



# NACHWACHSUNG



**FABRIK**  
der Zukunft

**Hintergrundband**

Teil 1  
2. Auflage

## **Nutzung nachwachsender Rohstoffe**

*Berichte aus Energie- und Umweltforschung*

**10a/2009**

**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

Redaktionelle Bearbeitung:  
Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT)  
Petra Blauensteiner, Dr.<sup>in</sup> Erika Ganglberger, Mag. Martin Schweighofer, Mag. Joachim Stracke,  
Mag.<sup>a</sup> Karin Sudra, Mag.<sup>a</sup> Sylvia Tanzer

Quelle der Fotos am Deckblatt: Petra Blauensteiner

Weitere Hintergrundbände: 10b/2008 Technologien und Innovationen bei Produktionsprozessen,  
10c/2009 Produkte und Produktdienstleistungs-Systeme, 10d/2009 Inner- und überbetriebliches  
Nachhaltigkeitsmanagement

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at)

---

# FABRIK der Zukunft

## Themenfeld: Nutzung Nachwachsender Rohstoffe

### Hintergrundband

Teil 1  
2. Auflage

Wien, April 2009

Sammlung von Projektergebnissen aus der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

---



## Vorwort

Der vorliegende Hintergrundband soll einen umfassenden Überblick über die hervorragenden Ergebnisse aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT geben, wobei insbesondere die Projekte der ersten vier Ausschreibungen der Programmlinie dargestellt werden.

Die Programmlinie 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. Erste europäische Kooperationen im Rahmen des ERA-Net SUSPRISE bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

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

Mag. Sabine List

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

---



# INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung .....	11
1 GRÜNE BIORAFFINERIE.....	17
EINLEITUNG.....	17
Ausgangssituation.....	17
Ziele und Herausforderungen .....	17
Die Projekte im Rahmen der Programmlinie .....	18
INHALT .....	21
Konzept der Grünen Bioraffinerie .....	21
Hauptprodukte der Grünen Bioraffinerie.....	21
Flüssige Fraktion - Presssaft .....	23
1. Gewinnung von Proteinen aus Grassäften.....	23
2. Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft .....	27
3. Schlüsseltrenntechnologien.....	32
Feste Fraktion – Presskuchen .....	33
4. Verwertung der Grasfaserfraktion.....	33
5. Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion .....	37
Wirtschaftliche Überlegungen zur Grünen Bioraffinerie .....	38
6. Grüne Bioraffinerie Phase III – Entwicklung von Technologien zur Prozessintensivierung hinsichtlich Gewinnung und Verwertung von Milchsäure, Aminosäuren und Fasern.....	39
7. Demonstrationsanlage zur Gewinnung von Milchsäure und Aminosäuren aus Silagen von Dauergrünland und Feldfutter bei der Biogasanlage der Ökoenergie Utzenaich GmbH.....	40
Die Grüne Bioraffinerie im internationalen Vergleich.....	42
Ausblick.....	42
2 KERNKRAFT: KASKADISCHE NUTZUNG VON STEINOBST-RESTMASSEN .....	43
EINLEITUNG.....	43
Ausgangssituation.....	43
Ziele und Inhalte .....	43
Projektdateien .....	44
INHALT .....	45
1. Grundlagenstudie „NaWaRo Cascading für die Wellness-Regio“ .....	45
2. „NAWARO Cascading Pilot“: Strategische und operative Voraussetzungen .....	47
3. Konzept für Demoprojekt: KernCraft TAKE OFF .....	49
Ausblick.....	51
3 PFLANZENFARBEN FÜR DIE TEXTILINDUSTRIE.....	52
EINLEITUNG.....	52
Ausgangssituation.....	52
Ziele und Herausforderungen .....	52
Die Projekte im Rahmen der Programmlinie .....	52
INHALT .....	54
1. Anforderungen von Angebot- und Nachfrageseite .....	54
2. Versorgungskonzept für zwei färbende Betriebe.....	55
3. Farbstoff-Prototypen .....	56
4. Businessplan für Pflanzenfarbstoffhersteller .....	57
5. Implementierung von "Pflanzenfarbstoff" in den Textilmarkt.....	59
4 WOOD PLASTIC COMPOSITES.....	60
EINLEITUNG.....	60
Ausgangssituation.....	60
Ziel und Herausforderungen .....	60
Die Projekte im Rahmen der Programmlinie .....	61
INHALT .....	63
1. Rezeptur-Eigenschaftsbeziehungen.....	63
2. Entwicklung der Spänedirektdosierung .....	64
3. Entwicklung eines Extrusionswerkzeuges.....	65

	4. Modifizierte Holzspäne für höherwertige Holz/Kunststoff-Verbundwerkstoffe .....	66
	5. Wasseraufnahme von Wood Plastic Composites .....	67
	6. Wood Plastic Composites – Neues Eigenschaftsprofil durch Refinerfasern .....	68
	7. Neue Wertschöpfung aus Wood Plastic Composites durch Einsatzmöglichkeiten für Spritzgussanwendungen .....	69
5	KUNST- UND SCHAUMSTOFFE AUS NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN .....	70
	EINLEITUNG .....	70
	Ausgangssituation .....	70
	Ziele und Herausforderungen .....	70
	Die Projekte im Rahmen der Programmlinie .....	71
	INHALT .....	72
	1. Nachwachsende Biopolymere als Substitution für Massenkunststoffe .....	72
	2. Entwicklung eines marktfähigen Biopolymers auf Stärkebasis aus österreichischen Rohstoffen .....	73
	3. Entwicklung geschäumter Produkte auf Proteinbasis .....	75
	4. Türblatteinlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe und Reststoffe .....	76
6	MAISGRANULAT – BINDEMittel UND TRÄGERMATERIAL .....	78
	EINLEITUNG .....	78
	Ausgangssituation .....	78
	Ziele und Inhalte .....	78
	Die Projekte im Rahmen der Programmlinie .....	78
	INHALT .....	79
	1. Adsorptive Produkte aus Maisreststoffen .....	79
	2. Maisgranulat zur Immobilisierung von Lipasen .....	82
7	STROH – DÄMMSTOFF UND FASERCOMPOUND .....	85
	EINLEITUNG .....	85
	Ausgangssituation .....	85
	Ziele und Herausforderungen .....	85
	Die Projekte im Rahmen der Programmlinie .....	85
	INHALT .....	86
	1. Stroh kompakt .....	86
	2. Entwicklung von Produktprototypen aus Naturstoff-gebundenen Vliesen .....	90
8	ZELLULOSEFASER RAINBOW .....	94
	EINLEITUNG .....	94
	Ausgangssituation .....	94
	Ziele und Herausforderungen .....	94
	Die Projekte im Rahmen der Programmlinie .....	94
	INHALT .....	95
	1. Grundlagenstudie: Entwicklung von Rainbow .....	95
	2. Übertragung auf halbertechnischen Maßstab: Rainbow 2 .....	96
	Ausblick .....	100
9	DUFTSTOFF STATT NERVENGIFT .....	101
	EINLEITUNG .....	101
	Ausgangssituation .....	101
	Ziele	101
	Projektdatei .....	102
	INHALT .....	102
	Der „Westliche Maiswurzelbohrer“ als Maisschädling .....	102
	Hintergrund .....	103
	Bereitstellung der Diabrotica virgifera für die Versuchsreihe .....	103
	Trägermatrizes für das Pheromon .....	103
	Wirkstoffabgabe bei unterschiedlichen Temperaturen .....	105
	Wirksamkeitsprüfung .....	106
	Schlussfolgerungen .....	106
	Ausblick .....	106
10	ÖLSAATEN IN DER LACK- UND BINDEMittelINDUSTRIE .....	107
	EINLEITUNG .....	107
	Ausgangssituation .....	107

	Ziele und Herausforderungen .....	107
	Projektdaten .....	108
	INHALT .....	108
	Projektdesign .....	108
	Eigenschaften unterschiedlicher Ölsorten .....	108
	Marktsituation.....	109
	Landwirtschaftliche Situation .....	111
	Entwicklung eines Demonstrationsprojekts .....	111
	Ergebnisse .....	112
11	DIE BIOKERZE .....	114
	EINLEITUNG.....	114
	Ausgangssituation.....	114
	Ziele und Herausforderungen .....	114
	Projektdaten .....	115
	INHALT .....	115
	Stand der Technik.....	115
	Projektverlauf .....	116
	Testserien .....	116
	Ergebnis.....	117
	Schlussfolgerungen .....	117



# Einleitung

## Zum Inhalt

Die gegenständliche Publikation gibt einen systematischen und strukturierten Überblick über die Forschungsaktivitäten der Programmlinie Fabrik der Zukunft. Die überarbeitete und erweiterte zweite Auflage des Hintergrundbandes ist mit 23 Projektketten (diese umfassen 73 Projekte) und 26 Einzelprojekten sowie ca. 150 Abbildungen inhaltlich noch umfassender als die 2008 erschienene Erstauflage. Während in der ersten Auflage der Fokus auf den Projekten der ersten und zweiten Ausschreibung lag, wurden in der vorliegenden Auflage diese Projekte aktualisiert und die abgeschlossenen Projekte der dritten und vierten, sowie aktuelle Projekte der fünften Ausschreibung ergänzt. Um die Vielzahl herausragender Projektergebnisse aus der Programmlinie entsprechend zu dokumentieren wird die zweite Auflage des Hintergrundbandes in vier Bänden publiziert.

Der erste Band (10a/2009) umfasst jene Forschungsaktivitäten der Programmlinie, die sich mit der Thematik „**Nutzung Nachwachsender Rohstoffe**“ auseinandersetzen. Ziel der Forschungsaktivitäten in diesem Bereich ist es, die Entwicklung neuer Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen mit hohem Marktpotenzial zu forcieren sowie innovative Nutzungsmöglichkeiten von biogenen Reststoffen zu entwickeln. Weiters soll die Entwicklung von neuen Verfahren zur Herstellung von Rohstoffen auf der Basis erneuerbarer Ressourcen gezielt Alternativen zu derzeit verwendeten Technologien schaffen. Beispielhaft seien hier die Projektketten „Die Grüne Bioraffinerie“ oder auch „Kernkraft“ angeführt. Diese Projektketten folgen dem idealtypischen Verlauf erfolgreicher Forschungsaktivitäten im Sinne der Programmstrategie – die systematische Entwicklung von Themenfeldern, beginnend mit Grundlagenforschungsaktivitäten, die in Folge zur Umsetzung in Demonstrations- oder Leuchtturmprojekten führen.

Der zweite Band (10b/2009) bietet einen Überblick über die Projekte zum Fabrik der Zukunft Themenschwerpunkt „**Technologien und Innovationen bei Produktionsprozessen**“. Hier werden Forschungsprojekte dargestellt, die sich insbesondere mit Schlüsseltechnologien und -methoden zur Ressourceneffizienzsteigerung befassen. Im Rahmen dieser Projekte standen unter anderem der Zero-Emission Ansatz, Ecodesign und die Solarenergienutzung im Mittelpunkt des Forschungsinteresses.

Im dritten Band „**Produkte und Produktdienstleistungs-Systeme**“ (10c/2009) spannt sich der thematische Bogen von allgemeinen Strategien zur Entwicklung und Umsetzung von Produktdienstleistungen bis hin zu konkreten Konzepten für Produktdienstleistungen wie beispielsweise die Projekte „Dienstleistung Schmierung“ oder „Ozon aus der Flasche“. Den Ergebnissen der Forschungsaktivitäten zu den Themenfeldern Reparatur und Kreislaufwirtschaft wird in diesem Band ebenfalls ein breiter Raum gewidmet.

Unter dem Titel „**Inner- und überbetriebliches Nachhaltigkeitsmanagement**“ werden im vierten Band (10d/2009) Projekte zusammengefasst, die sich mit den vielfältigen Themen entlang der nachhaltigen Wertschöpfungskette befassen. In diesen Projekten wurden richtungweisende Ergebnisse erzielt, die eine betriebswirtschaftliche Umsetzung von Nachhaltigkeit fördern. Die im Rahmen der Programmlinie entwickelten Leitfäden, Modelle und Tools zu den Themen Umweltkostenrechnung, Nachhaltige Unternehmensgründung bzw. -führung,

Ganzheitliche Bewertung, Nachhaltigkeitsberichterstattung, Einbindung von KonsumentInnen etc. erleichtern die Einführung eines nachhaltigen Wirtschaftens in die betriebliche Praxis.

Für die Darstellung der Projektketten und Einzelprojekte wurde, wie auch in der ersten Auflage, ein einheitlicher Aufbau gewählt. Der Einleitungsteil umfasst die Ausgangssituation mit den Zielen und Herausforderungen der Forschungsaktivitäten. Die Projekte, die im Rahmen der Projektketten abgewickelt wurden, werden anschließend im Überblick dargestellt. Im inhaltlichen Teil erfolgt die ausführliche Darstellung der Methodik, der konkreten Forschungsaktivitäten sowie der Ergebnisse der Projekte.

## **Das Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften**

Ressourcenverknappung, sichere und saubere Energieversorgung und globale Umweltverschmutzung stellen zentrale Herausforderungen für die heutige Forschungs- und Technologieentwicklung dar.

Innovative AkteurlInnen der Wirtschaft haben die Nachhaltigkeit als wichtiges unternehmerisches Leitprinzip erkannt, welche die langfristige Wettbewerbsfähigkeit erhöht und beträchtliche Innovationschancen eröffnet. Das Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften setzt durch Forschung und Entwicklung Innovationsimpulse für die österreichische Wirtschaft. Gestartet wurde es 1999 mit der Programmlinie Haus der Zukunft. Im Jahr 2000 erfolgte der Start der Programmlinie Fabrik der Zukunft und 2003 wurde die 1. Ausschreibung zur Programmlinie Energiesysteme der Zukunft durchgeführt.

### **Ziele der Programmlinie Fabrik der Zukunft**

Ziel der Programmlinie Fabrik der Zukunft ist die Initiierung und Realisierung von beispielhaften Technologieentwicklungen in Unternehmen, welche Impulse für eine nachhaltige Entwicklung setzen. Die Fabrik der Zukunft soll mit den Werkstoffen von morgen Produkte und Dienstleistungen für den Bedarf von morgen bereit stellen.

Eine wichtige Rolle spielen dabei Technologien, die eine deutliche Steigerung der Ressourceneffizienz in der Produktion und die Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Industriegrundstoffe ermöglichen. Im Bereich der Produktdienstleistungs-Systeme führen konsequente Lebenszyklusbewertungen zu neuen Geschäftsmodellen. Neue integrierte Managementkonzepte und -instrumente unterstützen themenübergreifend die Planung und Umsetzung von Nachhaltigkeitsstrategien in Organisationen.

Anliegen der Programmlinie Fabrik der Zukunft ist es, innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotenzial zu initiieren und zu realisieren. Daher werden in den einzelnen Ausschreibungen Projekte gesucht, die auf der Basis einer entsprechenden Gesamtstrategie zu Demonstrations- und Vorzeigeprojekten weiterentwickelt werden können bzw. wesentliche Beiträge dazu leisten.

### **Programmstrategie**

Die Ausschreibungsinhalte wurden ausgehend von einer anfänglich größeren thematischen Breite zunehmend fokussiert, wobei sich gleichzeitig die Ansprüche an die Umsetzungsorientiertheit erhöhten. Dies wird auch durch eine Schwerpunktverlagerung von Grundlagenarbei-

ten hin zu Forschungs- und Entwicklungsprojekten mit Beteiligung von Unternehmen gewährleistet.

Ergebnisse können beispielhafte Produktionsprozesse und Produkte sowie Demonstrationsanlagen oder Demonstrationsanwendungen sein. Diese sogenannten „Leuchttürme der Innovation“ spielen eine zentrale Rolle bei der breiten Umsetzung innovativer Forschungsergebnisse.

Zur Umsetzung der Programmlinie werden in etwa jährlichem Rhythmus entsprechend konzipierte Ausschreibungen durchgeführt. Entsprechend der Programmstrategie und mit Berücksichtigung der unterschiedlichen Entwicklungsstufen werden die Themen gekoppelt an die Projektarten ausgeschrieben und inhaltlich aufeinander aufbauende Projekte initiiert. Diese strategischen Projektketten sollen letztlich zu den angestrebten Pilot- und Demonstrationsanlagen führen. Dafür sind begleitende Maßnahmen und Transferaktivitäten wie z.B. eine gezielte Miteinbeziehung der Wirtschaft erforderlich.

Die in der Programmlinie Fabrik der Zukunft angestrebten Innovations sprünge sollen in folgenden Bereichen initiiert werden:

- Nutzung nachwachsender Rohstoffe
- Technologien und Innovationen bei Produktionsprozessen und Produkten
- Produkte und Produktdienstleistungs-Systeme
- Inner- und überbetriebliches Nachhaltigkeitsmanagement

### **Aktueller Stand der Programmlinie**

Seit dem Start der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ im Oktober 2000 wurden in bisher fünf Ausschreibungen 203 Projekte mit einem Volumen von gut 23 Mio. Euro finanziert. Der aktuelle Stand der Ausschreibungen kann unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at) (Menüpunkt „Statistik“) abgerufen werden. Die Ergebnisse aus diesen Projekten zeigen, dass die zum Programmstart formulierten Ansprüche erfolgreich umgesetzt werden konnten.

## Kapitelübersicht Hintergrundbände

### **Nutzung Nachwachsender Rohstoffe (Band 10a/2009)**

Grüne Bioraffinerie  
KERNKRAFT: Kaskadische Nutzung von Steinobst-Restmassen  
Pflanzenfarben für die Textilindustrie  
Wood Plastic Composites  
Kunst- und Schaumstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen  
Maisgranulat – Bindemittel und Trägermaterial  
Stroh – Dämmstoff und Fasercompound  
Zellulosefaser RAINBOW  
Duftstoff statt Nervengift  
Ölsaaten in der Lack- und Bindemittelindustrie  
Die Biokerze

### **Technologien und Innovationen bei Produktionsprozessen (Band 10b/2009)**

Zero Emission Ansatz als Instrument der nachhaltigen Unternehmensführung  
Produzieren mit Sonnenenergie  
Brennstoffzellen  
ECODESIGN  
Nachhaltige Gestaltung von Hochgeschwindigkeitsbearbeitungs-Prozessen  
Umweltverträgliche Kälteerzeugung  
Entwicklung von geschweißten Vollholz-Parkettelementen  
Antistatische Lacke für Parkettfußböden durch ionische Flüssigkeiten  
Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement für Sägebetriebe  
MIXOLITH – ein ökoeffizienter Baustoff aus Reststoffen

### **Produkte und Produktdienstleistungs-Systeme (Band 10c/2009)**

Kreislaufwirtschaft für Elektro(nik)geräte  
Wiederaufbereitung gebrauchter Güter  
Erfolgsstrategien für Produkt-Dienstleistungssysteme  
Toolset zur Entwicklung von Produkt-Dienstleistungssystemen  
Ökoeffiziente Produkt-Service-Systeme in der öffentlichen Beschaffung  
Risikofrei zur Produktdienstleistung (RISP)  
Dienstleistung Pflanzenschutz  
Nachhaltige Waldbewirtschaftung  
Ozon aus der Flasche  
Dienstleistung Schmierung  
Marktorientiertes, nachhaltiges ROI-Contracting als neues Geschäftsfeld  
Nachhaltige Reparaturdienstleistungen

## **Inner- und überbetriebliches Nachhaltigkeitsmanagement (Band 10d/2009)**

Nachhaltige Wertschöpfungsketten und Nachhaltigkeitsnetzwerke  
Umweltkostenrechnung  
EASEY - Ecological And Social Efficiency  
Nachhaltige Unternehmensgründung  
Das Nachhaltige Krankenhaus  
i<sup>3</sup>- Sustainable Food Management  
Ganzheitliche Bewertung von Unternehmen  
Sozial nachhaltige Unternehmensführung  
FABRIKregio  
Sustainability Reporting  
Entwicklung nachhaltiger Finanzierungsinstrumente  
Einbindung von KonsumentInnenwissen  
Integration von KundInnen- und LieferantInnenwissen  
Aktives Einbeziehen von NutzerInnen in technische Innovationsprozesse  
Produktentwicklung gemeinsam mit NutzerInnen  
ÖKOTEXTILIEN – Aus der Nische zum Trendprodukt



# 1 Grüne Bioraffinerie

---

## ***EINLEITUNG***

### **Ausgangssituation**

In der österreichischen Landwirtschaft zeichnet sich – genauso wie in vielen vergleichbaren europäischen Ländern – ein deutlicher Strukturwandel ab. Dieser ist unter anderem durch einen Rückgang der Viehwirtschaft und der Milchproduktion gekennzeichnet. Als Folge dieses Strukturwandels steigen die verfügbaren, ungenutzten Potenziale an Grünlandbiomasse bzw. an nicht mehr bewirtschaftetem Grünland (Bracheflächen). Laut Schätzung der Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft (BAL) Gumpenstein werden österreichweit mittelfristig pro Jahr 750.000 Tonnen Trockenmasse an Grünlandbiomasse verfügbar sein. Um das für traditionelle Zwecke nicht mehr benötigte Grünland und die davon geprägte Kulturlandschaft weiterhin zu erhalten, ist es erforderlich, für die überschüssige Grünlandbiomasse neue Verwertungsmöglichkeiten zu erschließen.

Die stoffliche Nutzung von Grünlandbiomasse („Gras“) bietet eine breite Palette von möglichen Produkten, die bisher im technischen Bereich nicht genutzt werden (Produktion von Chemikalien, biogenen Werkstoffen wie Kunststoff und Verpackungsmaterial und Pflanzenfasern bspw. für Dämmplatten).

### **Ziele und Herausforderungen**

Eine innovative Möglichkeit zur alternativen Verwertung dieser überschüssigen Grünlandbiomasse bietet das Technologiekonzept einer sogenannten Grünen Bioraffinerie. Die Grundidee: in Analogie zu einer Erdölraffinerie soll der in großer Menge verfügbare und nachhaltig in der Landwirtschaft produzierbare Rohstoff „Grünlandbiomasse“ (z.B. Gras, Klee, Luzerne etc.) in einer einzigen Verarbeitungsanlage möglichst vollständig (Ganzpflanzennutzung) und ohne Anfall von Abfällen (zero-waste) in eine Vielzahl verkaufbarer Produktgruppen weiterverarbeitet werden.

Die Umsetzung 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.

Das Konzept einer grünen Bioraffinerie für Österreich unterscheidet sich von anderen internationalen Konzepten dadurch, dass es besondere Rücksicht auf die Bedürfnisse der für Österreich typischen, ländlichen Regionen nimmt. Ziel ist es, einen kontinuierlichen Ganzjahresbetrieb zu ermöglichen. Daher wird nicht nur frisches Wiesengras verarbeitet, sondern auch Grassilage, die in der Vegetationsperiode aufbereitet und im Silo gelagert wird.

## **Die Projekte im Rahmen der Programmlinie**

Im Rahmen der Programmlinie wurden bisher sieben Projekte zur Grünen Bioraffinerie durchgeführt:

Im Projekt „Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Proteinen aus Grassäften“ wurden erstmals Versuche mit Grünmasse in Form von Silage unternommen, um statt eines kostenintensiven Kampagnenbetriebs von Mai bis Oktober einen ganzjährigen Betrieb zu ermöglichen.

Da die Wirtschaftlichkeit einer Anlage mit ausschließlicher Herstellung von Proteinkonzentraten nur bedingt gegeben ist, wurde in einem weiteren Projekt der Fokus auf die Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft gerichtet und in Hinsicht auf Hochprotein-Futtermittel mittels Ultrafiltration und diverser Aufschlussverfahren untersucht.

Das Folgeprojekt „Entwicklung von Schlüssel-Trenntechnologien zur Gewinnung von Milchsäure und anderen Wertsubstanzen aus Silagesäften“ befasste sich in erster Linie mit den Anwendungsmöglichkeiten und der Leistungsfähigkeit der Nanofiltration zur Gewinnung von Wertstoffen (Aminosäuren, Milchsäure) aus Silagesaft.

In einem weiteren Forschungsprojekt dieser Projektreihe wurde die Verwertung der Grasfaserfraktion behandelt. Verwertungsmöglichkeiten bieten Dämmstoffe, Platten, Materialien für den Garten- und Landschaftsbau, Bioenergie (Brennstoffpellets, Biogas) und Futtermittelpellets.

Im Projekt „Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion II“ wurden weitere Grundlagenversuche zur Optimierung des für eine Grüne Bioraffinerie zentralen Verfahrensschrittes der mechanischen Fraktionierung von Grünlandbiomasse in eine flüssige Fraktion (Presssaft) und eine feste Fraktion (Presskuchen) durchgeführt. Weiters wurden weitere Grundlagenversuche zur Verwertbarkeit gemacht.

Derzeit wird in „Grüne Bioraffinerie Phase III“ die Prozesstechnologie für die Gewinnung und Verwertung von Milchsäure, Aminosäuren und Fasern intensiviert und optimiert. Durch erneute Silierung des gewonnenen Presskuchens wird versucht, die Gesamtausbeute an Milchsäure zu erhöhen.

Weiters wurde aufbauend auf den bisherigen Erkenntnissen in Utzenaich, Oberösterreich, eine Demonstrationsanlage errichtet. Durch die Errichtung und den Probetrieb wird die Technologieentwicklung Grüne Bioraffinerie in den Industriemaßstab übergeführt. Dabei werden die Rückstände in einer an die Demoanlage gekoppelten Biogasanlage energetisch verwertet.

## **1. Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Proteinen aus Grassäften**

### **Projektleitung:**

DI Dr. Christian Krotscheck und DI Dr. Stefan Kromus  
Innovationszentrum Ländlicher Raum  
Auersbach 130, A-8330 Feldbach

Tel.: +43 (0)3152 8575-300

E-Mail: [ckrotscheck@imzentrum.at](mailto:ckrotscheck@imzentrum.at), [stefan.kromus@aon.at](mailto:stefan.kromus@aon.at)

Endbericht: Nr. 19/2003 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## **2. Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft**

### **Projektleitung:**

DI Dr. Christian Krotscheck und DI Dr. Stefan Kromus  
Innovationszentrum Ländlicher Raum  
Auersbach 130, A-8330 Feldbach

Tel.: +43 (0)3152 8575-300

E-Mail: [ckrotscheck@imzentrum.at](mailto:ckrotscheck@imzentrum.at), [stefan.kromus@aon.at](mailto:stefan.kromus@aon.at)

Endbericht: Nr. 3/2004 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## **3. Grüne Bioraffinerie – Entwicklung von Schlüssel-Trenntechnologien zur Gewinnung von Milchsäure und anderen Wertsstoffen aus Silagesäften**

### **Projektleitung:**

Dr. Senad Novalin  
Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Lebensmittelwissenschaften und -technologie  
Muthgasse 18, A-1190 Wien

Tel.: +43 (0)1 36006-6288

E-Mail: [senad.novalin@boku.ac.at](mailto:senad.novalin@boku.ac.at)

Endbericht: Nr. 33/2005 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

#### 4. Grüne Bioraffinerie – Verwertung der Grasfaserfraktion

##### Projektleitung:

DI Dr. Bruno Wachter, DI Michael Mandl, Dr. Herbert Böchzelt,  
Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Hans Schnitzer  
JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH  
Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme (JOINTS),  
Elisabethstraße 16-18, A-8010 Graz, und  
Am Ökopark 7, A-8230 Hartberg, (Außenstelle Hartberg)

Tel.: +43 (0)316 876 2950

E-Mail: [bruno.wachter@joanneum.ac.at](mailto:bruno.wachter@joanneum.ac.at)

Internet: [www.joanneum.at/nts](http://www.joanneum.at/nts)

Endbericht: Nr. 20/2003 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

#### 5. Grüne Bioraffinerie – Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion

##### Projektleitung:

DI Michael Mandl, DI Niv Graf, Ing. Angela Thaller, Dr. Herbert Böchzelt,  
Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Hans Schnitzer  
JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH  
Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme (JOINTS)  
Elisabethstraße 16-18, A-8010 Graz

Tel.: +43 (0)316 876 2950

E-Mail: [bruno.wachter@joanneum.at](mailto:bruno.wachter@joanneum.at); [michael.mandl@joanneum.at](mailto:michael.mandl@joanneum.at)

Internet: [www.joanneum.at/nts](http://www.joanneum.at/nts)

Endbericht: Nr. 67/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

#### 6. Grüne Bioraffinerie Phase III – Entwicklung von Technologien zur Prozessintensivierung hinsichtlich Gewinnung und Verwertung von Milchsäure, Aminosäuren und Fasern

##### Projektleitung:

Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Hans Schnitzer  
JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH  
Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme (JOINTS)  
Elisabethstraße 16-18, A-8010 Graz

Tel.: +43 (0)316 876-2424

E-Mail: [hans.schnitzer@joanneum.at](mailto:hans.schnitzer@joanneum.at)

Die Laufzeit des Projekts endet voraussichtlich im Sommer 2009. Download bzw. Bestellung des Endberichts nach Projektabschluss auf [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## 7. Demonstrationsanlage zur Gewinnung von Milchsäure und Aminosäuren aus Silagen von Dauergrünland und Feldfutter bei der Biogasanlage der Ökoenergie Utzenaich GmbH

### Projektleitung:

Dipl.-Ing. Dr. Horst Steinmüller

Oberösterreichische Bioraffinerie Forschungs- und Entwicklungs GmbH Altenbergerstraße 69, A-4040 Linz

Tel.: +43 (0)732 2468-5650

E-Mail: [steinmueller@energieinstitut-linz.at](mailto:steinmueller@energieinstitut-linz.at)

Die Laufzeit des Projekts endet voraussichtlich im Herbst 2010. Download bzw. Bestellung des Endberichts nach Projektabschluss auf [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## ***INHALT***

### **Konzept der Grünen Bioraffinerie**

Die Grüne Bioraffinerie ist ein innovativer Prozess, der abfall- und emissionsfrei Wertstoffe aus Gras gewinnt, der

- auf Hilfsstoffe in der Produktion weitgehend verzichtet,
- autoenergetisch betrieben werden kann,
- Produkte für den zukünftigen Markt aus dem nachwachsenden Rohstoff "Gras" (oder allgemein aus grünen Einjahrespflanzen) erzeugt,
- beispielgebend für Verfahren und Verarbeitungsarten nachwachsender Rohstoffe ist, weil viele Produkte (multi-product) aus einem Rohstoff bzw. Rohstoffgemisch erst die Wirtschaftlichkeit ermöglichen und eine interdependente Optimierung vollzogen wird.

### **Hauptprodukte der Grünen Bioraffinerie**

Die Hauptprodukte der Grünen Bioraffinerie in Österreich sind:

- Milchsäure-Produkte als Grundstoff für Kunststoffe, Lösungsmittel, Lebensmittelindustrie etc.
- Protein-Produkte als hochwertiges Tierfuttermittel (Milchaustauscher (MAT), Hochleistungsrinder) mit den Prädikaten „rein pflanzlich“ und „gentechnikfrei“.
- Faserprodukte als Rohstoff für Dämmstoffe, Bauplatten, Materialien für den Garten- & Landschaftsbau, Spezial-Tierfutter etc.
- Biogas/Grüner Strom: Reststoffe des Verfahrens werden einer Biogasanlage zugeführt. Das anfallende Biogas wird in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) in „grünen“ Strom und Wärme umgewandelt. Das ausgegorene Substrat ist als Dünger verwendbar.

Ein wesentlicher Verfahrensschritt ist die mechanische Fraktionierung der primären Rohstoffe in eine flüssige (Presssaft) und eine feste Fraktion (Presskuchen). Der Presssaft enthält

wasserlösliche Wertstoffe (z.B. Milchsäure und Aminosäuren), der Presskuchen besteht zum überwiegenden Teil aus Grasfasern unterschiedlichster Größe.

Nach der mechanischen Fraktionierung müssen die weiteren Wertstoffe, die zu eigenen Produkten werden sollen, aus dem Grassaft bzw. dem Grassilagesaft abgetrennt werden. Im Wesentlichen handelt es sich um Milchsäure und Proteine (Aminosäuren). Zur Abtrennung dieser Wertstoffe ist es allerdings notwendig, neue integrierte Technologien zu finden, die einerseits schonend genug sind, um die Inhaltsstoffe in ihrer natürlichen Zusammensetzung nicht zu zerstören, und andererseits effektiv und effizient zu den gewünschten Produktreinheiten führen. Diese Entwicklung wird dadurch erschwert, dass der Presssaft, der durch das Abpressen der Anwelksilagen entsteht, in seiner Komplexität mit keinem anderen Fermentationsmedium vergleichbar ist (Inhaltsstoffe: Milchsäure, Proteine, Asche, Zucker, etc.).

Dies stellt eine besondere Herausforderung an das Down-stream Processing dar, bietet aber auch die Chance, zusätzlich zur Milchsäure wertvolle Produkte wie Aminosäuren und Zucker zu gewinnen.

Für die Grasfaserfraktion müssen ebenfalls weitere Behandlungsschritte zur Aufbereitung und Weiterverarbeitung entwickelt, sowie potenzielle Produktfelder für deren marktfähige Anwendung gefunden werden. Das Prinzip der Grünen Bioraffinerie wird in der folgenden Abbildung dargestellt.

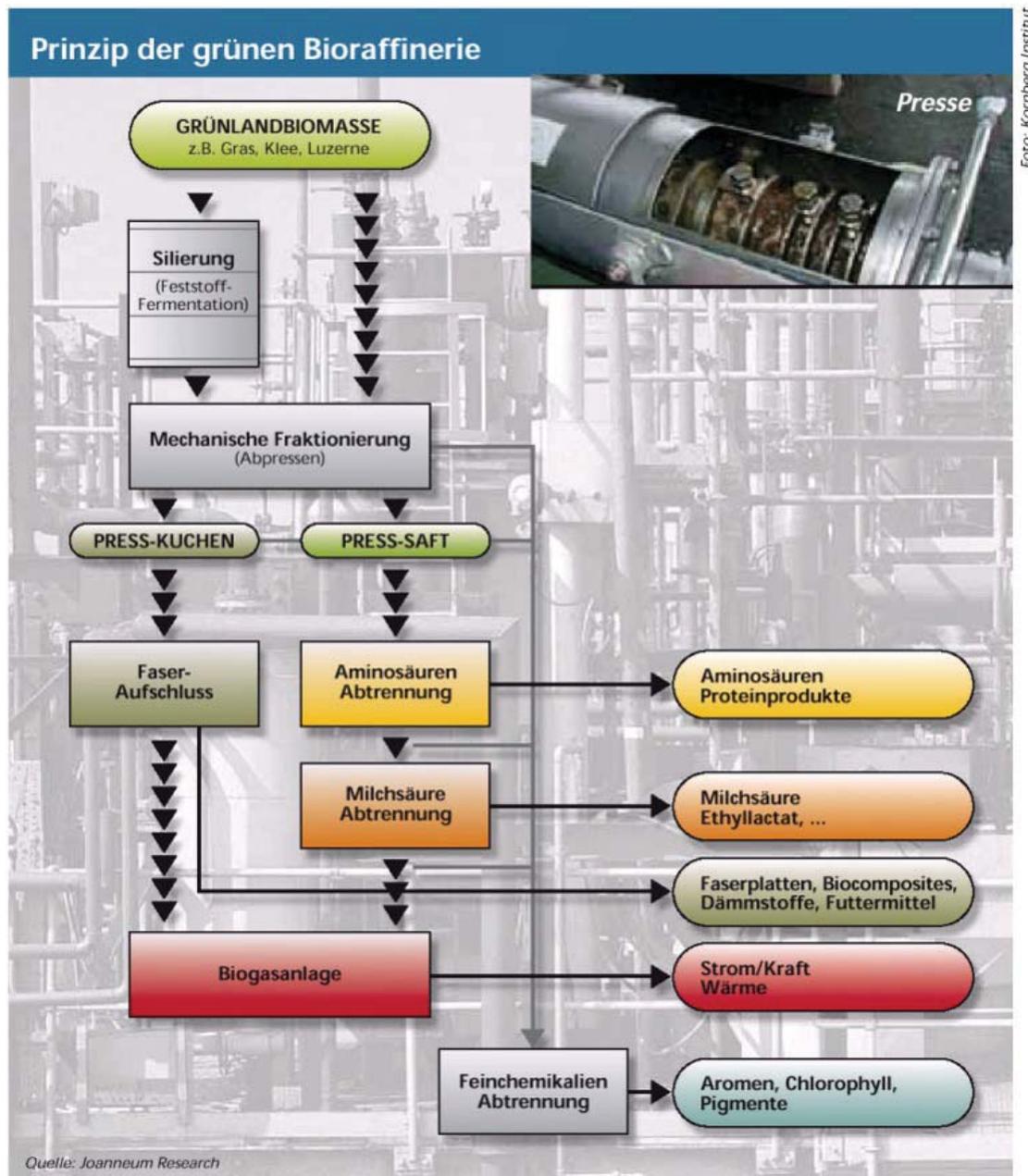


Abb.: Konzept der Grünen Bioraffinerie

## Flüssige Fraktion - Presssaft

### 1. Gewinnung von Proteinen aus Grassäften

Bisher wurde weltweit ausschließlich die Abtrennung von Blattproteinen aus frischen Grünpflanzen untersucht, was einen kostenintensiven Kampagnenbetrieb von Mai bis Oktober erfordert. Durch die Lagerung der Grünmasse in Form von Silage und die Gewinnung von Proteinen aus Silagesaft könnte eine ganzjährige Produktion ermöglicht werden. Diese Form der Proteinerzeugung wurde bisher allerdings noch nicht umfassend erforscht.

Der Industriepartner LACTOPROT AG, einer der führenden Casein-Hersteller, ist daran interessiert, gentechnikfreie „Grassaftproteine“ in hochwertigen Spezialfuttermitteln (Milchautauscher) einzusetzen. Im Teilprojekt „Gewinnung von Proteinen aus Grassäften“ wurde

deshalb untersucht, inwiefern sich derartige Eiweiße dafür eignen. Zudem wurde untersucht, welche Unterschiede zwischen Grünmasse- und Silageproteinen hinsichtlich Struktur (Proteine, Peptide, freie Aminosäuren), Abtrennbarkeit (Gewinnung) und Verarbeitung bestehen. Ziel war die Formulierung eines hochwertigen Milchaustauscherfutters bzw. das Aufzeigen möglicher Produktalternativen auf Basis von Silageproteinen.

Das Projekt wurde in Kooperationen mit IndustriepartnerInnen (z.B. dem Caseinhersteller LACTOPROT AG) und diversen Forschungseinrichtungen (TU Graz – Institut für ressourcenschonende und nachhaltige Systeme (RNS) und Institut für Biotechnologie; BAL Gumpenstein – Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft, IFA Tulln – Abteilung für Umweltbiotechnologie) bearbeitet. Für die Versuche wurden verschiedene Arten von Grünlandbiomasse mit hohem Proteingehalt (Klee gras, Bastardray gras, Dauerwiese, Luzerne und Knautgras) erntefrisch und als Silage getestet.

### **Potentielle Einsatzgebiete**

Proteine sind hochwertige Bestandteile der Ernährung von Mensch und Tier. Auch für technische Anwendungen (z.B. Klebstoffe) und im Pharma- und Kosmetikbereich (z.B. Emulgatoren) sind Proteine eine wichtige Produktgruppe. Bisher wurde weltweit ausschließlich die Abtrennung von Blattproteinen aus grünen Pflanzen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Proteine hohes Potenzial besitzen, um in die erwähnten Einsatzgebiete Eingang zu finden.

#### Protein-Produkte – völlig unbedenkliche Spezialfuttermittel

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

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

Pflanzliches Eiweiß in Form von Sojaschrot muss importiert werden und belastet in beträchtlichem Ausmaß die österreichische Handelsbilanz. Protein-Produkte aus grüner Biomasse würden diese Belastung reduzieren.

### **Erzeugung**

#### Fraktionierung

Die Gewinnung von proteinreichen Säften aus Biomasse bzw. Grassilage wird durch Fraktionierung (Pressung) erzielt. Die Fraktionierung ist der Schlüssel zu hohen Produktausbeuten. Mit der Firma Hernach, einem Krenverarbeiter im Süd-Westen des Bezirks Feldbach (Grasdorf) konnte ein im Fraktionieren von Pflanzenrestmassen erfahrener Partner gefunden werden.

Für die Versuche zur Proteinabtrennung und Aufkonzentrierung wurden folgende Methoden eingesetzt:

- Ernte von frischer Grünlandbiomasse
- Silierung von Grünlandbiomasse mit speziellen Starterkulturen

- Fraktionierung (Zerkleinerung und Pressung) der Rohstoffe und Herstellung von Presssaft und Presskuchen
- Hitzeokoagulation und Zentrifugation
- Ultrafiltration
- Trocknung
- Analytik

Der Großteil der Technologie- und Produktentwicklungsversuche wurde im Pilotanlagenmaßstab bzw. Semipilotanlagenmaßstab durchgeführt. Diese Größenordnung wurde gewählt, um "Realbedingungen" zu simulieren und annähernd verlässliche Daten für strategische Entscheidungen zu erhalten. Laborversuche hätten zwar den enormen Logistikaufwand reduziert, letztlich aber den Weg zu einer kontinuierlich betriebenen Demonstrationsanlage verlängert.

Anfangs betrug die Ausbeute an Rohprotein aus Silage im Mittel 26,9 %, die für Grünlandbiomasse 22,1 %. Nach Optimierung der Abläufe wurden im Folgejahr erneut Versuche durchgeführt, die eine Rohproteinausbeute aus der Silage bei Einfachpressung von durchschnittlich 47,7 % zeigten - dies entspricht einer Steigerung von 77 %. Im Gegensatz dazu waren die Rohproteinausbeuten der Grünlandbiomasse enttäuschend. Mit durchschnittlich 18,6 % lagen sie sogar unter den Ausbeuten des Vorjahres (22,1 %).

Es wurden auch Anordnungen mit Doppelpressen untersucht. Die Doppelpressung ergab eine Ausbeutesteigerung von 9 % auf 51,8 % Rohprotein im Saft. Diese verbesserte Ausbeute bedingt allerdings einen ca. 2,5 Mal höheren Gesamtstromverbrauch.

#### Abtrennung der Proteine

Die Abtrennungstechnologie, die zur Gewinnung von Proteinkonzentraten herangezogen wurde, kann in zwei Gruppen gegliedert werden:

- Ultrafiltration mit Keramikmembranen mit unterschiedlicher Trenngrenze (1 – 50 kD)
- Hitzeokoagulation durch Dampfdirektinjektion und Zentrifugation

Nach der Abtrennung wurden die Produkte gefriergetrocknet oder sprühgetrocknet und auf ihre Eigenschaften bzw. auf die Erfüllung von Qualitätskriterien untersucht. Primäres Zielprodukt war ein Proteinkonzentrat mit einem Rohproteinanteil von ca. 50 %, zur Verwendung als Futtermittel. Das Produkt sollte als Proteinquelle wertvoller als Sojaschrot (ca. 45 % Rohprotein) und von der Herkunft unbedenklicher als Soja-Isolat (Verdacht auf genmanipulierte Ausgangsstoffe) und Tiermehl (BSE) sein.

Hinsichtlich Proteinausbeute zeigte die Trenntechnologie „Hitzeokoagulation und Zentrifugation“ sehr deutlich, dass ein großer Unterschied zwischen den Rohstoffen Luzerne und der übrigen Grünlandbiomasse (untersucht wurden Klee gras, Dauerwiese und Bastardray gras) besteht. Nur Luzerne führt zu einem Proteinkonzentrat in ausreichender Ausbeute. Für Silagesäfte gelang es nicht, diese Technologie erfolgreich einzusetzen, vielmehr zeigte sich, dass in Silagesäften kein koagulierbares Protein mehr vorhanden ist.

Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen der Ultrafiltrationsversuche. Die Ursache liegt in der Trenneigenschaft der Proteine. Hitzeokoagulation und Ultrafiltration von Proteinen funktioniert nur, wenn die Rohproteine (Summe der organischen Stickstoffverbindungen) als

makromolekulare Proteine vorliegen. Bei grünem Grassaft liegen rund 30 bis 45 % der Rohproteine als makromolekulare Proteine vor. Bei der Luzerne sind dies immerhin etwa 69 %. Beide Trenntechnologien trennen nur diesen Anteil ab. Damit ist auch klar, dass für die Erzeugung eines Proteinkonzentrats ausschließlich Luzernepresssaft herangezogen werden könnte.

Für Grassilagepresssäfte müssen die Versuche zur Abtrennung von Proteinen mittels Ultrafiltration als nicht zielführend bewertet werden, denn die Silageproteine liegen hydrolysiert als Aminosäuren vor.

### **Anwendungsmöglichkeiten von Aminosäuren aus Silagesäften**

Proteine sind Makromoleküle, aufgebaut aus aneinandergelagerten Aminosäuren. Die Qualität von Proteinkonzentraten wird wesentlich durch ihr Aminosäureprofil bestimmt. Sowohl die Proteinkonzentrate aus grünem Saft als auch die Silagesäfte bieten hier ein sehr attraktives Spektrum. Der Vergleich mit Sojaprotein und Kartoffelprotein zeigt, dass die Produkte ein sehr hochwertiges Aminosäurespektrum aufweisen. Blattprotein ist besonders reich an den essentiellen Aminosäuren Leucin, Isoleucin, Valin, Threonin und Tryptophan und könnte damit einen ähnlich positiven Effekt wie das hochwertige Kartoffeleiweiß erzielen.

Die Ergebnisse des Projekts führen zwar zu dem Ergebnis, dass mit den vorgeschlagenen Technologien aus Silagesaft kein Proteinkonzentrat gewonnen werden kann, da die meisten Aminosäuren als freie Aminosäuren vorliegen, allerdings zeigen die Säfte ein wertvolles Aminosäureprofil.

Ein Einsatzgebiet für einzelne Aminosäuren aus Silagesäften wäre die Pharmazie. Proteinhydrolysate könnten je nach Qualitätsstandard auch in der Futtermittelindustrie und der Lebensmittelindustrie (Spezialernährung im Gesundheits- und Sportbereich) eingesetzt werden. Der Silagesaft steht dabei allerdings in Konkurrenz zu anderen Rohstoffen wie Melasse und Soja. Für den Silagesaft spricht das breite Spektrum der Aminosäuren, der hohe Gehalt an Aminosäuren im Silagesaft (bis zu 35 % der Trockenmasse) und die Tatsache, dass ein Großteil der Aminosäuren als freie Aminosäuren vorliegt.

### **Konzentration auf Silage**

Trotz der Projektergebnisse (Proteinfraktion in Form freier Aminosäuren) kommt das Projektteam zum Schluss, dass die Grüne Bioraffinerie in Österreich auf die alleinige Verarbeitung von Silage konzentriert sein sollte. Die Einbeziehung von grüner Frischmasse scheint nur zur Nutzung von Spezialprodukten aus der Luzerne oder Rotklee (z.B. Saponine, Lutein, Isoflavone, etc.) sinnvoll.

Die zukünftige Fokussierung auf Silage kann wie folgt begründet werden:

- Silage bietet durch natürliche und ökologische Vorgänge freie Aminosäuren, die mittels hoch innovativer Technologien gemeinsam mit Milchsäure abgetrennt werden können.
- Die Ausbeute an Aminosäuren beträgt ca. 40 bis 50 % des Rohproteins im Grassilagerohstoff. Ca. 65 % davon könnten aus dem Saft als hochwertiges Produkt gewonnen werden.
- Das mögliche Produktspektrum in Kombination mit der Milchsäuregewinnung ist riesig und reicht von Futtermittel über Lebensmittel bis zu Kosmetik und Pharma.

- Durch die breiten Einsatzmöglichkeiten sind der Produktentwicklungsphantasie keine Grenzen gesetzt. Ein großes Wertschöpfungspotenzial durch Sekundär- und Tertiärprodukte kann prognostiziert werden (z.B. „Functional Food“).
- Die Technologien können voraussichtlich so flexibel gestaltet werden, dass sie auch die Grundlage für die Abtrennung von Spezialstoffen bieten (Stichwort: „Low volume – High Price“).

### **Schlussfolgerungen**

Proteinkonzentrate könnten großtechnisch aus Luzernesäften (Luzerne Bioraffinerie) gewonnen werden. Die Wirtschaftlichkeit einer derartigen Anlage wäre allerdings nur bedingt gegeben und die Innovationskraft wäre beschränkt. Es wird daher empfohlen, diesen Weg zu Gunsten der Gewinnung von Aminosäuren, Milchsäure und weiteren Nebenprodukten aus Silagesäften aufzugeben.

## **2. Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft**

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

Milchsäure ist ein gefragter Chemierohstoff, der für die Produktion von biologisch abbaubaren Kunststoffen, umweltfreundlichen Lösungsmitteln, speziellen Chemikalien sowie in der Lebensmittelindustrie eingesetzt wird. Für Milchsäure gibt es einen breiten nationalen und internationalen Markt. Derzeit importiert Österreich etwa 770 Tonnen Milchsäure pro Jahr. Das geschätzte Marktpotenzial liegt aber wesentlich höher bei etwa 15.000 Tonnen pro Jahr. Im letzten Jahrzehnt ist das Interesse an der Produktion von Milchsäure merklich gestiegen. Milchsäure, fermentativ gewonnen, hat das Potenzial, eine der wichtigsten Commodity Chemikalien zu werden und stellt die Grundlage für eine Prozessindustrie mit hoher Wertschöpfung dar.

### **Milchsäure als Konservierungsmittel**

Milchsäure entsteht in einem anaeroben Fermentationsprozess (Silageprozess am Bauernhof) aus den Zuckern von Frischgras mit Hilfe von Mikroorganismen. Durch die konservierende Wirkung der Milchsäure erhält man einen lagerfähigen Rohstoff, Voraussetzung um die Grüne Bioraffinerie das ganze Jahr hindurch kontinuierlich zu betreiben. Weitere Vorteile einer ganzjährigen Verarbeitung: im Vergleich zu einer saisonal betriebenen Anlage verringert sich die notwendige Anlagengröße und in Folge Investitions- und Betriebskosten. Zudem werden vollwertige Arbeitsplätze geschaffen.

### **Erzeugung**

Eine der günstigsten Varianten der Milchsäureerzeugung stellt die Feststofffermentation dar. Die Silierung von Grünmasse ist eine Milchsäuregärung, wobei Milchsäure üblicherweise als Nebenprodukt anfällt und ihre konservierende Wirkung genutzt wird. Durch gezielte Verbesserungen in der Siliertechnik kann Milchsäure in befriedigenden Ausbeuten erzeugt werden, um ein interessanter und nutzbarer Rohstoff zu werden. Die Gewinnung von Milchsäure oder deren Derivaten aus Silage wurde bisher noch nicht in größerem Umfang erforscht. Im Rahmen des Teilprojekts „Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft“ wurden die Grundlagen für eine integrierte Abtrennungstechnologie entwickelt, mit der Milchsäure aus Grassilagesäften separiert wird, um daraus marktfähige Produkte zu erzeugen.

Für die Versuche zur Milchsäuregewinnung aus Silagepresssäften wurden folgende Methoden eingesetzt:

- Ernte und Silierung von Grünlandbiomasse mit speziellen Starterkulturen
- Fraktionierung (Zerkleinerung und Pressung) der Rohstoffe und Herstellung von Presssaft und Presskuchen (inkl. Vorfiltration und Trocknung des Presskuchens)
- Ultrafiltrations- und Nanofiltrationsversuche
- Entwicklung eines zweistufigen Elektrodialyseprozesses (ED)
- Grundlagenversuche zur Chromatographie (Separierung von Milchsäure bzw. Aminosäuren)
- Umfassende Analytik und Erstellung der Massenbilanzen bzw. Wirkungsgrade

Der Großteil der Technologie- und Produktentwicklungsversuche wurde im Labormaßstab bzw. Semipilotanlagenmaßstab durchgeführt. Diese Größenordnung wurde deshalb gewählt, da zunächst die Grundlagen für eine neuartige Prozesskette erarbeitet wurden. Lediglich die Fraktionierung in Presssaft und feste Phase konnte bereits im Pilotanlagenmaßstab umgesetzt werden.

Die Milchsäurefermentation findet in der Anwelksilage statt. Die Milchsäure muss daher möglichst gemeinsam mit den Proteinen (Aminosäuren) in den Presssaft übertragen werden. Damit ist die Fraktionierung der Schlüssel zu hohen Produktausbeuten aus Grassilage.

In Vorversuchen konnte festgestellt werden, dass Schneckenpressen für das Auspressen von Anwelksilagen prinzipiell geeignet sind. Pressversuche mit Einfachpressung zeigten eine Ausbeute an Milchsäure aus Grassilage von anfänglich durchschnittlich 48,6 %. Nach Optimierung der Abläufe wurde im Folgejahr ein neuer Pressversuch mit Einfachpressung durchgeführt. Die Ausbeute der Milchsäure aus der Silage betrug im Mittel bei Einfachpressung 78,1 % (Steigerung von 61 %). Die Umstellung auf Doppelpressung ergibt eine weitere Ausbeutesteigerung von 9 % auf optimale 85,0 % Milchsäure im Presssaft.

Auf Basis dieser Versuche konnte ein optimiertes Schema zur mechanischen Fraktionierung mit maximaler Ausbeute festgelegt werden (siehe folgende Abbildung).

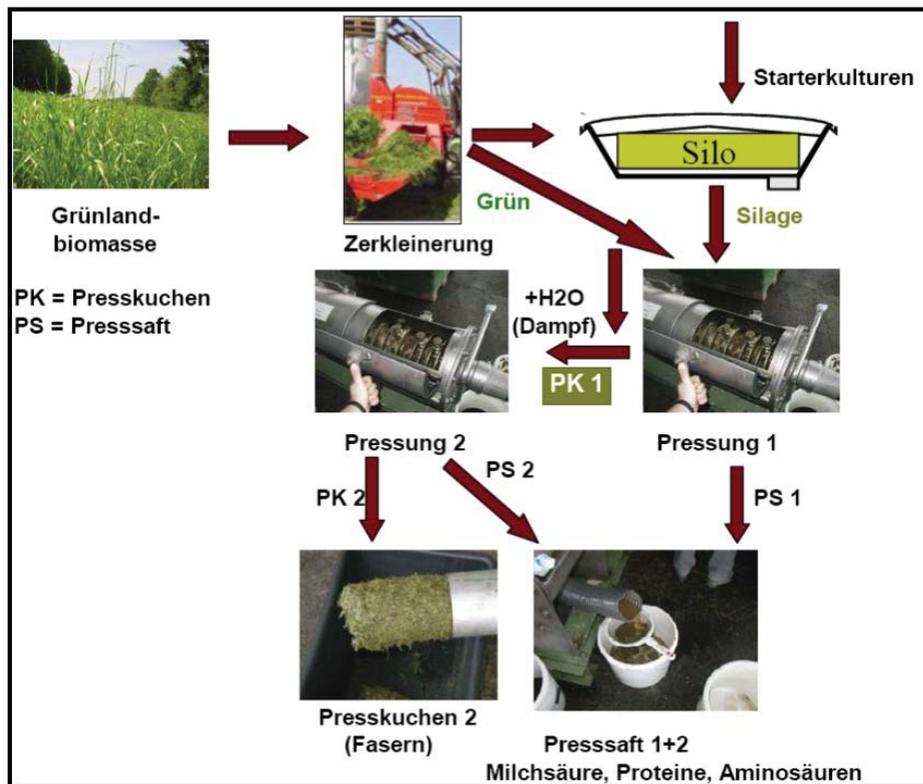


Abb.: Schema der Fraktionierung mit Doppelpressung

### Vorreinigung von Silagesäften – Nachfermentation

Aufgrund des teilweise relativ hohen Zuckergehalts der Presssäfte wurde untersucht, inwieweit sich vorhandene Zucker durch Nachfermentation in zusätzliche Milchsäure umwandeln lassen. Für diese Versuchsreihe wurde ein repräsentativer Saft mit relativ hoher Milchsäurekonzentration und hoher Zuckerkonzentration gewählt, um herauszufinden, ob die bereits im Saft befindliche Milchsäure die Fermentation hemmen würde und inwieweit die Zucker umwandelbar sind. Es zeigte sich, dass die Nachfermentation eine interessante Möglichkeit der Saftvorreinigung darstellt, da die C<sub>6</sub>-Zucker zu mindestens 80 % abgebaut werden und der Milchsäurezugewinn je nach Zuckergehalt des Presssaftes bis zu 40 % betragen kann. Für eine Umsetzung sind allerdings weitere Untersuchungen (Kinetik, kostengünstigere Fermentationsmöglichkeiten, etc.) notwendig.

### Vorreinigung von Silagesäften – Ultrafiltration

Durch die Ultrafiltration sollte nicht nur eine Abtrennung der Proteine, sondern auch eine Vorreinigung der Milchsäure erreicht werden. Die durchgeführten Versuche zeigten allerdings, dass die Rückhaltung von Proteinbestandteilen nur ca. 10 % beträgt. Dies entspricht dem Gehalt an „echtem“ Protein, bedeutet aber, dass auch nach der Ultrafiltration 90 % der Proteinbestandteile in Form von Aminosäuren immer noch im Milchsäuremedium zu finden sind. Damit kann die Ultrafiltration ein erster Schritt in der Milchsäureabtrennung sein, allerdings müssen weitere Behandlungsschritte folgen.

### Möglichkeiten und Konzepte zur Isolierung und Reinigung von Milchsäure

Im Projekt wurden vier Kombinationen aus Membranverfahren (Nanofiltration und Elektrodialyse) und Chromatographie als mögliche Verfahrensvarianten getestet und bewertet, denn

aufgrund der Komplexität der Silagesäfte ist zur Isolierung und Reinigung von Milchsäure keine vorhandene Standardtechnologie als Einzeltechnologie anwendbar.

Die Versuche zeigten, dass eine zweistufige Elektrodialyse ein vielversprechender Weg zur Ascheabtrennung und Separierung von Milchsäure aus Silagepresssaft ist. Außerdem konnten Milchsäure und Aminosäuren effektiv getrennt werden. Als nächster Schritt könnte eine Chromatographie anschließen, um die Substanzen in gewünschter Reinheit zu erhalten.

Eine klar definierte Down-stream Prozesskette, die zur Lösung der Aufgabenstellung führt, konnte auch nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen nicht vorgeschlagen werden. Dazu sind weitere umfangreiche chromatographische Untersuchungen erforderlich. Außer Frage steht, dass eine Chromatographie erforderlich sein wird, um die Milchsäure in reiner Form (Lebensmittelqualität) zu gewinnen.

Gesichert ist auch, dass Membranverfahren (Nanofiltration, Elektrodialyse (ED) und bipolare Elektrodialyse (EDP)) eine zentrale Rolle bei der vorliegenden Aufgabenstellung spielen. Auch hier sind weitere umfangreiche Untersuchungen erforderlich.

### **Wirtschaftlichkeit**

Die Ergebnisse des Projekts zeigen sehr deutlich, dass die Herstellung von Milchsäure aufgrund der sehr befriedigenden Ausbeute ausschließlich aus Silage erfolgen sollte. Es wurde untersucht, inwieweit derartige Produkte unter heutigen Rahmenbedingungen wirtschaftlich produziert werden könnten. Als Variante wurde die Wirtschaftlichkeit der Coproduktion von Milchsäure mit Aminosäuren und Biogas dargestellt (dieses System wurde bereits im Vorfeld als sinnvoll identifiziert – allerdings unter der Voraussetzung, dass es tatsächlich gelingt eine integrierte Technologie für die Abtrennung der beiden Produkte zu finden).

Ohne Optimierung ist eine Aminosäureausbeute von 65 % möglich, d.h. es könnten pro Tonne Trockenmasse ca. 68,5 kg Aminosäuren gewonnen werden. Die Milchsäure kann unter den selben Bedingungen bei Einfachpressung zu 78,1 % und bei Doppelpressung zu 85,0 % gewonnen werden. Dies bedeutet eine durchschnittliche Milchsäureausbeute von optimalen 90,8 kg pro Tonne Trockenmasse bei Doppelpressung. Unter der Annahme, dass die Milchsäure in 80%iger Konzentration bei 20 % Aufbereitungsverlusten verkauft wird, verbleiben 90,8 kg Milchsäureprodukt aus einer Tonne Trockenmasse Grassilage.

In dieser Kalkulation wird auf Milchsäure im "Low-Price" Segment (Food Grade 80 % conc.) abgezielt - dafür zahlt der Markt derzeit ca. 1,00 Euro/kg. Dieser Wert wurde für die Wirtschaftlichkeitsberechnung herangezogen. Als Basispreis eines Aminosäuremischprodukts wurde der derzeitige Marktpreis von Lysin mit 1,50 Euro/kg bis 2,50 Euro/kg Produkt herangezogen. Das entspricht dem niedrigsten zu erwartenden Preis im Aminosäuresegment. Preise über 15 Euro/kg sind für Spezialprodukte oder einzelne Isolate durchaus vorstellbar.

Daraus ergibt sich die in der folgenden Tabelle dargestellte Erlösstruktur der Grünen Bio Raffinerie mit Grassilage als Rohstoff und Doppelpressung.

<b>Produkt</b>	<b>Erlös (€/kg Produkt)</b>	<b>Erlös (€/t TM Silage)</b>	<b>Erlös (€/10 000 t TM Silage)</b>
Milchsäure 80 %	1,000 €	90,81 €	908 146 €
Aminosäuren 95 % TM	1,500 €	108,35 €	1 083 506 €
Biogasstrom	0,125 €	84,74 €	847 431 €
Biogaswärme	0,025 €	18,36 €	183 610 €
Summe Erlöse		302,27 €	3 022 693 €

Tab.: Erlösstruktur der Grünen Bioraffinerie mit Grassilage als Rohstoff

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgte auf Basis der Annuitätenmethode. Unter Berücksichtigung der Annuitäten aus Investkosten (Annahmen 30 % Fremdkapital (Zinssatz: 6,5 %, 10 Jahre), 70 % Eigenkapital (Zinssatz: 7,5 %, 8 Jahre)), der laufenden Kosten des Betriebs und der nötigen Rohstoffe ergibt sich die Differenz (Erlöse minus vorläufiger Kosten für Rohstoffe, Fraktionierung und Biogas) als Grundlage zur Errechnung der maximal möglichen Abtrennungskosten für Milchsäure und Aminosäuren bei gegebenen Produktpreisen.

Unter Berücksichtigung der bisherigen Erkenntnisse und den Vorgaben der FirmenpartnerInnen (z.B. 7,5 % Eigenkapitalrendite) darf das Down-streaming der Produkte Aminosäuren und Milchsäure als integrierte Technologie Kosten zwischen 0,84 bis 1,25 Euro/kg Produkt verursachen. Diese maximalen Kosten sind im Wesentlichen von der Erlösstruktur der Aminosäuren abhängig (Annahme: 1,5 bis 2,5 Euro/kg als Futtermittel). Nach der Diskussion mit den beteiligten ExpertInnen liegt dieses Ergebnis durchaus im „machbaren“ Bereich.

### **Produkte aus Milchsäure**

Zwei zentrale Milchsäureprodukte sind Ethyllactat und Aminiumlactat.

Ethyllactat entsteht durch die Veresterung von Milchsäure mit Ethanol. Es ist ein für viele Zwecke verwendbares und dadurch sehr wertvolles Produkt. Ethyllactat ist biologisch abbaubar, ungiftig, ein ausgezeichnetes Lösungsmittel mit geringer Flüchtigkeit und hohem Siedepunkt.

Aminiumlactate eignen sich sehr gut als Basismaterial für weitere chemische Synthesen und werden als Wirkstoff oder als Matrixmaterial in der pharmazeutischen und kosmetischen Industrie eingesetzt. Aminiumlactat ist als Feststoff gut handhabbar und lagerfähig. Nach der Erzeugung des Dilactids kann das Amin z.B. über die Erzeugung eines Monosulfats recycelt werden.

### **Schlussfolgerungen**

Die Zusammensetzung des Silagesafts (Milchsäure und freie Aminosäuren) zeigt hohes wirtschaftliches Potenzial. Die Abtrennung dieser Produkte benötigt jedoch größeren Technologieentwicklungsaufwand, wobei wesentliche Verfahrensvarianten im Rahmen dieses Projekts erfolgreich getestet werden konnten. Die Produkte weisen genügend Erlöspotenzial auf, um komplexere Abtrennungstechnologien zu rechtfertigen. Auch für die Herstellung von Ethyllactat als "grünes" Lösungsmittel ist Bedarf an weiterem Entwicklungsaufwand gegeben, um den Prozess nachhaltig zu gestalten.

Im Rahmen des Projekts konnte ein Know-how Vorsprung gegenüber anderen europäischen Grüne Bioraffinerie-Projekten erarbeitet werden. Durch die Weiterführung des Konzepts und die Errichtung einer Pilotanlage wird die Technologieführerschaft weiter ausgebaut werden.

### 3. Schlüsseltrenntechnologien

Im Rahmen des Folgeprojekts „Entwicklung von Schlüssel-Trenntechnologien zur Gewinnung von Milchsäure und anderen Wertstoffen aus Silagesäften“ wurden die Anwendungsmöglichkeiten und die Leistungsfähigkeit der Nanofiltration zur Gewinnung von Wertstoffen (Aminosäuren, Milchsäure) aus Silagesaft genauer untersucht. Konkret wurde die Nanofiltration entsprechend ihrer Einsatzmöglichkeiten als Vorfiltrationsschritt, zur (selektiven) Isolierung und Konzentrierung von Substanzen, sowie zur Teilentsalzung im Labor- und Pilotmaßstab bearbeitet. Darüber hinaus wurden in Kombination mit anderen Trenntechnologien komplette Down-stream-Szenarien aus technologischer und wirtschaftlicher Sicht beleuchtet.

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 zu 15 bis 25 % aus anorganischen Bestandteilen (Kalium, Sulfat, Phosphat, Kalzium, Magnesium usw.) und 5 bis 25 % monomeren Zuckern. Zusätzlich ist der Saft reich an nicht identifizierten „Biomolekülen“ wie beispielsweise Peptiden.

Allgemein betrachtet kann zunächst gesagt werden, dass viele Inhaltsstoffe naturgemäß zu einer höheren Komplexität eines „Rohstoffs“ und damit zu aufwendigeren Trenntechnologien führen. Im vorliegenden Fall (Silagesaft) ist dies besonders ausgeprägt. Bei genauer Betrachtung handelt es sich um die Gewinnung mehrerer Produkte (Milchsäure, Aminosäuregemische oder im Idealfall bis zu mehr als 15 Einzelaminosäuren). Zudem muss ein solches Vorhaben mit dem Konzept einer nachhaltigen Entwicklung („Fabrik der Zukunft“) im Einklang stehen. Zur Lösung dieser Aufgabenstellung müssen die derzeit modernsten Trenntechnologien, Membranverfahren und Chromatographie, eingesetzt werden. Vor dem Hintergrund technologischer Gesamtszenarien wurden die theoretischen und praktischen Untersuchungen in „abgekoppelten Forschungsmodulen“ durchgeführt. D.h., dass relevante Teilprozesse auch periphere Verfahren (z.B. Saft-Vorbehandlung) im Wesentlichen eigenständig betrachtet und auf ihre Leistungsfähigkeit untersucht wurden. Aufgrund vorgegebener Rahmenbedingungen des Projekts konnten allerdings wichtige Verfahren, vor allem die Chromatographie, nicht im ausreichenden Maße untersucht werden. Dementsprechend hat es sich als sinnvoll und notwendig erwiesen, nun die Einzel- und Detailfragen einzeln und vertiefend zu bearbeiten.

Wie die Arbeiten zeigen, bietet die Nanofiltration verschiedene interessante Einsatzmöglichkeiten (beispielsweise definierte Fraktionierung einzelner Stoffgruppen) und die Leistungsfähigkeit dieser Technologie ist klar umrissen.

Analysen zu Gesamtszenarien waren äußerst nützlich, da praktisch relevante Vor- und Nachteile einzelner Prozesskombinationen deutlich erkannt werden konnten. Obwohl kein ausreichendes Datenmaterial zur Chromatographie vorliegt, erscheint eine baldige teilweise Umsetzung der Idee (Grüne Bioraffinerie) real vorstellbar. Im Konkreten handelt es sich um zwei bis drei Aminosäureprodukte, die Marktchancen aufweisen. In jedem Fall wäre es sehr sinnvoll und aus verschiedenen, nicht nur im Zusammenhang mit diesem Projekt stehenden

Gründen, notwendig, das ausständige Forschungsfeld Chromatographie im Rahmen eines zusätzlichen Projekts zu bearbeiten. So ist zu erwarten, dass viele nachwachsende Rohstoffe, eine höhere Anforderung an „Down-stream-Prozesse stellen, als dies in konventionellen Produktionsprozessen der Fall ist. Erschwerend kommt hinzu, dass die Separationsprozesse Kriterien einer nachhaltigen Entwicklung erfüllen. Die Erforschung und Entwicklung entsprechender, neuer Trenntechnologien und -strategien ist somit nicht nur für das vorliegende Vorhaben, sondern für viele zukünftige Anwendungen von zentraler Bedeutung.

## **Feste Fraktion – Presskuchen**

### **4. Verwertung der Grasfaserfraktion**

Die Faserfraktion stellt in einer Grünen Bioraffinerie mengenmäßig den größten Stoffstrom dar, daher wird die Gesamtwirtschaftlichkeit einer solchen Anlage wesentlich vom Beitrag der Grasfaserverwertung abhängen. Im Rahmen des Teilprojekts „Verwertung der Grasfaserfraktion“ wurde neben der Recherche von Verwertungsmöglichkeiten und Versuchen zur mechanischen Fraktionierung der primären Rohstoffe eine Systematik zur Charakterisierung der Grasfasern entwickelt (Dämmstoffe, Materialien für Gartenbau, Spezialfuttermittel). In Grundlagenversuchen wurde die Eignung des Faserrohstoffs für die Herstellung verschiedener Faserprodukte getestet. Weiters wurden Grundlagen für die Planung und Realisierung einer Grünen Bioraffinerie erarbeitet und eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit unter den in Österreich gegebenen Rahmenbedingungen vorgenommen.

### **Verwertungsmöglichkeiten für Grasfasern – Ausgangspunkt**

Ausgangspunkt war die eingehende Recherche von Produkten bzw. Produktprototypen, die Gras oder „grasähnliche“ Pflanzenfasern als wesentliche Rohstoffkomponente verwenden. Dabei haben sich folgende Verwertungsmöglichkeiten ergeben:

- Dämmstoffe (Platten, Matten, Vliese, Stränge, Einblasdämmstoffe)
- Platten (Span-, Faser-, MDF-, Feuerfestplatten)
- Materialien für den Garten- & Landschaftsbau (Begrünungs-, Erosionsschutz-, Mulch- und Pflanzensubstratmatten, Torfersatz, Erdmischungen, Anzucht- und Kulturgefäße für Pflanzen)
- Faserverstärkte Verbundwerkstoffe (z.B. BioComposites, Formpressteile für Automobilindustrie)
- Verpackungsmaterialien (z.B. Formteile aus Faserguss, Papierschaum).
- Zuschlagstoff in diversen Bauprodukten (z.B. Ziegel, Putze, Mörtel, Spachtelmassen)
- Gipsfaserplatten
- Papier- & Zellstoff (Pulping aus Einjahrespflanzen)
- Bioenergie (Brennstoffpellets, Biogas)
- Futtermittel (Pellets)

## **Charakterisierung der Grasfasern**

Im Projekt wurde eine Methodik zur Charakterisierung von elementaren Grasfasern bzw. von Bündeln aus elementaren Grasfasern entwickelt. Diese Methodik wurde an vier Gras- bzw. Leguminosenarten im Detail getestet:

- Ryegras (*Lolium hybridum* GUMPENSTEIN)
- Weizengras (*Triticum aestivum* L.)
- Rotklee (*Trifolium pratense*) und
- Luzerne (*Medicago sativa* L.).

Für die Isolierung der elementaren Fasern bzw. der Faserbündel aus den Halmen oder Blättern diverser Gräser wurden drei Methoden entwickelt:

- saure Methode (10 %  $H_2SO_4$ , 90° C, 3 h)
- alkalische Methode (1 % NaOH, 100° C, 1 h)
- enzymatische Methode (20° C, 2 Wochen)

Die verschiedenen Isolierungsmethoden zeigten keinen wesentlichen Einfluss auf die Eigenschaften der erhaltenen Elementarfasern. Im Falle der alkalischen Methode wurde allerdings die Faseroberfläche etwas angegriffen.

Die Ermittlung der elementaren Strukturen in den Quer- und Längsschnitten von Grasstängeln und Grasblättern (Morphologie, Fasergehalt) erfolgte mittels Lichtmikroskopie und anschließender computerunterstützter Bildanalyse der mikroskopischen Aufnahmen.

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

## **Mahlversuche und Charakterisierung gemahlener Grasfasern**

Mit ausgewählten Graspesskuchenproben wurden grundlegende Mahlversuche in einer Schneid- sowie in einer Prallmühle durchgeführt. Für das entstandene Mahlgut wurden die Faserlängen- und Faserdurchmesserverteilungen bestimmt.

Sowohl für die Schneid- als auch für die Prallmühle wurden Fasern mit sehr kurzer Faserlänge erhalten (ca. 60 % der Fasern sind im Längenbereich 0,1 – 0,2 mm). Für beide Mühlentypen wurden breite Faserdurchmesserverteilungen gefunden. Allerdings ergab die Vermahlung mittels der Prallmühle – im Vergleich zur Schneidmahlung – deutlich kleinere Faserdurchmesser sowie eine engere Faserdurchmesserverteilung. Damit scheint eine Prallmühle für die Fibrillierung des Ausgangsmaterials (Durchmesserreduktion) geeignet zu sein.

Weitere Forschungsarbeiten liegen in der Durchführung von Mahlversuchen mit alternativen Mahlwerkzeugen (z.B. Schlagwerkzeuge mit dem Ziel einer optimalen Fibrillierung des Grasfasermaterials), in der Optimierung der Faserabmessungen im Hinblick auf mögliche

Einsatzgebiete des Mahlguts wie Porenbildner bei der Ziegelherstellung, Filtrationshilfsmittel für die Anschwemmfiltration, Verbesserung der rheologischen Eigenschaften von Anstrichen und kurzfaserverstärkte Kunststoffe und in der Entwicklung einer zuverlässigen und einfach zu handhabenden Charakterisierungsmethodik für Naturkurzfasern.

### **Öffnungsversuche – Genadelte Grasfaservliese**

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

Es hat sich leider herausgestellt, dass das Kardierverfahren zur Herstellung von Faserfloren bzw. von genadelten Faservliesen nicht für die anfallende Grasfaserfraktion geeignet ist. In Folgearbeiten sollte versucht werden, für besonders aufbereitetes Grasfasermaterial einzelne Systemkomponenten des Kardierverfahrens zur Herstellung von Faservliesen auf ihre Anwendbarkeit hin zu überprüfen. Das für diese Versuche verwendete Grasfasermaterial müsste aus einer homogenen Fraktion schlanker, langer Grasfasern bestehen (Mindestlänge 60 mm), die frei von nennenswerten Staub- und Grobanteilen ist.

### **Verwendungsmöglichkeiten für Grasfasern**

#### Dämmstoffplatten aus Grasfasermaterial

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

Hinsichtlich Rohdichte, Druckspannung sowie Wärme- und Schalldämmwirkung könnten Dämmstoffplatten aus Grasfasern durchaus mit den im Wettbewerb stehenden Holzwolleleichtplatten (HWL) konkurrieren. Hinsichtlich Biegefestigkeit und Wasserbeständigkeit jedoch wurden für die untersuchten Grasplatten keine befriedigenden Werte gefunden. Ein weiteres zu lösendes Problem stellt die starke Geruchsentwicklung der Grasfaserplatten dar. Beim gegenwärtigen Entwicklungsstand kann deshalb ein Einsatz der in einer Grünen Bioaffinerie anfallenden Grasfaserfraktion als Dämmstoff im Bau-Innenbereich leider noch nicht empfohlen werden.

Weitere Forschungsarbeiten liegen in Methoden zur Reduktion der Geruchsentwicklung von Grasfasermaterial und in der Verbesserung der mechanischen Eigenschaften (insbesondere der Biegefestigkeit) von Dämmplatten aus Grasfaserrohstoffen, etwa durch Verwendung homogenerer Faserfraktionen mit definierten Eigenschaften.

### Grasfasern als Füll- und Verstärkungsstoff für thermoplastische Kunststoffe

Unter Verwendung thermomechanisch zerfaserter Klee grasproben wurden Faser-Kunststoff-Compounds hergestellt (30 % Klee grasfasern, 70 % Polypropylenpolymer), um festzustellen, inwieweit Grasfaser material als Füll- und Verstärkungsstoff für thermoplastische Kunststoffe geeignet ist. Zur Charakterisierung der Faser-Kunststoff-Compounds wurden Zugfestigkeit, Biegefestigkeit und Schlagzähigkeit der Compounds ermittelt. Aus Vergleichsgründen wurden Compounds mit Talkum bzw. Glimmer als Füllstoff sowie das ungefüllte Polymer (0 % Füllstoff) untersucht.

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

### Materialien im Garten- und Landschaftsbau aus Grasfasern

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

Die Verwendung der Grasfaserfraktion als Rohstoff für die Herstellung von Mulchmatten und Pflanzentöpfen scheint prinzipiell machbar. Bei diesen Produkten ist auch eine eventuelle Geruchsemission der Grasfasern eher akzeptierbar. In Folgearbeiten sollten sowohl für Mulchmatten als auch für Pflanzentöpfe aus Grasfasern Zeitstandsversuche unter Freilandbedingungen zwecks Überprüfung der Praxistauglichkeit durchgeführt werden (z.B. Verhalten bei Einwirkung von Bewitterung, Bodenorganismen etc.). Vor einer eventuellen Herstellung von Mulchmatten und Pflanzentöpfe aus Grasfasern in einem größeren Maßstab müsste ein Produktionskonzept erstellt werden, da es sich bei diesen Produkten um low-cost-Produkte handelt und am Markt bereits ein starker Wettbewerb etabliert ist.

### Futtermittelpellets aus abgepressten Grasfasern und Fütterungsversuche

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

Die Ergebnisse zeigten, dass die getesteten Grasfaserpellets (Klee gras-siliert, Luzerne-grün) sowohl als Rauhfutter in der Heimtierernährung als auch als Rauhfutterkomponente zur Herstellung von Alleinfuttermitteln für Meerschweinchen, Kaninchen und andere Nagetiere geeignet sind.

### **Schlussfolgerungen**

Damit sind die Verwertungsmöglichkeiten der Grasfaserfraktion, die sich in den Versuchen als prinzipiell machbar erwiesen und weiterentwickelt werden sollten:

- Dämmstoffplatten
- Materialien für den Garten- und Landschaftsbau
- Futtermittelpellets

### **5. Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion**

Im Rahmen eines Vertiefungsprojekts (Grüne Bioraffinerie – Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion) wurden weitere Grundlagenversuche zur Optimierung des für eine Grüne Bioraffinerie zentralen Verfahrensschrittes der mechanischen Fraktionierung von Grünlandbiomasse in eine flüssige Fraktion (Presssaft) und in eine feste Fraktion (Presskuchen) durchgeführt. Weiters wurden Grundlagenversuche zur weitergehenden Aufbereitung des Presskuchens (z.B. weitergehende Zerfaserung, Fasergrößensortierung, Geruchsreduktion, chemischer Teilfaseraufschluss, Fasertrocknung) sowie zur Verwertung geeignet aufbereiteter Grasfaserfraktionen als Rohstoff für die Herstellung von Faserplatten, sowie als Füllstoff für Baukleber und Spachtelmassen (Herstellung von Prototypen) realisiert.

In einem ersten Schritt wurde eine Optimierung des Prozessschrittes „Mechanische Fraktionierung“ erreicht. Diese wurde anhand einer Versuchsreihe mit unterschiedlichen Prozessparametern durchgeführt. Für diese Versuche wurden spezielle Rohstoffe (Silage aus Klee gras und Luzerne) verwendet, welche zuvor eigens dafür hergestellt wurden. Die Versuche zur mechanischen Fraktionierung wurden analytisch begleitet, um die Zusammensetzung der Stoffströme (Feed, Presskuchen und Presssaft) zu erheben, damit die jeweiligen Ausbeuten und Übergangsraten der Wertstoffe (Milchsäure und Aminosäure) bestimmt werden konnten. Die Versuche haben gezeigt, dass durch einen optimierten mechanischen Fraktionierungsprozess eine relative Ausbeute der Milchsäure von bis zu 97 % und eine relative Ausbeute von bis zu 67 % bei den Aminosäuren erzielt werden kann. In Absolutmengen ausgedrückt, können pro Tonne TS Silage ca. 150 – 210 kg Milchsäure und ca. 80 – 120 kg Aminosäuren in den Presssaft übergeführt werden. Aus gegenwärtiger Sicht scheint die Optimierung der Fest-Flüssig-Trennung von Silage weitestgehend „technisch ausgereizt“ und daher vorerst abgeschlossen. Die Untersuchung zeigte auch, dass die Silagequalität (der Milchsäuregehalt) drastisch schwanken kann, obwohl bei der Herstellung der Rohstoffe sehr behutsam vorgegangen wurde.

Zur optimalen Aufbereitung und Reinigung des Presskuchens und Gewinnung homogener Faserfraktionen wurden Versuche zur weiteren Aufspaltung der Grasfaser, zur Geruchscharakterisierung, sowie zur Zerkleinerung und Vermahlung der Grasfasern durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine weitergehende Zerfaserung der Grasfaser durch einen thermodynamischen Prozess auf Basis des „Dampfexplosionseffektes“ möglich ist. Hinsichtlich der Geruchsemission wurden verschiedene Arten der Behandlung der Faser getestet, welche zu

einer Verringerung der Geruchsemission führten. Eine vollständige Beseitigung des typischen Grasfasergeruchs gelang bis dato nicht.

Um mögliche Verwendungsmöglichkeiten zu testen, wurden grundlegende Versuche zur Herstellung von leimgebundenen Platten aus Grasfasern durchgeführt. Die Prüfplatten wurden im Trockenverfahren in Anlehnung an die Produktionstechnologie von Holzspan- und Faserplatten hergestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass es grundsätzlich möglich ist, beleimte Platten aus 100 % Grasfasern im Trockenverfahren herzustellen. Die in der Holzplattenindustrie üblichen Harnstoff-Formaldehydleime sind dafür grundsätzlich anwendbar. Die ermittelten Querkzugfestigkeiten der Prototypen erreichten bis zu ca. 60 % der Referenzwerte einer MDF-Platte. Ebenso wurden leimgebundene Platten aus Holz-Grasfasermischungen untersucht. Diese Ergebnisse zeigen, dass Mischplatten bis zu einem Grasfaseranteil von ca. 12,5 % vergleichbare mechanische Eigenschaften zu reinen Holzplatten haben. Das Quellverhalten der reinen Grasfaserplatten ist im Vergleich zum Rohstoff Holz deutlich erhöht. Ein weiteres mögliches Einsatzgebiet der Grasfasern als Füllstoff für Baukleber und Spachtelmassen wurde näher untersucht, indem vermahlene Grasfasern als Additiv in verschiedenen Bauprodukten verwendet wurden. In einem Screening wurden verschiedene Produkte wie Kleber (Linoleumkleber, Parkettkleber, Fassadenkleber), Spachtelmasse, Dispersionsfarbe, Bodenbeschichtungen und Nivelliermassen mit Grasfaserbeimengungen hergestellt und getestet. Die Versuche haben gezeigt, dass der Einsatz von Grasfasern die Rheologie, die Farbe und auch den Geruch beeinflussen kann. Durch das starke Wasseraufnahmevermögen der gemahlene Grasfasern kam es zu einer geänderten Viskosität der getesteten Produkte. Die geforderten Produktqualitäten konnten mit dem Additiv Grasfaser in keiner Produktklasse erreicht werden. Die Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit lieferten neue wirtschaftliche Kennzahlen zur untersuchten optimierten mechanischen Fraktionierung sowie zur Faserrocknung im produktionsrelevanten Maßstab.

## **Wirtschaftliche Überlegungen zur Grünen Bioraffinerie**

Aminosäuren stellen sich für eine Grüne Bioraffinerie als Hoffungsprodukt dar. Dabei sollte auf seltenere Aminosäuren fokussiert werden, da für derartige Spezialprodukte die Margen zwischen Produktionskosten und Verkaufspreisen auch mittelfristig auf relativ hohem Niveau stabil bleiben dürften.

Hinsichtlich Milchsäure aus einer Grünen Bioraffinerie sollte die Fokussierung in Richtung Aromastoffe für Lebensmittel sowie den Kosmetikbereich gehen. Dabei kann aufgrund der Herkunft des Rohstoffs eventuell ein erhöhter Marktpreis gegenüber dem Standardprodukt erzielt werden. Die Produktion von Milchsäure-Polymeren (Poly-Lactat) erfolgt gegenwärtig bereits im großindustriellen Maßstab, sodass nicht anzunehmen ist, dass sich allfällige Investments seitens der Grünen Bioraffinerie auf diesem Sektor jemals rechnen werden.

Bei der Verwertung der Faserfraktion sollte die Ausrichtung eindeutig in Richtung erweiterter Heimtiermarkt ausgerichtet werden (inkl. Pferde). Wichtig dabei ist, sich bereits jetzt mit der Produktentwicklung auseinanderzusetzen. Es ist zu empfehlen, sich mit entsprechenden PartnerInnen (ProduzentInnen) zusammenzuschließen, um die Bedürfnisse der TierbesitzerInnen durch entsprechend angereicherte und speziell komponierte Tierfertiernahrung zu befriedigen. Andere Verwertungsoptionen für die Faserfraktion (Dämmstoffe, Materialien für den Gartenbau) sind nach derzeitigem Wissensstand nicht empfehlenswert, denn alle Pro-

dukte der Faserfraktion zeichnen sich durch extrem billige Produktion aus. Diese „Low Interest Products“ werden sehr schwer bis kaum durch entsprechende Produkte aus Grasfasern zu ersetzen sein.

## **6. Grüne Bioraffinerie Phase III – Entwicklung von Technologien zur Prozessintensivierung hinsichtlich Gewinnung und Verwertung von Milchsäure, Aminosäuren und Fasern**

Dieses Projekt basiert auf den bis dato durchgeführten Projekten zur Grünen Bioraffinerie und zielt auf die Entwicklung von Produkten aus Grassilage ab. Im Wesentlichen geht es um die Abtrennung von Milchsäure und Aminosäuren aus dem Presssaft und die Verwertung der anfallenden Grasfaser für diverse Faserprodukte oder Biogas.

Wie in dem Projekt „Entwicklung von Schlüssel-Trenntechnologien zur Gewinnung von Milchsäure und anderen Wertsubstanzen aus Silagesäften“ bereits angekündigt, werden in diesem Projekt chromatographische Trennverfahren für Milchsäure und Aminosäuren beforscht. Weiters erfolgt eine Untersuchung über die möglichen Einsatzbereiche für die Grasfaserfraktion (Begrünung im Landschaftsbau, Pflanzmedium für den gewerblichen Gemüsebau). Untersuchungen zu einer möglichen Prozessintensivierung mittels verbesserter Rohstoffnutzung runden das Projekt ab.

### **Trennverfahren für Grassilagesaft**

Der Forschungsschwerpunkt liegt in der systematischen Untersuchung zur Beurteilung der Separationsleistung der Chromatographie zur Abtrennung der Wertstoffe Aminosäuren und Milchsäure, welche mit einer umfangreichen Analytik gekoppelt ist. Bisher ist es nicht gelungen, die Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren aus einem mittels Ultrafiltration aufbereiteten Silagepresssaft durch einen einzelnen chromatographischen Trennprozess abzutrennen. Daher konzentrieren sich weitere Versuche auf die Abtrennung von Aminosäuren und Milchsäure aus Lösungen, welche mittels Nanofiltration bzw. Elektrodialyse aus dem Presssaft gewonnen wurden und jeweils reich an Aminosäuren oder Milchsäure sind. Die Chromatographie wird somit zur Aufreinigung von Milchsäure sowie Aminosäuren verwendet. Die Ergebnisse zur Milchsäure zeigen beim Einsatz eines neutralen Polymerharzes (XAD 1600) eine erreichbare Reinheit von ca. 97 % Milchsäureanteil. Die darin noch enthaltenen Verunreinigungen sind insbesondere organische Säuren (speziell Essigsäure).

Aus dem aktuellen Erkenntnisstand geht hervor, dass mit dem Harz XAD 1600 die komplette Lösung in Gruppen aufgetrennt werden kann. Dabei ist eine signifikante Abtrennung der hydrophoben Aminosäuren Leucin/Isoleucin erzielbar. Gleichzeitig ist klar ersichtlich, dass eine Trennung einzelner Aminosäuren unter den gewählten Bedingungen nicht realisierbar ist.

### **Verwertung der Grasfaserfraktion**

Die durchgeführten Feldversuche zur Beurteilung der Eignung der Grasfaserfraktionen als Additiv bei der Anspritzdüngung haben gezeigt, dass der Grasfaserpresskuchen für Anspritzdüngung geeignet ist. Eine bessere Vegetationsentwicklung als bei Konkurrenzprodukten ist nicht argumentierbar. Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden in diesem Bereich noch genauer untersucht und quantifiziert, da eine bessere Wirtschaftlichkeit beim Einsatz von Grasfasern vermutet wird.

Was den Einsatz von Grasfasern als Kultursubstrat im gewerblichen Gemüsebau betrifft, haben sowohl die Ergebnisse aus dem Labor als auch jene unter Praxisbedingungen eines Partnerbetriebes negative Ergebnisse gebracht. Eine weitere Aufbereitung des Faserpresskuchens scheint zwingend nötig, was in Anbetracht des Erlöspotenzials in diesem Segment allerdings unwirtschaftlich und damit unrealistisch ist.

### **Prozessintensivierung**

Ziel in diesem Bereich ist die Erhöhung der Gesamtausbeute an Milchsäure, aber auch anderer Wertstoffe (Proteine und Aminosäuren). Zu diesem Zweck werden die Möglichkeiten einer erneuten Silierung des gewonnenen Presskuchens untersucht. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen auf, dass eine Wiederholung der Milchsäuregärung mit dem Substrat Silagepresskuchen nicht homofermentativ in Richtung Milchsäure abläuft. Weitere Versuche dazu sind geplant.

### **Ausblick auf weitere Projektarbeiten**

Die Ergebnisse dieses Projekts fließen unmittelbar in das Projekt „Demonstrationsanlage Grüne Bioraffinerie Utzenaich“ ein. Aufbauend auf den Ergebnissen der Resilierung des Presskuchens werden zusätzliche Experten herangezogen, um insbesondere die Fragestellung einer möglichen Hydrolyse der hemizellulösen Anteile des Presskuchens zu behandeln. Themen der geplanten Arbeiten sind die Bereitstellung von Zuckern durch Hydrolyse des Presskuchens für eine weitere Milchsäuregärung sowie ein besserer Aufschluss des Presskuchens und etwaige Auswirkungen auf die Verwertungsoption Biogas. Beide Produkte (Milchsäure und Biogas) sind Schlüsselprodukte der Grünen Bioraffinerie und könnten somit unmittelbar genutzt werden.

Im Bereich der Abtrennung von Aminosäuren mittels Chromatographie sind im weiteren Projektablauf weitere Versuchsanordnungen geplant (Ionenausschlusschromatographie, Reversed-Phase Chromatography). Für den Bereich Milchsäure sind derzeit keine weiteren praktischen Versuche im Zusammenhang mit Chromatographie vorgesehen.

## **7. Demonstrationsanlage zur Gewinnung von Milchsäure und Aminosäuren aus Silagen von Dauergrünland und Feldfutter bei der Biogasanlage der Ökoenergie Utzenaich GmbH**

Errichtung und Probetrieb einer Grünen Bioraffinerie - Demonstrationsanlage am Standort Utzenaich in Oberösterreich (Innviertel) ist zentraler Inhalt dieses Projekts. Mit der Demonstrationsanlage soll die industrielle Tauglichkeit der Idee Grüne Bioraffinerie unter Beweis gestellt werden. Erstmals werden die einzelnen Prozesstechnologien entlang der gesamten Prozesskette im produktionsrelevanten Maßstab verschaltet und im kontinuierlichen Betrieb optimiert. Die hier gesammelten Erfahrungen und Detailergebnisse sollen später in die Umsetzung einer Produktionsanlage einfließen.

Um die Technologie großtechnisch umsetzen zu können und somit aus dem Rohstoff Gras neben Biogas auch die Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren gewinnen zu können, müssen die Laborergebnisse in einer kleinindustriellen Anlage verifiziert werden. Am Standort der Anlage in Utzenaich wird daher eine Demonstrationsanlage für die Abpressung von Grassaft (1 Tonne Silage pro Stunde) und die Aufarbeitung von Milchsäure und Aminosäuren zu marktfähigen Produkten errichtet.

Der Standort wurde so gewählt, dass eine Koppelung der Demonstrationsanlage mit einer bereits existierenden Biogasanlage erfolgen kann. Daraus ergeben sich unter anderem wertvolle Synergieeffekte im Bereich der Rohstofflogistik.

Über 2,5 Jahre soll in dieser Anlage aufgezeigt werden, welche Verfahrensverschneidung notwendig ist, um im industriellen Maßstab die gewünschten Produkte zu gewinnen. Der Fokus liegt vor allem in der Beurteilung der Trennprozesse hinsichtlich ihrer jeweiligen Performance und Standzeit im produktionsrelevanten Maßstab.

Im ersten Schritt wird der Abpressprozess optimiert, wobei Fragestellungen wie

- Standzeit der Presse,
- Abpressverhalten in Korrelation zur eingesetzten Energiemenge,
- Notwendigkeit von zusätzlichen Zerkleinerungseinrichtungen, die einen hohen Energieaufwand aufweisen,

überprüft werden.

Die Auftrennung der Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren erfolgt mittels modernster Trenntechnologien (Membranverfahren, Elektrodialyse, Ionentauscher und Chromatographie). Aus den bisherigen Laborversuchen lässt sich eine grundsätzliche Verschaltung der Technologien ableiten. Diese wird auch zu Beginn der Versuche gewählt. Da aber im semi-industriellen Maßstab nicht abgeschätzt werden kann, ob nicht zur Verbesserung der Trennleistung und Erhöhung der Standzeit andere Verschaltungen sinnvoller wären, wurde die Saftschiene so konzipiert, dass solche Änderungen ohne größere Umbauarbeiten realisiert werden können.

Da die Reinheit der Produkte eine wichtige Rolle spielt, ist ein hoher analytischer Aufwand erforderlich. Die notwendigen Analysen werden entweder direkt am Standort im eingerichteten Betriebslabor durchgeführt oder an Dritte ausgelagert.

### **Geplante Ergebnisse**

Am Ende dieser Demonstrationsphase sollen einerseits Ergebnisse über die Pressausbeute von Milchsäure und Aminosäuren über einen längeren Zeitraum vorliegen. Andererseits soll feststehen, welche Konfiguration an Trenntechnologien eingesetzt werden, um optimale Produktqualitäten zu erreichen. Zunächst wird die Presstechnologie optimiert und dabei besonders auf die notwendigen Homogenisierungsschritte geachtet. Optimale Ausbeute bedeutet dabei hohe Konzentrationen und geringen Energieaufwand. Als zweiter Schritt wird basierend auf den Laborversuchen eine erste Konzeption an Trenntechnologien (Batch und semi-kontinuierlich) getestet.

Basierend auf diesen Ergebnissen wird dann ein Konzept entwickelt, das eine kontinuierliche Gewinnung der Wertstoffe Milchsäure und Aminosäuren ermöglicht. Auch hierbei sind, neben der Reinheit der Produkte, der minimale Energieeinsatz sowie ein Minimum an Abfallprodukten die Optimierungsparameter. All jene technischen und wirtschaftlichen Daten, die für eine erfolgreiche Implementierung im Produktionsmaßstab notwendig sind, sollen mit Projektende vorliegen.

## **Die Grüne Bioraffinerie im internationalen Vergleich**

Das Konzept der Bioraffinerie ist zunächst ein allgemeines Technologiekonzept, das für die Fraktionierung (also die getrennte Nutzung) von Produkten aus der Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe steht. Dabei sind international unterschiedliche Trends der Technologieentwicklung erkennbar. Grundsätzlich ergibt sich eine Unterscheidung der Ansätze aus der Rohstoffsituation: Während die Konzepte bei stark ligninhaltigen Rohstoffen (Holz, Holzreste, etc.) meist über einen thermischen Aufschluss (Vergasung, Hydrierung) zu Synthesegas oder flüssigen niedrigmolekularen Produkten führen, so sind bei grüner Biomasse (aber auch bei biogenen Reststoffen aus tierischer und pflanzlicher Quelle) meist mikrobielle Umsetzungsschritte als erste Verfahrensstufe vorgesehen. Technologiekonzepte dieser Kategorie (davon existieren bereits realisierte Anlagen) unterscheiden sich insbesondere in ihren Produktpaletten und ihren mikrobiellen Umsetzungsschritten. Eine große Gruppe dieser Konzepte sieht die Trennung des frischen Grases in eine feste und flüssige Phase vor. Dazu gehören Entwicklungen in Deutschland (Brandenburg), der Schweiz und Dänemark. Die feste Phase wird zur Fasergewinnung (etwa für Dämmstoffe, Schweiz) verwendet. Die flüssige Phase wird biotechnologisch verarbeitet. Die Zielprodukte der Weiterverarbeitung variieren je nach Konzept und Marktlage, wobei die Herstellung von Lysin (Dänemark), Milchsäure und Lysin sowie anderen Feinchemikalien (Deutschland) bzw. (durch Abtrennung) Proteinkonzentrat und die Einspeisung in eine Biogasanlage (Schweiz) den derzeitigen Stand der Technik umreißen.

Von diesen Konzepten sind insbesondere das dänische und das schweizerische bereits umgesetzt. In diese Klasse ist auch die „Österreichische Grüne Bioraffinerie“ einzuordnen. Das Alleinstellungsmerkmal dieses Konzepts ist die Verwendung der (dezentralen) Silage als Umsetzungsschritt. Im Gegensatz zu anderen Verfahren wird hier die biotechnische Umsetzung in der Festphase betrieben. Die Fraktionierung erfolgt nach der Silage. Zielprodukte sind hier Milchsäure (aus der Silage) sowie Aminosäuren, die aus dem abgepressten Silagesaft gewonnen werden. Die feste Phase wird entweder der Fasergewinnung zugeführt (vergleichbar mit dem Schweizer Ansatz) oder in der Fütterung verwertet oder einer Biogasanlage zugeführt, um den Energieinhalt zu nutzen. Weiters wird im Österreichischen Modell versucht, den Presskuchen für Materialien für den Garten- und Landschaftsbau zu verwenden. Eine wichtige neue Rahmenbedingung entsteht durch die Entwicklung in den USA, wo in großen Mengen nachwachsende Rohstoffe (Mais, Getreide) zu Milchsäure und daraus erzeugten Produkten verarbeitet werden.

### **Ausblick**

Die in Utzenaich errichtete Demonstrationsanlage für die österreichische Grüne Bioraffinerie soll bis Ende 2010 die Nutzbarkeit grüner Biomasse im Betrieb zeigen und eine erfolgreiche Umsetzung im Produktionsmaßstab vorbereiten.

## 2 KERNKRAFT: Kaskadische Nutzung von Steinobst-Restmassen

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

In Österreich werden beachtliche Mengen an Steinobst, vor allem Marillen, Pfirsiche, Zwetschken und Kirschen, angebaut und zu süßen Spezialitäten wie Marmeladen, Konfitüren, Gelees, Fruchtsäften und Edelbränden verarbeitet. Die Verwertung beschränkt sich bisher allerdings fast ausschließlich auf die Frucht selbst, die Obstkerne gelten in der Lebensmittelindustrie als lästiger Abfall - europaweit werden jährlich rund 550.000 Tonnen Steinobstkerne entsorgt. Doch Steinobstkerne könnten als wertvolle, bisher ungenutzte Rohstoffquelle zur Herstellung unterschiedlicher Produkte im Food- und Non-Food-Bereich genutzt werden.

#### **Ziele und Inhalte**

Hauptziel der Grundlagenstudie NaWaRo Cascading für die Wellness-Regio war das Ausloten von innovativen Verwendungsoptionen für Obstkerne, um durch die Entwicklung von Stoffkaskaden ein großes, bisher unausgeschöpftes Potenzial an wertvollen Naturstoffen für ganz unterschiedliche Nutzungsbereiche zur Verfügung zu stellen.

Ziel des Folgeprojekts „NAWARO Cascading Pilot“ war, wissenschaftlich-technische, produktspezifische und wirtschaftliche Grundlagen für die maschinelle Verarbeitung von Obstkernen zu erarbeiten, um ein Up-Scaling zu ermöglichen.

Im Projekt „KernCraft TAKE OFF“ wurde die wirtschaftliche Umsetzung der KernCraft-Idee vorbereitet. Dafür wurden die benötigte technische Infrastruktur konkretisiert, Teilmodule für die schrittweise Umsetzung entwickelt, marktrelevante Daten (LieferantInnen, MitbewerberInnen, AbnehmerInnen) erhoben und mit den Produktentwicklungen begonnen. Die ermittelten Informationen wurden abschließend in einem Unternehmensplan (Stufenplan für die Realisierung und Finanzierungsoptionen) zusammengeführt.



Abb.: Zwetschke (Hartschalenbruch), Kirsche (Hartschale, 1,5 – 1 mm), Ölfäschchen

## Projektdaten

### 1. NaWaRo Cascading für die Wellness-Regio

#### Projektleitung:

TB Ing. Elmar Wimmer  
e + c engineering & consulting  
Dürnauerstraße 99, A-4840 Vöcklabruck

Tel.: +43 (0)7672 238020

E-Mail: [e.wimmer@e-c.at](mailto:e.wimmer@e-c.at)

Internet: [www.e-c.at](http://www.e-c.at)

Endbericht: Nr. 18/2003 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at).

### 2. NAWARO Cascading Pilot

#### Projektleitung:

Dipl.-Chem. Hanswerner Mackwitz  
alchemia-nova, Institut für innovative Pflanzenforschung  
Obere Viaduktgasse 2, Top 24/29, A-1030 Wien

Tel.: +43 (0)1 810 1000

E-Mail: [office@alchemia-nova.net](mailto:office@alchemia-nova.net)

Internet: [www.alchemia-nova.net](http://www.alchemia-nova.net)

Endbericht: Nr. 88/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

### 3. Konzept für die Vorbereitung des Demoprojekts "KernCraft Austria"

#### Projektleitung:

Mag. Susanne Geissler

#### Kontakt:

Dr. Helga Miehle  
Fachhochschule Wiener Neustadt  
Campus Wieselburg  
Zeiselgraben 4, A-3250 Wieselburg

Tel.: +43 (0)7416 53 000-570

E-Mail: [helga.miehle@wieselburg.fhwn.ac.at](mailto:helga.miehle@wieselburg.fhwn.ac.at)

Internet: [www.wieselburg.fhwn.ac.at](http://www.wieselburg.fhwn.ac.at)

Endbericht: Nr. 36/2007 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

# **INHALT**

## **1. Grundlagenstudie „NaWaRo Cascading für die Wellness-Regio“**

### **Zielsetzung**

Hauptziel der Grundlagenstudie war das Ausloten von innovativen Verwendungsoptionen für Obstkerne, um durch die Entwicklung von Stoffkaskaden ein großes, bisher unausgeschöpftes Potenzial an wertvollen Naturstoffen für ganz unterschiedliche Nutzungsbereiche zur Verfügung zu stellen.

### **Nutzung von Steinobstkernen**

Der Obstkern besteht aus einer harten Schale und einem weichen Kern, der von einer feinen Samenhaut umgeben ist. Bei den Untersuchungen wurde besonderer Wert auf die Nutzung der feinstofflichen und funktionellen Qualitäten der Weichkerne zur Wertschöpfung im Konditorei-, Lebensmittel-, Kosmetik-, Wellness- und Werkstoffbereich gelegt. In enger Kooperation mit regionalen PartnerInnen wurden nachhaltige Nutzungsoptionen für die Steinobstkerne entwickelt und validiert, um die Produktpalette von Steinobst zu erweitern und zusätzliche Einkommensquellen zu erschließen.

In zahlreichen Praxisversuchen wurden unterschiedliche Methoden zur Bearbeitung der Obstkerne erprobt. Sowohl die Obstkerne, als auch die Kernöle und Presskuchen wurden einer umfangreichen Analyse unterzogen und auf mögliche Nutzungen geprüft. Die Kerne wurden hinsichtlich Eiweiß, Fett, Kohlenhydrate, Fettsäuremuster, flüchtige Verbindungen, Vitamin A und E analysiert. Bei den Ölen und beim Presskuchen wurden jeweils Fettsäuremuster und Cyanidgehalt, beim Presskuchen zudem Eiweiß, Fett und Kohlenhydrate untersucht. Das Projekt dokumentiert eine Vielzahl von konkreten Optionen zur werk- und feinstofflichen Nutzung der Obstkerne in folgenden drei Hauptanwendungen:

- Steinobstkerne als Delikatessen
- Kosmetische Anwendungen
- Werkstoffliche Nutzung von Steinobstkernschalen (Strahlmittel, Füllstoff)

### **Steinobstkerne als Delikatesse**

Sowohl die ungeschälten als auch die geschälten Softkerne sind für den Nahrungsmittelbereich geeignet und können zur Herstellung von Edelkrokant, Nougat, Marzipanvarietäten (Persipan, Prunipan, Cherrypan, Marillopan) und für Kombinationen mit Schokolade, Gebäck und Müsliriegeln verwendet werden.

Die nativen, frischgepressten Kernöle eignen sich als Frischware für die gehobene Küche und Gastronomie. Jedes Öl zeigt einen spezifischen Geschmack und kann dementsprechend am Markt positioniert werden. Besonders große Chancen werden dem Zwetschkernöl und dem Kirschkernöl eingeräumt.

### **Kosmetische Anwendungen**

Die Öle und der Presskuchen können auch als wertvolle Bestandteile im Naturkosmetiksektor eingesetzt werden. Fette Öle dienen als Grundlage für Bade- und Massageöle, Cremes, Balsame und Shampoos. Sie verbinden sich problemlos mit ätherischen Ölen und bringen

zusätzliche Pflegewirkstoffe ein. Das höchste Potenzial wird dem Zwetschkenskernöl zugesprochen. Danach folgen die Kirsche und in dritter und vierter Position Marille und Pfirsich.

Weiters können Kern- und Presskuchenmehle in der Kosmetik als Konsistenzgeber bzw. als Teil des Emulgatorsystems verwendet werden. Außerdem eignen sich feinstvermahlene Kerngranulate aus der harten Kernschale aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften für die Herstellung von ökologisch und dermatologisch wertvollen Peelingprodukten.

### **Werkstoffliche Nutzungen – Strahlmittel**

Eine japanische Firma produziert aus Obst- und Nusskernschalen unterschiedliche und vielseitig verwendbare Handelsprodukte (Strahlmittel, Filter-, Füllmaterialien und Durchlässigkeitsregler bei Schleifsteinen). Es lag daher nahe, die zerkleinerten und fraktionierten Steinobstschalen von Marille, Kirsche, Pfirsich und Zwetschke auch im Hinblick auf ihre Einsatzfähigkeit als technisches Abrasivum zu prüfen und neue technisch interessante Nischenanwendungen auszuloten.

Die wiederholten Abrasionsversuche zeigten, dass vermahlene Obstkerne aufgrund ihrer unterschiedlichen Härte und ihres Rest-Fettgehaltes die Fähigkeit haben, Oberflächen perfekt zu polieren und Lackschichten und Korrosionen zu entfernen. Vegetabile Strahlmittel wie mikronisierte Obstkernhartschalen weisen geringere Härte als herkömmliche Strahlmittel auf und eignen sich deshalb speziell, um Putz- und Reinigungseffekte zu erzielen oder bestehende alte Lack- oder Farbschichten von heiklen Werkstücken zu entfernen, ohne die vorhandene Rauigkeit der Metalloberfläche zu erhöhen. Bei schwermetall- und gefahrstofffreien Strahlungsanwendungen sind auch keine Entsorgungsprobleme zu erwarten. Zu beachten gilt es, dass im Gegensatz zu mineralischen Medien eine gewisse Rückfettung auf der Werkstückoberfläche entsteht.

### **Spezialeinsatzbereich: Dentalbehandlung**

Fachliche Erörterungen und Wissensaustausch mit DentaltechnikerInnen, MaterialexpertInnen und ZahnärztInnen im In- und Ausland und erste Strahl-Versuche invitro an menschlichen Zahnpräparaten lassen den Schluss zu, dass sich manche Obstkernhartschalengranulate auch für diesen spezifischen Zweck einsetzen lassen. Möglicherweise ist ein erheblicher technischer Aufwand erforderlich, um reine und effektive Strahlmittel anbieten zu können. Vor allem sind permanente und umfangreiche Kontrollen notwendig, um verlässliche Qualität und höchste Reinheit zu garantieren. Geplant sind anwendungstechnische Untersuchungen in partnerschaftlicher Zusammenarbeit mit Dentallaboratorien und einer/m HerstellerIn zahn-technischer Geräte, um Fragen hinsichtlich besonderer Materialeigenschaften der Granulate, Feinabstimmung auf die zahntechnische Praxis und ständige Qualitätsverbesserung zu bearbeiten.

### **Werkstoffliche Nutzungen – Füllstoff für Polymere**

Die Hartschalenkernmehle der Obstschalen (Partikelgröße 20 Mikrometer) lassen sich auch in höheren Konzentrationen problemlos in eine Polymerschmelze einarbeiten. Dieser neue Werkstoff hat Eigenschaften, die mit jenen von holzfaserverstärkten Polymeren vergleichbar sind. Die mechanischen Kennwerte von den mit „klassischen“ Füllstoffen verstärkten Polymeren können jedoch nicht erreicht werden.

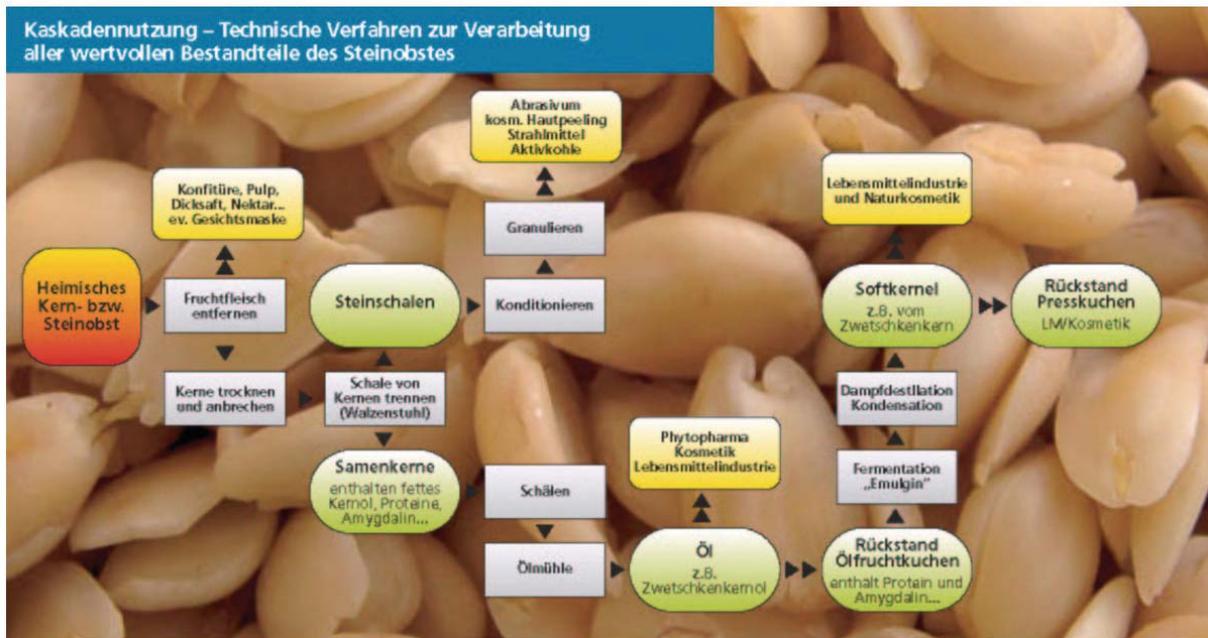


Abb.: Kaskadennutzung von Steinobst. Quelle: Concerned People GmbH

## 2. „NAWARO Cascading Pilot“: Strategische und operative Voraussetzungen

### Zielsetzung: Umsetzung in größerem Maßstab

Ziel des Folgeprojekts war, wissenschaftlich-technische, produktspezifische und wirtschaftliche Grundlagen für die maschinelle Verarbeitung von Obstkernen zu erarbeiten, um ein Up-Scaling zu ermöglichen.

### Verarbeitungsprozess

Die wesentlichen Verarbeitungsschritte umfassen:

- Vortrocknen bzw. Reinigen, denn der Feuchtegehalt der Kerne beträgt 87 bis 90 %. Die Kerne sind normalerweise mit Verunreinigungen behaftet und können durch Gärung und Schimmel schnell verderben.
- Trennen von Kern und Schale, um alle wertvollen Bestandteile einer Nutzung zuführen zu können.
- Aufarbeitung der unterschiedlichen Fraktionen

Im Projekt wurden die technischen Parameter für die verschiedenen Verarbeitungsschritte und die dazu notwendigen Apparate gemeinsam mit einer österreichischen Maschinenbau-firma (Projektpartner CIMBRIA) festgelegt. Dabei zeigte sich, dass aus technologischer Sicht die Verarbeitung auch sehr unterschiedlicher Obstkerne in einer Anlage machbar ist. Werden die Kerne unmittelbar nach der Obstverwertung getrocknet, kann statt aufwändiger Nasswäsche eine Bürstmaschine zum Einsatz kommen. Kalibrierung bzw. Sortierung nach Größe mit der Siebmaschine gelten als Stand der Technik. Die Eliminierung verdorbener bzw. angeschimmelter Kerne wird über den Feinausleser gesteuert, dessen Software und Hardware noch an die spezifischen Anforderungen der Obstsorten adaptiert werden muss.

Sauber und nach Größe selektioniert gelangt der Obstkern in den noch zu modifizierenden Walzenbrecher, in dem auf ein vollständiges und schonendes Knacken der harten Schale zu achten ist. Hier ist noch Entwicklungsarbeit gefordert, wobei die grundsätzliche Machbarkeit

bewiesen ist. Das Gemisch aus Hartschalenfragmenten und weichen Kernen wird in der Flachsiebmaschine und anschließend im Gewichtsausleser möglichst vollständig aufgetrennt. Die Grundstruktur dieser Technologie ist für die Getreidesaataufbereitung vorhanden, für die Obstkernverarbeitung müssen gewisse Adaptierungen und Feinjustierungen erfolgen. Die endgültige Auslese von Hartschalenresten aus der Weichkernfraktion passiert wiederum im Feinausleser. Auch für diesen Trennschritt müssen Hard- und Software angepasst werden.

Soll das Samenhäutchen vom Weichkern noch entfernt werden, gibt es zwei Möglichkeiten: mit einer Blanchiereinrichtung (nass) oder durch einen kurzen Röstprozess (trocken). Rösten verbessert Aroma und Geschmack des Öls und des Presskuchens, ist für kosmetische Anwendungen jedoch überflüssig. Die Technologie kann in abgewandelter Form aus der Haselnuss- und Mandelverarbeitung übernommen werden.

Die Ölgewinnung kann entweder über Stempel- oder Schneckenpresse, alternativ auch mit dem FRIOLEX oder SFE (Supercritical Fluid Extraction)-Verfahren erfolgen. Die Technologiewahl erfolgt in Abstimmung mit den Qualitätsanforderungen der jeweiligen Endprodukte.

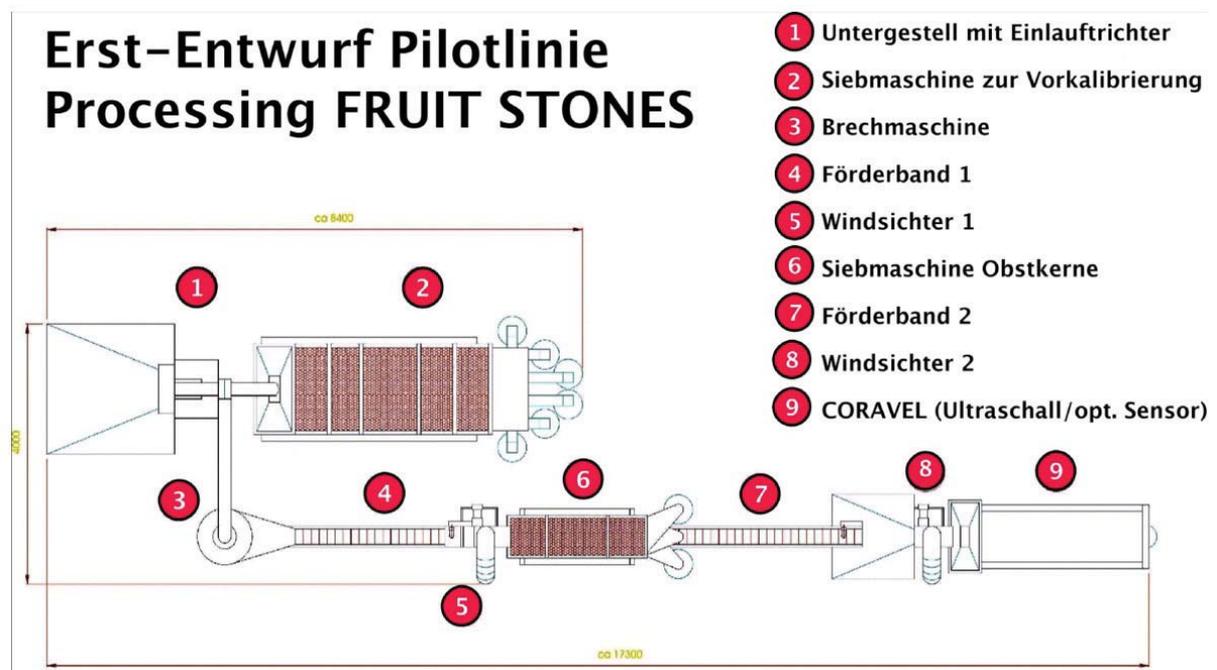


Abb.: Anlagenschema zum Brechen und Sortieren von Steinobstkernen

### Standort

Die Recherche der verfügbaren Daten sowie der Wissensaustausch mit ExpertInnen im In- und Ausland zeigte, dass die Verarbeitung von Obstkernen besser an einem zentralen Ort geschehen sollte. Klar abgegrenzte Aufbereitungsschritte, wie z.B. das Waschen und Trocknen der Kerne, können von einzelnen PartnerInnen selbst übernommen werden.

### Produktpalette

Das Spektrum der lohnenswerten Produkte ist breit: es umfasst mikronisiertes und konditioniertes Hartschalen-Granulat, Weichkerne, innovative Kernöle, Presskuchen und daraus herstellbare natürliche Aromen. Im Sinne einer optimierten und noch lukrativeren Wertschöpfung wurden die verschiedenen Produktbereiche (Strahlmittel, Dentalabrasiva, Ölgewinnung,

neue Kosmetikanwendungen und die Herstellung von kernig-aromatischen Müsliriegeln) vertieft. Um die Produktentwicklung weiter zu konkretisieren, ist es notwendig, die interessierten AbnehmerInnen mit relevanten Mengen von Obstkernprodukten (Öle, Presskuchen, Aromen) zu versorgen. Für die Bereitstellung dieser Mengen ist eine Forschungsanlage der notwendige Folgeschritt.

### **Konzept für Pilotfabrik/Forschungsanlage**

Im Projekt wurden wichtige Elemente für einen künftigen Businessplan erarbeitet. Aus den Berechnungen geht hervor, dass erst bei einer Produktion von über 200 t frischer Kerne und Verkauf nahezu aller produzierten Waren (bei voller Auslastung) ein positiver Cash Flow innerhalb der ersten sechs Jahre erreicht werden kann.

Zur Überwindung von technischen Hürden und zur Absicherung der wirtschaftlichen Prognosen wurde eine Forschungsanlage konzipiert. Eine Kleinanlage mit 150 Tonnen Kapazität ist zwar kaum wirtschaftlich zu betreiben, doch gerade eine solche Einrichtung wird dringend benötigt, um die Machbarkeit und auch die Finanzierbarkeit des Up-Scalings zu demonstrieren. Dafür müssen einige bestehende Maschinen optimiert, zu einer kleinen Forschungsanlage kombiniert und aufeinander abgestimmt werden.

Für eine solche Forschungsanlage wurde ein Standort in Tulln gefunden. Weiters wurde Kontakt zu den Fachhochschulen in Tulln und Wieselburg aufgenommen, denn damit wird der Wissensaustausch mit ExpertInnen auf dem Gebiet der Nachhaltigkeit und der nachwachsenden Rohstoffe ermöglicht und die Weitergabe der Kaskadennutzungs idee an StudentInnen unterstützt.

### **3. Konzept für Demoprojekt: KernCraft TAKE OFF**

#### **Zielsetzung**

Ziel dieses Projekts war die Vorbereitung der wirtschaftlichen Umsetzung der KernCraft-Idee. Durch die Demonstrationsanlage „KernCraft Austria“ wird ein essentieller Beitrag zur Ressourcenschonung durch Reststoffnutzung und zur Umweltentlastung durch Abfallvermeidung geleistet.

#### **Umsetzung von „KernCraft Austria“**

Im Projektverlauf wurde die benötigte technische Infrastruktur konkretisiert, Teilmodule für die schrittweise Umsetzung entwickelt, marktrelevante Daten (LieferantInnen, MitbewerberInnen, AbnehmerInnen) erhoben und mit den Produktentwicklungen begonnen. Die ermittelten Informationen wurden in einem Unternehmensplan (Stufenplan für die Realisierung und Finanzierungsoptionen) zusammengeführt. Dabei flossen auch die Erkenntnisse, die an der im Herbst 2006 errichteten Versuchsanlage von KernCraft Biotech GmbH erarbeitet wurden, in die Ergebnisse ein. Die KernCraft Biotech GmbH investierte nicht nur in die Versuchsanlage, die zur Abklärung von technischen Fragestellungen dient, sondern hat auch die Absicht, die KernCraft Demoanlage zu finanzieren. Ein Vertreter des Investors wurde bereits in die Projektdurchführung einbezogen. Dafür wurden bereits vorliegende Daten zur Nutzung von Steinobstkernen gesammelt und anschließend weitere Recherchen zu den Informationslücken durchgeführt. Als Informationsquellen wurden einerseits Internetseiten, andererseits ExpertInneninterviews und persönliche Gespräche mit Personen aus dem Bereich möglicher LieferantInnen und AbnehmerInnen (in Österreich, Europa und China), sowie

wissenschaftliche Artikel herangezogen. Weiters wurden Angebote von MaschinenherstellerInnen und Finanzdienstleistungsunternehmen eingeholt. In früheren Projekten entwickelte Produktideen wurden überarbeitet und weitere Verwendungen mit dem Schwerpunkt Hartschalennutzung für den Non-Food-Bereich ausgearbeitet.

### **Zeit- und Stufenplan**

Das Grundkonzept für den Zeit- und Stufenplan zur Umsetzung der Demonstrationsanlage „KernCraft Austria“ berücksichtigt die Errichtung einer Versuchsanlage durch die KernCraft Biotech GmbH, die als Forschungs- und Entwicklungsabteilung in die Demonstrationsanlage integriert wird. Die Versuchsanlage spielt eine zentrale Rolle, weil die zahlreichen möglichen Produkte von „KernCraft Austria“ aus Kostengründen nicht gleichzeitig realisiert werden können, sondern mit den Rückflüssen aus dem Verkauf einer ersten Produktserie finanziert werden. Die Entwicklung unterschiedlicher Produkte wurde in zeitlich gestaffelten Modulen angesetzt, wobei mit den am weitesten entwickelten Produkten Marillen- und Pfirsichkern-Öl begonnen wurde, um möglichst schnell finanzielle Rückflüsse zu generieren.

Der Ausbau der technischen Infrastruktur erfolgt im Zeitverlauf in Abhängigkeit von den geplanten Produktentwicklungsmodulen. Die Informations- und Entscheidungsgrundlagen für die Modularisierung des Zeit- und Stufenplans wurden durch Marktanalysen zu Konkurrenzprodukten und Absatzpotenzialen sowie durch Kostenrecherchen zur technischen Infrastruktur ermittelt.

Die Finanzplanungs-Berechnungen zeigen, dass eine Mindestmenge von ca. 550 Jahrestonnen Friskernen vom ersten Jahr an verarbeitet werden müssen, damit die Produktion wirtschaftlich betrieben werden kann. Da die bei der Ölherstellung anfallenden "Restfraktionen" (Hartschale und Presskuchen) einen wesentlichen Teil zur Wertschöpfung beitragen, muss die Produkterweiterung innerhalb der ersten Jahre erfolgen. Dazu gehört auch die Herstellung von hochwertigen Ölen, die aus Kirsch- und Zwetschkenkernen gewonnen werden.

### **Erweiterung des Produktsortiments**

Zur Erweiterung des Produktsortiments wurden potenzielle AbnehmerInnen für das Hartschalengranulat eruiert.

- Einsatz als Abrasivum: Diese stoffliche Nutzung scheint in Spezialanwendungen möglich, der Trend zu nachwachsenden Rohstoffen kann ein Vorteil sein. Zu berücksichtigen sind allerdings Konkurrenzprodukte aus preiswerteren Rohstoffen (z.B. Olivenkerne oder Walnussschalen). Deswegen sollte der Fokus der weiteren Untersuchungen auf Nischenanwendungen für Steinobstkerne liegen.
- Einsatz als Füllstoff: Auf Grund der positiven optischen Erscheinung der Granulate wurden Produktmuster für den dekorativen Einsatz entwickelt.
- Spezialbereich Reifenproduktion: Um Tests mit den Granulaten als Füllstoff in der Reifenproduktion durchzuführen, muss das Material zuvor in weiterführenden Schritten analysiert und charakterisiert werden.

## **NAWAROs-Planer: Tool für die Planung von Demonstrationsanlagen zur Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen**

Für die Durchführung von Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Planung der Produktentwicklung wurde ein Tool in Form eines Excel-Files entwickelt, das auf die vielfältigen Rohstoffe und deren Anwendungsmöglichkeiten abgestimmt ist. Dieses Tool kann zur Planung von Demonstrationsanlagen für die Kaskadennutzung diverser anderer nachwachsender Rohstoffe adaptiert werden.

### **Ausblick**

Erste Schritte zur konkreten Errichtung einer Demonstrationsanlage wurden mittlerweile durch die Gründung eines entsprechenden Unternehmens gesetzt. Aktuell wird nach geeigneten Finanzierungsmöglichkeiten zur Realisierung des Vorhabens gesucht.

## 3 Pflanzenfarben für die Textilindustrie

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Die Verwendung von Pflanzenfarben zur Textilfärbung hat jahrhundertlange Tradition. Trotzdem sind Pflanzenfarben in der modernen betrieblichen Textilfärbung nicht zu finden, denn seit der Verfügbarkeit fossiler Rohstoffe sind einheitliche Ausgangsrohstoffe vorhanden, die sich hervorragend industriell verarbeiten lassen. Färbepflanzen kommen nur noch in Nischen zur Anwendung, da es keine entsprechenden standardisierten Pflanzenfarbstoffe gibt. Die Verwendung pflanzlicher Farbstoffe stellt eine neue Nutzungsmöglichkeit nachwachsender Rohstoffe dar und kann wesentlich zur nachhaltigen Entwicklung beitragen: Bei gleichzeitiger Nutzung erneuerbarer Rohstoffe können nichterneuerbare Ressourcen geschont, Umweltbelastungen über die gesamte Produktionskette reduziert, landwirtschaftliche Flächen erhalten und Arbeitsplätze mit regionaler Wertschöpfung geschaffen und gesichert werden.

#### **Ziele und Herausforderungen**

In den letzten Jahren beschäftigt sich die wissenschaftliche Welt vermehrt mit Pflanzenfarben, oft wird das Hauptaugenmerk jedoch auf einzelne Aspekte oder auch auf einzelne Farbstoffe gelegt. Damit bleibt eine enorme Diskrepanz zwischen der Ausrichtung der Arbeiten zu Pflanzenfarben und den Anforderungen der betrieblichen Praxis in der Textilfärbung. Seit einigen Jahren erarbeitet das Österreichische Ökologie-Institut gemeinsam mit dem Institut für Textilchemie und -physik Grundlagen für eine betriebliche Nutzung von Pflanzenfarben in der Textilindustrie. Ausgangspunkt war, die Anforderungen seitens der Textilindustrie und seitens der Landwirtschaft systematisch zu erheben, um eine Verbindung zwischen Angebot- und Nachfrageseite herzustellen.

#### **Die Projekte im Rahmen der Programmlinie**

##### **1. Potential an nachwachsenden Rohstoffen unter Aspekten der Nachhaltigkeit: Produktion von farbstoffliefernden Pflanzen in Österreich und ihre Nutzung in der Textilindustrie**

###### **Projektleitung:**

Susanne Geissler

###### **Aktueller Kontakt:**

Ing. Antonia Wenisch  
Österreichisches Ökologie-Institut  
Seidengasse 13, A-1060 Wien

Tel.: +43 (0)1 523 61 05-11

E-Mail: [wenisch@ecology.at](mailto:wenisch@ecology.at)

Internet: [www.ecology.at](http://www.ecology.at)

## **2. Farb & Stoff – Sustainable Development durch neue Kooperationen und Prozesse**

### **Projektleitung:**

Susanne Geissler

### **Aktueller Kontakt:**

Ing. Antonia Wenisch  
Österreichisches Ökologie-Institut  
Seidengasse 13, A-1060 Wien

Tel.: +43 (0)1 523 61 05-11

E-Mail: [wenisch@ecology.at](mailto:wenisch@ecology.at)

Internet: [www.ecology.at](http://www.ecology.at)

Endbericht: Nr. 25/2003 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## **3. TradeMark<sup>Farb&Stoff</sup> – Von der Idee zum marktfähigen Handelsprodukt: Pflanzenfarben für die Textilindustrie**

### **Projektleitung:**

DI Barbara Rappl

### **Aktueller Kontakt:**

Ing. Antonia Wenisch  
Österreichisches Ökologie-Institut  
Seidengasse 13, A-1060 Wien

Tel.: +43 (0)1 523 61 05-11

E-Mail: [wenisch@ecology.at](mailto:wenisch@ecology.at)

Internet: [www.ecology.at](http://www.ecology.at)

Endbericht: Nr. 21/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## **4. RISKMIN - Risikominimierung entlang der Wertschöpfungskette vom pflanzlichen Rohstoff bis zum Farbstoff**

### **Projektleitung:**

Ing. Antonia Wenisch  
Österreichisches Ökologie-Institut  
Seidengasse 13, A-1060 Wien

Tel.: +43 (0)1 523 61 05-11

E-Mail: [wenisch@ecology.at](mailto:wenisch@ecology.at)

Internet: [www.ecology.at](http://www.ecology.at)

Endbericht: Nr. 8/2007 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## 5. Colors of Nature – Pflanzenfarbstoff in der Praxis

### Projektleitung:

Ing. Antonia Wenisch  
Österreichisches Ökologie-Institut  
Seidengasse 13, A-1070 Wien

Tel.: +43 (0)1 523 61 05  
E-Mail: [wenisch@ecology.at](mailto:wenisch@ecology.at)  
Internet: [www.ecology.at](http://www.ecology.at)

Die Laufzeit des Projekt "Umweltforschung" endet im Sommer 2010, Download bzw. Bestellung des Endberichts ab Herbst 2010 unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## ***INHALT***

### 1. Anforderungen von Angebot- und Nachfrageseite

Im Projekt „Potential an nachwachsenden Rohstoffen unter Aspekten der Nachhaltigkeit: Produktion von farbstoffliefernden Pflanzen in Österreich und ihre Nutzung in der Textilindustrie“, wurden die unterschiedlichen Anforderungen von Angebot- und Nachfrageseite systematisch erhoben und erste Strategien zur Überwindung der verschiedenen Systemlogiken entwickelt.

Es zeigte sich, dass angebotseitig kaum Umsetzungsschwierigkeiten zu erwarten sind, durch Anbauversuche könnten Erträge abgeschätzt werden, die in weiterer Folge eine Bemessungsgrundlage für erste Kostenabschätzungen darstellen könnten. Nachfrageseitig (Textilindustrie) besteht generell Interesse an der Färbung mit Pflanzenfarben. Einer innovativen Produktlinie, basierend auf pflanzengefärbten Textilien, wurden gute Vermarktungschancen eingeräumt. Für eine tatsächliche Realisierung werden zahlreiche Forderungen gestellt, die mit der landwirtschaftlichen Logistik primär nicht vereinbar sind. So sollte es einen Ansprechpartner für Naturfarben geben, der eine Standardisierung des Pflanzenmaterials vornimmt und Farbqualitäten und Echtheitsniveaus garantiert.

Im Zuge des Projekts wurde erstmals eine Farbkarte für Pflanzenfarbstoffe erstellt, die konkrete Ergebnisse für acht ausgewählte Färbepflanzen zeigt. Damit wurde ein wesentlicher Ansatzpunkt für eine industrielle Nutzung von Pflanzenfarbstoffen geschaffen, denn damit wurden erstmals Informationen über Farbton und Farbqualität (Lichtechtheit, Waschechtheit), in der branchenüblichen Form präsentiert. Diese Informationen werden für jeden synthetischen Farbstoff vom Hersteller bereitgestellt.

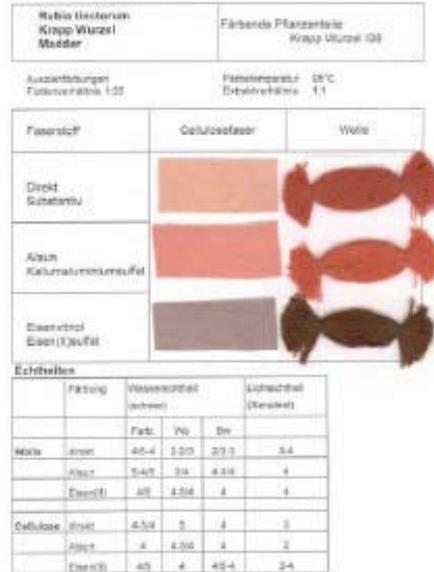
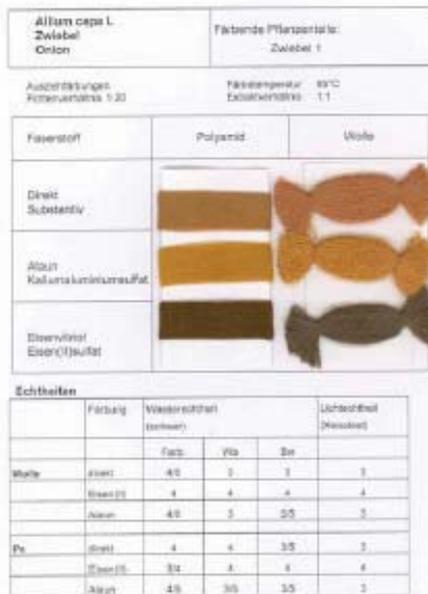


Abb.: Beispiel für Farbkarten (rote Zwiebschalen und Krappwurzeln auf Polyamid bzw. Cellulose und Wolle)

Auf Akteursebene zeigte sich ein „missing link“ zwischen AnbieterInnen der unterschiedlichen Pflanzenmaterialien und der Textilindustrie. Um die Anwendung von Pflanzenfarben in industriellen Färbetrieben zu gewährleisten, braucht es eine Betriebsstruktur, die Pflanzenmaterial von unterschiedlichsten AnbieterInnen ankauft und daraus ein für die Industrie nutzbares Produkt herstellt. Pflanzenfarben werden erst dann in der betrieblichen Textilfärberei zum Einsatz kommen, wenn es eine/n AnsprechpartnerIn für Betriebe gibt, die/der wie ein/e FarbherstellerIn die Aufbereitung, Standardisierung und verfahrenstechnische Betreuung der von ihr/ihm vertriebenen Naturfarben übernimmt.

## 2. Versorgungskonzept für zwei färbende Betriebe

Im Projekt „Farb&Stoff – Sustainable Development durch neue Kooperationen und Prozesse“, wurde der betriebliche Einsatz von Pflanzenfarbstoffen getestet. Auf der Basis der Anforderungen von zwei färbenden Betrieben wurden konkrete Lösungen entwickelt, um pflanzengefärbte Produkte großtechnisch herzustellen.

Das „missing link“ zwischen den verschiedenen AkteurInnen sollte durch gezielte Kooperationen zwischen AnbieterInnen und potenziellen AnwenderInnen überwunden werden. Deshalb sollten RohstoffanbieterInnen mit den färbenden Betrieben der Textilbranche vernetzt werden. Die Berücksichtigung der jeweiligen Anforderungen und die Nutzung bestehender Infrastruktur sollte es ermöglichen, den Ressourceninput und die Kosten für die Verarbeitung gering zu halten. Die Vernetzung erfolgte mittels Produktions-Nutzungsketten, welche den Weg des Färbematerials vom Rohstoff bis zum gefärbten Textil beschreiben.

Die betrieblichen Pilotversuche mit Pflanzenextrakten zeigten, dass Pflanzenfärbungen nach einer entsprechenden Verfahrensanpassung großtechnisch im Betrieb möglich sind. Es wurden verschiedenste pflanzengefärbte Produkte (Wollspule, Strickstücke, Strumpfhosen) hergestellt. Doch trotz der technologischen Kompatibilität ist es für die Betriebe erst interessant Pflanzenfarben zu nutzen, wenn die Versorgung mit standardisierten Farbstoffen gesichert ist.



Abb.: Betriebliche Färbeversuche (Zwiebelschale auf Polyamid, Schwarzerle und Krapp auf Wolle)

Im Projekt wurde ein standardisierbares Farbstoffprodukt definiert (Beutel aus Zellstoff, der trockenes, zerkleinertes Pflanzenmaterial enthält). Zur ökologischen und ökonomischen Optimierung wurde die Pflanzenfarbkarte erheblich erweitert. Es wurden Ausfärbungen und Echtheitsprüfungen mit weiteren 28 Rohstoffen durchgeführt, wobei neben Rohstoffen aus der Landwirtschaft auch Nebenprodukte bzw. Reststoffe der lebensmittel- und holzverarbeitenden Industrie (u.a. Rote Zwiebelschale, Weintrester, Eschenrinde) auf ihre Eignung als Pflanzenfarbstoff geprüft wurden.

Weiters wurde die Farbstoffbereitstellung kostenmäßig abgeschätzt. Es zeigte sich, dass es eine Abnahmemenge von mindestens einer Tonne pro Farbstoff pro Jahr braucht, um einen solchen Farbstoff preismäßig konkurrenzfähig anzubieten. Um diese Mengen an standardisierten, lager- und transportfähigen Pflanzenfarbstoffen zur Verfügung zu stellen, reicht es nicht, gezielte Kooperationen zwischen AnbieterInnen und NachfragerInnen zu initiieren. Stattdessen bedarf es überregionaler Strukturen und eines Handelsprodukts, um entsprechende Nachfragemengen zu erreichen.

### 3. Farbstoff-Prototypen

Die gesicherte Versorgung mit standardisierten lager- und transportfähigen Farbstoffen ist die wichtigste Grundvoraussetzung für eine betriebliche Nutzung von Pflanzenfarben. Um ein marktfähiges Handelsprodukt preismäßig konkurrenzfähig anzubieten, ist eine überregionale Struktur notwendig, die Marktforschung und innovatives Marketing betreibt und entsprechend hohe Nachfragemengen generiert.

Im Projekt „TradeMark<sup>Farb&Stoff</sup> – Von der Idee zum marktfähigen Handelsprodukt: Pflanzenfarben für die Textilindustrie“ erfolgte die Entwicklung, Evaluierung und Optimierung von Farbstoff-Prototypen. Ziel war, das Pflanzenmaterial, die Extraktion und das Färbeverfahren soweit zu standardisieren, dass für die betriebliche Umsetzung nur mehr betriebsinterne Versuche notwendig sind, um das Färbeverfahren am vorhandenen Maschinenpark umzusetzen.

Auf der Anbieterseite wurden ein Rohstoffbeschaffungskonzept erstellt, Farbstoff-Prototypen entwickelt, die technische Umsetzung der Pflanzenfärbung im betrieblichen Maßstab vorbereitet und die fachliche Qualifikation und betriebliche Ausstattung für eine/n PflanzenfarbstofflieferantIn festgelegt. Auf der Nachfrageseite wurde Marktforschung für pflanzengefärbte Textilien betrieben, um daraus Empfehlungen für das Marketing abzuleiten. Zusätzlich wurde ein Färbepflanzenbaukasten erstellt und verschiedene Gütesiegel für Textilien hinsichtlich Färbung analysiert.

Die Entwicklung von Farbstoff-Prototypen erfolgte mit Schwerpunkt auf trocken oder feucht anfallenden Rohstoffen. Das Handelsprodukt besteht aus einer definierten Menge von zer-

kleinertem, getrocknetem Pflanzenmaterial, das in Zellstoffbeutel abgefüllt wird. Für die Standardisierung des Rohstoffs wird optisch überprüft, inwieweit Musterausfärbung und Standard übereinstimmen. Ist keine Übereinstimmung gegeben, wird nach Variation des Flottenverhältnisses oder Mischung des Ausgangsmaterials mit anderen Rohstoffchargen die Ausfärbung wiederholt und wieder optisch verglichen. Grundsätzlich ist die Rohstoffkonstanz sehr hoch, wichtig ist die exakte Verarbeitung der Rohstoffe. Die Vorbereitung der technischen Umsetzung erfolgte in Scale Up Versuchen. Zur Verfahrens- und Standardetablierung wurden unterschiedliche Substrate (Wolle, Baumwolle) auf verschiedenen Färbearlagen (Jet, Jigger) im betrieblichen Maßstab auf technischem Standard ausgefärbt.

Basierend auf Marktforschungs- und Marketinguntersuchungen wurde für das Marketing von pflanzengefärbten Textilien unter anderem empfohlen, Naturfärbung und deren Farbpalette bekannt zu machen, die persönlichen emotionalen Vorteile zu kommunizieren (Exklusivität, Natürlichkeit, Pflanzen), vorhandene positive Assoziationen mit Hautverträglichkeit und ge-

ringer Umweltbelastung zu nützen (z.B. für Textilien, die auf der Haut getragen werden (T-Shirts, Unterwäsche, Nachtwäsche usw.) und Produkte mit hoher Qualität anzubieten, um einen höheren Preis zu generieren.

Um die Idee und gleichzeitig erste Ergebnisse des Projekts zu transportieren, wurde ein Färbepflanzenbaukasten zusammengestellt. Diese neue und innovative Form des Marketings wurde deshalb gewählt, da einige färbende Betriebe bereits eigene Färberversuche mit Pflanzenfarben durchgeführt hatten, unterschiedlichste Schwierigkeiten aufgetreten waren und einer betrieblichen Nutzung von Pflanzenfarben große Skepsis entgegengebracht wurde. Der Baukasten enthält alle Elemente, um erste Färberversuche mit Pflanzenfarben durchzuführen und ermöglicht FärberInnen und allen an Pflanzenfärbung Interessierten eigene Erfahrungen im Umgang mit Pflanzenfarben zu bekommen.



Abb.: Färbepflanzenbaukasten

#### 4. Businessplan für Pflanzenfarbstoffhersteller

Eine der wesentlichsten Forderungen der Textilindustrie für die betriebliche Nutzung von Pflanzenfarben ist eine Ansprechperson, die den standardisierten Rohstoff anbietet, für Farbqualität und Echtheitsniveaus garantiert und die verfahrenstechnische Betreuung übernimmt. Im Projekt „RISKMIN – Risikominimierung entlang der Wertschöpfungskette vom pflanzlichen Rohstoff bis zum Farbstoff“ wurde die Geschäftsidee eines Pflanzenfarbstoffherstellers auf ihre wirtschaftliche Umsetzbarkeit geprüft, die Risiken entlang der Wertschöpfungskette von der Pflanze bis zur Bereitstellung des Farbstoffes einer Risikoanalyse unterzogen und unter Berücksichtigung der Maßnahmen zur Risikominimierung ein Businessplan

für eine/n PflanzenfarbstoffproduzentIn zur erfolgreichen Umsetzung der Geschäftsidee erstellt.

### **Identifikation der Risikoquellen**

Anhand der im Supply Chain Risk Management verwendeten Methode des Supply Chain Mappings wurden in RISKMIN die relevanten Risikoquellen entlang der Wertschöpfungskette vom Rohstoff bis zum Farbstoff aus Sicht der Pflanzenfarbstoffproduzenten identifiziert und kategorisiert. Diese sind Prozess- und Steuerungsrisiken innerhalb des Unternehmens sowie Beschaffungs- und Absatzrisiken innerhalb der Wertschöpfungskette, aber außerhalb des Unternehmens. Umweltrisiken sind schließlich externe Risiken, die für die Wertschöpfungsprozesse eine Rolle spielen. Im Zuge der Kategorisierung wurden insgesamt elf Hauptrisikokategorien mit Untergruppen erstellt und hinsichtlich ihrer Auswirkungen in A-Risiken (hoch), B-Risiken (mittel) und C-Risiken (gering) eingeteilt. Jeder Aktivität wurden mehrere Risikoquellen zugeordnet, die Bewertung der Auswirkungen erfolgt anhand des betroffenen Umsatzes entlang der Wertschöpfungskette.

Die lokalisierten Risiken mit hoher Relevanz sind im Bereich der Rohstoffbeschaffung hinsichtlich Menge und Qualität sowie in einem fehlenden Absatzmarkt zu sehen. Risiken mit mittlerer Relevanz sind Produktqualität, Zahlungsrisiken und Beschaffungsrisiken für Rohstoffe. Risiken mit geringer Relevanz beziehen sich auf Lagerung, unattraktive Produktpalette, Produktionsprozess sowie Rohstoffkosten.

Das Supply Chain Risk Management führte zu folgenden Vorschlägen der Risikominimierung für "Colours of Nature":

- Vertragliche Regelungen bei Rohstoffbeschaffung und Produktion
- Geografische Diversifizierung von LieferantInnen und Rohstoffquellen
- Know-how Transfer und Erfahrungsaustausch in mehrere Richtungen
- Definition von Qualitätskriterien, Qualitätskontrolle für Erfolg der Geschäftsidee "Colours of Nature"
- Prozessoptimierung für die Optimierung der Produktionskosten
- Standardisierung für Durchsetzung am Markt
- Verfahrenstechnische Betreuung der färbenden Betriebe

### **Businessplan „Colours of Nature“**

Ein wesentliches Ergebnis des Projektes RISKMIN ist der Businessplan "Colours of Nature", der die Arbeitsschritte der Pflanzenfarbstoffproduzenten erläutert und eine wirtschaftliche Umsetzbarkeit unter bestimmten Rahmenbedingungen aufzeigt. „Colours of Nature“ ist ein Unternehmenskonzept für Entwicklung, Herstellung und Vertrieb von Pflanzenfarbstoffen für die Textilindustrie in Österreich und in der Folge auch international.

"Colours of Nature" ist eine nachhaltige Geschäftsidee, die wirtschaftlich erfolgreich realisiert werden kann. Die Geschäftsidee und das Know-how zur Pflanzenfarbstofffärbung sind einzigartig und innovativ und stellen einen nachhaltigen Wettbewerbsvorteil dar, da es bis dato weltweit nichts Vergleichbares gibt.

Aufgrund der Trendanalysen und durch steigendes Umweltbewusstsein sind die Umsetzungschancen der Geschäftsidee "Colours of Nature" positiv zu bewerten. Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit werden zunehmend auch in der Textilbranche zum Thema und führen zu vermehrter Nachfrage an umweltfreundlichen Textilien.

Im ersten Geschäftsjahr von "Colours of Nature" liegen Meilensteine im Aufbau des Management- und Entwicklungsteams, in der Konzeption einer Pilotfertigungslinie für Pflanzenfarbstoff und in weiteren Marktstudien sowie in der KundInnenakquisition und Kapitalbeschaffung.

## 5. Implementierung von "Pflanzenfarbstoff" in den Textilmarkt

Im Projekt „Colors of Nature – Pflanzenfarbstoff in der Praxis“ sollen durch Optimierung der Farbstoffherstellung und der Färbetechnologie Pflanzenfarbstoffe zur Marktreife gebracht werden.

Im Rahmen des Projekts werden vor allem folgende Inhalte bearbeitet:

- Qualitätsparameter für die Rohstoffzulieferung
- Lagerungslogistik
- Technische Standardisierung entlang der Verarbeitungskette
- Qualitative Standardisierung
- Praxisnahes Marketingkonzept

### **Ausblick**

Folgende konkrete Ergebnisse sollen am Ende des Projekts vorliegen:

- Definierte Abnahmeparameter für die Rohstoffzulieferung
- Optimierte Logistik für die ökoeffiziente Lagerung der Rohstoffe und Farbstoffe
- Beschreibung des Maschinenparks für Reinigung, Trocknung, Zerkleinern und Abfüllen des Pflanzenmaterials
- Beschreibung der Parameter für die Optimierung des Färbeprozesses im Textilbetrieb

## 4 Wood Plastic Composites

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Der Markt für Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffe (Wood Plastic Composites, kurz: WPCs) hat sich in den letzten Jahren sehr positiv entwickelt. In Nordamerika sind jährliche Zuwachsraten von mehr als 25 % pro Jahr zu verzeichnen. WPCs bilden dort die umsatzstärkste Gruppe der Baustoffe. Auch in Europa steigt seit Anfang der 90er Jahre das Interesse an diesem Werkstoff stetig. Neben Hanf- und Flachsfasern werden auch die kostengünstigen Holzfasern immer stärker eingesetzt. Die Hauptanwendungsbereiche der WPCs liegen derzeit im Baubereich, hier werden diese Werkstoffe beispielsweise für Verkleidungsprofile, Fensterprofile, Türen, Verschalungen und Kisten eingesetzt.



Abb.: Wood Plastic-Profil. Quelle: Petra Blauensteiner

#### **Ziel und Herausforderungen**

Die Projektreihe „Wood Plastic Composites“ machte es sich zum Ziel, aus Abfallstoffen der Holzindustrie (Holzspänen) in Verbindung mit nur geringen Mengen von thermoplastischen Polymeren (Kunststoffen) neue Werkstoffe zu erzeugen. Anforderung an den neuen Stoff war ein holzähnlicher Charakter, der mit Fertigungstechnologien der Kunststoffindustrie verarbeitet werden kann.

Holz wurde Polymerwerkstoffen ursprünglich nur als reiner Füllstoff zur Kostenreduktion zugesetzt. Heute geht der Trend zu Werkstoffen mit Holzfasern als aktivem Füllstoff bzw. als Hauptkomponente in der Rezeptur. Obwohl die Möglichkeit der Extrusion von Kunststoff mit höherem Holzfasergehalt schon länger bekannt ist, konzentrierte sich die Forschung in der Vergangenheit auf Wood Plastic Composites, die einen Holzanteil von maximal 70 % aufwiesen. Meist war der Holzanteil sogar kleiner als 50 %.

Im Zuge der durchgeführten Projekte „Wood Plastic Composites“ sollte der Holzanteil auf mindestens 70 % (und max. 90 %) erhöht werden. Holz sollte in diesem neuen Werkstoff der tragende Rohstoff sein, um einen Großteil des Kunststoffs durch den nachwachsenden Rohstoff Holz zu ersetzen. Die Herausforderungen bei der Herstellung dieses neuen Werkstoffs waren sehr vielfältig. Die gängigen Prozess- bzw. Werkzeugtechnologien zur Erzeugung von Profilen waren für einen derart hohen Holzfasergehalt nicht geeignet. Es konnten keine ausreichenden Profilqualitäten erreicht werden und die Produktion war durch die geringen Ausstoßleistungen nicht wirtschaftlich.

Darüber hinaus gab es keine passende Technologie zur Direktdosierung der Holzspäne mit der Möglichkeit, weitere Komponenten beizumischen (Anm.: Gewöhnlich werden Pellets verwendet, die bereits beide Werkstoffkomponenten Holz und Kunststoff beinhalten.). Einen

innovativen Schritt stellte daher die direkte Verarbeitung der Holzspäne dar. Durch eine direkte Zuführung des Spanmaterials erwartete man sich nicht nur ökonomische, sondern auch technische Vorteile.

Weiters sollten durch geeignete Modifizierungsmethoden der Holzkomponente die Probleme der Wasseraufnahme und des Pilzbefalls gelöst werden, die bei der Herstellung von Produkten mit hohem Holzanteil häufig auftreten. Die Herstellungstechnologien der WPCs sollten dementsprechend angepasst bzw. optimiert werden.

Da WPCs durch ihren Celluloseanteil Wasser aufnehmen, was sich negativ auf deren Dimensionsstabilität und Beständigkeit auswirkt, gilt ein weiteres Projekt in dieser Forschungsreihe speziell der Untersuchung von Mechanismen der Wasseraufnahme und des Wassertransports in diesem Werkstoff.

In verschiedenen Versuchen wurde festgestellt, dass modifizierte WPCs eine wesentlich verminderte Wasseraufnahme und dadurch höhere Dimensionsstabilität sowie einen geringeren Pilzbewuchs aufweisen, jedoch Einbußen bei den mechanischen Eigenschaften verzeichnen. Dieser Punkt wird im Projekt „Neues Eigenschaftsprofil durch Refinerfasern“ eingehend bearbeitet. Refinerfasern, können die Eigenschaften von WPCs deutlich verbessern, stellen aber gleichzeitig neue Herausforderungen an die formgebenden Verfahren.

In einem weiteren Innovationsschritt soll neben der Extrusion auch der Spritzguss, der Vorteile in den Bereichen Produktgeometrie und Verarbeitung aufweist, erforscht werden.

## **Die Projekte im Rahmen der Programmlinie**

Im Rahmen der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ wurden drei zusammenhängende Projekte durchgeführt, in denen die Grundlagen für die Profilextrusion mit Wood Plastic Composites geschaffen wurden. Ein weiteres Projekt beschäftigte sich eingehend mit Modifikationsmöglichkeiten für Holzspäne. Aktuell laufen drei Projekte, die sich mit speziellen Fragestellungen (Wasseraufnahme, Refinerfasern, Spritzgussanwendung) befassen.

### **1. Neue Wertschöpfung aus Holzspänen**

#### **Projektleitung:**

Dr. Wolfgang Stadlbauer

Upper Austrian Research GmbH – Transfercenter für Kunststofftechnik

Franz Fritsch Straße 11, A-4600 Wels

Tel.: +43 (0)7242 2088-1002

E-Mail: [wolfgang.stadlbauer@uar.at](mailto:wolfgang.stadlbauer@uar.at)

Internet: [www.uar.at](http://www.uar.at)

Endbericht: Nr. 68/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## 2. Entwicklung einer Holzspänedirekt dosierung

### Projektleitung:

Ing. Mag. Erik Sehnal  
Cincinnati Extrusion GmbH  
Laxenburger Straße 246, A-1239 Wien

Tel.: +43 (0)1 61006-191

E-Mail: [sehnal.e@cet-austria.com](mailto:sehnal.e@cet-austria.com)

Internet: [www.cet-austria.com](http://www.cet-austria.com)

Endbericht: Nr. 68/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## 3. Entwicklung eines Extrusionswerkzeuges

### Projektleitung:

Leopold Weiermayer  
Greiner Extrusionstechnik GmbH  
Friedrich-Schiedel-Straße 1, A-4542 Nußbach

Tel.: +43 (0)7587 504-0

E-Mail: [leopold.weiermayer@greiner-extrusion.at](mailto:leopold.weiermayer@greiner-extrusion.at)

Internet: [www.greiner-extrusion.at](http://www.greiner-extrusion.at)

Endbericht: Nr. 68/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## 4. Modifizierte Holzspäne für höherwertige Holz/Kunststoff-Verbundwerkstoffe

### Projektleitung:

Dipl.-Ing. Dr. Robert Putz  
Kompetenzzentrum Holz GmbH  
St. Peter Straße 25, A-4020 Linz

Tel.: +43 (0) 732 9015 5604

E-Mail: [r.putz@kplus-wood.at](mailto:r.putz@kplus-wood.at)

Endbericht: Nr. 86/2006 aus der Schriftenreihe „Berichte aus Energie- und Umweltforschung“ des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## 5. Wasseraufnahme von Wood Plastic Composites

### Projektleitung:

Dr. Christoph Burgstaller  
Transfercenter für Kunststofftechnik (TCKT) - UAR  
Franz-Fritsch-Straße 11, A-4600 Wels

Tel.: +43 (0)7242 2088-1017

E-Mail: [christoph.burgstaller@tckt.at](mailto:christoph.burgstaller@tckt.at)

Die Laufzeit des Projekts endet voraussichtlich Anfang 2010. Download bzw. Bestellung des Endberichts nach Projektabschluss auf [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## 6. Wood Plastic Composites – Neues Eigenschaftsprofil durch Refinerfasern

### Projektleitung:

Dr. Wolfgang Stadlbauer  
Transfercenter für Kunststofftechnik (TCKT) - UAR  
Franz-Fritsch-Straße 11, A-4600 Wels

Tel.: +43 (0)7242 2088-1002  
E-Mail: [wolfgang.stadlbauer@uar.at](mailto:wolfgang.stadlbauer@uar.at)

Die Laufzeit des Projekts endet voraussichtlich Ende 2009. Download bzw. Bestellung des Endberichts nach Projektabschluss auf [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## 7. Neue Wertschöpfung aus Wood Plastic Composites durch Einsatzmöglichkeiten für Spritzgussanwendungen

### Projektleitung:

Dr. Christoph Burgstaller  
Transfercenter für Kunststofftechnik (TCKT) - UAR  
Franz-Fritsch-Straße 11, A-4600 Wels

Tel.: +43 (0)7242 2088-1017  
E-Mail: [christoph.burgstaller@uar.at](mailto:christoph.burgstaller@uar.at)

Die Laufzeit des Projekts endet voraussichtlich im Herbst 2009. Download bzw. Bestellung des Endberichts nach Projektabschluss auf [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## ***INHALT***

Ausgehend von einer Analyse der Ist-Situation hinsichtlich Markt, Produkte, Verfahrenstechnik, Patentsituation, Rezeptur und Holzspäne wurden die wichtigen technologischen Fragen wie Holzspänedosierung, Kompaktierung im Extruder, Optimierung der Werkzeuggeometrie und der Nachfolgeeinrichtungen der Industriepartner in drei separaten Projekten bearbeitet. Als Versuchsprofil wurde ein Bauprofil (Schwellenprofil) definiert, welches nicht direkt der Bewitterung ausgesetzt ist.

### 1. Rezeptur-Eigenschaftsbeziehungen

Die mechanische Charakterisierung der Werkstoffe wurde auf eine bereits vorliegende Dissertation (M. Svoboda) aufgebaut. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurde systematisch der Einfluss der Probenkonditionierung untersucht. Für die Voruntersuchungen wurden von den Firmen Cincinnati Extrusion GmbH und IFN Internorm Bauelemente GmbH & Co KG extrudierte Platten (200 x 4 mm) mit 70 % Holz und 30 % Polypropylen zur Verfügung gestellt. Im Rahmen dieser ersten Arbeiten ging es vorrangig darum, die Probenpräparation zu optimieren.

Es wurden intensive Arbeiten in den Bereichen Werkstoffcharakterisierung, Analyse der Holzspäne, Methodenentwicklung und Entwicklung von rheologischen Messverfahren durchgeführt, welche die Basis für eine systematische Auslotung der Rezeptur-Eigenschaftsmatrix bildeten.

Grundlegend war die systematische Untersuchung der Holzspäne vor und nach der Verarbeitung. Es wurden unterschiedliche Holz- und Spanarten (hinsichtlich Länge, Breite, Dicke und Form) geprüft. Ziel war es, die Schädigung der Holzfasern während des Verarbeitungsprozesses zu ermitteln. Durch Optimierung der Holzspäneeigenschaften und Rezepturoptimierung wurde ein Basiswissen für eine Standardisierung der Holzspäne geschaffen.

Zurzeit werden vorwiegend vier Thermoplaste für WPCs eingesetzt:

- Polyethylen (65 %),
- Polyvinylchlorid (16 %),
- Polypropylen (14 %) und
- Polystyrol (5 %).

Polyethylen ist dabei der bevorzugte Stoff für „Deckings“ und ähnliche Profile, PVC wird hauptsächlich für Fenster- und Türprofile verwendet.

Holz wird in allen möglichen Formen eingesetzt. Die Palette reicht von Holzmehl über Holzfasern bis zu Pellets. Holzmehl hat den Vorteil, dass es leicht dosierbar ist, jedoch kaum verstärkende Eigenschaften aufweist. Holzfasern werden in unterschiedlichen Geometrien verwendet. Pellets schließlich haben den Vorteil, dass sie leicht förder- und dosierbar sind. Jedoch sind sie unterschiedlich kompakt, was zu einer unterschiedlich guten „Aufschließung“ im Extruder führt. Dies führt wiederum zu einer schwankende Qualität des Endprodukts.

Den Recherchen zufolge existiert kein direkter Zusammenhang zwischen Holzart und Festigkeitseigenschaft. Weiters ist davon auszugehen, dass die Geometrie der Späne (Verhältnis von Länge zu Breite) die Festigkeitseigenschaften mehr beeinflusst als die absolute Spangröße. Als Bindemittel werden – je nach Anwendungsfall – fast alle in der Kunststoffindustrie bekannten Zusatzstoffe wie UV-Stabilisatoren, Antioxidantien, Gleitmittel, Hitzestabilisatoren etc. eingesetzt. Einen Spezialfall stellen die so genannten „Coupling agents“ dar. Sie sollen eine Verbesserung der Holzfasern-Kunststoffmatrix bewirken. In diesem Bereich gibt es derzeit enorme Entwicklungsaktivitäten. Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei unterschiedliche Systeme getestet.

## 2. Entwicklung der Spänedirektdosierung

WPCs werden üblicherweise durch Extrusion verarbeitet. Extrusion ist ein kontinuierliches Verfahren zur Erzeugung von Profilen oder Granulat. Die Materialien werden dabei durch eine Düse gepresst. Man unterscheidet dabei zwischen der Direktextrusion (einstufiger Prozess, bei dem das Mischen der Komponenten und die Profilerzeugung in einem Verfahrensgang im Extruder erfolgt) und die Extrusion von Vormischungen (in einem ersten Schritt wird das Granulat erzeugt, das dann in einem anderen Extruder zum Profil extrudiert wird).

Beim Extruder gibt es drei Typen, die für die WPC-Verarbeitung eingesetzt werden:

- den konischen Doppelschneckenextruder,
- den parallelen Doppelschneckenextruder und
- den Einschneckenextruder.

Ersterer ist die für die Verarbeitung von WPCs bevorzugte Maschine auf Grund des großen Durchmessers im Einzugsbereich und der kontinuierlichen Kompression. Die relativ kurze

Bauweise garantiert hier eine geringe Verweildauer der Schmelze im Extruder, was die thermische Belastung der Holzspäne reduziert.

Bei der Extrusion von WPCs wird die Holzkomponente derzeit in Form von Pellets dem Extruder zugeführt. Durch den Pelletierprozess erfahren die Holzfasern eine nicht reproduzierbare Faserschädigung (Kürzung, Quetschung und thermische Belastung), sodass standardisierte Pelletqualitäten – eine unabdingbare Voraussetzung für die Extrusion qualitativ hochwertiger Profile – derzeit nicht angeboten werden können.

Im Rahmen dieses Projekts wurde eine Vorrichtung entwickelt, die es ermöglicht, Holzfasern bzw. Holzspäne (z.B. aus der Säge- oder Holzplattenindustrie) unkompaktiert und direkt im Extruder zu verarbeiten. Diese Entwicklung führt zu einer höheren Wirtschaftlichkeit durch niedrigere Rohstoffkosten und einer besseren Produktqualität. Eine Steigerung der Extrusionsgeschwindigkeit kann auf diesem Weg ebenfalls erzielt werden.

Die große Herausforderung wird zukünftig in der Rezeptur- und Prozessoptimierung bestehen. Die Grundvoraussetzungen dafür wurden bereits im Rahmen von Versuchsreihen und Untersuchungen, die parallel zur Komponentenentwicklung durchgeführt wurden, gelegt. Technische Weiterentwicklungen zur Direktdosierung wurden im Rahmen der Auftragskonstruktion für bereits angelaufene oder in Verhandlung stehende Aufträge durchgeführt.

Größere Aufmerksamkeit wird künftig auch in die Optimierung von Materiallogistik, Aufbereitung und Zuführung zu legen sein. Es hat sich gezeigt, dass jede Unregelmäßigkeit signifikante Auswirkungen auf den Extrusionsprozess bewirkt. Der Grund dafür ist, dass die Puffer- und Ausgleichwirkung eines vollen Trichters (wie bei fertig gemischten Compounds oder Agglomeraten) wegfällt. Die Restfeuchte sowie die Korngrößenverteilung der Naturfasern müssen in einem vergleichsweise geringeren Toleranzband liegen, Schwankungen wirken sich bei der Direktextrusion stärker aus.

Die durchgeführten Versuche haben jedenfalls erfolgreich gezeigt, dass selbst Massenware, wie das Deckschichtmaterial aus der Spanplattenproduktion, im Direktextrusionsprozess verarbeitbar ist. Aus dieser Tatsache leitet sich auch direkt das wirtschaftliche und ökologische Potential des neuen Produktionsverfahrens ab.

### 3. Entwicklung eines Extrusionswerkzeuges

Eine Steigerung des Faseranteils in Kunststoff-Faser-Verbundstoffen machte Änderungen in der Verfahrenstechnik notwendig. Ziel des Projekts war es daher, ein Extrusionswerkzeug zu entwickeln, das sowohl den Qualitätsanforderungen des Produktes entspricht als auch eine wirtschaftliche Produktion ermöglicht. In einer Ist-Analyse wurden daher sowohl die Produkte eruiert, die aus diesen neuen Materialien hergestellt werden können, als auch die bestehende Werkzeugtechnologie erhoben. Parallel dazu wurde eine Patentrecherche durchgeführt.

Im nächsten Schritt wurden FEM-Berechnungen durchgeführt. Das heißt, es wurde zunächst theoretisch errechnet, welche Fließ-, Druck- und Abkühlbe-



Abb.: Prototypenanlage

dingungen im Werkzeug und am Profil herrschen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Extrusionswerkzeug konstruiert. Das Versuchswerkzeug sollte so beschaffen sein, dass unterschiedliche Wanddicken von 2,5 bis 6,0 mm realisiert werden können. Es wurden verschiedene Materialsysteme, von größeren Holzspänen bis kleinen Holzfasern, mit unterschiedlichen Füllgraden getestet und der Einfluss auf den Prozess und die Profileigenschaften ermittelt.

Die Entwicklung des Werkzeugs ist bereits abgeschlossen und erste Versuchsläufe wurden bereits durchgeführt. Nach dem Modell dieses Versuchswerkzeugs wurde das im Rahmen dieses Projekts definierte Werkzeug („Griffner-Profil“) konstruiert, gebaut und in Betrieb genommen.

## **Ergebnisse**

Im Rahmen der Forschungsprojekte konnte der Holzanteil der WPCs auf mehr als 90 % erhöht werden. Im Zuge der Weiterentwicklung der Maschinenteknologie wurde eine Vorrichtung entwickelt, die es ermöglicht, Holzfasern ohne Zwischenschritt im Extruder mit weiteren Komponenten wie beispielsweise Additiva oder Farben zu verarbeiten. Durch diese neue Verfahrenstechnik konnte die Wirtschaftlichkeit der Holzextrusion entscheidend verbessert werden. Optimierte Rezepturen für die Holz-Verbundstoffe und systematische Eigenschaftsmatrices der Werkstoffe führten weiters zu einer deutlichen Erhöhung der Qualität der erzeugten Profile.

## **4. Modifizierte Holzspäne für höherwertige Holz/Kunststoff-Verbundwerkstoffe**

In diesem Projekt sollten jene Probleme behandelt werden, die sich aus den Eigenschaften des Werkstoffes Holz ergeben. Diese sind hauptsächlich die Aufnahme von Wasser und damit das Problem der Verformung der Komponenten sowie Pilzbefall.

Dazu waren einerseits umfangreiche Screeningversuche zu verschiedensten chemischen Holz-Modifizierungsmethoden notwendig. Durch Acetylierung (Veresterung) der Hydroxylgruppen der Holzinhaltstoffe Cellulose, Hemicellulose und Lignin sollte eine Reduzierung der Wasseraufnahme und der Schrumpf- und Quelleigenschaften des Holzes, die bei Veränderung der Umgebungsfeuchte auftreten, erfolgen. Im Speziellen sollte im Projekt eine neue Methode – die Acetylierung mit Isopropenylacetat – erprobt bzw. erarbeitet werden.

Neben der gezielten chemischen Modifikation der Holzkomponente wurden Imprägnierungsversuche mit verschiedenen Polyvinylacetaten, Fixapret Eco (ein Finisher aus der Textilindustrie) und Caprolactam durchgeführt, um damit die mechanischen und physikalischen Eigenschaften des Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffes zu verbessern.

Anschließend wurden Holz-Kunststoff-Verbundstoffe aus imprägnierten und chemisch modifizierten Holzspänen mit Holzanteilen zwischen 30 und 50 % und verschiedenen Formulierungen im Spritzguss hergestellt. Extrusionsversuche wurden mit acetylierten Spänen aus den Großversuchen und mit unmodifizierten Spänen nach vorangegangenen Parameteroptimierungen durchgeführt.

Die hergestellten WPCs wurden auf mechanische Eigenschaften, Umwelteinflüsse, Wasseraufnahme/Dimensionsstabilität durch bruchmechanische Tests, künstliche Bewitterung, Pilztests, mikroskopische Untersuchungen sowie Fasergeometrie vor und nach dem Herstellungsprozess untersucht bzw. getestet.

## **Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Imprägnierungsversuche an Holzspänen waren leicht durchführbar, brachten aber sowohl in Wasseraufnahmevermögen, Dimensionsstabilität und mechanische Festigkeit keine Verbesserung in den WPCs, die daraus hergestellt wurden.

Die Acetylierung mit längerkettigen Carbonsäureanhydriden erwies sich als außerordentlich umständlich, weshalb dieser Weg nicht weiter verfolgt wird. Obwohl sich die mechanischen Eigenschaften von WPCs aus acetylierten Holzspänen gegenüber unmodifizierten Spänen verschlechterten, zeigten sie eine drastisch reduzierte Wasseraufnahme und eine stark erhöhte Dimensionsstabilität.

Zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften wurden Screening-Versuche über alternative Haftvermittler durchgeführt. Die ersten Tests ergaben allerdings keine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften.

Zusammenfassend kann man also sagen, dass die Acetylierung mit Isopropylacetat sich als technologisch umsetzbare Modifizierungsmethode herauskristallisiert hat und für den Prozess Vorteile bietet. Die aus acetylierten Spänen hergestellten WPCs haben gegenüber der unmodifizierten Variante die Vorteile einer dramatisch reduzierten Wasseraufnahme bei hohem Holzanteil (70 %) und dadurch eine signifikant verbesserte Dimensionsstabilität. Ein weiterer positiver Aspekt ist eine verbesserte Pilzresistenz.

## **5. Wasseraufnahme von Wood Plastic Composites**

Bei diesem Projekt werden die Mechanismen der Wasseraufnahme und des Wassertransports in Wood Plastic Composites untersucht, um in weiterer Folge wissenschaftlich Lösungsansätze zur Verringerung und Unterbindung dieser Wasseraufnahme zu erarbeiten.

Wie bereits erwähnt, erfreuen sich WPCs dank der Vorteile in Bezug auf ihre mechanischen Eigenschaften, die Verarbeitung und die Kosten seit Jahren großer Beliebtheit. Ein Nachteil, den dieser Werkstoff jedoch mit sich bringt, ist der hohe Celluloseanteil, durch den Wasser in den Verbund aufgenommen wird. Dies wirkt sich negativ auf die Dimensionsstabilität und die Beständigkeit gegenüber biologischem Befall aus.

Zur Unterdrückung der Wasseraufnahme wurden Bauteile bisher entweder beschichtet oder Holzpartikel chemisch modifiziert (z.B. Acetylierung). Nachteil dieser Anwendungen ist der Verlust der einfachen Handhabung von WPCs gegenüber klassischen Holzwerkstoffen, sowie höhere Kosten und die Notwendigkeit der intervallweisen Behandlung durch den Endanwender.

In diesem Projekt sollen die Mechanismen der Wasseraufnahme und des -transports im Werkstoff aufgeklärt und basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen Methoden zur Modifizierung des Holzes entwickelt werden, die die Wasseraufnahme unterbinden und gleichzeitig effektiv hinsichtlich Kosten und Einfachheit der Verfahren sind. Diese Verfahren sollen so ausgelegt sein, dass die Anwendung von Hilfsstoffen wie beispielsweise Lösungsmitteln möglichst gering gehalten oder gänzlich vermieden werden kann.

### **Erwartete Ergebnisse**

Durch eine Verringerung der Wasseraufnahme in WPCs steht dem Werkstoff ein wesentlich größeres Anwendungsfeld zur Verfügung, wodurch sich Vorteile hinsichtlich Kosteneffizienz

und Haltbarkeit für Industrie und Anwender und durch die angestrebte Vermeidung von Lösungsmitelesinsatz letztlich auch für die Umwelt ergeben sollen.

## 6. Wood Plastic Composites – Neues Eigenschaftsprofil durch Refinerfasern

Allgemeines Ziel der Entwicklung von Wood Plastic Composites muss sein, im Hinblick auf eine steigende stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe, den Holzanteil auf hohem Niveau zu erhalten bzw. den Holzanteil weiter zu erhöhen. Dies ist aber nur durch eine steigende Funktionalisierung des Holzes möglich – größtes Potenzial dafür bieten lange Holzfasern, sogenannte Refinerfasern als Verstärkungsmaterial.

Im Rahmen dieses Projekts werden durch die Zusammenarbeit von Maschinenherstellern, WPC-Produzenten und wissenschaftlichen Einrichtungen neue wirtschaftliche Technologien entwickelt, um eine deutliche Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von WPC durch den wirtschaftlichen Einsatz von langen Holzfasern anstelle von Holzpartikeln zu erreichen. Zur Erreichung dieses Ziels bedarf es folgender Punkte:

- Entwicklung einer neuen Direktextrusionstechnologie für Refinerfasern
- Erarbeitung einer alternativen Verarbeitungstechnologie zur WPC Granulatherstellung für Extrusion und Spritzguss
- Maximieren des Holzanteils nach Eigenschaftsprofil und Verarbeitbarkeit
- Optimieren des Direktextrusions- und Spritzgussprozesses
- Schaffung des technologischen und werkstofflichen Basiswissens für die Herstellung von marktfähigen Produkten plus wirtschaftliche Bewertung beider Verfahren.

Von den Rohstoffen bis zum fertigen Produkt werden zwei technologische Verfahren untersucht, die den Schwerpunkt der technologischen Innovation in der Förderung und Verarbeitung von Refinerfasern bilden, nämlich einerseits die Direktextrusion, andererseits eine neuartige WPC-Granulat Herstellungstechnologie für Spritzgussanwendungen.

Eine deutliche Erhöhung der Faserlänge in der WPC Rezeptur stellt auch an die formgebenden Verfahren neue Herausforderungen, die durch Variation des Holzgehaltes und der Prozessparameter untersucht werden.

### Erwartete Ergebnisse

Am Ende des Projektes sollen zwei „Demonstrationsbauteile“ vorliegen, ein durch Extrusion gefertigter Teil und ein im Spritzguss produzierter Teil. Beide Bauteile sollen durch einen hohen Anteil an Refinerfasern deutlich bessere Eigenschaften gegenüber herkömmlichen WPCs aufweisen.

Die Hauptfrage, die in diesem Projekt geklärt wird, ist, ob die Verwendung von Refinerfasern in WPCs technisch möglich, wirtschaftlich rentabel und auch ökologisch sinnvoll ist. Für den raschen Erfolg ist der rege Informationsaustausch und die Diskussion zwischen den Partnern – Vertretern aus Wirtschaft und Forschung – besonders wichtig. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Verfahrensteils sowie der Materialentwicklung werden in Kombination mit den Materialdaten die Grundlage für die Herstellung oder Adaption einer Produktionsanlage darstellen.

## 7. Neue Wertschöpfung aus Wood Plastic Composites durch Einsatzmöglichkeiten für Spritzgussanwendungen

Im Projekt „Neue Wertschöpfung aus Wood Plastic Composites durch Einsatzmöglichkeiten für Spritzgussanwendungen“ sollen gemeinsam mit den teilnehmenden Partnern aus den Bereichen Rohstoffherstellung, anwendungsorientierte Forschung und Anwendung bzw. Verarbeitung WPC-Rezepturen für den Spritzguss entwickelt werden. Die bisherigen Forschungen beschäftigten sich fast ausschließlich mit der Extrusion dieser Werkstoffklasse. Im Gegensatz dazu bietet die Anwendung von Spritzguss Vorteile hinsichtlich der Produktgeometrie und Verarbeitung.

Die Rezeptur der WPCs ist bestimmend für die mechanischen und optischen Eigenschaften sowie die Verarbeitungsfähigkeit. Daher ist es notwendig, die Zusammenhänge zwischen Rezeptur und Eigenschaften zu bestimmen, um für die verschiedenen Verarbeitungstechniken die am besten geeigneten Rezepturen auswählen zu können. Mit diesen Rezepturen werden praxisnah Demonstrationsteile mit bestehenden Spritzgusswerkzeugen gefertigt. Durch rheologische Charakterisierung werden Daten gewonnen, die als Basis für die Auslegung zukünftiger Spritzgusswerkzeuge dienen. Zusätzlich wird durch die thermische Charakterisierung der Composites deren Eignung für die jeweiligen Anwendungen überprüft. Neben den genannten Eigenschaften werden Daten über den Prozess erhoben (z.B. die maximal mögliche Granulatfeuchte vor der Verarbeitung und die maximale Standzeit des Materials bei Maschinenausfall). Die Erhebung dieser Daten und kritischen Punkte trägt dazu bei, einem Betrieb die Schwellenangst vor dem Einsatz von WPCs zumindest teilweise zu nehmen.

### **Erwartetes Ergebnis**

Die Ergebnisse aus diesem Projekt sollen das Basiswissen für zukünftige Anwendungen darstellen, die bereits vorhandenen Kompetenzen im Bereich der Extrusion werden durch das Know-how über den Spritzguss von WPCs ergänzt. Daraus ergeben sich zusätzlich zu den bisherigen Anwendungen für diese Materialklasse weitere Verarbeitungswege, die mit einer wirtschaftlichen und strategischen Stärkung der Partner einher gehen.

## 5 Kunst- und Schaumstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Eines der wichtigsten Verfahren, thermoplastische Kunststoffe in Form zu bringen, ist die Extrusion. Beim Extrudieren wird die fließfähige Masse kontinuierlich durch eine Düse gedrückt und so z.B. zu Profilen geformt. In letzter Zeit kommen immer mehr Produkte auf den Markt, die natürliche Faserstoffe – meist Holz – mit synthetischen Kunststoffen compoundieren und zu Profilen verarbeiten. Diese „Wood Plastic Composites“ weisen in der Regel Dichten von 1,2 bis 1,4 g/cm<sup>3</sup> auf, wodurch manche Anwendungsgebiete aufgrund ihrer geringen Isolier- und Dämmeigenschaften verschlossen sind.

Zu den größten Fortschritten in der Extrusionstechnik zählt die Entwicklung der Thermoplast-Schaumextrusion zur Herstellung von geformten Schaumstoffen. Schaumstoffe sind leicht und porenreich und können Materialbedarf und Gewicht der späteren Endprodukte erheblich reduzieren.

Bis jetzt haben sich die Anstrengungen zum Ersatz künstlicher Polymere durch biogene Polymere vor allem auf Polysaccharide beschränkt. Eine zweite große Gruppe natürlicher Polymere sind die Proteine, die allerdings in erster Linie in der Nahrungs- und Futtermittelherstellung verwendet werden und entsprechend teuer sind. Es stehen jedoch potentiell viele proteinreiche Quellen zur Verfügung, die preisgünstige Neben- oder Abfallprodukte der Agrar- und Lebensmittelindustrie sind. Weiters fallen proteinreiche Abfälle in der Textil- und Lederindustrie an.

#### **Ziele und Herausforderungen**

Ziel des Projekts „Entwicklung geschäumter Produkte auf Proteinbasis“ war die Entwicklung eines neuen Schaumproduktes aus proteinreichen Neben- und Abfallprodukten, das eine Dichte von < 1,0 g/cm<sup>3</sup> aufweist.

Im Folgeprojekt „Türblatteinlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe und Reststoffe“ wurde der praktische Einsatz des entwickelten Materials als Innenlage bei Holztüren getestet. Mit dem Einsatz dieser Schaumkörper wurde eine Gewichtsreduktion des Produkts „Türe“ angestrebt.

## Die Projekte im Rahmen der Programmlinie

### 1. Nachwachsende Biopolymere als Substitution für Massenkunststoffe

#### Projektleitung:

DI Harald Wilhelm  
LKT Laboratorium für Kunststofftechnik  
Wexstraße 19-23, A-1200 Wien

Tel.: +43 (0)1 33126-555

E-Mail: [harald.wilhelm@tgm.ac.at](mailto:harald.wilhelm@tgm.ac.at)

Internet: [www.lkt-tgm.at](http://www.lkt-tgm.at)

Endbericht: Nr. 14/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

### 2. Entwicklung eines marktfähigen Biopolymers auf Stärkebasis aus österreichischen Rohstoffen

#### Projektleitung:

DI Harald Wilhelm, DI (FH) Klemens Reitingner  
LKT Laboratorium für Kunststofftechnik  
Wexstraße 19-23, A-1200 Wien

Tel.: +43 (0)1 33 126-555

E-Mail: [harald.wilhelm@tgm.ac.at](mailto:harald.wilhelm@tgm.ac.at), [klemens.reitingner@tgm.ac.at](mailto:klemens.reitingner@tgm.ac.at)

Internet: [www.lkt-tgm.at](http://www.lkt-tgm.at)

Endbericht: Nr. 66/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

### 3. Entwicklung geschäumter Produkte auf Proteinbasis

#### Projektleitung:

DI Dr. Norbert Mundigler  
IFA Tulln, Abteilung Naturstofftechnik  
Konrad-Lorenz-Straße 20, A-3430 Tulln

Tel.: +43 (0)2272 66280-301

E-Mail: [mund@ifa-tulln.ac.at](mailto:mund@ifa-tulln.ac.at)

Internet: [www.ifa-tulln.ac.at](http://www.ifa-tulln.ac.at)

Der Endbericht steht als pdf-Download auf der Website [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at) zur Verfügung.

## 4. Türblatteinlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe und Reststoffe

### Projektleitung:

Ing. Johann Wagenhofer

REINEX Türen GmbH

Hafingerweg 1, A-3100 St.Pölten

Tel.: +43 (0)2742 90501 0, Mobil: +43 (0)664 2840910

E-Mail: [j.wagenhofer@reinex.at](mailto:j.wagenhofer@reinex.at)

Internet: [www.reinex.at](http://www.reinex.at)

Endbericht: Nr. 1/2008 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## INHALT

### 1. Nachwachsende Biopolymere als Substitution für Massenkunststoffe

Als Biopolymere gelten grundsätzlich entweder

- Polymere, die der Natur entstammen oder
- synthetisch hergestellte, biologisch abbaubare Polymere.

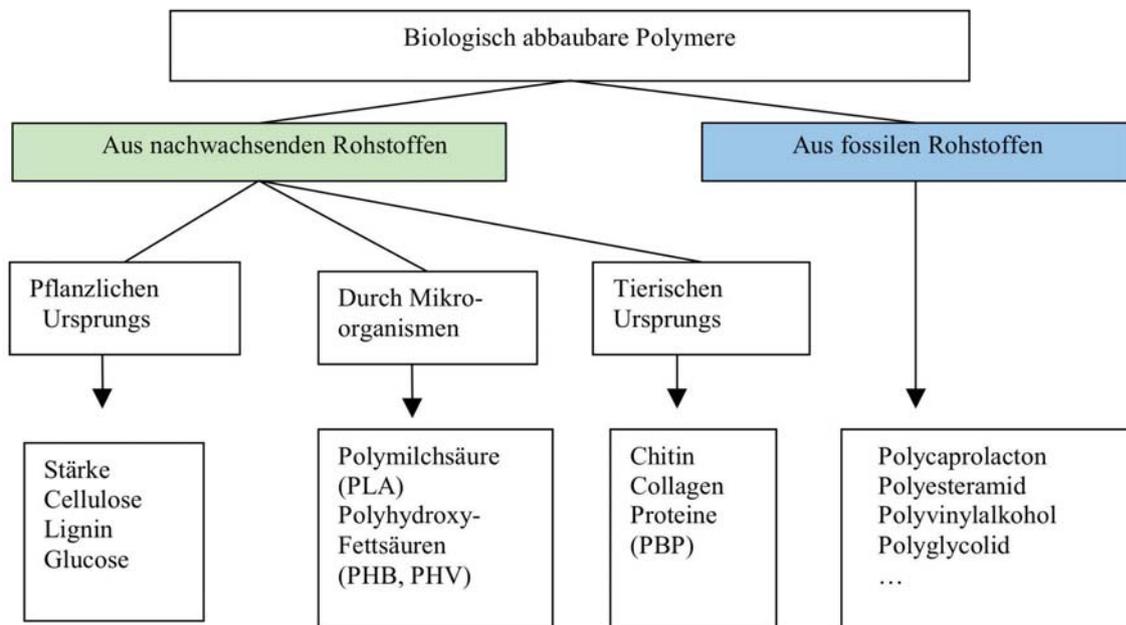


Abb.: Biologisch abbaubare Polymere

Formmassen, basierend auf nachwachsenden Rohstoffen, werden derzeit in erster Linie von MaterialherstellerInnen aus Deutschland, Italien, Finnland sowie in den USA und Japan hergestellt. Auf dem österreichischen Markt hat sich die Herstellung und Verwendung von Biopolymeren noch kaum durchgesetzt. Das gegenständliche Konzept hatte zum Inhalt, auch nationale RohstoffherstellerInnen sowie KunststoffverarbeiterInnen in das Marktsegment der Biopolymere zu integrieren. Hierzu wurden Marktchancen, Marktpotenziale, verfügbare Technologien und Risikopotenziale aufgezeigt und der Kunststoffwirtschaft sowie der Landwirtschaft zugänglich gemacht.

Das im Rahmen der Programmlinie entwickelte Konzept zeigt, dass die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Non-food-Bereich auf etwa 14 % des Gesamtflusses an nachwachsenden Rohstoffen beschränkt ist, wobei nur 0,8 % andere Rohstoffe als Holz eingesetzt werden. Demgegenüber steht der Bereich der Non-food-Stärkeanwendungen, der zwar in Bezug auf die verarbeiteten Mengen zurzeit eher unbedeutend ist, sich aber sehr rasch entwickelt. Weltweit werden heute jährlich ca. 45 Mt Stärke produziert, von denen wiederum ca. 53 % im Nahrungsmittelsektor Verwendung finden. Die restlichen 47 % werden für technische Zwecke eingesetzt. Aus den stärkehaltigen Pflanzenmaterialien, die zum Großteil direkt als Nahrungsmittel dienen, wird industriell auch das Trockenprodukt Stärke hergestellt.

Für 2001 schätzte man den jährlichen Verbrauch für BAW-Produkte (BAW = Biologisch abbaubare Werkstoffe) auf etwa 25.000 bis 30.000 t in der Europäischen Union. Dies entspricht einem Umsatz von etwa 100 Mio. Euro. Das Potenzial wird allerdings um einen Faktor 100 höher geschätzt. Langfristig können rund 10 % der Standardpolymere durch BAWs substituiert werden.

Biopolymere sind nach wie vor, bezogen auf die mechanischen Eigenschaften sowie den Preis, Standardkunststoffen unterlegen. Dennoch hat sich gezeigt, dass auch jetzt schon viele Unternehmen bereit sind, kurzfristig in den Markt einzusteigen und der Verwendung von Biopolymeren Marktchancen einzuräumen. Die Bedingungen liegen allerdings einstimmig in der Notwendigkeit einer gesicherten Mindestqualität des Werkstoffes bei gleichzeitig moderaten Preisen, die nicht viel höher als jene der Massenkunststoffe sein sollten.

Weitere Innovationshemmnisse wurden in den fehlenden Adaptionmöglichkeiten der Stärkepolymere erkannt. Es besteht die unmittelbare Notwendigkeit, durch gezielte Komponentenentwicklung schnelle Adaptierungen zu ermöglichen. Aufgrund dieser Erkenntnis wurde mit dem Aufbau eines Biopolymernetzwerkes mit Betrieben entlang der Werkstoffentwicklung bis hin zum Fertigprodukt gestartet. Der Einstieg in die Verarbeitung von Stärkepolymeren erfolgt über Nischenprodukte mit oft geringen Stückzahlen. Trotzdem ist in vielen Fällen eine Adaption der Eigenschaften speziell für einen bestimmten Verwendungszweck erforderlich. Diese technologischen Herausforderungen sind für viele KMU mit den eigenen kleinen F&E Abteilungen nicht zu bewältigen. Das Firmennetzwerk ist aber in der Lage, jeden Produktionsschritt durch spezialisierte Unternehmen „abzudecken“.

## **2. Entwicklung eines marktfähigen Biopolymers auf Stärkebasis aus österreichischen Rohstoffen**

Grundlegendes Ziel dieses Projekts war die Entwicklung einer marktfähigen Biopolymerformmasse auf Basis thermoplastischer Stärke. Die Formmasse sollte zu einem größtmöglichen Anteil aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen und in einem weiteren Schritt zu Prototypen verarbeitet werden, um sie einem Up-Scaling zuzuführen. Die Produkte liegen vornehmlich im Anwendungsbereich von Konsumgütern mit mittlerer Lebensdauer.

Im ersten Teil des Projekts wurden aufbauend auf dem Wissen aus dem Konzept „Nachwachsende Rohstoffe als Substitution für Massenkunststoffe“ am Markt verfügbare BAWs untersucht.

Als Ausgangsbasis wurden die am Markt befindlichen Werkstoffe, die teilweise entsprechende Eigenschaften aufweisen, allerdings preislich nicht konkurrenzfähig sind, auf ihre Verwertbarkeit untersucht und verbessert. Aus den Ergebnissen dieser Analysen sowie aus Re-

cherchen in Patentliteratur und Firmenschriften setzt sich der Ansatz des neuen Blends zusammen. Die wirtschaftliche Umsetzung von Biopolymeren liegt in der Verblendung von thermoplastischer Stärke mit unterschiedlichen Biopolymeren.

Die Rezepturentwicklung beruht auf den Eigenschaftsanforderungen für konkurrenzfähige Biowerkstoffe. Dies sind vornehmlich:

- vergleichbare mechanische Eigenschaften zu Polyethylen bzw. Weich-PVC
- Verarbeitbarkeit mit konventioneller Kunststofftechnologie (Extrusion, Spritzguss)
- Kaltwasserunlöslichkeit
- Preis unter 2 Euro/kg

Im Projekt konnte eine technologische Lösung zur Herstellung eines maßgeschneiderten biologisch abbaubaren Polymerblends aus vornehmlich nachwachsenden Rohstoffen entwickelt werden. Die Erkenntnisse aus den verarbeitungstechnischen Versuchen haben gezeigt, dass der Entwicklungsstand der Rezeptur für Spritzgießartikel noch nicht ausreichend ist. Die Formmasse ist in ihren Fließ- sowie Abkühleigenschaften Standardpolymeren noch deutlich unterlegen. Andererseits hat sich die Formmasse eindeutig als extrusionsfähig erwiesen, womit verschiedenste Anwendungen im Bereich der "Endlosprodukte" möglich sind. In umfangreichen Versuchen wurde außerdem ein umfassendes Basis-Know-how für die Rezepturzusammenstellung geschaffen, auf dem weitere Materialoptimierungen aufbauen können.



Abb.: Biopolymerkarte nach Lagerung in Erde. Quelle: Plantaplast/Digicard

Vornehmliches Augenmerk wurde auf die Herstellung von Folien zur Weiterverarbeitung für Karten, Anhänger und andere bedruckbare Artikel gelegt. Insbesondere wurde das Material im Hinblick auf die Substituierbarkeit der derzeit im Einsatz befindlichen Plastikkarten (Eintrittskarten, KundInnenkarten, Liftkarten, u.ä.) untersucht. Die Rezeptur erfüllt die Anforderungen der Wasserunlöslichkeit, Knickfestigkeit, thermoplastischen Verarbeitbarkeit, Bedruckbarkeit und ist preislich unter den erhältlichen Biopolymeren anzusetzen. Die Basisrohstoffe sind österreichische Produkte aus der Nahrungsmittel- und Biodieselindustrie. Die Rohstoffkosten der Formulierungen liegen zwischen 1,3 und 1,8 Euro/kg und damit unter den vorgegebenen Kosten von 2 Euro/kg.

Das Material weist eine gute Bedruckbarkeit auf. Die Produkte werden gestanzt, lackbeschichtet, laminiert bzw. durch andere Endbehandlungen dem Verwendungszweck angepasst. Die Bemusterung ist auf großes Interesse bei potenziellen KundInnen gestoßen.

### 3. Entwicklung geschäumter Produkte auf Proteinbasis

Ziel dieses Projekts war es, einen umweltverträglichen Ersatz für Schaumstoffe aus fossilen Rohstoffen zu entwickeln, der aus nachwachsenden Rohstoffen besteht.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit sollten neue Schaumprodukte aus proteinreichen Neben- und Abfallprodukten, die eine Dichte von weniger als  $1,0 \text{ g/cm}^3$  aufweisen und damit den Dichten der meisten Holzarten sehr nahe kommen, entwickelt werden. Gesucht wurde ein Verfahren zur Herstellung von geschäumten Formkörpern mittels Extrusion aus biogenen Rohstoffen für verschiedenste Anwendungsbereiche, wie etwa Möbelteile, Automobilteile, Füllkörper im Baustoffbereich oder Einbauteile zur Wärmedämmung.

Zur Vorauswahl von geeigneten Rohstoffen, Additiven und Verarbeitungsbedingungen wurden an einem Laborextruder Rezepturen entwickelt und verschäumt. Als proteinreicher Rohstoff wurden chromfreie Lederabfälle aus Gerbereien eingesetzt.

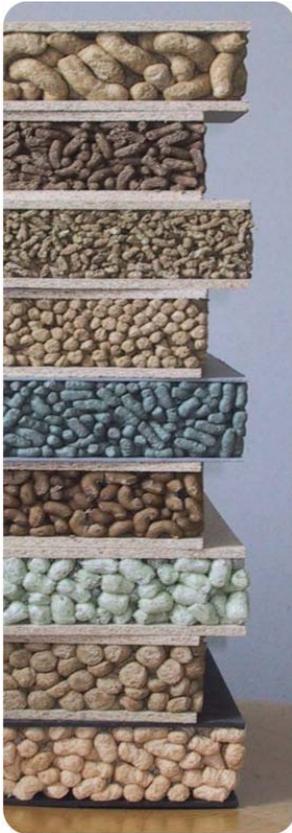


Abb.: chromfreie Lederabfälle aus Gerbereien

Anhand der durchgeführten Versuche konnten grundsätzliche Parameter, die zur Schaumbildung notwendig sind, ermittelt werden. Beispielsweise konnten der optimale Wassergehalt und das Verhältnis zwischen fließfähigen Materialien und Füllstoffen sowie strukturgebenden Komponenten gefunden werden. Generell hat sich gezeigt, dass es möglich ist, die Schaumeigenschaften von elastisch bis spröde einzustellen, wobei bei Rezepturen ohne faserigen Anteil die strukturgebende Komponente fehlt, was zu verminderter Steifigkeit führt. Ein Gesamtanteil von 30 % fließfähigen Komponenten ist nötig, um eine gute Verarbeitbarkeit zu garantieren.

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die Entwicklung von Rezepturen für Schüttkörper, die anschließend zwischen Platten verpresst wurden (Sandwichaufbau), und – in einem weiteren Schritt – auf die Herstellung von leichten Profilen mittels Direktextrusion.

Zur Produktion von geschäumten Schüttkörpern wurden proteinhaltige Reststoffe herangezogen. Schüttkörper verschiedener Korngrößen wurden unter Bindemittelzusatz als Dämmschicht zwischen festigkeitsgebenden Deckplatten verpresst. Das Ergebnis ist ein Einbauteil in Sandwichbauweise aus vorwiegend nachwachsenden Roh- und Reststoffen.



Im Zuge dieses Projekts konnte bestätigt werden, dass sich auf natürlichen Rohstoffen basierende Leichtbauelemente in Modulbauweise insbesondere für den Einsatz als Hohlraumdämmungen, Dämm- und Konstruktionsstoffe sowie als Verpackungsmaterial eignen. Konstruktionsstoffe sind zum Beispiel ebene Platten mit strukturellem Aufbau. Dabei werden Schüttgüter mit Bindemitteln verklebt. Als Bindemittel fungieren verschiedene Kunstharzbindemittel, wie sie auch bei der Herstellung von klassischen Holzwerkstoffen zur Anwendung kommen.

Zurzeit werden im Bereich der Wärmedämmung vorwiegend Schaumstoffe auf chemischer Basis verwendet. Gerade hier könnten Naturstoffe aufgrund ihrer feuchtigkeitsspeichernden Eigenschaften optimal eingesetzt werden, da ein positiver Beitrag für das Raumklima zu erwarten ist. Da Dämmstoffe auf Naturbasis in der Regel in einem höheren Preissegment angesiedelt sind, ist in diesem Segment mittelfristig keine Marktdurchdringung zu erwarten. Diese Produkte sind bis auf weiteres als Ergänzung zu den am Markt etablierten zu betrachten.

Abb.: Einbauteile in Sandwichbauweise aus nachwachsenden Rohstoffen

#### 4. Türblatteinlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe und Reststoffe

Holz Türen sind aufgrund der großen Vielfalt in Design, Ausführung und Zubehör bei Architekten und Bauherren sehr beliebt. Neben den gestalterischen Aspekten müssen sie jedoch eine Reihe an Anforderungen wie Schall-, Brand-, Wärme- und Einbruchschutz erfüllen und für eine entsprechende Marktakzeptanz ein geringes Gewicht aufweisen.

Um all diesen Anforderungen gerecht werden zu können und dabei noch weitere Vorteile des Produkts "Türe" zu generieren, wurde der Einsatz von Schaumkörpern aus Reststoffen als Innenlage angestrebt. Diese Schaumkörperleinlagen erreichen durch die Verwertung von Reststoffen eine rohstoffseitige Ressourcen- und Kostenreduktion und ermöglichen durch den einschaligen Aufbau als Sandwichkonstruktion nach dem Masse-Feder-Masse-Prinzip einen automatisierten Produktionsprozess und damit eine kostengünstigere Produktion des Produkts.

Nicht zuletzt kann mit dieser Neuartigkeit eine einfachere Handhabung und damit verbunden eine kostengünstigere Durchführung der Montage erreicht werden. All diese Vorteile stellen eine Differenzierung gegenüber dem Wettbewerb sicher.



Abb.: Versuchsaufbau für den Querzugversuch

## **Versuchsdurchführung**

Zur Realisierung des Projekts wurden Schaumkörper mit drei unterschiedlichen Rezepturen hergestellt und anschließend unter Zugabe der jeweiligen Klebstoffe zu Platten verpresst. Die Schaumkörper unterschieden sich dabei in ihrer Elastizität sowie in der Oberflächenbeschaffenheit.

Als Klebstoffe wurden Harnstoffformaldehydleim, Kaliwasserglas und Latex eingesetzt. Die Durchführung der Versuche erfolgte anhand von Versuchsplänen, wobei die Verdichtung und die Klebschichtdicke als variable Einflussgrößen gewählt wurden.

Neben der Charakterisierung der Schüttkörper wurden die mechanischen Eigenschaften der Platten getestet. Die Messwerte der Platten hinsichtlich Kerntemperatur, Flächengewicht, Formstabilität, Druck und Querkzug wurden anhand der Versuchspläne statistisch ausgewertet und die Effekte von Verdichtung und Klebschichtdicke berechnet. Dabei konnten durchwegs Einflüsse der Faktoren auf die Eigenschaften der Platten festgestellt werden.

## **Ergebnisse**

Hinsichtlich der Anwendung in „Spezialtüren“ zeigten sich die elastischen Rezepturen sowie die mit Latex verpressten Platten als besonders geeignet, da sie sich durch eine für den Schallschutz erforderliche Elastizität auszeichnen. Deshalb wurden diese Kombinationen zur Herstellung von Mustertüren verwendet und im Zuge dessen auf die Verarbeitbarkeit in der Türenherstellung getestet.

Dabei zeigte sich, dass die Platten hinsichtlich Zuschnitt, Kalibrierung und Verpressbarkeit mit in der Türenindustrie üblichen Maschinen be- und verarbeitbar sind und daher weiterführende Optimierungsmaßnahmen ins Auge zu fassen sind.

Die bisherigen Ergebnisse rechtfertigen eine Fortsetzung der Entwicklungstätigkeit, da die Eigenschaften der Innenlage in Bezug auf Schalldämmung und Brandschutz ermutigend sind.

## 6 Maisgranulat – Bindemittel und Trägermaterial

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Die Maispflanze als wichtige Kulturpflanze ist insbesondere in Ostösterreich weit verbreitet. Neben der Körnerernte besitzt die Maispflanze Elemente, die besondere Strukturen aufweisen und dadurch für eine Nutzung als nachwachsender Rohstoff besonders interessant sind. Die heute als Ernterückstände (Blätter, Stängel und Maisspindeln) am Feld hinterlassenen Reststoffe besitzen ein durchaus beachtliches Volumen: so blieben im Jahr 2000 allein in der Steiermark ca. 500.000 Tonnen ungenutzt am Feld liegen. Diese Mais-Ernterückstände stellen keine wertlosen Abfälle dar, sondern sind eine wertvolle, bisher ungenutzte Quelle zur Herstellung unterschiedlicher Produkte.

#### **Ziele und Inhalte**

Die Maiskolben ergeben bereits durch mechanische Verarbeitung ein qualitativ hochwertiges Produkt: Maiskolbengranulat weist hervorragende adsorptive Eigenschaften auf, die den Einsatz von Produkten aus diesem Rohstoff für eine breite Palette von Anwendungen geeignet erscheinen lassen. Die Verwendung als Ölbindemittel und als Tierhygiene-Material wurde im Projekt „Gewinnung von adsorptiven Produkten aus Maisreststoffen“, untersucht.

Eine weitere Verwertungsmöglichkeit des Maiskolbengranulats ist die Verwendung als Trägersubstanz für bioaktive Stoffe bzw. für Pestizide oder als Langzeitdüngemittel. Besonders die Immobilisierung von Enzymen auf Maiskolbengranulat ist eine interessante und viel versprechende Verwertungsmöglichkeit; mögliche Enzyme sind vor allem Lipasen und DNasen bzw. RNasen. Im Projekt „Maisgranulat zur Immobilisierung von Lipasen“ wurde aus den möglichen Produkten auf der Basis von Maiskolben ein Produktionsverfahren zur Immobilisierung von Lipasen auf Maiskolbengranulat für die Biodieselherstellung erforscht.

#### **Die Projekte im Rahmen der Programmlinie**

Im Rahmen der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ wurden zwei Projekte durchgeführt, die sich mit unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten von Maisreststoffen beschäftigen.

## 1. Adsorptive Produkte aus Maisreststoffen

### Projektleitung:

DI Dr. Christian Krotscheck  
Verein zur Förderung des Steirischen Vulkanlands  
Dörfel 2, A-8330 Feldbach

Tel.: +43 (0)3152 83 80-23

E-Mail: [krotscheck@vulkanland.at](mailto:krotscheck@vulkanland.at)

Endbericht: Nr. 22/2003 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## 2. Maisgranulat zur Immobilisierung von Lipasen

### Projektleitung:

Univ.-Prof. Dr. Martin Mittelbach  
Institut für Chemie, Karl Franzens Universität Graz  
Heinrichstraße 28, A-8010 Graz

Tel.: +43 (0)316 380-5353

E-Mail: [martin.mittelbach@uni-graz.at](mailto:martin.mittelbach@uni-graz.at)

Endbericht: Nr. 38/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## ***INHALT***

### 1. Adsorptive Produkte aus Maisreststoffen

#### Zielsetzung

Das Projekt „Adsorptive Produkte aus Maisreststoffen“ setzte sich das Ziel, ein Verfahren zu entwickeln und zu erproben, um Maiskolbengranulat zur Herstellung von Ölbindemittel und Tierhygienematerial zu nutzen. Dadurch sollte eine Möglichkeit zur Herstellung von naturnahen, nachhaltig einsetzbaren Produkten in einem ökologisch sensitiven Bereich (dem Katastrophenschutz) geschaffen werden.

Darüber hinaus soll durch die Verwertung von agrarischen Reststoffen einerseits die Möglichkeit zur Entwicklung einer dezentralen Prozessindustrie mit hoher Wertschöpfung geboten werden. Dies soll für viele Regionen Österreichs neue wirtschaftliche Chancen eröffnen. Andererseits soll durch die Verwertung von Reststoffen aus der Landwirtschaft den Bauern ein Zusatzeinkommen erschlossen werden.

## Inhalt

### Produktauswahl

Die Auswahl der Produkte wurde nach folgenden Gesichtspunkten durchgeführt:

- rasche technische Durchführbarkeit der Herstellungsverfahren,
- ausreichend große Marktchancen und
- größtmöglicher ökologischer Nutzen der Produkte

Konkret sollte das Maiskolbengranulat für folgende Einsatzbereiche optimiert werden:

- Verwendung als Ölbindemittel auf festem Untergrund im Katastrophen- und Umweltschutz und in der Reinigung von verschmutzten Böden (Werkstätten etc.)
- Verwendung als Ölbindemittel für Gewässer, ebenfalls im Katastrophen- und Umweltschutz
- Verwendung als Tierhygienematerial (Katzenstreu, etc.)

### Prozessentwicklung



Abb.: Vom Maiskolben zum Granulat

Im Rahmen der Prozessentwicklungsphase wurden die vorliegenden Erfahrungen auf dem Gebiet der Herstellung von Maiskolbengranulat technisch ausgewertet und auf die Bedürfnisse der Herstellung der drei Produktklassen hin adaptiert. Schließlich wurde ein technischer Vorschlag für eine Maiskolben-Aufarbeitungsanlage, bestehend aus Aufbereitung, Mahlung und mechanischer Trennung, erarbeitet. Dieser technische Vorschlag wurde in einer Pilotanlage umgesetzt, wobei diese Anlage so flexibel ausgelegt ist, dass Feinjustierungen in den Produktqualitäten

(Korngrößen, Verteilung der Korngrößen, etc.) noch vorgenommen werden können. Gleichzeitig wurden in dieser Phase Laborversuche zur Bestimmung der wichtigsten Produktparameter durchgeführt. Dies inkludierte die Bestimmung der Aufnahmefähigkeit für Öl und andere Schadstoffe als Funktion der Korngrößen und der Feuchtigkeit des Ausgangsstoffes, der optimalen Korngröße für Ölabscheidung in wässrigen Systemen etc.



Abb.: Schwimmversuch Heizöl Extra Leicht und Wasser, Untersuchungen zur Entfärbungswirkung von Färbereiabwässern (vassische Farbstoffe: Bezacryl Blau GRL 300)

Am Ende der Prozessentwicklungsphase wurde die Pilotanlage errichtet und ein detaillierter Versuchsplan für den Betrieb erstellt, um ausreichende Mengen zur Produkterprobung herzustellen.



Abb.: Mühlenpilotanlage im Vollbetrieb

### Produkterprobung

In der Produkterprobungsphase wurden in der Pilotanlage ausreichende Mengen an Produkten erzeugt, um eine detaillierte Prüfung der Produkteigenschaften zu ermöglichen. Dazu wurde mit Produktnutzern zusammengearbeitet, um neben den Tests im Labormaßstab auch ausreichend praktische Erfahrung zu sammeln. Diese Erfahrungen wurden ausgewertet und für die Weiterentwicklung der Produkte verwendet. Neben den Produkteigenschaften in der primären Anwendung umfasste diese Phase auch Untersuchungen zur optimalen Entsorgung der Produkte nach Gebrauch.

Weiters wurde in dieser Phase die Qualitätssicherung für die Produkte untersucht. Dies betrifft einerseits die Sicherung der Wirksamkeit der Produkte in der Anwendung im Bereich des Katastrophen- und Umweltschutzes, andererseits die Konstanz in Wirkung und äußerer Erscheinung für die Produkte im Bereich der Tierhygiene.

Am Ende der Produkterprobungsphase stehen ein Verfahren zur (kombinierten) Herstellung von Ölbindemittel und Tierhygiene-Produkten aus Maiskolben, eine funktionierende Pilotanlage, eine Wirtschaftlichkeitsberechnung des Prozesses für eine 3.000 jato Anlage sowie in der Praxis nachgefragte Produkte zur Verfügung.

### **Ergebnisse**

Im Projekt wurde die außergewöhnliche strukturelle Qualität der Maisspindel in Hinsicht auf Adsorption bestätigt. Auf Grund der ausgezeichneten Saugfähigkeit des Maisspindelgranulats eignen sich sämtliche Produkte als Adsorptionsmaterial für unterschiedlichste Medien (wie Wasser, Öl, Geruchs-/Farbstoffe oder Kationen). Maiskolbenprodukte sind inert, untoxisch und können somit relativ unproblematisch entsorgt werden, abhängig davon mit welchen Stoffen adsorptiv beladen wurde.

Es wurde ein wirtschaftliches Verfahren entwickelt und als Pilotanlage (Durchsatz ca. 40 kg Rohstoffe pro Stunde) aufgebaut, das Maisgranulat für unterschiedliche Anwendungszwecke herstellen kann. Dabei ist die kombinierte Herstellung von Ölbindemittel und Hygienematerial (z.B. für den Einsatz als Kleintierstreu) mittels Schneidmühle und Sichtenanlage als zentrale Prozessschritte am profitabelsten. Bei einer dezentralen Anlage mit 3.000 Jahrestonnen Produktion und guter Auslastung muss der Abgabepreis für Ölbindemittel über 60 Cent und für Hygienematerial über 30 Cent pro Kilogramm liegen (ohne Vertrieb). Im Marktvergleich sind diese Preise erzielbar. Unter praktischen Bedingungen konnte nachgewiesen werden, dass adsorptives Maisgranulat zur

- Verwendung als Ölbindemittel auf festem Untergrund im Katastrophen- und Umweltschutz und in der Reinigung von verschmutzten Böden (Werkstätten etc.) gut geeignet ist (Granulatfraktion 0,3 bis 2 mm, Ölbindemittel Typ III R, Adsorptionsfähigkeit 0,7 bis 0,9 kg Öl pro kg Granulat).
- Verwendung als Ölbindemittel für Gewässer, ebenfalls im Katastrophen- und Umweltschutz, nicht geeignet ist, da mit keinem Hydrophobierverfahren die geforderte Schwimmfähigkeit (vgl. Typ I/II R) erreicht werden konnte.
- Verwendung als Tierhygiene-Material (Katzenstreu, etc.) sehr gut geeignet ist (Granulatfraktion z.B. Kleinnager 2 bis 3,5 mm oder Katzen 3,5 bis 8 mm; Adsorptionsfähigkeit ca. 1,0 bis 1,3 kg Wasser pro kg Granulat).

### **Schlussfolgerungen**

Die Nutzung der Maiserntereste eröffnet auf einigen Ebenen wirtschaftliche Chancen. Für innovative landwirtschaftliche Betriebe bewirkt die Spindelnutzung ein Zusatzeinkommen von + 22 % zur Körnermaisernte. Der ländliche Raum kann durch dezentrale Verarbeitungsbetriebe wirtschaftlich gestärkt werden (Wertschöpfung bei einer 3.000 t/ja Anlage 1,4 Mio. Euro pro Jahr), eine kleinräumige Prozessindustrie entwickeln und die Basis nachhaltiger Technologien zur langfristigen Nutzung vorhandener Rohstoffe legen.

## **2. Maisgranulat zur Immobilisierung von Lipasen**

### **Zielsetzung**

Das Projekt hatte das direkte Ziel, Lipasen als heterogene Biokatalysatoren (d.h. an Trägermaterial fixiert) für die Veresterung und Umesterung von Fettsäuren bzw. Glyceriden einzusetzen. Dies sollte durch Immobilisierung (Fixierung) von verschiedenen Lipasen auf Maiskolbengranulat ermöglicht werden.

Lipasen haben große Bedeutung als Biokatalysatoren in der Fett- und Ölindustrie, hier vor allem für Interesterifikationen, sind aber als einmal verwendbare Katalysatoren für die Herstellung von Bulkprodukten wie z.B. Biodiesel heute noch zu teuer. Hier erweist sich die Immobilisierung als optimale Lösung. Immobilisierte Enzyme können öfters und ohne Probleme oder aufwändige Präparation bei verschiedensten Reaktionen eingesetzt werden. Dadurch scheint es möglich, Lipasen möglichst rentabel auch als Biokatalysatoren für die Biodieselproduktion, insbesondere für die Produktion von Ethylestern und anderer Ester höherer Alkohole, wie z.B. Isopropylester, zu verwenden.

Immobilisierte Lipasen sind zwar schon seit längerer Zeit im Einsatz, aber als Träger dafür wurden bis jetzt meist Polymere wie Polyethylen eingesetzt. Der neue Ansatz, der für dieses

Projekt gewählt wurde, basiert auf der Verwendung eines nachwachsenden Rohstoffs als innovatives Trägermaterial.

Derzeit gibt es für die Produktion von Estern höherer Alkohole nur schlecht funktionierende klassische Methoden, die zusätzlich große Probleme mit Abfallstoffen mit sich bringen. Klassische Methoden verwenden Kalium- oder Natriumhydroxid als Katalysatoren, die im Anschluss neutralisiert werden müssen und so große Mengen an Salzen bilden, die entweder zu entsorgen sind, oder im Falle von Kalilauge als Düngemittel eingesetzt werden.

## **Inhalt**

Ausgehend von einer Literaturrecherche wurden in einem ersten Screening verschiedenste Lipasen in Lösung bzw. Suspension auf ihre Eignung für Ver- und Umesterungsreaktionen geprüft, um mit ausgesuchten Vertretern Immobilisierungsversuche durchzuführen. Nach Überprüfung des Immobilisierungsgrads und der Beständigkeit der Immobilisierung wurden die bereitgestellten immobilisierten Lipasen-Muster für Ver- und Umesterungen eingesetzt, um Aussagen zur Aktivität und Stabilität der immobilisierten Lipasen zu bekommen. Basierend auf den erarbeiteten Ergebnissen wurde eine Bewertung für eine großtechnische Umsetzung erstellt, wobei ökonomische und ökologische Aspekte im Vordergrund standen.

## **Ergebnisse**

Aus 21 käuflich erwerblichen Lipasen wurden drei ausgewählt, mit denen Immobilisierungsversuche an Maiskolbengranulat durchgeführt wurden. Die mit der optimierten Immobilisierungsmethode hergestellten Katalysatoren wurden sowohl im Batch-Betrieb, als auch in einer kontinuierlichen Apparatur in zahlreichen Einzelversuchen für Ver- und Umesterungen eingesetzt. Dabei wurden die Abhängigkeiten von den Reaktionsparametern wie Zeit, Temperatur und Molverhältnissen, sowie die Standzeiten bei wiederholtem Einsatz untersucht. Es zeigte sich, dass die immobilisierten Enzyme sich sehr gut für alle untersuchten Alkohole eignen und hohe Umsatzraten zu erreichen sind, jedoch eine Abtrennung des gebildeten Glycerins notwendig ist.

Die ökologische Bewertung mittels SPI (Sustainable Process Index) zeigte, dass das neue Verfahren signifikante Vorteile gegenüber klassischen Methoden bietet. Mittels Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden Preise bzw. Standzeiten für die immobilisierten Lipasen entwickelt, bei denen eine wirtschaftliche Umsetzung des neu entwickelten Verfahrens möglich ist. Der neu entwickelte Prozess der Biodiesel-Erzeugung unter Nutzung immobilisierter Lipasen auf dem nachwachsenden Rohstoff Maiskolbengranulat zeigt durchwegs gute Chancen, bereits in naher Zukunft auch wirtschaftlich gegenüber herkömmlichen Verfahren konkurrenzfähig zu sein.

## **Schlussfolgerungen**

Im Rahmen des Projekts wurde eine wissenschaftliche Methode entwickelt, die eine mögliche Alternative zur derzeitigen Biodieselherstellung darstellen könnte. Maiskolbengranulat hat sich als Trägermaterial mit ausgezeichneten adsorptiven Eigenschaften erwiesen, Lipasen können beinahe quantitativ darauf immobilisiert werden. Als limitierende Faktoren wurden der Preis und die Lebensdauer der Lipasen erkannt, während sonst keine technischen Hindernisse oder Schwierigkeiten zu erwarten sind.

Ein wichtiger Schritt für eine technische Umsetzung ist die Partnerschaft mit einer Enzymfirma, die an einer gemeinsamen Entwicklung eines billigen Katalysators interessiert ist. In ei-

ner derartigen Kooperation muss an der kostengünstigen Produktion geeigneter Lipasen gearbeitet werden. Wenn eine derartige Kooperation gefunden wird, ist die Umsetzung in einer Demonstrationsanlage der nächste Schritt.

Vorerst können die gewonnenen Erkenntnisse nicht sofort in eine technische Biodieselproduktion umgesetzt werden, da der Preis für die kommerziell erhältlichen Enzyme zu hoch ist. Allerdings kann eine Umsetzung sofort durchgeführt werden, wenn andere Fettsäurealkylester damit hergestellt werden, welche einen höheren Marktpreis erzielen und mit herkömmlichen Verfahren nicht hergestellt werden können. Dazu zählen z.B. Fettsäureester mit höheren oder verzweigten Alkoholen, welche ein besseres Kälteverhalten als Methyl ester zeigen und die z.B. aus Tierfett hergestellt werden könnten.

### **Potential**

Basierend auf der EU-Direktive 32/2003, der zufolge bis zum Jahr 2010 mindestens 5,75 % des Energiebedarfs im Transportsektor aus nachwachsenden Rohstoffen stammen sollen, besteht erhöhter Handlungsbedarf. Insbesondere Biodiesel, als der alternative Kraftstoff mit der größten Akzeptanz, wird in den nächsten Jahren wesentlich dazu beitragen, die EU-Ziele zu erfüllen. Die innovative Technologie der auf Maisgranulat immobilisierten Lipasen leistet einen weiteren Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung, da die Lipasentechnologie dem heutigen Referenzprozess ökologisch überlegen ist.

## 7 Stroh – Dämmstoff und Fasercompound

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Stroh ist ein regional verfügbares Nebenprodukt aus der landwirtschaftlichen Produktion, das bei der derzeitigen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsform in großen Mengen anfällt. Ein Teil des zur Verfügung stehenden Strohs wird in der Landwirtschaft selbst für die Einstreu genutzt oder zur Energiegewinnung verbrannt.

Jährlich werden nicht unbeachtliche Mengen an Reststroh erzeugt, die zurzeit vorwiegend eingeeckert werden. Aufgrund der regionalen Bedingungen insbesondere in den östlichen Teilen Österreichs, wo eine geringe Niederschlagsneigung zu verzeichnen ist, wird das eingeeckerte Stroh bei weitem nicht vollständig zu Humus verarbeitet, sondern bleibt im Boden als Stroh erhalten und trägt so nicht zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit bei.

Stroh könnte aber auch für andere Zwecke eingesetzt werden, denn es ist im Überfluss vorhanden und eine Nutzung dieses Reststoffs bei gleichzeitiger Substitution anderer Ressourcen (fossilen Ursprungs) könnte einen wertvollen Beitrag zur Steigerung der Ressourceneffizienz darstellen.

#### **Ziele und Herausforderungen**

Im Projekt „Stroh kompakt“ wurde die Verarbeitung von Strohkleinballen als Dämmstoff für vorgefertigte Holzrahmenbauteile untersucht. Geprüft wurde, ob und wie der landwirtschaftliche Rohstoff für die Produktion von Außenwänden, Dachelementen und erdberührenden Bauteilen eingesetzt werden kann.

Im Projekt „Grundlagenforschung für die Entwicklung von Produktprototypen aus Naturstoffgebundenen Vliesen“ wurde Stroh als Faserrohstoff eingesetzt. Im Projekt wurden Zwischenwandsysteme und Pressformteile als vielversprechende Einsatzgebiete für natürliche Faserverbundwerkstoffe identifiziert und entsprechende Prototypen entwickelt und getestet.

#### **Die Projekte im Rahmen der Programmlinie**

Im Rahmen der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ wurden zwei Projekte durchgeführt, die sich mit der stofflichen Nutzung von Stroh beschäftigen: Untersuchungsgegenstand war die Dämmung von Gebäuden mit Strohkleinballen einerseits und der Einsatz von Stroh als Faserrohstoff für natürliche Faserverbundstoffe andererseits.

## 1. Stroh kompakt

### Projektleitung:

Mag. Heidi Adensam

### Kontakt:

DI Christian Pladerer  
Österreichisches Ökologie Institut  
Seidengasse 13, A-1070 Wien  
Tel.: +43 (0)1 523 61 05-0  
E-Mail: [pladerer@ecology.at](mailto:pladerer@ecology.at)

Endbericht: Nr. 8/2005 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## 2. Grundlagenforschung für die Entwicklung von Produktprototypen aus Naturstoff-gebundenen Vliesen

### Projektleitung:

Dr. Robert Wimmer  
GrAT – Gruppe Angepasste Technologie  
Wiedner Hauptstraße 8-10, A-1040 Wien  
Tel.: +43 (0)1 58801 49523  
E-Mail: [rw@grat.at](mailto:rw@grat.at)

Endbericht: Nr. 35/2007 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## ***INHALT***

### 1. Stroh kompakt

Stroh zählt zu den traditionellen Baustoffen und findet seit langem sowohl als konstruktives Element (z.B. Wände) als auch als Dämmstoff Verwendung. Ein wesentliches Hemmnis für einen breiten Einsatz von Stroh im Baubereich ist, dass Stroh aufgrund der natürlichen Eigenschaften kein 100% homogener Rohstoff ist und Unsicherheiten hinsichtlich der Setzung der Strohdämmung und der damit verbundenen Verschlechterung der Dämmeigenschaften, des Feuchteverhaltens und der Schimmelbildung bisher nicht restlos ausgeräumt werden konnten. Weiteres Hemmnis ist die fehlende rechtliche Absicherung der Architekten und Fertighaushersteller, die darin begründet liegt, dass bisher für Strohdämmungen keine Zulassung oder Zertifizierung vorliegt.

Im Projektverlauf wurden bereits vorhandene Erfahrungen mit Strohdämmungen recherchiert und die notwendigen Anforderungen für die Entwicklung von Dämmstoffen aus Stroh zusammengestellt. Darauf aufbauend wurden die Bauteile geprüft, einzelne Verfahrensschritte verbessert und Vorarbeiten für die Zulassung der Strohkleinballen, die für eine Marktdurchdringung notwendig sind, getätigt. Der praktische Einsatz der entwickelten Dämmstoffe erfolgte in vier konkreten Pilotgebäuden.

## **Forschungsinhalt**

Inhaltliche Forschungsschwerpunkte des Projekts waren einerseits die Bauteilentwicklung selbst, die darauf abzielte, hochwertige, passiv- und niedrigenergiehaustaugliche Bauelemente zu entwickeln, andererseits die Definition eines regionalen Produktionsnetzwerkes zur Bereitstellung der Strohballen.

## **Ergebnisse**

### *Bauteilprüfungen*

- Der Strohkleinballen-Dämmstoff ist bei fachgerechter Ausführung im untersuchten Wandaufbau sicher vor Schimmelbefall, obwohl Stroh ein vergleichsweise günstiges Nährmedium für das Schimmelpilzwachstum ist. Dementsprechend können auch keine gesundheitsschädlichen MVOC-Emissionen auftreten.
- Das Setzverhalten von Stroh in dem hier definierten Bauteilaufbau liegt bei maximal 2,5 % bzw. 7 cm pro Stockwerkshöhe. Im Vergleich dazu liegen die Grenzwerte für das Setzverhalten loser Dämmstoffe in Wien gemäß Verordnung MA 64-BA 67/2002 bei maximal 20 % Setzung.
- Die Prüfungen zum Brandverhalten wurden bereits bei früheren Arbeiten mit dem Ergebnis B2 durchgeführt. Für eine Europäische-Technische-Zulassung ist die Umschreibung dieses Ergebnisses auf Klasse E erforderlich, diese Umschreibung wurde in diesem Projekt initiiert. Die Prüfung der mit Wasserglas behandelten Ballen zeigt, dass diese Klasse E erreichen.
- Die Prüfungen zur Wärmeleitfähigkeit zeigen, dass der Strohdämmstoff vergleichbare Wärmeschutzeigenschaften wie konventionelle Dämmstoffe aufweist, der  $\lambda_D(23/50)$  liegt bei 0,046 W/mK.

### *Zulassung und Zertifizierung*

Aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Erstprüfungen ist eine Zulassung der Strohkleinballen-Dämmstoffe auf europäischer Ebene möglich. Die Zulassung und Zertifizierung auf europäischer Ebene weist die Brauchbarkeit des Dämmstoffes aus und stellt die Grundlage für eine Verwendbarkeit in Österreich und in anderen EU-Ländern dar. Um den Strohdämmstoff in Österreich wie jeden anderen Baustoff einsetzen zu können, ist jedoch darüber hinaus die Verwendbarkeit für Österreich durch den Eintrag in die Baustoffliste notwendig.

Den Herausforderungen, die der Strohballendämmstoff im Bereich Brand und Schimmelbildung mit sich bringt, kann konstruktiv durch geeignete Bauteilaufbauten begegnet werden. Hier ist weiterer Forschungsbedarf zur Definition der für die Strohdämmung geeigneten Bauteilprototypen und Adaptierungsrichtlinien gegeben.

Ein Aufbringen von Zuschlagstoffen ist nicht notwendig und aus Sicht der Recyclierbarkeit der Bauteile nicht zielführend. Sollten für bestimmte Anwendungen doch Zuschlagstoffe (Flammschutzmittel etc.) eingesetzt werden, so eignet sich Wasserglas für ein relativ einfaches und kostengünstiges Aufbringen direkt am Feld. Forschungsbedarf besteht hier noch hinsichtlich der Auswirkungen des Wasserglases auf den Boden und auf Qualitätseigenschaften des Strohs.

## Pilotphase

Die Strohdämmung mit Strohkleinballen wurde bei vier unterschiedlichen Bauvorhaben - zwei Neubauten und zwei Althausanierungen – eingesetzt:

- In einem Passivhaus-Neubau in Perchtoldsdorf wurde eine Serienwand mit Strohballen für die Außenwände und Dachelemente entwickelt und eingesetzt
- In Thal bei Graz wurden in einem Einfamilienhaus-Neubau die gesamte Fassade und das Flachdach mit Strohballen ausgestattet.
- Beim Anbau in einem bestehenden Einfamilienhaus in Wien Oberlaa wurde die Südostwand als Fertigteilwand mit Strohdämmung realisiert.
- In Nestelbach bei Graz wurden bei der Sanierung eines Hauses der gesamte Dachstuhl und die Fassade des Altbaus mit Strohballen gedämmt.



Abb.: Pilotprojekt Perchtoldsdorf (Quelle: Österreichisches Ökologie-Institut)

Folgende Erfahrungen wurden beim praktischen Einsatz gewonnen:

- Es zeigte sich, dass beim Einsatz der Strohdämmstoffe keine wesentlichen Hindernisse für den breiten Einsatz auftreten. Der Einbau der Strohballen in die Holzriegelkonstruktion ist ohne Mehraufwand im Vergleich zu einem herkömmlichen Dämmstoff einfach machbar.
- Die Verarbeitung ist im Vergleich zu konventionellen Dämmstoffen gleich bis einfacher und angenehmer (keine Hautirritation) für die Zimmerer.
- Der Strohdämmstoff verursacht mehr „Abfall“, der jedoch kompostiert werden kann (sofern keine Zuschlagstoffe aufgebracht werden).
- Abweichungen bei der Länge der Strohballen können im Ausmaß bis zu +/- 10 cm toleriert werden, bei der Breite und Höhe der Strohballen sind Abweichungen bis +/- 1,5 cm tolerierbar.
- Die Manipulation der Strohballen für ein ganzes Haus (ca. 1.400 Ballen im Pilotheus Mitterlaßnitzberg) muss logistisch gut geplant werden. Regenfälle und mangelnde Termintreue seitens des Spediteurs führten zu 1,5 Wochen Lieferverzug.
- Bei einem nachträglichen Einschneiden der Bauteile ist auf einen eventuellen Funkenschlag besonders Bedacht zu nehmen.

## Akteure und Bereitstellungsschritte entlang der Wertschöpfungskette

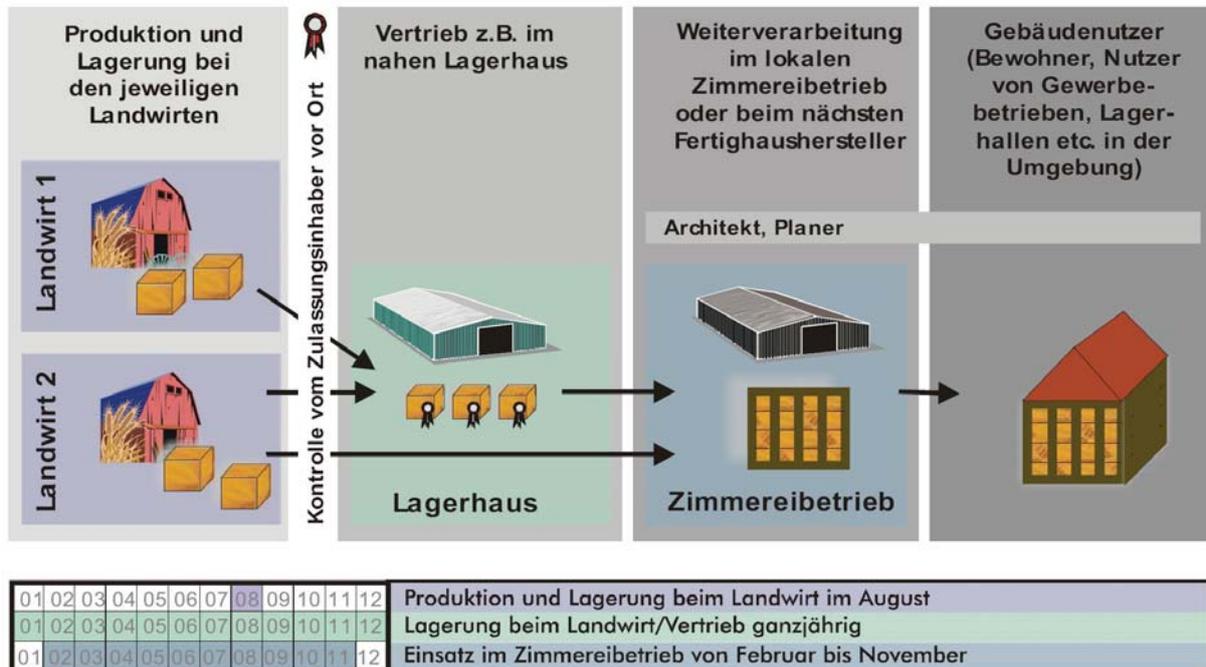


Abb.: Wertschöpfungskette „Strohkleinballendämmstoff“ (Quelle: Österreichisches Ökologie-Institut)

Ein regionales Produktionsnetzwerk für die Bereitstellung der Strohballen und für den Einsatz der Strohballen in vorgefertigte Holzrahmenbauteile ist aufgrund der gewichtigen Transportkosten notwendig. Daher müssen für einen breiten Einsatz der Strohballendämmstoffe mehrere, regional verteilte Zimmereibetriebe und Fertighaushersteller gefunden werden, die vorgefertigte, mit Stroh gedämmte Bauteile produzieren können.

Die wesentlichsten Eigenschaften der Strohballen zur Gewährleistung der Dämmstoffqualität sind die Dichte des Ballens und der Feuchtegehalt des Stroh. Es zeigt sich, dass die gewünschten Eigenschaften der Dämmstoffe, insbesondere die Dichte von 80 und 90 kg/m<sup>3</sup> bereitgestellt werden können, allerdings nicht von jedem Landwirt. Bei der Produktion größerer Mengen von Strohdämmstoffen müssen in der Region Landwirte gefunden werden, die über geeignete Pressen zur Bereitstellung der gewünschten Dichten verfügen bzw. es muss gemeinsam von den Landwirten einer Region eine neue Kleinballenpresse angeschafft werden.

Weiters müssen folgende Vorschriften hinsichtlich Lagerhaltung und Transport eingehalten werden, um die geforderte Maximalfeuchte im Strohballen zu garantieren:

- nicht bodenberührte Lagerung,
- Lagerung unter Dach,
- Ein-, Abladen und Transport bei trockener Witterung.

Für ein funktionierendes regionales Produktionsnetzwerk sind auch zentrale Strukturen notwendig: Als Zulassungsinhaber für den Strohballendämmstoff kann nur ein Zulassungsinhaber auftreten, der die Rechte und Pflichten aus der Zulassung übernimmt. Da der Strohballendämmstoff jedoch dezentral von verschiedenen Herstellern (Landwirten) produziert wird

und nicht jeder Landwirt aus Effizienzgründen eine Zulassung beantragen kann, sind hier Kooperationen gefragt.

### **Schlussfolgerungen**

Die Projektergebnisse zeigen, dass Stroh nicht nur ein kostengünstiger und ökologisch sinnvoller Baustoff ist, sondern auch die wesentlichen Erfordernisse eines Dämmstoffes erfüllt und aufgrund seiner guten Wärmedämmeigenschaften auch im Passivhaus eingesetzt werden kann.

## **2. Entwicklung von Produktprototypen aus Naturstoff-gebundenen Vliesen**

Faserverbundwerkstoffe, wie sie heute als Platten- oder Formteile erhältlich sind, bestehen zu einem nicht unerheblichen Anteil aus synthetischen Rohstoffen. Üblicherweise wird eine synthetische, thermoplastische Stützfaser als Bindemittel verwendet. Eine konsequent nachhaltige Produktion verlangt neben dem Vlieswerkstoff aus Naturfasern auch den Einsatz von Bindemitteln und Klebstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, denn nur so werden die Vorteile, insbesondere die biologische Abbaubarkeit, in vollem Umfang erhalten. Die Entwicklung von natürlichen Bindemittel-Faser-Compounds war Inhalt des vorliegenden Projekts.

### **Ergebnisse**

#### Faserrohstoff

Als Faserrohstoff für die Vliesentwicklung wurden Flachs, Hanf und Strohfasern untersucht. Die wichtigste Rohstoffoptimierung spielte die Aufbereitung der Strohfasern, da mit diesem Rohstoff kaum Erfahrungen für den Einsatz in der Vliesproduktion vorlagen. Es zeigte sich, dass erst durch Zerkleinern mittels Hammermühle eine passende Ausgangsgröße erzielt werden konnte und die Verwendung von Flachsfasern als Vliesbildner notwendig war um die wesentlich schwereren Strohspäne in ein Vlies einzubinden. Hanffasern erwiesen sich aufgrund ihres größeren Querschnittes als weniger gut geeignete Vliesbildner.



Abb.: Strohspäne und Flachsfasern, Faserflor. Quelle: GrAT

#### Bindemittel

Neben den Faserrohstoffen wurden geeignete Bindemittel gesucht, um dem Vlies die gewünschten Festigkeitseigenschaften zu verleihen. Das untersuchte und eingesetzte Bindemittelspektrum reichte von faser- und pulverförmigen Biopolymeren (insbesondere die Biokunststoffe PLA und PHB) bis zu verschiedenen Bindemitteln auf Stärkebasis. Diese Bindemittel ersetzen die thermoplastische Stützfaser fossilen Ursprungs, die heute als Stand der Technik zum Einsatz kommt.

## Verfahrensentwicklung

Mit den ausgewählten Bindemitteln und Fasern wurden im Labormaßstab Versuche durchgeführt und verschiedene Techniken zum Einbringen des Bindemittels in die Faserstruktur getestet.

Mittels des Vlieslegeverfahrens und unter Einsatz von PLA-Fasern (Polylactid: Fasern aus pflanzlichem Polyester) wurden die besten Ergebnisse hinsichtlich Festigkeit bei geringem spezifischem Gewicht erzielt.

Der Vorteil besteht darin, dass Vliese geringer und hoher Rohdichten gleichermaßen hergestellt werden können, die als Ausgangsprodukt sowohl für Zwischenwandelemente als auch für Verpackungsformteile geeignet sind. Es konnten auch erste Muster erstellt werden, die eine ähnliche Dichte und Festigkeit wie jene von Spanplatten aufwiesen.

Im Mischverfahren verarbeitete Strohspäne und stärkebasierte Bindemittel ergaben nach ihrer Verpressung sehr leichte und formstabile Platten. Die Grenzen des Verfahrens zeigten sich bei steigenden Plattendicken bzw. größeren Abmessungen.

Da die besten Ergebnisse beim Vlieslegeverfahren mit der PLA-Faser als Bindemittel erzielt wurden, erfolgte die Prototypenentwicklung mit diesem Material.

## Produktprototypen

Als vielversprechende Einsatzgebiete für einen derartigen Werkstoff wurden Zwischenwandsysteme und Pressformteile (z.B. für Verpackungen) identifiziert. Für diese Anwendungsbereiche wurden Prototypen entwickelt und getestet.

### Zwischenwände:

Aus den Naturfaservliesen wurden unter Einsatz diskontinuierlicher Pressen Platten mit unterschiedlicher Dichte hergestellt. Damit wurde ein mehrschichtiger Aufbau der Zwischenwände realisiert, um die Anforderungen des geringen Transportgewichts und der mechanischen Festigkeit zu erfüllen. Ein Beplanken auf der Baustelle erübrigt sich, da die Wand aus einem Element besteht.

Darüber hinaus konnten verschiedene Oberflächenbehandlungen demonstriert werden, wodurch der Einbau ohne nachträgliche Arbeiten auf der Baustelle durchgeführt werden kann. Den Anforderungen an die Schalldämmung wurde durch einen „quasi-mehrschaligen“ Aufbau entsprochen, der dadurch erreicht wurde, dass die äußeren Schichten des Faser-Compounds härter und dichter ausgeführt sind als der relativ weiche Kern.

Für eine Behandlung mit Putzen sind biegesteife Vliese und geschlossene Oberflächen, die durch entsprechende Verdichtung und Temperatur in der Heizpresse erzielt werden können, Voraussetzung. Neben diesen Verfahren bieten sich auch Kaschierungen des Materials an, die während des Pressvorganges ohne zusätzliche Bindemittel aufgebracht werden können, wodurch sich eine Vielzahl an Gestaltungsmöglichkeiten ergibt. Die Anforderungen hinsichtlich Brandschutz und Schallschutz konnten erfüllt werden.



Abb.: Zwischenwand im S-HOUSE. Quelle: GrAT

#### Verpackungsformteile:

Verpackungsformteile sind mit dem Vlies zwar herstellbar, aber als Startprodukt aufgrund der geringen Wertschöpfung nicht optimal. Jedoch können mit der gleichen Technologie weitaus höherwertige Anwendungen realisiert werden, wie die praktischen Versuche und Überprüfungen gezeigt haben. Für höherwertige Formteile spricht neben der erzielbaren Wertschöpfung auch der mögliche Imagegewinn.

Lässt man den zweiten, aufwändigeren Produktionsschritt (Formpressen) beiseite, so ergeben sich dafür konkurrenzfähige Einsatzbereiche für Verpackungen. Das Faservlies eignet sich hervorragend als schützende und gleichzeitig dekorative Verpackung und hat auch aufgrund der einfachen Verarbeitung realistische Chancen, sich am Markt durchzusetzen. Hier kommen die stoßdämpfenden Eigenschaften zur Geltung, die für Verpackungen von zerbrechlichen Gütern wichtig sind.



Abb.: Modelle aus den Kategorien Falt-Schachtel, Carry & Protect, Formteile. Quelle: GrAT

## **Schlussfolgerungen**

Im Projekt wurde ein naturfaserverstärkter Verbundwerkstoff entwickelt, der ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen und biologisch abbaubaren Kunststoffen besteht. Der Naturfaser-Compound setzt sich aus Flachsfasern und Strohspänen zusammen, als Matrix wird anstelle von Polypropylen Polylactid, ein biologisch abbaubarer Kunststoff, eingesetzt.

Das entwickelte Material eignet sich sowohl für kontinuierliche als auch für diskontinuierliche Pressverfahren. Weiters kann sowohl das Form- als auch das Fließpressverfahren angewendet werden.

## 8 Zellulosefaser RAINBOW

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Die weltweit mit Abstand am häufigsten verwendete Fasermischung in der Textilindustrie ist die Mischung aus Polyester und Zellulosefasern. Diese Textilien sind auf Grund ihrer hervorragenden Trage- und Pflegeeigenschaften weit verbreitet und werden auch in Zukunft zu den wichtigsten Fasermischungen zählen. Pro Jahr werden mehr als 500.000 t Viskosefasern mit Polyester verarbeitet. Traditionell werden diese Polyester/Zellulose-Mischungen in einem kosten- und ressourcenaufwändigen Zweibadverfahren gefärbt. In diesem zweistufigen Prozess wird zunächst die Polyesterkomponente gefärbt, bevor anschließend der Zelluloseanteil unter völlig anderen Prozessbedingungen gefärbt wird.

#### **Ziele und Herausforderungen**

Im Projekt „Textile Fasermodifikation: Physikalisch-chemische Charakterisierung funktionaler Viskosefasern zur Entwicklung eines umweltschonenden Verarbeitungsprozesses“ sollte eine neue und vielfach einsetzbare Faser auf Zellulosebasis („Rainbow“) entwickelt werden. In der Grundlagenstudie wurden Untersuchungen zur Anwendbarkeit dieser Fasern durchgeführt, sowie erste grundlegende Erkenntnisse zu dieser neuen, funktionalen Zellulosefaser gewonnen.

Im Folgeprojekt „Rainbow 2“ sollten die grundlegenden Erkenntnisse weiter ausgebaut, und auf einen halbtechnischen Maßstab übertragen sowie eine Studie zur Kreislaufschließung bei der Weiterverarbeitung erstellt werden.

#### **Die Projekte im Rahmen der Programmlinie**

Im Rahmen der Programmlinie "Fabrik der Zukunft" wurden zwei Projekte durchgeführt. Im Projekt „Textile Fasermodifikation: Physikalisch-chemische Charakterisierung funktionaler Viskosefasern zur Entwicklung eines umweltschonenden Verarbeitungsprozesses“ wurde die Rainbow-Faser entwickelt, im Folgeprojekt „Rainbow 2“ standen die Weiterentwicklung und vertiefende Charakterisierung der Zellulosefaser und die Übertragung auf einen halbtechnischen Maßstab im Mittelpunkt.

## **1. Textile Fasermodifikation: Physikalisch-chemische Charakterisierung funktionaler Viskosefasern zur Entwicklung eines umweltschonenden Verarbeitungsprozesses**

### **Projektleitung:**

Univ. Prof. Dr. Volker Ribitsch  
JOANNEUM RESEARCH  
Steyrergasse 17, A-8010 Graz

Tel.: +43 (0)316 876-1225

E-Mail: [volker.ribitsch@joanneum.at](mailto:volker.ribitsch@joanneum.at)

Endbericht: Nr. 21/2002 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at).

## **2. Rainbow 2**

### **Projektleitung:**

Univ. Prof. Dr. Volker Ribitsch  
JOANNEUM RESEARCH  
Steyrergasse 17, A-8010 Graz

Tel.: +43 (0)316 876-1225

E-Mail: [volker.ribitsch@joanneum.at](mailto:volker.ribitsch@joanneum.at)

Endbericht: Nr. 89/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## ***INHALT***

### **1. Grundlagenstudie: Entwicklung von Rainbow**

Die weltweit mit Abstand am häufigsten verwendete Fasermischung in der Textilindustrie ist die Mischung aus Polyester und Zellulosefasern. Die Kombination von Fasern auf der Basis nachwachsender Rohstoffe (Zellulose) mit synthetischen Fasern oder Wolle ist notwendig, um die erwünschten textilen Gebrauchseigenschaften zu erhalten. Die sehr erwünschte Einbindung von Fasern aus nachwachsendem Material bedingt jedoch zur Zeit einen technologischen Färbeprozess, der aus der Sicht einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Entwicklung höchst unerwünscht ist: Die Färbeprozesse dieser Fasermischungen müssen getrennt erfolgen, was einen sehr hohen Mehrverbrauch an Energie, Wasser und Prozesschemikalien mit sich bringt.

Ziel des Projekts war die Entwicklung neuer Fasermaterialien für Textilien auf Zellulosebasis, die den Prinzipien der Nachhaltigkeit in mehrfacher Weise entsprechen:

- vermehrte Nutzung nachwachsender Rohstoffe im industriellen Maßstab
- enormes Einsparungspotential im Färbeprozess: Färbung der neuen Cellulosefasern gemeinsam mit anderen Fasermaterialien (Polyester, Polyamid, Wolle) um den zweistufigen Färbeprozess mit hohem Energie-, Wasser- und Chemikalieneinsatz auf einen einstufigen zu reduzieren

- „Raffinerie des Holzes“: stoffliche und energetische Mehrfachnutzung des nachwachsenden Rohstoffs Buchenholz
- Minimierung des Schadstoffausstoßes durch umweltfreundliches Produktionsverfahren
- Schaffung von Voraussetzungen für langfristige Standort- und Arbeitsplatzsicherheit bei der Faserherstellung in Österreich

In der Grundlagenstudie wurden Untersuchungen zur Anwendbarkeit solcher Fasern durchgeführt und erste grundlegende Erkenntnisse zur Herstellung und zum Färbeverhalten dieser neuen, funktionalen Zellulosefaser gewonnen.

## Ergebnis

Im Projekt konnte die Zellulosefaser Rainbow entwickelt werden. Die Faser unterscheidet sich von konventioneller Viskose nur durch die Färbereigenschaften, während die physikalischen Eigenschaften wie Festigkeit, Dehnung, Wasseraufnahmefähigkeit, etc. absolut ident sind. Allerdings ist die Färbung von Polyester/Rainbow-Mischungen in einem einstufigen Färbeprozess möglich.

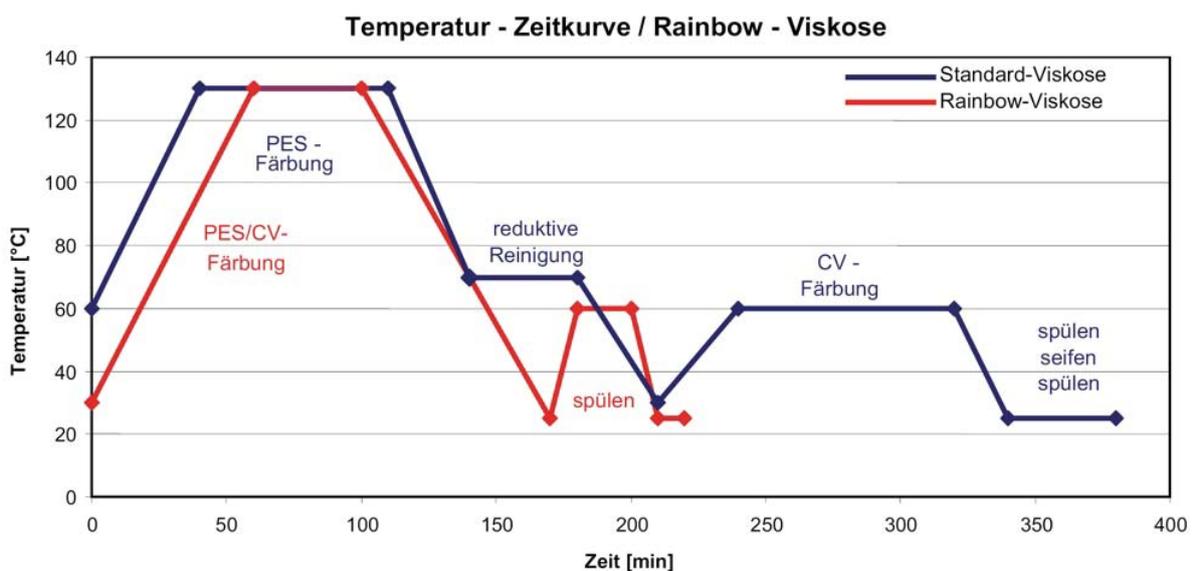


Abb.: Temperaturverlauf der Färbung von Viskose/Polyester-Mischungen

Aufgrund der verbesserten Färbereigenschaften kann Rainbow unter Polyesterfärbebedingungen bei 130° C mit Direkt- und Metallkomplexfarbstoffen ohne Zugabe von Salz umweltschonend gefärbt werden, wobei die gleichen Echtheiten wie bei der traditionellen, kostenintensiveren Reaktivfärbung erreicht werden.

## 2. Übertragung auf halbertechnischen Maßstab: Rainbow 2

Im Folgeprojekt wurde die Zellulosefaser Rainbow vertiefend untersucht, um die Erkenntnisse auf ein halbertechnisches Maß sowie auf verschiedene Faserherstellungsverfahren zu übertragen. Basierend auf dem in der Grundlagenstudie erarbeiteten Know-how sollten Prozesse entwickelt werden, die das einbadige Färben von wirtschaftlich bedeutenden Mischfasern ermöglichen. Darunter fiel insbesondere die Mischung von Rainbow-Polyester. Die Anwen-

dung sollte sich aber nicht nur auf diese Faserkombination beschränken, sondern auch auf Mischungen von Rainbow-Viskose und Wolle angewendet werden.

Die Erstellung einer Studie zur Kreislaufschließung bei der Weiterverarbeitung der Rainbow-Faser war eine weitere Zielsetzung.

### **Grenzflächen- und Wechselwirkungseigenschaften**

Um aber den Einsatz der Rainbow-Faser in industriellen Prozessen möglich zu machen, müssen gewisse Voraussetzungen bezüglich Handhabbarkeit der Faser erfüllt sein. Aus diesem Grund war es notwendig, die grundlegenden Eigenschaften und das Verhalten der Faser in diesen Prozessen zu verstehen und zu optimieren. Nur durch eine zuverlässige Steuerung des Färbe- und Ausrüstprozesses kann das mögliche Einsparungspotential auch im technischen Maßstab ausgeschöpft werden.

Deshalb wurden die Grenzflächen- und Wechselwirkungseigenschaften der verschiedenen Fasern eingehend untersucht. Da all diese Veredelungsprozesse in wässrigen Medien stattfinden, ist es notwendig, die Wechselwirkungen der Faser an ihrer fest/flüssig-Grenzfläche zu studieren. Diese Berührungsfläche stellt den primären Ort der Wechselwirkung aller Substanzen (Farbstoffe, Tenside) dar. Die Schnittstelle wurde daher an mehreren verschiedenen Fasertypen hinsichtlich ihrer chemischen und physikalischen Parameter und ihrer Wechselwirkungskinetik untersucht. Das geschah mittels verschiedener, bevorzugt jedoch elektrokinetischer Methoden.

#### Einsatz von Tensiden

Eine Möglichkeit, die Farbstoffaufnahme der Woll- und Rainbow-Fasern zu beeinflussen, ist der gelenkte Einsatz von Tensiden in der Färbeflotte. Diese können je nach Ladung und Struktur unterschiedliche Wirkungen entfalten. Es können sich entweder Wechselwirkungen mit der Faseroberfläche oder mit dem Farbstoff ausbilden. Um grundlegende Erkenntnisse zur Wechselwirkung oberflächenaktiver Substanzen mit den Fasern gewinnen zu können, müssen Struktur, Zusammensetzung und Konzentration der eingesetzten Tenside aber genau bekannt sein. Dies trifft auf technische Tensidmischungen nicht zu. Aus diesem Grund wurden die Adsorptionsmessungen an Rainbow-Viskose und Standard-Viskose zusätzlich mit fünf gut definierten Tensidmodellsubstanzen durchgeführt.

Um möglichst prozessnahe Parameter zu erhalten und die technologischen Aspekte beurteilen zu können, wurden zur Untersuchung verschiedene, kommerziell erhältliche Tensidzubereitungen herangezogen. Die Verwendung von kommerziell erhältlichen Tensidzubereitungen ermöglicht jedoch lediglich die Ermittlung von Parametern für den technischen Prozess. Die zugrunde liegenden Mechanismen kann erst der Einsatz von Tensidmodellsubstanzen erklären.

#### Wechselwirkung mit Chitosan

Zusätzlich zur Adsorption von Tensidmodellsubstanzen wurde auch die Wechselwirkung der gefärbten Rainbow-Viskose mit Chitosan untersucht. Mit der Adsorption dieses Polysaccharids sollte eine Verbesserung der Lichtechtheit bei der Färbung erzielt werden. Die Adsorption sowohl des Chitosans als auch des mit Sulfonsäuregruppen modifizierten Chitosans veränderten die Oberflächenladung der Faser stark. Das Potential wurde über weite pH-Bereiche positiv. Eine Verbesserung der Lichtechtheiten konnte unter den gewählten Versuchsbedingungen allerdings nicht nachgewiesen werden.

## Steuerung des Färbeprozesses

Die Steuerung von textilen Färbeprozessen kann im Wesentlichen durch Variation von vier Parametern erfolgen: Ionenstärke und damit Salzgehalt der Flotte, pH-Wert der Flotte, Färbetemperatur und Einsatz von Hilfsmitteln wie Tensiden.

Zur Optimierung des Färbeverhaltens von Mischungen aus Rainbow-Viskose und Wolle wurden alle vier Parameter variiert. Durch Veränderung der Ionenstärke konnte gezeigt werden, dass sowohl die Färbung von Wolle als auch von Rainbow-Viskose mit einem 1:2 Metallkomplexfarbstoff nicht von der Salzkonzentration abhängig ist. Das ermöglicht die Reduktion des zusätzlich zugesetzten  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  um 100 %, was einer Gesamtsalzreduktion von 70 % entspricht.

Zur Steuerung und Optimierung der Färbung konnten nun der pH-Wert und die Temperatur herangezogen werden. Es zeigte sich, dass Färbungen von Rainbow-Viskose kaum pH-abhängig sind, hingegen die Färbung der Wolle sehr stark. Das ließ sich mit den sich verändernden Oberflächenpotentialen beschreiben und zog eine akkurate Steuerung des Färbeprozesses mit sich.

Eine möglichst gleichmäßige Färbung von Rainbow-Viskose/Wolle-Mischungen ließ sich durch Feineinstellung im Färbeprozess erreichen. Im Mittelpunkt stand hier der Zusatz von Tensiden. Vor allem durch den Einsatz geringer Mengen an nichtionischen Tensiden konnte die Färbung der Rainbow-Faser beeinflusst werden. Der Prozess konnte auf diesem Weg an die Ausziehkurve der Wolle angeglichen werden.

Die Hochtemperaturfärbungen von Rainbow-Viskose und Standard-Viskose wurden ebenfalls unter Variation aller Färbeparameter durchgeführt. Allerdings lag das Ziel dieser Färbungen im Erreichen einer selektiven Blockierung der Anfärbung von Standard-Viskose in Gemischen mit Rainbow-Viskose.



Abb.: Stoffmuster der Rainbow-Viskosefaser. Quelle: Petra Blauensteiner, ÖGUT

## Steuerung des Färbeprozesses

Um ein noch tieferes Verständnis der Vorgänge bei Färbungen von Fasern zu erlangen und Färbungen besser und einfacher optimieren zu können, wurde ein neues mathematisches Modell der Farbstoffaufnahme von Fasern entwickelt. Das Modell trennt die Farbstoffaufnahme der Oberfläche von der Farbstoffaufnahme des Faserinneren und ordnet jedem Prozess eigene Geschwindigkeitskonstanten zu. Das Modell lässt eine ausgezeichnete Beschreibung der Färbung von Rainbow-Viskose unter verschiedenen Bedingungen zu. Vor allem die wesentlich genauere Interpretation der pH-abhängigen Färbungen zeigt die großen Vorteile der neuen Simulation. Dieses Modell könnte problemlos erweitert werden, sodass

auch spezielle Oberflächeneigenschaften von Fasern mit in die Berechnung einfließen könnten.

### **Übertragung auf Modalfaser**

Ein weiteres Ziel des Projekts war die Umsetzung der Kationisierungstechnologie von Rainbow-Viskose auf Modalfaser. Die meisten Produktionsparameter der Modalfaser - wie z.B. der Polymerisationsgrad des Ausgangsmaterials - benötigen Alkali- und Schwefelkohlenstoff-Mengen. Viskosität der Spinnlösung, Spinnparameter und Zusammensetzung des Spinnbades haben aber deutliche Unterschiede zu Viskose gezeigt. Das führte zu der Erkenntnis, dass nur große Prozessmodifikationen eine Übertragung der Technologie auf Modalfaser möglich machen könnten. Die Fa. Lenzing AG hat in diesem Zusammenhang umfangreiche Tests mit unterschiedlichen Ausgangsparametern der Produktionsbedingungen durchgeführt. Im Rahmen der Versuche konnte belegt werden, dass die Herstellung kationisierter Rainbow-Modal-Fasern im Prinzip möglich ist. Für eine reibungslose, großtechnische Produktion wären allerdings umfangreiche technische Umrüstungen notwendig. Aus ökonomischen Gründen ist dieser finanziell sehr aufwändige Schritt in naher Zukunft nicht angedacht.

Neben den bedeutenden Einsparungen von Wasser, Abwasser und Energie wurde aufgrund des fast vollständigen Badauszugs die Abwasserfärbigkeit deutlich reduziert. Neue Abwasseraufbereitungstechnologien, wie sie in diesem Projekt evaluiert wurden, könnten einen zusätzlichen Beitrag leisten, um Prozesswasserkreisläufe zu schließen.

### **Kreislaufschließung**

Um eine ressourcenschonende Weiterverarbeitung der Rainbow-Faser zu gewährleisten, wurden im Projekt auch neue Abwasseraufbereitungstechnologien evaluiert, die das Schließen von Prozesswasserkreisläufen ermöglichen könnten. Die vielversprechendste Technologie in diesem Bereich stellen Membranprozesse dar. Sie ermöglichen das Abtrennen der großen Salzfrachten der Abwässer und die Rückführung des Wassers. Verschiedenste Methoden der Ultra- bis Nano-Filtration stehen dafür zur Verfügung. Zur Reduktion des organischen Anteils im Abwasser bietet sich der Einsatz photokatalytischer Prozesse in Kombination mit Sorption an. Eine Zusammenführung dieser neuen Methoden in der Färberei sollte eine zusätzliche Reduktion des Frischwasserbedarfs um bis zu 40 % erzielen.

### **Projektergebnisse**

Die neuartige Technologie ermöglicht eine wesentlich ressourcenschonendere Färbung von textilen Mischgeweben. Bei einer großtechnischen Herstellung kann mit Einsparungen von 95 % Salz, 60 % Wasser, 45 % Energie und 30 % Farbstoff gerechnet werden. Bezogen auf die mitteleuropäische Jahresproduktion von Viskose bedeutet das eine mögliche Einsparung von 11.400 t Salz, 750.000 m<sup>3</sup> Wasser, 180.000 GJ Energie und 50 t Farbstoff. Durch den Einsatz von modernen Abwasseraufbereitungstechniken ließen sich zusätzlich etwa 30 % des Frischwasserbedarfs einsparen. Dem Ziel einer „zero-waste“ Produktion könnte damit maßgeblich näher gekommen werden.

Überdies ergibt sich für den Färber eine signifikante Zeitersparnis, die zu einer erheblichen Steigerung der Produktivität führen kann.

## **Ausblick**

Mit „Rainbow 2“ konnte das große Potential an Möglichkeiten aufgezeigt werden, nachhaltige Neuerungen auf dem Gebiet der textilen Produktion und Verarbeitung einzuführen und zu nutzen. Im Rahmen des Projekts wurden Grundlagenerkenntnisse für einen Schritt in die Zukunft der europäischen Textilbranche erarbeitet. Sie beweisen, dass sich ökologische Grundsätze und Wirtschaftlichkeit nicht ausschließen. Nur durch eine feste Verankerung und Intensivierung von Forschung und Entwicklung in Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen kann die europäische Textilindustrie langfristig im weltweiten Wettbewerb bestehen.

## 9 Duftstoff statt Nervengift

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Zum Schutz der Kulturpflanzen vor Schädlingen werden unterschiedliche Pflanzenschutzmittel eingesetzt. Diese sind zum Teil hochgiftig und gelangen nicht nur in das Ökosystem, sondern auch bei der Nahrungsaufnahme in tierische und menschliche Organismen.

Um den Einsatz der giftigen Pflanzenschutzmittel zu reduzieren und somit zu einem Schutz von Mensch und Umwelt beizutragen, wurden in den letzten Jahren verstärkt Anstrengungen unternommen, alternative Methoden der Schädlingsbekämpfung zu entwickeln. Eine dieser Methoden ist die „Konfusionstechnik“, die eine Paarung der schädlichen Organismen durch den gezielten Einsatz von Pheromonen verhindert.

Pheromone sind Botenstoffen, die der biochemischen Kommunikation zwischen Lebewesen einer Spezies dienen. Als Sexuallockstoff wird das Pheromon durch eine Drüse des weiblichen Käfers abgesondert und dient den Männchen zur Orientierung.

Bei der Konfusionstechnik wird der Pheromon-Duftstoff mit einer relativ hohen Konzentration flächig auf die vom Schädling befallene Fläche aufgebracht. Die Männchen der zu bekämpfenden Insektenpopulation verlieren so die Orientierung und werden an der Kopulation gehindert. Herkömmliche Pheromondispenser aus Gummi haben den Nachteil, dass sie nach ihrer Verwendung wieder eingesammelt werden müssen.

Das vorliegende Projekt untersuchte die Eignung flüssiger und granulärer, biologisch abbaubarer Trägermaterialien für das Pheromon des Westlichen Maiswurzelbohrers (*Diabrotica virgifera virgifera*) für die Anwendung in Monitoring und Bekämpfung.



Abb.: Ei und Larve des Maiswurzelbohrers; erwachsener Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*). Quellen: Dukat/AGES, Kahrer/AGES, Kahrer/AGES

#### **Ziele**

Das Projekt hatte zum Ziel, neue, biologisch abbaubare bzw. umweltneutrale Trägermatrizes für Pheromone auf der Basis nachwachsender Rohstoffe zu entwickeln. Ein weiteres Ziel war die Entwicklung und Verbesserung der Methoden zur Beobachtung und Bekämpfung von *Diabrotica virgifera virgifera* in Europa auf Basis dieser neuen Träger.

## Projektdaten

### Duftöl statt Nervengift

#### Projektleitung:

Dr. W. Harand  
Calantis Infochemicals GmbH

#### Kontakt:

Eric Schneider  
Calantis Infochemicals GmbH  
Linzer Straße 410, A-1140 Wien  
Tel.: +43 (1) 41 933 71  
E-Mail: [eric.schneider@calantis.com](mailto:eric.schneider@calantis.com)

Endbericht: Nr. 27/2008 aus der Schriftenreihe „Berichte aus Energie- und Umweltforschung“ des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## INHALT

### Der „Westliche Maiswurzelbohrer“ als Maisschädling

Der „Westliche Maiswurzelbohrer“ (*Diabrotica virgifera virgifera*) gehört in den USA gemeinsam mit dem Nördlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica barberi*) zu den bedeutendsten Maisschädlingen, die jährlich Schäden und Pflanzenschutz aufwendungen in Höhe von 1 Milliarde US-Dollar verursachen. Der Westliche Maiswurzelbohrer wurde 1992 nach Europa (Jugoslawien) eingeschleppt und breitet sich zunehmend aus (Kroatien, Ungarn, Rumänien, Bosnien-Herzegowina, Bulgarien). Aufgrund seines großen Schadpotentials für Mais wurde *Diabrotica virgifera virgifera* als Quarantäneschadorganismus von der EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organisation) in die A2-Liste<sup>1</sup> und von Seiten der EU in die Richtlinie 77/93/EWG<sup>2</sup> aufgenommen.

In Österreich hat der Käfer bereits etwa 80.000 Hektar (ca. 1% der Staatsfläche bzw. ca. 1/3 der Maisanbaufläche) befallen, so zum Beispiel die gesamte burgenländische Maisanbaufläche. Auf jenen 30% der Österreichischen Maisanbaufläche, wo keine Fruchtwechselwirtschaft betrieben wird, ist mit einer massiven Bedrohung durch den Schädling zu rechnen. Das bedeutet, dass auf etwa 80.000 ha Landesfläche eine starke Zunahme des Einsatzes schwerer Insektizide zu erwarten ist.

Die Anwendung von Pheromonen zur Kontrolle von Schadinsekten ist eine nachhaltige Form des Pflanzenschutzes, deren breite Anwendung durch hohe Kosten und großen Arbeitsaufwand vereitelt wird. Sie wird gegenwärtig nur in Kulturen mit sehr hoher Wertschöpfung (Weinbau) mit Erfolg eingesetzt.

---

<sup>1</sup> In der A2-Liste der EPPO sind Schadorganismen aufgeführt, die neu in der EU auftreten, d.h. aus anderen Regionen der Erde eingeschleppt wurden. Die Bekämpfung dieser Organismen unterliegt amtlichen Regelungen und Kontrollen der EU.

<sup>2</sup> Die Richtlinie 77/93/EWG des Rates vom 21. Dezember 1976 legt „Maßnahmen zum Schutz gegen das Verbringen von Schadorganismen der Pflanzen oder Pflanzenerzeugnisse in den Mitgliedsstaaten“ fest.

## Hintergrund

Der Maisschädling *Diabrotica virgifera virgifera* dient in diesem Projekt als Modellorganismus, um die schädlingsbekämpfende Methode der Konfusionstechnik so zu verbessern, dass sie breite Anwendung finden kann und eine einfache maschinelle Verarbeitung bei Herstellung und Ausbringung möglich ist.

Für die Funktionalität der Methode ist essentiell, dass der flüchtige Wirkstoff möglichst konstant über einen Zeitraum von mehreren Monaten freigesetzt wird. Normalerweise nimmt die Abgabe/Freisetzung von flüchtigen Substanzen mit der Zeit exponentiell ab. Beispielsweise verlieren herkömmliche Pheromondispenser, wie sie für Monitoringzwecke eingesetzt werden, innerhalb von 3 - 5 Tagen ihre Wirksamkeit. Neueste Studien legen nahe, dass sprühbare Pheromon-Formulierungen auf Basis natürlicher, biologisch abbaubarer Träger, ausreichend lange wirksam sind und zudem mit einer geringeren Menge Pheromon pro Hektar auskommen. Aufgrund der flüssigen Formulierung sind sie in der Herstellung kostengünstiger und in der Anwendung einfacher.

Die erste Herausforderung des Projektes bestand darin, unter Einbeziehung bereits vorhandener eigener und publizierter Erfahrungen, eine Formulierung für Pheromone zu finden, die den exponentiellen Verlauf der Wirkstoffabgabe so verändert, dass die Wirkung erst nach mehreren Monaten verloren geht. Um dem Prinzip der Nachhaltigkeit zu genügen, muss diese Formulierung darüber hinaus aus biogenen und natürlich abbaubaren Komponenten bestehen.

## Bereitstellung der *Diabrotica virgifera* für die Versuchsreihe

Für die Bestätigung der Funktionalität der Konfusionstechnik beim Maiswurzelbohrer ist die Adaptierung bestehender Methoden für diesen Schädling erforderlich. Primär musste eine geeignete Standardsituation im Labor geschaffen werden, welche Vergleiche zwischen verschiedenen Behandlungsmethoden ermöglicht. Folgende Voraussetzungen sind hierfür notwendig:

- Ausreichende Verfügbarkeit unbefruchteter Schädlinge im Labor
- Setup einer Negativ-Kontrolle, in dem unter Laborbedingungen eine funktionierende Reproduktion stattfindet und auch beobachtet werden kann
- Setup einer Positiv-Kontrolle, unter der die Reproduktion erfolgreich unterbunden wird

## Trägermatrizes für das Pheromon

Vorversuche an Trägermaterialien für die Pheromone hatten gezeigt, dass 2-Komponenten-Systeme eine wesentlich bessere Kontrolle bestimmter physikalischer Eigenschaften ermöglichen als die derzeit eingesetzten 1-Komponenten-Systeme. Ein solches 2-Komponenten-System besteht zum Beispiel aus einem Trägermaterial und einer festen Membran oder aus einem Granulat, eingebettet in eine flüssige Matrix. Durch eine optimale Kombination dieser Komponenten soll eine möglichst konstante Abgaberate des Lockstoffs über einen längeren Zeitraum gewährleistet werden. Außerdem soll die Temperatur- und UV-Sensibilität so weit wie möglich reduziert werden, um volle Funktionstüchtigkeit unter Freilandbedingungen zu gewährleisten.

So wurden eingangs unterschiedliche Materialien auf ihre rückhaltende Wirkung der pheromonähnlichen Substanz Ethyldecanoat untersucht. Dabei wurde insbesondere auf zwei Kennzahlen geachtet: Auf die Wirkstoffabgabe in der dritten Woche, die über die Haltbarkeit der Dispenser eine Aussage liefert, sowie auf den Quotienten aus dem Mittelwert der ersten und der dritten Woche, der eine Aussage über den Rückgang der Wirkstoffabgabe ermöglicht. Als Trägermaterial wurden Kieselgel, Filter, Baumwolle, Paraffinwachs, Paraffinöl und Maiskeimöl verwendet. Die höchste Abgaberate in der dritten Woche wurde mit Dispensern aus Paraffinwachs erzielt.

Trägermaterial	Quotient W1/ W3	Wochen-Mittelwert ( $\mu\text{g}/\text{h Dispenser}$ )		
		1	2	3
- Kontrolle	N/A	3.5	1.3	0.0
+ Kontrolle	N/A	0.3	0.0	0.0
Kieselgel	N/A	0.3	0.0	0.0
Baumwolle	4.6	2.3	1.2	0.5
Filter	3.3	2.6	1.2	0.8
Paraffinwachs	3.1	2.8	1.3	0.9
Paraffinöl	2.4	1.2	0.7	0.5
Maiskeimöl	2.2	1.3	0.7	0.6

Tab.: Verlauf der Wirkstoffabgabe verschiedener Trägermaterialien bei Raumtemperatur, imprägniert mit 8  $\mu\text{l}$  Ethyldecanoat. Dargestellt sind Wochen-Mittelwerte der Abgaberate und Quotient der Wochen-Mittelwerte aus Woche 1 und 3. Negativkontrolle: reiner, tropfenweise auf Glasplatten aufgetragenen Wirkstoff. Positivkontrolle: Kommerzieller Maiswurzelbohrer Pheromondispenser (Csalmon<sup>®</sup>).

In einem weiteren Versuch wurde der Einfluss der Wirkstoffkonzentration auf den Verlauf der Wirkstoffabgabe untersucht. In allen beobachteten Fällen zeigte sich mit zunehmender Konzentration des Wirkstoffs im Trägermaterial ein zunehmend konstanter Verlauf der Wirkstoffabgabe. Daher ist es wünschenswert, die zu entwickelnden Trägermaterialien mit möglichst hohen Wirkstoffkonzentrationen zu versetzen. Als granuläre Träger wurden vier verschiedene ölhaltige Pflanzensamen getestet:

- Tafeltrauben
- Sonnenblumen
- Papaya
- Melone.

Dabei wurde darauf geachtet, dass sich diese in wesentlichen Merkmalen wie Größe, Samenschale und äußere Form voneinander unterscheiden. Samen von Tafeltrauben stellten sich aufgrund ihrer harten holzigen Schale und dem relativ geringen ölhaltigen Speichergeewebe als ungeeignet heraus. Die Samen nahmen wenig Wirkstoff auf und verloren diesen sehr schnell. Die geschälten Sonnenblumenkerne nahmen mehr Wirkstoff auf als die Samen der Tafeltrauben, verloren diesen jedoch ebenfalls sehr rasch wieder. Die Samen von Papaya und Melone zeigten sowohl die besten Aufnahmewerte als auch die langsamste Abga-

berate. Es ist zu vermuten, dass die Beschaffenheit der Samenschale neben dem ölhaltigen Speichergewebe eine zentrale Rolle bei der Regulation der Wirkstoffabgabe spielt.

### Wirkstoffabgabe bei unterschiedlichen Temperaturen

Weiters wurden die Trägermatrizes hinsichtlich ihrer Wirkstoffabgabe bei unterschiedlichen Temperaturen untersucht. In dieser Testphase wurden die Resultate aus dem Experiment mit dem Pheromon-Ersatz unter Verwendung des echten Pheromons bestätigt bzw. vertieft.

Bei Raumtemperaturen beginnt der kommerzielle Pheromondispenser mit sehr starker Wirkstoffabgabe, die in der ersten Woche bereits stark nachlässt und danach hart an der Nachweisgrenze verläuft. Die Papayasamen hingegen zeigen unter gleichen Bedingungen einen so gut wie konstanten Verlauf der Abgaberate.

Ein differenziertes Bild ergibt sich bei der Auswertung der Abgaberate bei verschiedenen Temperaturen. Erwartungsgemäß reagierten alle Matrizes auf erhöhte Temperaturen mit einer erhöhten Wirkstoffabgabe. Bei Papayasamen kommt bei 30°C allerdings der exponentielle Charakter der Wirkstoffabgabe zum Vorschein. Während die Abgabe bei 20°C nahezu konstant verläuft, findet bei 30°C in der ersten Woche eine deutlich erhöhte Wirkstoffabgabe statt. Der Quotient aus Woche 1 und 3 ist bei 30°C für den kommerziellen Dispenser und den Pflanzensamen nahezu identisch, während er bei 20°C weit auseinander liegt. Die Pflanzensamen büßen daher bei hohen Temperaturen ihren Vorteil nahezu vollständig ein.

Trägermaterial	Tempera- °C	Mittelwert Woche (µg / h)						Mittelwert W4-6 (µg / h)
		1	2	3	4	5	6	
kommerzieller Dispenser	10	0.81	-0.02	0.02	0.05	-0.05	0.02	0.00
	20	0.62	-0.01	0.05	0.09	-4.20	-3.22	-2.44
	30	0.84	0.02	0.05	0.29	-0.44	0.04	-0.03
Paraffinwachs	10	0.09	0.07	0.04	0.04	-0.02	0.02	0.02
	20	0.30	0.06	0.03	0.02	0.00	0.02	0.01
	30	0.39	-0.01	0.02	-0.01	0.00	0.01	0.00
Pflanzliches Öl	10	0.22	0.10	0.06	0.07	0.00	0.01	0.03
	20	0.24	0.07	0.00	0.04	0.01	0.01	0.02
	30	0.45	-0.01	0.00	-0.04	0.06	0.05	0.02
Papayasame	10	-0.03	0.00	0.12	0.09	-0.10	0.09	0.03
	20	0.10	0.07	0.07	0.05	0.00	0.04	0.03
	30	0.48	0.06	0.03	0.04	-0.03	0.06	0.02

Tabelle: Verlauf der Wirkstoffabgabe von mit 8-Methyldecan-2-decanol-propanoat imprägnierten Dispensern während 6 Wochen. Dargestellt sind Wochen-Mittelwerte der Abgaberate sowie der Mittelwert der Abgaberate von Woche 4-6.

Bei Normalbedingungen zeigten alle getesteten Träger (Kieselgel ausgenommen) vorteilhaftere Eigenschaften als herkömmliche Pheromondispenser aus Gummi. Bei Normalbedingungen übertrafen Pflanzensamen deutlich alle anderen getesteten Trägermaterialien sowie

auch die getesteten Kombinationen. Allerdings zeigten die getesteten Pflanzensamen eine stärkere Temperaturabhängigkeit als Pflanzenöl oder kommerzielle Dispenser, so dass bei Temperaturen deutlich über 20°C ihr Vorteil gegenüber herkömmlichen Dispensern abnimmt. Dieses Problem kann voraussichtlich durch Imprägnierung der Pflanzensamen mit einer höheren Wirkstoffkonzentration reduziert oder gelöst werden.

## Wirksamkeitsprüfung

Im Projekt konnten erstmals die Versuchsbedingungen für eine Wirksamkeitsprüfung der Konfusionstechnik bei Maiswurzelbohrern bestimmt werden. In der Kontrolle konnte ein Befruchtungserfolg von 80% erreicht werden, der mittels Behandlung mit den neu entwickelten Dispensern aus Pflanzensamen auf eine Befruchtungsrate von 20% reduziert werden konnte. Die Ergebnisse wurden unter realen Bedingungen im Freiland getestet. Dieser Versuch war zeitlich an die Aktivität der Schädlinge gebunden. Unglücklicherweise kam es in dieser Phase zu historischen Temperaturhöchstständen, welche den Versuchserfolg beeinträchtigten. Es zeigte sich, dass die eingesetzten Dispenser von Anfang an eine zu niedrige Wirkstoffkonzentration hatten. Dies bewirkte unter den extremen Witterungsverhältnissen eine in absoluten Zahlen zu geringe Fangleistung.

Die richtige Konzentration einzuschätzen war angesichts des Fehlens von Referenzdispensern mit konstanter Abgaberate schwierig, ein Vergleich verschiedener Konzentrationen war aufgrund des Mangels an Pheromon nicht möglich. In weiteren Versuchen muss daher ein Schwerpunkt auf die optimale Wirkstoffkonzentration für Dispenser im Freiland gelegt werden.

## Schlussfolgerungen

Die Versuche zur Konfusionstechnik mit dem Maiswurzelbohrer brachten einen großen Durchbruch. Erstmals konnte der wissenschaftliche Nachweis erbracht werden, dass auch bei Käfern die Vermehrung mittels Pheromonausbringung unterbunden werden kann. So ist es im Rahmen des Projekts nicht nur gelungen, die entsprechenden Methoden bereitzustellen, sondern es gelang mit deren Hilfe sogar den entscheidenden Hinweis zu liefern, dass die Konfusionstechnik als ungiftige Bekämpfungsmaßnahme von *Diabrotica virgifera virgifera* und wahrscheinlich zahlreicher weiterer schädlicher Käfer eine realistische Option darstellt.

## Ausblick

Um die Möglichkeiten, welche die neuen Dispenser bieten, ausschöpfen zu können, müssen sie noch weiter verbessert werden. Dies gilt insbesondere hinsichtlich ihrer Anfälligkeit für hohe Temperaturen. Dies kann durch einfache Konzentrationserhöhung des Wirkstoffes oder auch durch Suche nach einem noch besseren Träger innerhalb der Pflanzensamen erfolgen. Des Weiteren muss das „Schicksal“ des Dispensers im Feld überwacht werden, er darf z.B. nicht vorzeitig von Tieren gefressen werden. Eventuell ist es notwendig, ihn mit einer klebenden Schicht zu versehen, die eine Haftung auf den Blättern der zu schützenden Kulturpflanze ermöglicht. Der Weg für die weitere Entwicklungsarbeit zur Ermöglichung einer kostengünstigen und arbeitsextensiven nachhaltigen Pflanzenschutzmaßnahme wurde geebnet, die zentralen Fragen konnten beantwortet werden. Nun gilt es, den eingeschlagenen Weg fortzusetzen und das Konzept im Rahmen weiterer Projekte zur Praxisreife zu führen.

## 10 Ölsaaten in der Lack- und Bindemittelindustrie

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Der Anbau von Ölsaaten stellt in einigen Teilen Österreichs einen wichtigen Einkommenszweig der Landwirtschaft dar. Jedoch werden heimische Öle aus Ölsaaten vorwiegend für die Lebensmittelindustrie und am Biotreibstoffsektor genutzt. Bekannt sind Produkte wie Speiseöl, Margarine oder Biodiesel. Bei der Verarbeitung von Lack- und Bindemitteln greift man größtenteils auf synthetische Öle zurück. Als Hemmnis für die Verwendung von natürlichen und nachwachsenden Ressourcen wird von den Herstellern die Nicht-Verfügbarkeit von raffiniertem und entschleimtem Öl in Österreich gesehen. Die angebotenen Ölqualitäten sind für die Nutzung in der Bindemittelindustrie kaum geeignet, es fehlt an Raffinationsmöglichkeit für Öle in technischen Mengen. Dazu kommt, dass Ölsaaten nur begrenzt angebaut werden und viele Ölmühlen sehr spezialisiert sind. Ein großes Problem ist zudem die fehlende Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft und Industrie. Nur über eine enge Kooperation könnte eine gemeinsame Problemlösung im Sinne eines nachhaltigen Wirtschaftens angestrebt werden.

#### **Ziele und Herausforderungen**

Um den Anbau von Ölsaaten für landwirtschaftliche ProduzentInnen attraktiver zu machen, bedarf es maßgeblicher Veränderung hinsichtlich der Rahmenbedingungen. Ziel des Projekts „Ölsaaten in der Lack- und Bindemittelindustrie“ war es, ein entsprechendes Konzept zu entwickeln.

Eines der wichtigen Anliegen war die Initiierung und der Ausbau der Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft und Industrie. Eine verstärkte Nutzung heimischer Ölsaaten im Bereich der technischen Öle und Bindemittel macht eine enge Zusammenarbeit aller AkteurInnen – ÖlsaatenproduzentIn (LandwirtIn), ÖlproduzentIn (Ölmühlen) und Lack- und Bindemittelindustrie – notwendig. Die Planung der gemeinsamen Maßnahmen, die Festlegung der Vorgangsweise, erste technische Untersuchungen und die Entwicklung eines Demonstrationsvorhabens waren daher Inhalte des Projekts.

Es sollte außerdem nachgewiesen werden, dass die österreichische Lack- und Bindemittelindustrie mit österreichischen Rohstoffen in ausreichender Menge und Qualität beliefert werden könnte. Eine Studie sollte einen Überblick über die Ölpflanzenkulturen in Österreich liefern. Berücksichtigen wollte man neben den drei Hauptölfrüchten Raps, Sonnenblume und Sojabohne auch die Pflanzen Ölkürbis, Öllein, Saflor, Leindotter und Marienkratzdistel. Auch die Frage nach möglichen zusätzlichen Anbauflächen und Pflanzenöl produzierenden Unternehmen in Österreich sollte geklärt werden.

## Projektdaten

### Verbesserung des Absatzes von pflanzlichen Ölen aus österreichischen Ölsaaten durch Steigerung der technischen Qualität im Hinblick auf die Anforderungen in der Lack- und Bindemittelindustrie

#### Projektleitung:

DI Dr. Michael Gann  
HOLZFORSCHUNG AUSTRIA  
Fachbereich Zellstoff und Papier  
Franz Grill Straße 7, A-1030 Wien

Tel.: +43 (0)1 7982623-22

E-Mail: [m.gann@holzforschung.at](mailto:m.gann@holzforschung.at)

Internet: [www.holzforschung.at](http://www.holzforschung.at)

Endbericht: Nr. 34/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## ***INHALT***

Ölsaaten ist der Überbegriff für eine Gruppe von Nutzpflanzen, die hauptsächlich wegen ihres Gehalts an natürlich vorkommenden Ölen angebaut werden. Die bekanntesten Ölsaaten sind Sonnenblume, Raps, Lein (Öllein), Soja, Mais, Rizinus, Oliven, Baumwolle, Sesam, Palmkerne, Kokos, Erdnuss oder Kopra. Für Europa haben lediglich die ersten sieben der genannten Pflanzen Bedeutung.

Für die Lackherstellung von Bedeutung sind trocknende Öle. Ein großer Bindemittelhersteller verarbeitet jährlich etwa 1000 Tonnen Soja-, Sonnenblumen- und Leinöl und 2000 Tonnen Fettsäuren, ebenfalls aus gepressten Ölen.

### **Projektdesign**

Im Zentrum des Projekts standen zwei Workshops, die mit den ProjektpartnerInnen abgehalten wurden. Im ersten Workshop wurden die Erfordernisse der Industrie hinsichtlich der Qualität der Rohstoffe formuliert. Im zweiten Workshop wurden die Möglichkeiten der Landwirtschaft hinsichtlich der Verfügbarkeit der Rohstoffe aufgezeigt.

### **Eigenschaften unterschiedlicher Ölsorten**

Bereits in einem sehr frühen Projektstadium wurden Untersuchungen hinsichtlich der Eigenschaften unterschiedlicher Ölsorten durchgeführt. Man kam dabei zu folgenden Ergebnissen:

Ölsorte	Farbzahl nach Umesterung	Farbzahl nach Alkydsynthese	Bemerkungen
Mariendistelöl <i>Silybum marianum</i>	40	9	Ausgangsfarbzahl schlecht, später Verbesserung der Farbzahl, aber weit außer der Norm, nach Alkydsynthese unter Katalyse Farbzahl 9
Sonnenblumenöl <i>Helianthus</i>	< 10	6 - 7	gute Eigenschaften bei der Harzsynthese, nach Umesterung leicht außerhalb der durchschnittlichen Farbzahlwerte, weniger gute Applikationseigenschaften (Verlauf),
Leinöl <i>Linum usitatissimum</i>	27	27	Ausgangsfarbzahl schlechter als Sonnenblumenöl, nach Umesterung weit außerhalb der Norm. Leinöl ist sowohl in der Alkydharzsynthese, als auch in Umesterung zu hoch in der Farbzahl

Tab.: Untersuchungen von Rohölen von Fa. Waldland bei UCB Surface Specialties

Um Öle für Lack- und Bindemittel verwenden zu können, müssen sie jedoch gereinigt und entschleimt bzw. gebleicht sein. Es mussten daher für die Pilotversuche Möglichkeiten zur Entschleimung von kleinen Ölmengen gefunden werden. Dieser Prozess war mit Projektende noch nicht abgeschlossen. Die Suche könnte in einem Demonstrationsprojekt direkt weitergeführt werden.

## Marktsituation

Im Projekt wurde der mögliche Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen als Bindemittelstoffe erhoben. Auch wenn Alkydharze – zum Teil aus nachwachsenden Rohstoffen – am vielfältigen Markt der Lack- und Anstrichmittel heute einen weniger bedeutenden Platz einnehmen als früher, ganz verdrängt wurden sie nicht von rein auf Basis fossiler Rohstoffe produzierten Bindemitteln. Markterhebungen zeigten, dass reine Ölprodukte am Auslaufen und Öl- bzw. Lösungsmittelbasierte Systeme ebenfalls rückläufig sind. Der Trend geht zu wasserverdünnbaren Lacken, High-Solids-Systeme könnten sich in Zukunft verstärkt durchsetzen. Ebenso wie wässrige Produkte benötigen sie vor allem Fettsäuren als Rohstoffe. Einbrennlacke auf Basis von Rizinenöl und Erdnussöl werden bereits erzeugt. Bei Alkydharzen aus Mohnöl und Rizinenöl sind die Eigenschaften noch nicht genau bekannt.

Als wichtigste natürliche Rohstoffquellen sind in diesem Zusammenhang pflanzliche Öle, Fettsäuren (aus natürlichen Ölen), Polyole (Sorbit) und Glycerin zu nennen. Für die Produktion von Alkydharzen etwa werden gesättigte und ungesättigte Öle entweder direkt oder in Form von Fettsäuren eingesetzt. Wird pflanzliches Öl direkt verwendet, hat das bei wässrigen Produkten eine relativ geringe Bedeutung. Jedoch haben Öle für die Pfropfung (Crafting) mit Acrylaten gewisse Bedeutung. Auch Fettsäuren haben für die Pfropfung mit Acrylaten als Intermediate große Bedeutung (Kunstharzsynthese).

Als Rohstoffbasis haben sich verschiedene Öltypen bewährt:

Sojaöl	Preis, gute Allroundeigenschaften
Sonnenblumenöl	Gute Gilbungsresistenz
Safloröl	Sehr gute Trocknung bei guter Gilbungsresistenz
Leinöl	Korrosionsschutz, Do-it-yourself-Bereich, hohe Reaktivität, gute Pigmentbenetzung
Holzöl	Für Korrosionsschutzgrundierungen
Rizinusöl	hydroxyfunktionelles Öl, rizinfrei, Dehydratisierung führt zu Ricinenöl
Kokosfett, Palmöl, Palmkernöl	gesättigt, wenig bedeutsam in lufttrocknenden Lacken.
Rüböl, Baumwollsaatöl, Fischöl	Verschnittöle in der Alkydharzsynthese

Tab.: Öle als Rohstoffbasis

Auch Fettsäuren aus pflanzlichen Ölen haben vielfältige Anwendung:

Sonnenblumenölfettsäuren	Gute Gilbungsresistenz
Sojaölfettsäuren	Preis, gute Allroundeigenschaft
Leinölfettsäuren	Schlüsselposition für wässrige Produkte
Konjugierte Sonnenblumenölfettsäuren	Technisch isomerisiert, gute Gilbungsresistenz und Durchtrocknung
Rizinenfettsäuren	Spaltung und Dehydratisierung, sehr hoher Gehalt an konjugierter Linolsäure, gute Glanzhaltung und gute Durchtrocknung
Tallölfettsäuren	Günstige Fettsäurequelle, ähnlich Sojaölfettsäure
Kokosölfettsäuren, Palmkernölfettsäuren	Einbrennlacke, Härterharze, kurzkettige Fettsäuren, hohe Gilbungsresistenz

Tab.: Fettsäuren als Rohstoffbasis

Die 2007 in Kraft getretene neue Zubereitungsrichtlinie besagt, dass der Lösungsmittelanteil im Lack max. 10 % betragen darf. In Benzin gelöste Alkydharze werden dann verboten sein. Weiters sollen die VOC Gehalte auf 300 g/l begrenzt werden. Bei Alkydharzen soll der Festkörperanteil 70 % betragen, der Ölanteil wird steigend sein.

## **Landwirtschaftliche Situation**

Die Zukunft natürlicher Öle ist sicher nur dann Erfolg versprechend, wenn die mit pflanzlichen Rohstoffen hergestellten Produkte technisch und finanziell mit den synthetischen Produkten konkurrieren können. Die Landwirtschaft müsste natürliche Rohstoffe in zugesicherter Menge zu einem zugesicherten, über mehrere Jahre gleich bleibenden Preis liefern können. Außerdem müsste die Rohstoffindustrie die Entwicklung von Lackrohstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe ernsthaft vorantreiben.

Bei den Ölsaaten liegt heute in Österreich das Hauptaugenmerk bei Raps. Ölrap wurde 2002 auf 45.384 ha angebaut, 2003 auf 35.367 ha. Zusätzlich wird noch Raps auf Stilllegungsflächen angebaut. Die Entscheidung für den Rapsanbau wird aufgrund einzelbetrieblicher Beurteilungen des Rapses im Wettbewerb mit den sonstigen landwirtschaftlichen Ackerkulturen (vor allem Getreide) getroffen. Aufgrund schwankender Rapssaatpreise und der generellen laufenden Reduktion von Flächenprämien der EU ist das Interesse zum Anbau von Raps aus Sicht der Landwirte derzeit eher als bescheiden zu beurteilen. Es hat sich aber gezeigt, dass bei entsprechenden wirtschaftlich lukrativen Rahmenbedingungen die Bereitschaft zum Anbau aber immer wieder ansteigt.

Der Anbau von Raps konzentrierte sich bislang auf Biodiesel und Speiseöl. Ein Produkt mit Zukunft könnte Sonnenblumenöl mit bis zu 60 % Linolsäuregehalt sein. Ebenfalls im Kommen ist das Leindotteröl, wobei bis dato noch zu wenig industrielles Interesse besteht. Die Fa. Waldland („Verein zur Förderung von Sonderkulturen“) investiert bereits seit 20 Jahren in Nischenbereiche. Begonnen hat Waldland mit dem Anbau von Mohn. Vor einigen Jahren wurde ein Mariendistelprojekt gestartet: Im Zuge der Herstellung des leberstärkenden Medikaments Silimarin fallen als Koppelprodukt pro Jahr 400 Tonnen Mariendistelöl an. Fettsäuren und Glycerin werden derzeit noch nicht von Waldland angeboten. Der Bedarf an Fettsäuren wird jedoch als Zukunftsstrategie gesehen.

Bereits heute sind entsprechende Flächen mit Ölpflanzenanbau vorhanden. Laut Waldland werden Nischenprodukten wie z.B. Mariendistelöl schon zu ca. 300 Tonnen erzeugt, 400 bis 500 Tonnen wären möglich. Bei entsprechenden wirtschaftlich günstigen Rahmenbedingungen könnte auch der Anbau weiterer heimischer Ölpflanzen ausgeweitet werden.

Eine Ausweitung der Fläche wird langfristig nur durch attraktive Rohstoffpreise möglich sein. Die zur Verfügung stehende Fläche kann nur genutzt werden, wenn die 10 % Stilllegungsverpflichtung seitens der EU aufrechterhalten bleibt. Aus derzeitigen Diskussionen über Stilllegungsflächen und Flächenprämien war zu erfahren, dass die Stilllegungsfläche auf 5 % reduziert werden soll und die Flächenprämie vom Ertrag unabhängig wird. Darüber hinaus wird erwogen, für Energiepflanzen eine Prämie von 45 Euro pro Hektar zu bezahlen. Diese werden aber unter den Stilllegungsflächen nicht mehr gefördert. Aus diesen Gründen ist eine seriöse Abschätzung über ein zukünftiges Flächenpotenzial zurzeit nicht möglich. Die Flächen, die heute zur Verfügung stehen, sind jedoch als relativ gesichert anzusehen.

## **Entwicklung eines Demonstrationsprojekts**

Abschluss des Projekts „Ölsaaten in der Lack- und Bindemittelindustrie“ war die Skizzierung eines Demonstrationsprojekts. Im Zuge eines solchen Projekts könnten die Grundlagen für notwendige technische Konstruktionen zur Reinigung und Entschleimung der Öle geschaffen werden: Eine Technikumsanlage, aufgestellt bei einem Ölproduzenten, könnte eine regionale

und überregionale Anlaufstelle für Ölsaatenabnahme und -reinigung darstellen. Die Technikuksanlage müsste für die Verarbeitung von wenigstens 5000 Tonnen Ölen pro Jahr ausgelegt werden. Damit verbliebe die gesamte Wertschöpfung im regionalen Bereich. Das für die Umsetzung dieses Konzepts wichtige Vertrauen der landwirtschaftlichen ProduzentInnen wäre geschaffen, die nötige wirtschaftliche Sicherheit geboten.

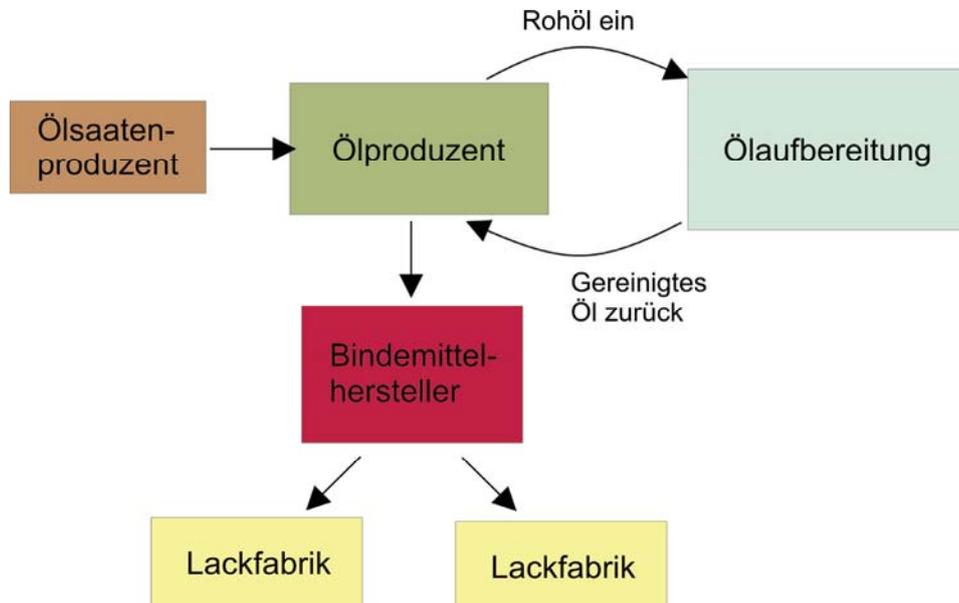


Abb.: Konstruktion für eine Kooperation der Landwirtschaft und der Industrie im Ölsaatenbereich

Das wichtigste Instrument zur Umsetzung der Strategie wäre also die Clusterbildung im landwirtschaftlichen Bereich. Ein Demonstrationsprojekt müsste sich also neben technischen Aspekten auch dieser agrarpolitischen Frage widmen. Nur ein starker Cluster kann die Versorgungssicherheit mit Rohstoffen sicherstellen. Vielfach könnte mit Sicherheit auch auf schon vorhandenen Netzwerken aufgebaut werden.

## Ergebnisse

Wie das Projekt zeigen konnte, können Koppelprodukte im Lichte einer neuen Anwendung größere Bedeutung erlangen als dies bisher der Fall war. Es konnte weiters nachgewiesen werden, dass die österreichische Lack- und Bindemittelindustrie mit österreichischen nachwachsenden Rohstoffen in ausreichender Menge und Qualität beliefert werden kann.

Im Laufe der Beratungen mit der Industrie und den landwirtschaftlichen ProduzentInnen hat sich herausgestellt, dass die Themenstellung des Projekts sehr zukunftsorientiert ist. Sie geht parallel mit den Interessen der Industrie und der Landwirtschaft. Nicht zuletzt aufgrund der restriktiveren Politik der EU gegenüber Chemikalien werden Rohstoffe natürlicher Herkunft aufgrund ihrer günstigeren toxikologischen Eigenschaften in Zukunft einen Vorteil haben.

Wenn weitere Untersuchungen von entschleimten Proben des bisher untersuchten Rohöls positiv verlaufen, besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine enge Kooperation zwischen den Projektpartnern in diesem Konzeptprojekt. Voraussetzung dafür ist die technische Eigenschaft des gereinigten und entschleimten Mariendistelöles und die Erfüllung sämtlicher Anforderungen für Rohstoffe von Lackbindemitteln. Der Ölproduzent wäre dann in der Lage, die Herstellung von Mariendistelöl selbst zu übernehmen, das Öl zu reinigen und qualitätsgesi-

chert an den Bindemittelhersteller zu liefern. Dieser könnte seinerseits die daraus erzeugten Bindemittel direkt an die Lack- und Farbenindustrie weiter verkaufen.

Die für die Erfüllung der gestellten Aufgaben „Qualitätssicherung“ und „Verfügbarkeit“ wichtigen Schlagworte sind technischer und agrarpolitischer Natur. Sie heißen „Technikumsanlage“ und „Clusterbildung“. Seitens der Industrie und der landwirtschaftlichen ProduzentInnen besteht großes Interesse an einer direkten Kooperation unter Ausschluss von ZwischenhändlerInnen. Eine Umsetzung des neuen Konzepts könnte der Beginn der gewünschten Direktbelieferung der Industrie mit Produkten aus der Landwirtschaft sein.

## 11 Die Biokerze

---

### ***EINLEITUNG***

#### **Ausgangssituation**

Jahrhunderte lang war Bienenwachs die Hauptrohstoffquelle für die Kerzenherstellung. Im Zuge der industriellen Entwicklung wurde sukzessive auf Paraffinrohstoff aus fossilen Quellen umgestellt. Heute macht Paraffin praktisch 100 % der Kerzenrohstoffe aus. Im Sinne einer nachhaltigen Wirtschaftsentwicklung und vor dem Hintergrund der zukünftigen Engpässe bei Rohstoffen aus fossilen Quellen sollten nachwachsende Rohstoffe wieder vermehrt genutzt werden. Schon jetzt werden einige Nischenprodukte auf Basis erneuerbarer Rohstoffe (etwa verschiedene Öllichter in kleinen Behältnissen) hergestellt. Diese Entwicklung gilt es voranzutreiben.

#### **Ziele und Herausforderungen**

Ziel des Projekts war es, festzustellen, ob und unter welchen Bedingungen nachwachsende Rohstoffe auf Rapsbasis für die Kerzenproduktion in presstechnischen Anlagen geeignet sind. Es sollte erhoben werden, welche chemisch-technischen Modifikationen an diesen Rohstoffen oder an den gängigen Fertigungstechniken „Granulieren, Pressen, Extrudieren, Ziehen“ erforderlich sind. Der für die Kerzenherstellung bestehende Maschinenpark sollte ohne größere Adaptionen für die Produktion genutzt werden können. Die neue Biokerze sollte unter anderem hohe qualitative Eigenschaften hinsichtlich Abbrandverhalten und Sicherheitsverhalten aufweisen. Weiters sollte eine sofortige Vermarktung des neuen Produkts ermöglicht werden.

Anders als bei Erdöl wären bei einer Umstellung der Kerzenproduktion auf Rapsbasis keine weltweiten Transportvorgänge notwendig, zumindest EU-weit wäre die lokale Verfügbarkeit des Rohstoffs gegeben. Kerzen auf Rapsbasis leisten zudem einen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemission und erfüllen hinsichtlich Kreislaufwirtschaft und CO<sub>2</sub>-Bilanz vollends die Zielsetzungen der Nachhaltigkeit.

## Projektdaten

### Kerzen aus nachwachsenden Rohstoffen von heimischer Landwirtschaft

#### Projektleitung:

Johann Lueger

#### Aktueller Kontakt:

Herbert Hofer

HOFER Kerzen GmbH

Unterer Markt 42, A-3335 Weyer

Tel.: +43 (0)7355 8731-23

E-Mail: [office@hofer-kerzen.at](mailto:office@hofer-kerzen.at)

Internet: [www.hofer-kerzen.at](http://www.hofer-kerzen.at)

Endbericht: Nr. 70/2006 aus der Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des bmvit, Download bzw. Bestellung unter [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at).

## INHALT

Ausgangspunkt für die Projektarbeiten waren bereits vorhandene Rohstoffmuster und die dazugehörigen technischen Produktdatenblätter für Rohstoffe auf Rapsbasis. Rohstoffe auf Rapsbasis wurden bis dato nur zum Vergießen verwendet, also z.B. für die Herstellung von „Lichtern“ in kompakten Außenbehältern. Zur Herstellung von gepressten oder gezogenen Kerzen wurde Raps bisher noch nicht eingesetzt.

### Stand der Technik



Abb.: Kerzenmuster nach ersten Optimierungsschritten beim Pressvorgang

Stand der Technik für die Kerzenherstellung sind Press- und Ziehverfahren. Der Rohstoff Paraffin wird zu diesem Zweck im flüssigen Zustand (ca. 85 – 90° C) mit Tankwagen von Raffinerien angeliefert und in beheizten Tanks zwischengelagert. Zum Kerzenpressen wird flüssiges Paraffin auf Sprühtrommeln aufgebracht, wo ein feines Pulver (Granulat) erzeugt wird. Das Pulver wird sodann zu Formpressen oder Extruderpressen weitergeleitet. Beim Ziehverfahren wird ein Docht (Endlosband) im Kreis geführt und durch ein Paraffinbad gezogen. In einem Wasserbad folgt die Kühlung, bis der gewünschte Kerzendurchmesser erreicht ist. Bei jedem Umlauf läuft der Ker-

zenstrang durch eine Kalibrierbohrung, an der überschüssiges Paraffin abgestreift wird. Ist der gewünschte Durchmesser erreicht, geht der fertige Kerzenstrang zur Abschneideanlage und weiter zu Fräseinrichtung, wo Kerzenkopf- und Kerzenfußausbildung entstehen. Die Farbgebung erfolgt schließlich durch Tauchung.

Um eine optimale Farboberfläche zu erhalten, werden vor den Färbungsprozessen die Kerzenrohlinge in ein Paraffinbad mit etwa 90° C getaucht. Durch die hohe Temperatur wird die Oberflächenkontur hinein geschmolzen, die Poren schließen sich. Die Farbtauchmasse ist von einer etwas höher schmelzenden Paraffinqualität, damit die Kerze am Ende formstabiler wird. Daraus ergibt sich eine etwas härtere Oberfläche, was zu einer ausgeprägten Brennschüssel beim Abbrandverhalten führt.

## **Projektverlauf**

Schon bei den ersten Projektschritten wurde klar, dass theoretische Arbeiten, also Literaturrecherchen, und Laborergebnisse wenig Aussagekraft hinsichtlich des Projektziels besitzen. Der Arbeitsschwerpunkt wurde daher auf Produktionsversuche mit kleineren Chargen verschoben. Im Labor wurden nur grundlegende Arbeiten zu Schmelzpunkt, Erstarrungspunkt und Brennwert von bisher verwendeten Rohstoffen auf fossiler Basis sowie alternativen Rohstoffen auf Raps- und Palmölbasis durchgeführt. Diese Arbeiten stellten einerseits eine gute Basis für die folgenden Betriebsversuche dar und dienten andererseits als Erklärung für nicht erfolgreiche Tests.

Zur Charakterisierung von Schmelz- und Erstarrungsvorgängen eignet sich die dynamische Differenzkalorimetrie (DSC). Die Prüfmethode wurde aufgrund der gewonnenen Ergebnisse sukzessive auf die angewendeten Prüfmuster hin adaptiert und optimiert.

Die Rapsmuster zeigten im Vergleich zu fossilen Brennstoffen ein ganz anderes, dennoch sehr charakteristisches Schmelzverhalten auf. Für die Kerzenanwendung von zentraler Bedeutung war die Tatsache, dass bei der Abkühlung aus dem geschmolzenen Zustand Rekristallisationsvorgänge auftreten, die zu einem so genannten „Popcorneffekt“ führen. Gemeint ist damit eine Art Aufquellen der ursprünglich einheitlichen Masse. Diese hohe Dimensionsinstabilität führt dazu, dass der Abbrand aufgrund der ständigen Schmelz- und Erstarrungsvorgänge in der Brennschüssel und am äußeren Rand nicht ausreichend homogen erfolgt.

Wesentliche Grundlage für die weiteren Versuche war ein Ergebnis aus den DSC-Untersuchungen mit fossilen Rohstoffmustern: Wachsmaterial weist zwei Schmelzpeaks auf. Die Arbeitsgruppe formulierte daraus die sogenannte „Kitt-Theorie“: Der niedriger schmelzende Wachsanteil wird bei der Verarbeitung in der Presse zumindest teilweise verflüssigt und bildet somit den optimalen Kitt bzw. das Haftungsmittel für die große Masse an Wachs. Auf diesem Wege kann ein perfekter homogener Kerzenkörper erzielt werden.

## **Testserien**

Parallel zu diesen Versuchen wurden erste Tests an den Produktionsmaschinen durchgeführt. Es zeigte sich, dass Aussagen über Brauchbarkeit und Unbrauchbarkeit von Wachsen bzw. Wachsmischungen nur an der Maschine getroffen werden können. Dadurch war es notwendig, die gesamten Prozess-Schritte von der Sprühtrommel über die Granulation bis zum Verpressen in der Maschine zu durchlaufen, um brauchbare Mischungen zu entwickeln. Folgende Mischungen wurden dabei getestet:

- Verschiedene Rapsmuster,
- Palmfette und Palmkernfette,
- Kokosfette,
- Glycerinprodukte und
- fossile Paraffinprodukte mit unterschiedlichen Eigenschaften.

Im Kooperation mit der Fa. Rauh aus Neuss, Deutschland, (Rohstofflieferant für Hofer-Kerzen) wurde voll ausgehärtetes Rapsfett (etwa 62° C Schmelzpunkt) als das am besten geeignete Produkt für die Grundsubstanz erarbeitet und in umfangreichen Testserien optimiert. Durch Zumischen von kleinen Mengen nicht voll ausgehärteter Rapsfette erhielt man Kerzen, die ein akzeptables Abbrandverhalten aufwiesen. Auf dieser Basis konnten schließlich Dochtabstimmungen vorgenommen werden. Diese sind erforderlich, da Raps im Vergleich zu Paraffin einen etwas geringeren Brennwert besitzt. Der Prozess des Schmelzens in der Brennschüssel der Kerze bis hin zum Kapillareffekt im Docht und Vergasung zum Brennvorgang verläuft bei Kerzen auf Rapsbasis anders, wodurch eine Optimierung notwendig wurde.

## **Ergebnis**

Der so genannte „Popcorn-Effekt“ tritt bei allen voll ausgehärteten Pflanzenölen auf. Durch die Zudotierung von teilgehärteten Fetten wurde das Problem gelöst. Letztendlich wurden Mischungen aus verschiedenen Rapsrohstoffen sowie Mischungen mit Zugabe von bis zu 20 % Palmfetten als Optimum bestimmt. Das Produkt „Stabkerze“ wurde auf diesem Weg auch hinsichtlich Dochtabstimmung und Oberfläche so weit optimiert, dass der Markteintritt bereits vorbereitet wurde.

Für die mengenmäßig wesentlich bedeutendere Produktgruppe „Stumpenkerze“ wurde noch kein Optimum gefunden. Aufgrund der größeren Durchmesser der Brennschüsseln ergaben sich insbesondere Probleme im Abbrandverhalten. Ungelöst blieb auch die Oberflächen-tauchmasse sowie die richtige Vorgangsweise zum Färben der Kerzen. Auch die Nachbearbeitung der bereits erfolgreich produzierten Stabkerze durch Fräsprozesse zu Spitzkerzen, ist noch offen. Inwieweit sich die Mischung für die Produktion von gezogenen Kerzen eignet, ist ebenfalls zu überprüfen.

## **Schlussfolgerungen**

Das Projekt zeigt, dass Raps für die Produktion von Kerzen geeignet ist. Damit ist eine sukzessive Umstellung der bestehenden Kerzenproduktion auf Basis regionaler und nachwachsender Rohstoffe möglich, für die Herstellung können auch die gängigen Maschinenparks genutzt werden.

Aufgrund der guten Ergebnisse beim Produkt „Stabkerze“ ist nunmehr die Markteinführung mit diesem neuen Produkt geplant. Um das gesamte Produktsortiment auf nachwachsende Rohstoffe umzustellen, also auch Stumpen- und Spitzkerzen bzw. Ziehkerzen herzustellen, sind weitere Forschungsarbeiten notwendig.

Da österreichischer Raps nicht, wie für die Herstellung von Kerzen notwendig, raffiniert wird, ist es nicht möglich, die Rohstoffversorgung lokal, also österreichweit, zu gestalten. EU-weit ist Raps jedenfalls in ausreichender Menge verfügbar. Es ist damit zu rechnen, dass innerhalb der EU in den nächsten Jahren massive Bewegungen auf diesem Rohstoffmarkt entstehen. Durch die Nachfrage an technischen Rapsfettprodukten, wie in diesem Fall als Kerzenrohstoff, entstünde eine zusätzliche Belebung der Sparte.

Da kaum Preisunterschiede im Rohstoff bestehen, ist die Effizienz dieser Produktstrategie auch bei finanzieller Bewertung gegeben. Bei permanent hohen Ölpreisen könnte dieser Rohstoff, nach Optimierung aller Prozessschritte, sogar günstiger sein als Rohstoffe aus fossilen Quellen.





## Gesamtübersicht der Projekte

Kapitel	Projekttitlel	Schriftenreihe
<b>Grüne Bioraffinerie</b>	Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Proteinen aus Grassäften	19/2003
	Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft	3/2004
	Grüne Bioraffinerie – Entwicklung von Schlüssel-Trenntechnologien zur Gewinnung von Milchsäure und anderen Wertsustanzen aus Silagesäften	33/2005
	Grüne Bioraffinerie – Verwertung der Grasfaserfraktion	20/2003
	Grüne Bioraffinerie – Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion	67/2006
	Grüne Bioraffinerie - Phase III	laufend
	Grüne Bioraffinerie - DEMO	laufend
<b>Kernkraft: Kaskadische Nutzung von Steinobst-Restmassen</b>	NaWaRo Cascading für die Wellness-Regio	18/2003
	NAWARO Cascading Pilot	88/2006
	KernCraft TAKE OFF	36/2007
<b>Pflanzenfarben für die Textilindustrie</b>	Potential an nachwachsenden Rohstoffen unter Aspekten der Nachhaltigkeit: Produktion von farbstoffliefernden Pflanzen in Österreich und ihre Nutzung in der Textilindustrie	2/2001
	Farb & Stoff – Sustainable Development durch neue Kooperationen und Prozesse	25/2003
	TradeMarkFarb&Stoff – Von der Idee zum marktfähigen Handelsprodukt: Pflanzenfarben für die Textilindustrie	21/2006
	RISKMIN - Risikominimierung entlang der Wertschöpfungskette vom pflanzlichen Rohstoff bis zum Farbstoff	8/2007
	Colours of Nature	laufend
<b>Wood Plastic Composites</b>	Neue Wertschöpfung aus Holzspänen	68/2006
	Entwicklung einer Holzspänedirektdosierung	68/2006
	Entwicklung eines Extrusionswerkzeuges	68/2006
	Modifizierung von Holzspänen für höherwertige Holz/Kunststoff-Verbundwerkstoffe	86/2006
	Wood Plastic Composites - Neues Eigenschaftsprofil durch Refinerfasern	laufend
	Wasseraufnahme von Wood Plastic Composites	laufend
	Neue Wertschöpfung aus Wood Plastic Composites durch Einsatzmöglichkeiten für Spritzgussanwendungen	laufend
<b>Kunst- und Schaumstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen</b>	Nachwachsende Biopolymere als Substitution für Massenkunststoffe	14/2006
	Entwicklung eines marktfähigen Biopolymers auf Stärkebasis aus österreichischen Rohstoffen	66/2006
	Entwicklung geschäumter Produkte auf Proteinbasis	pdf online
	Türblatteinlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe und Reststoffe	1/2008
<b>Maisgranulat – Bindemittel und Trägermaterial</b>	Maisgranulat zur Immobilisierung von Lipasen	38/2006
	Adsorptive Produkte aus Maisreststoffen	22/2003
<b>Stroh – Dämmstoff und Fasercompound</b>	Stroh kompakt	8/2005
	Grundlagenforschung für die Entwicklung von Produktprototypen aus Naturstoff-gebundenen Vliesen	35/2007

<b>Kapitel</b>	<b>Projekttitlel</b>	<b>Schriftenreihe</b>
<b>Zellulosefaser RAIN-BOW</b>	Textile Fasermodifikation: Physikalisch-chemische Charakterisierung funktionaler Viskosefasern zur Entwicklung eines umweltschonenden Verarbeitungsprozesses	21/2002
	Rainbow 2	89/2006
<b>Duftöl statt Nervengift</b>	Duftöl statt Nervengift	27/2008
<b>Ölsaaten in der Lack- und Bindemittelindustrie</b>	Verbesserung des Absatzes von pflanzlichen Ölen aus österreichischen Ölsaaten durch Steigerung der technischen Qualität im Hinblick auf die Anforderungen in der Lack- und Bindemittelindustrie	34/2006
<b>Die Biokerze</b>	Kerzen aus nachwachsenden Rohstoffen von heimischer Landwirtschaft	70/2006