



**Deutsche Biotechnologietage 2012**  
**09. -10. Mai 2012**  
**Frankfurt/ Main**

## **Prinzipien von Bioraffinerien- vom Rohstoffmix zum Produktmix**

**Präsentiert**  
**Prof. Dr. Birgit Kamm**  
**Wissenschaftliche Direktorin**  
**Forschungsinstitut biopos e.V. und**  
**Brandenburgische Technische Universität Cottbus**  
**Teltow-Seehof**  
**e-mail: [kamm@biopos.de](mailto:kamm@biopos.de)**





## Inhalt

- 1 Einleitung**
- 2 Was ist eine Bioraffinerie?**
  - 2.1 Internationale Bioraffineriesysteme**
  - 2.2 Plattformchemikalien und Produkte**
  - 2.3 Technische Ziele und Meilensteine**
- 3 Existierende Bioraffinerien**
- 4 Grüne Biomasse-Raffination und Produkte**
- 5 Lignocellulose-Rohstoff Raffination und Zusammenfassung und Ausblick**

## Einleitung

- **Der Erhalt und die Bewirtschaftung der Ressourcen ist ein wesentlicher Politikbereich einer umweltverträglichen, nachhaltigen Entwicklung im 21. Jahrhundert.**
  - **Die Verfügbarkeit von fossilen Ressourcen (Erdöl, Erdgas, Kohle, Mineralien) ist langfristig fragwürdig. Zudem wird aufgrund des steigenden Preises fossiler Ressourcen, deren Möglichkeiten der Nutzung eingeschränkt.**
  - **Die partielle oder vollständige Umstellung ganzer Volkswirtschaften auf erneuerbare Rohstoffe erfordert neue Ansätze in Forschung, Entwicklung und Produktion.**
- Ein wertstofflicher Ansatz sind Bioraffinerie-Systeme und Biobasierte Produkte.**

## Lösungsansätze

Umsetzung eines Drei-Säulen-Konzeptes aus:

- BioEnergie
- BioKraftstoffe
- Biobasierte Produkte

unter dem Dach einer Biobasierten Wirtschaft

Für die Stoffwirtschaft (Materialien und Produkte) gibt es nur die Alternative der Substitution fossiler Rohstoffe durch biologische Rohstoffe.



### Was ist eine Bioraffinerie?

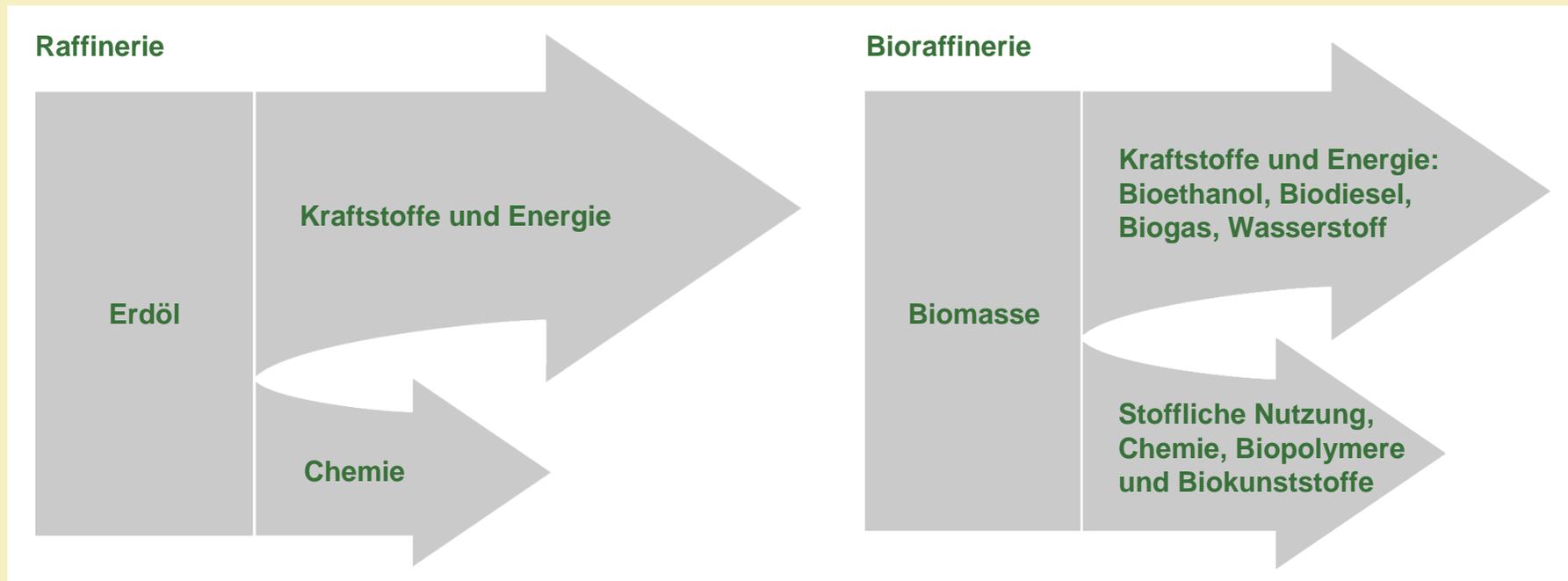
**Eine Bioraffinerie ist ein komplexes und integriertes System von Prozessen und Anlagen in welchem Biomasse in eine Vielzahl von Produkten umgewandelt wird. Bioraffinerie ist dem Konzept einer petrochemischen Raffinerie angelehnt. Bioraffinerien vereinen die Technologien zwischen den biogenen Rohstoffen und industriellen Zwischen- und Finalprodukten.**

**Biorefining oder Bioraffination ist letztendlich nicht anderes als die Übertragung von Effizienz und Logik der fossil-basierten Chemischen und Stoffwandelnden Industrie sowie Produktion von Energie auf die Biomasse-Industrie.\***

\* Kamm, B.; Gruber, P. R.; Kamm, M.; Biorefineries- Industrial Processes and Products: Ullmann's Encyclopädia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, 2007, 2011



## Vergleich der Basisprinzipien der Erdölraffinerie und der Bioraffinerie



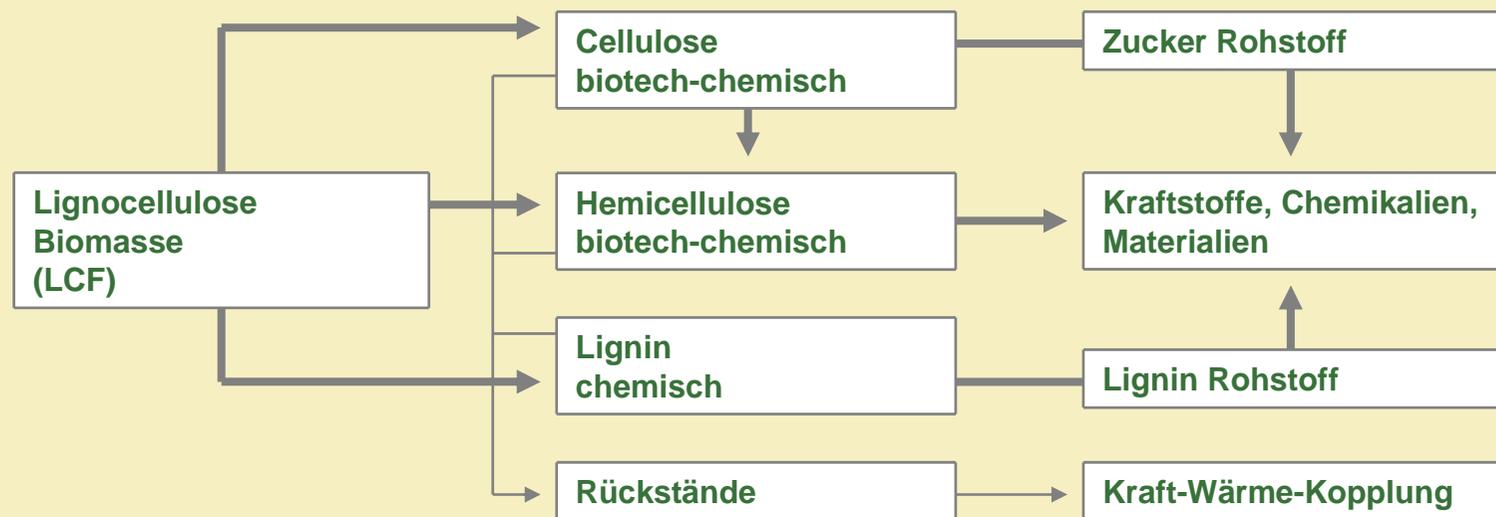
### Internationale Bioraffinerie-Systeme

Gegenwärtig werden in Forschung, Entwicklung und Praxis vier Systeme stark forciert:

- **Die LCF-Bioraffinerie – Lignocellulose Feedstock Biorefinery**  
(Rohstoffe: „naturtrockene“ Biomasse, cellulosehaltige Biomassen und Abfälle).
- **Die Getreide-Bioraffinerie – Cereale-Biorefinery/Corn-Refinery**  
(Rohstoffe: Getreide-Ganzpflanzen, z.B. Triticeen; Stärkepflanzen, z.B. Mais).  
Auch: Ganzpflanzen Raffinerie, Trocken- und Nassverfahren
- **Die Grüne Bioraffinerie – Green Biorefinery**  
(Rohstoffe: „naturfeuchte“ Biomassen, grünes Gras, Luzerne, Klee, unreifes Getreide).
- **Das Zwei-Plattform Konzept – Biorefinery two platforms concept**



## Lignocellulose Feedstock Bioraffinerie



### Vorteile

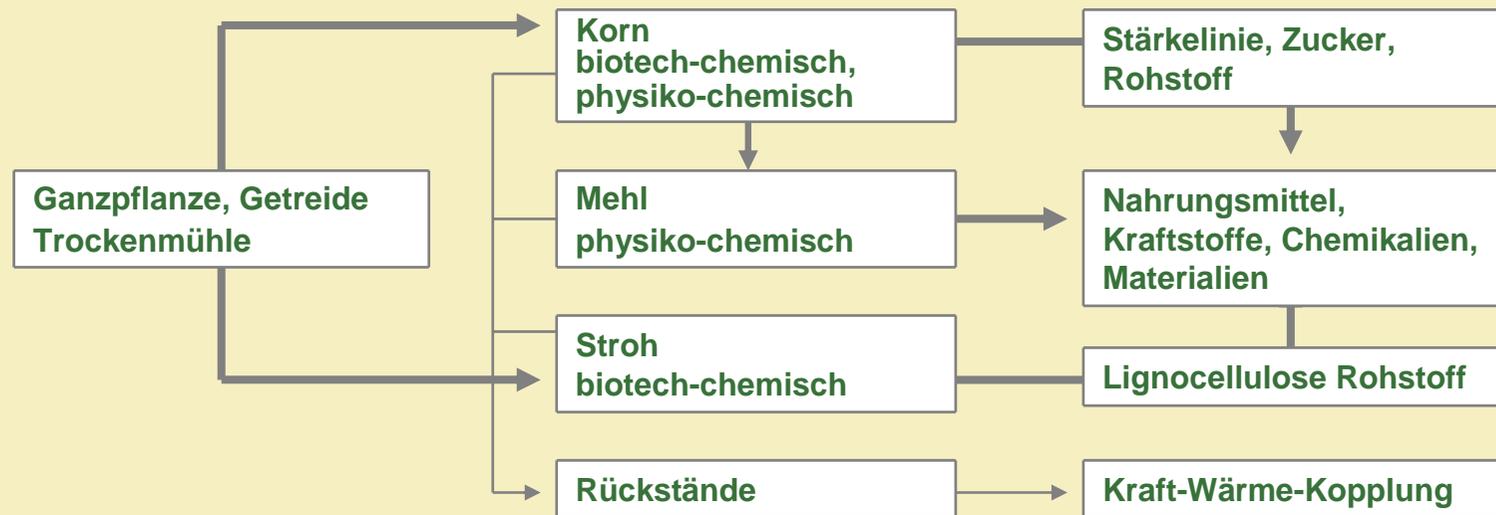
berücksichtigt den Erhalt von der Natur vorgeprägten Strukturen und Strukturelementen, Erhalt der Heteroatome, billiger Rohstoff, große Produktvielfalt, ausgeprägt stammbaumfähige Raffinerie

### Nachteile

noch Entwicklungsbedarf: z.B. Ligninverwertung, „saubere“ PrimärRaffination zu Cellulose, Hemicellulose, Lignin



## Getreide-/Ganzpflanzen Bioraffinerie



### Vorteile

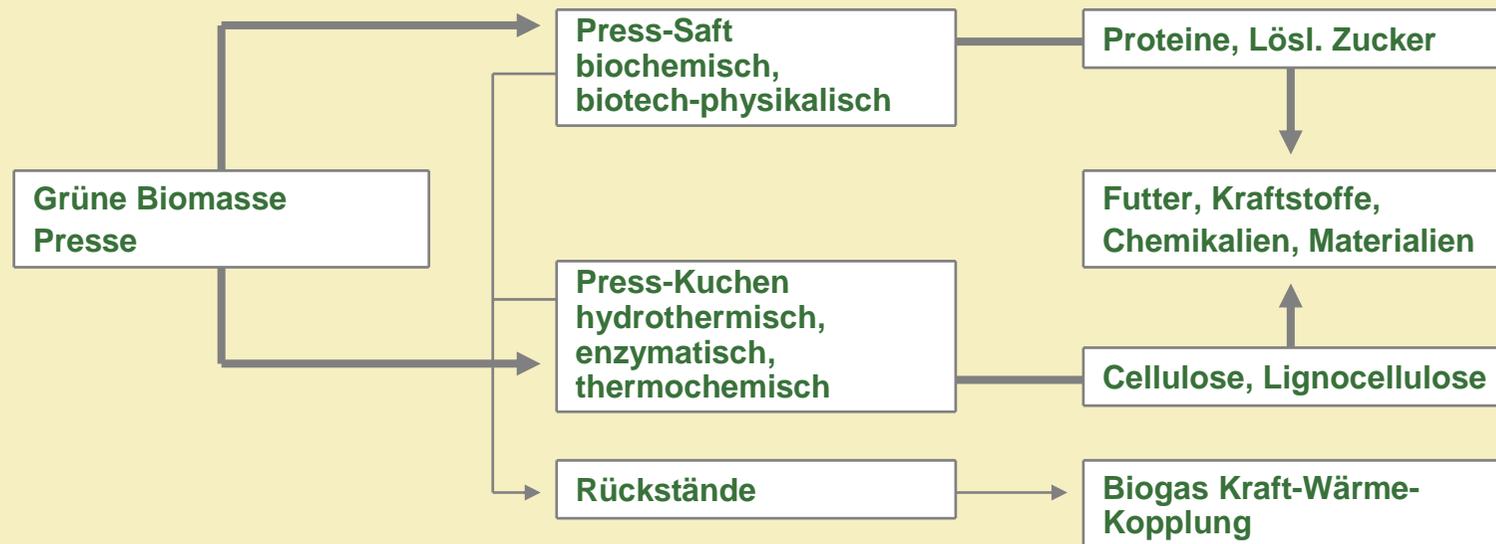
berücksichtigt den Erhalt von der Natur vorgeprägten Strukturen und Strukturelementen (Stärke, Cellulose), Erhalt der Heteroatome, eingefahrne Basistechnologie und Verarbeitungslinien.

### Nachteile

basiert im Wesentlichen auf „Ackerfrüchten“, d.h. hohe Rohstoffkosten.



## Die Grüne Bioraffinerie



### Aktivitäten

z.B. in Deutschland, Dänemark, Österreich, Frankreich

### Vorteile

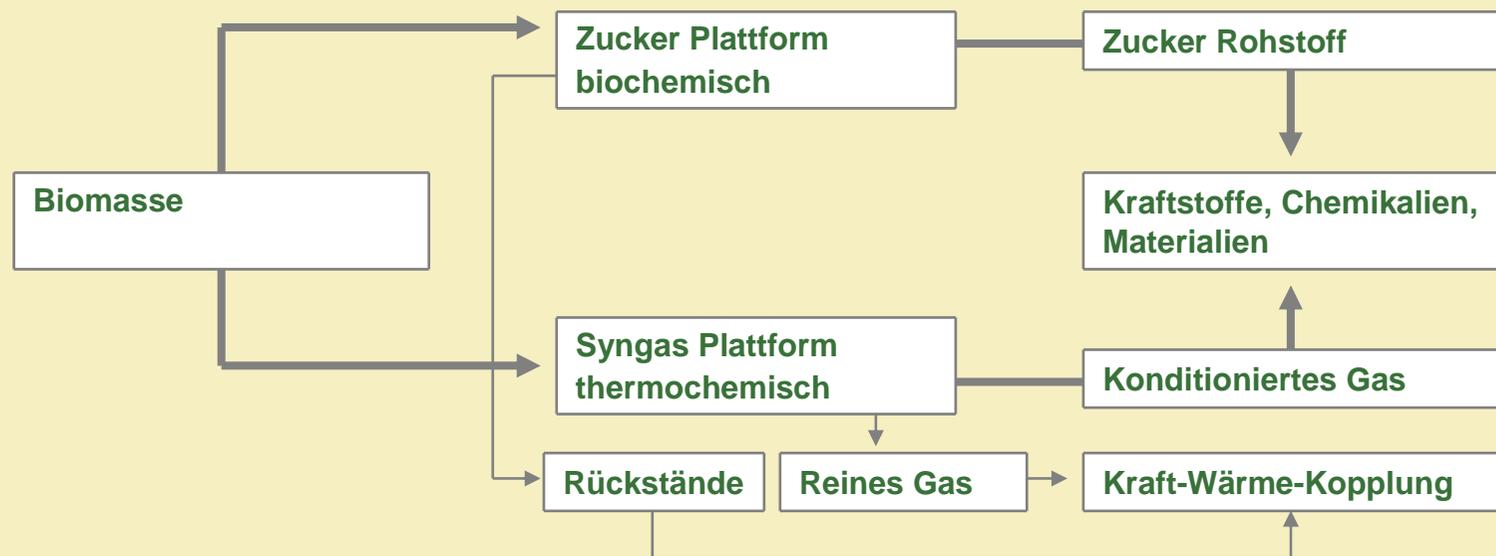
großer Biomasse-Ertrag/ha, gute Kopplung mit Agroproduktion, gutes biotech-chemisches Potential, „simple“ Basistechnologien

### Nachteile

schnelle Primärverarbeitung oder zu kontrollierende, da rohstoffverändernde Lagerung (Silage)



## Bioraffinerie Zwei-Plattform-Konzept



### Vorteile

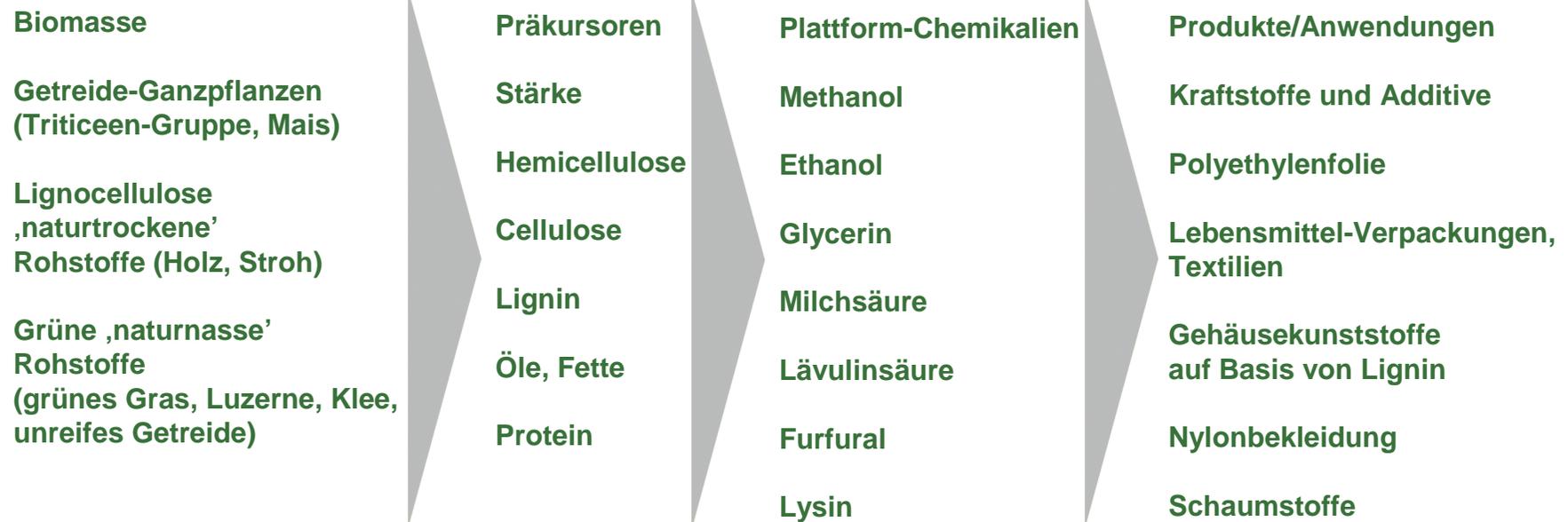
berücksichtigt Energie, Kraftstoffe und biobasierte Produkte, wenige großtechnische Basistechnologien nötig

### Nachteile

Sieht die Präkursoren Lignin (z.T. 30%), Proteine (z.T. 20%) und Öle nur als thermische/thermochemische Ressource, Hochtemperaturtechnologie

Quelle: National Renewable Research Energy Laboratory, USA

## Biomasse-Präkursoren, Plattformchemikalien und Anwendungen (Auswahl)

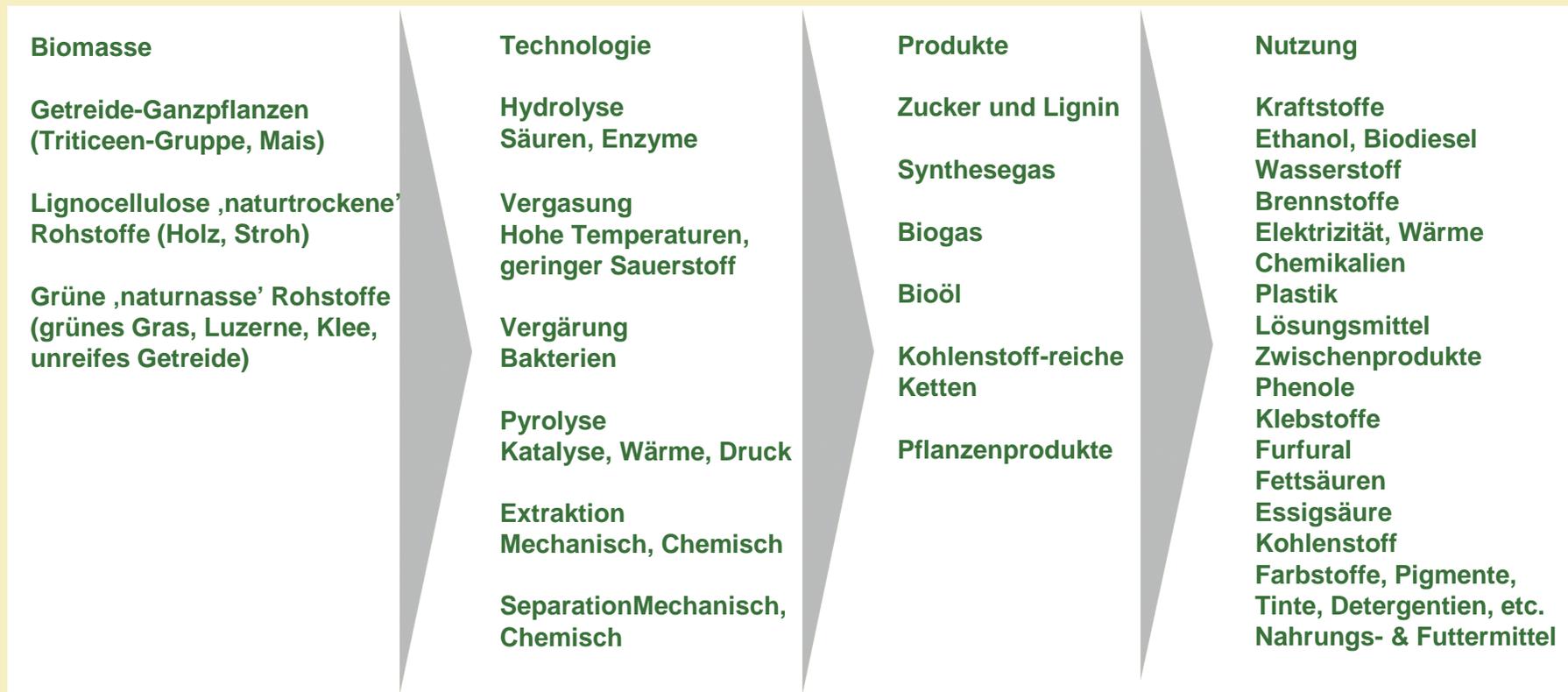


## Integrierte Bioraffinerien – Technische Ziele & Meilensteine



Quelle: Kaempf, D.; 1st International Biorefinery Workshop, Washington D.C.; July 20-21, 2005

## Integrierte Bioraffinerie Optionen





## Existierende Bioraffinerien

### Phase I (Generation I), Auswahl

Rohstoff	Anlagen	Länder
Zuckerrohr	Zucker und Ethanol Produktion	Brasilien 19 Mio t/a
Mais-Korn	Korn-Hydrolyse und Ethanol Produktion	U.S.A. 42 Mio t/a
Getreide-Korn	Korn Hydrolyse und Ethanol Produktion	Germany 1 Mio t/a

### Existierende Bioraffinerie, Phase II (Generation II)

Rohstoff	Anlagen	Länder
Mais-Korn	Korn Hydrolyse & Milchsäure-Fermentation & PLA Produktion	U.S.A. 200 kt/a LA 140 kt/ a PLA
Mais-Korn	Start 2007 Korn-Hydrolyse & 1,3-Propandiol-Fermentation	U.S.A. 45 kt/ a PDO



## Existierende Bioraffinerien

### Phase I (Generation I), Auswahl

Rohstoff	Anlagen	Länder
Zuckerrübe/ Weizen-Korn	Zucker Produktion bzw. Korn-Hydrolyse & Ethanol Produktion	Frankreich 1,2 Mio t/a
Zuckerrübe/ Weizenkorn	Zucker Produktion bzw. Korn-Hydrolyse & Ethanol Produktion	Belgien 1,3 Mio t/a
Getreide-Korn	Korn Hydrolyse und Ethanol Produktion	Spanien 1,3 Mio t/a

### Planung Bioraffinerie, Phase II (Generation II)

Rohstoff	Anlagen	Länder
Zuckerrohr	Start 2011 Ethanol-Fermen- tation & Dehydra- tisierung & PE Produktion	Brasilien 200 kt/ a PE
Gras-Silage	Start 2008 Pilotanlage Presssaft Aminosäuren Milchsäure	Österreich 5t/h Input



## Beispiel Existierende Industrielle Bioraffinerie

NatureWorks LLC (ehemals Cargill Dow) Polylactid Polymer (PLA) Anlage

### Landwirtschaft



Mais (Korn) als Rohstoff  
PLA Anlage kombiniert  
mit einer Cargill Starch  
Plant

### Biotechnologie



Lactic acid Plant;  
Blair, NE, USA  
Produktionsbeginn:  
Januar 2003  
200 kt LA Kapazität

### Chemie



PLA & Lactide Anlage;  
Blair, NE  
Produktionsbeginn:  
November 2001  
140 kt PLA Kapazität

### Material Prozesse



PLA (Polymer)  
für Materialien  
– Verpackung,  
Folien, Fasern etc.



## Zukünftige Vision PLA Produktion Typen von Rohstoffen

**Mais-, Getreidekorn**



**LC-Biomasse (Lignocellulose)**



**Weichholz**

**Hartholz**

**Gras**

**Agro-Reststoffe**

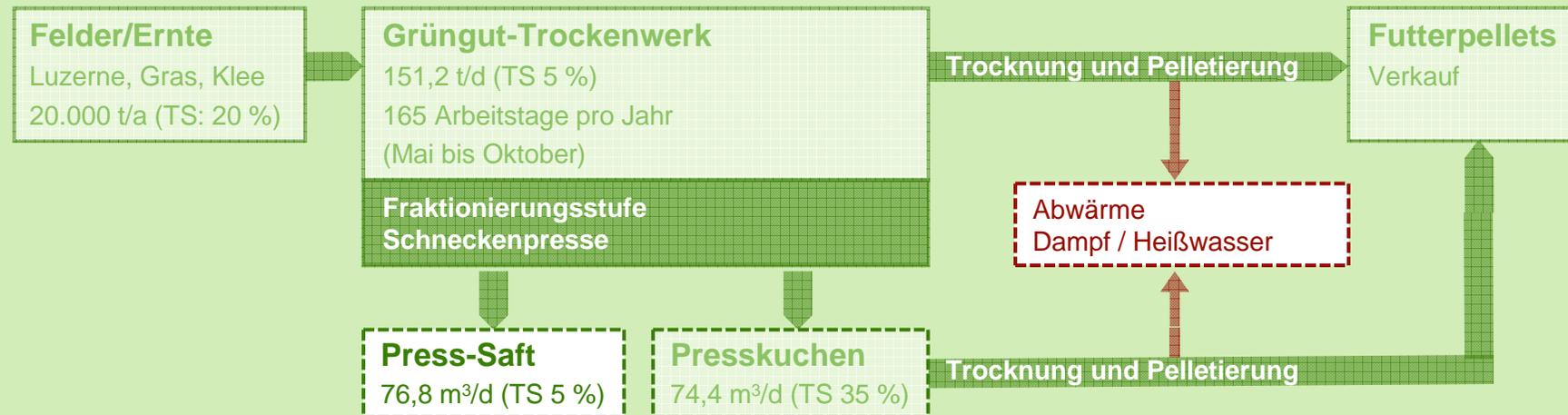


**z.B. Maisstroh,  
Getreidestroh,  
Bagasse, etc.**

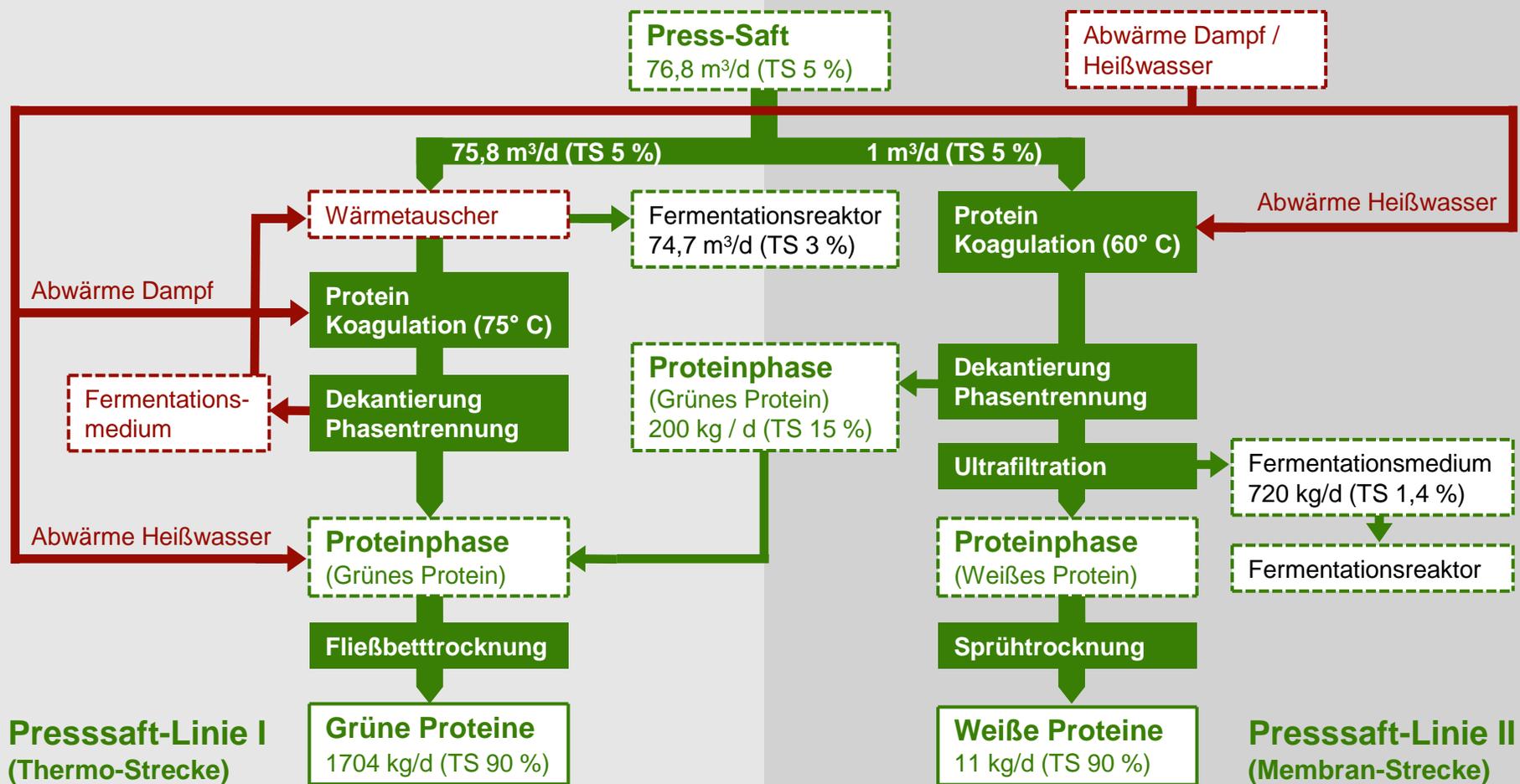


**Green  
Biorefinery**  
Demonstration Plant  
Germany

## 4 Grüne Biomasse- Primärraffination Prozess und Produkte



## 4.1 Prozess funktionelle Produkte und Fermentationsmedien





**Green  
Biorefinery**  
Demonstration Plant  
Germany

## 4.2 Markttauglichkeit der Produkte

### **Weiße Proteine, 3000 EURO/ Tonne**

Hohes funktionelles Potential

- für Schäume, Schaumstabilisatoren, Filme (Kosmetik)

### **Grüne Proteine (für hochwertige Futtermittel), 390 EURO/ Tonne**

- Aminosäuren (Asp, Glu, Ser, His, Gly, Thre, Arg, Ala, Tyr, Val, Phe, Ile, Leu, Lys, Pro, Hydroxypro, Met, Cys, Trp)
- Caroten
- Xantophyll
- Fett

### **Fermentationsmedien (für Biotechnologische Prozesse)**

- Glucose
- Proteine, Aminosäuren
- Fette
- Mineralien ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , P,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ )

## 5. Lignocellulose-Rohstoff- Bioraffination

### 5.1 Vergleich von NH<sub>3</sub> (flüssig)- und NH<sub>3</sub> (25 Gew%)-Aufschluss

1] EU-Projekt BUGWORKERS No. 246449 (biorefinery.de GmbH/ FI Biopos e.V.)

2] Teymouri, F., Dale, B.E. Bioresource Technology 96, 2014-2018 (2005).

bzgl. 100g Trockengewicht

	<b>NH<sub>3</sub> (flüssig)</b> [2]	<b>NH<sub>3</sub> (25 Gew.-%)</b> [1]
Biomasse	Maisreste	Weizenstroh
NH <sub>3</sub> :BM	1:1	5:1
H <sub>2</sub> O:BM	0.6:1	-
T [° C]	90	200
τ [min.]	5	5
p [psi]	300	551
Glucose [g]	38.5	38.4
Xylose [g]	18.5	15.9
Arabinose [g]	1.2	1.3
Proteinextrakt (fest) [g]	2	2
Reststoffe [g]	38.9	35
Möglicher Ort	Verknüpfung mit Chemiestandort	Verknüpfung mit landwirtsch. Standort

## 5.2. Hydrolysate (Glucose, Xylose, Arabinose) für Polyhydroxybuttersäure- Fermentation [1]



*Burkholderia sacchari* DSM 17165 [3]



PHB-Fermentation am IST Portugal [4]

1] EU-Projekt BUGWORKERS No. 246449

3] Brämer, C.O., et al.; Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 51, 1709-1713 (2001).

4] Cesario, M.T., Raposo, R. S., Almeida, M.C., Ferreira, B. S., van Keulen, F., da Fonseca, M. M., „Bioconversion of wheat straw hydrolysates into polyhydroxyalkanoates“, 6th ESBP, Dublin, Ireland, Sept. 26th-28th 2011

**AKTUELL: Upscaling des Strohaufschlusses und Hydrolyse im 200 Liter Reaktor  
Charakterisierung des Reststoffes Lignin zur stofflichen Verwertung**



## **Bioraffinerien und biobasierte Produkte und Technologien Zusammenfassung und Ausblick in Deutschland und EU**

### **Bioraffinerien**

- **Komplexe Systeme nachhaltiger Technologien auf Basis von Biomasse**
- **ökonomisch selbsttragende Betriebe bzw. Wirtschaftseinheiten**
- **Motoren von Forschungs- und Entwicklung biobasierter Produktlinien und Stammbäume**

### **Notwendigkeit**

- **Erweiterung der bestehenden Produktionsanlagen der Cellulose-, Stärke-, Zucker- und Ölproduktion**
- **Einführung und Etablierung von Bioraffinerie-Demonstrationsanlagen**



## **Bioraffinerien und biobasierte Produkte und Technologien Zusammenfassung und Ausblick in Deutschland und EU**

### **Potenziale/Akteure**

- **BioVision 2030 Group (Dow, FHG-ICT, biorefinery.de, biopos u.a.)**
- **DECHEMA-Arbeitskreis „LCF-Bioraffinerie“, Chemisch-Biotechnologisches Prozesszentrum Leuna**
- **Technologieplattform Brandenburger Bioraffinerien**
- **EU Strategische Projekte BIOPOL und Biorefinery EUROVIEW, Star-COLIBRI**
- **IEA Bioenergy, Task 42 Biorefineries**
- **EU Integrated Project BIOSYNERGY (Koordinator: Niederlande)**
- **European Platforms: Forestry, Suschem, Biofuels, Plant for the future**

**[www.biorefinica.de](http://www.biorefinica.de)**



## Prinzipien von Bioraffinerien- vom Rohstoffmix zum Produktmix

### Kontakt

Prof. Dr. Birgit Kamm

FI biopos e.V. und BTU Cottbus

Forschungsstandort Teltow-Seehof

Kantstraße 55

D-14513 Teltow

Fon: 033 28-33 22-10

Fax: 033 28-33 22-11

Email: [kamm@biopos.de](mailto:kamm@biopos.de)

[www.biopos.de](http://www.biopos.de)

[www.biorefinica.de](http://www.biorefinica.de)

