



**MINISTERIUM  
FÜR EIN  
LEBENSWEERTES  
ÖSTERREICH**

[bmlfuwgv.at](http://bmlfuwgv.at)

**PROJEKT GRÜNE CHEMIE  
IN ÖSTERREICH  
STAND NOVEMBER 2016**

**IMPRESSUM**



Medieninhaber und Herausgeber:  
BUNDESMINISTERIUM  
FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT,  
UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT  
Stubenring 1, 1010 Wien  
[www.bmlfuw.gv.at](http://www.bmlfuw.gv.at)

Text und Redaktion: Martin Wimmer, Eva-Maria Reiss

1. Auflage

ISBN Nr. 978-3-903129-25-2

Alle Rechte vorbehalten.  
Wien, im November 2016



Original wurde gedruckt von: Zentrale Kopierstelle des BMLFUW,  
UW-Nr. 907, nach der Richtlinie „Druckerzeugnisse“ des  
Österreichischen Umweltzeichens.

INHALTSVERZEICHNIS

IMPRESSUM.....	2
1 GRÜNE CHEMIE IN ÖSTERREICH – ZUR EINFÜHRUNG .....	5
1.1 WAS IST GRÜNE CHEMIE? .....	5
1.2 DIE 12 PRINZIPIEN DER GRÜNEN CHEMIE.....	5
2 SYMPOSION GRÜNE CHEMIE .....	6
2.1 HINTERGRUND.....	6
2.2 PRÄSENTATIONEN .....	6
3 PROJEKT GRÜNE CHEMIE MIT DER FACHHOCHSCHULE TECHNIKUM WIEN.....	10
4 ERKUNDUNGSPROJEKT ÜBER DEN EINSATZ INNOVATIVER CHEMIE IN RESSOURCENSPPARENDEN TECHNOLOGIEN.....	11
4.1 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEM „ERKUNDUNGSPROJEKT ÜBER DEN EINSATZ INNOVATIVER CHEMIE IN RESSOURCENSPPARENDEN TECHNOLOGIEN .....	12
5 ERKUNDUNGSPROJEKT ÜBER PROJEKTE DER GRÜNEN CHEMIE IN ÖSTERREICH .....	19
5.1 ZUSAMMENFASSUNG.....	19
5.2 DISKUSSION UND AUSBLICK.....	23
6 FAZIT .....	26



# 1 GRÜNE CHEMIE IN ÖSTERREICH – ZUR EINFÜHRUNG

## 1.1 WAS IST GRÜNE CHEMIE?

Unter dem Schlagwort „Grüne Chemie“ wird eine ökologisch orientierte Chemie verstanden, die chemische Prozesse und Produkte so gestaltet, dass die Verwendung oder die Entstehung gefährlicher Substanzen vermieden oder deutlich reduziert wird und dabei möglichst ressourcenschonende Verfahren angewendet werden. Dies beinhaltet insbesondere auch eine Berücksichtigung der Auswirkung von Chemikalien in ihrem gesamten Lebenszyklus vom Rohstoff bis zum Abfall. Während Erdöl die Basis eines Großteils unserer heutigen chemischen Produkte darstellt, bemüht sich die Grüne Chemie vermehrt, den Einsatz nachwachsender, nachhaltig gewonnener Rohstoffe zu forcieren. Neben der stofflichen zählt auch die Frage nach der energetischen Effizienz zu den Kernanliegen der Grünen Chemie.

Es scheint zweckmäßig zwischen einer Grünen Chemie im engeren und im weiteren Sinne zu unterscheiden. Die Grüne Chemie im engeren Sinne befasst sich vorwiegend mit der nachhaltigen Synthese von chemischen Stoffen. Die amerikanische Umweltbehörde EPA hat dafür zwölf Prinzipien aufgestellt, die einen allgemein anerkannten Maßstab für die Beurteilung chemischer Produktionsverfahren darstellen:

## 1.2 DIE 12 PRINZIPIEN DER GRÜNEN CHEMIE

- Abfallvermeidung
- Vermeidung von Nebenprodukten (Atomökonomie)
- Durchführung von Synthesen mit weniger gefährlichen Stoffen
- Herstellung möglichst sicherer und umweltfreundlicher Chemikalien
- Einsatz umweltfreundlicher Löse- und Hilfsmittel
- Einsatz energieeffizienter Verfahren
- Einsatz erneuerbarer Rohstoffe
- Vermeidung von Derivaten als Zwischenstufen in Synthesen
- Einsatz von Katalysatoren
- Herstellung biologisch abbaubarer Stoffe
- Einsatz von Prozessanalytik zur laufenden Überwachung der Synthesen
- Unfallvermeidung

Demgegenüber steht bei der Grünen Chemie im weiteren Sinn die Verwendung von Chemikalien zur nachhaltigen Ressourcennutzung im Vordergrund. Es geht hier beispielsweise um den gezielten Einsatz von Chemikalien bei der Gewinnung erneuerbarer Energien, bei der Energiespeicherung und Wärmeisolierung sowie bei der Aufarbeitung und Wiederverwendung von Abfällen und Nebenprodukten.

## 2 SYMPOSION GRÜNE CHEMIE

### 2.1 HINTERGRUND

Das Jahr 2011 wurde von der UNESCO zum „Internationalen Jahr der Chemie“ erklärt. Aus diesem Anlass veranstaltete das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft ein Symposium zu dem Thema der Grünen Chemie, das am 21. November 2011 in der diplomatischen Akademie in Wien stattfand.

Der Begriff „Grüne Chemie“ kommt aus dem angelsächsischen Raum und bedeutet dort eine umfassend ökologische Chemie, die chemische Produkte und Prozesse so gestaltet, dass die Verwendung oder die Entstehung gefährlicher Substanzen vermieden oder reduziert wird und möglichst ressourcenschonende Verfahren angewendet werden.

Ziel des Symposions war es, den Stand der österreichischen Forschung und Entwicklung in diesem Bereich zu beleuchten und Erfordernisse und Perspektiven für künftige Aktivitäten aufzuzeigen. An der Veranstaltung nahmen etwa 60 Personen aus den Bereichen Wissenschaft, Wirtschaft, Verwaltung und NGOs teil.

Die Präsentationen sind unter folgendem Link abrufbar:

[https://www.bmlfuw.gv.at/greentec/chemikalien/chemikalien-leasing-und-gruene-chemie/Gruene\\_Chemie.html](https://www.bmlfuw.gv.at/greentec/chemikalien/chemikalien-leasing-und-gruene-chemie/Gruene_Chemie.html)

In seiner Einleitung wies Dr. Thomas Jakl (BMLFUW) auf eine Reihe von Veranstaltungen zu chemikalienpolitischen Themen hin, die in der Diplomatischen Akademie abgehalten worden waren, insbesondere zum Vorsorgeprinzip in der Chemiepolitik und zur Multiplen Chemikaliensensibilität. Mit der Grünen Chemie soll nun als dritte Säule die Nachhaltigkeitsdiskussion aus der Perspektive der Chemiepolitik geführt werden mit den thematischen Schwerpunkten auf der Ressourceneffizienz und auf der Energiegewinnung/speicherung.

### 2.2 PRÄSENTATIONEN

#### 2.2.1 „GRÜNE CHEMIE IN DEUTSCHLAND - ÜBERBLICK UND BEISPIELE“

Dr. Christopher Blum (Umweltbundesamt Deutschland) wies zunächst auf wichtige Kennzahlen hin, um die Bedeutung der Grünen Chemie in Deutschland zu illustrieren. So werden in Deutschland 6% der fossilen Rohstoffe für die Herstellung von Chemikalien genutzt. 45% der Prozesskosten entfallen dabei auf Materialien, dagegen nur etwa 2% auf Energie. Diese Zahlen verdeutlichen erhebliche potenzielle Einsatzmöglichkeiten für nachwachsende Rohstoffe und alternative Produktionsprozesse. Immerhin werden bereits jetzt ca. 13% der Chemikalien aus Biomasse hergestellt. Blum ging auf zwei Anwendungsfelder näher ein, in denen das Umweltbundesamt derzeit besonders aktiv ist. Zum einen betrifft dies das Chemikalienleasing, das darauf abzielt, den Chemikalieneinsatz zu minimieren und ressourcensparend einzusetzen, indem die Hersteller nicht für die eingesetzten Chemikalien, sondern für die in Anspruch genommene Dienstleistung (z.B. Reinigung von Behältern) bezahlt werden. Blum schätzte das Einsparungspotential bei Lösemitteln in Deutschland auf jährlich 10.500 Tonnen. Das zweite Themenfeld wurde durch die Erarbeitung eines Leitfadens für nachhaltige Chemie eröffnet. Mit Hilfe von acht stoffbezogenen Kriterien und sieben anwendungsbezogenen Kriterien gibt der Leitfaden Unternehmen ein Instrument zur Hand, Maßnahmen zur Umstellung auf nachhaltige Prozesse quantitativ abzubilden und zu optimieren. Die praktische Erprobung dieser Kriterien ist in den nächsten Jahren geplant.

### 2.2.2 „GRÜNE CHEMIE IN ÖSTERREICH - ALTERNATIVEN ZUR STOFFLICHEN SYNTHESE“

Prof. Marko Mihovilovic (Technische Universität Wien) ging in seinem Vortrag vor allem auf die Anwendungsmöglichkeiten der Grünen Chemie im Bereich der stofflichen Synthese ein. Er hob hervor, dass es beim Prozessdesign darauf ankomme, nicht nur einzelne Schritte zu betrachten und zu optimieren, sondern die 12 von der US-EPA entwickelten Kriterien für eine Grüne Chemie als Gesamtpaket zu betrachten mit dem Ziel, den „footprint“ eines Herstellungsprozesses über den gesamten Lebenszyklus zu minimieren. Hierzu zählen auch Ressourcenfragen, etwa wie Stoffströme im Kreis geführt werden können oder wie Alternativen zur Petrochemie gefunden werden können, ohne in Konkurrenz zu der Nahrungsmittelproduktion zu treten. Mihovilovic zeigte die enormen Einsparungspotenziale auf, die durch technische Prozessinnovationen entstehen. So ermöglicht zum Beispiel der Einsatz von Fließsystemen in der Verfahrenstechnik durch die Miniaturisierung des Prozessvolumens einen viel rascheren Durchsatz, ein erheblich vereinfachtes upgrading, bessere Kontrollierbarkeit und damit auch erhöhte Prozesssicherheit. Die Nutzung enzymatischer Prozesse erlaubt es, Prozesse bei geringen Temperaturen und geringem Druck zu führen und damit erheblich Energie und Kosten einzusparen. Ein besseres Verständnis und die intelligente Gestaltung metabolischer Prozesse werde es, so Mihovilovic, möglich machen, künftige chemische Fabriken nach dem Leitbild der biologischen Zelle zu betreiben.

### 2.2.3 „GRÜNE CHEMIE IN ÖSTERREICH – SOLARE ENERGIEGEWINNUNG“

Standen am Vormittag des Symposiums stoffliche Aspekte der Grünen Chemie im Vordergrund, so widmeten sich die Vorträge am Nachmittag zunächst vor allem energetischen Fragen. Prof. Niyazi Serdar Sariciftci (Johannes Kepler Universität Linz) ging nach einem kurzen Rückblick auf die Geschichte der Sonnenenergiegewinnung in den USA um 1900 auf die unter Mitwirkung seiner Arbeitsgruppe entwickelten organischen Solarzellen ein, die auf dem Prinzip der fotoinduzierten Ladungsübertragung an konjugierten Polymeren beruhen. Den Vorteilen dieser Solarzellen (geringes Gewicht, vielseitige Anwendbarkeit, gute Rohstoffverfügbarkeit) stehen der im Vergleich zu anorganischen Halbleiterzellen geringere Wirkungsgrad (mit kommerziellen Zellen ist ein Wirkungsgrad von etwa 10% erreichbar) und die geringere Lebensdauer (etwa 3 Jahre) gegenüber. Sariciftci hob in seinem Vortrag besonders die Bedeutung der Frage der künftigen Energiespeicherung hervor. Nach seiner Einschätzung könnte Methanol eine Kernrolle als Energieträger in einem künftigen Energieszenario spielen, in dem Methanol durch photochemische Synthese aus dem „Abfallstoff“ Kohlendioxid und Wasser gewonnen wird.

### 2.2.4 „ENTWICKLUNGEN IN DER ENERGIESPEICHERUNG – PERSPEKTIVEN FÜR DIE GRÜNE CHEMIE IN ÖSTERREICH“

DI Karl-Peter Felberbauer (Joanneum Research FGmbH) widmete sich in seinem Vortrag den technischen Fragen künftiger Energiespeicherung. Dieser kommt eine Schlüsselrolle in der Energiepolitik zu, da sowohl das Energieangebot als auch der Bedarf diskontinuierlich anfallen und aufeinander nicht abgestimmt sind. Felberbauer beschrieb die Kenndaten (Energiedichte, Wirkungsgrad) der verschiedenen Speichermedien und stellte die Speichersysteme einander gegenüber. Er präsentierte auch die Ergebnisse des Berechnungsmodells „E-Store Austria“. Mit unterschiedlichen Annahmen für den Anteil erneuerbarer Energie ergibt sich ein Energiespeicherbedarf für Österreich zwischen 75 PJ/a (konventionell mit etwa 20%-Anteil fossiler Brennstoffe) gegenüber 65 bis 85 PJ/a (ausschließlich erneuerbar, je nach Annahme des Wachstums). Dieses Modell bildet eine Entscheidungsgrundlage für die Entwicklung einer möglichst effizienten Kombination aus den unterschiedlichen verfügbaren Speichertechnologien dar.

### 2.2.5 „PERSPEKTIVEN FÜR FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG“

Dr. Margit Haas (Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH) stellte in ihrem Vortrag die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft vor und zeigte Ansatzpunkte für die Förderung von Grüner Chemie auf. Wenngleich das Thema der Grünen Chemie in dem Förderprogramm derzeit keinen eigenen Schwerpunkt darstellt, werden insbesondere in den Schwerpunkten „Lebenswissenschaften“, „Material und Produktion“ und „Umwelt und Energie“ Nachhaltigkeitsaspekte besonders berücksichtigt. Als weitere Förderschienen nannte Haas „Intelligente Produkte“, „Neue Energien 2020“, „7. EU Rahmenprogramm Basisprogramm“, „COMET-K-Projekte“ und die Talentförderung.

### 2.2.6 PODIUMSDISKUSSION

Die Nachmittagsvorträge wurden durch eine Podiumsdiskussion ergänzt, zu der Axel Singhofen (Berater der Grünen im EU-Parlament) ein Einleitungsstatement gab. Die europäische Chemikalienverordnung REACH verfehlt nach seiner Einschätzung nicht nur das 1995 aufgestellte Generationenziel - persistente organische Schadstoffe binnen 25 Jahren zu eliminieren - die Verordnung wäre, selbst wenn sie perfekt umgesetzt würde, keine Grüne Chemie: denn Chemie unter REACH beruhe nach wie vor auf fossilen Rohstoffen, benötigt sehr viel Prozessenergie, betreibt störanfällige Anlagen, die große Mengen an Sondermüll produzieren und noch wenig Recycling durchführen. Singhofen plädierte demgegenüber für eine „ökologonomische“ Chemie, in der nicht am „Kapital gezehrt, sondern von den Zinsen gelebt“ werde. Schlüsselfrage werde die Internalisierung der wahren Kosten sein, von deren Lösung der regulatorische Sektor nach wie vor weit entfernt ist.

In der Diskussion wurde diese Meinung teilweise relativiert mit dem Hinweis darauf, dass die Nachhaltigkeit besonders in der EU bereits in viele Politikbereiche integriert ist. Einhelligkeit bestand allerdings darin, dass der Paradigmenwechsel zu einer Grünen Chemie noch längst nicht vollzogen ist, vor dem Hintergrund der Ressourcenproblematik jedoch unumgänglich ist. Insbesondere in Österreich bestehe ein „Grünes Potenzial“, das genutzt werden sollte. Ein verstärktes Gewicht auf Grüner Chemie könnte auch Europa als Standort künftiger Chemieproduktion stärken, da diese Produktion sehr umweltschonend betrieben werden könnte. Europa könnte im Chemiebereich eine Entwicklung nehmen wie Japan in der Elektronikindustrie.

Eine Voraussetzung dafür wäre die verstärkte und effizientere Fokussierung der Fördermittel auf Forschung und Entwicklung in der Grünen Chemie. Notwendig dafür wäre die Schaffung eines eigenen Markennamens „Grüne Chemie“ im Rahmen eines entsprechend ausgerichteten Forschungskonzepts.

Eine weitere wesentliche Voraussetzung wäre die stärkere Verankerung der Grünen Chemie im Bereich der Bildung. Positiv wurde festgestellt, dass unter den Studierenden der Verfahrenstechnik ein großes Interesse an innovativen Ansätzen der Grünen Chemie besteht. Eine intensivere Zusammenarbeit der zuständigen politischen und administrativen Institutionen wurde angeregt.

Es wurde auch darauf hingewiesen, dass bereits heute Ansätze einer Grünen Chemie in der traditionellen Chemieindustrie existieren, beispielsweise die Verwendung zahlreicher Naturstoffe wie Kautschuk, Zellulose, Glucose, etc.. Ein großes Entwicklungspotential könnte in Rohstoffen, wie Holz oder Chitin liegen, die noch wenig stofflich genutzt werden.

Auch die Entwicklung geeigneter Dämmstoffe, die maßgeblich zur Energieeinsparung beitragen, wurde angesprochen, wobei allerdings die verwendeten Dämmmaterialien hinsichtlich ihrer ökologischen Eigenschaften kritisch zu prüfen sind.

In der Diskussion wurde schließlich auch die Frage nach der Entwicklung geeigneter Kriterien zur quantitativen Beschreibung einer Grünen Chemie aufgeworfen.



Bei aller Euphorie über die Grüne Chemie dürfe jedoch die Frage „was wird wofür produziert“ nicht außer Acht gelassen werden: Trinkwasser in Flaschen ist in Österreich wenig sinnvoll, selbst wenn die Flaschen „grün“ produziert werden.

#### 2.2.7 ZUSAMMENFASSUNG

In seiner Zusammenfassung meinte Dr. Thomas Jakl, dass die traditionelle Chemiepolitik Chemikalien vor allem als Teil des Problems sehe, z.B. indem sie sich auf die Identifizierung von Problemstoffen konzentriert. Die Aufgabe einer Grünen Chemiepolitik sollte darin gesehen werden, Chemikalien und deren Anwendung als Teil der Lösung zu positionieren. Die Verwaltung kann dazu beitragen, Entwicklungspotenziale zu identifizieren und ein geeignetes - auch begriffliches - Umfeld zu schaffen (Stichwort Branding).

Jakl nannte als mögliche Folgeaktivitäten:

- Bessere Vernetzung der Akteure, z.B. durch die Bildung einer eigenen Gesprächs- und Diskussionsplattform
- Bestandsaufnahme der Grünen Chemie in Österreich (z.B. Erhebung, initiiert durch das BMLFUW)
- Entwicklung eines eigenen Markennamens „Grüne Chemie in Österreich“ gemeinsam mit Vertreter und Vertreterinnen aus Wissenschaft und Wirtschaft
- Kooperation mit dem deutschen Umweltbundesamt bei der Anwendung des dort entwickelten Bewertungssystems.

### 3 PROJEKT GRÜNE CHEMIE MIT DER FACHHOCHSCHULE TECHNIKUM WIEN

**SEIT DEM JAHR 2011**, das von der UNESCO zum „Internationalen Jahr der Chemie“ ausgerufen wurde, befasst sich das BMLFUW mit der Analyse des Entwicklungsstandes der Grünen Chemie in Österreich.

Im Rahmen eines Symposions über Grüne Chemie wurde in einer Reihe von Fachvorträgen der Stand der österreichischen Forschung und Wirtschaft in diesem Bereich beleuchtet und Perspektiven für künftige Aktivitäten aufgezeigt. Eine Zusammenfassung des Symposions findet sich im Anhang, wichtige Schlussfolgerungen und Anregungen sind nachstehend zusammengefasst:

- Erstellung einer Bestandsaufnahme der Grünen Chemie in Österreich
- Bessere Vernetzung der Akteure durch die Bildung einer eigenen Gesprächs- und Diskussionsplattform zur Grünen Chemie in Österreich
- Entwicklung geeigneter Kriterien zur Bewertung von Projekten zur Grünen Chemie in Zusammenarbeit mit anderen Institutionen wie etwa dem deutschen Umweltbundesamt
- Entwicklung eines eigenen Markennamens „Grüne Chemie in Österreich“ im Rahmen eines entsprechend ausgerichteten Forschungskonzepts
- Verstärkte Verankerung der Grünen Chemie im Bereich der Bildung und intensivere Zusammenarbeit der zuständigen Institutionen
- Erschließung von nachwachsenden Rohstoffquellen, die derzeit ein geringes stoffliches Nutzungspotenzial in der chemischen Industrie haben und keine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion darstellen (etwa Holz oder Chitin)
- Bereitstellung und Fokussierung von Fördermitteln auf Forschung und Entwicklung der Grünen Chemie in Österreich

Ausgehend von diesen Schlussfolgerungen führt das BMLFUW in Zusammenarbeit mit dem Technikum Wien das Projekt GRÜNE CHEMIE IN ÖSTERREICH durch. Im Rahmen des Master-Studienganges „Technisches Umweltmanagement und Ökotoxikologie“ werden Lehrveranstaltungen zur Grünen Chemie angeboten. Im Zuge von Masterarbeiten aus diesem Themengebiet sollen fachliche Diskussionsgrundlagen für die konkrete Umsetzung der oben genannten Anregungen und Vorschläge erarbeitet werden.

Zusammenfassungen der Ergebnisse dieser Arbeiten finden sich in den weiteren Abschnitten des vorliegenden Papiers. Die vollständigen Masterarbeiten können auch elektronisch als pdf-Dateien zur Verfügung gestellt werden. Anfragen sind unter Angabe des/der AutorInnen und des Titels zu richten an [abt.55@bmlfuw.gv.at](mailto:abt.55@bmlfuw.gv.at).

## 4 ERKUNDUNGSPROJEKT ÜBER DEN EINSATZ INNOVATIVER CHEMIE IN RESSOURCENSPARENDEN TECHNOLOGIEN

MASTERARBEIT VON HERRN F. WOSETSCHLÄGER AM TECHNIKUM WIEN (2016); AUSZUG AUS KAPITEL 9 (CONCLUSION)

Für die vorliegende Arbeit wurden Projekte recherchiert, die sich mit „grüner Chemie im weiteren Sinn“ befassen. Darunter werden solche Projekte verstanden, die den Einsatz der Chemie in innovativen Technologien verfolgen, die während ihrer Nutzungsphase zu einer energetischen und/oder stofflichen Ressourceneinsparung führen. Die Arbeit befasst sich insbesondere mit Technologien zur nachhaltigen Energiegewinnung und Energiespeicherung, zur Wärmeisolierung, Oberflächenbeschichtung und zum stofflichen Recycling. Die in dieser Arbeit beschriebenen Projekte wurden nach den in Kapitel 2 (Methoden) definierten Kriterien ausgewählt.

- **Innovationspotenzial der betreffenden ressourcensparenden Technologie:** vor diesem Hintergrund wurden nachhaltige Projekte aus folgenden Bereichen ausgewählt:

- Energiegewinnung
- Energiespeicherung
- Wärmeisolierung
- Oberflächenbeschichtung
- Stoffliches Recycling

Diese Auswahl wurde vor allem im Hinblick auf die aktuelle Problematik des Klimaschutzes und der Kreislaufwirtschaft getroffen. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

- **Österreichischer Bezug:** Es wurden mit einer Ausnahme ausschließlich Projekte ausgewählt, bei denen österreichische Betriebe/Institutionen die leitende oder zumindest eine führende Rolle spielten. Die Ausnahme betraf das Projekt AEROCOINS, das am Zentrum für angewandte Energieforschung (ZAE) in Bayern durchgeführt wurde.
- **Aktualität:** Es wurden Projekte ausgewählt, die in den letzten etwa fünf Jahren durchgeführt oder begonnen wurden.
- **Informationszugang:** Es wurden bevorzugt solche Projekte ausgewählt, die ganz oder teilweise abgeschlossen sind und für die auch entsprechende Zwischen- oder Endberichte vorlagen.
- **Projekterfahrungen:** in vielen Fällen sind die konkreten Erfahrungen mit der Durchführung, Umsetzbarkeit, Marktfähigkeit der einzelnen Technologien in den Berichten dargestellt. Ergänzend wurde ein Fragenkatalog erstellt und den Projektverantwortlichen im Rahmen von Interviews vorgelegt, um fehlende Informationen zu erfassen. Die jeweiligen Inhalte der Projekte wurden mit Hilfe von Projektendberichten, Fragebögen und Interviews recherchiert.

Die Projekte sind mit den wichtigsten Ergebnissen und Hinweisen auf mögliche Folgearbeiten in der folgenden Tabelle nochmals zusammengestellt.

#### **4.1 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEM „ERKUNDUNGSPROJEKT ÜBER DEN EINSATZ INNOVATIVER CHEMIE IN RESSOURCENSPPARENDE TECHNOLOGIEN“**

##### **4.1.1 SIMPLICIS**

###### **Projektbeschreibung**

Im Projekt wurde eine flexible Dünnschichtsolarzelle auf Basis von Halbleitern (Kupfer, Indium, Germanium, Schwefel und Selen), sowie ein Produktionsprozess zur wirtschaftlichen Herstellung im Rolle-zu-Rolle-Verfahren entwickelt.

###### **Ergebnisse und Follow-up**

Die Projektziele wurden erfüllt. Der erfolgreiche Einsatz einer Edelstahlfolie als Substrat bildet eine gute Basis für eine wirtschaftliche Rolle-zu-Rolle-Herstellung von flexiblen CIGS-Solarzellen sowie die Erreichung hoher Wirkungsgrade ( $\geq 12\%$ ).

Der Ersatz von toxischem Cadmiumsulfid durch Zinkmagnesiumoxid führt zu Einsparungen in der Produktion, da geringere Sicherheitsvorkehrungen und geringere Entsorgungskosten zu erwarten sind. Das österreichische Unternehmen Sunplugged GmbH verfolgt das langfristige Ziel, kundenorientiert flexible Solarmodule herzustellen. Die Forschungs- und Entwicklungsziele sind eine Erhöhung der Wirkungsgrade, Reduktion der Herstellkosten sowie die Durchführung von innovativen Demonstrationsprojekten.

##### **4.1.2 SOLPOL 1**

###### **Projektbeschreibung**

Inhalt dieses Projekts war die Schaffung von wissenschaftlichen und methodischen Voraussetzungen für die Entwicklung von Solarkollektoren in Kunststoffbauweise und die Abschätzung der ökonomischen und ökologischen Folgewirkungen.

###### **Ergebnisse und Follow-up**

Die im Projekt erarbeiteten Erkenntnisse dienen als Basis für weitere Forschungstätigkeiten der involvierten wissenschaftlichen Institutionen in den Projekten SolPol 2 und SolPol 4/5. Das Projekt zeigt, dass die Entwicklung von Kunststoffkollektoren folgende Vorteile bringt:

- hoher Vorfertigungsgrad und optimierte Funktionsintegration
- Reduzierung des Kollektorgewichts und einfache Montage (plug & function)
- hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer
- attraktiveres Design
- reduzierte Kosten/Preise bzw. besseres Kosten/Nutzen-Verhältnis

#### 4.1.3 SOLPOL 2

##### **Projektbeschreibung**

Im Projekt wurden neuartige Polyolefin-Compounds auf Basis von kommerziell erhältlichem Polypropylen entwickelt und getestet. Die Entwicklung von langzeitbeständigen, kostengünstigen Kunststoffen für Solarkollektoren führt zu einem weiteren Ausbau der Solarthermie und somit zur Erhöhung der Sonnenenergienutzung.

##### **Ergebnisse und Follow-up**

Im dem Projekt wurden neuartige Polyolefin-Compounds auf Basis von Polyolefinen entwickelt und getestet. Die Entwicklung von langzeitbeständigen, kostengünstigen Kunststoffen für Solarkollektoren soll zu einem weiteren Ausbau der Solarthermie und somit zur Erhöhung der Sonnenenergienutzung führen. Der Einsatz auf dem europäischen und insbesondere österreichischen Markt für die solare Warmwasseraufbereitung und Raumheizung, wird in dem Folgeprojekt SolPol 4/5 (Laufzeit 2014-2018) entwickelt, das bereits genehmigt wurde.

#### 4.1.4 STOREITUP

##### **Projektbeschreibung**

In dem Projekt wurden 70 Polymere auf ihre Eignung als Phasenwechselmaterialien (PCM) untersucht. Es fanden sich sechs als PCM potentiell geeignete Polymere. Die Projektergebnisse zeigen die Einsatzmöglichkeit von marktgängigen Polymeren als PCM und somit deren Potenzial für eine nachhaltige Energienutzung.

##### **Ergebnisse und Follow-up**

In dem Projekt konnten sechs als PCM potentiell geeignete Polymere identifiziert werden. Das Konzept mit Wärmeleitstrukturen aus Aluminium-Finnen und gut fließendem HDPE (High Density Polyethylen) bildete das optimale Design. Es konnte gezeigt werden, dass HDPE eine Lebensdauer von mindestens zehn Jahren erreicht. Die Projektergebnisse zeigen die Einsatzmöglichkeit von marktgängigen Polymeren als PCM und somit deren Potenzial für eine nachhaltige Energienutzung. Zur weiteren Erforschung von PCM-Polymeren wurde das Projekt StoreITupIF ins Leben gerufen, das vom Austrian Institute of Technology in Kooperation mit der Montanuniversität in Leoben, Geba Kunststoffcompounds GmbH, Gruber & Kaja Tech Metals GmbH, LKR Leichtmetallzentrum Ranshofen GmbH durchgeführt wird. Geplant ist unter anderem die Installation einer Pilotanlage im Unternehmen Leichtmetallzentrum Ranshofen GmbH. Eine zweite Pilotanlage soll bei Geba Kunststoffcompounds GmbH zur Abwärmenutzung bei der Kunststoffextrusion erbaut werden. Es wird damit gerechnet, dass die Technologie der polymerbasierten PCM in 1-3 Jahren am Markt verfügbar sein wird.

#### 4.1.5 FLOWTCS

##### **Projektbeschreibung**

Im Projekt wurde die Wärmerückgewinnung von zuvor gespeicherter Solarwärme durch Adsorption von Wasserdampf an einem granularen, thermochemischen

Speichermaterial (Zeolith) untersucht. Ziel war es, ein möglichst kostengünstiges, umweltverträgliches Material (Zeolith mit Salzimprägnierung) zu entwickeln sowie ein Verfahrenskonzept, das eine hohe Ausbeute der gespeicherten Enthalpie gewährleistet.

#### **Ergebnisse und Follow-up**

In dem Projekt wurden natürliche, mit LiCl/MgSO<sub>4</sub> und MgCl<sub>2</sub>/MgSO<sub>4</sub> salzimprägnierte Zeolithe untersucht, die gegenüber synthetischen Zeolithen einen Vorteil bringen, da sie bei der Herstellung weniger Energie benötigen und somit kostengünstiger sind. Bei der Auswahl der Salze wurde auf Umweltverträglichkeit geachtet (Vermeidung von Bleisalzen und Zinksalzen). Die Zyklenbeständigkeit der imprägnierten Zeolithe ist sehr gut (> 10000), jene der Salze jedoch noch zu niedrig (ca. 10-100). Die vom AIT und dem Unternehmen IPUS entwickelte Technologie soll in etwa 5-7 Jahren am Markt verfügbar sein. Die Verfahrenstechnik zur Entwicklung von thermochemischen Wärmespeichern befindet sich derzeit in einer Phase zwischen Grundlagenforschung und anwendungsorientierter Forschung. Ein Folgeprojekt, Dual Desorption, beschäftigt sich vertiefend mit dem Vorgang der Desorption.

#### 4.1.6 COMTES

##### **Projektbeschreibung**

Im Fokus stand die Entwicklung von drei neuartigen Systemen, die zur Speicherung von solarer Wärme dienen.

Die drei Entwicklungen (Linie A, B, C), die parallel in internationaler Zusammenarbeit durchgeführt wurden, basieren auf thermochemischer Wärmespeicherung (feste und flüssige Sorption) und Latentwärmespeicherung (Phasenwechselmaterialien).

##### **Ergebnisse und Follow-up**

Das Projekt des Forschungsunternehmens AEE INTEC verfolgte drei Entwicklungslinien für eine innovative Wärmespeicherung (durch feste Sorption, durch flüssige Sorption und durch Phasenwechselmaterialien). Zu allen drei Technologien konnten erfolgreich Demonstrationsanlagen errichtet werden, deren kontinuierliche Weiterentwicklung zur Erhöhung der Marktreife beiträgt. Zukünftig soll eine Wärmespeicherung von wenigen Stunden bis hin zur saisonalen Wärmespeicherung möglich sein.

#### 4.1.7 CHEMLIB

##### **Projektbeschreibung**

In diesem Projekt ging es um die Weiterentwicklung der Zellchemie von Lithium-Ionen-Speichern im Hinblick auf ein zukünftiges großes Nutzungspotenzial im Bereich automotiver Anwendungen. Die Förderung der Elektromobilität trägt einen wichtigen Teil zur Reduktion von Treibhausgasen und zur Reduktion der Feinstaubbelastung durch den Straßenverkehr bei.

### **Ergebnisse und Follow-up**

Im Bereich der Anodenaktivmaterialien konnte ein deutlicher Fortschritt erzielt werden, insbesondere in Bezug auf die Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien.

Um weitere Erkenntnisse über die Sicherheit einer Zelle bzw. eines Zellverbands zu gewinnen, wird das Unternehmen Magna Steyr Fahrzeugtechnik in einem Folgeprojekt Lebensdauertests durchführen. Zur Verbesserung der Energie- und Leistungsdichte bedarf es ebenfalls weiterer Forschung, um ein hochkapazitives Kathodenmaterial zu entwickeln.

#### 4.1.8 GLASSCHAUMGRANULAT

### **Projektbeschreibung**

Im vorliegenden Projekt wurden mechanische und thermische Eigenschaften von Glasschaumgranulat (GSG) untersucht. Dieser Baustoff wird aus recyceltem Altglas hergestellt. GSG kann wegen seiner geringen Wärmeleitfähigkeit als Dämmstoff eingesetzt werden und aufgrund seiner guten mechanischen Eigenschaften als lastabtragend eingesetzt werden.

### **Ergebnisse und Follow-up**

Im vorliegenden Kooperationsprojekt der TU Wien mit der Universität Innsbruck konnten gesicherte Erkenntnisse über mechanische und thermische Eigenschaften von Glasschaumgranulat (GSG) gewonnen werden. Aufgrund von teilweise großen Streuungen der Messwerte, speziell in Bezug auf das Last- Verformungsverhalten, sollen zukünftige Forschungsvorhaben die Kontinuität der Qualität im Produktionsprozess sicherstellen. Im Rahmen des FFG Projekts store4grid soll insbesondere die Eignung von GSG als Wärmedämmung in unterirdischen Wärmespeichern erforscht werden. Dabei wird der Einfluss der Feuchte auf die Wärmeleitfähigkeit untersucht.

#### 4.1.9 POLY2FACADE

### **Projektbeschreibung**

Im Projekt wurden innovative, thermisch selbst regulierende Solarfassaden durch den Einsatz funktionaler Polymere entwickelt. Ziel war die Entwicklung und die Anwendungsdemonstration eines Fassadenkollektors, mit dem die entstehenden hohen Temperaturen im Kollektor vermieden werden können. Zu diesem Zweck sollten funktionale Polymere (Phasenwechselmaterialien und thermotrope Schichten) zum Einsatz kommen.

### **Ergebnisse und Follow-up**

Das Projekt der Montanuniversität Leoben liefert einen Beitrag zur Weiterentwicklung von Solarkollektoren. Die Zwischenspeicherung von Wärme mittels Phasenwechselmaterialien kann auch für andere Branchen (z.B. im Automobilbau) von Interesse sein. Am Hans Höllwarth-Institut wird zukünftig eine modifizierte Bauform des PCM-Kollektors entwickelt. Auch die entwickelten thermotropen Materialien sind von großem wirtschaftlichen Interesse, da sie eine kostengünstige Fertigung von

Kunststoffsolarkollektoren ermöglichen bzw. eine elegante Lösung für die Überhitzungsschutzproblematik bieten. Im Projekt konnte eine grundlegend langzeitstabile Funktion der thermotropen Verglasung nachgewiesen werden, die auch für Sonnenschutzverglasungen von Interesse ist. Zielgruppen für die Projektergebnisse sind Professionisten aus der Baubranche (Architekten, Fassadenbauer, Innenraumgestalter, etc.).

#### 4.1.10 TISS COATING

##### **Projektbeschreibung**

Im Rahmen des Subtask C des Task 39 (SHC - Solar Heating and Cooling) der IEA (International Energy Agency), der von der Johannes Kepler Universität in Linz geleitet wurde, wurde eine Beschichtung für polymerbasierte Solarkollektoren entwickelt. Die Beschichtung erfüllt einerseits die Aufgabe, durch Farbgebung den optischen Ansprüchen gerecht zu werden, andererseits das Ziel, die Reinhaltung der Oberfläche zu gewährleisten.

##### **Ergebnisse und Follow-up**

In diesem Projekt der Johannes Kepler Universität Linz wurde gezeigt, dass die entwickelten POSS-Moleküle eine gute Beschichtung der polymerbasierten Solarkollektoren mit den untersuchten Pigmenten erlauben. Die POSS Moleküle erwiesen sich gegenüber UV, Wärme und Witterung als beständig und sind damit geeignete Kandidaten für eine industrielle Fertigung. Über eine Entwicklung zur Marktreife wird in dem Projekt jedoch keine Aussage getroffen.

#### 4.1.11 PHOTOVOLTAIK RECYCLING

##### **Projektbeschreibung**

Im Rahmen des Projekts wurden Muster chemisch und physikalisch vernetzender Einbettungsmaterialien und Rückseitenfolien von Photovoltaik-Modulen charakterisiert, um das Recyclingpotenzial dieser Materialien abzuschätzen.

##### **Ergebnisse und Follow-up**

Das Unternehmen NGR erstellte im Rahmen dieses Projekts einen Überblick über das Potenzial für das Recycling von PV-Anlagen durch Testen von kommerziell erhältlichen Musterproben. Das langfristige Ziel ist es, weitere Entwicklungen am PV-Markt zu beobachten um das Recycling von PV-Anlagen weiter voranzutreiben. Aus dem Projektbericht geht hervor, dass die Entwicklungen derzeit jedoch vor allem am chinesischen Markt weiter vorangetrieben werden.

#### 4.1.12 LIBRES

##### **Projektbeschreibung**

Im Projekt wurde ein Recyclingprozess für Lithium-Ionen-Energiespeichersysteme (Li-Ion ESS) aus Traktionssystemen von Elektrofahrzeugen entwickelt. In Österreich gab es zuvor noch kein Recyclingsystem für Li-Ion ESS, weshalb sämtliche für das Recycling vorgesehenen ESS nach Frankreich, Deutschland oder die Niederlande exportiert wurden.



### **Ergebnisse und Follow-up**

Die Herausforderung liegt derzeit in der Kosteneffizienz des Prozesses, da der zu erzielende Profit die Prozesskosten nicht abdeckt. Die im Projekt LIBRES entwickelten Konzepte werden in den Folgeprojekten RE2BA und EMPROVE weiterentwickelt. Das Projekt RE2BA wird im Zeitrahmen von Juli 2014 bis Juni 2016 von der Montanuniversität Leoben in Zusammenarbeit mit Saubermacher Dienstleistungs AG, AVL List GmbH, KTM AG und Smart Power durchgeführt. Ein wesentlicher Fokus gilt der Wiederverwendung von Modulen, die im LIBRES Prozess demontiert wurden. Ein weiteres Ziel im Projekt RE2BA liegt in darin einen Closed Loop Prozess im Lebenszyklus von ESS zu schaffen. Um in der EOL-Phase wirtschaftliche Demontageprozesse zu schaffen, sollen Erkenntnisse in die Konstruktion von ESS (Energiespeichersysteme) Herstellern einfließen. Dies soll in weiterer Folge zu einer Normung in der konstruktiven Ausgestaltung von ESS führen.

#### 4.1.13 RECYCLING VON BIOPOLYMEREN

### **Projektbeschreibung**

In diesem laufenden Forschungsprojekt geht es um mechanisches Recycling von technischen Biopolymeren und Hybridpolymeren. Hybridpolymere sind Mischungen von Kunststoffen petrochemischen und biobasierten Ursprungs. Ziel des Forschungsprojekts ist es, die Eignung einzelner Biopolymere für mechanisches Recycling zu untersuchen sowie die werkstofflichen Eigenschaften dieser Polymere zu charakterisieren und zu optimieren.

### **Ergebnisse und Follow-up**

Das laufende Forschungsprojekt zeigt, dass das Potenzial für mechanisches Recycling der wichtigsten Biopolymere vorhanden ist. Gleichzeitig gibt es das Potenzial für werkstoffliche Optimierungen. Die untersuchten Materialien sind Polybutylensuccinat, Polytrimethylenterephthalat, Celluloseacetobutyrat, Polyhydroxyalkanoat und Bio-Polyamid. Ihre häufigen Anwendungen resultieren in einem zukünftig hohen Recyclingbedarf. Die frühzeitige Erprobung der Recyclingfähigkeit für technische Biopolymere ist ein wichtiger Schritt in Richtung Ressourceneffizienz.

Kritisch anzumerken ist, dass bei den meisten Projekten ökotoxikologische bzw. toxikologische Fragestellungen, soweit sie nicht im primären Projektziel enthalten waren (Energie und/oder Ressourceneinsparung), nicht ausdrücklich betrachtet wurden. Positiv hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang das Projekt SimpliCIS (Hocheffiziente Dünnschichtsolarzellen für Gebäude- und Geräteintegration). Hier wurde Cadmium-Sulfid in der Pufferschicht durch Zink-Magnesium-Oxid ersetzt. Cadmium gilt als umwelt- und gesundheitsgefährdender Stoff. Zink-Magnesium-Oxid hat hohes Potenzial für eine ähnlich gute Performance. Eine systematische Berücksichtigung dieser Aspekte wie auch der Frage der Rezyklierbarkeit bei der Darstellung der einzelnen Projekte wäre aus Sicht der europäischen Chemikalien- und Stoffkreislaufpolitik jedenfalls zu begrüßen. Für eine ökologische Bewertung der in den Projekten beschriebenen Technologien müsste eine Ökobilanzierung durchgeführt werden. Dazu wären allerdings mehr Daten in Bezug auf den Energieeinsatz, die Produktlebensdauer sowie die Rezyklierbarkeit nötig. Diese sind jedoch in den meisten Forschungsprojekten noch nicht zu erheben.

Eine wesentliche Herausforderung für das Projekt stellte die Informationsbeschaffung dar. Es konnten nicht alle der ursprünglich ausgewählten Projekte abgebildet werden, da einige noch nicht abgeschlossen sind und Informationen zu nicht abgeschlossenen Projekten seitens der

Forschungsinstitute und Fördergeber in der Regel nicht weitergegeben werden. Weitere Einschränkungen bildete die Zurückhaltung vertraulicher Informationen bei Industrieprojekten. Die Arbeit musste sich daher weitgehend auf abgeschlossene Projekte, deren Ergebnisberichte öffentlich zugänglich sind, beschränken. Mitunter werden die Angaben zu chemischen Stoffen bewusst vage gehalten und konnten daher in dieser Arbeit nicht genauer angegeben werden. Die Erreichbarkeit akademischer Institutionen gestaltete sich individuell sehr unterschiedlich. In manchen Fällen waren kompetente Ansprechpartner leicht erreichbar und sehr aufgeschlossen, in anderen Fällen war es auch nach mehrmaligen Versuchen nicht möglich, einen zuständigen Projektnehmer persönlich zu erreichen bzw. eine Antwort per E-Mail zu erhalten. Als positives Beispiel ist der Klima- und Energiefonds zu nennen, auf dessen Website eine Projektberichtsdatenbank eingerichtet ist. Auch telefonische oder schriftliche Anfragen wurden stets umgehend beantwortet. Der Wissenschaftsfonds (FWF) sowie das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) führen ebenso eine gute Übersicht über Forschungsprojekte auf ihrer Website.

Einen Schwerpunkt in der österreichischen Forschungslandschaft bilden Projekte mit Bezug zu erneuerbaren Energien. Dabei spielt vor allem die Entwicklung neuartiger Polymere in Verbindung mit Photovoltaik, Solarthermie und Energiespeicherung eine große Rolle. Erfolge konnten bereits durch den Bau und Betrieb von Demonstrationsanlagen unter Beweis gestellt werden. Durch diese Entwicklungen soll die Effizienz in der Nutzung erneuerbarer Energietechnologien erhöht und gleichzeitig ökonomischer gestaltet werden.

Die Suche nach innovativen Projekten, die sich primär mit chemischen Methoden für ein stoffliches Recycling befassen, gestaltete sich deutlich schwieriger. In den meisten Projekten, die sich primär mit der energetischen Ressourceneinsparung beschäftigten, wurde auf die Frage der Rezyklierbarkeit der eingesetzten Materialien nicht eingegangen.

Wie einleitend schon erwähnt, konnte sich die vorliegende Arbeit nur mit einer Auswahl von Projekten aus dem Bereich der energetischen und stofflichen Ressourceneinsparung befassen. Eine systematische Erhebung solcher Projekte mit dem Ziel einer möglichst vollständigen und aktuellen Erfassung wäre zur besseren Vernetzung aller involvierten Akteure sehr wertvoll. Aus Sicht des Autors wäre die Schaffung und Pflege einer einschlägigen Projektdatenbank für den Bereich der grünen Chemie (im engeren und weiteren Sinn) zu empfehlen. Dies könnte insbesondere für kleinere Unternehmen und Forschungsgruppen, die innovative Ansätze verfolgen, eine attraktive Möglichkeit der Darstellung ihrer Aktivitäten bieten.

## 5 ERKUNDUNGSPROJEKT ÜBER PROJEKTE DER GRÜNEN CHEMIE IN ÖSTERREICH

**MASTERARBEIT VON HERRN G. BROSCHE AM TECHNIKUM WIEN (2016)  
AUSZUG AUS DEN KAPITELN 5 UND 6 (ZUSAMMENFASSUNG UND  
DISKUSSION)**

### 5.1 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene, innovative Projekte der Grünen Chemie in Österreich erhoben und auf Basis der zur Verfügung stehenden Informationen qualitativ bewertet. Die folgende Zusammenstellung gibt einen kurzen Überblick über diese Projekte.

#### 5.1.1 BIODERIVATE AUS ALGEN - CO<sub>2</sub> USE

Projektdauer: 2012 – 2015

##### **Kurzbeschreibung**

Algen werden mit CO<sub>2</sub>, das aus dem Kraftwerk Dürnrohr abgeschieden wird, genährt. Der spezielle Algenstamm bildet als Energiespeicher Polyhydroxybuttersäure (PHB), das ähnliche Eigenschaften wie Polypropylen aufweist.

#### 5.1.2 VEREDELUNG VON GLYZERIN ZU MILCHSÄURE

Projektdauer: Seit 2012

##### **Kurzbeschreibung**

Glyzerin fällt als Nebenprodukt bei der Fettsäure- und Biotreibstoffproduktion an. Diese wird durch katalytische Dehydrogenierung in Milchsäure umgewandelt und daraus Polymilchsäure, hergestellt, die als Biokunststoff Verwendung findet.

#### 5.1.3 ÖKOLOGISCHE BLEICHVERFAHREN IN DER DENIM-INDUSTRIE

Projektdauer: Seit 2014

##### **Kurzbeschreibung**

Ziel von Acticell ist die Entwicklung von biotechnologischen Verfahren für die Textilindustrie z.B. Enzymherstellung für die Jeansbleiche.

#### 5.1.4 PHABULOUS PHILAMENTS

Projektdauer: Seit 2015

**Kurzbeschreibung**

Das Unternehmen Saphium Biotechnologies beschäftigt sich mit der Herstellung von Bioplastik mit Hilfe von speziellen Mikroben, die aus CO<sub>2</sub> und Wasserstoff Polyhydroxyalkanoaten als Speicherstoff bilden.

5.1.5 PEF – FURANDICARBONSÄURE ALS TEREPHTALSÄUREERSATZ

Projektdauer: Seit 2012

**Kurzbeschreibung**

Neben anderen Produkten und Technologien im Bereich der weißen Biotechnologie entwickelt das Unternehmen Annikki u.a. Furanderivate aus Zuckern, die als Ersatz der Terephtalsäure in PET-Flaschen eingesetzt werden.

5.1.6 LIGNOREFINERY II

Projektdauer: 2014 – 2017

**Kurzbeschreibung**

Verholzte Biomasse wird aufgeschlossen in lösliche Zucker, Restfasern und eine Ligninfraktion, die als Rohstoffe zur weiteren Verarbeitung eingesetzt werden. Aus den löslichen Zuckern können durch mikrobielle Fermentation Milchsäure und Itaconsäure gewonnen werden. Lignin bietet ebenfalls Verwertungsmöglichkeiten u.a. für die Herstellung von Aerogelen, die beispielsweise als Trägermedium für Katalysatoren eingesetzt werden.

5.1.7 GREEN2GREEN

Projektdauer: Seit 2015

**Kurzbeschreibung**

Das Projekt Green2green beschäftigt sich mit der Entwicklung von Verbundwerkstoffen aus Hanf als alleiniger Rohstoffquelle für Bauteile von Kleinwindkraftanlagen.

5.1.8 CHEM21

Projektdauer: 01.10.2012-30.09.2016

**Kurzbeschreibung**

Chem21 ist Europas größte öffentlich-private Kooperation und ist der Entwicklung nachhaltiger pharmazeutischer Produkte gewidmet. Dafür werden biotechnologische Verfahren in die Produktionsprozesse eingeführt.

5.1.9 BIONEXGEN

Projektdauer: 01.10.2012-30.09.2016

**Kurzbeschreibung**

BIONEXGEN arbeitet an der nächsten Generation ökoeffizienter Biokatalysatoren für die Anwendung in der chemischen Industrie.

5.1.10 IEA BIOENERGIEPROGRAMM 2010-2012 TASK 42: BIORAFFINERIEN

Projektdauer: 01.10.2012-30.09.2016

**Kurzbeschreibung**

Ziel ist die Analyse und Verbreitung von Bioraffineriekonzepten und Wertschöpfungsketten. Im Rahmen der internationalen Kooperation von insgesamt 11 Ländern leistet Österreich seinen Beitrag für die Entwicklung nachhaltiger Zukunftskonzepte.

5.1.11 BIORAFFINERIE ANALYTIK

Projektdauer: 01.12.2012-30.11.2016

**Kurzbeschreibung**

Die BOKU entwickelt in Zusammenarbeit mit BASF Ludwigshafen Instrumente für die Chemieanalytik, die den speziellen Anforderungen einer Bioraffinerie gerecht werden sollen. Sie werden für die Steuerung von Bioraffinerien benötigt.

5.1.12 AUTOMATION VON PROZESSENTWICKLUNG IM UP AND DOWNSTREAM VON BIOPROZESSEN

Projektdauer: 01.04.2014-31.03.2017

**Kurzbeschreibung**

Die Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Hochdurchsatzmethoden (HTS), Miniaturisierung von Downstreamprozessen (Produktaufbereitung), Zellaufschluss, Produktprimärreinigung und Präzipitation. Außerdem wird versucht, eine Prozessentwicklungsplattform, zur Verbindung von HTS im upstream und im downstream Bereich zu entwickeln.

5.1.13 ENTWICKLUNG MIKROBIOLOGISCHER BIORAFFINERIEKONZEPTE

Projektdauer: 01.05.2016-30.04.2019

### **Kurzbeschreibung**

Im Rahmen dieses Projektes werden Qualifizierungslehrgänge zum Thema Bioraffinerien angeboten. Dadurch soll der mittlerweile sehr groß gewordene Wissensschatz über das Spektrum an Ausgangsstoffen, Produkten und Mikroorganismen wie Algen, Archaea, Bakterien und Pilzen, vermittelt werden.

#### 5.1.14 AMINOMAX

Projektdauer: 1.02.2014 – 01.02.2015

### **Kurzbeschreibung**

Im Rahmen des Projektes „Aminomax“ werden Möglichkeiten zur Steigerung der Aminosäureausbeute untersucht. Aufbauend auf den Erfahrungen, die seit 2009 in der Fabrik in Utzenaich gemacht wurden, wird eine Erhöhung der Ausbeute an freien Aminosäuren, welche den größten Deckungsbeitrag liefern, angestrebt

#### 5.1.15 GANZHEITLICHE NUTZUNG VON QUINOA

Projektdauer: 1.02.2014 – 01.02.2015

### **Kurzbeschreibung**

Bei dem Projekt, das die ganzheitliche Nutzung der in Österreich gut kultivierbaren Pflanze Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) als Ziel hatte, lag der Forschungsschwerpunkt auf der Gewinnung hochwertiger Feinchemikalien.

#### 5.1.16 VIENNA GREEN CO<sub>2</sub>

Projektdauer: 1.02.2014 – 01.02.2015

### **Kurzbeschreibung**

Im Rahmen des Projekts ViennaGreenCO<sub>2</sub> soll eine Pilotanlage zur Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus Abgasen des Kraftwerks Simmering realisiert werden. Dazu werden bekannte Separationstechnologien in verbesserter Prozessführung (Wirbelschicht) zur Anwendung gebracht. CO<sub>2</sub> wird in der chemischen Industrie z.B. bei der Herstellung von Düngemittel benötigt.

#### 5.1.17 PROIONIC

Projektdauer: Seit 2004

### **Kurzbeschreibung**

Proionic betreibt die Herstellung und den Vertrieb ionischer Flüssigkeiten. Dabei können die ionischen Lösungsmittel mit beliebiger Anionen/Kationenzahl produziert werden, was die Möglichkeit für innovative Verfahren und Produkte eröffnet.

Diese auszugswise Projektauswahl zeigt rege Forschungs- und Entwicklungsaktivität in verschiedensten Bereich der Biotechnologie. Obschon bereits die ersten Startups ihre Businesspläne in die Tat umsetzen, gibt es im Bereich der Grundlagenforschung und der Entwicklung wettbewerbsfähiger Konzepte im größeren Maßstab noch viel Forschungsbedarf.

## 5.2 DISKUSSION UND AUSBLICK

Die hochoptimierte, ausgereifte und bereits vorhandene Infrastruktur der Petrochemie wird noch länger eine zentrale Rolle in der chemischen Industrie spielen. Ganzheitlich betrachtet spielt die stoffliche grüne Chemie, aufgrund des derzeit hohen Anteiles stofflich genutzter fossiler Rohstoffe am Gesamtverbrauch, auch keine entscheidende Rolle in Bezug auf die Ressourcenfrage. Aus diesem Blickwinkel treten Themen wie CO<sub>2</sub>-Reduktion und eine Diskussion über die Auswirkung auf das globale Klima in den Hintergrund.

Die Motive für eine nachhaltigere Chemie sind aktuell vielmehr woanders anzusiedeln. Gesteigerte Produktqualität, geringere Toxizität, weniger Abfallaufkommen und mehr Sicherheit bei Produktion und Konsum sind wichtige und aktuelle Aspekte einer nachhaltigen Chemikalienproduktion. Der Wandel von einer permissiven Haltung zu mehr Bewusstsein und möglichst präventiv orientiertem Vorgehen ist in der Industrie, nicht zuletzt ausgelöst durch Umweltkatastrophen und Skandale, zumindest formal abgeschlossen. Es existieren mannigfaltige Ideen und Nutzungsmöglichkeiten von Naturstoffen, die entweder schon beforscht werden, oder nur darauf warten, aufgegriffen zu werden. Dennoch führen diese Hoffnungskandidaten oft ein Exotendasein, da in der Praxis doch noch einige nicht zu vernachlässigende Hürden existieren. Bei der Wertstoffgewinnung aus Biomasse sind diese vor allem im downstream Bereich vorhanden. Die komplexen Gemische die nach dem Aufschluss der Biomasse vorliegen, machen eine Fraktionierung notwendig. Dies ist meist mit hohem Energie- bzw. Materialeinsatz (Lösemittel) verbunden. Der Umstand, dass die Ausgangsstoffe stark variieren, erschwert eine Vereinheitlichung der Prozesse und Standardisierung der Produkte. In diesem Zusammenhang ist auch eine verbesserte chemische Analytik, die diesen neuen Herausforderungen gerecht wird, gefordert.

Zur Marktreife gelangen vornehmlich hochpreisige Produkte aus der Kosmetik- oder Pharmabranche. Auch hier ist sehr rege Forschungstätigkeit wahrnehmbar und Österreich mit mehreren Produktions- und Kompetenzzentren sehr gut aufgestellt. So sind bzw. waren Unternehmen wie acib und universitäre Forschungseinrichtungen wie die BOKU an mehreren EU-Projekten (z.B. BIONEXGEN, CHEM21) beteiligt.

Die Produktion von signifikanten Mengen nachhaltiger Chemieprodukte ist mittelfristig nur durch Synergieeffekte mit der bestehenden, ausgereiften Produktionsinfrastruktur möglich. Ein gelungenes Beispiel hierfür wäre die in dieser Arbeit vorgestellte Substitution von PET mit PEF, welches eine Produktverbesserung, bei gleichzeitiger Umstellung auf einen nachhaltigen Rohstoff bringt.

Die komplexe und aufwändige, ganzheitliche Umweltbewertung in Form einer Ökobilanzierung oder ähnlicher Instrumente sollte stärker forciert werden. Diese beim Menschen nicht intuitiv vorhandenen Fähigkeiten können nur durch Bildung erlernt und kultiviert werden, und sollten daher fester Bestandteil in der chemischen Ausbildung werden.

Allerdings kann eine Bewertung des Produktionsvorganges, selbst wenn sie umfassend durchgeführt wird, ohne Betrachtung der Nutzungsseite ein verzerrtes Bild der tatsächlichen Auswirkung auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit ergeben. Nur eine Minderheit der vorgestellten Projekte konnten konkrete Lebenszyklusanalysen (LCA) vorweisen. Als positive Beispiele seien an dieser Stelle die ausführliche Fußabdruckberechnung, die im Rahmen des Projektes „Ganzheitliche Nutzung von Quinoa“ durchgeführt wurde, sowie die öffentliche Bereitstellung eines Excelsheets zur Bewertung der Umweltverträglichkeit, welches während des Projektes CHEM21 entwickelt wurde, genannt.

Für Österreich als Wirtschaftsstandort ist, aufgrund der geographischen Lage, dem vernachlässigbar kleinen Vorhandensein von Bodenschätzen und nicht zuletzt der technologischen Entwicklung, wie z.B. steigende Automatisierung, die Forschung und Entwicklung von innovativen Produktionsmethoden von großer Bedeutung. Es wurde gezeigt, dass vielfältige Ideen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit vorhanden sind. Für die Zukunft entscheidend werden die wirtschaftliche Situation und die Rohstoffkonkurrenz sein. Besonders aussichtsreich erscheint die Nutzung von Synergieeffekten bei der Kombination von stofflichen und energetischen Produkten im Rahmen einer Bioraffinerie. Im Bereich der Feinchemikalien, beispielsweise mit Algen als Ausgangsstoff, gibt es bereits seit einiger Zeit marktreife Produkte. Auch der Bereich der Biopolymere wächst ständig, was innovative Startups wie Saphium oder ab&cd innovations und auch zahlreiche Projekte in verwandten Gebieten beweisen. Die Vision der „Biobased Economy“ wird durchaus erfolgreich unter anderem durch Kampagnen wie die Forschung-Technologie-Innovation-Roadmap (FTI-Roadmap) von der Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) und begleitenden Förderprogrammen erfolgreich entwickelt. Bereits vorhandene Services wie die Plattform „nachhaltigwirtschaften.at“ könnten durch weitere Plattformen des Wissenstransfers ergänzt und von einer kritischen Auseinandersetzung zwischen diesen profitieren.

Die Idee einer Plattform zur besseren Vernetzung der Akteure der grünen Chemie aufzubauen erzeugte bei den befragten Personen weitgehend Interesse. Als aktuell wichtige Themen wurde neben projektspezifischen technischen Fragestellungen die Herausforderung der Umweltbewertung genannt. Produzierende Unternehmungen haben oft Bedarf an zusätzlichem Know-how in technischen Bereichen wie Prozessentwicklung oder chemischer Analytik sowie bei der Erstellung solider Geschäftsmodelle. Eine ausführliche Umweltbewertung ist oft aufgrund begrenzter finanzieller Mittel, aber auch wegen fehlendem Know-how nicht machbar. Hier könnte und sollte die öffentliche Hand Unterstützung in Form von Bewertungsinstrumenten anbieten. Für die Erstellung realitätsnaher Ökobilanzen würde sich eine adaptierte Form des Fußabdruck Konzeptes anbieten. Dieser Fußabdruckrechner könnte beispielsweise auch auf der „Plattform grüne Chemie“ zur Verfügung gestellt werden. Zusätzlich könnten Anreize zur Nutzung des Tools gegeben werden, wie z.B. Vorteile bei der Anlagengenehmigung oder der Erfüllung gesetzlicher Vorgaben.

Der Erfolg des Konzepts der Bioraffinerie ist stark von der Nutzung von Synergien zwischen unterschiedlichen Stoffströmen und Produktionsprozessen abhängig. Aus diesem Grund könnte eine Plattform, die den Austausch zwischen unterschiedlichen Projekten zum Fokus hat, zielführend sein. Gleichzeitig sollten die bei diesem Austauschprozess gewonnenen Informationen in eine Wissensdatenbank eingebracht werden. Der Benefit für die Unternehmen, die Informationen in die Plattform einbringen, wäre dabei die Präsentation ihrer Ideen und die Vernetzungsmöglichkeiten mit Kooperationspartnern, Investoren und öffentlichen Einrichtungen.



Die Nutzung der Plattform müsste attraktiv gestaltet werden, da der Erfolg eines solchen direkt von der Interaktion der Teilnehmer abhängt. Der Austausch sollte auf möglichst vielen Kanälen, z.B. auf verschiedenen Endgeräten (Smartphone, Tablet, PC, als App usw.) möglich sein und ein Forum beinhalten, in dem z.B. Suche- und Biete Anfragen geschaltet werden können. Die Ausgestaltungsmöglichkeiten sind hier schier unbegrenzt und müssen in Abstimmung mit potenziellen Teilnehmern implementiert werden.

Als Kickoff könnte eine Art Ideenwettbewerb veranstaltet werden, bei dem Projekte der grünen Chemie eingereicht werden. Die Teilnehmer erhalten einen Platz auf dem Webauftritt der Veranstaltung und profitieren von deren Promotion. Zur Bewertung wird eine Expertenjury geladen, die die besten und vielversprechendsten Projekte kürt. Als Preis könnte beispielsweise eine Förderung für die besten drei Projekte angeboten werden. Alle Teilnehmer bekämen eine Bühne und die Möglichkeit andere Akteure aus der Branche aus ganz Österreich kennen zu lernen. Gleichzeitig könnte die Veranstaltung als Potentialtest für weitere Initiativen, wie die „Plattform grüne Chemie“, dienen.

Aus der Befassung des Autors mit dem gegenständlichen Thema und aufgrund der durch die Befragungen gewonnenen Einblicke muss die Erwartungshaltung an eine „grüne Revolution“ in der Chemieindustrie hinsichtlich des zeitlichen Horizonts der Technologieentwicklung jedenfalls in einem vernünftigen Rahmen gehalten werden. Andernfalls könnten ausbleibende Erfolge einen schwerwiegenden Imageschaden für die grüne Produktion bedeuten mit negativen Folgen für den entstehenden Wirtschaftszweig.

## 6 FAZIT

**ANGEREGT DURCH DIE ERGEBNISSE DES SYMPOSIONS** und der vorstehenden Projekte plant das BMLFUW eine Diskussionsplattform für ExpertInnen der Grünen Chemie unter Einbeziehung relevanter Stakeholder und Verwaltungsstellen einzurichten. Ziel der Plattform ist es, einen breiten Informationsaustausch über Aktivitäten zur Grünen Chemie in Österreich zu ermöglichen und die Anliegen der Beteiligten aufzunehmen und Vorschläge für eine Intensivierung, Schwerpunktsetzung und Vertiefung dieser Aktivitäten in Österreich zu erarbeiten. Dabei soll insbesondere auch die europäische und internationale Perspektive einbezogen werden, etwa durch die Einladung zu Vorträgen und Präsentationen externer ExpertInnen. Eine erste Einberufung der Plattform im Rahmen des Projekts Grüne Chemie in Österreich ist 2017 vorgesehen.



**MINISTERIUM  
FÜR EIN  
LEBENSWERTES  
ÖSTERREICH**

bmlfuwgv.at

## **FÜR EIN LEBENSWERTES ÖSTERREICH.**

**UNSER ZIEL** ist ein lebenswertes Österreich in einem starken Europa: mit reiner Luft, sauberem Wasser, einer vielfältigen Natur sowie sicheren, qualitativ hochwertigen und leistbaren Lebensmitteln.

Dafür schaffen wir die bestmöglichen Voraussetzungen.

**WIR ARBEITEN** für sichere Lebensgrundlagen, eine nachhaltige Lebensart und verlässlichen Lebensschutz.



**MINISTERIUM  
FÜR EIN  
LEBENSWERTES  
ÖSTERREICH**

[www.bmlfuw.gv.at](http://www.bmlfuw.gv.at)

ISBN Nr. 978-3-903129-25-2