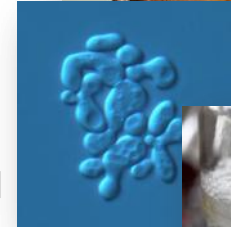


Prof. Dr. Kurt Wagemann, Dr. Kathrin Rübberdt

Billiges Schiefergas – Totengräber einer jungen Bio-Ökonomie?

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. - Auf einen Blick

- fördert den themenbezogenen Austausch in einem großen interdisziplinären Netzwerk
- identifiziert Trends in Forschung und Technologie
- gestaltet den Fortschritt in Chemischer Technik, Biotechnologie und verwandten Forschungsgebieten



- Über 5.700 Mitglieder (davon mehr als 650 Unternehmen und Institutionen)
- Thematische Arbeit in ca. 100 Gremien
- Tagungen, Kolloquien und Weiterbildung
- Studien, Positionspapiere und Broschüren
- Nachwuchsförderung
- ACHEMA: Weltweite Leitveranstaltung für Prozessindustrie und Biotechnologie
 - 3.800 Aussteller
 - 175.000 Besucher



Warum befasst sich die DECHEMA mit Shale Gas?

Klimaschutz
ProcessNet-FG SuPER

Verfahrenstechnik
*diverse DECHEMA- und
ProcessNet -Gremien*

Rohstoffbasis
*diverse DECHEMA- und
ProcessNet -Gremien*

**Mikrobielles Geschehen in
Tiefenbohrungen**
TAK Geobiotechnologie

**Boden- und
Grundwasserschutz**
ProcessNet-FG SuPER

Bild: Ruhrfish, GFDL. CC-BY-SA via Wikicommons

Übersicht

- Bioökonomie: Grundidee und Status quo
- Plattformchemikalien
 - aus dem Steam-Cracker
 - aus Naphtha
 - aus Shale Gas
 - aus Biomasse
- Fallbeispiele
 - Propylen
 - Acrylsäure
 - Epichlorhydrin
 - Butadien
 - Aromaten
- Zusammenfassung:
 - Billiges Schiefergas – Totengräber einer jungen Bio-Ökonomie?
 - Empfehlungen für die Bioökonomie

Bioökonomie – Grundidee und Status Quo

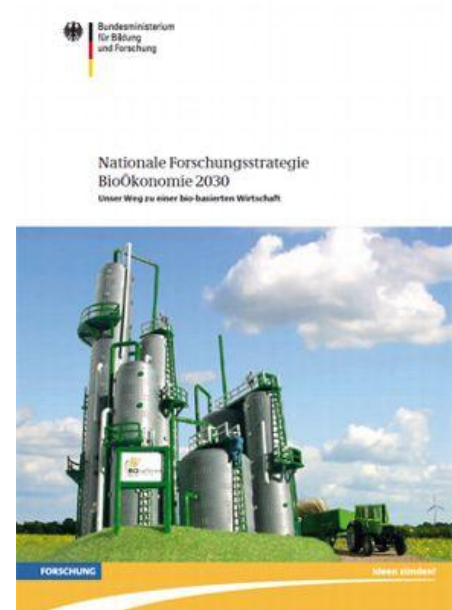


Bioökonomie nach der Definition des BMBF

„ Unter Bioökonomie wird eine Wirtschaftsform verstanden, welche auf der nachhaltigen Nutzung von biologischen Ressourcen wie Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen basiert.“

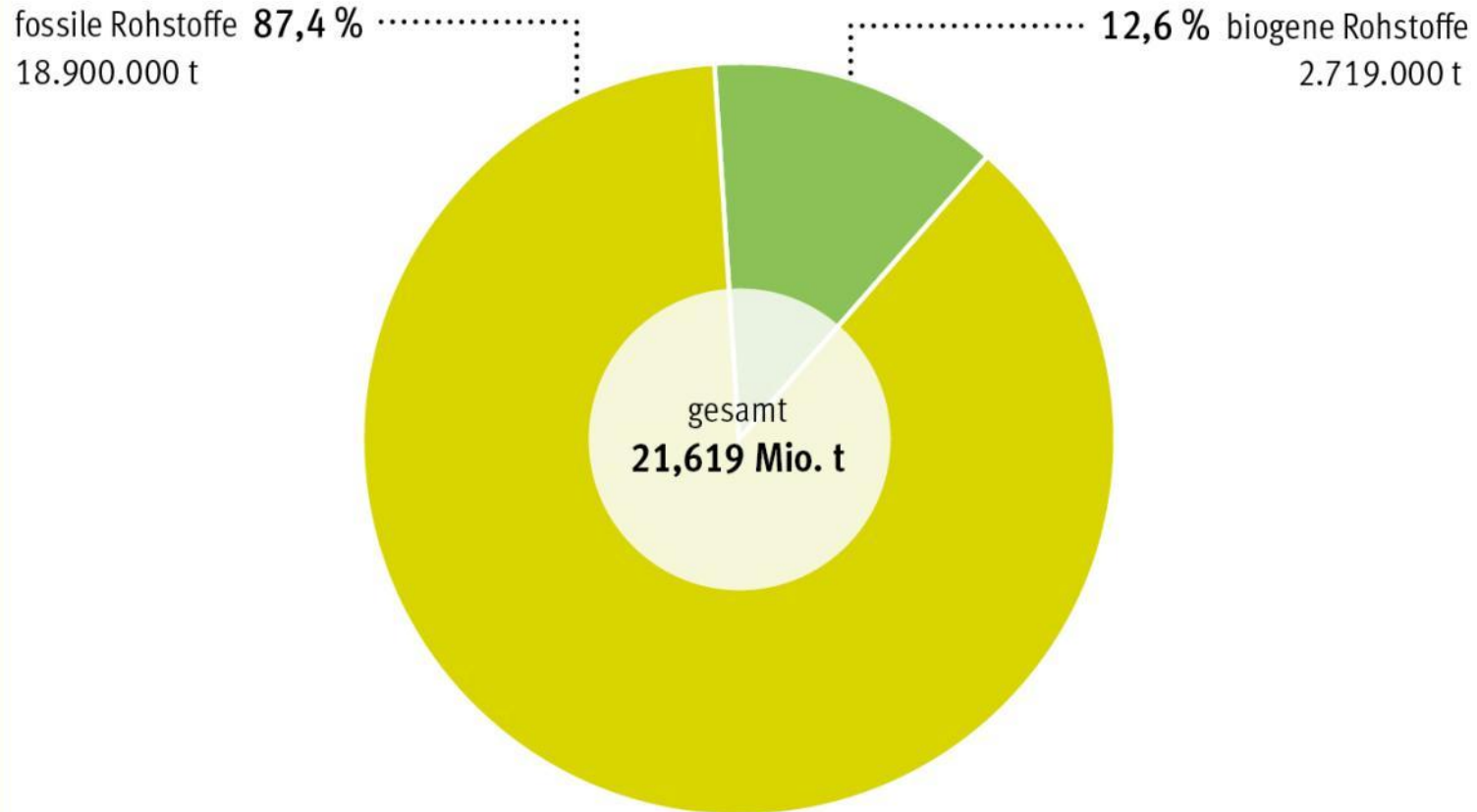
Handlungsfelder

- weltweite Ernährungssicherheit
- nachhaltige Agrarproduktion
- gesunde und sichere Lebensmittel
- industrielle Nutzung nachwachsender Rohstoffe
- Energieträger auf Basis von Biomasse.



Status Quo der Bioökonomie

STOFFLICHE EINSATZMENGE ORGANISCHER ROHSTOFFE IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE IN DEUTSCHLAND 2011

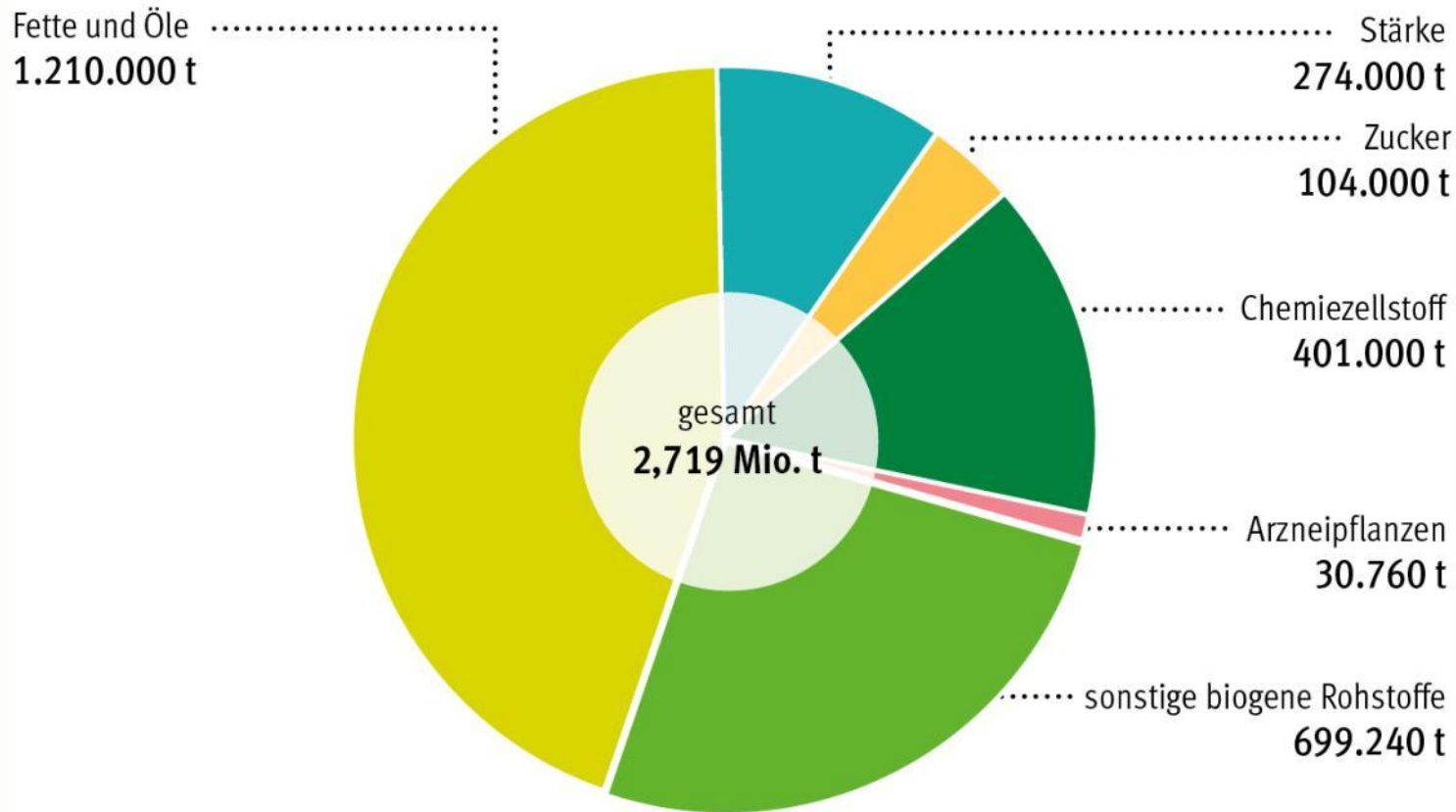


Quelle: FNR, BMELV, VCI (Oktober 2013)

© FNR 2013

Verwendung biogener Rohstoffe

STOFFLICHE EINSATZMENGEN NACHWACHSENDER ROHSTOFFE IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE IN DEUTSCHLAND 2011



Quelle: FNR, BMELV (Oktober 2013)

© FNR 2013

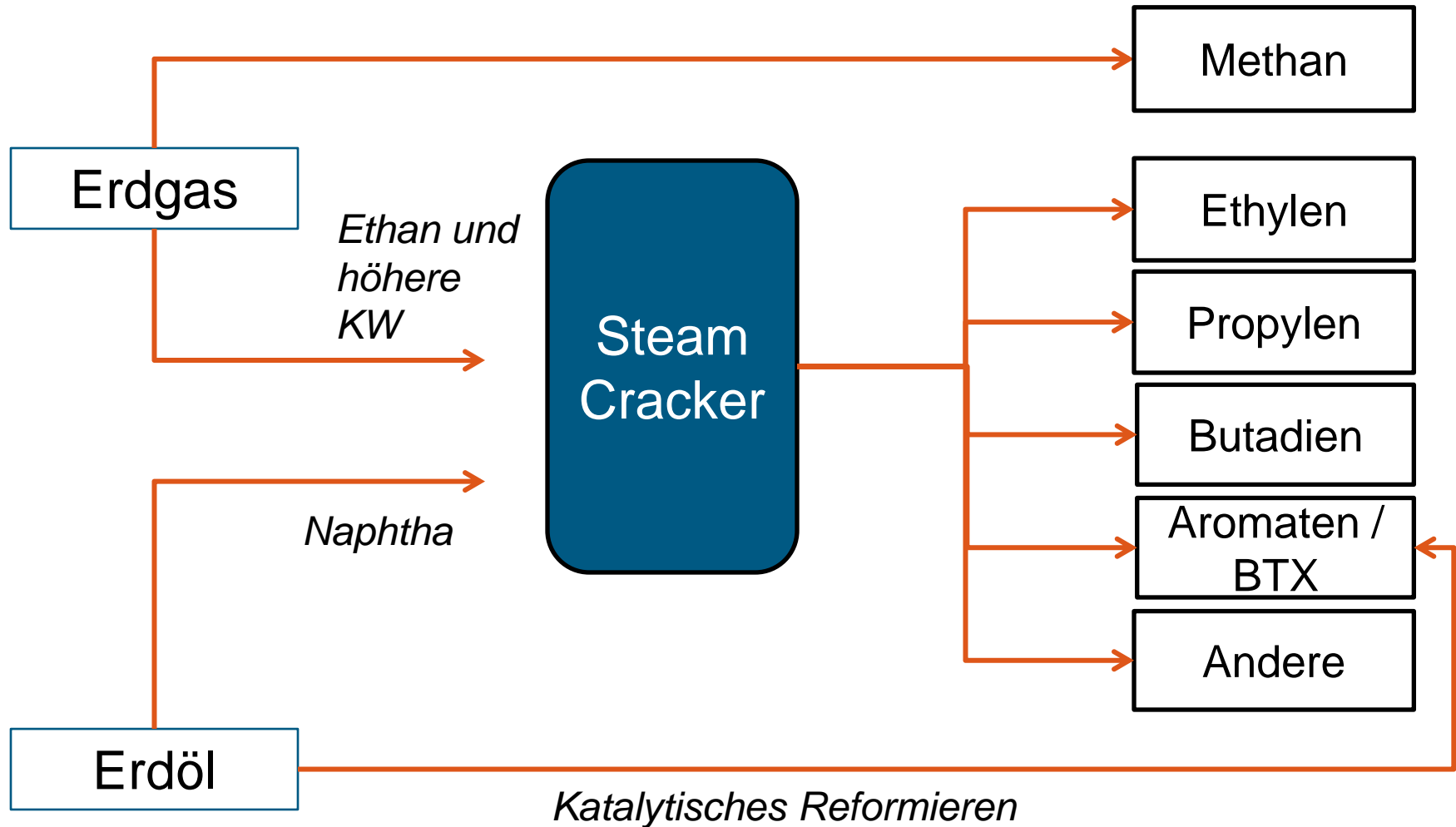
Plattformchemikalien

- aus dem Steam-Cracker
 - aus Naphtha
 - aus Shale Gas
- aus Biomasse



Quelle: BDXX, LHcheM alle via Wikicommons, GFDL

Überblick: Heutige Quellen für Olefine und Aromaten



Steam Cracker: Produktspektrum

Rohstoff	Ethylen	Propylen	Butadien	Aromaten	Andere
Ethan	84	1,4	1,4	0,4	12,8
Propan	45	14,0	2,0	3,5	35,5
Butan	44	17,3	3,0	3,4	32,3
Naphtha	34,4	14,4	4,9	14,0	32,3
Gas-Öl	25,5	13,5	4,9	12,8	43,3

Quelle: <http://chemengineering.wikispaces.com/Petrochemicals>

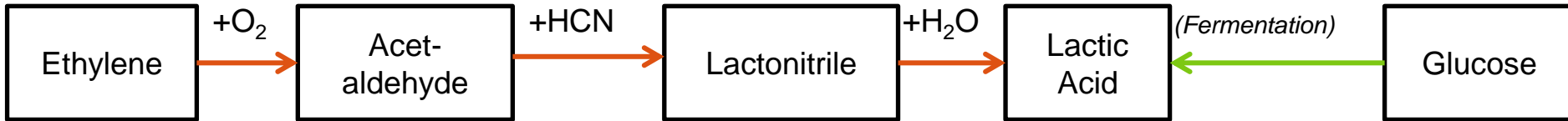
Composition of Natural Gases

	Natural gas gen. *	„wet“ Shale Gas (Marcellus Well)	„dry“ Shale Gas (Haynesville Well)
Methane	70-90%	79,4 %	95 %
Ethane	0-20%	16,1 %	0,2 %
Propane	0-20 %	4,0 %	
Butane	0-20 %		
Carbon Dioxide	0-8 %	0,1 %	4,8 %
Oxygen	0-0,2 %		
Nitrogen	0-5 %	0,4 %	0,1 %
H ₂ S	0-5 %		
Noble gas	traces		

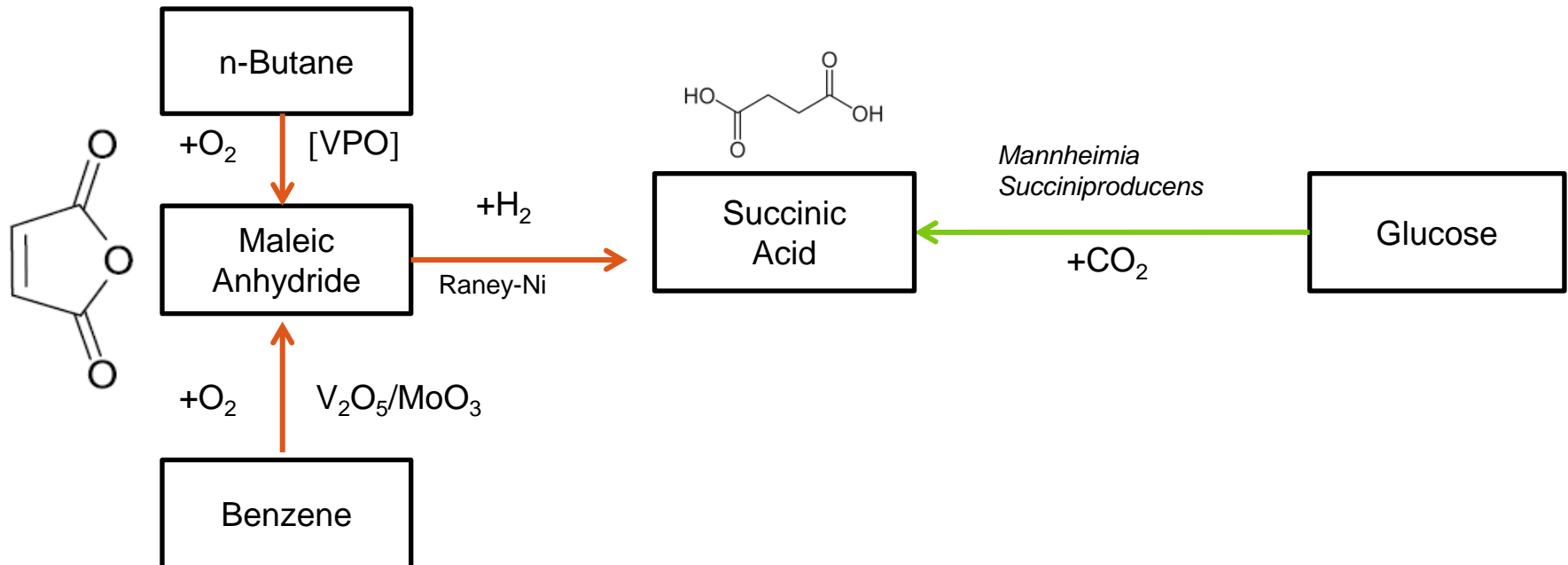
* Naturalgas.org; Oil & Gas Journal March 9, 2009

Vergleich: Darstellung von Milchsäure und Bernsteinsäure

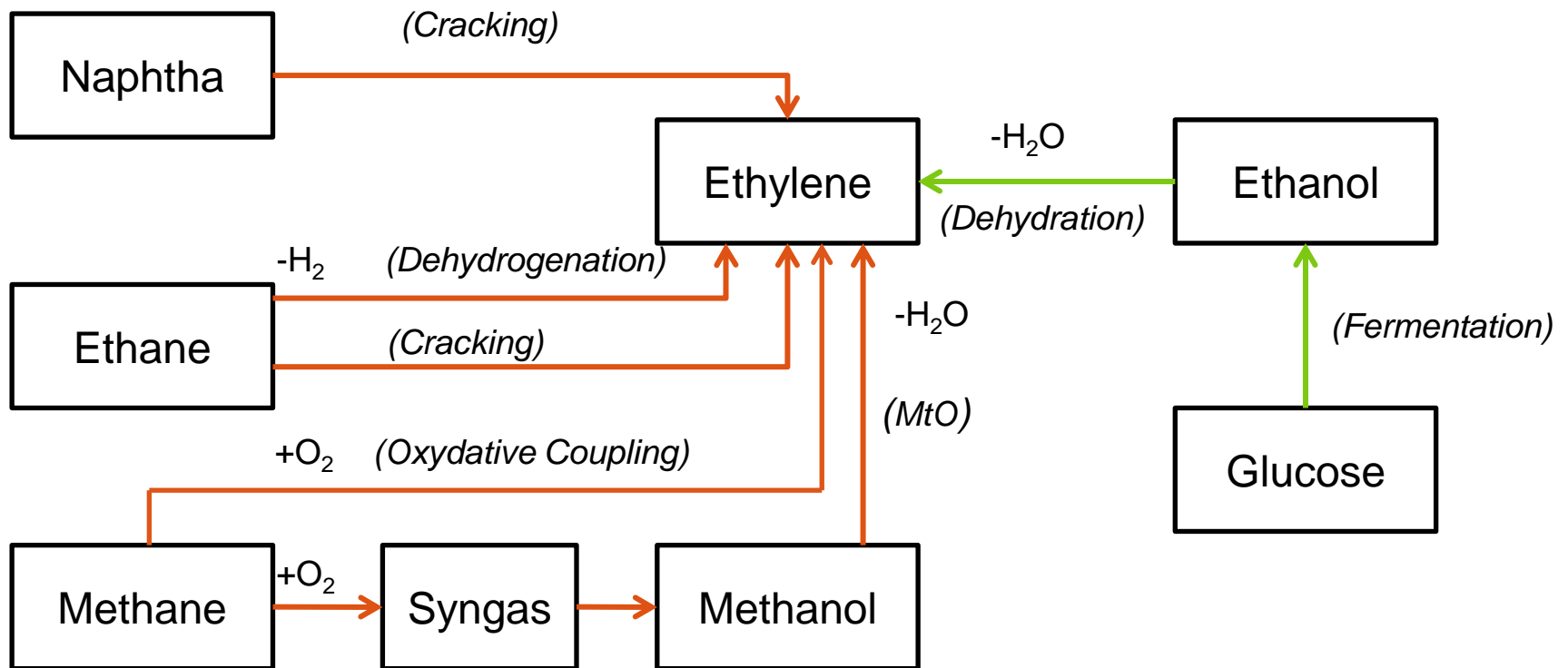
Milchsäure



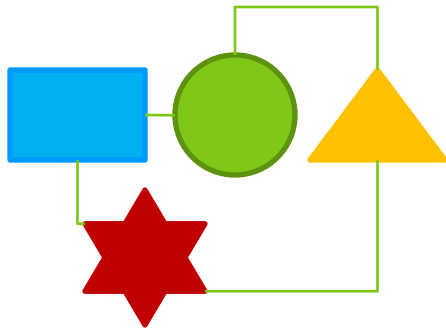
Bernsteinsäure



Wege zum Ethen

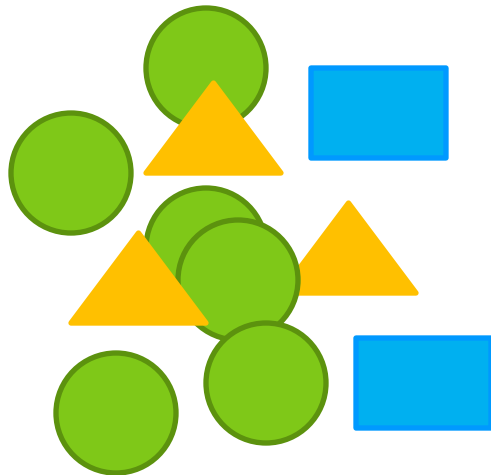
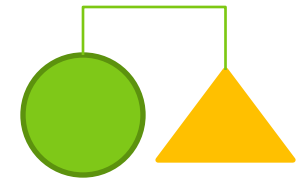


Grundsätzlich unterschiedliche Herangehensweisen



Biomasse: komplexe Moleküle

Gezielte Defunktionalisierung / Abbau



Erdöl / Erdgas: Gemisch kleiner Moleküle

Gezielte Funktionalisierung / Aufbau



Verfügbarkeit von Grundchemikalien: Effekte des Shale Gas Booms

	Verfügbarkeit (aus fossilen Rohstoffen)
Ethylen	↑
Propylen	↓
Butadien	↓
Aromaten	↓
Funktionalisierte C3-Verbindungen	↓
Methan	↑

Chancen für eine bio-basierte Herstellung?

DoE Screening Strategy: Potential Candidates as Platform Chemicals (2004)

	Direct Product Replacement	Novel Products	Building Block Intermediates
Characteristic	Competes directly against existing products and chemicals derived from petroleum	Possesses new and improved properties for replacement of existing functionality or new applications	Provide basis of a diverse portfolio of products from a single intermediate
Examples	Acrylic acid obtained from either propylene or lactic acid	Polylactic acid (glucose via lactic acid is sole viable source)	Succinic, levulinic, glutamic acids, glycerol, syngas
Upside	<p>Markets already exist</p> <p>Understand cost structures and growth potential</p> <p>Substantial reduction in market risk</p>	<p>Novel products with unique properties hence cost issues less important</p> <p>No competitive petrochemical routes</p> <p>Differentiation usually based on desired performance</p> <p>New market opportunities</p> <p>Most effective use of properties inherent in biomass</p>	<p>Product swing strategies can be employed to reduce market risks</p> <p>Market potential is expanded</p> <p>Capital investments can be spread across wider number of unit operations</p> <p>Incorporates advantages of both replacement and novel products</p>
Downside	<p>Strictly competing on cost</p> <p>Competing against depreciated capital</p> <p>Limited (green label) "market differentiation" for biobased vs. petrochemical based sources</p>	<p>Market not clearly defined</p> <p>Capital risk is high</p> <p>Time to commercialization may be long</p>	<p>Identifying where to focus R&D</p>

DoE 2004: 12 potenzielle Kandidaten für Plattformchemikalien

1,4-Dicarbonsäuren (z.B. Bernsteinsäure)		Itakonsäure	
2,5-Furandicarbon- säuren		Lävulinsäure	
3-Hydroxypropion- säure (Milchsäure)		3- Hydroxybutyrolacton	
Asparaginsäure		Glycerin	
Glucarsäure		Sorbit	
Glutaminsäure		Xylit	

Source: DoE, 2004

DoE 2004: 12 potenzielle Kandidaten für Plattformchemikalien

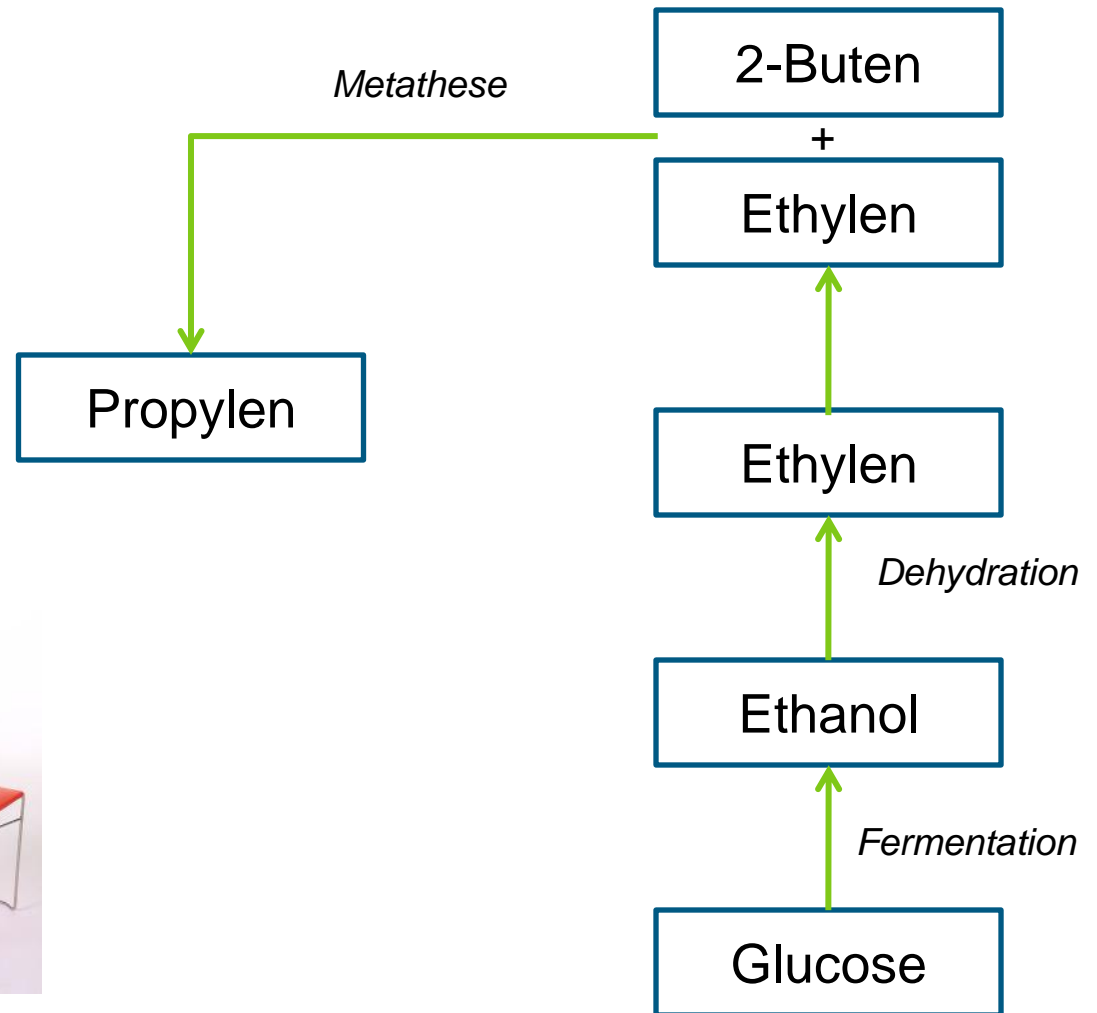
1,4-Dicarbonsäuren (z.B. Bernsteinsäure)		Itakonsäure	
2,5-Furandicarbonsäuren		Lävulinsäure	
3-Hydroxypropion- säure		3- Hydroxybutyrolacton	
Asparaginsäure		Glycerin	
Glucarsäure		Sorbit	
Glutaminsäure		Xylit	

Legend: DoE 2004 revisited (Jim Lane, BiofuelsDigest, 01/2013) „hot“ / „warm“ / „cold“

Fallbeispiele

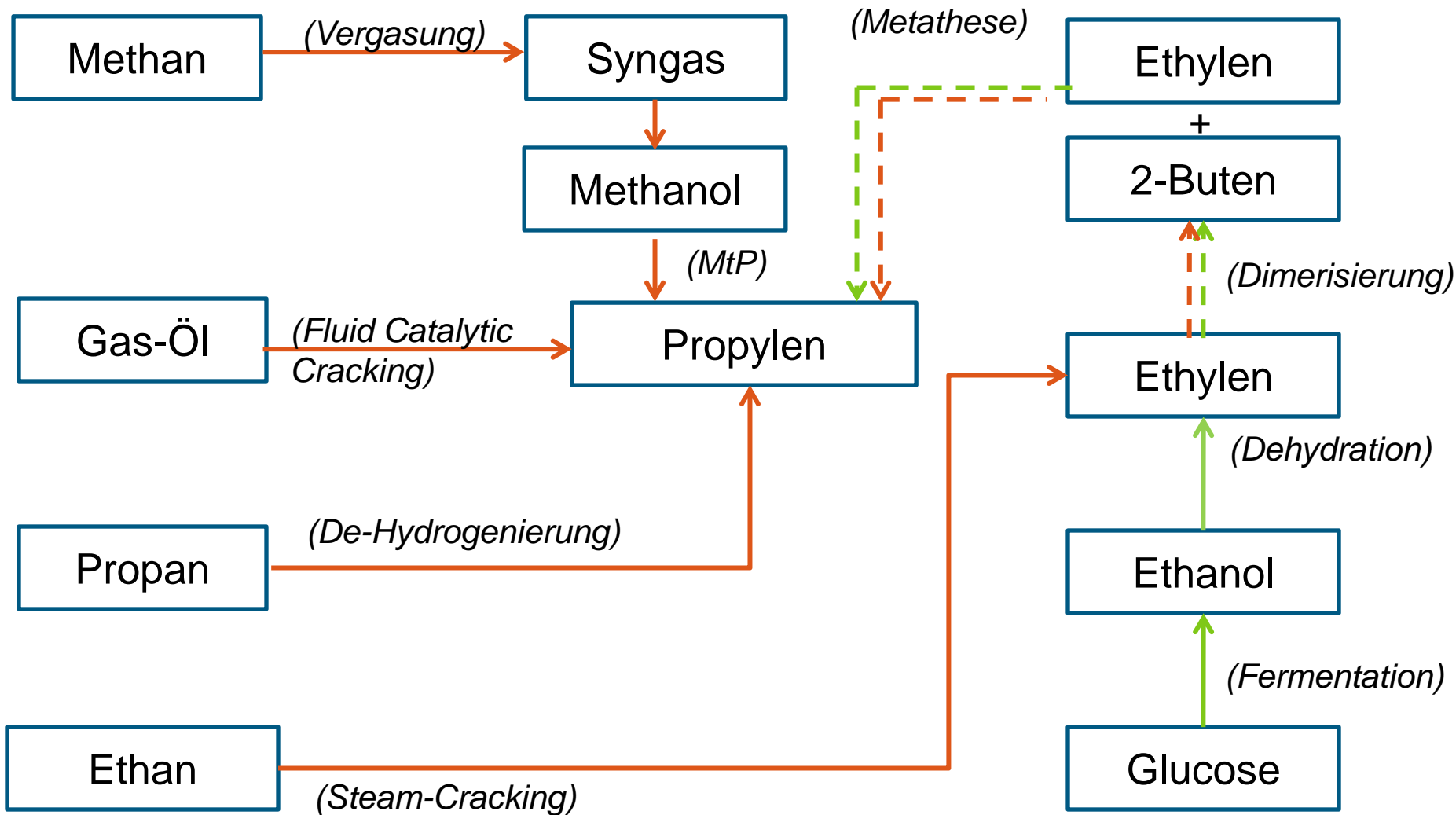


Biobasierte Wege zum Propylen

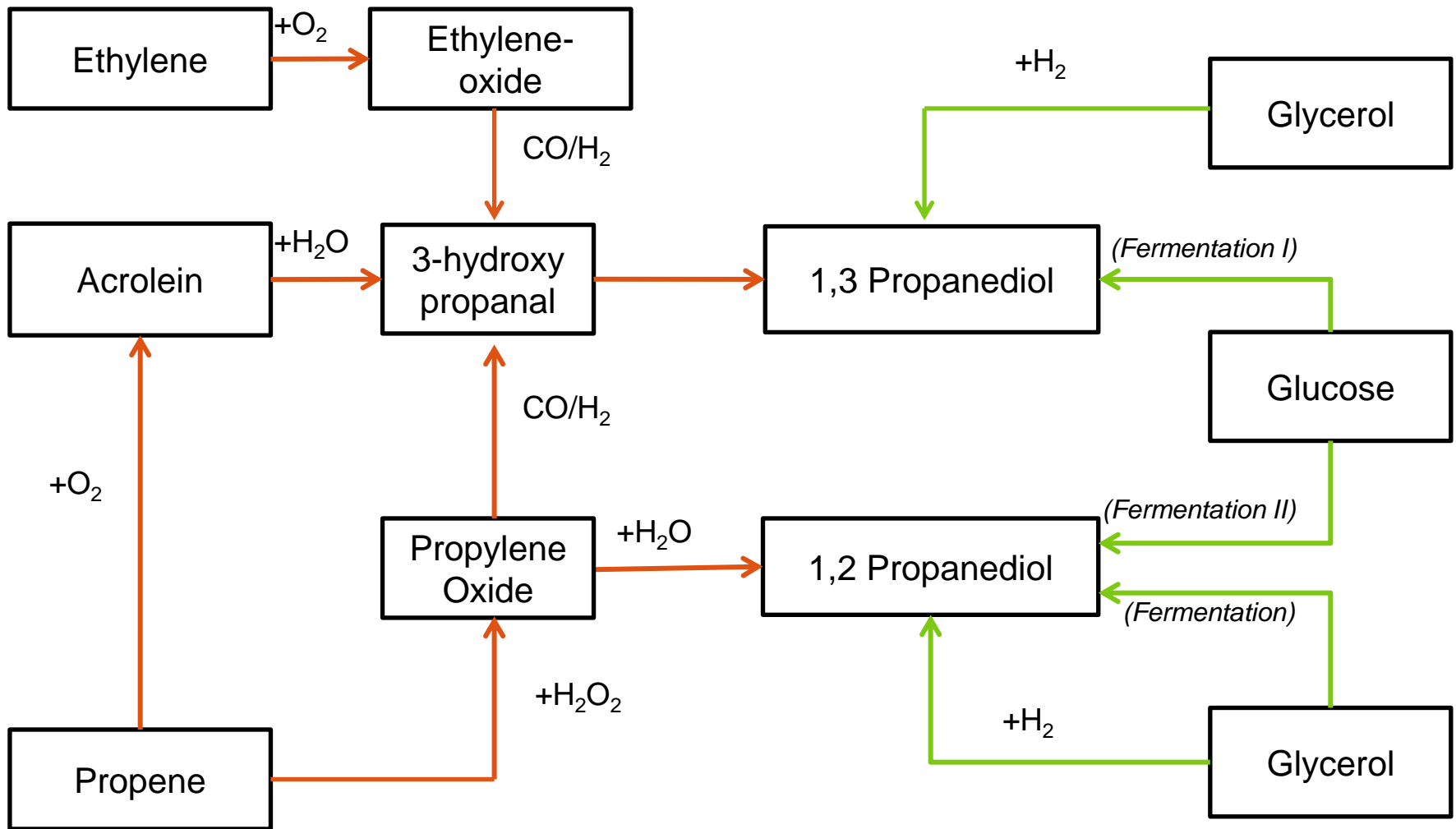


Pictures: Plastic lid: public domain; Kochbeutel: Echtner; chair: Alex Rio Brazil – all via Wikicommons

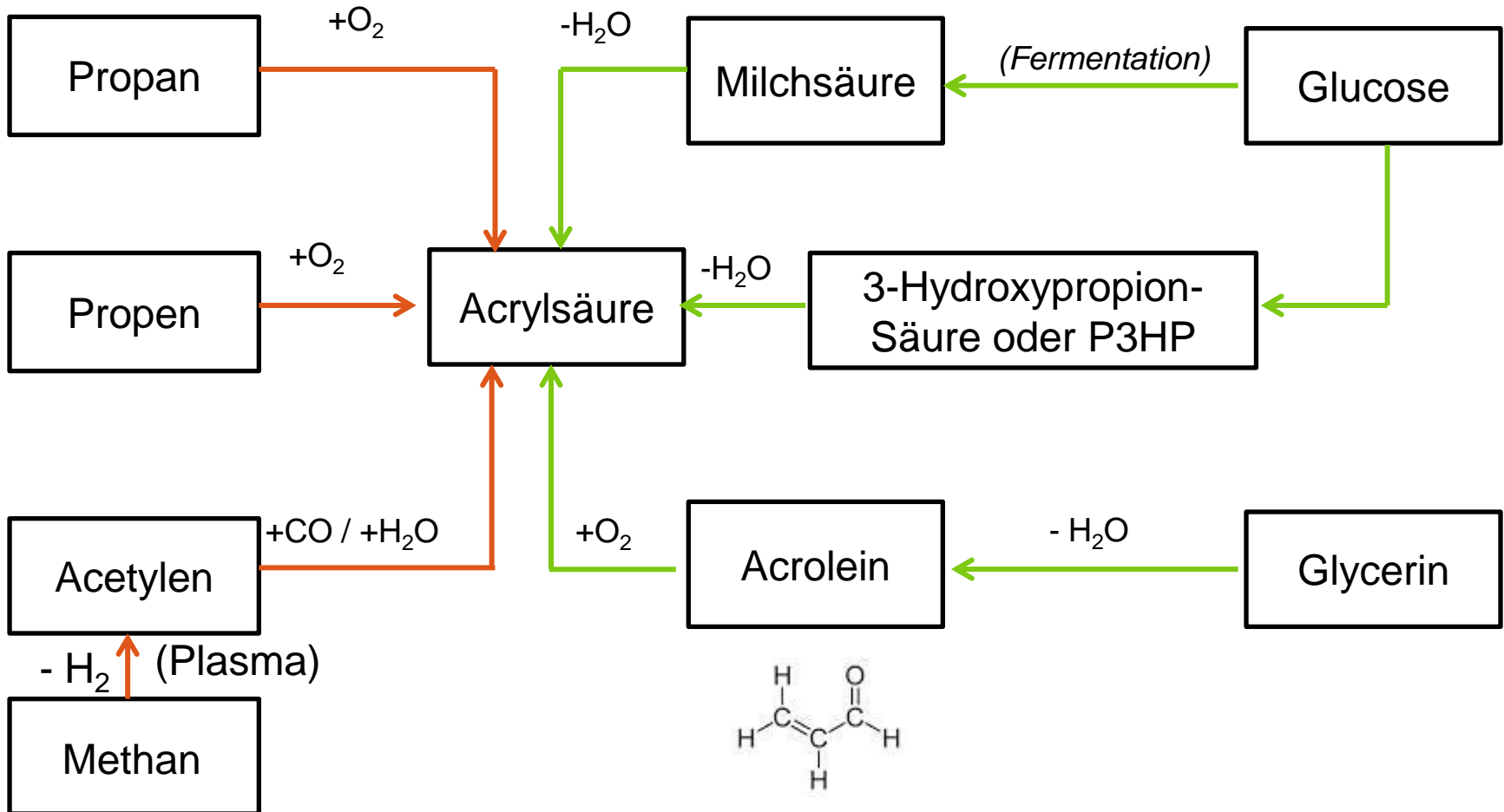
„Andere“ Zugänge für Propylen



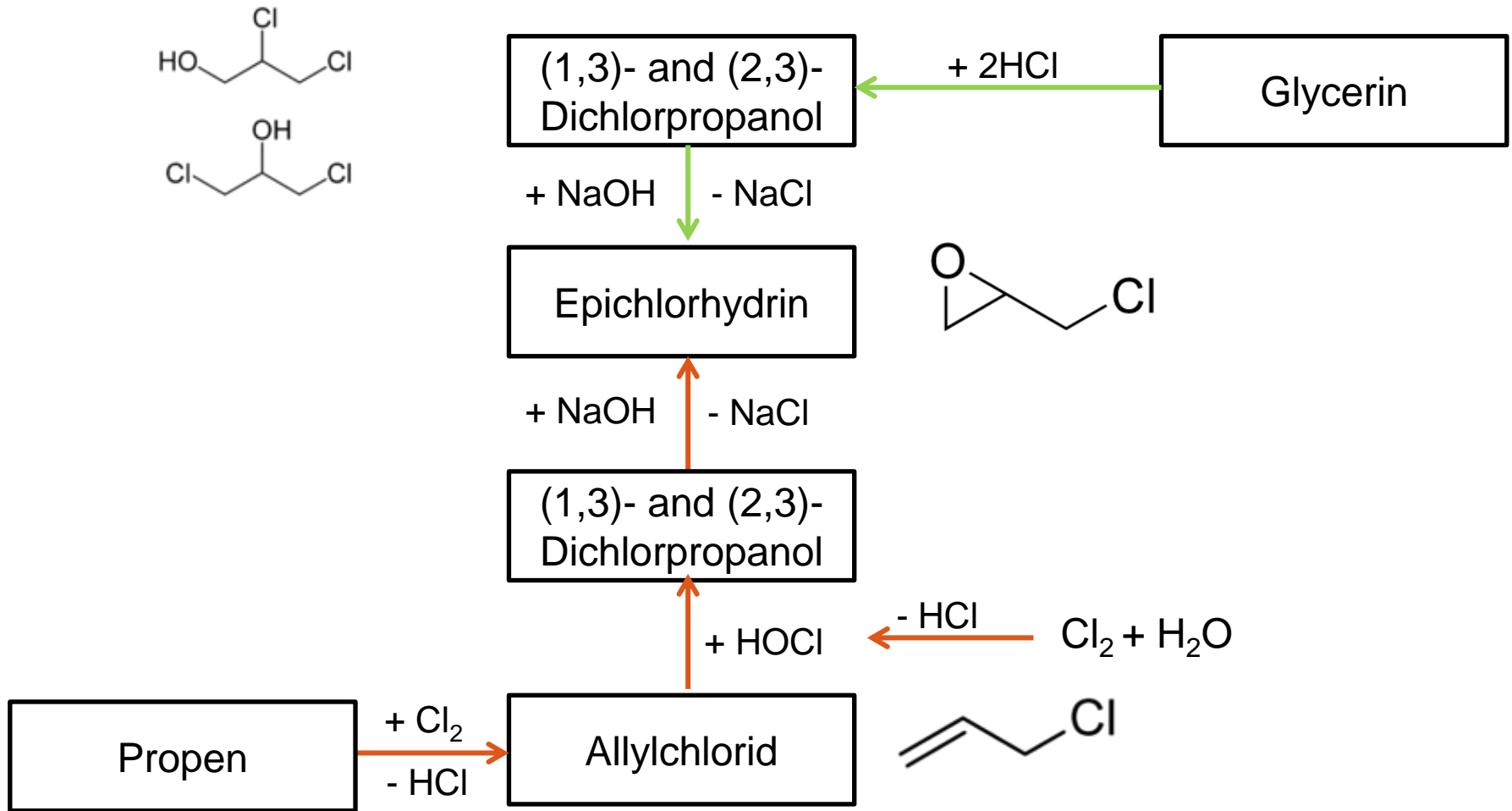
Propanediol



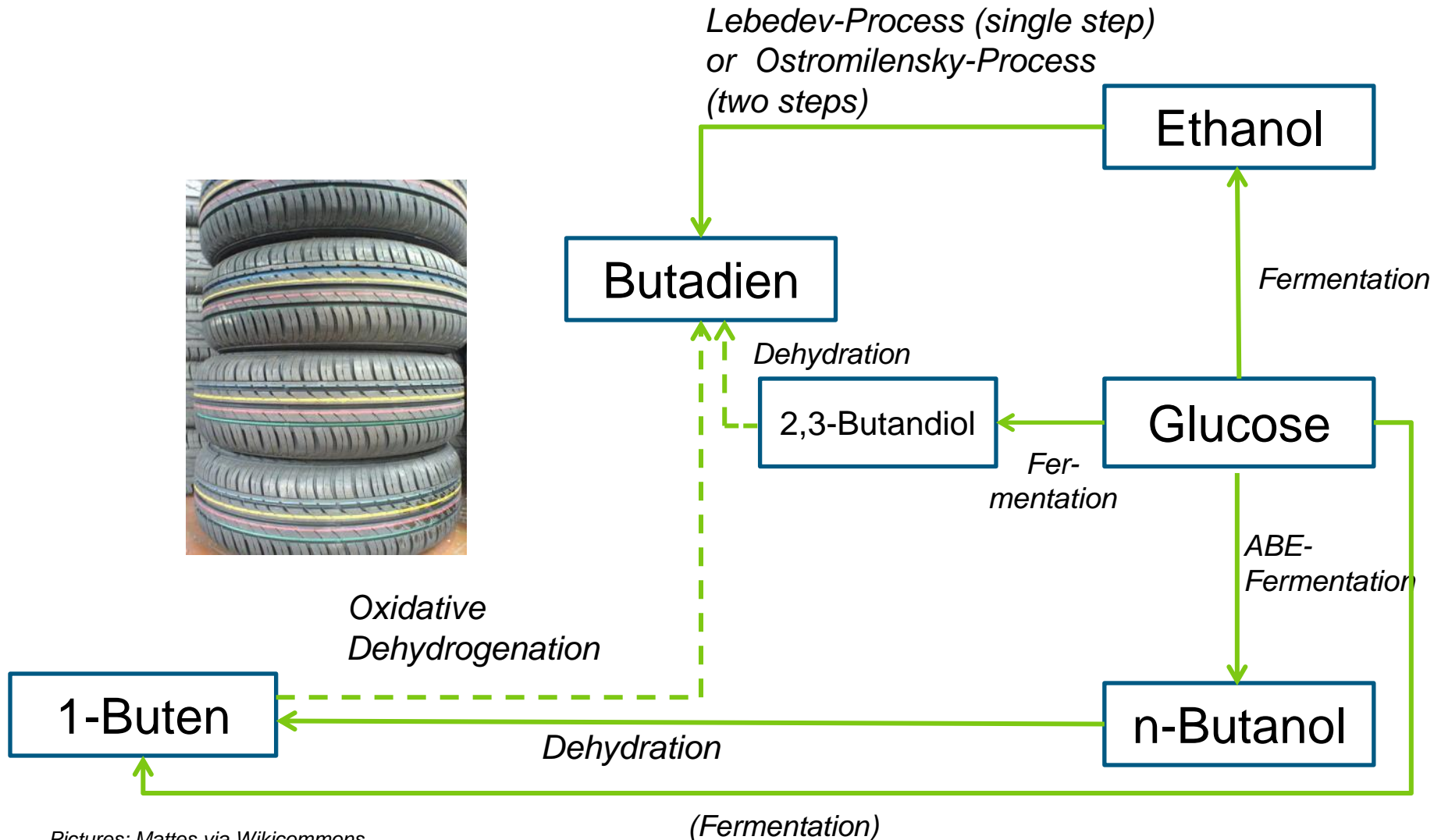
Herstellung von Acrylsäure



Herstellung von Epichlorhydrin



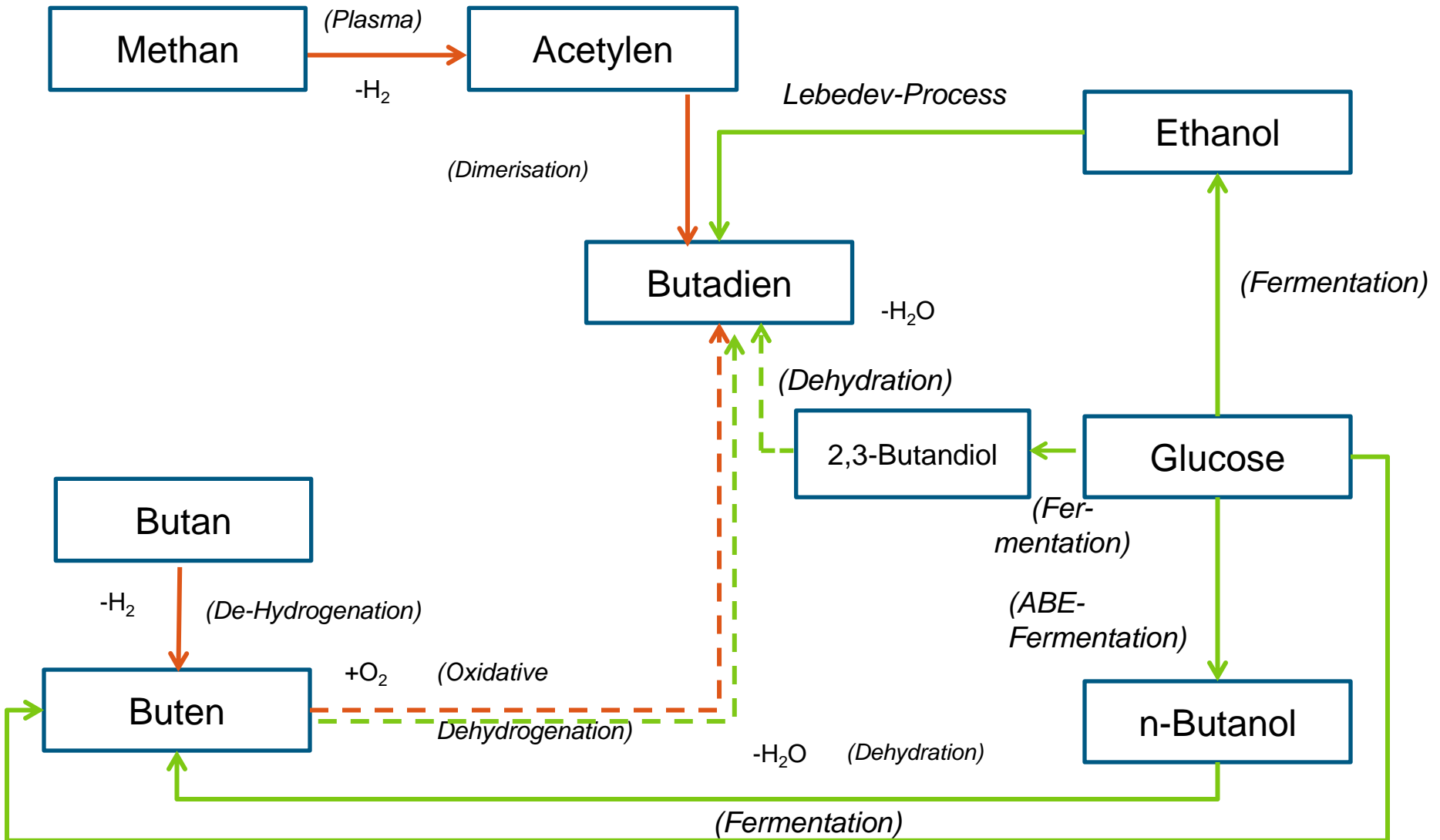
Biobasierte Wege zu Butadien



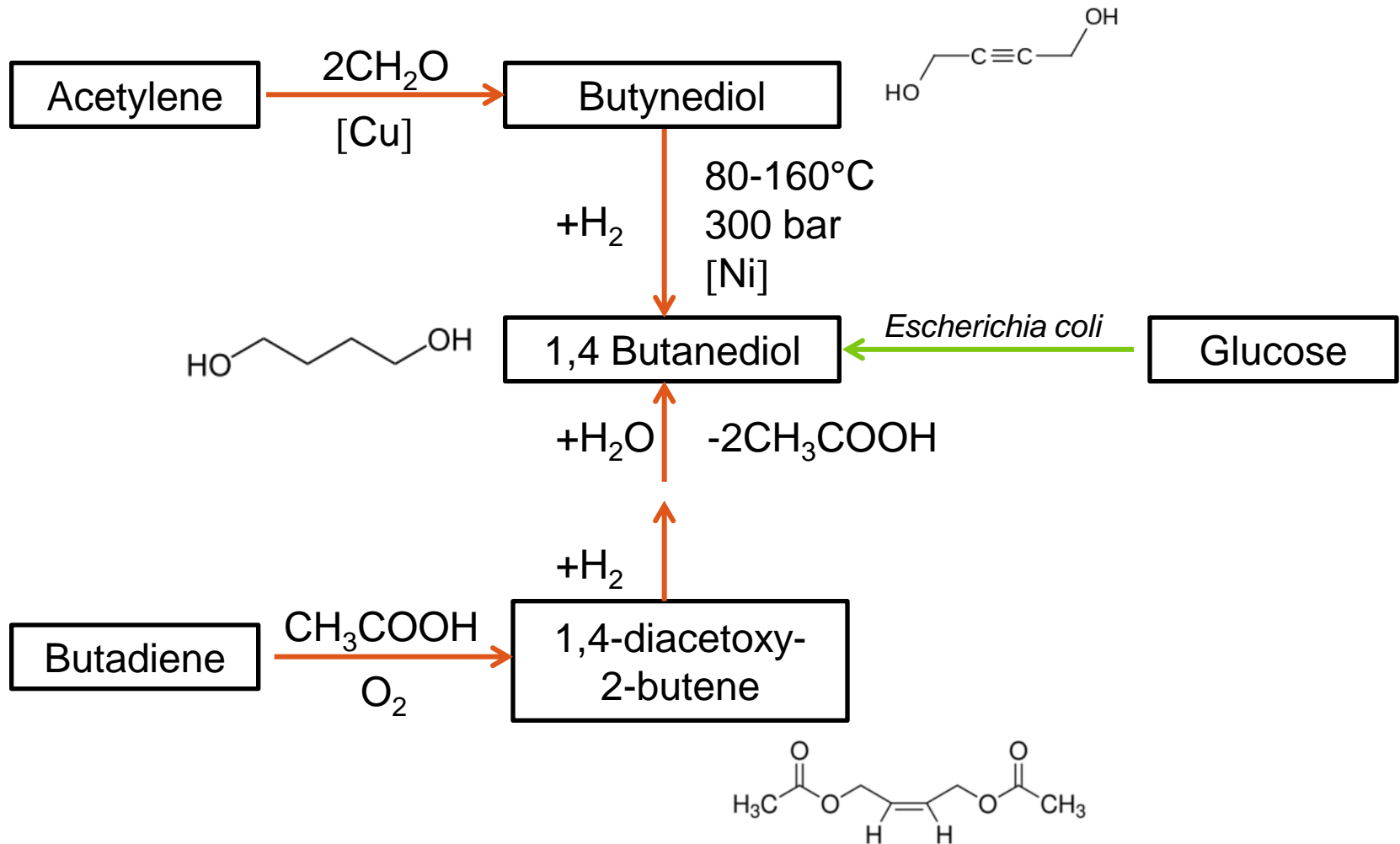
Pictures: Mattes via Wikicommons

(Fermentation)

„Andere“ Wege zu Butadien



Wege zum 1,4-Butandiol (BDO)



Herstellung von Aromaten



Naphtha

(via Cracking)

CO + H₂

(Vergasung)

Biomasse

Methanol

(MtA)

BTX

(Fermentation + Chemische Synthese - Labormaßstab)

Glucose

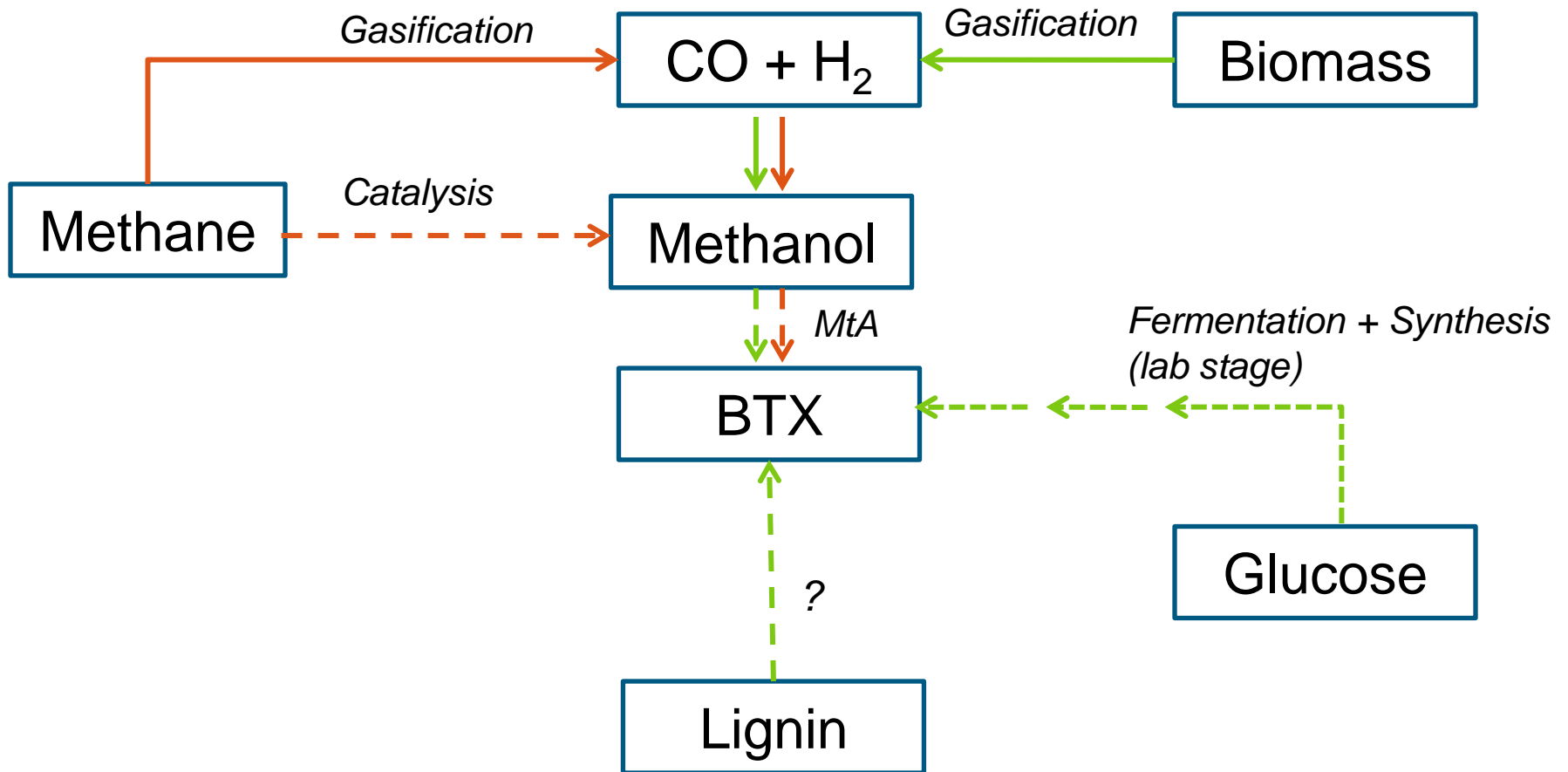
Lignin

?

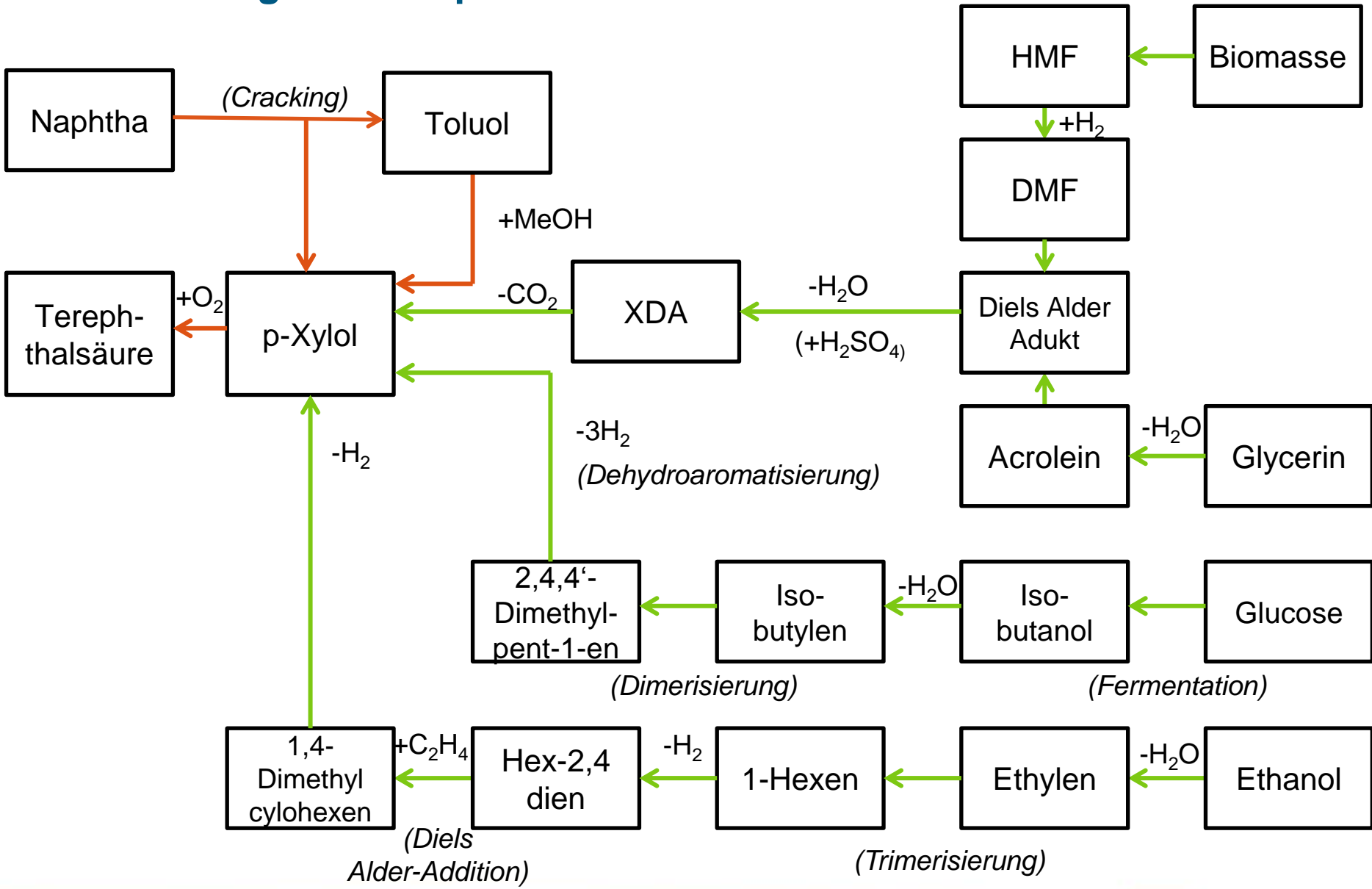


Pictures: Sandwichplatte: elya; Ibuprofen: Mk2010; radio antenna: Inkwina – all via Wikicommons

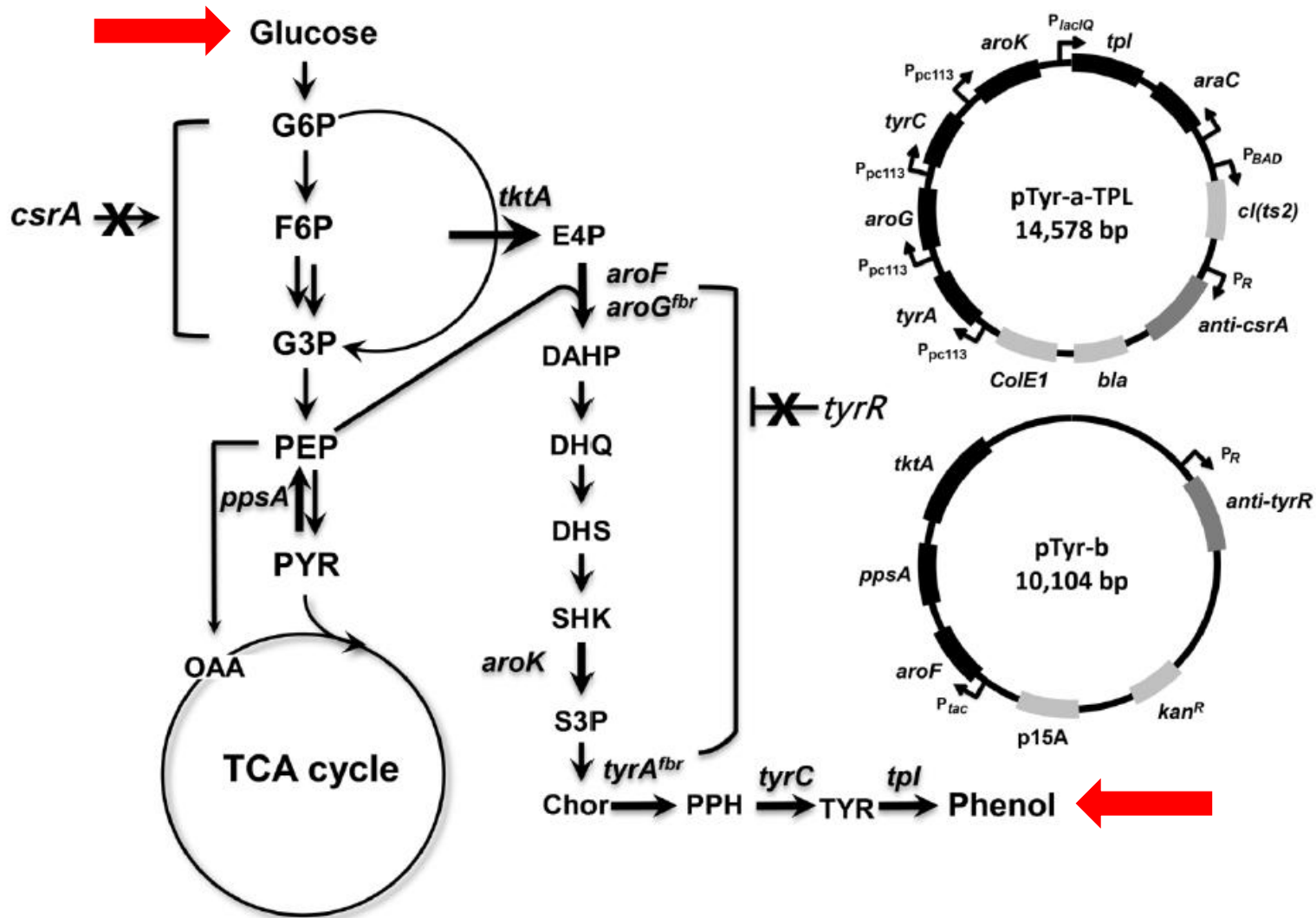
„Other“ Pathways to Aromatics



Herstellung von Terephthalsäure



Biobased Pathways to Aromatics



Source: B. Kim, H. Park, D. Na, S.Y. Lee, Biotechnology Journal 2014, 9

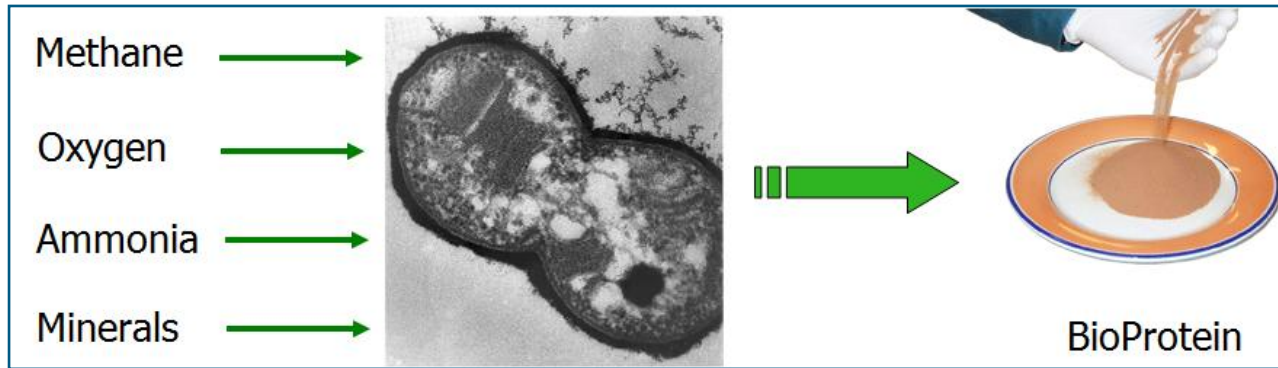
Zusammenfassung

The Effects on Bio-Based Platform Chemicals

	Availability fossil	Competitiveness biobased
Ethylene	↑	↓
Propylene	↓	?
Butadiene	↓	?
Aromatics	↓	?
Functionalised C3-, C4- and C5-Compounds	↓	↑ (?)
Polyethylene _{fossil} vs. Polyethylene _{green}	↑	↓
Polyethylene _{fossil} vs. Polylactic acid _{biobased}	↑	↓ (?)
Methane	↑	↓

Methane as Feedstock for Industrial Biotechnology

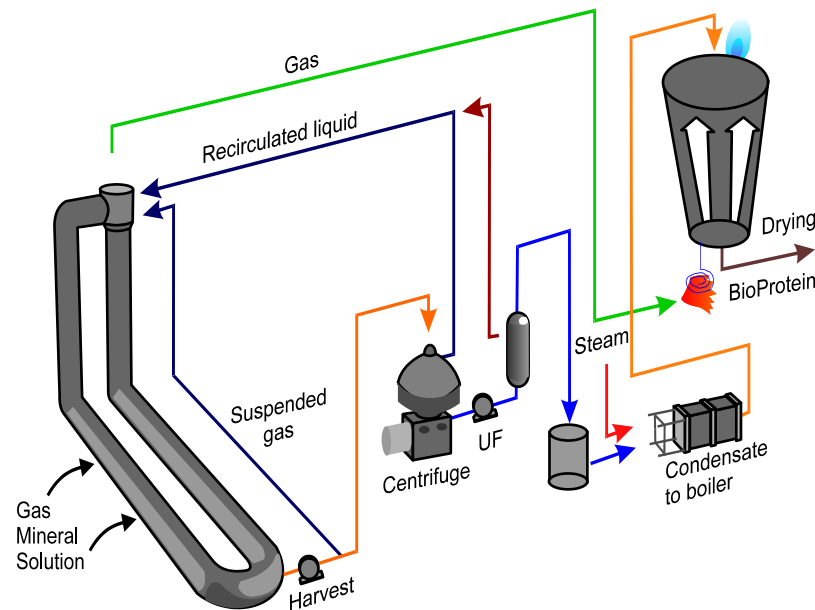
→ Realized on large scale: Norferm (50/50 Joint Venture DuPont / Statoil): 1998 – 2006



Product:
single cell protein

Fermenter:
continuous loop reactor,
300 m³

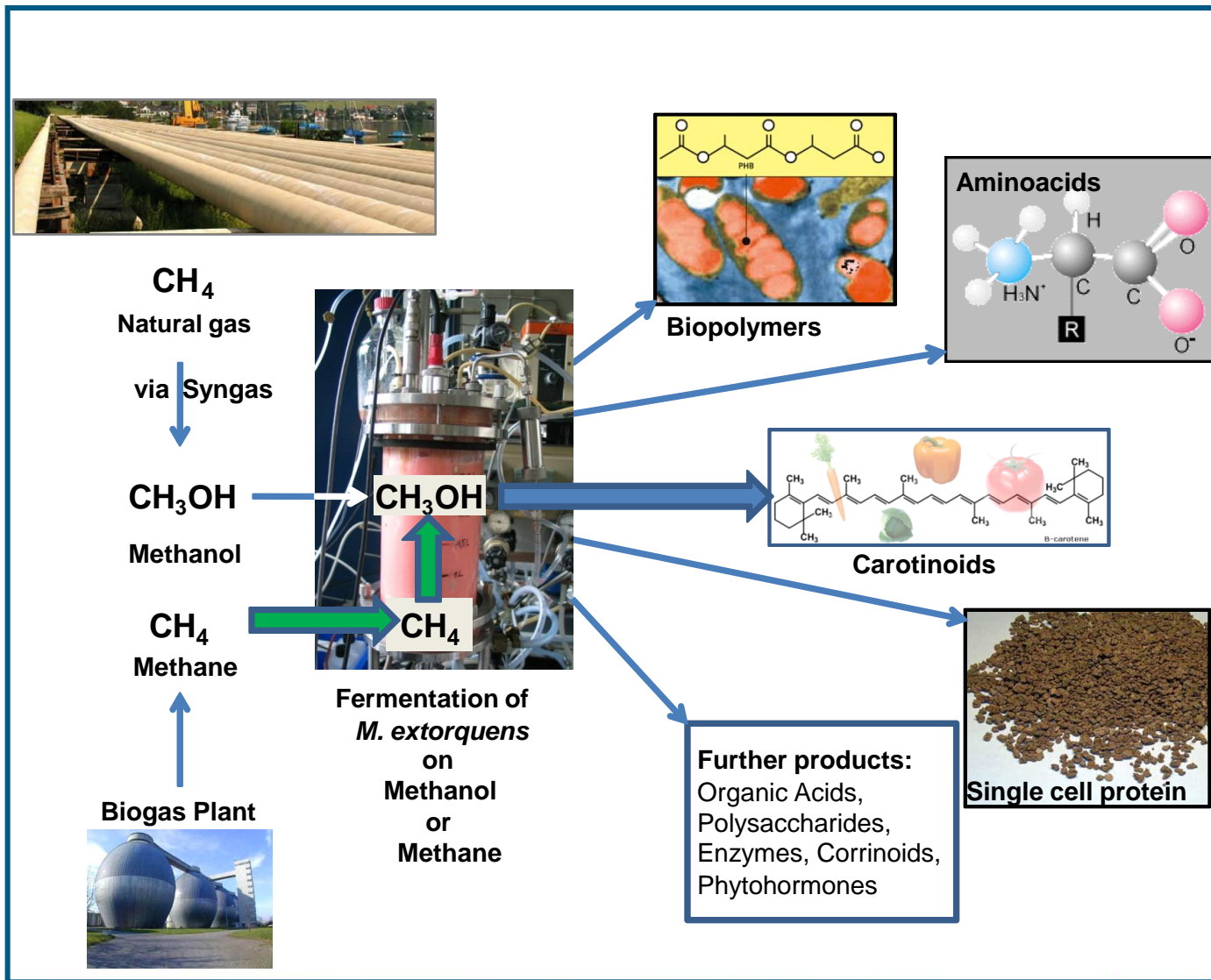
Organism:
Methylococcus capsulatus



Source: Presentation Gunnar Kleppe, Norferm
Nyskaping i norsk bioteknologi, Trondheim, 2005

Methane as Feedstock for Industrial Biotechnology

→ *Methylobacterium extorquens* as „microbial cell factory“



Source:
J. Schrader
DECHEMA-
Forschungsinstitut

Syngas as Feedstock for Industrial Biotechnology

- Production Organisms: Bacteria, i.e. *Clostridium ljungdahlii*
- Products:
 - Alcohols: i. e. Indirect bioethanol process
$$6 \text{ CO} + 3 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 4 \text{ CO}_2$$
$$6 \text{ H}_2 + 2 \text{ CO}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3 \text{ H}_2\text{O}$$
 - Diols: i.e. 2,3 Butanediol
 - Carboxylic acids: i.e. Succinic acid
 - Esters

Was macht die Industrie? Beides – Beispiel BASF

- Propylen-Produktion auf Erdgas-Basis in USA wird geprüft (Investition > 1 Mrd US\$)

- Finanzierung einer Juniorprofessur (Verfahrensentwicklung für den Rohstoffwandel) an der TU Kaiserslautern

- 3-Hydroxypropionsäure (Vorstufe für Acrylsäure) im Pilotmaßstab
- Bernsteinsäure im kommerziellen Maßstab
- Butandiol im kommerziellen Maßstab

Conclusions for the Effects on the Bioeconomy

Short term

- Bio-based drop-in solutions will not profit from the shale gas boom (exception: functionalised molecules)
- Opportunities for processes that make use of nature's synthesis efforts

Medium term

- Depending on price developments, bio-based chemicals will gradually become competitive (e.g. butadiene)

Long term

- Shale gas is a limited resource
- Bio-based options are available – they should be further developed