

## **„Upsizing - Pflanzliche Reststoffe und deren Verwertungspotential“**

Herbert G. Boechzelt, Susanne Wagner, Niv Graf

**Fachtagung: Zero Emissions-Wege zur Fabrik der Zukunft, Technische Universität,  
Graz, Austria**

### **Ausgangssituation**

Derzeit nutzen die Industriestaaten vorwiegend fossile, mineralische und metallische Ressourcen zur Abdeckung ihres Rohstoffbedarfs. Diese werden, vor allem energetisch (Treibstoffe) oder in der (petro-)chemischen Industrie, in Richtung unzähliger Produkte (Feinchemikalien, Polymere,...) umgesetzt und nach einem relativ kurzen Lebenszyklus (Polymere) von etwa 0,1 bis 10 Jahren meist energetisch entsorgt. Das entstehende Kohlendioxid kann dadurch kurzfristig nicht im Bioprozess der Photosynthese untergebracht werden und reichert sich damit in der Atmosphäre an.

Über Photosynthese gebildete Biomasse könnte in einem theoretischen Ablauf erst in geologischen Zeiträumen wieder in fossile Rohstoffe übergehen um so diesen natürlichen Zyklus zu schließen. Das heißt, dass die heute genutzten fossilen Rohstoffen – Erdöl, Erdgas, Kohle – sich erst in langen, geologischen Zeiträumen regenerieren könnten und damit für den Menschen unwiederbringlich „verloren“ sind. Das Problem liegt also in der zeitlichen und örtlichen Unausgewogenheit unserer „fossilen Nutzungskonzepte“. Die Lösung dafür könnte, zumindest für den Bereich des Umfeldes der Chemischen Industrie, in der Nutzbarmachung von bioorganischen Rohstoffen liegen. In diesem Falle zeigen die Verbrauchsgeschwindigkeiten und die Bildungsgeschwindigkeiten der Biomasse gleichen Größenordnung (siehe Abbildung 1).

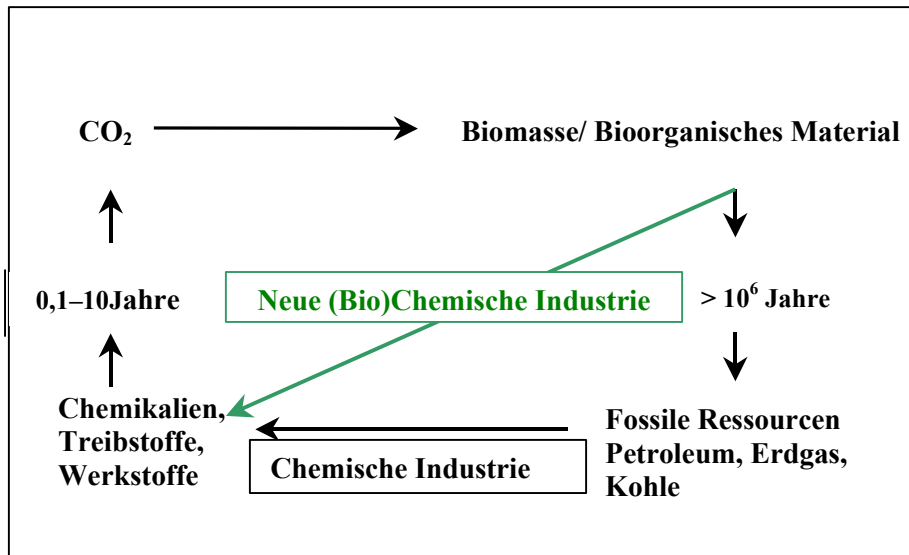


Abbildung 1: Globaler Kohlenstoffzyklus (Quelle: Narayan, 2002)

Es wurde schon mehrfach gezeigt, dass die jährlich durch Photosynthese gebildete Biomasse zur Abdeckung der industriell benötigten Ressourcen theoretisch ausreicht (siehe Abbildung 2). Zurzeit werden weltweit lediglich  $6 \times 10^9$  t Biomasse jährlich genutzt, der ungenutzte jährliche Zuwachs wird auf  $170 \times 10^9$  t geschätzt.

Ein Zahlenvergleich: Die jährliche Produktion von Biomasse liegt in der gleichen Größenordnung wie die gesamte Menge der bekannten Vorräte des heute noch dominierenden Rohstoffs Erdöl.

<b><u>Biomasse und fossile Rohstoffe</u></b>		
<b><u>Biomasse</u></b>		
Jährlich nachwachsend durch Photosynthese:		170 Mrd t
Jährliche Nutzung: (Holz, Getreide, sonstiges: je 2 Mrd t)		6 Mrd t = 3,5 %
<b><u>Fossile Rohstoffe</u></b>		
Jährlicher Verbrauch (insgesamt)		7,3 Mrd t Öl-Äquiv.
	<b><u>Jährlicher Verbrauch</u></b>	<b><u>bekannte Vorräte</u></b>
Erdöl	3,2 Mrd t	135 Mrd t
Erdgas	1900 Mrd m <sup>3</sup>	140.000 Mrd m <sup>3</sup>
Kohle	3,4 Mrd t	850 Mrd t
(1 t Öl = 1,1 t Gas = 1,5 t Kohle = 2-2,5 t trockene Biomasse)		
Quelle: M. Eggersdorfer (BASF), 1993		

Abbildung 2: Biomasse und fossile Rohstoffe (Quelle: M.Eggersdorfer/BASF)

Wie Abbildung 3 darstellt, sind seit 1990 keine wesentlichen neuen Ölvorräte gefunden worden. Die tatsächliche Ölförderung nähert sich der technisch möglichen Förderung und damit ist in den nächsten Jahren mit Versorgungsengpässen und damit verbunden mit Preiserhöhungen zu rechnen. Es ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Erdölproduktion noch in diesem Jahrzehnt, spätestens aber 2015 - 2020 ihr Maximum überschritten haben und dann langsam abfallen wird. Erdöl wird also, selbst unter Annahme, dass der jährliche, weltweite Verbrauch mit 3,2 Mrd. t im Jahr 2002 nicht gesteigert wird, in etwa 40–50 Jahren verbraucht sein.

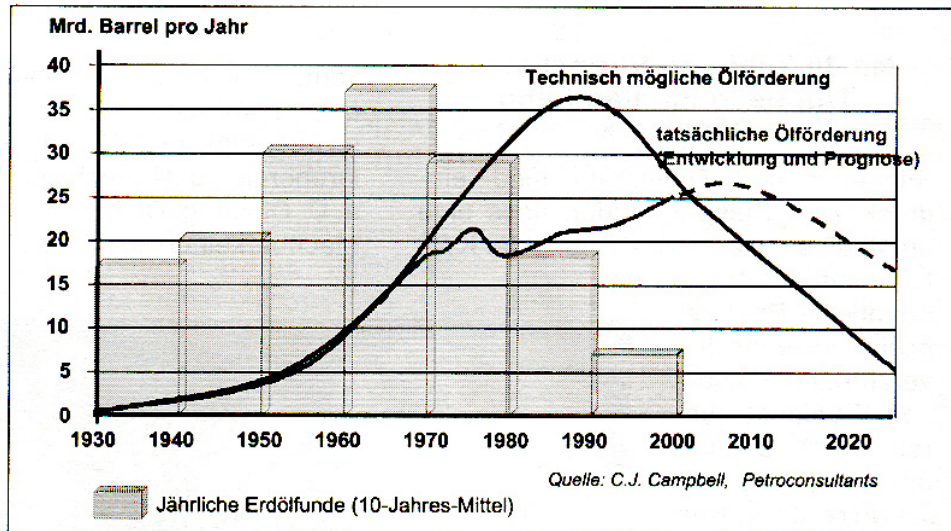


Abbildung 3: Jährliche Erdölfunde, technisch mögliche und tatsächliche Ölförderung seit 1930 [1]

### Die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Die ressourcenschonende Produktion von Basischemikalien - Chemikalien, von denen weltweit jeweils mehr als 1 Million t/Jahr hergestellt werden - ist aufgrund der großen produzierten Mengen und der darauf aufbauenden Produktlinien, für eine nachhaltige Entwicklung von besonderer Bedeutung. Gerade in diesem Bereich scheint daher ein Übergang zur molekularen Nutzung nachwachsender Rohstoffe sinnvoll. Dies macht zum Teil auch eine Entwicklung neuer Prozesse für bestimmte Basischemikalien oder sogar die Entwicklung völlig neuer Synthesewege zur Nutzbarmachung neuer, aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugten, Basischemikalien erforderlich. Die Produktionsprozesse darauf aufbauender chemischer Produkte müssen so gestaltet werden, dass sie eine nachhaltige Weiterverarbeitung möglich machen. Methoden und Kriterien zur Bewertung der Nachhaltigkeit von diesen neuen Prozessen und Produkten sind daher in Entwicklungs- und Syntheseprozesse einzuplanen. Bei der Erstellung von Nutzungskonzepten der pflanzlichen Biomasse, sollten vor einer biotechnologischen oder energetischen Nutzung immer auch die Möglichkeiten einer molekularen „Vor“nutzung von Inhaltsstoffen erwogen werden. Vor allem beim Einsatz pflanzlicher

Rohstoffe als Basischemikalien für die organische Synthese sollte die Syntheseverleistung der Natur weitgehend genutzt werden, sodass komplexe Moleküle, die petrochemisch nur in mehrstufigen Reaktionsschritten zugänglich sind, in möglichst wenigen Syntheseschritten aus dem natürlichen Ressourcenpool erhalten werden können.

Die meisten Produkte, die mit Synthesen aus nachwachsenden Rohstoffen erhalten werden können, sind gegenwärtig im Vergleich zu den Produkten der Petrochemie noch nicht wirtschaftlich konkurrenzfähig, was sich aber, wie oben dargestellt, mit der zunehmenden Verknappung und damit Verteuerung des Erdöls ändern wird.

Der Anteil an nachwachsenden Rohstoffen als Ausgangsmaterialien für die Produktion von Chemikalien liegt heute in Deutschland und Amerika lediglich bei etwa 10%, in Deutschland entspricht das  $1,8 \times 10^6$  t.

Es wird davon ausgegangen, dass sich dieser Anteil jedoch deutlich erhöhen wird [2]. Langfristig sind damit pflanzliche und tierische Rohstoffe die einzig tragfähige Lösung die künftig die Basisrohstoffe Erdöl und Kohle in der chemischen Industrie ersetzbar machen wird [3]. Das National Research Council der USA hat im Jahr 2000 seine Untersuchungen über die voraussichtliche Entwicklung der Nutzung nachwachsender Rohstoffe bis 2090 vorgelegt. Darin prognostiziert man den, in der Erzeugung von organischen Chemieprodukten, eingesetzten Anteil an nachwachsenden Rohstoffe im Jahr 2020 mit 25% (Abbildung 4) [4].

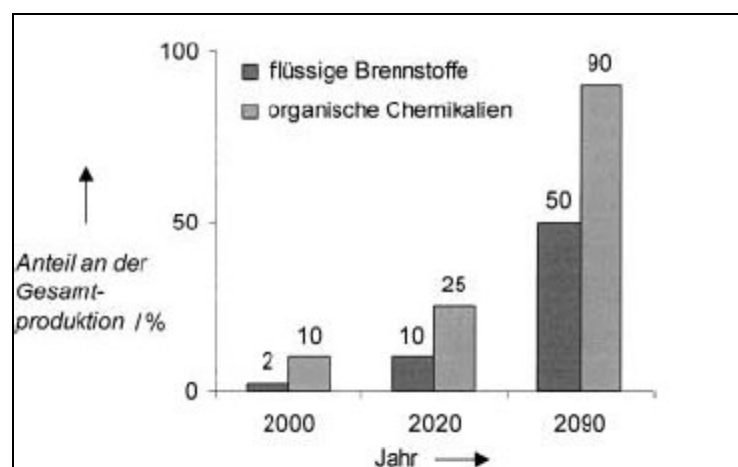


Abbildung 4: Anteil nachwachsender Rohstoffe in der Produktion (Quelle: National Research Council, USA)

### Nachwachsende Rohstoffe in der chemischen Industrie

Die Rohstoffquellenaufteilung der nachwachsenden Rohstoffe in der deutschen chemischen Industrie stellt sich zur Zeit wie folgt dar: Fette und Öle (51%), Kohlenhydrate (43%), und sonstige (6%, Proteine u. Proteinhydrolysate, etc.)

Natürliche Öle und Fette, Stärke, Cellulose und Zucker machen damit mengenmäßig zusammen mehr als 90 % der heute in der Chemie genutzten nachwachsenden Rohstoffe aus (Abbildung 5).

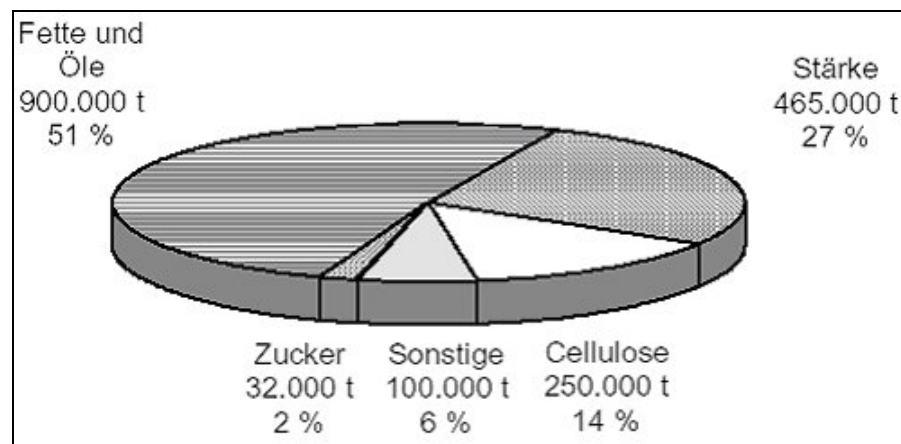


Abbildung 5: Nachwachsende Rohstoffe in der deutschen chemischen Industrie 1991

Im Bereich der natürlichen Öle und Fette, deren derzeitige Produktion weltweit annähernd 100 Mio. t beträgt, nehmen aus Ölsaaten gewonnene Pflanzenöle eine besondere Rolle ein. Ihre Erzeugung wurde in den letzten 25 Jahren mehr als verdoppelt, wobei Sojaöl und Palmöl gefolgt von Raps- und Sonnenblumenöl die bedeutendsten Pflanzenöle sind. 85 % der produzierten Fette und Öle dienen der menschlichen Ernährung, und ca. 15 % werden technischen Zwecken zugeführt (Waschmittel, Polymere, etc.).

In verschiedensten Bereichen werden Produkte auf Basis nachwachsender Rohstoffe vermehrt erfolgreich eingesetzt: Pharmazeutika (Antibiotika, Vitamine), Kosmetika (Haut- und Haarpflegebereich), Detergenzien (Tenside zur Herstellung von Wasch-, Spül- und Reinigungsmitteln, Emulgatoren und Hilfsmittel bei der Färberei), Pflanzenschutzmittel, Verpackungsmaterialien (Papier, Filme, Folien),

Textilien, Klebstoffe (Tapetenkleister, Leime für Holzplatten), Baustoffe (Gips-Kartonplatten) sowie Chemikalien (Kunstharze, Polyurethane, Polyether, Phenolharze, Weichmacher, organische Säuren).

Die Möglichkeiten der Anwendung von pflanzlichen Rohstoffen betreffen dabei verschiedenste Branchen und Bereiche:

- Lebensmittel- (Nutraceuticals, Functional Food) und Futtermittelindustrie
- Pharmazeutische Industrie
- Kosmetikindustrie, „Wellnessbereich“
- Chemischen Grundstoffindustrie
- Technologischer Bereich

Drei Konzepte von Forschungsarbeiten, die zur Zeit der auf dem Gebiet der nachhaltigen Nutzung nachwachsender Rohstoffe laufen, sollen hier näher vorgestellt werden.

### **Die „Grüne Bioraffinerie“**

Eine innovative Möglichkeit der Nutzung von Pflanzenmasse zur Gewinnung von Basischemikalien (Milchsäure, Aminosäuren) und anderen potentiell interessanten Rohstoffen (Futtermittel, Faserstoffe, etc.) bildet das Konzept der „Grünen Bioraffinerie“, das gegenwärtig auf internationaler Ebene in ersten Pilotanlagen auf seine praktische Umsetzbarkeit hin geprüft wird. Die Grundidee dabei: Auf Basis biogener Rohstoffe (Gras, Klee, etc.) wird in Analogie zu einer Erdölraffinerie in einer einzigen Fabrik eine Vielfalt von Produkten hergestellt z.B. Kraft-/Brennstoffe, chemische Grundstoffe, Werkstoffe, Nahrungsmittel.

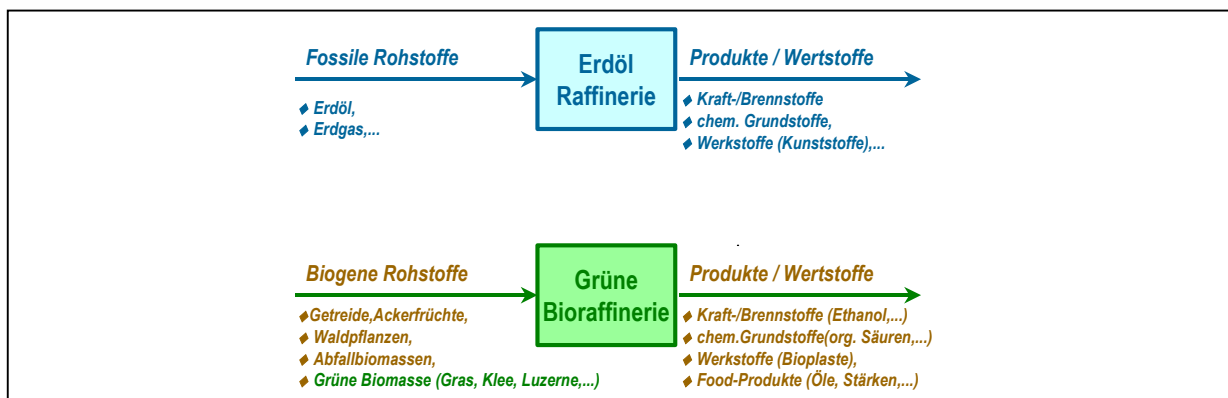


Abbildung 6 : Definition „Grüne Bioraffinerie“. (Quelle: Joanneum Research, 2002)

Grundsätzlich wird darauf abgezielt, aus hochverfügbaren und nachhaltig in der Landwirtschaft produzierbaren Rohstoffen, in einer einzigen Fabrik mehrere, völlig unterschiedliche Produktgruppen herzustellen

- Milchsäure-Produkte (Kunststoffe, Lösungsmittel, Lebensmittelindustrie etc.)
- Protein-Aminosäure Produkte (Tierfuttermittel)
- Faserstoffprodukte
- Energie aus Restbiomasse

Milchsäure könnte einer der gefragten Basisrohstoffe für Teilbereiche der Chemischen Industrie werden. Milchsäure wird bereits heute als Ausgangsprodukt für Polymer-Kunststoffe, Lösungsmittel sowie in der Lebensmittelindustrie eingesetzt. Für Milchsäure gibt es einen breiten nationalen und internationalen Markt. Derzeit importiert Österreich etwa 770 Tonnen Milchsäure pro Jahr. Das geschätzte Marktpotential liegt bei wesentlich höheren 15.000 Tonnen pro Jahr.

### ***Biogene Reststoffnutzung am Beispiel von Traubentrester***

Ein Beispiel für eine gewinnbringende, pflanzliche Reststoffverwertung ist die der stofflichen Nutzung von Traubentrester, einem bei der Wein- und Traubensaftproduktion anfallenden biogenen Reststoff. Verschiedene im Trester enthaltene Wertstoffe können durch ein technologisch angepasstes Nutzungskonzept parallel gewonnen werden. Die, durch diesen neuen kaskadischen Prozess, gewonnenen Stoffe werden für unterschiedlichste Einsatzgebiete nutzbar gemacht:

- Nahrungsmittel (Öl)
- Tierfutterzusätze (Schalenreste)
- Nahrungsmittelergänzungstoffe (Antioxidantien)
- Kosmetika (Öl, Antioxidantien)
- Pharmazeutische Basisprodukte (Weinsäure)



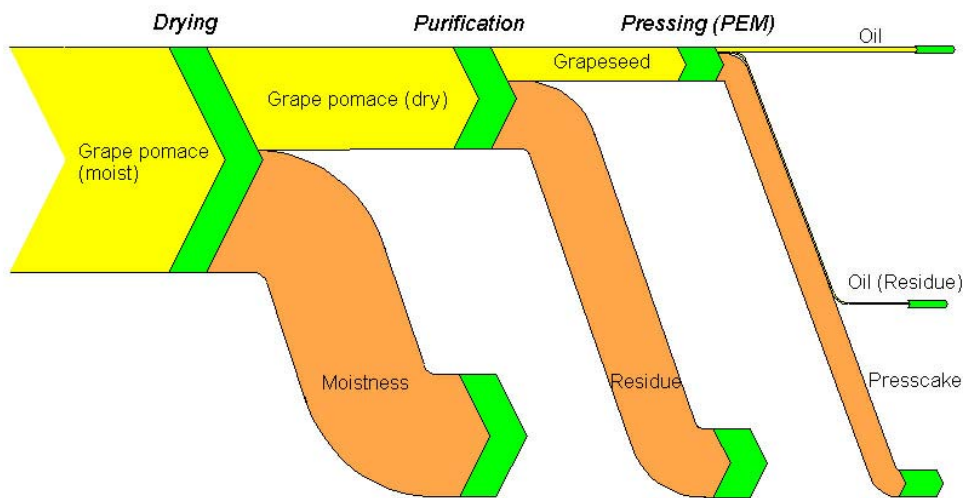


Abbildung 8: Beispielhafter Stofffluss bei der Traubentresternutzung (Quelle: Joanneum Research, 2002)

Das Traubenkernöl kann als hochwertiges Öl im Bereich der Kosmetik und als Speiseöl eingesetzt werden. Die Extrakte von OPC (Oligomere Proanthocyanidine) und Weinsäure werden in der Pharma-, Kosmetik- sowie im Bereich der Nahrungsmittelindustrie eingesetzt. Die Nutzung einiger, der aus dem Trester gewonnen, Stoffe ermöglicht damit den Ersatz von auf Erdölbasis erzeugten Rohstoffen in der Kosmetik- und Nahrungsmittelindustrie.

### ***Kondensatnutzung bei der thermische Holzbehandlung***

Die Suche nach umweltfreundlichen Vergütungsmethoden des Naturstoffes Holz hat durch geänderte gesetzliche Rahmenbedingungen zusätzlich an Auftrieb gewonnen. Die Hitzebehandlung von Holz ist im Vergleich zu chemischen, und neben biologischen Modifikationsmethoden, eine vielversprechende, nachhaltige Alternative. Durch die thermische Behandlung von Holz bei relativ niedrigen Temperaturen (160-250 °C) und unter Atmosphären von verringerter Sauerstoffkonzentration werden folgende Eigenschaften des Rohstoffes entscheidend verbessert:

- vermindertes Quellen und Schwinden, bessere dimensionale Stabilität
- hohe Resistenz gegen Pilzbefall ohne zusätzliche Imprägnierung
- kontrollierte Farbveränderung

Die thermische Modifikation von Holz geht Hand in Hand mit komplexen chemischen Abbau- und Umlagerungsreaktionen im Holz. Diese führen zu einem Holzmasseverlust von 5-15% (bezogen auf die darrtrockene Ausgangssubstanz) je nach Behandlungsbedingungen und Holzart. Diese Umwandlungsprodukte (kurzkettige organische Säuren, Furanderivate, Terpene, monomere Ligninderivate) treten vorwiegend als gasförmige Prozessemissionen auf und werden zur Zeit nur thermisch verwertet. Diese als Kondensat gewinnbaren Inhaltsstoffe stellen aber relevante Rohstoffe für eine industrielle Verwertung im Bereich der Chemie-, Pharma-, und Holzindustrie dar und sind damit eine zusätzlich nutzbare biogene Rohstoffquelle.

#### **Literatur:**

- 1 Anonymous. 2000. Biobased Industrial Products; Priorities for Research and Commercialization. National Research Council, Washington, DC, USA
- 2 W. Umbach in Perspektiven nachwachsender Rohstoffe in der Chemie, (Hrsg.: H. Eierdanz), VCH, Weinheim, 1996, S. IXXX-XLI.
- 3 W. A. Herrmann in Chemie: Eine reife Industrie oder weiterhin Innovationsmotor? (Hrsg.: U.-H. Felcht), Verlag der Universitätsbuchhandlung, Blazek und Bergmann seit 1891, Frankfurt, 2000, S. 97 – 122
- 4 Biobased Industrial Products; Priorities for Research and Commercialisation, (Hrsg.: National Research Council) Washington, DC, 2000; s. a. A. Thayer, Chem. Eng. News 2000, 78(22), 40.

**Kontakt:**

Dr. Herbert Boechzelt, Forschungsschwerpunkt für „Chemisch- Technische Pflanzennutzung“, Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme , JOANNEUM RESEARCH, Elisabethstrasse 16, Graz, Austria