die Errichtung einer Pilotanlage zur Technologie der Grünen Bioraffinerie.

4.4 Einpassung in die Programmlinie Fabrik der Zukunft

Eine detaillierte Argumentation der Einpassung der Grünen Bioraffinerie betreffend der Ziele sowie der Leitprinzipien des Förderprogrammes wurde in einem eigenen Kapitel (Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie) zusammengestellt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Grüne Bioraffinerie ein „Leuchtturmprojekt“ des Förderprogramms „Fabrik der Zukunft“ ist, welches beispielhaft für die Ausrichtung der Programmschiene steht:

Auf Basis eines nachwachsenden Rohstoffes (Gras) werden durch innovative Technologie zukunftsweisende Produkte (Milchsäure, Aminosäuren und Energie) gewonnen. Die Nachhaltigkeit des Ansatzes ergibt sich dabei auf verschiedenen Ebenen:

- (1) Rohstoff Gras – eine extensive und nachhaltige landwirtschaftliche Kultur, die viel Potential im allgemeinen Fruchtwechselzyklus hat;
- (2) im Prozess selbst – kaskadische Nutzung durch einen Mehrproduktansatz; Vermeidung von Prozessen mit gefährlichen oder problematischen Nebenprodukten; Verwertung etwaiger biogener Abfälle durch anaerobe Fermentation;
- (3) sozio-ökonomische Effekte – durch die Implementierung der Technologie ergibt sich ein wesentlicher Stimulus für den ländlichen Raum;
- (4) Kreislaufschließung – durch den Biogasprozess werden wichtige Nährstoffe und Spurenelemente wieder in die Primärproduktion integriert.

4.5 Aufbau des Berichts

Dieser Endbericht ist gemäß den jeweiligen Themenbereichen in Kapitel gegliedert. Diese Gliederung entspricht nicht der ursprünglichen Einteilung bzw. Zuordnung der Forschungsarbeiten zu den einzelnen Arbeitspaketpaketen, allerdings wird die Struktur und Ergebnisdarstellung übersichtlicher und leichter lesbar. Die Methodik der einzelnen Forschungsfragestellungen ist unterschiedlich und wurde ebenso wie die Ergebnisse und die Diskussion in die Einzelkapitel des Berichtes inkludiert.

Wesentliches Projektziel war die Entwicklung und Spezifizierung einer geeigneten Prozesstechnologie für eine Pilotanlage der Grünen Bioraffinerie. Für die Schlüsselprodukte wurden auch Marktdaten, sowie geeignete Vermarktungssegmente identifiziert und dargestellt. Für das Vermarktungspotential von Aminosäuren wurde eine Marktrecherche des Projektpartners Fa. Gradient GmbH durchgeführt, welche ungekürzt als Anhang angeschlossen ist. Allgemeine Fragestellungen, die im Zusammenhang mit der Förderschiene Fabrik der Zukunft stehen, werden im *Kapitel 12* behandelt. Die Nutzenargumente und das Umsetzungspotential der Technologie der Grünen Bioraffinerie wurden zusammenfassend dargestellt.

Die Anhänge dieses Berichts bestehen aus

Teil B

- Annex A: Ergebnistabellen der durchgeführten Chromatographieversuche
- Annex B: Marktstudie der Fa. Gradient zu Aminosäuren.

Teil C

- Marktrecherche zu Aminosäuren und deren Anwendungen

5 Ziele des Projektes

Das gegenständliche Projektvorhaben hat folgende Ziele

1. Durchführung Trennversuchen für die im Silagesaft enthaltenen Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren auf Basis chromatographischer Methoden.
2. Prozessintensivierung: Optimierung der Ausbeuten vom Milchsäure und Aminosäure im Presssaft.
3. Evaluierung des Einsatzpotentials für die in der Grünen Bioraffinerie anfallenden Faserfraktion im Anwendungsbereich Begrünung und Landschaftsbau.
4. Evaluierung des Einsatzpotentials der Faserfraktion als Pflanzsubstrat im gewerblichen Gemüsebau.
5. Konkretisierung des Einsatzmöglichkeiten der zwei Schlüsselprodukte Milchsäure und Aminosäuren und Abschätzung des Vermarktungspotential.
6. Anpassen der wirtschaftlichen Kennzahlen.
7. Entwicklung einer Prozessabfolge als Grundlage einer zu errichtende Pilotanlage.

Es wurden alle Projektziele erreicht, allerdings wurden in den einzelnen Themenbereichen durchaus differenzierte Ergebnisse generiert.

6 Strategien zur Prozessintensivierung

6.1 Einleitung

Generelles Ziel war die Intensivierung der primären Fraktionierung mit dem Ziel einer Maximierung der Ausbeuten der in einer Grünen Bioraffinerie anfallenden Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren bei gleichzeitig optimaler Qualität der anfallenden Faserfraktion.

Das Arbeitspaket beinhaltet Aktivitäten zu folgenden Themenbereichen:

1. Optimierte Herstellung von Rohstoffen (Silage)
2. „Mechanische Fraktionierung“ der primären Rohstoffe *Grassilage* bzw. *Luzerne-Silage* in eine flüssige Phase (Presssaft) und in eine feste Phase (Presskuchen) mit dem Ziel einer maximalen Ausbeute an Milchsäure und Aminosäuren in der flüssigen Phase bei gleichzeitiger Erhaltung der Fasereigenschaften auf möglichst hohem Niveau. Dieses Arbeitspaket soll einerseits die Bereitstellung der erforderlichen Saftmengen für die Abtrennversuche garantieren sowie die Grasfasermengen für die Arbeiten im Bereich Torfersatz und Begrünungsversuche bereitstellen. Bei einer wiederholten mechanischen Fraktionierung sollten die bis dato vorliegenden Ergebnisse der bereits optimierten mechanischen Fraktionierung verifiziert werden.
3. Durchführung von „Resilierungsversuchen“ zur Überprüfung der Möglichkeit, durch ein erneutes Silieren des Presskuchens aus der primären Silage zusätzliche Milchsäure aber auch andere Wertstoffe, insbesondere Proteine und Aminosäuren, zu gewinnen und dadurch die Gesamtausbeute an Milchsäure und anderen Wertstoffen signifikant zu erhöhen.
4. Durchführung von Grundlagenversuchen zur Aufbereitung der im Presskuchen enthaltenen Faserfraktion, und zwar im Hinblick auf möglichst optimale Eigenschaften als Faserrohstoff für die in den beiden Faserprodukte „Torfersatz“ sowie „Erosionsschutz- und Begrünungsmedien“ für den Einsatz im gewerblichen Gartenbau bzw. in der Ingenieurbiologie (Landschaftsbau).
5. Analytische Begleituntersuchungen zu den vier thematischen Ebenen.

Für die Forschungsarbeiten in diesem Projekt waren keine zusätzlichen Mengen an Presssaft sowie Presskuchen erforderlich; es waren tief gefrorene Presssäfte sowie getrocknete Faserfraktionen, welche aus bereits abgeschlossenen Projekten generiert wurden, für die Versuche in ausreichenden Mengen vorhanden.

Die Verifizierung der bereits vorhandenen Ergebnisse im Bereich der Silierung des Rohstoffs Gras sowie die Bestätigung der Verfahrensparameter für den Prozess der mechanischen Fraktionierung (Abpressen) waren laut Projektantrag vorgesehen. Dies erfolgte unter der Annahme, dass weitere frische Rohstoffe (Saft und Fasern) für die erfolgreiche Bearbeitung der Saftabtrennversuche sowie der Faserprodukte (Torfersatz und Begrünung) erforderlich wären. Im tatsächlichen Projektverlauf hat sich aber gezeigt, dass mit konservierten Faser-

bzw. Saftvorräten aus dem vorhergegangenen Projekt bis das Auslangen gefunden wurde. Aus diesem Grund wurden keine weiteren Pressversuche durchgeführt.

6.2 Resilierung des Presskuchens

Die Ergebnisse orientierender Versuche zur Resilierung des Presskuchens werden folgend kurz dargestellt.

Es wurden Rückstellmuster an Faserfraktionen für mehrere Resilierungsversuche verwendet, welche in luftdichten Kunststoffbehältnissen durchgeführt wurden. Dabei wurden in den Vorversuchen zwei verschiedene Bereiche ausgelotet:

- 1) Resilierung durch Zugabe einer Zuckerquelle (Molke) und eines Silagestarters
- 2) Resilierung durch Zugabe eines Enzyms sowie Silagestarters.

Bei beiden Versuchsanordnungen wurden Silagestarter beigemischt, um durch eine Beimischung mit den richtigen Bakterienstämmen den Silageprozess von Beginn an in die richtige Richtung zu lenken.

Bei den Resilierungsversuchen mit Zuckerzusatz wurde davon ausgegangen, dass eine zuverlässige Resilierung ausschließlich auf Basis des noch enthaltenen Restzuckers im Presskuchen nicht verlässlich funktioniert. Dies ist realistisch, da Ergebnisse aus der Optimierung des Abpressprozesses gezeigt haben, dass der Restzuckergehalt im Presskuchen starken Schwankungen unterliegt. Restzucker im Presskuchen liegt nur dann vor, wenn der Zuckergehalt im Gras zu Beginn sehr hoch ist (z.B. Erntezeitpunkt Frühsommer), sodass eine Selbsthemmung des Silageprozesses durch die Bildung der Milchsäure eintritt, bevor alle verfügbaren löslichen Zucker in Milchsäure umgewandelt werden.

Es ist zu erwarten, dass bei Biomassen mit moderaten oder niedrigen Zuckergehalten (z.B. Ernte im Herbst) beinahe alle löslichen Zucker beim Silageprozess in Milchsäure umgewandelt werden, sodass Zucker ein limitierender Faktor für die Milchsäuregärung ist. Nennenswerte Restzuckermengen sind dann im Presskuchen nicht zu erwarten, da diese zusätzlich beim Abpressen in den Saft übergeführt werden und nur ein kleiner Anteil im Presskuchen verbleibt.

Auf Basis dieser Überlegungen wurde eine großtechnische Anwendung dieser Prozessalternative als nicht zweckmäßig beurteilt und es wurden daher keine Vorversuche zur Resilierung auf Basis des verfügbaren Restzuckers im Presskuchen durchgeführt.

Resilierung mit beigemischten Enzymen hat eine andere Stoßrichtung. Dabei geht man davon aus, dass der für den Silageprozess erforderliche Zucker durch eine enzymatische Hydrolyse der im Presskuchen enthaltenen Hemizellulose entsteht, welcher folgend für die Vergärung zu Milchsäure verwendet werden kann. Diese „Verzuckerung“ von Hemizellulose ist Gegenstand intensiver internationaler Forschungsaktivitäten, die vor allem auf eine weitere Vergärung des gebildeten Zuckers in Richtung Bioethanol abzielen. In den USA, aber auch auf europäischer Ebene laufen hochdotierte Förderprogramme, die auf die Entwicklung

von geeigneten Enzymen zur Realisierung des „cellulose-based bio-ethanol“ abzielen. Da die Enzyme ein essentielles Additiv für diesen Prozess darstellen, sind vor allem Enzyme mit einem guten Preis–Leistungs-Verhältnis erforderlich.

Im gegenständlichen Projektvorhaben wurde versucht, auf verschiedene Enzyme, die seitens anderer Forschungspartner entwickelt wurden, zuzugreifen, und ihre Eignung für eine etwaige Verzuckerung des Presskuchens zu testen. Die Anwendung von Enzymen wurde im Rahmen des Projekts auch zusätzlich aus der wirtschaftlichen Perspektive evaluiert. In den Vorversuchen wurde auf zwei Enzyme einer ausländischen Enzymfirma zugegriffen, welche für diese Anwendung empfohlen sind.

6.2.1 Versuche zur Resilierung

Die Versuche zur Resilierung wurden mit dem Projektpartner IFA Tulln durchgeführt.

6.2.1.1 Methodik der Resilierungsversuche

Die Resilierungsversuche wurden mit zwei Grasfaserfraktionen durchgeführt: Klee gras und Luzerne-Grasmischung. Verwendet wurde jeweils der frische Presskuchen nach einer zweifachen Abpressen (Presskuchen 2).

Der frisch abgepresste Presskuchen (ca. 50 % TS-Gehalt) wurde für die Resilierungsversuche erneut auf einen für den Silageprozess günstigen TS-Gehalt von ca. 30 % befeuchtet. Dafür wurde eine Lösung aus Leitungswasser und den Additiven

- a) Molkekonzentrat und Silagestarter, sowie
- b) Enzymprodukt und Silagestarter verwendet.

Die Mischung des Presskuchens mit der wässrigen Phase erfolgte durch längeres händisches Kneten und Rühren. Die fertige Mischung (ca. 5 kg pro Probe) wurde in Folge chargenweise in einen festen Kunststoffeimer gefüllt, welcher zusätzlich mit einer Kunststoffmembran ausgelegt war. Die einzelnen Faserchargen wurden mittels einer kleinen Stempel- presse im Eimer schrittweise verdichtet, damit sich keine Lufteinschlüsse bildeten. Die rand- voll gefüllten Eimer wurden einerseits mittels der Membran sowie zusätzlich mit luftdichten Deckeln verschlossen. Die beschriebene Methodik hat sich im Labormaßstab als geeignetes Verfahren für Silageversuche an der IFA Tulln bewährt.

Zu drei verschiedenen Zeitpunkten wurden ausgewählte Analyseparameter an den Proben bestimmt:

T0 – Beginn, T25 – nach 25 Tagen und T76 – nach 76 Tagen Versuchsdauer.

Verwendete Chemikalien

Silagestarterkultur: Bonsilage (Fa. Schaumann); Dosierung 1 g/t FM

Enzym 1 MethaPlus L 100; Enzym 2: Produkt D (Fa. Biopract); Dosierung von 100 g/t FM

Molke: Süßmolkekonzentrat der Fa Lactoprot; laut Herstellerangaben: pH 6,4 bis 6,7; Lactosegehalt 66 – 70 % i.d. TM, fettfreie TM 18 – 36 %.

Einstellung des Trockengehalts

Bei den Versuchen mit Molkezusatz: 16 kg Presskuchen plus 4 Liter Molke plus 1 Liter Leitungswasser, in welches der Silagestarter aufgelöst wurde.

Bei den Versuchen mit Enzymbeigabe: 16 kg Presskuchen plus 5 Liter Leitungswasser, in welches der Silagestarter und die Enzymgabe aufgelöst wurde.

6.2.1.2 Versuche mit Beimengung von Molkezusatz

In *Abbildung 6-1* und *Abbildung 6-2* sind ausgewählte Analyseparameter für die resilierten Presskuchen Klee-Gras und Luzerne-Gras Mischung dargestellt.

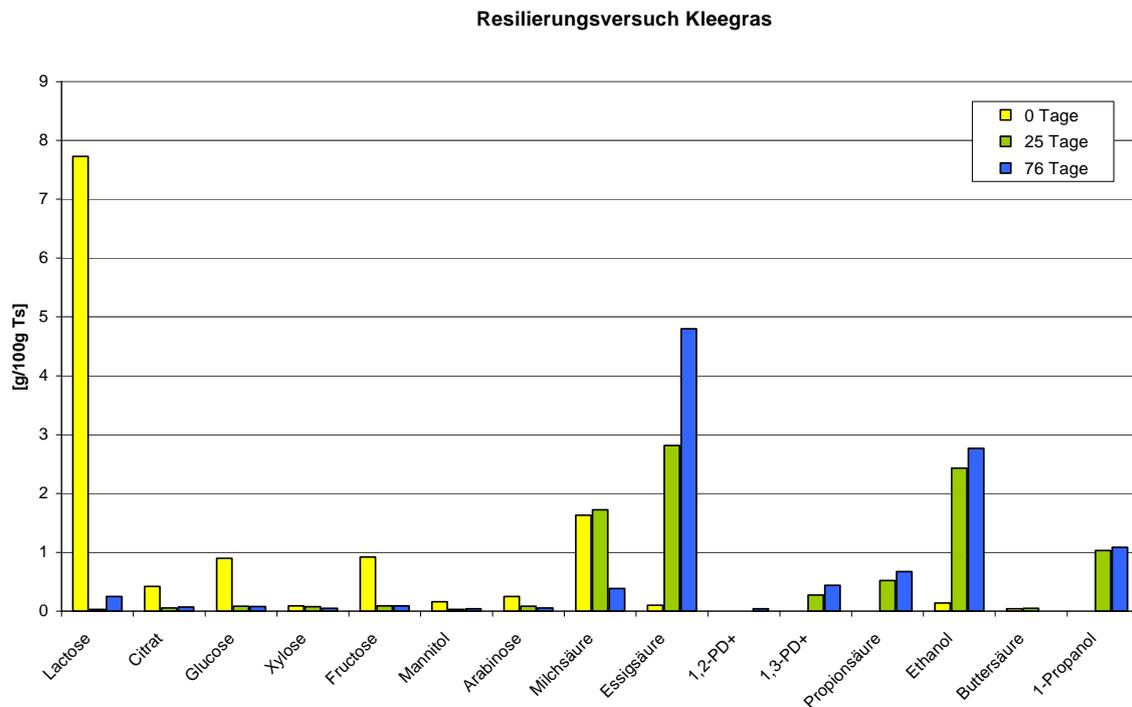


Abbildung 6-1: Verlauf der Resilierung von Klee-Gras mit Beigabe von Molke

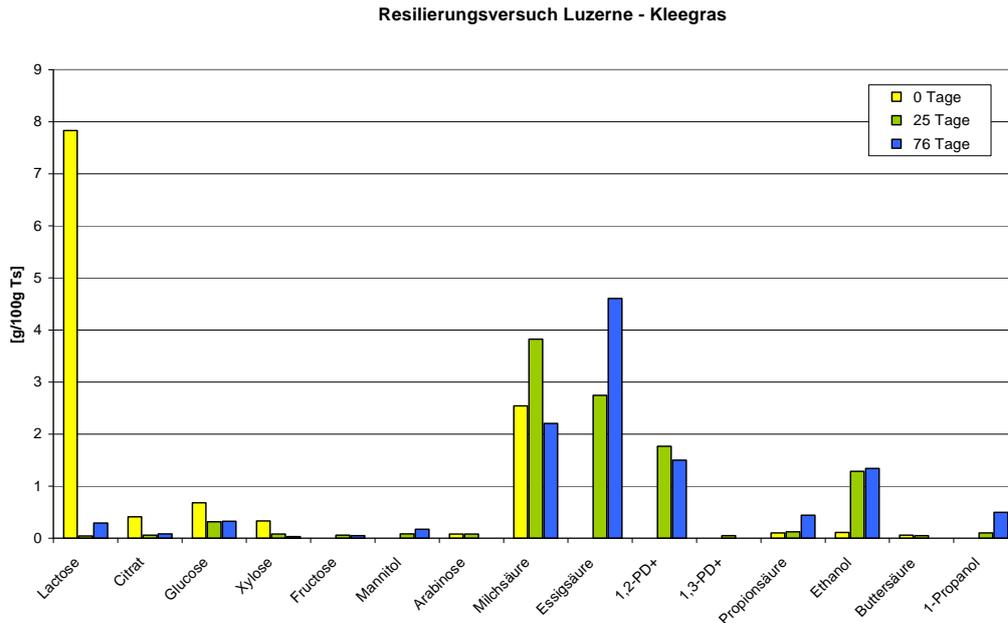


Abbildung 6-2: Verlauf der Resilierung von Luzerne-Klee gras mit Beimengung von Molke

Die Daten zeigen folgende Charakteristik

- Die Beimischung eines Molkekonzentrates mit der Zuckerquelle Lactose in die Faserfraktion hat in beiden Proben gut funktioniert.
- Die Analysewerte zeigen für den Beginn der Resilierungsversuche (T0) auch Restmengen an Fruktose sowie Milchsäure auf.
- Zum Zeitpunkt der ersten Beprobung (nach 25 Tagen) zeigen beide Proben ein einheitliches Bild. Der ursprünglich vorhandene Zucker existiert nicht mehr. Es wurde offenbar Milchsäure gebildet, allerdings entstanden ebenso auch andere Stoffwechselprodukte wie Essigsäure, sowie auch nennenswerte Mengen Ethanol oder teilweise 1,2 Propandiol.
- Bei der zweiten Beprobung zeigte sich, dass der Essigsäuregehalt weiter zunimmt und die anderen Stoffgruppen eher konstant bleiben. Die Ausnahme ist der Milchsäuregehalt. Dieser nimmt im Beprobungsintervall im Vergleich zum Messwert T25 drastisch ab.

6.2.1.3 Versuche mit Beimengung von Enzymen

Zum Einsatz kamen zwei Enzyme der Fa. Biopract (D). Die Beimengung des Enzyms erfolgte gemäß Herstellerempfehlung in einer Dosierung von 100 g/t Frischmasse. Die Zusammensetzung des Enzymprodukts besteht laut Produzent aus einer Mischung (Cellulase, β -Glucanase, und Xylanase). Die Herstellung der Probemischungen und die Resilierung erfolgten in Analogie zu den Resilierungsversuchen mit Molke mit dem Unterschied, dass eben anstatt der Zuckerquelle (Molke) das Enzymprodukt beigemischt wurde.

Die erhaltenen Daten zeigen folgende Charakteristik

- Die Proben sind zum Zeitpunkt T0 vergleichbar mit den Ergebnissen mit Molke (natürlich fehlt der Lactose-Peak zum Zeitpunkt T0).
- Geringfügig enthaltene freie Zucker sind im späteren Verlauf praktisch kaum nachweisbar.
- Der weitere Verlauf der Fermentation zeigt einen deutlichen Anstieg der Essigsäure vom Beginn bis zum Tag 25 sowie weiter bis zum Tag 76.
- Ebenso parallel dazu steigt der Gehalt an Ethanol und Propionsäure an, allerdings nicht in der gleichen Größenordnung wie bei der Essigsäure.
- Die noch im Presskuchen enthaltene Milchsäure, bleibt im Luzerne-Klee gras-Ansatz zum Zeitpunkt T25 konstant, im Klee gras-Ansatz sinkt diese bereits auf die Hälfte der Konzentration zum Zeitpunkt T0. Zur zweiten Beprobung (76 Tage) hat die Milchsäurekonzentration jedenfalls stark abgenommen (ca. ein Drittel der Ausgangskonzentration).
- Die Veränderungen der Konzentrationen sind in Summe bei den mit Enzym durchgeführten Proben etwas geringer als beim Molkezusatz.

Die Ergebnisse der Analytik sind in

Abbildung 6-3 und

Abbildung 6-4 visualisiert.

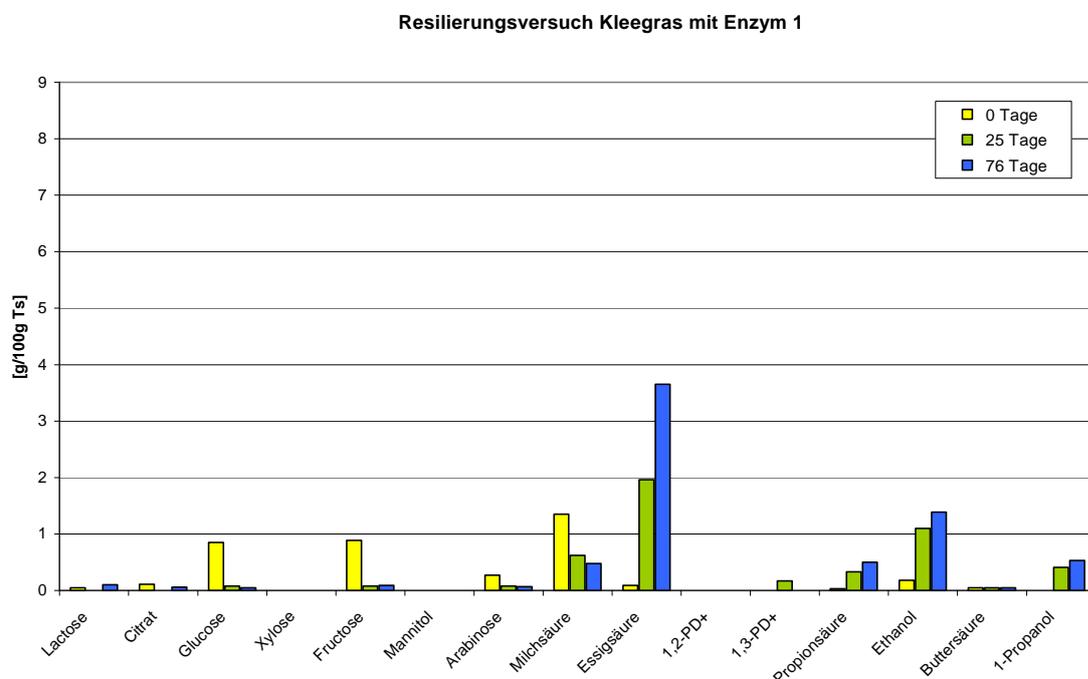


Abbildung 6-3: Verlauf der Resilierung von Klee gras mit Enzymbeigabe

Resilierungsversuch Luzerne- Klee gras mit Enzym 1

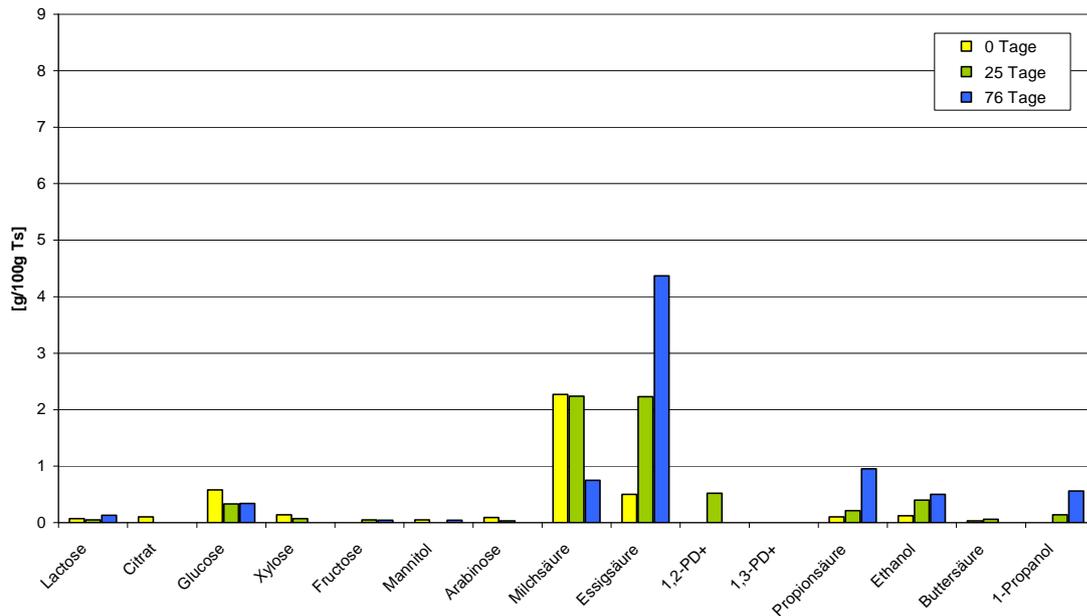


Abbildung 6-4: Verlauf der Resilierung von Luzerne-Klee gras mit Enzymbeigabe

6.2.1.4 Interpretation der Versuche zur Resilierung des Presskuchens

Für die Resilierungsversuche mit Beimengung von Molke wurde erwartet, dass die bereitgestellten Zucker (Lactose) im Zuge der Festbettfermentation primär zu Milchsäure umgewandelt werden, zumal eine Beimpfung der Faserfraktion durch homo-fermentative Milchsäurebakterien erfolgte (Silagestarter). Die Ergebnisse zeigen aber eindeutig auf, dass die homo-fermentativen Bakterien für Milchsäure offenbar ins Hintertreffen geraten sind, da auch andere Stoffwechselprodukte wie Essigsäure und Ethanol gebildet wurden. Es besteht die Vermutung, dass eine nennenswerte Menge an Milchsäure gebildet wurde, die allerdings parallel dazu durch eine andere Bakteriengruppe zu Essigsäure oder Ethanol umgewandelt wurde. Es könnte eine Hemmung der homo-fermentativen Bakterien bereits zu Beginn des Resilierungsversuches eingetreten sein, da der Ausgangs-pH-Wert im Bereich 4,3 – 4,4 recht niedrig lag. Für weitere Versuche wäre eine Anhebung des pH-Wertes vor Inokulierung in den Bereich 6 – 6,5 empfehlenswert. Das eigentliche Ziel der Versuche, nochmals eine nennenswerte Menge an Milchsäuremengen zu produzieren, wurde jedenfalls nicht erreicht.

6.2.2 Faseraufbereitung für die Versuchsreihe Begrünungsversuche bzw. Torfersatz

Die Eigenschaften der vorhandenen Grasfasern wurden mit den eingebundenen Wirtschaftspartnern (Fa. Herneth, Aquasol und Hydrogreen) aus dem Blickwinkel der Eignung als Rohstoff für die geplanten Faserprodukte evaluiert.

Die vorliegende Feinheit, insbesondere der Faserfraktionen, die durch eine nachgeschaltete, weitergehende Zerkleinerung generiert wurde, war für die Anwendungsbereiche geeignet. Für den Einsatzbereich Anspritzbegrünung wurde durch einen Grundsatzversuch die

Düsengängigkeit der Faserfraktion getestet und bestätigt. Eine weitergehende Ausfaserung ist in diesem Zusammenhang nicht erforderlich.

Für den Einsatz der Grasfaserfraktion im Bereich Torfersatz wurden zusätzlich Grundlagenversuche (Keimversuche, Substratversuche etc) durchgeführt. Aussagen über das biologische Abbauverhalten wurden durch keine eigene Versuchsreihe bestimmt, sondern im Rahmen der Anwendungen der Grasfasern beurteilt.

6.2.3 Wasseraufnahmevermögen

Die Fähigkeit der Wasserspeicherung (Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit) der Grasfasern ist für beide geplanten Anwendungen im Projekt relevant. In früher abgeschlossenen Projekten wurde der Quellwert der Fasern bereits erhoben (Methodik gemäß DIN 53814). Bei diesem Verfahren wird eine vollständige Oberflächenentwässerung und Zerstörung aller im Probekörper enthaltenen Wasserlinsen mittels Zentrifugieren durchgeführt. Für die beiden Anwendungsfälle *Begrünungsvlies* und *Torfersatz* ist diese Methodik ungeeignet, da die Wasserspeicherung in Wasserlinsen innerhalb des Faserkörpers relevant ist. Aus diesem Grund wurde eine Versuchsreihe durchgeführt, die die Wasserspeicherung der Fasern in einem Faserschutzkörper aufzeigt. Dabei wurde folgende Methodik angewandt.

Eine Einwaage von ca. 150 g Fasern wurde in feinmaschigen Drahtkörben händisch zu einer Fasermatte gelegt und diese mittels einer Auflast ($0,38 \text{ N/cm}^2$ auf 30 sec) verdichtet. Der Faserkörper wurde für den Zeitraum von 30 min. eingestaut. Ein Aufschwimmen der Fasern wurde durch eine Überdeckung mittels eines Gitters verhindert. Vor dem Einstau erfolgte eine Trockenwägung (Einwaage Trocken M_{tr}). Nach der Bewässerung von 30 min folgte ein Abrinnen des Faserkörpers über einen Zeitraum von 60 min. Danach wurde eine Feuchtwägung (M_f) durchgeführt.

Die relative Wasseraufnahme wurde gemäß folgender Gleichung errechnet.

$$WA_{[\%]} = \frac{(M_f - M_{tr}) \cdot 100}{M_{tr}}$$

WA	Wasseraufnahme [%] bezogen auf Ausgleichsfeuchte (ca. 90 %TS)
M_f	Masse [g] der feuchten Grasfaserprobe nach 30 min Einstau
M_{tr}	Masse [g] der trockenen Faserprobe (bei Ausgleichsfeuchte)

Die ermittelten Werte für die relative Wasseraufnahme [%] entsprechen auch der absoluten Wasseraufnahme [g] bezogen auf 100 g trockene Grasfasermenge (bei Ausgleichsfeuchte).

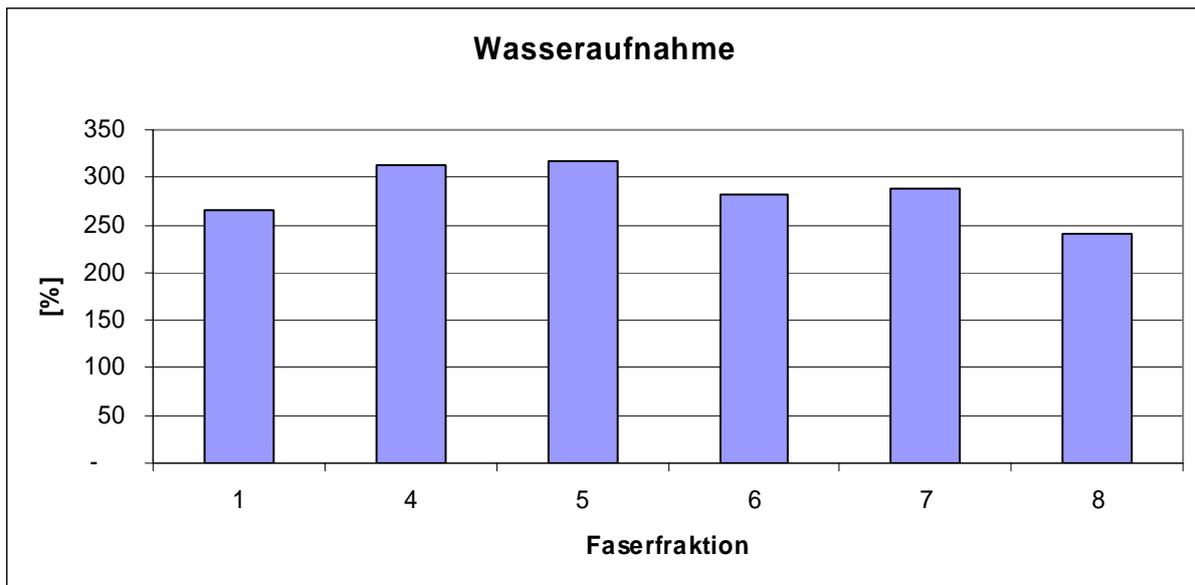


Abbildung 6-5: Wasseraufnahme verschiedener Faserfraktionen im Vergleich

Die Graphik zeigt das Wasseraufnahmeverhalten verschiedener Grasfaserfraktionen im Vergleich. Die Werte liegen bezogen auf die Ausgleichsfeuchte der Faser zwischen 240 bis 317 %. Die Faserfraktionen 4 und 5 sind relativ fein. Es ist dies eine Faserfraktion, die durch ein thermo-mechanisches Zerfaserungsverfahren gewonnen wurde. Die niedrigeren Werte im Bereich von 250 % wurden an Fasern der Fraktion 1 und 8 ermittelt, welche im Vergleich zu Fraktion 4 und 5 relativ grob sind. Wird die Wasseraufnahme auf den Trockensubstanzgehalt umgelegt, so erhöhen sich die Werte um ca. 10 %.

Im Vergleich zu den im abgeschlossenen Projekt (*Mandl et al. 2006*) ermittelten Kennzahlen zur Wasseraufnahme bzw. zum Wasserrückhalt gemäß der Methode nach DIN 53814 liegen diese Werte deutlich höher (ca. um den Faktor 2). Die Werte für den Wasserrückhalt nach DIN für Faserfraktionen ähnlich der Fraktion 1 und 8 im Bereich von 150 – 160 %. Es ist anzunehmen, dass der Unterschied von ca. 150 % jenem Wasseranteil entspricht, welcher bei der DIN-Methode durch Zentrifugieren aus der Fasermatrix entfernt wird.

7 Abtrenntechnologien für die Wertstoffe der flüssigen Fraktion (Milchsäure, Aminosäuren)

Der Berichtsteil für das Modul 2 wurde von Prof. DI Dr. Senad Novalin, DI Thomas Zweckmair und Dr. Vu Hong Thang von der Universität für Bodenkultur Wien, Department für Lebensmittelwissenschaften und -technologie, verfasst.

7.1 Einleitung und Ziele

Die Gewinnung von Milchsäure und Aminosäuren aus Grassilagesäften wurde teilweise bereits im Rahmen eines vorhergehenden Projektes „Grüne Bioraffinerie – Entwicklung von Schlüssel-Trenntechnologien zur Gewinnung von Milchsäure und anderen Wertsstoffen aus Silagesäften“ erforscht (Novalin 2005). Im Wesentlichen wurden dabei die Einsatzmöglichkeiten und die entsprechenden technologischen Potentiale der druckgetriebenen Membranverfahren Ultrafiltration und Nanofiltration sowie der Elektrodialyse untersucht. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass aufgrund der Inhaltsstoffe und der Komplexität der Rohlösung (Grassilagesaft) eine einfache, verfahrenstechnische Lösung zur Abtrennung und Gewinnung der Wertsstoffe aus Grassilagesäften kaum möglich ist. Dementsprechend wurden mehrere Prozessvarianten (verschiedene Kombinationen unterschiedlicher Verfahren) diskutiert und dargestellt. Weiters haben die Untersuchungen gezeigt und bestätigt, dass zur Gewinnung einzelner Substanzen oder bestimmter Stoffgemische mit entsprechenden, geforderten Reinheitsgraden (zumindest Lebensmittelqualität) chromatographische Trennmethode erforderlich sind. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es im Rahmen des oben angeführten Projektes, aufgrund kaum verfügbarer Daten über die chromatographische Trennung von Substanzen aus Grassilagesäften, nicht möglich war, eine Gesamt-Technologie zur Isolierung und Gewinnung von Produkten vorzuschlagen. Darüber hinaus ist die Chromatographie auch im Zusammenhang mit einer nachhaltigen (technologischer) Entwicklung für die Grüne Bioraffinerie von Bedeutung.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit zeigten die Untersuchungen, welche Möglichkeiten bestehen, mittels chromatographischer Trennmethode Wertsstoffe aus Grassilagesäften zu isolieren bzw. zu gewinnen. Im Vordergrund des Interesses stand dabei die Abtrennung von Aminosäuren und Aminosäuregemischen. Die Ergebnisse bilden eine Grundlage für die Diskussionen über die technologische Gesamtsituation des Themenfeldes „Gewinnung von Wertsstoffen aus Grassilagesäften“.

7.2 Stand der Technik und Forschung im Bereich chromatographische Abtrennung von Milchsäure

Im Zusammenhang mit der Isolierung und Gewinnung von Milchsäure mittels Chromatographie wurden im Rahmen einer Dissertation (Cramer 1995) umfangreiche Untersuchungen am Department für Lebensmittelwissenschaften und -technologie der BOKU durchgeführt.

Obwohl in dieser Arbeit die Abtrennung von Milchsäure aus Fermentationslösungen erforscht wurde, können viele Ergebnisse auch auf die Grüne Bioraffinerie übertragen werden. Darüber hinaus existieren kaum Literaturangaben bezüglich dieses Themengebietes und es gibt – soweit bekannt – auch keine großtechnischen Anlagen zur chromatographischen Trennung von Milchsäure.

7.3 Stand der Technik und Forschung im Bereich chromatographische Abtrennung von Aminosäuren

Im Wesentlichen lassen sich Chromatographie-Technologien zur Isolierung von reinen Aminosäuren in bereits etablierten Produktionsverfahren in die folgende Gruppen einteilen ^{1 2 3 4 5}

1. Ionenaustauschchromatographie
2. Ionenausschlusschromatographie mit Ionentauscherharzen ohne Ionenaustausch
3. Verdrängungschromatographie (*Barwe 2000; Schwedt*)
4. Chromatographie mit „analytik-grade“ Harzen (*Wendland; Novalin 2006; Schwedt 1994; Physicochem. Eng. Aspects 2003*)
5. Chromatographie mit Cu²⁺- bzw. Schwermetall- konditionierten Chromatographiesäulen
6. Adsorption an Zeolithe

Einzelne Aminosäuren werden heutzutage meist durch Fermentation gewonnen. Hier fällt nach der Abtrennung von Biomasse eine Fermentationsbrühe mit hohem Gehalt an einer bestimmten Aminosäure an. Neben dem gewünschten Produkt sind meist geringe Konzentrationen von weiteren Aminosäuren, Salzen, sowie Restsubstrat in der Fermentationsbrühe zu finden. Die führende Firma auf dem Gebiet der Herstellung und Gewinnung von Aminosäuren (Ajinomoto, Japan) beschreibt in einem US-Patent aus dem Jahre 1985 (4.714.767) die typische Anwendung von **Ionenaustauschchromatographie** (IEC) zur Reinigung von Lysin aus der Fermentationsbrühe. Die Lösung wird angesäuert, sodass die Aminosäuren als Kationen vorliegen. An großen Kationentauschersäulen werden die Aminosäuren adsorbiert (gebunden) und anschließend mit Ammoniaklösung eluiert. Die Nachteile des Prozesses sind der massive Chemikalieneinsatz, der Wasserverbrauch und die damit verbundene Energie aufwändige Verdampfung/Kondensation des überschüssigen Wassers im Eluat (*Journal of Chromatography 1997*). In *Abbildung 7-1* ist ein Prozess dargestellt, bei dem Aminosäuren mittels Ionenaustausch aus einem Aminosäuregemisch (Hydrolysat) abgetrennt werden.

¹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite> , Stand 14.11.2007

² <http://www.sciencedirect.com/>, Stand: 14.11.2007

³ <http://pubs.acs.org/journals/query/subscriberSearch.jsp>; Stand: 14.11.2007

⁴ <http://pubs.acs.org/journals/query/subscriberSearch.jsp>; Stand: 14.11.2007

⁵ <http://www.uspto.gov/patft/>; Stand: 14.11.2007

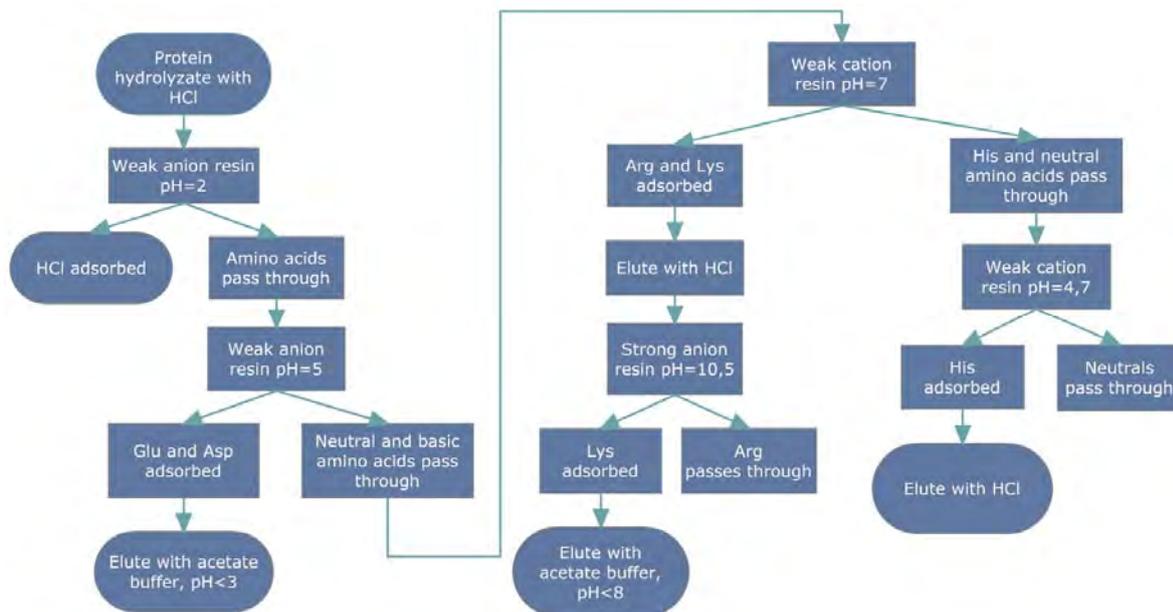


Abbildung 7-1: Ionenaustauerkaskade zur Gewinnung verschiedener Aminosäuren aus einem Hydrolyse-Gemisch

Weiters sei in *Abbildung 7-1* anhand eines Blockfließbildes die Gewinnung von L-Lysin dargestellt. Bei L-Lysin kommt neben der Kristallisation die Verwendung von Ionenaustauscherharzen zur Isolierung des Produktes zum Einsatz. Die Aminosäure wird an das Ionenaustauscherharz gebunden und im Anschluss z.B. mit Ammoniaklösung eluiert; wobei danach eine Aufkonzentrierung und Kristallisation von L-Lysin erfolgt. Ähnlich verhält sich die Situation bei L-Threonin und L-Tryptophan, bei denen wiederum Verfahrenskombinationen aus Kristallisation / Chromatographie zwecks Isolierung der reinen Aminosäure zum Einsatz kommen (*Flickinger 2004*).

Im Gegensatz zur Ionenaustauschchromatographie kommt es bei der **Ionenausschluss-Chromatographie** (IXC) zu keiner Adsorption (Bindung) durch Ionentausch. Bei der IXC an Kationenaustauschersäulen werden Kationen durch die schon vorhandene Beladung (Kationen mit einer starken Selektivität zur funktionellen Gruppe des Harzes) abgestoßen bzw. wechselwirken mit dem porösen Harz nicht in dem Maße und eluieren demzufolge als erstes (*Inkyu Lee, Enzyme and Microbial technology 30, 2002*).

Zusätzlich zu diesem Ionenausschlusseffekt (Donnan-Effekt) kommt es bedingt durch unterschiedliche Diffusion ins Harz und gesteigert durch die Länge der Säule zu einer Trennung von neutralen Substanzen. Das Hauptanwendungsgebiet dieser Technologie ist die Gewinnung von Zucker bzw. Invertzucker aus Melasse. Die Firma Amino GmbH., beispielsweise, wendet diesen Verfahrensschritt als ersten Schritt zur Gewinnung von Zucker und Aminosäuren aus Melasse an.

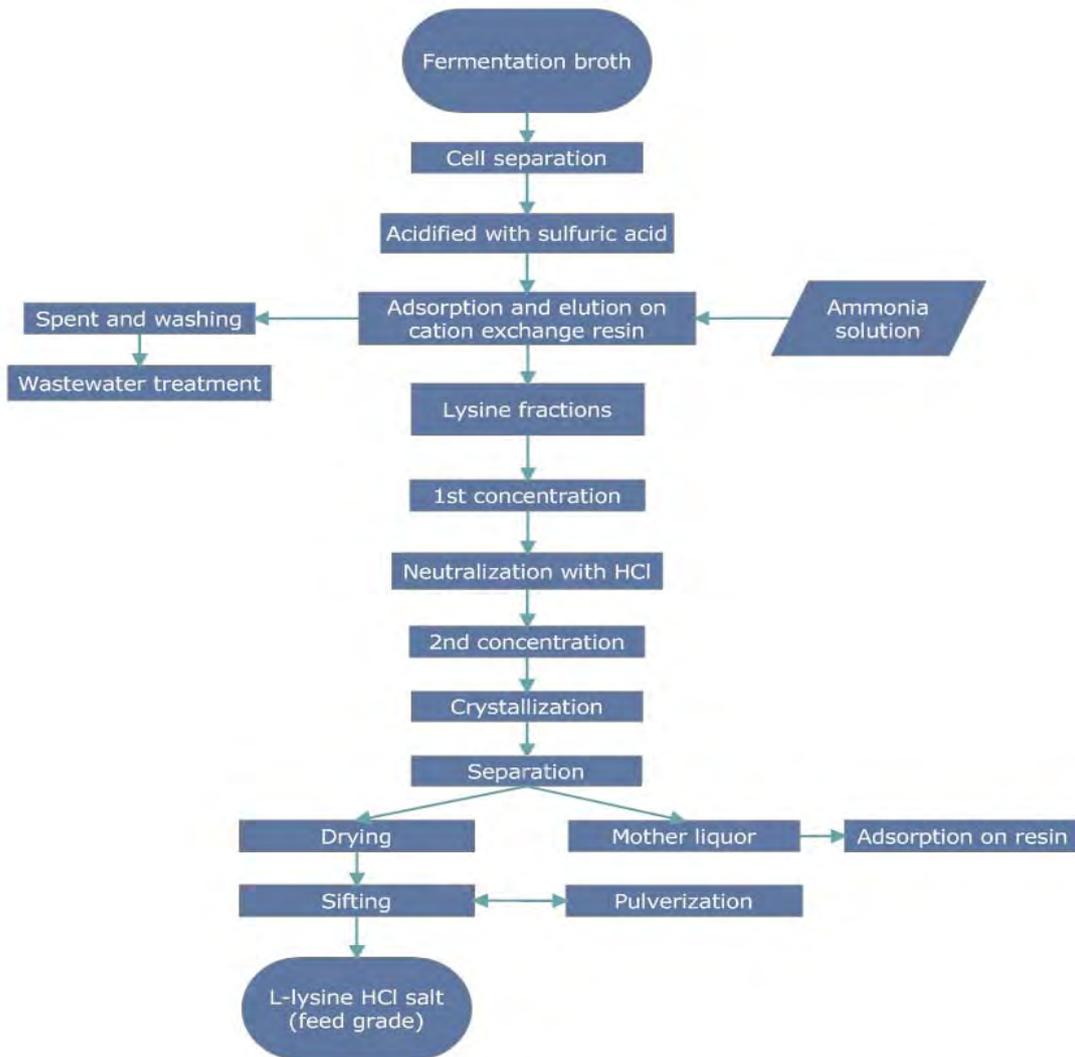


Abbildung 7-2: Verfahren zur Isolierung von L-Lysin aus Fermentationsbrühen (Flickinge 2004)

Eine spezielle Form der Ionenaustauschchromatographie ist die **Verdrängungschromatographie**. Hier wird zuerst die Ionenaustauschersäule (z.B. eine Kationenaustauschersäule in der H-Form) mit geladenen Aminosäuren beladen und dann mit einer Verdrängungseluatlösung (z.B. Ammoniaklösung) eluiert. Die Elution-Ionen verdrängen die Aminosäuren und wandern als Front die Säule herunter. Die verdrängten Aminosäuren verdrängen wiederum adsorbierte Aminosäuren mit geringer Selektivität zur funktionellen Gruppe des Harzes. Die Aminosäurekonzentrationen in den reinen Fraktionen können eine höhere Konzentration als die Ausgangslösung erreichen. Für eine funktionierende Verdrängungschromatographie ist ein Harz mit genau definiertem Korndurchmesser notwendig. Beste Trennergebnisse sind bei einer Korngröße von 30 Mikrometern zu erwarten. Neue Untersuchungen zeigen aber auch einen „Replacementtrain“ bei 600 Mikrometern (Barwe 2000). Diese Technologie hat den Vorteil des geringeren Chemikalieneinsatzes (als Verdränger kann auch CO_2 bzw. H_2CO_3 eingesetzt werden) und der vergleichsweise geringen Verdünnung durch den Chromatographieschritt. Die Verdrängungschromatographie ist als Trenntechnologie zur

Gewinnung mehrerer einzelner Aminosäuren aus einem Gemisch von Aminosäuren großtechnisch kaum erprobt.

Im **analytischen Bereich** ist die **2-D-Chromatographie** geeignet um ein Gemisch von 20 proteinogenen Aminosäuren aufzutrennen. Unter Anwendung von verschiedenen Laufmitteln (Butanol/Eisessig/Wasser 4:1:5; m-Kresol/Phenol 1:1) ist es möglich, ein Aminosäuregemisch wie folgt aufzutrennen (Leavy; Chung 1953)

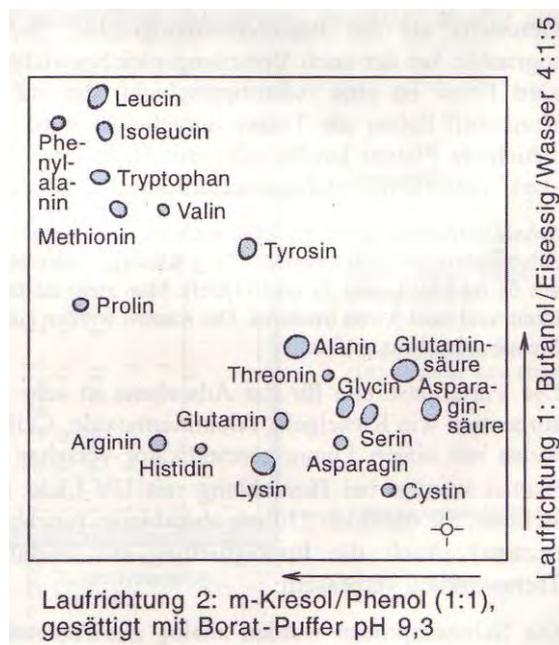


Abbildung 7-3: 2D-Dünnschichtchromatographische Trennung Aminosäuregemisch

Prozesstechnisch ist dieses Ergebnis von untergeordneter Bedeutung, da die angeführten Laufmittel bzw. diese spezifische Trenntechnologie großtechnisch nur mit einem unverhältnismäßig großen Aufwand eingesetzt werden könnte.

In einer weiteren Arbeit (Czysz 1967) wird gezeigt, dass es möglich ist, bestimmte Aminosäuren aufgrund ihrer unterschiedlich **stabilen Cu^{2+} -Komplexe** aufzutrennen. Neben Cu^{2+} finden hier auch begrenzt andere Schwermetalle ihren Einsatz (Schwabe 2000).

Mit Hilfe chiraler Phasen lassen sich Enantiomere trennen. Dazu werden Schichtträgermaterialien verwendet, wobei Kieselgel als Träger eingesetzt wird. An der auf das Trägermaterial aufgebrachtene polymeren Schicht wird ein optisch aktives Polymer chemisch gebunden. Die Wechselwirkung der chiralen Phase kann zum Beispiel auf einer **Komplexbildungsreaktion** beruhen. In *Abbildung 7-4* ist dies für die Analyse optisch aktiver Aminosäuren mit einem **L-Prolin-Kupfer-(II)-Komplex** demonstriert (Otto 2000).

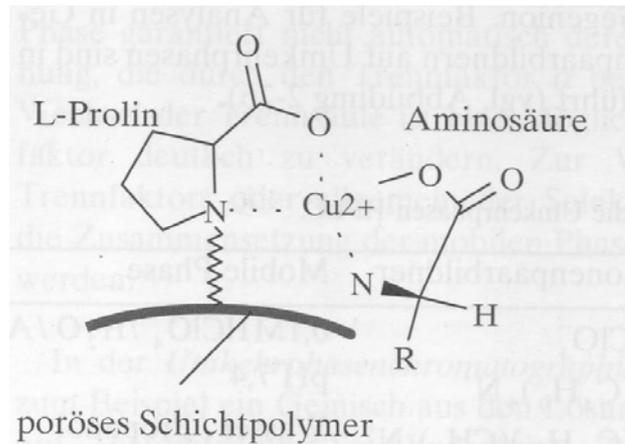


Abbildung 7-4 Chromatographische Trennung von optisch aktiven Aminosäuren

NaZSM-5-Zeolite zeigen Adsorptionseigenschaften, die zur Trennung der Aminosäuren L-Ala, L-Trp, L-Phe und L-Tyr ausgenutzt werden können. Besonders hohe Adsorptionsneigung an NaZSM-5-Zeolite zeigen die Aminosäuren L-Phe und L-Tyr (Schwabe 2000; Titus 2003).

Wie bereits angemerkt, wurden auch im Rahmen eigener, früherer Arbeiten (Koschuh 2005) einige wenige „Orientierungsversuche“ mit Original-Silagesäften durchgeführt, wobei die entsprechenden Chromatogramme in *Abbildung 7-3* und *Abbildung 7-5* dargestellt sind. In diesem Zusammenhang ist hier der Vollständigkeit halber die grobe Zusammensetzung des Silagesaftes angegeben. Silagesaft ist Presssaft aus siliertem, blattreichem Gras bzw. aus Gemischen von Gras und Klee. Der pH-Wert liegt zwischen 3,9 und 4,2. Neben rund 25 bis 35 % Milchsäure und etwa 20 % freien Aminosäuren besteht die Trockenmasse im Saft noch aus 15 bis 25 % anorganischen Bestandteilen (Kalium, Sulfat, Phosphat, Kalzium, Magnesium usw.) und 5 bis 25 % monomeren Zuckern. Zusätzlich beinhaltet der Saft nicht identifizierte „Biomoleküle“ wie beispielsweise Peptide.

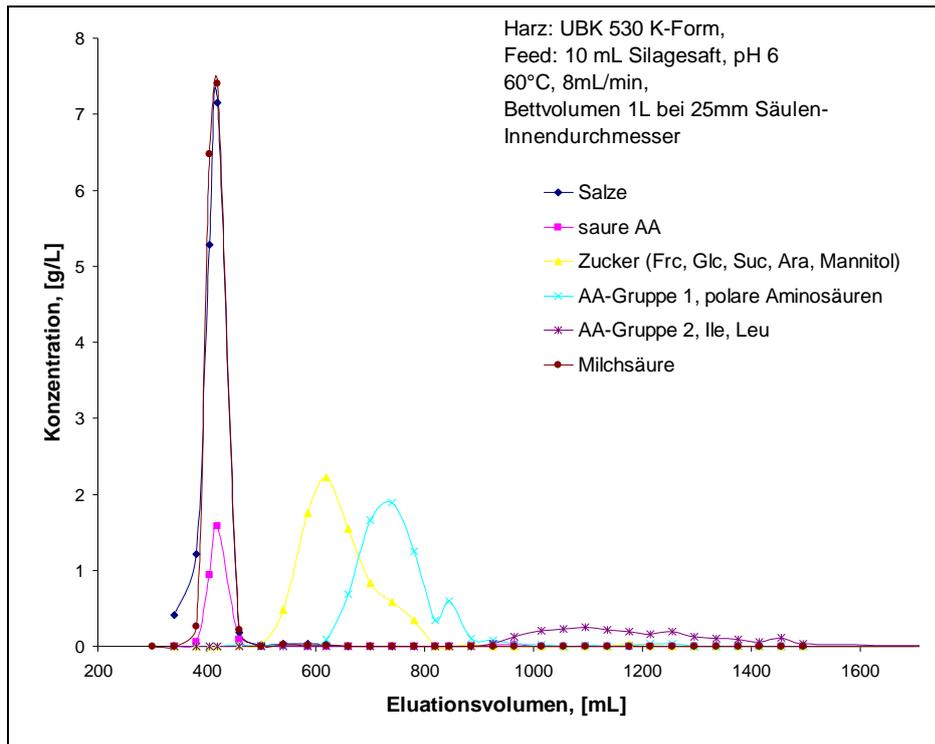


Abbildung 7-5: Fraktionierung eines Grassilagesaftes mittels Chromatographie; UBK 530-K-Form; pH = 6,0 (Koschuh 2005)

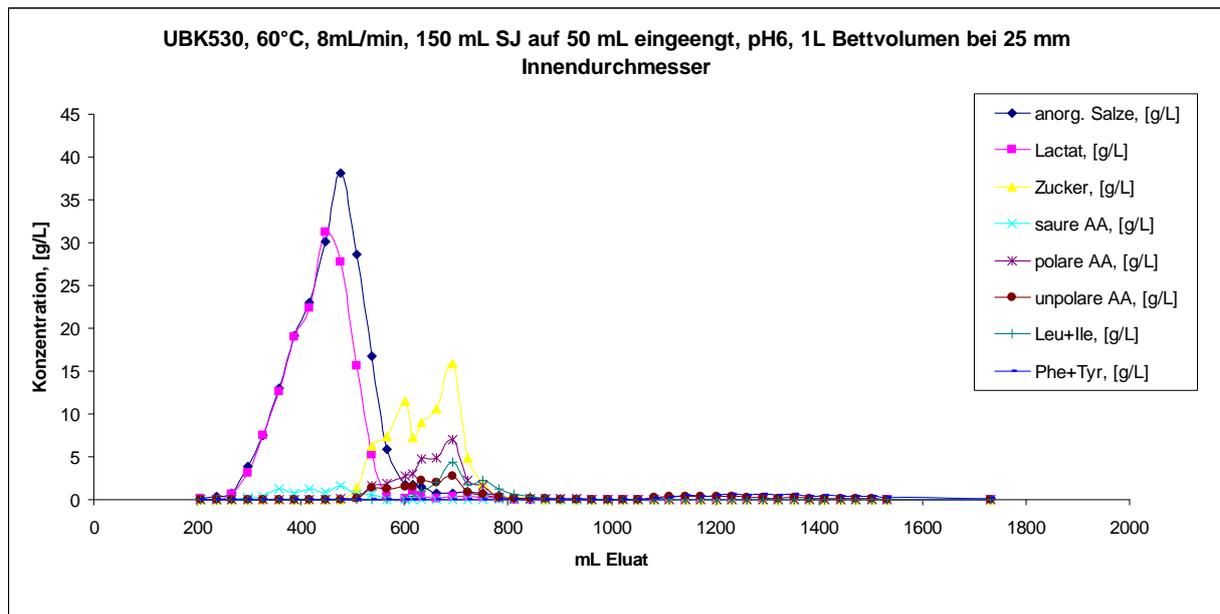


Abbildung 7-6: Fraktionierung eines konzentrierten Grassilagesaftes mittels Chromatographie; UBK 530-K-Form; pH = 6,0 (Koschuh 2005)

Wie die Versuche zeigen, ist eine signifikante Rückhaltung der hydrophoben Aminosäuren Ile/Leu und der Zucker mit dem Harz UBK 530-K-Form (Mitsubishi Corp.; Datenblatt siehe Anhang) erzielbar. Zucker wirken im Allgemeinen störend beim Versuch reine Aminosäuren mittels Chromatographie zu isolieren. Lactat und anorganische Salze werden durch den Harztyp nicht „zurückgehalten“. Das wesentliche und gleichzeitig weniger positive Ergebnis

dieser beiden Trennversuche zeigt sich allerdings bei der genauen Betrachtung der eingesetzten Probenmenge (Konzentrationen). Im ersten Versuch (*Abbildung 7-3*) wurde eine deutlich geringere Probenmenge als im zweiten Versuch eingesetzt. Da bekannter weise, die Produktivität

$$P = \frac{c \cdot V}{t \cdot V_{\text{Harz}}} \quad (\text{Gl. 1})$$

(mit c ... Stoffkonzentration, V Probenvolumen, t Elutionszeit, V_{Harz} ...Harzvolumen / Säulenvolumen) eines Chromatographieprozesses direkt proportional zur eingesetzten Produktmenge ist, müssen bei einem Trennvorgang (entsprechend *Abbildung 7-5*) möglichst große Feedmengen (Massen) eingesetzt werden, um wirtschaftlich akzeptable Ergebnisse zu erzielen. Wie allerdings erkennbar ist (siehe *Abbildung 7-5*) verändert sich die Trenneigenschaft des Harzes ungünstig, so dass die Selektivität verloren geht. Die Versuche haben insgesamt gezeigt, dass zumindest unter den gewählten Chromatographiebedingungen, letzten Endes eine Gewinnung von Produkten nicht möglich ist.

7.3.1 Zusammenfassende Bewertung der vorliegenden Literaturquellen und Untersuchungen

Aus der Literatur und den vorliegenden eigenen Versuchsergebnissen kann kein technologischer Weg erkannt oder vorgeschlagen werden, mit dem man mehr oder weniger methodisch zielorientiert vorgehen könnte, um die vorliegende Aufgabenstellung zu lösen. Es müssen im Wesentlichen chromatographische Screening-Versuche durchgeführt werden, um ein oder mehrere geeignete Harzmaterialien für die Lösung der Aufgabenstellung zu finden. Naturgemäß sind dabei etwaige Parameteränderungen mit enthalten. Darüber hinaus kann durchaus erwartet werden, dass durch diese Screening-Versuche auch Kombinationen mit unterschiedlichen Harztypen bzw. entsprechende mehrstufige chromatographische Schritte zu einer Lösung des Problems führen können. Abschließend sei noch angeführt, dass auch aus dem Bereich „Analytische Methoden“ kaum hilfreiche Daten verfügbar sind, da die analytische Erfassung von Aminosäuren über einen Derivatisierungsschritt erfolgt.

7.4 Versuchsdurchführung

7.4.1 Analytik

7.4.1.1 Zuckeranalytik

Die Analyse der Zucker wurde mittels HPLC (Summit HPLC Analytical System, Dionex, USA) unter Verwendung einer Aminex HPX-87H Säule (Bio-Rad Co., USA) durchgeführt. Zur Detektion der Peaks wurde ein Shodex RI-101 Detektor verwendet. Die Säule wurde auf 65 °C temperiert, die Flussrate der mobilen Phase (5 mM H₂SO₄) betrug 0,5 ml * min⁻¹. Weitere Analytische Methoden sind in der entsprechenden Veröffentlichung (siehe Anhang) beschrieben.

7.4.1.2 Aminosäurenanalytik

Die qualitative und quantitative Analyse der Aminosäuren erfolgte mittels HPLC (Summit HPLC Analytical System, Dionex, USA), wobei ein RF 2000 Fluoreszenzdetektor (Dionex, USA) eingesetzt wurde. Die Proben wurden nach automatisierter Vorsäulenderivatisierung mit OPA (ortho-Phthaldialdehyd) unter Verwendung einer GROM-SIL OPA-3 Säule bei Raumtemperatur analysiert (Derivatisierungsreagenzien und Säule von Fa. Grom GmbH, Deutschland). Die Flussrate betrug 1,0 ml * min⁻¹, wobei folgende Laufmittel verwendet wurden:

Eluent A: 25 mM Phosphatpuffer, pH = 7,2 / Tetrahydrofuran im Verhältnis 995/5 (v/v)

Eluent B: 25 mM Phosphatpuffer, pH = 7,2 / Methanol / Acetonitril im Verhältnis 50/35/15 (v/v/v)

Zur Elution wurde folgender Gradient programmiert:

0 – 2 min:	100 % A
2 – 12 min:	100 – 50 % A und 0 – 50 % B
12 – 17 min:	50 – 40 % A und 50 – 60 % B
17 – 23 min:	40 – 0 % A und 60 – 100 % B
23 – 28 min:	100 % B
28- 40 min:	100 % A

7.4.1.3 Verwendete Modelllösungen für die Aminosäureversuche

Die Verwendung des originalen Gesamtgemisches (Silagepresssaft nach erfolgter Dialyse und Abtrennung des restlichen Lactates mit Hilfe von XAD 1600 bei pH = 2,0) war aus zeitli-

chen Gründen nicht möglich. Zur Durchführung der Trennversuche betreffend Aminosäuren wurden „Modelllösungen“ verwendet, die sich wie folgt zusammensetzen:

Tabelle 7-1: Auswahl und Zusammensetzung der Modelllösung A

Aminosäure	[g * L⁻¹]	Aminosäure	[g * L⁻¹]
Asp	10,0740	Tyr	2,9987
Glu	n.a.	Val	15,7254
Asn	3,8031	Met	8,2102
Ser	11,9183	Trp	4,1033
Gln	4,4045	Phe	n.a.
His	n.a.	Ile	12,0407
Gly	12,9987	Leu	19,7544
Thr	10,3083	Lys	19,8235
Arg	n.a.	KCl	22
Ala	18,2102	Glc	38,5905
Gaba	n.a.	Frc	33,8889

Tabelle 7-2: Auswahl und Zusammensetzung der Modelllösung B

Aminosäure	[g * L⁻¹]	Aminosäure	[g * L⁻¹]
Asp	16,54	Tyr	2,76
Glu	15,44	Val	26,41
Asn	6,31	Met	8,28
Ser	19,55	Trp	1,51
Gln	n.a.	Phe	17,89
His	14,75	Ile	15,26
Gly	15,60	Leu	31,00
Thr	20,56	Lys	18,92
Arg	2,52	KCl	10,9
Ala	2,1	Glc	19,03
Gaba	n.a.	Frc	34,77

Jene Aminosäuren, die in *Tabelle 7-1* und *Tabelle 7-2* mit n.a. gekennzeichnet sind, wurden in die Modelllösung nicht eingewogen.

7.4.1.4 Versuchsanlage

Bei der Versuchsanlage handelt es sich um eine Anlage im Pilotmaßstab, wobei unterschiedliche Säulen und Elutionsvolumenströme anwendbar sind. In den *Abbildung 7-7* und *Abbildung 7-8* sowie der *Tabelle 7-3* sind die technischen Daten der Anlage dargestellt.

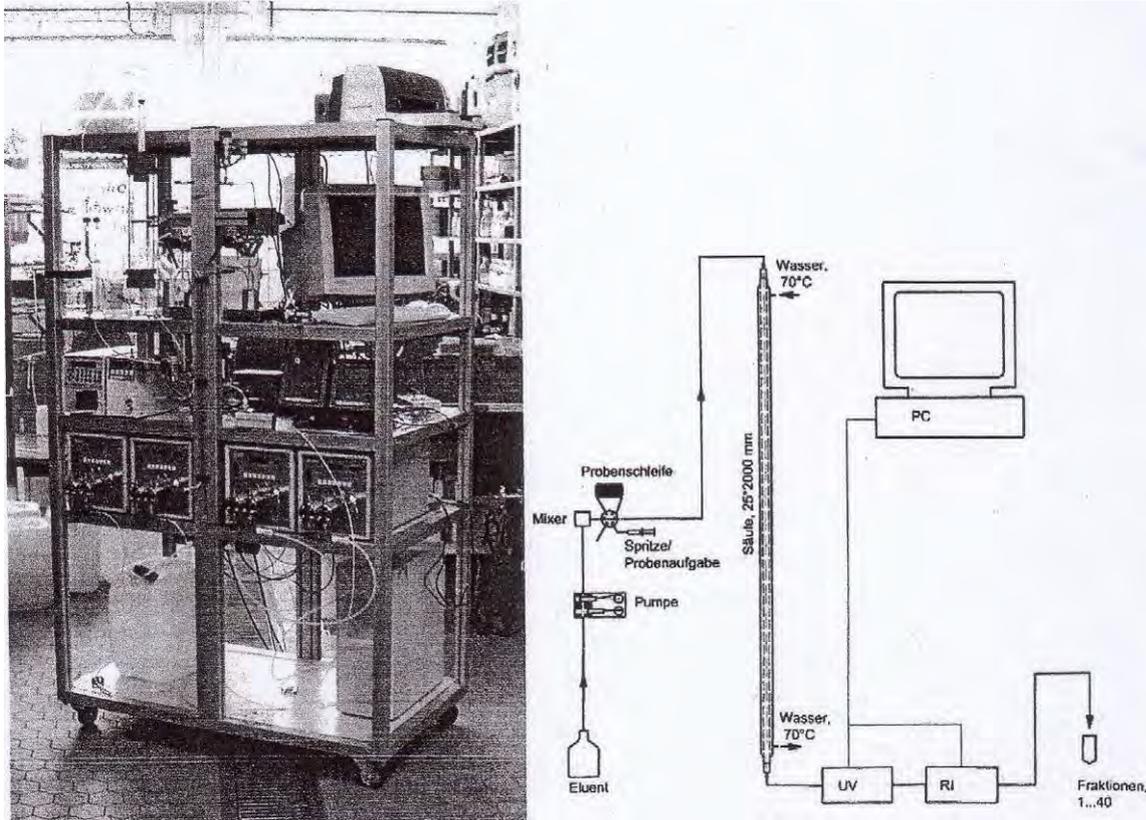


Abbildung 7-7: Präparative Chromatographie inkl. Schema zur Isolierung von Aminosäuren

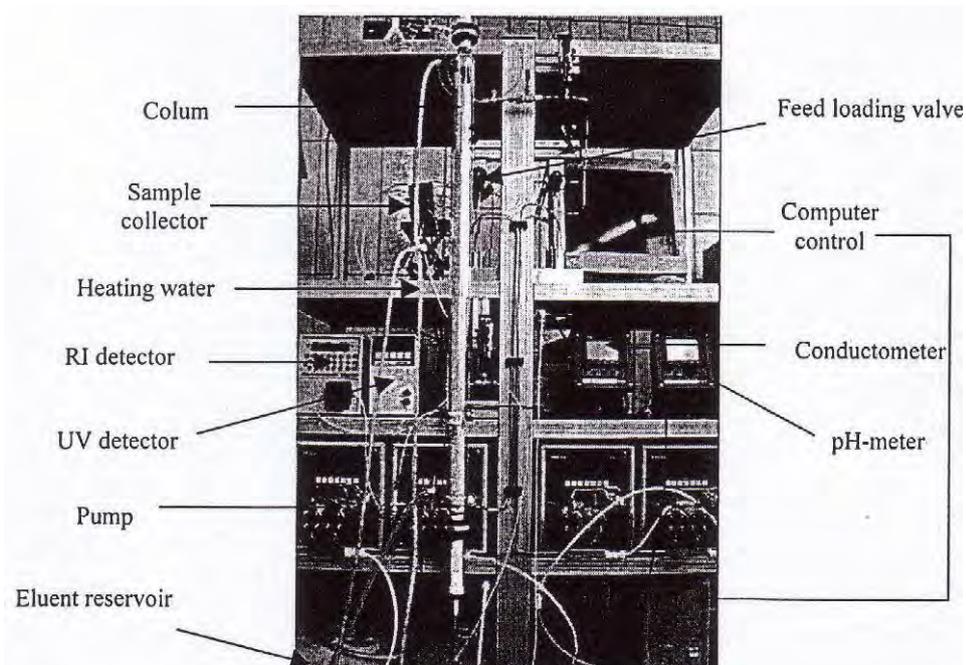


Abbildung 7-8: Instrumentierung der präparativen Chromatographieanlage

Tabelle 7-3: Details zur Instrumentierung der präparativen Chromatographieranlage; Abfolge entspricht der Verschaltung im Versuchsaufbau:

Instrument:	Type:
Pumpe:	Besta HD2-200/55080
Manometer:	Clus PN 9021; AG K72; 12225 A
Injektionsventil:	Besta, Vici AG
Säule:	Kronlab ECO25/899; 25 x 100 bzw. 25 x 200; 15 [ID; length; pressure]; Ser.-No. ECO 003
UV/VIS-Photometer:	Sunchrom UV/VIS-Detektor SpectraFlow 501
RI-Messgerät:	Knauer K 2400
pH-Meter:	Knick Stratos 2402 pH No. 61790/8073147/0228;
Leitfähigkeitsmessgerät:	Knick Stratos 2402 Cond No. 66110/8092051/0307; TEQCOM 1712 Newport CIR ST 0; M443W2DFS-HAT-123
Wasserbad/Temperatur-Regelung:	Thermo Haake W45-Wasserbad; Temperatur-Regelung: Haake DL 30
Temperaturmessung:	90 NN Pt 1000 Widerstandsthermometer; Kopp- lung an Leitfähigkeitsmessgerät
Software:	PrepCon Version 4,46,08,02; ChromStar Light Version 6.0 (Built: 91).

7.5 Ergebnisse und Diskussion

7.5.1 Abtrennung von Aminosäuren aus Grassilagesäften mittels Chromatographie

Folgend sind die durchgeführten verschiedenen chromatographischen Trennversuche, welche bei unterschiedlichen pH-Werten und mit unterschiedlichen Trennharzen durchgeführt wurden, dargestellt.

Die Ergebnistabellen der Einzelversuche (analytische Auswertung und die Berechnung der Recovery) sind im **ANHANG A** zusammengefasst.

7.5.1.1 Ergebnisse Chromatographieversuch 1: XAD 1600; pH = 2,0;

Auf der Basis des gesamten Informationsstandes wurde beschlossen, das neutrale Harz XAD 1600 (Datenblatt siehe Anhang) für die Untersuchungen heranzuziehen. Aufgrund der Abhängigkeit der Trenneigenschaften von organischen Säuren vom pH-Wert war eine Adsorption von z.B. partiell hydrophoben organischen Säuren absehbar (siehe dazu auch den chemischen Aufbau von XAD 1600). Unabhängig von den chemisch/physikalischen Eigenschaften von organischen Säuren kann man ähnliche Überlegungen im Zusammenhang mit der Trennung von Aminosäuren anstellen, sodass insgesamt dieses Harz von Interesse ist.

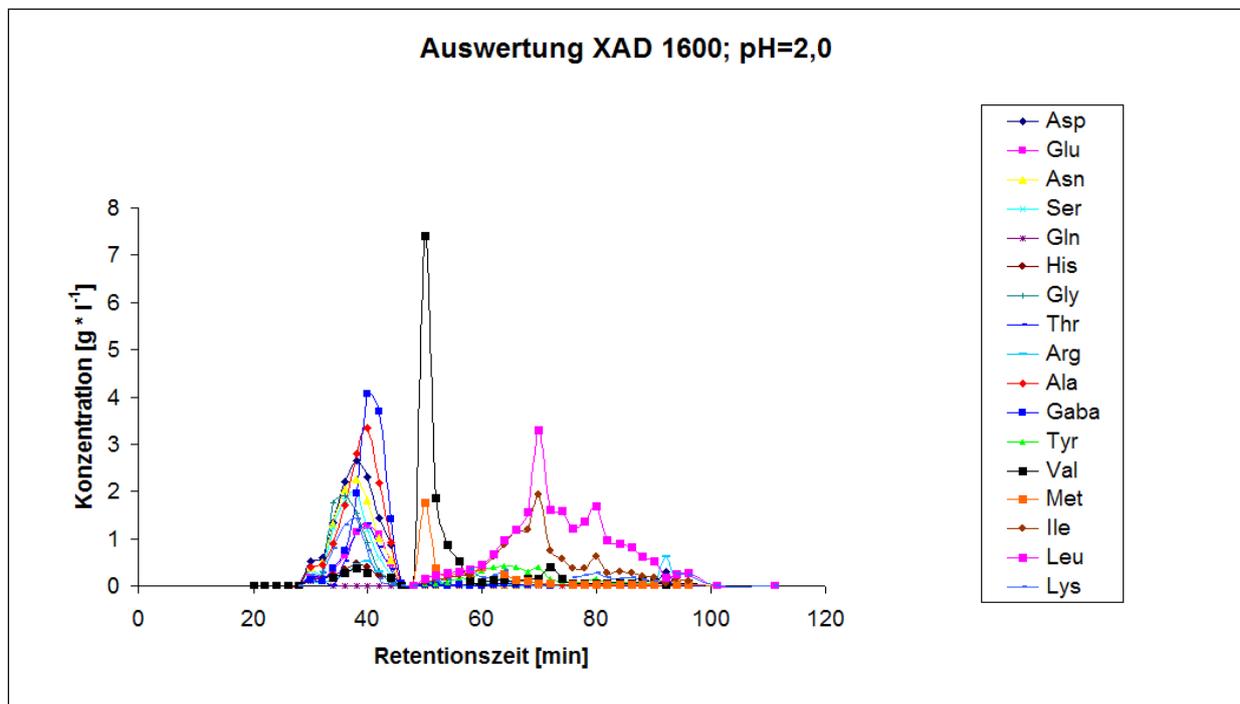


Abbildung 7-9: Versuchsergebnis XAD 1600; pH = 2,0

Eine detaillierte tabellarische Ergebnistabelle befindet sich im Anhang A

Wie aus dem Chromatogramm erkennbar ist, kommt es zu einer signifikanten Rückhaltung der Aminosäuren Leucin und Isoleucin, welche über ihre hydrophoben Seitenketten mit dem hydrophoben Harz wechselwirken. Außerdem eluiert ein Großteil der Aminosäuren bereits bis Retentionszeit 48 min. Hier kommt es zu keinen signifikanten Wechselwirkungen der Aminosäuren mit dem hydrophoben Harz XAD 1600.

Zur Erhöhung der Aussagekraft der Versuchsergebnisse wurden die Versuche bei unterschiedlichen pH-Werten durchgeführt. Der pH-Wert spielt eine entscheidende Rolle bezüglich des Trennverhaltens von Aminosäuren. Um die Abhängigkeit des Trennverhaltens vom pH-Wert zu untersuchen und aus Gründen der Nachhaltigkeit wurde ein Trennversuch bei pH = 7,0 durchgeführt:

7.5.1.2 Ergebnisse Chromatographieversuch 2: XAD 1600; pH = 7,0;

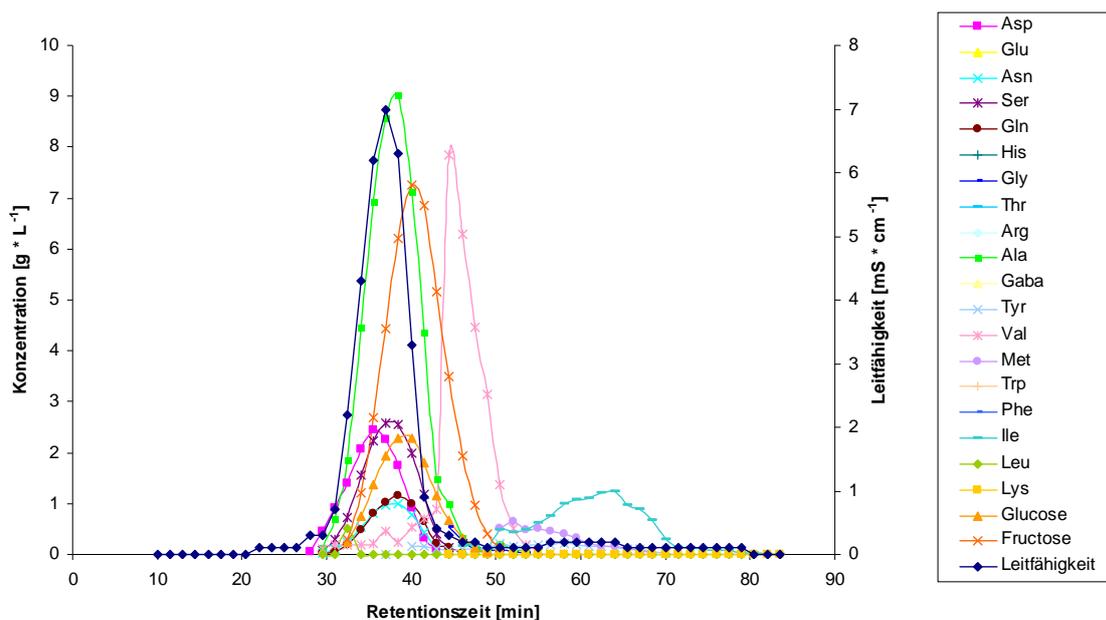


Abbildung 7-10: Versuchsergebnis XAD 1600; pH = 7,0; Modelllösung A

Eine detaillierte tabellarische Ergebnistabelle befindet sich im Anhang A

Hydrophobe Aminosäuren (Leu, Ile) werden besonders gut zurückgehalten. Leu und Lys verhalten sich bezüglich ihrer Trenneigenschaften sehr ähnlich, wie der Vergleich mit dem Versuchsergebnis XAD 1600; pH = 2,0 zeigt. Außerdem kommt es zu einer signifikanten Separation von Val und Ala bei Retentionszeit 45 min. Die Monosaccharide Glu und Frc werden nur mäßig zurückgehalten. Insgesamt erscheint eine Abtrennung von Leu/Ile als

durchführbar, wobei anzumerken ist, dass die Rückhaltung von Leu/Ile mit dem Harztyp XAD 1600 weitgehend unabhängig vom eingestellten pH-Wert ist.

Der Silagesaft weist naturgemäß eine hohe K^+ -Konzentration auf (vgl. Zusammensetzung des Grassilagepresssaftes), weshalb es nahe liegend ist, das Trennverhalten eines K^+ -konditionierten Kationentauschers zu untersuchen.

Zur Durchführung entsprechender Trennversuche wurde der Harztyp UBK 530, ein Sulfonsäuretyp-Kationentauscher, eingesetzt (Datenblatt siehe Anhang). Die Verwendung einer K^+ -Konditionierung anstelle einer Na^+ -Konditionierung bewirkt die Verwendung eines größeren Kations (vgl. Stellung im Periodensystem), weswegen die Bindungsstärke zur Sulfonsäuregruppe schwächer ausfällt (vgl. HSAB-Theorie).

7.5.1.3 Ergebnisse Chromatographieversuch 3: UBK 530, K^+ -konditioniert; $pH = 4,2$

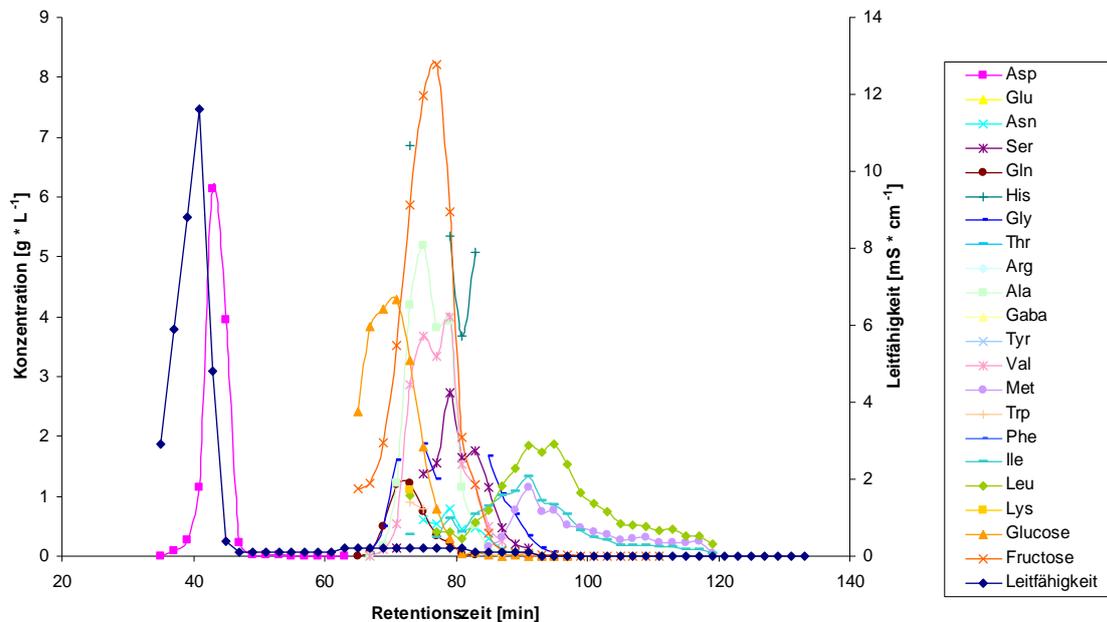


Abbildung 7-11: Versuchsergebnis UBK 530; K^+ -konditioniert; $pH = 4,2$; Modelllösung A

Eine detaillierte tabellarische Ergebnistabelle befindet sich im Anhang A

Als Orientierungshilfe zur Interpretation der Versuchsergebnisse seien die Konzepte des *Ionenaustausches*, des *Ionenausschlusses* und der *Komplexbildungsmechanismen* als Theorien zugrunde gelegt.

Wie das Versuchsergebnis zeigt, gestattet der Harztyp UBK 530 eine überwiegende Abtrennung der sauren Aminosäure Asp ($pI = 2,77$) bis Retentionszeit 60 min.

Bei $pH = 4,2$ liegt die Aminosäure Asp und Glu überwiegend als Anion ($pH > pI$) vor. Das Asp-Anion tritt aufgrund seiner negativen Nettoladung mit dem koordinativ gebundenen K^+ -

Ion *nicht* in eine Konkurrenzreaktion ein (Ionenausschluss) und eluiert daher im Totvolumen der Chromatographiesäule. Außerdem scheinen hier bei Asp auch keine Komplexbildungsmechanismen bzw. elektrostatische Wechselwirkungen mit den koordinativ gebundenen K^+ -Ionen eine signifikante Rückhaltung zu bewirken.

Bei $pH = 4,2$ ist auffällig, dass der überwiegende Teil der verbleibenden Aminosäuren ab Retentionszeit 65 min eluiert. Vermutlich bewirken hier Komplexbildungsmechanismen bzw. elektrostatische Wechselwirkungen (Ionenaustausch bzw. -ausschluss) mit den koordinativ gebundenen K^+ -Ionen eine signifikante Rückhaltung.

Die Aminosäure Lys (Arg und His wurden der Modelllösung A nicht hinzugegeben) wird von der stationären Phase besonders gut gebunden und wurde erst nach Elution mit 20 % EtOH detektiert. Nur die Aminosäuren Lys, Arg und His liegen als Kation vor und könnten mit den koordinativ gebundenen K^+ -Ionen eine Konkurrenzreaktion (stöchiometrischer Ionenaustausch) eingehen. Allerdings sprechen die hohe Affinität der K^+ -Ionen zur Sulfonsäuregruppe und der Umstand, dass die Aminosäuren mit Wasser eluiert wurden ohne dass ein signifikanter Anstieg des pH-Wertes quantifiziert werden konnte (H^+ -Ionen könnten durch die Sulfonsäuregruppen gebunden werden) gegen diesen vermuteten Sachverhalt. Möglicherweise scheint es hier zu einer Überlagerung von Ionenaustausch-, Ionenausschluss- und Komplexbildungseffekten zu kommen. Im Vergleich zum Harztyp XAD 1600; $pH = 2,0$; wird vermutet, dass es bei Einbeziehung der Säulenlänge (1 m oder 2 m) bei UBK 530; K^+ -konditioniert zu einer geringfügigen Rückhaltung der Monosaccharide Glc und Frc kommt.

Aufgrund der Abhängigkeit der Nettoladung der Aminosäuren vom pH-Wert (siehe *Abbildung 0-6*) wurde eine Trennung des Aminosäuregemisches bei $pH = 10,5$ versucht, um die basischen Aminosäuren wie Lys, His und Arg aufgrund der Überlagerung von Ionenaustausch-, Ionenausschluss und Komplexbildungsmechanismen selektiv zurückhalten zu können.

Zur Verbesserung der Qualität der Aminosäureanalytikerggebnisse wurden neue Derivatisierungsreagenzien verwendet.

7.5.1.4 Ergebnisse Chromatographieversuch 4: UBK 530; K⁺-konditioniert; pH = 10,5

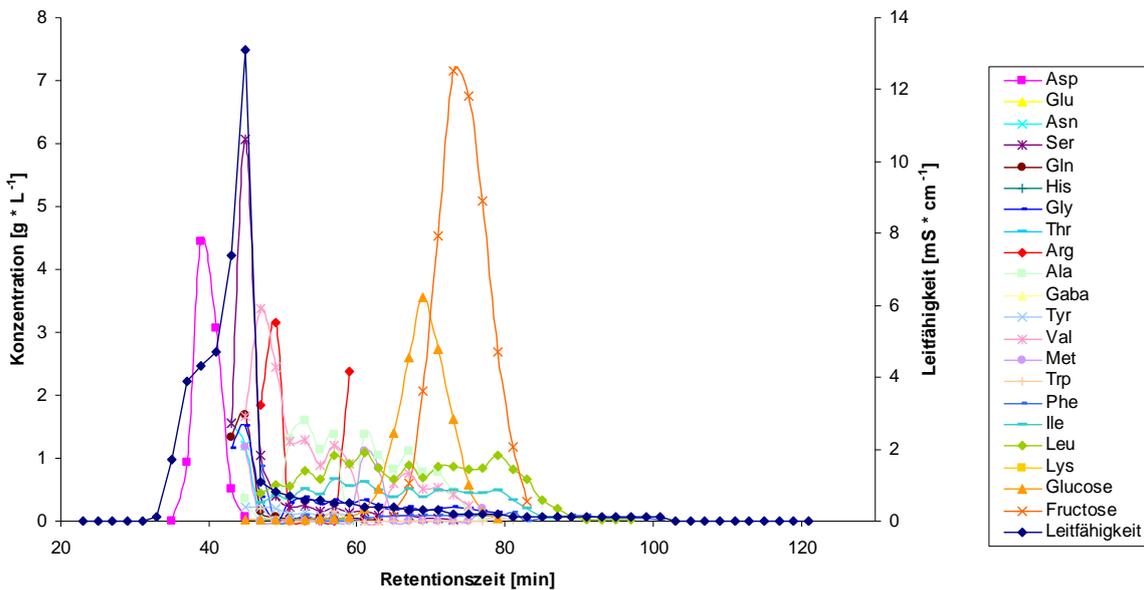


Abbildung 7-12: Versuchsergebnis UBK 530; K⁺-konditioniert; pH = 10,5; Modellösung A
Eine detaillierte tabellarische Ergebnistabelle befindet sich im Anhang A

Das Versuchsergebnis zeigt im Vergleich zu UBK 530; pH = 4,2, dass es bei Hochstellen des pH-Wertes, wie erwartet, zu keiner signifikanten Rückhaltung des überwiegenden Anteiles der Aminosäuren mit Ausnahme der basischen kommt (Ionenausschluss).

Bei pH = 10,5 liegen die Aminosäuren Arg und Lys in schwach positiv geladener Form vor und könnten aufgrund dieser Eigenschaft mit den koordinativ an die stationäre Phase gebundenen K⁺-Ionen in Konkurrenzreaktion treten (stochiometrischer Ionenaustausch). Arg wurde der Modellösung A allerdings nicht hinzugesetzt, Lys wurde erst wie vermutet nach Elution mit 20 % EtOH detektiert.

Jedoch sprechen, wie bereits angeführt, die hohe Affinität der K⁺-Ionen zur Sulfonsäuregruppe und der Umstand, dass die Aminosäuren mit Wasser eluiert wurden ohne dass ein signifikanter Anstieg des pH-Wertes quantifiziert werden konnte (H⁺-Ionen könnten durch die Sulfonsäuregruppen gebunden werden) gegen diesen vermuteten Ionenaustausch. Möglicherweise scheint es hier zu einer Überlagerung von Ionenaustausch-, Ionenausschluss- und Komplexbildungseffekten zu kommen.

Der Rest der Aminosäuren liegt in negativ geladener Form vor (siehe Abbildung 0-3) und kann aufgrund dieser Eigenschaft mit den koordinativ gebundenen K⁺-Ionen *nicht* in Konkurrenzreaktion treten (Ionenausschluss), weshalb es hier zu keiner signifikanten Rückhaltung kommt. Im Vergleich zum Trennergebnis mit UBK 530; pH = 4,2 ist die Rückhaltung der Monosaccharide Glc und Frc weitgehend unabhängig vom pH-Wert.

Ausgehend von der Überlegung, dass ein Sulfat konditionierter schwacher Aniontauscher negativ geladene Aminosäuren (Ionenaustausch) und organische Säuren wie Citrat (Komplexbildung – nach einer persönlichen Mitteilung von H.K. Soest und D. Waldeck) signifikant zurückhalten könnte, wurde ein Versuchslauf mit einem SO_4^{2-} -konditionierten schwachen Anionentauscher durchgeführt. Detailinformationen zum Harztyp MDS 4368 SO_4^{2-} werden im Anhang angeführt.

Als Orientierungshilfe zur Interpretation der Versuchsergebnisse seien die Konzepte des *Ionenaustausches*, des *Ionenausschlusses* und die der *Komplexbildungsmechanismen* als Theorien zugrunde gelegt.

7.5.1.5 Ergebnisse Chromatographieversuch 5: MDS 4368 Lewatit; SO_4^{2-} -konditioniert; $\text{pH} = 4,0$; Modelllösung B

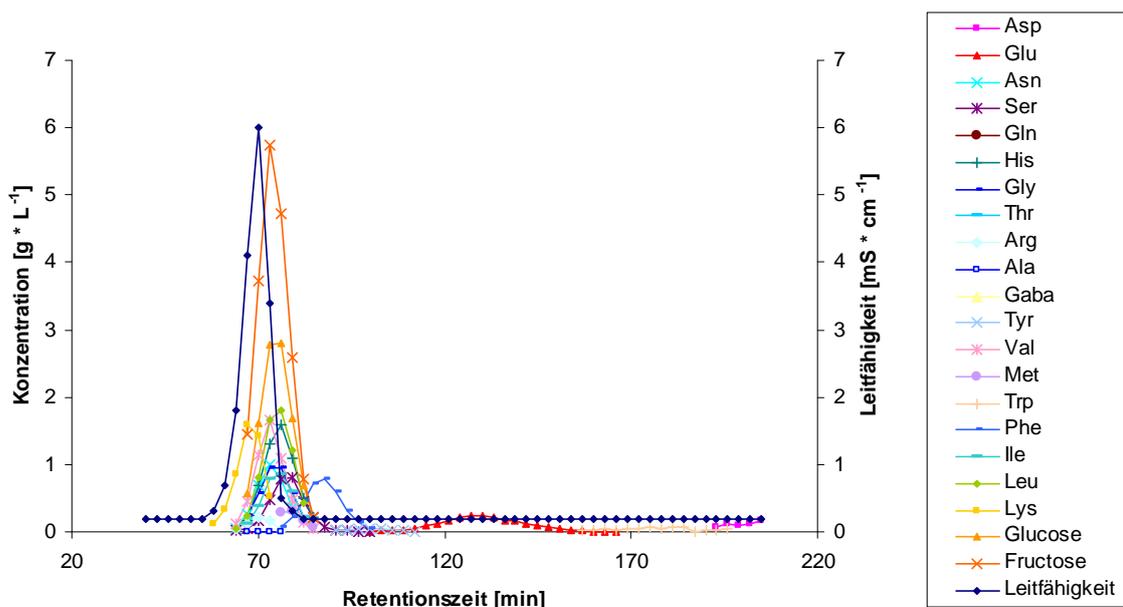


Abbildung 7-13: Versuchsergebnis MDS 4368-Lewatit; SO_4^{2-} -konditioniert; $\text{pH} = 4,0$; Modelllösung B

Wie das Versuchsergebnis zeigt, ist mit diesem Versuchssetup nur eine teilweise Rückhaltung der Aminosäure Phe, Trp, Glu, Asp zu erzielen.

Allerdings ist diese beobachtete Rückhaltung nicht ausreichend um Phe zum überwiegenden Teil abzutrennen (siehe Berechnung Recovery). Bei $\text{pH} = 4,0$ liegt die Aminosäure Phe als nach außen ungeladene Aminosäure vor (siehe *Abbildung 0-6*). Die Rückhaltung der

Aminosäure Phe ist unter zugrunde gelegtem stochiometrischen Ionentausch bzw. Ionenausschluss nicht erklärbar. Allerdings könnten hier wiederum Komplexbildungseffekte eine signifikante Rückhaltung erzeugen.

Bei pH = 4,0 liegen nur die Aminosäuren Lys, Arg und His als Kationen vor, die aufgrund ihrer Ladung *nicht* mit den koordinativ gebundenen Sulfat-Anionen in Wechselwirkung treten können (Ionenausschluss). In Folge dessen könnten bei der Rückhaltung der Aminosäure Trp Komplexbildungseffekte eine signifikante Rückhaltung bewirken.

Die Aminosäuren Glu und Asp liegen bei pH = 4,0 als Anion vor und treten, wie das Trennergebnis zeigt, mit den koordinativ an die stationäre Phase gebundenen Sulfat-Ionen in eine Konkurrenzreaktion ein, was ein „Festkleben“ an der stationären Phase verursacht. Möglicherweise ist es hier zu einem teilweisen Ionenaustausch gekommen.

Jedoch sprechen die hohe Affinität des Sulfat-Anions zur tertiären/quaternären Ammoniumgruppe der stationären Phase (zweifach negative Ladung) und der Umstand, dass es während der Elution der Aminosäuren zu keinem signifikanten Abfall des pH-Wertes (OH⁻-Ionen könnten von der stationären Phase gebunden werden) gekommen ist, gegen diesen vermuteten teilweisen Ionentausch. Der vorliegende Sachverhalt ist hier nicht restlos geklärt.

Der Rest der Aminosäuren liegt in ungeladener Form vor (siehe *Abbildung 0-6*) und könnte aufgrund der partiell positiven/negativen Ladung mit den koordinativ gebundenen Sulfat-Ionen in Konkurrenzreaktion treten (Ionenaustausch-, Ionenausschluss bzw. Komplexbildungseffekte). Dieser vermutete Sachverhalt scheint hier allerdings nicht zum Tragen zu kommen.

Die Monosaccharide Frc und Glc und der überwiegende Teil der Aminosäuren werden durch diesen Harztyp nicht signifikant zurückgehalten. Ungeachtet dessen kann keine Aussage über die mögliche Abtrennleistung von organischen Säuren (Citrat usw.) getroffen werden, da jene organische Säure der Modelllösung nicht beigegeben wurde (siehe *Tabelle 7-1* und *Tabelle 7-2*).

Um den Einfluss von kleineren Partikeldurchmessern, höheren Druckes und reversed-Phase-Materialien auf das Trennverhalten von Aminosäuren zu untersuchen, wurde ein scale-down von Pilotmaßstab auf präparativen Maßstab (50 µm Partikeldurchmesser; RP-C18-Material) durchgeführt. Die aufgegebene Probenmenge pro Harzvolumen wird konstant gehalten um die absolute Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse untereinander gewährleisten zu können:

$$b = \frac{m_{\text{Probe}}}{V_s} = \frac{m_{\text{Probe}} * 4}{d^2 * \pi * H_c} = \text{const.} \quad (\text{Gl. 10})$$

Aus Versuchen mit dem verwendeten Harzmaterial ist bekannt, dass bei einer Leerrohrgeschwindigkeit von 1,76 ml * min⁻¹ und Raumtemperatur ein gutes Trennergebnis erzielbar ist (siehe Van-Deemter-Plot) (Schubert 2008).

Bei der angeführten Leerrohrgeschwindigkeit ist ein Druckverlust von ca. 20 bar zu verzeichnen, was bei der Auslegung einer industriellen Chromatographieanlage zu berücksichtigen ist.

7.5.1.6 Ergebnisse Chromatographieversuch 6: ODS-A; pH = 7,0; Modelllösung B

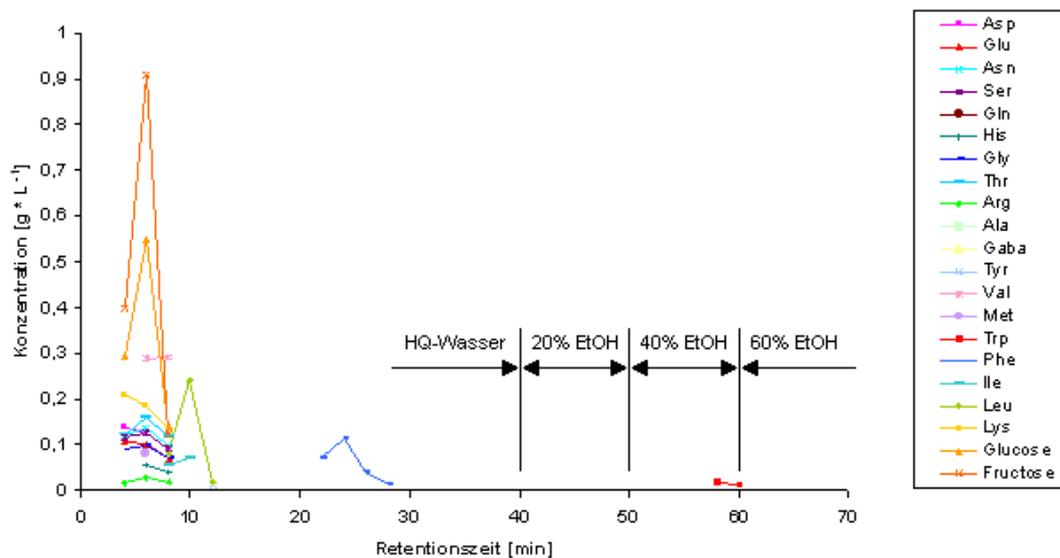


Abbildung 7-14: Versuchsergebnis ODS-A; pH = 7,0; Modelllösung B

Das Trennergebnis zeigt, dass es zu keiner signifikanten Rückhaltung der überwiegenden Anzahl der Aminosäuren und der Monosaccharide kommt. Die Aminosäuren Leu, Phe und Trp wechselwirken über ihre hydrophoben Seitenketten mit der stationären Phase, was eine signifikante Rückhaltung dieser Aminosäuren bewirkt (siehe *Abbildung 0-6*).

Die Wiederfindungsrate der separierten Aminosäure Phe liegt bei 16 % (siehe Berechnung Recovery); aufgrund dieses Umstandes ist das beobachtete Trennverhalten der Aminosäure Phe unter Verwendung von ODS A-Harzmaterial als unzureichend zu klassifizieren. Zur Verbesserung des Trennverhaltens könnte die spezifische Massenbeladung des Harzes mit Probelösung nach unten korrigiert und andere hydrophobere Laufmittel zum Einsatz gebracht werden. Allerdings sind diese genannten Ansatzpunkte aus prozesstechnischer Sicht und aus Gründen der Nachhaltigkeit nicht anzustreben.

Aus der Literatur ist bekannt, dass die Monosaccharide Glc und Frc mit Hilfe eines Ca^{2+} -konditionierten Kationentauschers teilweise getrennt werden können (*Koschuh 2005, Van der Poel et al 1998*). Glc und Frc werden aufgrund der Komplexierungseigenschaften von Frc aufgetrennt.

Fa. Amino GmbH. Verwendet Ca^{2+} bzw. Mg^{2+} -konditionierte stark saure Kationentauscher um Aminosäuregemische aufzutrennen (Patentoffenlegungsschrift). Aufbauend auf diese Literaturdaten gilt es zu prüfen, wie der Trennerfolg der Aminosäuren relativ zu den Monosacchariden ausfällt. Detaillierte Informationen zum Harztypen MDS 1368 Ca sind aus dem Anhang zu entnehmen.

Als Orientierungshilfe zur Interpretation der Versuchsergebnisse seien die Konzepte des *Ionenaustausches*, des *Ionenausschlusses* und die der *Komplexbildungsmechanismen* als Theorien zugrunde gelegt.

7.5.1.7 Ergebnisse Chromatographieversuch 7: MDS 1368; Ca^{2+} -konditioniert; $\text{pH} = 7,0$; Modelllösung A

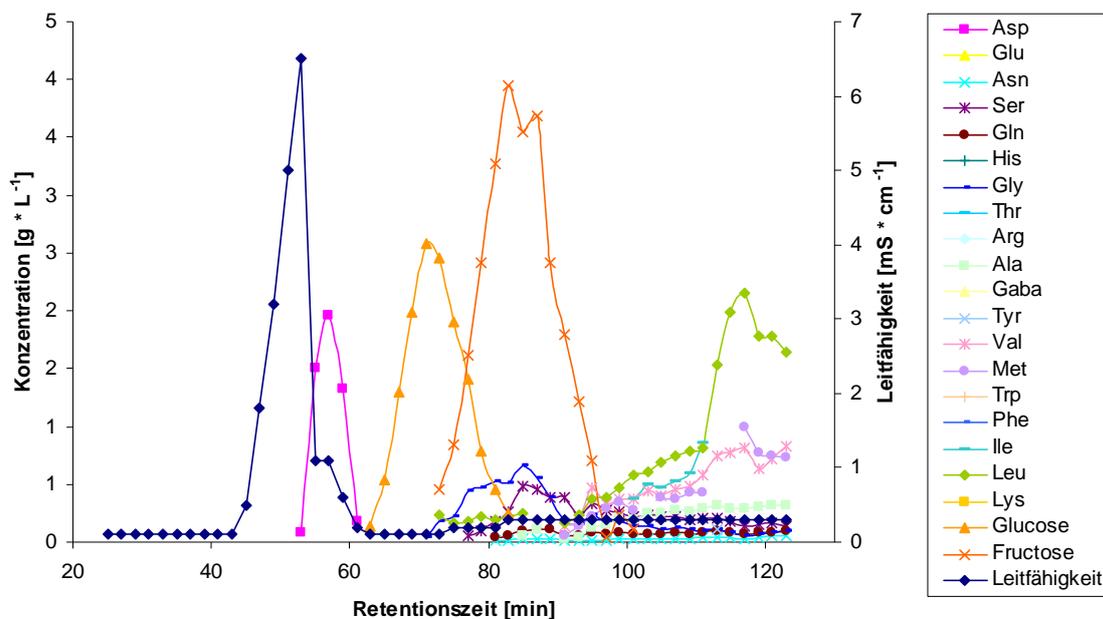


Abbildung 7-15: Versuchsergebnis MDS 1368; Ca^{2+} -konditioniert; $\text{pH} = 7,0$; Modelllösung A

Das Versuchsergebnis zeigt, dass es wie erwartet bei Verwendung des Harztyps MDS 1368 Ca zu einer signifikanten Rückhaltung des Monosaccharides Frc kommt; der Grad der Rückhaltung fällt dabei stärker aus als beim K^{+} -konditionierten Harztyp UBK 530; $\text{pH} = 10,5$.

Eine überwiegende Abtrennung der sauren Aminosäure Asp bis Retentionszeit 60 min erscheint als durchführbar. Bei $\text{pH} = 7,0$ liegen die Aminosäuren Asp und Glu in negativ geladener Form vor und können aufgrund dieser Eigenschaft mit den koordinativ an die stationäre Phase gebundenen Ca^{2+} -Ionen *nicht* in Konkurrenzreaktion treten (Ionenausschluss) und eluieren deshalb im Totvolumen der Säule. Glu wurde der Modelllösung A allerdings nicht hinzugegeben.

Die Aminosäuren His, Lys und Arg liegen bei $\text{pH} = 7,0$ in positiv geladener Form vor. Aufgrund dessen könnten diese Aminosäuren mit den koordinativ an die stationäre Phase gebundenen Ca^{2+} -Ionen eine Konkurrenzreaktion (stochiometrischer Ionentausch: zwei positiv geladene Aminosäuren gegen ein Ca^{2+} -Ion) eingehen und besonders gut an die funktionellen Gruppen der stationären Phase gebunden werden. His und Arg wurden der Modelllösung A allerdings nicht hinzugegeben; Lys wurde erst nach Elution mit 20 %EtOH detektiert. Möglicherweise ist es hier zu einem teilweisen Ionenaustausch gekommen.

Allerdings sprechen auch hier die hohe Affinität der Ca^{2+} -Ionen zu Sulfonsäuregruppen und der Umstand, dass die Aminosäuren mit Wasser eluiert wurden ohne dass ein signifikanter Anstieg des pH-Wertes quantifiziert werden konnte (H^+ -Ionen könnten durch die Sulfonsäuregruppen gebunden werden) gegen diesen vermuteten Ionenaustausch. Möglicherweise scheint es hier zu einer Überlagerung von Ionenaustausch-, Ionenausschluss- und Komplexbildungseffekten zu kommen.

Der Rest der Aminosäuren liegt in ungeladener Form vor (siehe *Abbildung 0-6*) und könnte aufgrund der partiell positiven/negativen Ladung mit den koordinativ gebundenen Ca^{2+} -Ionen in Konkurrenzreaktion treten (Ionenaustausch/ Ionenausschluss bzw. Komplexbildungseffekte). Dieser vermutete Sachverhalt scheint hier bis zu einem gewissen Grad zum Tragen zu kommen.

Um die Trenneigenschaften dieses Harztyps im Detail zu untersuchen wurde auf ein fabrikanes Muster von Fa. Lewatit zurückgegriffen. Zur Unterdrückung des „Verschmierens“ der Aminosäurebanden ab Retentionszeit 100 min wurde ein modifiziertes Versuchsssetup gewählt: Elution der Modelllösung bis 120 min mit einer Flussrate von $6 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$; ab 120 min Retentionszeit Elution mit $12 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$.

7.5.1.8 Ergebnisse Chromatographieversuch 8: MDS 1368 Lewatit; Ca^{2+} -konditioniert; $\text{pH} = 3,5$; Modelllösung B

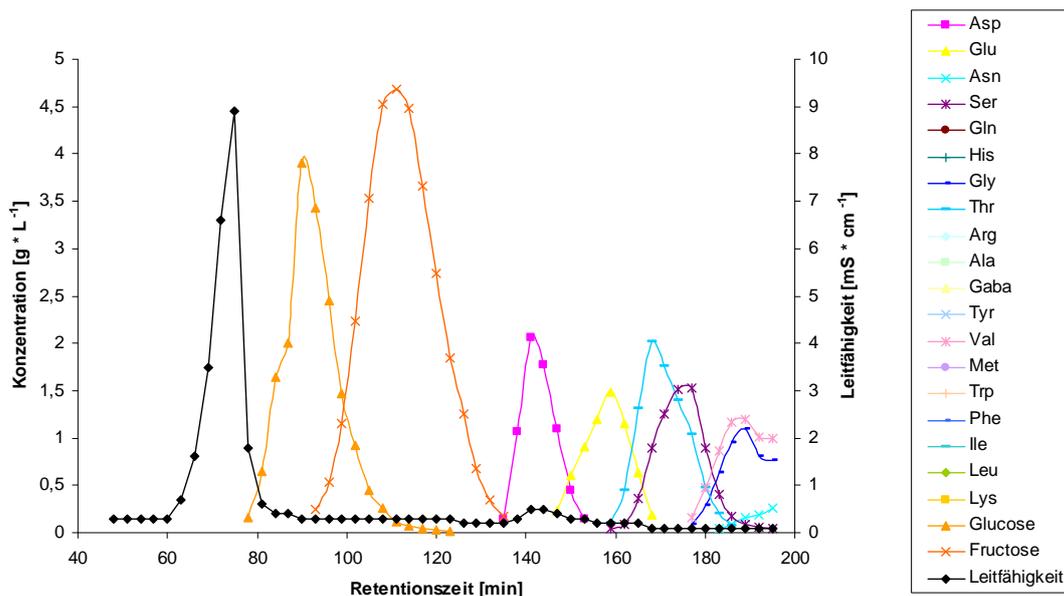


Abbildung 7-16: Versuchsergebnis MDS 1368-Lewatit; Ca^{2+} -konditioniert; $\text{pH} = 3,5$; Modelllösung B

Das Versuchsergebnis zeigt ein deutlich verbessertes Trennergebnis im Vergleich zum Vorversuch mit dem gleichen Harztyp. Aufgrund der Tatsache, dass ein fabrikanes Harz vom Typ MDS 1368 zum Einsatz gekommen ist, liegt der pH-Wert bei 3,5, welcher sich im Laufe der durchgeführten Trennungen auf $\text{pH} = 7,0$ einpendeln sollte gemäß persönlicher Mitteilung durch H.K. Soest und D. Waldeck.

Bei pH = 3,5 ist auffällig, dass im Vergleich zum Versuchsergebnis MDS 1368; Ca²⁺-konditioniert; pH = 7,0 die saure Aminosäure Asp nach den Monosacchariden Glc und Frc eluiert. Bei pH = 3,5 liegen die Aminosäuren Asp und Glu in ungeladener (schwach negativ geladener) Form vor (siehe *Abbildung 0-6*). Die Aminosäuren Asp und Glu könnten aufgrund der partiell positiven/negativen Ladung mit den koordinativ gebundenen Ca²⁺-Ionen eine Konkurrenzreaktion eingehen (Ionenaustausch) und vermutlich deshalb von der stationären Phase zurückgehalten werden (stöchiometrische Konkurrenzreaktion mit Ca²⁺).

Die Aminosäuren His, Lys und Arg liegen bei pH = 3,5 auch in positiv geladener Form vor (siehe *Abbildung 0-6*). Aufgrund dessen könnten diese Aminosäuren mit den koordinativ an die stationäre Phase gebundenen Ca²⁺-Ionen ebenfalls eine Konkurrenzreaktion (stöchiometrischer Ionentausch: zwei positiv geladene Aminosäuren gegen ein Ca²⁺-Ion) eingehen und besonders gut an die funktionellen Gruppen der stationären Phase gebunden werden. Die Aminosäuren His, Lys und Arg wurden durch die stationäre Phase besonders gut gebunden und konnten durch Elution mit 20 % EtOH nicht desorbiert werden. Möglicherweise ist es hier zu einem teilweisen Ionenaustausch gekommen.

Die hohe Affinität der Ca²⁺-Ionen zu Sulfonsäuregruppen und der Umstand, dass Asp, His, Lys und Arg mit Wasser eluiert wurde ohne dass ein signifikanter Anstieg des pH-Wertes quantifiziert werden konnte (H⁺-Ionen könnten durch die Sulfonsäuregruppen gebunden werden) sprechen jedoch gegen diesen vermuteten Ionenaustausch. Möglicherweise scheint es hier zu einer Überlagerung von Ionenaustausch-, Ionenausschluss- und Komplexbildungseffekten zu kommen.

Der Rest der Aminosäuren liegt in ungeladener Form vor (siehe *Abbildung 0-6*) und könnte aufgrund der partiell positiven/negativen Ladung mit den koordinativ gebundenen Ca²⁺-Ionen in Konkurrenzreaktion treten (Ionenaustausch/ Ionenausschluss bzw. Komplexbildungseffekte). Dieser vermutete Sachverhalt scheint hier speziell ab Retentionszeit 130 min zum Tragen zu kommen.

Eine Abtrennung von einzelnen Aminosäuren ab Retentionszeit 120 min scheint als schwer durchführbar, da es großteils zu Überlagerungen mit verschiedenen Aminosäure-Peaks kommt. Wie das Trennergebnis zeigt, kommt es bis Retentionszeit 195 min zu keiner gänzlichen Elution der aufgegebenen Probenmenge; das anschließende Spülen des Harzes mit 20 % EtOH bestätigt diese Vermutung.

Um das Trennverhalten des Harztypes MDS 1368 Ca Lewatit bei verminderter Flussrate im Detail untersuchen zu können wurde ein Chromatographielauf bei 5 ml * min⁻¹ durchgeführt.

7.5.1.9 Ergebnisse Chromatographieversuch 9: MDS 1368 Lewatit; Ca^{2+} -konditioniert; $\text{pH} = 3,8$; Modelllösung B

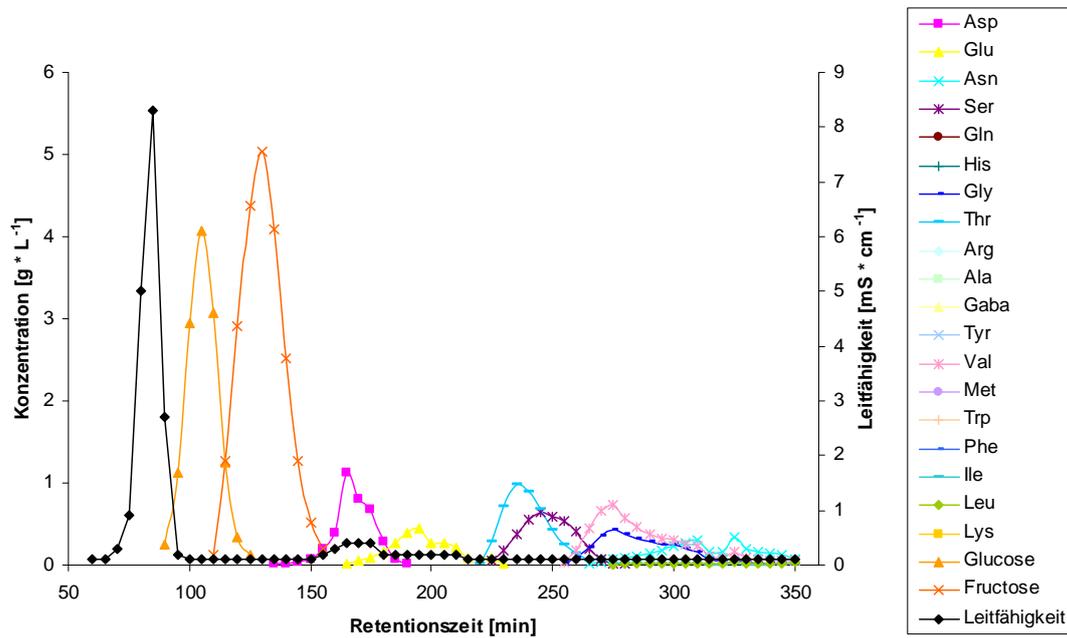


Abbildung 7-17: Versuchsergebnis MDS 1368 Lewatit; Ca^{2+} -konditioniert; $\text{pH} = 3,8$

Bei $\text{pH} = 3,8$ liegen die Aminosäuren Asp und Glu in ungeladener (schwach negativ geladener) Form vor (siehe *Abbildung 0-6*). Die Aminosäuren Asp und Glu könnten aufgrund der partiell positiven/negativen Ladung mit den koordinativ gebundenen Ca^{2+} -Ionen eine Konkurrenzreaktion eingehen (Ionenaustausch/Ionenausschluss bzw. Komplexbildungseffekte) und deshalb von der stationären Phase zurückgehalten werden (stöchiometrische Konkurrenzreaktion mit Ca^{2+}).

Die Aminosäuren His, Lys und Arg liegen bei $\text{pH} = 3,8$ in positiv geladener Form vor (siehe *Abbildung 0-6*). Aufgrund dessen könnten diese Aminosäuren mit den koordinativ an die stationäre Phase gebundenen Ca^{2+} -Ionen eine Konkurrenzreaktion (stochiometrischer Ionentausch: zwei positiv geladene Aminosäuren gegen ein Ca^{2+} -Ion) eingehen und besonders gut an die funktionellen Gruppen der stationären Phase gebunden werden. Die Aminosäuren His, Lys und Arg wurden durch die stationäre Phase besonders gut gebunden und konnten durch Elution mit 40 % EtOH *nicht* desorbiert werden. Möglicherweise ist es hier zu einem teilweisen Ionenaustausch gekommen.

Allerdings sprechen wiederum die hohe Affinität der Ca^{2+} -Ionen zu Sulfonsäuregruppen und der Umstand, dass Asp, Glu, His, Lys und Arg mit Wasser eluiert wurde ohne dass ein signifikanter Anstieg des pH -Wertes quantifiziert werden konnte (H^+ -Ionen könnten durch die Sulfonsäuregruppen gebunden werden) gegen diesen vermuteten Sachverhalt. Möglicherweise scheint es hier zu einer Überlagerung von Ionenaustausch-, Ionenausschluss- und Komplexbildungseffekten zu kommen.

Der Rest der Aminosäuren liegt in ungeladener Form vor (siehe *Abbildung 0-6*) und könnte aufgrund der partiell positiven/negativen Ladung mit den koordinativ gebundenen Ca^{2+} -Ionen in Konkurrenzreaktion treten (Ionenaustausch-, Ionenausschluss bzw. Komplexbildungseffekte). Dieser Sachverhalt scheint hier für die Aminosäuren *Thr, Ser, Val, Gly, Asn, Leu, Ile* zum Tragen zu kommen.

Eine prozesstechnisch relevante Separation der Aminosäuren Asp und Glu ist ab Retentionszeit 150 min zu erzielen. Die Aminosäuren *Thr, Ser, Val, Gly, Asn, Leu, Ile* können mit diesem Harztyp bestenfalls nur in Gruppen abgetrennt werden.

7.5.2 Zusammenfassung – Abtrennung von Aminosäuren

Nach dem vorliegenden Ergebnisstand geht hervor, dass mit dem Harz XAD 1600, die komplette Lösung in Gruppen aufgetrennt werden kann, wobei eine signifikante Abtrennung der hydrophoben Aminosäuren Leucin/Isoleucin erzielbar ist. Bei Verwendung von XAD 1600 Harz ist das Trennverhalten von Leucin/Isoleucin nur begrenzt vom pH-Wert abhängig. Gleichzeitig ist klar ersichtlich, dass eine Trennung einzelner Aminosäuren, unter den gewählten Bedingungen, nicht realisierbar ist.

Bei Verwendung von UBK 530 Harz in K^+ -konditionierter Form scheint es möglicherweise zu einer Überlagerung von Ionenaustausch-, Ionenausschluss- und Komplexbildungseffekten zu kommen. Zur Untersuchung des vorliegenden Sachverhaltes im Detail sind hier weiterführende Untersuchungen notwendig. Allerdings zeigt sich wiederum, dass die Trennung einzelner Aminosäuren mit dem vorliegenden UBK 530 Harz in K^+ -konditionierter Form letzten Endes nicht realisierbar ist.

Die Aminosäuren Glu und Asp liegen bei $\text{pH} = 4,0$ als Anion vor und treten bei Verwendung von MDS 4368 in SO_4^{2-} -konditionierter Form, wie das Trennergebnis zeigt, mit den koordinativ an die stationäre Phase gebundenen Sulfat-Ionen in eine Konkurrenzreaktion ein, was ein „Festkleben“ an der stationären Phase verursacht. Möglicherweise ist es hier zu einem teilweisen Ionenaustausch gekommen. Der vorliegende Sachverhalt ist hier nicht restlos geklärt.

Das Trennergebnis von ODS-A reversed Phase-Material zeigt, dass es zu keiner signifikanten Rückhaltung der überwiegenden Anzahl der Aminosäuren und der Monosaccharide kommt. Die Aminosäuren Leu, Phe und Trp wechselwirken über ihre hydrophoben Seitenketten mit der stationären Phase, was eine signifikante Rückhaltung dieser Aminosäuren bewirkt (siehe *Abbildung 0-6*). Die Wiederfindungsrate der separierten Aminosäure Phe liegt bei 16 % (siehe Berechnung Recovery); aufgrund dieses Umstandes ist das beobachtete Trennverhalten der Aminosäure Phe unter Verwendung von ODS A-Harzmaterial als unzureichend zu klassifizieren. Bei Verwendung von MDS 1368 Ca^{2+} -konditioniert scheint es zu einer Überlagerung von Ionenaustausch-, Ionenausschluss- und Komplexbildungseffekten zu kommen.

Eine prozesstechnisch relevante Separation der Aminosäuren Asp und Glu ist ab höheren Retentionszeiten zu erzielen. Die Aminosäuren Thr, Ser, Val, Gly, Asn, Leu, Ile können mit diesem Harztyp bestenfalls nur in Gruppen abgetrennt werden.

Insgesamt kann gesagt werden, dass nach dem derzeitigen Stand der Dinge, eine Trennung des vorliegenden Aminosäuregemisches in einzelne Aminosäuren kaum durchführbar ist.

7.6 Untersuchungen zur Abtrennung von Milchsäure aus Grassilagesäften mittels Chromatographie

7.6.1 Einführung

Am Department für Lebensmittelwissenschaften und –technologie wurden im Rahmen einer Dissertation (*Cramer 1995*) umfangreiche Untersuchungen zur Gewinnung von Milchsäure aus Fermentationsmaischen durchgeführt. Mit allen verfügbaren Daten und auf der Basis von weiteren Literaturrecherchen wurde beschlossen, im vorliegenden Projekt das neutrale Polymerharz XAD 1600 (Fa. Rohm and Haas) für die Abtrennung von Milchsäure zu verwenden. Einige relevante, physikalische und chemische Harzeigenschaften sind in *Tabelle 7-4* zusammengefasst sind.

Tabelle 7-4: Physikalisch und chemische Eigenschaften von Amberlite XAD 1600 (Rohm and Haas, 2001)

Parameter	Value
Matrix	Macroreticular cross-linked aromatic polymer
Physical form	White translucent beads
Moisture holding capacity	66 to 73%
Specific gravity	1.0015 –1.025
Particle size	400 ± 50 µm
Uniform coefficient	≤ 1.25
Surface area	≥ 800 m ² .g ⁻¹
Porosity	≥ 0.55 ml.ml ⁻¹
Working pH	0 – 14
Maximum temperature limit	150 °C

7.6.2 Materialien und Methoden

Was die methodische Vorgangsweise anbelangt, so wurden die Untersuchungen in ähnlicher Weise durchgeführt, wie dies bei Aminosäuren der Fall war (HPLC-Analytik, Chromatographie-Pilotanlage usw.). Allerdings konnten die Untersuchungen ausgeweitet werden (Einfluss verschiedener Prozessparameter auf die Trennleistung), da nur ein Harztyp zur Diskussion stand.

7.6.3 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Wie bereits angedeutet, lag im Falle der Abtrennung von Milchsäure ein klareres Bild vor, so dass folgende Fragestellungen systematisch untersucht werden konnten:

- Adsorptionsisotherme
- Einfluss der Überströmgeschwindigkeit der mobilen Phase (Modelllösung)

- Einfluss der Stoffkonzentration im Feed (Modelllösung)
- Einfluss des Aufgabevolumens
- Trennversuche mit Silagesaft

7.6.3.1 Adsorptionsisotherme

Für Aussagen über Adsorptionsisotherme sind Eigenschaften wie Dissoziationsverhalten oder Adsorptionsverhalten von Milchsäure bei unterschiedlichen pH-Werten von Interesse. Diesbezügliche Informationen bzw. Untersuchungsergebnisse sind in *Abbildung 7-18* und *Abbildung 7-19* dargestellt.

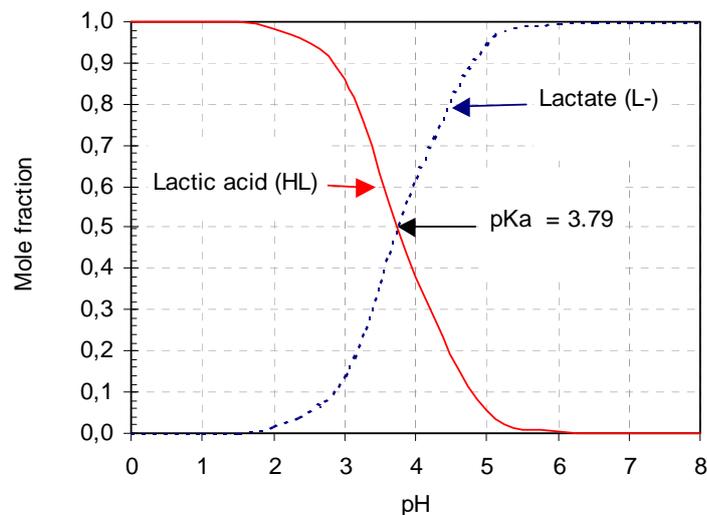


Abbildung 7-18: Dissoziationsverhalten von Milchsäure

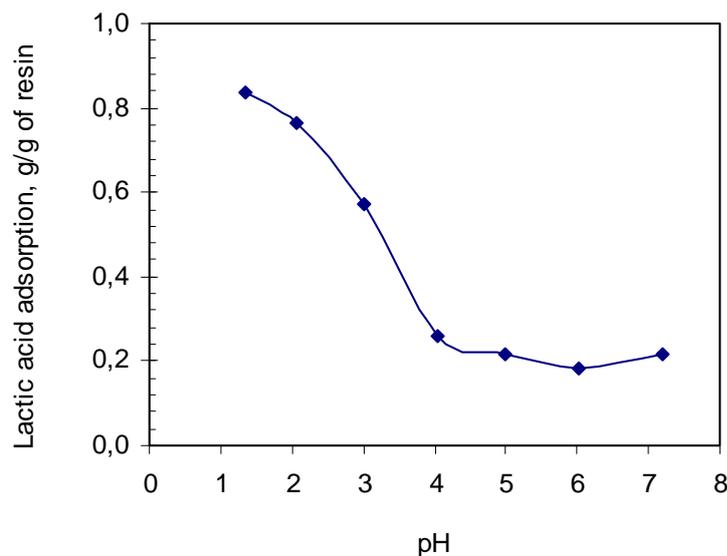


Abbildung 7-19: Adsorptionsverhalten von Milchsäure in Abhängigkeit vom pH-Wert (XAD 1600, $T = 25\text{ °C}$)

Wie aus *Abbildung 7-19* ersichtlich ist, liegt bei der Adsorption der Milchsäure (Lactat) eine deutliche pH-Abhängigkeit vor, die im Chromatographieprozess zu berücksichtigen ist. Die Ergebnisse hinsichtlich der Adsorptionsisotherme sind folgender *Abbildung* dargestellt.

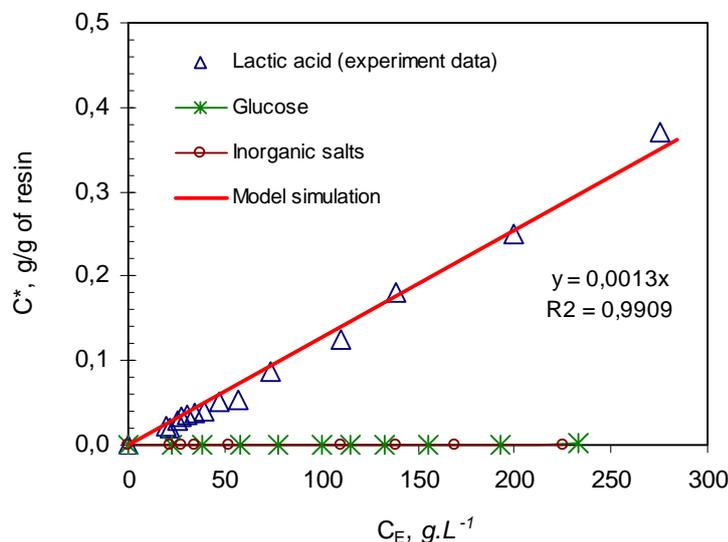


Abbildung 7-20: Adsorptionsisotherme für das Gemisch Milchsäure, Glucose und ausgewählte anorganische Salze (T = 60 °C, pH = 2,0)

Die Ergebnisse zeigen, dass eine klare Trennung zwischen Milchsäure und einem Teil weiterer Inhaltsstoffe, die im Silagesaft vorhanden sind, möglich ist, wobei entsprechende Prozessparameter zu berücksichtigen sind.

7.6.3.2 Mobile Phase – Einfluss der Überströmgeschwindigkeit bzw. Flussrate

Versuche bezüglich der Überströmgeschwindigkeit bzw. der Flussrate der mobilen Phase wurden mit einer Modelllösung, deren Zusammensetzung in *Tabelle 7-5* angegeben ist, durchgeführt.

Tabelle 7-5: Zusammensetzung der Modelllösung

N°	Component	Concentration, g.L ⁻¹
1	Lactic acid	260.06
2	Sulfate	152.45
3	Sodium	71.79
3	Glucose	76.23

Welchen Einfluss nun die Flussrate auf die Trennung der Milchsäure von ausgewählten Inhaltsstoffen, die in einem Silagesaft vorkommen, hat, zeigt die *Abbildung 7-21*.

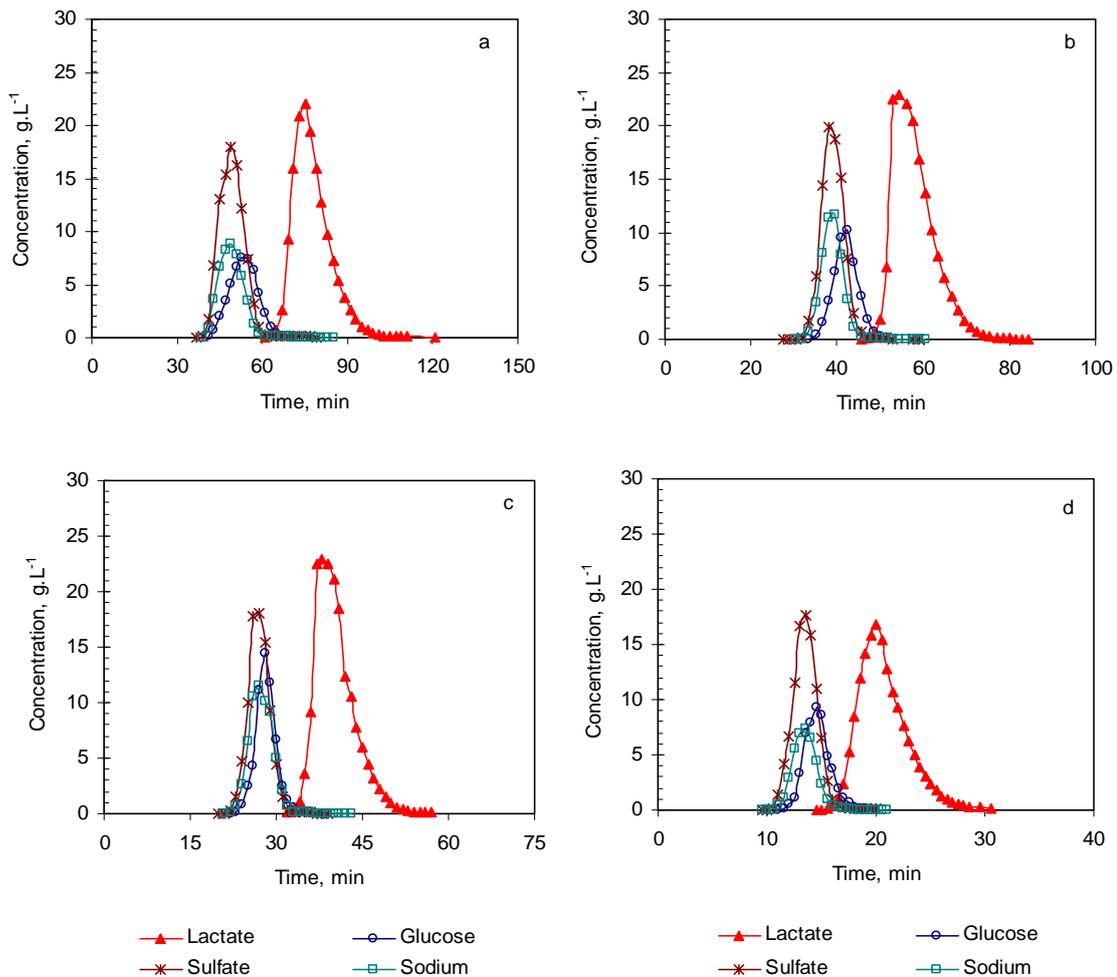


Abbildung 7-21: Trennung von Milchsäure bei unterschiedlichen Flussraten (Chromatographiesäule 2,5 x 100 cm, T = 60 °C, V_{Feed} = 10 mL, Volumenstrom = 1,02 a), 2,04 b), 4,08 c) und 6,12 d) cm/min.

Tabelle 7-6: Einfluss der Fließgeschwindigkeit auf die Trennung von Milchsäure

Flow rate, $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$	Resolution, R	Maximum concentration of lactic acid, $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	Productivity ¹ , $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$	Purity %	Yield %
1.53	1.18	22.06	3.09	98.51	99.55
2.04	1.16	23.00	4.46	98.75	99.40
3.06	1.09	22.89	6.45	98.61	99.47
6.12	0.95	16.85	12.06	93.21	99.22

¹ Productivity was calculated as sugar amount obtained per unit volume of resin per unit time.

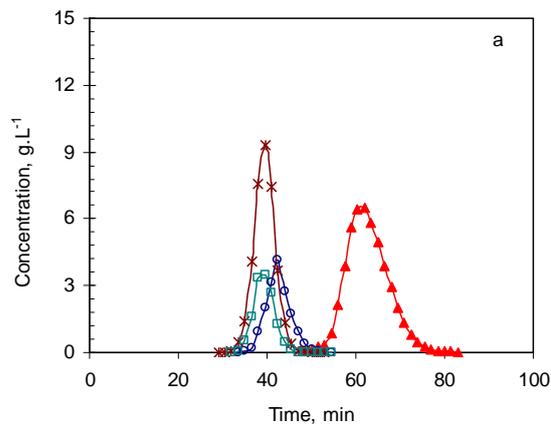
Wie aus der *Tabelle 7-6* ersichtlich ist, ist der Zusammenhang zwischen Fließgeschwindigkeit und Produktivität beinahe linear. Bei schrittweiser Steigerung der Durchflussgeschwindigkeit von 1,53 auf 2,06 $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ erfolgte keine wesentliche Veränderung der Reinheit und des Ertrags. Erst bei einer weiteren Erhöhung der Durchflussgeschwindigkeit auf 6,12 $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ kommt es zu einer deutlichen Änderung der Reinheit. Wie die Ergebnisse zeigen, ist eine Optimierung des Prozessverlaufes möglich und auch notwendig. Gleichzeitig können mit diesen Untersuchungsergebnissen entsprechende Produktivitäten abgeschätzt werden.

7.6.3.3 Einfluss der Stoffkonzentration im Feed

Die Konzentration der Inhaltsstoffe im Feed ist von besonderer Bedeutung. Neben der Produktqualität wird vor allem die Produktivität maßgeblich davon beeinflusst.

Table 7-7: Zusammensetzung der Modelllösung

Feed	Lactic acid, $g.L^{-1}$	Glucose, $g.L^{-1}$	Sodium, $g.L^{-1}$	Sulfate, $g.L^{-1}$
1	260.06	76.23	71.79	152.45
2	128.78	38.74	35.55	76.97
3	78.29	23.29	20.22	44.42



Entsprechende Untersuchungen mit vorgelegten Modellösungen (siehe *Table 7-7*) wurden durchgeführt und die Ergebnisse sind in *Abbildung 7-22* dargestellt.

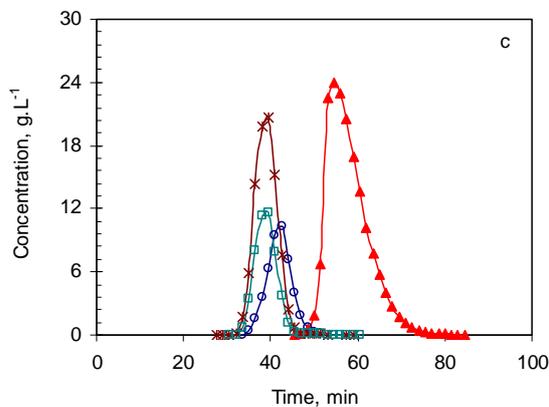
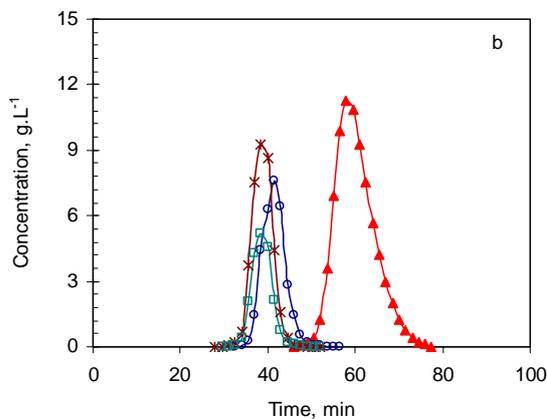


Abbildung 7-22: Trennung bei unterschiedlichen Feedkonzentrationen (Chromatographiesäule 2,5 x 100 cm, $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, Flussrate = 2,04 cm/min, Aufgabevolumen = 10 mL, Milchsäurekonzentrationen: 78,29 a), 128,28 b) und 260,06 c) g/L.

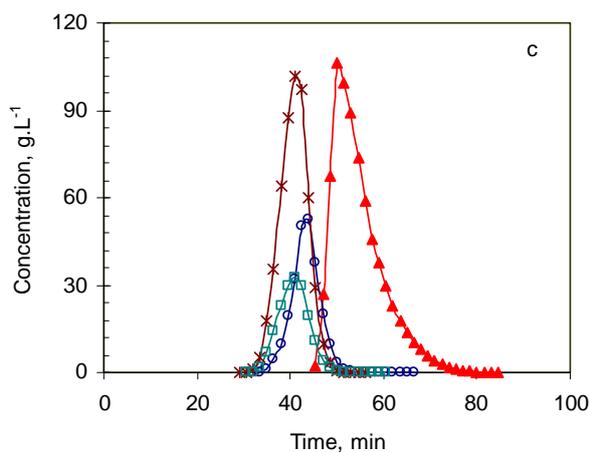
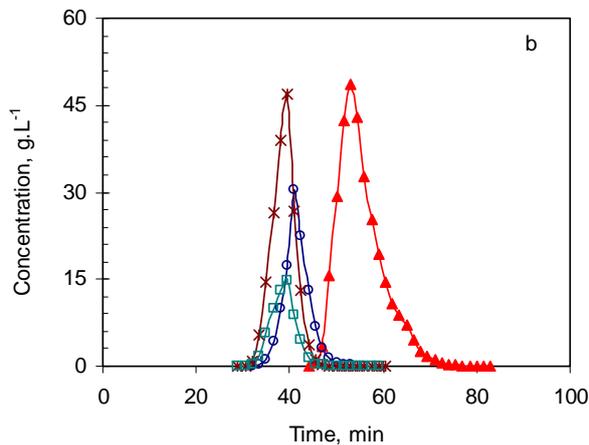
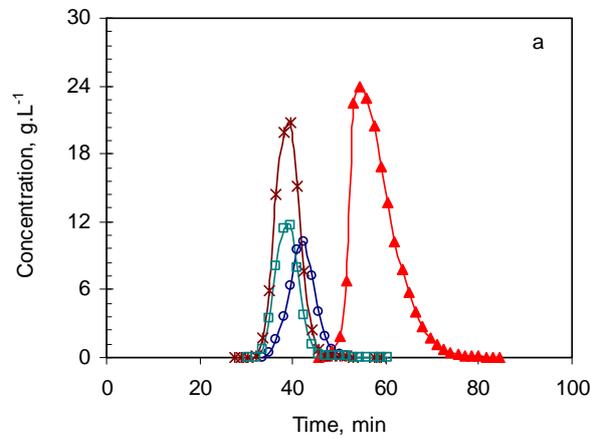
▲ Lactate ○ Glucose
✱ Sulfate □ Sodium

Wie die Ergebnisse zeigen, hat die Konzentration der Inhaltsstoffe im untersuchten Kon-

zentrationsbereich keinen signifikanten negativen Einfluss auf die Trenneigenschaften der Chromatographie.

7.6.3.4 Einfluss des Aufgabevolumens

Untersuchungen hinsichtlich des Aufgabevolumens sind in folgender Abbildung zusammengefasst.



▲ Lactate ○ Glucose
✱ Sulfate □ Sodium

Abbildung 7-23: Trennung bei unterschiedlichen Aufgabevolumina (Chromatographiesäule 2,5 x 100 cm, T = 60 °C, Flussrate = 2,04 cm/min, Aufgabevolumen: 10 a), 20 b) und 45 c) mL

Wie der *Abbildung 7-23* entnommen werden kann, spielt das Aufgabevolumen eine wesentliche Rolle bei der Abtrennung der Milchsäure. Aus diesem Grund sind nachfolgend (siehe

Tabelle 7-8) wesentliche Daten wie Produktivität, Reinheit usw. dargestellt. Weiters sind in *Tabelle 7-9* Daten hinsichtlich Ausbeute und Trennleistung zusammengefasst.

Tabelle 7-8: Einfluss des Aufgabevolumens

Loaded volume, % of bed volume	Maximum concentration of lactic acid, g.L ⁻¹	Resolution, R	Productivity ¹ , kg.m ⁻³ .h ⁻¹	Purity %	Yield %
2.22	23.00	1.16	4.46	98.75	99.40
4.44	48.52	0.90	8.93	97.90	99.41
10.00	106.38	0.55	20.29	92.93	99.50

Tabelle 7-9: Zusammenfassung der Daten hinsichtlich Ausbeute und Trennleistung

Yield, %	Purity, %	Productivity ¹ , kg.m ⁻³ .h ⁻¹	Lactic acid concentration, g.L ⁻¹	Dilution factor
99.50	92.93	20.29	36.20	7.2
95.36	96.99	19.45	40.82	6.4
92.54	96.90	18.77	51.80	5.0
86.77	96.71	17.69	63.14	4.1

7.6.3.5 Trennversuche mit Silagesaft

Bei den Untersuchungen mit Silagesaft wurden zunächst einige Basisuntersuchungen vorgenommen (Puls-Test). Als Feedlösung (10 mL) wurde ein NF-Permeat (MPF-36 Membran) eingesetzt. Die Versuchsbedingungen sind in *Tabelle 7-10* angeführt.

Tabelle 7-10: Zusammensetzung der Feedlösung im Puls-Test

Substance	Concentration, gL ⁻¹
Lactic acid	35
Acetic acid	2.0
Sugars (glucose, fructose, sucrose, arabinose, xylose, ...)	26.85
Inorganic salts (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})	62.78

In *Abbildung 7-24* ist zunächst der Verlauf des pH-Wertes und der Leitfähigkeit im präparativen Maßstab dargestellt.

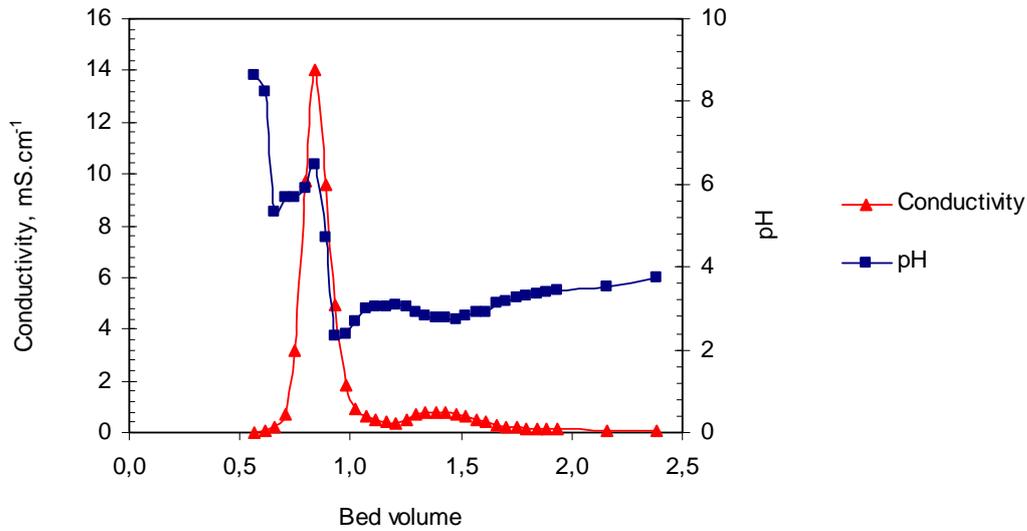


Abbildung 7-24: Versuch mit Silagesaft (NF-Permeat), pH-Wert- und Leitfähigkeitsverlauf

Abbildung 7-25 zeigt entsprechendes Trennverhalten für einige wesentliche Inhaltsstoffgruppen (Milchsäure, Zucker, Aminosäuren).

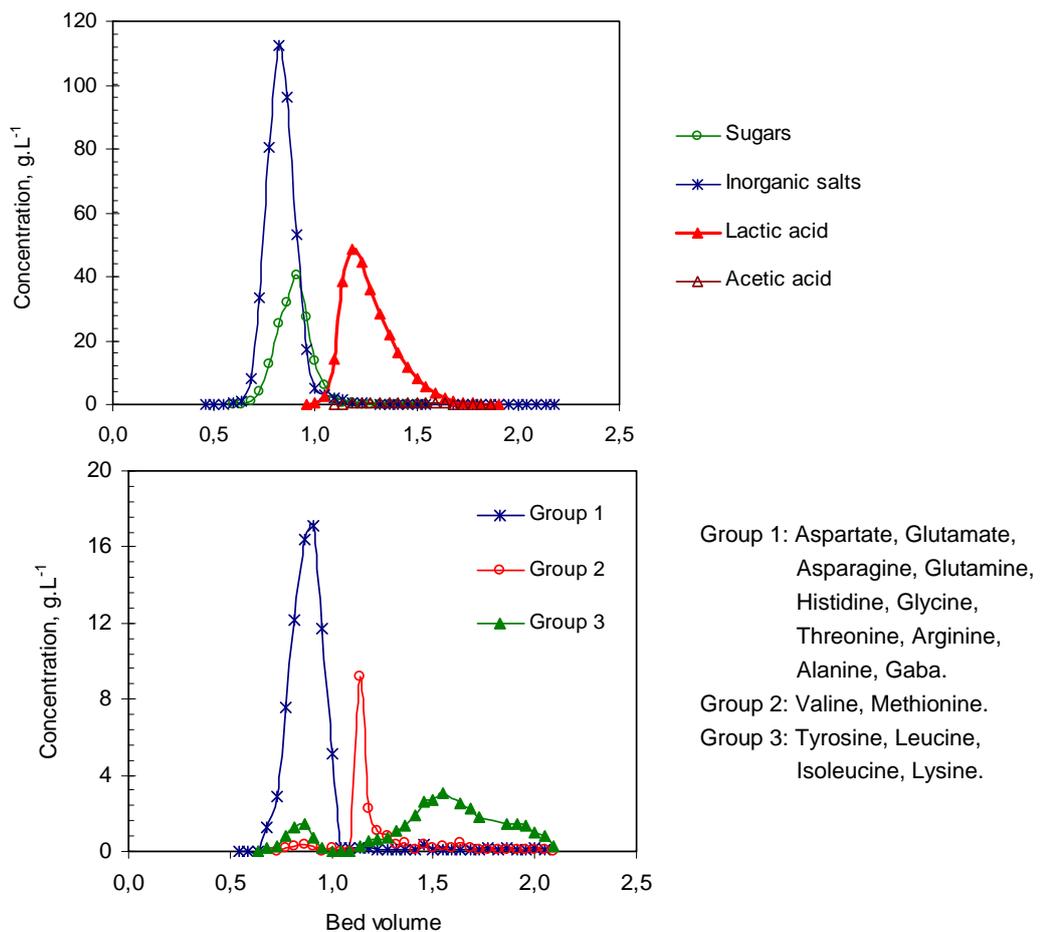


Abbildung 7-25: Trennverhalten für einige wesentliche Stoffgruppen des Silagesaftes (NF-Permeat), Feedvolumen = 4 mL, Flussrate = 2,04 cm/min, T = 60 °C, Säule 25 x 100 cm

Obwohl alle bisherigen Untersuchungen zeigen, dass das eingesetzte Harzmaterial gute Eigenschaften aufweist um Milchsäure abzutrennen, geht aus den Versuchen mit Silagesaft (NF-Permeat) klar hervor, dass eine Trennung von Aminosäuren nicht durchführbar ist. In der Milchsäurefraktion sind vor allem Valin, Leucin, Isoleucin und Lysin vorzufinden.

7.6.4 Zusammenfassung der chromatographischen Trennversuche für Milchsäure

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Harztyp XD 1600 durchaus geeignet ist, um Milchsäure aus einem komplexen Gemisch abzutrennen. Sind allerdings in der Feedlösung neben Kohlenhydraten (Glucose) und anorganischen Salzen auch verschiedene Aminosäuren enthalten, wie dies bei einem Silagesaft der Fall ist, so ist eine Trennung in einem Chromatographieschritt nicht möglich. Für die Bewältigung dieses Problems sind auf jeden Fall Kombinationsverfahren erforderlich. Die hier dargestellten Untersuchungen sind auch in einer Veröffentlichung (*Vu Thang, Novalin 2008*) umfassender dargestellt.

Was die Trennung der Milchsäure von Zuckern und Salzen anbelangt, so können die Resultate äußerst positiv bewertet werden. Allerdings lässt sich mit diesem Chromatographieschritt keine Trennung zwischen Milchsäure und Aminosäuren erzielen.

Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, die Milchsäure in undissoziierter Form mittels Chromatographie zu isolieren bzw. zu gewinnen. Auf der Basis von Literaturrecherchen und früheren Arbeiten (Abtrennung und Reinigung von Milchsäure aus Fermentationslösungen mittels Chromatographie), durchgeführt am Department für Lebensmittelwissenschaften und -technologie, wurde beschlossen, ein neutrales Polymerharz mit der Bezeichnung XAD 1600 zu testen. Der Einfluss wichtiger Prozessparameter wurde mit Modelllösungen untersucht.

Bei der Trennung der Milchsäure durch Chromatographie kann der pH-Wert eine wesentliche Rolle spielen. Die Adsorption findet praktisch erst unterhalb von einem pH-Wert von 3 statt. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden die weiteren Untersuchungen bei einem pH-Wert von 2 durchgeführt.

Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit

Es ist bekannt, dass die Strömungsgeschwindigkeit (siehe Van-Deemter-Beziehung) eine wesentliche Rolle bei der chromatographischen Trennung von Substanzen spielt. Gleichzeitig wird die Produktivität durch den Faktor Zeit beeinflusst. Dementsprechend wurden Versuche durchgeführt, in denen der Volumenstrom variiert wurde (siehe *Abbildung 7-22*) Wie der *Abbildung* entnommen werden kann, ist eine Optimierung des Prozesses bezüglich Produktivität möglich, wobei die Auflösung erst bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 6 cm/min besonders zu beachten ist. Naturgemäß ist hier die grundsätzliche Frage der erforderlichen Reinheit vorab zu klären. Die diesbezüglich erforderlichen Daten sind in *Tabelle 7-6* zusammengefasst.

Einfluss der Konzentration

Die Produktivität eines chromatographischen Trennprozesses wird von der Konzentration bzw. vom Massendurchsatz im hohen Maße beeinflusst. Um das Trennverhalten in diesem Zusammenhang zu untersuchen, wurden einige Trennversuche mit unterschiedlichen Konzentrationen durchgeführt (siehe *Abbildung 7-22*). Auch hier stellt sich die Frage, bei welchen Konzentrationen ist eine noch zufrieden stellende Auflösung erreichbar. Wie der *Tabelle 7-8* entnommen werden kann, ist der Reinheitsgrad auch bei relativ hohen Ausgangskonzentrationen akzeptabel. Allerdings kann dies nur in Abhängigkeit von der Anwendung beurteilt werden.

Einfluss des Aufgabevolumens

Obwohl der Einfluss des Massendurchsatzes zunächst über die Konzentration zu beurteilen ist, muss auch der Massendurchsatz im Zusammenhang mit dem Aufgabevolumen untersucht werden. Wie der *Abbildung 7-23* entnommen werden kann, sind hierbei (erwartungsgemäß) eindeutig volumenabhängige Einflussfaktoren sichtbar. Erhöht man das Aufgabevolumen von 10 auf 45 mL, sinkt der Reinheitsgrad von etwa 99 % auf rund 93 %. Dabei entspricht der Massendurchsatz nur einer Konzentration von ca. 106 g/L.

Was die Trennversuche mit Modelllösungen anbelangt, so kann gesagt werden, dass die Reinheitsgrade zwischen 93,2 und 99,9 % liegen, wobei Ausbeuten von 99,4 % zu erreichen sind.

Trennversuche mit Grassilagesaft

In weiterer Folge wurden Trennversuche mit Grassilagesaft durchgeführt (*Abbildung 7-25*). Die komplexere Zusammensetzung führte zu einer Reduktion des Reinheitsgrades (ca. 97 %). Obwohl etwa 99 % der mineralischen Inhaltsstoffe abgetrennt wurden, konnten organische Säuren, insbesondere Essigsäure, nicht reduziert werden. Darüber hinaus war eine Trennung von diversen Aminosäuren ebenfalls nicht möglich.

Zusammenfassend kann allerdings gesagt werden, dass zunächst ein relativ klares Bild vorliegt, was den grundsätzlichen Einsatz der Chromatographie anbelangt. Nach dem derzeitigen Stand der Untersuchungen, sollte vor einem chromatographischen Prozess eine Vortrennung zwischen Milchsäure und Aminosäuren vorgenommen werden.

8 Torfersatz – Kulturmedien aus Grasfasern für den Gartenbau

Dieser Berichtsteil wurde von Mag. Dr. Marion Reinhofer verfasst. Die Versuchsreihen zum Austesten von Substraten unter Praxisbedingungen wurden bei der Fa. Herneth GmbH in Graz durchgeführt.

8.1 Übersicht und Ausgangslage

Gegenstand der Arbeiten ist die Durchführung von Eignungsuntersuchungen der in einer Grünen Bioraffinerie anfallenden Faserrückstände als Rohstoff für Torfersatzprodukte im gewerblichen Gartenbau. Die Arbeiten erfolgen in enger Kooperation mit dem Projektpartner Fa. Herneth, der mit einer Gesamtkulturfläche von fast 200.000 m² (120.000 m² unter Glas, 35.000 m² beheizbare Folientunnel, 40.000 m² Freiland) einer der größten Gartenbaubetriebe Österreichs ist. Der Betrieb verwendet derzeit als Kulturmedium großteils Torf, welcher aus Russland bezogen wird. Im Sinne einer nachhaltigen und ökologischeren Betriebsführung wird ein teilweiser Ersatz des derzeit als Kultursubstrat verwendeten Torfs durch andere „ökologisch“ besser vertretbare Medien angestrebt. Besonderes Interesse besteht an einem österreichischen Alternativprodukt, das die Kriterien nachhaltiger Wirtschaftsweise erfüllt, d.h. unter Verwendung von Rohstoffen aus heimischer und nachhaltiger Produktion hergestellt wird.

Grundsätzlich ist im gewerblichen Gartenbau sowie im Landschaftsbau eine Reihe von Produkten im Einsatz, bei denen Grasfasermaterialien zukünftig eine wesentliche Rohstoffkomponente darstellen könnten. Gemäß einer Recherche zu potentiellen Anwendungsbereichen von Grasfasern (*Wachter, Mandl et al. 2003*) könnten Grasfasern der Grünen Bioraffinerie unter anderem auch im Torfprodukte Verwendung finden.

Die Untersuchungen im Rahmen dieses Projekts zielten darauf ab,

- a) eine grundsätzliche Beurteilung der Eignung von Grasfaserrückständen aus der Grünen Bioraffinerie zur Herstellung von Pflanzsubstraten bzw. von Torfersatzprodukten für den Einsatz im gewerblichen Gartenbau zu ermöglichen,
- b) Kenntnis des Verhaltens von Torfersatzprodukten, hergestellt aus der in einer Grünen Bioraffinerie anfallenden Faserfraktion, unter Praxisbedingungen zu gewinnen, sowie
- c) eine Abschätzung des möglichen Beitrags dieser Produktgruppe zur Gesamtwirtschaftlichkeit.

Das Arbeitsprogramm in diesem Themenbereich lässt sich wie folgt gliedern:

(1) Recherchen – Kultur- und Pflanzmedien

– Erhebung von torffreien Kultur- und Pflanzmedien:

Erhebung und Zusammenstellung derzeit am Markt vorhandener torffreier Pflanz- bzw. Kulturmedien, sowie die Erhebung von Reststoffen, die sich als Torfersatz bzw. als Pflanz-

medien eignen. Hier wird insbesondere auf in Österreich verfügbare Materialien (Mengen und Qualität) Wert gelegt.

– **Auswahl geeigneter Kulturmedien:**

Gegebenenfalls Auswahl geeigneter torffreier Kulturmedien für die speziellen Anforderungen und Einsatzbereiche des Gartenbaubetriebes der Partnerfirma.

(2) Charakterisierung und Beurteilung der Eignung des festen Pressrückstandes aus einer Grünen Bioraffinerie als Pflanzmedium bzw. Torfersatzprodukt – Labortests

In einem „Analytik Abschnitt“ erfolgen Untersuchungen zur Charakterisierung und Beurteilung der Eignung des festen Pressrückstandes aus einer Bioraffinerie als Pflanzmedium bzw. Torfersatzprodukt, gemäß den in den ÖNORMEN für Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstraten festgesetzten Anforderungen für Kultursubstrate bzw. gemäß den Anforderungen lt. Düngemittelgesetz.

(3) Anwendungsversuche / Versuchsreihen unter Praxisbedingungen

In diesem „Versuchsabschnitt“ werden Tests und Versuchsreihen unter Praxisbedingungen durchgeführt. Diese Testreihen werden direkt beim Projektpartner unter Praxisbedingungen mit einer Versuchspflanze durchgeführt. Das Versuchsdesign erfolgt in Abhängigkeit der Ergebnisse der Eignungsuntersuchungen und der Grasfaser und des Produktionsablaufes im Gartenbaubetrieb.

Aufgrund von Einsparungen im gesamten Projektbudget ergaben sich hierbei Einschränkungen gegenüber der ursprünglich geplanten Versuchsanordnung.

8.2 Recherche zu Torfersatz- und Kulturmedien

8.2.1 Einleitung

Wie die Recherchen ergaben, basiert die Mehrzahl der heute verwendeten und im Handel erhältlichen Pflanz- und Kultursubstrate auf Torf. Torf ist sowohl Bestandteil von unterschiedlichsten Substratmischungen, als auch als eigenes (alleiniges) Substrat in unterschiedlichen Bereichen im Einsatz. Zahlen zum Einsatz von Torf im Gartenbau sind europaweit spärlich vorhanden, bzw. variieren die Angaben sehr stark. Europaweit kann man von einer Torfverwendung von zwischen 25 und 50 % im Hobbygartenbau und zwischen 40 und 70 % im Erwerbsgartenbau ausgehen.

Tendenziell liegt der Schwerpunkt des Einsatzes torfhaltiger Kultursubstrate im Gemüse- und Zierpflanzenbau sowie im Baumschulbereich. Der Anteil des Torfeinsatzes im Kleingarten und Hobbybereich ist leicht rückläufig, da hier zunehmend Torfersatzprodukte verwendet werden. Wie Recherchen ergaben, setzen teilweise große Wiederverkäuferketten bereits auch auf Strategien zur Torfreduktion oder zum Torfausstieg, zumindest in Produktteilströmen (*Holmes 2004*), wodurch Produzenten unter den Druck kommen, umweltgerechte Pro-

dukte anzubieten. So wird beispielsweise in den Niederlanden seitens der exportorientierten Gartenbauwirtschaft stark in die Forschung nach neuen Medien investiert. Speziell der steigende Anteil von Bio-Produkten erfordert für den Biogartenbau und die Biopflanzenanzucht eine intensivere Auseinandersetzung mit der Frage des Torfersatzes.

Die meisten Torfprodukte, die im Gartenbau Verwendung finden, sind aus Weißtorf, einem strukturstabilen, wenig zersetzten Torf hergestellt. Weißtorf ist durch seine gute Wasserhaltefähigkeit bei gleichzeitig hohem Luftanteil gekennzeichnet. Da er kaum Nährstoffe enthält und einen niedrigen pH-Wert hat, ist eine gezielte Aufdüngung und Aufkalkung für verschiedene Pflanzenarten nötig.

Torf ist ein langsam nachwachsender organischer Rohstoff, der aus abgestorbenen Pflanzenteilen besteht. Moore entstanden und entstehen auf nassen, wenig durchlüfteten Böden über Gesteinsschichten, die das Wasser stauen. Unter Luftabschluss zersetzen sich die abgestorbenen Pflanzenteile nur unvollständig, was man als „Vertorfung“ bezeichnet. Daraus entsteht im Laufe von Jahrhunderten eine mehrere Meter dicke Torfschicht, welche mit der Zeit über den Wasserspiegel hinauswächst. Die Torfschicht wächst sehr langsam, die Zunahme beträgt rund ein Millimeter pro Jahr. In den oberen Schichten findet man in der Regel den schwach zersetzten, helleren Weißtorf, die stärker zersetzte untere Lage besteht aus Schwarztorf.

Moore sind schützenswerte, sensible Ökosysteme. Torf kann in Europa nicht mehr unbegrenzt abgebaut werden, vor allem in Mitteleuropa werden die Torflagerstätten in absehbarer Zeit ausgebeutet sein. Zudem befinden sich abbauwürdige Flächen in ökologisch wertvollen Gebieten die schutzwürdig sind, sodass der Torfabbau künftig rückläufig sein wird. Mit der Unterzeichnung der Alpenschutzkonvention hat sich Österreich unter anderem verpflichtet, zur Erhaltung von Hoch- und Flachmooren mittelfristig die Verwendung von Torf vollständig zu ersetzen (Bundesgesetzblatt BGBl. Nr. 151 vom 21. Juli 1995). In Österreich, wie auch in anderen mitteleuropäischen Ländern, ist der Abbau von Torf bereits drastisch gesenkt bzw. verboten, sodass vorwiegend Material aus anderen Ländern verwendet wird. In Mitteleuropa wird fast der gesamte Anteil des im Gartenbau verwendeten Torfs importiert. Allein in der Substrat- und Erdenwirtschaft Deutschlands werden, nach Angaben am Deutschen Torf- und Humustag 2002, pro Jahr rund 5.500.000 m³/Jahr Torf als Substrat sowie 3.300.000 m³/Jahr Torf in Blumenerden verbraucht. Rund 200.000 Tonnen Torf werden jährlich aus Lettland, Russland und Polen allein in die Schweiz importiert. 190.000 t importierte Österreich im Jahr 2002.

Gerade aus der Sicht nachhaltiger Ressourcenschonung ist es langfristig anzustreben, intakte Moorflächen zu erhalten, und den Torfabbau zumindest stark einzuschränken. Einen wesentlichen Beitrag dazu könnte ein weitgehender Umstieg auf Torfersatzstoffe im Bereich der Substrate darstellen.

8.2.2 Torfersatzprodukte

Torf besitzt eine Reihe von Eigenschaften, die ihn für den Einsatz als Kultur- und Pflanzsubstrat sowohl im Hobby- als auch im gewerblichen Gartenbau prädestinieren.

Zusammengefasst sind es vor allem die in *Tabelle 8-1* aufgelisteten Eigenschaften, die als positiv für die oben genannten Einsatzbereiche gesehen werden. Produkte die diesen Torfeinsatz ersetzen sollen, sollten sich zumindest zum Teil diesen Eigenschaften annähern können.

Tabelle 8-1: Positive Eigenschaften von Torf

Positive Eigenschaften von Torf	
Hohe Luftkapazität (auch bei voller Wassersättigung) – Substrat auflockernd	Geringer Nährstoffgehalt
Hohe Wasserspeicherfähigkeit	Keine Stickstoff-Immobilisierung
Genauere Einstellung des pH-Wertes möglich	Bedarfsgerechte Aufdüngung bei Nährstoffarmut möglich (Nährlösungen)
Frei von Krankheitserregern, Schädlingen, Beivegetation	Geringe Zersetzbarkeit und daher Struktur erhaltend
Große Homogenität (gut für Spezialsubstrate geeignet)	Gleich bleibende Qualität
Sehr gute Pflanzenverträglichkeit	Niedriger Salzgehalt
Geringe biologische Aktivität	

Im Rahmen einer Marktrecherche (*Reinhofer et al. 2005*) wurden folgende Hemmfaktoren für den Einsatz von torffreien Produkten im gewerblichen Pflanzenbau identifiziert.

Tabelle 8-2: Hemmfaktoren für den Einsatz von Torfersatzprodukten im gewerblichen Gartenbau

Hindernisse technischer Art	Beispiele dafür sind <ul style="list-style-type: none"> • Schwankungen der Substrateigenschaften – vorwiegend bei der Verwendung von Komposten • mangelnde physikalische Eigenschaften • höhere biologische Aktivität – vorwiegend bei Komposten • weiters entsprechen etliche Substrate nicht den Anforderungen technisierten Gartenbaus (Eignung für automatische Bewässerungssysteme, maschinelles Topfen, Transportstabilität).
Hindernisse ökonomischer Art	<ul style="list-style-type: none"> • Höhere Kosten der Alternativprodukte • Umstellungskosten in der Produktion • Erhöhtes Risiko in der Umstellungsphase
Hindernisse psychologischer Art	<ul style="list-style-type: none"> • Negative Erfahrungen in der Vergangenheit • Sofern „Abfall“ oder „Kompost“ etc. zum Einsatz kommt – negative Besetzung • Informationsmangel über Alternativprodukte • Geringe Bereitschaft zur Veränderung (Kostenfaktor, etc.)

Die in *Tabelle 8-2* genannten „Hemmfaktoren“ definieren somit auch die Anforderungen des gewerblichen Gartenbaus an Produkte, die als Alternative zu Torf erfolgreich Verwendung finden könnten. Im Wesentlichen sind dies jene in *Tabelle 8-3* aufgelisteten Eigenschaften.

Tabelle 8-3: Anforderungen an ein Torfersatzprodukt aus der Sicht des gewerblichen Gartenbaus

Anforderungen des gewerblichen Gartenbaus an Torfersatzprodukte	
Kostengünstig (gutes Preis-Leistungsverhältnis)	Adäquate Nährstoffversorgung bzw. Einstellbarkeit – „keine eigene Düngewirkung“ – im Erwerbsgartenbau
Ausgeglichene Wasser/Lufthaltekapazität	Krankheits- und Unkrautfreiheit
Stabilität bei Umpflanzung etc.	Gesundheitliche Unbedenklichkeit
Geringe Schüttdichte („bulk density“)	Uniforme Konsistenz
Gleichbleibende Qualität	Gute Verfügbarkeit /ausreichende Mengen
Automatisiert verarbeitbar	Färbung – ansprechend / ähnlich wie Torf/Erde
Keine „Schrumpfung“	

Die Erhebung derzeit eingesetzter Torfersatzprodukte erfolgte anhand von Literatur- und Studienrecherchen. Basis dafür bildete eine bereits abgeschlossene „Vorstudie“ zum Thema Torfersatz (*Reinhofer et al. 2005*). Der Schwerpunkt wurde auf biogene Materialien gelegt – Ersatzstoffe und Pflanzensubstrate aus nicht biogenen Materialien (Kunststoffe, Mineralfasern etc.) wurden im Rahmen dieser Studie nicht berücksichtigt. Dies deshalb, da gemäß dem österreichischen Umweltzeichen „Torffreie Kultursubstrate und Bodenhilfsstoffe“ (Richtlinie ZU 32) die für torffreie Produkte verwendeten Rohstoffe biogene Reststoffe sein müssen bzw. aus der Verwertung oder Wiederverwertung von biogenen Abfällen stammen und laut Düngemittelverordnung als Ausgangsstoffe für Bodenhilfsstoffe oder Kultursubstrate zulässig sein müssen.

Torfreduzierte und zu einem geringen Ausmaß auch torffreie Substrate sind schon seit geraumer Zeit auf dem Markt. Die Recherchen ergaben, dass neben Komposten aus unterschiedlichen Ausgangsmaterialien (Grüngut, Rinden, biogene Abfallstoffe, etc.), hauptsächlich Rindenprodukte, Holzfasern und die unterschiedlichsten Ernterückstände als Ausgangsmaterialien für Substrat- und Erdenmischungen in Verwendung sind. Der Einsatz bzw. die Anwendung der unterschiedlichen Rohstoffe in Pflanz- und Kultursubstraten unterliegt dem österreichischen Düngemittelgesetz und der Düngemittelverordnung. Weiters gibt das bereits erwähnte Umweltzeichen gemäß der *Richtlinie ZU 32* „Torffreie Kultursubstrate und Bodenhilfsstoffe“, Richtlinien für die Ausgangsmaterialien vor.

Die Literatur- und Studienrecherche ergab, dass derzeit

- Holzreststoffe,
- Landwirtschaftliche Reststoffe,
- Kokosfasern,
- Faserpflanzen (Miscanthus, Hanf, Flachs),
- Komposte, sowie
- Rückstände aus der Zellstoff- und Papierindustrie

mit mehr oder weniger Erfolg als Torfersatzprodukt eingesetzt werden.

8.2.2.1 Holzreststoffe

Die bisher am erfolgreichsten eingesetzten Rohstoffe zur Erzeugung von Torfersatzstoffen sind Reststoffe aus der Holzverarbeitung. Das Material „Holzreststoffe“ umfasst alle anfallenden Reststoffe von Durchforstungsrückständen bis zu sauberen Produktionsabfällen aus der Holz verarbeitenden Industrie, und wird generell als viel versprechende Alternative für Torfersatzprodukte gesehen.

Eine von *Reinhofer et al. 2005* durchgeführte spezifische Auswertung der in Österreich anfallenden organischen Abfallfraktionen ergab, dass der mengenmäßig größte Anteil an Österreich weit anfallenden Reststoffen, welche für eine Verwertung als Torfersatzprodukte in Frage kommen, Holzabfälle sind. Gemäß den Datenauswertungen ist mit einer anfallenden Menge von ca. 3.931.000 t/Jahr (Holzabfälle aus der Be- und Verarbeitung) zu rechnen. Zumindest ein Großteil dieser Stoffe könnte, bei Vorhandensein der entsprechenden Technologien zur Aufbereitung, zu Torfersatzprodukten bzw. Bestandteilen von Torfersatzprodukten weiterverarbeitet werden. Nicht enthalten in dieser Zahl sind Durchforstungsrückstände, die zur Gänze als Rohstoff für die Torfersatzproduktion eingesetzt werden könnten.

Die Holzabfälle werden entweder als aufbereitete Holzfasern oder als „Holzkompost“ verwendet. Je nach Substrat kommt entweder kompostierte Holzfasern, reiner Holzkompost oder Rindenkompost zum Einsatz. Es existieren zahlreiche Studien und Versuche mit unterschiedlichsten Substratmischungen für die verschiedensten Produktionszweige. So werden zum Beispiel in der Zykamenproduktion Rindensubstrate stärker eingesetzt, da sie gewisse Wurzelkrankheiten verhindern. Studien an Lilienknollen zeigten, dass Holzfasern-/ Rindensubstrate ein vollwertiger Ersatz für Torf sind. Bei der Freilandpflanzenproduktion wird derzeit teilweise Torf durch Rindenkompost, Holzfasern und Kokosfasern substituiert. Holzfasernprodukte erscheinen laut *Holmes 2004* auf Grund ihrer geringen Schüttdichte am attraktivsten, wobei die Produktionskosten noch limitierend wirken.

8.2.2.2 Landwirtschaftliche Reststoffe

Die in der Landwirtschaft anfallenden Reststoffe, wie Ernterückstände, sind als Rohstoff zur Torfersatzherstellung umso eher brauchbar, je höher ihr Zelluloseanteil ist. Zahlenmäßig

liegen kaum Angaben über die Rückstände aus der landwirtschaftlichen Produktion bzw. Verarbeitung in Österreich vor. Abfall- bzw. Schlüsselnummer gibt es gem. Bundesabfallwirtschaftsplan für Getreide- und Ölsaatrückstände, welche in einer Menge von 96.000 t pro Jahr anfallen. Im Rahmen der durchgeführten Recherche wurden kein erfolgreich eingesetzter Stoff aus dieser Abfall- bzw. Stoffgruppe gefunden, der als Torfersatz bereits Verwendung findet. Einzig und allein gibt es Erfahrungen mit Reisspelzen, die als Bestandteil in Torfersatzprodukten eingesetzt werden. Sie sind schwer zersetzbar und bieten hohe Luftkapazität. Versuche erwiesen, dass sie nur eine geringe Neigung zur N-Fixierung haben, allerdings ein schlechtes Wasserhaltevermögen und schlechte Substratbindigkeit. Zusätzlich besteht bei Reisspelzen auf Grund der Produktion die Gefahr der Kontamination mit Pflanzenschutzmittel-Rückständen (*Fuchs 2001*).

8.2.2.3 Kokosfaser

Kokosfasern sind schon seit langem als Pflanzmedium im Einsatz. Sie werden für spezielle Produktionszweige als alleiniges Medium verwendet und sind Bestandteil zahlreicher, bereits auf dem Markt befindlicher, „torffreier“ Substrate. Die Kokosfaser hat gute Wasser- und Lufthaltekapazität und ist relativ langsam zersetzbar, also sehr stabil. Sie hat einen großen Feinanteil, welcher allerdings im Abbau durch Mikroorganismen zu Stickstofffestlegung führen kann. Zusammen mit Holzfaser wird Kokosfaser – vor allem in der Freilandpflanzenproduktion – als generell wichtigstes Alternativmedium zu Torf angesehen. In der Pilzzucht ist wie Holzfaser, auch Kokosfaser ein genutztes Alternativmedium. Viele Topfpflanzenhersteller in den Niederlanden und in Belgien nutzen hohe Prozentanteile von Kokosfaser mit exzellenten Resultaten auch in der Glashausproduktion (*Holmes 2004*).

8.2.2.4 Faserpflanzen

Torfersatzprodukte werden teilweise auch aus eigens dafür angebauten Pflanzen hergestellt. Vorzugsweise werden dafür Hanf, Flachs und Miscanthus verwendet. Aus Österreich sind derartige Produktionen jedoch nicht bekannt. Generell werden nach einer Studie von *Meister et al. 1999* die Zukunftsaussichten von Miscanthus und Hanf als Torfersatzprodukte als interessant bewertet.

Der Einsatz von Miscanthus zur Beimengung in Substraten als Torfersatz wurde in mehreren Studien (*Meister et al. 1999, Sämann et al. 2003, Meister et al. 1999, Cartagh et al. 1997, Fuchs 2001* etc.) untersucht. Insbesondere die aufgeschlossene Faser von Miscanthus zeigt eine ähnliche Struktur und Eigenschaften, wie sie auch bei den bereits erwähnten Holzfasern festgestellt wurden (z.B. ein gutes Wasserhaltevermögen), und wäre als Torfersatzprodukt grundsätzlich verwendbar. Andererseits finden sich ähnliche negative Eigenschaften wie die Gefahr der Stickstoff-Immobilisierung. Aufbereitungstechnologien und Verarbeitungslogistik etc. bestehen für diese Bereiche noch nicht und stellen einen kostenseitigen Hemmfaktor dar.

Versuche mit Fasern aus Hanf (*Cannabis sativa*) in unterschiedlich zusammengesetzten Substraten zeigen gute Ergebnisse. Hanf ist durch sehr stabile Fasern (Bastgewebe-Naturfasern) ausgezeichnet, allerdings ist der Faseraufschluss relativ aufwändig. Die Celluloseschraubenstruktur der Hanffaser kann nur von speziellen Mikroorganismen abge-

baut werden und sichert daher hohe Strukturstabilität und Bindigkeit der Substrate (Leuch 2002), gerade auch in Mischungen mit Kompost. Insbesondere in der Schweiz wurde vor einigen Jahren Hanf gezielt zur Produktion von Torfersatzprodukten angebaut (BA f. Landwirtschaft 1999). Wie eine Studie zeigte, haben die Hanffasern ähnliche Eigenschaften wie Holz- oder Miscanthusfasern. In Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass eine mögliche Stickstoffblockade (wie auch bei Holzfaser und Miscanthus beschrieben) durch eine kurze Mitkompostierungsphase der Holzpartikel (Schäben) eliminiert werden kann (Fuchs 2001).

8.2.2.5 Rückstände aus Zellstoff- und Papierindustrie

Eine weitere Gruppe der in Frage kommenden Abfallstoffe stellen die Rückstände aus der Zellstoff- und Papierherstellung mit einer Anfallsmenge von 72.400 t/Jahr (Erhebung gem. BAWP 2006) dar. Es ist jedoch davon auszugehen, dass nicht die gesamte Menge dieser Reststoffe für die Produktion von Torfersatzprodukten verwertbar ist. Schwarzbauer 2004 geht von einem Potential von rund 18.000 t/Jahr aus, die zu Torfersatzprodukten weiter verarbeitet werden könnten.

8.2.2.6 Komposte

Gemäß Düngemittelverordnung gibt es Einschränkungen für Komposte zur Verwendung in Kultursubstraten. Zulässige Komposte sind Rindenumus, kompostiertes pflanzliches Material aus dem landwirtschaftlichen Bereich, sowie aus Garten- und Grünflächenbereichen. Grundsätzlich sind unterschiedliche Komposte – sofern die in der Düngemittelverordnung bzw. in der Kompostverordnung vorgegebenen Grenzwerte und Richtlinien für Ausgangsmaterialien eingehalten werden – gut zur Beimischung in Substrate geeignet.

Zum Einsatz von Kompost im Pflanzenbau und als Bestandteil von unterschiedlichsten Substratmischungen, sowohl für den Hobby- als auch den gewerblichen Gartenbau liegen jahrelange Erfahrungen und eine Vielzahl von Studien vor. Als „reiner“ Torfersatz ist Kompost auf Grund seiner unterschiedlichen Nährstoffzusammensetzung (Schwankungen im Nährstoffgehalt, Salzgehalt etc.) bzw. seiner Struktur für viele gartenbauliche Produktionen nur wenig geeignet. Torffreie Substrate mit Kompostbestandteilen besitzen gegenüber reinen Torferden meist eine höhere biologische Aktivität. Komposte weisen immer freies CaCO_3 auf, und es besteht die Gefahr, dass bei zu hohem Kompostanteil der pH-Wert im Substrat zu sehr ansteigt. Dies hat zur Folge, dass es beispielsweise zu induzierten Eisenmangel-Chlorosen an empfindlichen Pflanzen kommen kann. Weiters ist der im Kompost enthaltene Nährstoffgehalt nicht in jedem Fall genau definiert, sodass die Verwendung solcher Erden eine genaue Dosierung der Nährstoffe bzw. der Nährmedien erschwert. Insbesondere für Einsatzbereiche im gewerblichen Gartenbau ist der Einsatz von Komposten als Torfersatz mit möglichen Qualitätsrisiken verbunden. Andererseits ist für gewisse Produktionszweige und Absatzmärkte beispielsweise Grünkompost von hoher Qualität ein guter Torfersatz (z.B. Hobbygartenbau, unempfindliche Pflanzen, etc.).

Nachfolgende *Tabelle 8-4* gibt nochmals einen zusammenfassenden Überblick über die am häufigsten als Torfersatz in Substraten verwendeten biogenen Stoffe und zeigt einige Vor-

und Nachteile der am häufigsten verwendeten Alternativprodukte auf (nach Reinhofer et al. 2005, modifiziert):

Tabelle 8-4: Alternativprodukte

Torfersatzstoff	Vorteile	Nachteile
HOLZRESTSTOFFE	<ul style="list-style-type: none"> - Geringer Nährstoffgehalt - Geringe Schüttdichte - Reststoffnutzung heimischer Quellen regional verfügbar - Bessere Wiederbefeuchtung als Torf - Gut mischbar - Gute Verfügbarkeit - Keine Sackung 	<ul style="list-style-type: none"> - N-Immobilisierung - Bis zu 50% höhere Schüttdichte als Torf - eventuell mehr Pestizidbedarf - eventuell erhöhter Bewässerungsbedarf - Erhöhte Herstellungskosten - Technischer Aufwand (Fasererzeugung)
LANDWIRTSCHAFTLICHE RESTSTOFFE	<ul style="list-style-type: none"> - Wenn hoher Zelluloseanteil gut geeignet - „lokale“ Reststoffnutzung 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Erfahrungen - Fehlende Logistik - Fehlende Aufbereitungstechnologie
KOKOSFASERN	<ul style="list-style-type: none"> - Gute Erfahrungen - Exzellente Porosität - Geringer Nährstoffgehalt - Mittlerer pH-Wert - Geringe Schüttdichte - Gut verarbeitbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Importkosten - Unzuverlässige Versorgung - Noch unterschiedliche Qualitäten - Kostenunsicherheit - Höhere Transportkosten als Torf - eventuell erhöhte Salzgehalte
FASERPFLANZEN	<ul style="list-style-type: none"> - Faser ähnlich wie Holzfasern - Gutes Wasserhaltevermögen - Gute Struktur 	<ul style="list-style-type: none"> - N-Immobilisierung möglich - Wenig Erfahrungen - Anbau/Logistik/Aufbereitung wenig Erfahrungen - Kosten durch Aufbereitung
RÜCKSTÄNDE AUS ZELLSTOFF- UND PAPIERINDUSTRIE	<ul style="list-style-type: none"> - Verwertung heimischer Abfallstoffe „Recycling“ 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Logistik vorhanden - Keine Aufbereitungstechnologie vorhanden
KOMPOSTE	<ul style="list-style-type: none"> - langsame Nährstoffabgabe (für einige Anwendungen positiv) - regionale Verfügbarkeit - Biologische Aktivität - eventuell krankheits-unterdrückend im Boden - Gute Wiederbefeuchtung - Geringe Transportkosten mögl. 	<ul style="list-style-type: none"> - Zu hoher Nährstoffgehalt - Vertrauensmangel/ Abfallstoffe, etc. - Hoher pH-Wert - Hygiene - Wenig Erfahrung mit Umgang - Hohe Schüttdichte

Aus ökologischen wie auch aus ökonomischen Gründen ist es im Sinne nachhaltiger Wirtschaftsweise erstrebenswert, Torfersatzprodukte aus vorwiegend regional verfügbaren heimischen Stoffen zu produzieren.

Die in *Tabelle 8-5* dargestellten Mengenangaben zu in Österreich verfügbaren regionalen Abfall- und Reststoffen, welche grundsätzlich als Torfersatzprodukte zum Einsatz kommen könnten (*Reinhofer et al. 2005*), zeigen, dass hier doch ein erhebliches Potential an Stoffen vorhanden wäre, die gewinnbringend genutzt werden könnten. Allen voran stehen hier die Holzabfälle. Allerdings wäre es dafür notwendig, die geeignete Logistik für die Aufbereitung, Substraterzeugung sowie Vermarktung derartiger Produktionszweige erst aufzubauen.

Tabelle 8-5: Abfall- und Reststoffe welche als Torfersatzprodukte zum Einsatz kommen könnten

Schlüssel-Nummer	Bezeichnung	Menge
171	HOLZABFÄLLE AUS DER BE- UND VERARBEITUNG	
17101	Rinde	1.400.000 t
17102	Schwarten, Spreißel aus sauberem, unbeschichtetem Holz	320.000 t
17103	Sägemehl und Sägespäne aus sauberem, unbeschichtetem Holz	1.500.000 t
17104	Holzschleifstäube und Holzschleifschlämme	103.000 t
17115	Spanplattenabfälle	178.000 t
17201	Holzemballagen und Holzabfälle, nicht verunreinigt	230.000 t
17202	Bau- und Abbruchholz	200.000 t
17203	Holzwolle, nicht verunreinigt	Keine Angaben vorhanden
11103	Spelzen, Spelzen- und Getreidestaub	11.000 t
12101	Ölsaatenrückstände	85.000 t
18101	Rückstände aus der Zellstoffherstellung (Spuckstoffe und Äste)	43.800 t
18410	Rückstände aus der Papiergewinnung (Spuckstoffe) ohne Altpapieraufbereitung	8.600 t
18408	Abfälle aus der Zelluloseregeneratfaserherstellung	20.000 t

8.2.3 Darstellung existierender Alternativprodukte

Im Rahmen einer durchgeführten Marktrecherche wurden 79 unterschiedliche Substrate von insgesamt 35 verschiedenen Herstellern mit jeweils einem oder mehreren torffreien oder torfreduziertem Produkt erfasst. Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die verschiedenen Produkte und deren Zusammensetzung (aus *Reinhofer et al 2005*, ergänzt und modifiziert). In der Tabelle befinden sich auch Substrate mit Torfanteil, diese sind mit einem „*“ vor dem Produktnamen versehen (Substrate mit über 50 % Torfanteil wurden nicht aufgenommen), insgesamt waren dies von den erfassten 79 Substraten 19, was rund einem Viertel der Substrate entspricht. Nicht in jedem Fall waren die Angaben über die Zusammensetzung

zung eindeutig nachvollziehbar. In der Tabelle grün markiert sind jene Produkte, die überwiegend Kompost enthalten, die braun markierten enthalten Holz- oder Rindenanteile und die gelb markierten Kokosfasern. Grundsätzlich wurde aus der Erhebung klar ersichtlich, dass Produkte mit Kompostbeimengung überwiegen, gefolgt von jenen mit Holz- bzw. Rindenanteilen. Nur sechs der erhobenen Produkte enthalten Kokosfasern, ebenso ist die Verwendung von Produkten aus Faserpflanzen minimal.

Tabelle 8-6: Überblick über am Markt vorhandene torffreie oder torfgeduzierte Produkte

Produktname	Produzent	„Typ“ (T;TT;TB*)	Zusammensetzung	Anwendungsbereich
AS Pflanzgruben Substrat	AS Erdenwerke	TT	Trägergranulat, ummantelt mit AS Plantasan, Vermiculit, Agroperl, Polyamid	Bodenverbesserung
Balkonerde ohne Torf	Ricoter	T	Rindenkompost, Landerde, TORESA, org.-min. Grunddüngung	Balkonpflanzen
Bims	Ökohum	TT	Bimsstein	Bodenverbesserung
Bio Universalerde	Ökohum	T	Pflanzhumus, Cocopeat, Bims, org. Grunddüngung	Stauden, Kräuter, Topfgemüse, Kübelpflanzen
Biokompost	Sonnenerde	TT	Grünschnitt, Obstabfälle, Kalk, Erde	Bodenverbesserung
Bio-Kulta Blumenerde	Eufloer	T	Bio Kulta-Faser (Holzfaser); Grüngutkompost; Rindenhumus	Hobbygartenbau
Blähton gebrochen	Ökohum	TT	Blähton	Bodenverbesserung
Blumenerde Torffrei	Sonnenerde	T	60% Biokompost, 20% Ziegelsplitt, 20% lehmiger Sand, Hornspäne	Fertigerde f. Kleincontainer, Blumentöpfe
C.Bio	Valsud/Onyx	TT	Grünschnittkompost aus unterschiedlicher Herkunft	Bodenverbesserung
Coco Peat bricks	Golden harvest organics	TT	Kokosnussschalenfaser	Bodenverbesserung für Anzuchterde etc.
Coco Peat bricks(div.)	Sriram group	TT	Kokosnussschalenfaser	Bodenverbesserung
Cocopeat, Kokosfaser	Ökohum	TT	Cocopeat, Kokosfaser	Bodenverbesserung
Compost de vallet 100%vegetal	Charier DV	TT	Pflanzl. Abfälle	Bodenverbesserung
compost vegetal de billy	Valnormandie-Onyx	TT	Pflanzl. Abfälle	Bodenverbesserung
Containererde mit Coco	Ricoter	T	Rindenkompost, TORESA, Cocopeat	Topfen von Laub- u. Nadelgehölzen
Edaphos	Quarzsande GMBH	TT	biogene Abfälle (Grasschnitt, Holzabfälle, Stroh, Sägespäne) und Mineralstoffe aus Quarzsandwäsche, Steinmehle, Vulkanaschen	Bodenhilfsstoff, Rasenpflege

Floragard Biotopp	Floragard	T	Rindenumus, Grünschnittkompost, Holzfaser, Phytoperls	Blumenerde; Pflanzerde
Flormaris Aussaat- u. Vermehrungserde	Cortex	T (TB?)	Humus, Alluvialton, Aeroflakes (Perlite), Dünger	
Flormaris Frühstorfer Blumenerde	Cortex	T (TB?)	Humus, Alluvialton, Dünger	
Flormaris Torffreie Blumenerde	Cortex	T	Nährhumus, Rindenumus, Strukturfasern, Alluvialton, Dünger	Profigartenbau
FruX Öko-Blumenerde „Eurohum“	FruX	T	Ton, Kompost, Holzhäcksel	Kübel-, Balkonpflanzen
Geranienerde	Ricoter	TB	Rindenumus, Landerde, TORESA, Weißtorf, min. Grunddüngung	
Grünkompost	Ökohum	TT	Grünkompost (als max. 20% Beigabe)	Bodenverbesserung
Holzfasern	Ökohum	TT	Holzfasern	Bodenverbesserung
Kokohum	Neudorff	T	Kokosfasern; org. Grunddüngung, andere nachwachs. Rohstoffe?	
Komposaat	AS Erdenwerke	TT	Oberboden, Rindenumus, Wirtschaftsdünger, Grünschnittkompost, Quarzsand oder Ton	Bodenverbesserung; Neuanlagen
La compost vegetal	Somergie	TT	Pflanzliche Bestandteile	Bodenverbesserung
Lemansol Compost	AWT	TT	Org. Abfälle (Zweige, Blätter, Gras)	Bodenverbesserung
Melcourt Sylvafibre	Melcourt	TT bis 80% (TB)	brit. Holzfasern	Topferde, Baumschul- erde; Landschaftsges- taltung, Alpinarium; Setzlinge,...
Melcourt Growbark	Melcourt	TT;TB (bis 80%)	Holzrinde (europ. Nadelholz)	Topferde, Baumschul- erde; Landschaftsges- taltung, Alpinarium; Setzlinge,...
Melcourt Sylvamix	Melcourt	T	Holzfasern, Holzrinde, Grünkompost, Lehm, Dünger, Pestizide; Feuchttträger, Wasserspei- chergranulate	weitere Anwendungs- bereiche / Ericaceen,..)
Multi purpose compost	Terra Eco- systems	TT	"recycled materials" composted	Bodenverbesserung; Aussaat; Container
Naturali Blumenerde torffrei	Blumi Erden	T	Grünkompost, Rindenumus, Holzfasern, Ton, Langzeitdünger	Blumenerde
Naturcomplet	Daymsa	TT	Beiprodukt (?) Kohlebergbau	Baumschulen, Glas- hauskulturen, Jung- pflanzungen
Naturcomplet G	Daymsa	TT	Unklare Angaben / Huminsäuren	Bodenverbesserung
NeudoHum Aussaaterde	Neudorff	T	Rindenumus, Holzfasern, Ko- kosfasern, Meeresalgenmehl, andere nachwachs. Rohstoffe?	

NeudoHum Balkon- u. Geranienerde	Neudorff	T	Rindenumus, Holzfaser, Kokosfaser, Ton, Dünger	
NeudoHum Kübel-u. Zitruserde	Neudorff	T	Rindenumus, Holzfaser, Cocopeat, Kokosfaser, Blähton, Dünger	Kübelpflanzen, Zitrus
NeudoHum Pflanzerde	Neudorff	T	Rindenumus, Holzfaser, Kokosfaser, Humuskonzentrat	Pflanzerde f. Sträucher, Stauden
Orgabiose	La Chan- vriere de L'Aube	TT	Zellulose, Lignin, Hemizellulose (Hanf?)	Bodenverbesserung
Orgapor	Stender	TT	Kompostbasis	Bodenverbesserung, spez. Baumschulbereich
Peat free coco- compost	Wessex	TT	o.A.	
peat free soil improver	Wessex	TT	o.A.	
peat free tree and shrub compost	Wessex	TT	o.A.	
Pflanz- und Blumen- erde ohne Torf	Ökohum	T	Rindenumus, Kokosfaser, Holzfaser, Montmorillonit, Dünger	
Pflanzerde	Cortex	T (TB?)	Rindenkultursubstrat	Kübel, Balkon, Freiland
Pflanzerde	Sonnenerde	T	50% Kompost, 50% lehmiger Sand, Hornspäne, Siebung 15 mm	Strauchpflanzungen, Blumenbeete
Pflanzhumus	Ökohum	TT	Grüngut und Nadelholzrinden- kompost	Bodenverbesserung
Plantamix	Norland SA	TT	Kompost aus Rinden, Stallmist, Pflanzenfasern	Bodenverbesserung
Rindenumus	Ökohum	TT	Rindenumus	Bodenverbesserung
Rindenumus	Cortex	TT	Rindenumus	Bodenverbesserung
SHL Bark	William Sinclair Co.	TT	Nadelholzrinde	Bodenverbesserung im Kompost - Porenvolu- men, Belüftung
Silvaperl Perlit	William Sinclair Co.	TT	Silikatreicher Vulkanit	Bodenverbesserung
Silvaperl Vermiculit	William Sinclair Co.	TT	Tonmineral Vermiculit	Bodenverbesserung, Nährstoffspeicherung, Wasserretention
Soil improver	Terra Eco- systems	TT	"recycled materials" composted	Bodenverbesserung; Pflanzerde f. Bäume und Sträucher
Staudenerde130 ohne Torf	Ricoter	T	Holzfaser, Landerde, Rinden- kompost, Reisspelzen, Sand	Staudenproduktion
Substral Naturen Erden	Scotts Celaflor	T	Kompost, Lavagranulat, Tonmi- nerale, TORESA	
Substrat ohne Torf	Ökohum	T	Rindenumus, Holzhäckseln, Coco Peat, niedrige org. oder min. Grunddüngung	Universell

Terraton	AS Erdenwerke	T	Trägergranulat, ummantelt mit Tonmineral Humus Komplex Plantasan	Pflanztröge, -kistchen; Pflanzenproduktion
TORESA mehrere Produktformen	INTER-TORESA AG	TT	Holzfasern (Nadel); zuzüglich 40% Natur belassenes Gebrauchtholz	Bodenverbesserung; Mischkomponente
*Anzuchterde	Ökohum	TB	Rindenhumus, Weißtorf , Holzhäcksel, Quarzsand, org. Grunddüngung	Vermehrung und Jungpflanzenkultur, Anzucht m. längeren Standzeiten
*Aussaaterde	Ricoter	TB	Kompost, Sand, Weißtorf , min. Grunddüngung	
*Blumenerde	Sonnenerde	TB	52% Biokompost, 30% Weißtorf , 15% Kokosfaser, 3% lehmige Erde	Fertigerde f. Blumenbeete, -töpfe
*Cocopor	Stender	TB	Kokosfaser, Weißtorf	Bodenverbesserung, Gewächshaus
*Containererde	Sonnenerde	TB	40% Kompost, 30% Ziegelsplitt, 30% Weißtorf , Hornspäne	Fertigerde f. Klein- u. Großcontainer
*Containererde Ligno 124	Ricoter	TB	Rindenkompst, Gartenkompost, Holzhäcksel, Weißtorf	Topfen von Laub- u. Nadelgehölzen
*Containererde m. Holzfasern 122	Ricoter	TB	Rindenkompst, Gartenkompost, TORESA, Weißtorf	Topfen von Laub- u. Nadelgehölzen
*Containererde mit Reisspelzen 120	Ricoter	TB	Rindenkompst, Reisspelzen, Weißtorf	Topfen von Laub- u. Nadelgehölzen
*Eurohum (div.)	FruX Einheitserde	TB	Weißtorf , Ton, Schwarztorf, Holzhäcksel	Topf, Universal, Moorbeet
*IP Topferde 141	Ricoter	TB	Rindenkompst, Gartenkompost, TORESA, Weißtorf , org. Grunddüngung	Topfen v. Pflanzen mit mittl. Nährstoffbedarf
*Leureko Anzuchterde	Leureko	TB	50% Grüngutkompost, 50% Frästorf	
*Leureko KT30	Leureko	TB	30% Torfanteil	
*Moorbeeterde	RICOTER	TB	Weißtorf , Rindenkompst, TORESA, min. Grunddüngung	Moorbeetpflanzen, Erika, Farne
*Presstopferde Bio	Ricoter	TB	Sand, TORESA, Kompost, Torf , org. Grunddüngung	Bio-Gemüsesetzlinge (FIBL)
*Ricoter Topferde schwer 102	Ricoter	TB	Rindenkompst, TORESA, Weißtorf , Landerde; min. Grunddüngung	Pikieren, Eintopfen; Setzlinge, Topfpflanzen
*Rindentorfsubstrat RTS/RTSspezial	Ökohum	TB	Rindenhumus, Weißtorf , Grünkompost, Holzhäcksel	Stauden, Baumschulbereich
*Staudenerde	Ökohum	TB	Rindenhumus, Weißtorf , Blähton, Ton	Stauden
*Staudenerde 108	Ricoter	TB	Rindenkompst, Weißtorf , Landerde; org.-min. Grunddüngung	Staudenproduktion

*Teicherde	Ricoter	TB	Sand, Landerde, Kompost, Torf	Wassergärten, Teiche
------------	---------	----	--------------------------------------	----------------------

Anmerkung: T torrfreies Fertigungssubstrat, TT Torf ersetzender Substratanteil, TB Substrat oder Bestandteil mit Torfanteil; alle Angaben beziehen sich auf die angegebenen Quellen in der Tabelle

8.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Torfreduzierte und auch torffreie Erden sind schon seit geraumer Zeit auf dem Markt. Im Rahmen der durchgeführten Marktrecherche wurden 79 unterschiedliche Substrate unterschiedlichster Hersteller erfasst, die zumindest „torfreduziert“ waren (Torfanteil unter 50 %). Rund ein Viertel dieser erfassten Substrate fielen unter die Kategorie der torfreduzierten Produkte, d.h. sie enthielten nach wie vor Torf als Mischkomponente. Unter den torfreduzierten und torffreien Produkten enthielt der überwiegende Anteil unterschiedliche Komposte als Torfsubstitut.

Wie ersichtlich wurde, sind neben Komposten aus unterschiedlichen Rohstoffen, Holzreststoffe verschiedener Aufbereitungsart (Holzfasern, Holzkomposte etc.), landwirtschaftliche Reststoffe (Reisspelzen, Hanfschäben etc.), Kokosfasern sowie speziell angebaute Faserpflanzen (Miscanthus, Hanf) als Torfersatzprodukt mehr oder weniger erfolgreich in Verwendung.

Aus *Abbildung 8-1* wird deutlich, dass neben den Komposten den Holzprodukten am meisten Bedeutung zukommt.

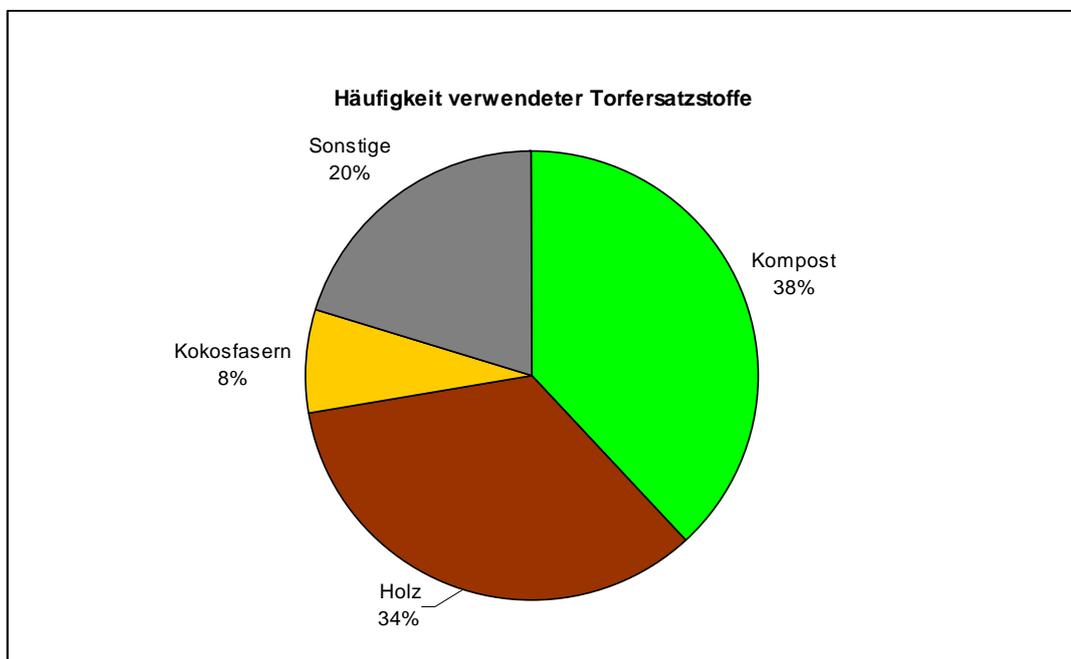


Abbildung 8-1: Häufigkeit verwendeter Torfersatzstoffe in torfreduzierten oder torffreien Substraten

Deutlich wurde, dass bis dato keine Substanz, die allein das gesamte Einsatzspektrum von Torf ersetzt vorhanden ist. Allerdings gibt es Materialien und Substratmischungen, die gewissen Pflanzen- und Produktionsanforderungen entsprechen und dort vollwertigen Ersatz

liefern. Nach *Leuch 2002* wäre eine Torfreduktionen zwischen 50-70 % in den meisten Bereichen der Gartenbauwirtschaft aus pflanzenbaulicher Sicht ohne Nachteile für den Produktionsprozess bzw. die Qualität der Pflanzen machbar.

Die bisher am erfolgreichsten eingesetzten Rohstoffe zur Erzeugung von Torfersatzstoffen sind „Holzreststoffe“. Diese umfassen alle anfallenden Reststoffe von Durchforstungsrückständen bis zu sauberen Produktionsabfällen aus der Holz verarbeitenden Industrie, und ist in dementsprechend großen Mengen auch regional verfügbar. Die entsprechende Aufbereitung zur Holzfaser wird generell als viel versprechende Alternative für Torfersatzprodukte gesehen.

Für viele pflanzenbauliche Bereiche sind als Rohstoff zur Torfersatzherstellung Ausgangsstoffe umso eher verwendbar, je höher ihr Zelluloseanteil ist. Insbesondere die Verwendung als „Faser“ – ob als Holzfaser, Faser aus Miscanthus oder Hanf oder beispielsweise Kokosfasern kommt den Eigenschaften von Torf am nächsten.

Hemmend für den Einsatz derartiger Produkte wirken nicht zuletzt jedoch zum Teil fehlende Logistik und Aufbereitung, sowie höhere Produktions- und damit Einsatzkosten im Vergleich zu derzeit verwendetem Torf.

8.3 Anforderungen an das Substrat im Betrieb des Projektpartners

Die Produktion im gewerblichen Gartenbaubetrieb des Projektpartners Gartenbau Herneth, Graz, umfasst rund 200.000 m² Gesamtfläche, davon werden rund 120.000 m² unter Glas, 35.000 m² in beheizbaren Folientunnel und rund 40.000 m² in Freiland produziert. Die Produktion umfasst Stecklingsproduktion (Stecklingsbewurzelung in Vliestöpfen) sowie Halbfertigware (12 cm Töpfe, ca. vier Wochen in Kultur). Das Sortiment ist ein umfangreiches Programm an Jungpflanzen und Halbfertigware aus dem Bereich Balkon- und Beetpflanzen, (Pelargonien, Fuchsien, Impatiens, etc.) sowie Kräutern und Gewürzpflanzen.

Die Stecklingsproduktion erfolgt in 125er Trays mit Stecklingen in einem 2,5 cm Vliestopf, sowie in 50er Trays mit 4 cm „Fiber-Net-Pot“. Dieser besteht aus einem Vermehrungssubstrat auf Kokosbasis, versetzt mit einer Kunststofffaser. Durch Dämpfen wird die nötige Festigkeit bei maximaler Luftdurchlässigkeit erreicht. Die Halbfertigware ist im 12 cm Topf (ursprünglich gezogen im 4 cm „Fiber-Net-Pot“) vier Wochen in Kultur.

Die Produktion erfolgt automatisiert mit einem Aufsetzroboter am Fließband. Dabei werden die leeren Töpfe in die Trays gestellt, automatisch mit Substrat befüllt und die Pflanzen in die Erde versetzt; Die fertigen Töpfe werden automatisch angegossen und kommen auf einem Mobiltisch in die Kulturhäuser. Für die Stecklinge werden die Trays ebenfalls vom Aufsetzroboter mit Erde befüllt und vorbereitet, die Versetzung der Stecklinge in die Trays erfolgt händisch.



Abbildung 8-2: Stecklingsproduktion



Abbildung 8-3: Produktionsablauf – Halbfertigware

Als Pflanzsubstrat wird derzeit Torf verwendet, welcher in Ballen angeliefert wird. Die Bewässerung der Pflanzen auf den Gewächshaustischen erfolgt, je nach Kultur mit genau definierter Düngung, im „Ebbe-Flut“ System.

Ein für diesen Produktionsablauf geeignetes, torffreies oder torfgeduziertes Alternativsubstrat, sollte im Wesentlichen

- den oben dargestellten Produktionsablauf nicht wesentlich negativ beeinflussen,
- wenig bis geringen Aufwand bei der Umstellung verursachen,
- keine negativen Auswirkungen auf die Qualität der erzeugten Produkte haben sowie
- ökonomisch attraktiv sein.

Nachfolgende Kriterien wurden für ein Torfersatzprodukt definiert, bzw. würden den Einsatz eines derartigen Produktes für den Gartenbaubetrieb attraktiv machen:

Tabelle 8-7: Kriterien für ein Alternativprodukt für die speziellen Anwendungen im Partnerbetrieb

Eigenschaften / Kriterien für die Anwendung im Produktionsbetrieb der Partnerfirma	
Automatisch verarbeitbar - maschinentauglich für „Topfmaschine“ (Aufsetzroboter)	kein „verstopfen“, nicht zu fein, dass Staubbelastung minimiert wird Grundfeuchte
geeignet für Glashaustische und das verwendete Bewässerungssystem	Wasseraufnahme – Wasserabgabe kein „Ausschwemmen“ von Feinteilen
Keine eigene Düngewirkung - keine Nährstoffabgabe	Nährstoffzufuhr erfolgt über die Bewässerung genau abgestimmt auf die jeweilige Pflanze
Ausgeglichene Wasser- bzw. Lufthaltekapazität	
pH-neutral	Kann jedoch auch neutralisiert werden durch Zudosierungen
Krankheits- und Unkrautfreiheit, gesundheitliche Unbedenklichkeit	Keine Schimmelbildung, etc.
Gleichbleibende Qualität - Uniforme Konsistenz	Keine Schwankungen in Qualität- und Zusammensetzung
„Erdähnliches“ Aussehen	Färbung – ansprechend / ähnlich wie Torf/Erde – wichtiger Verkaufsfaktor
Kostengünstig	Gutes Preis-Leistungs-Verhältnis, keine wesentlichen Mehrkosten oder Umstellungskosten
Gute Verfügbarkeit	Jederzeit in ausreichenden Mengen vorhanden bzw. lieferbar

Im Rahmen der durchgeführten Substrat-Recherche wurde kein in der Produktion des Projektpartners bedenkenlos sofort einsetzbares Torfersatzprodukt gefunden. Auf Grund ihrer Eigenschaften erfolversprechend, erscheinen Substrate mit hohem Faseranteil (Holzfaser, Kokosfaser, etc.). In jedem Fall wären jedoch umfangreiche Testläufe und Versuchsreihen mit dem Substrat sowie mit den entsprechenden Pflanzen aus dem Sortiment des Betriebes notwendig, um eine Aussage treffen zu können ob eines dieser Substrate für den Einsatz im Gartenbaubetrieb des Projektpartners geeignet ist und welche Adaptionenmaßnahmen im Bereich der Produktionstechnik sowie des -ablaufs erforderlich wären.

8.4 Substratcharakterisierung

8.4.1 Untersuchungsablauf und Methodik

Zielsetzung dieses Arbeitspaketes war eine Charakterisierung und Beurteilung der grundsätzlichen Eignung des festen Pressrückstandes aus einer GRÜNEN BIORAFFINERIE (Grasfaser) als Pflanzmedium bzw. Torfersatzprodukt. Wobei hier insbesondere die Anforderungen an ein torffreies Produkt für den Gartenbaubetrieb der Partnerfirma Berücksichtigung fanden (siehe *Tabelle 8-8*) Sämtliche Untersuchungen wurden mit aufbereiteten, getrockne-

ten Grasfasern durchgeführt, welche im Projekt GRÜNE BIORAFFINERIE II – Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion (Mandl et al. 2006) gewonnen wurden.

Im speziellen wurden die Fraktionen 3 (F3), sowie eine Mischung aus Fraktion 5 und 6 (im folgenden Text F5 genannt) der Grasfasern für die Testreihen herangezogen. Details zur Herstellung und chemischen Eigenschaften der einzelnen Fraktionen sind dem Bericht GBR II „Grüne Bioraffinerie – Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion“ (Mandl et al. 2006) zu entnehmen.

Tabelle 8-8: Verwendete Grasfaser Fraktionen

Fraktionsnummer	Beschreibung
3	Luzerne - Gras Mischung Presskuchen 1 und Presskuchen 2 gemischt; FEIN; Presskuchen mittels nachgeschalteter Steam-Explosion weiter behandelt
5	KLEE Gras Presskuchen 1; nachgeschaltete Steam-Explosion!
6	KLEE Gras Presskuchen 1 und Presskuchen 2 gemischt; FEIN; Nachgeschaltete weitere Auffaserung des Presskuchens mittels Steam-Explosion. Diese Faserfraktion wurde auch in Modul 5 für die Anspritzbegrünung verwendet.
Grasfaser Vlies	Hergestellt im Zuge des Projektes GBR II (Mandl et al 2006); die Grasfaser wurde durch den „Refiner“ nass vermahlen und maschinell zu einem Vlies (Endlosvlies) gelegt und danach getrocknet



Abbildung 8-4: Aufbereitete Grasfasern (links) und Grasfaser Vlies (rechts) für die Substratversuche

Die Versuchsreihen des Arbeitspaketes 4-2 fanden ausschließlich im Labormaßstab statt und stellten die Basis für die im Arbeitspaket 4-3 durchgeführten „Feldtests“ direkt im Gartenbau-betrieb dar.

Folgendes Untersuchungsprogramm wurde durchgeführt:

1. Grunduntersuchung – Chemisch-physikalische Charakterisierung der Grasfaser

Die Grasfasern wurden wie folgt analysiert

- Gesamtporenvolumen
- Luftkapazität

- Wasserkapazität
- Schrumpfungswert
- Leitfähigkeit
- pH-Wert
- organische Substanz / Aschegehalt
- lösliche Nährstoffe: Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$), Phosphor (P_2O_5), Kalium (K_2O), Magnesium (MgO)
- C/N Verhältnis

Die chemisch- physikalischen Untersuchungen wurden gemäß den ÖNORMEN für Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate (ÖNORM EN 13039, ÖNORM EN 13040, ÖNORM EN 13041, ÖNORM EN 13651 und ÖNORM EN 13652) durchgeführt.

Gemäß ÖNORM EN 13041 wurde zur Bestimmung der Saugspannung, der Wasserhaltekapazität, der Luftkapazität, des Gesamtporenvolumens und der Rohdichte ein Sand-Saugspannungstisch aufgebaut.



Abbildung 8-5: Versuchsanordnung zur Bestimmung der Saugspannung – Sand-Saugspannungstisch

Als Vergleichssubstrate wurde das in der Gartenbaufirma Herneth verwendete Torfsubstrat (im Text nachfolgend als Torf bezeichnet) sowie eine handelsübliche Blumenerde („Gärtnermeister - Blumenerde Compact“), einem Gemisch aus mäßig bis stark zersetztem Hochmoortorf, verwendet.

8.4.2 Physikalische Eigenschaften

Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Ergebnisse der physikalischen Analytik der Grasfasern, sowie der Vergleichssubstrate Torf und Blumenerde.

Tabelle 8-9: Physikalische Kennwerte der Grasfasern und der Vergleichssubstrate

	Grasfaser		Torf	Blumenerde
	F3	F5		
Trockensubstanz %	94,30	95,20	85,00	33,90
Wassergehalt %	5,70	4,80	15,00	66,10
pH Wert	4,7	4,5	5,9	5,8
Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	933,00	1570,00	735,00	358,00
Rohdichte kg/m^3	109,90	83,33	143,14	153,26
Laborschüttichte g/l	84,20	52,50	110,00	332,80
Gesamtporenvolumen %	93,81	95,35	92,39	91,90
Wasserkapazität %*	46,61	39,78	46,80	72,74
Luftkapazität %*	42,64	55,53	45,20	33,95
Schrumpfungswert %	7,74	8,01	14,10	23,54
Teilchendichte kg/m^3	1641,90	1659,50	1888,90	1890,24
*Saugspannung -10cm				

Folgend werden die jeweiligen Parameter im Einzelnen diskutiert. Die jeweiligen Messwerte für die Substrate Grasfaser F3 und F5, Torf und Blumenerde wurden gemäß ÖNORM EN 13041 selbst erhoben. In den jeweiligen Vergleichsdarstellungen sind auch die Substrate Torf-Perlit-Mischung, Rindenumus, Kultursubstrat und Grüngutkompost enthalten. Die jeweiligen Referenzwerte wurden der ÖNORM EN 13041, Anhang B, entnommen. Diese wurden mittels eines Ringversuches erhoben.

Wassergehalt: Sowohl bei den Grasfaserfraktionen als auch beim Torf handelt es sich um ein fast völlig getrocknetes Material, welches vor Verwendung, im Gegensatz zur Blumenerde, entsprechend angefeuchtet werden muss. Dies bringt vor allem im Hinblick auf die Lagerung und den Transport dieser Substrate Vorteile.

Der pH-Wert der Grasfaserfraktion F3 lag bei 4,7 jener von F5 bei 4,50. Diese pH-Werte liegen in einem für Pflanzenwachstum generell zu saurem Bereich. Im Vergleich dazu betrug der pH-Wert des Torfs 5,9 und jener der Blumenerde 5,8. Vor Verwendung der Substrate ist daher eine Einstellung des pH-Wertes erforderlich.

Der Salzgehalt (gemessen als Leitfähigkeit in $\mu\text{S}/\text{cm}$ im Extrakt) betrug bei der Grasfaser F3 $933 \mu\text{S}/\text{cm}$ bei F5 $1.570 \mu\text{S}/\text{cm}$. Niedriger war dieser beim Torf mit $735 \mu\text{S}/\text{cm}$ bzw. wesentlich niedriger bei der Blumenerde mit $358 \mu\text{S}/\text{cm}$. Der Salzgehalt kann ein wichtiger Qualitätsbestimmender Faktor für das Pflanzenwachstum sein. In Abhängigkeit der Pflanzenart wirken sich beispielsweise Salzgehalte über $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$ negativ auf das Pflanzenwachstum aus (nach der VKS Richtlinie für Komposte und Gärgut VKS 2001). Wie die gemessenen Werte zeigen, liegen die Salzgehalte der Grasfasern zwar höher als jene von Torf bzw. der Blumenerde, jedoch unter den Bereichen in dem sie ein Pflanzenwachstum wesentlich negativ beeinflussen.

Die Rohdichte ist gem. Definition der Quotient aus Trockenmasse und dem Volumen der Probe in Gramm je Liter. Die Rohdichte (kg/m^3) betrug bei der Grasfaserfraktion F3 $109,9 \text{ kg}/\text{m}^3$, bei F5 $83,3 \text{ kg}/\text{m}^3$ und lag somit in einer vergleichbaren Größenordnung wie bei den Vergleichssubstraten Torf ($143,14 \text{ kg}/\text{m}^3$) und Blumenerde ($153,26 \text{ kg}/\text{m}^3$). Die Rohdichte der beiden Grasfaserfraktionen liegt im Vergleich mit anderen Substraten im eher

unteren Bereich (siehe *Abbildung 8-6*), jedoch noch immer in einem Bereich welcher für Substrate akzeptabel ist.

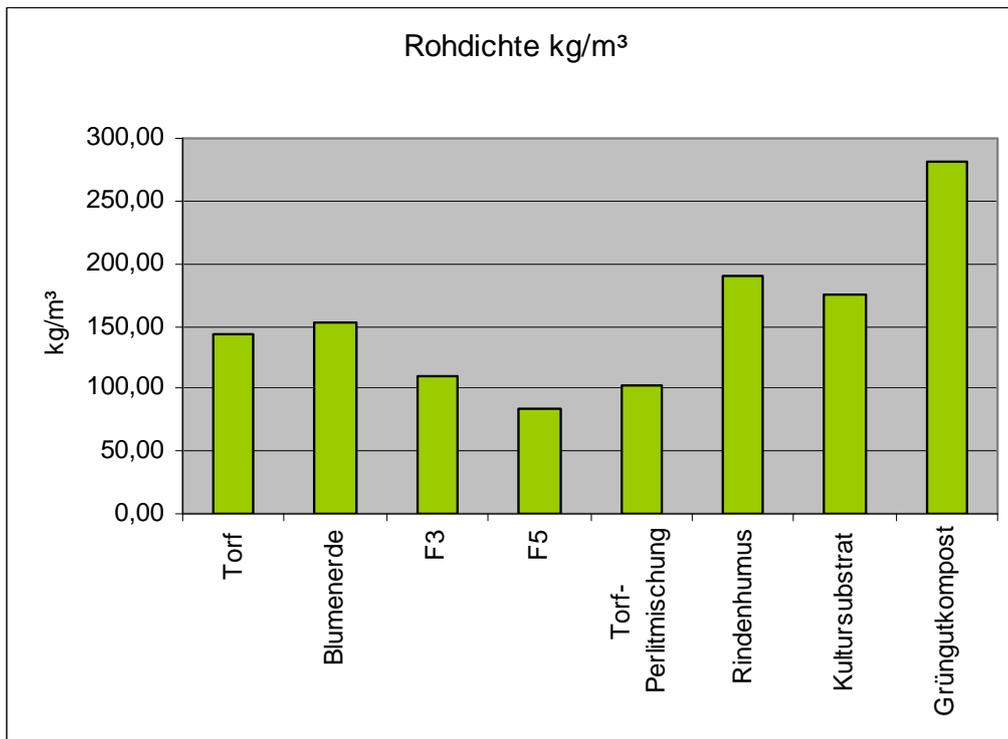


Abbildung 8-6: Rohdichte der untersuchten Substrate im Vergleich

Der Schrumpfungswert, angegeben in % Volumenanteil, ist der durch Trocknen einer feuchten Probe entstehende Volumenverlust. Er betrug bei der Grasfaser F3 7,74 % bei F5 8,01 % und beim untersuchtem Torf 14,1 % sowie bei der Blumenerde 23,54 %. Die Schrumpfungswerte der Grasfaser sind im Vergleich mit anderen Substraten niedrig (siehe *Abbildung 8-7*).

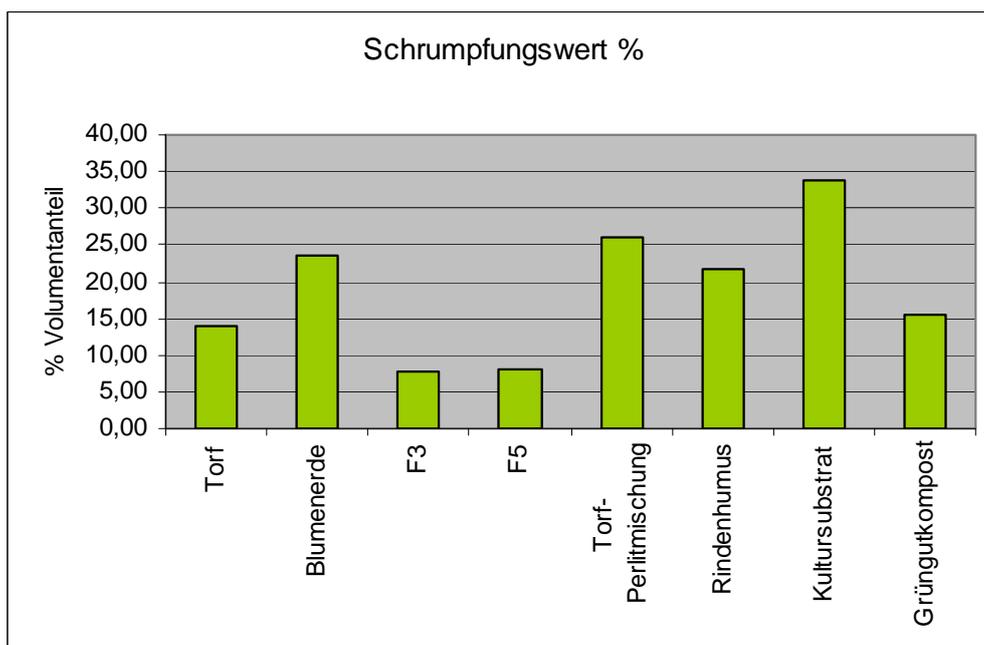


Abbildung 8-7: Schrumpfungswert der untersuchten Substrate im Vergleich

Das Gesamtporenvolumen (in % Volumenanteil in der feuchten Probe), ist der unter in der EN Norm (EN 13041) festgelegten Bedingungen, insbesondere unter einer definierten Saugspannung (bei -10 cm) ermittelte gesamte mit Wasser und/oder Luft gefüllte Porenraum. Dieser betrug bei der Grasfaser F3 93,8 %, bei F5 95,35 % und lag somit in gleicher Größenordnung wie für Torf (92,30 %) und Blumenerde (91,9 %). Im Vergleich mit Messwerten eines Ringversuches (EN 13041 1999 und 2006) liegen diese gemessenen Werte in gleicher Größenordnung (siehe *Abbildung 8-8*).

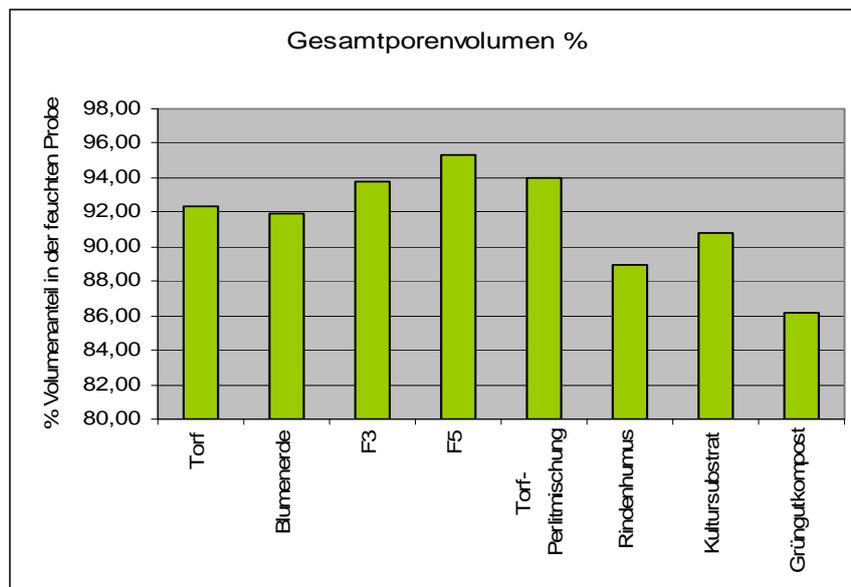


Abbildung 8-8: Gesamtporenvolumen der untersuchten Substrate im Vergleich

Die Teilchendichte (kg/m^3) ist definiert als Partikeldichte der Quotient aus der Gesamtmasse der ofentrockenen festen Teilchen (Minerale, organische Substanz) und dem Volumen dieser Teilchen. Das geschlossene Porenvolumen dieser Teilchen und Porenräume zwischen den Teilchen sind davon ausgenommen.

Die Teilchendichte betrug bei der Grasfaser F3 $1641,90\text{ kg/m}^3$ bei F5 $1651,5\text{ kg/m}^3$. Im Vergleich dazu waren die Werte bei Torf ($1888,9\text{ kg/m}^3$) und bei der Blumenerde $1890,24\text{ (kg/m}^3)$ nur unwesentlich höher (siehe *Abbildung 8-9*).

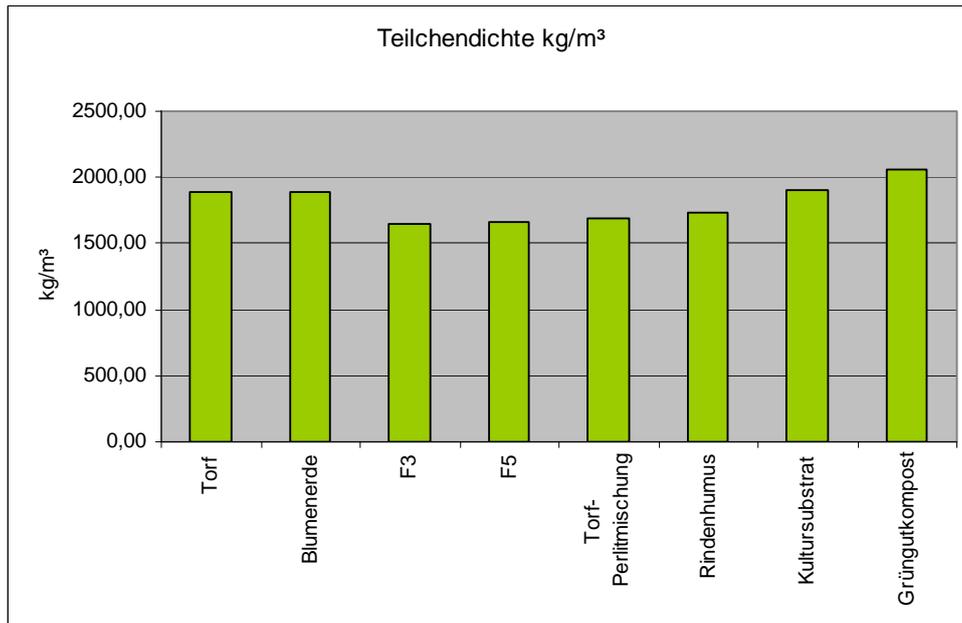
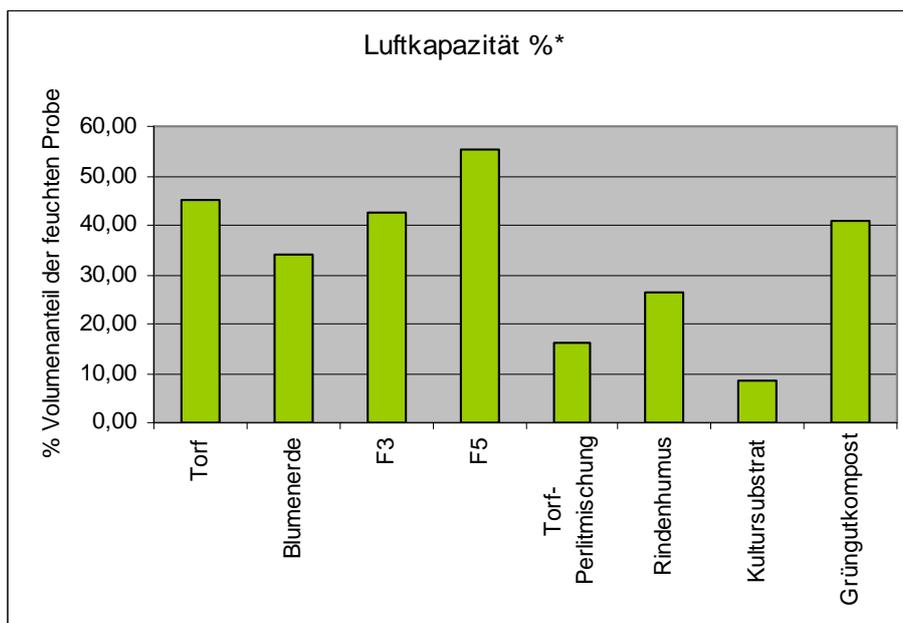


Abbildung 8-9: Teilchendichte der untersuchten Substrate im Vergleich

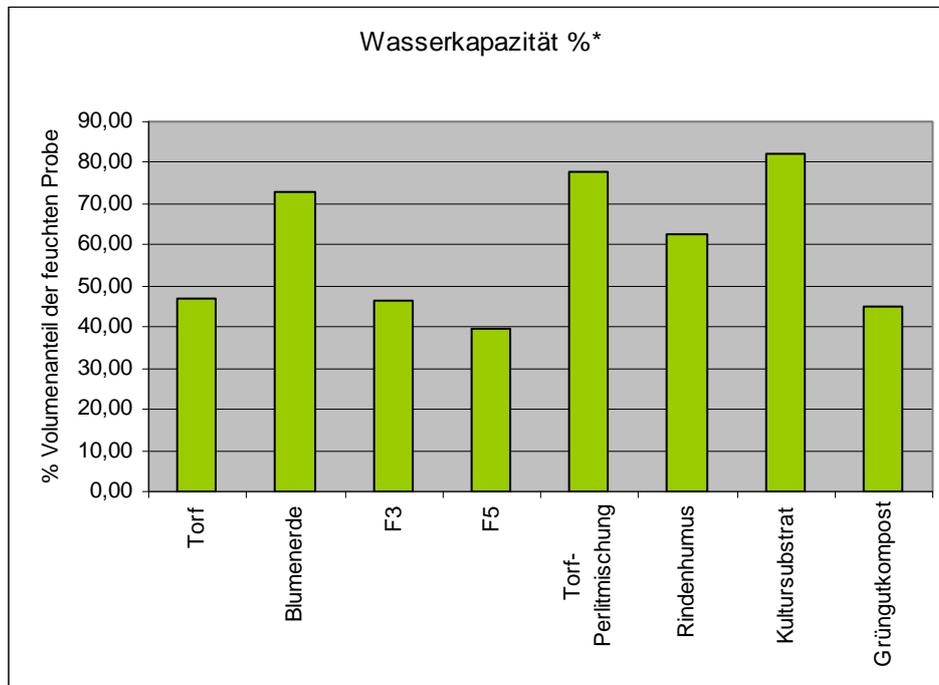
Die Luftkapazität, angegeben in % Volumenanteil in der feuchten Probe, beschreibt den ermittelten mit Luft gefüllten Volumenanteil der Probe, unter den in der EN 13041 festgelegten Bedingungen, insbesondere unter einer Saugspannung (von z.B. -10 cm). Bei einer Saugspannung von -10cm, wurde eine Luftkapazität von 42,6 % bei der Grasfaser F3 und von 55,5 % bei F5 festgestellt. Im Vergleich dazu lagen die Werte für Torf bei 45,2 % und für die Blumenerde bei 33,95 %. Die für die Grasfasern gemessenen Werte sind vergleichbar mit jenen für z.B. kompostierten Grünabfall oder Kokosfasern (siehe *Abbildung 8-10*).



* bei Saugspannung von -10cm

Abbildung 8-10: Luftkapazität der untersuchten Substrate im Vergleich

Die Wasserkapazität, in % Volumenanteil der feuchten Probe), ist der unter den in der ÖNORM EN 13041 festgelegten Bedingungen, insbesondere unter einer definierten Saugspannung (z.B. -10 cm) ermittelte mit Wasser gefüllte Volumenanteil der Proben. Dieser betrug bei der Grasfaser F3 46,6 % bei F5 39,7 % und vergleichsweise bei Torf 46,8 % und bei der Blumenerde 72,7 %. Im Vergleich mit anderen Substraten liegt die Wasserkapazität etwas niedriger (siehe *Abbildung 8-11*).



* bei einer Saugspannung -10cm

Abbildung 8-11: Wasserkapazität der untersuchten Substrate im Vergleich

Die Laborschüttdichte beschreibt die Dichte der unter festgelegten Bedingungen verdichteten Probe im Labor, angegeben in Gramm je Liter des Materials (g/l) (gem. ÖNORM EN 13040).

Die im Versuch festgestellt Laborschüttdichte betrug bei der Grasfaserfraktion F3 84,2 %, bei F5 52,5 % und beim Vergleichsubstrat Torf 110 % sowie bei der Blumenerde 332,8 %. Im Vergleich mit den gemessenen Werten im Rahmen eines Ringversuches (EN 13040, 2007, Anhang B.2.) liegen diese gemessenen Wert im unteren Bereich (siehe *Abbildung 8-12*).

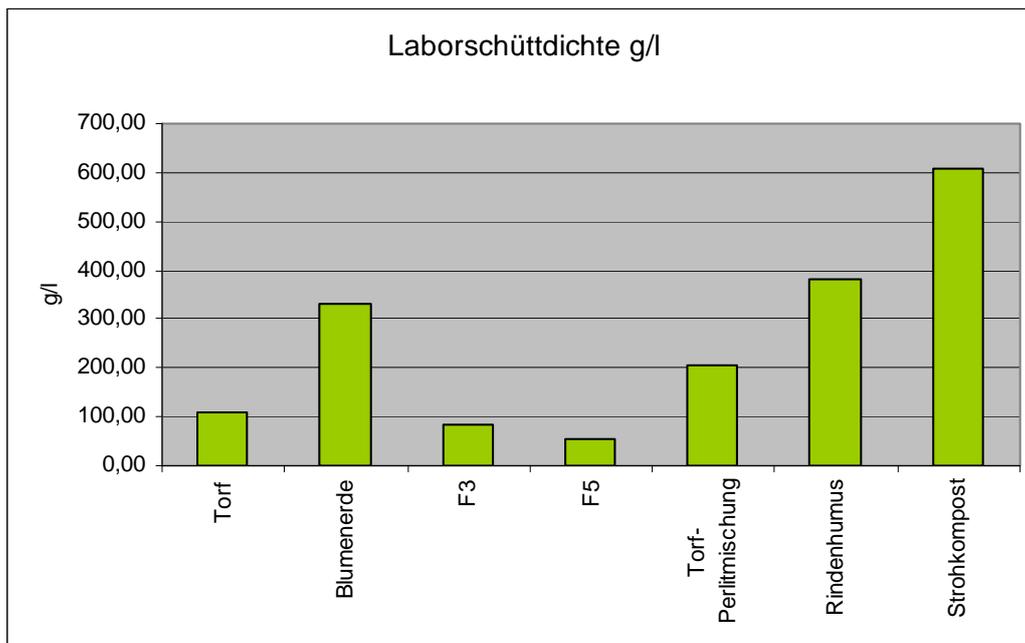


Abbildung 8-12: Laborschüttdichte der untersuchten Substrate im Vergleich

8.4.3 Organische Substanz

Zur vergleichswisen Bestimmung wurde der organische Trockensubstanzanteil (oTS), der Aschegehalt, die abbaubare organische Substanz (AOS) sowie der Glühverlust der Grasfaserfraktionen sowie des Torfs, und der Blumenerde bestimmt. Die Ergebnisse weisen keine signifikanten Unterschiede auf, wie nachfolgende Tabelle zeigt.

Tabelle 8-10 : Organische Substanz der Grasfasern und der Vergleichssubstrate

	Grasfaser		Torf	Blumenerde
	F3	F5		
oTS %	94,40	93,40	82,20	82,00
Aschegehalt %	5,60	6,60	17,80	18,00
Abbaubare org. Substanz AOS %	18,4	29	42,90	11,4
Glühverlust %	94,4	93,4	82,2	82

Der organische Anteil ist erwartungsgemäß bei der Grasfaser höher als bei den Substraten Torf und der Blumenerde.

8.4.4 Nährstoffe

Gemäß ÖNORM für Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate wurden sowohl die wasserlöslichen als auch die Calciumchlorid/DTPA (CAT) löslichen Nährstoffe und Elemente in den Grasfaserfraktionen und in den Vergleichssubstraten Torf und Blumenerde bestimmt.

Die Ergebnisse in der Tabelle sind gemäß ÖNORM bezogen auf die Schüttdichte in mg/l angegeben.

Tabelle 8-11: Wasserlösliche und in Calciumchlorid/DTPA (CAT) lösliche Nährstoffe und Elemente bezogen auf die Schüttdichte

	Grasfaser		Torf	Blumenerde
	F3	F5		
<i>Schüttdichte g/l</i>	84,2	52,5	110	332,8
<i>eluiert in H₂O</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>
orto Phospat	49,88	222,86	44,43	9,29
PO ₄ -P	60,17	240,00	46,36	9,34
NO ₃ -N	34,05	72,38	85,23	45,32
NH ₄ -N	72,45	123,17	12,07	0,13
Mg	18,54	56,98	16,04	6,02
MgO	30,77	94,59	26,63	9,99
K	1030,93	2598,51	159,92	35,60
K ₂ O	1237,12	3118,21	191,90	42,72
Ca	74,08	181,95	164,48	78,57
CaO	103,71	254,73	230,28	109,99
Na	85,93	223,12	88,17	16,79
Fe	12,98	21,33	2,43	0,48
	F3	F5	Torf	Blumenerde
<i>eluiert in DTPA</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>	<i>mg/l</i>
orto Phospat	64,88	240,48	52,09	6,69
PO ₄ -P	75,34	251,59	53,64	6,95
NO ₃ -N	42,02	93,33	100,91	83,38
NH ₄ -N	100,15	155,24	10,59	0,13
Mg	80,64	88,57	67,00	6,99
MgO	133,87	147,03	111,22	11,60
K	1372,93	2736,65	167,61	24,15
K ₂ O	1647,52	3283,98	201,14	28,98
Na	729,59	1257,43	376,95	66,64
Fe	18,44	31,75	9,95	1,52

Wie die Analyseergebnisse zeigen, sind die Nährstoffgehalte der Grasfaserfraktionen durchwegs höher als jene der Vergleichsubstrate. Insbesondere sind die Kaliumgehalte sehr hoch. Sie liegen in ähnlichen Größenordnungen wie zum Beispiel bei Rindenhumus (lt. Ringversuche ÖNORM EN 13651). Die höheren Nährstoffgehalte der Grasfaser sind beim Einsatz als Pflanzsubstrat zu berücksichtigen.

8.4.5 Pflanzenverträglichkeit

Parallel zur chemisch-physikalischen Analytik wurden im Klimaschrank Wachstumstests mit Kresse, sowie mit Gewürzkräutern durchgeführt. Als Referenz wurden das derzeit im Gartenbaubetrieb eingesetzte Substrat (Torf), sowie handelsübliche Blumenerde verwendet.

8.4.5.1 Wachstumstest 1:

31.1.08 – 11.2.2008

Testpflanze: Kresse

Testsubstrate: Grasfaser F3 und F5 (100 %)

Referenzsubstrate: Torf und handelsübliche Blumenerde

Ansatz: 100 ml Quarzsand, 150 g Substrat (jeweils zu 100 %), 0,4 g Kressesamen auf Substrat, 4 ml Quarzsand als Abdeckung, - Torf (Substrat von Gartenbaufirma Herneth), Blumenerde aus Handel (Substrat), Grasfaser Fraktion 3 und Fraktion 5

Umweltbedingungen im Klimaschrank: Temperatur konstant 20 °C, 16 h Tag, 45 % Luftfeuchtigkeit

Ansatzdauer: 11 Tage

Ergebnisdokumentation:

Kressetest – 100 % Substratanteil	
	<p><u>Kresse – 8. Tag</u> Wachstum auf Torf, Grasfaser (Fraktion F5), Grasfaser (Fraktion F3) und Vergleichssubstrat Blumenerde [von links oben nach rechts unten] Keimung nach 2 Tagen bei den Substraten Torf und Blumenerde Keimverzögerung bei Grasfaser F5, Keimung ab 4. Tag, Keimhemmung bei Grasfaser F3.</p>
	<p>Wachstum auf Grasfaser F3 (Hemmung) im Unterschied zu Grasfaser F5 sowie Torf und Blumenerde (vorne von links nach rechts) – am 8. Tag nach dem Ansatz.</p>
	<p>Keimhemmung bei Grasfaser F3 Schimmelbildung auf Substratoberfläche, fauliger Geruch.</p>
	<p>Vergilben der Pflanzen auf Grasfaser F5 ab dem 8. Tag.</p>

Abbildung 8-13: Kressetest 1 – Bilddokumentation

Die Gegenüberstellung der oberirdischen Biomasse (Trockengewicht) verdeutlichte nochmals das wesentlich schlechtere Wachstum der Kresse auf den Grasfaserfraktionen, bzw. der Keimhemmung (siehe *Abbildung 8-14*).

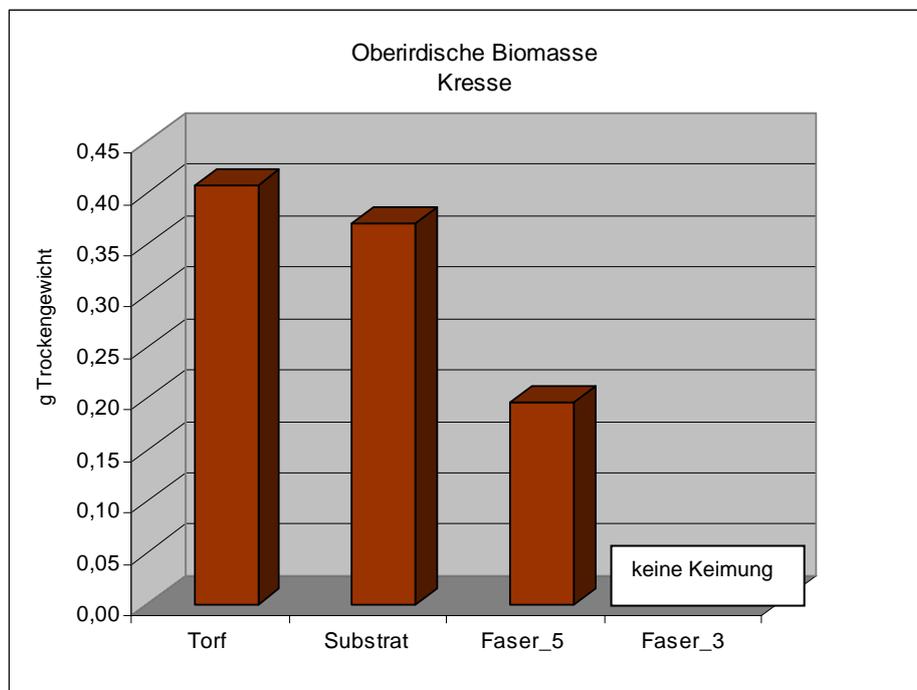


Abbildung 8-14: Oberirdische Biomasseentwicklung auf den unterschiedlichen Substraten

8.4.5.2 Wachstumstest 2

26.3. – 4.4.08 bzw. 8.4.08

Testpflanzen: Kresse, Basilikum, Petersilie

Testsubstrate: Grasfaser F3 und F5 jeweils gewaschen und ungewaschen

Referenz: Torf und handelsübliche Blumenerde

Ansatz: 100 ml Quarzsand, 150 g Substrat, 0,4 g Kressesamen auf Substrat, 4 ml Quarzsand als Abdeckung, immer 100 %, 50 % und 25 % (lt. Keimtest in KompostVO); Torf (Substrat von Herneth), Blumenerde aus Handel (Substrat), Grasfaser Fraktion 3 und Fraktion 5 sowie F3 gewaschen und F5 gewaschen (Test nur mit Kresse);

Umweltbedingungen im Klimaschrank: Temperatur konstant 20 °C, 16 h Tag, 45 % Luftfeuchtigkeit im Klimaschrank

Ansatzdauer: 11 Tage bzw. 14 Tage bei Petersilie

Ergebnisdokumentation:

Kressetest



Kresse am 5. Tag

Gute Keimung bereits nach 2 Tagen bei Torf und Substrat Blumenerde; bei allen Ansätzen.

Bei Grasfaser F3 und F5 deutlicher Unterschied zwischen 100 % und 50 % bzw. 25 % Grasfaserbeimischung.

Keimhemmung bei 100 % Grasfasersubstrat (bei F3 und F5) [siehe unten].



Kresse am 11. Tag

Keimhemmung bzw. spärliches Wachstum bei 100 % Grasfasersubstrat; Schimmelbildung und fauliger Geruch; besseres Wachstum bei 50 % bzw. 25 % Grasfaserbeimischung.

Kresse – gewaschene Grasfaser als Substrat



Kresse am 5. Tag „gewaschenes“ Substrat

Mit gewaschener Grasfaser F3 und F5 verbesserte Keimung gegenüber ungewaschener Fraktion.

Bei F5 beginnende Wurzelfäule, fauliger Geruch des Substrates, deutlicher Unterschied zwischen 100 % und 50 % bzw. 25 % Grasfaserbeimischung.



Kresse am 11. Tag „gewaschenes“ Substrat

bei gewaschener Grasfaser F3 und F5 verbessertes Wachstum im Vergleich zu ungewaschener Grasfaser; aber auch hier bei F5 beginnende Wurzelfäule und fauliger Geruch des Substrates – Nässe; deutlicher Unterschied im Wachstum zwischen 100 % und 50 % bzw. 25 % Grasfaserbeimischung.

Basilikum



Basilikum am 5. Tag

Keimung zwischen 3.-5. Tag; Grasfaser (F3 und F5) mit einem 100 %-Anteil – noch keine Keimung, Geruch und Schimmelbildung; Nässe.



Basilikum am 11. Tag

Auch bei Grasfaserfraktion (F3 und F5 – 100 %) geringe Keimung, Schimmelbildung und fauliger Geruch;
Wachstum bei Grasfasersubstrat generell geringer als bei Vergleichssubstraten.

Petersilie



Petersilie am 5. Tag

keine Keimung am 5. Tag



Petersilie am 14. Tag

Bei Grasfaser F5 (100 %) nur 4 kleine Keime,
Bei F3 (100 %) nur 14 kleine Keime;
Schimmelbildung an Oberfläche und starker fauliger Geruch,
schlechteres Wachstum im Vergleich mit den beiden Referenzsubstraten.

Zusätzlich zur qualitativen Auswertung wurde die oberirdische Biomasse auch quantitativ bestimmt und ausgewertet. Folgend werden die einzelnen Wachstumstests anhand der Trockengewichte des oberirdischen Auswuchses vergleichend dargestellt (siehe *Abbildung 8-15* bis *Abbildung 8-18*).

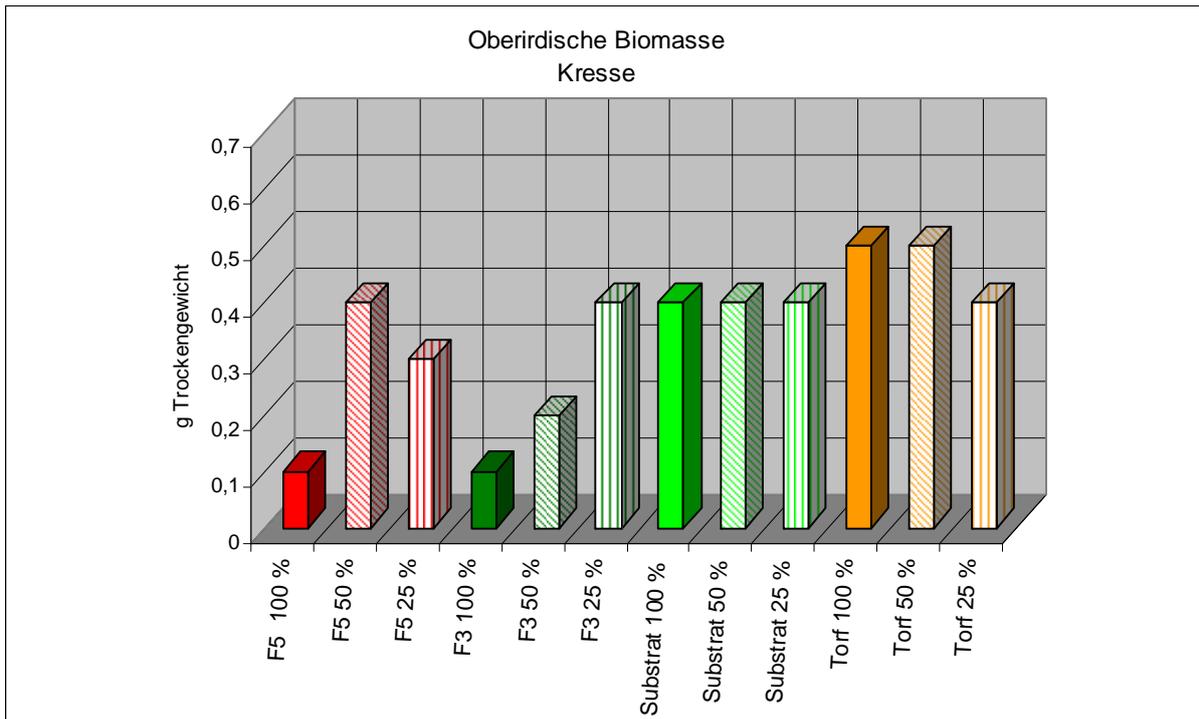


Abbildung 8-15: Oberirdische Biomasse (TS) von Kresse auf unterschiedlichen Substraten nach 11 Tagen

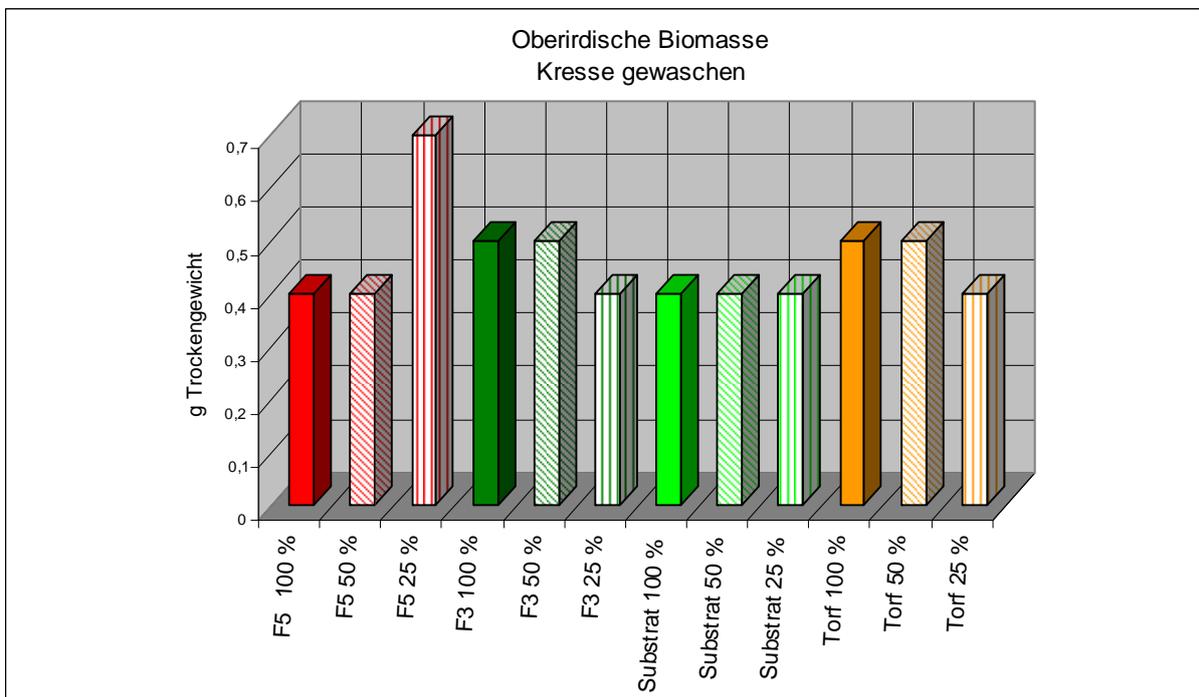


Abbildung 8-16: Oberirdische Biomasse (TS) von Kresse auf unterschiedlichen Substraten – Grasfaser gewaschen- nach 11 Tagen

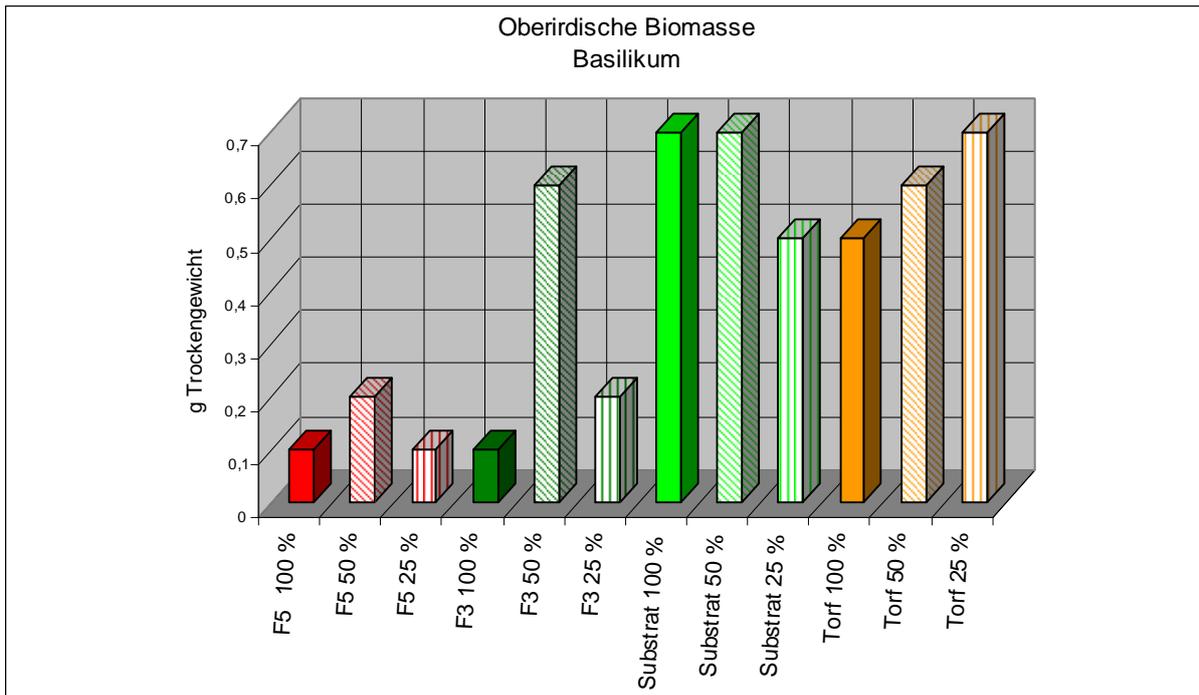


Abbildung 8-17: Oberirdische Biomasse (TS) von Basilikum auf unterschiedlichen Substraten nach 11 Tagen

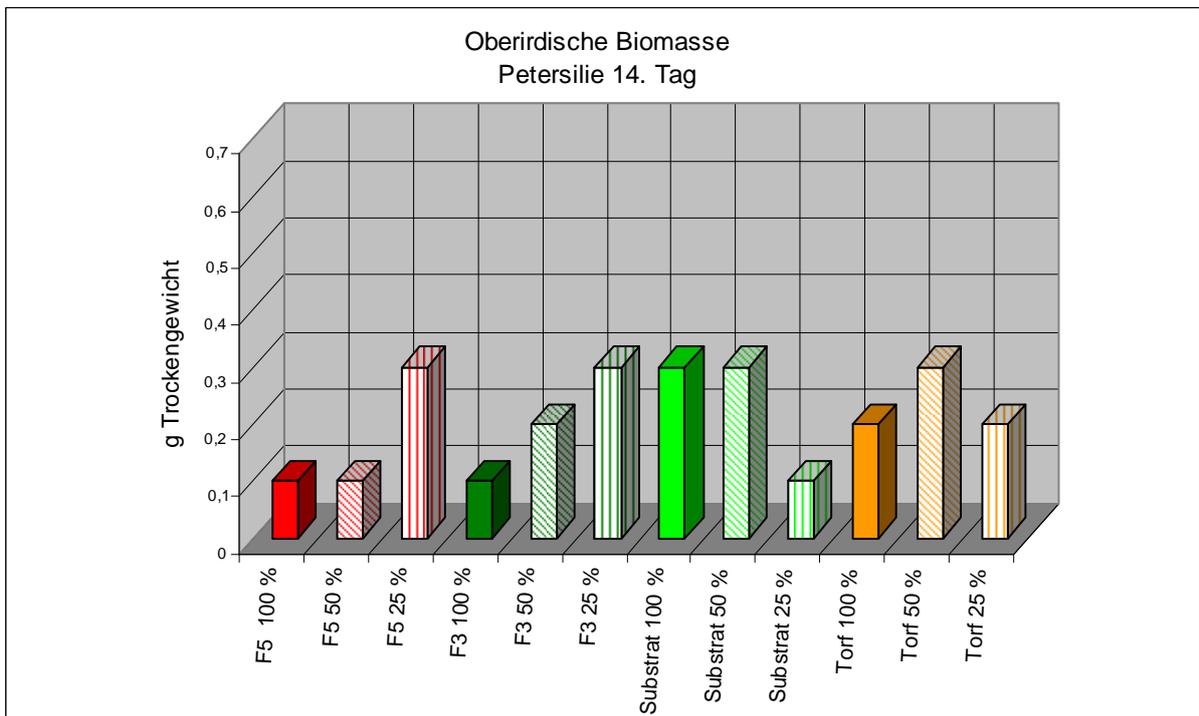


Abbildung 8-18: Oberirdische Biomasse (TS) von Petersilie auf unterschiedlichen Substraten nach 14 Tagen

8.4.5.3 Zusatztest – Grasfaservlies

Zusätzlich zur den beiden Grasfaserfraktionen wurde das Wachstumsverhalten von Kresse auf dem Grasfaser Vlies getestet.



Abbildung 8-19: Gepresstes Vlies aus aufbereiteter Grasfaser

Der Wachstumstest erfolgte in einer Glasschale, welche mit dem Vlies ausgelegt wurde. Die Glasschale wurde mit normalem Wasser (bis zur Wassersättigung des Vlieses), darauf wurden die Kressesamen verteilt. Im Klimaschrank erfolgte die Keimung der Kresse nach zwei Tagen. Wie nachfolgendes Bild zeigt, war das Wachstum der Kresse auf dem Vlies sehr gut.



Wachstum von Kresse auf dem
Grasfaservlies.

Gute Keimung, gutes Wachstum.

Abbildung 8-20: Wachstum von Kresse auf dem Grasfaser Vlies

Wie der Versuch zeigte, ist das Vlies als Wachstumssubstrat sehr gut geeignet.

Ähnlich wie die beiden getesteten Grasfaserfraktionen wurde auch mit dem Vlies ein Eluattest durchgeführt. Dazu wurden 15 g des Vlieses in einem Becherglas mit 250 ml

Aqua des. angesetzt und 24 h in den Klimaschrank gestellt. Das Überstandswasser wurde abfiltriert (0,2 µ) und auf nachfolgend dargestellten Parameter analysiert.

Tabelle 8-12 : Überstandswasser – Vlies

Parameter	Vlies
	mg/l
TOC	426,3
NH ₄ -N	3,8
NO ₃ -N	5,8
NO ₂ -N	0,012
PO ₄ -P	4,2
pH	6,2

Die ermittelten Messwerte zu den jeweiligen Parametern zeigen einen sehr deutlichen Unterschied zu den an den unbehandelten Grasfasern ermittelten Werten auf (siehe *Tabelle 8-11*) So sind kaum Stickstoff und Phosphor um den Faktor 10 im Eluat des Grasfaservlieses geringer. Der pH-Wert ist mit 6,2 im Vergleich zu 4,5- 4,7 (F5, F3) deutlich neutraler.

Dieser Umstand kann dadurch erklärt werden, dass die Grasfaser des Faservlieses durch eine Nassvermahlung (Refiner) aufbereitet wurde und danach zu einem Vlies gelegt wurde.

Dieser Refinerprozess wird in der Praxis nur bei eher geringen TS-Gehalten durchgeführt (ca. 3 bis 6 % TS.) So wird neben der der Aufspießung des Faserkuchens auch eine intensive Wäsche durchgeführt. Dadurch werden wasserlösliche Salze sowie auch niedermolekulare Säuren, welche im Presskuchen noch enthalten waren, mittels Wäsche aus der Faserfraktion entfernt. Die beim Refinerprozess durchgeführte Zerkleinerung und weitere Auffaserung hat im Zusammenhang mit der Auswaschung offenbar einen besonderen Stellenwert.

8.5 Feldversuche

8.5.1 Versuchsanordnung und -durchführung

Die Versuche wurden direkt im Pflanzenbaubetrieb des Projektpartners, Fa. Herneth, durchgeführt. Für den Versuch wurden folgende Substrate verwendet:

Tabelle 8-13: Verwendete Substratmischungen

Substrat 1	Mischung aus Grasfaserfraktion 3 und 5
Substrat 2	Mischung aus Grasfaserfraktion 3 und 5 mit Erde (Mischung Erde: Grasfaser 30 : 70; pH ~7)
Substrat 3	Mischung aus Grasfaserfraktion 3 und 5 mit Kalk (Grasfasermischung + Düngekalk – bis pH~6,5) handelsüblicher Düngekalk – aus > 92 % Kalziumkarbonat

Die Substratmischungen wurden im Labor von JOANNEUM RESEARCH hergestellt und in den Partnerbetrieb geliefert. Dort wurde der Pflanzversuch vom Fachpersonal des Gärtnereibetriebes durchgeführt.

Für die Versuche wurden Pelargonien, Basilikum und Petersilie herangezogen, pro Substrat und Pflanze wurden je 15 Töpfe angepflanzt.

Die Töpfe wurden mit je der gleichen Menge des jeweiligen Substrates gefüllt und danach zum Erreichen der Wassersättigung 12 Stunden mit Wasser eingestaut. Danach wurden die Töpfe mit je einem Pelargoniensteckling bzw. mit jeweils der gleichen Menge Basilikumsamen bzw. Petersiliensamen versehen. Die Petersiliensamen wurden zum Keimen abgedeckt (Dunkelkeimer).

VERSUCHSANSATZ			
Substrat 1	Substrat 2	Substrat 3	
Perlargonie 15 Töpfe	Perlargonie 15 Töpfe	Perlargonie 15 Töpfe	
Basilikum 15 Töpfe	Basilikum 15 Töpfe	Basilikum 15 Töpfe	
Petersilie 15 Töpfe	Petersilie 15 Töpfe	Petersilie 15 Töpfe	

Abbildung 8-21: Feldversuche im Gartenbaubetrieb – Versuchsansatz

Versuchsdauer, Bewässerung und Düngung

Die Kulturen wurden 46 Tage unter gleichen Bedingungen im Glashaus belassen.

Während dieser Zeit erfolgte eine Düngung regelmäßig ein Mal pro Woche mit ca. 10 l 0,1 %iger N:P:K Düngelösung. Die Düngung erfolgte mit einer Gießkanne von oben. Die zusätzliche Bewässerung erfolgte nach Bedarf über den Pflanztisch von unten, nach dem „Ebbe-Flut System“. Sowohl Dünge- als auch Bewässerungsintervalle blieben während der gesamten Versuchsdauer konstant.

Die Temperatur-, Luftfeuchte-, und Lichtverhältnisse während des Versuches entsprachen jenen normaler Produktionsbedingungen im gesamten Glashausbereich. Zusätzliche spezielle Steuerungen der Klimabedingungen wurden nicht eingesetzt.

Während der gesamten Versuchsdauer wurde das Wachstumsverhalten aufgezeichnet und die Phänologie dokumentiert.

8.5.2 Ergebnisse – Pflanzversuche

8.5.2.1 Phänologie

Die Entwicklung der Pflanzen wurde während der 48-tägigen Versuchsdauer kontinuierlich beobachtet. In der dritten und fünften Woche erfolgte eine phänologische Fotodokumentation und ausführlichere Analyse des Wachstumsverhaltens.

Am 48. Tag wurde nach Beendigung des Versuches die Biomasse bestimmt und wurden Detailuntersuchungen zum Wachstum der Pflanzen durchgeführt.

Petersilie			
Grasfaser + Erde	Grasfaser + Kalk	Reine Grasfaser	

Abbildung 8-22: Pflanzen am 4. Versuchstag

8.5.2.2 Phänologische Dokumentation

Nachfolgende Tabellen geben anhand von Fotodokumentationen verbunden mit kurzen Beschreibungen das Wachstumsverhalten der drei Versuchspflanzen auf den unterschiedlichen Substraten wieder.

Abbildung 8-23: Phänologische Dokumentation nach drei Wochen Versuchsdauer

Tag 24 Substrat 1 (reine Grasfaser)		
		<p>Pelargonie Beginnende Nekrosen (gelbe Verfärbungen der Blattränder) bei 30 % der Pflanzen auf Substrat 1; Geruchsentwicklung.</p>
		<p>Basilikum Schlechte Keimung und langsames Wachstum bei Basilikum; Keimung in fast allen Töpfen nur an den Topfrändern; Geruchsentwicklung.</p>
		<p>Petersilie Keine Keimung bei Petersilie auf Substrat 1; Geruchsentwicklung.</p>
Tag 24 Substrat 2 (Grasfaser + Erde)		
		<p>Pelargonie Beginnende Nekrosen an den Blatträndern bei 5 % der Töpfe. Schnellere Wachstum als auf Substrat 1+3; beginnende Verpilzung des Substrates bei allen Töpfen.</p>
		<p>Basilikum Etwas bessere Keimung bei im Vergleich zu Substrat 1 und 3. Keimung vorwiegend am Rand der Töpfe; beginnende Verpilzung am Substrat.</p>
		<p>Petersilie Etwas bessere Keimung bei im Vergleich zu Substrat 1 und 3. Keimung vorwiegend am Rand der Töpfe. Beginnende Verpilzung am Substrat.</p>

Tag 24 Substrat (Grasfaser + Kalk)



Pelargonie

Beginnende Nekrosen an den Blatträndern rund 10 % der Töpfen. Langsameres Wachstum als auf Substrat 2 aber besser als auf Substrat 1. Geruch.



Basilikum

Schlechte Keimung und langsames Wachstum vergleichbar mit Substrat 1. Keimung in fast allen Töpfen nur an den Topfrändern. Geruchsentwicklung; leichtes Vergilben der Keimblätter bei Basilikum.



Petersilie

Geringe Keimung bei Petersilie, eher am Topfrand; Geruchsentwicklung.

Abbildung 8-24: Phänologische Dokumentation – nach fünf Wochen Versuchsdauer

Tag 37 Substrat 1 (reine Grasfasern)



Pelargonie

Fortschreitende Nekrosen (gelbe Verfärbungen der Blattränder) bei 60 % der Pflanzen; Blütenansatz bei 1 Pflanze; kaum Wachstum im Vergleich zu Tag 24. Geruchsentwicklung.



Basilikum

Schlechte Keimung und langsames Wachstum bei Basilikum; kaum Veränderung zu Tag 24; teilweise Vergilben der Keimblätter; Geruchsentwicklung.



Petersilie

Keine Keimung; nur Keimung einiger Pflanzen in den Zwischenräumen der Trays.

Tag 37 Substrat 2 (Grasfaser + Erde)



Pelargonie

Beginnende Nekrosen an den Blatträndern bei 5 % der Töpfe. Schnelleres Wachstum als auf Substrat 1+3; Ansatz von Blüten bei 3 Pflanzen; Verpilzung des Substrates bei allen Töpfen mit unterschiedlichsten Spezies.



Basilikum

Etwas bessere Keimung bei im Vergleich zu Substrat 1 und 3; Keimung vorwiegend am Rand der Töpfe; langsames Wachstum, kaum Veränderungen zu Tag 24; Leichte Verpilzung am Substrat bei ca. 50 % der Töpfe.



Petersilie

Totalausfall bei der Keimung bei 20 %; langsames Wachstum; leichte Verpilzung des Substrats, insbesondere bei Töpfen ohne Keimung.

Tag 37 Substrat 3 (Grasfaser + Kalk)



Pelargonie

Nekrosen an den Blatträndern 80 % der Töpfe; langsameres Wachstum als auf Substrat 2 aber besser als auf Substrat 1; bei 5 Pflanzen Blütenansätze, leichter Geruch.



Basilikum

Schlechte Keimung und langsames Wachstum vergleichbar mit Substrat 1; Totalausfall bei 13 %; Geruchsentwicklung; Vergilben der Keimblätter bei Basilikum.



Petersilie

40 % Totalausfall bei der Keimung; langsames Wachstum, beginnendes Vergilben; Geruchsentwicklung.

Nach 46 Tagen Versuchsdauer wurden die Pflanzen ins Labor von JOANNEUM RESEARCH transferiert und eine Endauswertung zum Wachstumsverhalten der einzelnen Pflanzen auf den unterschiedlichen Substraten durchgeführt.

Pelargonien

Die Auswertung des Wachstums der Pelargonien auf den drei Substraten ergab folgendes Ergebnis:

Abbildung 8-25: Endauswertung des Wachstumsverhaltens – Pelargonie

Pelargonie (46. Tag)		
Substrat 1		
Substrat 2		
Substrat 3		
		
<p>Substrat 1 Reine Grasfaser</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei 67 % der Pflanzen Blüten+ bzw. Knospenbildung • Vergilben der Blätter bei allen Töpfen • Oberflächlich sichtbare Verpilzung des Substrates bei allen Töpfen • Oberer Bereich des Substrates sehr trocken – untere Bereich sehr nass, - fauliger Geruch • Schädlingsbefall in nassem Bereich • Pilzbefall oberflächlich • Schlechte Durchwurzelung • „Lufteinschlüsse“ im Topf • Oberirdische Biomasse (Frischgewicht) pro Topf 3,83 g (Mittelwert +/-0,71 Stabw.), Trockengewicht 0,65 g (Mittelwert +/-0,11 Stabw.) 	<p>Substrat 2 Grasfaser+ Erde</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei 53 % der Pflanzen Blüten bzw. Knospenbildung • Vergilben der Blätter bei allen Töpfen • Starke Verpilzung der Substratoberfläche bei allen Töpfen • Bei 70 % der Töpfe fast vollständige Durchwurzelung des Substrates • Besseres „Ausfüllen der Töpfe“ – keine „Lufteinschlüsse“ • Kein fauliger Geruch • Oberirdische Biomasse (Frischgewicht) pro Topf 4,85 g (Mittelwert +/-0,9 Stabw.), Trockengew. 0,76 g (+/-0,1 Stabw.) 	<p>Substrat 3 Grasfaser + Kalk</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei 40 % der Pflanzen Blüten bzw. Knospenbildung • Vergilben der Blätter bei allen Töpfen • Verpilzung des Substrates bei 90 % der Töpfe • Oberer Bereich des Substrates sehr trocken – untere Bereiche nass und faulig – fauliger Geruch • Schädlingsbefall in nassem Bereich • Oberirdische Biomasse (Frischgewicht) pro Topf 3,97 g (Mittelwert +/-0,89 Stabw.) Trockengewicht 0,67 g (+/-0,5 Stabw.)

Aus nachfolgenden Abbildungen wird deutlich, dass auf Substrat 2 am meisten Biomasse ausgebildet wurde, gefolgt von Substrat 3 und Substrat 1. Bedingt durch den unterschiedlichen Wassergehalt zeigen die Frischgewichtswerte der einzelnen Töpfe untereinander eine wesentlich höhere Streuung auf, als die Trockengewichtswerte.

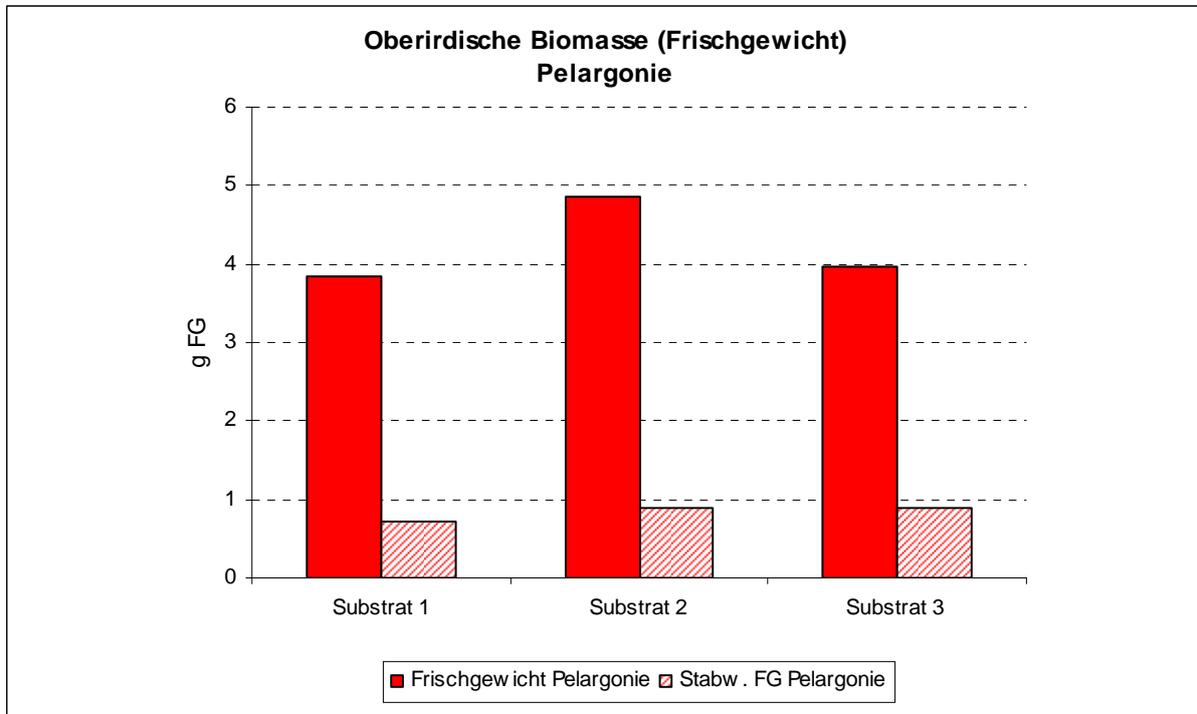


Abbildung 8-26: Oberirdische Biomasse (in g Frischgewicht) auf den unterschiedlichen Substraten bei Pelargonie (Stabw.= Standardabweichung)

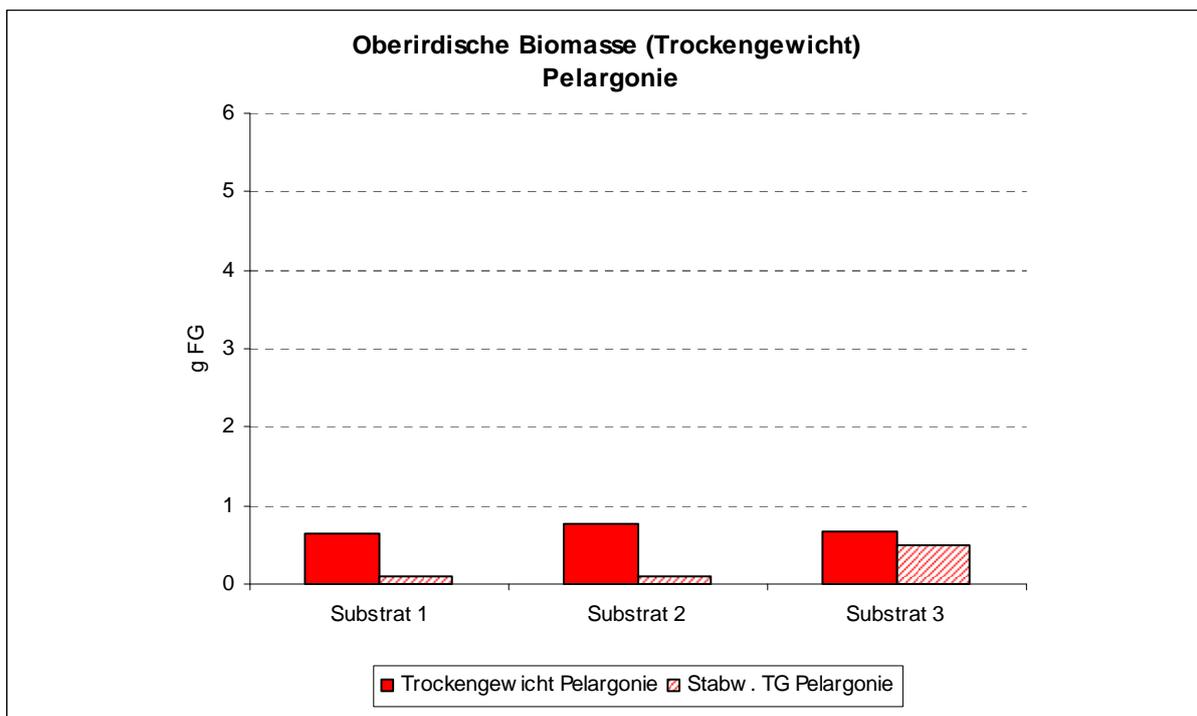


Abbildung 8-27: Oberirdische Biomasse (in g Trockengewicht) auf den unterschiedlichen Substraten bei Pelargonie (Stabw.= Standardabweichung)

Basilikum

Die Auswertungen des Wachstums von Basilikum auf den drei Substraten ergaben folgendes Ergebnis:

Abbildung 8-28: Endauswertung des Wachstumsverhaltens – Basilikum

Basilikum		
<p>Substrat 1</p> <p>Substrat 2</p> <p>Substrat 3</p>		
		
<p>Substrat 1</p> <p>Reine Grasfaser</p>	<p>Substrat 2</p> <p>Grasfaser+ Erde</p>	<p>Substrat 3</p> <p>Grasfaser + Kalk</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Sehr unterschiedliche Keimraten pro Topf • Keimung zum Teil nur am Topfrand • Langsames Wachstum bzw. Wachstumsstopp nach der Keimung, kein Wachstum über das Keimblattstadium hinaus • Teilweises Vergilben der Blätter bei allen Töpfen • Oberflächlich sichtbare Verpilzung des Substrates bei allen Töpfen • Oberer Bereich des Substrates sehr trocken – unterer Bereich sehr nass, fauliger Geruch • Schädlingsbefall in 	<ul style="list-style-type: none"> • Unterschiedliche Keimraten pro Topf • Keimung zum Teil nur an den Topfrändern • Langsames Wachstum, jedoch über das Keimblattstadium hinaus • Teilweises Vergilben der Keimblätter bei allen Töpfen feststellbar • Starke Verpilzung der Substratoberfläche bei allen Töpfen • Gute Durchwurzelung des Substrates (in Abhängigkeit der Keimrate) • Gutes „Ausfüllen der Töpfe“ – keine „Lufteinschlüsse“ • Kein fauliger Geruch • Oberirdische Biomasse 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr unterschiedliche Keimraten • Keimung zum Teil nur an den Topfrändern • Totalausfall der Keimung bei 13 % der Töpfe • Langsames Wachstum bzw. Wachstumsstopp; kein Wachstum über das Keimblattstadium hinaus • Vergilben der Blätter bei allen Töpfen • Verpilzung des Substrates bei 90 % der Töpfe • Oberer Bereich des Substrates sehr trocken – untere Bereiche nass und faulig – fauliger Geruch • Schädlingsbefall in nassem Bereich

<p>nassem Bereich</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pilzbefall oberflächlich • Schlechte Durchwurzelung • „Lufteinschlüsse“ im Topf • Oberirdische Biomasse (Frischgewicht) pro Topf 1,18 g (Mittelwert +/-0,95 Stabw.), Trockengewicht 0,14 g (Mittelwert +/-0,08 Stabw.) 	<p>(Frischgewicht) pro Topf 2,15 g (Mittelwert +/-0,3 Stabw.), Trockengewicht 0,3 g (+/-0,3 Stabw.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Oberirdische Biomasse (Frischgewicht) pro Topf 2,15 g (Mittelwert +/-0,3 Stabw.) Trockengewicht 0,3 g (+/-0,3 Stabw.)
---	---	---

Nachfolgende Abbildung verdeutlicht die unterschiedlichen Keimraten von Basilikum auf den getesteten Substraten. Auffällig ist hierbei auch die starke Streuung der Keimung innerhalb der Parallelansätze mit gleichem Substrat.

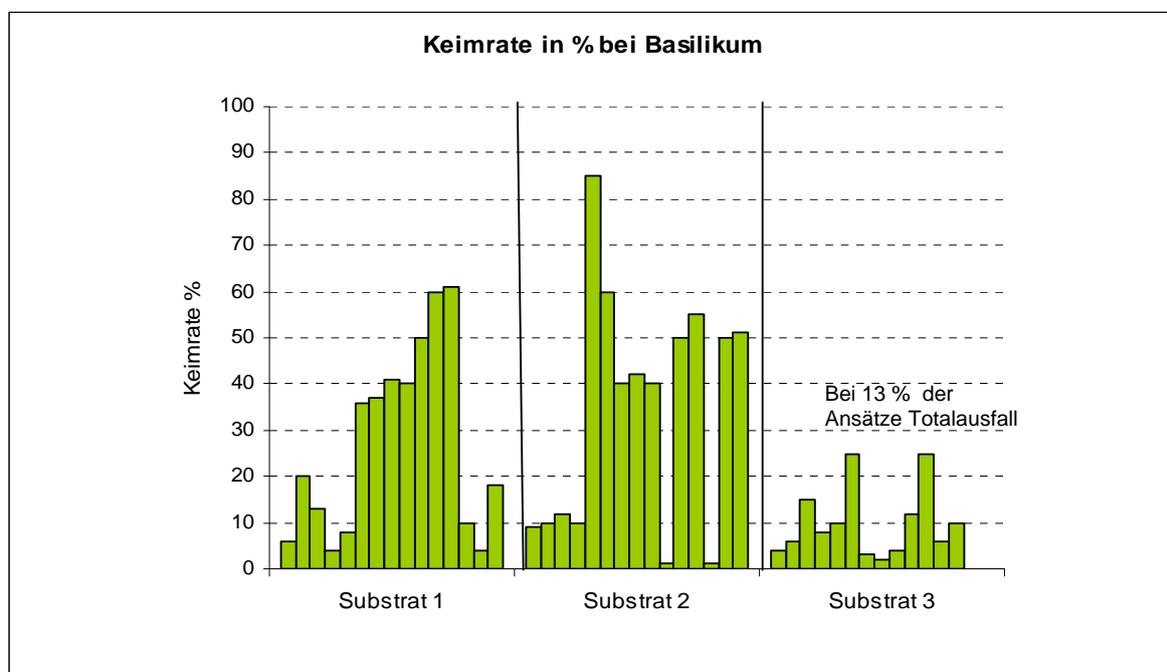


Abbildung 8-29: Keimraten bei Basilikum

Aus nachfolgenden Abbildungen wird deutlich, dass auf Substrat 2 am meisten Biomasse ausgebildet wurde, gefolgt von Substrat 1 und Substrat 3. Die Streuung der Biomassewerte innerhalb der einzelnen Töpfe ist auf Grund der unterschiedlichen Keimraten extrem hoch.

Bedingt durch den unterschiedlichen Wassergehalt zeigen die Frischgewichtswerte der einzelnen Töpfe untereinander eine höhere Streuung auf, als die Trockengewichtswerte.

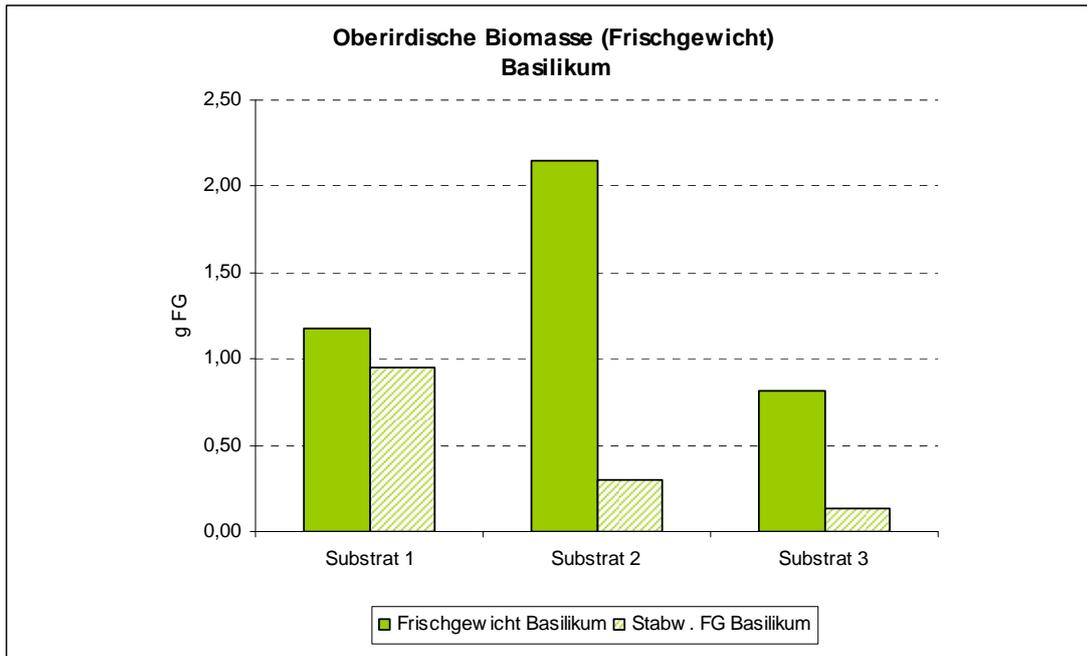


Abbildung 8-30: Oberirdische Biomasse (in g Frischgewicht) auf den unterschiedlichen Substraten bei Basilikum (Stabw.= Standardabweichung)

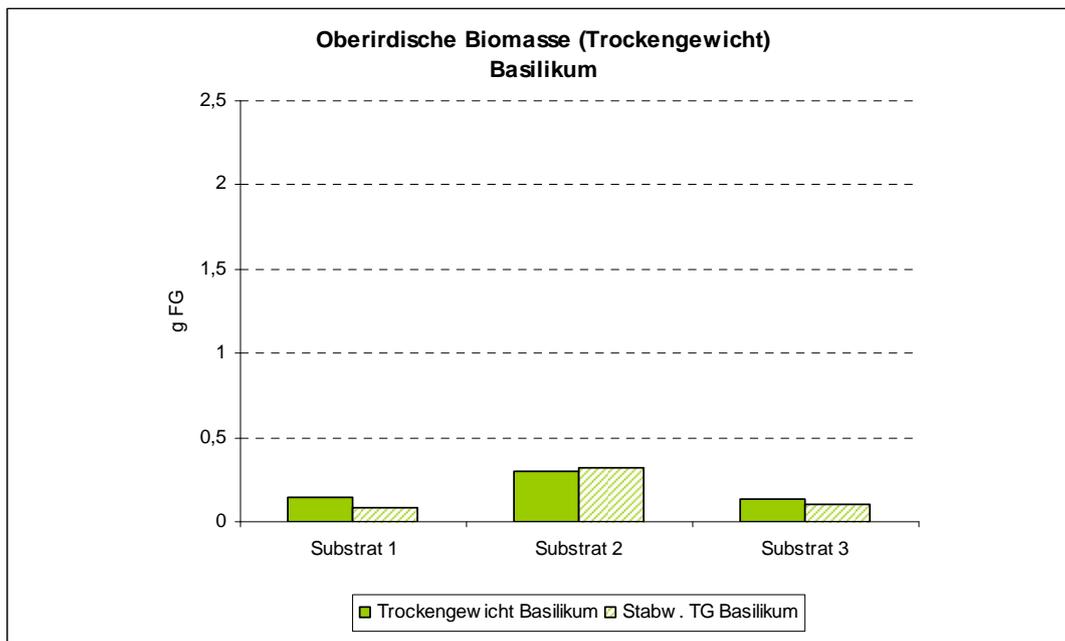


Abbildung 8-31: Oberirdische Biomasse (in g Trockengewicht) auf den unterschiedlichen Substraten bei Basilikum (Stabw.= Standardabweichung)

Petersilie

Die Wachstumstests von Basilikum auf den drei Substraten ergaben folgendes Ergebnis:

Abbildung 8-32: Endauswertung des Wachstumsverhaltens – Petersilie

Petersilie		
<p>Substrat 1*</p> <p>Substrat 2*</p> <p>Substrat 3*</p> <p>*je 15 Töpfe</p>		
<p>Substrat 1 Reine Grasfaser</p>	<p>Substrat 2 Grasfaser+ Erde</p>	<p>Substrat 3 Grasfaser + Kalk</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Totalausfall der Keimung auf Substrat 1 • Substratballen in oberen Bereichen trocken unten nass und faulig • Pilz- und Insektenbefall der Substratballen 	<ul style="list-style-type: none"> • Unterschiedliche Keimraten pro Topf • Totalausfall der Keimung bei 20 % der Töpfe • Keimung zum Teil nur an den Topfrändern • Langsames Wachstum, jedoch über das Keimblattstadium hinaus • Gute Durchwurzelung des Substrates bei Töpfen mit hoher Keimrate • Gutes „Ausfüllen der Töpfe“ – keine „Lufteinschlüsse“ • Kein fauliger Geruch • Oberirdische Biomasse (Frischgewicht) pro Topf 2,06 g (Mittelwert +/-1,2 Stabw.), Trockengewicht 0,25 g (+/-0,14 Stabw.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr unterschiedliche Keimraten • Totalausfall der Keimung bei 40 % der Töpfe • Keimung zum Teil nur an den Topfrändern • Langsames Wachstum bzw. Wachstumsstopp; kein Wachstum über das Keimblattstadium hinaus • Verpilzung des Substrates bei 20 % der Töpfe • Oberer Bereich des Substrates sehr trocken – untere Bereiche nass und faulig – fauliger Geruch • Schädlingsbefall in nassem Bereich • Oberirdische Biomasse (FG) pro Topf 0,72 g (Mittelwert +/-0,83 Stabw.), TGO,11 g (+/-0,1 Stabw.)

Nachfolgende Abbildung zeigt die Keimraten von Petersilie auf den getesteten Substraten. Auffällig ist auch hier die starke Streuung der Keimung innerhalb der Parallelansätze mit gleichem Substrat.

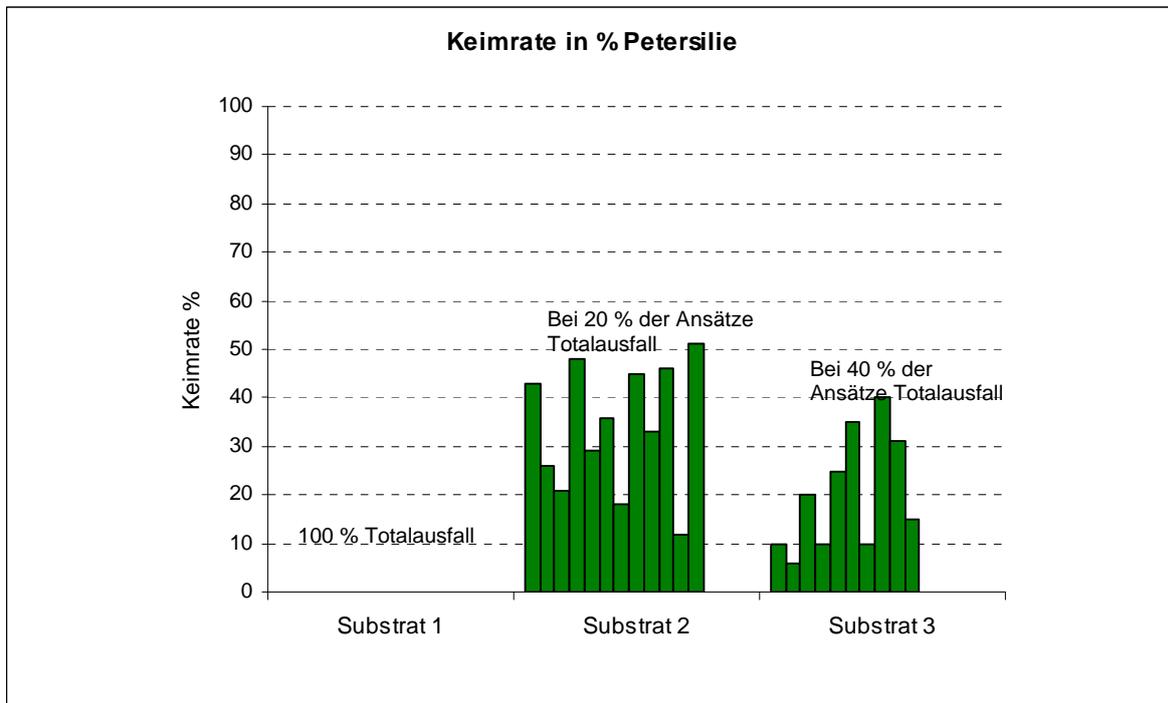


Abbildung 8-33: Keimraten bei Petersilie

Nachfolgende Abbildungen zeigen den Unterschied in der Biomasseproduktion zwischen Substrat 2 und Substrat 3. Bedingt durch die extrem unterschiedlichen Keimraten in den einzelnen Töpfen ist die Streuung der Biomassewerte extrem hoch.

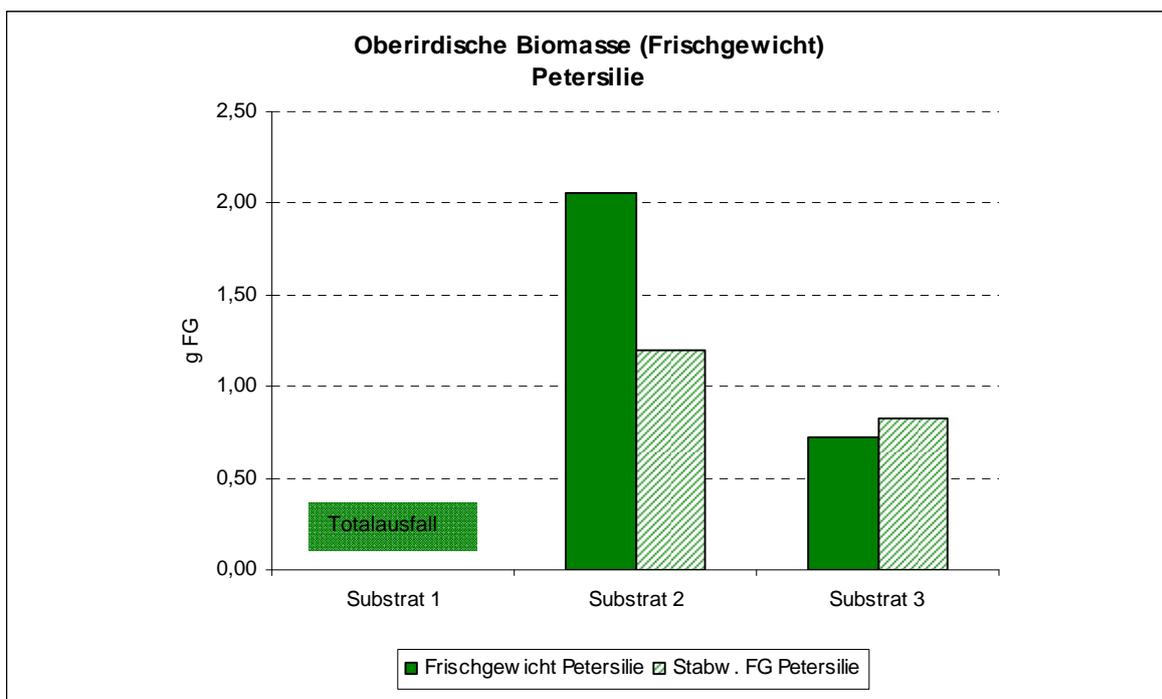


Abbildung 8-34: Oberirdische Biomasse (in g Frischgewicht) auf den unterschiedlichen Substraten bei Petersilie (Stabw.= Standardabweichung)

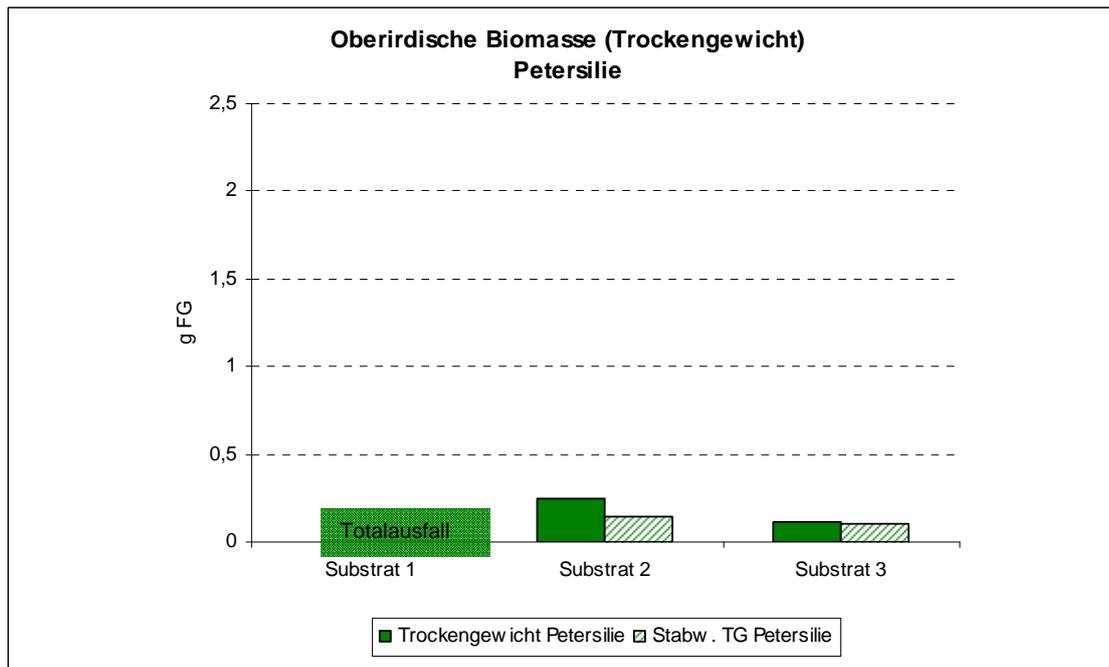


Abbildung 8-35: Oberirdische Biomasseentwicklung (in g Frischgewicht) auf den unterschiedlichen Substraten bei Petersilie (Stabw.= Standardabweichung)

8.5.3 Depot-Düngeverhalten und Wasserhaltevermögen der Testsubstrate

Düngeverhalten

Die Versuchskulturen wurden während der gesamten Versuchsdauer konstant gedüngt und Bewässert (siehe auch Kapitel „Versuchsanordnung- und -durchführung“). Stichprobenartig wurden bei Beendigung des Versuches die Salzgehalte in den drei Substraten gemessen. Die Messung erfolgte direkt in den Töpfen mit einem „Pflanzenernährungs-Tachometer PET 2000 Kombi Aktivitätsmesser mit Einstechsonde.

Die gemessenen Werte sind Momentaufnahmen der Nährstoffaktivität unter Berücksichtigung aller Bodeneigenschaften wie Salzkonzentration, Feuchte, Volumendichte und Temperatur. In der gartenbaulichen Praxis des Partnerbetriebes werden so Nährstoffverfügbarkeit, Depotdüngerverhalten etc. während des Kulturverlaufes kontrolliert. Diese Messungen sind für die Terminisierung der Düngung in den Kulturen ausschlaggebend.

In vergleichbaren Kulturen liegt die Salzaktivität für einen optimalen Versorgungsgrad zwischen 0,4 – 0,6 g/l, eine entsprechende Nachdüngung erfolgt wenn die Salzaktivität darunter liegt. Dies ist laut Auskunft des zuständigen Gärtners erfahrungsgemäß bei den getesteten Kulturen ein Mal pro Woche der Fall. Dementsprechend wurde auch das Düngeintervall für den Versuch gewählt.

Die Messungen der Salzaktivität (siehe *Tabelle 8-14*) der drei Substrate, zeigte grundsätzlich bei allen Testsubstraten sehr niedrige Werte. Der Unterschied zwischen den drei Substraten war nur unwesentlich, wobei das Substrat 2 (Mischung mit Erde) die höchsten Werte zeigte.

Diese Messergebnisse erlauben den Rückschluss auf ein geringes Düngedepotverhalten, d.h. relativ schnelles Auswaschen der Düngegaben, bei allen drei Substraten.

Tabelle 8-14: Salzaktivität in den Substraten

Salzaktivität	Pelargonie g/l	Basilikum g/l	Petersilie g/l
Substrat 1	0,27	0,22	0,27
Substrat 2	0,34	0,34	0,33
Substrat 3	0,18	0,21	0,08

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass keines der getesteten Substrate die Nährstoffe in ausreichendem Maße hält. Augenscheinlich wurde dies bei allen drei getesteten Pflanzen. Die Blattknospen bei Pelargonie als auch das beginnende Vergilben der Blätter bei Basilikum und Petersilie, beruhen auf Nährstoffmangel, auf Grund eines zu geringen Düngedepots (Auswaschung der Nährstoffe) im Substrat.

8.5.4 Wasserhaltevermögen der Substrate

Die Wasserversorgung der Versuchskulturen erfolgte zum einen zusammen mit den Düngegaben und zum anderen zusätzlich mit dem „Ebbe-Flut System“ am Pflanztisch. Zu Versuchsbeginn (vor Aussaat) wurde die Töpfe 12 Stunden mit reinem Wasser „gestaut“ um optimale Wasserversorgung zu erreichen. Während der Versuchsdauer wurden bei der Bewässerung folgende Beobachtungen gemacht: Bei allen Substraten war die Wasseraufnahme langsam – schwere „Benetzbarkeit“.

Schnelles Austrocknen von oben her (obere 2-3 cm) – woraus Keim Schwierigkeiten bei Basilikum und Petersilie (Austrocknen der Samen) resultieren. Der Totalausfall der Keimung bei Petersilie ist auf diesen Effekt zurückzuführen. Großes Wasserhaltevermögen in den unteren Bereichen, hier trockneten insbesondere Substrat 1 und 3 schwer bis gar nicht ab – anaerobe, faulige Bereiche entstanden mit schlechter bis gar keiner Durchwurzelung. Mit längerer Versuchsdauer stellte sich in den unteren nassen Bereichen Schädlingsbefall (Nematoden, Mückeneier und Larven) ein. Bei Substrat 2 war dieser Effekt deutlich verringert. Eine starke Geruchsentwicklung (sauer, silageähnlich) bei Bewässerung erfolgte in den ersten beiden Versuchswochen bei allen drei Substraten. Eine Verringerung der Geruchsbildung konnte nur bei Substrat 2 nach ca. drei Wochen Versuchsdauer festgestellt werden.



Abbildung 8-36: Substratballen von Substrat 1 (reine Grasfaser) – und Substratballen von Substrat 2 (Grasfaser + Erde) nach 46 Tagen Versuchsdauer

8.5.5 Struktur der getesteten Substrate

In Bezug auf die Struktur der drei Substrate konnten folgende Beobachtungen während des Praxisversuches gemacht werden: Substrate sind im trockenen Zustand sehr „staubig“, auf Grund des hohen Feinanteils. Dies wirkt sich negativ auf den Arbeitsgang des „Eintopfens“ aus (Staubbelastung beim Topfen). Bei allen drei Substraten wurde festgestellt, dass bei der Bewässerung und im zeitlichen Verlauf des Versuches das Material unregelmäßig in sich zusammen sinkt. Im Substrat 2 war dieser Effekt etwas geringer als bei den Substraten 1 und 3. Auf Grund der unregelmäßigen Struktur füllt das Material die Töpfe nicht gut aus – es entstehen „Randblasen“ mit Luft die nicht durchwurzelt werden können.

8.5.6 Sonstige Eigenschaften der Testsubstrate

Während des Versuches wurden in Bezug auf die Testsubstrate des Weiteren folgende Beobachtungen gemacht:

- Starke Verpilzung des Materials an der Oberfläche;
- Starker Befall von Larven und Würmern im Substrat, insbesondere in den sehr feuchten unteren Bereichen bei Substrat 1 und 3;
- Reaktivität – Geruchsentwicklung – säuerlicher, silageähnlicher Geruch am Anfang bei allen drei Testsubstraten. Die Geruchsentwicklung verminderte sich bei Substrat 2 (Mischung mit Erde) nach drei Wochen Versuchsdauer. Die Substrate 1 und 3 hatten während der gesamten Versuchsdauer einen silageähnlichen Geruch. Da es sich bei den Grasfasern um vorsiliertes, abgepresstes und danach getrocknetes Gras handelt, liegt es nahe, dass durch die Wiederbefeuchtung biologische Prozesse, welche den Geruch verursachen, sofort wieder beginnen. Die verminderte Geruchsentwicklung im Substrat 2, ist auf die darin enthaltene Erde zurückzuführen. Beim Substrat 3 (Mischung mit Kalk), ist davon auszugehen, dass

der Kalk schon bei den ersten Bewässerungen ausgewaschen wurde, somit der pH-Wert nur für kurze Zeit stabil war, sodass biologische Prozesse rasch wieder beginnen konnten.

8.6 Zusammenfassende Beurteilung der Testsubstrate

Sowohl die Untersuchungen im Labor-, als auch im Glashausversuch verdeutlichen, dass die getesteten Grasfasersubstrate bzw. Substratmischungen nicht bzw. nur sehr eingeschränkt als Pflanzsubstrat in Frage kommen.

Das Grasfasermaterial hat einen sehr hohen leicht reaktiven organischen Anteil im Vergleich zu untersuchten Vergleichsubstraten (handelsübliche Pflanzsubstrate und Torf), was sich aus der Herkunft des Materials (vorsiliertes Gras) erklärt. Der pH-Wert ist im sauren Milieu (pH~4,5). Die Nährstoffgehalte sind im Vergleich zu anderen Pflanzsubstraten (Torf) hoch. Sie liegen in leicht löslicher Form vor und werden rasch ausgewaschen. Dies bestätigten auch die Messergebnisse des Feldversuches im Partnerbetrieb, wo sich bei allen drei getesteten Substraten ein geringes Düngedepotverhalten zeigte.

Sowohl bei der reinen Grasfaser, als auch bei den Substratmischungen trat bei Kontakt mit Wasser sofort starke Geruchsentwicklung (säuerlich, silageähnlich) bei allen drei Testsubstraten auf. Die Geruchsentwicklung verminderte sich bei Substrat 2 (Mischung mit Erde) nach drei Wochen Versuchsdauer. Die Substrate 1 und 3 hatten während der gesamten Versuchsdauer einen silageähnlichen Geruch. Da es sich bei den Grasfasern um vorsiliertes, abgepresstes und danach getrocknetes Gras handelt, liegt es nahe, dass durch die Wiederbefeuchtung biologische Prozesse, welche den Geruch verursachen, sofort wieder beginnen. Eine Verringerung der Geruchsbildung konnte nur beim Testsubstrat 2 (Mischung mit Erde) festgestellt werden. Es ist anzunehmen, dass hier durch die Beimischung der Erde durch Komplexbildungen im Substrat schnellere Umwandlungs- und Festlegungsreaktionen im Substrat erfolgten. Beim Substrat 3 (Mischung mit Kalk), ist davon auszugehen, dass der Kalk schon bei den ersten Bewässerungen ausgewaschen wurde, somit der pH-Wert nur für kurze Zeit stabil war, sodass biologische Prozesse rasch wieder beginnen konnten.

Die Untersuchung physikalischer Parameter, wie Teilchendichte, Porenvolumen, Rohdichte und Schrumpfungswert sowie der Wasserhaltekapazität der Grasfasern ergaben nur leichte Unterscheidungen in diesen Eigenschaften gegenüber den Vergleichssubstraten Torf bzw. „Blumenerde“.

Wesentlich für den Einsatz der Testsubstrate für Topfkulturen war die Feststellung des Wasserhaltevermögens bzw. des Wasserauf- und -abgabevermögens. Grundsätzlich zeigte sich dass die Wasserhaltekapazität der reinen Grasfaser im Vergleich zu Torf oder „Blumenerde“ niedrig ist. Bei den Feldversuchen wurde bei allen Testsubstraten, insbesondere in den ersten drei Versuchswochen, eine langsame Wasseraufnahme und schwere „Benetzbarkeit“ der Substrate festgestellt.

Weiters trockneten alle Substrate, auf Grund der niedrigen Wasserhaltekapazität, von oben her (obere 2-3 cm) schnell ab. Die beobachteten Keim Schwierigkeiten von Basilikum- und Petersiliensamen insbesondere auf dem reinen Grasfasersubstrat, resultierten auf diesem Effekt der Austrocknung bzw. schweren Benetzbarkeit des Substrates.

In den unteren Bereichen der Töpfe trocknete hingegen insbesondere Substrat 1 (reine Grasfaser) und 3 (Grasfaser + Kalk) schwer bis gar nicht ab. Anaerobe, faulige Bereiche entstanden mit schlechter bis gar keiner Durchwurzelung. Mit längerer Versuchsdauer stellte sich in den unteren nassen Bereichen Schädlingsbefall (Nematoden, Mückeneier und Larven) ein. Bei Substrat 2 war dieser Effekt deutlich verringert.

Als relevant für den Einsatz der Testsubstrate im Gartenbaubereich, war die Beobachtung bei allen drei Substraten, dass sowohl bei jeder Bewässerung als auch im zeitlichen Verlauf des „Feldversuches“ das Substrat in den Töpfen unregelmäßig in sich zusammen sank. Im Substrat 2 (Mischung mit Erde) war dieser Effekt etwas geringer als bei den Substraten 1 und 3. Der Effekt wurde unabhängig von der jeweiligen Testpflanze bei allen Töpfen beobachtet. Weiters wurde festgestellt, dass auf Grund der unregelmäßigen Struktur, das Material die Töpfe nicht gut ausfüllt – es entstehen „Randblasen“ mit Luft die nicht durchwurzelt werden können.

Die Testsubstrate waren im trockenen Zustand sehr „staubig“, auf Grund des hohen Feinanteils. Dies wirkte sich negativ auf den Arbeitsgang des „Eintopfens“ im Gärtnereibetrieb aus (Staubbelastung beim Topfen).

Während des Feldversuches im Gärtnereibetrieb wurde eine starke Tendenz zur Verpilzung des Materials an der Substratoberfläche bei allen Testsubstraten festgestellt.

Sowohl die im Labor unter kontrollierten Bedingungen durchgeführten Wachstumstest (Kressetests), als auch die Pflanzversuche in Töpfen im Feldversuch untermauerten die Ergebnisse der chemisch-physikalischen Untersuchungen. Insbesondere auf reinem Grasfasersubstrat (Substrat 1) waren die Keimraten, je nach Empfindlichkeit der Testpflanze, stark eingeschränkt sowie die Pflanzenentwicklung gehemmt. Weiters wurden Blattnekrosen, verursacht durch Nährstoffmangel, bei allen Testpflanzen festgestellt.

Eindeutig kann festgestellt werden, dass die getrockneten Grasfasern allein (Substrat 1), also ohne weitere Behandlung, als Pflanzensubstrat in Topfkulturen nicht geeignet ist. Ebenso reichte die alleinige Zugabe von Kalk (Substrat 3) nicht aus um die Eigenschaften der Grasfasern zu verbessern. Die Mischung mit Erde (Substrat 2) zeigte gegenüber den beiden anderen Varianten eine Verbesserung der chemisch-physikalischen Eigenschaften, was sich direkt auf das Pflanzenwachstum auswirkte. Jedoch entspricht auch dieses Testsubstrat den Anforderungen einer routinemäßigen Anwendung im Topfpflanzenbereich nicht.

Für eine erfolgreiche Substratherstellung aus Grasfaserrückständen aus der Grünen Bioraffinerie zeigt sich, dass weitere Verfahrensschritte zur Aufbereitung der Grasfasern, wie zum Beispiel die vorangehende Kompostierung der Grasfaser, erforderlich sind.

Bei einer vorangehenden Kompostierung der Grasfasern könnte eine wesentliche Verbesserung in Bezug auf die chemisch-physikalischen Eigenschaften (Nährstoffsituation, Wasserhaltevermögen, Struktur) des Materials im Hinblick auf die Verwendung als Pflanzsubstrat erzielt werden. Insbesondere würden die in der Grasfaser noch vorhanden leicht abbaubaren Verbindungen rasch umgewandelt und in verbesserter Form im Substrat eingebunden vorliegen, sodass die festgestellten negativen Eigenschaften der Grasfasern,

wie Geruchsentwicklung, geringes Nährstoffhaltevermögen, unzureichende Wasserkapazität, etc. kompensiert werden könnten. Grasfaser-Komposte könnten dann je nach Bedarf in unterschiedlichen Pflanz-Substratmischungen Verwendung finden.

8.7 Beitrag der Produktgruppen „Substrate“ zur Gesamtwirtschaftlichkeit

Wie die Ergebnisse des Projektes zeigten, sind für eine erfolgreiche Substratherstellung aus Grasfaserrückständen aus der Grünen Bioraffinerie weitere Verfahrensschritte zur Aufbereitung der Grasfasern unumgänglich. Dies beeinträchtigt – je nach Aufwändigkeit des Verfahrens – die Gesamtwirtschaftlichkeit der Grünen Bioraffinerie. Für die Entscheidungsfindung, welcher weiteren Verwendung der Grasfaserrückstand zugeführt werden soll, ist daher in jedem Fall eine entsprechende Kosten-Nutzen-Betrachtung in Zusammenschau mit der Gesamtwirtschaftlichkeit durchzuführen. Jedoch erscheint diese Betrachtung auf Grund der Ergebnisse des Projektes derzeit nicht seriös durchführbar, da die Projektergebnisse zeigten, dass eine Substratherstellung aus der Grasfaser durch „einfaches“ Mischen mit Zusatzstoffen, nicht Ziel führend war. Andere Möglichkeiten der Vorbehandlung zur Substratherstellung waren nicht Gegenstand dieser Untersuchungen.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich die Herstellung von Pflanzsubstraten aus den Grasfaserrückständen sich nur dann durchsetzen kann, wenn die Kosten-Nutzen-Relation sowohl für die potentiellen Anwender (Gartenbau) als auch für den Hersteller stimmt.

Grundsätzlich ist das Marktpotential für Substrate, welche als Alternative zu Torfprodukten Verwendung finden könnten, in Anbetracht der großen Mengen an Torf und Torfprodukten, die nach wie vor am Markt verwendet werden, groß. Experten sprechen davon, dass eine Torfreduktionen zwischen 50-70 % in den meisten Bereichen der Gartenbauwirtschaft aus pflanzenbaulicher Sicht ohne Nachteile für den Produktionsprozess bzw. die Qualität der Pflanzen schon jetzt machbar wäre. Insbesondere in den letzten Jahren ist die Sensibilität der Konsumenten, was „Öko“-Produktlinien, betrifft wesentlich gestiegen, sodass für torffreie Produkte neben der Verwendung im Erwerbsgartenbau, direkt (torffreie Substrate) und indirekt (z.B. torffreie Bio-Topfpflanzen) gute Absätze im Bereich des Hobbygartenbaues erwartet werden können.

Von Schweizer Marktforschungsexperten (*Meister et al. 1999*) werden generell die Einsatzmöglichkeiten von nachwachsenden Rohstoffen für Torfersatz als ökonomisch konkurrenzfähig mit einem großen Marktpotential eingestuft. Dies hat auch für Österreich Gültigkeit.

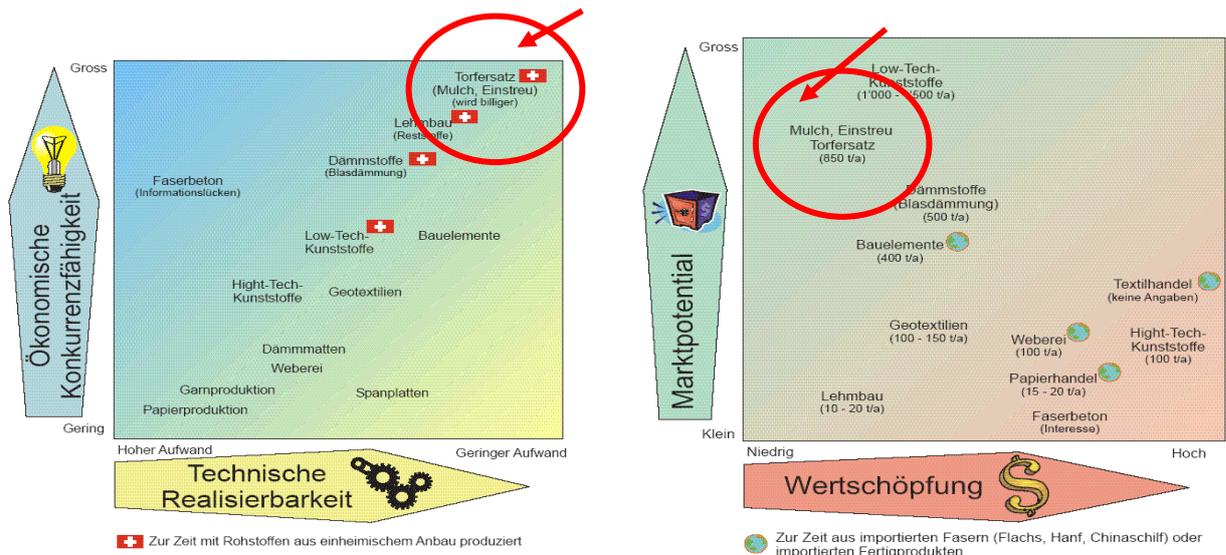


Abbildung 8-37: Marktpotential und Ökonomische Konkurrenzfähigkeit von Torfersatzprodukten (aus Meister et al. 1999, modifiziert)

9 Erosionsschutz- und Begrünungsmedien aus Grasfasern für den Landschaftsbau

In die Arbeiten zu diesem Themenbereich waren Herr Derhaschnig und DI Fürnsinn (Fa. Hydrogreen) sowie Ing. Retschek (Fa. Aquasol) vor allem in der Anlage der Feldversuche tätig. Die Planung und Erstellung des Begleitmonitorings der Feldversuche erfolgte in Kooperation mit Prof. Dr. Florin Florineth am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur Wien. Die Auswertung und Ergebnisdarstellung wurde federführend von DI Doris Astleitner und DI Michael Mandl durchgeführt.

9.1 Einleitung

Ziel dieses Projektmoduls war es, im Labor- und Pilotmaßstab Untersuchungen hinsichtlich der Eignung der in einer Grünen Bioraffinerie anfallenden Faserfraktion als Rohstoffkomponente für Begrünungs- und Erosionsschutzprodukte im Landschaftsbau durchzuführen. Die Durchführung von Begrünungsversuchen erfolgte im Pilotmaßstab, wobei zwei verschiedene Begrünungstechniken zum Einsatz kamen:

- Anspritzbegrünung (Hydrosaat): Bei dieser Begrünungstechnik werden Samen, Dünger und Strukturmaterial (Fasern) mit Wasser zu einer Suspension vermengt und durch eine spezielle Aufspritstechnik großflächig auf die zu begrünenden Hänge aufgebracht.
- Begrünungsmatten: Bei dieser Begrünungstechnik werden entweder Naturfasern (z.B. Heu, Stroh, Kokos, Jute) oder Kunststofffasern zu Matten und Gittern verarbeitet (Vlieslegeverfahren) und je nach Anwendungsfall auch mit einer Füllung versehen.

Bei den Begrünungsversuchen wurde die in einer GRÜNEN BIORAFFINERIE anfallende Faserfraktion im Fall der Begrünungstechnik „Anspritzbegrünung (Hydrosaat)“ als Strukturmaterial und im Fall der Begrünungstechnik „Begrünungsmatten“ als eingebautes Mulchmaterial verwendet. Die Arbeiten im Modul 5 wurden in folgende Teilarbeitsschritte gegliedert:

- AP 5.1 *Bereitstellen geeigneter Ausgangsmaterialien*
- AP 5.2 *Planung und Anlegen der Begrünungsversuchsflächen*
- AP 5.3 *Versuchsmonitoring und Auswertung.*

Im Modul 5 waren zwei Firmenpartner aktiv eingebunden, die seit vielen Jahren im Segment der Begrünung bzw. im Erosionsschutz von Böschungen tätig sind. Die Fa. Hydrogreen führt eine Reihe von Maßnahmen zur Begrünung und Stabilisierung von Böschungen in der Praxis durch und bietet unter anderem auch die Begrünung mittels Anspritzverfahren an. Die Fa. Aquasol handelt mit einer Palette von Produkten für den Landschaftsbau (zur Begrünung, Handsicherung und Erosionsschutz etc.). Die beiden Partner aus der Wirtschaft

übernahmen eine besonders wichtige Rolle im Projekt, da die Versuchsflächen mittels deren Eigenleistungen hergestellt und bearbeitet wurden.

9.2 Ausgangsmaterialien, Anforderungsprofil und Umfeldanalyse

In Vorgesprächen wurden die Anforderungen an die Grasfasern vor allem betreffend der Feinheit des anzuwendenden Materials abgestimmt. Gemeinsam mit den Wirtschaftsbetrieben wurde eine Anforderungsliste an die Grasfaser erstellt und hinsichtlich der Wertigkeit gereiht. Grundsätzlich waren die Kriterien 1-6 alle zu erfüllen („K.O.-Kriterien“). Der Preis einer Faserfraktion hat jedoch oberste Priorität.

Anforderungen an die Faserbeimischung für die Anspritzbegrünung

1. PREIS der Faserbeimischung; starker Kostendruck im Segment;
2. Feinheit: kurzfasrig, muss düsengängig sein;
3. Verrottbarkeit
4. Verpackung: wetterbeständig, da im Freien auf der Baustelle zwischengelagert; leicht manipulierbar, am besten in Säcken eingeschweißt max. 20 kg Gewicht; schnelles Füllen des Tanks soll möglich sein;
5. Logistikkette optimieren: Lieferung erfolgt in der Regel direkt an das Baufeld; kann Transportvolumen reduziert werden (z.B. höhere Dichte erreichen);
6. Verfügbarkeit: jederzeit abrufbar vor allem in der Vegetationsperiode in großen Mengen;
7. Grundsätzlich lagerfähig, da bei Arbeiten oft Terminänderungen vorkommen; (nasse Fraktion scheint nicht wirklich eine Option);
8. Ist ein Zusatznutzen für Gras argumentierbar, der eine höhere Preisgestaltung rechtfertigt?

Etwas an der Faser anhaftende Verunreinigungen oder noch eluierbare Nährstoffe wurden als vernachlässigbare Faktoren beurteilt. Eine Wäsche des Presskuchens war nicht erforderlich.

Umfeldanalyse Anspritzbegrünung

Für die Anspritzbegrünung wurden folgende Fasern oder Hilfsstoffe verwendet:

- Stroh oder Heu; klein gehäckselt,
- Reject-Ströme aus den Bereichen Zellstoff und Papier,
- speziell aufbereitete und ausgestattete Faserfraktionen (z.B. Produkt „Zellugrün“®) meist auf Basis Zellulose.

Anforderung an Füllmaterial einer Begrünungsmatte

1. Preis des Rohmaterials,
2. Langfasrigkeit erwünscht,

-
3. Eher keine feinen Beimischungen (Staubanteil), weil dadurch der Produktionsprozess erschwert wird,
 4. Geringes Gewichts-Volumen-Verhältnis,
 5. Verrottbar; allerdings nicht unmittelbar! Die Matte sollte mindestens 3 – 6 Monate haltbar sein,
 6. Wasserspeicherung von Niederschlägen,
 7. Eventuell in Vliesen vernadelbar,
 8. Zusatznutzen für Gras argumentierbar, der eine höhere Preisgestaltung rechtfertigt.

Umfeldanalyse Begrünungsmatte

Als Füllmaterial für Begrünungsmatten wurden in der Praxis folgende Fasermaterialien verwendet:

- Stroh oder Heu geschnitten; Schnittlänge 5-10 cm
- Schilf und Miscanthus
- Andere Naturfasern sind nur in Ausnahmen in Verwendung da zu teuer.

Anhand einer Auswahl von Grasfaser Handmustern wurden für die geplanten Anwendungen zwei Grasfaserfraktionen ausgewählt, welche in Folge Faser 1 und 2 genannt werden.



Abbildung 9-1: Faserfraktionen der Anspritzbegrünung, links Faser 2 (fein) rechts Faser 1 (grob)

Tabelle 9-1: Beschreibung der verwendeten Grasfaser für die Begrünungsversuche

Verwendung	Beschreibung	interne Referenz
Anspritzbegrünung Faser 1	Klee gras, Presskuchen 1 und 2, mit nachgeschalteter Zerkleinerung	Fraktion 8
Anspritzbegrünung Faser 2	Klee gras, Presskuchen 2 nach Doppelpressung	Fraktion 6
Fasern Begrünungsmatte	Luzerne-Grasmischung; entspricht hinsichtlich Feinheit der Faser 1	Fraktion 1

Für den Anwendungsbereich Anspritzbegrünung wurde ein grundlegender Versuch durchgeführt, um die „Düsengängigkeit“ der Faserfraktion zu testen. Dieser Test hat gezeigt, dass Grasfasern für die Anwendung des Anspritzverfahrens verwendet werden können, vor allem dann, wenn Düsen mit größeren Öffnungen verwendet werden.

Für die Begrünungsmatten wäre grundsätzlich eine gröbere Faserfraktion erwünscht gewesen. Allerdings erfolgten beim Abpressen von Gras auch eine mechanische Zerkleinerung und ein teilweises Auffasern des Rohstoffs. Dies ist grundsätzlich erwünscht, um die Ausbeute an löslichen Stoffen in die Saftfraktion zu optimieren. Es wurde daher eine möglichst grobe Fraktion gewählt.

Die Bereitstellung der erforderlichen Ausgangsmaterialien für die geplanten Begrünungsversuche konnte zur Gänze aus Lagerbeständen erfolgen, welche durch bereits abgeschlossene Projekte aufgebaut wurden.

9.2.1 Herstellung der Begrünungsmatten

Die Herstellung der Begrünungsmatten mit Grasfaserfüllung wurde durch den Partner Fa. Aquasol organisiert und durchgeführt. Der Produktionsprozess der Matten ist in der *Abbildung 9-2* dargestellt.

Zu Beginn wird der Grasfaserballen geöffnet. Mittels Steigband und einer Karde wurden die Fasern dann möglichst homogen auf einem Gittergewebe zu einem Vlies gelegt (a). Danach wurde das Vlies durch eine zweite Gewebelage abgedeckt (b) und in regelmäßigen Abständen zu Kammern abgestept (c). Es wurde ein Endlosvlies mit der Arbeitsbreite von 2,40 m hergestellt, welches für den Transport aufgerollt wurde (d).

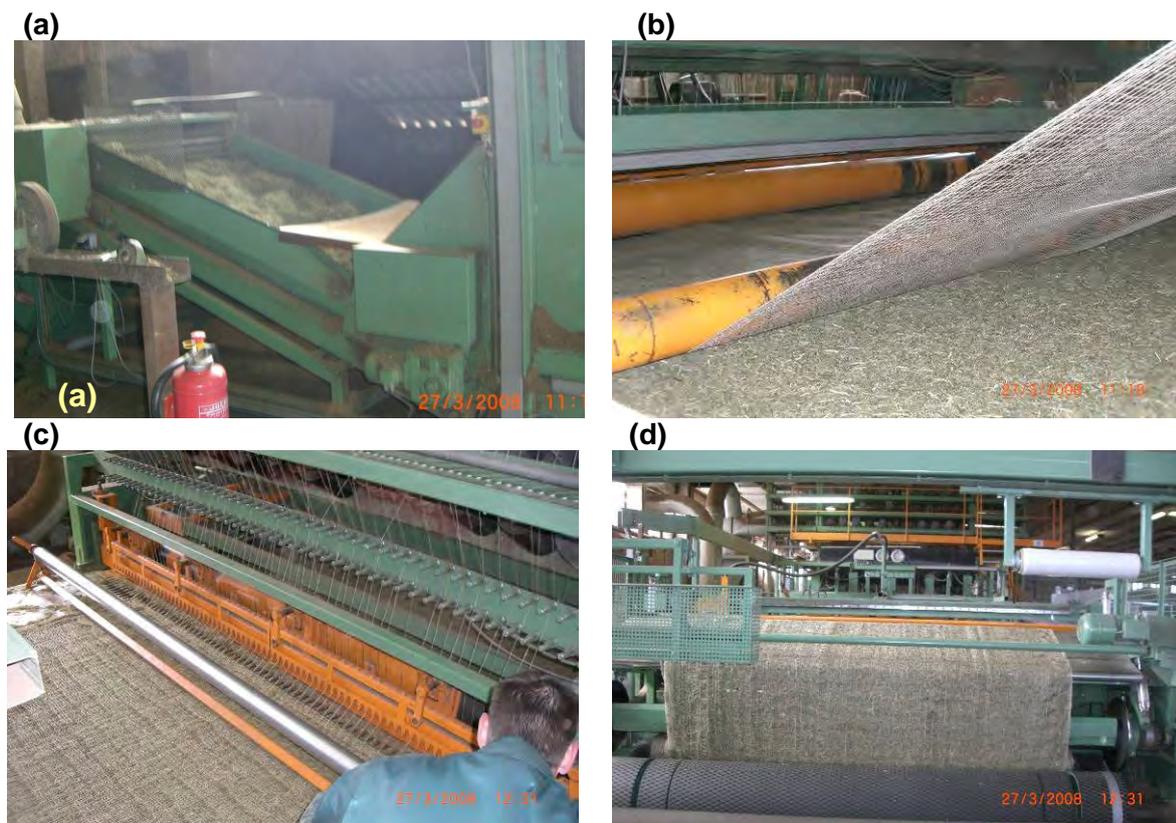


Abbildung 9-2: Herstellung der Grasfaserbegrünungsmatte (Fotos Aquasol)

Für die geplanten Versuche wurde eine Begrünungsmatte mit doppelseitigem Jutegewebe und einer Fasereinlage von ca. 150 g/m² hergestellt.

Nachdem die ersten Anlaufschwierigkeiten beseitigt waren, wurden ca. 250 Laufmeter des Vlieses hergestellt. Im Produktionsprozess war der relativ hohe Anteil an feinen Faserteilen/Staub unangenehm.

9.2.2 Planung und Ausführung der Begrünungsversuche

Gemeinsam mit der Fa. Hydrogreen und dem Institut für Ingenieurbiologie wurde ein Straßenbaulos ausgewählt, welches über geeignete Böschungflächen verfügte. Wesentlich für die Auswahl waren:

- archetypische Situation: eine für den Straßenbau übliche Hangneigung von ca. 1 : 1, keine zu flachen Hänge;
- ausreichende Größe: eine Fläche sollte mindestens 300 m² haben;
- möglichst homogene Bodenverhältnisse, gleichmäßige Hangausrichtung bzw. -länge der gesamten Versuchsfläche;
- Ausschluss von etwaigen verzerrenden Faktoren, z.B. kein punktueller Eintrag etwaiger nährstoffreicher Oberflächenwässer von landwirtschaftlich genutzten Randgebieten; keine Wasseraustritte (Hangwässer oder Quellen);

- Begrünung des Rohbodens (kein Humusauftrag vom Bauherrn erwünscht);
- im Umkreis von ca. 60 km von Wien;
- andere Synergie; die Fa. Hydrogreen sollte bereits an diesem Bauprojekt tätig sein, um eine teure Einrichtung der Baustelle auszuschließen.

9.2.3 Lage des Aufnahmegebietes

Es wurde eine geeignete Fläche an der S1-Verlängerung im Gemeindegebiet von Seyring in Niederösterreich identifiziert. Zwei der Versuchsflächen (B1 und B2) befinden sich ca. 500 m südlich des geplanten Anschlussknoten Seyring, B3 lag ca. 300 m nördlich der Anschlussstelle.

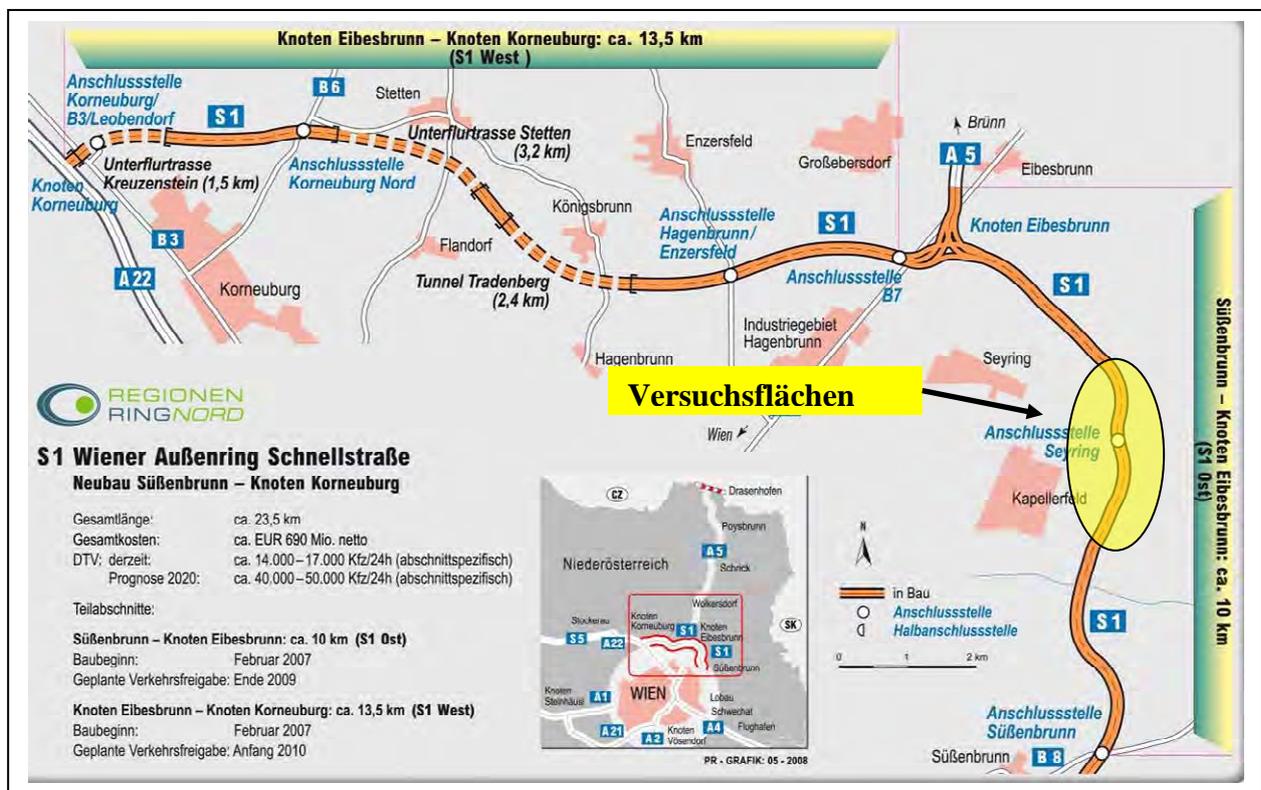


Abbildung 9-3: Lage des Untersuchungsgebietes im Gemeindegebiet Seyring in NÖ

Quelle (http://www.ghipark.at/Bilder/s1_wiener_aussenring_schnellstrasse.JPG, Stand 13.09.2008)

9.2.4 Versuchsdesign

Es sollte der Einsatz von Grasfasern für die Anwendung Böschungsbegrünung für zwei verschiedene Methoden (Anspritzbegrünung und Matte) untersucht werden. Für Vergleichszwecke wurde das handelsübliche Faserprodukt „Zellgrün“[®], welches bei Anspritzbegrünungen zum Einsatz kommt, bzw. eine reine Nullvariante (keine Faserbeimischung) in den Untersuchungsrahmen eingebaut. Die Festlegung der Menge der

beigemischten Faser orientierte sich an die in der Praxis üblichen Beimischungsraten. Folgende Untersuchungsvarianten wurden festgelegt:

Tabelle 9-2: Überblick der Untersuchungsvarianten

Nr.	Fasermaterial	Fasermenge	Verfahren	Code
1	KEINE Nullvariante	0	Anspritzbegrünung ohne Fasern	Weiß
2	Grasfaser 1 (grob)	80 g/m ²	Anspritzbegrünung	Blau
3	Grasfaser 2 (fein)	80 g/m ²	Anspritzbegrünung	Rot
4	„Zellugrün“®	80 g/m ²	Anspritzbegrünung	Gelb
5	Begrünungsmatte	150 g/m ²	Matte plus Anspritzbegrünung ohne Fasern	Grün
6	Grasfaser 2 (fein)	120 g/m ²	Anspritzbegrünung	

Den einzelnen Varianten wurden Farben als Codes zugeordnet, um die Dokumentation zu erleichtern. Für die Varianten Weiß, Blau, Rot, Gelb und Grün wurden in Summe je drei Versuchspartellen (zwei Wiederholungen) geplant und errichtet. Die Variante Schwarz wurde relativ spontan beim Anspritzen als Zusatzfläche errichtet, da es sinnvoll erschien, auch eine höhere Faserbeigabe zu testen. Zur Variante Schwarz gab es allerdings keine Wiederholungen.

9.2.4.1 Geometrie der Versuchsflächen

Der gesamte Versuch bestand aus jeweils drei Versuchsbereichen (B1, B2, B3), die in je fünf Versuchsflächen für die jeweiligen Begrünungen unterteilt wurden. Die einzelnen Versuchsflächen waren ca. 70 m lang, die durchschnittliche Hanglänge betrug ca. 5 m. Damit eine genaue Ansprache der Flächen möglich wurde, wurden die Grenzen genau mit Pflöcken markiert. Ein Übersichtsplan dazu ist die *Abbildung 9-4*.

Abmessungen der Flächen:

Bereiche (3-mal):	350 m x 5 m
Detailversuchsflächen (16-mal):	70 m x 5 m, bzw. 1 Fläche (B1 grün) 60 m x 5 m
Zusatzfläche Nr. 16	70 m x 5 m

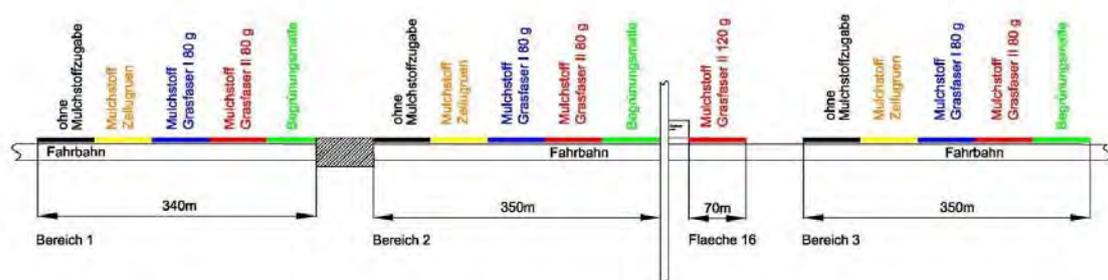


Abbildung 9-4: Übersichtsplan der Versuchsflächen in Seyring NÖ

9.2.5 Erhobenen Parameter und angewandte Methodik

Grundsätzlich ging es darum, die Vegetationsentwicklung an den angelegten Versuchsflächen sowohl qualitativ als auch quantitativ zu erfassen. In der Praxis werden anstatt der qualitativen Bestimmung der Vegetationsentwicklung oft Schätzverfahren verwendet, welche bei diesem Projekt bewusst nicht eingesetzt wurden. Folgend werden die an den Versuchsflächen erhobenen Parameter, sowie die dafür angewandte Methodik, kurz dargestellt.

9.2.5.1 Frequenzrahmen

Der Frequenzrahmen besteht aus einem Metallrahmen in der Größe 1 x 1 m. In einem Abstand von 10 cm sind Schnüre gespannt, sodass Felder in der Größe von 10 x 10 cm entstehen.

Der Frequenzrahmen wurde für die Untersuchung der Parameter Deckung durch Abloten, Bestimmung der Frequenz der vorkommenden Arten und der Anzahl der Blühtriebe benötigt. Der Frequenzrahmen wurde an die für jede Aufnahmewiederholung gleich bleibenden Fixpunkte angelegt, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

9.2.5.2 Phänologische Fotoreihe

Um den Anwuchserfolg primär während des Zeitraumes zwischen der Ansaat am 6. Mai 2008 und der ersten Vegetationsaufnahme am 30. Juni 2008 dokumentarisch nachvollziehbar zu machen, wurden die einzelnen Versuchsflächen in regelmäßigen zeitlichen Abständen fotografiert. So konnte ein Gesamtüberblick über den Anwuchserfolg geschaffen werden.

9.2.5.3 Keimfähigkeit und Artenprüfung des eingesetzten Saatgutes

Um einen Anwuchserfolg oder -misserfolg tatsächlich über die verschiedenen Mulchmaterialien vergleichbar zu machen, war es im Vorfeld vonnöten, über die Keimfähigkeit des Saatgutes Bescheid zu wissen. Im Allgemeinen wird die Keimfähigkeit nach *Bures 1991* als Prozentsatz jener reinen Samen angegeben, die fähig sind, innerhalb von etwa drei Wochen normale Keimpflanzen hervorzubringen. Diese Keimfähigkeitsüberprüfung wurde gemäß ISTA-Vorschriften durchgeführt. Dabei wurden von allen neun verschiedenen Arten aus der Saatgutprobe (zur Verfügung gestellt von der Firma Hydrogreen) der relevanten Saatgutmischung 400 reine Samen auf Filterpapier am Jakobsen-Keimapparat eingekieimt und je nach Art ausgezählt.

Bei der im Vorfeld durchgeführten Artenprüfung des Saatgutes konnten alle in der Saatgutliste aufgeführten Arten in der Stichprobe vorgefunden werden.

9.2.5.4 Vitalität

Die Vitalität ist die genetisch und von Umwelterscheinungen beeinflusste Lebenskraft (Lebensfähigkeit) eines Organismus oder einer Population. Sie äußert sich in Anpassungsfähigkeit an die Umwelt, Widerstandskraft gegen Krankheiten, körperlicher und geistiger Leistungsfähigkeit, sowie Fortpflanzungsfähigkeit.

Das Wissen über die Vitalität der Pflanzen am Versuchsstandort war für eine Einschätzung der weiteren Entwicklung des Pflanzenbestandes und das Rückschließen auf seine Lebensbedingungen maßgeblich.

9.2.5.5 Frequenz der eingesäten Arten / eingewanderten Arten

Die Frequenzanalyse ist eine Methode zur Bestimmung der Artenmächtigkeit. „Frequenz“ ist das Vorkommen von Individuen, nicht zu verwechseln mit der Anzahl, einer Art auf einer definierten Fläche.

Die Methode der Frequenzbestimmung geht ähnlich vonstatten wie das Ablotverfahren. Nur sind in diesem Falle die 100 Teilflächen (je 1 dm²) innerhalb des Aluminiumrahmens zu kontrollieren. In der Regel wird in einer Tabelle notiert, ob eine Pflanzenart in den Teilflächen vorkommt. Wird in 95 Flächen zum Beispiel der Rotschwengel beobachtet, hat diese Art eine Frequenz von 95 %.

9.2.5.6 Abundanz der eingewanderten Arten

Die Abundanz gibt die Anzahl der eingewanderten Arten (visuelle Einschätzung) bezogen auf eine Versuchsfläche (70 m x 5 m) an. Diese wurde nach Braun Blanquet ermittelt:

1: selten 2: spärlich 3: reichlich 4: zahlreich

9.2.5.7 Gräser- und Kräuterverhältnis

Anhand der Ergebnisse der Frequenz der einzelnen Arten konnte auf das Gräser- und Kräuterverhältnis rechnerisch rückgeschlossen werden.

9.2.5.8 Deckungsgrad

Werden alle lebenden, oberirdischen Pflanzenteile senkrecht von oben auf die Grundfläche projiziert, so ergibt dies den Deckungsgrad. Dieser ist in Prozent angegeben, relativ leicht erfassbar und gibt Auskunft über die Vegetationsentwicklung der Versuchsflächen (Wüchsigkeit, Konkurrenzkraft und Bestand bildende Bedeutung).

Mit Hilfe des Ablotverfahrens werden auf der Fläche des Frequenzrahmens (1 m²) 100 Stichproben, das heißt alle 10 cm nach der Einteilung des Frequenzrahmens, durchgeführt. Daraus kann eine statistische Aussage über den Deckungsgrad gemacht werden. Die Vorgangsweise war im hier vorliegenden Projekt folgende: In jeder der 100 Detailflächen des Frequenzrahmens wurde mittels eines Nagels (Länge: 150 mm) in der linken unteren Ecke senkrecht abgelotet. Je nachdem, was der Nagel als erstes berührt, kommt es zu einem Pflanzen- (= Deckung) oder Bodenkontakt (= keine Deckung). Die Auswertung aller 100 Ablotungen ergibt dann die Deckung in Prozent.

9.2.5.9 Anzahl der Blühtriebe

Die Blühtriebserhebung dient der Schaffung eines Überblicks über die Möglichkeit von generativer Vermehrung angesäeter und zugewanderter Arten. Die absolute Anzahl der Blühtriebe wurde in der vom Frequenzrahmen eingeschlossene Fläche (1 m²) bestimmt.

9.2.5.10 *Mittlere Blatthöhe*

Die mittlere Blatthöhe gibt Aufschluss über die Wuchskraft der Vegetation. Um die mittlere Blatthöhe zu bestimmen, wird an fünf zufällig gewählten Stellen innerhalb des Frequenzrahmens die Höhe der Pflanzen gemessen und daraus ein Mittelwert gebildet.

9.3 Anlage der Versuchsf Flächen

9.3.1 Einleitung zur Ansaatmethode Anspritzverfahren

Steilere Böschungen mit glatter Oberfläche und mildem Klima, wie im Falle der hier beschriebenen Versuchsf lächen am Lärmschutzdamm, werden durch die Hydrosaat begrünt. Mulchsaaten sind mit verschiedenen organischen Materialien abgedeckte und geschützte Ansaaten. Bei der Hydrosaat werden Samen, Dünger, Mulchstoffe und Klebemittel mit Wasser in einem speziellen Spritzfass vermischt und auf die zu begrünenden Flächen mit Hilfe des „Hydroseeders“ gespritzt (2 l/m²).

Wichtige Aspekte bei der Aufbringung der Hydrosaat sind die gute Vermischung der Suspension, sowie eine gleichmäßige Verteilung dieser am Hang. Nach der Aufbringung sollte auf der Bodenoberfläche ein homogener Film einer Mischung aus Saatgut und Mulchstoff erkennbar sein. Bei der Hydrosaat kann die Homogenität der Ansaat eigentlich nur über ein erfahrenes Personal und geschickte „Strahlführung“ erreicht werden. Die Herausforderung besteht insbesondere darin, nicht zu große Suspensionsmengen am Hang aufzubringen, damit kein Abrinnen erfolgt. Auch ist die gesamte Fläche möglichst homogen zu bestreichen. Die Aufbringungsrate (Samen, Dünger, Kleber und Faser) wird im Wesentlichen durch die Aufbringungsgeschwindigkeit in Bezug zum Düsendurchfluss gesteuert. Für unterschiedliche Hanglängen kommen ebenso verschiedene Arten an Düsen zum Einsatz (z.B. Weitwurfdüse, Breitstrahldüse). Zusätzlich ist die Düse nicht statisch sondern meist auf entsprechende Fahrzeuge (LKW) montiert, damit auch größere Suspensionsmengen in einem Arbeitsgang aufgebracht werden können. Jedenfalls ist die Anlage einer möglichst homogenen Versuchsf läche auch für erfahrenes Personal eine Herausforderung. Im gegenständlichen Fall konnte auf Spezialisten der Fa. Hydrogreen zurückgegriffen werden.

9.3.2 Verwendete Zuschlagstoffe der Anspritzbegrünung

Auf die beigemengten Grasfaserfraktionen wird in diesem Zusammenhang nicht weiter eingegangen. Jedoch werden die verwendeten Zuschlagstoffe kurz beschrieben:

1. Samenmischung
2. Dünger
3. Klebemittel
4. Faserprodukt „Zellugrün“®

9.3.2.1 Verwendete Saatgutmischung

Die Zusammensetzung der verwendeten Saatgutmischung zeigt folgende Liste:

Tabelle 9-3: Arten und Zusammensetzung der Saatgutmischung

Saatgutbestandteil	Gewichtsanteil (%)	1000 – Korngewicht [g]	Anzahl der Samen/kg Saatgutmischung (n)
Engl. Raygras <i>Lolium perenne</i> „Nui“	20	2,0	100 000
Engl. Raygras <i>Lolium perenne</i> „Tove“	10	2,0	50 000
Ital. Raygras <i>Lolium multiflorum</i> „Tetraflorum“	10	2,0	50 000
Rotschwengel <i>Festuca rubra</i> „Roland“	10	1,2	83 333
Rotschwengel <i>Festuca rubra</i> „Calliope“	5	1,2	41 666
Schafschwengel <i>Festuca ovina</i> „Bornito“	10	0,9	111 111
Wiesenschwengel <i>Festuca pratensis</i> „Fiola“	10	2,0	50 000
Knäulgras <i>Dactylis glomerata</i> „Amba“	10	1,1	90 909
Weissklee <i>Trifolium repens</i> „Huia“	6	0,6	100 000
Hornklee <i>Lotus corniculatus</i> „San Gabriel“	3	1,0	25 000
Espalette <i>Onobrychis viciifolia</i> (mit Hülse)	6	20	30 000

Das Gräser- und Kräuter Verhältnis in der Saatgutmischung verhält sich 85 % Gräser zu 15 % Kräuter. Die verwendete Saatgutmischung wurde von der Fa. Hydrogreen beige stellt. Aus der ökologischen Perspektive ist der Kräuteranteil von 15 % eher gering. Allerdings sind die Preise der Saatgutmischungen stark abhängig vom Kräuteranteil, weshalb in der Praxis kaum höhere Kräuteranteile zum Einsatz kommen, außer dies ist in der Ausschreibung der Arbeiten verlangt.

9.3.2.2 Dünger: „Rekuform“® 38-N

Dies ist ein Stärkungsmittel auf organisch-mineralischer Basis. „Rekuform“® 38-N ist ein Stickstofflangzeitdünger auf Methylharnstoffbasis mit mikrobiologisch verwertbarem Phosphor für den Einsatz auf Rekultivierungsböden, sowie für den Garten- und Landschaftsbau für den Zeitraum eines Jahres. Das Prinzip des polymeren Langzeitstickstoffs in „Rekuform“® führt im Boden zur pflanzenverfügbaren Stickstoffumsetzung durch Mikroorganismen. Die biologische Umsetzung folgt dabei primär der Bodentemperatur und Bodenfeuchte. Dies stellt eine direkte Beziehung zwischen N-Angebot aus Methylharnstoff und N-Bedarf der Pflanze dar. Ein solches Prinzip macht „Rekuform“® zu einem umweltfreundlichen und allen ökologischen Anforderungen gerecht werdendem Produkt.

Quelle

(<http://www.fluegel-gmbh.de/index/Fluegel/Pflanzenstaerkung/79039,78980?ProduktID=80869&z=6>, Stand 12.09.2008)

9.3.2.3 Klebemittel „Pro Terra 2000 Bodenerosionsschutzmittel“

„Pro Terra 2000“ ist ein Erosionsschutzmittel auf Basis eines natürlichen Protein-Polysaccharid-Komplexes. Es dient zur Fixierung von Flächen in Hanglagen und

gewährleistet eine erosionssichere Bodenhaftung der eingesetzten Begrünungseinheiten. Es bietet bei der Ansaat einen verlässlichen Schutz vor Sand- und Staubverwehungen, sowie vor Bodenerosion. Der in „Pro Terra 2000“ verwendete Grundwirkstoff wird aus natürlichen, nachwachsenden Rohstoffen hergestellt. Seine biologische Abbaubarkeit ermöglicht einen sehr umweltfreundlichen Erosionsschutz. Aufgrund seiner natürlichen Herkunft ist das Produkt nicht nur äußerst pflanzenverträglich, sondern fördert sogar das Wachstum der Jungpflanze.

9.3.2.4 Faserprodukt „Zellugrün“® Versuchsflächenfarbe gelb

Als Zellulose-Mulchstoffbeigabe zur Begrünung der Versuchsflächen mit der Farbe gelb, diente das Produkt „Zellugrün“® der Firma J. Rettenmaier & Söhne GMBH + Co *Fasern aus der Natur*. Zusammengesetzt ist dieses Produkt aus einer Zubereitung aus Rohzellulose mit anorganischen Anteilen.

9.3.3 Durchführung der Anspritzbegrünung

Bei der Anlage der Versuchsflächen wurde eine so genannte Nullmischung als Ansaatmischung verwendet, bestehend aus Saatgut, Dünger und Bodenkleber. Diese Mischung wurde für die gesamte Versuchsdurchführung nicht verändert und bestand aus folgenden Komponenten:

- 20 g/m² Saatgut
- 20 g/m² Vollkorn (mineral. Dünger) Linzer Agro Trade GmbH
- 10 g/m² „Rekuform“® (Langzeitdünger)
- 0,5 g/m² Bodenkleber („Pro Terra 2000“).

Gemäß den einzelnen Varianten wurde zusätzlich Fasermaterial beigemischt. Darüber hinaus wurde diese Ansaatmischung, nachdem die Begrünungsmatten gelegt worden waren, aufgespritzt.

Am 6. Mai 2008 wurde von der Firma Hydrogreen mit dem firmeneigenen „Hydroseeder“ die Anspritzbegrünung durchgeführt. Nach dem Auftanken des „Hydroseeder“ mit Wasser aus einem Fluss wurde die entsprechende Faserbeimengung kontinuierlich eingerührt: Nach einer Mischphase wurden zusätzlich die Komponenten Dünger, Klebstoff und Saatmischung beigemischt. Danach wurde eine Entmischung bzw. Absetzen der einzelnen Komponenten durch den kontinuierlichen Betrieb des Mischrührwerks verhindert. Einzelne Prozessschritte der Anspritzbegrünung sind in *Abbildung 9-5* als Fotoserie dargestellt.



Befüllen mit Wasser



Beimengen der Faserfraktion



Beimengen von Dünger, Kleber und Saatgut



Mischen der Suspension



Anspritzen der Ansaatsuspension



Anspritzen der Ansaatsuspension

Abbildung 9-5: Überblick der Prozessschritte bei der Anspritzbegrünung

Im aktuellen Fall wurde eine Suspensionsmenge von 1500 l auf die drei jeweils gleichen Versuchsfelder (300+350+350 m² ergibt ca.1000 m²) aufgebracht, was einer mittleren Aufbringung von 1,5 l/m² entspricht. Die Beimengung der Fasern erfolgte so, dass die entsprechende Auftragsmenge von 80 g/m² in der geplanten Suspensionsauftragsmenge von 1,5 l/m² enthalten war.

Nach Abschluss der Hydrosaat zeigte sich auf den Hangflächen folgendes Bild.

Anspritzbegrünung
Faser 1, 80 g/m²



Anspritzbegrünung
Faser 2, 80 g/m²



Begrünungsmatte
Faser 1, 150 g/m²

Anspritzbegrünung
Faser 2, 120 g/m²

Abbildung 9-6: Detailaufnahmen der einzelnen Varianten mit Faserbeimengung

9.3.4 Aufbringen der Begrünungsmatten

Die aus Grasfasern hergestellten Begrünungsmatten wurden an die Baustelle geliefert und durch ein 6-köpfiges Team der Firma Hydrogreen an der Böschung verlegt. In diesem Zusammenhang wurden die gerollten Begrünungsmatten an der oberen Böschungskante aufgelegt und von oben nach unten gezogen. Danach wurden die Matten mit Drahtankern an der Böschung „vernagelt“. Bei den Versuchsflächen mit Begrünungsmatten wurden nur ca. 2/3 der Böschungfläche bedeckt, da die produzierte Menge nicht für eine vollständige Bedeckung der Versuchsparzelle ausreichte. Nach Anbringung der Begrünungsmatten wurden diese Flächen ebenso mit der Ansaatmischung (Nullmischung) mittels „Hydroseeder“ präpariert.



Abbildung 9-7: Auflegen und Vernageln der Begrünungsmatten

9.4 Ergebnisse der Begrünungsversuche

9.4.1 Darstellung der Ergebnisse

Folgend sind die einzelnen Ergebnisse und deren Auswertung im Detail dargestellt.

9.4.1.1 Phänologische Fotoreihe

Alle Fotografien, welche für die folgenden Fotoreihen verwendet wurden, sind in der Mitte der jeweiligen Detailfläche gemacht worden

Abbildung 9-8: Phänologische Entwicklungsreihe für den Untersuchungsbereich 1

B1	29.05.2008 B1	03.06.2008 B1	30.06.2008 B1
WEISS Ohne Mulchstoff			
GELB Zellgrün			
BLAU Grasfaser 1			
ROT Grasfaser 2			
Grün Begrünungs- matte			

Abbildung 9-9: Phänologische Entwicklungsreihe für den Untersuchungsbereich 2

B2	29.05.2008 B2	03.06.2008 B2	30.06.2008 B2
WEISS Ohne Mulchstoff			
GELB Zellugrün			
BLAU Grasfaser 1			
ROT Grasfaser 2			
Grün Begrünungs- matte			

Abbildung 9-10: Phänologische Entwicklungsreihe für den Untersuchungsbereich 3

B3	29.05.2008 B3	03.06.2008 B3	30.06.2008 B3
-----------	----------------------	----------------------	----------------------

<p>WEISS Ohne Mulchstoff</p>			
<p>GELB Zellugrün</p>			
<p>BLAU Grasfaser 1</p>			
<p>ROT Grasfaser 2</p>			
<p>Grün Begrünungs- matte</p>			



Abbildung 9-11: Phänologische Entwicklungsreihe für die Zusatzfläche

Tabelle 9-4: Deckungsvergleich der sechs verschiedenen Mulchstoffvarianten nach phänologischen Untersuchungen

Farben (Mulchmaterialien)	Bereich 1 Deckung (30.6.)	Bereich 2 Deckung (30.6)	Bereich 3 Deckung (30.6)	Fläche 16 (30.6)
WEISS ohne Mulchstoff	-	-	-	
GELB „Zellugrün“®	- ~	- ~	~+	
BLAU Grasfaser 1	- ~	~ +	+	
ROT Grasfaser 2	- ~	~ +	- ~	+
GRÜN Begrünungsmatte	-	~ +	~	

Zeichenerklärung:

- schlechte Deckung
- ~ schlechte bis mittlere Deckung
- ~ mittlere Deckung
- ~+ mittlere bis gute Deckung
- + gute Deckung

9.4.1.2 Keimfähigkeit

Bei der Artenprüfung des Saatgutes am 13. Mai 2008 wurden in der Basissaatgutmischung für das vorliegende Projekt "Grüne Bioraffinerie Phase III" alle aufgelisteten Arten vorgefunden. Auch die Keimfähigkeit des verwendeten Saatgutes ergibt ein durchaus positives Ergebnis. Da für zertifizierte landwirtschaftliche Kulturarten inklusive Gräser, Rasensorten und Leguminosen eine Mindestkeimfähigkeit der reinen Samen von 70-90 % gilt und keine der untersuchten Arten unter diesem Wert lag, konnte ein eventueller negativer Anwuchserfolg aus Gründen einer herabgesetzten Keimfähigkeit ausgeschlossen werden.

Tabelle 9-5: Ergebnis der Keimfähigkeitsüberprüfung des verwendeten Saatgutes

Gräser		Kräuter	
Lolium perenne	93 %	Lotus corniculatus	73 %
Lolium multiflorum	94 %	Trifolium repens	92 %
Festuca pratensis	94 %	Onobrychis viciifolia	76 %
Festuca rubra	93 %		
Festuca ovina	87 %		
Dactylis glomerata	82 %		

9.4.1.3 Vitalität

Die Vitalitäten der 16 Detailflächen liegen sehr homogen in der Kategorie „sehr hoch“. Lediglich jene Flächen mit der Farbe Rot und Fläche 16 (Grasfaser 120 g/l) wurden Ende August 2008 nur mit hoher Vitalität bewertet.

Tabelle 9-6: Vitalität im Vergleich der sechs verschiedenen Mulchstoffvarianten (Gesamtbeurteilung jeder Detailfläche)

Farbe	Juli	August
weiß ohne Mulchstoff	0	0
gelb „Zellugrün“®	0	0
blau Grasfaser 1	0	0
rot Grasfaser 2	0	1
grün Begrünungsmatte	0	0
Zusatzfläche 16	0	1

Vitalität nach Roloff:

0: sehr hohe Vitalität 1: hohe Vitalität 2: mittlere Vitalität 3: geringe Vitalität

9.4.1.4 Frequenz der eingesäten Arten in Prozent

Die Durchschnittswerte der Frequenzen der eingesäten Arten im Vergleich der verschiedenen Mulchstoffvarianten ergaben keine nennenswerten Unterschiede. Ein Frequenzanstieg von rund 10 % bei den Gräsern von Anfang Juli bis Ende August war jedoch deutlich zu erkennen. Die Betrachtung der Frequenzen im Vergleich der drei Großbereiche ließ einen nicht unmaßgeblichen Anstieg der Frequenz von Bereich eins zu Bereich drei erkennen. Werden innerhalb eines Bereiches die einzelnen Detailflächen verglichen, war auch hier kaum ein Trend zu erkennen. Einzige Flächen, die im Vergleich etwas aus der Reihe fielen, sind Fläche B2 rot und B3 gelb mit insgesamt höheren Frequenzen.

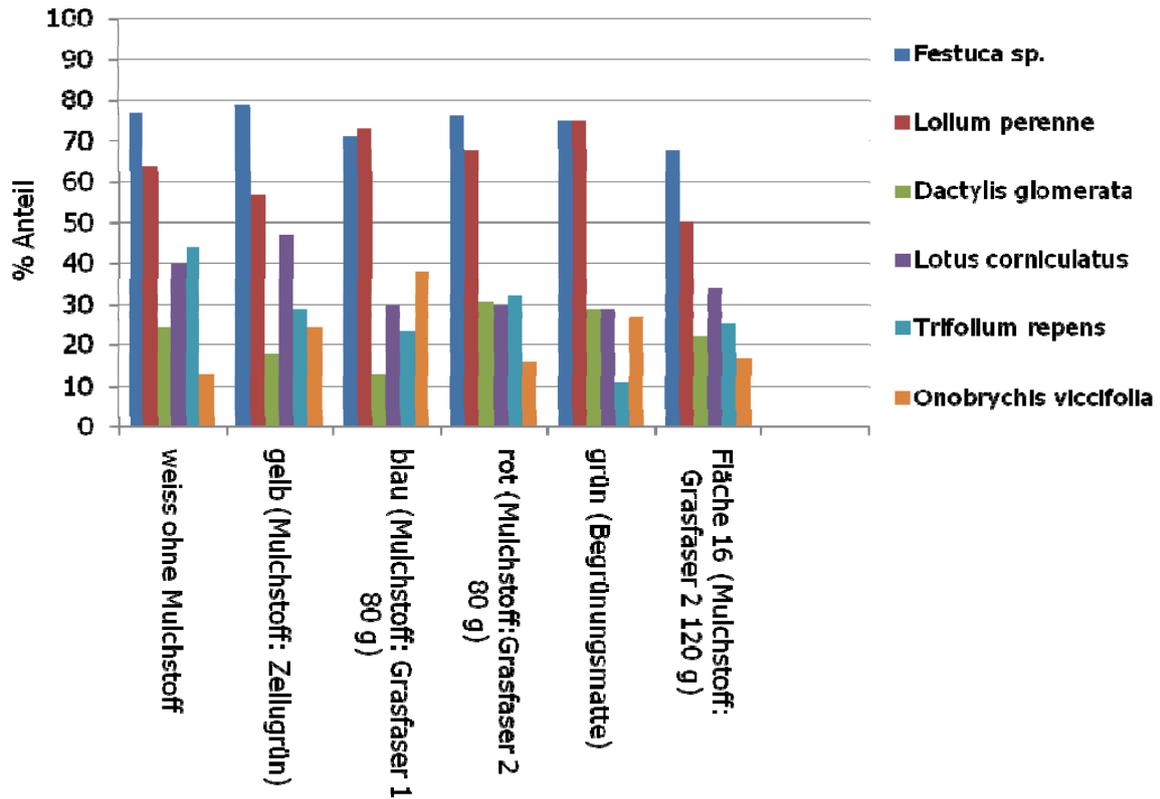


Abbildung 9-12: Frequenz der eingesäten Gräser und Kräuter in Prozent, im Vergleich der sechs verschiedenen Mulchstoffvarianten

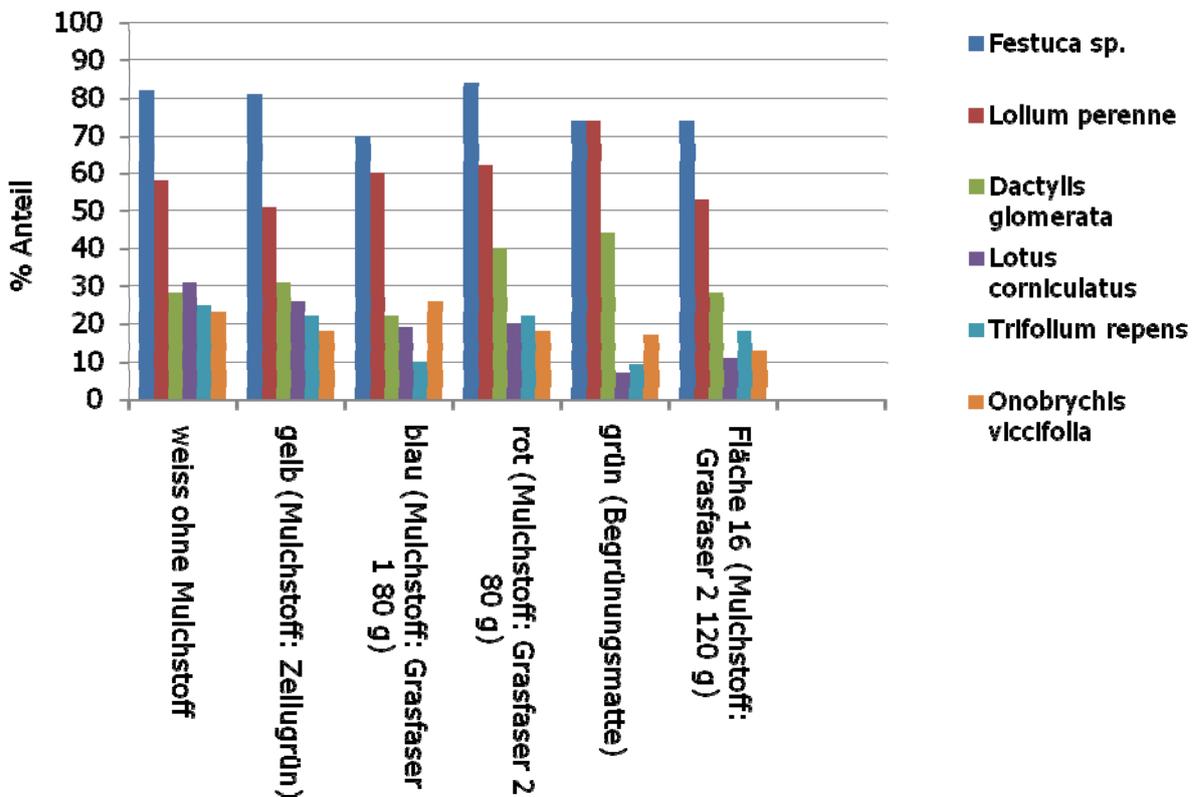


Abbildung 9-13: Frequenz der eingesäten Gräser und Kräuter in Prozent im Vergleich der sechs verschiedenen Mulchstoffvarianten

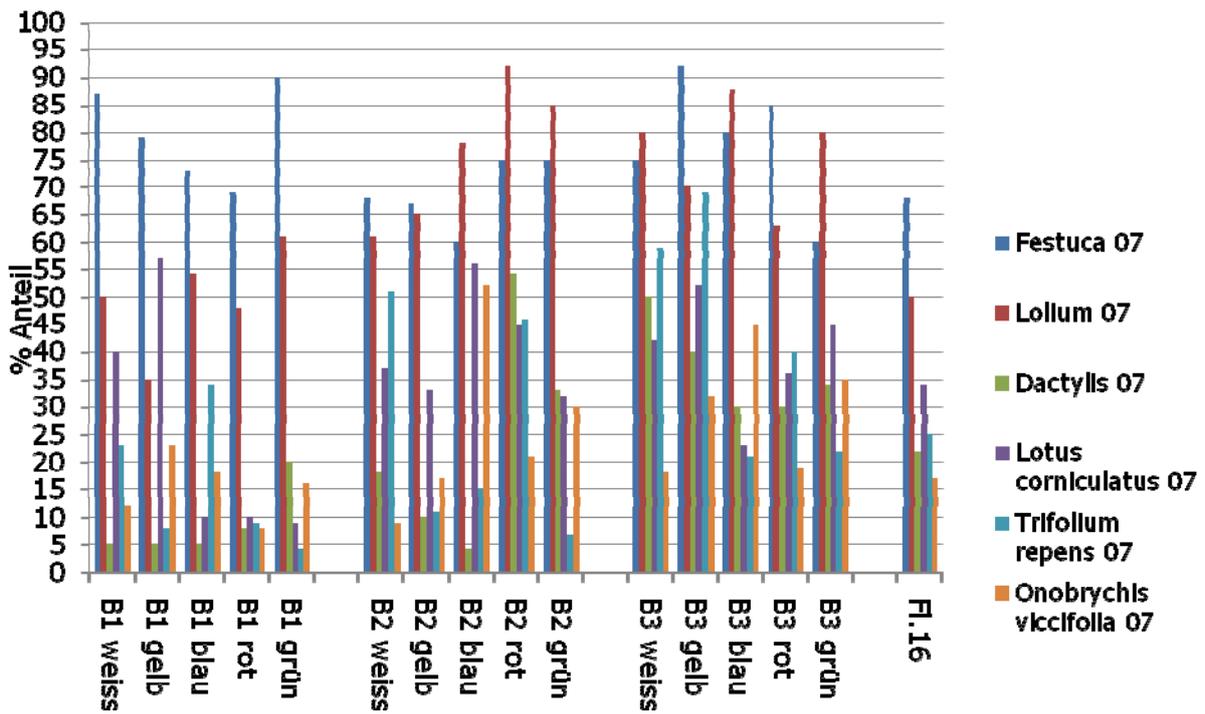


Abbildung 9-14: Frequenz der eingesäten Gräser und Kräuter in Prozent im Vergleich der einzelnen Detailflächen

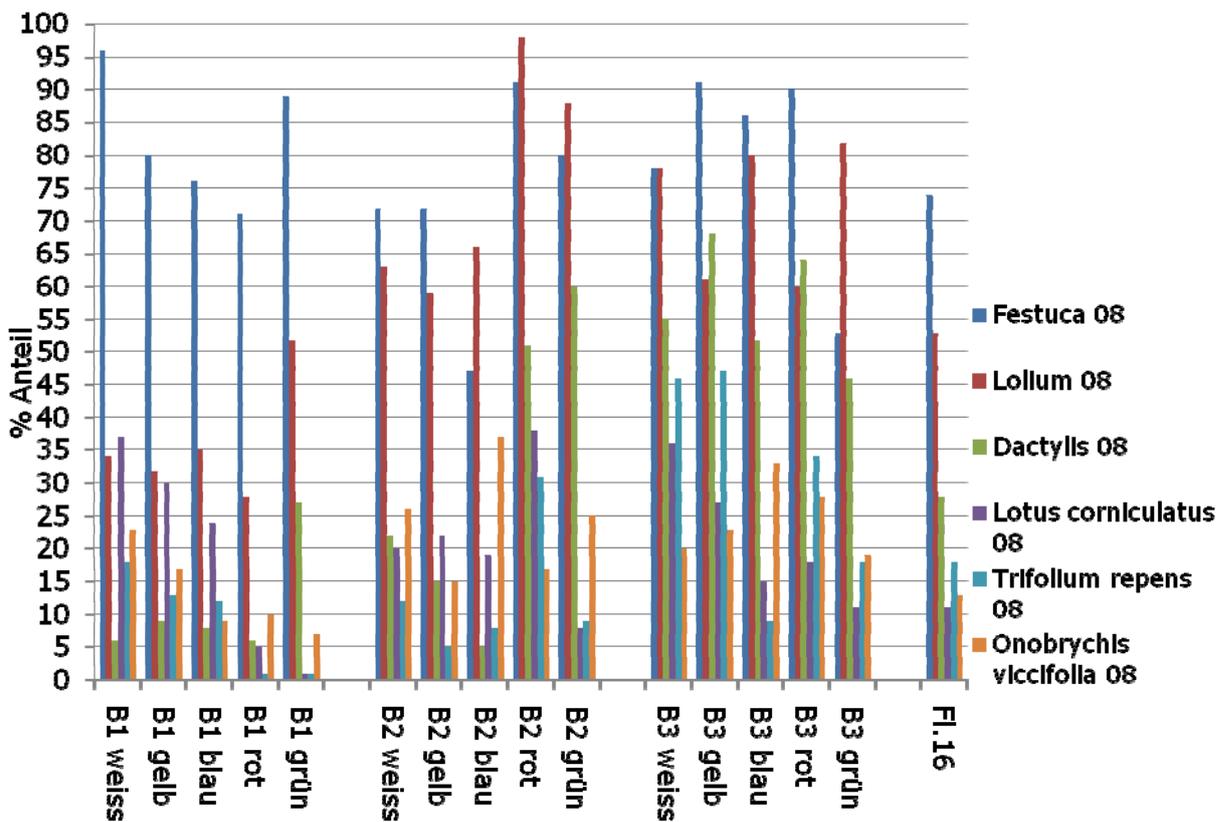


Abbildung 9-15: Frequenz der eingesäten Gräser und Kräuter in Prozent im Vergleich der Detailflächen

9.4.1.5 Frequenz der eingewanderten Arten in Prozent

Die eingewanderten Arten – auch Spontanvegetation genannt – wurden eindeutig von zwei Pflanzenarten dominiert. Es handelte sich dabei um den Weißen Gänsefuß (*Chenopodium album*) und den Vogelknöterich (*Polygonum aviculare* Linné). Mit einer viel kleineren Frequenz kamen Arten wie Kamille, Schwarzer Nachtschatten, Weißer Fuchsschwanz, Windenknöterich oder der Löwenzahn vor. Weißer Gänsefuß und Vogelknöterich sind typische einjährige Erstbesiedler und Pionierpflanzen, die auf freien Flächen, bevor das Saatgut eine ausreichende Deckung aufweisen kann, den Standort bewachen. Da Spontanvegetation zumeist aus einjährigen Pflanzen besteht, könnte durch eine Mahd, falls dies erwünscht ist, vor der Samenreife deren weiteres Ausbreiten eingedämmt werden.

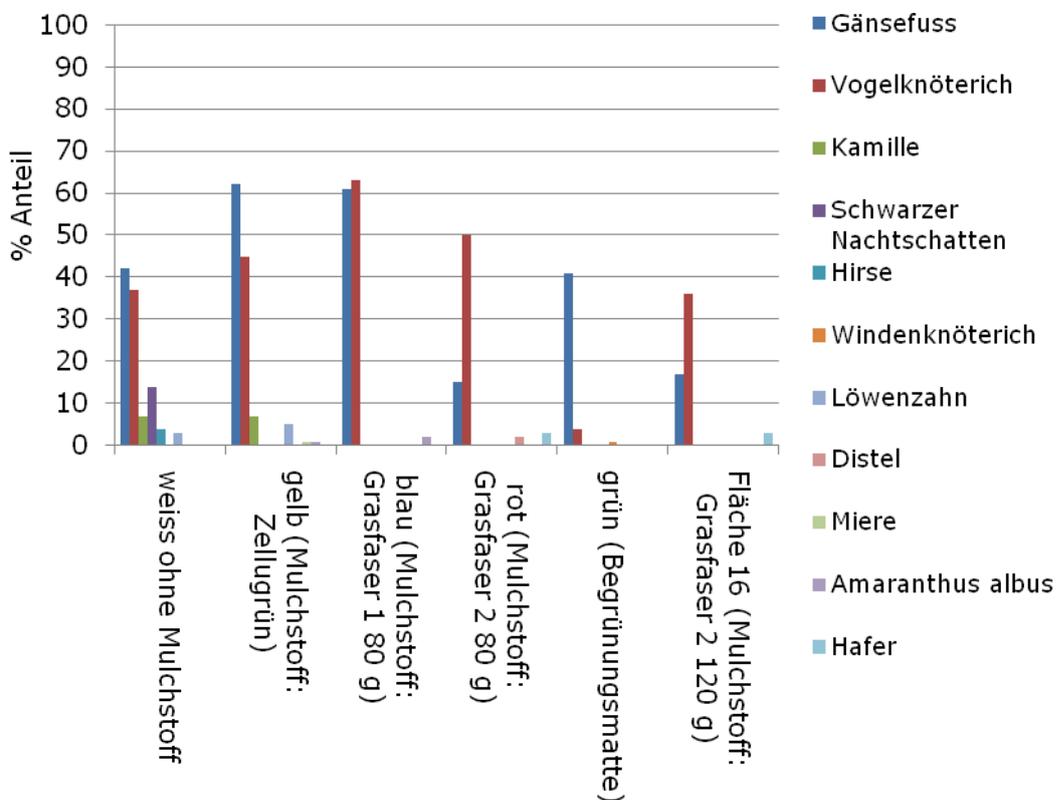


Abbildung 9-16: Frequenz der Fremdarten in Prozent im Vergleich der sechs verschiedenen Mulchstoffvarianten

9.4.1.6 Abundanz der eingewanderten Arten

Art	Monat	Mulchstoffvarianten						Fläche 16 Recyclingfaser 2 120 g
		weiß ohne Mulchstoff	gelb Zellgrün	blau Grasfaser 1 80 g	rot Grasfaser 2 80 g	grün Begrünungsmatte		
Ackerwinde Convolvulus avensis	Jul.08	0	0	0	1	0	0	
	Aug.08	0	0	0	1	0	0	
Krause Distel Caduus crispus	Jul.08	1	1	1	1	1	0	
	Aug.08	2	1	1	1	1	0	
Weißer Gänsefuß Chenopodium album	Jul.08	2	2	2	2	1	3	
	Aug.08	2	2	2	2	1	3	
Gerste Hordeum vulgare	Jul.08	1	1	0	0	0	0	
	Aug.08	0	0	0	0	0	0	
Hafer Avena sativa	Jul.08	0	0	1	1	0	2	
	Aug.08	1	1	0	1	1	1	
Hirse – Art Panicum sp.	Jul.08	0	0	1	0	0	0	
	Aug.08	0	0	0	1	1	0	
Geruchlose Kamille Tripleurospermum perforatum	Jul.08	3	1	1	1	1	1	
	Aug.08	0	0	1	1	0	0	
Kornblume Centaurea cyanus	Jul.08	0	0	0	1	0	1	
	Aug.08	0	0	0	1	0	1	
Lärchensporn Corydalis solida	Jul.08	0	1	0	0	0	0	
	Aug.08	0	0	0	1	0	0	
Nickendes Leimkraut Silene nutans	Jul.08	0	1	1	0	0	0	
	Aug.08	0	0	0	0	0	0	
Vogelmiere Stellaria media	Jul.08	1	1	1	1	1	0	
	Aug.08	0	0	0	0	0	0	
Mohn Papaver dubium	Jul.08	0	1	1	1	1	1	
	Aug.08	0	0	0	0	0	0	
Robinie Robinia pseudoacacia	Jul.08	0	0	0	0	0	0	
	Aug.08	0	0	0	0	0	2	
Sonnenblume Helianthus annuus	Jul.08	0	0	0	0	0	0	
	Aug.08	0	0	0	0	1	0	
Acker-Stiefmütterchen Viola arvensis	Jul.08	0	0	1	1	1	2	
	Aug.08	0	0	0	0	0	0	
Schwarzer Nachtschatten Solanum nigrum	Jul.08	0	0	0	0	0	0	
	Aug.08	0	1	0	0	0	0	
Vogelknöterich Polygonum aviculare LINNÉ	Jul.08	1	2	3	1	1	4	
	Aug.08	3	1	3	1	1	4	
Weißer Fuchsschwanz Amaranthus albus	Jul.08	0	0	0	0	0	0	
	Aug.08	1	1	1	1	1	0	
Zaunwicke Vicia sepium	Jul.08	0	0	0	0	0	1	
	Aug.08	0	0	0	0	0	0	
Windenknöterich Fallopia convolvulus	Jul.08	1	2	2	2	1	2	
	Aug.08	1	1	1	1	1	0	

- 1: selten
2: spärlich
3: reichlich
4: zahlreich

Abbildung 9-17: Abundanz der Fremdarten im Vergleich der sechs Mulchstoffvarianten

Anzahl der Fremdarten je Mulchstoffvariante:

Tabelle 9-7: Anzahl der Fremdarten je Mulchstoffvariante

Mulchstoffvariante	Anzahl der Arten
weiß (ohne Mulchstoff)	9
gelb („Zellugrün“®)	13
blau (Grasfaser 1)	12
rot (Grasfaser 2)	14
grün (Begrünungsmatte)	12
Fläche 16 (Grasfaser 2, 120 g/l)	10

Bei Aufsummierung der Abundanzwerte (1: selten, 2: spärlich, 3: reichlich, 4: zahlreich) weist Fläche 16 (Mulchstoff: Recyclingfaser 2, 120 g/l) eine deutlich höhere Abundanzzahl auf, als der errechnete Durchschnittswert für eine der restlichen 15 Versuchsflächen. Dieses Ergebnis gibt Anlass zur Annahme, dass auf Fläche 16 die Fremdarten einen größeren Anteil am Gesamtbewuchs der einzelnen Detailfläche einnehmen, als auf den anderen 15 Versuchsflächen.

Tabelle 9-8: Summe aller Abundanzen der Fremdarten

Versuchsflächen	Summe der Abundanzen
Fläche 16 (Grasfaser 2, 120 g/l)	27
Durchschnitt aller anderen Versuchsflächen	15

9.4.1.7 Deckungsgrad durch Abloten in Prozent

Bei Betrachtung der Höhe der Deckungsgrade kann ein höherer Prozentsatz der Deckung bei Mulchstoffvariante rot (Grasfaser 2, 80 g/l) und Fläche 16 (Grasfaser 2, 120 g/l) festgestellt werden. Der Deckungsgrad von Fläche 16 erhöhte sich von 72 % Anfang Juli auf 84 % Ende August. Ähnlich hohe Werte konnten nur die Flächen mit der Farbe Rot im Juli mit 68 % Deckung erreichen.

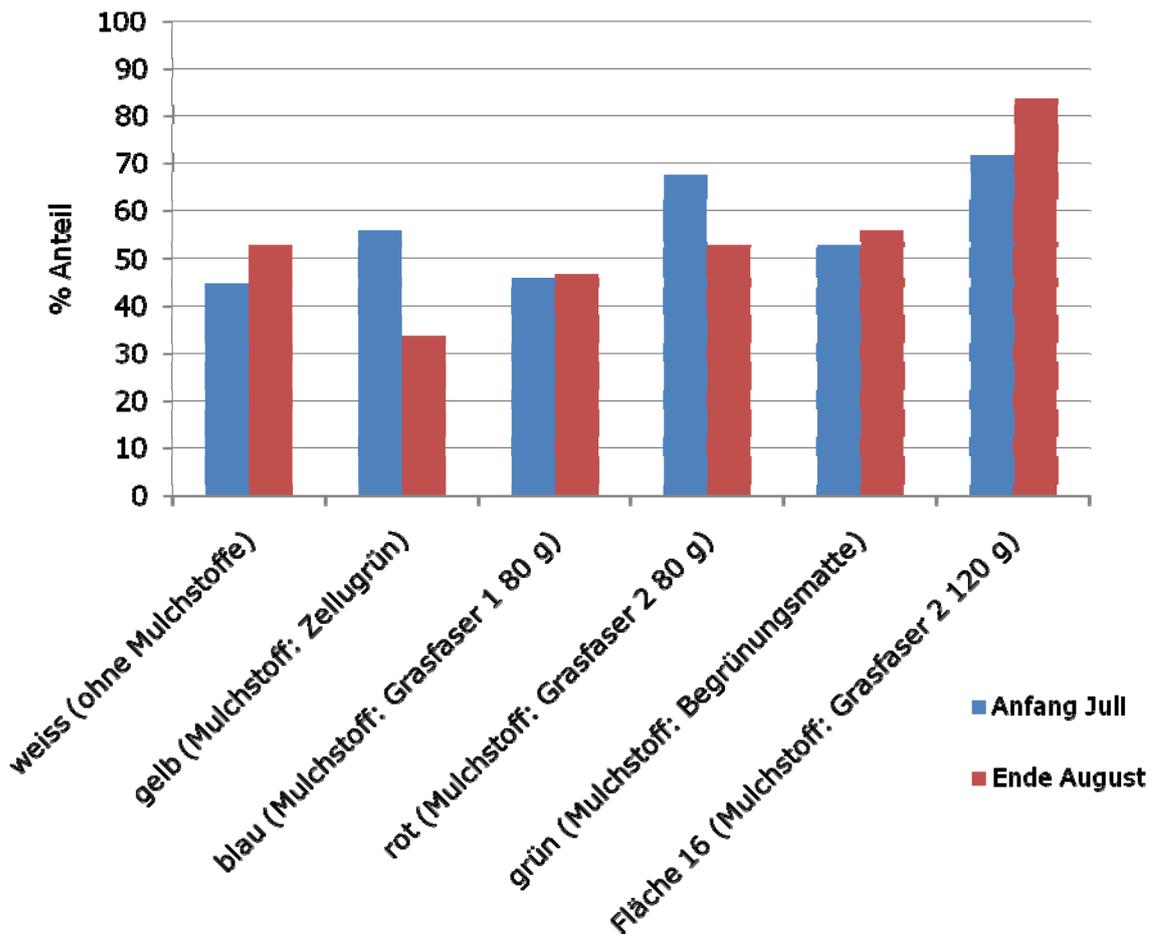


Abbildung 9-18: Deckungsgrad in Prozent im Vergleich der sechs Mulchstoffvarianten, gemittelt über alle Großbereiche

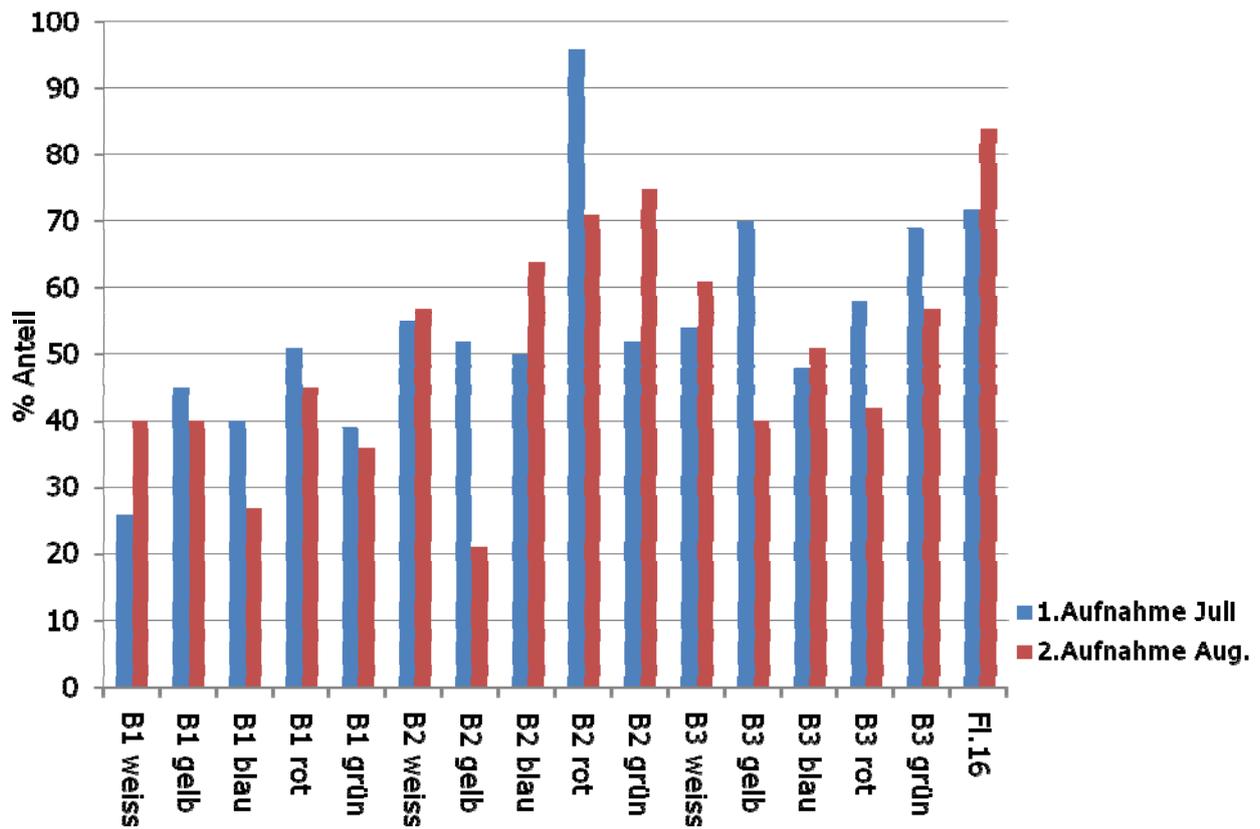


Abbildung 9-19: Deckungsgrad in Prozent im Vergleich aller 16 Detailflächen

9.4.1.8 Gräser- und Kräuterverhältnis in Prozent

Das Gräser- und Kräuterverhältnis in Prozent bezogen auf den gesamten Bereich der Versuchsfelder verhielt sich 66 % Gräser zu 34 % Kräuter. Recht deutlich ist im Vergleich der beiden Vegetationsaufnahmen, dass sich einerseits Ende August der Kräuteranteil verringerte und andererseits der Gräseranteil erhöhte, was auch das Ergebnis der Frequenz bereits zeigt. Der Vergleich des Gräser- und Kräuterverhältnisses der Saatgutmischung (85 % Gräser, 15 % Kräuter) mit dem oben genannten Gräser- und Kräuterverhältnis des Bewuchses (66 % Gräser, 34 % Kräuter) wies ebenfalls eine interessante Tendenz auf.

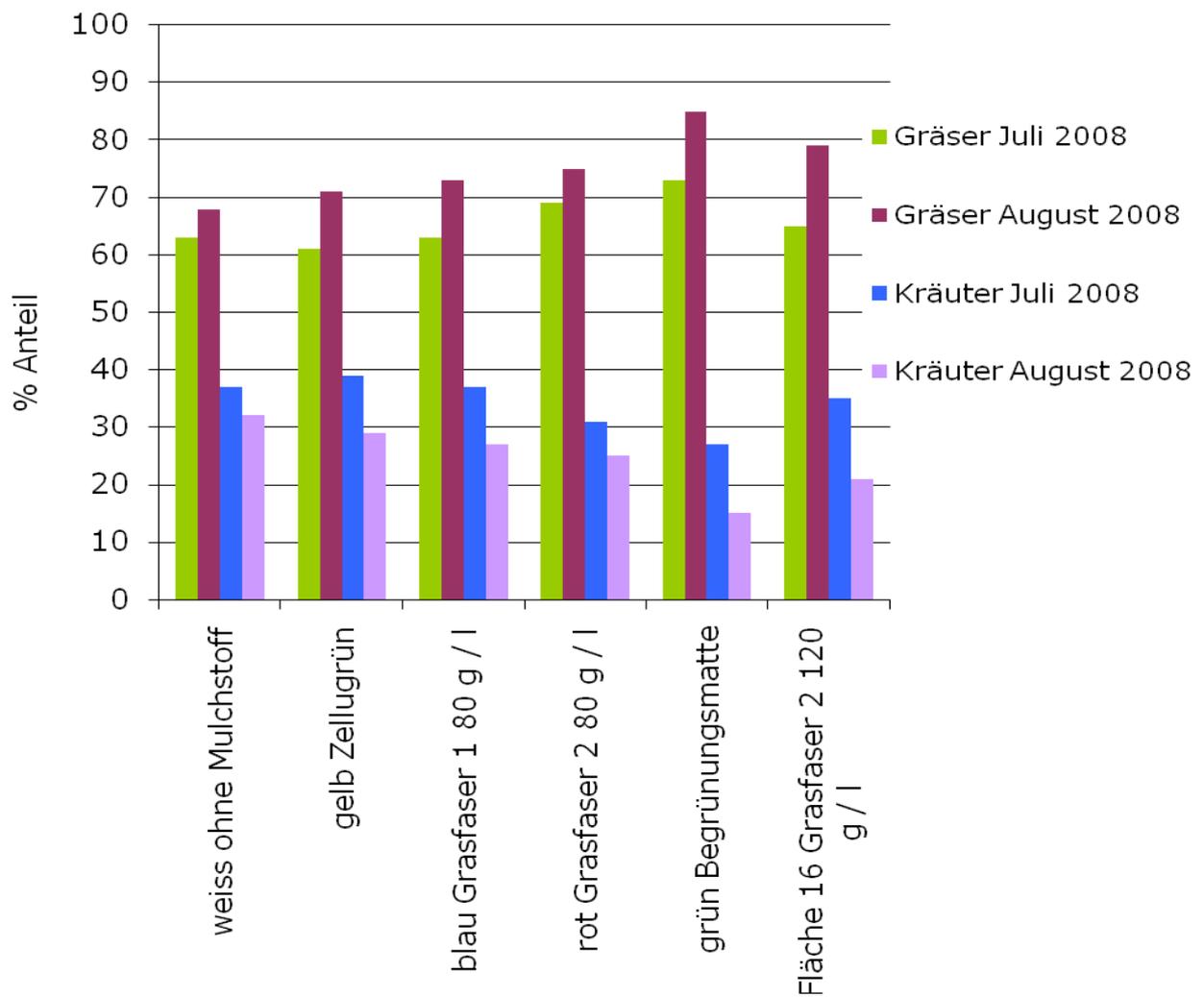


Abbildung 9-20: Gräser- und Kräuterverhältnis in Prozent im Vergleich der Mulchstoffvarianten

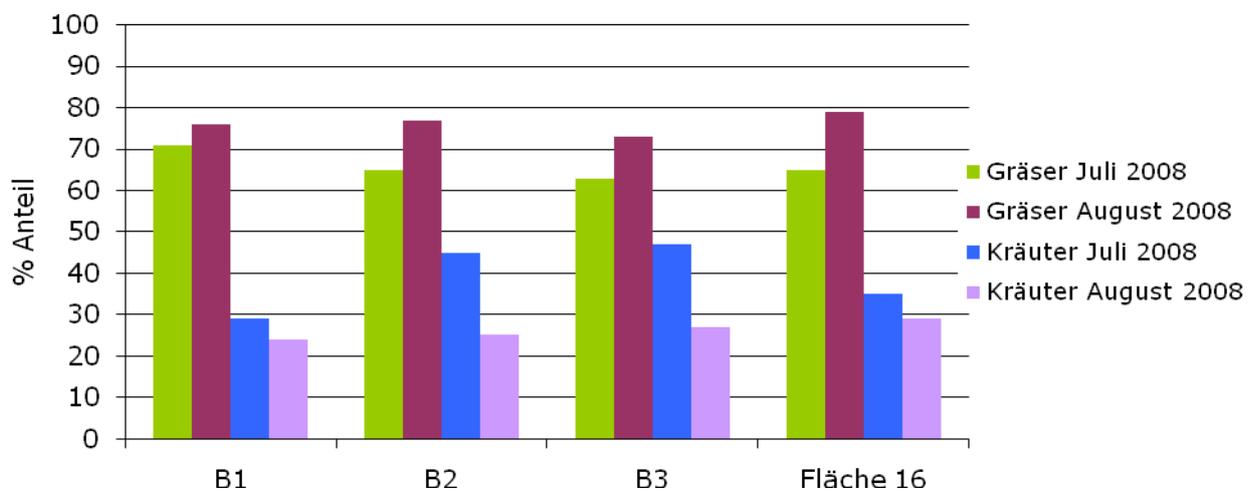


Abbildung 9-21: Gräser- und Kräuterverhältnis in Prozent im Vergleich der 3 Großbereiche und Fläche 16

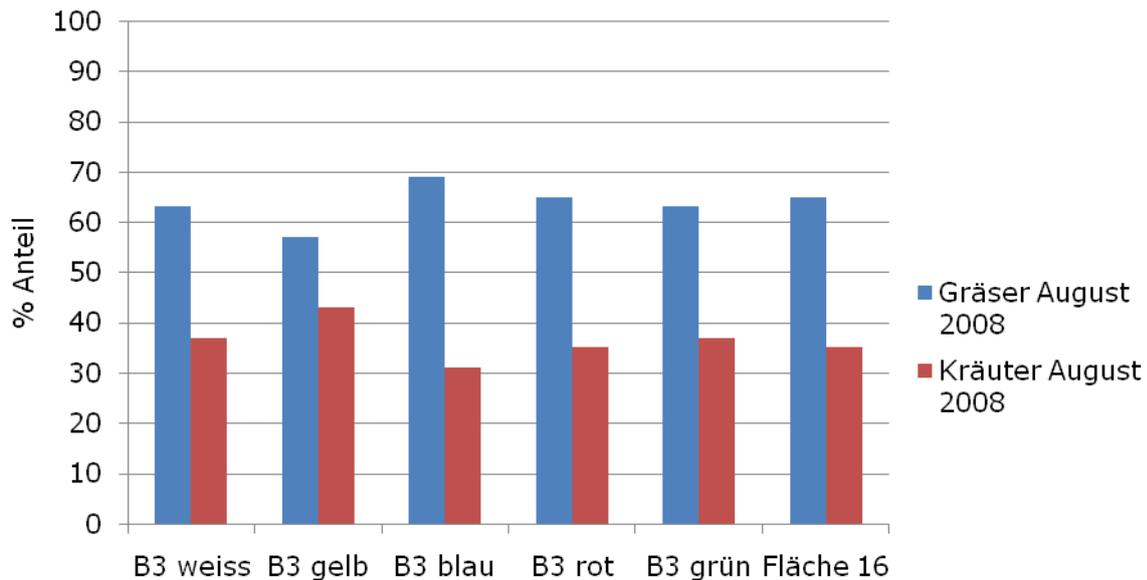


Abbildung 9-22: Gräser- und Kräuterverhältnis in Prozent im Vergleich nur Bereich 3 mit Versuchsfläche 16 (Grasfaser 2, 120 g/l)

9.4.1.9 Anzahl der Blühtriebe

Die Beurteilung und Erhebung der Blühtriebe ist ein wichtiger Parameter für die Möglichkeit der Arten sich generativ zu vermehren. Anfang Juli konnten bei der Vegetationsaufnahme keine Blühtriebe aufgenommen werden, im August wurden vor allem Blühtriebe des Hornschotenkleees *Lotus corniculatus* und des Weißkleees *Trifolium repens* vorgefunden. *Lolium perenne*, das englische Raygras, konnte zum Zeitpunkt der Aufnahme im August 2008 nur auf Detailfläche B1 grün (Begrünungsmatte) Blühtriebe vorweisen. Mit Abstand die größte Menge an Blühtrieben (Gräser und Kräuter) wurden auf Detailfläche B3 weiß (ohne Mulchstoffe) vorgefunden.

Blühende Fremdarten waren vor allem Weißer Gänsefuß, Hirse, Vogelknöterich und schwarzer Nachtschatten, welche vermehrt auf Detailfläche B1 weiß vorkamen. Wie schon erwähnt, kann einjährige Spontanvegetation durch eine Mahd vor der Samenreife eingedämmt werden.

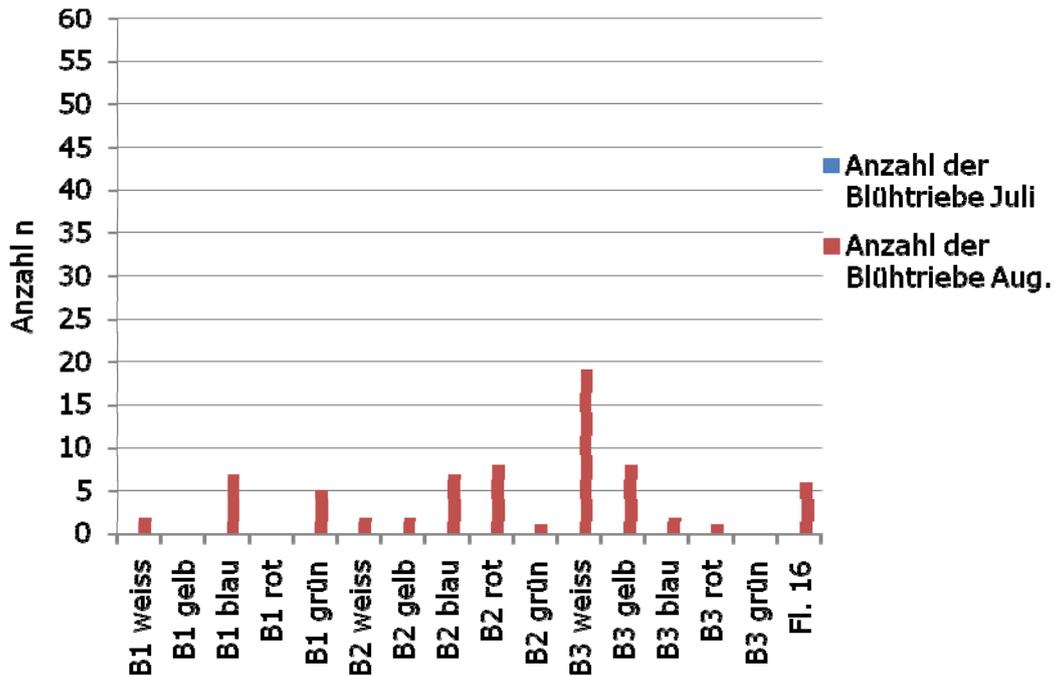


Abbildung 9-23: Anzahl (n) der Blühtriebe der gesäten Gräser und Kräuter im Vergleich der 16 Detailflächen

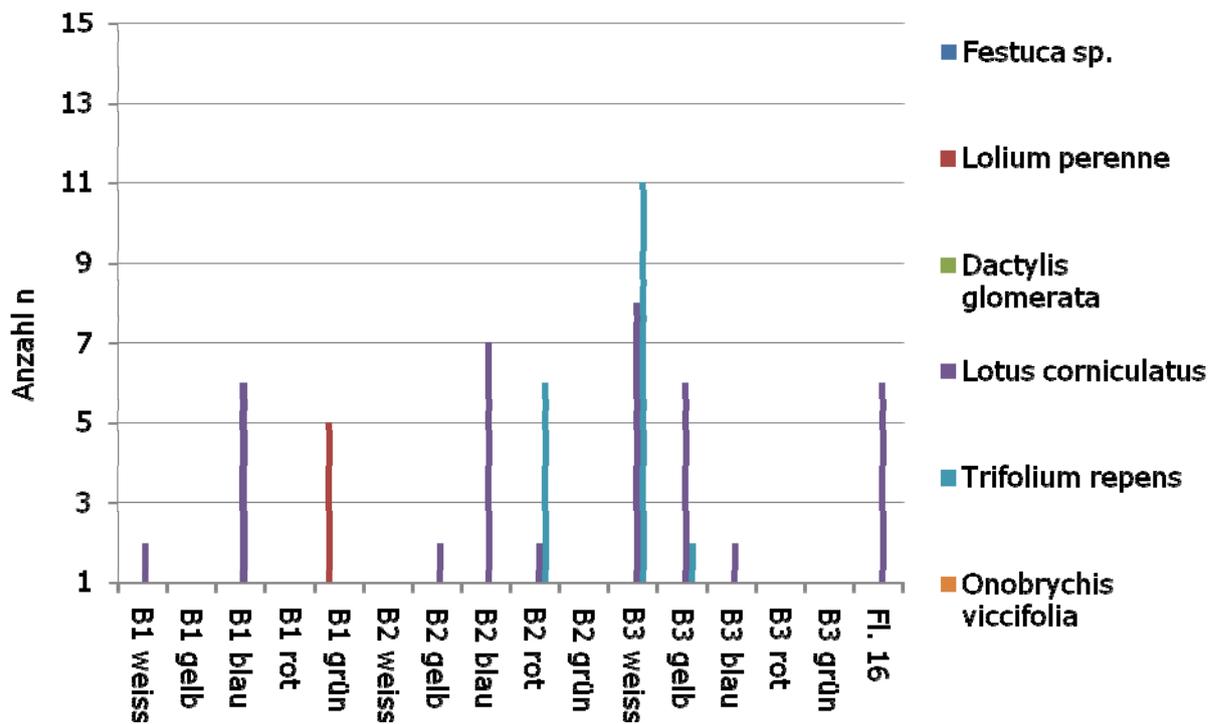


Abbildung 9-24: Anzahl (n) der Blühtriebe nach Arten der gesäten Gräser und Kräuter im Vergleich der 16 Detailflächen

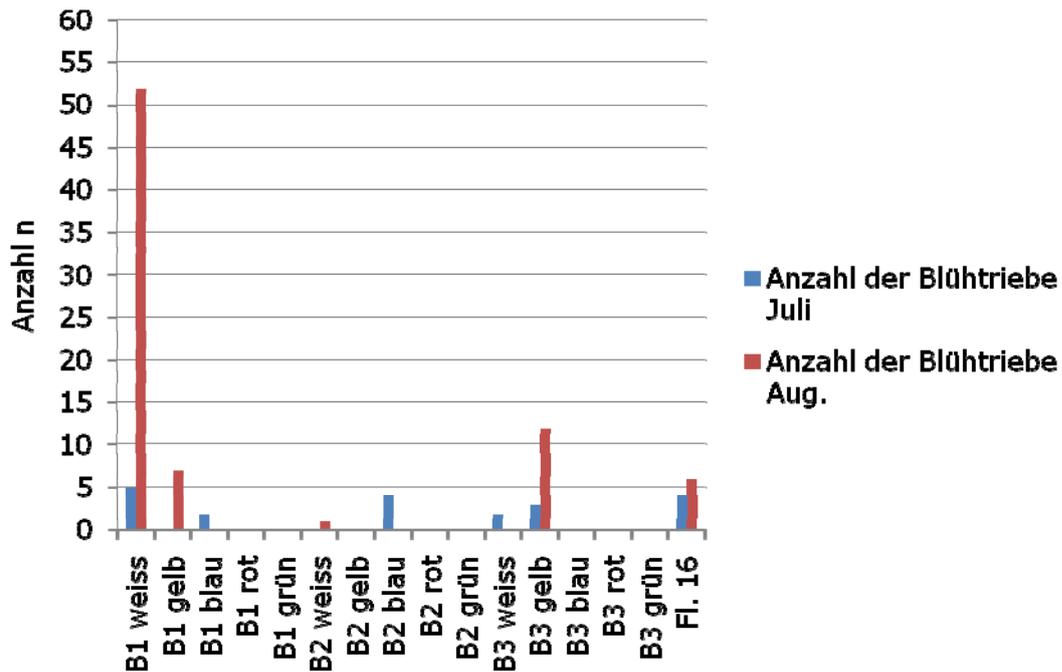


Abbildung 9-25: Anzahl (n) der Blühtriebe der Fremdarten im Vergleich der 16 Detailflächen

Tabelle 9-9: Artenschlüssel der blühenden Fremdarten im Vergleich der Bereiche welche Fremdarten enthalten

Arten	B1 weiß	B1 gelb	B2 gelb	B3 gelb	Fläche 16
Weißer Gänsefuß	14	7			5
Hirse	24				
Geruchlose Kamille					1
Vogelmiere			1		
Schwarzer Nachtschatten	14				
Vogelknöterich				12	

9.4.1.10 Mittlere Blatthöhe in cm

Eine allgemeine Zunahme der mittleren Blätthöhe mit drei Ausnahmen auf den Detailflächen B1 grün, B2 rot und B3 grün, untermauert wiederum die hohen Vitalitätswerte. Tendenzen, die auf eine Verbesserung beziehungsweise Verschlechterung auf Grund einer bestimmten Mulchstoffzugabe zurückzuführen wären, lassen sich nicht präzise aussagen.

Arten wie die Esparsette, der Hornschotenklee und Lolium perenne erreichten zum Zeitpunkt der Vegetationsaufnahme Ende August 2008 Höhen bis zu 23 cm.

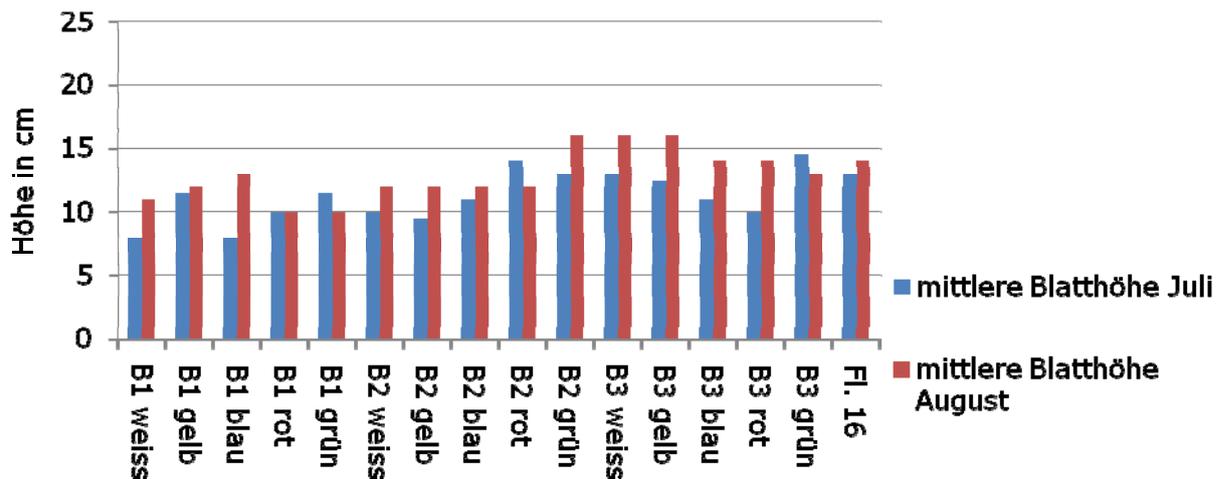


Abbildung 9-26: Mittlere Blatthöhe der gesäten Gräser und Kräuter in cm im Vergleich der 16 Detailflächen

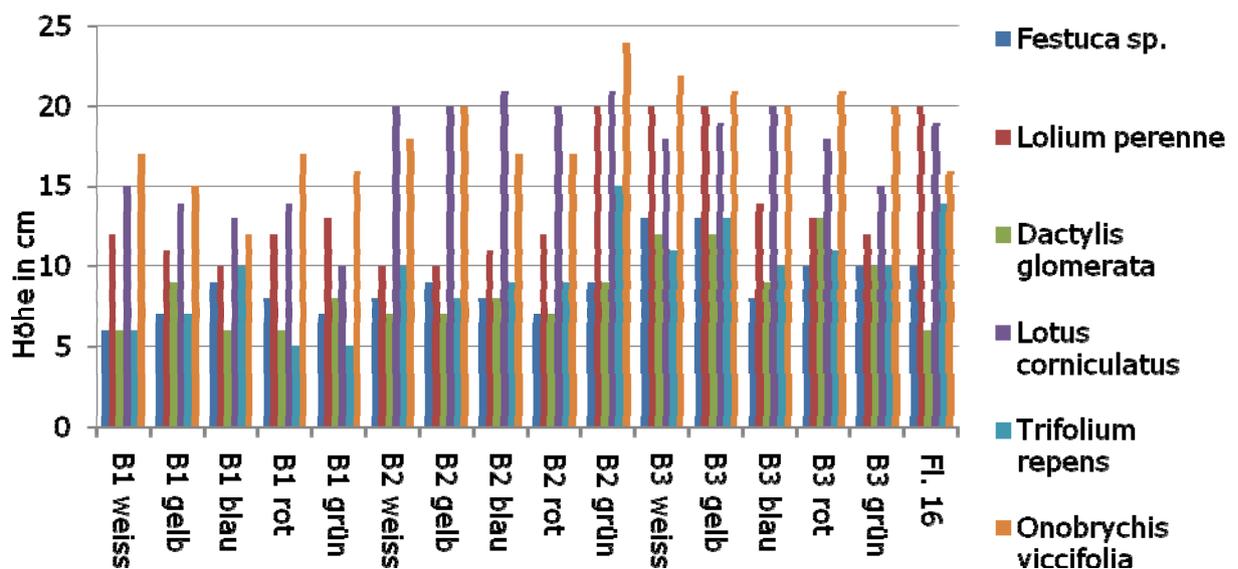


Abbildung 9-27: Mittlere Blatthöhe der gesäten Gräser und Kräuter in cm im Vergleich der 16 Detailflächen und nach Arten

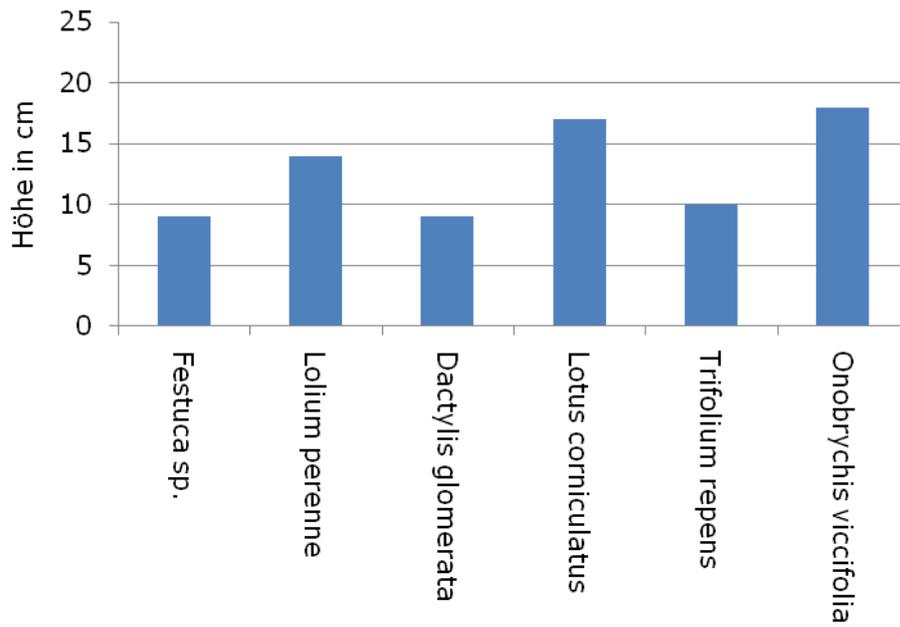


Abbildung 9-28: Mittlere Gesamtblatthöhen in cm der gesäten Arten im direkten Vergleich über alle Bereiche gemittelt

9.4.2 Diskussion der Ergebnisse

Zu Anfang dieses Kapitels seien einige Aspekte zur Auswahl der Versuchsf lächen und die Beeinflussung der Ergebnisse durch Veränderungen dieser angeführt:

Tabelle 9-10: Gegenüberstellung der Ausgangsannahme und des tatsächlich eingetretenen Falles der Rahmenbedingungen

Ausgangsannahme	Tatsächlich eingetretener Fall
Das Saatgut weist eine Keimfähigkeit zwischen 70 und 90 % auf.	Das Saatgut wies eine Keimfähigkeit zwischen 70 und 90 % auf.
Das Versuchsareal weist auf allen drei Großbereichen homogene Bodenverhältnisse auf.	Das Versuchsareal wies nach den vorliegenden Ergebnissen eindeutig inhomogene Bodenverhältnisse auf.
Die Ansaat wird fachlich nach bestem Wissen und Gewissen homogen auf den gesamten Hang aufgespritzt.	Die Ansaat wurde fachlich nach bestem Wissen und Gewissen homogen auf den gesamten Hang aufgespritzt.
Die Versuchsf lächen haben gleichbleibende und genormte Abmessungen, welche ein Ansetzen des Frequenzrahmens an exakt der gleichen Stelle bei der Vegetationsaufnahme sowohl im Juli 08, als auch im August 08 gewährleistet.	Die Versuchsf lächen wurden durch sekundäre Baumaßnahmen in ihren Größen verändert und ein Ansetzen des Frequenzrahmens an exakt der gleichen Stelle wie im Juli 08 war im August 08 nicht mehr ausnahmslos gegeben.
Die Witterungsverhältnisse stellen sich als ausgeglichen, der Jahreszeit entsprechend dar.	Die Witterungsverhältnisse stellten sich als instabil, gekennzeichnet durch oftmalige Starkregenereignisse und Gewitter unmittelbar nach der Ansaat dar.

9.4.2.1 Phänologische Fotoreihe

Die Ergebnisse der phänologischen Fotoreihe stellen sich als sehr aufschlussreich dar, vor allem deshalb, da sie in Kombination mit den Ergebnissen der zwei Vegetationsaufnahmen (Frequenz der eingesäten Arten / eingewanderten Arten, Deckungsgrad...) interessante Zusatzinformationen sowie Tendenzen aufzeigen und Ergebnisse absichern können. So zeigten die Ergebnisse aus der visuellen Analyse der Dokumentationsfotos, welche über den Zeitraum von 6. Mai 2008 bis 30. Juni 2008 entstanden, eine Reihung der Bereiche von schlechter Deckung zu besserer Deckung von Großbereich 1 über Großbereich 2 zu Großbereich 3. Auch an den Frequenzen ist diese Tendenz ablesbar. Eine höhere Deckung der Bodenoberfläche durch die eingesäten Gräser und Kräuter von Versuchsf läche 16 (Grasfaser 2, 120 g/l), welche die Resultate des Ablotens ergaben, wurden durch den visuellen Vergleich der Dokumentationsfotos ebenfalls bestätigt.

9.4.2.2 Keimfähigkeit

Die Keimfähigkeit des verwendeten Saatgutes zeigt ein durchaus positives Ergebnis. Da für zertifizierte landwirtschaftliche Kulturarten inklusive Gräser, Rasensorten und Leguminosen eine Mindestkeimfähigkeit der reinen Samen von 70-90 % gilt und keine der untersuchten Arten unter diesem Wert lag, konnte ein eventueller negativer Anwuchserfolg aus Gründen einer herabgesetzten Keimfähigkeit ausgeschlossen werden.

9.4.2.3 Vitalität

Die Vitalitäten lagen sehr homogen in der Kategorie „sehr hoch“, was auf eine positive Entwicklung des Pflanzenbestandes auch in Zukunft schließen ließ.

Geht man nach *Bures 1991* davon aus, dass sich jede Gräsergemeinschaft unter dem Einfluss der an ihrem Standort wirkenden Wachstumsfaktoren entwickelt, so ist es wichtig, diese deuten und interpretieren zu können. Diese Wachstumsfaktoren sind von der Natur vorgegeben, werden aber durch den Menschen im Rahmen der Anlage, Pflege und Benutzungsweise mehr oder weniger verändert. Die Gräser passen sich ihrem genetischen Leistungsvermögen und ihren Ansprüchen entsprechend den jeweils vorhandenen Umweltbedingungen bestmöglich an. Wachstum und Anpassung der Rasennarbe werden vor allem durch das Zusammenwirken der Wachstumsfaktoren Licht, Temperatur, Feuchtigkeit, durch die edaphischen, also die an den Boden gebundenen Umweltfaktoren, sowie durch die künstlich induzierten Belastungen des Rasens bei seiner unmittelbaren Benutzung beeinflusst.

Im Falle dieses Projektes erwiesen sich die Pflanzen als sehr widerstands- und anpassungsfähig gegenüber den vorliegenden Standortbedingungen. Die vorgefundenen Pflanzen selbst zeigten – wie in *Tabelle 9-6* zu sehen ist – sehr hohe Vitalitäten. Über die Keimkraft des Saatgutes und den Anwuchserfolg konnte dies im Vorfeld zwar keine Auskunft geben, jedoch stellt eine gute Vitalität der Pflanze selbst die Weichen, um eine weitere positive Bestandsentwicklung der Böschungsbegrünung zu gewährleisten.

9.4.2.4 Frequenz der eingesäten Arten

Im Vergleich der einzelnen Mulchstoffvarianten kann aufgrund der inhomogenen Bodenverhältnisse keine Tendenz, welche eine Mulchstoffvariante besonders hervorheben würde, dingfest gemacht werden. Jedoch ergibt ein Vergleich der Vegetationsaufnahmen vom Juli, beziehungsweise August, einen Anstieg der Frequenzen bei *Festuca sp.* und *Dactylis glomerata*. Die höchsten Frequenzen können die Bereiche B2 rot (Grasfaser 2, 80 g/l) und B3 gelb (Mulchstoff: „Zellugrün“®) aufweisen. Ein allgemeiner Frequenzanstieg von Bereich 1 zu Bereich 3, untermauert die Ergebnisse der phänologischen Fotoreihe und weist ebenfalls auf inhomogene Bodenverhältnisse hin. Eindeutig zu erkennen ist vor allem auch, dass die Detailflächen mit der Farbe grün (Begrünungsmatte) einen durchwegs homogenen Anwuchs vor allem der Gräser verteilt über die gesamte Fläche aufweisen.

9.4.2.5 Gräser- und Kräuter-Verhältnis

Das Ergebnis des Gräser- und Kräuter-Verhältnisses bezogen auf den gesamten Bereich der Versuchsflächen verhält sich 66 % Gräser zu 34 % Kräuter und weist somit ein maßgeblich anderes Verhältnis auf als das der Saatgutmischung (85 % Gräser, 15 % Kräuter). Generell ist gemäß Erfahrungswerten eine Zunahme des Kräuteranteils im Bewuchs im Vergleich zur Saatgutmischung eine vorhersehbare Tendenz. Der Kräuteranteil war im August bei allen Mulchstoffvarianten tendenziell im Rückgang, beim Gräseranteil verhielt es sich umgekehrt.

Nach *Schmidtke 1997* kann sich eine leicht erhöhte Stickstoffmenge im Bodensubstrat positiv auf die Leguminosen (Kräuter) auswirken und dadurch die Stickstofffixierungsleistung im Boden fördern. *Klatt 2008* fügt hinzu, dass sich bei einer geringen Stickstoffdüngung der Anteil der Leguminosen im Bestand erhöht, da auch diese Gruppe von leicht verfügbarem Stickstoff im Boden profitiert. *Klatt 2008* sieht jedoch die Klärung der Beantwortung der Frage nach dem Leguminosenvorkommen in einem Bestand auch dadurch erschwert, dass Leguminosen durch ihren hohen N-Gehalt den mineralischen N-Gehalt des Bodens (u.a. nach Zersetzung der Wurzelknöllchen) erhöhen. Da die höheren mineralischen N-Mengen die konkurrierenden Pflanzen stärker begünstigen als die Leguminosen selbst, verdrängen sich die Leguminosen gewissermaßen selbst (vgl. *Hartwig 1998*). Bezieht man diese Aussagen auf die hier vorliegenden Ergebnisse, so ist von einem zukünftigen Wiederanstieg der Gräser auf den Versuchsflächen auszugehen.

Nach *Bures 1991* besteht der grundsätzliche Vorteil einer Mischsaat gegenüber einer Reinsaat darin, dass sich die angesäten Arten und Sorten unter Rasenbedingungen auch bei wechselnden Umwelteinflüssen gegenseitig gut vertreten können und auf diese Weise die mangelhafte Leistung einer Art bzw. Sorte durch die bessere Leistung der Partnerarten überwachsen und kompensiert wird. So kann ein sich gegenseitig ergänzender Artenbestand in der Grasnarbe in einem labilen Gleichgewicht erhalten werden, wobei jedoch fast stets mit einer kurzfristig verlaufenden oder einer allmählichen Verschiebung der Artenanteile zu rechnen ist. Mit einer bestimmten Mischungsrezeptur kann bereits im Vorfeld auf die Dynamik der künftigen Bestandsentwicklung eingegriffen werden und es sollte damit die Voraussetzung für einen stabilen Böschungsbewuchs geschaffen werden, der auch unter zeitweilig wechselnden äußeren Einflüssen (Witterung, Boden, Pflege, Nutzungsintensität) gewährleistet bleibt.

9.4.2.6 Deckungsgrad

Der Deckungsgrad von Fläche 16 (Erhöhung der Grasfaser 2 – Zugabe von 80 g auf 120 g/l) erhöhte sich von 72 % Anfang Juli auf 84 % Ende August. Ähnlich hohe Werte können nur die Flächen mit der Farbe rot (Recyclingfaser 2, 80 g/l) im Juli mit 68 % Deckung erreichen. Eine solche Tendenz in Richtung einer Erhöhung des Deckungsgrades bei Erhöhung der Mulchstoffzugabe ist sowohl beim Vergleich nur der drei Großbereiche, als auch bei einem Vergleich der einzelnen Versuchsflächen eindeutig zu erkennen.

Dieses Ergebnis wird maßgeblich von den hohen Deckungsergebnissen der Detailfläche B2 rot (Juli 2008) mit rund 93 % beeinflusst. Auch ist zu diesem Ergebnis zu sagen, dass bei Erhebung der Deckungsgrade nicht in eingewanderte Arten oder eingesäte Arten unterschied-

den wurde, was bedeutet, dass auch die Spontanvegetation maßgeblich zu den Ergebnissen der Deckung beitragen kann. Eine weitere Erhöhung der Beigabemenge der Grasfaser könnte so schon im Vorfeld, unmittelbar nach der Ansaat, einen Schutz der Böschungsoberfläche und des Saatgutes durch die Bildung eines feinen Grasfasermulchfilmes über die gesamte Versuchsfläche, bieten.

9.4.2.7 Frequenz der eingewanderten Arten

Da nach *Bures 1991* sich frisch gesäte Rasen am Anfang stärker verunkrauten, wenn für den Samenvorrat im Boden günstige Keimbedingungen entstehen und die jungen Keimpflanzen der Kräuter sich rascher als die jungen Gräser entwickeln, ist das Wissen über die Frequenz der eingewanderten Arten sehr wesentlich. Die meist vitaleren Unkräuter können den benachbarten eingesäten Gräsern Wasser, Nährstoffe und Licht entziehen und schwächen sie dadurch. Diese Aussage kann jedoch auf den Versuchsflächen des Projektes "Grüne Bioraffinerie Phase III" über die Ergebnisse des Vergleiches der Frequenzen von Flächen mit einem hohen Spontanvegetationsanteil mit jenen, welche einen kleineren Spontanvegetationsanteil aufweisen, nicht bestätigt werden. Auf Flächen mit hohem Spontanvegetationsanteil ist kein auffälliger Frequenzrückgang der eingesäten Arten im Vergleich zu den Flächen mit geringerem Spontanvegetationsanteil zu erkennen. Die Unkrautflora junger Rasensaaten besteht aber oft überwiegend aus einjährigen Ackerunkräutern, welche sich relativ rasch durch baldigen Schnitt bei zunehmender Narbendichte verdrängen lassen.

Die Spontanvegetation auf den Versuchsflächen des vorliegenden Projektes wird von zwei Pflanzenarten dominiert. Es handelt sich dabei um den Weißen Gänsefuß (*Chenopodium album*) und den Vogelknöterich (*Polygonum aviculare* Linné). Mit einer viel kleineren Frequenz kommen Arten wie Kamille, Schwarzer Nachtschatten, Weißer Fuchsschwanz, Windenknöterich oder der Löwenzahn vor. Weißer Gänsefuß und Vogelknöterich sind typische einjährige Erstbesiedler und Pionierpflanzen, die auf freien Flächen, bevor das Saatgut eine ausreichende Deckung aufweisen kann, den Standort bewachsen aber auch für die nachkommende Vegetation vorbereiten.

9.4.2.8 Abundanz der eingewanderten Arten

Die Ergebnisse der Aufsummierung der Abundanzen lassen die Annahme einer Förderung eines Fremdarteneinfluges bei größerer Mulchstoffzugabe entstehen. Summiert man alle Abundanzwerte der Fremdarten (Juli und August 2008) aller 15 Versuchsflächen ohne Fläche 16 auf, und errechnet daraus einen Mittelwert für jeweils eine Fläche, so ergibt das die Zahl 15. Bei Aufsummierung der Abundanzen der Fremdarten von Fläche 16 erhält man einen Wert von 27. Geht man davon aus, dass ein höherer Wert eine höhere Abundanz, das heißt ein höheres Vorkommen von Fremdarten, aussagt, so ist das bei Fläche 16 eindeutig der Fall.

9.5 Betrachtung der Wirtschaftlichkeit im Anwendungssegment Anspritzbegrünung

Folgend werden wirtschaftliche Überlegungen zur Anwendung der Grasfaserfraktion im Bereich der Anspritzbegrünung zusammengefasst.

Die Verwendung der Grasfaserfraktion der Grünen Bioraffinerie für die stoffliche Verwertung steht grundsätzlich in einer Konkurrenzsituation zur energetischen Verwertung mittels Biogasprozess.

In Kapitel *Spezifisches Erlöspotential der Grünen Bioraffinerie* wurde diese Situation durch einen *Verkauf* des Presskuchens an eine angelagerte Biogasanlage diskutiert und durch die Festlegung eines Erlösszenarios für den Presskuchen durch einen Minimumerlös von 40 €/t TS bis maximal 65 €/ TS konkretisiert.

Allerdings ist der Presskuchen unbedingt einer Trocknung zu unterziehen, wenn dieser auf Dauer lagerfähig sein soll.

Die spezifischen Trocknungskosten wurden in einem Vorprojekt im Bereich von 43 bis 53 €/t TS errechnet (*Mandl et al. 2006; pp 96*).

Somit resultieren für den getrockneten Presskuchen Gestehungskosten von maximal 118 €/t TS. Für den Einsatz der Grasfaser wäre allerdings auch die Verpackung in leicht hantierbaren Verpackungseinheiten (ca. 200 Liter) erforderlich, welche in einem Kostenrahmen von 20 – 30 €/t realisierbar sein sollte.

Auf Basis dieser Kostenstruktur ergeben sich Herstellungskosten für einen potentiellen Zuschlagstoff für das Anspritzverfahren in der Größenordnung von 150 €/t TS.

Dieser Wert entspricht ca. 50 % eines am Markt eingeführten Mulchproduktes für die Anspritzbegrünung (Zellugrün®).

Aus der wirtschaftlichen Perspektive erscheint die Verwendung der Grasfasern für die Begrünung jedenfalls interessant.

Grundsätzlich wäre es möglich, auch den feuchten Graspresskuchen einzusetzen, wenn eine effektive Logistikkette zur Baustelle errichtet werden kann. Dadurch könnten wesentliche Kosteneinsparungen lukriert werden.

9.6 Zusammenfassung zum Themenbereich Begrünung

Wie in der Diskussion der Ergebnisse beschrieben, haben sich im Zuge des Feldversuches Umstände ergeben, die sich maßgeblich auf den weiteren Verlauf der Vegetationsentwicklung auswirkten. So kam es durch ein Starkregenereignis am Folgetag der Aussaat zu einer teilweisen Auswaschung der aufgetragenen Samen. Weitere heftige Regenfälle führten zu einer verstärkten Erosion an den Versuchsflächen. Eine auf der Böschungskante nachträglich durchgeführte Grabung beeinträchtigte die Bestandsentwicklung leider ebenso nachteilig.

So können anhand der vorliegenden Ergebnisse keine eindeutigen und abgesicherten Aussagen darüber getroffen werden, in welchem Ausmaß sich die untersuchten Varianten unterscheiden, da sich bei den Wiederholungen meistens keine Bestätigungen etwaiger identifizierter Unterschiede feststellen lassen.

Zusammenfassend ist es jedoch zulässig, einige wesentliche Aussagen und Erkenntnisse der Feldversuche auf den Punkt zu bringen.

- 1) Grasfaserfraktionen der Grünen Bioraffinerie sind für den Einsatz als Mulchbeigabe für Anspritzbegrünungen grundsätzlich geeignet. Die in der Praxis etablierte Technologie kann die Grasfasern unmittelbar einsetzen.
- 2) Die Vegetationsentwicklung von Flächen mit Grasfaserbeimengung im Anspritzverfahren kann mit den am Markt befindlichen Produkten „mithalten“. Eine bessere Eignung als das Produkt „Zellugrün“® ist auf Grund der Ergebnisse nicht argumentierbar.
- 3) Die Anwendung von höheren Aufbringraten von Grasfasern (z.B. 120 g/m² wie auf der Zusatzfläche Nr. 16), scheint durchaus positive Vegetationsentwicklungen zu versprechen. Allerdings gab es dazu keine Referenzfläche mit „Zellugrün“®.
- 4) Kostenvorteil: Grasfasern sind wesentlich billiger als ein am Markt eingeführtes Fasermulchprodukt („Zellugrün“®). Daher wären in der Praxis auch höhere Aufbringraten wirtschaftlich.

10 Übersicht der Produkte der Grünen Bioraffinerie

Die Grüne Bioraffinerie ist eine Technologie, die auf Basis grüner Biomasse eine Reihe von Produkten bereitstellen kann. Die Herstellung dieser Produkte soll in der Pilot- und Demonstrationsanlage weiterentwickelt und verifiziert werden.

Die wesentlichen Charakteristika der **Grünen Bioraffinerie** sind

- die Nutzung von Grünlandbiomasse zur Herstellung von Silagesaft als wertvoller Rohstoff für Produkte;
- die Abtrennung und Aufbereitung von **FREIEN Aminosäuren** für Feed, Food, Personal Care und technische Anwendungen aus Grünlandbiomasse;
- die Erzeugung von weiteren Produkten, wie **Milchsäure**, und
- die Entwicklung von marktfähigen Folgeprodukten aus Aminosäuregemischen und Milchsäure, sowie
- eine kaskadische Rohstoffnutzung; zuerst stoffliche Nutzung (Feinchemikalien) dann energetische Nutzung (Biogas).

Der Presssaft aus Silage bietet im Gegensatz zum Presssaft aus frischer Grünlandbiomasse ein wesentlich höheres Wertschöpfungspotenzial. Durch die enzymatische Umsetzung der Proteine in Aminosäuren kann eine wesentliche Erlössteigerung erzielt werden. Zusätzlich kann durch die Nutzung von Silage ein Ganzjahresbetrieb gewährleistet werden, da dieser Rohstoff sehr gut lagerfähig ist.

Die beiden Schlüsselprodukte der Grünen Bioraffinerie sind Aminosäuren und Milchsäure. Da Silagesaft bis zu 35 % der Trockenmasse aus Aminosäuren besteht, ist die Nutzung der Aminosäuren vorrangig.

10.1 Marktrecherche im Bereich Aminosäuren

Parallel zur technologischen Entwicklung der Abtrenntechnologien für die Produkte aus dem Saft wurde eine Marktrecherche zum Thema Aminosäuren durchgeführt, welche das Marktpotential (Mengen, Preise, erforderliche Qualitätskriterien) verschiedener identifizierter Segmente aufzeigt. Die Ergebnisse werden für die endgültige Ausrichtung des Aminosäureproduktes aus der Grünen Bioraffinerie verwendet und dazu essentielle Marktdaten beisteuern.

An dieser Stelle wird explizit an den umfangreichen ANNEX B – Marktstudie zum Thema Aminosäuren und deren Anwendungen – verwiesen, welcher vom Projektpartner GRADIENT erstellt wurde.

Folgend wird das Vermarktungspotential von Aminosäuren kurz zusammengefasst.

10.1.1 Anwendungsbereiche essentieller Aminosäuren

Die *Tabelle 10-1* zeigt auf, dass die verschiedenen Aminosäurequalitäten Proteinhydrolysate, Aminosäuremischungen sowie Einzelaminosäuren grundsätzlich in allen Vermarktungssegmenten zum Einsatz kommen. In den Bereichen Kosmetika und Pharma sind jedoch Einzelaminosäuren am stärksten nachgefragt.

Tabelle 10-1: Anwendungsbereiche von AS

	Protein Hydrolysate	Aminosäure Mischungen	einzelne Aminosäuren
Futtermittel			
Lebensmittel			
Kosmetika/Feinchemie			
Pharma			

Quelle: Kohschuh W 2005

Der Marktpreis der Aminosäuren in den jeweiligen Segmenten ist sehr unterschiedlich. Das Erlöspotential nimmt in den einzelnen Segmenten Futtermittel – Lebensmittel – Kosmetika/Feinchemie – Pharma zu. Einzelne Aminosäuren haben auch einen höheren Preis als Mischungen.

10.1.2 Marktpotential essentieller Aminosäuren

Während die Verkaufszahlen von Aminosäuren in Nordamerika und Asien eher stagnieren, wächst der europäische Markt stark. Allgemein gibt der Weltmarktführer, die Firma Ajinomoto, ein kontinuierliches Wachstum von 3 % für den gesamten Aminosäuresektor an.

Vor allem im Bereich der Nahrungsergänzungsmittel, sowie im Pharmabereich werden in Zukunft größere Wachstumsraten erwartet.

Der Europäische Markt wurde 2005 mit 1.063,8 Mio € bewertet und mit einem Wachstum auf 1.523,4 Mio € (50 %!!) für 2012 (Quelle Frost and Sullivan). Die enorme Summe kommt einerseits aus erhöhter Produktion, andererseits durch Verteuerung der Produkte.

Eine Prognose zum US Markt (Quelle BCC Research, siehe *Abbildung 10-1*) prognostiziert in diesem Segment ein deutliches Wachstum. Der Marktanteil der „AS-Spezialitäten“ beträgt ca. ein Drittel des Marktsegments Lebensmittel bzw. Tierfutter.

Es ist anzumerken, dass der Großteil aller Firmen, die Aminosäuren produzieren, in Asien ansässig ist. Im Besonderen hat Japan eine Vormachtstellung.

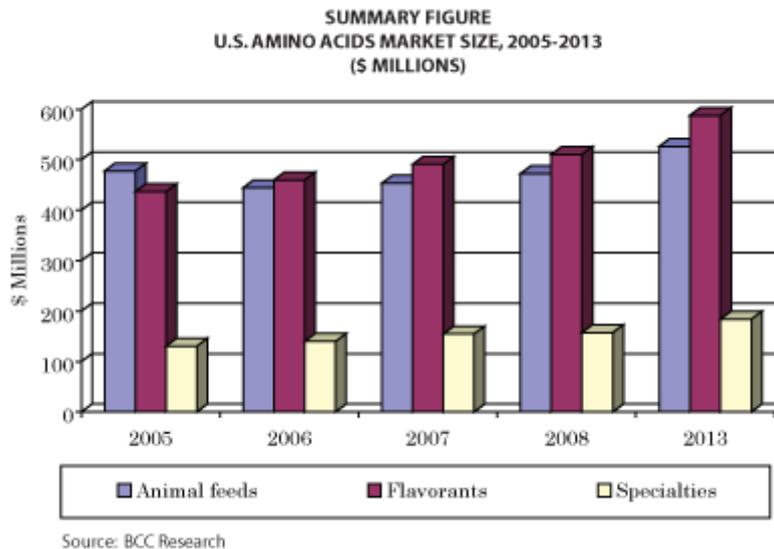


Abbildung 10-1: US-Aminosäuremarkt
Quelle: Spiegel C, © BCC Research 2009

10.1.3 Einsatzbereiche – hoch preisige Produkte

Nahrungsergänzungsmittel(Sportlernahrung)

In diesem Segment werden verzweigtkettige Aminosäuren (L-Valin, L-Leucin, L-Isoleucin) oder essentielle Aminosäuren vertrieben.

Ebenso werden viele AS-Gemische als gesundheitsfördernde und leistungssteigernde Präparate verkauft. Die genaue Wirkung dieser Produkte, bzw in welchem Umfang diese Präparate eine leistungssteigernde Wirkung haben, ist nur zum Teil bestätigt. In diesem Segment wird jedenfalls in den nächsten Jahren mit größeren Wachstumsraten gerechnet, zumal das Preisniveau relativ hoch ist.

Therapie von Stoffwechselkrankheiten

Eine Anwendungsmöglichkeit für AS-Mischungen wäre im Bereich der Therapie von Stoffwechselerkrankungen wie z.B. Phenylketonurie. Da es sich hier um eine medizinische Anwendung handelt, wäre jedenfalls zweifelsfrei zu klären, ob die Aminosäuregemische der Grünen Bioraffinerie für diesen Zweck geeignet sind.

Kosmetika

Aminosäuren sind auch in Body-Care und Kosmetikprodukten enthalten, vor allem in teureren Produktserien. Anwendungsbeispiele dafür wären Shampoos, Körperseifen, Feuchtigkeitspender für Haut und Gesichtslotionen. Die genaue Mengenzusammensetzung diverser Kosmetikprodukte wird in der Regel nicht offengelegt, allerdings sind die Aminosäuren Serin, Alanin und Glycin oft in Produktdeklarationen gelistet.

Gerade in der Kosmetikbranche ist das Marketing von Produkten über Inhaltstoffe und „virtuelle“ Eigenschaften besonders wichtig. In diesem Zusammenhang könnten spezielle Merkmale der Aminosäuren aus Gras besonders ausgelobt werden.

Den Aminosäuregemischen aus der Grünen Bioraffinerie auf Basis von Gras können folgende Alleinstellungsmerkmale (USP) zugeordnet werden:

- (1) rein pflanzlich (2) biologisch (3) gentechnikfrei (4) natürlich

Aus diesem Blickwinkel sind die AS der Grünen Bioraffinerie für das Segment Naturkosmetik sehr attraktiv.

10.1.4 Preise von Aminosäuren

Das Preisniveau ist sehr unterschiedlich, allerdings kann prinzipiell gesagt werden, dass je größer die produzierte Menge einer Aminosäure am Weltmarkt, desto geringer ist ihr Marktpreis. *Tabelle 10-2* zeigt eine Auflistung aller Aminosäuren inklusive aller Informationen bezüglich Jahresproduktion (2004) und Preise (2002/2004).

Tabelle 10-2 : Preisvergleich Aminosäuren

Aminosäure	Jahresproduktion [t]	Preis [€/kg]	Hauptanwendung	Bemerkung/Neben anwendung
L-Glutamat	1.500.000	0,8	Lebensmittel	
L-Lysin	700.000	1,5-2,5	Futtermittel	Essentielle AS
D,L-Methionin	600.000	1,5-2	Futtermittel	Essentielle AS
L-Threonin	30.000	5	Futtermittel	
L-Asparaginsäure	13.000	10	Lebensmittel	Aspartam
L_Glycin	10.000	10	Lebensmittel	Kosmetik
L-Phenylalanin	10.000	10	Lebensmittel, Pharma	Essentielle AS
L-Tyrosin	1.500	30	Nahrungsergänzung, Pharma	Essentielle AS
L-Tryptophan	1.200	20	Futtermittel, Ernährung	Essentielle AS
L- Arginin	1.000	20	Kosmetik, Pharma	
L_Cystein	500	20	Lebensmittel, Pharma	
L-Alanin	500		Nahrungsergänzung	Kosmetik
L-Isoleucin	500	10 bis 70	Nahrungsergänzung, Pharma	Essentielle AS, BCAA
L-Valin	50	10-14	Nahrungsergänzung	Essentielle AS, BCAA
L-Asparagin			Lebensmittel	
L-Glutamin			Nahrungsergänzung	
L-Histidin			Nahrungsergänzung	
L-Leucin		10-14	Nahrungsergänzung, Pharma	Essentielle AS, BCAA
L-Prolin			Nahrungsergänzung	
L-Serin			Nahrungsergänzung	Kosmetik

Anmerkung: Erstellt auf Basis Bott M, Positionspapier der DECHEMA e.V, Weiße Biotechnologie-Chancen für Deutschland; Stand 2004;
Daten erweitert;

10.1.5 Konkurrenzverfahren zur Gewinnung von AS

Aminosäuren werden zum größten Teil fermentativ produziert und mittels einfacher, effektiver Methoden aus den Fermentationsbrühen isoliert. Die relativ hohe Produktausbeute, welche durch optimierte Mikroorganismen (GMO) generiert werden kann, sowie die relativ geringen Downstream-Kosten, sind wesentliche Vorteile der fermentativen Herstellung von Aminosäuren.

Enzymatische Herstellverfahren sowie die chemische Synthese bilden eher eine Ausnahme. Allerdings wird L, D-Methionin großtechnisch nur synthetisch hergestellt (Fa. Degussa).

Für das Separationsverfahren der Grünen Bioraffinerie ist der Nachweis zu generieren, dass eine wirtschaftliche, am Markt konkurrenzfähige Produktion von Aminosäuren(spezialitäten) auf Basis des Rohstoffes Gras möglich ist. Dieser Schritt kann nur über ein Scale-up der Technologie in eine Pilotanlage gelingen.

10.2 Aminosäurengemische der Grünen Bioraffinerie

Die Qualität von Aminosäurengemischen wird wesentlich durch ihr Aminosäurenprofil bestimmt. Die Silagesäfte bieten hier ein sehr attraktives Spektrum. Der Vergleich mit Sojaprotein und Kartoffelprotein zeigt, dass die Aminosäurengemische der Bioraffinerie ein ausgesprochen hochwertiges Aminosäurespektrum aufweisen, da sie besonders reich an den essentiellen Aminosäuren Leucin, Isoleucin, Valin, Threonin und Tryptophan sind. Zusätzlich liegt der Großteil (>90 %) der Aminosäuren als freie Aminosäuren vor. Aufgrund der Zusammensetzung der Aminosäurengemische werden folgende Vermarktungsbereiche angestrebt:

- 1) **Personal Care**
- 2) **Lebensmittelindustrie** (Spezialernährung im Gesundheits- und Sportbereich)

Die Vermarktung der Aminosäurengemische aus der Grünen Bioraffinerie im Segment Futtermittelindustrie wird primär nicht angestrebt. In diesem Segment könnten allerdings Restgemische vermarktet werden, welche bei der Aufbereitung für Personal Care und Lebensmittel anfallen.

10.3 Milchsäureprodukt aus der Grünen Bioraffinerie

Die Vermarktung der Milchsäure der Grünen Bioraffinerie soll primär als Bulk-Produkt mit unterschiedlichen Anwendungen erfolgen:

- Neutralisation
- Desinfektion / Reinigung
- Technische Anwendungen (z.B. Zusatz zu organischen Harzen)
- Konservierung (Landwirtschaft, Lebensmittel).

Das gesamte Marktvolumen bei dieser Anwendung ist international sehr hoch, so dass bei entsprechendem Preis mit keinen Hemmnissen gerechnet wird.

Zusätzlich ist eine weitergehende Veredelung der Milchsäure zu Polymilchsäure (PLA (bioabbaubarer Kunststoff) und Ethyllactat ("Grünes Lösungsmittel") unbedingt anzustreben, um das Erlöspotential zu steigern.

Für die Produktion dieser zukunftsweisenden Veredelungsprodukte sind Anlagen zur Reaktionsführung, Destillation bzw. Rektifikation, Abtrennung von Isomeren und Anlagen zur Polymerisation inkl. "Blending" notwendig. Für diese Produktionsschiene wurden bisher allerdings nur sehr grundsätzliche Versuche durchgeführt. Diese Produktgruppe stellt aber eine wichtige Forschungsaufgabe der Grünen Bioraffinerie Österreich dar.

Für das Produkt Milchsäure ist anzumerken, dass die Herstellung von Ethyllactat voraussichtlich relativ einfach zu lösen ist. Die Herstellung von PLA bedarf allerdings beträchtlichen Forschungsaufwandes bzw. eine Kooperation mit internationalen Konzernen (z.B. Dow-Chemical). Besonders im Bereich PLA ist außerdem nur die Verwendung des L, L-Dilactids zielführend. Da in der Silage allerdings zu ca. 35 % auch Razemat vorhanden ist, sollte auch überlegt werden, ob für eine breit angelegte Herstellung von PLA nicht auch der Einsatz klassischer Fermentation (submers) sinnvoll ist.

10.4 Verwertung der Faserfraktion der Grünen Bioraffinerie

Für die Nutzung der Grasfaserfraktion stehen grundsätzlich zwei Varianten offen:

1. Energetische Verwertung: Der Presskuchen wird als Rohstoff für den Biogasprozess verwendet.
2. Stoffliche Verwertung: Generierung verschiedener Produkte, die die Grasfaser als Rohstoff verwenden (Faserplatte, Dämmstoff, Vliese, Einsatz als Zuschlagstoff in der Kartonherstellung, Begrünungen etc.).

Für die Etablierung einer Pilotanlage wird die energetische Verwertung empfohlen, da in diesem Zusammenhang kein technologisches Risiko besteht und diese unmittelbar umgesetzt werden kann. Die Kombination des Biogasprozesses mit der Saftaufbereitung hat zudem den großen Vorteil, dass alle flüssigen Restströme, welche im Zuge der Produktabscheidung aus dem Presssaft entstehen, ebenso unmittelbar dem Biogasprozess zugeführt werden können (Fraktionen aus der Grobreinigung des Saftes sowie das Retentat der UF etc).

Die Umsetzung stofflicher Faserprodukte auf Basis von Grasfasern, wird als zukünftiges Entwicklungspotential für die Erweiterung der Produktpalette gesehen.

In diesem Zusammenhang wird auf bereits durchgeführte nationale Forschungsaktivitäten zur Entwicklung von Grasfaserprodukten verwiesen (Mandl, Graf, Thaller et al., 2005), sowie auf eine Reihe von internationalen Aktivitäten in diesem Bereich.

BPS Biomass Process Solutions AG (Schweiz): Entwicklung eines zertifizierten Dämmvlieses auf Basis von Grasfasern (www.pbsag.ch).

In den Niederlanden wird der Einsatz von Gras als alternativer Faserrohstoff für den „Pulp & Paper“-Bereich untersucht und entwickelt. Erste Testprodukte wurden auch bereits auf den Markt gebracht.

Die Biowert AG produziert in Brensbach, Deutschland, neben einem Tierfutterprodukt und Biogas auch Grasfasern für den Einsatzbereich Einblasdämmstoffe (AgriCell®) und Grasfaser-Polymergranulate (AgriPlast®) für die Herstellung von faserverstärkten Kunststoffteilen (<http://www.biowert.de/>).

10.5 Biogas

Die Integration von Biogas in das Prozessschema hat wesentliche Vorteile (Supply Chain, Verwertung aller biogenen Beiströme, Integration von Abwärme), die bereits an anderer Stelle dargelegt wurden.

Aus der technischen Perspektive gibt es für die anaerobe Vergärung von Grassilagepresskuchen keine wesentliche Problemstellung, da auch bereits gegenwärtig Grassilage als Rohstoff für die Biogaserzeugung verwendet wird. Allerdings sei in diesem Zusammenhang erwähnt, dass eine Vergärung mit anderen Substraten empfohlen wird bzw. in der Praxis üblich ist, da eine zu hohe Beigabe die Bildung von Schwimmdecken begünstigen kann. In diesem Zusammenhang hat eine Zerkleinerung und mechanische Fraktionierung (Abpressen) des Rohstoffes Grassilage wesentliche zusätzliche Vorteile aus der Sicht des Biogasprozesses.

Da durch das Abpressen der Silage grundsätzlich Inhaltsstoffe in den Saft überführt werden und in Folge für die Abtrennung der Produkte Milchsäure und Aminosäuren verwendet werden, stellt sich die Frage, welches Biogaspotential der in der Grünen Bioraffinerie anfallende Presskuchen aufweist.

Zum Thema Biogasertrag des Presskuchens wurde in Vorarbeiten bereits eine Reihe von Batch-Gärversuchen im Labormaßstab durchgeführt um das Gärverhalten zu quantifizieren. Es wurden für Silagepresskuchen Biogaserträge im Bereich 390-430 l_N/kg oTS beobachtet, die Referenz des unbehandelten Rohstoffes lag bei 460 l_N/kg oTS. Der mittlere Methangehalt lag für Presskuchen und Ausgangssilage im Schwankungsbereich von 59 – 62 %. (Berghold 2007).

In Abbildung 10-2 wurde der relative Biogasertrag dreier Presskuchen im Vergleich zum Referenzwert des Ausgangsrohstoffes dargestellt.

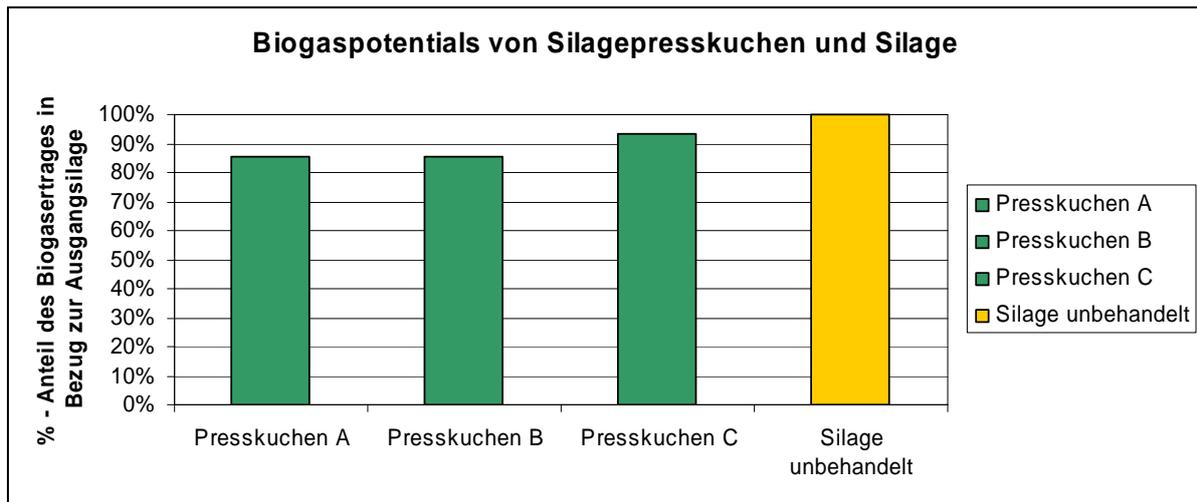


Abbildung 10-2 Vergleich der Biogaserträge von Silagepresskuchen und Ausgangsilage in % Werten des jeweiligen Biogasertrages (I_N /kg oTS)

Es kann daher festgehalten werden, dass der Silagepresskuchen ein gut geeignetes Substrat für die Biogasproduktion darstellt und keine große Reduktion des Biogaspotentials durch die Fraktionierung erfolgt. Dieser Umstand rechtfertigt auch, einen nennenswerten Rohstoffkostenanteil dem Prozess Biogas anzurechnen, sodass dieser maßgebliche Kostenanteil in der Gesamtwirtschaftlichkeit gesplittet werden sollte. Wie im Kapitel Erlöspotential dargestellt, ist ein virtueller Verkauf des Presskuchens an den integrierten Biogasprozess um einen Preis von 40 – 65 €/t TS (bei einem Einkaufspreis von 75 €/t TS für die Silage) ein realistisches Szenario.

11 Beschreibung der Gesamttechnologie der Grünen Bioraffinerie für eine Implementierung einer Pilotanlage

Konkretes Ziel dieses Forschungsprojektes war es, eine konkrete Technologieempfehlung für die Umsetzung einer Pilot- bzw. Demonstrationsanlage zu erstellen.

Die Implementierung der Pilotanlage ist mittlerweile durch ein bereits laufendes Folgeprojekt erfolgt. Die Beschreibung der Technologie wird in zwei Teile gegliedert:

1. Primäre Fraktionierung: Herstellung eines Presssaftes und Presskuchens aus dem Rohstoff Grassilage;
2. Abtrennung der Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren aus der flüssigen Phase.

11.1 Primäre Fraktionierung

Wesentliches Ziel der primären Fraktionierung ist die möglichst gute Überführung der Wertstoffe Milch- und Aminosäuren in eine flüssige Phase. Die bisherige erfolgreich angewandte und optimierte Fest-Flüssig-Trennung erfolgte mittels Schneckenpressen. Die Pressparameter der Fraktionierung mittels Schneckenpresse wurden im **Vorprojekt GBR II „Grüne Bioraffinerie – Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion“** durchgeführt.

Die wesentlichen Ergebnisse werden in diesem Zusammenhang nochmals kurz zusammengefasst.

1. Der Einsatz einer Schneckenpresse ist insbesondere aus dem Blickwinkel des erforderlichen Energiebedarfes im Vergleich zu anderen Fraktionierungstechnologien (z.B. Refiner) sehr interessant.
2. Für eine möglichst gute Überführung der Wertstoffe Aminosäuren und Milchsäure ist eine Doppelpressung zu empfehlen, vor allem betreffend die Maximierung der Aminosäuren.
3. Der TS-Gehalt des Silagerohstoffes sollte nicht zu hoch sein (<30 %). Für die Fraktionierung wird ein TS-Gehalt vor der Pressung von ca. 25 % empfohlen.
4. Ein Auflösen und Zerkleinern der Grassilage vor der Pressung ist für die Optimierung der Produktausbeuten bzw. des TS-Gehaltes des Presskuchens wesentlich.
5. Die relativen Ausbeuten (Recovery) für die Wertstoffe Milchsäure (MS) und Aminosäuren (MS) wurden in folgender Tabelle zusammengefasst. Die relative Ausbeute beschreibt jenen Anteil, des im Rohstoff enthaltenen Wertstoffes, der in den Presssaft überführt werden konnte.

	Relative Ausbeute Milchsäure [%]	Relative Ausbeute Crude Protein [%]
1 Pressung	60 - 80	45 -58
2. Pressung	45 - 75	20 -30
Summe1.+2 Pressung	82 - 95	52 -70

(Quelle: Mandl, Graf, Thaller et al. 2005)

Eine mittlere Ausbeute von ca. 85 % MS und 60 % Crude Protein (bei Silage sind dies Aminosäuren) ist bei einer Doppelpressung von Silage im Saft erzielbar.

6. Die Eingangsanalytik der in den Fraktionierungsversuchen verwendeten Silage (Silorundballen) zeigte eine starke Schwankung der Gärsäuregehalte auf.
7. Eine weitere Optimierung der Pressparameter ist grundsätzlich möglich, sollte allerdings in einem Scale-up der Presse erfolgen.
8. Die Qualitätssicherung des Silagerohstoffes, d.h. das Sicherstellen eines möglichst hohen Milchsäuregehaltes (und niedrigen Gehaltes an anderen organischen Säuren) hat großen Einfluss auf die erzielbare Milchsäuremenge im Saft.
9. Die Optimierung und Sicherung der Silagequalität ist aus der Sicht der Produktausbeute weitaus relevanter als eine weitere Verbesserung der Fraktionierungstechnologie.
10. Ein erzielbarer TS-Gehalt des Silage-Presskuchens im Bereich von 45 bis max. 50 % ist möglich. Darüber hinausgehende TS-Werte erscheinen mit Schneckenpressen nicht umsetzbar. Dieser Entwässerungsgrad ist im großen Maßstab noch zu bestätigen.

Die für die Umsetzung in der Pilotanlage empfohlene Fraktionierungstechnologie ist

- (1) die optimale Auflösung, eventuelle Vorzerkleinerung des Silageballens
- (2) die Einstellung des TS-Gehaltes auf ca. 25 %
- (3) die Fraktionierung mittels Schneckenpresse
- (4) eine Wasserzugabe und nochmaliges Pressen mittels Schneckenpresse
- (5) die Grobreinigung des Saftes mittels Filter
- (6) die Verwendung des Presskuchens als Rohstoff für den Biogasprozess.

Weitere wesentliche Anforderungen sind die stufenlose Drehzahlregelung der Presse sowie der Pressgutzuführung. Ebenso ist die Einstellung des Wassergehalts durch Mischen erforderlich.

11.2 Allgemeine Darstellung der Technologie zur Wertstoffabtrennung aus dem Presssaft

Silagesaft, gewonnen aus der Pressung von siliertem Gras, ist reich an Milchsäure und freien Aminosäuren. Um diese Wertstoffe gewinnen zu können wurde in der Grünen Bioraffinerie eine mehrstufige Prozesskette aufgebaut.

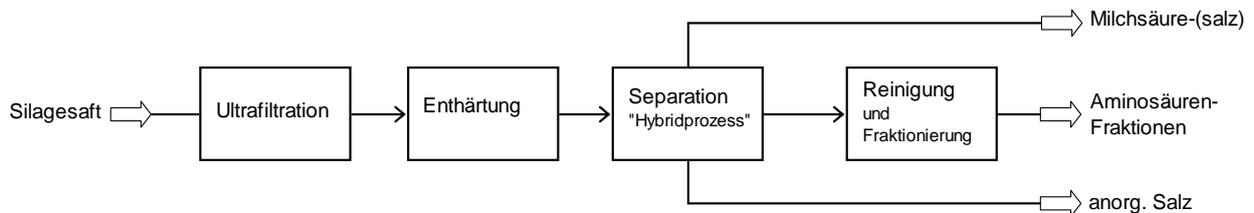


Abbildung 11-1: Mehrstufige Prozesskette

In der **ersten** Stufe werden in einer Ultrafiltration (keramische UF-Membran) grobe Partikel und unlösliche Stoffe abgetrennt.

In der **zweiten** Stufe werden aus dem so gewonnenen Permeat durch Ionentausch die zweiwertigen anorganischen Kationen entfernt, um in den nachfolgenden Prozessstufen bessere Standzeiten zu erreichen. Bei diesem Schritt werden vor allem Kalzium und Magnesium gegen einwertiges Natrium oder Oxonium (H_3O^+) getauscht – „Enthärtung“.

In einer **dritten** Stufe wird das „enthärtete“ Permeat in einem aus Nanofiltration und Elektrodialyse kombinierten Prozess in drei Fraktionen aufgetrennt.

- 1) Salz
- 2) Milchsäure/salz
- 3) Aminosäurefraktion (abgereichertes Permeat)

Das Verfahren zielt auf Abtrennung/Abreicherung von Salz und Milchsäure bei geringst möglichem Aminosäurenverlust. Die Anwendung der einzelnen Trenntechnologien findet bei dem originalen pH-Wert statt – oder anders gesagt: Es kommt zu keinem Chemikalieneinsatz, der die Salzfracht in den Produkt- und Nebenproduktströmen erhöht. Alle Produktströme haben ausschließlich Silageursprung.

In der zweistufigen Nanofiltration findet die erste Trennung zwischen Aminosäuren und Milchsäure statt. Es handelt sich bei diesem Schritt um eine Diafiltration, das heißt in einer zweistufigen Kaskade wird einerseits mit einer Größen ausschließenden Membran (im Nanometerbereich) filtriert und zusätzlich mit Wasser gespült um den Durchsatz der kleineren Komponenten (Milchsäure) zu erhöhen.

Das so mit wesentlichen Anteilen von Milchsäure und einwertigen Ionen versetzte NF-Permeat wird über eine erste Elektrodialyse geleitet, in der es zu einer Abtrennung der

besonders beweglichen Ionen kommt – dies sind bevorzugt Kalium, Chlorid, Ammonium und Nitrat-Ionen.

Danach wird das NF-Permeat in einen zentralen „steady state vessel“ geleitet. Von diesem aus wird, einerseits die Konzentration der Zielkomponenten (Milchsäure-Salz) durch eine Umkehrosmoseanlage erhöht, andererseits durch eine angeschlossene Elektrodialyseanlage das Milchsäuresalz teilweise abgetrennt.

Das mit der Umkehrosmoseanlage gewonnene Wasser wird wieder als Diafiltrationsmedium in der Nanofiltration verwendet.

Durch einen Rückkopplungsfluss vom „steady state vessel“ zur Nanofiltration (erste Stufe) kommt es zu einer Ausbalancierung des Kreislaufes bzw. zur Verhinderung der Akkumulierung von Stoffen die die NF-Membran permeieren, aber durch die Elektrodialyse nicht abgetrennt werden (das sind im Speziellen Xylose, Arabinose, Glycin, Alanin).

Vierte Stufe

Das Retentat der Nanofiltration 2 stellt die aminosäurereiche Fraktion dar. Die Aminosäuren werden aus diesem Teilstrom mit Hilfe eines Ionentauschers gewonnen. Diese Anlage besteht aus mehreren Säulen, von denen jede auch einzeln betrieben werden kann. Die Ionentauschanlage bindet aus dem Retentat sowohl Aminosäuren als auch anorganische Kationen. Mit Hilfe der multiseriellen Ionentauscheranordnung und durch die an die selektiven Bindungseigenschaften der verschiedenen Aminosäuren angepasste Verdrängung (Eluation) mit Ammonium (in Wasser gelöstes Ammoniak) kommt es zur Trennung in Aminosäurefraktion, gekennzeichnet durch unterschiedliche isoelektrische Punkte und Polarität.

11.3 Detaillierte Darstellung der Prozesskette zur Aufbereitung von Grassilagesaft

Silagesaft ist ein komplexes Medium, das seit einiger Zeit als Rohstoff für die Gewinnung von Feinchemikalien gesehen wird. Die Auftrennung der interessanten Stoffgruppen ist daher schwierig.

Im Ausgangsmedium finden sich vor allem zwei Stoffgruppen, die von Interesse sind. Dabei handelt es sich um Aminosäuren und unterschiedliche Carbonsäuren mit 1 bis 5 C-Atomen (vor allem Milchsäure). Hinzu kommt eine erhebliche Salzfracht welche die Trennaufgabe im niedermolekularen Bereich massiv beeinflusst.

Das Medium ist eine Mischung der oben genannten (bedingt) ionischen und/oder amphoteren Bestandteile zusammen mit geringen Konzentrationen von neutralen Komponenten wie z.B. Zuckermonomeren.

Im Silagesaft sind aber auch noch viele gröbere Bestandteile enthalten, die entfernt werden müssen, um das Medium entsprechend bearbeiten zu können. Diese Vorbehandlung des Saftes ist die Aufgabe der Ultrafiltration. Diese ist mit einer keramischen Membran mit einer Trenngrenze von etwa 1000 Dalton ausgestattet. Damit wird der Saft für die weiteren

Verfahrensschritte vorbereitet. Der Vorteil dieser Vorbehandlung ist, dass keine Base zugegeben werden muss, um schwer lösliche Substanzen auszufällen. Die Basenmenge, die zugegeben werden müsste, um störende Substanzen zu entfernen, wäre durch die vorhandene Pufferwirkung des Saftes beträchtlich.

Da die zweiwertigen Ionen Magnesium und Calcium mit der Ultrafiltration nicht entfernt werden, wird der Saft einer Enthärtung unterzogen (Ionentausch an Kationentauscherkolonnen). Die genannten zweiwertigen Ionen werden in diesem Prozess gegen Natrium oder Oxonium (H_3O^+) ausgetauscht. Durch das Entfernen dieser zweiwertigen Ionen fällt eine wichtige Quelle für anorganische Niederschläge in den nachfolgenden Verfahrensschritten weg. Damit kann die Standzeit der Membranen verbessert werden.

Das so erhaltene enthärtete Permeat der Ultrafiltration dient nun als Ausgangsmaterial für den eigentlichen Trennprozess.

Kern des Trennprozesses ist die Elektrodialyse. Mit Hilfe eines elektrischen Feldes werden geladene Komponenten getrennt. Die Problematik dieses Prozesses liegt

- i) bei den Membranstandzeiten (beeinträchtigt durch organische Störstoffe und anorganische Problemsalze → meist Ca-Verbindungen);
- ii) bei Verlusten durch ungewollten Transport von Aminosäuren → Aminosäuren mit zusätzlichem ionischen Rest und damit bedingtem „Ionen“-Zustand;
- iii) im Batch-Betrieb: hier wird ein Großteil der Prozesszeit bei sehr ungünstigen Bedingungen elektrodialysiert. (Konzentrationsverhältnis Milchsäuresalz zu Leitfähigkeit reduzierenden Substanzen wie Zucker/Milchsäure ist sehr ungünstig).

Um diese negativen Prozesseigenschaften zu verhindern bzw. wesentlich abzuschwächen wird die Elektrodialyse (ED2) mit einer Nanofiltration kombiniert. Zusätzlich ist noch eine Umkehrosmoseanlage zur Wasserkreislaufschließung notwendig. Um das im Überschuss vorhandene Salz nicht unnötig mehrmals abzutrennen wird eine zusätzliche Elektrodialyse (ED1) angeschlossen die den bevorzugten Transport von einwertig anorganischen Ionen ausnutzt um sie teilweise separat zu entfernen (durch Abschöpfen).

Aus der Sicht des einzelnen Milchsäuremoleküls – welches bei $\text{pH} = 3,86$ (ursprünglicher Saft-pH) statistisch 50 % als Ion (Anion eines Salz-Ionenpaares) und 50 % als freie Milchsäure (neutrale org. Komponente) vorliegt – muss „es“ zuerst durch eine Nanofiltrationsmembran und danach durch eine Elektrodialyse-Membran wandern. Während bei der NF-Membran der Transport von neutraler freier Milchsäure bevorzugt wird, ist für den Transport durch die Elektrodialysmembran der ionische Zustand notwendig.

Der durchgehende Milchsäuretransport wird prozesstechnisch folgendermaßen realisiert:

Enthärtetes UF-Permeat wird nanofiltrierte bzw. diafiltrierte, um wesentliche Mengen an Milchsäure ins Permeat überzuführen. Hierbei kommt es trotz bevorzugten Transportes der freien Milchsäure zu keiner pH-Wert Absenkung im Permeat, da neben Milchsäure auch noch anorganische Salze (immer als Ionenpaar) permeieren, die auf Permeat- und Retentatseite wieder für ein identisches Verhältnis Milchsäure/Milchsäuresalz sorgen.

Aus dem erhaltenen Permeat wird nun ein Teil des überschüssigen Salzes in der zusätzlichen Elektrodialyse (ED1) abgetrennt und danach in einem zentralen Behälter gesammelt. Von diesem aus wird einerseits eine Umkehrosmoseanlage gespeist um die Konzentrationen bzw. die Leitfähigkeit zu heben (→ höherer Elektrodialysetransport möglich), andererseits wird von diesem zentralen Tank die Elektrodialyse (ED2) gespeist, in der Milchsäuresalz abgetrennt wird. Es stellt sich dabei ein kontinuierlicher Betriebszustand ein („steady state“), bei dem ein für die Elektrodialyse optimiertes Verhältnis zwischen transportabler Milchsäure und Störsubstanzen eingestellt ist. Um diesen „steady state“ Zustand bewusst zu beeinflussen, wird ein Teil vom zentralen Tank („steady state vessel“) zum Nanofiltrationsanfang zurückgeleitet. Zusätzlich wird durch den regelbaren Umkehrosmosefluss (Druck geregelt) die Konzentration angepasst.

Um zum einzelnen Milchsäuremolekül zurückzukommen: Nachdem „es“ mit 50 % Wahrscheinlichkeit die erste NF-Membran als freie Milchsäure permeiert hat, und danach wieder ein Kation als Partner gefunden hat, wird es mit ca. 80 % Wahrscheinlichkeit in der Elektrodialyse 2 als Salz abgetrennt und landet im Produkt „Milchsäuresalz“. Jenes einzelne Milchsäuremolekül das nicht elektrodialytisch abgetrennt wird, kommt zurück zur NF und bekommt eine zweite und dritte Abtrennchance in den zwei Nanofiltrationsstufen. Jenes Milchsäuremolekül, das beide Nanofiltrationsmembranen auf der Retentatseite durchläuft, verbleibt in der Aminosäurefraktion.

Das Retentat der zweiten Nanofiltration enthält im Wesentlichen alle freien Aminosäuren, neutrale Bestandteile wie Zuckermonomere und nicht abgetrennte Anteile von Salz und organische Säuren. Dieses abgereicherte Permeat – die „Aminosäurefraktion“ – wird aus dem Prozess ausgeschleust und der Gewinnung der Aminosäuren zugeführt. Das Permeat der Umkehrosmose wird als NF-Diafiltrationswasser wieder dem Prozess zugeführt. Dadurch wird das gesamte Prozesswassers in einem Kreislauf geführt, was den Wasserverbrauch des Trennprozesses gegen Null minimiert. Vorteil dieses Verfahrens ist der hohe Anteil an freien Aminosäuren (im Gegensatz zu anderen Proteinprodukten) im abgereicherten Produkt. Die gewonnene Aminosäurefraktion enthält im Gegensatz zu Proteinhydrolysaten, welche durch Säureaufschluss gewonnen werden, das komplette Aminosäurespektrum, auch L-Tryptophan und L-Methionin. Die bei der Regeneration der Trennharze anfallenden Salzströme sind hingegen nur bedingt verwendbar.

Für die Effizienz der Prozesskette bzw. Abtrennung der Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren sind folgende Faktoren maßgebend:

- Für alle Prozessschritte sind möglichst hohe Standzeiten anzustreben.
- Die Milchsäuretrennung in der Elektrodialyse soll bei hohen spezifischen Transferraten erfolgen.
- Die Milchsäure-Gesamtausbeute ist zwar relevant aber primär von Interesse ist die Ausbeute pro NF-Stufe sowie die minimale Milchsäurekonzentration die in der NF-Diafiltration noch sinnvoll ist.

-
- Die Abtrennung bzw. Rückhalt der Aminosäuren in der Chromatographieanlage sowie die Zusammensetzung der gewonnenen Aminosäuremischungen wird wesentlich durch das verwendete Trennharz bestimmt. In diesem Zusammenhang besteht noch Optimierungspotential, da mit dem gegenwärtigen Technologiestand Aminosäuremischungen und keine einzelnen Aminosäuren abgetrennt werden.
 - Vermeiden von Verlusten an Aminosäuren entlang der Prozesskette.

11.4 Charakteristik des Hybridprozess (Kombination NF/ED) zur Abtrennung von Milch- und Aminosäuren

Für die Demonstrationsanlage der Grünen Bioraffinerie in Utzenaich wird eine Fraktionierung des Silagesaftes durch eine Nanofiltration in Kombination mit Elektrodialyse empfohlen. Diese Fraktionierung könnte auch durch andere Prozesstechniken durchgeführt werden. Um die Vorteile des Hybridprozesses aufzuzeigen, wird dieser mit alternativen Technologien kurz verglichen und es sind die jeweiligen Vor- und Nachteile dargestellt. Konkret geht es dabei um folgende Techniken:

- (1) Elektrodialyse
- (2) Ionenausschluss-Chromatographie
- (3) Chromatographie und Ionenaustausch
- (4) Nanofiltration.

Elektrodialyse

Mit dieser Fraktionierungsmethode können Lactat und anorganische Salze von geladenen Aminosäuren (Asparaginsäure, Glutaminsäure, Lysin, Arginin) und neutralen Verbindungen abgetrennt werden. Die Entsalzung per Elektrodialyse lässt sich in zwei Phasen teilen. In einer relativ kurzen Anfangsphase (Phase I) gelingt es, effizient einwertige anorganische Ionen und einen Teil des Kaliumlactates abzutrennen. Zu einer Abtrennung von 90 % der Milchsäure ist aber eine vielfach längere und ineffizientere Elektrodialysephase (Phase II) notwendig. Neben dem Mehraufwand in Form von Energie und größeren Investitionen (bedingt durch größere Elektrodialysemembranflächen) kommt es bei Phase II auch zu vermehrten Verlusten des Wertstoffes Aminosäuren (insbesondere der geladenen – Asparaginsäure, Glutaminsäure, Lysin – und der kleinen Aminosäuren – Glycin und Alanin). Generell muss darauf hingewiesen werden, dass die elektrodialytische Abtrennung von Salz aus einem Gemisch mit hohen Konzentrationen von Nichtelektrolyten (wie bei Silagesaft) einen deutlich höheren Energieaufwand bedarf als die Abtrennung des selben Salzes aus einem Gemisch ohne Begleitsubstanzen (wie es bei Milchsäure-Fermentationsmaischen der Fall ist).

Ionenausschluss-Chromatographie (IXC)

Bei dieser Methode werden mit Kalium beladene Ionentauscher des Geltyps als Fraktionierungsschritt von Elektrolyten und Nichtelektrolyten eingesetzt. Im Gegensatz zu

den Fraktionierungsschritten über Membranen (NF, ED) wird hier eine komplett entsalzte Fraktion erhalten. Diese Fraktion besteht hauptsächlich aus Aminosäuren und Zuckern. Der Nachteil der IC liegt in der ungewollten Abtrennung einzelner Aminosäuren durch Vorbehandlungsschritte und/oder dem IXC-Prozess. Es ist zu erwarten, dass Lysin und Arginin beim vorbereitenden Ionenaustauscherschritt zur Entfernung von zweiwertigen Kationen (Ca, Mg) mit abgetrennt werden. Hinsichtlich der Auftrennung in einzelne Aminosäuren wäre das vielleicht ein Vorteil, aber für die Gewinnung eines kompletten Aminosäuregemisches ist dies ein Nachteil. Die sauren Aminosäuren Asparaginsäure und Glutaminsäure werden bei der IC mit der Elektrolytfraktion (Lactat, anorganische Salze) abgetrennt. Um schlussendlich eine reine Aminosäurefraktion zu bekommen, ist eine Trennung zwischen Zuckern und Aminosäuren notwendig.

Andere chromatographische Methoden

Auch andere chromatographische Methoden können sehr gute Trennleistungen erbringen. Je nach eingesetzter stationärer Phase können unterschiedliche Wechselwirkungen zum Tragen kommen. Mit einem hydrophoben Harz kann Milchsäure durchaus aus komplexen Gemischen getrennt werden. Bei Anwendung der Technologie auf Silagesaft kommt es zwar zur Trennung zwischen Salz und Milchsäure aber zur endgültigen Fraktionierung Milchsäure/Aminosäuren müssten nochmals Fraktionierungstechnologien angewandt werden. So ist zum Beispiel ein wesentlicher Teil der Aminosäuren in der Salzfraktion und um diese Aminosäuren zu gewinnen müsste nochmals die gesamte Salzfracht in einem Zusatzverfahren (Ionentausch?) abgetrennt werden. Ähnliches gilt für die Milchsäurefraktion (Milchsäure und Aminosäuren).

Auch bei der Ionentausch-Chromatographie muss der Silagesaft vorbehandelt werden, um Probleme bei der Trennung zu vermeiden. Hier müssen vor allem positiv geladene Ionen entfernt werden. Andererseits können chromatographische Verfahren einen sehr wertvollen Beitrag bei der Isolierung und Reinigung der Aminosäuren leisten. Voraussetzung dafür ist aber eine vorhergehende weitreichende Salzabreicherung da sonst nicht akzeptable Abwasserströme entstehen.

Nanofiltration (NF)

Wie bei der Elektrodialyse ist eine Abtrennung von Milchsäure bzw. Lactat über 80 % nur mit erhöhtem Aufwand (mehrstufige Diafiltration) möglich. Ebenso gibt es Verluste an Aminosäuren insbesondere Glycin und Alanin. Der Vorteil gegenüber der Elektrodialyse liegt in der einfacheren Vorbehandlung. Statt einer Phosphatfällung wird hier eine einfache Ultrafiltration durchgeführt. Es wird also keine Base (KOH bei ED) zur Erreichung der 100 %igen Dissoziation der Milchsäure verwendet. Vielmehr funktioniert der Milchsäure- und Lactattransfer im Sauren bzw. leicht Sauren (pH 4) ausgezeichnet. Für eine Konvertierung des Milchsäure-Lactat-Gemisches zur Verbesserung der Ausbeute (Permeatfraktion) müsste der pH-Wert nur von 4 auf 2 abgesenkt werden, während Elektrodialysekonzentrat von pH 7 bis 8 auf pH 2 abgesenkt werden muss. Der Nachteil der NF als Fraktionierungsschritt liegt in der starken Verdünnung der Permeatfraktion (Milchsäure, Lactat, einwertige anorganische Salze) und den Aminosäureverlusten.

11.5 Empfohlene Prozessverschaltung für die Pilot-/ Demonstrationsanlage

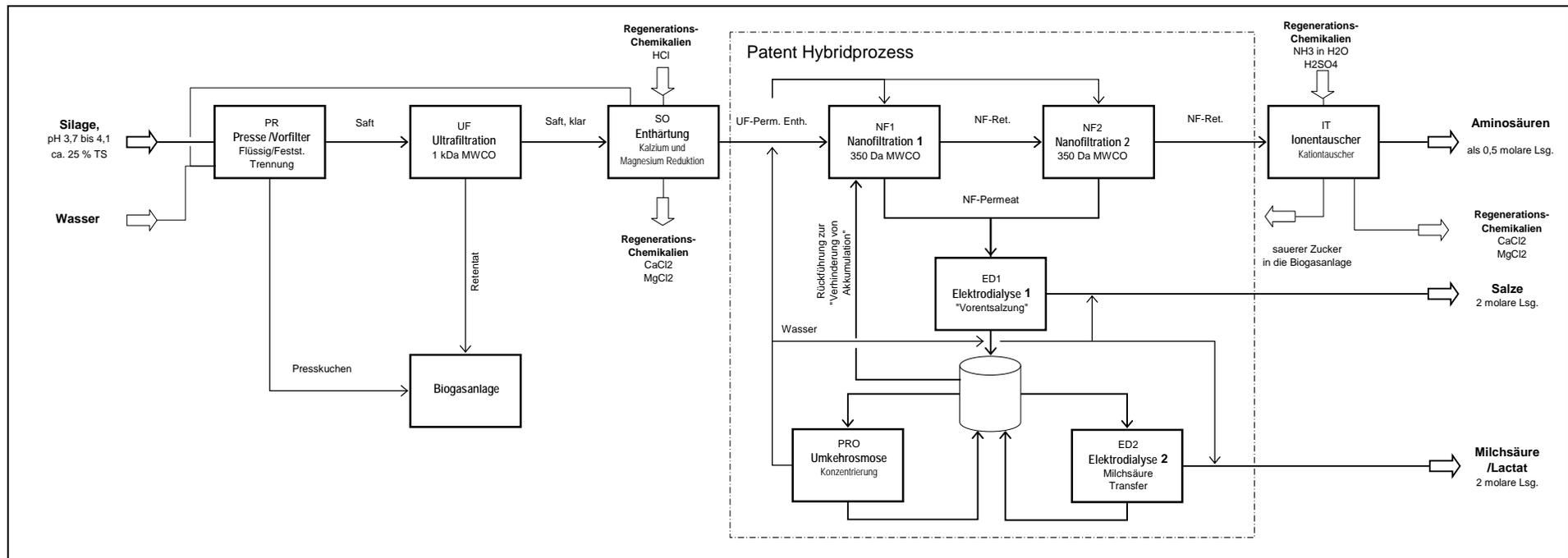
Aus den Vor- und Nachteilen der diskutierten Separierungsmethoden und aus wirtschaftlicher Notwendigkeit einer maximalen Aminosäureausbeute ergeben sich für die Grüne Bioraffinerien folgende Prozesstechnologien, welche in der nachstehenden tabellarischen Aufstellung zusammengefasst sind.

Tabelle 11-1: Prozesstechnologien der Silagesaftaufbereitung zur Abtrennung von Milchsäure und Aminosäurengemischen

UF Ultrafiltration	Die Ultrafiltration führt eine relativ einfache Saftvorbehandlung durch.
Enthärtung	Der nachfolgende Schritt der Entfernung der zweiwertigen Ionen ist ein vorgezogener Schritt der chromatographischen Reinigung und Aufkonzentrierung der Aminosäuren.
NF Nanofiltration	Der vorbehandelte Saft wird mittels Nanofiltration fraktioniert, was den Vorteil hat, dass ein vollständiges Aminosäurespektrum erhalten wird.
RO Umkehrosmose	Zur Konzentrationssteigerung der Milchsäure des NF-Permeats wird eine Umkehrosmose angewandt, welche in einen Ausgleichsbehälter (steady state vessel) eingebunden ist.
ED Elektrodialyse	Das Permeat der Nanofiltration ist nun soweit gereinigt, dass die nachfolgenden Elektrodialyseanlagen relativ gut arbeiten können. Da auf diese Art das Diluat der Elektrodialyse in einem Kreislauf gefahren wird, geht nach dem Schritt der Nanofiltration kaum Milchsäure verloren.
IXC Ionenausschluss- Chromatographie	Die Isolierung und Reinigung der Aminosäuren erfolgt mit Hilfe eines Kationentauschers. Durch vorhergehende Abreicherung des Salzes bzw. minimierte Zugabe von pH-Korrekturchemikalien ist der ursprüngliche Nachteil dieses Verfahrens (enorme Säure und Basenmengen für die Regeneration) minimiert und für die Endreinigung eines hochwertigen Produktes (Aminosäuren) akzeptabel.

Die genaue Verschaltung der Einzeltechnologien sowie die Kreislaufführung des Hybridprozesses sind in folgendem Prozessschema dargestellt.

Abbildung 11-2: Darstellung der vorgeschlagenen Prozessabfolge für eine Pilotanlage zur Abtrennung von Milch- und Aminosäuren



12 Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie Fabrik der Zukunft

12.1 Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie

Das gegenständliche Projekt liefert zu mehreren Zielen der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ wichtige Beiträge:

- (1) Die Grüne Bioraffinerie entspricht in idealtypischer Weise einer vollständig auf Basis nachwachsender Rohstoffe ausgerichteten innovativen Verfahrenstechnik.
- (2) Anhand der entwickelten Prozesskette wird es möglich sein, zukunftsweisende Schlüssel-Zwischenprodukte wie Milchsäure und Aminosäuren, die bereits jetzt jeweils über ein großes Marktpotential verfügen, in vermarktungsfähige Qualitäten abzutrennen.
- (3) Die Bioraffinerie steht für die Nutzung eines nachwachsenden Rohstoffes zur Produktion mehrerer Produkte mittels einer Nutzungskaskade. Diese Kombination einer nachhaltigen stofflichen und energetischen Verwertung einer Ressource in einer Bioraffinerie kann als wichtiges Beispiele für Fabriken der Zukunft gesehen werden.
- (4) Seit Beginn der Technologieentwicklung zur Grünen Bioraffinerie wurde das Ziel verfolgt, ein möglichst flexibles Technologiekonzept zu entwickeln. Das Verfahren soll an spezielle regionale Bedürfnisse anpassbar sein: „regional embedded technology“ als Grundlage für eine nachhaltige, umweltschonende, sozial verträgliche Wertschöpfungskette im konkreten regionalen Kontext.
- (5) Die Implementierung der Grünen Bioraffinerie sollte der Landwirtschaft eine konkrete Alternative zur Milchproduktion bieten, welche die zukünftige Bewirtschaftung bestehender Grünlandflächen absichert und somit einen wertvollen Beitrag zur nachhaltigen regionalen Landnutzung liefert.
- (6) Die Akteure der Grünen Bioraffinerie hatten von Beginn an den Ehrgeiz, die Wirtschaftlichkeit dieses Technologiekonzeptes unter Beweis zu stellen. Die Errichtung und der Betrieb einer Pilotanlage waren von Beginn an klares Ziel der Forschungsinitiative.
- (7) Das Projektbündel Grüne Bioraffinerie hat sich innerhalb der Programmlinie als Leuchtturmprojekt etabliert, welches nicht nur auf nationaler Ebene sondern auch in internationalem Umfeld wahrgenommen wird.

12.2 Beitrag zu den sieben Leitlinien nachhaltiger Technologieentwicklung

Das vorliegende Projekt liefert zu den sieben Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung folgende Beiträge:

(1) Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung

Durch die Nutzung von Grassilage im Rahmen einer Grünen Bioraffinerie ergeben sich positive Aspekte. Grünland als wesentlicher Bestandteil unserer Kulturlandschaft trägt dazu bei, dass die Flächen offen bleiben und die Umwelt geschützt wird (Grundwasser, Erosionsschutz, etc.). Nachdem die Nutzung von Grünland durch die Umstrukturierungen der Landwirtschaft gefährdet ist, springt die Grüne Bioraffinerie als Alternative ein und ermöglicht so die Aufrechterhaltung des Servicesystems Grünland (nach dem Prinzip "Functions and Services of Nature"). Durch die Konzentration der Österreichischen Grünen Bioraffinerie auf Silage wird sichergestellt, dass existierende dezentrale Strukturen genutzt werden können. Die entstehenden Produkte sollen darauf aufbauend neuen Nutzen für KonsumentInnen und Umwelt generieren. Als Beispiele seien hier angeführt: Ersatz von petrochemischen Erzeugnissen durch biobasierte Produkte, bessere Funktionalität und Verwertbarkeit.

(2) Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen

Die Österreichische Grüne Bioraffinerie ist ausschließlich auf die Nutzung von Grünlandbiomasse (Grassilage) abgestellt. Durch die Etablierung derartiger Systeme könnte Grünlandbiomasse zum zweitwichtigsten nachwachsenden Rohstoff (hinter Holz) im Non-Food-Sektor werden. Auch bei der Prozessentwicklung wurde und wird darauf geachtet, dass lediglich umweltfreundliche oder nachwachsende Ressourcen als Hilfsstoffe zum Einsatz kommen.

(3) Effizienzprinzip

Durch die intelligente Kombination von dezentralen und zentralen Elementen wird durch die Grüne Bioraffinerie die Effizienz der Verarbeitung von nachwachsenden Rohstoffen wesentlich erhöht. Dies drückt sich beispielsweise in der Errichtung einer nachhaltigen „Supply-chain“ aus, die die Grundlage für mehrere Produkte ist. Konkret initiiert die Grüne Bioraffinerie eine optimale und auf Qualität ausgerichtete Rohstoffkette samt Logistik, die die Bereiche Landwirtschaft und Industrie vernetzt. Die gesamte Prozesskette kann so effektiv optimiert werden. Dies gilt auch für die Verwertung der biogenen Reststoffe in einer Biogasanlage. Damit ist es möglich, die wesentlichen Prozesseinheiten durch erneuerbare Energieträger zu betreiben.

(4) Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit

Die Technologieentwicklung ist geprägt durch den Einsatz moderner Verfahren und die Verwertung der gesamten Produktströme. Durch den Einsatz von Membran- und Chromatographieverfahren ist sichergestellt, dass Hilfsstoffe über viele Zyklen im Kreislauf geführt werden können. Durch den Einsatz von Biogasanlagen für die Verwertung der Restströme

wird "überschüssiges" biogenes Material als Dünger (Biogasgülle) im Grünland verwendet. Dieser Zyklus garantiert eine Kreislaufwirtschaft wichtiger Nährstoffe und Spurenelemente und bildet die Basis einer nachhaltigen Landnutzung.

(5) Prinzip der Einpassung, Flexibilität, Adaptionsfähigkeit und Lernfähigkeit

Durch die Kombination von dezentralen und zentralen Strukturen bzw. Verarbeitungsprozessen bei der Errichtung von Bioraffineriesystemen wird ein Maximum an Flexibilität angestrebt (Anpassung von Technologie an eine Region) Die nachhaltige „Supply-chain“, die eine Kooperation von Landwirtschaft und Industrie darstellt, kann nur funktionieren, wenn sie sich durch eine gemeinsame Herangehensweise den Anforderungen des Marktes stellt bzw. in Zukunft anpasst.

(6) Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge

Durch den Einsatz von ausschließlich nachhaltigen Technologien z.B. Chromatographie mit Wasser als Elutionsmittel, Erzeugung von Silagen mit TM Gehalten >28 % (kein Sickerwasser) wird bereits durch die moderne Technologie eine Risikovorsorge getroffen. Auf "End-of-pipe"-Technologien (z.B. Rauchgaswäsche, Kläranlage, etc.) kann verzichtet werden. Durch den Einsatz von Biogasanlagen, die generell als risikoarm gelten, ist auch sichergestellt, dass durch die Energieversorgung keine Risiken bzw. Umweltbelastungen zu erwarten sind. Die Fehlertoleranz in modernen Produktionsbetrieben ist in Europa durch die geforderte hohe Produktqualität und Kosteneffizienz gering. Die Fehlertoleranz aus Sicht des Umweltschutzes kann bei der Grünen Bioraffinerie als hoch angesehen werden, da bioabbaubare Rohstoffe verwendet werden.

(7) Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität

Durch die Umstrukturierung der Landwirtschaft ergibt sich die Notwendigkeit, neue Einkommensquellen für unsere Bauern zu generieren. Durch die Grüne Bioraffinerie verdienen die Landwirte nicht nur an den Rohstoffen, sondern können eventuell auch die Herstellung von benötigten Zwischenprodukten (z.B. Silagesaft) übernehmen. Jedenfalls ist die Übernahme der gesamten Versorgungskette (Anbau – Ernte – Silierung – Lagerung – Transport) für Landwirte ein interessantes Betätigungsfeld, welches auf lange Sicht ein stabiles und kalkulierbares Verdienstszenario eröffnen kann. Durch die Implementierung von Bioraffinerien entstehen bei der Abtrennungskaskade von Milchsäure und Aminosäuren auch in den ländlichen Regionen qualifizierte Beschäftigungsmöglichkeiten (im Bereich Biotechnologie, Lebensmittel und Chemieprodukte). Dies bringt eine strategische Aufwertung der ländlichen Region mit sich, da hoch qualifiziertes Personal abseits der Ballungszentren einen Arbeitsplatz finden kann.

12.3 Einbeziehung der Zielgruppen und deren potentieller Nutzen

Die Technologieentwicklung der Grünen Bioraffinerie wurde in Österreich weder im klassischen „Bottom-up“- noch im „Top-down“-Stil erarbeitet. Stattdessen wurde durch die Entwicklung eine neuartige Form der Kooperation zwischen Landwirtschaft und Wirtschaft etabliert, die im Wesentlichen durch Partner aus dem Bereich der Forschung und Entwicklung initiiert und in der Folge vorangetrieben wurde.

Im Zuge der Technologieentwicklung wurde von den Forschungspartnern eine essentielle Vermittlungsrolle übernommen, die das Konzept der Grünen Bioraffinerie in verständlicher Weise an Vertreter der Landwirtschaft und der Industrie herantrug. Im Schulterschluss konnten dann gemeinsam durch die Unterstützung der Programmlinie *Fabrik der Zukunft* die allgemeinen Interessen zu konkreten Projektvorhaben weiterentwickelt werden.

Dabei wurden folgende grundlegende Motivationen der Zielgruppen einbezogen:

(1) Landwirtschaftliche Betriebe

Diese konnten bereits zu Beginn der wissenschaftlichen Arbeiten zur Mitarbeit motiviert werden. Wesentlich dafür war die *regionale Präsenz* der beteiligten Forschungsinstitute. Landwirte erwarten sich durch ihr Engagement neue sinnvolle Nutzungsmöglichkeiten für frei werdende Flächen und damit einen Beitrag zur Existenzsicherung.

(2) Industriebetriebe

Entscheidend dafür, dass Wirtschaftsbetriebe zur Mitarbeit an Forschungsprojekten gewonnen werden können, ist die Vorlage plausibler Prognosen hinsichtlich der technologischen und vor allem der ökonomischen Machbarkeit des Technologieansatzes. Mit anderen Worten: Industriebetriebe sind nur dann „mit an Bord“, wenn diese sich aus ihrem Engagement – zumindest mittelfristig – wirtschaftliche Vorteile erwarten können, z.B. Erschließung neuer gewinnträchtiger Produktgruppen.

In den Forschungsprojekten der Grünen Bioraffinerie wurden meist allgemeine technologische Problemstellungen im Zusammenhang mit der Prozesskette mit speziellen Untersuchungen in ausgewählten Anwendungsbereichen kombiniert, um eine ausgewogene Balance an Akteuren bzw. Interessen zu erzielen.

Konkreter Nutzen der beiden Zielgruppen

Neben der Aufrechterhaltung der Grünlandwirtschaft und den positiven Implikationen für die österreichische Kulturlandschaft sind zwei wesentliche Aspekte von besonderer Relevanz:

Die Landwirte erwarten eine sinnvolle Nutzung frei werdender Flächen, die wenigstens zu einem Teil zu ihrer Existenzsicherung beitragen muss. Hier profitieren die Landwirte durch Zusatzverdienste im Bereich der Veredelung (Fraktionierung, Biogasanlagen, etc.).

Der Nutzen für österreichische Unternehmen liegt in der mittelfristigen Chance auf Technologieexport im Bereich Anlagen zur Milchsäure- und Aminosäurenabtrennung aus Silagen. Der Markt dieses Segments ist nicht zu unterschätzen. Für die Betreiber von

Grünen Bioraffinerien wird durch die Errichtung von "Multi-product"-Systemen hohe Wertschöpfung durch mögliche Koppelproduktionen und Produktflexibilität erreicht.

Der Nutzen für die (Land-) Wirtschaft liegt außerdem in der Erforschung neuer nachhaltiger Produktionsverfahren und der damit verbundenen Positionierung (Image).

Der volkswirtschaftliche Nutzen im Bereich der Grünen Bioraffinerie wird vor allem in der Erhaltung einer abwechslungsreichen Flur- bzw. Kulturlandschaft gesehen, welche in vielen Regionen die Grundlage für sehr erfolgreichen Tourismus ist.

12.4 Beschreibung des Umsetzungspotentials und Wirtschaftlichkeit

Die gesamte Technologieentwicklung der Grünen Bioraffinerie ist von Beginn an auf die Umsetzung und Implementierung ausgerichtet. Die Fokussierung der Prozesskette auf die Schlüsselprodukte

- Aminosäuren (high grade)
- Milchsäure und
- Biogas (Strom/ Wärme)

wurde aufgrund wirtschaftlicher Argumente und Abwägungen getroffen. Einerseits verfügen diese Produkte bereits über einen globalen Markt, andererseits sind deutliche Wachstumsprognosen für diese Segmente zu erwarten. Die Biogasschiene ist vor allem aus der Sicht der existierenden Ökostromtarife in Österreich interessant.

Das Umsetzungspotential der beschriebenen Technologie wird primär durch die „Konkurrenzfähigkeit“ der in einer Bioraffinerie erzeugten Produkte (Qualitäten) am gegenwärtigen Markt gesehen.

Milchsäure

Der Markt für Milchsäure (und etwaiger darauf basierender Folgeprodukte) wird für die Implementierung der Technologie im industriellen Maßstab ausreichend groß klassifiziert. Die Kernaufgabe ist die Realisierung einer Milchsäure (mindestens in Lebensmittelqualität > 95 % Reinheit) in einem Preisrahmen von 1,0 – 1,2 €/kg.

Für Milchsäure wird in Zukunft ein Preisverfall erwartet, da wesentliche Kostenvorteile durch die Nutzung alternativer billiger Zuckerquellen (z.B. brasilianischer Zucker) oder die Adaption der Milchsäuregärung auf Hydrolysate von Zellulose erwartet wird. Ein Preisverfall auf ca. 50-6 % des gegenwärtigen Preises scheint auf Basis von Expertenmeinungen nicht unrealistisch.

Aminosäuren

Auf Grund der gegenwärtigen Ergebnisse ist die Separation einzelner Aminosäuren aus dem Silagesaft nicht realistisch. Jedenfalls wird von der Machbarkeit einer vermarktbaren

Aminosäurenmischung ausgegangen, welche im „High-grade“-Anwendungsbereich z.B. Body Care, Kosmetik oder Nahrungsergänzung, Einsatz finden könnte.

Die konkreten Erlöspotentiale hängen jedoch von der erzielbaren Qualitätsstufe und insbesondere von der Aminosäurezusammensetzung dieser abtrennbaren Aminosäurenmischung ab. Erlöse von 2,5 – 5 €/kg Aminosäureprodukt sind vertretbare Erlösannahmen.

Für beide Schlüsselprodukte gilt allerdings, dass der konkrete Nachweis der technischen Machbarkeit (Prozessstabilität, Erreichung der erforderlichen Qualitätsstufe) der vorgeschlagenen Prozesstechnologie in einem Scale-up im Pilotmaßstab zu erbringen wäre.

Energetische Verwertung des Presskuchens und andere flüssiger Testströme mittels anaerober Vergärung – Biogas

Integraler Bestandteil der in Österreich entwickelten Technologie der Grünen Bioraffinerie ist die Biogastechnologie. Diese wird als „End-of-pipe“-Technologie für die energetische Verwertung des Presskuchens sowie aller entlang der Verarbeitungskette anfallenden flüssigen Reststoffe eingesetzt (z.B. Rückstände der Saftvorreinigung, Retentat des UF-Prozesses, Flüssigkeitsmengen, die beim Spülen oder Regenerieren der Anlagenteile entstehen).

Der Biogasprozess wird im ersten Schritt der Umsetzung alternativen Faserverwertungsschienen vorgezogen, da diese Technologie als „State-of-the-art“ gilt und bereits seit Jahrzehnten erfolgreich implementiert ist. Zusätzlich ergibt sich damit auch ein strategischer Vorteil, da bestehende Biogasanlagen durch ein Nachrüsten zu Bioraffinerien umgerüstet werden könnten. Aufgrund der vorgeschlagenen Technologiekombination kann auch der Prozess der Grünen Bioraffinerie als innovative Vorbehandlung gesehen werden, die wirtschaftliche Verbesserungen für den Biogasprozess generiert. Einer dieser „added values“ ist eine mechanische Vorzerkleinerung des Rohstoffs durch das Pressen bzw. die Möglichkeit, Abwärme des BHKW für die Bioraffinerie bereitzustellen.

Für die Grüne Bioraffinerie bietet die Kooperation mit bestehenden Biogasanlagen ebenso den Vorteil, die Rohstoffversorgungskette inklusive Zwischenlagerung der Silage auszulagern.

Bei der Aufstellung der Kosten und Erlöse sowie bei der Zuordnung derselben auf den Biogasprozess bzw. den eigentlichen Bioraffinerieschritt (Gewinnung des Silagesaftes sowie der Abtrennung der Milch- und Aminosäure) entsteht unmittelbar der Konflikt der adäquaten Zuteilung von Kosten und Erlösen. Dies ist im Wesentlichen ein interner Verteilungsschlüssel, der die Umlagerung etwaiger Erlöse beispielsweise aus dem einen Produkt auf eine andere Produktgruppe (z.B. Milchsäure oder Biogas) umschichtet.

Da aber das zukünftige Umsetzen von Grünen Bioraffinerien bereits jetzt als kooperatives Anliegen zwischen Akteuren der Segmente Biogas, Chemierohstoff und Lebensmittel gesehen wird, wird der Versuch unternommen, ein differenziertes Bild zumindest betreffend Biogas und Koppelprodukte zu generieren.

12.4.1 Spezifisches Erlöspotential der Grünen Bioraffinerie

Folgend wird anhand prognostizierter Ausbeuten und Produktpreise ein minimales bzw. maximales Erlösszenario pro Rohstoffeinheit entwickelt.

Aus Gründen der Vereinfachung wird der Erlös aus dem Bereich Biogas als Verkaufserlös des Presskuchens an eine Biogasanlage einbezogen. Experimentelle Untersuchungen des Biogaspotentials des Presskuchens haben ergeben, dass das Biogaspotential des Presskuchens im Bereich von 70 – 75 % des Vergleichswertes für Rohsilage liegt.

Die *Tabelle 12-1* enthält verschiedene Szenarien, die wie folgt beschrieben werden können. Es wurden erzielbare Produktausbeuten und erzielbare Produkterlöse (Preise) mit Min- und Max- Ansätzen konkretisiert. Aus der systematischen Variation dieser Inputdaten ergeben sich Szenarien, z.B. minimale Ausbeute/ maximaler Preis (Min_A/Max_P) etc., für die ein spezifisches Erlöspotential (€/t TS Input) errechnet wurde.

Diese Erlöse wurde in einem weiteren Schritt um die Rohstoffkosten bereinigt (Min/Max), um einen resultierenden Betrag zu erhalten, welcher für die Durchführung der Separationsschritte (inklusive der dafür notwendigen AFA) zur Verfügung steht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die spezifischen Erlöspotentiale der „mittleren“ Szenarien (Min Ausbeute / Max Preis sowie Max Ausbeute / Min Preis) ähnliche Ergebnisse generieren. Dies bedeutet, dass zwei wesentliche Steuerungsmechanismen einen ähnlichen Hebel im Erlöspotential haben. So könnte bei geringer Qualität des abgetrennten Produktes eine Optimierung der Silage sowie der Abtrennungsrates den gleichen Erlös bringen wie eine hohe Produktqualität bei geringer Ausbeute (z.B. geringe Milchsäurekonzentration in der Silage). Dieser Sachverhalt ist insofern interessant, dass nicht zwingend hohe Produktqualitäten für mittlere Erlössituationen erforderlich sind.

Natürlich stellt das Szenario *maximale Ausbeute bei maximaler Qualität* (Max_A/Max_P) die betriebswirtschaftlich interessanteste Option dar. Interessant ist allerdings, dass sich bei dieser Variante das Erlöspotential im Vergleich zu den mittleren Szenarien mehr als verdoppelt.

Aus der Sicht der präsentierten Daten ist die Umsetzung für das Min/Min-Szenario nicht zu empfehlen. Ebenso wird für die Variante Max/Max eine klare Umsetzungsempfehlung ausgesprochen, da ein spezifischer Betrag von ca. 620 €/t TS Silage Input jedenfalls ausreichen sollte, durchaus einen komplexen Separationsprozess zu betreiben bzw. zu errichten.

Für eine Umsetzungsempfehlung für die beiden Varianten Max/Min bzw. Min/Max ist eine differenziertere Untersuchung empfehlenswert.

Der angeführte resultierende Betrag für die Bioraffinerie muss alle entlang der Verarbeitungskette anfallenden Kosten inklusive der Anteile für die Errichtungskosten abdecken.

Der Nachweis, dass die präsentierte komplexe Prozesskette für die Produktabscheidung betriebswirtschaftlich umgesetzt werden kann, kann nur über eine Pilotanlage erfolgen.

In der *Tabelle 12-1* wurde auch ein *spezifischer Betrag für die Errichtung und den Betrieb einer Bioraffinerieanlage pro abgetrenntes Produkt* errechnet. Bei diesem Vergleich ist die Variante „geringe Ausbeute bei maximalem Preis“ deutlich überlegen. Dies ist ein deutliches Indiz, dass der Fokus auf Produktqualität eine größere Flexibilität in der Wirtschaftlichkeit bringt.

Tabelle 12-1: Spezifische Produktausbeute und Erlössituationen verschiedener Szenarien

Produkt / Ressource	Ausbeuten_A kg/ tTS Silage input		Preise_P €/kg	
	Min _A	Max _A	Min _P	Max _P
Aminosäuremischung	50,0	100,0	2,50	5,00
Milchsäureprodukt	50,0	130,0	0,60	1,10
Presskuchen	900,0	800,0	0,040	0,065
Rohstoffpreis			0,050	0,075
Summe abetrennte Produkte (AA, MA)	100,0	230,0		

Erlösmatrix [€ TS]	[€t TS Silage input]			
	Min _A / Min _P	Min _A / Max _P	Max _A / Min _P	Max _A / Max _P
Szenarien				
Aminosäuremischung	125,0	250,0	250,00	500,00
Milchsäureprodukt	30,0	55,0	78,00	143,00
Presskuchen	36,0	58,5	32,00	52,00
Summe Erlös	191,0	363,5	360,0	695,0

resultierende Betrag für Bioraffinerieprozess	[€t TS Silage input]			
	Min _A / Min _P	Min _A / Max _P	Max _A / Min _P	Max _A / Max _P
Szenarien				
Erlös - Min Rohstoffpreis	141,0	313,5	310,0	645,0
Erlös - Max Rohstoffpreis	116,0	288,5	285,0	620,0

spez. resultierender Betrag für Bioraffinerie pro kg abgetrenntes Produkt (AA+MA)	[€/kg Produkt]			
	Min _A / Min _P	Min _A / Max _P	Max _A / Min _P	Max _A / Max _P
	1,41	3,14	1,35	2,80
1,16	2,89	1,24	2,70	

12.5 Demonstrationspotential der Projektergebnisse

Das Potential zur Demonstration der Technologie der Grünen Bioraffinerie ist sehr hoch, vor allem aus den thematischen Blickwinkeln:

- **Allgemeine Relevanz des Themas:** Die Grüne Bioraffinerie bietet ein alternatives Erwerbsszenario für Grünlandflächen, die in vielen Regionen ungenutzt sind.
- **Innovationsgehalt des gewählten Ansatzes:** Es gibt auf internationalem Vergleich keinen ähnlichen Technologieansatz in diesem Themenbereich.
- Die **Ergebnisse der bisherigen Forschungsprojekte** legen diesen Schritt nahe.
- Zur **Pilotierung der Prozesstechnologie gibt es eigentlich keine Alternative**, wenn eine Umsetzung angestrebt wird. Die technische und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der Technologie ist potentiellen Investoren im produktionsrelevanten Maßstab zu garantieren.
- Die **identifizierten Schlüsselprodukte** (Milchsäure und Aminosäuren) verfügen über **ausreichendes Marktvolumen** bzw. zukünftiges Potential, um eine neue Technologie auf den Markt zu bringen.

Aus der Sicht des Forschungskonsortiums sind für die Implementierung der Technologie der Grünen Bioraffinerie unbedingt die Errichtung und der Betrieb einer Pilotanlage aus folgenden Gründen erforderlich:

1. Die Trenntechnologie, welche für die Gewinnung und Aufreinigung von Milchsäure und Aminosäuren aus den Presssäften erforderlich ist, muss im produktionsrelevanten Maßstab umgesetzt und im Dauerbetrieb getestet werden.
2. Der Pilotbetrieb ermöglicht eine schrittweise Optimierung der Trenntechnologie (Optimierung der Produktqualität, der Prozessstabilität und Durchsatzleistung).
3. Durch den Probebetrieb können verlässliche Aussagen über die Performance der Trenntechnologien ermittelt werden (Abtrennleistung, Filterstandzeit, Wartungsintervalle etc.).
4. Das Risiko für die weitere Umsetzung der Technologie wird stark herabgesetzt. Die Ergebnisse sind eine verlässliche Basis für ein weiteres Scale-up (Produktion).
5. Die Pilotanlage ermöglicht es, den Markt für Milchsäure und Aminosäurengemische zu sondieren bzw. aufzubauen. Es werden Produktmuster gewonnen, welche für den Aufbau von Märkten und zukünftiger Kundenbeziehungen unbedingt erforderlich sind.
6. Anhand der Pilotanlage kann die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der Grünen Bioraffinerie belegt werden. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung wird anhand der bestätigten Ausbeuten und erzeugbaren Qualitäten entscheidend verbessert. Das Engineering von Produktionsanlagen kann danach wesentlich besser erfolgen.

13 Schlussfolgerungen

Auf Basis der präsentierten Projektergebnisse werden folgende Schlussfolgerungen gezogen:

1. Anhand der präsentierten Prozessverschaltung aus den Prozessen Ultrafiltration, Enthärtung, Nanofiltration, Elektrodialyse und Kationenaustausch kann die Abtrennung von Milchsäure und Aminosäuren aus Silagesaft durchgeführt werden.
2. Die präsentierten Ergebnisse des Projektpartners *Universität für Bodenkultur* zeigen, dass die Abtrennung von Einzelaminosäuren aus vorgereinigtem Silagepresssaft anhand chromatographischer Verfahren nicht realisiert werden konnte.
3. Die Abtrennung von Fraktionen, welche eine Mischung von Aminosäuren darstellen, ist mittels chromatographischer Trennverfahren möglich.
4. Die Untersuchungsergebnisse betreffend chromatographischer Trennmethoden zeigen, dass eine gleichzeitige Abtrennung von Milchsäure und Aminosäuren in einem Trennschritt nicht möglich ist. Die Kombination der Chromatographie mit einem Nanofiltrationsprozess (mit einem Cut-off von 300 Da MWCO) erscheint sinnvoll, weil dadurch eine Trennung (Abreicherung) der Aminosäuren in das Retentat erfolgt. Das Permeat der NF ist reich an Milchsäure.
5. Die Verwendung der Grasfaserfraktion der Grünen Bioraffinerie als Faserbeigabe bei der Anspritzbegrünung kann auf Basis der Erfahrungen aus den durchgeführten Versuchen für den Praxiseinsatz empfohlen werden. Die gewonnenen Ergebnisse zeigen kein eindeutiges Bild. Im Vergleichstest von Grasfasern und handelsüblichen Zuschlagstoffen bei der Begrünung („Zellugrün“®) sind allerdings keine wesentlichen Nachteile beim Einsatz von Grasfasern ersichtlich. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit in diesem Segment können wesentliche Kosteneinsparungen im Vergleich zum Einsatz des handelsüblichen Produktes erzielt werden.
6. Der Einsatz der Grasfaser als alternatives torffreies Pflanzsubstrat ist auf Basis der vorliegenden Testergebnisse nicht empfehlenswert. Die identifizierten wesentlichen Problemstellen liegen im Bereich unzureichender Reinheit der Faserfraktion, welche zu Schimmel und Fäulnis im Substrat führen können. Ob eine weitere Aufbereitung der Fraktion diesen Umstand verbessert, wäre in Folgeprojekten zu klären. Jedenfalls herrscht im Produktsegment Pflanzsubstrat für den gewerblichen Blumen- und Gemüseanbau ein hoher Kostendruck, was weitere Aufbereitungsschritte nicht ermöglicht.
7. Eine Resilierung des abgepressten Silagepresskuchens zur Steigerung des gesamten Milchsäureertrags ist auf Basis der Versuchsergebnisse keine realistische Variante der Prozessintensivierung. Es scheint sinnvoller, die Ausbeute durch einen qualitativ hochwertigen Silagerohstoff zu optimieren.

14 Ausblick und Empfehlungen

Wie bereits im vorhergehenden Kapitel dargestellt, wird die Errichtung einer Pilotanlage empfohlen, welche die entwickelte Prozessverschaltung im produktionsrelevanten Maßstab umsetzt. Unter Praxisbedingungen (kontinuierlichen Betrieb) ist es dann möglich, die Prozesstechnologie weiter zu optimieren und die Prozessstabilität (z.B. Standzeiten von Membrantrennverfahren) zu messen. Dieses Scale-up der Technologie in den Pilotmaßstab ist für die Implementierung essentiell.

Zum Zeitpunkt der Berichtslegung war die Errichtung der Pilotanlage der Grünen Bioraffinerie bereits abgeschlossen. Sie wurde in Utzenaich, Oberösterreich, unmittelbar neben einer Biogasanlage errichtet.

Die Pilotanlage wurde durch maßgebliche Unterstützung folgender Förderer unterstützt:

- Programmlinie Fabrik der Zukunft
- Kommunalkredit
- Land Oberösterreich
- sowie durch die Wirtschaftsbetriebe
- Linz AG, OÖ- Ferngas AG, Energie AG, RAG - Rohölauffindungs AG

Der Betrieb der Anlage erfolgt durch

- Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz
- Biorefinery Systems sowie
- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

15 Verzeichnisse

15.1 Literaturverzeichnis

- Barwe; Diss., Ind. Eng. Chem. Res., Nr. 39, 2468-2479, 2000
- Battaglia F., George T.F.: Fundamentals in Chemical Physics, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London; ISBN 0-7923-5214-9
- Berg J.M., Tymoczko J.L., Stryer L.: Biochemie, 4. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin; ISBN 3-86025-346-8
- BGBI. Nr. 477/1995: Übereinkommen zum Schutz der Alpen (Alpenschutzkonvention)
- BGBI. Nr. 100/2004: Düngemittelverordnung 2004
- BGBI. Nr. 513/1994: ST0160: Düngemittelgesetz 1994
- BGBI. Nr. 253/2001: Grenzwertverordnung 2001
- BGBI. Nr. 292/2001: Kompostverordnung 2001
- Blieninger F.: „Basismaterial für ein Bodensubstrat für Pflanzen“, Patentschrift DE4122187C1 vom 21.6.1993, 1993
- BMfLF: Österreichisches Umweltzeichen ZU 32 – Torffreie Kultursubstrate und Bodenverbesserer, 2003
- Bures G.: Handbuch Rasen. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin 1991
- Chmiel H.: Bioprozesstechnik, Einführung in die Bioverfahrenstechnik, 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag; ISBN 3-8274-1607-8, 2006
- Cramer A.: Optimierung der Aufbereitungsverfahren zur Gewinnung von Milchsäure aus Fermentationsmaischen, Dissertation Universität für Bodenkultur Wien, 1995
- Czysz W.. Fresenius Journal of Analytical Chemistry 230, p. 461-462, 1967
- ENTEC 1999: Thermische Verwertung von Reststoffen aus der Papierindustrie, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft Projekt-Nr. 154/97, entec Ingenieurgesellschaft mbH Rosa-Luxemburg-Straße 30, 16816 Neuruppin Neuruppin, 1999,
- Fibl (ed.): Zugelassene und empfohlene Hilfsstoffe für d. biologischen Landbau – Hilfsstoffliste, 2004
- Flickinger M.C.: Encyclopedia of Bioprocess Technology: Fermentation, Biocatalysis and Bioseparation; Volume 1; University of Minnesota, St. Paul, Minnesota; Stephen W. Drew, Merck and Co., Inc. Rahway, New Jersey; John Wiley & Sons, Inc.; ISBN 0-471-16668-5 (Vol. 1); ISBN 0-471-13822-3 (5 Vol. set), 2004
- Florineth F.: Pflanzen statt Beton, Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik. Patzer Verlag, Berlin-Hannover, 2004
- Gottschall R.: „Basismaterial für ein Bodensubstrat für Pflanzen“, Patentschrift DE4343569C2 vom 21.12.1993, Speyer, 1993

-
- Grabbe K., Cotta F. „Verfahren zur stickstoffgesättigten Inertisierung lignozellulosehaltiger Reststoffe und Faserstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen für die Verwendung als Torfersatz, Internationales Patent C05F 11/00, 11/08, 17/00 vom 11.11.1999, 1999
- Gruber E., Chemische Technologie des Zellstoffs und Papiers, Manuskript einer an der Technischen Universität Darmstadt gehaltenen Vorlesung für Studierende des Papieringenieurwesens.
- Hofinger A. et al.: Instrumentelle Analytische und Physikalische Chemie Übungen, ergänzende Arbeitsunterlagen, Seite 39ff., Auflage März 2004
- Inkyu Lee, Kisay Lee, Kyun Namgoong, Young-Su Lee: Enzyme and Microbial Technology 30, 798-803, 2002
- Jungbauer, VO-Unterlagen Bioprozesstechnik, Stand: SS 2004.
- Kamm B., Kamm M., Gruber P.R., Kromus S.: Biorefinery systems – An Overview. Biorefineries – Industrial Processes and Products, edited by Kamm B., Gruber P.R, Kamm M., Volume 1, p 24-32; Wiley-VCH Verlag, ISBN 3-527-31027-4, 2005
- Klatt, S. Der Beitrag heimischer Leguminosen zur Stickstoffversorgung artenreicher Wiesen im westlichen Hunsrück (Rheinland Pfalz). Cuvillier Verlag, Göttingen, 2008
- KOSCHUH, W; et al.: Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Proteinen aus Grassäften. Endbericht Projekt Nr. 804.136, Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften, Programmlinie "Fabrik der Zukunft", 2003
- Koschuh W.: Grüne Bioraffinerie Österreich – Fraktionierung von Wertstoffen aus Presssäften von chloroplastenreicher Biomasse (CRB). Wien: Universität für Bodenkultur, 2005
- Koschuh W.: Projektbericht Grüne Bioraffinerie, Boku Wien, 2005
- Kromus, Stefan : Elaboration of a decentralised 'Green Biorefinery' for the Austrian Region of 'Feldbach' – A Sustainable Concept? M.Sc-Thesis, Wageningen Agricultural University (WAU), Dep. of Env. Sciences-Environmental Systems Analysis Group, Wageningen 1999.
- Kromus, Stefan; Narodoslawsky, Michael; Krotscheck, Christian: Grüne Bioraffinerie: Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer nachhaltigen Kulturlandschaftsentwicklung; Endbericht zum gleichnamigen Projekt im Rahmen der Bund-Bundesländer Kooperation (BBK), Kornberg Institut– Steirisches Vulkanland Regionalentwicklungs-GmbH, Schloss Kornberg, Feldbach, April 2002.
- Kromus, S.; et al.: Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Milchsäure aus Silagesäften. Endbericht Projekt Nr. 804.141, Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften, Programmlinie "Fabrik der Zukunft"; 2003
- Leavy A. L. and Chung D.: Two-Dimensional Chromatography of Amino Acids on Buffered Papers. Anal. Chem. 25, p. 396-399, 1953
- Leuch M. Torf – so wenig wie möglich, so viel wie nötig. Basler Zeitung 16.5.2002, 2002:
- Mandl M., Graf N., Ringhofer H., Kromus S., Böchzelt H., Schnitzer H.: "The Austrian Green Biorefinery – Concept overview; results of lactic acid und amino acid yields in silage juice", Poster at 1st Biorefinery and Renewable Resources Conference, Ghent, 2005
- Mandl M., Graf N., Thaller A., Böchzelt H., Schnitzer H.: Grüne Bioraffinerie – Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion, Endbericht Projekt Nr. 806111, Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften, Programmlinie Fabrik der Zukunft, Februar 2006
- Mandl M., Kromus S., Ringhofer J., Graf N., Böchzelt H., Schnitzer H.: Technologieinitiative Grüne Bioraffinerie, Projektendbericht, Förderprogramm TECHNOFIT, Land Steiermark, 2005

-
- Mortimer C.E., Müller U.: Chemie, Das Basiswissen der Chemie, 8. Auflage, Thieme Verlag; ISBN 3-13-484308-0, 2003
- Nelson D., Cox M.: Lehninger Biochemie, 3. Auflage, Springer Verlag; ISBN 3-540-41813-X, 2001
- Neureiter M.: „Versuche zum Erneuten Einsilieren von Silagepresskuchen“, Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie IFA Tulln, Abteilung Umweltbiotechnologie Tulln 2004
- Novalin S.; Lorenz W., Kromus S., Mandl M., Krotscheck Ch.: Endbericht: Projekt „Grüne Bioraffinerie – Entwicklung von Schlüssel-Trenntechnologien zur Gewinnung von Milchsäure und anderen Wertsustanzen aus Silagesäften“, Proj. Nr. 806097 Fabrik der Zukunft – eine Initiative des BMVIT, 2005
- Obinger: VO-Unterlagen Biochemie der Spurenelemente, Stand: WS 2007
- Otto M.: Analytische Chemie. Zweite Auflage. Wiley, Weinheim 2000
- Patentoffenlegungsschrift Fa. Amino GmbH., Nr. DE 37 41 469 A1
- Polheim D. und Eichinger K. (Erfinder): „Verwendung von modifizierten Abfallprodukten der Zellstoffgewinnung als hochwertigen Torfersatz,“ Gebrauchsmusterschrift AT001781U1 vom 13.11.1996, Wien, 1996
- Preussag AG, Hannover, D und Bühler AG, Uzwil, CH (Patentinhaber): „Vorrichtung zur Herstellung eines hochwertigen Torfersatzes“, Gebrauchsmuster DE2982244U1 vom 17.12.1998, 1999
- RAL-GZ 250: Rinde für Pflanzenbau, Gütesicherung – Gütegemeinschaft für Pflanzenbau e.V., 1991
- RAL-GZ 254: Substratausgangsstoffe, Gütesicherung – Gütegemeinschaft für Pflanzenbau e.V., 2004
- Reinhofer M, Lettmayer G., Taferner K.: Torfersatz durch biogene Rest- und Abfallstoffe. Endbericht JOANNEUM RESEARCH, 2005
- Schraufstetter W., Gastinger D.: Offenlegungsschrift DE4041329A1 vom 21.12.1990, München, „Verfahren zum Herstellen eines Torfersatzstoffes aus pflanzlichen Roh- u. Abfallstoffen, 1990
- Schubert U.J.: Gewinnung sekundärer Pflanzenwirkstoffe mittels Membranverfahren und Chromatographie an ausgewählten Beispielen. Universität für Bodenkultur Wien, 2008
- Schwabe E.: Optimierung neuartiger Aufreinigungsverfahren in der Aminosäurearstellung am Beispiel Leucin und Isoleucin.: Universität Hannover, Hannover 2000
- Schwedt G., Taschenatlas der Analytik, 3. Auflage, Wiley-Verlag; ISBN 978-3-527-31729-5, 2007
- Schwedt G.: Chromatographische Trennmethode, Theoretische Grundlagen, Techniken und analytische Anwendungen, 3. Auflage, Thieme Verlag Stuttgart, ISBN 3-527-30867-9, 1994
- Skoog D.A., Leary J.J.: Instrumentelle Analytik; Grundlagen – Geräte – Anwendungen, Springer Verlag; ISBN 3-540-60450-2, 1996
- Spiegel Colleen, Commercial Amino Acids, market research, © BCC Research 2009; available at [http:// www.bccresearch.com/report/BIO007H.html](http://www.bccresearch.com/report/BIO007H.html); (Zugriff 15.1.2010,15:00)
- Torrallardona D., Harris C.I.: Journal of Chromatography A 778; p. 383-388, 1997
- Vu H. Thang, Koschuh W., Kulbe K.D., Kromus S., Krotscheck C., Novalin S.: Desalination 162, p. 343-353, 2004

-
- Vu H.T., Novalin S.: Green Biorefinery: Separation of lactic acid from grass silage juice by chromatography using neutral polymeric resin. *Bioresource Technology* Volume 99, Issue 10, pp 4368-4379, July 2008
- Titus E., Kalkar A.K., Gaikar V.G.: Equilibrium studies of adsorption of amino acids on NaZSM-5 zeolite. *Coll. Surf. A. Physicochem. Eng. Asp.* 223, 55-61, 2003
- Van der Poel P.W., Schiweck H, Schwartz T.: *Zuckertechnologie, Rüben- und Rohrzuckergewinnung.* Ar. Albert Bartens Berlin, 1998
- Wachter B., Mandl M., Berghold H., Reinhofer, M., Stuhlbacher, A., Trinkaus P, Schwendt A., Böchzelt H., Schnitzer H.: *Grasfasern – Ein potentieller Industrierohstoff? Endbericht zur gleichnamigen Studie gefördert durch das Amt der Steiermärkischen Landesregierung, JOANNEUM RESEARCH, Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme, Dezember 2002.*
- Wachter B., Mandl M., Böchzelt H., Schnitzer H.: *Grüne Bioraffinerie – Verwertung der Grasfaserfraktion, Fabrik der Zukunft Projekt Nr. 804.137, 2003*
- Wendland, Novalin S.: *VO Mechanische und thermische Verfahrenstechnik, Stand: SS 2006*
- Williams R.J.P.: *Bio-inorganic chemistry: Its conceptual evolution. Coord. Chem. Rev.* 100, 573-610, 1990

Internetreferenzen

- Bayrische Landesanstalt f. Weinbau und Gartenbau Würzburg Veitshöchheim 1997: Torfreduzierung und -ersatz bei Containerkultur auf Fließmatte möglich. *Versuche im deutschen Gartenbau.* - <http://www.lwg.bayern.de/gartenbau/versuche/1997/g-ve9711.html>
- Bundesamt für Landwirtschaft, Sektion Acker- und Futterbau (Ed.): *Übersicht über Hanfanbau und -verwertung in der Schweiz.* www.inaro.de/deutsch/KULTURPF/Hanf/hanf_ch.htm, 1999
- Cartaigh D. et al.: *The use of Miscanthus as a growing medium additive (abstract).* http://www.actahort.org/books/450/450_5.htm, 1997
- Commercial horticultural association: *Peat free products buyers guide* <http://www.cha-hort.com> Stand 31.Jan.2009
- Eco-labelled soil improvers - <http://www.eco-label.com> Stand 31.Jan.2009
- English Nature/ RSPB (Ed.) (o.J.): *Peatering Out – towards a sustainable UK growing media industry.* - <http://www.english-nature.org.uk/pubs/publication/PDF/peatering.pdf> Stand 31.Jan.2009
- Fibl Berlin (Ed.): *Ökologischer Anbau von Zierpflanzen und Baumschulerzeugnissen: Struktur, Entwicklung, Probleme, politischer Handlungsbedarf. Schlussbericht Forschungsvorhaben 02OE307 im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau.* - <http://orgprints.org/4199/01/4199-02OE307-ble-fibl-2003-zier.pdf>; <http://www.oekologischebaumschulen.de/SchlussberichtProjekt02OE307Endfassung.pdf>, 2003
- Fuchs J.: *Kompost im Zierpflanzenbau. Biophyt AG.* - <http://www.biophyt.ch>, 2001
- Holmes S.: *Peat and peat alternatives: their use in commercial horticulture in England and Wales in 2003. A report for Horticulture and potatoes division, Department for Environment, Food and Rural Affairs.* -http://www.defra.gov.uk/hort/peat/pdf/rep_may2004.pdf, 2004

-
- IPCC (Ed.): Commercial suppliers of peat-free compost around the world.
<http://www.ipcc.ie/compwildpeatfreewrld.html>, Stand 31.Jan.2009
- Meister E. et al.: Prüfung des Anbaus und der Möglichkeiten einer Markteinführung von neuen Faserpflanzen (Hanf, Kenaf, Miscanthus). Abschlussbericht Projekt A 3.1., ITADA. - www.itada.org/download.asp?id=A31dL.pdf, 1999:
- Neuweiler R. et al.: Eignung von Torfersatzsubstraten für den Erdbeeranbau im Folienhaus. In: Schweizerischer Obst-und Weinbau 7/99.
http://www.faw.ch/wissen_und_Beratung/obstbau/Beeren/szow99_177.pdf, 1999
- Office of the Deputy Prime Minister (Ed.): Opportunities and constraints on the use of peat alternatives as growing media: www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm_planning/documents, (o.J.)
- Priem, J.: Torf - eine wichtige Basis für den Erwerbsgartenbau. - <http://www.diw.de/deutsch/produkte/publikationen/wochenberichte/docs/99-41-1.html>, Stand 31.Jan.2009
- Sämman, K.M. et. al: Nachwachsende Rohstoffe in Baden Württemberg: Identifizierung vorteilhafter Produktlinien zur stofflichen Nutzung unter besonderer Berücksichtigung umweltgerechter Anbauverfahren. Bericht und Anhang – www.anna-consult.de/images/BW_plus.pdf; www.inaro.de/download/BWA20002SBer.pdf; <http://bwplus.fzk.de/berichte/SBer/BWA20002-anhangSBer.pdf>, 2003
- Schwarzbauer P.: „Holzmarktlehre“, Vorlesungsskriptum BOKU Wien, http://www.boku.ac.at/mi/lehre/Schwarzbauer/Holzmarktlehre/hml_skrip-1_2004.pdf), 2004
- WWF 2004: WWF-Positivliste torffreier Produkte – http://www.wwf.at/downloads/Positivliste_torffrei_0504.pdf Stand 31.Jan.2009
- Zweckverband Wasserversorgungsgruppe Mühlbach (Ed.) (o.J.): Chinaschilf. <http://www.wvg-muehlbach.de/chinaschilf.php?id=4> Stand 31.Jan.2009
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite>; Stand: 14.11.2007
- <http://pubs.acs.org/journals/query/subscriberSearch.jsp>; Stand: 14.11.2007
- <http://www.fluegel-gmbh.de/index/Fluegel/Pflanzenstaerkung/79039,78980?ProduktID=80869&z=6>, Stand 12.09.2008
- http://www.ghipark.at/Bilder/s1_wiener_aussenring_schnellstrasse.JPG, Stand 13.09.2008
- <http://www.sciencedirect.com/>; Stand: 14.11.2007
- <http://www.uspto.gov/patft/>; Stand: 14.11.2007

15.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1: Prinzip einer Grünen Bioraffinerie mit möglichen Produktgruppen.....	11
Abbildung 4-2: Schema Prozessablauf Grüne Bioraffinerie Österreich	13
Abbildung 6-1: Verlauf der Resilierung von Klee gras mit Beigabe von Molke.....	22
Abbildung 6-2: Verlauf der Resilierung von Luzerne-Klee gras mit Beigabe von Molke	23
Abbildung 6-3: Verlauf der Resilierung von Klee gras mit Enzymbeigabe.....	24
Abbildung 6-4: Verlauf der Resilierung von Luzerne-Klee gras mit Enzymbeigabe	25
Abbildung 6-5: Wasseraufnahme verschiedener Faserfraktionen im Vergleich	27
Abbildung 7-1: Ionentauscherkaskade zur Gewinnung verschiedener Aminosäuren aus einem Hydrolyse-Gemisch	30
Abbildung 7-2: Verfahren zur Isolierung von L-Lysin aus Fermentationsbrühen (Flickinge 2004)	31
Abbildung 7-3: 2D-Dünnschichtchromatographische Trennung Aminosäurengemisch.....	32
Abbildung 7-4 Chromatographische Trennung von optisch aktiven Aminosäuren	33
Abbildung 7-5: Fraktionierung eines Grassilagesaftes mittels Chromatographie; UBK 530-K-Form; pH = 6,0 (Koschuh 2005)	34
Abbildung 7-6: Fraktionierung eines konzentrierten Grassilagesaftes mittels Chromatographie; UBK 530-K-Form; pH = 6,0 (Koschuh 2005).....	34
Abbildung 7-7: Präparative Chromatographie inkl. Schema zur Isolierung von Aminosäuren	38
Abbildung 7-8: Instrumentierung der präparativen Chromatographieanlage	38
Abbildung 7-9: Versuchsergebnis XAD 1600; pH = 2,0	40
Abbildung 7-10: Versuchsergebnis XAD 1600; pH = 7,0; Modelllösung A	41
Abbildung 7-11: Versuchsergebnis UBK 530; K+-konditioniert; pH = 4,2; Modelllösung A	42
Abbildung 7-12: Versuchsergebnis UBK 530; K+-konditioniert; pH = 10,5; Modelllösung A	44
Abbildung 7-13: Versuchsergebnis MDS 4368-Lewatit; SO ₄ ²⁻ -konditioniert; pH = 4,0; Modelllösung B	45
Abbildung 7-14: Versuchsergebnis ODS-A; pH = 7,0; Modelllösung B	47
Abbildung 7-15: Versuchsergebnis MDS 1368; Ca ²⁺ -konditioniert; pH = 7,0; Modelllösung A.....	48
Abbildung 7-16: Versuchsergebnis MDS 1368-Lewatit; Ca ²⁺ -konditioniert; pH = 3,5; Modelllösung B	49
Abbildung 7-17: Versuchsergebnis MDS 1368 Lewatit; Ca ²⁺ -konditioniert; pH = 3,8	51
Abbildung 7-18: Dissoziationsverhalten von Milchsäure.....	55
Abbildung 7-19: Adsorptionsverhalten von Milchsäure in Abhängigkeit vom pH-Wert (XAD 1600, T = 25 °C)	55
Abbildung 7-20: Adsorptionsisotherme für das Gemisch Milchsäure, Glucose und ausgewählte anorganische Salze (T = 60 °C, pH = 2,0)	56

Abbildung 7-21: Trennung von Milchsäure bei unterschiedlichen Flussraten (Chromatographiesäule 2,5 x 100 cm, T = 60 °C, VFeed = 10 mL, Volumenstrom = 1,02 a), 2,04 b), 4,08 c) und 6,12 d) cm/min.	57
Abbildung 7-22: Trennung bei unterschiedlichen Feedkonzentrationen (Chromatographiesäule 2,5 x 100 cm, T = 60 °C, Flussrate = 2,04 cm/min, Aufgabevolumen = 10 mL, Milchsäurekonzentrationen: 78,29 a), 128,28 b) und 260,06 c) g/L.	58
Abbildung 7-23: Trennung bei unterschiedlichen Aufgabevolumina (Chromatographiesäule 2,5 x 100 cm, T = 60 °C, Flussrate = 2,04 cm/min, Aufgabevolumen: 10 a), 20 b) und 45 c) mL.....	59
Abbildung 7-24: Versuch mit Silagesaft (NF-Permeat), pH-Wert- und Leitfähigkeitverlauf	61
Abbildung 7-25: Trennverhalten für einige wesentliche Stoffgruppen des Silagesaftes (NF-Permeat), Feedvolumen = 4 mL, Flussrate = 2,04 cm/min, T = 60 °C, Säule 25 x 100 cm	61
Abbildung 8-1: Häufigkeit verwendeter Torfersatzstoffe in torfreduzierten oder torffreien Substraten .	78
Abbildung 8-2: Stecklingsproduktion	80
Abbildung 8-3: Produktionsablauf – Halbfertigware	80
Abbildung 8-4: Aufbereitete Grasfasern (links) und Grasfaser Vlies (rechts) für die Substratversuche	82
Abbildung 8-5: Versuchsanordnung zur Bestimmung der Saugspannung – Sand-Saugspannungstisch	83
Abbildung 8-6: Rohdichte der untersuchten Substrate im Vergleich.....	85
Abbildung 8-7: Schrumpfungswert der untersuchten Substrate im Vergleich.....	85
Abbildung 8-8: Gesamtporenvolumen der untersuchten Substrate im Vergleich	86
Abbildung 8-9: Teilchendichte der untersuchten Substrate im Vergleich	87
Abbildung 8-10: Luftkapazität der untersuchten Substrate im Vergleich	87
Abbildung 8-11: Wasserkapazität der untersuchten Substrate im Vergleich	88
Abbildung 8-12: Laborschüttdichte der untersuchten Substrate im Vergleich	89
Abbildung 8-13: Kressetest 1 – Bilddokumentation	92
Abbildung 8-14: Oberirdische Biomasseentwicklung auf den unterschiedlichen Substraten	93
Abbildung 8-15: Oberirdische Biomasse (TS) von Kresse auf unterschiedlichen Substraten nach 11 Tagen.....	97
Abbildung 8-16: Oberirdische Biomasse (TS) von Kresse auf unterschiedlichen Substraten – Grasfaser gewaschen- nach 11 Tagen	97
Abbildung 8-17: Oberirdische Biomasse (TS) von Basilikum auf unterschiedlichen Substraten nach 11 Tagen.....	98
Abbildung 8-18: Oberirdische Biomasse (TS) von Petersilie auf unterschiedlichen Substraten nach 14 Tagen.....	98
Abbildung 8-19: Gepresstes Vlies aus aufbereiteter Grasfaser	99
Abbildung 8-20: Wachstum von Kresse auf dem Grasfaser Vlies	99
Abbildung 8-21: Feldversuche im Gartenbaubetrieb – Versuchsansatz	101
Abbildung 8-22: Pflanzen am 4. Versuchstag	102
Abbildung 8-23: Phänologische Dokumentation nach drei Wochen Versuchsdauer.....	103
Abbildung 8-24: Phänologische Dokumentation – nach fünf Wochen Versuchsdauer.....	104

Abbildung 8-25: Endauswertung des Wachstumsverhaltens – Pelargonie	106
<i>Abbildung 8-26: Oberirdische Biomasse (in g Frischgewicht) auf den unterschiedlichen Substraten bei Pelargonie (Stabw.= Standardabweichung).....</i>	<i>107</i>
Abbildung 8-27: Oberirdische Biomasse (in g Trockengewicht) auf den unterschiedlichen Substraten bei Pelargonie (Stabw.= Standardabweichung)	107
Abbildung 8-28: Endauswertung des Wachstumsverhaltens – Basilikum	108
Abbildung 8-29: Keimraten bei Basilikum.....	109
Abbildung 8-30: Oberirdische Biomasse (in g Frischgewicht) auf den unterschiedlichen Substraten bei Basilikum (Stabw.= Standardabweichung).....	110
Abbildung 8-31: Oberirdische Biomasse (in g Trockengewicht) auf den unterschiedlichen Substraten bei Basilikum (Stabw.= Standardabweichung).....	110
Abbildung 8-32: Endauswertung des Wachstumsverhaltens – Petersilie	111
Abbildung 8-33: Keimraten bei Petersilie	112
Abbildung 8-34: Oberirdische Biomasse (in g Frischgewicht) auf den unterschiedlichen Substraten bei Petersilie (Stabw.= Standardabweichung)	112
Abbildung 8-35: Oberirdische Biomasseentwicklung (in g Frischgewicht) auf den unterschiedlichen Substraten bei Petersilie (Stabw.= Standardabweichung).....	113
Abbildung 8-36: Substratballen von Substrat 1 (reine Grasfaser) – und Substratballen von Substrat 2 (Grasfaser + Erde) nach 46 Tagen Versuchsdauer	115
Abbildung 8-37: Marktpotential und Ökonomische Konkurrenzfähigkeit von Torfersatzprodukten (aus Meister et al. 1999, modifiziert)	120
Abbildung 9-1: Faserfraktionen der Anspritzbegrünung, links Faser 2 (fein) rechts Faser 1 (grob) ...	123
Abbildung 9-2: Herstellung der Grasfaserbegrünungsmatte (Fotos Aquasol)	125
Abbildung 9-3: Lage des Untersuchungsgebietes im Gemeindegebiet Seyring in NÖ.....	126
Abbildung 9-4: Übersichtsplan der Versuchsfelder in Seyring NÖ	127
Abbildung 9-5: Überblick der Prozessschritte bei der Anspritzbegrünung	133
Abbildung 9-6: Detailaufnahmen der einzelnen Varianten mit Faserbeimengung.....	134
Abbildung 9-7: Auflegen und Vernageln der Begrünungsmatten.....	135
Abbildung 9-8: Phänologische Entwicklungsreihe für den Untersuchungsbereich 1	136
Abbildung 9-9: Phänologische Entwicklungsreihe für den Untersuchungsbereich 2.....	136
Abbildung 9-10: Phänologische Entwicklungsreihe für den Untersuchungsbereich 3.....	137
Abbildung 9-11: Phänologische Entwicklungsreihe für die Zusatzfläche.....	139
Abbildung 9-12: Frequenz der eingesäten Gräser und Kräuter in Prozent, im Vergleich der sechs verschiedenen Mulchstoffvarianten.....	141
Abbildung 9-13: Frequenz der eingesäten Gräser und Kräuter in Prozent im Vergleich der sechs verschiedenen Mulchstoffvarianten.....	141
Abbildung 9-14: Frequenz der eingesäten Gräser und Kräuter in Prozent im Vergleich der einzelnen Detailflächen.....	142
Abbildung 9-15: Frequenz der eingesäten Gräser und Kräuter in Prozent im Vergleich der Detailflächen.....	143

Abbildung 9-16: Frequenz der Fremdarten in Prozent im Vergleich der sechs verschiedenen Mulchstoffvarianten	143
Abbildung 9-17: Abundanz der Fremdarten im Vergleich der sechs Mulchstoffvarianten	144
Abbildung 9-18: Deckungsgrad in Prozent im Vergleich der sechs Mulchstoffvarianten, gemittelt über alle Großbereiche	146
Abbildung 9-19: Deckungsgrad in Prozent im Vergleich aller 16 Detailflächen	147
Abbildung 9-20: Gräser- und Kräuterverhältnis in Prozent im Vergleich der Mulchstoffvarianten.....	148
Abbildung 9-21: Gräser- und Kräuterverhältnis in Prozent im Vergleich der 3 Großbereiche und Fläche 16.....	148
Abbildung 9-22: Gräser- und Kräuterverhältnis in Prozent im Vergleich nur Bereich 3 mit Versuchsfläche 16 (Grasfaser 2, 120 g/l).....	149
Abbildung 9-23: Anzahl (n) der Blühtriebe der gesäten Gräser und Kräuter im Vergleich der 16 Detailflächen.....	150
Abbildung 9-24: Anzahl (n) der Blühtriebe nach Arten der gesäten Gräser und Kräuter im Vergleich der 16 Detailflächen.....	150
Abbildung 9-25: Anzahl (n) der Blühtriebe der Fremdarten im Vergleich der 16 Detailflächen	151
Abbildung 9-26: Mittlere Blatthöhe der gesäten Gräser und Kräuter in cm im Vergleich der 16 Detailflächen.....	152
Abbildung 9-27: Mittlere Blatthöhe der gesäten Gräser und Kräuter in cm im Vergleich der 16 Detailflächen und nach Arten	152
Abbildung 9-28: Mittlere Gesamtblatthöhen in cm der gesäten Arten im direkten Vergleich über alle Bereiche gemittelt.....	153
Abbildung 10-1: US-Aminosäuremarkt.....	162
Abbildung 10-2 Vergleich der Biogaserträge von Silagepresskuchen und Ausgangssilage in % Werten des jeweiligen Biogasertrages (I_N /kg oTS)	167
Abbildung 11-1: Mehrstufige Prozesskette.....	170
Abbildung 11-2: Darstellung der vorgeschlagenen Prozessabfolge für eine Pilotanlage zur Abtrennung von Milch- und Aminosäuren	177
Abbildung 17-1: Die 20 proteinogenen Aminosäuren nach Gruppen angeordnet (Nelson D., Cox M.).	224
Abbildung 17-2: Oxidation von zwei Cysteinen zu Cystin (Nelson, Cox).....	225
Abbildung 17-3: Zwitterionenform einer Aminosäure in Abhängigkeit vom pH-Wert.....	227
Abbildung 17-4: Zusammenhang zwischen Anteil an Zwitterionenform und pH-Wert.....	228
Abbildung 17-5: Trenneigenschaften von Aminosäuren in Abhängigkeit vom pH-Wert (nach Jungbauer 2004).....	228
Abbildung 17-6: Trenneigenschaften von Aminosäuren in Abhängigkeit vom pH-Wert; CEX... Kationenaustausch; AEX... Anionenaustausch	229
Abbildung 17-7: Titrationskurve der Aminosäure Glycin (Berg, Tymoczko, Stryer).....	230
Abbildung 17-8: Titrationskurve der Aminosäure Glutaminsäure; titrierbare Seitenkette (Nelson, Cox)	231
Abbildung 17-9: Periodensystem der Elemente; Übergangselemente farblich hervorgehoben	233

Abbildung 17-10: Mögliche Quantifizierung des HSAB-Konzeptes.....	234
Abbildung 17-11: Bildung des Aminosäure-Kupferkomplexes	235
Abbildung 17-12: Komplexierung von Kationentauschern mit Ca ²⁺ zwecks Ionenaustausch	236
Abbildung 17-13: Löslichkeit einzelner Aminosäuren in Abhängigkeit von der Temperatur bei konstantem pH-Wert.....	237
Abbildung 17-14: Löslichkeit einzelner Aminosäuren in Abhängigkeit von der Temperatur bei konstantem pH-Wert.....	237
Abbildung 17-15 a (links) und b (rechts): Zusammenhang Proteinlöslichkeit in Abhängigkeit vom isoelektrischen Punkt (a) und von der Ionenstärke (b) (Chmiel)	238

15.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 7-1: Auswahl und Zusammensetzung der Modelllösung A	37
Tabelle 7-2: Auswahl und Zusammensetzung der Modelllösung B	37
Tabelle 7-3: Details zur Instrumentierung der präparativen Chromatographieanlage; Abfolge entspricht der Verschaltung im Versuchsaufbau:	39
Tabelle 7-4: Physikalisch und chemische Eigenschaften von Amberlite XAD 1600 (Rohm and Haas, 2001).....	54
Tabelle 7-5: Zusammensetzung der Modelllösung	56
Tabelle 7-6: Einfluss der Fließgeschwindigkeit auf die Trennung von Milchsäure	57
Tabelle 7-7: Zusammensetzung der Modelllösung	58
Tabelle 7-8: Einfluss des Aufgabevolumens	60
Tabelle 7-9: Zusammenfassung der Daten hinsichtlich Ausbeute und Trennleistung	60
Tabelle 7-10: Zusammensetzung der Feedlösung im Puls-Test.....	60
Tabelle 8-1: Positive Eigenschaften von Torf.....	67
Tabelle 8-2: Hemmfaktoren für den Einsatz von Torfersatzprodukten im gewerblichen Gartenbau	67
Tabelle 8-3: Anforderungen an ein Torfersatzprodukt aus der Sicht des gewerblichen Gartenbaus ...	67
Tabelle 8-4: Alternativprodukte	72
Tabelle 8-5: Abfall- und Reststoffe welche als Torfersatzprodukte zum Einsatz kommen könnten	73
Tabelle 8-6: Überblick über am Markt vorhandene torffreie oder torfreduzierte Produkte.....	74
Tabelle 8-7: Kriterien für ein Alternativprodukt für die speziellen Anwendungen im Partnerbetrieb.....	81
Tabelle 8-8: Verwendete Grasfaser Fraktionen	82
Tabelle 8-9: Physikalische Kennwerte der Grasfasern und der Vergleichssubstrate	84
Tabelle 8-10 : Organische Substanz der Grasfasern und der Vergleichssubstrate.....	89
Tabelle 8-11: Wasserlösliche und in Calciumchlorid/DTPA (CAT) lösliche Nährstoffe und Elemente bezogen auf die Schüttdichte	90

Tabelle 8-12 : Überstandswasser – Vlies	100
Tabelle 8-13: Verwendete Substratmischungen	101
Tabelle 8-14: Salzaktivität in den Substraten	114
Tabelle 9-1: Beschreibung der verwendeten Grasfaser für die Begrünungsversuche	124
Tabelle 9-2: Überblick der Untersuchungsvarianten	127
Tabelle 9-3: Arten und Zusammensetzung der Saatgutmischung	131
Tabelle 9-4: Deckungsvergleich der sechs verschiedenen Mulchstoffvarianten nach phänologischen Untersuchungen	139
Tabelle 9-5: Ergebnis der Keimfähigkeitsüberprüfung des verwendeten Saatgutes	140
Tabelle 9-6: Vitalität im Vergleich der sechs verschiedenen Mulchstoffvarianten (Gesamtbe-wertung jeder Detailfläche).....	140
Tabelle 9-7: Anzahl der Fremdarten je Mulchstoffvariante	145
Tabelle 9-8: Summe aller Abundanzen der Fremdarten	145
Tabelle 9-9: Artenschlüssel der blühenden Fremdarten im Vergleich der Bereiche welche Fremdarten enthalten	151
Tabelle 9-10: Gegenüberstellung der Ausgangsannahme und des tatsächlich eingetretenen Falles der Rahmenbedingungen	154
Tabelle 10-1: Anwendungsbereiche von AS	161
Tabelle 10-2 : Preisvergleich Aminosäuren.....	163
Tabelle 11-1: Prozesstechnologien der Silagesaftaufbereitung zur Abtrennung von Milchsäure und Aminosäurengemischen.....	176
Tabelle 12-1: Spezifische Produktausbeute und Erlössituationen verschiedener Szenarien.....	185
Tabelle 17-1: Physikalische Eigenschaften der proteinogenen Aminosäuren (Nelson, Cox).....	231
Tabelle 17-2: Komplexbildungskonstanten von L-Glu.....	235