



# Biomass to Liquid – BtL Realisierungsstudie

Zusammenfassung

## Impressum

### Projektleitung:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)  
Chausseestrasse 128a  
10115 Berlin, Germany  
Tel: +49 (0)30 72 61 65 – 600 / Fax: +49 (0)30 72 61 65 – 699

### An der Finanzierung der Studie haben sich beteiligt:

Verband der Automobilindustrie (VDA) sowie Adam Opel GmbH, Audi AG, BMW Group, DaimlerChrysler AG, Ford-Werke GmbH, MAN Nutzfahrzeuge, AG Volkswagen AG  
BASF AG  
Deutsche BP AG  
TOTAL Deutschland GmbH  
Lurgi AG  
Choren Industries GmbH

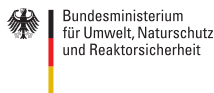
Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung sowie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 22013105-A (05NR131-A) gefördert. Die Fördermittel wurden durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) ausgegeben. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Die zugrunde liegenden Studienteile wurden von unabhängigen Fachinstituten und -unternehmen erarbeitet:  
Ludwig Bölkow Systemtechnik GmbH, Ottobrunn (Studienteil 1)  
Fichtner GmbH & Co. KG, Stuttgart (Studienteil 2)  
Rödl & Partner GbR, Nürnberg (Studienteil 3)  
NORD/LB, Hannover (Studienteil 4)

Bei dem vorliegenden Dokument handelt es sich um die Zusammenfassung der Studienergebnisse. Die Erstellung dieser Zusammenfassung erfolgte durch die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Die von den beauftragten Fachinstituten vorgelegten Teilstudien werden nicht veröffentlicht. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Stand: Dezember 2006

Titelfoto: artvertise fotodesign  
Design: F 217 Haberkern, Berlin



# Inhalt

<b>Executive Summary</b> .....	<b>4</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>Ergebnisse der Studie</b> .....	<b>8</b>
Biomasse- und Logistikaspekte .....	9
Technologieaspekte .....	11
Wirtschaftlichkeit .....	13
Finanzierungsaspekte .....	16
<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b> .....	<b>17</b>
<b>Handlungsempfehlungen</b> .....	<b>18</b>

# Executive Summary

**Biomass to Liquid (BtL)** ist heute eine der vielversprechendsten Optionen im Kraftstoffbereich. Die größten Vorzüge dieses synthetischen Biokraftstoffs sind seine hohen Biomasse- und Flächenausbeuten (bis zu 4000 Liter pro Hektar), sein hohes CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial von über 90 %, sowie seine hohe Qualität, die keinen Einsatzbeschränkungen in heutigen und absehbaren Motorengenerationen unterliegt. Folglich hat die Bundesregierung im Rahmen ihrer Kraftstoffstrategie dem BtL-Kraftstoff ein hohes Potenzial für Versorgungssicherheit, Klimaschutz und Wertschöpfung im ländlichen Raum eingeräumt. Sie fördert die Entwicklung dieses innovativen Kraftstoffs daher auf vielfältige Weise. Die deutsche Industrie hat sich bei dieser Technologie eine weltweite Führungsposition erarbeitet.

**Ziel der Studie ist es**, die Grundlagen für die Realisierung großtechnischer BtL-Produktion in Deutschland zu erarbeiten. Potenziellen Investoren soll eine Beurteilungsmöglichkeit der Chancen und Risiken der Investition in eine großtechnische BtL-Produktion an die Hand gegeben werden. Auf der anderen Seite gilt es weitere technische Optimierungspotenziale zu identifizieren. Der Politik sollen wichtige Anhaltspunkte über den weiteren Förderbedarf und die Schaffung geeigneter politischer, gesetzlicher und fiskalischer Rahmenbedingungen gegeben werden.

**Die Studie untersucht** in ihrem ersten Teil Biomasse- und Logistikaspekte für die fünf exemplarischen Standorte Gelsenkirchen, Heilbronn, Leuna, Ludwigshafen und Wismar. Der zweite Teil beleuchtet die Technologieaspekte und untersucht hierzu fünf unterschiedliche Technologievarianten. Studienteil Drei erstellt ein Kalkulationsmodell zur Evaluierung der Wirtschaftlichkeit und führt beispielhafte Wirtschaftlichkeits-Berechnungen für die fünf Technologieoptionen durch. Der vierte Studienteil beschäftigt sich mit Fragen der Finanzierung.

**Das technische Biomassepotenzial in Deutschland** ist ausreichend, um bis zu gut 20 % des heutigen Kraftstoffverbrauchs mit BtL abzudecken. Das Substitutionspotenzial bis zum Jahr 2030 liegt nach heutigen Erkenntnissen sogar bei bis zu gut 35 % des prognostizierten Verbrauchs, bezogen jeweils auf den Energiegehalt und unter Vorbehalt von Nutzungskonkurrenzen, insbesondere mit den Bereichen Strom, Wärme und Chemie. Da Biomasse im Verkehrsbereich anders als in den Bereichen Strom und Wärme kurz- bis mittelfristig die einzige regenerative Alternative zu fossilen Energiequellen darstellt, ist gerade das BtL-Verfahren mit seiner effizienten Biomassenutzung für den Verkehrssektor von besonderer Bedeutung. Die Erschließung der Biomassepotenziale erfordert einen entsprechenden Paradigmenwechsel in der Landwirtschaft, bietet dieser aber auch große Chancen durch eine höhere Wertschöpfung.

Es sind **mehrere Technologievarianten** zur Zeit in der Entwicklung oder Umsetzung und für zukünftige industrielle Anwendungen geeignet, die sich hinsichtlich der Biomasseaufbereitung, der Vergasung und des Syntheseverfahrens unterscheiden. Nach der mechanischen Vorbehandlung folgt entweder eine thermische Behandlung der Biomasse oder eine direkte Vergasung. Das in einer Flugstrom- oder Wirbelschichtvergasung gewonnene Synthesegas wird gereinigt, konditioniert und schließlich zu Kraftstoff synthetisiert. Hierzu eignen sich prinzipiell sowohl das Fischer-Tropsch-Verfahren, das in Coal to Liquid- und Gas to Liquid-Anlagen bereits weltweit großindustriell eingesetzt wird, als auch Verfahren mit Methanol als Zwischenstufe.

**Eindeutige Präferenzen** für eine Technologie lassen sich nicht formulieren, vielmehr sind alle untersuchten Verfahren prinzipiell geeignet. Die technische Machbarkeit steht grundsätzlich nicht in Frage. Die Teilprozesse sind großteils im industriellen Einsatz. Zusammen ergibt sich jedoch eine sehr komplexe und anspruchsvolle Verfahrenskette. Die Studie identifiziert verbleibende Risiken der einzelnen Technologien und benennt realistische Optimierungspotenziale. So ist auf technologischer Seite vor allem eine weitere Steigerung des Synthesewirkungsgrades und der Anlagen-Verfügbarkeit zu erreichen. Synergieeffekte in erheblichem Umfang lassen sich durch die Integration der BtL-Produktion in bestehende Raffinerie- oder Chemiestandorte erzielen.

**Es ist insgesamt festzuhalten**, dass der Stand der Technologie heute die Realisierung erster großtechnischer Anlagen zur BtL-Produktion erlaubt, die für die Wahrung und den Ausbau der technologischen Führungsposition Deutschlands auf diesem Gebiet von entscheidender Bedeutung sein wird. Parallel sorgen weitere Forschung, Entwicklung und Demonstration für die Umsetzung identifizierter Optimierungspotenziale und die Minderung der verbleibenden Risiken.

**Die Marktfähigkeit des BtL-Verfahrens** ist absehbar, aber noch nicht unmittelbar gegeben. Als weitere entscheidende Faktoren für die Wirtschaftlichkeit werden vor allem die Biomassekosten und die Finanzierungskosten identifiziert. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass sich BtL-Produktionskosten von deutlich unter einem Euro pro Liter realisieren lassen. Aus Sicht eines Kapitalgebers sind die derzeitigen Risiken allerdings noch hoch, was bei einer so jungen Technologie auch zu erwarten ist. Realistisch ist unter diesen Rahmenbedingungen daher die Durchführung im Rahmen einer Projektfinanzierung mit angemessener Risikoteilung zwischen privaten Investoren und öffentlicher Hand.

Um die **großtechnische Produktion** in einen wirtschaftlichen Bereich zu führen und die Potenziale der Technologie auszuschöpfen, sind weitere Schritte durch Industrie und Politik erforderlich. Forschungs- und Entwicklungsförderung einerseits sowie verlässliche politische und fiskalische Rahmenbedingungen andererseits sind zwei empfehlenswerte Instrumente. Die bis 2015 geplante Steuerbegünstigung des BtLKraftstoffs ist von zentraler Bedeutung, aus heutiger Sicht jedoch nicht ausreichend. Eine zeitlich befristete weitere Förderung über 2015 hinaus ist daher geboten. Unternehmen und Politik sollten ferner daran arbeiten, BtL auch auf EU-Ebene zum Durchbruch zu verhelfen.

Als **nächster konkreter Schritt** gilt es den Machbarkeitsnachweis verschiedener Technologieoptionen zu erbringen, beispielsweise in geeigneten Demonstrationsprojekten. Parallel sind weitergehende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Erschließung weiterer Optimierungspotenziale sowohl der gesamten Prozesskette, als auch einzelner Komponenten wichtig. Auf Basis heute verfügbarer Technologien ist schnellstmöglich mindestens eine erste industrielle Referenzanlage in der hier untersuchten Größenordnung zu errichten, um den deutschen Technologievorsprung zu halten und auszubauen. Ziel ist die Errichtung einer Anlage zu kalkulierbaren Kosten, in einem kalkulierbaren Zeitrahmen und mit einem Höchstmaß an Engagement durch Unternehmen aus Technologie und Anlagenbau. Der Betrieb einer solchen Anlage ist durch einen adäquaten Betreiber sicher zu stellen, der Produktabsatz durch die Mineralölindustrie oder einen Direktvermarkter vor dem Hintergrund kalkulierbarer Rahmenbedingungen. Außerdem bedarf es der Bereitschaft sämtlicher Akteure, Teile des Projektrisikos zu übernehmen. Dazu gehören auch die Bereitstellung von Kapital sowie die Übernahme von Bürgschaften.

# Einleitung

**Die Biomass to Liquid (BtL) -Technologie** ist eine der vielversprechendsten Technologien im Kraftstoffsektor. Zwischen den heutigen Biokraftstoffen Biodiesel und Ethanol und dem zukünftigen Kraftstoff Wasserstoff ist eine Technologie erforderlich, die Biomasse nutzen kann und keinen Beschränkungen im Einsatz heutiger und absehbarer Motorengenerationen unterliegt. Diese Anforderungen können durch die Biomassevergasung und anschließende Synthetisierung zu Kraftstoffen erfüllt werden. Durch die Möglichkeit, unterschiedlichste Biomassen einsetzen zu können, wird sich mit der BtL-Technologie das Spektrum nutzbarer Biomasse erheblich erweitern. Gegenüber Biokraftstoffen der ersten Generation kann der Hektarertrag deutlich gesteigert werden (nach Angaben der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe bis zu 4000 Liter Kraftstoff pro Hektar Anbaufläche).

BtL bietet für Deutschland große Chancen unabhängiger von fossilen Energieträgern zu werden. Damit kann BtL einen entscheidenden Baustein zum mittel- bis langfristigen Erhalt der Versorgungssicherheit im Kraftstoffbereich darstellen. Mit einem CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial von über 90 Prozent gegenüber fossilen Kraftstoffen kann BtL außerdem einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Über ihre technischen, klima- und versorgungspolitischen Vorzüge hinaus ist die BtL-Technologie auch geeignet Arbeitsplätze im Anlagenbau und in der Landwirtschaft zu sichern und zu generieren. Wird die Biomasse als Rohstoffbasis aus heimischer Produktion bezogen, stärkt dies die Wertschöpfung im ländlichen Raum und bietet dem Agrarsektor einen neuen Absatzmarkt. Dieser innovative synthetische Kraftstoff und seine Herstellung in Deutschland sind auch industriepolitisch von großer Bedeutung. Deutschland hat heute auf dem Gebiet der BtL-Technologie eine Führungsrolle, deren Ausbau u.a. auch neue Exportmöglichkeiten eröffnet.

Aufgrund der hohen Qualität und der Möglichkeit gezielter Optimierung der Eigenschaften im Zuge der Synthese stellt BtL einen idealen Kraftstoff für die nächste Generation der Verbrennungsmotoren dar (wie z.B. das Combined Combustion System). Auch ein Einsatz in Strahl- und Turboprop-Triebwerken ist problemlos möglich. Damit stellt BtL für die Luftfahrt eine der wenigen greifbaren Treibstoff-Optionen jenseits fossilen Kerosins dar.

Die Bundesregierung hat im Rahmen ihrer Kraftstoffstrategie den BtL-Kraftstoffen ein hohes Potenzial für Versorgungssicherheit, Klimaschutz und Wertschöpfung im ländlichen Raum eingeräumt. Neben der mit einer aktiven Mitarbeit verbundenen finanziellen Unterstützung der vorliegenden Studie fördert die Bundesregierung daher bereits verschiedene

Vorhaben im Bereich BtL-Kraftstoffe. Ziel der Förderung ist es auch, noch offene Fragen der Technologie und der ökologischen und ökonomischen Bewertung dieser Biokraftstoffe der zweiten Generation zu klären. Das bei der Thematik federführende Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) verfolgt mit der Förderung eine ganzheitliche Strategie bei der Herstellung von synthetischen Kraftstoffen aus Biomasse. Die Fördermaßnahmen umfassen neben der engeren technischen Entwicklung von BtL-Prozessen die gesamte Produktionskette, von der Züchtung über Anbau und Ernte bis hin zur Konditionierung von angepassten Biobrennstoffen. Damit umfassen die Fördermaßnahmen des BMELV jeden Schritt der BtL-Produktionskette, angefangen bei Forschungs- und Entwicklungs-Projekten zu Bereitstellung und Anbauverfahren im Zuge des Energiepflanzenverbundprojekts EVA über die Konditionierung und Logistik von Biomasse im Verbundvorhaben BioLog sowie den auf die Realisierung von Demonstrationsanlagen gerichteten Vorhaben bei der Technischen Universität Bergakademie Freiberg in Sachsen und dem Forschungszentrum Karlsruhe bis hin zur Kraftstoffsynthese im Methanol-to-Synfuel(MtS)-Prozess.

Flankiert von Vorhaben der wissenschaftlichen Begleitung zu ökonomischen, ökologischen und anderen nicht-technischen Fragestellungen wird über die Fördermaßnahmen der Bundesregierung die Entwicklung entlang der gesamten Produktionskette unter Beteiligung namhafter Unternehmen vorangetrieben. Auch im Rahmen des Biokraftstoffquotengesetzes strebt die Bundesregierung gute Bedingungen für die weitere Entwicklung dieser Kraftstoffe an. Im Sächsischen Freiberg hat die Bundesregierung die Errichtung einer ersten kommerziellen BtL-Anlage der Firma Choren finanziell unterstützt.

Auch auf europäischer Ebene ist das Interesse für die BtL-Technologie mittlerweile sehr stark. Die Biokraftstoff-Richtlinie der EU aus dem Jahr 2003 hat bis 2005 einen Biokraftstoffanteil von 2% (bezogen auf den Energiegehalt) vorgegeben, bis 2010 müssen es 5,75% sein. In den Anschlussregelungen, die zurzeit erarbeitet werden, wird BtL voraussichtlich ein wichtiger Baustein sein. In der viel beachteten Well-to-Wheels-Analyse, die das Joint Research Center der Europäischen Kommission mit den Europäischen Automobilherstellern (EUCAR) und der Europäischen Mineralölindustrie (CONCAWE) durchgeführt hat, werden die hervorragenden Klimaschutz-Potenziale dieser Kraftstoffoption klar aufgezeigt. Auch die jüngst gegründete European Biofuels Technology Platform widmet einen Großteil ihrer Aktivitäten den Biokraftstoffen der zweiten Generation.

<sup>1</sup> CONCAWE / EUCAR / JRC (2005): *Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context.*

Um eine Wettbewerbsfähigkeit von BtL-Kraftstoffen erreichen zu können, ist es erforderlich, die Realisierung industrieller BtL-Produktion in Deutschland vorzubereiten. Die vorliegende BtL-Realisierungsstudie stellt einen wichtigen Schritt in diese Richtung dar.

**Ziel der Studie** ist es, die Grundlagen für die Realisierung einer großtechnischen BtL-Produktion in Deutschland zu erarbeiten. Potentiellen Investoren soll eine Beurteilungsmöglichkeit der Chancen und Risiken der Investition in eine großtechnische BtL-Produktion an die Hand gegeben werden. Auf der anderen Seite gilt es weitere technische Optimierungspotenziale zu identifizieren. Der Politik sollen wichtige Anhaltspunkte über den weiteren Förderbedarf zur Verfügung gestellt werden. Regierung und Parlament sollen mithilfe der Erkenntnisse aus dieser Studie geeignete politische, gesetzliche und fiskalische Rahmenbedingungen schaffen können.

In der vorliegenden Studie werden **vier Themenkomplexe** untersucht, deren Ergebnisse im folgenden Kapitel kurz zusammengefasst sind.

**Studienteil 1** behandelt Biomasse- und Logistikaspekte. Aufbauend auf der technischen Biomasseverfügbarkeit in Deutschland und den angrenzenden Nachbarländern werden Szenarien über Nutzungskonkurrenzen und Preisentwicklungen von Biomasse in einem Zeithorizont bis 2030 abgeleitet. Für fünf beispielhafte Standorte in Deutschland werden Logistikkonzepte in zentralen und dezentralen Varianten erstellt und miteinander verglichen. Studienteil 1 schließt mit einer Bewertung der fünf Standorte unter logistischen Aspekten.

**Studienteil 2** setzt sich mit den Technologieaspekten der BtL-Produktion auseinander. Auf der Grundlage der Darstellung derzeitiger Technologieoptionen werden fünf unterschiedliche Verfahren ausgewählt und der noch bestehende Entwicklungsbedarf bis zur Marktreife evaluiert. Für die fünf ausgewählten Verfahren werden begründete Kostenschätzungen als Eingabeparameter für die Berechnungen in Studienteil 3 entwickelt. Berechnet werden Investitions- und Betriebskosten für die Errichtung einer Anlage mit einem Biomasse-Durchsatz von einer Million Tonnen pro Jahr (energetisch normiert auf Restholz nach Trocknung mit einem Wassergehalt von 30 Prozent).

Darauf aufbauend führt Studienteil 2 über die Evaluierung von technischen und Umweltrisiken zur Beschreibung und Bewertung der Technologien, die über das beste Potenzial zur großtechnischen Produktion von BtL-Kraftstoff in Deutschland verfügen. Ergänzend werden die generellen Standortbedingungen „auf der grünen Wiese“ mit denjenigen bei der Integration in einen bestehenden Raffinerie- oder Chemiestandort verglichen und wesentliche Aspekte und Vereinfachungsmöglichkeiten des Genehmigungsverfahrens aufgezeigt.

Schwerpunkt des **Studienteils 3** ist die Erstellung eines Kalkulationsmodells zur Evaluierung der Wirtschaftlichkeit großtechnischer BtL-Produktionsanlagen. Mit Hilfe dieses Kalkulationsmodells werden beispielhafte Berechnungen für die fünf Technologieoptionen durchgeführt. Die Berechnungen beziehen sich jeweils auf einen standardisierten Standort „auf der grünen Wiese“ und auf einen Standort mit Integration in eine typische Raffinerie. Des Weiteren werden die derzeitigen Fördermöglichkeiten für BtL-Kraftstoffe untersucht.

**Studienteil 4** formuliert generelle Erwägungen zur Finanzierung großtechnischer BtL-Produktionsanlagen. Aus den Ergebnissen der Studienteile 1 bis 3 werden Chancen und Risiken abgeleitet und in konkrete Empfehlungen für die erforderlichen Rahmenbedingungen eines tragfähigen Finanzierungskonzeptes umgesetzt.

---

<sup>2</sup> Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) zur Änderung energie- und stromrechtlicher Vorschriften (Biokraftstoffquotengesetz – BioKraftQuG) vom 26.10.2006

# Ergebnisse der Studie

## Biomasse- und Logistikaspekte <sup>3</sup>

Geeignete Biomassen für die Produktion von BtL-Kraftstoffen sind im Wesentlichen Hölzer (wie z.B. Waldenergieholz, Industrierestholz, Altholz), Reststroh, bestimmte Arten tierischer Biomasse sowie Energiepflanzen. Als Energiepflanzen eignen sich vor allem schnell wachsende Bäume (Kurzumtriebsplantagen), Getreideganzpflanzen (v.a. Triticale) und Miscanthus. Für diese Arten der Biomasse wurden Flächenpotenziale aus der Stilllegungsfläche abgeleitet. Im Ergebnis liegt das technische Potenzial in Deutschland heute in einem Rahmen von etwa 40 bis 70 Mio. t Trockensubstanz pro Jahr (entspricht 719 bis 1219 PJ). Damit könnten bis zu 15 Mio. t BtL pro Jahr hergestellt werden (bei einem Wirkungsgrad der BtL-Produktion von 42%), was bezogen auf den Energiegehalt einem Anteil von rund 22 % des heutigen Kraftstoffverbrauchs in Deutschland entspricht.

**Tabelle 1: Technische Potenziale Biomasse für die BtL-Produktion in Deutschland**

	in Mio. t TS/a	PJ/a
Hölzer (Waldenergieholz, Industrierestholz, Altholz)	23,4 – 24,7	432 – 458
Reststroh	11,5 – 19,2	199 – 331
Tierische Biomasse	1,0	14
Energiepflanzen (Kurzumtrieb, Triticaleganzpfl., Miscanthus)	3,9 – 23,6	71 – 416
<b>Summe</b>	<b>39,8 – 68,5</b>	<b>719 – 1 219</b>
TS=Trockensubstanz		

Die heutigen Kosten der Biomassebereitstellung variieren stark je nach Biomasseart und bewegen sich zwischen 21 und 180 € pro t Trockensubstanz (1,2 bis 9,7 €/GJ bezogen auf den unteren Heizwert), wobei der Großteil allerdings unter 60 € pro t liegt. Diese Kostenkalkulation beinhaltet die Lagerung in einem feld- oder walddnahen Lager (in max. 10km Entfernung zum Erzeugungsort). Es wird in der Folge unterstellt, dass Energiepflanzen, Waldenergieholz und Reststroh die Hauptbestandteile der Biomasse bilden werden.

<sup>3</sup> Studienteil 1, erstellt von Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH

<sup>4</sup> Feuchtgut ist ungetrocknete Biomasse mit einem hohen Wassergehalt. Durch mechanische Entwässerung und nachfolgende Trocknung wird daraus ein Pressgut erzeugt.

**Tabelle 2: Preise (Restholz) und Produktionskosten (übrige Biomassen)**

	Waldenergieholz	Reststroh	Energiepflanzen			Feuchtgut (Pressgut)
			Kurzumtrieb	Triticale (Ganzpflanze)	Miscanthus	
€/tFM	15 – 75 (30% H <sub>2</sub> O)	46-54 (5% H <sub>2</sub> O)	29 – 74 (30% H <sub>2</sub> O)	99 – 109 (15% H <sub>2</sub> O)	62 (15% H <sub>2</sub> O)	135 – 162 (10% H <sub>2</sub> O)
€/tTS	21 – 107	54 – 63	41 – 105	117 – 128	73	150 – 180
€/GJ	1,2 – 5,8	3,1 – 3,7	2,2 – 5,7	6,9 – 7,5	4,1	8,3 – 9,7

FM: Frischmasse; TS: Trockensubstanz, ohne Transportkosten zur Konversionsanlage

Stand 2006

In der Folge werden verschiedene Szenarien für die zur Verfügung stehenden Flächen einerseits und für die Hektarerträge bestimmter Biomasse-Mixe andererseits betrachtet. Die Flächen-Szenarien ergeben sich aus unterschiedlichen Annahmen bezüglich der Entwicklung des Flächenbedarfs für den Anbau von Lebensmitteln, der Entwicklung der Siedlungsfläche und des Flächenbedarfs für Naturschutzgebiete. Langfristig stehen je nach Szenario Flächen zwischen 2,8 Mio. ha („Umweltszenario“) und 4,2 Mio. ha („Biomassesszenario“) für den dedizierten Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung. Zum Vergleich

wurde auch die heutige Stilllegungsfläche betrachtet. Bei den Hektarerträgen wird im „Niedrigszenario“ von reinem Kurzumtrieb ausgegangen, im „Hochszenario“ von einem Energiepflanzen-Mix. Kombiniert mit den Flächenszenarien ergibt sich ein Gesamtbiomasse-Potenzial zwischen 1.020 PJ bzw. 56 Mio. t Trockensubstanz pro Jahr und 1.850 PJ bzw. 104 Mio. t Trockensubstanz pro Jahr. Ein Wirkungsgrad der BtL-Produktion von 42% vorausgesetzt, entspräche dies einem Substitutionspotential zwischen 21% und 38% des für 2030 prognostizierten Kraftstoffverbrauchs (bezogen auf den Energiegehalt).

**Tabelle 3: Potenziale der energetisch nutzbaren Biomasse**

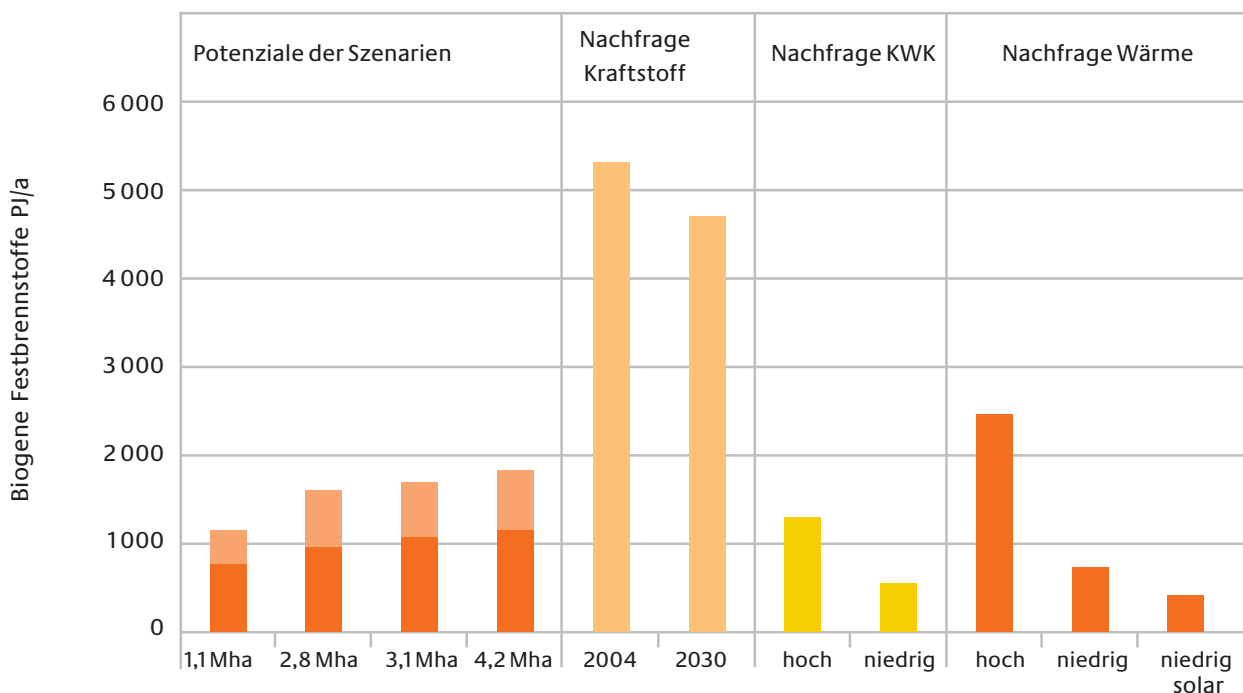
	Stilllegungsfläche im Jahr 2003	Referenzszenario	Umweltszenario	Biomassesszenario
	1,1 Mio. ha	3,1 Mio. ha	2,8 Mio. ha	4,2 Mio. ha
„Niedrig“-Szenario	800 PJ/a 44 Mio. t TS/a	1.090 PJ/a 60 Mio. t TS/a	1.020 PJ/a 56 Mio. t TS/a	1.180 PJ/a 64 Mio. t TS/a
„Hoch“-Szenario	1.190 PJ/a 67 Mio. t TS/a	1.750 PJ/a 98 Mio. t TS/a	1.640 PJ/a 92 Mio. t TS/a	1.850 PJ/a 104 Mio. t TS/a

*Umrechnung der Biomasse [t] in Energie [PJ] über den unteren Heizwert: 18,2 PJ pro t Trockensubstanz (Mittelwert verschiedener Biomassetypen) im Niedrigszenario, 17,8 PJ pro t Trockensubstanz (Mittelwert verschiedener Biomassetypen) im Hochszenario. 1 Petajoule (PJ) entspricht 23,9 kt oil equivalents (oe).*

Für die Wirtschaftlichkeitsprognose wird davon ausgegangen, dass die Biomassepreise sich mittel- bis langfristig an den Rohölpreisen orientieren werden. In einer Szenariobetrachtung des Rohölpreises von 50 bis 150 US\$ pro Barrel wird angenommen, dass der Preis der Biomasse bezogen auf den Energiegehalt etwa dem halben Preis für Heizöl entsprechen wird. Der Einfluss steigender Öl- und Gaspreise auf die Biomasseerzeugungskosten kann hingegen vernachlässigt werden. Bezüglich der nachgefragten Biomassemengen wird es zur BtL-Produktion künftig erhebliche Konkurrenz vor allem für den Einsatz für Heizzwecke sowie in Kraft-Wärme-Kopplungs-

Anlagen (KWK) geben. Während in den Bereichen Strom und Wärme mit Wasserkraft, Wind- und Sonnenenergie sowie Erdwärme auch andere regenerative Energiequellen zur Verfügung stehen, existieren im Kraftstoffsektor kurz- bis mittelfristig keine regenerativen und CO<sub>2</sub>-mindernden Alternativen zur Biomassenutzung. Eine durch steigende Öl- und Gaspreise motivierte und verstärkte energetische Sanierung des Gebäudebestandes kann beispielsweise auch zu einer deutlichen Entschärfung der Nutzungskonkurrenz führen. Die folgende Grafik zeigt die Biomassesszenarien im Vergleich mit Nachfrageszenarien für die verschiedenen Nutzungen.

**Abbildung 1: Biomasseszenarien und Nutzungen**



Um einen direkten Vergleich mit den Biomasse-Potenzialen (Primärenergie) zu ermöglichen, wurde die Kraftstoffnachfrage in den Primärenergiebedarf umgerechnet (Wirkungsgrad der BtL-Erzeugung: 42%). Szenario 2030 auf Basis der Energiewirtschaftlichen Referenzprognose (EWI / Prognos 2005). Ebenfalls dargestellt sind konkurrierende Biomassenutzungen (Primärenergie) für die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und die Wärmebereitstellung gemäß eigener Berechnung, Datenbasis: Forschungsstelle für Energiewirtschaft (2006) und Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ (2005).

Für fünf exemplarische Standorte wurden Logistikkonzepte und -kosten untersucht: Gelsenkirchen, Heilbronn, Leuna, Ludwigshafen und Wismar. Während für Gelsenkirchen und Leuna eine Bereitstellung der Biomasse aus der Umgebung der BtL-Anlage ausschließlich per Lkw angenommen wurde, wurde für Heilbronn und Ludwigshafen eine Bereitstellung von 50% der Biomasse mit dem Binnenschiff angesetzt. Für Wismar wurde ein 80%iger Import der Biomasse per See / Schiff angenommen. Ein Biomassetransport auf der Schiene ist erst ab einem Radius von 200 km lohnenswert. Die Logistikkosten der verschiedenen Konzepte liegen zwischen 10 und 15 € pro t Trockensubstanz entsprechend 0,6 bis 0,9 € pro GJ. Die Standorte Leuna und Wismar schneiden insgesamt am günstigsten ab, da die große Biomasseverfügbarkeit im Umfeld dieser Standorte in geringeren Transportentfernungen resultiert. Wismar zeichnet sich zusätzlich durch die Möglichkeit eines potenziell günstigen Biomasse-Imports über den Ostseehafen aus.

Dezentrale Konzepte, bei denen die Biomasse in dezentralen Anlagen in Zwischenprodukte umgewandelt wird – entweder Methanol oder ein Pyrolyseöl/Koks-Slurry –, die dann anschließend in einer zentralen BtL-Anlage zum Kraftstoff synthetisiert werden, sind hinsichtlich der Logistikkosten den zentralen Konzepten unterlegen. Erst bei der Anlieferung der Biomasse aus weiter entfernten Regionen können dezentrale Konzepte vorteilhaft werden.

<sup>5</sup> Die Auswahl der Standorte erfolgte im Sinne von Typen unter der Berücksichtigung der regionalen Verteilung, der Verteilung auf Raffinerie- oder Chemiestandorte und solche „auf der grünen Wiese“ sowie der Verteilung auf Standorte mit und ohne Hafenanbindung.

### Technologieaspekte<sup>6</sup>

Derzeit wird noch keine BtL-Anlage im großtechnischen Maßstab betrieben, insofern steht auch keine Technologie als geschlossenes, am Markt abrufbares Verfahren zur Verfügung. Ausgehend von der Evaluierung bestehender Versuchs-, Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie in Betrieb befindlicher Teilanlagen lassen sich aber generelle Möglichkeiten eines entsprechenden Upscaling der eingesetzten Anlagentechniken untersuchen.

Für die Biomassevergasung kommt sowohl die autotherme Wirbelschichtvergasung, als auch die Flugstromvergasung in Frage. Die Wirbelschicht weist mehr Betriebserfahrungen mit Biomasse auf, während die Flugstromvergasung für das Upscaling besser geeignet ist und eine bessere Gasqualität erreicht. Bei der Gasreinigung ist eine Adaption auf den Einsatzstoff

Biomasse notwendig. Für die Kraftstoffherstellung aus Synthesegas eignet sich die Fischer-Tropsch (FT)-Synthese mit anschließender Konditionierung der Kohlenwasserstoffe sowie die Methanolsynthese mit anschließender Kraftstoffsynthese aus Methanol. Die FT-Synthese hat sich weltweit im Rahmen von Coal to Liquid (CtL)- und Gas to Liquid (GtL)-Anlagen großtechnisch bewährt; der Syntheseprozess ist identisch mit dem von BtL. Die Methanol-Herstellung aus Synthesegas ist ebenfalls großtechnisch bewährt, nicht jedoch die Kraftstoffsynthese aus Methanol, die aber teilweise aus Standardtechniken besteht.

Als Bezugsgröße für die Analyse der Technologieaspekte wurde ein jährlicher Durchsatz von einer Million Tonnen Biomasse festgelegt. Folgende fünf Technologievarianten, die die relevanten Techniken für die einzelnen Prozessschritte abbilden, wurden betrachtet:

Abbildung 2: Die fünf betrachteten Technologie-Varianten<sup>7</sup>

	Mechanische Behandlung	Thermische Vorbehandlung	Vergasung	Gasreinigung	Synthese	Produktkonditionierung
dezentral   zentral 1	Mahlung		Flugstromvergasung	Gasreinigung	FT-Synthese	Produktkonditionierung
2	Zerkleinerung	Schnell-Pyrolyse	Flugstromvergasung	Gasreinigung	FT-Synthese	Produktkonditionierung
3	Zerkleinerung		Wirbelschichtvergasung	Gasreinigung	Methanol-Synthese	Produktkonditionierung
4	Zerkleinerung	Pyrolyse	Flugstromvergasung	Gasreinigung	FT-Synthese	Produktkonditionierung
5	Zerkleinerung	Pyrolyse	Flugstromvergasung	Gasreinigung	Methanol-Synthese	Produktkonditionierung

Für diese Technologieoptionen wurden die wesentlichen verfahrenstechnischen Auslegungsparameter erarbeitet und Kostenschätzungen durchgeführt. Aufgrund des Entwicklungsstandes der BtL-Herstellung und der Zielstellung der Studie als standortneutraler Variantenvergleich handelt es sich dabei

um eine „Order of Magnitude“-Kostenschätzung, bei der noch Abweichungen von bis zu 30% möglich sind. Demnach liegen die Investitionskosten in einem geschätzten Rahmen von 525 bis 650 Mio. €.

<sup>6</sup> Studienteil 2, erstellt von Fichtner GmbH & Co. KG

<sup>7</sup> Bei Technologie-Variante 2 ist die Schnellpyrolyse als thermische Vorbehandlung dezentral durchführbar. Das Pyrolyseprodukt, ein Pyrolyse-Slurry, wird anschließend zur zentralen Vergasungsanlage transportiert. Bei Technologie-Variante 3 finden auch die Vergasung und die Methanolsynthese dezentral statt und erst die Produktkonditionierung in einer zentralen Anlage. Bei den Varianten 4 und 5 erfolgt lediglich die mechanische Vorbehandlung dezentral. Alle folgenden Arbeitsschritte erfolgen in einer zentralen Anlage.

Im Vergleich zu einem Standort „auf der grünen Wiese“ hat ein Raffinerie- oder Chemiestandort zahlreiche grundsätzliche Vorteile. Neben geringeren Kapital- und Betriebskosten bieten sich hier betriebliche und organisatorische Synergieeffekte. Die Einbindung in einen Raffineriestandort mindert außerdem das Verfügbarkeitsrisiko deutlich. Auch hinsichtlich der Genehmigung bietet der Raffineriestandort i.d.R. sehr gute Voraussetzungen, weil die raumplanerische Eignung gegeben ist und sowohl Raffineriebetreiber als auch die zuständigen Behörden über Erfahrungen mit komplexen Genehmigungsverfahren verfügen. Im Ergebnis können durch Integration in einen Raffinerie- oder Chemiestandort die Investitionskosten um rund 25% gesenkt werden (für die Technologie-Variante 1 beispielsweise auf unter 400 Mio. €).

Identifizierte Optimierungspotenziale, die sich auf die Produktionskosten auswirken, bestehen insbesondere hinsichtlich folgender Kenngrößen:

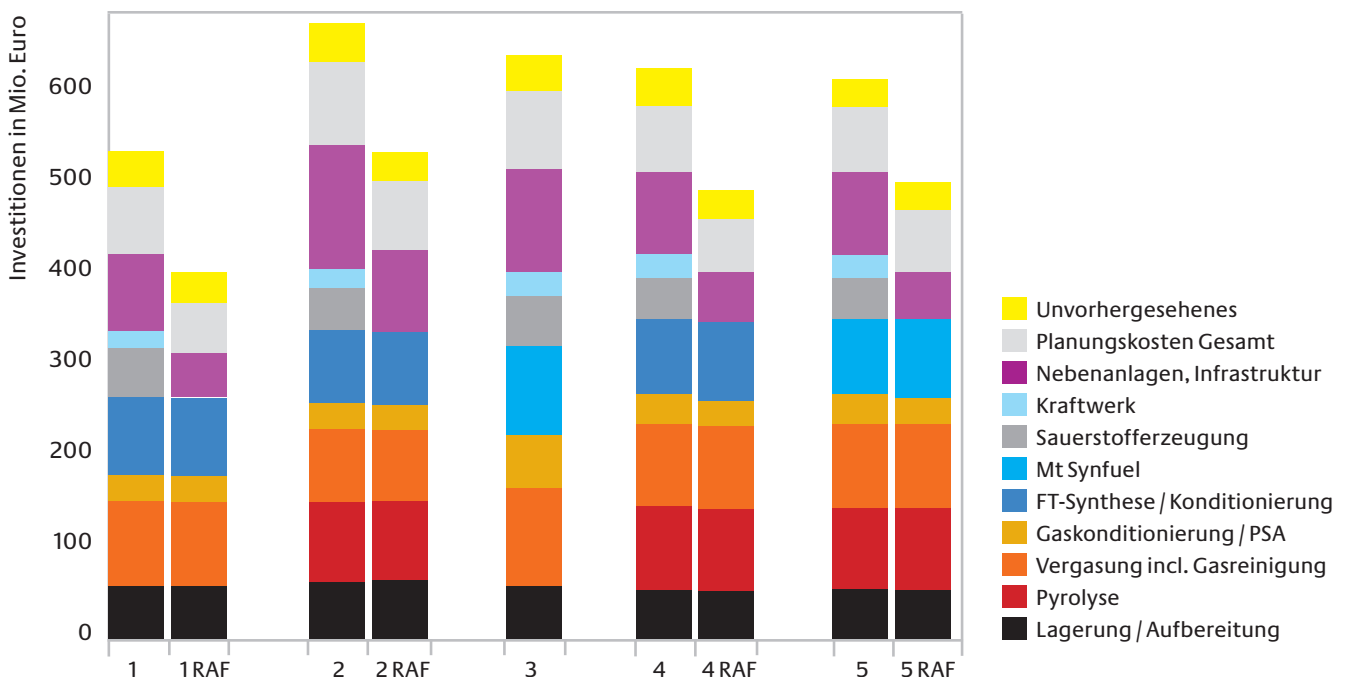
- „Technologisches Lernen“, d.h. eine Detailoptimierung bei der Realisierung von Folgeanlagen, welches in Investitionseinsparungen in der Größenordnung von 15% resultieren kann.
- Optimierung insbesondere im Fischer-Tropsch-Prozess, die die Produktausbeute um ca. 10% steigern kann.

- Erhöhung der Anlagen-Verfügbarkeit auf der Basis bestehender Betriebserfahrungen auf 90%, die die Produktausbeute ebenfalls in einer Größenordnung von etwa 10% steigern kann.

Die technische Machbarkeit steht grundsätzlich nicht in Frage. Alle betrachteten technischen Varianten sind prinzipiell sinnvoll; eindeutige Vorzugslösungen sind zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht erkennbar. Hinsichtlich der technischen Realisierbarkeit ist die Biomassevergasung als „Bottleneck“ zu werten. Die Varianten 3 bzw. 4 und 5 sind einer großtechnischen Realisierung am nächsten, die Wirbelschichtvergasung oder die Flugstromvergasung mit vorgeschalteter Pyrolyse also derzeit besonders geeignet. Beiden Techniken kann sowohl eine FT- als auch eine Methanol-Synthese folgen.

Perspektivisch weisen allerdings sowohl die Wirbelschichtvergasung als auch die Vorschaltung einer Pyrolyse Nachteile auf. Das Upscaling bei der vorgeschalteten Pyrolyse ist nur durch Vervielfachung der Linienzahl zu erreichen und führt zu hohen spezifischen Kosten. Die Wirbelschicht ist im Upscaling stärker limitiert als die Flugstromvergasung.

**Abbildung 3: Investitionskosten der betrachteten Technologievarianten**



RAF = Raffinerie- oder Chemiestandort, Integration der Variante 3 in Raffineriestandort nicht sinnvoll

Ebenfalls Erfolg versprechend sind langfristig die Varianten 1 (direkte Flugstromvergasung) und 2 (Schnellpyrolyse mit Slurryvergasung). Variante 1 setzt voraus, dass das Problem der ausreichenden Zerkleinerung und der Aufgabe nicht vorbehandelter Biomasse gelöst wird. Bei Variante 2 ist die Schnellpyrolyse ebenfalls im Durchsatz limitiert. Dieser Prozessschritt wird hier aber dezentral durchgeführt. Der Eignungsnachweis der großtechnisch noch nicht realisierten Schnellpyrolyse von Biomasse steht noch aus und muss im Pilotmaßstab erfolgreich getestet werden.

Vor einer Umsetzung in der hier diskutierten Größenordnung von einer Million Tonnen Biomasse sind Erfahrungen aus laufenden Projekten auszuwerten (wie die Anlage Värnamo nach dem Umbau, die Choren Beta-Anlage sowie die IEC Freiberg Engineering-Studie).

Bei 7000 Betriebstunden und einem Biomassedurchsatz von einer Million Tonnen pro Jahr liegt die Gesamtproduktion (Diesel und Naphta) je nach Technologievariante zwischen 106.400 t und 118.300 t pro Jahr. Der Dieselanteil bewegt sich dabei in einer Bandbreite von 60 % bis 90 %.

Unter Umweltgesichtspunkten ergeben sich bei der BtL-Produktion keine nennenswerten Risiken. Der eingesetzte Brennstoffstrom wird zum größten Teil in das Produkt umgesetzt und nicht auf dem Luftpfad emittiert (anders als sonst bei Biomassevergasungsanlagen). Aufgrund der systembedingten, intensiven Gasreinigung werden brennstoffimmanente Luftschadstoffe praktisch vollständig abgeschieden. Es verbleiben geringe Emissionen an den verbrennungsbedingten Schadstoffen NO<sub>x</sub> und CO. Emittiertes CO<sub>2</sub> ist biogen und damit klimaneutral. Unter überschlüssiger Einbeziehung der substituierten fossilen Kraftstoffe und der substituierten Stromerzeugung in teilweise fossilen Kraftwerken ergibt sich eine deutliche CO<sub>2</sub>-Vermeidung.

Auch Akzeptanzprobleme in der Öffentlichkeit dürften keine Rolle spielen. Die Akzeptanz der Technik an sich wird mutmaßlich hoch sein. Die Akzeptanz einer konkreten Großanlage wird vor allem bei einem Standort „auf der grünen Wiese“ der gleichen Opposition ausgesetzt sein wie jede industrielle Großanlage, BtL-spezifische Aspekte sind nicht absehbar.

## Wirtschaftlichkeit<sup>8</sup>

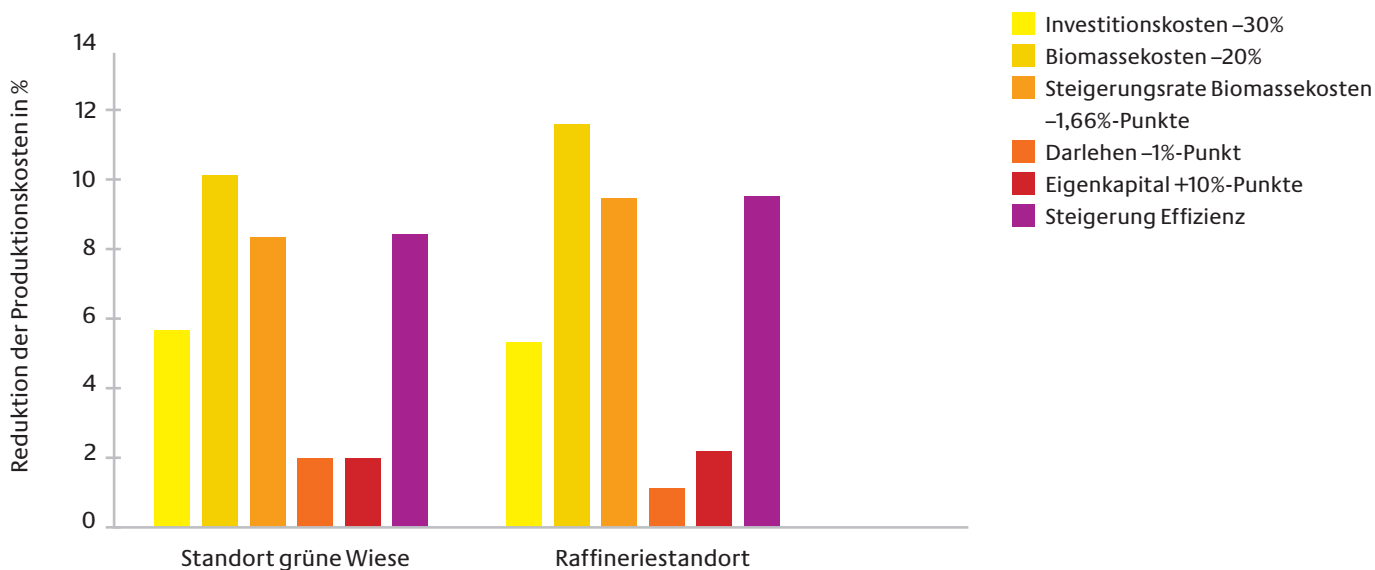
Mithilfe eines Kalkulationstools wurde die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Verfahren abgeschätzt, d.h. im Ergebnis Produktionskosten und Verkaufspreise für die Endprodukte BtL und Naphta ermittelt. Das Tool erlaubt dabei die flexible Variation von Preissteigerungen, Betriebs- und Investitionskosten sowie weiterer Kenngrößen. Mithilfe dieses Tools können auch Investoren und Interessierte für den konkreten Einzelfall Kosten und Risiken ermitteln und zu erwartende Erlöse berechnen. Aufbauend auf den Ergebnissen der anderen Studienteile wurden Wirtschaftlichkeits- und Sensitivitätsanalysen für die in Studienteil 2 definierten Technologieoptionen jeweils für den Standort „grüne Wiese“ und für den Standort „Raffinerie“ durchgeführt (Technologieoption 3 nur für den Standort „grüne Wiese“, da eine Integration dieser Option in einen Raffinerie-Standort technisch nicht sinnvoll ist).

Die niedrigsten Verkaufspreise lassen sich mit der Technologieoption 1 an einem Raffinerie- oder Chemiestandort erzielen. Die Synergieeffekte und geringeren Investitionskosten am Raffineriestandort führen bei allen betrachteten Technologieoptionen zu einem klaren Kostenvorteil. Die Erlöse der Kuppelprodukte (KPE) wie Restgas, Dampf und Strom werden in die Berechnung der Produktionskosten einbezogen, d.h. Zahlungsströme zwischen BtL-Anlage und Raffinerie werden berücksichtigt. Für die Variante 1 ohne Ausschöpfung weiterer Optimierungspotenziale würden sich Produktionskosten von 0,88 €/l ergeben. Damit im Rahmen einer Projektgesellschaft für ein solches Werk ein interner Zinssatz (IRR) von 10 % und eine Schuldendienstdeckungsrate (DSCR) von 130 % dargestellt werden kann, ist ein Verkaufspreis ab BtL-Werk von 1,09 €/l erforderlich. Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten betragen 280,28 €/t CO<sub>2</sub>eq. Diese Variante ohne weitere Optimierungen wird als „Base-Case“ zugrunde gelegt.

Die Sensitivitätsanalyse hat ergeben, dass die wesentlichsten Einflussgrößen die Anlageneffizienz, die Biomassekosten und die Finanzierungskosten sind. Ihr Einfluss auf die Produktionskosten ist deutlich größer als der der Investitionskosten und des Eigenkapital-Anteils.

<sup>8</sup> Studienteil 3, erstellt von der Rödl & Partner GbR

Abbildung 4: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse



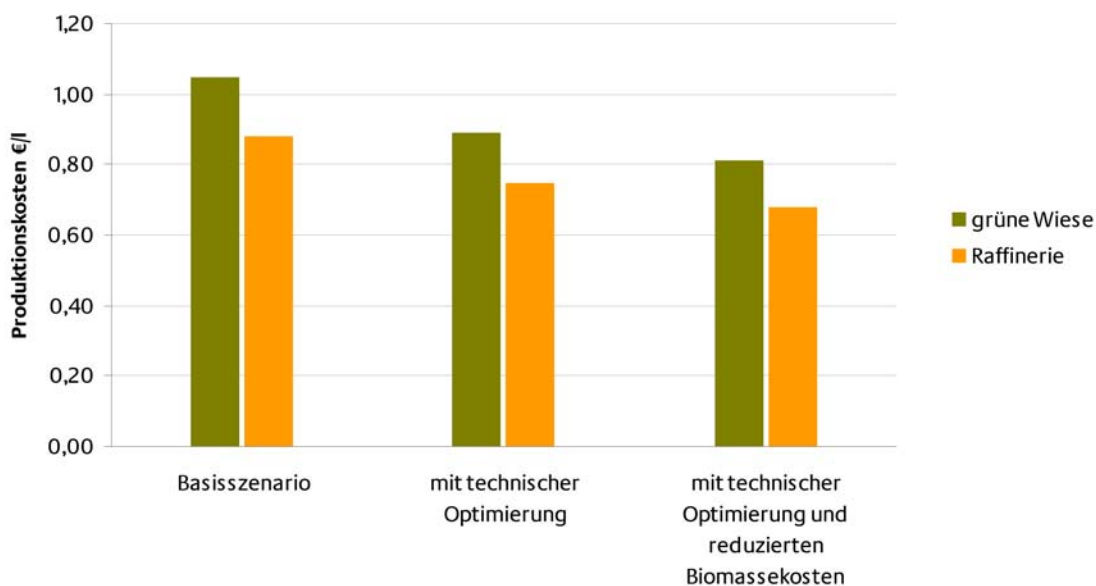
Die Basisdaten für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind konservativ ausgelegt, was dem Entwicklungsstand der Technologie entspricht. Je nach Technologie- und Standort-Variante liegen die Produktionskosten zum Teil noch deutlich über 1,00 €/l. In einem weiteren Schritt wurde untersucht, welche konkreten und realistischen Verbesserungen gegenüber den Base-Case-Bedingungen möglich sind. Im Ergebnis kann eine Senkung der Erzeugungskosten auf etwa 0,80 €/l erreicht werden. Entscheidend ist dabei, dass es sich um realistische Optimierungspotenziale handelt, deren Umsetzung als klare Aufgabe für die nächsten zwei bis fünf Jahre verstanden wird. Folgende Schritte wurden identifiziert:

- Eine Anhebung der Umsatzrate in der FT-Synthese auf 90%. Voraussetzung hierfür ist vor allem ein fehlerfreies Funktionieren der Synthesegasreinigung, was realistisch ist.
- Eine Senkung der Investitionskosten um 25%. Vor dem Hintergrund des auf 15% bezifferten Sparpotenzials durch sukzessive Optimierung und technologisches Lernen sowie der konservativen Kostenschätzung ist dies ebenfalls realistisch.

→ Eine Erhöhung der Anlagen-Verfügbarkeit auf 7.500 Stunden pro Jahr, die nach zwei Betriebsjahren erreicht wird. Die in den ersten Betriebsjahren gewonnenen Erfahrungen und durchgeführten Optimierungen machen diesen Anstieg realistisch, setzen allerdings auch höhere Einzelverfügbarkeiten von FT-Synthese, Brennstoffaufbereitung, Vergasung und Gasreinigung voraus.

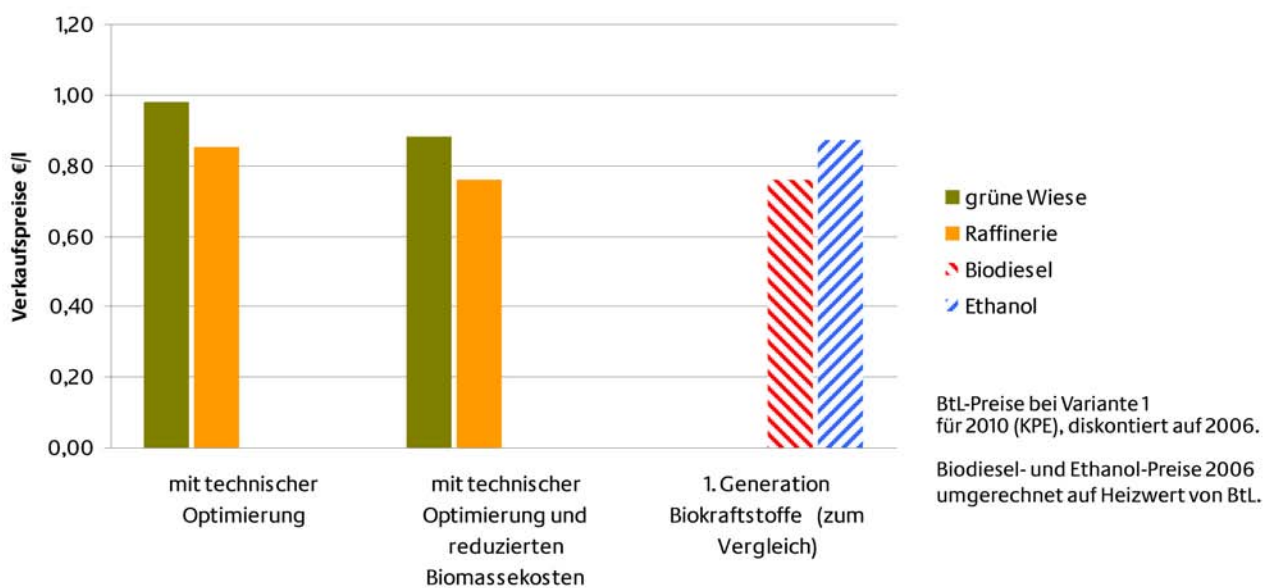
Werden diese Optimierungspotenziale ausgeschöpft, lassen sich im Ergebnis Produktionskosten unter 0,80 €/l erreichen. Bei einer zusätzlichen Reduktion der Biomassepreise um etwa 20%, die auf der Basis langfristiger Lieferverträge anzustreben ist, sinken die Produktionskosten sogar unter 0,70 €/l. Im folgenden Diagramm sind die Produktionskosten für die Technologievariante 1 als der günstigsten Variante aufgeführt. Die Produktionskosten für das erste Betriebsjahr 2010 (diskontiert auf 2006) werden für das Basisszenario (heutiger Stand der Technologie ohne weitere Optimierungen) sowie für ein Optimierungsszenario unter Einbeziehung der identifizierten realistischen Optimierungspotenziale dargestellt.

Abbildung 5: Produktionskosten 2010 bei Variante 1, diskontiert auf 2006



Daraus ergeben sich – ebenfalls für Technologievariante 1 – folgende BtL-Verkaufspreise:

Abbildung 6: BtL-Verkaufspreise, Vergleich mit Biodiesel und Ethanol<sup>9</sup>



<sup>9</sup> Biodieselpreis: Durchschnittswert der Monate Juli 2005 bis Juni 2006 nach Daten der Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen (<http://www.ufop.de>). Ethanolpreis: Durchschnittswert der Monate Juli 2005 bis Juni 2006 nach Daten von F.O. Licht's European Ethanol Price Report.

Untersucht wurden außerdem Förderinstrumente. Hierbei wurde ein fiktives BtL-Vorhaben mit einer Durchsatzmenge von ca. 1 Mio. t Biomasse (feucht), ca. 400 Arbeitsplätzen und einem Investitionsvolumen von ca. 400 bis 700 Mio. € angenommen. Geprüft wurden Investitionszuschüsse, zinsvergünstigte Kredite, Bürgschaften, Garantien sowie steuerliche Subventionen auf Bundes-, Landes- und EU-Ebene. Viele Förderoptionen richten sich an KMU (Kleine und Mittlere Unternehmen) und sind daher nicht anwendbar. Weiterhin sind viele Förderprogramme in ihrem Budget so limitiert oder in der Anwendung zweckgerichtet, dass ein Vorhaben dieser Größe nicht gefördert werden würde. Fördermöglichkeiten ergeben sich nur aus dem Investitionszulagengesetz, welches eine Förderung für Investitionen in den neuen Bundesländern vorsieht. Eine Förderung durch Staatsbürgschaften und eventuelle Investitionszuschüsse sind politisch abhängig und daher nur als potenzielle Option zu betrachten.

### Finanzierungsaspekte <sup>10</sup>

Abschließend werden spezifische Projekterfordernisse – unabhängig von den fünf Technologievarianten – aufgezeigt, die aus Bankensicht für eine langfristige Fremdkapitalfinanzierung für eine erste BtL-Großanlage erfüllt sein sollten. Den Schwerpunkt bei der Evaluierung dieser Kriterien bildet dabei die Darstellung und Minimierung der wesentlichen Projektrisiken.

Investoren sowie Banken werden sich für die langfristige Finanzierung an BtL-Anlagen nur gewinnen lassen, wenn die Verzinsung des eingesetzten Eigen- und Fremdkapitals die Rentabilitäts Erwartungen erfüllt. Frühzeitige Anschlussregelungen für eine langfristige und verlässliche Unterstützung von politischer Seite über 2009 hinaus (u.a. die Einführung einer verbindlichen Beimischungspflicht zu fossilen Kraftstoffen, Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit heimischer Produktionen im Rahmen internationaler Handelsabkommen, Ausweitung der FuE-Aktivitäten im Bereich BtL) sind für die Biokraftstoffbranche im Allgemeinen und für BtL im Besonderen von höchster Bedeutung. Auch die nun nach dem Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG) geregelte degressive Steuerbegünstigung für BtL bis Ende 2015 stellt bei derartig langfristigen Finanzierungen aus Bankensicht keine ausreichend verlässliche Perspektive dar, zumal mit einer breiten Markteinführung von BtL frühestens ab 2010 zu rechnen ist.

Im Rahmen einer Projektfinanzierung kommt den Investoren die zentrale Rolle zu. Als Träger des Vorhabens müssen sie den wirtschaftlichen Erfolg des Vorhabens sicherstellen. Neben ausreichend Eigenkapital haben sie je nach Projektphase weitere für den Projektbestand wichtige Verpflichtungen (z.B. Nachschusspflichten, Projektentwicklung und -durchführung) zu übernehmen. Die ausreichende Finanzkraft und das

nachhaltige Interesse der Investoren am Erfolg des Projektes sind für die Fremdkapitalgeber wesentliche Voraussetzung sich an einer Projektfinanzierung im BtL-Bereich zu beteiligen. Die Hauptinvestoren sollten aus Sicht der finanzierenden Banken mindestens über ein dem A-Rating einer renommierten Rating-Agentur vergleichbares Rating verfügen. Für die erste BtL-Großanlage kommen vor allem Unternehmen aus der Mineralölindustrie in Betracht, die sich gleichzeitig auch als Produktabnehmer anbieten; auch in das Projekt eingebundene renommierte Anlagenlieferanten, -betreiber und Biomasselieferanten kommen in Frage. Aus Bankensicht ist die termingerechte Fertigstellung und ordnungsgemäße Inbetriebnahme der BtL-Anlage bei Einhaltung des geplanten Investitionsbudgets essenziell, weil nur dann die zugrunde gelegten Cash-Flow-Ströme auch tatsächlich generiert werden können.

Das Generalunternehmer-Risiko ist bei einer ersten Anlage insgesamt so groß einzuschätzen, dass wohl kein Anlagebauer zur Übernahme dieses Risikos bereit sein und die schlüsselfertige Errichtung der ersten großindustriellen BtL-Anlage auf Festpreisbasis übernehmen würde. (Für weitere Anlagen und Folgeprojekte wird dies bereits anders aussehen.) Letztendlich müssen die Investoren bis zur endgültigen Abnahme der Anlage das Risiko der Rückzahlung aller Kreditforderungen im Rahmen einer Fertigstellungsgarantie übernehmen.

Im Zeitablauf muss eine ausreichende Biomassemenge zu wirtschaftlich akzeptablen Preisen sicher zur Verfügung stehen. Da mittelfristig mit steigenden Biomasse-Preisen zu rechnen ist, ist der Abschluss eines langfristigen Biomasseliefervertrages (mindestens für die Kreditlaufzeit) mit einem namhaften und bonitätsmäßig einwandfreien Unternehmen der Land- und Forstwirtschaft mit verbindlich definierten Mengen-, Preis- und Qualitätsvereinbarungen anzustreben. Sollten mehrere Unternehmen als Biomasselieferanten im Rahmen des Projektes fungieren, sollte eine gesamtschuldnerische Lieferverpflichtung vereinbart werden.

Im Rahmen von Projektfinanzierungen ist – insbesondere aus Bankensicht – das Marktrisiko durch langfristige Abnahmeverträge (mindestens Kreditlaufzeit) mit namhaften und bonitätsmäßig einwandfreien Abnehmern (idealerweise aus dem Investorenkreis) weitestgehend zu minimieren und somit die Bedienung des Kredits indirekt zu sichern.

<sup>10</sup> Studienteil 4, erstellt von Nord/LB Norddeutsche Landesbank Girozentrale

# Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der BtL-Realisierungsstudie zu Aspekten der Biomasseverfügbarkeit und -logistik, der Technologie, der Wirtschaftlichkeit und der Finanzierung zusammengefasst:

- Es könnte heute ausreichend Biomasse in Deutschland zur Verfügung gestellt werden, um bis zu gut 20 % des derzeitigen Kraftstoffbedarfs mit BtL zu decken. Bis 2030 dürfte nach heutigen Erkenntnissen je nach Biomasse-Szenario sogar eine Deckung von bis zu gut 35 % des prognostizierten Kraftstoffbedarfs mit BtL möglich sein, bezogen jeweils auf den Energiegehalt und unter Vorbehalt von Nutzungskonkurrenzen, insbesondere mit den Bereichen Strom, Wärme und Chemie.
- Während für eine erste Anlage zunächst vor allem Reststoffe als Biomasse in Frage kommen, wird mittelfristig Anbaubiomasse (Energiepflanzen) den Hauptbestandteil der Rohstoffbasis bilden.
- Die Erschließung dieser Biomassepotenziale erfordert einen entsprechenden Paradigmenwechsel in der Landwirtschaft, bietet dieser aber auch große Chancen durch eine höhere Wertschöpfung.
- Die heutigen Kosten der Biomassebereitstellung variieren stark je nach Biomasseart und bewegen sich zwischen 21 und 180 € pro t Trockensubstanz (1,2 bis 9,7 €/GJ bezogen auf den unteren Heizwert), wobei der Großteil allerdings unter 60 € pro t liegt.
- Auf die Wirtschaftlichkeit der BtL-Produktion haben die Biomassekosten erheblichen Einfluss.
- Alle fünf untersuchten Standorte sind hinsichtlich der Biomasseverfügbarkeit grundsätzlich geeignet.
- Die Biomasse-Logistik stellt an keinem der betrachteten Standorte eine größere Herausforderung dar.
- Unter technologischen Gesichtspunkten ist die Realisierbarkeit einer großtechnischen BtL-Produktion prinzipiell gegeben.
- Die betrachteten technischen Varianten erscheinen grundsätzlich alle sinnvoll, eindeutige Vorzugslösungen sind nicht erkennbar.
- Es handelt sich um eine sehr komplexe und anspruchsvolle Verfahrenskette, bei der durch weitere Forschung, Entwicklung und Demonstration verbleibende Scale-up-Risiken minimiert und Optimierungspotenziale realisiert werden können.
- Realistische Optimierungspotenziale der BtL-Technologie sind identifiziert.  
  
Die Integration der Anlage in einen bestehenden Raffinerie- oder Chemiestandort bietet große Synergieeffekte.
- Deutschland ist auf dem Gebiet der BtL-Technologie heute weltweit führend. Für die Wahrung und den Ausbau dieser Führungsrolle ist die Realisierung eines ersten Großprojekts in Deutschland von großer Bedeutung.
- Durch technologisches Lernen und die Ausschöpfung weiterer Optimierungspotenziale lassen sich die Produktionskosten weiter senken.
- Werden außerdem die Möglichkeiten einer Senkung der Biomassekosten durch entsprechende langfristige Lieferverträge ausgeschöpft, dann sinkt der BtL-Preis ab Raffinerie unter 0,80 €/l.
- Damit wird BtL konkurrenzfähig mit Biokraftstoffen der ersten Generation.
- Dabei ist das CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial von BtL gegenüber fossilem Diesel etwa doppelt so hoch wie das CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial von Biodiesel der ersten Generation.
- Als Finanzierungsinstrument ist am ehesten eine Projektfinanzierung geeignet.
- Voraussetzungen für die Finanzierbarkeit sind – insbesondere aus Bankensicht – langfristige Biomasse-Lieferverträge und langfristige Abnahmeverträge.
- Für die Bereitschaft der Banken die langfristige Fremdkapitalfinanzierung der ersten großtechnischen BtL-Anlage zu übernehmen sind klare und verlässliche politische Rahmenbedingungen entscheidend.

# Handlungsempfehlungen

Die Ergebnisse der Studie zeigen im Detail, welches Potenzial BtL bietet. Mit realisierbaren Technologien kann eine erhebliche Menge an Kraftstoff erzeugt werden, wodurch ein wichtiger Beitrag für die Versorgungssicherheit geleistet wird. Außerdem hat BtL ein hohes CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial. Um diese Möglichkeiten auszuschöpfen, bedarf es weiterer Schritte durch Industrie und Politik. Dabei obliegt den Unternehmen das betriebswirtschaftliche Risiko bei der Abwägung ihrer Entscheidungen über ihr Engagement in die Entwicklung und Produktion von BtL. Aus gegenwärtiger Sicht spielen dabei die gegenüber konventionellen Kraftstoffen höheren Herstellungskosten von BtL eine große Rolle. Um eine großtechnische BtL-Produktion in einen Bereich zu führen, in dem sie wirtschaftlich konkurrenzfähig mit Biokraftstoffen der ersten Generation ist, sind die identifizierten Optimierungspotenziale auszuschöpfen. Industrie und Investoren sind gefordert, notwendiges Eigenkapital einzusetzen; öffentliche Investitionszuschüsse und Bürgschaften sind für Erstanlagen ebenfalls erforderlich. Unerlässlich sind außerdem verlässliche Rahmenbedingungen. Zusammenarbeit und Vernetzung aller relevanten Akteure – Land- und Forstwirtschaft, Investoren, Betreiber, Mineralöl- und Automobilindustrie – sind sinnvoll und Ziel führend. Für die langfristige und kostengünstige Bereitstellung der benötigten Biomasse wird vor allem auf Marktmechanismen gesetzt. Den Erzeugern müssen entsprechende Perspektiven aufgezeigt und Anreize geboten werden, um mit geeigneten Pflanzenkulturen attraktive Erträge zu erreichen. Ziel sind langfristig kalkulierbare Lieferbedingungen für Biomasse seitens der Land- und Forstwirtschaft um zu einer zuverlässigen, nachhaltigen und konkurrenzfähigen Biomasseversorgung zu gelangen. Der Aufbau einer strukturierten Biomasseversorgungskette im Agrarsektor sowie der verstärkte Anbau von Energiepflanzen in Deutschland sind weitere sinnvolle Elemente.

Die in der Studie aufgezeigten Technologiepfade sowie der Standortvergleich geben den Unternehmen konkrete Anhaltspunkte, in welche Richtung sie ihre BtL-Strategie vorantreiben können. Die Entscheidung darüber liegt bei den Unternehmen selbst. Die Entwicklung einer solchen Strategie ist in jedem Fall empfehlenswert. Im Sinne einer auf Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und Versorgungssicherheit angelegten Entwicklung wäre dies aus politischer Sicht sogar notwendig. Es liegt daher im politischen Interesse, entsprechende Anreize zu schaffen, die aber nur Anschubcharakter für die Markteinführung haben sollten. BtL darf nicht zu Dauersubventionen führen. Mit entsprechenden Rahmenbedingungen wird es für Unternehmen besonders interessant, weiter in BtL zu investieren. Unter dieser Voraussetzung erwarten die an der Studie beteiligten Bundesministerien ein positives Engagement der Unternehmen.

Forschungs- und Entwicklungsförderung einerseits sowie verlässliche politische und fiskalische Rahmenbedingungen andererseits sind zwei empfehlenswerte Instrumente, um BtL im Sinne von Industrie und Politik voran zu treiben. Die bis zum Jahr 2015 festgelegte Steuerbegünstigung ist von zentraler Bedeutung für weitere Fortschritte, aus heutiger Sicht jedoch nicht ausreichend, um BtL nachhaltig zum Durchbruch zu verhelfen. Eine zeitlich befristete weitere Förderung über das Jahr 2015 hinaus ist geboten. Empfohlen wird in diesem Zusammenhang eine Differenzierung der Förderwürdigkeit von Biokraftstoffen auf der Grundlage von Nachhaltigkeitskriterien (beispielsweise des CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzials). Zudem sollten Unternehmen und Politik parallel daran arbeiten, BtL auch auf EU-Ebene zum Durchbruch zu verhelfen. Im Rahmen ihrer jeweiligen Verantwortungsbereiche sollten Industrie und Politik dafür sorgen, dass es für BtL vorteilhafte EU-Rahmenbedingungen und in den EU-Mitgliedstaaten vergleichbare Bedingungen gibt.

Als nächster konkreter Schritt gilt es den Machbarkeitsnachweis verschiedener Technologieoptionen zu erbringen, beispielsweise in geeigneten Demonstrationsprojekten. Parallel sind weitergehende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Erschließung weiterer Optimierungspotenziale sowohl der gesamten Prozesskette, als auch einzelner Komponenten wichtig. Auf Basis heute verfügbarer Technologien ist schnellstmöglich mindestens eine erste industrielle Referenzanlage in der hier untersuchten Größenordnung zu errichten, um den deutschen Technologievorsprung zu halten und auszubauen. Ziel ist die Errichtung einer Anlage zu kalkulierbaren Kosten, in einem kalkulierbaren Zeitrahmen und mit einem Höchstmaß an Engagement durch Unternehmen aus Technologie und Anlagenbau. Der Betrieb einer solchen Anlage ist durch einen adäquaten Betreiber sicher zu stellen, der Produktabsatz durch die Mineralölindustrie oder einen Direktvermarkter vor dem Hintergrund kalkulierbarer Rahmenbedingungen.

Es wird empfohlen, schon jetzt die Strukturen für die Investitionsphase vorzubereiten, insbesondere durch die Verfeinerung und Untersetzung des technischen Konzepts sowie die Präzisierung der Kostenschätzung. Dazu bedarf es entsprechender nennenswerter Investitionen der Unternehmen, die von der öffentlichen Hand unterstützt werden sollten. Im Kreis der an der Studie beteiligten Unternehmen werden entsprechende Vorarbeiten geleistet und weitere Partner gesucht. Es wird vorgeschlagen, dass die öffentliche Hand insbesondere die Möglichkeiten der Investitionsförderung und der Übernahme von Bürgschaften für ein Projekt in der hier diskutierten Größenordnung prüft.

Auf einer solchen Basis kann die Errichtung der ersten industriellen BtL-Anlage erfolgen. Die großtechnische Produktion von