



Die
Bundesregierung



Roadmap Bioraffinerien

im Rahmen der Aktionspläne der Bundesregierung zur
stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Roadmap Bioraffinerien

Leitfragen

- Wie sind Bioraffinerien im Kontext **politischer und wirtschaftlicher Herausforderungen** einzuordnen?
- Wodurch zeichnen sich Bioraffinerien aus? Wie sind die zu betrachtenden **Bioraffinerien einzugrenzen**?
- Wie sind Bioraffinerien im **Vergleich zu anderen Biomassenutzungen** zu bewerten?
- Wie ist der **Entwicklungsstand** für Bioraffinerien und wie ist die Ausgangslage **im internationalen Kontext** in Deutschland?
- Wie sind Bioraffinerietechnologien **ökonomisch und ökologisch zu bewerten** (einschließlich Passfähigkeit zu vorhandenen petrochemischen Technologien)?
- Welcher **Zeithorizont** ist für den kommerziellen Einsatz der einzelnen Bioraffinerie-Konzepte realistisch? Welche Einflussfaktoren können die Einführung von Bioraffinerien beschleunigen oder verzögern?
- Welche Zukunftsstrategien und welcher **Handlungsbedarf** können abgeleitet werden?

Roadmap Bioraffinerien

Motivation

→ Herausforderungen bei Ernährung, Umwelt, Industrie, Energie

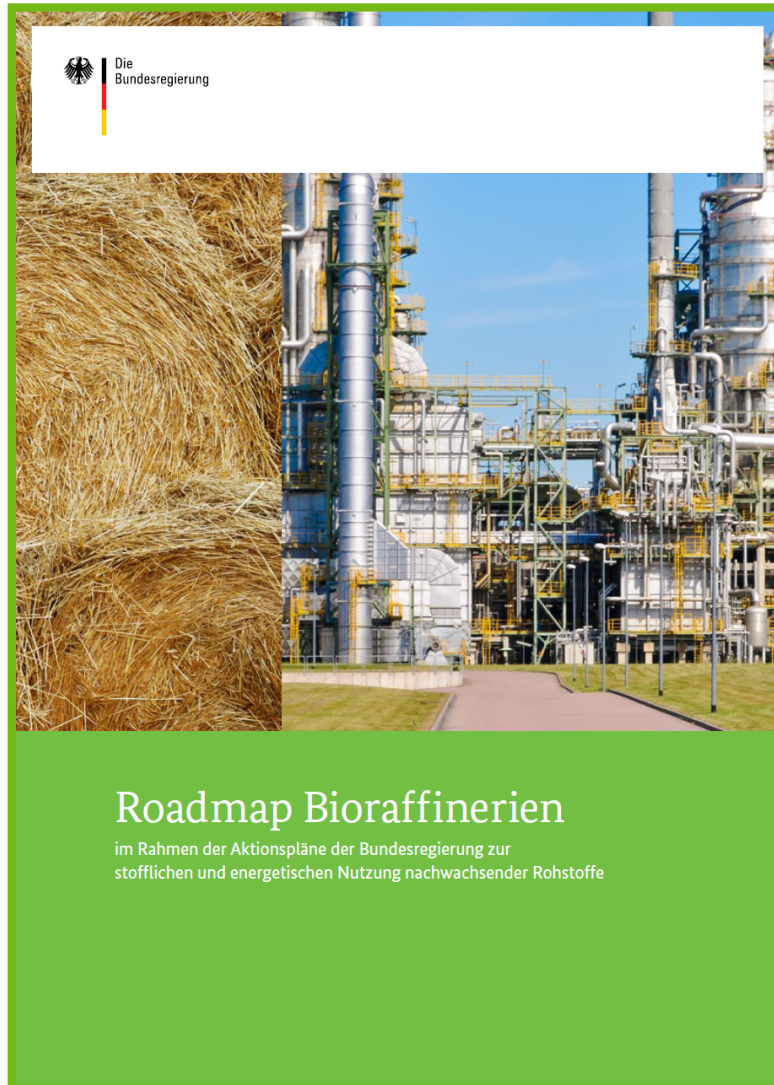
- eine weiter wachsende Weltbevölkerung und deren Recht, ihre Grundbedürfnisse (Ernährung, Wohnen, Energie und Mobilität etc.) zu befriedigen
- globale Bedürfnisbefriedigung entsprechend dem Standard der heutigen Industrieländer
- generelles Erfordernis den Verbrauch von natürlichen Ressourcen insgesamt zu reduzieren (u. a. aus Gründen des Klimaschutzes)
- Endlichkeit der fossilen Ressourcen der Erde

→ Bedeutung von Biomasse

- wachsende Rolle erneuerbarer C-Quellen für die Energie- und Stoffproduktion
- Biomasse ist (zusammen mit CO₂) die einzige erneuerbare C-Quelle
- Erfordernis einer hohen Ressourceneffizienz infolge konkurrierender Ansprüche der Biomassenutzung

Roadmap Bioraffinerien

inhaltliche Konzeption



Inhalt

Vorwort	3
Kurzfassung „Roadmap Bioraffinerien“	6
1 Motivation	18
2 Bioraffinerien im Kontext der Biomassenutzung	19
2.1 Bioraffinerien im politischen Kontext	19
2.2 Bioraffinerien im Kontext anderer Biomassenutzungspfade	20
3 Definition und Systematik von Bioraffinerien, Stand der Technik und Ausgangslage	22
3.1 Begriffsbestimmung und Abgrenzung	22
3.2 Nachhaltige Biomasse für Bioraffinerien	23
3.3 Klassifizierung	25
3.4 Bioraffinerie-Wertschöpfungskette versus petrochemische Wertschöpfungskette	33
3.5 Bioraffinerie-Konzepte	34
3.6 Entwicklungsansätze	34
3.7 Entwicklung von Bioraffinerien in Deutschland – Einordnung in den internationalen Kontext	36
4 Technologische Beschreibung und Analyse	40
4.1 Zucker- und Stärke-Bioraffinerie	40
4.2 Pflanzenöl- und Algenlipid-Bioraffinerie	46
4.3 Lignocellulose-Bioraffinerie und Grüne Bioraffinerie	51
4.4 Synthesegas-Bioraffinerie	56
4.5 Biogas-Bioraffinerie	59
5 Ökonomische und ökologische Einordnung	61
5.1 Allgemeine Aspekte der Analyse und Bewertung von Bioraffinerien	61
5.2 Ökonomische und ökologische Aspekte von Anbau, Bereitstellung und Transport der Rohstoffe	63
5.3 Ökonomische und ökologische Aspekte der betrachteten Bioraffineriekonzepte	70
5.4 Diskussion und Schlussfolgerung	79
6 Herausforderungen zur Etablierung von Bioraffinerien – SWOT-Analyse	82
6.1 Zucker- und Stärke-Bioraffinerie	83
6.2 Pflanzenöl und Algenlipid-Bioraffinerie	85
6.3 Lignocellulose-Bioraffinerie und Grüne Bioraffinerie	87
6.4 Synthesegas-Bioraffinerie	90
6.5 Biogas-Bioraffinerie	92
7 Handlungsbedarf	93
7.1 Handlungsbedarf für Forschung, Entwicklung und Implementierung	93
7.2 Forschungspolitischer Handlungsbedarf, Verbesserung der Rahmenbedingungen	95
8 Ausblick	97
Anmerkungen	99
Anhang	104

Roadmap Bioraffinerien

Nutzungspfade von Biomasse

Nutzung von unmodifizierter oder modifizierter Biomasse ohne Komponententrennung	Beispiele: <ul style="list-style-type: none">→ Holz für Holzwerkstoffe oder Sägeprodukte→ Holz als Brennstoff→ Naturfaserdämmstoffe
Nutzung einzelner Komponenten der Biomasse	Beispiele: <ul style="list-style-type: none">→ Pflanzenöl aus Raps für Biodiesel oder als Komponente von Lacke/Farben→ Stärke aus Getreide zur Erzeugung von Bioethanol oder zur Papierstärkeherstellung→ Zucker aus Zuckerrüben als Fermentationsrohstoff
Vollständige Nutzung der Komponenten der Biomasse an verschiedenen Standorten	Beispiele: <ul style="list-style-type: none">→ Biogas aus Mais für die lokale Erzeugung von Strom/Wärme bzw. für Biomethan zur Netzeinspeisung für eine Nutzung an anderen Standorten→ Erzeugung vom Palmöl im Ausland, dessen Transport nach Europa und Verarbeitung im Inland
Vollständige, integrierte Nutzung der Komponenten der Biomasse an einem (Verbund)-Standort	Beispiele: <ul style="list-style-type: none">→ Bioraffineriekonzepte unter Nutzung einer Plattform für die integrierte Herstellung eines Spektrums an Produkten

Roadmap Bioraffinerien

Begriffsbestimmung und Abgrenzung

Begriffsbestimmung der Bioraffinerie

Eine Bioraffinerie zeichnet sich durch ein explizit integratives, multifunktionelles Gesamtkonzept aus, das Biomasse als vielfältige Rohstoffquelle für die nachhaltige Erzeugung eines Spektrums unterschiedlicher Zwischenprodukte und Produkte (Chemikalien, Werkstoffe, Bioenergie inkl. Biokraftstoffe) unter möglichst vollständiger Verwendung aller Rohstoffkomponenten nutzt; als Koppelprodukte können ggf. zusätzlich auch Nahrungs- und/oder Futtermittel anfallen. Hierfür erfolgt die Integration unterschiedlicher Verfahren und Technologien.

Roadmap Bioraffinerien

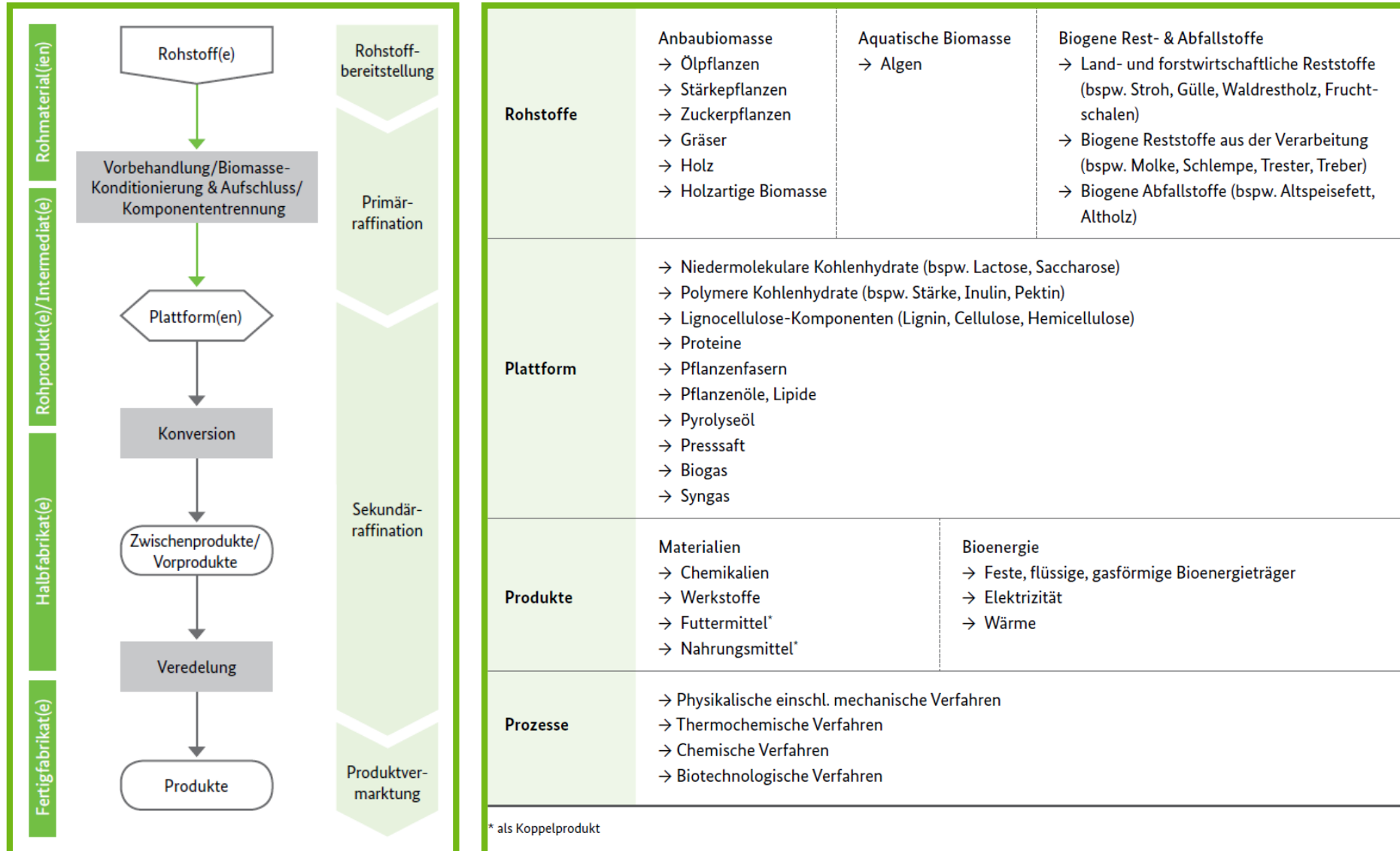
Begriffsbestimmung und Abgrenzung

Nicht als Bioraffinerien werden Anlagen bezeichnet, die folgende Merkmale haben:

- Anlagen zur Konversion von Biomasse, an deren Standort lokal oder regional entweder keine **Primärraffination** existiert oder überhaupt keine **Sekundärraffination** stattfindet.
Beispiele: Eine einzelne Fermentationsanlage oder eine Papierfabrik ohne ein vorgeschaltetes Zellstoffwerk (keine Primärraffination) bzw. eine einfache Stärkefabrik ohne angeschlossene Veredelungsanlagen oder eine Ölmühle zur Ölsaatenverarbeitung (keine Sekundärraffination).
- Anlagen zur Konversion von Biomasse, bei denen **keine Komponententrennung** stattfindet, sondern die Biomasse unverändert oder nur leicht modifiziert verarbeitet bzw. verwendet wird.
Beispiele: Ein holzverarbeitendes Sägewerk oder eine Anlage zur Herstellung von Naturfaserdämmstoffen.
- Anlagen zur Konversion von Biomasse, die nach der Primärraffination durch eine direkte Konversion **nur ein einziges Hauptprodukt** erzeugen oder wo das Hauptprodukt quantitativ deutlich überwiegt.
Beispiele: Biodieselherstellung (Hauptprodukt: Biodiesel) oder eine landwirtschaftliche Biogasanlage (Hauptprodukte: Strom & Wärme).

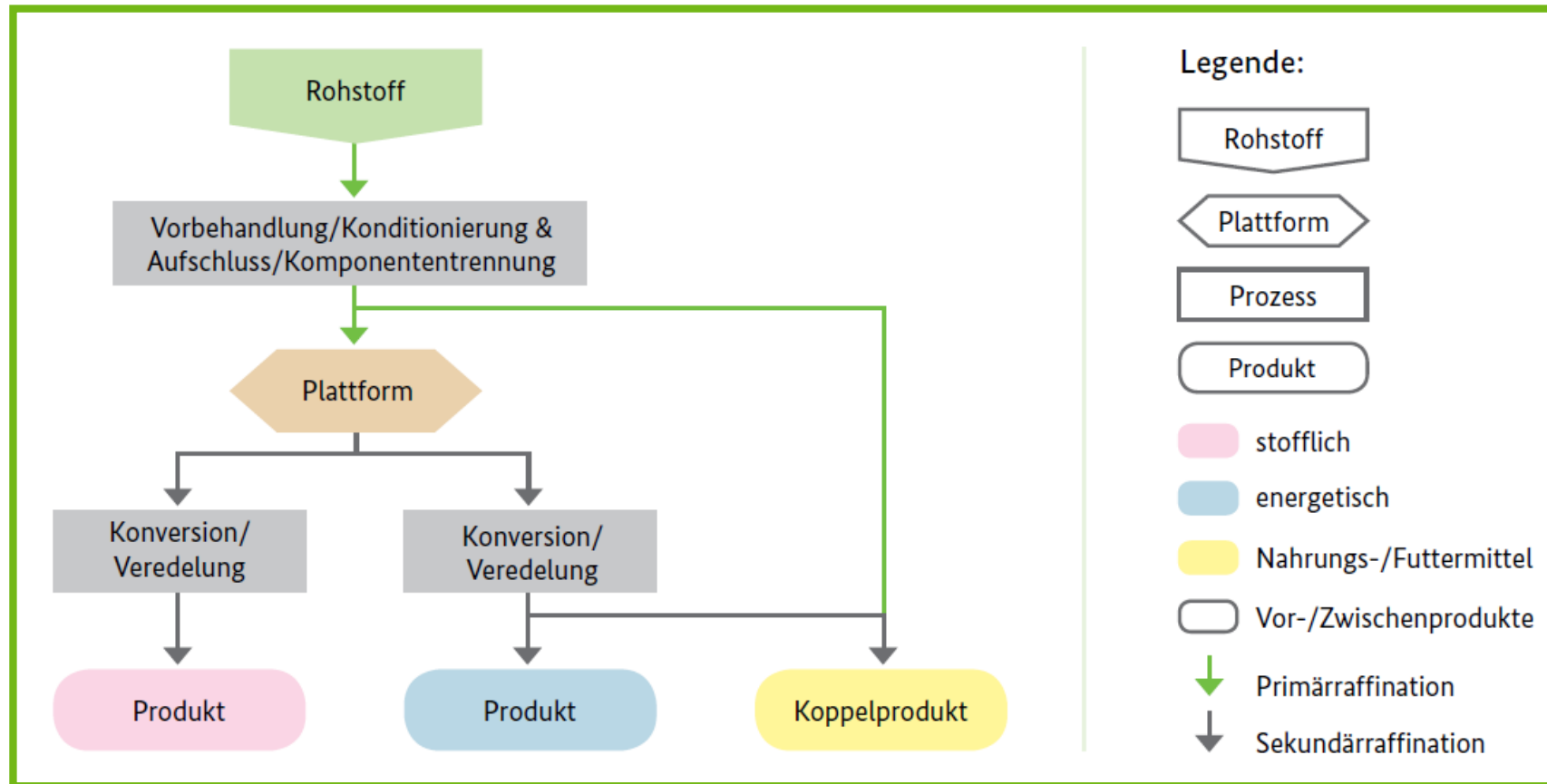
Roadmap Bioraffinerien

Verfahrenskette und Elemente der Bioraffinerie



Roadmap Bioraffinerien

Graphische Darstellung einer Bioraffinerie



Integrierte Produktion mit der Plattform als zentrales Element der Bioraffinerie

Roadmap Bioraffinerien

Aussichtsreiche Bioraffineriekonzepte

Bei der Auswahl wurden folgende Kriterien herangezogen:

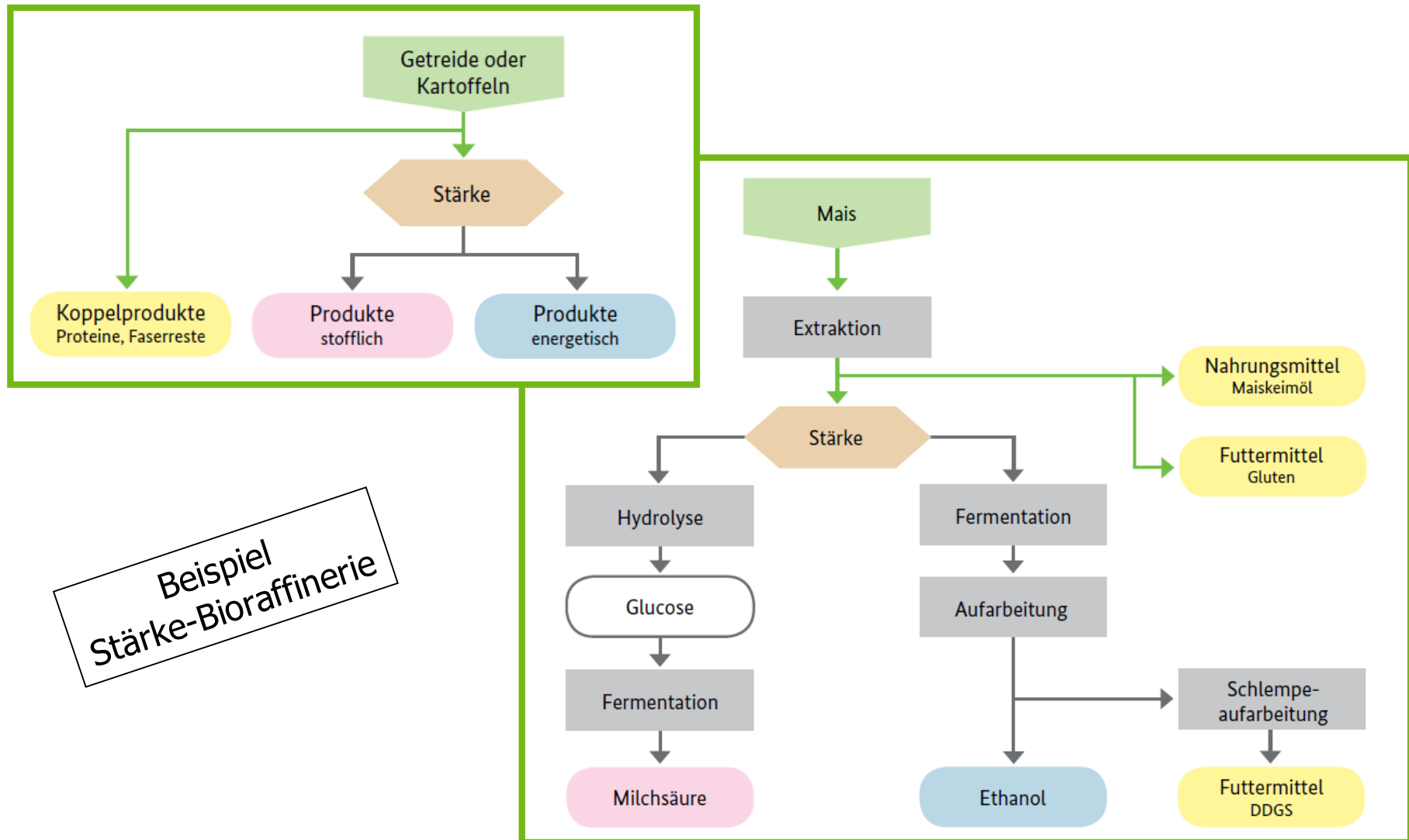
- die Rohstoffbereitstellung für die Plattform ist nachhaltig möglich und sinnvoll
- eine Kopplung von Primär- und Sekundärrefinierung mit der Plattform als Nexus ist im Prognosehorizont technisch und wirtschaftlich realisierbar
- die Plattform bietet ausreichend technische und wirtschaftliche Möglichkeiten zur Herstellung von vermarktbareren stofflichen und energetischen Produkten
- das Bioraffineriekonzept ist breit anwendbar und bietet auch Chancen für den Export von ressourceneffizienten Technologien für Bioraffinerien sowie von biobasierten Produkten

Gruppe	Bioraffineriekonzept*
1	→ Zucker -Bioraffinerie → Stärke -Bioraffinerie
2	→ Pflanzenöl -Bioraffinerie → Algenlipid -Bioraffinerie
3	→ Lignocellulose (Cellulose/Hemicellulose/Lignin) -Bioraffinerie <i>Typen:</i> (a) Produktion fermentierbarer Kohlenhydrate (b) Zellstoffproduktion → Grüne (green fibre/green juice) Bioraffinerie
4	→ Synthesegas -Bioraffinerie
5	→ Biogas -Bioraffinerie

* Plattform(en) fett hervorgehoben

Roadmap Bioraffinerien

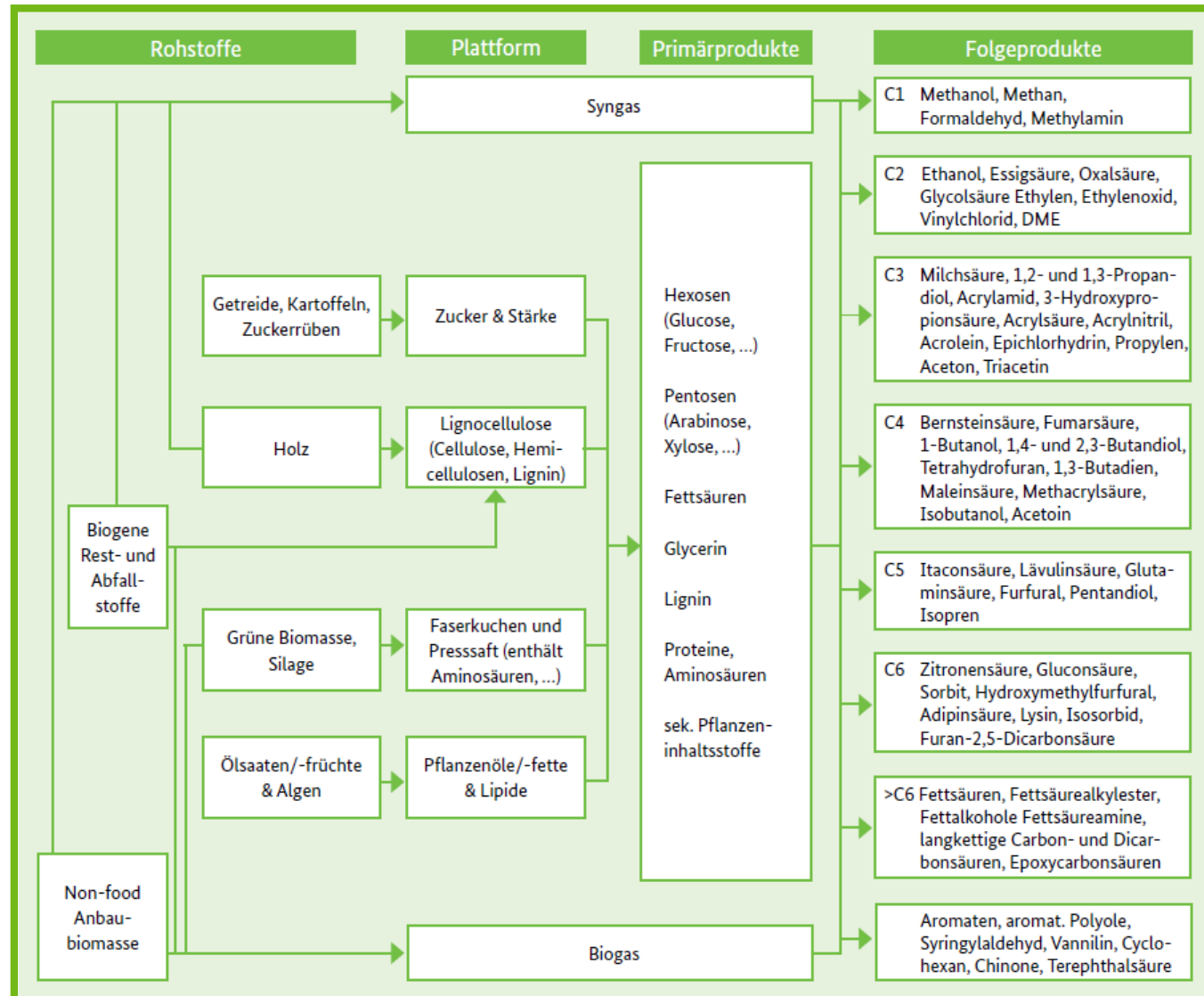
Technologische Beschreibung (Beispiel)



Beispiel
Stärke-Bioraffinerie

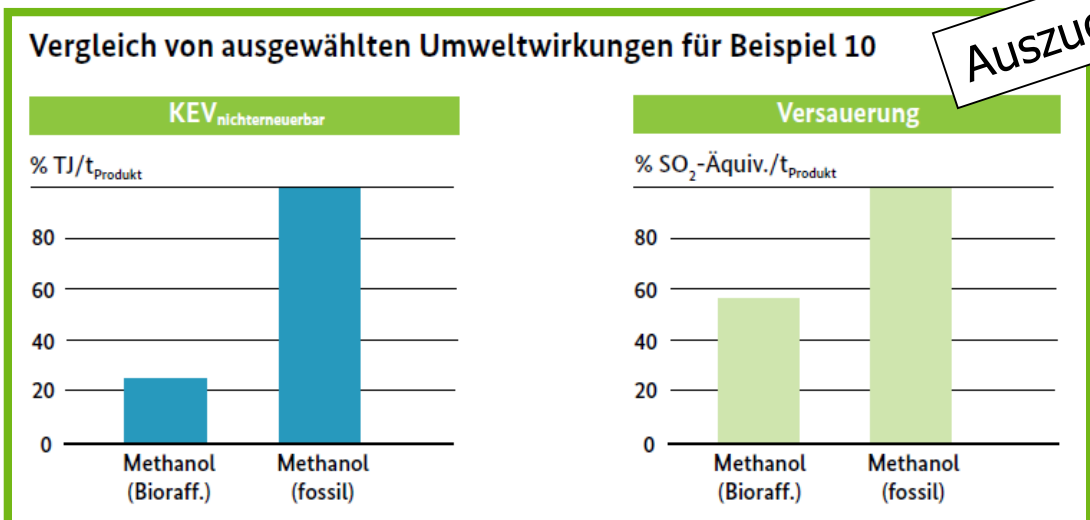
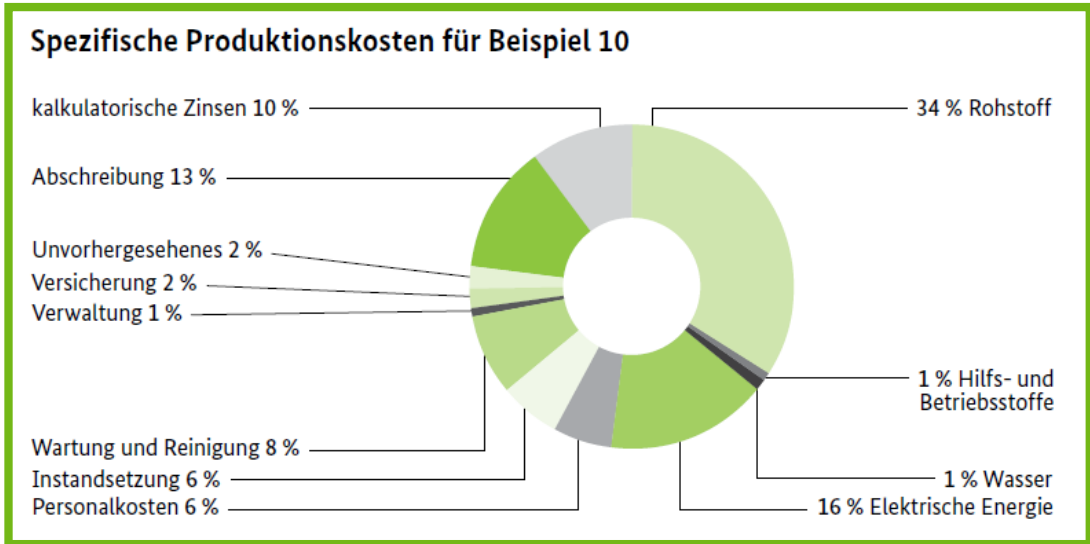
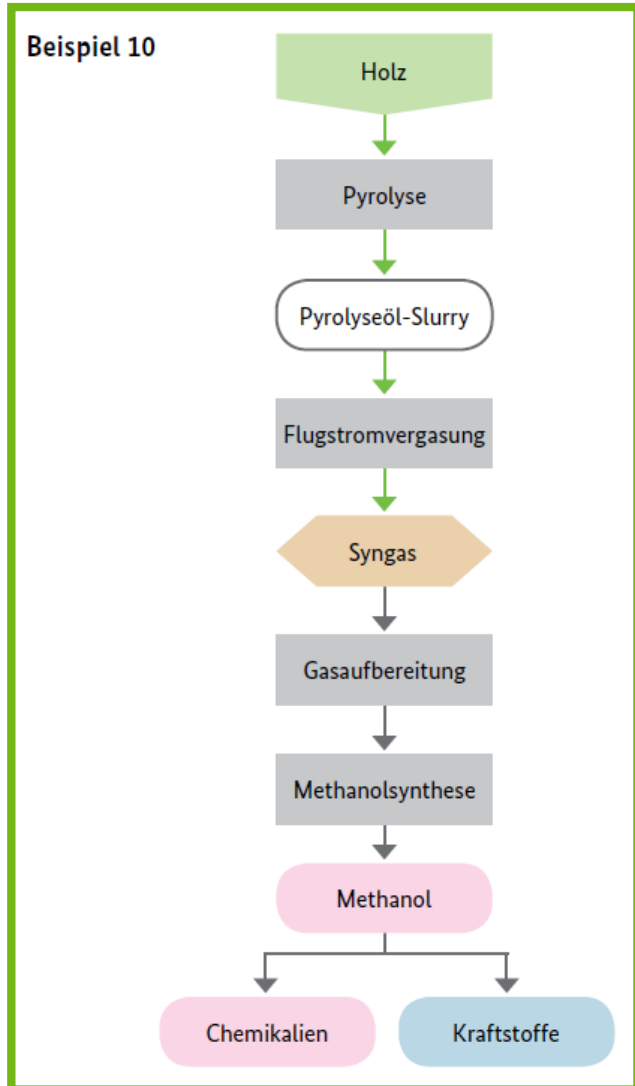
Roadmap Bioraffinerien

Produkte (Auswahl)



Roadmap Bioraffinerien

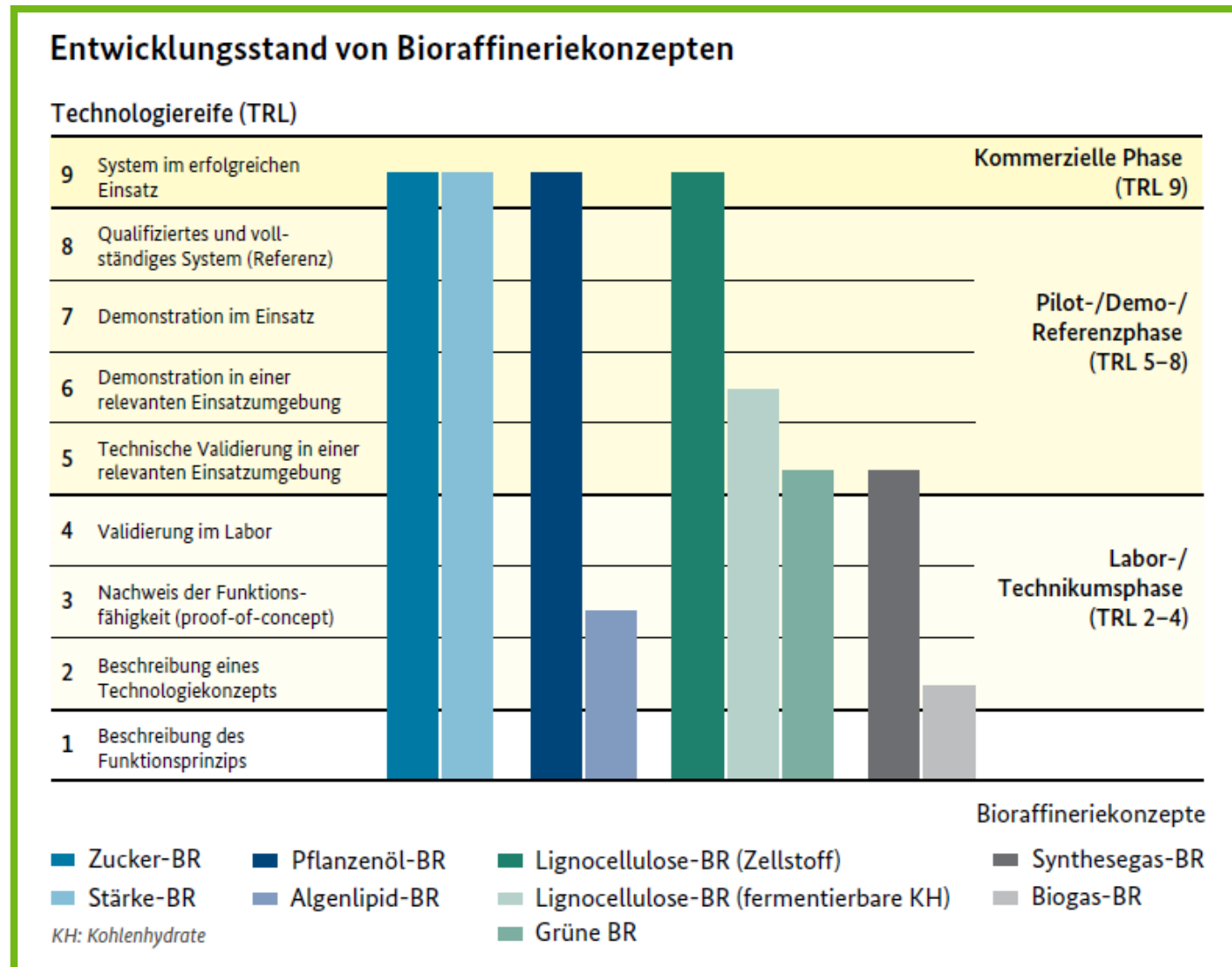
ökonomische und ökologische Einordnung (beispielhafte Darstellung)



Auszug

Roadmap Bioraffinerien

Technologiereife von Bioraffineriekonzepten



Roadmap Bioraffinerien

SWOT von Bioraffinerien (allgemein)

Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none">→ international wettbewerbsfähige Industrie und Energiewirtschaft→ effektive Land- und Forstwirtschaft→ hervorragende Infrastruktur und günstige geografische Lage→ langjährige praktische Erfahrungen in der Konversion von Biomasse sowie den Aufbau und Betrieb von Anlagen zur Verarbeitung von Biomasse→ führende Rolle bei der industriellen und energetischen Nutzung von Biomasse im europäischen und globalen Vergleich→ starke natur-, ingenieur-, agrar- und forstwissenschaftliche Forschungslandschaft→ starke deutsche Chemie- und Biotechnologieindustrie→ leistungsfähiger Maschinen-, Apparate- und Anlagenbau→ positive politische Rahmenbedingungen in Deutschland und Europa für biobasierte Produkte und erneuerbare Energien→ positive öffentliche Meinung zu biobasierten Produkten und erneuerbaren Energien	<ul style="list-style-type: none">→ Chancen des Rohstoffwandels und der Nutzung von Biomasse noch nicht in allen Teilen der Industrie ausreichend erkannt→ weitere Verbesserung des nachhaltigen Biomasseanbaus und der nachhaltigen Biomassebereitstellung erforderlich→ Grundlagenforschung und angewandte Forschung in Teilbereichen des Aufschlusses und der Konversion von Biomasse nicht ausreichend→ Marktorientierung der öffentlichen Förderung von Biomassenutzungspfaden und Bioraffinerien nicht in allen anwendungsorientierten Förderprogrammen gegeben→ wenige flexible und frei zugängliche Pilot- und Demoplanlagen→ hohe Investmentkosten bei komplexen Anlagen→ gesellschaftliche Akzeptanz nicht in allen Teilbereichen des Anbaus von Biomasse gegeben

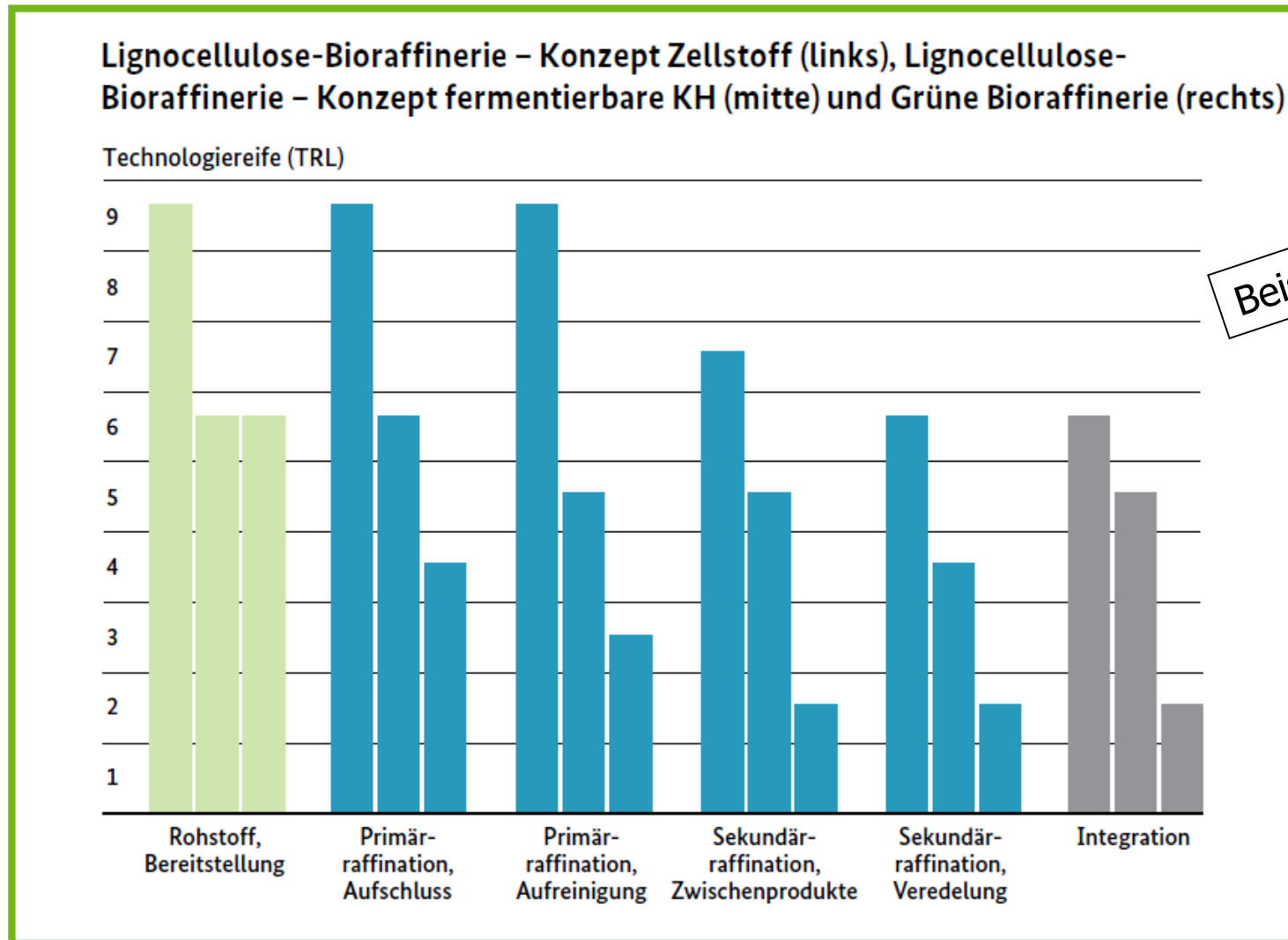
Roadmap Bioraffinerien

SWOT der Bioraffinerien (allgemein)

Chancen (Opportunities)	Risiken (Threats)
<ul style="list-style-type: none">→ Wandel der industriellen Rohstoffbasis hin zu mehr Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz→ Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie und Energiewirtschaft im Vergleich zu ausländischen Wettbewerbern→ Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Land- und Forstwirtschaft sowie Verbesserung der Entwicklung des ländlichen Raumes in Deutschland im Vergleich zu ausländischen Wettbewerbern→ Export von biobasierten Produkten und von Anlagen zur Verarbeitung und Konversion von Biomasse→ Errichtung von Bioraffinerien im Ausland mit deutschem Know-how→ Verbesserung der Agrarstruktur in Schwellen- und Entwicklungsländern eröffnet Marktchancen für deren inländische Verarbeitung und Veredelung von Biomasse sowie die Beteiligung am internationalen Biomassehandel	<ul style="list-style-type: none">→ Wettbewerbsverzerrungen durch global unterschiedliche Nachhaltigkeitsstandards→ begrenzte Verfügbarkeit von Biomasse→ Verstärkung von Nutzungskonflikten möglich→ starker internationaler Wettbewerb mit Industrie- und Schwellenländern

Roadmap Bioraffinerien

Technologiereife einzelner Konzepte (Beispiel)



Roadmap Bioraffinerien

SWOT einzelner Bioraffineriekonzepte (Beispiel)

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

Beispiel
Lignocellulose-Bioraffinerie

Roadmap Bioraffinerien

SWOT einzelner Bioraffineriekonzepte (Beispiel)

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)

Beispiel
Lignocellulose-Bioraffinerie

Roadmap Bioraffinerien

Handlungsfelder

→ **FuE/Innovation: Felder, wo es Handlungsbedarf gibt**

- Bioraffinerie insgesamt (einschl. Integration und Wertschöpfungskette)
- Biomassebereitstellung (Landwirtschaft, Forst, Züchtung)
- Prozesse der Primär- und Sekundärraffination einschl. Intermediate und Produkte der Bioraffinerie
- Nachhaltigkeitsaspekte von Bioraffinerien und biobasierten Produkten

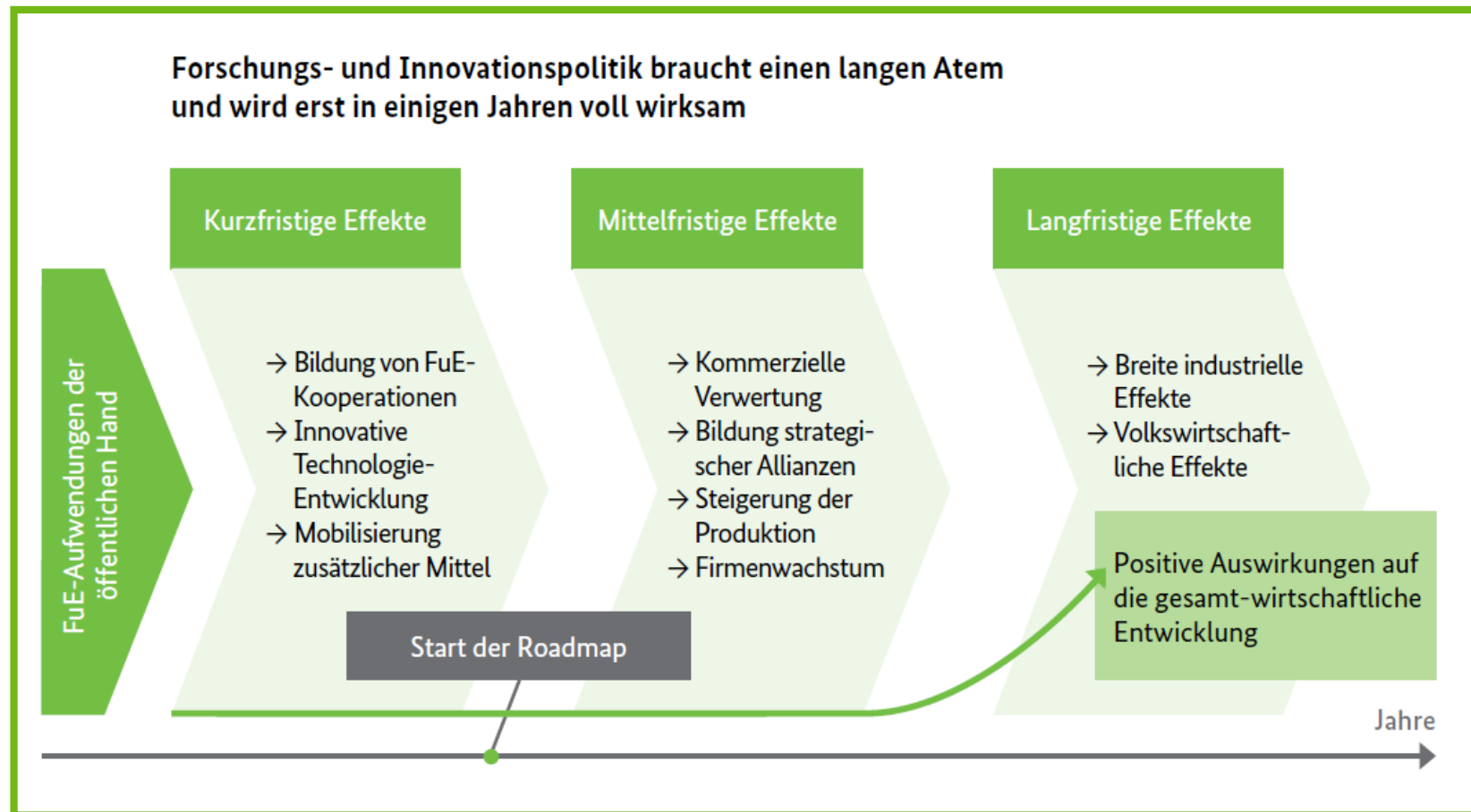
→ **Rahmenbedingungen: Felder, wo es Handlungsbedarf gibt**

- FuE/Innovation (bspw. Forschungsförderung , Verbundforschung zwischen Industrie und Akademia, Kompetenzbildung und -erhalt)
- Ökonomie (bspw. verlässliche und wettbewerbsfähige industriepolitische Rahmenbedingungen für Industrie und Landwirtschaft, Erschließung von Auslandsmärkten/Exportinitiativen)
- Umwelt (bspw. öffentliches Beschaffungswesen, Zertifizierung, Standardisierung)
- Beratungs- und Informationsangebote

Roadmap Bioraffinerien

Ausblick

- die Roadmap orientiert auf 2030, aber die Entwicklung und Implementierung von Bioraffinerien ist ein längerfristiger Prozess



Roadmap Bioraffinerien

Arbeitskreis



Start: September 2010 / Fertigstellung: Mai 2012

VDI-Richtlinie 6310

Arbeitskreis „Roadmap Bioraffinerien“

Erstellt und erarbeitet von einem temporären Arbeitskreis unter Vorsitz von Prof. Dr. Kurt Wagemann, DECHEMA e.V., Frankfurt am Main

Mitglieder des Arbeitskreises:

- Tilman Benzing, Verband der Chemischen Industrie e.V., Frankfurt am Main
- Dr. Thomas Böhlend, Evonik-Degussa GmbH, Marl
- Dr. Uwe R. Fritsche, Öko-Institut, Darmstadt
- Dr. Magnus Fröhling, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
- Arne Gröngroft, Deutsches Biomasse-Forschungszentrum, Leipzig
- Dr. Armin Guenther, Lurgi GmbH, Frankfurt am Main
- Jens Günther, Umweltbundesamt, Dessau
- Dr. Maximilian Hempel, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück
- Andreas Hiltermann, InfraLeuna GmbH, Leuna
- Prof. Dr. Thomas Hirth, Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB), Stuttgart
- Dr. Norbert Holst, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow
- Dr. Bernd Horbach, Cargill Deutschland, Krefeld
- Dr. Ralf Jossek, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich
- Prof. Dr. Birgit Kamm, Forschungsinstitut Bioaktive Polymersysteme e.V., Teltow
- Dr. Andre Koltermann, Süd-Chemie AG, München
- Daniel Maga, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT), Oberhausen
- Franziska Müller-Langer, Deutsches Biomasse-Forschungszentrum, Leipzig
- Dr. Dietmar Peters, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow
- Dr. Jürgen Puls, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Hamburg
- Dr. Jörg Rothermel, Verband der Chemischen Industrie e.V., Frankfurt am Main
- Kristin Sternberg, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow
- Dr. Heinz Stichnothe, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig
- Ragnar Strauch, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Frankfurt am Main
- Prof. Dr. Roland Ulber, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern
- Dr. Armin Vetter, Thüringische Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena
- Prof. Dr. Klaus Vorlop, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig
- Dr. Wolfgang Wach, Südzucker AG, Mannheim
- Dr. Markus Wolperding, Linde Engineering Dresden GmbH, Dresden

Der Arbeitskreis bedankt sich für sachdienliche Hinweise und Anmerkungen bei zahlreichen weiteren Kollegen aus Forschung und Industrie, die bei einigen Fragestellungen zusätzlich hinzugezogen wurden.

Herausgeber

Bundesministerium für Ernährung,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)
Wilhelmstraße 54
10117 Berlin
www.bmelv.de

Bundesministerium für Bildung und
Forschung (BMBF)
Hannoversche Straße 28-30
10115 Berlin
www.bmbf.de

Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Stresemannstraße 128-130
10117 Berlin
www.bmu.de

Bundesministerium für Wirtschaft und
Technologie (BMWi)
Scharnhorststraße 34-37
10115 Berlin
www.bmwi.de

Text/Redaktion

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
OT Gülzow, Hofplatz 1
18276 Gülzow-Prüzen
Tel.: +49 3843/6930-0
Fax: +49 3843/6930-102
info@fnr.de • www.fnr.de

Stand

Mai 2012

Gestaltung/Realisierung

www.tangram.de, Rostock

Bildnachweis

Titel: Fotolia
Sofern nicht am Bild vermerkt:
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Kontakt & Information



Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe e.V. (FNR)

OT Gülzow

Hofplatz 1

D-18276 Gülzow-Prüzen, Germany

Tel.: +49 3843 6930-0

Fax: +49 3843 6930-102

E-Mail: info@fnr.de

Internet: www.fnr.de

www.nachwachsende-rohstoffe.de

