

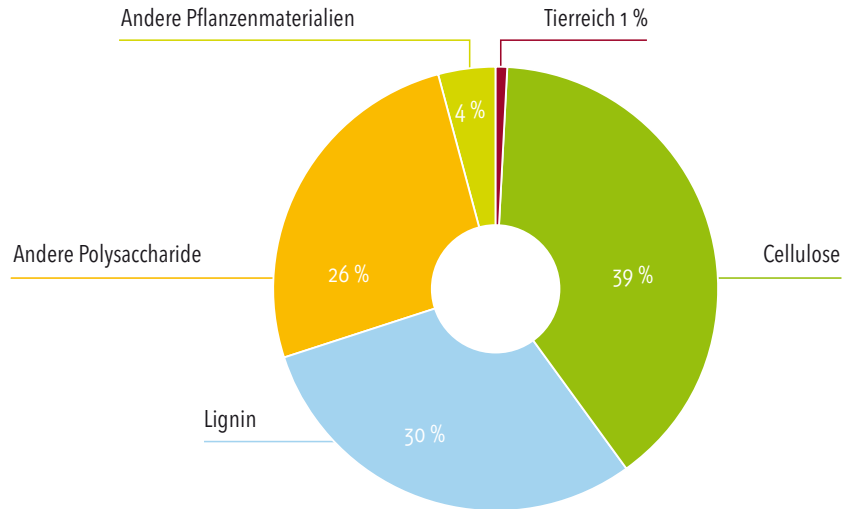
Inhaltsverzeichnis

Abbildung	Thema
1	Hauptbestandteile der Biomasse
2	Rohstoffbasis der organischen Chemie in Deutschland 2018
3	Stofflicher Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der chemischen Industrie in Deutschland 2017
4	Herstellung von Grundstoffen der chemischen Industrie
5	Beispiele für wichtige Plattformchemikalien der chemischen Industrie
6	Industriepflanzen für die stoffliche Nutzung
7	Biobasierte Rohstoffe und Produkte
8	Molekülstruktur von Stärke
9	Molekülstruktur von Cellulose
10	Synthese von Ethanol aus petrochemischem und nachwachsendem Rohstoff
11	Aufbereitung und Konversion der nachwachsenden Rohstoffe
12	Plattformchemikalien auf Basis von Glucose
13	Vereinfachte Darstellung der Prozess-Stufen des Kraft-Aufschlusses
14	Struktur von Cellulosederivaten
15	Schematisierte Darstellung von Ligninsulfonat
16	Struktur eines Fichtenholz-lignins und Phenylpropaneinheit
17	Vereinfachte Darstellung einer Holzfaser im Querschnitt
18	Büschelstruktur des Amylopektins
19	Gewinnung von Weizenstärke
20	Anwendungsgebiete von Stärke
21	Stärkevernetzung mit POCl_3
22	Veresterung von Stärke mit Acetanhydrid
23	Beispiel für ein Triglycerid
24	Häufig vorkommende ungesättigte Fettsäuren
25	Reaktionen der Triglyceride
26	Mögliche Reaktionen an der Doppelbindung
27	Bevorzugte Reaktionen an der Carboxylgruppe

Abbildung	Thema
28	Chemische Struktur von Isopren 2-Methyl-buta-1,3-dien
29	Vulkanisation von Kautschuk
30	Zusammensetzung eines Autoreifens
31	Struktur von Poly(3-hydroxybutyrat)
32	Struktur eines Polyhydroxyalkanoats
33	Biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe
34	Verblüffend vielseitig: Folgeprodukte des C2-Bausteins Ethen
35	Ablauf der alkoholischen Gärung
36	Verschiedene Reaktionswege zu Milchsäure-Folgeprodukten
37	Reaktionsschema der Milchsäuregärung
38	Aus Glycerin gewonnene C3-Synthesebausteine
39	Herstellung von 1,3-Propanediol aus Acrolein
40	Industrielle Herstellung von Acrylsäure
41	Darstellung von Acrylsäure aus Glycerin
42	Klassische Synthese von Epichlorhydrin aus Propen
43	Synthese von Epichlorhydrin aus Glycerin
44	Folgeprodukte auf Bernsteinsäure-Basis
45	Biotechnologische Herstellung von Bernsteinsäure
46	Polyethylenterephthalat (PET)
47	Furan, 5-Hydroxymethylfurfural und Furan-2,5-dicarbonsäure
48	Struktur der Terephthalsäure und der Furan-2,5-dicarbonsäure
49	Polymere auf Basis von Furan-2,5-dicarbonsäure (FDCA)
50	Strukturformel von Sorbit und Mannit
51	Grundlegende Reaktion zur Herstellung von Polyurethanen
52	Ausgewählte monomere Produkte aus der Lignin-Spaltung
53	Polyole auf Basis von Lignin zur Herstellung von Polyurethanen
54	Bildung eines Epoxidharzes (schematisch)

ABBILDUNG 1

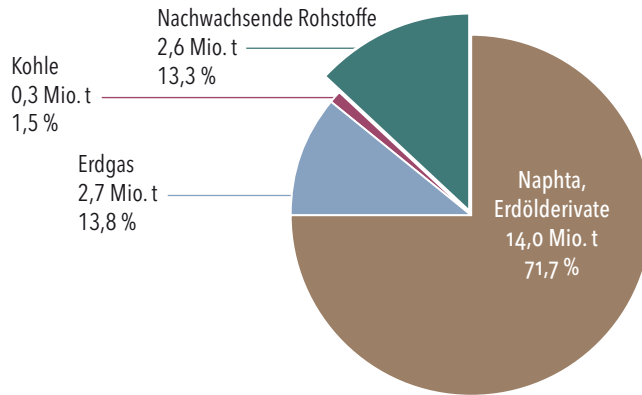
Hauptbestandteile der Biomasse



Quelle: FNR

ABBILDUNG 2

Rohstoffbasis der organischen Chemie in Deutschland 2018

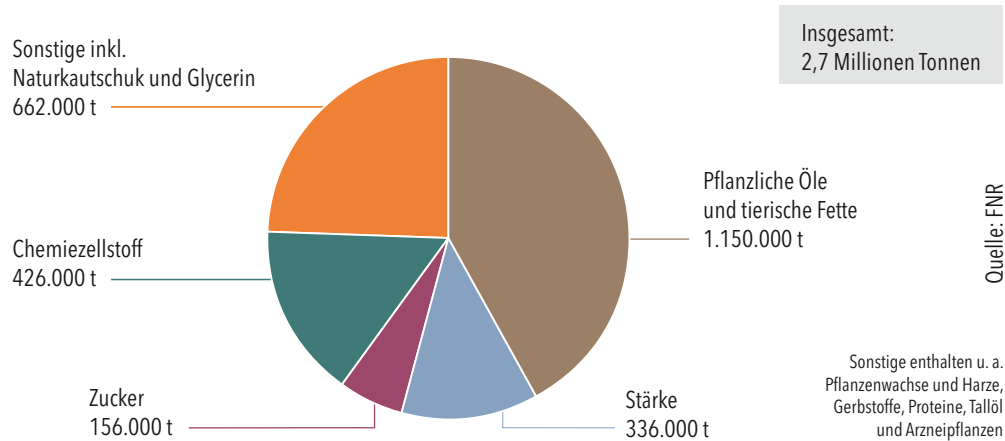


Stofflicher Einsatz insgesamt:
19,6 Millionen Tonnen

Quelle: VCI, FNR

ABBILDUNG 3

Stofflicher Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der chemischen Industrie in Deutschland 2017



Herstellung von Grundstoffen der chemischen Industrie

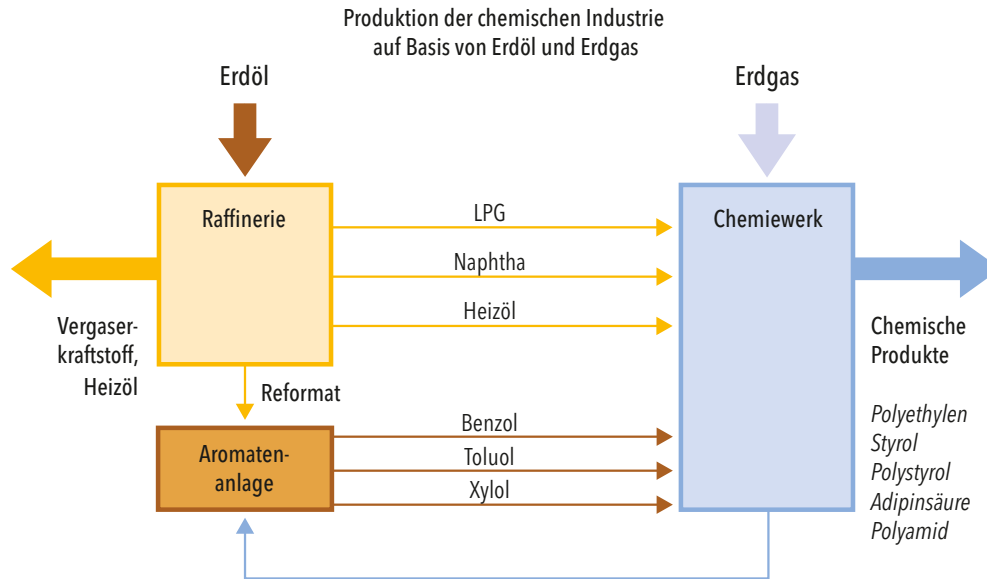
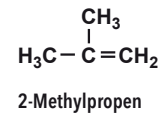
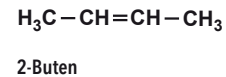
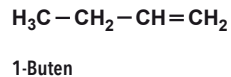
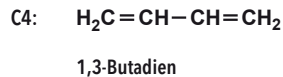
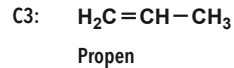
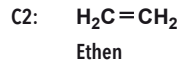


ABBILDUNG 5

Beispiele für wichtige Plattformchemikalien der chemischen Industrie



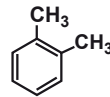
C₆, 7, 8 (Aromaten):



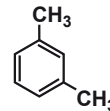
Benzol



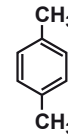
Toluol



o-Xylol
(1,2-Dimethylbenzol)



m-Xylol
(1,3-Dimethylbenzol)



p-Xylol
(1,4-Dimethylbenzol)

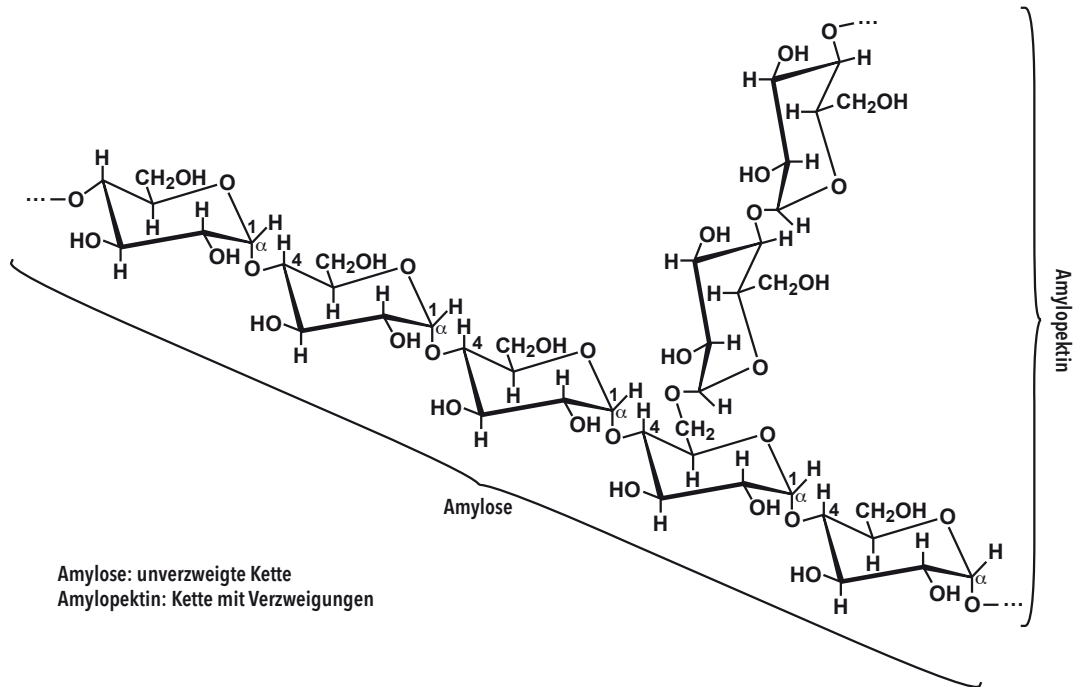
Industriepflanzen für die stoffliche Nutzung

<p>Ölpflanzen</p> <p>Raps, Öllein, Soja, Sonnenblume, Palmöl, Mohn</p>	<p>Zuckerpflanzen</p> <p>Zuckerrübe, Zuckerhirse, Zuckerrohr, Topinambur, Zichorie</p>	<p>Färbepflanzen</p> <p>Waid, Indigo, Krapp, Färberdistel, Färberwau, Henna</p>	<p>Pestizid- liefernde Pflanzen</p> <p>Neembaum, Chrysatheme</p>	<p>Zellulose- liefernde Pflanzen</p> <p>Ein- und mehnjährige Pflanzen</p>
<p>Stärkepflanzen</p> <p>Kartoffel, Körnermais, Markerbsen, Maniok</p>	<p>Faserpflanzen</p> <p>Hanf, Flachs, Baumwolle, Ramie, Brennessel, Agave</p>	<p>Heilpflanzen</p> <p>Baldrian, Johanniskraut, Ringelblume, Sonnenhut, Ginseng, Kamille</p>	<p>Gummi- liefernde Pflanzen</p> <p>Gummibaum</p>	<p>Kork- liefernde Pflanzen</p> <p>Korkeiche</p>

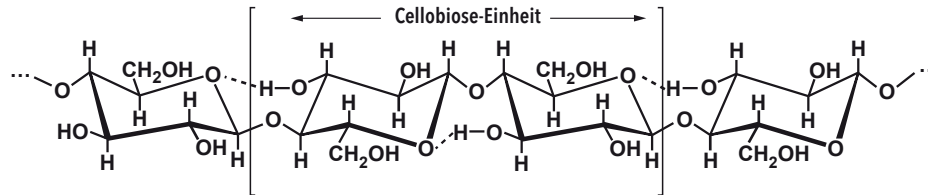
Biobasierte Rohstoffe und Produkte



Molekülstruktur von Stärke



Molekülstruktur von Cellulose

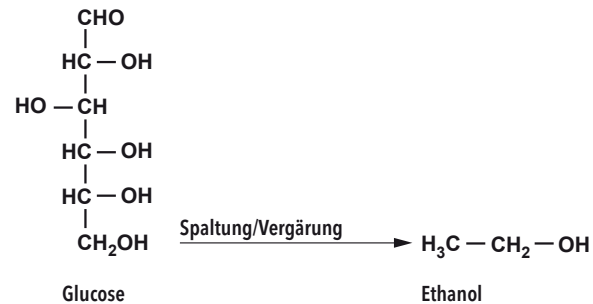


Synthese von Ethanol aus petrochemischem und nachwachsendem Rohstoff

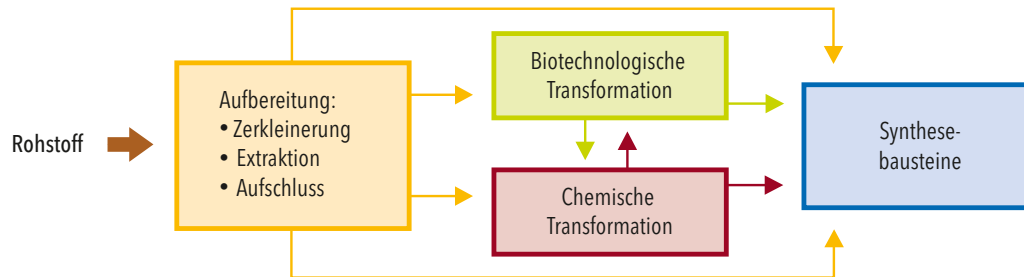
Petrochemischer Rohstoff



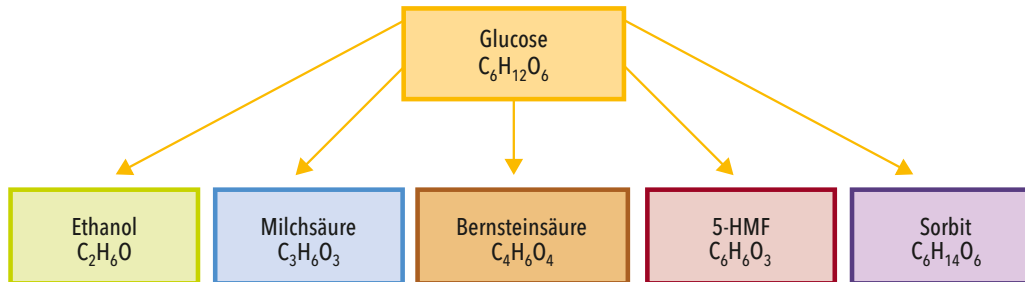
Nachwachsender Rohstoff



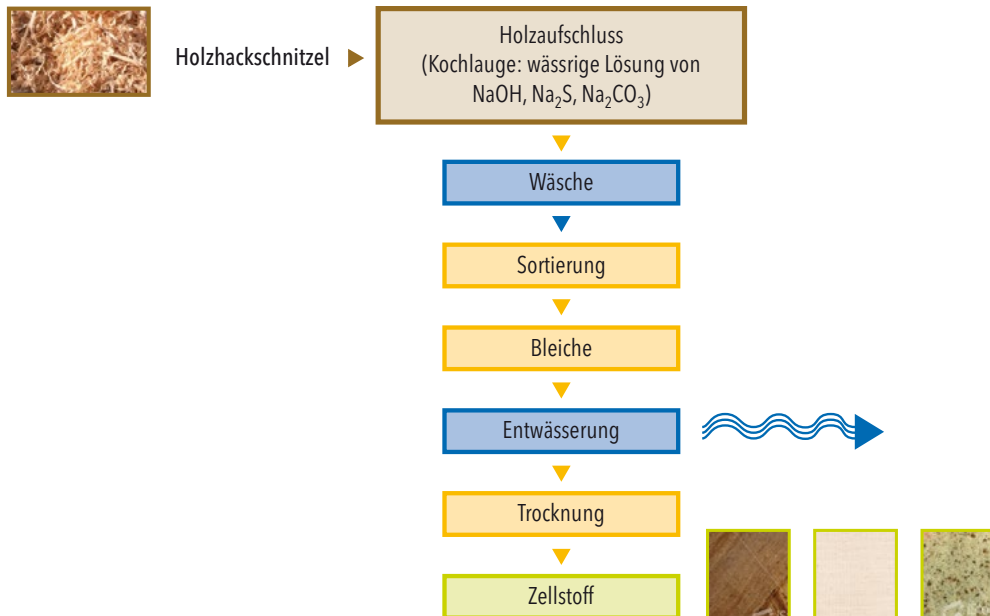
Aufbereitung und Konversion der nachwachsenden Rohstoffe



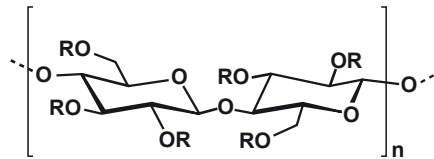
Plattformchemikalien auf Basis von Glucose



Vereinfachte Darstellung der Prozess-Stufen des Kraft-Aufschlusses



Struktur von Cellulosederivaten



Reste R:

H, COCH₃

Celluloseacetat

H, CH₃

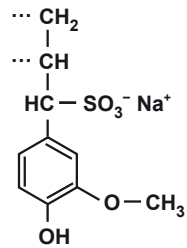
Methylcellulose

H, CS⁻ S⁻ Na⁺

Cellulosexanthogenat

Cellulosexanthogenat $\xrightarrow{\text{Hydrolyse}}$ Regeneratzellstoff (Viskose)

Schematisierte Darstellung von Ligninsulfonat



Struktur eines Fichtenholzlignins und Phenylpropaneinheit

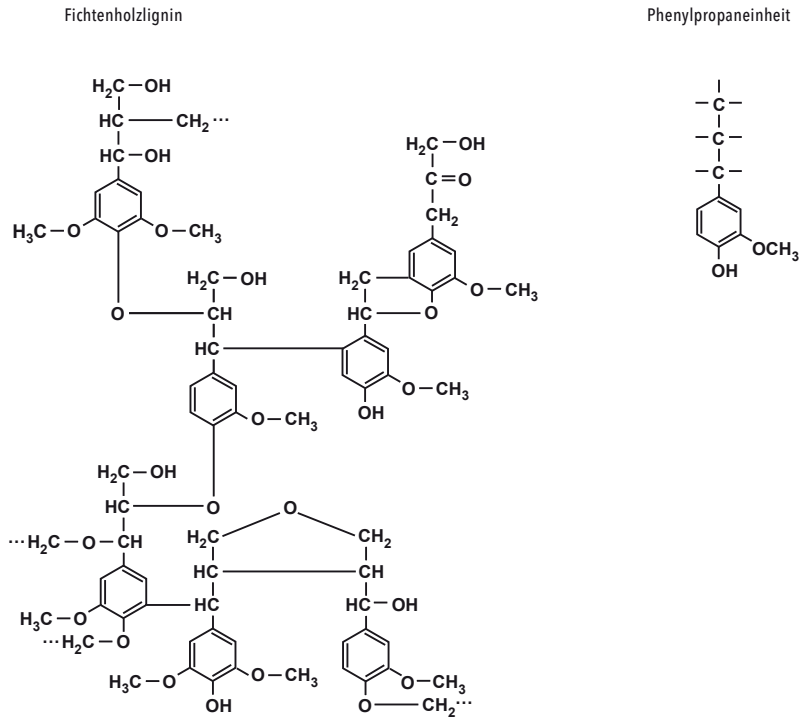
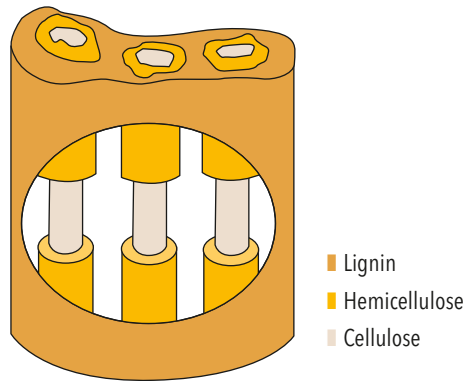
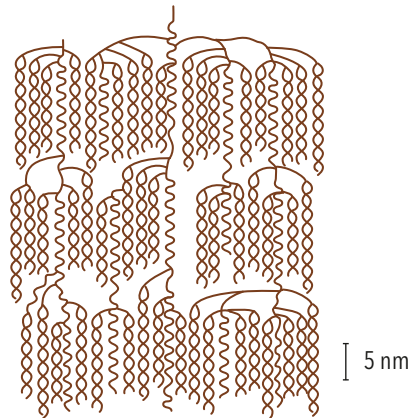


ABBILDUNG 17

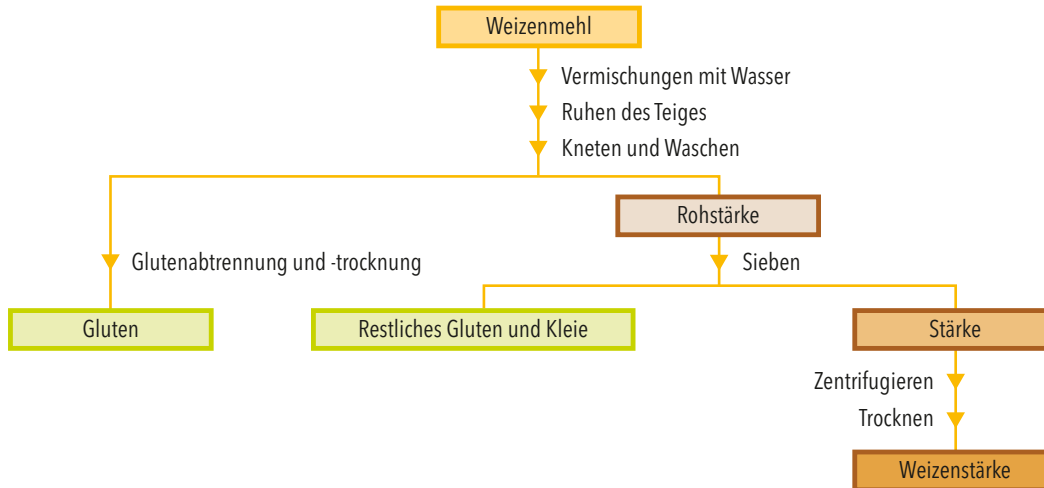
Vereinfachte Darstellung einer Holzfaser im Querschnitt



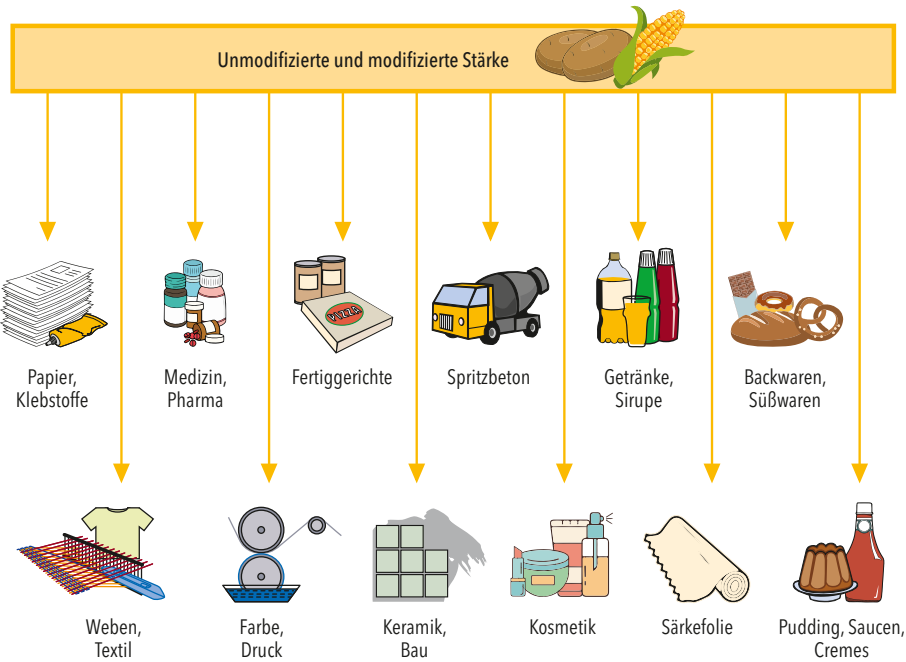
Büschelstruktur des Amylopektins



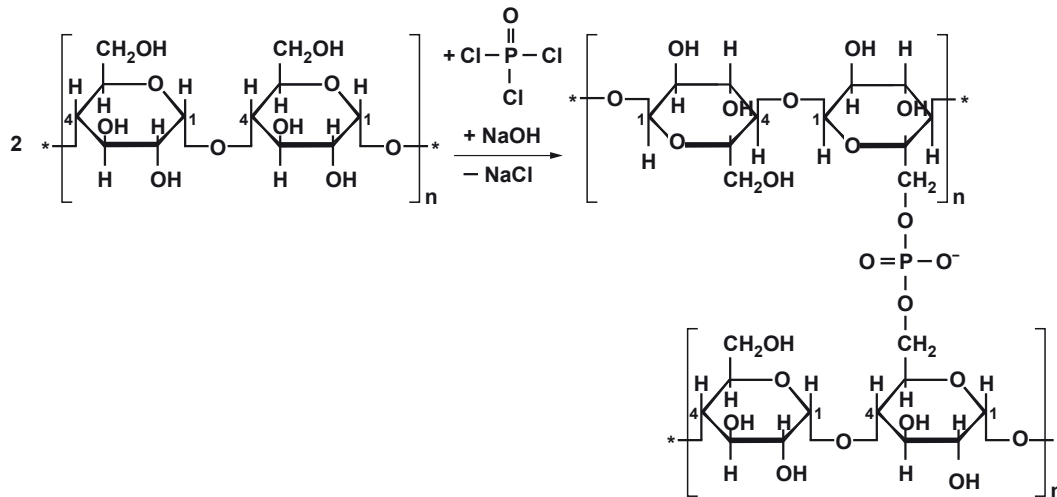
Gewinnung von Weizenstärke



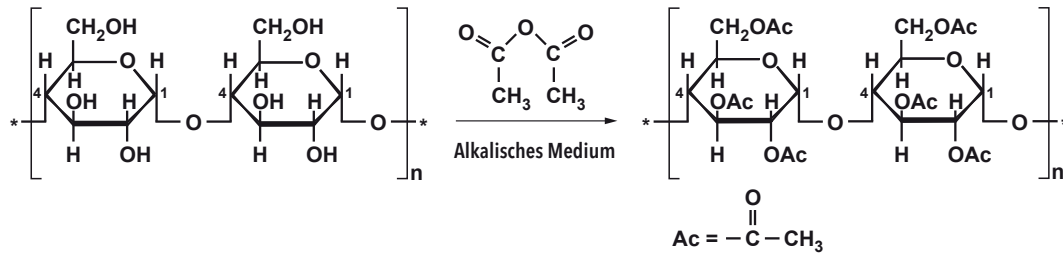
Anwendungsgebiete von Stärke



Stärkevernetzung mit POCl_3



Veresterung von Stärke mit Acetanhydrid



Beispiel für ein Triglycerid

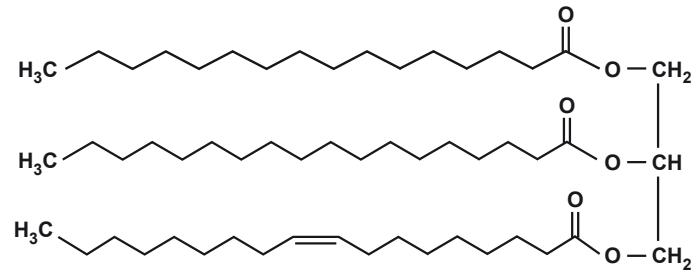
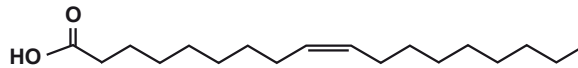
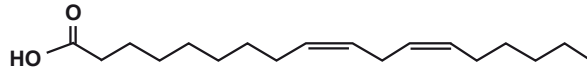


ABBILDUNG 24

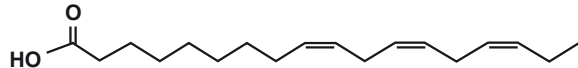
Häufig vorkommende ungesättigte Fettsäuren



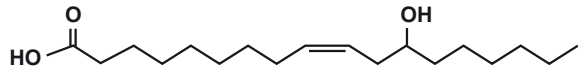
Ölsäure $C_{18}H_{34}O_2$



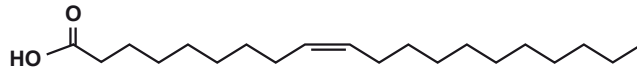
Linolsäure $C_{18}H_{32}O_2$



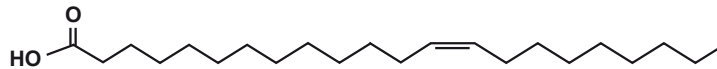
Linolensäure $C_{18}H_{30}O_2$



Ricinolsäure $C_{18}H_{34}O_3$



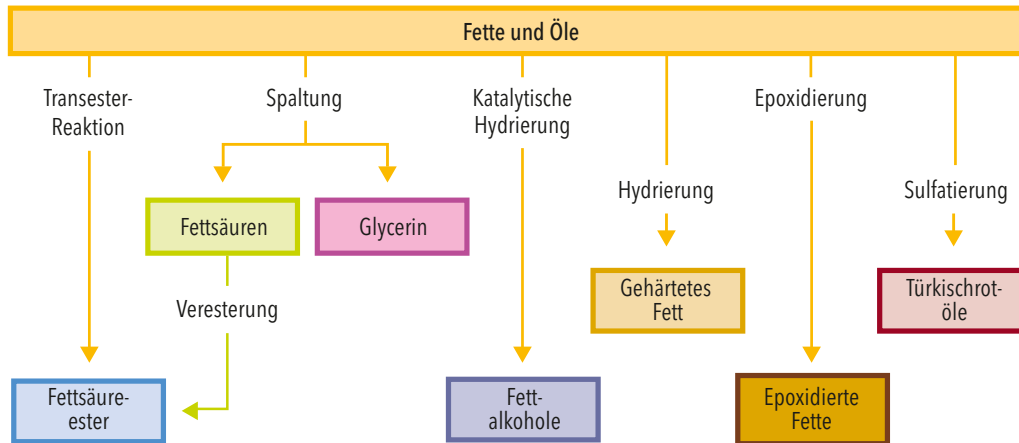
Eicosensäure $C_{20}H_{38}O_2$



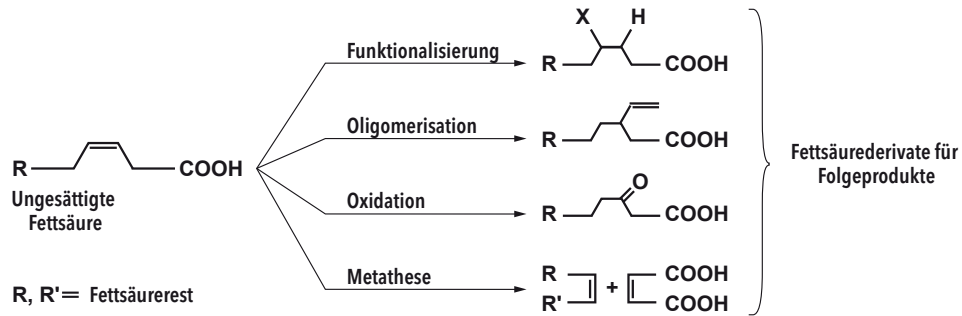
Erucasäure $C_{22}H_{42}O_2$

ABBILDUNG 25

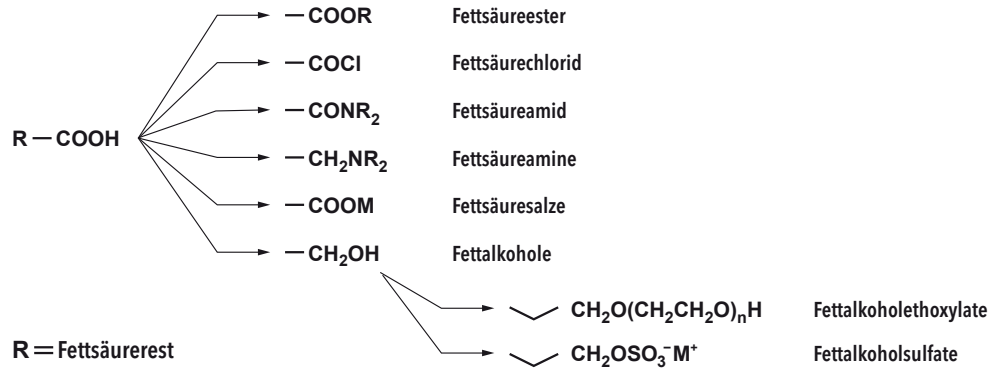
Reaktionen der Triglyceride



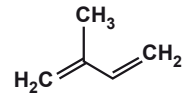
Mögliche Reaktionen an der Doppelbindung



Bevorzugte Reaktionen an der Carboxylgruppe



Chemische Struktur von Isopren 2-Methyl-buta-1,3-dien



Vulkanisation von Kautschuk

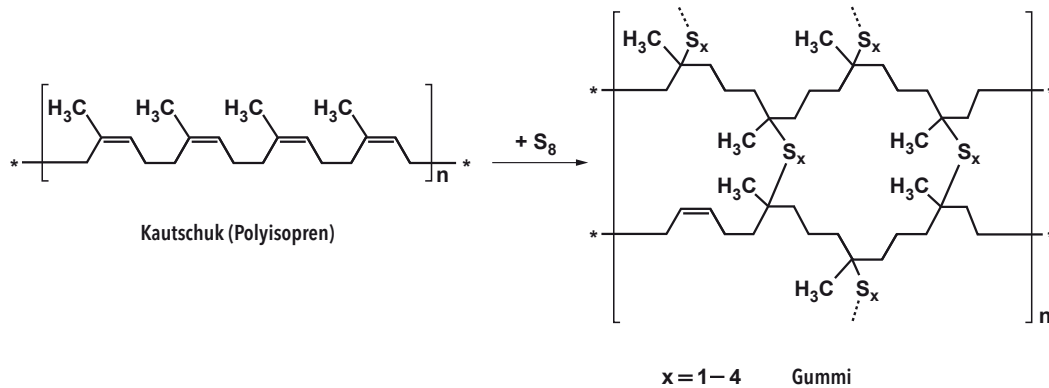
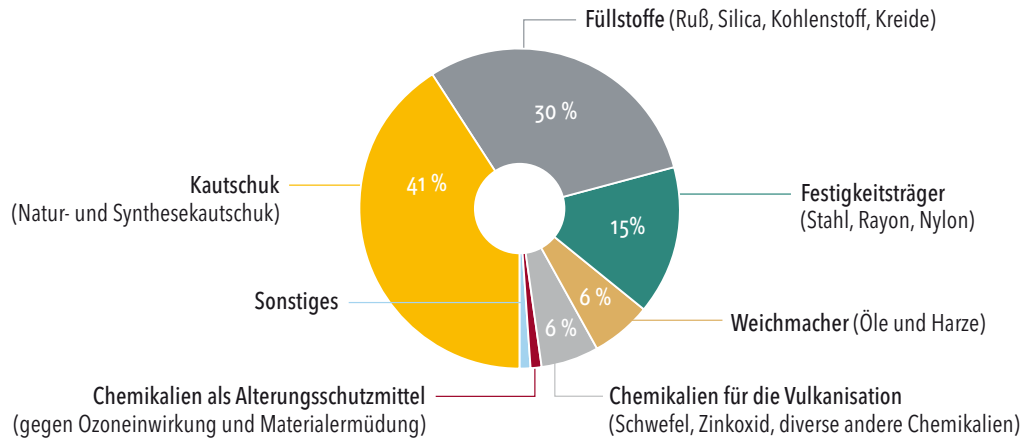
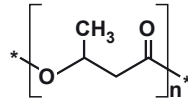


ABBILDUNG 30

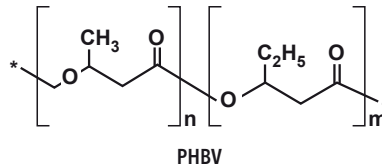
Zusammensetzung eines Autoreifens



Struktur von Poly(3-hydroxybutyrat)

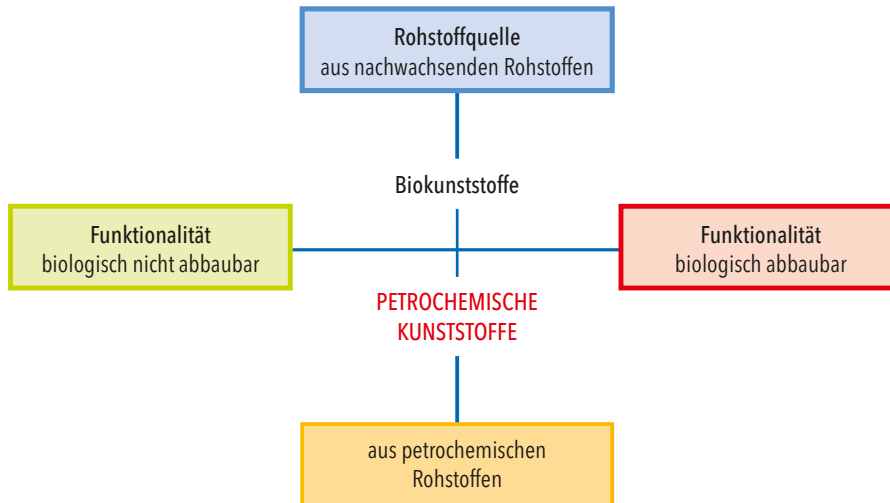


Struktur eines Polyhydroxyalkanoats



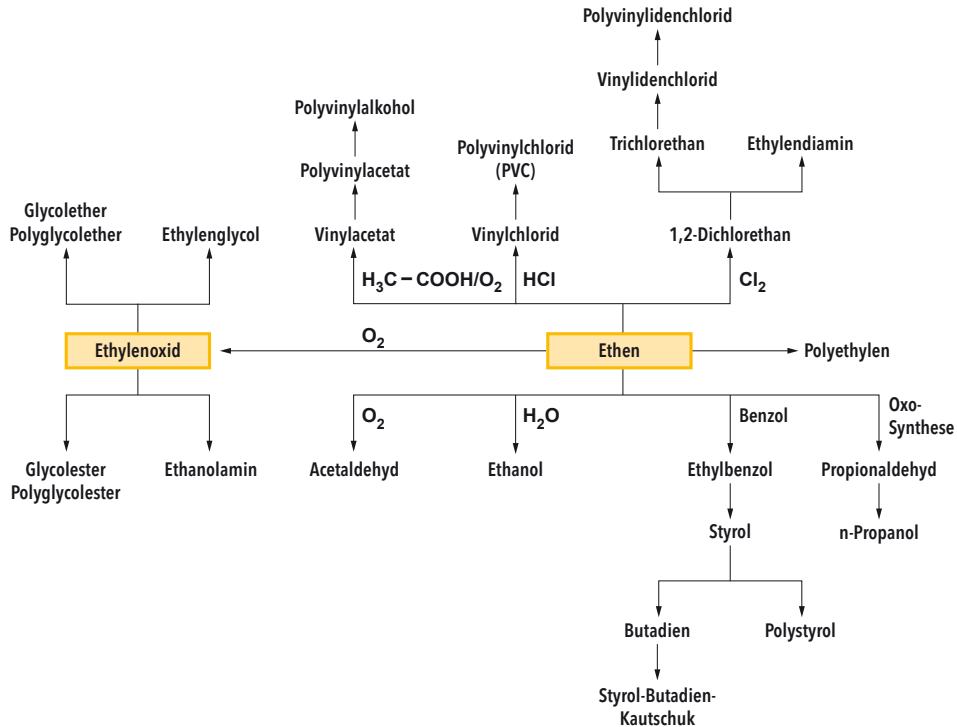
Poly(3-hydroxybutyrat)-co-poly(3-hydroxyvalerat)

Biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe

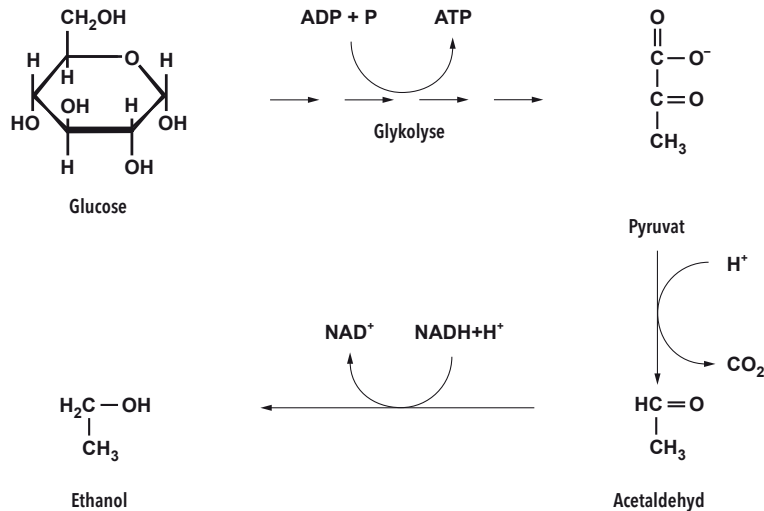


Quelle: Technische Biopolymere (Endres, Siebert-Raths) [5],
modifiziert durch FNR | © FNR 2013

Verblüffend vielseitig: Folgeprodukte des C2-Bausteins Ethen



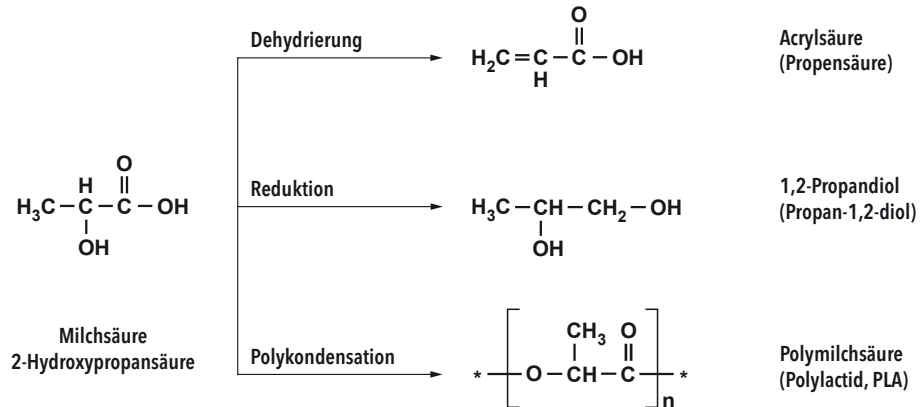
Ablauf der alkoholischen Gärung



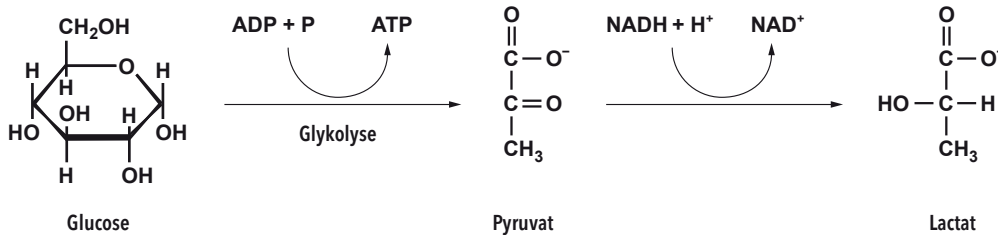
Bei der Glykolyse wird über mehrere Stufen ein Molekül Glucose in zwei Moleküle Pyruvat umgewandelt und zwei Moleküle ATP gebildet. Anschließend erfolgt die Decarboxylierung des Pyruvats (es wird CO₂ abgespalten). Zuletzt reduziert NADH das Acetaldehyd zu Ethanol. Alle Schritte werden durch Enzyme katalysiert.

Erläuterung der Abkürzungen: ADP, ATP: Adenosindi- bzw. -triphosphat (Energieträger)
NAD⁺, NADH + H⁺: Nicotinamid-Adenin-Dinucleotid (Cosubstrat für enzymatische Redox-Reaktionen)

Verschiedene Reaktionswege zu Milchsäure-Folgeprodukten



Reaktionsschema der Milchsäuregärung



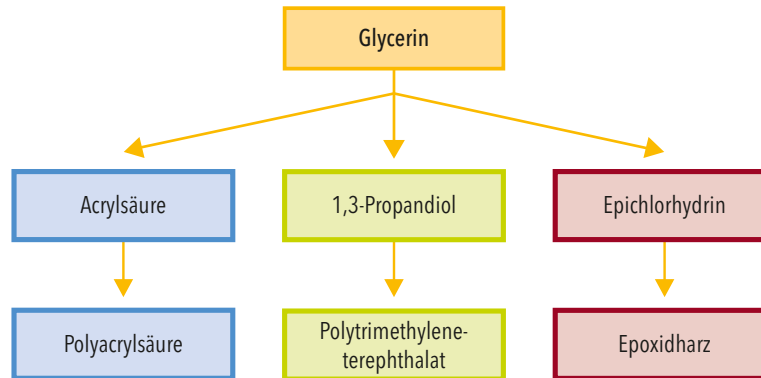
Auch bei dieser Variante der Gärung wird durch die Glycolyse zunächst Glucose in Pyruvat umgewandelt. Pyruvat wird im darauffolgenden Schritt durch NADH zu Lactat (Anion der Milchsäure) reduziert. Alle Schritte werden durch Enzyme katalysiert.

Erläuterung der Abkürzungen:

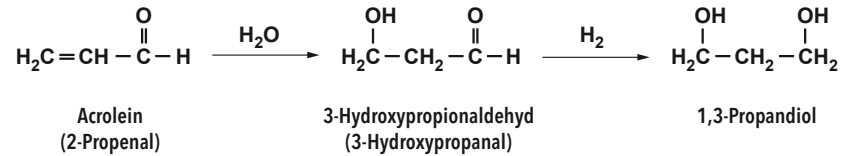
ADP, ATP: Adenosindi- bzw. -triphosphat (Energieträger)

NAD⁺, NADH+H⁺: Nicotinamid-Adenin-Dinucleotid (Cosubstrat für enzymatische Redox-Reaktionen)

Aus Glycerin gewonnene C3-Synthesebausteine



Herstellung von 1,3-Propandiol aus Acrolein



Industrielle Herstellung von Acrylsäure

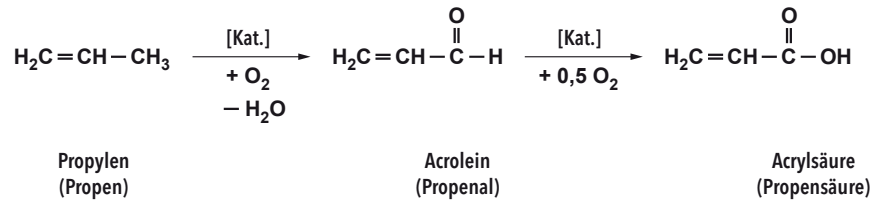
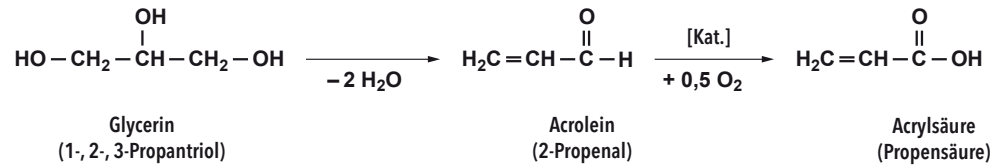
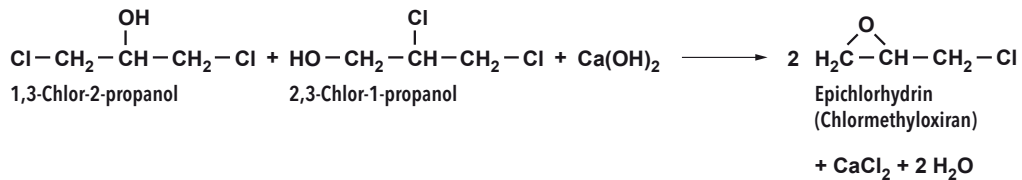
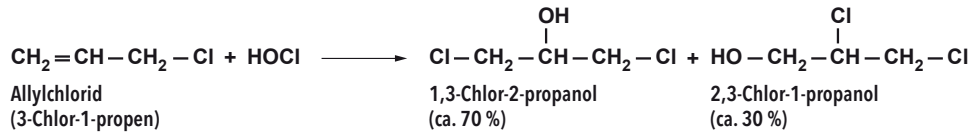
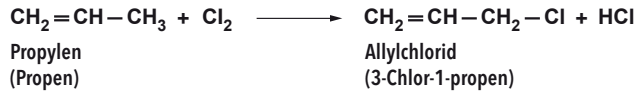


ABBILDUNG 41

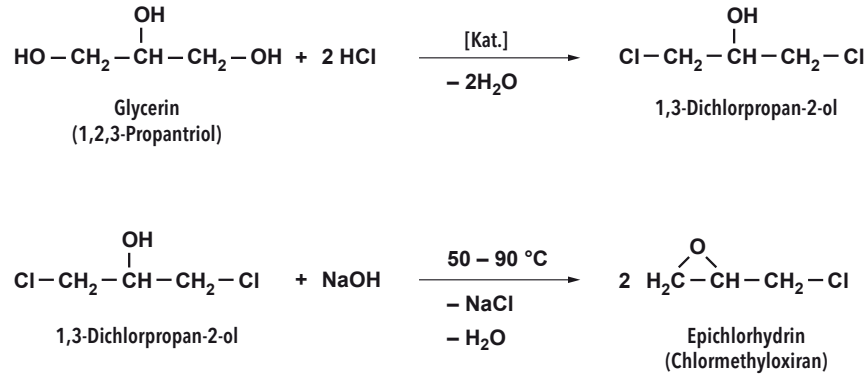
Darstellung von Acrylsäure aus Glycerin



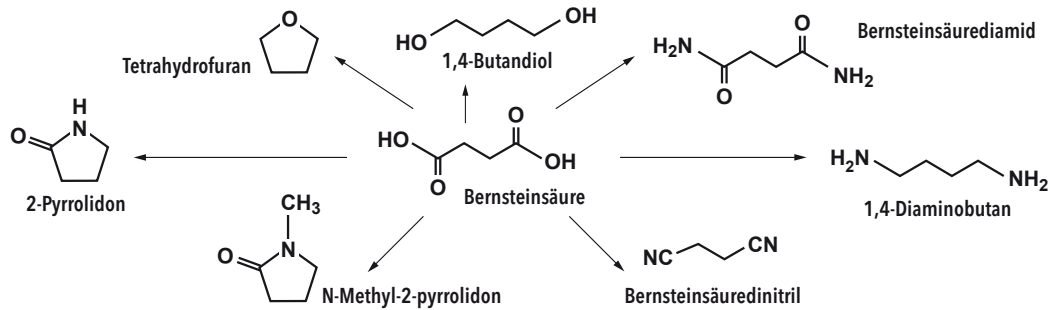
Klassische Synthese von Epichlorhydrin aus Propen



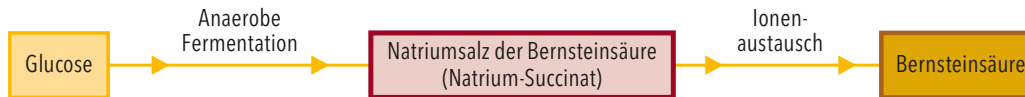
Synthese von Epichlorhydrin aus Glycerin



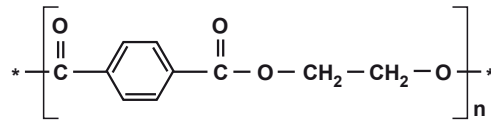
Folgeprodukte auf Bernsteinsäure-Basis



Biotechnologische Herstellung von Bernsteinsäure



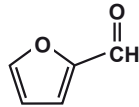
Polyethylenterephthalat (PET)



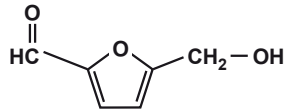
Furan, 5-Hydroxymethylfurfural und Furan-2,5-dicarbonsäure



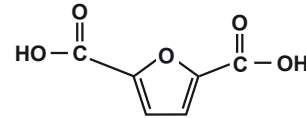
Furan



Furfural

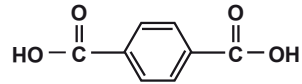


5-Hydroxymethylfurfural

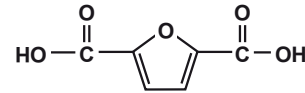


Furan-2,5-dicarbonsäure

Struktur der Terephthalsäure und der Furan-2,5-dicarbonsäure

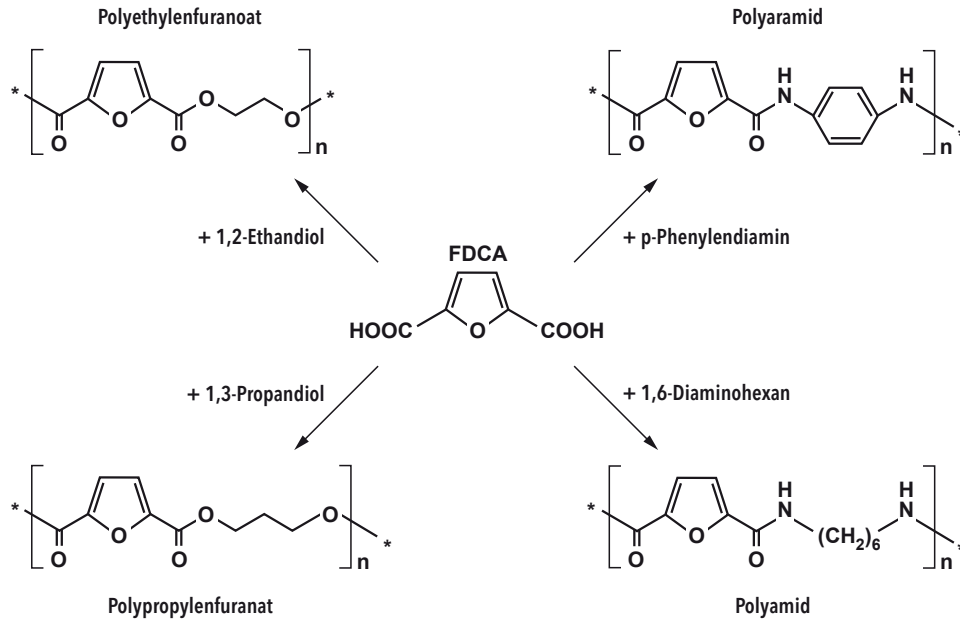


Terephthalsäure

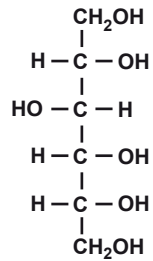


Furan-2,5-dicarbonsäure

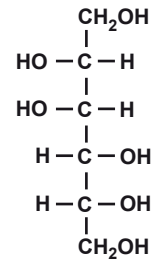
Polymere auf Basis von Furan-2,5-dicarbonsäure (FDCA)



Strukturformel von Sorbit und Mannit

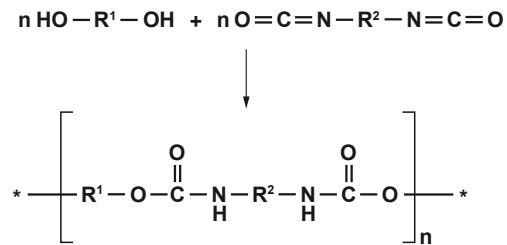


D-Sorbit (D-Sorbitol)

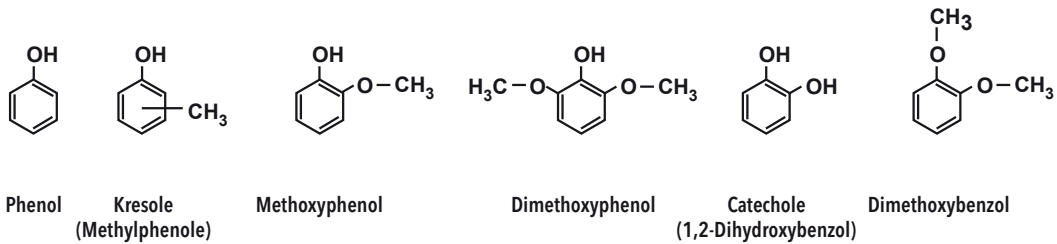


D-Mannit (D-Mannitol)

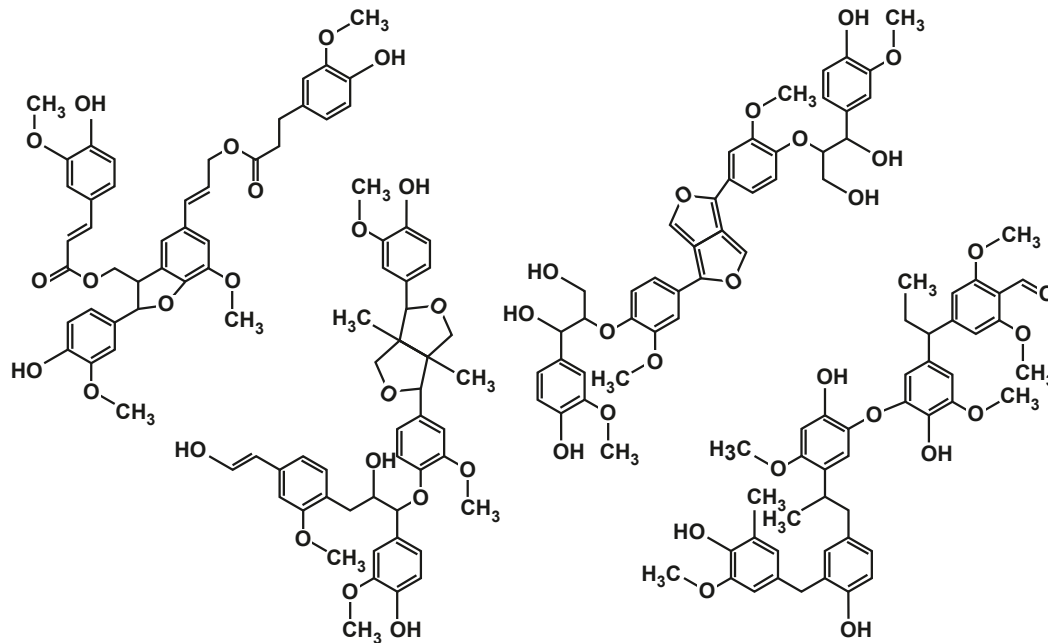
Grundlegende Reaktion zur Herstellung von Polyurethanen



Ausgewählte monomere Produkte aus der Lignin-Spaltung



Polyole auf Basis von Lignin zur Herstellung von Polyurethanen



Bildung eines Epoxidharzes (schematisch)

