

Fragenkatalog
zur Anhörung von Sachverständigen
Enquete-Kommission Chemie
„Biotechnologische Verfahren“
am 23. Mai 2014

LANDTAG
NORDRHEIN-WESTFALEN
16. WAHLPERIODE

STELLUNGNAHME
16/1711

A23

Vorbemerkungen:

1.)

Die Frage nach dem Konversionsverfahren - biotechnologisch oder chemisch - kann zunächst prinzipiell getrennt von dem Rohstoff - fossile Rohstoffe (Erdöl, Erdgas, Kohle) oder nachwachsende, zumeist von Pflanzen stammende Rohstoffe (Zucker, Stärke, Triglyceride sowie die Bestandteile von Holz und Stroh: Cellulose, Hemicellulosen und Lignin) betrachtet werden.

2.)

Häufig ist es kein „entweder/oder“, sondern das beste Konversionsverfahren ist die geschickte Kombination aus chemischen und biotechnologischen Schritten. Unter dem „besten Konversionsverfahren“ ist das zu verstehen, das sowohl unter ökologischen als auch ökonomischen Gesichtspunkten (bei gesicherter Rohstoffverfügbarkeit) die meisten Vorteile bietet: Geringste Abwasser-, Abluftbelastungen und Reststoffmengen, niedrigste Emission von klimaschädlichen Gasen, höchste Raum/Zeit-Ausbeuten, geringster Energieaufwand u.a.

3.)

Interessant vor dem Hintergrund der schwer prognostizierbaren Entwicklung der Rohstoffverfügbarkeit und deren Preisentwicklung sind die Ausgangsmaterialien Methan (CH₄) und Synthesegas (CO/H₂), die sowohl bio-basiert (über Biogas bzw. über die Vergasung von Biomasse) als auch fossil-basiert (Erdgas beziehungsweise über die Vergasung von Erdgas, Kohle, Petrolkoks) verfügbar gemacht werden können.

4.)

Generell ist davon auszugehen, dass die Preise nachwachsender Rohstoffe an den Erdölpreis mehr oder weniger stark gekoppelt sind, wegen des Einflusses von Wetter und Schädlingen aber zusätzlichen Schwankungen unterliegen. Tendenziell dürfte in der nahen und mittleren Zukunft insbesondere der Preis für Erdgas eher unter Druck geraten (Shalegas-Boom in den USA, sinkende Nachfrage in Deutschland und Europa wegen geringerer Nachfrage aus dem Wärmemarkt), wobei natürlich die aktuellen Konflikte an der Ostgrenze der EU solche Prognosen schnell Makulatur werden lassen können.

Die Chemische Industrie und die Biotechnologie-Branche (hier insbesondere die Weiße Biotechnologie) sind nicht nur mit Blick auf die direkt dort angesiedelten Arbeitsplätze und ihrem Anteil an Bruttosozialprodukt und Export von hoher

Bedeutung sondern auch als Zulieferer für nahezu alle anderen Branchen. Dies gilt sowohl für Deutschland als Ganzes als auch für NRW im Speziellen. Baden-Württemberg, Bayern und NRW haben die größte Zahl von Biotechnologieunternehmen in Deutschland. Die Zahl von Unternehmen in NRW im Bereich der Biotechnologie beträgt derzeit 58, wobei die Firmen im Bereich von Chemie, Pharma und Konsumgüter (insb. Kosmetik, Waschmittel und Nahrungsmittel), die auch biotechnologische Prozesse einsetzen, nicht dazu gezählt sind. Dazu gehören einige Biotechnologie-Unternehmen, die im Bereich der weißen Biotechnologie engagiert sind: DIREVO Industrial Biotechnology GmbH, Köln (Industrielle BT, Enzyme, Produktionssysteme), evocatal GmbH, Monheim am Rhein (Enzyme), Heinrich Frings GmbH & Co KG, Bonn (Fermentationstechnologie), Jennewein Biotechnologie GmbH, Rheinbreitbach (Bioproduktion von Oligo- und Polysacchariden), W42 Industrial Biotechnology GmbH, Marl (Enzyme, Produktionsorganismen)

Biotechnologie/Biokatalyse

1) Welche Chancen (z.B. Effizienzgewinne) und Grenzen bieten biotechnologische Verfahren im Vergleich mit chemischen Verfahren?

Die größten Chancen bietet der effiziente Zugang zu komplexen Verbindungen (Pharmaka bzw. Vorstufen, Naturstoffe). Hier gibt es jüngere Beispiele, in denen ein enzymatischer Schritt mehrere chemische Transformationsschritte ablöst (z.B. im Falle von Sitagliptin, einem Pharmawirkstoff, sind es vier).

Effizienzgewinne gegenüber ausgereiften chemisch-katalytischen Verfahren mit hohem Produktionsvolumen (Grundchemikalien) sind eher unwahrscheinlich.

Chancen bieten aber auch völlig neue Produkte (z.B. neue Monomere für Polymere oder neue Polymere selbst), die sich chemisch entweder nur schwer, evtl. über mehrere Prozessschritte oder nicht herstellen lassen. Hinzu kommen potentielle Vorteile durch geringere Umweltbelastungen und – im Falle der Nutzung nachwachsender Rohstoffe - die Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen.

Eine Begrenzung biotechnologischer Verfahren sind geringe Raum-Zeit-Ausbeuten von biotechnologischen Prozessen aufgrund häufig geringerer Produktkonzentrationen. Gleiches gilt für den häufig sehr hohen Aufreinigungsbedarf nach erfolgter Synthese und hohe Abwassermengen (s.a. 5.)

2) Für welche Verfahren der Biotechnologie (in der chemischen Industrie) sehen Sie die größten Entwicklungsmöglichkeiten (dies gilt für neue Verfahren sowie Austausch bereits etablierter Verfahren)?

Die größten Entwicklungsmöglichkeiten bestehen bei biokatalytischen Schritten unter Einsatz von Enzymen bzw. in Ganzzell-Biotransformationen zur Herstellung enantiomerenreiner Verbindungen. Entwicklungsmöglichkeiten bestehen aber auch mit Blick auf neue Produkte: Biologisch abbaubare Polymere, Lösemittel, Schmierstoffe u.a.

3) Welche Beiträge kann die grüne Biotechnologie zur Gewinnung von Rohstoffen für biotechnologische Prozesse liefern (Produktion der Zielsubstanz direkt in der Pflanze)?

Pflanzen liefern bereits heute die Rohstoffe für biotechnologische Prozesse (Zucker, Stärke, Glycerin aus der Biodieselproduktion). In Zukunft werden auch Kohlenhydrate aus Lignocellulosen und Synthesegas genutzt werden.

Entwicklungsmöglichkeiten bestehen für Industriepflanzen mit höheren Erträgen und mit angepasstem Substratspektrum. In Einzelfällen lassen sich auch bestimmte Naturstoffe, Proteine und sogar Impfstoffe durch gezielte genetische Modifizierung in hohen Ausbeuten erzeugen (bereits auf dem Markt:

Taliglucerase alfa aus transgenen Karottenzellkulturen zur Behandlung von Morbus Gaucher, rekombinantes Antikörperfragment aus Tabakpflanzen gegen das Hepatitis B-Virus, Impfstoff aus Tabakpflanzenzellen gegen Newcastle Disease bei Hühnern).

Im Falle von Lignocellulosen würden modifizierte Pflanzen mit veränderter Ligninstruktur, deren Holz sich zur Gewinnung von Cellulose und Hemicellulosen leichter aufschließen lässt, sowohl ökonomische vor allem aber wegen geringerem Chemikalien- und Energiebedarf erhebliche ökologische Vorteile bieten.

Als weitere Rohstoffquelle bieten sich Algen an, die sich unter Einsatz von Kohlendioxid und Sonnenlicht (sowie Nährstoffen) kultivieren lassen. Sie sind sowohl zur Erzeugung von Biomasse als auch von wertvollen Substraten (Ölen, Terpenen u.a.) in der Lage, mittlerweile auch genetisch modifizierbar und in geschlossenen Systemen kultivierbar.

4) Wie aufwändig sind die Prozesse zur

- Isolierung von biotechnologischen Produkten und
- zur Entsorgung bzw. Verwertung der Rückstände?

Generell ist der Aufwand bei fermentativen Verfahren für die Produktisolierung meistens hoch; Ursachen hierfür sind häufig verhältnismäßig geringe Produktkonzentrationen in wässrigem Medium. Es sind mehrere Reinigungsschritte erforderlich. Dadurch bedingt können dann große Abwassermengen anfallen, die aufwändig behandelt werden müssen. Die Rückstände erfordern Energieaufwand zur Konzentration bzw. Abtrennung; sie sind prinzipiell biologisch abbaubar und nicht-toxisch, woher sich eine geringe Umweltbelastung ableitet. Da in der Regel genetisch modifizierte Organismen eingesetzt werden, müssen die Rückstände allerdings mit entsprechendem Energieaufwand thermisch behandelt werden.

Im Falle biotechnologischer Verfahren unter Nutzung rekombinanter Enzyme entfällt diese Behandlung; sie ersetzen häufig chemokatalytische Schritte, bei denen schwermetallhaltige Rückstände anfallen können. Ihre sehr hohen Selektivitäten führen zu sehr geringen Konzentrationen von Nebenprodukten, wodurch sich der Aufwand für die Aufreinigung des Produkts stark reduzieren lässt.

5) Welche Bedeutung messen Sie den Biokatalysatoren im großtechnischen Einsatz in der chemischen Industrie bei (mittel- und langfristig)?

(siehe auch Punkt 2.)

Kurz-, mittel- und langfristig: große Bedeutung für Spezialchemie und Pharmazwischenprodukte. Der Einsatz zur Herstellung von Bulk-Produkten wird sich vermutlich auf Einzelfälle, wofür die Milchsäure ein existierendes Beispiel darstellt, beschränken. Beim langfristig sicher erfolgenden Rohstoffwandel hin zu nachwachsenden Rohstoffen werden biotechnologische Verfahren eine wesentlich größere Rolle spielen.

6) In welchen Bereichen sollte die Biotechnologie in NRW gefördert werden?

- Biotransformationen/Biokatalyse (Enzyme design)
- Produktionssysteme (Synthetische Biologie/Metabolic Engineering)
- Intelligente Verfahrensschemata (integrierte Produktabtrennung Stoff- und Energie-Integration) sowie neue Verfahren zur Produktaufreinigung
- Pflanzenbiotechnologie (Industriepflanzen, Nachwachsende Rohstoffe)
- Lebensmittelbiotechnologie, insbesondere die Nutzung von Enzymen

7) Welche Notwendigkeiten bestehen hinsichtlich des Ausbildungsbedarfs bei verstärktem Einsatz der Biotechnologie mittel- und langfristig?

Integration von Bioverfahrenstechnik in die Studiengänge Biologie, Chemie und Verfahrenstechnik sowie bei den entsprechenden technischen Ausbildungsberufen.

8) Wie sehen Sie die Kommunikation des „Biotechnologie“-Begriffs in der Bevölkerung? Wo besteht Verbesserungs- bzw. Aufklärungsbedarf?

Die Kommunikation der weißen Biotechnologie wird über vorteilhafte Produkte (wie im Fall der pharmazeutischen Biotechnologie) und den produktions-integrierten Umweltschutz durch effiziente, nebenprodukt- und emissionsarme Verfahren zu führen sein, wobei die Sicherung des Produktionsstandorts Deutschland und Nordrhein-Westfalen und damit von qualifizierten Arbeitsplätzen auch eine wichtige Rolle spielt.

Bioraffinerien

- 9) Welche Bioraffinerie-Konzepte lassen sich unterscheiden, welche davon sind in Deutschland realisiert?
Welchen Entwicklungsstatus haben diese insbesondere im internationalen Vergleich?
Wo laufen sie bereits im kommerziellen Maßstab?

Die verschiedenen Bioraffinerie-Konzepte sind 2012 detailliert in der Roadmap „Bioraffinerien“ dargestellt worden (<http://mediathek.fnr.de/roadmap-bioraffinerien.html>).

Generell lassen sich folgende Klassen unterscheiden:

- Stärke- und Zucker-Bioraffinerien
- Pflanzenöl-Bioraffinerien (inklusive Algenlipid- Bioraffinerien)
- Lignocellulose-Bioraffinerien (inklusive Grüne Bioraffinerien)
- Synthesegas-Bioraffinerien

Die als Anlage beigefügte Graphik zum Entwicklungsstand und die Stärke/Schwäche-Analysen sind der Roadmap entnommen und haben auch heute noch volle Gültigkeit.

Die erstgenannten Bioraffinerie-Konzepte stellen letztlich eine Erweiterung des bestehenden Produkt-Portfolios von Stärke- und Zucker-Fabriken im Sinne einer Vorwärtsintegration dar. Sie sind als einzige (zusammen mit erweiterten Zellstoffwerken) in kommerziellem Maßstab umgesetzt. In den anderen Fällen gibt es - auch in Deutschland - Pilotanlagen.

- 10) Für welche Art von Biomasse in NRW ist die Entwicklung interessant und welche Produkte können daraus am besten produziert werden?

Getreide/Stärke, Ölsaaten/Pflanzenöle, Holz und nach der Reform der EU-Zuckermarktverordnung auch Zucker sind Güter, die in Europa und global gehandelt werden. Für NRW mit seiner guten Infrastruktur insb. auch mit an Wasserwegen gelegenen Chemiestandorten ist die Rohstoffversorgung gesichert. NRW ist sicherlich kein Agrarland, verfügt dennoch aber über eine nennenswerte landwirtschaftliche Produktion: zuletzt jeweils knapp 4 Mio. t Zuckerrüben sowie Getreide. Einzelne Bioraffinerien wären zwar zu versorgen, es ist aber zu berücksichtigen, dass mit dieser landwirtschaftlichen Produktion die Lebensmittel- und Futtermittelversorgung bedient werden. Fachleute müssten analysieren, inwieweit sich diese Produktion durch die Nutzung von Brachflächen (auch Industriebrachen) signifikant steigern lassen würden.

11) Wie groß sind die Potentiale im Hinblick auf Verfahren, Prozesse und Mengen von Plattformchemikalien aus Bioraffinerien (sogenannte Drop-Ins) zur Substitution petrochemischer Plattformchemikalien? Wie würde sich diese Substitution auf die Verbundstruktur in NRW (Chemparks) auswirken?

Derzeit basiert in Deutschland ca. 13 % der Chemieproduktion auf nachwachsenden Rohstoffen; dieser Anteil ist seit Jahren stabil. Die sicherlich kurz- und mittelfristig zunehmende biotechnologische Produktion von Feinchemikalien und Spezialitäten fällt mengenmäßig nicht ins Gewicht. Eine signifikante Steigerung der Erzeugung von Monomeren für die Herstellung von Kunststoffen (sowohl biologisch abbaubare als auch nicht abbaubare) ist jedoch zu erwarten. Beispiele sind Milchsäure (für PLA), Bernsteinsäure bzw. Butandiol; sie werden bereits im industriellen Maßstab zu 100 % bzw. 60% biotechnologisch auf Basis von Glucose erzeugt. Weitere Beispiele sind 1,3-Propandiol, Epichlorhydrin auf Basis Glycerin über einen chemischen Weg in Thailand oder Ethylen auf Basis Bioethanol zur Produktion von Polyethylen in Brasilien. Bei den beiden zuletzt genannten Chemikalien fallen die Anteile der NaWaRo-basierten Produktion an der gesamten Produktion nicht ins Gewicht. Stärke bildet außerdem die Rohstoffbasis für einen großen Teil der bioabbaubaren Kunststoffe.

Der Anteil nachwachsender Rohstoffe an der Chemieproduktion wird sich nur durch die Entwicklung wirtschaftlich attraktiver Konversionswege steigern lassen. Diese müssen direkt, d.h. mit einer vergleichbaren, besser noch geringeren Zahl von Zwischenstufen relativ zu eingeführten petrochemisch basierten Verfahren sein, eine hohe Produktivität und Selektivität aufweisen, das heißt sehr wenige Nebenprodukte generieren, und die Produkte müssen gut abtrennbar und aufreinigbar sein.

Außerdem muss die Rohstoffversorgung langfristig gesichert sein, ohne dass Engpässe bei der Lebens- und Futtermittelproduktion entstehen.

Neben der Ertragssteigerung über klassische und moderne biotechnologische Methoden, Entwicklungen im Pflanzenschutz und der Agrartechnik, der Sicherstellung eines effizienten Phosphatrecyclings und der Erschließung von Brachflächen wird die Gewinnung von Zuckern aus Lignocellulosen (insbesondere Rückständen der Agrar- bzw. Lebensmittel- sowie der Holzverarbeitung) und die Verwertung von Lignin die größte Rolle spielen. Daher kommt der Entwicklung von Lignocellulose-Bioraffinerien die größte Bedeutung zu. Eine wichtige Alternative stellen Synthesegas-Bioraffinerien dar, die auf die gleichen Rückstände zugreifen und bei denen das Synthesegas sowohl chemisch als auch biotechnologisch genutzt werden kann.

Frankfurt am Main, 11. Mai 2014
Prof. Dr. Kurt Wagemann
(Geschäftsführer des DECHEMA e.V.)

Entwicklungsstand von Bioraffineriekonzepten

Technologiereife (TRL)

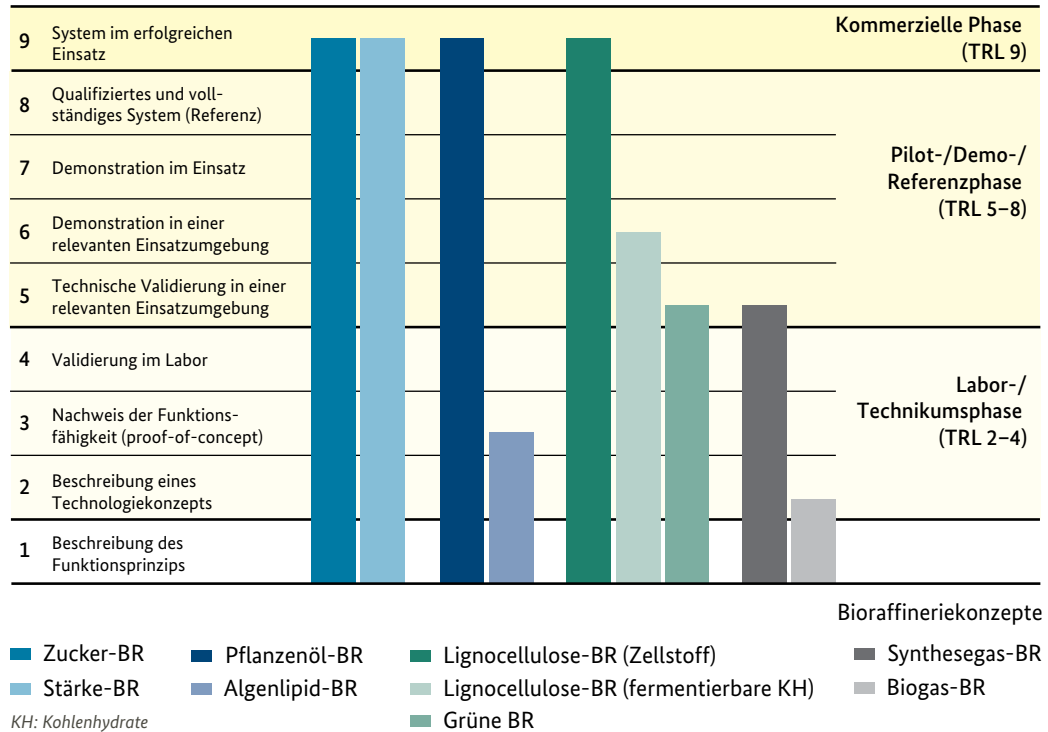


Abbildung 32: Entwicklungsstand^{84, 85} von Bioraffineriekonzepten

Tabelle: SWOT-Analyse der Synthesegas-Plattform

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> → starke Forschung und Entwicklung in Deutschland zur Biomassevergasung → Erfahrungen zur Kohlevergasung und deren Scale-up sind vorhanden und können einbezogen werden → starker deutscher Maschinen- und Anlagenbau in relevanten Bereichen, der bereits global orientiert ist → Rohstoffe zur Vergasung in Deutschland, Europa und global prinzipiell verfügbar → lignocellulosische Rohstoffe in Deutschland, Europa und global prinzipiell verfügbar; nicht genutztes Potenzial land- und forstwirtschaftlicher lignocelluloseischer Reststoffe vorhanden → keine unmittelbare Rohstoffkonkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion bei Nutzung von lignocelluloseischen Rohstoffen aus Agrarreststoffen und Waldholz → Erfahrungen zur chemischen Konversion von Synthesegas sind vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> → hoher Rohstoffbedarf in Folge des Erfordernisses großer Anlagen → Konkurrenzsituation bei der Nutzung von heimischem Waldholz unter Berücksichtigung der multifunktionalen Ansprüche an den Wald können das Rohstoffangebot einschränken → Synthesegas- und Lignocellulose-Bioraffinerie greifen auf die gleiche Rohstoffbasis zu → Bau der Anlagen sehr kapitalintensiv → Integration der einzelnen Elemente der Synthesegas-Bioraffinerie und deren Validierung im Zusammenwirken noch nicht ausgreift → Demonstration der Technologien im Industriemaßstab steht noch aus → Potenzielle Produktvielfalt bislang noch nicht ausgeschöpft → biotechnologische Konversion von Synthesegas ist bisher unterentwickelt
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> → Konzept erlaubt inhärent die nahezu vollständige Nutzung der Biomasse → mögliche Produktvielfalt auf Basis von Synthesegas ist hoch → Entwicklung neuer Industrien über ein <i>Top-down</i>-Entwicklungsszenario → Exportmöglichkeiten von deutschen Technologien und Anlagen zur Errichtung von Synthesegas-Bioraffinerien im Ausland → einfacher und globaler Zugang zur Wertschöpfungskette der chemischen Industrie möglich → Synthesegas als alternative Kohlenstoffquelle für Fermentationen 	<ul style="list-style-type: none"> → konkurrierende Nutzungsoptionen für lignocelluloseische Biomasse → starke, kompetitive Forschung und Entwicklung außerhalb von Deutschland (u. a. USA, Österreich)

Tabelle: SWOT-Analyse der Zucker- und Stärke-Bioraffinerie

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> → es wird auf bereits bestehende Strukturen der Zucker- und Stärkeindustrie aufgebaut → bereits europäisch aufgestellte deutsche Zucker- und Stärkeindustrie → starker deutscher Maschinen- und Anlagenbau in relevanten Bereichen, der bereits global orientiert ist → starke Forschung und Entwicklung in biotechnologischer Konversion von Kohlenhydraten in Deutschland → Rohstoffe in Deutschland, Europa und global verfügbar → Erzeugung von Überschüssen in Deutschland bei den Rohstoffen Zuckerrübe und Weizen ist möglich → technologisch weit entwickelte Primärraffination zu den Plattformen Saccharose und Stärke → Erfahrungen zur chemischen und biotechnologischen Konversion von Kohlenhydraten sind vorhanden, wobei die Palette an Zwischenprodukten aus der Sekundärraffination erweitert werden muss 	<ul style="list-style-type: none"> → Produktdiversifizierung noch nicht ausreichend; Veredlung von Zwischenprodukten zu neuen Produkten ist zu verbessern → integrierte Produktion von biobasierten Produkten und Bioenergie ist ausbaufähig → Verknüpfung der Zucker-/Stärkeindustrie mit der chemischen Industrie ist unterentwickelt
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> → Weiterentwicklung bestehender Standorte der Zucker-/Stärkeindustrie über ein <i>Bottom-up</i>-Entwicklungsszenario zu integrierten Bioraffineriestandorten → Zusätzliche Wertschöpfung durch die Integration weiterer chemischer und biotechnologischer Prozesse und Produkte → Realisierung von Synergieeffekten durch gekoppelte Prozesse Exportmöglichkeiten von deutschen Technologien und Anlagen basierend auf Zucker und Stärke zur Errichtung von Zucker- und Stärke-Bioraffinerien im Ausland 	<ul style="list-style-type: none"> → deutsche Zucker- und Stärkeindustrie global in relevanten Standorten (Brasilien, USA, Südostasien) schwach positioniert → Rohstoffverknappung durch zunehmenden Bedarf an Zucker und Stärke für den Nahrungsmittelbereich

Tabelle: SWOT-Analyse der Pflanzenöl-Bioraffinerie

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> → es wird auf bereits bestehende Strukturen der Pflanzenölproduktion und -verarbeitung aufgebaut → bereits global aufgestellte deutsche Pflanzenöl-industrie bzw. global agierende Unternehmen sind in Deutschland engagiert → starker deutscher Maschinen- und Anlagenbau in relevanten Bereichen, der bereits global orientiert ist → forschungsintensive KMU zur stofflichen Veredlung von Pflanzenölen vorhanden → starke Forschung und Entwicklung zur Konversion von Pflanzenölen in Deutschland etabliert → Rohstoffe für langkettige Fettsäuren in Deutschland, Europa und global verfügbar → technologisch weit entwickelte Primärraffination zur Plattform Pflanzenöl → Erfahrungen zur chemischen und biotechnologischen Konversion von Pflanzenölen vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> → Rohstoffe für kurzkettige Fettsäuren in Deutschland und Europa nicht verfügbar, sondern nur in tropischen und subtropischen Ländern → wirtschaftliche Herstellung von Folgeprodukten aus Glycerin im Gegensatz zu denen aus Fettsäuren eher unterentwickelt → Primärraffination und Sekundärraffination oft noch nicht an einem Standort integriert → integrierte Produktion von biobasierten Produkten zusätzlich zu Bioenergie unterentwickelt
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> → Weiterentwicklung bestehender Standorte der Pflanzenölverarbeitung (bspw. Ölmühle) über ein <i>Bottom-up</i>-Entwicklungsszenario zu integrierten Bioraffineriestandorten → Zusätzliche Wertschöpfung durch die Integration chemischer und biotechnologischer Prozesse und Produkte auf Basis Glycerin und Fettsäuren → Exportmöglichkeiten von deutschen Technologien und Anlagen sowie Prozesschemikalien für die Verarbeitung von Pflanzenölen 	<ul style="list-style-type: none"> → Verlagerung der Herstellung von oleochemischen Zwischenprodukten in außereuropäische, rohstoff-nahe Länder; Bioraffinerien mit kurzkettigen Fettsäuren als Plattform entwickeln sich in den Herkunftsländern der Rohstoffe → Rohstoffverknappung durch zunehmenden Bedarf an Pflanzenölen für den Nahrungsbereich und die Bioenergiebereitstellung; alternative Rohstoffquellen (bspw. Algenlipide, mikrobielle Lipide) noch nicht marktreif

Tabelle: SWOT-Analyse der Algenlipid-Bioraffinerie

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> → starke Forschung und Entwicklung zu Mikroalgen in Deutschland → forschungsintensive KMU im Bereich der Kultivierung und Nutzung von Mikroalgen einschließlich der Technologieentwicklung (bspw. Photobioreaktoren, Aufarbeitungstechnik) → starker deutscher Anlagenbau in relevanten Bereichen 	<ul style="list-style-type: none"> → klimatische Voraussetzungen für die Kultivierung von Mikroalgen in Deutschland nicht optimal → Kreislaufführung und Rückführung der Nährstoffe ist noch nicht befriedigend gelöst → ungenügende Lösungsansätze für das Problem, dass eine hohe Produktivität von Mikroalgen einer geringen Konzentration gegenüber steht → Produktentwicklung und -veredlung unterentwickelt, insbesondere für Produkte, mit denen sich eine hohe Wertschöpfung erzielen lässt → nur geschlossene Photobioreaktoren in Deutschland anwendbar; Aufwand für die Biomasseproduktion und Aufarbeitung ist hoch und kostenintensiv
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> → Erschließung einer neuen Biomassequelle, die unabhängig von Ackerflächen erzeugt werden kann → hohe Photosyntheseeffizienz ermöglicht eine zu Landpflanzen vergleichsweise hohe Biomasseproduktion in Mikroalgen → Wertschöpfung durch neue Produkte mit neuen Funktionalitäten und Nutzungsoptionen → Vermarktung von Produkten mit hoher Wertschöpfung → Exportmöglichkeiten von deutschen Technologien und Anlagen für die Kultivierung, Auf- und Weiterverarbeitung von Mikroalgenbiomasse 	<ul style="list-style-type: none"> → Deutschland ist geografisch gegenüber andern globalen Standorten für die Mikroalgenkultivierung benachteiligt → starke, kompetitive Forschung und Entwicklung außerhalb von Deutschland

Tabelle: SWOT-Analyse der Lignocellulose-Bioraffinerie

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> → innovative Chemie- und Biotechnologieunternehmen sind etabliert; es kann auf bereits bestehende Strukturen der Fermentationsindustrie aufgebaut werden → gut entwickelte deutsche Zellstoffindustrie → starker deutscher Maschinen- und Anlagenbau in relevanten Bereichen, der bereits global orientiert ist → starke Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der chemischen und biotechnologischen Konversion von Kohlenhydraten und deren Weiterveredlung in Deutschland vorhanden → lignocellulosische Rohstoffe in Deutschland, Europa und global prinzipiell verfügbar; nicht genutztes Potenzial land- und forstwirtschaftlicher lignocellulosischer Reststoffe vorhanden → keine unmittelbare Rohstoffkonkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion bei Nutzung von lignocellulosischen Rohstoffen aus Agrarreststoffen und Waldholz → Erfahrungen zu Aufschlussverfahren von Lignocellulose zur chemischen und biotechnologischen Konversion von Kohlenhydraten sind vorhanden → erste Pilot- und Demonstrationsanlagen von Lignocellulose-Bioraffinerien sind in Deutschland in Betrieb oder im Aufbau 	<ul style="list-style-type: none"> → Konkurrenzsituation bei der Nutzung von einheimischem Waldholz unter Berücksichtigung der multifunktionalen Ansprüche an den Wald können das Rohstoffangebot einschränken → Synthesegas- und Lignocellulose-Bioraffinerie greifen auf die gleiche Rohstoffbasis zu → Ligninverwertung ist im Hinblick auf Produkte mit hoher Wertschöpfung noch unterentwickelt → Verwertung der Pentosen aus den Hemicellulosen bislang technologisch nicht ausgereift → Aktivitäten zu Bioraffineriekonzepten für die deutsche Zellstoffindustrie unterdurchschnittlich entwickelt → Integration der einzelnen Elemente der Lignocellulose-Bioraffinerie und deren Validierung im Zusammenwirken noch unausgereift → Demonstration der Technologien im Einsatz in einem Industriemaßstab steht noch aus → Verknüpfung mit der Wertschöpfungskette der chemischen Industrie unterentwickelt
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> → Entwicklung neuer Wachstumsmärkte über ein <i>Top-down</i>-Entwicklungsszenario (Konzept fermentierbare Kohlenhydrate) → Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit und Weiterentwicklung bestehender Standorte der Zellstoffindustrie durch Diversifizierung und neue Produkte über ein <i>Bottom-up</i>-Entwicklungsszenario (Konzept Zellstoff) → Exportmöglichkeiten von deutschen Technologien und Anlagen basierend auf Lignocellulose zur Errichtung von Lignocellulose-Bioraffinerien im Ausland → Erschließung einer neuen Quelle für fermentierbare Kohlenhydrate 	<ul style="list-style-type: none"> → konkurrierende Nutzungsoptionen für lignocellulosische Biomasse → starke, kompetitive Forschung und Entwicklung außerhalb von Deutschland (u. a. USA, Skandinavien)

Tabelle: SWOT-Analyse der Grünen Bioraffinerie

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none">→ weltweit führende Forschung im Bereich Biogas-erzeugung→ starker deutscher Maschinen- und Anlagenbau in relevanten Bereichen, der bereits global orientiert ist→ Erhalt von Kulturlandschaft	<ul style="list-style-type: none">→ nur in Regionen realisierbar, die über entsprechen des Grünlandpotenzial verfügen→ als Konzept nur mit einer Biogasanlage wirtschaftlich umsetzbar→ Qualitätsniveau der Produkte oft nicht ausreichend oder nur aufwendig erreichbar, Wertschöpfung aus den Produkten bisher nicht ausreichend→ Konzepte auf Basis frischer grüner Biomasse sind – in gemäßigten Breiten – nur saisonal zu betreiben
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none">→ Weiterentwicklung bestehender Standorte von Biogasanlagen durch Diversifizierung über ein <i>Bottom-up</i>-Entwicklungsszenario→ Möglichkeiten zum Technologieexport	<ul style="list-style-type: none">→ alternative biogene Zugangsmöglichkeiten zu den Produkten (bspw. Fasern, Milchsäure, Proteine) bestehen→ Exportmöglichkeiten auf Länder mit entsprechendem Grünlandpotenzial beschränkt