

TEXTE

20/2016

Innovative Techniken: Beste verfügbare Techniken in ausgewählten Sektoren

Teilvorhaben 5: Ermittlung des Standes der Technik der
Herstellung von Biokraftstoffen unter Berücksichtigung
der verschiedenen Produktionstechniken und
Umweltauswirkungen

TEXTE 20/2016

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3712 43 314 5
UBA-FB 002158

Innovative Techniken: Beste verfügbare Techniken in ausgewählten Sektoren

Teilvorhaben 5: Ermittlung des Standes der Technik der Herstellung von Biokraftstoffen unter Berücksichtigung der verschiedenen Produktionstechniken und Umweltauswirkungen

von

Nicola Prinz
Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V., Berlin

Dr. Ingo Müller, Tobias Brandes
G&P Ingenieurgesellschaft, Merseburg

Dr. Jens Haupt
ChemCert Limited, Jena

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V.
Claire-Waldoff-Str. 7
10117 Berlin

Abschlussdatum:

März 2015

Redaktion:

Fachgebiet III 2.1 Übergreifende Angelegenheiten, Chemische Industrie,
Feuerungsanlagen
Ulrich Gromke, Christopher Proske

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/innovative-techniken-beste-verfuegbare-techniken-in>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Februar 2016

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3712 43 314 5 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Ziel des Projekts war die Bestandsaufnahme der in Deutschland angewendeten Produktionstechniken für Biokraftstoffe und Biokraftstoffkomponenten sowie die Erarbeitung von genehmigungsrelevanten Umweltschutzanforderungen auf der Basis der besten verfügbaren Technik. Die ermittelten Angaben sollen in die Erarbeitung neuer Merkblätter (BREF) im Zusammenhang mit der Umsetzung der IVU-Richtlinie (2008/1/EG) einfließen.

Im Rahmen des Vorhabens wurde die zur Verfügung stehende Literatur zu Biokraftstoffen im Sinne der Aufgabenstellung ausgewertet. Um begründete Aussagen zum Optimierungspotenzial im Hinblick auf die zukünftige Technologieentwicklung bei Biokraftstoffen ableiten zu können, erfolgte eine ergänzende Patentrecherche.

Diese Vorinformationen waren als Grundlage für die detaillierte Erfassung von Anlagenparametern bei ausgewählten deutschen Biodiesel- und Bioethanolanlagen vorgesehen. Trotz frühzeitiger Einbeziehung der relevanten Anlagenbetreiber hat die Bioethanolwirtschaft der Erfassung und Auswertung Anlagenbezogener Daten nicht zugestimmt, so dass die Ergebnisse der Untersuchung sich ausschließlich auf Biodieselanlagen beziehen.

Die Erhebung der Daten erfolgte in den Unternehmen durch Befragung der für die Technologie bzw. für die Einhaltung der Genehmigungsanforderungen zuständigen Mitarbeiter anhand eines erarbeiteten Fragebogens, teilweise ergänzt durch eine Anlagenbesichtigung.

Die Ergebnisse der Befragungen und deren Verifizierung durch ergänzende Berechnungen bescheinigen den Unternehmen der Biodieselwirtschaft in Deutschland ein hohes Niveau bei der emissionsarmen Betriebsweise der Anlagen einschließlich der nahezu vollständigen Verwertung der Nebenprodukte, wenngleich auch eine Differenzierung unter den Anlagen sichtbar wurde. Neben dem Betrieb in geschlossenen Systemen, dem Erreichen sehr guter Reaktionsumsätze und der Kreislaufführung von Reaktanden (hier: Methanol) oder Hilfsstoffen (z.B. Waschwasser) werden in allen größeren Anlagen spezifische Maßnahmen zur Emissionsminderung (z.B. Abluftwäscher) eingesetzt. Die positive Grundeinschätzung erstreckt sich auch auf den Energieeinsatz. An einigen Stellen bestehen durchaus noch Optimierungsmöglichkeiten durch anlagenspezifische Einzelmaßnahmen, wobei deren Wirtschaftlichkeit nur bedingt gegeben ist. Es wird eingeschätzt, dass solche Verbesserungen jedoch allenfalls die zusätzlichen Herausforderungen kompensieren werden, die sich durch die politisch gewollte verstärkte Nutzung von Abfall- und Reststoffen anstelle von beispielsweise originär mit dem Ziel der Kraftstoffherstellung gewonnenen Pflanzenölen ergeben.

Aus der Sicht der Bewertung der Untersuchungsergebnisse besteht in Deutschland keine Notwendigkeit, Biodieselanlagen über den bisherigen Stand der Technik hinaus auf regulatorischem Wege weitere Maßnahmen zur Emissionsminderung vorzuschreiben. Ebenso erscheint die Vorgabe von spezifischen Energieverbrauchs-kennwerten nicht Ziel führend. Stattdessen sollte das im Rahmen der Umsetzung der Energieeffizienzrichtlinie (2012/27/EU) ohnehin vorgesehene Instrument der Energieaudits verstärkt genutzt werden, um unternehmensspezifisch Reserven aufzudecken und entsprechende betriebliche Maßnahmen anzuregen.

Abstract

The aim of this project was the survey and compilation of all production techniques used in Germany for Biodiesel and Biodiesel components as well as the development of environmental protection requirements, essential for the official approval, on the basis of the best available techniques (BAT). The determined data shall be integrated into new Best Available Technique Reference Documents (BREF) accompanying the implementation of IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) Directive 2008/1/EC.

As part of this project all literature available on biofuels was evaluated in the sense of the overall task. In addition, patent research took place to be able to derive well-founded statements on the optimization potential with regard to the development of any future technology for biofuels.

This pre-information was intended as basis for the detailed collection of production plant parameters at selected German Biodiesel and Bioethanol production plants. Despite the early involvement of all relevant plant operators, the Bioethanol industry did not agree to the compilation and assessment of any plant relevant data which means that the results of this study exclusively refer to Biodiesel production plants.

The data collection was carried at the companies by interviewing the staff responsible for operating the technology and its compliance with all license requirements by means of a detailed questionnaire, sometimes also accompanied by a tour of the plant.

The results of the interviews and their verification by additional calculations show the high level of the companies of the German Biodiesel industry when it comes to the low-emission operation of their plants including the almost complete use of by-products; though differences between the production plants also became apparent. Beside the operation in closed systems, the achievement of very good reaction turnover/conversion, and the internal recycling of reactants (here: methanol) or adjuvants (e.g. washing water), specific measures to minimize emissions (e.g. exhaust air scrubber) are taken in all sizable production plants.

This positive basic assessment also comprises the energy input. Yet there is still some potential for optimization by plant specific individual measures, although they do not appear to be very economical. However, the assessment is that such improvements may at the most compensate the additional challenges which will result from the politically intended increased use of waste and residual materials instead of vegetable oils for example, the production of which was originally aimed at the production of fuel.

In view of the assessment of the results of this project, for Biodiesel production plants in Germany there is no need to stipulate any additional regulatory measures – exceeding those of the state of the art – to reduce emissions. Also, the stipulation of specific energy consumption indexes does not seem expedient. Instead during the implementation of Energy Efficiency Directive 2012/27/EU the planned measure ‘Energy Audit’ should be used increasingly in order to detect company specific potential and to initiate relevant in-house measures.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis	11
Zusammenfassung	13
Summary	26
1 Hintergrund und Aufgabenstellung	39
2 Lösungsvorschlag	41
3 Arbeitspaket 1: Literaturrecherche und Charakterisierung der Anlagen	42
3.1 Technologieübersicht	42
3.1.1 Vorbemerkung	42
3.1.2 Vereinfachte Technologiebeschreibung zur Herstellung von Fettsäuremethylestern aus triglyceridischen Rohstoffen	43
3.1.2.1 Öl- bzw. Fettgewinnung	43
3.1.2.2 Umwandlung von pflanzlichen bzw. Fettsäureestern zu Fettsäuremethylestern	45
3.1.3 Vereinfachte Technologiebeschreibung zur Herstellung von Ethanol aus Getreide und Zuckerrüben	48
3.1.3.1 Allgemeines	48
3.1.3.2 Rübenzuckerherstellung (Prozessschritte 1 und 2)	49
3.1.3.3 Bioethanolherstellung (Prozessschritte 3 bis 9)	50
3.1.3.4 Biogas-Anlagen/Gasreinigung (Prozessschritt 10)	52
3.2 Ermittlung relevanter Literatur und ergänzender Informationen	52
3.3 Auswertung von Studien und Reviews	52
3.3.1 Erfassungs- und Bewertungsumfang für Studien und vergleichbare Literatur	52
3.3.2 Auswertung von „Monitoring zur Wirkung nationaler und internationaler gesetzlicher Rahmenbedingungen auf die Marktentwicklung im Biokraftstoffsektor“ [1]	53
3.3.3 Auswertung von „Die Auswahl technisch-wirtschaftlicher Varianten für Biodieselvefahren“ [2]	55
3.3.4 Auswertung der Studie „Assessing grandfathering options under an EU ILUC policy“ Ecofys B.V. [3]	64
3.3.5 Dissertation „Bioenergy development pathways for Europe; Potentials, costs and environmental impacts“, De Witt [4]	65
3.3.6 Auswertung der Druckschrift „Biodiesel Produktion Technology“, Van Gerpen, Clements, Knothe et al. [5]	66

3.3.7	Auswertung der „Best Case Study Biodieselproduktion“, Berger [6]	68
3.3.8	Auswertung des Sammelbandes „The Biodiesel Handbook“, [7] und [8]	71
3.4	Patentrecherche: Mögliche zukünftige Technologien	73
3.5	Bestehende Anlagen in Deutschland und Zuordnung von Technologien	86
3.6	Andere Informationen zur Branche	92
3.7	Potentielle Emissionsquellen in Biokraftstoffproduktionsanlagen	92
3.8	Fazit zum Arbeitspakete 1	93
4	Arbeitspaket 2: Verfahrensbeschreibung und Bewertung	95
4.1	Auswahl der Anlagen	95
4.2	Erarbeitung der Fragebögen	96
4.3	Anlagensteckbriefe	97
4.4	Orientierende Beschreibung der in den Unternehmen genutzten Technologien	97
4.4.1	Verfahrensbeschreibung	97
4.4.2	Zum Einsatz von Katalysatoren	103
4.5	Ermittlung von spezifischen Kennwerten	104
4.5.1	Materialeinsatz im Hauptprozess (Umesterung und Produktreinigung FAME)	104
4.5.2	Energieeinsatz im Hauptprozess (Umesterung und Produkteingang FAME)	106
4.5.3	Einsatz von Wasser	107
4.5.4	Herstellung von Nebenprodukten	107
4.5.5	Emissionen	108
4.5.5.1	Anfall von prozessbedingten Abfällen	108
4.5.5.2	Luftemissionen	109
4.5.5.3	Abwasser	109
4.6	Potenziale und Maßnahmen zur Technologischen Verbesserung der Prozesse	110
4.6.1	Abschätzung des Energiebedarfs von Biodieselanlagen	110
4.6.2	Maßnahmen zur Energieeinsparung	111
4.6.3	Maßnahmen zur Minderung von Emissionen und zur Abfallvermeidung	111
4.7	Nutzung der Erkenntnisse und Schlussfolgerungen	112
4.7.1	Mitwirkung bei BREF-Dokumenten	112
4.7.2	Zusammenfassung	112
5	Arbeitspaket 3: Umweltrelevanz	114
5.1	Umweltwirkung	114

5.1.1	Energie	114
5.1.2	Wasser.....	114
5.1.3	Abwasser	114
5.1.4	Emissionen	114
5.1.5	Lärmemissionen.....	114
5.1.6	Sonstige Umweltwirkungen	114
5.1.7	Änderungen des Verkehrsaufkommens	115
5.1.8	Gefahrstoffe und Wassergefährdende Stoffe	115
5.2	Beschreibung der technisch möglichen Emissionswerte und Energieverbrauchswerte	116
5.2.1	Energieverbrauchswerte	116
5.2.2	Emissionswerte.....	117
5.3	Beschreibung der technisch möglichen Emissionswerte und Energieverbrauchswerte	117
5.4	Rechtliche Einordnung und Aufzeigen von möglichem Regelungsbedarf	120
5.5	Beschreibung der Wirtschaftlichkeit einer Optimierung.....	122
6	Quellenverzeichnis	125
7	Anlagen.....	126
7.1	Anlagensteckbriefe.....	126
7.2	Abschätzung Energiebedarf	126
7.3	Vorschlag zum BREF	126

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verfahrensprinzip einer Ölmühle mit Extraktion	44
Abbildung 2:	Prozessschema zur Herstellung von Biodiesel, Teil 1	45
Abbildung 3:	Prozessschema zur Herstellung von Biodiesel, Teil 2	46
Abbildung 4:	Typischer Prozessschritt zur Herstellung von Bioethanol, Teil 1	48
Abbildung 5:	Typischer Prozessschritt zur Herstellung von Bioethanol, Teil 2	49
Abbildung 6:	Prinzip zur Herstellung von Biodiesel nach dem Verfahren der Firma Cimbria-Heid (Anlage des Unternehmens A)	97
Abbildung 7:	Prinzip zur Herstellung von Biodiesel nach dem Connemann- Verfahren	100
Abbildung 8:	Prinzip zur Herstellung von Biodiesel nach dem Verfahren der Firma Lurgi AG	102
Abbildung 9:	Systemgrenzen der THG-Bilanzierung nach EU-Richtlinie 2009/28/EG	120
Abbildung 10:	Ausgewählte Default-Werte der EU-Richtlinie 2009/28/EG	121
Abbildung 11:	Vereinfachte Kostenstruktur einer fiktiven Biodieselanlage	123

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vergleichende Charakterisierung der Auswirkungen unterschiedlicher Rahmenbedingungen auf die Technologie	42
Tabelle 2:	Basistechnologie zur Gewinnung von Ölen und Fetten.....	43
Tabelle 3:	Aussagen zur Verwertungsfähigkeit der erzeugten Nebenprodukte hinsichtlich Technologie / Verfahrensgeber / Anwender nach [2].....	55
Tabelle 4:	Spezifischer Material- und Energieeinsatz nach [2].....	55
Tabelle 5:	Stoffbilanz und Energieeinsatz für 1.000 kg Fettsäuremethylester nach [2], Teil 1	57
Tabelle 6:	Stoffbilanz und Energieeinsatz für 1.000 kg Fettsäuremethylester nach [2], Teil 2	57
Tabelle 7:	Stoffbilanz und Energieeinsatz für 1.000 kg Fettsäuremethylester nach [2], Teil 3	58
Tabelle 8:	Patentierter Verfahren nach [2]	60
Tabelle 9:	Zulässige FFA-Gehalte in Rohstoffen für die Biodieselproduktion nach [5].....	67
Tabelle 10:	Übersicht über die in der Studie [6] untersuchten Anlagen zur Herstellung von Biodiesel	69
Tabelle 11:	Auswahl erfindungsgemäßer Lösungen aus der Patentrecherche [9]	74
Tabelle 12:	Übersicht über Biodieselanlagen in Deutschland, deren Kapazität und die angewandten Technologien nach [10]	87
Tabelle 13:	Daten zur durchschnittlichen Anlagenauslastung bei Biodieselherstellern nach [11].....	92
Tabelle 14:	Potentielle Emissionsquellen bei der Biodieselproduktion.....	92
Tabelle 15:	Katalysatoren und anwendbare Säuren zu deren Deaktivierung.....	103
Tabelle 16:	Spezifischer Materialeinsatz zur Herstellung von Biodiesel.....	104
Tabelle 17:	Spezifischer Energieeinsatz zur Herstellung von Biodiesel	106
Tabelle 18:	Spezifischer Wassereinsatz zur Herstellung von Biodiesel	107
Tabelle 19:	Erzeugung von Nebenprodukten	107
Tabelle 20:	Anfall von prozessbedingten Abfällen	108
Tabelle 21:	Spezifische Luftemissionen	109
Tabelle 22:	Auflistung von Gefahrstoffen in Biodieselanlagen mit Angabe der WGK und den H-Sätzen	115
Tabelle 23:	Auflistung der Kostenpositionen mit Preis, spezifischen Verbrauch und Kosten pro Tonnen Biodiesel.....	123

Abkürzungsverzeichnis

AGQM	Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V.
Al₂O₃	Aluminiumoxid
B7	Kurzbezeichnung für den nach DIN EN 590 zulässigen Blendkraftstoff mit einem Anteil von bis zu 7 % (V/V) Biodiesel
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BMU (heute: BMUB)	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BVT	Beste verfügbare Technik (auch „BAT“ im englischsprachigen Raum)
CBA	Cost-benefit analysis
CH₃OH	Methanol
CO₂	Kohlendioxid
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DBFZ	Deutsches BiomasseForschungsZentrum
DDGS	Dried Distillers Grains with Solubles
DIN	Deutsche Industrie Norm
EBB	European Biodiesel Board
EGS	Ecosystem Goods and Services
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
FAME	Fettsäuremethylester
Fe₂O₃	Eisen (III)-oxid
FFA	Free Fatty Acid – freie Fettsäuren
FKZ	Förderkennzeichen
GE/m³	Europäische Maßeinheit für die olfaktometrische Geruchsbestimmung von Emissionen. 1 GE/m ³ repräsentiert die Geruchsschwelle für den jeweiligen Stoff/Geruchstyp.
GHG	Greenhouse gas (Treibhausgas)
GMO	Gentechnisch veränderte Organismen
H₂O	Wasser
H₂SO₄	Schwefelsäure
H₃PO₄	Phosphorsäure
HCl	Salzsäure
HELCOM	Kommission zum Schutz der Meeresumwelt im Ostseeraum (Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area).

IED	EU-Richtlinie über Industrieemissionen (2010/75/EU)
ILUC	Indirekte Landnutzungsänderung
IVU	EU-Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (2008/1/EG)
KMU	Unternehmen, die die „Kriterien gemäß Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen“ (Empfehlung 2003/361/EG) erfüllen
KOCH₃	Kaliummetholat
KOH	Kaliumhydroxid
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LKW	Lastkraftwagen
Na₂CO₃	Natriumcarbonat
NaOCH₃	Natriummetholat
NaOH	Natriumhydroxid
PSM	Palmitinsäuremethylester
RED	Renewable Energy Directive (2009/28/EG)
RME	Rapsölmethylester
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt
UFOP	Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V.
P	Phosphor
PUFA	Polyunsaturated fatty acids, Sammelbegriff für Fettsäuren mit 4 und mehr Doppelbindungen in der Struktureinheit
VDB	Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V.
W	Wolfram
ZnO	Zinkoxid
Zr	Zirkonium

Zusammenfassung

Die Richtlinie 2008/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Januar 2008 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie) zielt auf ein hohes Schutzniveau der Umwelt für bestimmte industrielle Tätigkeiten. Die Vorgängerrichtlinie (96/61/EG) wurde bereits im Jahr 1996 verabschiedet und sah eine Umsetzung in allen in den Geltungsbereich fallenden technischen Anlagen bis zum 31. Oktober 2007 vor. Im Jahr 2010 wurde die IVU-Richtlinie mit wenigen, aber wesentlichen Änderungen in die Industrieemissionsrichtlinie (2010/75/EU) integriert.

Die IVU-Richtlinie (2008/1/EG) sieht Maßnahmen zunächst zur Vermeidung, dann zur Verminderung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden sowie auch von Abfall vor. Zu den von der Richtlinie betroffenen Wirtschaftszweigen gehören gemäß Anhang I die Energiewirtschaft, die Abfallbehandlung, die Metallindustrie, die mineralbearbeitende, die chemische und andere bestimmte Industriezweige.

Die IVU-Richtlinie bestimmt in 23 Artikeln allgemeine Prinzipien der Grundpflichten der Betreiber von Anlagen, deren Genehmigung, Genehmigungsaufgaben, Genehmigungsverfahren, Information sowie die Beteiligung der Öffentlichkeit.

Der in der Praxis wichtigste Teil der IVU-Richtlinie sind 33 ausführliche Referenz-Dokumente bzw. "Merkblätter zur besten verfügbaren Technik" (BVT). Für einzelne Anlagearten bzw. Industriebranchen sind die nach dem aktuellen Stand der Technik ökologisch und ökonomisch vorteilhaftesten Technologien und Verfahrensweisen beschrieben und bewertet. Die BVT-Merkblätter müssen von lokalen Genehmigungs- und Kontrollbehörden in allen EU-Ländern innerhalb von 4 Jahren umgesetzt werden.

Ziel des vom Umweltbundesamt vergebenen Projekts ist die Bestandsaufnahme der in Deutschland angewendeten Produktionstechniken für Biokraftstoffe und Biokraftstoffkomponenten auf Anlagenniveau sowie die Erarbeitung von genehmigungsrelevanten Umweltschutzanforderungen auf der Basis der besten verfügbaren Technik. Die ermittelten Angaben sollen in die Erarbeitung neuer Merkblätter einfließen.

Dazu werden aktuelle Informationen zu Produktionsanlagen und Techniken einschließlich angewandter Emissionsminderungsmaßnahmen erhoben. Diese bilden die Basis zur Schätzung der medienübergreifenden Umweltauswirkungen bei der Herstellungsphase von Biokraftstoffen.

Für eine nachhaltige Produktion von Biokraftstoffen im industriellen Maßstab ist es notwendig, rechtzeitig Umweltschutzmaßnahmen weiterzuentwickeln und zu erarbeiten, um das Gesamtziel an Treibhausgasemissionen zu erreichen und eine Verlagerung der Belastungen in andere Umweltmedien zu vermeiden. Hierzu soll das Vorhaben die Grundlagen liefern.

Der Schwerpunkt des ersten Projektabschnitts liegt auf der Beschreibung der Biokraftstofferzeugung, soweit sie „nahrungsmittelnah“ erfolgt (d. h. durch „ähnliche Prozesse“ wie in der Nahrungsmittelindustrie). Die Systemgrenze soll das Werktor sein. Der Anbau der Rohstoffe ist nicht Gegenstand der Studie.

Eine Literaturstudie auf Basis des Forschungsvorhabens „Monitoring zur Wirkung nationaler und internationaler gesetzlicher Rahmenbedingungen auf die Marktentwicklung im Biokraftstoffsektor“ des Projektträgers Jülich (PTJ) soll durchgeführt werden. Weitere relevante Studien sollen ausgewertet und übersichtlich dargestellt werden. Der Schwerpunkt sollte auf eingesetzten Techniken, Verfahren und verwendeten Emissionsminderungsmaßnahmen liegen, die zur Bearbeitung des Projekts relevant sind.

In einem zweiten Projektabschnitt werden die in Deutschland relevanten, derzeit und zukünftig eingesetzten Verfahren detailliert beschrieben. Für die einzelnen Verfahren werden Referenzanlagen benannt und näher beschrieben, welche geeignet sind, den hohen technischen Entwicklungsstand zu dokumentieren. Darüber hinaus sollen weitere Anlagen berücksichtigt werden. Die Datenaufnahme soll so weit wie möglich dem Leitfaden zur Datensammlung zur Erstellung von BVT-Merkblättern folgen.

Der dritte Projektabschnitt beschäftigt sich vertieft mit der Umweltrelevanz der einzelnen Techniken, zeigt technisches Optimierungspotenzial auf und soll gegebenenfalls Vorschläge für dem Stand der Technik entsprechende Umweltausforderungen unterbreiten.

Für die in den einzelnen Arbeitspaketen vorgesehenen detaillierten Datenerfassungen werden folgende Grundsätze herangezogen:

- Mengenbilanzen, Emissionen, Energieaufwände und andere Angaben sollen reale Werte darstellen, sich aber stets auf eine Auslastung von mindestens 75 % der installierten technologischen Kapazität beziehen. Zur Anonymisierung soll die Umrechnung auf einen virtuellen Output der Gesamtanlage von 100.000 t/a Biodiesel bzw. Bioethanol erfolgen.
- Soweit die Anlagenbetreiber aus Gründen des Datenschutzes nicht typische Werte mitteilen möchten, können die Angaben alternativ durch einen max. und einen min. Wert charakterisiert werden. Diese sollen jedoch eine vorgegebene Spreizung $[(\max - \min)/\max]$ nicht überschreiten.
- Es sollen nicht einzelne Reaktoren, Kolonnen oder Baugruppen untersucht werden sondern wesentliche und typische zusammenhängende Funktionseinheiten (z.B. Tankanlage, Pressung, Extraktion, Ölaufbereitung, Umesterung, Produktreinigung FAME, Glycerinaufbereitung).

Die Vorgehensweise soll einerseits eine qualifizierte und für die Entwicklung von BVT-Merkblättern ausreichende Datenqualität absichern, andererseits das Knowhow der Unternehmen bzw. spezifische Alleinstellungsmerkmale bestmöglich schützen.

Die Literaturrecherche bestätigt, dass die Biokraftstoffwirtschaft (Biodiesel und Bioethanol) zwar eine vergleichsweise junge Branche darstellt, dass die dort angewandten Verfahrensprinzipien jedoch nicht neu sind sondern bereits vor der großtonnagigen Produktion von Biokraftstoffen industriell angewendet wurden.

Die Oleochemie hat in Deutschland eine lange Tradition. Verschiedenste triglyceridische Rohstoffe wurden mit Methanol in Gegenwart von geeigneten Katalysatoren in die entsprechenden Methylester umgewandelt (Umesterung). Auch die Veresterung von freien Fettsäuren spielt in der klassischen Oleochemie eine große Rolle.

Im Unterschied zu einer energetischen Nutzung der Methylester wie im Falle des Biodiesels stehen bei dieser eher stofflich geprägten Herstellung vor allem individuelle chemisch-physikalische bzw. toxikologische/dermatologische Eigenschaften der gebildeten Ester im Vordergrund. In vielen Fällen werden die Methylester darüber hinaus anschließend zu Folgeprodukten – z.B. zu Tensiden, Schmierstoffen oder Farben und Lacken – umgesetzt.

Die produzierte Tonnage liegt dabei ein bis zwei Größenordnungen unter dem für Biokraftstoffe typischen Bereich. Insofern wurden dafür Technologien eingesetzt, die mit höheren Temperaturen und Drücken sowie teilweise mit vergleichsweise teuren Katalysatoren arbeiten. Im Gegensatz dazu ist bei der Verwendung von Fettsäuremethylester als Energieträger eher nur eine geringe Wertschöpfung zu erwarten. Auch der erforderliche hohe Reaktionsumsatz stellt sich in diesem Falle als wesentlich wichtiger dar als bei der klassischen Chemieproduktion von Estern.

Vor diesem Hintergrund haben sich für die Herstellung von Biodiesel besondere Verfahren herausgebildet, die auf Prozesse bei hohen Temperaturen bzw. hohen Drücken verzichten, mit preiswerten Katalysatoren auskommen und hohe Reaktionsumsätze erreichen. Aufgrund der hohen Anlagenkapazitäten waren abwassersparende und emissionsarme Prozesse von Anfang an erforderlich. Stand der Technik sind heute durchgängig kontinuierliche Prozesse. Lediglich kleinere oder ältere Anlagen nutzen noch diskontinuierliche bzw. halbkontinuierliche Verfahren.

Diese Aussagen gelten sinngemäß auch für die Herstellung von Ethanol durch Gärung aus Getreide und Zuckerrüben. Auch hierbei haben sich aus der klassischen Trinkalkoholgewinnung heraus Technologien entwickelt, mit denen die erforderlichen großen Tonnagen wirtschaftlich hergestellt werden können. Soweit möglich, sind die Prozesseinheiten kontinuierlich ausgeführt. Das betrifft insbesondere die Schritte zur physikalischen Trennung der durch die Gärung erzeugten Stoffe.

Ein besonderes Augenmerk in der Prozessausgestaltung liegt hierbei auf den Nebenprodukten, da die Wirtschaftlichkeit des Hauptproduktes eng mit der optimalen Verwertung der Nebenprodukte verbunden ist. Beispielsweise wird neben der Trocknung des Gärrückstandes als „Dried Distillers Grains with Solubles“ (DDGS) und dessen Anwendung als eiweißhaltige Futtermittelkomponente alternativ der Weg verfolgt, eine Vergärung zu Biogas durchzuführen, dieses auf Erdgasqualität zu reinigen und in das Erdgasnetz einzuspeisen. Alle derartigen Schritte tragen durch Abtrennung nutzbarer Substanzen zur Verminderung des Anfalls von Abfall, Abwasser sowie zur Emissionsminderung bei.

Die für die Herstellung von Biokraftstoffen eingesetzten Öle werden in industriellem Maße überwiegend aus ölhaltigen Samen bzw. ‚Fruit bunches‘ (bei Palmöl) gewonnen. Darüber hinaus spielt die Gewinnung von tierischen Fetten durch Ausschmelzen aus Tierkörpern eine wichtige Rolle.

Für die Herstellung von Fettsäuremethylestern werden überwiegend entschleimte und neutralisierte Öle eingesetzt. Hintergrund ist zum einen die Verminderung des Eintrags von Phospholipiden als Träger eines nach DIN EN 14214 streng limitierten Elementgehalts; zum anderen aber auch das Vermeiden von Stoffen, die den Trennvorgang zwischen Esterphase und Glycerin haltiger Schwerphase nach der Umesterung nachteilig beeinflussen können.

Nahrungsmittelöle werden darüber hinaus meist noch gebleicht. Bei Rohstoffen zur Biodieselherstellung wird häufig aus Kostengründen auf diesen Schritt verzichtet, da keine technisch nachteilige Wirkung angenommen wird. Andererseits resultiert insbesondere aus dem Beimischungsmarkt für Dieselmotorkraftstoffe ein erheblicher Druck, „helle“ Methylester zu produzieren, da sich die Farbe des Biodiesels merklich auch auf Blendkraftstoffe wie B7 auswirkt und eine geringere Akzeptanz dunklerer Kraftstoffe befürchtet wird. In neuerer Zeit wurde darüber hinaus festgestellt, dass bestimmte unerwünschte Nebenkomponenten von Pflanzenölen (z.B. Sterylglycoside) durch eine Bleichung weiter reduziert werden können.

Abhängig von der angewendeten Anlagentechnologie müssen bestimmte Mindestqualitätsanforderungen bei den einzusetzenden Ölen bzw. Fetten eingehalten werden. Um eine ausreichende Flexibilität am Markt zu erreichen, sind vielen Biodieselanlagen Aufbereitungsschritte vorgeschaltet, deren Funktion mit der Ölaufbereitung im Ölmühlenprozess vergleichbar ist.

Typische Prozessschritte in Biodieselanlagen sind:

- Entschleimung des Rohöls
- Entsäuerung des entschleimten Rohöls
- Umesterung mit Methanol in Gegenwart eines alkalischen Katalysators
- Sauerwäsche des Roh-Fettsäuremethylesters
- Neutralwäsche des Roh-Fettsäuremethylesters
- Entwässerung / Esterdestillation
- Additivierung des FAME mit Fließverbesserern und Oxidationsstabilisatoren sowie ggf. mit Bioziden
- Methanolrückgewinnung
- Veresterung freier Fettsäuren in Gegenwart saurer Katalysatoren
- Salzfällung aus der rohen Glycerinphase
- Glycerinentwässerung
- Glycerindestillation
- Glycerin-Bleichung
- Spaltung des parasitär anfallenden Soapstocks

Anders als bei der Herstellung von Biodiesel kommen als Ausgangsstoffe für die Ethanolproduktion alle Pflanzenteile in Frage, die einen ausreichend hohen Zucker- bzw. Stärkegehalt aufweisen. Stärke muss zunächst in Zucker umgewandelt werden, bevor die weitere Vergärung zu Ethanol erfolgen kann. Aus diesem Grunde unterscheiden sich die Technologien, die Zucker verarbeiten von denen, die mit Stärke arbeiten, zumindest in den Anfangsprozessenstufen, deutlich.

Bereits die Herstellung des für die Vergärung eingesetzten Zuckers unterliegt einer umfangreichen Technologiekette. Bei der Nutzung von Stärke muss eine Kochstufe vorgeschaltet werden, um die Stärke zum Aufquellen zu bringen und die Viskosität der Maische zu reduzieren.

Nach der Fermentation des zucker- bzw. stärkehaltigen Ansatzes fällt eine Ethanol haltige Mischung an, wobei der gebildete Alkohol destillativ abgetrennt und anschließend weiter bis zum azeotropen Punkt aufkonzentriert wird.

In einer weiteren Stufe (Absolutierung) wird dem Alkohol mittels Molekularsieben oder anderen Technologien das restliche Wasser entzogen, so dass die Alkoholkonzentration des Endproduktes mindestens 99,8 % beträgt.

Die aktuell angewandten Verfahren unterscheiden sich deutlich in der weiteren Verwertung der Schlempe durch (partielle) Trocknung oder durch Umwandlung in Biogas.

Im Rahmen der Literaturstudie wurde der historische Weg der Biodieseltechnologie anhand verschiedener Verfahrensmerkmale nachgezeichnet. Der Weg führt von der klassischen Oleochemie über vergleichsweise einfache Anlagentypen zu mittlerweile sehr großen und komplexen Anlagen, die den Stand der Technik bestimmen. Zugleich wird deutlich, dass mit der Etablierung der großen Anlagen die Einbindung in eine sachgerechte Infrastruktur (Bahnanschluss, Schiffsverladung, Nähe zu Raffinerie usw.) ein zwingendes Erfordernis wurde.

Meilensteine in der Entwicklung der Biodieseltechnologie waren unter anderem das Verfahren der Fa. Oelmühle Leer Connemann GmbH & Co. KG als Lösungsansatz für die wirtschaftliche Verarbeitung großer Mengen von Ölen mit kleinen FFA-Gehalten sowie der Fa. Vogel & Noot, Österreich (heute BDI - BioEnergy International AG, Österreich) für Rohstoffe mit erhöhten Anteilen an freien Fettsäuren. Insbesondere im Hinblick auf die Verwendung von gebrauchten Speiseölen als Alternative zu frischen Pflanzenölen haben zunehmend Verfahrensstufen zur destillativen Reinigung des Roh-FAME an Bedeutung gewonnen.

Üblicherweise werden die Hydroxide in einem Rührbehälter mit Methanol vorgemischt und als Lösung in Methanol der Reaktion beigegeben. Da das chemisch wirksame Agens das jeweilige temporär gebildete Methylat ist, kann alternativ auch ein extern bereitgestelltes Methylat (typischerweise als ca. 30%ige Lösung in Methanol) eingesetzt werden. Das hat den Vorteil, dass kein parasitärer Eintrag von Reaktionswasser aus der Methylatbildung in die Umesterung stattfindet, wodurch sich Gleichgewichtslage und Reaktionsgeschwindigkeit deutlich verbessern. Ebenso vermindert sich die unerwünschte Bildung von Seifen. Durch eine geeignete Prozessführung kann der Nachteil von Hydroxiden kompensiert werden. Andererseits sind die Kosten beim Einsatz von Methylaten deutlich höher als beim Einsatz von Hydroxiden, so dass bis heute beide Konzepte parallel verfolgt werden. Es gibt jedoch einen Trend zur stärkeren Verwendung von Methylaten. Insbesondere bei schwierigen Rohstoffen weisen Methylate Vorteile gegenüber Hydroxiden auf, da durch eine höhere Dosierung die Wirkung gesteigert werden kann, ohne dass zugleich große Mengen an Alkaliseifen gebildet werden. Außerdem kann die Raum-Zeit-Ausbeute bei bestehenden Apparatekonfigurationen verbessert werden.

Für die Umesterung wird überwiegend aus preislichen Gründen Schwefelsäure als Katalysator eingesetzt, obwohl dabei eine erhebliche Bildung von Nebenprodukten zu befürchten ist. Allerdings werden auch Alkyl-Aryl-Sulfonsäuren als Katalysatoren eingesetzt.

Die Sichtung der Patentliteratur zeigt, dass es vielfältige Anstrengungen gibt, den Prozess zu verbessern oder andere Rohstoffe einzusetzen. Im Bereich der Katalysatoren werden immer wieder Festkörperkatalysatoren in die Diskussion gebracht; auch leicht abtrennbare gasförmige Katalysatoren spielen in der Patentliteratur eine gewisse Rolle. Eine Vielzahl von Anmeldungen beschäftigt sich mit der Verbesserung der Raum-Zeit-Ausbeute bei der Umesterung oder Veresterung. Das kann z.B. durch Arbeiten unter überkritischen Bedingungen, durch Anwendung von Mikrowellen bzw. Ultraschall oder durch hochturbulente Systeme mit Kavitationseffekten erreicht werden. Auch Konzepte zur Verbesserung der Produktqualität spielen in der Patentliteratur eine große Rolle, darunter:

- Additive zur Verbesserung der Kälteeigenschaften
- Additive zur Verbesserung der Oxidationsstabilität
- Entfernung von Nebenbestandteilen wie z.B. Sterylglycosiden
- Alternative Reinigungsverfahren für den Roh-Fettsäure-Methylester

Bei der Herstellung von Biodiesel sind zwar weiterhin graduelle Verbesserungen der Prozesse zu erwarten. Grundlegende Verfahrensänderungen werden jedoch eher nicht eintreten. Der Einsatz von Mikrowellen, Ultraschall, Kavitation und anderen unkonventionellen Formen des Energieeintrages sowie die Anwendung von überkritischen Systemen (z.B. überkritisches CO_2) sind bisher auf den Laborbereich beschränkt. Eine wirtschaftliche Anwendbarkeit derartiger Ansätze ist derzeit nicht gegeben und in naher Zukunft auch nicht zu erwarten.

Es besteht dagegen in den Unternehmen ein erhebliches Interesse, beispielsweise eingesetzte Wärmeenergie auf mehreren Niveaus besser zu nutzen. Auch die Verminderung des Katalysatoreinsatzes durch wirksamere

Katalysatoren bzw. durch die Abkehr vom Prinzip des „Verlust“katalysators ist von großer Bedeutung, wobei sich Festkörperkatalysatoren in industriellen Prozessen bisher eher nicht bewährt haben. Im Fokus von Prozessoptimierungen steht ebenso die Verbesserung der Produktreinigung. Die überwiegend verwendete Wasserwäsche ist jedoch nur dann beispielsweise durch Adsorptionseinrichtungen ersetzbar, wenn eine reversible Betriebsweise durch Desorption der aufgenommenen Stoffe gegeben ist. Das erforderliche Desorptionsmittel (Eluent) muss preiswert und möglichst rückgewinnbar sein, um einen wirtschaftlichen und ökologisch vertretbaren Betrieb zu sichern.

Obwohl es ursprünglich vorgesehen war, in diesem Vorhaben sowohl Biodiesel- als auch Bioethanolanlagen näher zu untersuchen, musste aufgrund der grundsätzlich ablehnenden Haltung aller relevanten Bioethanol-Anlagenbetreiber in Deutschland die Datenerhebung für diesen Industriezweig aufgegeben werden. Das Projekt hat sich daher auf Daten aus Biodieselanlagen konzentriert.

Die näher zu untersuchenden Referenzanlagen für die Projektabschnitte 2a und 2b wurden so ausgewählt, dass möglichst unterschiedliche Anlagentypen und -größen berücksichtigt werden konnten. Kleinere Anlagen sind im Allgemeinen einfacher aufgebaut und werden meist in Batchfahrweise oder semikontinuierlich betrieben, wohingegen größere Anlagen komplexer aufgebaut sind und kontinuierlich betrieben werden. Allein aus der Fahrweise oder der Größe von Anlagen können jedoch keine Ableitungen hinsichtlich BVT vorgenommen werden. Hierfür müssen weitere detailliertere Kriterien herangezogen werden.

Die Auswahl der Anlagen für das Vorhaben soll anhand nachfolgender Kriterien näher beschrieben werden:

- ▶ **Anlagengröße**
 - Nennkapazität > 250.000 t/a („sehr groß“)
 - Nennkapazität 100.000 bis 200.000 t/a („groß“)
 - Nennkapazität 30.000 bis 100.000 t/a („mittelgroß“)
 - Nennkapazität < 30.000 t/a („klein“)
- ▶ **Ölmühle**
 - Werksintegrierte Press- und Extraktionsölmühle
 - Werksintegrierte Ölmühle, nur Pressung
- ▶ **Glycerinaufbereitung**
 - Ohne
 - Nur Entsalzung und Aufkonzentrieren bis ca. 80% Glyceringehalt
 - Herstellung von Pharmaglycerin
- ▶ **Prozessfahrweise (Umesterung)**
 - Diskontinuierlich
 - Semikontinuierlich
 - Kontinuierlich
- ▶ **Besondere Rohstoffe**
 - Verarbeitung tierischer Rohstoffe
 - Verarbeitung von Rohstoffen mit erhöhten Anteilen an freien Fettsäuren
- ▶ **Verfahrensgeber**
 - Agrartechnik GmbH & Co. KG (Schlaitdorf) und abgeleitete Lösungen
 - Biodiesel International (BDI, Österreich)
 - Connemann-Verfahren (heute ADM Hamburg AG)
 - Lurgi AG
 - VERBIO AG
 - PPM Technologie GmbH

- Andere

Die zu besichtigenden bzw. zu erfassenden Anlagen sollten daher so ausgewählt werden, dass verschiedene Kriterien und deren Auswirkungen berücksichtigt werden können.

Die Betreiber der Anlagen bzw. mit der Errichtung bzw. Genehmigungsplanung von Anlagen betrauten Ingenieurbüros/Anlagenbauer wurden mit Bitte um Mitwirkung angefragt. In fast allen Fällen wurden Bedenken hinsichtlich der Datenverwendung bzw. der Preisgabe von Betriebsgeheimnissen geäußert. In den Fällen, in denen die Unternehmen nur der Besichtigung bzw. Befragung durch explizit akzeptierte Personen aus dem Kreis der Auftragnehmer zugestimmt haben, wurde diese Forderung umgesetzt.

Um die Ergebnisse der Befragung/Besichtigung der einzelnen Unternehmen vergleichbar zu machen, wurden auf die zu erwarteten Technologien bzw. Prozessschritte angepasste Fragebögen erarbeitet.

Grundlage für die Fragebögen zur Ermittlung der besten verfügbaren Technik waren die „Leitlinien für die Erhebung von Daten sowie für die Ausarbeitung der BVT-Merkblätter und die entsprechenden Qualitätssicherungsmaßnahmen“ gemäß der Richtlinie 2010/75/EU aus dem Durchführungsbeschluss 2012/119/EU der Kommission vom 10. Februar 2012 sowie die Erfahrungen mit Biodiesel- und Bioethanolanlagen aus der ingenieurtechnischen Praxis.

Die Leitlinien und die Erfahrungen gewährleisteten eine vergleichbare und umfassende Aufnahme aller für die BVT-Merkblätter relevanten Anlageninformationen. Zentrales Element der Fragebögen sind die Masse bezogene Zuordnung der In- und Outputs, die Aufstellung des spezifischen Energieeinsatzes nach verwendeten Energieträgern sowie die Abgabe von nutzbarer Sekundärenergie bzw. Angaben zur Mehrfachnutzung.

Die erarbeiteten Fragebögen wurden dem Umweltbundesamt zur Prüfung vorgelegt. Danach erfolgte ein Testlauf mit dem Ziel der Prüfung auf Durchführbarkeit und Vollständigkeit. Es ergaben sich kleinere Änderungen, die vor der Befragung der übrigen Unternehmen eingearbeitet wurden. Für die Erarbeitung dieser Studie wurden sieben Unternehmen ausgewählt und befragt.

Auf der Basis der Angaben der Betreiber bzw. ausführender Ingenieurunternehmen wurden Kennwerte des spezifischen Materialeinsatzes im Hauptprozess ermittelt. Die erhobenen Angaben beziehen sich sowohl auf die notwendige spezifische Menge an (triglyceridischem) Rohstoff als auch auf den Methanol- und Katalysatoreinsatz pro t erzeugtem Biodiesel.

Die Abweichungen beim Öleinsatz sind vergleichsweise gering. Das gilt mit Ausnahme einer sehr kleinen Anlage auch für den Bedarf an Methanol. Allerdings ist die Abweichung Technologie bedingt erklärbar, da in diesem Falle keine Methanol-Rückgewinnung vorhanden ist und das überschüssige Methanol sich in der rohen Glycerinphase befindet, die extern aufgearbeitet wird.

Deutlich größer ist – selbst unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Aktivität der einzelnen Hydroxide bzw. Methylate – der Bedarf an Katalysator. Das kann einerseits mit der jeweils typischen Rohstoffqualität zusammenhängen, andererseits auch ein Zeichen dafür sein, dass die Rezepturen in einigen Anlagen genauer dem Bedarf nachgefahren werden und auf diese Weise zu Einsparungseffekten führen.

Weitere Schwerpunkte der Auswertung waren dem Energiebedarf, dem Einsatz von Wasser und der Erzeugung der Nebenprodukte Glycerin und Salze gewidmet. Ebenso wurden Art und Menge der anfallenden Abfälle erfasst.

Ebenso wurden der Abwasseranfall und (soweit bekannt) dessen Belastung mit organischen und anderen Stoffen abgefragt.

Die Luftemissionen wurden nach den Grenzwerten der BImSchG Genehmigungsunterlagen erfasst, da in keinem Falle betriebsmäßige Messungen vorlagen bzw. solche durch den Genehmigungsbescheid gefordert wurden.

Die in der Praxis vorgefundenen bzw. von den Anlagenbetreibern genannten Werte für den Energiebedarf (sowohl thermisch als auch elektrisch) weichen stark voneinander ab. Die Ursachen konnten selbst durch spezifische Rückfragen nicht im Detail ermittelt werden. Auch die Berücksichtigung von bekannten – aus

energetischer Sicht entweder eher ungünstig oder besonders effizient erscheinenden – Konzepten konnte keine befriedigende Klärung herbeigeführt werden.

Aus diesem Grunde wurde mit einem vereinfachten Ansatz der Energiebedarf typischer Biodiesel-Technologien in mittelgroßen und großen Anlagen abgeschätzt.

Für die Ermittlung wurden im Einzelnen folgende Annahmen getroffen bzw. Prozessschritte berücksichtigt:

- ▶ Es wird ausschließlich das Prinzip „Umesterung von Triglyceriden mit alkalischen Verlustkatalysatoren“ als chemischer Kernprozess der Biodieselherstellung berücksichtigt (keine Veresterung).
- ▶ Die chemische Reaktion (Umesterung) wird als thermoneutral angesehen.
- ▶ Die Wärmekapazität aller organischen Stoffe wurde mit 2 J/g/K angenommen.
- ▶ Typische Mengen an Waschwasser aufgrund von Betriebsbesichtigungen (als Durchschnittswert).
- ▶ Für den Aufwand an thermischer Energie wurden folgende wesentlichen Schritte identifiziert:
 1. Aufheizung des Produktstroms
 2. Lagerung der Endprodukte (Wärmeverlust gegenüber der Umgebung)
 3. Rückgewinnung des Methanols aus dem Waschwasser durch destillative Trennung in einer Kolonne
 4. (Fallfilm)verdampfer zur Wasserentfernung aus dem FAME nach Durchlaufen des Waschprozesses
 5. Destillative Entfernung von Wasser und Methanol aus dem Rohglycerin
 6. Destillative Reinigung des Glycerins
 7. Vakuumerzeugung für die Glycerindestillation mittels Dampfinjektionspumpe
- ▶ Zur Abschätzung des Aufwandes an elektrischer Energie wurden die aus den Anlagenbesichtigungen ermittelten typische Anzahlen von Pumpen, Rührwerken etc. angesetzt, wobei für den Leistungsbedarf nicht der Anschlusswert sondern jeweils das Produkt aus Anschlusswert und Einschaltdauer angesetzt wurde. Alternativ zu betreibende Einrichtungen wurden nur einmal berücksichtigt.
- ▶ Energierückgewinnung wurde an den Prozessschritten berücksichtigt, bei denen diese nach Stand der Technik immer erfolgt (z.B. Aufheizen des Rohstoffs gegen Kühlung des Endprodukts, Nutzung der Kondensationswärme von Destillaten und Rückkühlung des Sumpfprodukts gegen die Aufheizung des Einsatzstoffs). Nicht herangezogen wurden dagegen proprietäre Konzepte, die offenbar nur in einzelnen Anlagen umgesetzt sind.
- ▶ Parasitärer Wärmeaustritt aus Rohrleitungen und Apparaten wurde nicht berücksichtigt.

Mit Ausnahme der Methanol-Rückgewinnung wurden die zu erwartenden Energieverluste der einzelnen Schritte nach Stand der Technik pauschal berücksichtigt. Die Baugruppe „Methanol Rückgewinnung“ wurde mittels ChemCAD simuliert und hieraus der thermodynamisch unvermeidliche Energieverlust berechnet.

Da die Sättigungskonzentration von Wasser in FAME auch unter ungünstigen Bedingungen 1200 mg/kg nicht überschreitet, wurde der Energiebedarf für die Verdampfung des Wassers bei der Trocknung des FAME vernachlässigt.

Die vorgenommene Abschätzung stützt die ursprünglich gesetzte Annahme, dass der Anlagenteil, der direkt der Herstellung von FAME zuzuordnen ist, ca. 60 % des gesamten Bedarfs an thermischer Energie aufnimmt, während auf die Glycerinherstellung etwa 40 % entfallen.

In allen Anlagen werden (in unterschiedlichem Umfang) Maßnahmen zur besseren Nutzung der Prozesswärme durch Rekuperation oder Folgenutzung der Abwärme von auf höherem Wärmeniveau liegenden Prozessschritten eingesetzt. Die Anlage des Unternehmens D zeichnet sich durch einen vergleichsweise effizienten Einsatz von Elektroenergie und Wärme aus. Das ist durch konzeptionelle Maßnahmen bereits bei der Errichtung der Anlage bewirkt worden und wurde späterhin mit einer konsequenten Optimierungsstrategie fortgeführt. Es ist allerdings eher nicht zu erwarten, dass andere (bestehende) Anlagen auf dem Weg der Nachrüstung ein solches Niveau erreichen können. Grundsätzlich kann jedoch davon ausgegangen werden, dass noch Potenzial zur Energieeinsparung besteht. Möglicherweise sind investive Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz jedoch nicht in jedem Falle wirtschaftlich.

Einige Anlagen setzen zur Bereitstellung der Prozessenergie (thermisch und elektrisch) Blockheizkraftwerke ein. Damit soll zum einen die Versorgungssicherheit der Anlagen verbessert werden. Außerdem können von den Betreibern Vergünstigungen nach dem KWK-Gesetz für eingespeisten Überschussstrom in Anspruch genommen werden.

Mit Ausnahme einer Kleinanlage wurden in allen anderen Anlagen umfangreiche Maßnahmen zur Emissionsminderung umgesetzt. Hierzu gehören u.a. interne Gaspendelleitungen und Abluftwäscher. In allen Fällen wurde der Grundsatz der Zusammenfassung von Emissionspunkten umgesetzt. Die Biodieselanlagen selbst sind trotz des Einsatzes von Methanol emissionsseitig eher unauffällig. Die zulässigen Emissionswerte gemäß BImSchG-Genehmigungen sind äußerst unterschiedlich, und auch durch unterschiedliche Parameter limitiert. Dabei wurden durch die zuständigen Behörden Fracht- oder Konzentrationsgrenzwerte in einem sehr weiten Bereich festgelegt, ohne dass eine Korrelation zur Anlagentechnik oder zur Sensibilität eines Standortes erkennbar ist.

Im Gegensatz dazu sind Ölmühlen aus der Sicht der Geruchsemission kritisch, wie die hier aufgeführten Beispiele, aber auch aktuell vorgenommene Nachrüstungen an anderen Ölmühlen zeigen: Die Nachrüstung der vorgeschalteten Anlage eines Unternehmens bezog sich im Kern auf die Verminderung der Geruchsemission der Ölmühle. Trotz einer nachgewiesenen erheblichen Emissionsminderung durch ein im Jahre 2012 in der vorgelagerten Ölmühle eines anderen Unternehmens eingebautes Biofilter fühlen sich Anwohner im Umfeld des Chemieparks weiterhin Geruchsbelästigungen ausgesetzt.

Die Herstellung von Biodiesel ist eine abfallarme Technologie, da praktisch alle Produkte und Nebenprodukte wertstofflich genutzt werden können. Das schließt grundsätzlich auch die bei der Katalysatordeaktivierung gebildeten Salze ein, wenngleich die Anwendungsbreite für anfallendes Natriumchlorid gering ist und daher in diesem Falle die Einstufung als Abfall eine wichtige Alternative zur Verwendung darstellt. Kaliumhaltige Salze werden vorteilhafterweise als Düngemittel bzw. Düngemittelkomponente eingesetzt.

Kleinere Biodieselanlagen besitzen häufig weder eine Methanolrückgewinnung noch Prozessstufen zur Aufarbeitung der rohen Glycerinphase. Rohe Glycerinphase ist eine am Markt handelbare Substanz. Sie wird von spezialisierten Unternehmen aufgenommen, die den Stoff bis zur Pharmaqualität aufarbeiten und zugleich das Methanol rückgewinnen. Die Verarbeitung von roher Glycerinphase wird teilweise auch von Biodieselanlagen übernommen, deren Glycerinlinie aus eigenem Aufkommen nicht ausgelastet ist.

Die ermittelten Daten bescheinigen den untersuchten Anlagen einen guten Stand hinsichtlich des Rohstoff- und Energieeinsatzes sowie der Emissionsminderung. Allerdings gibt es zwischen den Anlagen eine deutliche Abstufung. Das von einem Unternehmen verwirklichte Effizienzkonzept ist jedoch nicht allgemein zugänglich und muss daher als deutlich über dem Stand der Technik liegend eingestuft werden. Es kann daher nicht als BVT eingeordnet werden.

Auffallend ist der hohe spezifische Wasserverbrauch der Anlage eines Unternehmens, der früheren Angaben zur Lurgi-Technologie entspricht. Später installierte Anlagen nach der Lurgi-Technologie wurden mit einem spezifischen Wassereinsatz von 0,2 t/t Biodiesel angeboten. Allerdings ist auch dieser Wert inzwischen nicht mehr Stand der Technik und kann durch Anlagenanpassungen merklich vermindert werden. Experten schätzen ein, dass durch Optimierung bestehender Anlagen ein spezifischer Wasserverbrauch von 0,1 t/t Biodiesel erreichbar ist.

Erwartungsgemäß sind Effizienzkennzahlen kleiner Biodieselanlagen im Vergleich zu größeren tendenziell eher ungünstig, wenngleich bei Einzelparametern durchaus gute Werte erreicht werden können. Die Schwierigkeit, bei kleinen Anlagen durchgängig eine gute Effizienz zu erreichen, lässt sich vermutlich auch durch Einsatz von besserer Technik nicht wesentlich ändern. Insofern muss daher auch die Technik kleiner Anlagen als faktisch BVT-konform angesehen werden, selbst wenn in diesem Falle die Effizienz größerer Anlagen nicht erreicht wird.

Unter dem Gesichtspunkt der Sicherung niedriger Emissionen bzw. Verminderung des spezifischen Energiebedarfs ist der Verzicht auf Weiterverarbeitungsstufen (beispielsweise Abgabe von roher Glycerinphase oder von Glycerin als 60 %iges Rohglycerin, Weiterverarbeitung organisch belasteter Wässer in Biogasanlagen) ein geeigneter Ansatz, um kleine Anlagen im Einklang mit den Forderungen der Industrieemissionsrichtlinie zu betreiben. Bei größeren Anlagen ist dagegen z.B. durch Wärmerückgewinnung und Wärmemehrfachnut-

zung, Kreislauffahrweise und effizientere Aggregate ein deutlich größeres Potenzial vorhanden, das bereits heute zum Teil erschlossen ist.

Zur Beschreibung der Umweltwirkungen von Anlagen wurde zunächst der Begriff Umweltwirkung in Anlehnung an das Prüfschema für Einzelfalluntersuchung nach § 3 c UVPG festgelegt. Kriterien die bei der Bewertung der Gesamtumweltwirkung der Anlagen berücksichtigt werden, sind:

- ▶ Verbrauch an Energie,
- ▶ Wasserbedarf und Quelle (Oberflächen-, Grundwasser),
- ▶ Abwasser und Entsorgung,
- ▶ Emissionen (Luftschadstoffe, Gerüche),
- ▶ Lärmemissionen,
- ▶ sonstige Umweltwirkung (Licht, Wärme, Erschütterung, Strahlung),
- ▶ Änderung des Verkehrsaufkommens,
- ▶ Gefahrstoffe (Einsatz, Synthese),
- ▶ wassergefährdende Stoffe (Einsatz, Synthese).

Grundsätzlich gilt für Biodieselanlagen, deren Standort sich in einem größeren Industriegebiet befindet, dass die Umweltauswirkungen beinahe vollständig vernachlässigbar sind, da sie die Umwelt des Standortes kaum beeinflussen. In weniger stark industriell geprägten Gebieten sind die Umweltauswirkungen von Biodieselanlagen größer.

Die in Biodiesel-Anlagen gehandhabten Stoffe sind hauptsächlich schwach wassergefährdend und in einigen Fällen ätzend. Das unter Umständen eingesetzte Biozid ist gesundheitsschädlich. Das zur Umesterung verwendete Methanol ist giftig.

Mittlere und große Biodieselanlagen sind nahezu voll automatisierte Anlagen, welche mindestens technisch dicht ausgeführt sind und regelmäßig gewartet werden. Die Stoffe werden in den Anlagen sicher eingeschlossen, so dass ein großvolumiger Austritt von gefährlichen Stoffen nicht zu besorgen ist.

Die Gesamtumweltwirkung von Biodieselanlagen ist durch die modernen Anlagen, regelmäßige Wartung und unauffälliges Emissionsverhalten gering.

Die Befragung der Anlagenbetreiber, die ergänzend über die Anlagen übermittelten Informationen zu den eingesetzten Technologien sowie die Daten zu technischen Produktionskapazitäten und Stoffströmen zeigen klare Zusammenhänge zwischen Technologie und Betriebsweise auf der einen und der Anlagengröße auf der anderen Seite auf.

Biodieselanlagen bis zu einer Kapazität von etwa 30.000 t/a werden überwiegend diskontinuierlich betrieben. Dabei werden insbesondere für die Reaktion und die Phasentrennung die gleichen Apparate benutzt, und der Prozess wird zur Erzielung eines hohen Reaktionsumsatzes bzw. einer guten Produktqualität mehrfach nacheinander in diesen ausgeführt. Anlagen dieser Baugröße konzentrieren sich auf das Hauptprodukt Biodiesel wohingegen die abgetrennte Glycerinphase nicht weiter aufgearbeitet wird sondern an spezialisierte Unternehmen zur Gewinnung von Glycerin sowie Rückgewinnung des enthaltenen Methanols gegeben wird. Für diese sog. Glycerinphase existiert inzwischen ein funktionierender europaweiter Markt.

Diese Vorgehensweise erscheint sowohl unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit als auch der Emissionsvermeidung als sachgerecht für kleinere Anlagen. Diese Anlagen sind typischerweise ausschließlich auf Umesterung eingestellt, d.h. es können nur Öle und Fette mit geringem Anteil an freien Fettsäuren verarbeitet werden. Der Anteil an freien Fettsäuren ist als Alkaliseife in der Glycerinphase enthalten und wird bei der externen Aufarbeitung der Glycerinphase durch Seifenspaltung als freie Fettsäure zurückgewonnen.

Biodieselanlagen im Tonnagebereich zwischen etwa 30.000 t/a und 100.000 t/a werden häufig halbkontinuierlich gefahren: Die Umesterung (teilweise auch Veresterung) wird diskontinuierlich durchgeführt wohingegen die weitere Aufarbeitung des Rohe-FAME bzw. der Glycerinphase kontinuierlich erfolgt. Der besondere Vorteil dieser Verfahrensweise besteht darin, dass die Rezeptur individuell auf die zu verarbeitende Rohstoffcharge angepasst werden kann. Auf diese Weise wird z.B. sowohl eine Unterdosierung des Katalysators mit der Folge unzureichender Reaktionsumsätze als auch eine Überdosierung mit der Folge schlechte-

rer Phasentrennung vermieden. Auch der Methanolüberschuss kann optimal eingestellt werden. Ebenso wie diskontinuierliche Anlagen kommen halbkontinuierliche Technologien mit einer zweistufigen Reaktion aus, wobei die größeren Anlagen für jede Reaktionsstufe einen eigenen Apparatesatz benutzen.

Anlagen in diesem Tonnagebereich arbeiten die Glycerinphase zumindest bis zu einem Glycerin-Wasser-Gemisch (mind. 60 % Glyceringehalt, häufig auch bis zu 80% Glyceringehalt) auf. Das in der Glycerinphase enthaltene Methanol wird intern in den Prozess zurückgeführt, die Reste des Katalysators bzw. die Alkaliseifen in anorganische Salze (abhängig vom Katalysator NaCl oder K₂SO₄, in selteneren Fällen auch Kaliumphosphat) überführt und die Fettsäure zurückgewonnen. Eine weitergehende Aufarbeitung zu technischem oder Pharmaglycerin findet in diesen Anlagen überwiegend nicht statt.

Große Anlagen mit Kapazitäten ab 100.000 t/a werden ausschließlich vollkontinuierlich betrieben. Sie enthalten Teilanlagen zur vollständigen Rückgewinnung des Methanols (sowohl aus dem Roh-FAME als auch aus der Glycerinphase) und mit wenigen Ausnahmen auch Teilanlagen zur Aufarbeitung des Glycerins zu einer Reinheit entsprechend Pharmaqualität. Diese Anlagen enthalten teilweise kleiner dimensionierte Nebenanlagen, um anfallende oder angekaufte Fettsäuren zu verestern.

Bei den in Deutschland betriebenen Biodieselanlagen handelt es sich um weitestgehend geschlossene Systeme mit einer geringen Emission gasförmiger Stoffe. Diese Aussage gilt prinzipiell für Anlagen aller genannten Größenklassen, wenngleich die erforderlichen Maßnahmen für größere Anlagen anspruchsvoller sind.

Da mit der Entwicklung des Marktes für Biokraftstoffe zunehmend größere Anlagen errichtet wurden, hat sich in den letzten 10 Jahren eine Lernkurve ergeben, die sehr wirksam aus den Betriebserfahrungen der jeweils kleineren Vorgängeranlagen gespeist wurde. Inzwischen hat sich ein faktischer Stand der Technik ergeben, der wie folgt gekennzeichnet ist:

- ▶ Keine Errichtung von Anlagen mit Kapazitäten unter 200.000 t/a; bei der grundhaften Ertüchtigung kleinerer Altanlagen werden Zielkapazitäten zwischen 50.000 t/a und 100.000 t/a angestrebt.
- ▶ Einsatz von KOH, NaOH, KOCH₃ und NaOCH₃ in methanolischer Lösung als „Verlust“katalysator
- ▶ Ausfällung des Katalysators mit starken Mineralsäuren als Salz aus der Glycerinphase
- ▶ Reinigung des Roh-FAME durch Wasser-Wäsche
- ▶ Rückgewinnung des überschüssigen Methanols durch Rektifikation des Waschwassers bzw. der Brüden aus der ersten Stufe der Glycerinreinigung
- ▶ Trocknung des FAME im Fallfilmverdampfer

Daraus ergeben sich einige theoretische Ansätze für Optimierungsmöglichkeiten:

1. Vermeidung des Anfalls von Salzen durch die Anwendung von Festkörperkatalysatoren
2. Durchführung der Umesterung in homogener Phase mit Hilfe von überkritischen Medien
3. Ersatz von Waschprozessen bzw. Entfernung des Restwassers durch Ionenaustauscher bzw. reversible Adsorption

Die genannten Ansätze nehmen in der Patentliteratur einen breiten Raum ein. Dennoch konnten sich diese Technologiemodifizierungen bisher weder in Deutschland noch in international durchsetzen.

Allen bisher getesteten heterogenen Katalysatoren ist gemeinsam, dass sie zwar teilweise eine hohe Anfangsaktivität aufweisen aber relativ schnell degradieren bis hin zur völligen Unwirksamkeit. Dadurch relativiert sich der Vorteil gegenüber den Verlustkatalysatoren – sowohl wirtschaftlich als auch umweltpolitisch – bzw. kehrt sich sogar um: Solange eine sachgerechte Verwendung für die Salze abgesichert ist, ergibt sich kein Umweltvorteil für heterogene Katalysatoren.

Die Reaktionsgeschwindigkeit der Umesterung wird durch den Stofftransport zwischen hydrophiler und hydrophober Phase begrenzt. Insofern erscheint die Reaktionsführung in homogener Phase als ein Ausweg um zu höheren Raum-Zeit-Ausbeuten zu kommen bzw. den Energieaufwand für die permanente Durchwirbelung der zur Reaktion zu bringenden nichtmischbaren Phasen zu vermeiden. Die Realisierung durch Umesterung unter überkritischen Bedingungen ändert jedoch die Rahmenbedingungen für die Anlage grundlegend: Die nach Stand der Technik drucklos betriebenen Biodieselanlagen müssten dann als Druckanlagen ausgelegt werden. Neben einem erhöhten investiven Anlagenaufwand steigen auch die Energiekosten durch

die dauerhafte Aufrechterhaltung des hohen Druckniveaus. Auch die Nebenanlagen müssten entsprechend angepasst werden.

Ionenaustauscher werden in einigen kleinen bis mittelgroßen Anlagen zur Reinigung des Roh-FAME eingesetzt. Ziel ist hierbei vor allem die Entfernung von Katalysatorresten. Diese Technologie gestattet eine wasserarme Reinigung. Die Abtrennung von Methanol muss dennoch auf destillativem Wege erfolgen. Die Standzeit der Ionenaustauscher ist begrenzt. Demgegenüber kann der Nachteil einer Wasserwäsche durch Kreislaufführung des Waschwassers deutlich vermindert werden.

Ebenso wird der Einsatz von Molekularsieben und anderen Adsorbentien zur Entfernung von Wasser und Methanol vorgeschlagen. Um eine kontinuierliche Betriebsweise aufrecht zu erhalten, müssen ebenso wie bei den Ionenaustauschern mindestens zwei Einheiten vorhanden sein, die sich jeweils wechselseitig in der Betriebsphase bzw. der Regenerierphase befinden. Der realisierbare Raum-Zeit-Durchsatz gestattet keine sinnvolle Maßstabsübertragung auf große Anlagen.

Ergänzend hierzu steht die anlagentechnische Umsetzung basierend auf einem fortschrittlichen Stand der Ingenieurwissenschaften. Hierzu gehören vor allem

- ▶ die Kaskadennutzung der Wärmeenergie,
- ▶ die Kreislaufführung von Medien,
- ▶ die durchsatzabhängige Anpassung von Heiz- und Kühlprozessen und
- ▶ die Vermeidung von unnötiger Wärmeabgabe an die Umgebung infolge Strahlung oder Konvektion.

Eine Analyse der spezifischen Verbrauchswerte der erfassten Anlagen legt nahe, dass hierbei durchaus noch Reserven bestehen. Diese Potentiale sollten gehoben werden. Dennoch ist allenfalls eine graduelle Verbesserung zu erwarten.

Mittlerweile orientiert die Europäische Kommission ihre Biokraftstoffpolitik verstärkt auf die Nutzung von Abfall- und Reststoffen. Abgesehen von einigen bereits existierenden spezialisierten Anlagen ist eine Verarbeitung solcher Stoffe in konventionellen Biodieselanlagen, die für die Verarbeitung von Pflanzenölen vorgesehen sind, nicht möglich sondern erfordert Technologieanpassungen bzw. -erweiterungen (z.B. zur Rohstoffreinigung und Minderung der Übertragung von Polymeren unterschiedlicher Herkunft in das Endprodukt). Darüber hinaus werden die Anteile der Emissionen und Abfälle aufgrund der Entfernung von unerwünschten Begleitstoffen zunehmen. Ebenfalls steigen wird der Energieaufwand infolge zusätzlich notwendiger Stofftrennungen.

Die Anforderungen an Kraftstoffe steigen ständig, um die Betriebssicherheit von modernen Motoren und das Erreichen der damit verbundenen Emissionsgrenzwerte sicherzustellen. Bei Dieselmotoren wirkt sich das erwartungsgemäß auch auf die Blendkomponente Biodiesel aus. Der Blick gerät verstärkt auf die Nebenbestandteile des Biodiesels (z.B. Sterylglycoside, gesättigte Partialglyceride und Polymere), deren Verminderung zunehmend Gegenstand technologischer Maßnahmen wird.

Es ist zu erwarten, dass die evolutionäre Weiterentwicklung der Biodieseltechnologie die genannten Herausforderungen weitestgehend abfangen, aber zugleich einen wesentlichen Teil der Fortschritte beim Energieeinsatz und der Emissionsminderung wieder zunichtemachen wird.

Schlussfolgerungen

Eine Vielzahl von Studien hat nachgewiesen, dass zur Verminderung der Treibhausgasemission von Biodiesel die Vorkette vom Anbau über den Transport der Ölfrüchte bis hin zur Herstellung und Bereitstellung des Öls den entscheidenden Einfluss auf die erzielbaren Treibhausgaseinsparungen ausübt.

Dagegen ist in der Konversionsstufe nur noch ein geringer Beitrag zur Treibhausgasminderung erreichbar:

- ▶ Die stoffliche Ausbeute ist bei Anlagen nach Stand der Technik kaum noch zu verbessern; sie liegt aktuell typischerweise bei > 97 % der eingesetzten Stoffe.
- ▶ Der Beitrag der Energieaufwendungen auf die THG-Emission ist – gemessen am Einfluss der Stoffströme – gering.

Biodieselanlagen sind Prinzip bedingt hinsichtlich der stofflichen und Lärmemissionen eher unauffällige Anlagen. Die gasförmigen Emissionen beschränken sich

- ▶ auf den Austausch des Gasraums von Vorrattanks bei Be- und Entladevorgängen soweit nicht eine Gaspendelung aufgrund anderer Bestimmungen ohnehin erforderlich ist,
- ▶ auf den Druckausgleich mit der Atmosphäre gegenüber der methanolhaltigen Atmosphäre über entsprechende Dampfsperren und
- ▶ auf nichtkondensierbare Gase aus Vakuumpumpen.

Die Lärmemissionen entsprechen denen typischer Chemieanlagen und stellen innerhalb von Gewerbeflächen kein Problem dar.

Da eine weitestgehend vollständige stoffliche Verwertung erfolgt, spielen auch Abfälle in dieser Betrachtung eine eher untergeordnete Rolle. Bei Kleinanlagen wird je nach Auffassung der lokalen Genehmigungsbehörde ggf. die nicht weiter verarbeitete rohe Glycerinphase als Abfall klassifiziert, obwohl dieser Stoff in jedem Falle von spezialisierten Unternehmen aufgearbeitet – aber nie beseitigt wird. Insbesondere bei Anlagen zur Herstellung von Biodiesel aus Abfall- und Reststoffen fallen Destillationsrückstände an. Diese können bei Einhaltung bestimmter Anforderungen als Bioheizöl in dafür geeigneten Anlagen eingesetzt werden.

Das Abwasser resultiert im Wesentlichen aus Auskreisungen aus der Teilanlage zur Rückgewinnung von Methanol aus Waschwässern, aus Kondensaten von Vakuumpumpen und in sehr geringem Umfang aus Reaktionswasser von Veresterungsschritten. Es ist neutral und enthält ausschließlich mikrobiologisch gut abbaubare organische Stoffe.

Im Hinblick auf die im Rahmen des Projekts besichtigten und befragten Anlagen in Deutschland ist kein über das bisherige BImSchG und seine Verordnungen bzw. Technischen Anleitungen hinausgehender Regelungsbedarf erkennbar.

Eine weitere Verbesserung der Energieeffizienz der Anlagen ist wünschenswert, sollte aber in keinem Falle durch bindende Regelungen im BImSchG festgelegt werden. Solche systemfremden Festlegungen könnten der Vielfalt der Konzepte einschließlich der angestrebten Verarbeitung von Abfällen und Reststoffen entgegen wirken und die Technologieneutralität hinsichtlich der Erfüllung von rechtlichen Anforderungen gefährden.

Es besteht zurzeit bei Rechtsetzungsvorhaben eine Tendenz, erforderliche Korrekturen und neue Anforderungen, die sachlich bereits existierendem Fachrecht zuzuordnen wären, stattdessen in andere Vorhaben aufzunehmen. Die Gründe dafür sind vielfältig; die Vorgehensweise führt jedoch zu sowohl für die Vollzugsbehörden als auch für die betroffenen Unternehmen schwer durchschaubaren Regelungen.

Weiterhin sei darauf hingewiesen, dass insbesondere durch Umsetzung der neuen EU-Energieeffizienzrichtlinie (2012/27/EU) Instrumente geschaffen werden, die geeignet sind, die Energieeffizienz in Unternehmen deutlich zu verbessern. Hierzu gehören insbesondere die Pflicht zur Durchführung von qualifizierten Energieaudits bzw. alternativ die Anerkennung der Einführung von Energiemanagementsystemen. Wenngleich sich die Verpflichtungen formal nur auf Unternehmen beziehen, die keine KMU sind, wird gerade im Bereich der chemischen Konversion auch eine Vielzahl kleinerer Unternehmen von diesen Anforderungen betroffen sein, da zum einen selbst mit vergleichsweise geringem Personalbestand große Umsätze realisiert werden und zudem häufig wirtschaftliche Verflechtungen bestehen, die einem KMU-Status entgegen stehen. Das trifft auch auf die Biodieselbranche in ihrer heutigen Struktur weitestgehend zu.

In der gesellschaftspolitischen Diskussion ist das Thema „Energieeffizienz“ derzeit positiv besetzt. Das liegt vor allem daran, dass in diesem Bereich CO₂-Vermeidung und Kosteneinsparung synonym verlaufen. Die Politik unternimmt daher aktuell große Anstrengungen, Effizienzmaßnahmen durch Setzen entsprechender Rahmenbedingungen auf freiwilliger Basis voranzubringen. Energieeinsparverpflichtungssysteme, die seinerzeit die EU-Kommission als allgemeinen Lösungsansatz zur regulatorischen Umsetzung der Ziele der Effizienzrichtlinie in die Diskussion gebracht hatte, werden in diesem Kontext als eher kontraproduktiv angesehen.

Durch die aktuellen Ansätze in der Biokraftstoffpolitik stehen Bestandsanlagen unter einem erheblichen wirtschaftlichen Druck. Bereits die mittelfristige Perspektive ist unsicher. Das ist erkennbar an der faktischen Stilllegung einer vergleichsweise großen Zahl von Anlagen und an der geringen Auslastung der technischen Kapazität der produzierenden Anlagen. Investitionen können derzeit nur

- ▶ im Hinblick auf den Ersatz verschlissener Anlagenteile,
- ▶ bei Erwartung signifikanter Verbesserungen der Energieeffizienz und
- ▶ bei Erweiterungen zur Verarbeitung von Rohstoffen aus Rest- und Abfallstoffen

erwartet werden.

Um die noch bestehenden Potentiale bei bestehenden Biodieselanlagen zu heben, erscheint das Instrument der Energieaudits als wesentlich geeigneter als die Aufnahme bestimmter fester Grenz- oder Zielwerte in Rechtsvorschriften.

Ergänzend zur Betrachtung von Instrumenten zur technischen und rechtlichen Umsetzung von möglichen Anlagenoptimierungen wurde die Wirtschaftlichkeit solcher Maßnahmen abgeschätzt. In der Berechnung für eine fiktive Beispiel-Biodieselanlage betragen die Kosten für den Einkauf von Pflanzenöl ca. 93 % und für Methanol ca. 5 % der Gesamtkosten, d.h. für Energie und Hilfsstoffe müssen lediglich ca. 2 % der Gesamtkosten aufgewendet werden. Bei Einbeziehung aller Hilfsstoffe und Medien sinken die hier angegebenen Kostenanteile noch geringfügig. An der Grundstruktur, dass über 90 % der Kosten auf das Öl und Methanol fallen, dürfte dies aber nichts ändern.

Bei einem Kostenanteil für Energie und Hilfsstoffe von ca. 2 % an den Gesamtkosten sind die Möglichkeiten für wirtschaftliche Optimierungen, wenn überhaupt gegeben, nur sehr klein. Daher lässt sich unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit nahezu keine Maßnahme mit dem Ziel der Reduzierung des Verbrauchs von Strom, Dampf oder Wasser darstellen.

Wirtschaftlich mögliche Optimierungen sind nur für die Kostenpositionen Öl und Methanol aufgrund der Kostenanteile von ca. 93 % und 4,8 % an den Gesamtkosten vorstellbar. Zum Beispiel könnten Maßnahmen zur Verbesserung der Reaktionsführung und damit einhergehende Umsatzsteigerung wirtschaftlich darstellbar sein.

Die Optimierungsmöglichkeiten zur Erhöhung des Umsatzes der Umesterungsreaktion sind aber nahezu ausgeschöpft. Zur Senkung des Methanolverbrauchs ist heute eine Rückgewinnung des nicht umgesetzten Methanols aus dem Prozess Stand der Technik, welche in nahezu allen Anlagen eingesetzt wird.

Diese Abschätzung zeigt einerseits, dass die energetische Optimierung der Referenz-Biodieselanlagen sehr weit fortgeschritten ist und andererseits, dass Kosteneinsparungen für Energie ein eher untergeordneter Treiber für potenzielle Anlagenoptimierungen sind.

Summary

The aim and objective of Directive 2008/1/EC of the European Parliament and the European Council of 15 January 2008 on integrated pollution prevention and control (IPPC Directive) is a high level of environmental protection with regard to certain industrial activities. The previous Council Directive (96/61/EC) was already adopted in 1996 and stipulated the implementation in all production plants falling under the scope of application by 31 October 2007. In 2010 the IPPC Directive was integrated into the Industrial Emissions Directive 2010/75/EU with few but significant alterations.

At first IPPC Directive 2008/1/EC provides for measures to avoid – and later to reduce – emissions into air, water and soil as well as for waste. According to annex I the industries affected by the Directive are the energy industry, waste management industry, the metal industry and industries dealing with minerals, chemicals and certain other industrial sectors.

In its 23 articles the IPPC Directive determines general principles for basic obligations of production plant operators, approval details, approval requirements, approval procedures as well as the information requirements and participation of the public.

In practice the most important part of the IPPC Directive are 33 detailed reference documents on Best Available Techniques (BAT) which describe and assess the ecologically and economically most favourable individual types of production plants and industrial sectors according to the current state of the art. The BAT reference documents must be implemented in all EU countries within 4 years by their national authorization and supervisory authorities.

The objective of this project of the German Federal Ministry of the Environment is the survey and compilation of all industrial production techniques used in German production plants for Biodiesel and Biodiesel components as well as the development of environmental protection requirements, essential for official approvals, on the basis of the best available techniques (BAT). The determined data shall be integrated into the development of new reference documents.

For that purpose current information on production plants and techniques including applied measures for emission reduction is collected, which forms the basis for the estimation of the impact on the environment, comprising all environmental compartments (air, water, soil), when biofuels are produced.

It is necessary for the sustainable industrial-scale production of biofuels to develop and extend environmental protection measures on time, in order to achieve the overall objective of GHG savings and to avoid a shift of the impact on other environmental compartments. For that, this project shall provide the basics.

The first part of the project focuses on the description of the biofuel production in so far as it is 'food production related' (i.e. by 'similar processes' as in the food industry) with the factory gate forming the 'border'. The cultivation of feedstock is no subject of this study.

A literature study based on the research project 'Monitoring of the Effect of National and International Legal Framework on the Market Development in the Biofuel Sector' (*Monitoring zur Wirkung nationaler und internationaler gesetzlicher Rahmenbedingungen auf die Marktentwicklung im Biokraftstoffsektor*) by 'Projektträger Juelich' (PTJ), the organisation executing the project, is intended. Relevant additional studies shall be evaluated and presented in an efficient way. The main focus will be the techniques and procedures used as well as the implemented measures for the reduction of emissions relevant for the project work.

In the second part of the project all relevant production processes used in Germany currently and in future will be described in detail. For individual production processes the names together with an outline of reference production plants will be published which are suitable to document the high technical development level. Additional production plants will also be considered. The compilation of data shall follow the guideline for data compilation of BAT reference documents as far as possible.

The third part of the project deals more intensively with the environmental relevance of individual techniques; it indicates technical potential for optimization; and it shall make suggestions for state-of-the-art environmental requirements if possible.

The following principles will prevail concerning the detailed data collection for the individual work packages:

- Quantitative balances, emissions, energy demand and other data shall be actual values but always refer to a minimum utilization of 75 % of the technical capacity installed. In order to enable the anonymous presentation of results, a virtual Biodiesel or Bioethanol output of the entire production plant of 100,000 t/a shall be assumed.
- Should the production plant operator for data protection reasons not be willing to provide typical values, the data may be alternatively characterized by a minimum and a maximum value. However, those values shall not exceed a fixed spread of $[(\max - \min)/\max]$.
- Individual reactors, reaction columns or devices are no subjects of this study but essential and typical interrelated process units (e.g. storage facility, crush, extraction, oil refining, transesterification, FAME refining, glycerol refining).

The approach of this study shall on the one hand secure a qualified and adequate data quality for the development of BAT reference documents, yet on the other hand best protect the companies' know-how and their individual unique features.

Literature research confirms that although the biofuel industry (Biodiesel and Bioethanol) is quite a young industry, the production principles it uses are not new but were already implemented industrially before the large-scale production of biofuels.

In Germany oleo chemistry has a long tradition. All kind of different triglyceride raw materials were converted with methanol in the presence of suitable catalysts into the relevant methyl esters (transesterification). The esterification of free fatty acids also plays a great part in classical oleo chemistry.

In contrast with the energetic use of methyl esters, as in the case of Biodiesel, mainly the individual chemical-physical and/or toxicological/dermatological properties of the produced esters are subject to consideration. Furthermore, in many cases the methyl esters are subsequently transformed to follow-up products – e.g. tensides and greases or paints and varnishes.

The tonnage produced is one or two orders of magnitude beneath the one typical for biofuels. As a result technologies were used which work at higher temperature and pressure, and sometimes also with comparably expensive catalysts. On the contrary if fatty acid methyl ester is used as energy source only little value adding can be expected. The essential high reaction turnover also proves to be much more important than for the classical chemical production of esters.

Against this background, for the production of Biodiesel specific procedures have developed which can do without processes at high temperatures or high pressure, work on inexpensive catalysts and achieve high reaction turnover. Due to the high production capacities of those plants waste water saving and low-emission processes became necessary from the very beginning. Today continuous processes are state-of-the-art. Only smaller or older production plants still use batch production or semi-continuous production processes.

These statements also apply analogously for the production of ethanol by means of fermentation of grain and sugar beets. Here technologies also developed from the classical drinking alcohol production with which the required high tonnages can be produced economically. As far as possible, the process units are carried out continuously. This applies particularly to the steps of physical separation of substances produced by fermentation.

In the process conception special attention is given to by-products since the profitability of the main product is closely connected to the optimum exploitation of all by-products. For example: apart from drying the fermentation residue, thus producing Dried Distillers Grains with Solubles - (DDGS) and its subsequent use as protein containing feedstuff component, there are alternative efforts to produce biogas by fermentation, which after cleaning to achieve natural gas quality is then fed into the gas network. Every such effort to separate usable substances contributes to the reduction of the quantity of waste and waste water as well as emissions.

The oils used for the production of biofuels on an industrial scale are mainly obtained from oil containing seeds and/or fruit bunches, for example. In addition, animal fats obtained by rendering from carcasses/animal bodies play an important part.

Mainly degummed and neutralized oils are used for the production of fatty acid methyl esters. On the one hand this is due to a reduced ingress of phospholipids as carrier of an element content strictly limited by DIN EN 14214; and on the other hand it is due to avoiding substances which – after transesterification – may be of detrimental influence for the separation process of ester phase and glycerol containing heavy phase.

Moreover edible oils are often also bleached. For cost-saving reasons this step is often forfeited when Biodiesel is produced since technically negative consequences are not assumed. Then again there is considerable pressure from the Diesel fuel blend market to produce ‘bright’ methyl ester since the colour of Biodiesel noticeably influences blend fuels like B7 and there are fears about a lower acceptance of darker fuels. Furthermore, it was found out lately that certain unwanted by-components of vegetable oils (e.g. steryl glycosides) can be further reduced by bleaching.

Dependent on the technology used in the production plant certain minimum quality requirements must be adhered to with regard to the oils and fats intended for use. In order to achieve sufficient flexibility on the market, advance processing steps are taken in many Biodiesel production plants the function of which is comparable to that of oil processing in the oil mill procedure.

The following processing steps are typical in Biodiesel production plants:

- Degumming of crude oil
- Deacidification of the degummed crude oil
- Transesterification with methanol in the presences of an Alkali catalyst
- Acid wash of the raw fatty acid methyl ester
- Neutral wash of the raw fatty acid methyl ester
- Dehydration / ester distillation
- Additivation of FAME with flow improvers and oxidation stabilizers and – if necessary – biocides
- Methanol recovery
- Esterification of free fatty acids in the presence of acid catalysts
- Salt precipitation from the raw glycerol phase
- Dehydration of glycerol
- Distillation of glycerol
- Bleaching of glycerol
- Separation of the soapstock (by-product)

Unlike the production of Biodiesel, for the production of ethanol all parts of the plants with a sufficiently high sugar and/or starch content are considered as raw material. At first starch must be converted into sugar before the subsequent fermentation to ethanol. That is why technologies processing sugar differ significantly from those processing starch, at least in the initial processing steps.

The production of the sugar used for fermentation is already subject to an extensive technology chain. If starch is used a cooking step must be done first to cause the starch to macerate and to reduce the viscosity of the mash.

The fermentation of the sugar and/or starch containing batch results in an ethanol containing mix; during the course of that process the alcohol formed is separated by distillation and afterwards the concentration is continued up to the azeotrope point.

In a further step (absolutation) the alcohol is dehydrated completely by means of molecular sieves and other technologies to achieve a minimum alcohol concentration of the final product of 99.8 %.

The procedures currently used differ significantly with regard to the further use of the stillage by (partial) hydration or conversion to biogas.

As part of the literature study the historical road of the Biodiesel technology was traced outlining the features of different techniques. The road starts with classical oleo chemistry, carries on with comparably simple types of production plants and finishes by now with very large and complex plants which define the state of the art. At the same time it becomes apparent that the establishment of large production plants makes the integration of proper infrastructure (railway connection, ship loading facilities, vicinity to refinery, etc.) an imperative requirement.

Milestones for the development of the Biodiesel technology were – among others – the technique of Oelmuehle Leer Connemann GmbH & Co KG providing a solution approach for the economical processing of large amounts of oils with low contents of FFA; and the technique by Vogel & Noot, Austria (today 'BDI – BioEnergy International AG, Austria') for raw materials with increased amounts of free fatty acids. Processing steps for cleaning raw FAME by distillation have gained in importance particularly with regard to the use of used cooking oils as alternative to fresh vegetable oils.

In general hydroxides are premixed with methanol in a stirring tank and added to the reaction as a solution in methanol. Since the chemically active agent is the then temporarily formed methylate, an externally obtained methylate (typically a 30% solution with methanol) may be used alternatively. The advantage is that there is no ingress during transesterification via reaction water from the formation of methylate which leads to a significant improvement of both equilibrium and reaction speed.

Also, the unwanted formation of soaps is reduced. By suitable process control the negative impact of hydroxides can be compensated. However, the costs for using methylates are considerably higher than for hydroxides so that both concepts are worked with side by side/parallel until today. Still there is a trend for increased use of methylates. Especially when it comes to 'difficult' feedstocks methylates have advantages compared to hydroxides because with higher dosages the effect can be enhanced without the formation of large quantities of Alkali soaps at the same time. Furthermore, the space-time-yield can be improved for existing apparatus configurations.

Primarily for reasons of price sulphuric acid is used as catalyst for esterification although the formation of a large number of by-products must be feared. However, alkyl aryl sulfonic acids are also used as catalysts.

Viewing the relevant patent literature indicates that there are multifold efforts to improve the process or to use other raw materials. In the area of catalysts, solid catalysts are suggested for discussion time and again; easily separable gaseous catalysts also play a certain part in patent literature. A large number of registrations deal with the improvement of the space-time-yield during esterification or transesterification; which may for example be achieved by working under supercritical conditions, use of microwaves and/or ultrasound or highly turbulent systems with cavitation effects. Concepts for the improvement of the product quality also play a great part in patent literature, such as

- Additives for the improvement of cold flow properties
- Additives for the improvement of the oxidation stability
- Removal of by-components like for example steryl glycosides
- Alternative cleaning procedures for raw fatty acid methyl ester (FAME)

Although gradual improvements of the processes for the production of Biodiesel can still be expected, fundamental changes are not very likely to occur. The use of microwaves, ultrasound, cavitation and other unconventional kinds of energy input as well as the implementation of supercritical systems (e.g. overcritical CO₂) are currently restricted to the laboratory sector. The economical application of such approaches does not exist at present and not to be expected in the near future either.

However, companies are greatly interested in a better use of e.g. generated caloric energy on several levels. A reduction of catalysts by using more efficient catalysts or by turning away from the principle of 'loss-catalysts' is of great importance though solid catalysts have so far rather not stood the test in industrial processes. One of the focuses of process optimization is also the improvement of product cleaning. However, water cleaning, which is predominantly used, can only be substituted by absorption steps; for instance, if reversible operation by means of desorption of the absorbed substance is given. The required desorption sub-

stance (eluent) must be inexpensive and recoverable in order to secure an economically and ecologically justifiable operation.

Despite the fact that this project was originally planned to analyze more closely both Biodiesel and Bioethanol production plants, the data compilation for Bioethanol had to be abandoned due to the basically adverse attitude of all relevant German Bioethanol production plant operators. Thus this project concentrated on data of Biodiesel production plants.

The reference production plants for project parts 2a and 2b were selected so that it was possible to consider different types and sizes of production plants. Smaller production plants generally have a simpler structure and are operated on batch modus or semi-continuously. However, the 'best used techniques' cannot be derived just from the operating modus or the size of a production plant. For that additional detailed criteria must be considered.

The selection of the production plants for this project is based on the following criteria:

- ▶ Size of the Production Plant
 - Nominal capacity > 250,000 t/a (,very large')
 - Nominal capacity of 100,000 to 200,000 t/a ('large')
 - Nominal capacity of 30,000 to 100,000 t/a ('medium sized')
 - Nominal capacity < 30.000 t/a ('small')
- ▶ Oil mill
 - Pressing and extracting oil mill (integral part of production plant)
 - Pressing only oil mill (integral part of production plant)
- ▶ Glycerol processing
 - No
 - Only desalination and concentration to a glycerol content of 80 %
 - Production of pharmaceutical glycerol
- ▶ Process Mode (Transesterification)
 - Discontinuous
 - Semicontinuous
 - Continuous
- ▶ Special Feedstock
 - Processing of animal feedstock
 - Processing of feedstocks with increased proportion of free fatty acids (FFA)
- ▶ Process Licensors
 - Agrartechnik GmbH & Co. KG (Schlaitdorf) and derived solutions
 - Biodiesel International (BDI, Austria)
 - Connemann Procedure (today: ADM Hamburg AG)
 - Lurgi AG
 - VERBIO AG
 - PPM Technologie GmbH
 - Others

Therefore, the production plants to be viewed and registered should be selected so that different criteria and their consequences can be considered.

The owners of the production plants resp. the engineering companies assigned with the construction and/or approval planning were address with a request for cooperation. Almost all addressees had reservations with regard to the data use and/or the disclosure of company secrets. In some cases companies claimed that plant tours and/or interviews could only take place with explicitly accepted members from the circle of their employees; this claim was considered.

In order to make the interviews/viewing of the individual companies comparable, questionnaires adapted to the anticipated technologies and process steps were developed.

The questionnaires to determine the best available techniques were based on the 'Guidelines on the collection of data, on the elaboration of BAT reference documents and on their quality assurance' according to Directive 2010/75/EU of the Commission's Implementing Decision 2012/119/EU dated 10 February 2012 as well as the experiences with Biodiesel and Bioethanol production plants from the engineering practice.

The guidelines and experiences guarantee a comparable and comprehensive collection of all information on production plants relevant for the BAT reference documents. Central elements of the questionnaires are the mass based assignment of inputs and outputs; the listing of the specific energy inputs by energy carrier used as well as the release of usable secondary energy and/or information on multiple use of the same energy carrier.

The developed questionnaires were submitted to the German Federal Environment Agency for examination. The subsequent test run had the purpose to check their practicability and completion which resulted in small changes which were integrated prior to interviewing the other companies. Seven companies were selected and interviewed for this study.

Characteristic values of the specific material input of the main process were determined based on the information received. The data determined refer to the essential specific amount of (triglyceride) raw material as well as to the amount of methanol and catalysts used per ton of the Biodiesel produced.

Considering the specific oil quantity used related to the amount of methanol actually gained the deviations with regard to tare comparably small. With the exception of a small production plant this is also true for the need for methanol. However, the deviation can be explained due to the technology used since in this case there is no methanol recovery and the excess methanol is in the raw glycerol phase which is extremely processed.

The variation concerning the catalyst demand is considerably higher, even considering the different activities of the individual hydroxides and/or methylates; which may on the one hand be related to the individually typical quality of the raw material, and on the other hand it may be an indication that in some production plants the recipes are more accurately adapted to the needs which then leads to saving effects.

Other focuses of the evaluation were the energy demand, the use of water and the formation of the by-products glycerol and salts. The type and quantity of the generated waste was also registered.

The volume of waste water and (if known) its contamination with organic and other substances was also determined.

The air emissions were assessed according to the limits of the Federal Emission Control Act (*BImSchG - Bundes-Immissionsschutzgesetz*) because there were no in-house measurements for any of the companies and no measurement was stipulated in the authorization notice.

The values for the energy demand (both thermal and electric) found in practice or supplied by the operators of the production plants differ greatly. Even after specific enquiry the causes could not be identified in detail; even considering the known (from the energetic point of view either seemingly rather unfavourable or particularly efficient) concepts could neither lead to a satisfactory clarification.

For that reason the energy demand of typical Biodiesel technologies was estimated in medium sized and large production plants with a simplified approach.

In detail, the following assumptions and process steps were considered for the assessment:

- ▶ As chemical core process for the production of Biodiesel the principle „Transesterification of triglycerides by means of Alkali loss catalysts“ will be considered exclusively (no esterification)
- ▶ The chemical reaction (transesterification) is considered thermoneutral.
- ▶ The heat capacity of all organic substances was assumed as 2 J/g/K.
- ▶ Typical volumes of washing water as stated during plant tours (average value)
- ▶ The following essential steps were identified for the demand of thermal energy:

1. Heating of the product stream
 2. Storage of final products (heat loss via the environment)
 3. One-step methanol recovery from the washing water by distillation using a distillation column
 4. Falling film evaporator for the removal of water from FAME upon completion of the washing process
 5. Removal of water and methanol from the raw glycerol by distillation
 6. Cleaning of the glycerol by distillation
 7. Vacuum generation for the distillation of glycerol by means of a steam injection pump
- ▶ The estimate of the demand for electric energy was based on the typical number of pumps, agitators, etc. as determined during the plant tours; the electrical power requirement was not calculated by just the connected load but by the addition of the connected load and the duty time. Alternatively relevant process steps were only considered once.
 - ▶ Energy recovery was considered in all process steps where it always happens according to the state of the art (e.g. heating of the raw material vs. cooling of final products; use of condensation heat of distillates and re-cooling of the bottom product vs. heating of the substances of the process stream). Proprietary concepts, however, which were apparently only implemented in some production plants, were not considered
 - ▶ Heat loss escape through piping and apparatuses was not taken into account.

With the exception of those for methanol recovery the anticipated energy losses of the individual production steps were considered as flat value according to the state of the art. The process step ‘methanol recovery’ was simulated by means of ChemCAD and the unavoidable thermodynamic energy loss was then calculated.

Since the saturation concentration of water in FAME does not exceed 1,200 mg/kg even under unfavourable conditions, the energy demand for the evaporation of water during the drying of FAME was ignored.

This estimate supports the originally made assumption that the sector of the production plant which can be directly associated with the production of FAME needs about 60 % of the total demand for thermal energy, while 40 % are accounted for the glycerol production.

In all production plants measures are taken (to a different extent) to improve the use of processing heat by recuperation or subsequent utilization of waste heat by process steps with a higher heat level. The production plan to company D is characterized by a comparably efficient use of electric energy and heat, which was already initiated by conceptual measures at the plant’s construction and continued later by a consistent optimization strategy. However, it is rather unlikely that other (existing) production plants may achieve such a level by retrofitting. Though generally it can be expected that there is still potential for energy savings, possible investment measures to improve energy efficiency, however, will not be profitable in all cases.

Some production plants use cogeneration units to provide process energy (thermal and electrical) and to thus improve the security of the energy supply on the one hand. On the other hand plant operators can profit from benefits according to the Combined Heat and Power (CHP) Act for feeding excess electricity into the network.

In all production plants, with the exception of a small one, extensive measures to reduce emissions were implemented. Among others, those measures include internal gas balance lines and exhaust air scrubber. In all cases the principle of summarizing emission points was implemented. As far as emissions are concerned Biodiesel production plants themselves are inconspicuous despite the use of methanol. The permissible emission values according to authorizations based on the Federal Emission Control Act differ extremely and are furthermore limited by different parameters. The range of transport and concentration limits stipulated by the relevant authorities is very wide, although, a correlation to a certain plant technology or the sensibility of a site cannot be noticed.

In contrast, oil mills are critical with regard to odour emissions which the examples given here and of other oil mills currently retrofitted show: One of the companies was retrofitted basically to reduce the odour emis-

sions of the oil mill. Despite proving the significant reduction of emissions in the oil mill of another company in 2012 by fitting a bio filter, the residents in the vicinity of a chemical park still feel exposed to unpleasant odours.

The production of Biodiesel is a low-waste technology because virtually all products and by-products can be used or re-used which generally also includes the salts produced during the catalyst deactivation; even though the scope for the use for sodium chloride is small. Thus its classification as waste forms an important alternative in this case. Potassium-containing salts are best used as fertilizers or fertilizer components.

Quite frequently small Biodiesel production plants are unable to recover methanol or process the raw glycerol phase in process steps. The raw glycerol phase is a substance tradable on the market. It is purchased by specialized companies which can process it to pharmaceutical quality and regain methanol at the same time. The processing of the raw glycerol phase is sometimes also taken on by some Biodiesel production plants if their own glycerol production is not sufficient.

The determined data verifies a good status quo of the use of raw materials and energy as well as the reduction of emissions in the studied production plants. However, there is a distinct ranking of the production plants. Yet the implemented efficiency concept of one company is not realizable for all production plants and must thus be rated better than regular state of the art. It can therefore not be considered for the classification 'best available technology'.

The high specific water consumption of the production plant of one company is striking; it corresponds to previous details on the Lurgi technology. Production plants which were built at a later date according to Lurgi technology were offered with a specific water consumption of 0.2 t/t of Biodiesel. Still, in the meantime this value is no longer state of the art and can be noticeably reduced by adaptations to the production plant. Experts' estimates believe that a specific water consumption of 0.1 t/t of Biodiesel can be achieved by the optimization of existing production.

As expected the efficiency parameters of small Biodiesel production plants tend to be rather unfavourable compared to those of larger ones, although for individual parameters quite good results can be achieved. It does not seem likely that the problem of small production plants to achieve continuously good efficiency can be solved significantly even by implementing better technology. In this respect the technology of small production plants must actually be considered BAT conformal even if the increased efficiency of larger production plants cannot be achieved.

From the point of view of securing low emissions and/or reducing the specific energy demand forfeiting processing steps (like the purchase of the raw glycerol phase or of glycerol as 60 % raw glycerol; processing of water contaminated with organic compounds in Biogas production plants) is a suitable approach to operate small production plants in conformity with the requirements of the Industrial Emissions Directive. However, large production plants have a clearly bigger potential – which is already been partly developed today – for example by heat regaining and multiple heat use, circulation mode and more efficient technical equipment.

For the description of environmental effects by production plants the term 'environmental effect' was first defined in consideration of the test procedure for individual cases according to § 3 c UVPG (*Federal Act on the Environmental Compatibility*). The following criteria are considered for the assessment of the overall environmental effect of production plants:

- ▶ Energy consumption
- ▶ Water demand and source of water (surface water, ground water)
- ▶ Waste water and its disposal
- ▶ Emissions (air pollutants, odours)
- ▶ Noise emissions
- ▶ Other environmental effects (light, heat, vibration, radiation)
- ▶ Changes in traffic volume
- ▶ Hazardous substances (use, synthesis)
- ▶ Water hazardous substances (use, synthesis)

For Biodiesel production plants which are situated in large industrial areas, environmental effects can be basically completely ignored because they hardly influence the environment of the site. In less industrialized areas the environmental effects of Biodiesel production plants are bigger.

The substances handled in Biodiesel production plants are of minimum water-hazard and in some cases corrosive. Biocides, which are sometimes used, are harmful to health. Methanol used for transesterification is toxic.

Medium sized and large Biodiesel production plants are almost completely automatized plants with an at least technically tight structure and regularly maintained. All substances are safely locked in so that there is no need for concern that large volumes of hazardous substances may leak.

The overall environmental effect of Biodiesel production plants is low due to modern plants, regular maintenance and inconspicuous emission behaviour.

The interviews with the production plant operators, the additionally submitted information on the technologies used as well as the data on technical data on production capacities and substance flow show a clear correlation between the production technology and operational mode on the one hand and the plant size on the other hand.

Biodiesel production plants with an annual capacity of up to 20,000 tons are mainly operated discontinuously. For that, the same apparatuses are used for the reaction and the phase separation in particular; and in order to achieve a high reaction turnover and a good product quality this process is re-operated repeatedly therein. Production plants of that size concentrate on its main product 'Biodiesel' whereas the separated glycerol phase is not processed any further but passed on to specialized companies to gain glycerol and for the recovery of the methanol contained. Meanwhile a functioning market for this so-called glycerol phase has established all over Europe.

For small production plants this approach seems to be appropriate with regard to both efficiency and emission prevention. Typically such production plants operate with only transesterification which means only oils and fats with a small share of free fatty acids can be processed. The free fatty acid proportion is contained in the glycerol phase as Alkali soap and is regained as free fatty acid by soap splitting when the glycerol phase is processed externally.

Biodiesel production plants with a capacity between 20,000 and 100,000 t/a are often operated semicontinuously: Esterification (sometimes also transesterification) is carried out discontinuously whereas the further processing of the raw FAME or the glycerol phase is continuous. The particular advantage of proceeding this way is that the recipe can be adapted individually to the raw material batch to be processed. This way on the one hand low catalyst dosage leading to insufficient reaction turnover can be avoided as well as excessive dosage resulting in inferior phase separation on the other hand. Also the methanol excess can be best adjusted. Like for discontinuous ones, for production plants operating with semicontinuous technologies a two-step reaction suffices; here large production plants use an individual apparatus set for each reaction step.

Production plants of this size process the glycerol phase to achieve at least a glycerol-water-mix (glycerol content of at least 60 %, frequently also of up to 80 %). The methanol contained in the glycerol phase is recycled internally to the process; the remains of the catalyst and/or the Alkali soaps are turned into non-organic salts (dependent on whether NaCl or K₂SO₄ or also in rarer cases potassium phosphate is used as catalyst) and the fatty acid is recovered. Normally further processing to technical or pharmaceutical glycerol does not take place in those production plants.

Large production plants with capacities from 100,000 t/a are exclusively operated continuously. They have integrated plant facilities for complete methanol recovery (both from raw FAME and the glycerol phase) and glycerol processing to a purity corresponding to that of pharmaceutical quality. Those facilities sometimes comprise smaller sub-plants for the esterification of generated or purchased fatty acids.

Biodiesel production plants operated in Germany are mostly closed systems with low emissions of gaseous substances. This statement principally applies to production plants of all mentioned categories, even though the necessary measures for larger production plants are more sophisticated.

Induced by the development of the Biodiesel market, more and more sizable production plants were built which – during the past 10 years – created a learning curve which was fed very effectively with the operational experiences of the preceding smaller production plants. Meanwhile a state of the art has established which is characterised by the following facts:

- ▶ Production plants with a capacity of less than 200,000 t/a are not built; if old and less sizable production plants are retrofitted from scratch, production capacities between 50,000 and 100,000 t/a are aimed at.
- ▶ Utilisation of KOH, NaOH, KOCH₃ and NaOCH₃ in methanol solution as loss catalyst
- ▶ Precipitation of the catalyst with strong mineral acids as salt from the glycerol phase
- ▶ Cleaning of the raw FAME by water wash
- ▶ Recovery of excess methanol by rectification of the wash water and/or the vapours of the first glycerol cleaning step
- ▶ FAME drying in a falling film evaporator

Some theoretical optimization approaches result there from

4. Prevention of salt formation when solid catalysts are used
5. Esterification processed in homogeneous phase by means of supercritical media
6. Substitution of washing processes and/or removal of remaining water by means of ion exchangers and/or reversible adsorption

The approaches given above are given much attention in patent literature. Still those technological modifications have not yet been able to prevail neither in Germany nor internationally.

All heterogenic catalysts tested so far have in common that their initially high activity degrades relatively fast up to complete ineffectiveness. That way their advantage compared to loss catalysts becomes meaningless both economically and environmentally; it even turns into the contrary: For as long as proper use of the salts is secured there is no environmental advantage for heterogenic catalysts.

The reaction speed of the transesterification is restricted by the substance transport between the hydrophilic and hydrophobic phases. Therefore, reaction control during the homogeneous phase seems to be a good option to achieve a better space-time-yield and to avoid the energy demand arising from the permanent turbulence necessary to induce the reaction of the non-mixable phases. However, if transesterification is realised under supercritical conditions the frame conditions for the production plant change fundamentally: Biodiesel production plants which are operated without pressure according to the state of the art would then have to be designed as 'pressure-operated' plants. Apart from higher financial investments for the plant the energy costs will then rise due to permanent maintenance of the high pressure level. Sub-plants would have to also be adapted accordingly.

In some small and medium-sized production plants ion exchangers are used for the cleaning of raw FAME mainly with the aim to remove catalyst residues. With this technology only little water is required for the cleaning process. However, methanol must still be separated by distillation. The service life of ion exchangers is limited. In contrast the disadvantage of the water wash can be significantly reduced by recycling the washing water.

Other suggestions are the use of molecular sieves and other absorbents to remove water and methanol. In order to maintain continuous operation at least two units (as is the case with ion exchangers) must exist which alternate between their operational and regeneration phases. Due to the time-space-throughput a sensible scale transfer to large production plants is not possible.

The above is complemented by the operational implementation of the plants based on the progressive state of the engineering art which includes

- ▶ Cascade use of thermal energy
- ▶ Recycling of media
- ▶ Adaptation of heating and cooling processes dependent on the throughput and

- Prevention of unnecessary heat transfer to the environment as a consequence of radiation or convection

The analysis of specific consumption values suggests a viable potential which should be exploited. Yet only a gradual improvement can be expected at best.

Meanwhile the Biodiesel policy of the European Commission focuses more on the use of waste and residue materials. With the exception of some already existing specialised production plants, the processing of such substances is not possible in conventional Biodiesel production plants built for processing of vegetable oils. For this purpose technological adaptations or extensions (e.g. cleaning of raw materials and reduced transfer of polymers of various origins to the final product) are required. Furthermore, the extent of emissions and waste will increase if unwanted compounds/substances are removed. Additionally necessary separation of substances will also lead to an increase of the energy demand.

The requirements for fuels permanently increase to secure the reliability of modern engines and to meet the related emission limits. As expected, for Diesel fuels this has also an effect on Biodiesel as blend component. There is a stronger focus on minor components Biodiesel (e.g. steryl glycosides, saturated partial glycerides and polymers) the reduction of which is increasingly the objective of technological measure.

One can expect that the development of the Biodiesel technology may mostly compensate the challenges mentioned above but at the same time it will destroy an essential part of the progress made concerning energy use and emission reduction.

Conclusion

A number of studies proved that for the reduction of greenhouse gas emissions of Biodiesel the production chain ranging from cultivation to transport of oilseeds and then to the production and provision of the oil has the decisive influence on any achievable greenhouse gas savings.

In contrast only a small contribution to the reduction of greenhouse gas can still be realised in the conversion step:

- State-of-the-art production plants can hardly improve the substance exploitation any more; at present it is typically > 97% of the raw material used.
- Compared to the influence of the material flow, the impact of the energy use on the greenhouse gas emissions is low.

With regard to their emissions (substances and noise), Biodiesel production plants are rather inconspicuous. Gaseous emissions are restricted to

- the gas room exchange of storage tanks during loading and unloading procedures unless gas displacement is already stipulated due to other regulations
- pressure compensation with the atmosphere compared to the methanol-containing atmosphere by means of suitable vapour barriers and
- non-condensable gases from vacuum pumps

All noise emissions correspond with those of typical chemical plants and are unproblematic in industrial areas.

Waste can also be considered of minor importance because all raw materials are almost completely used. Dependent on the opinion of local licensing authorities the raw glycerol phase of small production plants is classified 'waste' if not processed any further, even though this substance is processed by specialised companies at any rate and never disposed of. Distillation residues form particularly in production plants producing Biodiesel from waste and residual materials and may be used as bio heating oil in suitable plants if certain requirements are met.

Waste water primarily results from detachments in sub-plants which recover methanol from washing water, condensate of vacuum pumps and – on a very small scale – from reaction water of esterification steps. It is neutral and contains nothing but microbiologically well-degradable organic substances.

In view of the German production plants toured and interviewed as part of this project there are no indications that stricter regulations or technical instructions other than those of the Federal Immission Control Act (BImSchG) may become necessary.

Further improvement of the energy efficiency of the production plants is desirable but it should definitely not be determined by binding regulations in the BImSchG. Such stipulations alien to the system could be counterproductive for the multitude of concepts including the desired processing of waste and residual substances and endanger the technological neutrality with regard to the fulfilment of legal requirements.

When legal processes are planned there is a tendency at present to integrated necessary corrections and new requirements into other stipulations rather than assign them to the already existing specific legal provisions for that particular field. There are various reasons for that; however, such proceedings lead to regulations which are not very transparent and comprehensible for both the enforcement authorities and the companies concerned.

Additionally it should be pointed out that especially by the implementation of the EU Energy Service Directive (2012/27/EU) instruments were created which are suitable to significantly improve the energy efficiency in companies. Such are in particular the obligation to carry out qualified energy audits or to have the introduction of energy management systems acknowledged alternatively. Even though formally only no SME companies are obliged, many small companies will be affected by those requirements especially with regard to chemical conversion; since on the one hand big turnover is achieved with even relatively little staff and on the other hand there are often economic links which are contrary to the SME status. This is also very true for the Biodiesel industry in its current structure.

Currently the socio-political discourse on the issue ‘energy efficiency’ has a very positive character which is mainly due to the synonymy of CO₂ prevention and cost saving in this field. At present there are big political efforts to promote efficiency measures on voluntary establishment of relevant frame conditions. In this context mandatory energy saving systems like the ones the EU Commission put up for discussion some time ago as general approach for the regulatory implementation of the aims of the Energy Service Directive are considered to be rather counterproductive.

Considerable economic pressure is put on existing production plants because of the latest concepts of the Biofuel policy. The medium-term perspective is already precarious which can be noticed from the actual decommissioning of a comparably large number of production plants and the low utilization of the technical capacity of producing plants.

At present investments can only be expected

- ▶ if worn plant sections must be replaced
- ▶ if a significant improvement of the energy efficiency can be expected and
- ▶ if plants are extended to process raw materials from waste and residual materials

If it comes to exploiting existing potentials in operating Biodiesel plants the introduction of energy audits seems to be much more suitable than the integration of certain stipulated limit or target values in legal stipulations.

In addition to the assessment of instruments for the technical and legal implementation of any possible optimization of production plants the economic efficiency of such measures was evaluated. In the calculation for a fictitious exemplary Biodiesel production plant the costs for the purchase of vegetable oil amount to approx. 93 % and for methanol to approx. 5 % of the overall costs which means that only 2 % of the overall costs must be spent for energy and auxiliary materials. If all auxiliary materials and media are considered the cost share stated here even lessens marginally. However, the basic statement according to which 90 % of the costs must be spent on oil and methanol is unlikely to change.

If existent at all, the options for any economic optimization are very small with a cost share of approx. 2 % of the overall costs for energy and auxiliary materials. So from the economic aspect almost no measure can be presented with the aim to reduce the consumption of power, steam or water.

Possible economic optimization is only conceivable for the costs of oil and methanol due to their cost shares of approx. 93 % and 4.8 % of the overall costs; e. g. measures to improve the process and a subsequent increase of the turnover could be imaginable from the economic point of view.

However, the optimization possibilities to increase the turnover of the transesterification reaction are almost exhausted. Today's state-of-the-art to reduce the methanol consumption is the recovery of non-processed methanol and almost all production plants implement this technique.

This assessment shows on the one hand that the energetic optimization of the reference Biodiesel production plants is very much advanced and that on the other hand saving energy costs is a rather subordinate incentive for any potential production plant optimization.

1 Hintergrund und Aufgabenstellung

Die Richtlinie 2008/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Januar 2008 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie) zielt auf ein hohes Schutzniveau der Umwelt für bestimmte industrielle Tätigkeiten. Die Vorgängerrichtlinie (96/61/EG) wurde bereits im Jahr 1996 verabschiedet und sah eine Umsetzung in allen in den Geltungsbereich fallenden technischen Anlagen bis zum 31. Oktober 2007 vor. Im Jahr 2010 wurde die IVU-Richtlinie mit wenigen, aber wesentlichen Änderungen in die Industrieemissionsrichtlinie (2010/75/EU) integriert.

Die IVU-Richtlinie (2008/1/EG) sieht Maßnahmen zunächst zur Vermeidung, dann zur Verminderung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden sowie auch von Abfall vor. Zu den von der Richtlinie betroffenen Wirtschaftszweigen gehören gemäß Anhang I u.a. die Energiewirtschaft, die Abfallbehandlung, die Metallindustrie, die mineralbearbeitende, die chemische und andere bestimmte Industriezweige.

Die IVU-Richtlinie bestimmt in 23 Artikeln allgemeine Prinzipien der Grundpflichten der Betreiber von Anlagen, deren Genehmigung, Genehmigungsaufgaben, Genehmigungsverfahren, Information sowie die Beteiligung der Öffentlichkeit.

Der in der Praxis wichtigste Teil der IVU-Richtlinie sind 33 ausführliche Referenz-Dokumente bzw. "Merkblätter zur besten verfügbaren Technik" (BVT). Für einzelne Anlagearten bzw. Industriebranchen sind die nach dem aktuellen Stand der Technik ökologisch und ökonomisch vorteilhaftesten Technologien und Verfahrensweisen beschrieben und bewertet. Die BVT-Merkblätter müssen von lokalen Genehmigungs- und Kontrollbehörden in allen EU-Ländern innerhalb von 4 Jahren umgesetzt werden.

Ziel des vom Umweltbundesamt vergebenen Projekts ist die Bestandsaufnahme der in Deutschland angewendeten Produktionstechniken für Biokraftstoffe und Biokraftstoffkomponenten auf Anlagenniveau sowie die Erarbeitung von genehmigungsrelevanten Umweltschutzanforderungen auf der Basis der besten verfügbaren Technik. Die ermittelten Angaben sollen in die Erarbeitung neuer Merkblätter einfließen.

Dazu werden aktuelle Informationen zu Produktionsanlagen und Techniken einschließlich angewandter Emissionsminderungsmaßnahmen erhoben. Diese bilden die Basis zur Schätzung der medienübergreifenden Umweltauswirkungen bei der Herstellungsphase von Biokraftstoffen.

Für eine nachhaltige Produktion von Biokraftstoffen im industriellen Maßstab ist es notwendig, rechtzeitig Umweltschutzmaßnahmen weiterzuentwickeln und zu erarbeiten, um das Gesamtziel an Treibhausgaseinsparungen zu erreichen und eine Verlagerung der Belastungen in andere Umweltmedien zu vermeiden. Hierzu soll das Vorhaben die Grundlagen liefern.

Die Systemgrenze bei diesem Vorhaben ist das Werktor, das heißt, es werden keine vorgelagerten Prozesse wie der Anbau und keine nachgelagerten Prozesse wie die Verwendung als Biokraftstoff, betrachtet. Somit soll auch kein Vergleich der Herstellung von Biokraftstoffen mit fossilen Kraftstoffen erfolgen. Die Herstellung von Biogas ist ebenfalls nicht Gegenstand der Untersuchung¹. Außerdem sollen keine Potenzialstudien durchgeführt werden.

Das Gesamtvorhaben ist in folgende Arbeitspakete gegliedert:

Arbeitspaket 1: Literaturrecherche und Charakterisierung der Anlagen

Der Schwerpunkt liegt auf der Beschreibung der Biokraftstofferzeugung, soweit sie „nahrungsmittelnah“ erfolgt (d. h. durch „ähnliche Prozesse“ wie in der Nahrungsmittelindustrie). Die Systemgrenze soll das Werktor sein. Der Anbau der Rohstoffe ist nicht Gegenstand der Studie.

Eine Literaturstudie auf Basis des Forschungsvorhabens „Monitoring zur Wirkung nationaler und internationaler gesetzlicher Rahmenbedingungen auf die Marktentwicklung im Biokraftstoffsektor“ des Projektträgers

¹ Abweichend von dieser grundsätzlichen Vorgabe durch den Auftraggeber wird bei der Herstellung von Bioethanol ergänzend die mögliche Verwertung der Schlempe in einer systemintegrierten Biogasanlage mit einbezogen, da dies eine wichtige und innovative abfall- und emissionsmindernde Maßnahme darstellt.

Jülich (PTJ) soll durchgeführt werden. Weitere relevante Studien sollen ausgewertet und übersichtlich dargestellt werden. Der Schwerpunkt sollte auf eingesetzten Techniken, Verfahren und verwendeten Emissionsminderungsmaßnahmen liegen, die zur Bearbeitung des Projekts relevant sind.

Arbeitspaket 2: Verfahrensbeschreibung und Bewertung

Es sollen die in Deutschland relevanten, derzeit und zukünftig² eingesetzten Verfahren detailliert beschrieben werden. Für die einzelnen Verfahren sind Referenzanlagen zu benennen, welche geeignet sind, den hohen technischen Entwicklungsstand zu dokumentieren. Dieses Arbeitspaket unterteilt sich in zwei Unterarbeitspakete.

Arbeitspaket 2a: Referenzanlagen

In Abstimmung mit dem UBA soll für Referenzanlagen eine detaillierte Betrachtung erfolgen. Hierzu sollen mindestens 3 unterschiedliche Anlagen besichtigt werden. Die Auswahl kann nach Kriterien nach Art. 14 der EU-Direktive über Industrieemissionen (IED) erfolgen. Die Datenaufnahme soll so weit wie möglich dem Leitfaden zur Datensammlung zur Erstellung von BVT-Merkblättern folgen.

Arbeitspaket 2b: Sonstige Anlagen

Für die nicht als Referenzanlagen eingestuften Anlagen war ursprünglich lediglich eine vereinfachte Beschreibung und die Aufnahme der zugehörigen Daten in eine vom UBA bereit gestellte Datenbank vorgesehen. Aufgrund der Erkenntnisse bei den Anlagenbegehungen bzw. -befragungen wurde in Absprache mit dem Auftraggeber letztlich nicht zwischen sonstigen und Referenzanlagen unterschieden, da keine eindeutige und logisch nachvollziehbare Abgrenzung zu erreichen war. Daher wurden die Daten aller Anlagen nach den gleichen Grundsätzen und im gleichen Umfang erfasst.

Arbeitspaket 3: Umweltrelevanz

Es sollen die Umweltrelevanz der einzelnen Techniken bewertet, technisches Optimierungspotenzial aufgezeigt und gegebenenfalls Vorschläge für dem Stand der Technik entsprechende Umweltaanforderungen gemacht werden.

² Es soll sich dabei um Verfahren handeln, deren Einführung unmittelbar bevorsteht, so dass plausible technische Annahmen abgeleitet werden können.

2 Lösungsvorschlag

Im Arbeitspaket 1 soll mit den derzeit verfügbaren Informationen eine Anlagen- und Technologieübersicht erstellt werden. Weiterhin wird das Arbeitspaket 1 dazu genutzt, um mit Anlagenbetreibern und Anlagenherstellern/Technologielieferanten das Gespräch mit dem Ziel zu suchen, in den weiteren Projektetappen die vorliegenden Informationen zu validieren bzw. zu vervollständigen.

Für die in den nachfolgenden Arbeitspaketen vorgesehenen detaillierten Datenerfassungen sollen folgende Grundsätze herangezogen werden:

Grundsatz 1

Mengenbilanzen, Emissionen, Energieaufwände und andere Angaben sollen reale Werte darstellen, sich aber stets auf eine Auslastung von mindestens 75 % der installierten technologischen Kapazität beziehen.

Zur Anonymisierung soll die Umrechnung auf einen virtuellen Output der Gesamtanlage von 100.000 t/a Biodiesel bzw. Bioethanol erfolgen.

Grundsatz 2

Soweit die Anlagenbetreiber aus Gründen des Datenschutzes nicht typische Werte mitteilen möchten, können die Angaben alternativ durch einen max. und einen min. Wert charakterisiert werden. Diese sollen jedoch folgende Spreizung $[(\text{max} - \text{min})/\text{max}]$ nicht überschreiten:

Massebilanz bei Haupteinsatzstoffen, Hauptprodukten und wesentlichen Nebenprodukten:	3 %
Sonstige Stoffe, Abfälle und Abwasser:	8 %
Emissionen:	16 %
Energieaufwand:	8 %

Grundsatz 3

Es sollen nicht einzelne Reaktoren, Kolonnen oder Baugruppen untersucht werden sondern wesentliche und typische zusammenhängende Funktionseinheiten (z.B. Tankanlage, Pressung, Extraktion, Ölaufbereitung, Umesterung, Produktreinigung FAME, Glycerinaufbereitung).

Die Vorgehensweise soll einerseits eine qualifizierte und für die Entwicklung von BVT-Merkblättern ausreichende Datenqualität absichern, andererseits das Knowhow der Unternehmen bzw. spezifische Alleinstellungsmerkmale bestmöglich schützen.

3 Arbeitspaket 1: Literaturrecherche und Charakterisierung der Anlagen

3.1 Technologieübersicht

3.1.1 Vorbemerkung

Die Biokraftstoffwirtschaft (Biodiesel und Bioethanol) stellt eine vergleichsweise junge Branche dar. Die dort angewandten Verfahrensprinzipien sind nicht neu sondern wurden bereits vor der großtonnagigen Produktion von Biokraftstoffen industriell angewendet.

Die Oleochemie hat in Deutschland eine lange Tradition. Verschiedenste triglyceridische Rohstoffe wurden mit Methanol in Gegenwart von geeigneten Katalysatoren in die entsprechenden Methylester umgewandelt. Auch die Veresterung von freien Fettsäuren spielt eine große Rolle.

Im Unterschied zu einer energetischen Nutzung der Methylester wie im Falle des Biodiesels stehen bei dieser eher stofflich geprägten Herstellung vor allem individuelle chemisch-physikalische bzw. toxikologische/dermatologische Eigenschaften der gebildeten Ester im Vordergrund. In vielen Fällen werden die Methylester darüber hinaus anschließend zu Folgeprodukten – z.B. zu Tensiden, Schmierstoffen oder Farben und Lacken – umgesetzt.

Die produzierte Tonnage liegt dabei ein bis zwei Größenordnungen unter dem für Biokraftstoffe typischen Bereich. Insofern wurden dafür Technologien eingesetzt, die mit höheren Temperaturen und Drücken sowie teilweise mit vergleichsweise teuren Katalysatoren arbeiten. Im Gegensatz dazu ist bei der Verwendung von Fettsäuremethylester als Energieträger eher nur eine geringe Wertschöpfung zu erwarten. Auch der erforderliche hohe Reaktionsumsatz stellt sich in diesem Falle als wesentlich wichtiger dar als bei der klassischen Chemieproduktion von Estern. Die Auswirkungen dieser Rahmenbedingungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Vor diesem Hintergrund haben sich für die Herstellung von Biodiesel besondere Verfahren herausgebildet, die auf Prozesse bei hohen Temperaturen bzw. hohen Drücken verzichten, mit preiswerten Katalysatoren auskommen und hohe Reaktionsumsätze erreichen. Aufgrund der hohen Anlagenkapazitäten waren abwassersparende und emissionsarme Prozesse von Anfang an erforderlich. Stand der Technik sind heute durchgängig kontinuierliche Prozesse. Lediglich kleinere oder ältere Anlagen nutzen noch diskontinuierliche bzw. halbkontinuierliche Verfahren.

Tabelle 1: Vergleichende Charakterisierung der Auswirkungen unterschiedlicher Rahmenbedingungen auf die Technologie

Merkmal	Klassische chemische Industrie	Biodieselwirtschaft
Rohstoff	Spezielle Ölpflanzen bzw. andere Fettquellen mit besonderem Fettsäureprofil zum Erzielen spezieller Produkteigenschaften	Pflanzenöle mit großer Verbreitung oder Recyclingprodukte
Durchsatz	10 t/a bis 50.000 t/a	10.000 t/a ³ bis 500.000 t/a
Prozessbedingungen	Druck bis 30 bar, Temperatur über 150 °C	Atmosphärisch, unterhalb des Siedepunkt des Alkohols
Katalysator	Si-basierte Trägerkatalysatoren, Sulfonsäuren, Erdalkalioxide, ZnO, Lewis-Säuren	Verlustkatalysatoren wie NaOH, KOH, Methylate, Schwefelsäure, Alkylarylsulfonsäuren
Nebenprodukte, Abfall	Teilweise hoher Anfall, aus Sicht der Wertschöpfung jedoch eher unbedeutend	Weitestgehende Nutzung aller Produkte und Nebenprodukte
Produkteigenschaften	Eigene Beschreibung des Herstel-	Produkt muss in großen Regionen

³ In der Anfangszeit der Biodieselbranche wurden auch kleinere Anlagen errichtet. Diese sind jedoch unter den heutigen Rahmenbedingungen unwirtschaftlich und spielen daher nur noch eine untergeordnete Rolle.

Merkmal	Klassische chemische Industrie	Biodieselswirtschaft
	lers	eingeführte und ggf. rechtlich bindende Normen erfüllen

Diese Aussagen gelten sinngemäß auch für die Herstellung von Ethanol durch Gärung aus Getreide und Zuckerrüben. Auch hierbei haben sich aus der klassischen Trinkalkoholgewinnung heraus Technologien entwickelt, mit denen die erforderlichen großen Tonnagen wirtschaftlich hergestellt werden können. Soweit möglich, sind die Prozesseinheiten kontinuierlich ausgeführt. Das betrifft insbesondere die Schritte zur physikalischen Trennung der durch die Gärung erzeugten Stoffe.

Ein besonderes Augenmerk in der Prozessausgestaltung liegt hierbei auf den Nebenprodukten, da die Wirtschaftlichkeit des Hauptproduktes eng mit der optimalen Verwertung der Nebenprodukte verbunden ist. Beispielsweise wird neben der Trocknung des Gärrückstandes als „Dried Distillers Grains with Solubles“ (DDGS) und dessen Anwendung als eiweißhaltige Futtermittelkomponente alternativ der Weg verfolgt, eine Vergärung zu Biogas durchzuführen, dieses auf Erdgasqualität zu reinigen und in das Erdgasnetz einzuspeisen. Alle derartigen Schritte tragen durch Abtrennung nutzbarer Substanzen zur Verminderung des Anfalls von Abfall, Abwasser sowie zur Emissionsminderung bei.

Die nachfolgenden prinzipiellen Technologiebeschreibungen betreffen keine konkret ausgeführten Anlagen sondern stellen eine Verallgemeinerung grundsätzlich angewandter Technologieschritte dar und dienen der Erläuterung der beigelegten Prozessschemata. Die in ausgeführten Anlagen tatsächlich verwendeten Technologien können abweichen, insbesondere können Prozessstufen fehlen oder anders ausgestaltet sein.

Die Prozessschemata enthalten bekannte Stoffe, die in den jeweiligen Technologieschritten eingesetzt werden oder anfallen; allerdings ist nicht jede der prinzipiell möglichen Kombinationen chemisch oder technologisch sinnvoll. Wasser als Stoff ist an keiner Stelle genannt, auch wenn einzelne Prozessschritte den Einsatz von Wasser erfordern oder dabei Wasser anfällt.

3.1.2 Vereinfachte Technologiebeschreibung zur Herstellung von Fettsäuremethylestern aus triglyceridischen Rohstoffen

3.1.2.1 Öl- bzw. Fettgewinnung

Öle werden in industriellem Maße überwiegend aus ölhaltigen Samen bzw. bzw. „Fruit bunches“ (bei Palmöl) gewonnen. Darüber hinaus spielt die Gewinnung von tierischen Fetten durch Ausschmelzen aus Tierkörpern eine wichtige Rolle. In einigen Fällen werden hochdispers vorliegende Fettanteile komplexer flüssiger Rohstoffe durch mechanische Mittel, wie z.B. Zentrifugenapparate, abgetrennt. Abgesehen von der Rückgewinnung von Palmölen aus Spülwässern wird diese Technologie jedoch überwiegend im Nahrungsmittelbereich („Buttern“) und eher weniger im Bereich der Kraftstoffproduktion eingesetzt.

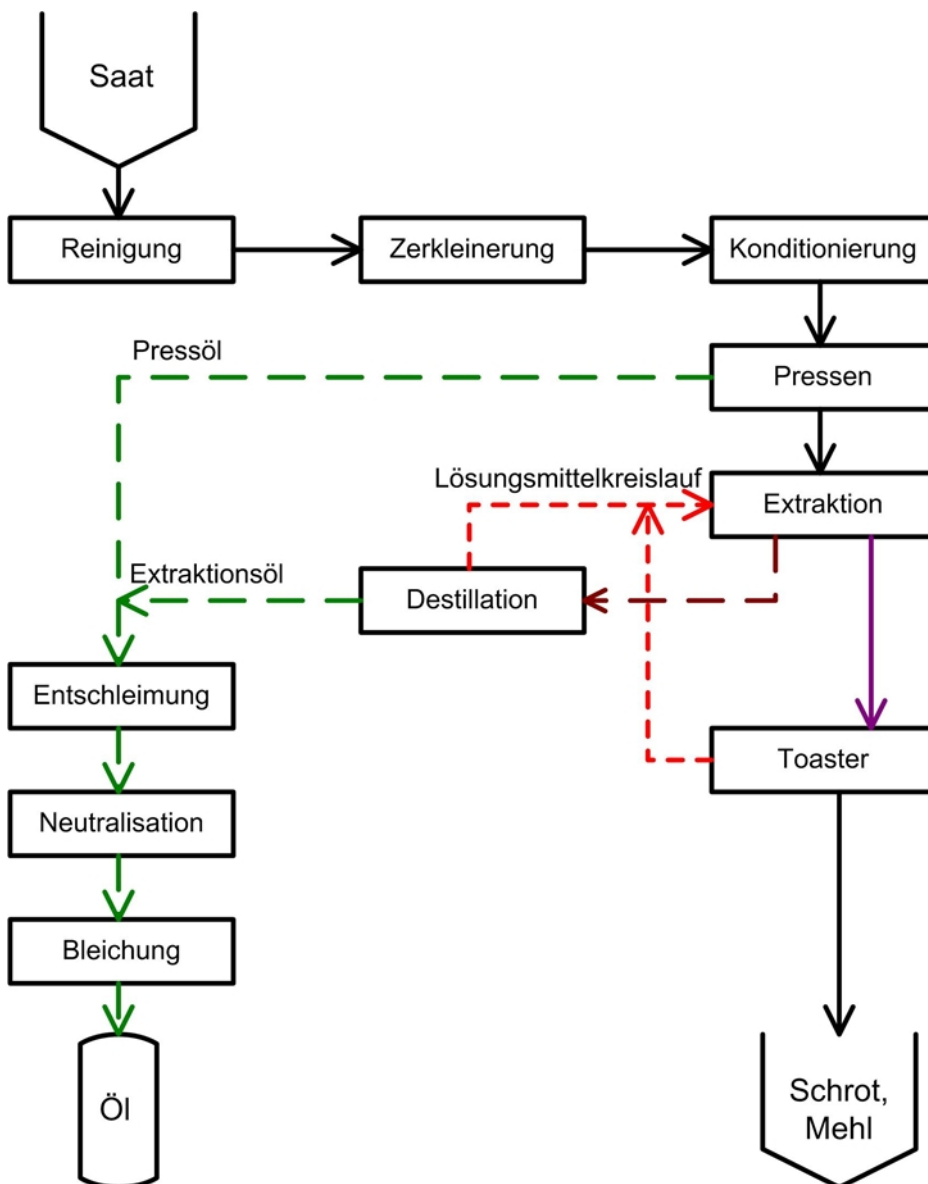
In der Tabelle 2 sind die wichtigsten Basistechnologien zusammengestellt, wobei je nach Rohstoff und Ausbeuteanforderung auch mehrere Schritte kombiniert werden.

Tabelle 2: Basistechnologie zur Gewinnung von Ölen und Fetten

Technologie/ Technologieschritt	Anwendung	Hilfsstoffe	Bemerkung
Pressen von Ölsaaten	Ölsaaten mit hohem Ölgehalt und geeignetem mechanischem Verhalten (z.B. Raps)	keine	Einfache Ölmöhlen verzichten auf eine anschließende Lösemittelextraktion.
Lösemittelextraktion von Pressrückständen	Pressrückstände, Ölsaaten mit niedrigem Ölgehalt bzw. für Pressung ungeeignetem mechanischem Verhalten (z.B. Soja)	Hexan als Extraktionsmittel	Zur Erhöhung der Ausbeute werden Pressrückstände ölhaltiger Saat einer Extraktion unterworfen.
Ausschmelzen	Gewinnung von Talg, Schmalz und Fischölen	keine	Die Konditionierung von Rapssaat durch Vorheizen vor der Pressung ist mit diesem Technologieschritt

Technologie/ Technologieschritt	Anwendung	Hilfsstoffe	Bemerkung
Mechanische Trennung von Fett-Wasser-Emulsionen	Herstellung von Butter aus Milch, Abscheidung von Palmöl aus bei der Aufbereitung der Saat anfallenden Spülwässern	Zusätze von Salzen, Polyolen und anderen Trennhilfsmitteln	vergleichbar. Er führt zwar nicht zum Ausschmelzen aber zu einer besseren Mobilität der Öle bei der nachfolgenden Pressung.

Abbildung 1: Verfahrensprinzip einer Ölmühle mit Extraktion



Für die Herstellung von Fettsäuremethylestern werden überwiegend entschleimte und neutralisierte Öle eingesetzt. Hintergrund ist zum einen die Verminderung des Eintrags von Phospholipiden als Träger eines nach DIN EN 14214 streng limitierten Elementgehalts; zum anderen aber auch das Vermeiden von Stoffen, die den Trennvorgang zwischen Esterphase und Glycerin haltiger Schwerphase nach der Umesterung nachteilig beeinflussen können.

Nahrungsmittelöle werden darüber hinaus meist noch gebleicht. Bei Rohstoffen zur Biodieselherstellung wird häufig aus Kostengründen auf diesen Schritt verzichtet, da keine technisch nachteilige Wirkung angenommen wird. Andererseits resultiert insbesondere aus dem Beimischungsmarkt für Dieselkraftstoffe ein erheblicher Druck, „helle“ Methylester zu produzieren, da sich die Farbe des Biodiesels merklich auch auf Blendkraftstoffe wie B7 auswirkt und eine geringere Akzeptanz dunklerer Kraftstoffe befürchtet wird. In neuerer Zeit wurde darüber hinaus festgestellt, dass bestimmte unerwünschte Nebenkomponenten von Pflanzenölen (z.B. Sterylglycoside) durch eine Bleichung weiter reduziert werden können.

3.1.2.2 Umwandlung von pflanzlichen bzw. Fettsäureestern zu Fettsäuremethylestern

Abhängig von der angewendeten Anlagentechnologie müssen bestimmte Mindestqualitätsanforderungen bei den einzusetzenden Ölen bzw. Fetten eingehalten werden. Um eine ausreichende Flexibilität am Markt zu erreichen, sind vielen Biodieselanlagen Aufbereitungsschritte vorgeschaltet, deren Funktion mit der Ölaufbereitung im Ölmühlenprozess vergleichbar ist.

Die wesentlichen Prozessschritte sowie deren typische Input- und Outputstoffe sind in den Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 2: Prozessschema zur Herstellung von Biodiesel, Teil 1

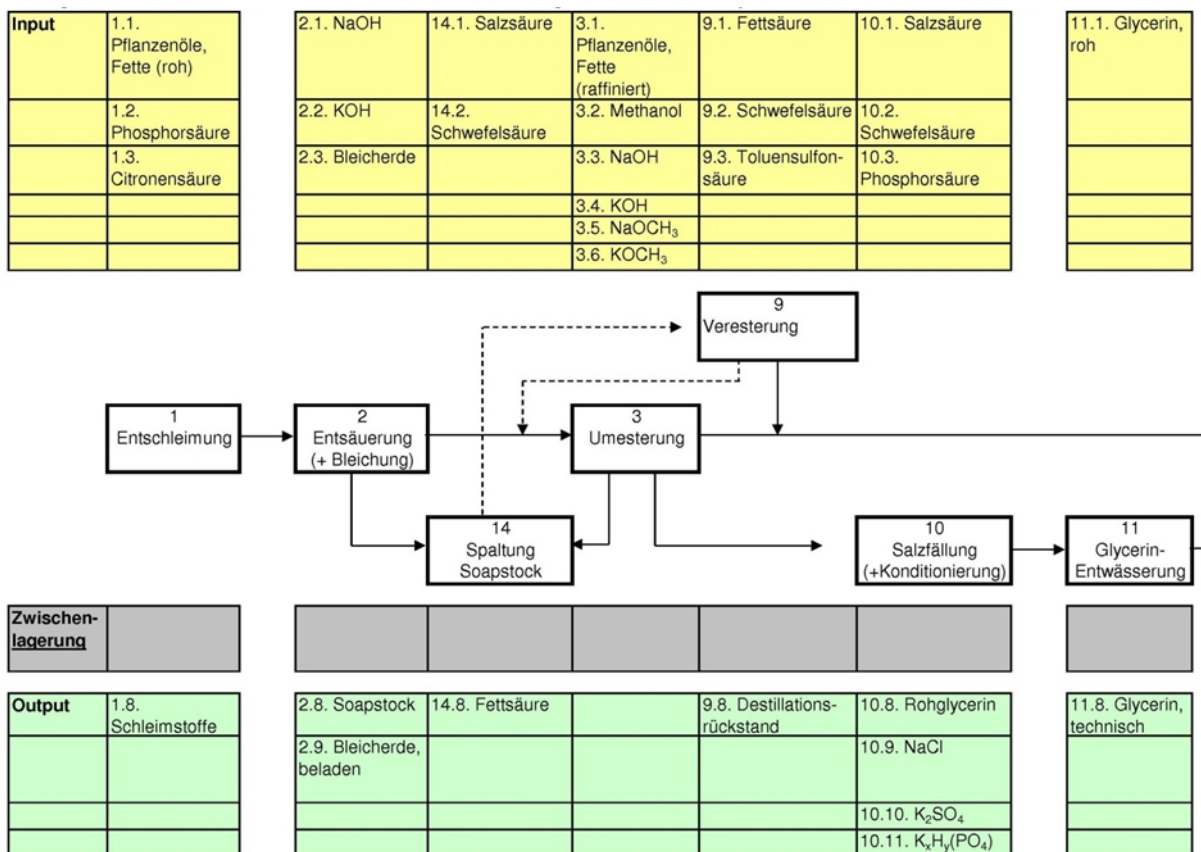
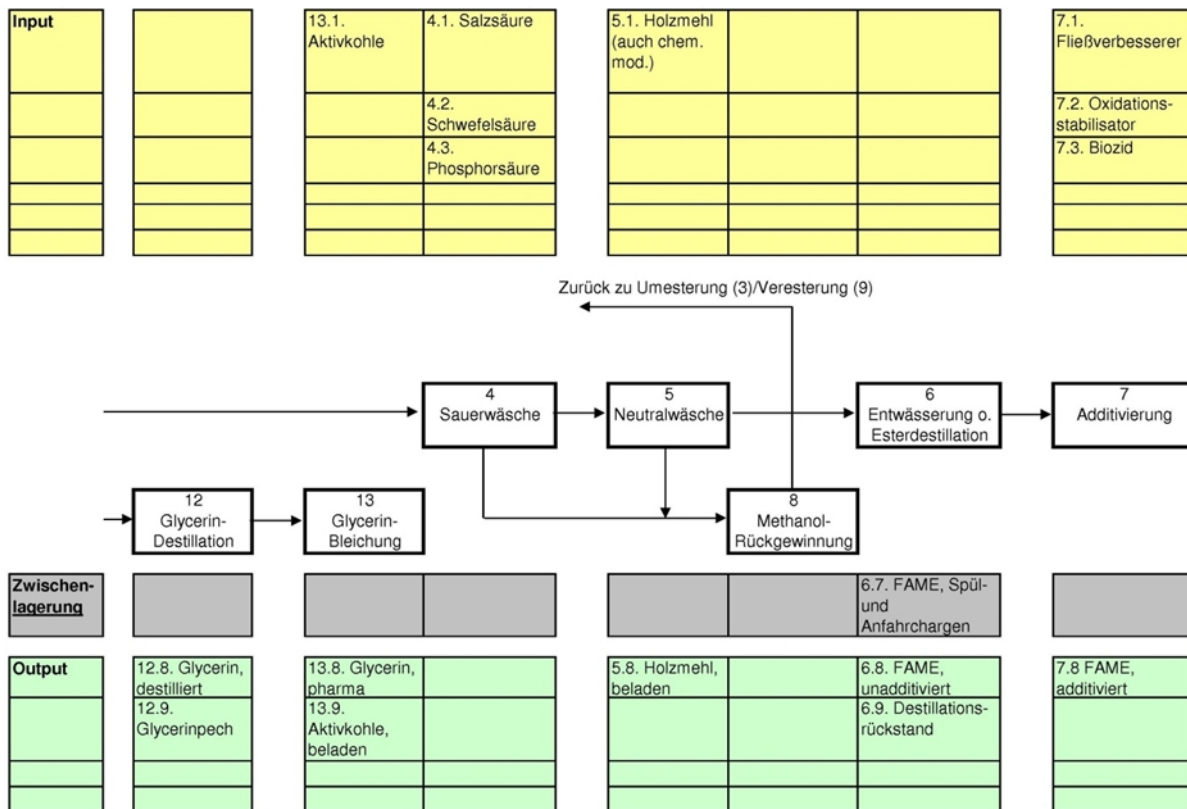


Abbildung 3: Prozessschema zur Herstellung von Biodiesel, Teil 2



Die einzelnen Prozessschritte sind nachfolgend näher beschrieben:

(1) Entschleimung

Durch verdünnte Säuren werden Phospholipide, die in rohen Pflanzenölen/-fetten enthalten sind, wasserlöslich bzw. wasseremulgierbar gemacht. In einer zu diesem Abschnitt gehörenden Waschstufe werden diese Substanzen als sog. Schleimstoffe ausgewaschen und vom Öl/Fett abgetrennt.

(2) Entsäuerung

Rohe Pflanzenöle bzw. -fette enthalten zu einem geringen Teil freie Fettsäuren. Außerdem entstehen freie Fettsäuren parasitär bei der Säurebehandlung während der Entschleimung. Diese freien Fettsäuren werden als Seifen ausgefällt. Mit Hilfe von Mineralsäuren werden die Seifen anschließend wieder zu freien Fettsäuren gespalten. In wenigen Fällen folgt die Behandlung mit einem Adsorptionsmittel (Bleichung).

(3) Umesterung

Triglyceride werden in Gegenwart eines alkalischen Katalysators (KOH, NaOH, Kaliummetholat, Natriummetholat) mit Methanol zu einem rohen Methylester und einer glycerinhaltigen Phase umgesetzt.

Typische Reaktionsapparate sind Rührkesselskaskaden mit zwischengeschalteten Absetzbehältern oder Zentrifugen (Mixer-Settler-Batterien), Reaktionskolonnen oder statische Mischer.

(4) Sauerwäsche

Mit Hilfe von verdünnten Mineralsäuren wird der in der Roh-FAME-Phase enthaltene Rest- Katalysator in ein Salz übergeführt, damit unwirksam gemacht und weitestgehend entfernt. Gleichzeitig wird der Methanol-Anteil herausgewaschen.

(5) Neutralwäsche

In nachfolgenden Waschstufen wird zur Vervollständigung der Abreinigung des FAME von Katalysatorresten ein- oder mehrfach mit deionisiertem Wasser gewaschen.

Es sind auch Prozessvarianten unter Nutzung von Ionenaustauschern oder Filterhilfsmitteln mit ionenaustauschender Wirkung (z.B. Holzmehle, auch chemisch modifiziert) anstelle von Waschschritten bekannt. Solche Prozessschritte sollen für die Betrachtung im Rahmen des Vorhabens in der gleichen Systematik in der Rubrik „Wäsche“ behandelt werden.

(6) Entwässerung / Esterdestillation

Das durch die Waschprozesse in den FAME eingetragene Wasser wird durch Destillation unter verminderten Druck entfernt.

In einigen Prozessvarianten schließt sich eine Destillation des FAME an, die auch als Rektifikation zur Anreicherung / Abreicherung bestimmter Methylester nach Siedelage ausgeführt sein kann.

(7) Additivierung

FAME zur Anwendung als Kraftstoff muss saison- und verwendungsabhängig mit Fließverbesserern ausgestattet werden. In Abhängigkeit von der Fettsäurezusammensetzung und dem Einsatzgebiet werden weiterhin Oxidationsstabilisatoren zugesetzt.

Weiterhin besteht grundsätzlich die Möglichkeit der Verwendung weiterer Additive (z.B. Detergenzien, Biozide), auch wenn dies bisher nur eine untergeordnete Rolle spielt.

(8) Methanolrückgewinnung

Das in den Waschwässern bzw. in der Glycerinphase enthaltene Methanol wird destillativ zurückgewonnen und in die Umesterung bzw. Veresterung zurückgefahren.

(9) Veresterung

Freie Fettsäuren werden mit Hilfe saurer Katalysatoren (Schwefelsäure, Alkylarylsulfonsäuren o.ä.) mit Methanol zu einem Roh-FAME verestert. Dieser wird entweder ebenso wie der Roh-FAME aus der Umesterung weiterverarbeitet oder in eine der Prozessstufen der Umesterung beigegeben.

(10) Salzfällung

Der in der Umesterung gebildeten Glycerinphase enthaltene verbrauchte Katalysator wird durch Zusatz von Mineralsäuren in die entsprechenden Salze umgewandelt. Diese Salze werden in diesem Prozessschritt teilweise ausgefällt und ggf. für die Anwendung oder Entsorgung konditioniert. Es fällt ein Rohglycerin mit technologieabhängigen Glyceringehalten zwischen 60 % und 85 % an.

(11) Glycerinentwässerung

Die (teilweise) entsalzte Glycerinphase wird destillativ weiter eingeeengt. Es entsteht ein technisches Glycerin mit Glyceringehalten > 80 %.

(12) Glycerindestillation

Das technische Glycerin wird anschließend destillativ weiter gereinigt. Dabei fallen die verbliebenen Salze im Destillationsrückstand („Glycerinpech“) an.

(13) Glycerin-Bleichung

In dieser Stufe werden mit Hilfe oberflächenreicher Festkörper (Aktivkohlen, Zeolithe, röntgenamorphe Alumosilicate u.ä.) farbgebende Substanzen aus dem Glycerin durch Adsorption entfernt.

(14) Spaltung Soapstock

Die in der Entsäuerung und in der Umesterung anfallenden Seifen werden mit Mineralsäuren zu Fettsäuren und Mineralsalzen (in wässriger Lösung) gespalten. Die entstehenden Fettsäuren können Endprodukt sein oder in einer Veresterung ebenfalls in Methylester umgewandelt werden.

3.1.3 Vereinfachte Technologiebeschreibung zur Herstellung von Ethanol aus Getreide und Zuckerrüben

3.1.3.1 Allgemeines

Als Ausgangsstoffe für die Ethanolproduktion kommen alle Pflanzenteile in Frage, die einen ausreichend hohen Zucker- bzw. Stärkegehalt aufweisen. Stärke muss zunächst in Zucker umgewandelt werden, bevor die weitere Vergärung zu Ethanol erfolgen kann. Aus diesem Grunde unterscheiden sich die Technologien, die Zucker verarbeiten von denen, die mit Stärke arbeiten, zumindest in den Anfangsprozessenstufen, deutlich.

Die Abbildung 4 und Abbildung 5 geben den typischen Prozessablauf und die in derartigen Anlagen eingesetzten bzw. abgegebenen Stoffe wieder:

Abbildung 4: Typischer Prozessschritt zur Herstellung von Bioethanol, Teil 1

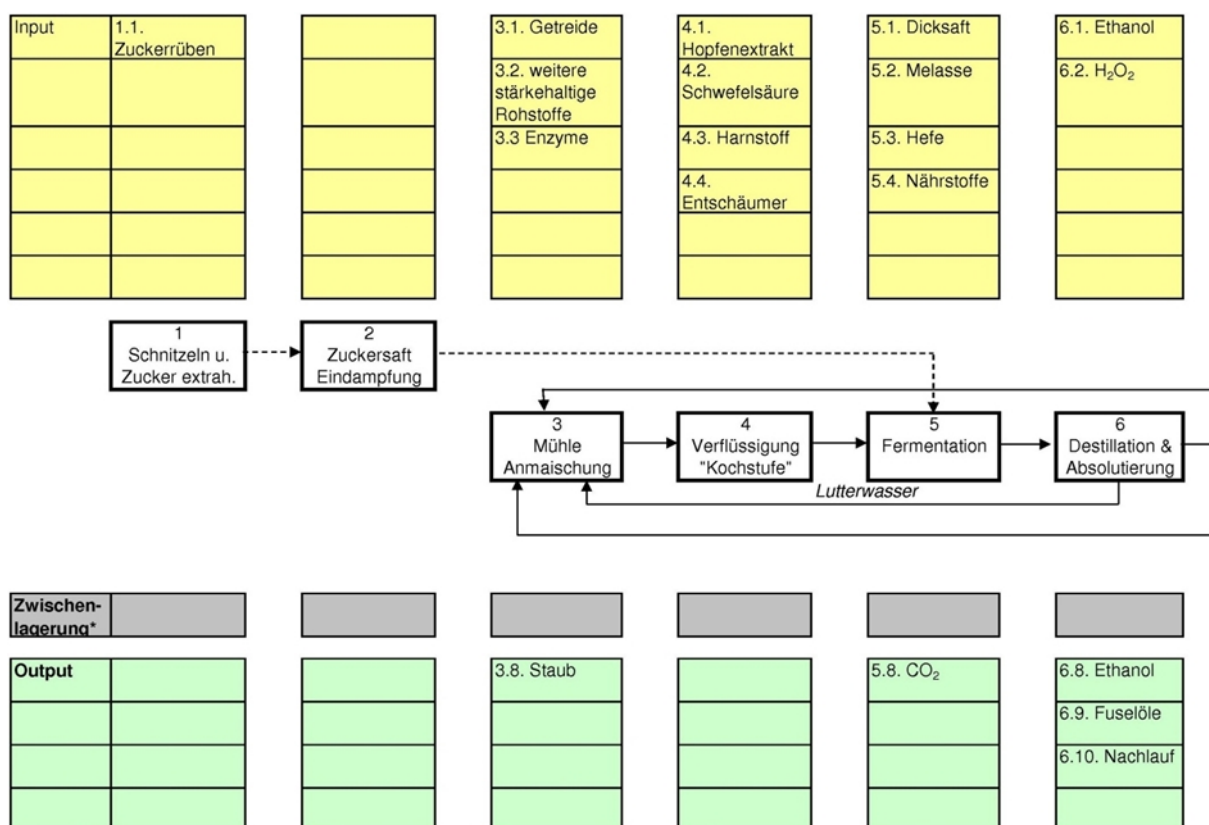
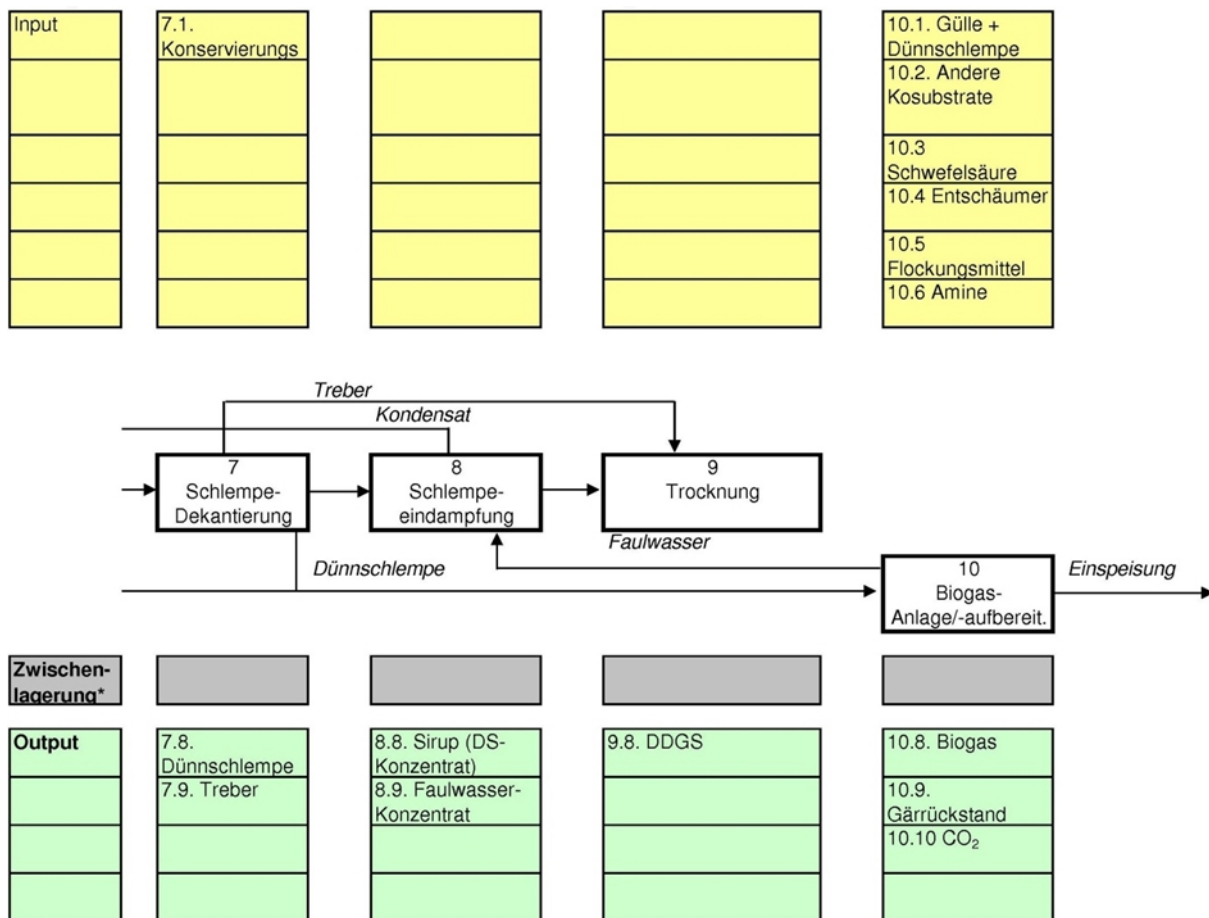


Abbildung 5: Typischer Prozessschritt zur Herstellung von Bioethanol, Teil 2



3.1.3.2 Rübenzuckerherstellung (Prozessschritte 1 und 2)

Anlieferung

Die Zuckerrüben werden mit LKWs (Seiten- oder Rückwärtskipper) zur Zuckerfabrik transportiert und dort entweder trocken oder nass entladen. Bei der trockenen Entladung werden sie mechanisch auf dem Förderband gereinigt, während sie bei der nassen Entladung mit einem sehr starken Wasserstrahl geschwemmt werden. Hierbei werden sie bereits vorgereinigt.

Reinigung und Schneidemaschine

Während der Entladung auf Förderbänder oder direkt im Anschluss daran, werden die Zuckerrüben gründlich mit Wasser gereinigt und der eigentlichen Verarbeitung zugeführt. Nach der Reinigung werden die Zuckerrüben zerkleinert.

Saftreinigung und Rohsaft

Die kleinen Schnitzel werden mit heißem Wasser in Extraktionstürmen erhitzt. Bei etwa 70° C löst sich der Zucker aus den Zuckerrübenzellen. Es entsteht der Rohsaft. Er enthält Zucker, aber auch noch diverse organische und anorganische Stoffe der Zuckerrübe. Es sind Stoffe, die eine spätere Kristallisation behindern und deshalb im weiteren Verarbeitungsprozess abgetrennt werden müssen.

Die anfallenden Nebenprodukte werden wieder dem natürlichen Kreislauf zugeführt. Die gepressten Rübenschnitzel werden als Viehfutter verwendet. Der bei der Saftgewinnung entstehende Carbokalk wird als Dünger verwendet.

Dünnsaft

Der Rohsaft wird gereinigt, indem Zucker- von Nichtzuckerstoffen getrennt werden. Bei diesem Prozess werden Kalk und Kohlensäure, beides natürliche Stoffe, eingesetzt. Sie binden 30 – 35 % der Nichtzuckerstoffe, so dass schließlich ein klarer Saft mit etwa 16 % Zucker zurückbleibt. Dieser wird Dünnsaft genannt.

Dicksaft

Der entstandene Dünnsaft wird in mehreren Schritten durch Verdampfung eingedickt. Nach der Eindickung bleibt ein Saft übrig, der etwa 65 – 67 % Zucker enthält und Dicksaft genannt wird.

Kristallisation

Um Zuckerkristalle zu gewinnen, muss der Dicksaft gekocht werden, bis sich goldfarbige Kristalle bilden. Dem Dicksaft wird bei reduziertem Druck zusätzliches Wasser entzogen bis eine bestimmte Konzentration an Zucker im Saft erreicht ist.

Als Vorbereitung der späteren Kristallisation werden diesem Saft kleine Zuckerkristalle (Impfkristalle) zugegeben. Danach wird weiteres Wasser entzogen. Die Kristalle wachsen weiter bis sie die geplante Größe erreicht haben.

Diese sogenannte „Kochmasse“ besteht nunmehr aus etwa 50 % Zucker und 50 % Sirup.

Zentrifugieren und Kristallzuckerherstellung

Der verbleibende Saft, die Kochmasse, wird nunmehr in Kristallisationsmaischen gefüllt und dort heruntergekühlt. Die Zuckerkristalle nehmen an Größe zu. Schließlich wird diese Masse in Zentrifugen geleitet, wo die Zuckerkristalle mit bis zu 1.400 Umdrehungen/Minute vom Sirup getrennt werden. Das Zentrifugieren wird mehrmals wiederholt, bis weißer Kristallzucker entsteht.

Zucker

Der Zucker wird anschließend getrocknet und auf eine lagerfähige Temperatur heruntergekühlt und in Zuckersilos eingelagert.

Melasse

Der Sirup der letzten Kristallisation wird als Melasse bezeichnet. Obwohl sie immer noch etwa 50 % Zucker beinhaltet, kann ihr mit den bekannten Methoden der Kristallisation kein weiterer Zucker entzogen werden.

3.1.3.3 Bioethanolherstellung (Prozessschritte 3 bis 9)

(3) Anlieferung/Reinigung, Mühle/Anmaischung

Die Anlieferung des Getreides erfolgt über LKWs. Das Getreide wird vor der Verarbeitung gereinigt. Der anfallende Staub wird in eine Kompostieranlage gebracht.

Das gereinigte Getreide wird für einen optimalen Prozessablauf möglichst fein vermahlen, mit temperierter Flüssigkeit (Wasser, Dünnschlempe, Zirkulationswässer) in einem bestimmten Mischungsverhältnis zur sogenannten Maische eingeteigt und mit den Verflüssigungsenzymen versetzt. Die Temperatur der Maische liegt unterhalb der jeweiligen Verkleisterungstemperatur der im Getreide enthaltenen Stärke.

(4) Verflüssigung (Kochstufe)

Diese Prozessstufe ist notwendig, um die Stärke zum Aufquellen zu bringen und die Viskosität der Maische zu reduzieren.

Gleichzeitig wird im Verweilbehälter der notwendige pH-Wert der Maische mit Schwefelsäure eingestellt. Weiterhin besteht hier die Möglichkeit eventuell notwendige Hefenährstoffe (z.B. Harnstoff), Entschäumer, Hopfenextrakt etc. der Maische zuzugeben.

Nach Ablauf einer festgelegten Verweilzeit wird die Maische auf die für die Gärung nötige Temperatur abgekühlt und die Verzuckerungsenzyme zugesetzt.

(5) Fermentation

Die so vorbereitete Maische wird in den Fermentern mit einer vorgelegten Gärhefe versetzt, welche die vergärbaren Zucker in Alkohol und CO₂ umsetzt.

Bei der Verarbeitung von Dicksaft/Melasse entfallen die Verarbeitungstufen 3 und 4.

Diese zuckerhaltigen Rohstoffe werden nach Verdünnung direkt in Stufe 5 eingesetzt.

Ebenfalls können hier im Bedarfsfall weitere Hefenährstoffe zugeführt werden.

(6) Destillation / Absolutierung des Ethanols

Der bei der Fermentation gebildete Alkohol wird aus der Maische destillativ abgetrennt.

Es entsteht ein Alkohol – Wasser – Gemisch mit ca. 50 % Alkoholanteil (Rohalkohol) und eine sogenannte Schlempe, die die restlichen Bestandteile (gelöst und ungelöst) der eingesetzten Rohstoffe enthält.

In einer zweiten Destillationsstufe (Rektifikation) entsteht ein Alkohol – Wasser – Gemisch mit ca. 95 % Alkoholanteil und ein alkoholfreies, sogenanntes Lutterwasser, das bei der Anmischung wieder eingesetzt wird.

Gleichzeitig können hier unerwünschte Gärungsnebenprodukte (Fuselöl, Nachlauf) abgetrennt werden.

In einer dritten Stufe (Absolutierung) wird dem Alkohol mittels Molekularsieben oder anderen Technologien das restliche Wasser entzogen, so dass die Alkoholkonzentration des Endproduktes mindestens 99,8 % beträgt. Neben der Anwendung von Molekularsieben kann eine Absolutierung auch durch nacheinander geschaltete Destillationen auf zwei verschiedenen Druckstufen oder durch einfache Destillation unter Verwendung eines Schleppmittels (typisch: aromatische Lösungsmittel) erreicht werden. Unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit bzw. dem Umgang mit gefährlichen Stoffen werden letztere zwei genannte Prinzipien praktisch nicht mehr angewandt.

Prinzipiell ist in vielen Anlagen auch die Aufbereitung von wasserhaltigem Alkohol aus kleineren Brenneihen vorstellbar. In diesem Falle würde das angelieferte Zwischenprodukt direkt in die Rektifikation der Prozessstufe 6 geführt.

(7) Schlempe-Dekantierung

Die in der ersten Destillationsstufe anfallende Schlempe wird mittels Dekanter von Feststoffen befreit.

Es entsteht Dünnschlempe und ein sogenannter Treber. Die Dünnschlempe wird teilweise in den Prozess zurückgeführt bzw. als Futter- oder Düngemittel angeboten, oder durch Eindampfen (8) zu Sirup aufkonzentriert.

Der anfallende Treber wird direkt als Futtermittel (mit Konservierungsstoff) angeboten oder zusammen mit dem Sirup aus der Eindampfung getrocknet (9). Hierdurch gewinnt man ein hochwertiges Futtermittel (DDGS).

(8) Schlempeeindampfung / Faulwassereindampfung

siehe (7)

Die Eindampfung kann auch für die Aufkonzentrierung des in der Biogasanlage anfallenden Faulwassers genutzt werden.

(9) Trocknung

siehe (7)

3.1.3.4 Biogas-Anlagen/Gasreinigung (Prozessschritt 10)

Alternativ dient die Dünnschlempe, evtl. versetzt mit Kosubstraten, als Ausgangsrohstoff für die Biogasproduktion. Das dabei gewonnene Biogas wird gereinigt, verdichtet, ins Erdgasnetz eingespeist oder in einem örtlichen Blockheizkraftwerk in elektrische Energie und Wärme umgesetzt.

Die ausgegorene Dünnschlempe (Faulwasser) wird in der Eindampfanlage (8) aufbereitet. Es entstehen ein Kondensat, das in die Anmaischung zurückgeführt wird, und ein Konzentrat, welches wertvolle Pflanzennährstoffe enthält und als Düngemittel vermarktet werden kann.

3.2 Ermittlung relevanter Literatur und ergänzender Informationen

Aufgrund des öffentlichen Interesses und des regulatorischen Drucks ist in den vergangenen 10 Jahren eine Vielzahl von Studien angefertigt worden, die sich mit der Ökobilanz bzw. CO₂-Bilanz der Biokraftstoffproduktion beschäftigen. In den letzten fünf Jahren ist verstärkt die gesamte Kette von der landwirtschaftlichen Erzeugung bis zur Endverwendung im Sinne der Ermittlung der Treibhausgasemissionen sowie der Auswirkung auf indirekte Landnutzungsänderungen (ILUC) untersucht worden. Die jeweilige Produktionstechnologie ist dabei nur am Rande soweit berücksichtigt worden, wie es für die Aufstellung der Bilanzen auf der Basis von typischen Mengenflussbildern erforderlich war. Betrachtungen zu weiteren Emissionen über CO₂ hinaus erfolgten dabei ausschließlich bei Stoffen, bei denen eine hohe Relevanz als Treibhausgas zu erwarten ist (z.B. Stickoxide als parasitäre Abbauprodukte von Düngemitteln oder die parasitäre Emission von Methan). Im Rahmen der Ermittlung der relevanten Literatur sind die wichtigsten derartigen Studien (siehe [3.3.2 bis 3.3.7]) im Hinblick auf konkrete Technologieaussagen überprüft worden. Im Ergebnis wurde jedoch festgestellt, dass Technologien allenfalls im Überblick betrachtet wurden, jedoch weder Details noch die verwendeten Quelldaten publiziert wurden.

Der Auftragnehmer setzt bei der Bearbeitung der gestellten Aufgabe über die Informationen aus Studien und anderen wissenschaftlichen Zusammenfassungen auch eigenes Knowhow ein, das im Zusammenhang mit der Betreuung von Mitgliedsunternehmen der AGQM sowie bei Aufträgen für Dritte gewonnen wurde soweit die Informationen nicht einer mit den Partnern vereinbarten Geheimhaltung unterliegen bzw. zur Benachteiligung der Betroffenen im Wettbewerb führen.

Um sicherzustellen, dass alle derzeit verfügbaren und relevanten Informationen berücksichtigt sind, wurden durch den Auftragnehmer neben der vom UBA angegebenen Leitstudie weitere Studien bzw. Sammelwerke ermittelt, die zumindest anteilig Technologieinformationen enthalten. Eine nach Auftragserteilung vom UBA erbetene nochmalige Überprüfung des hausinternen Literaturpools auf Vorhandensein weiterer Untersuchungen kam zu einem negativen Ergebnis.

Ergänzend zu den genannten Aktivitäten erfolgte die spezifische Auswertung einer seit zwei Jahren von der AGQM durchgeführten internationalen Patentrecherche. Wenngleich inzwischen in der Biodieselbranche nur noch graduelle Technologieänderungen im Sinne einer Prozessoptimierung stattfinden, soll auf diese Weise sichergestellt werden, dass mögliche zukünftige Entwicklungspotenziale berücksichtigt sind, soweit Auswirkungen auf den Anfall von Abfallstoffen, Abwasser und auf die Emissionen erwartet werden.

3.3 Auswertung von Studien und Reviews

3.3.1 Erfassungs- und Bewertungsumfang für Studien und vergleichbare Literatur

Zur Sicherung der Vergleichbarkeit der Auswertung der verfügbaren Studien sowie des Sammelbandes „The Biodiesel Handbook“ wurde zur Orientierung der nachstehende Erfassungs- und Bewertungsumfang festgelegt. Aussagen, die das Thema des Vorhabens nicht direkt betreffen, sollen der Vollständigkeit halber stets mit genannt, aber nicht vertieft dargestellt werden.

Allgemeines

- ▶ Vollständiges Literaturzitat (für ein späteres Quellenverzeichnis) in der Form: Autor(en), Titel, Verlag/Zeitschrift/herausgebende Organisation/Veranstaltung, Jahrgang, Jahr, Seite(n)
- ▶ Weitere bibliographische Angaben
- ▶ Hintergrund zur Anfertigung des Dokuments (soweit zutreffend bzw. ermittelbar)
- ▶ Hauptinhalt der Studie in Schlagworten
- ▶ Wesentliche im Dokument gezogene Schlussfolgerungen (auch dann, wenn sie nicht direkt das Thema des UBA-Forschungsvorhabens betreffen)

Methodik, Qualität und Eignung

- ▶ Auf welcher Basis wurden die Angaben ermittelt (Befragung von Unternehmen, amtliche Statistik (EU bzw. national), Auswertung anderer öffentlich zugänglicher Daten, Angaben von Verbänden und ähnlichen Organisationen, Bilanzbetrachtungen o.ä.)?
- ▶ Sind die jeweiligen erfassten Primärdaten im Dokument enthalten (oder nur davon abgeleitete Größen; sind die Primärdaten anderweitig zugänglich)?
- ▶ Sind die Betrachtungen „umfassend“ (oder werden nur spezielle Aspekte berücksichtigt)?
- ▶ Sind die Ergebnisse bzw. Schlussfolgerungen nachvollziehbar?
- ▶ Einschätzung der Eignung des Dokuments für das UBA-Vorhaben FKZ 371243314 05

Aussagen zur Technologie der im Dokument berücksichtigten Produktionsanlagen

- ▶ Charakterisierung der Technologie(n) (Wenn ja: In welcher Form?)
- ▶ Aussagen zu Marktanteilen, Kapazitäten und ähnlich quantitativen Größen
- ▶ Kennziffern zum spezifischen Material- und Energieeinsatz
- ▶ Verwertungsfähigkeit von erzeugten Nebenprodukten (oder alternativ „Abfall“)
- ▶ Aussagen zu Managementsystemen
- ▶ Aussagen zu Umweltauswirkungen

Diese Angaben werden – soweit möglich – tabellarisch erfasst.

Besonderheiten

Es sollen über die genannten Aspekte hinaus wesentliche Aussagen dokumentiert werden, die zu keiner der vorstehenden Rubriken gehören, aber für das Gesamtverständnis wesentlich sind.

3.3.2 Auswertung von „Monitoring zur Wirkung nationaler und internationaler gesetzlicher Rahmenbedingungen auf die Marktentwicklung im Biokraftstoffsektor“ [1]

Hintergrund:

Ziel des Monitorings war es, die Marktentwicklung des deutschen Biokraftstoffsektors und die Lenkungswirkung der aktuellen rahmenpolitischen Maßnahmen und Instrumente zu analysieren und zu bewerten, um die gesetzlichen Regelungen in den Kontext zu den praktischen Erfordernissen des Marktes zu stellen.

Datenbasis:

Literaturrecherche (ab Seite 117 Angaben der Literaturstellen)

Hauptaussagen:

- ▶ Biodiesel Kapazität von 0,35 Mt/a (2000) bis auf 5 Mt/a (2007) angestiegen -> stagnierend bzw. leicht fallende Produktionskapazität; Auslastung der Anlagen bei ca. 50 %; von 50 Biodieselanlagen sind derzeit (2012) ungefähr 37 in Betrieb (Seite 18)
- ▶ Bioethanol: Kapazität von 0,48 Mt/a (2005) auf 1 Mt/a (2011) angestiegen; Auslastung ca. 60 %; 8 Anlagen (von 5.000 t/a bis 285.000 t/a) produzieren; (Seite 19)
- ▶ Rohstoffbasis für den in Deutschland produzierten Biodiesel ist überwiegend Rapsöl (ca. 90 %), Sojaöl (ca. 3 %), Palmöl (0,2 %) und tierische Fette und Altspeiseöle. (Seite 20)
- ▶ Der Biokraftstoffanteil am gesamten Kraftstoffverbrauch in Deutschland sank von 7,2 % in 2007 auf 5,6 % in 2010 (energetisch). (Seite 22)
- ▶ Diagramm für Rohstoffbasis der in Deutschland verbrauchten Biokraftstoffe. (Seite 26)
- ▶ Produktionskapazität für Biodiesel in der EU umfasst 22 Mt/a. (Seite 33)
- ▶ Produktionskapazität für Bioethanol in der EU umfasst 5,8 Mt/a. (Seite 34)
- ▶ In die EU werden große Mengen Biokraftstoff importiert und gleichzeitig bedeutend kleinere Mengen exportiert. (Seite 36)
- ▶ Die Nutzung von Algen als Energieträger ist erst langfristig zu erwarten. (S.56)
- ▶ Internationale Biokraftstoffproduktion ist in den vergangenen 10 Jahren stark gestiegen. (Seite 109)
- ▶ Die international gehandelte Biodieselmenge ist seit 2008 rückläufig, da die produzierten Biokraftstoffe überwiegend national genutzt werden. (Seite 110)
- ▶ Die USA übernehmen in der Produktion von Lignocellulose-Bioethanol eine deutliche Vorreiterrolle. (Seite 109)

Verwertungsfähigkeit von Koppelprodukten:

- ▶ Verwertungsfähigkeit von Koppelprodukten als Tierfutter, in der chemischen Industrie, als Düngemittel und zur Energieerzeugung. (Seite 2)
- ▶ Bei Biodiesel: Rapspresskuchen sind aufgrund des hohen Eiweißgehaltes gute Futtermittel, deshalb Aufarbeitung zu einem transportfähigen Produkt (keine energetische Nutzung) (Seite 58)
- ▶ Bei Biodiesel: Rohglycerin lässt sich als Koppelprodukt verkaufen. (Seite 58)
- ▶ Bei Bioethanol: Aus der anfallenden Schlempe wird das Prozesswasser abgepresst und die Schlempe dann über eine mehrstufige Verdampfung aufkonzentriert, anschließend Trocknung und Pelletierung -> hochwertiges Tierfutter (Bioethanol aus Weizen)(Seite 59)
- ▶ Bei Bioethanol: Schlempe wird zu Biogas vergärt. (Bioethanol aus Triticale) (Seite 59)

Schlussfolgerungen:

Die Gestehungskosten von Biokraftstoffen können nur ein Indikator für die Wirtschaftlichkeit einer Produktion sein. Hinzu kommen gesetzliche Regelungen, die die ökonomischen Nachteile der Biokraftstoffe ausgleichen und die Wettbewerbsfähigkeit gewährleisten sollen. (Seite 61)

Biokraftstoffe können bei derzeitigen (2012) Rohstoffpreisen nicht mit fossilen Kraftstoffen konkurrieren. Mittelfristig ist unter den derzeitigen ökonomischen Rahmenbedingungen und ohne staatliche Subvention nicht von einer Wettbewerbsfähigkeit auszugehen. (Seite 71)

Die Schlussfolgerungen sind nachvollziehbar.

Einschätzung:

In dieser Studie geht es in erster Linie um die Wirtschaftlichkeit des Biokraftstoffsektors in Abhängigkeit der Gesetzgebung. Aussagen zu Technologie werden nur gemacht, um allgemein zu erklären, wie beispielsweise Biodiesel hergestellt wird. Von Interesse könnte S. 25 ff. sein, da es hier um die Rohstoffbasis der Biokraftstoffe geht, welche sicherlich einen Einfluss auf die verwendete Technologie hat. Das übrige Dokument ist für das zu bearbeitende Projekt jedoch ohne Bedeutung.

Schlagworte:

THG, Biokraftstoff-Quoten-Handel-Produktion-Rohstoff-Gesetzgebung (national, international)

3.3.3 Auswertung von „Die Auswahl technisch-wirtschaftlicher Varianten für Biodieselverfahren“ [2]

Hintergrund:

Erstellung einer Marktanalyse zu den im Jahr 2002 üblichen Technologien im Biodieselanlagenbau.

Quantitative Angaben:

400.000 t alternative Rohstoffe in Deutschland verfügbar (z. B. Frittenfett) (Seite 52)

Berechneter Herstellungspreis von Biodiesel (für z. B. 100.000 t/a-Anlagen): 0,83 €/L (Seite 70)

Verwertung der Nebenprodukte:

Tabelle 3: Aussagen zur Verwertungsfähigkeit der erzeugten Nebenprodukte hinsichtlich Technologie / Verfahrensgeber / Anwender nach [2]

Prozessschritt	Verwertungsfähigkeit der Nebenprodukte
Ölgewinnung (allg.)	Anfall von Presskuchen bzw. Extraktionsschrot (15,4 Euro/dt) (Seite 10)
Umesterung (allg.)	Glycerin kann je nach Reinheit entsprechend teuer verkauft werden (hochreines Glycerin bis zu 716 Euro/t)
L.U.T.-Verfahren ⁴	Anfall eines Kopfstroms an Palmitinsäuremethylester (PSM). Verkauf als Mineralöldieseladditiv (Seite 74)
Unilever-Verfahren	In der zweiten Stufe anfallende Katalysatorreste und Seifen können als Grundchemikalien in der Seifenproduktion verwendet werden (Seite 34)
Verfahren der EVVA Schmiermittelfabrik GmbH ⁵	Wasserfreies Glycerin kann an die chemische Industrie verkauft oder zur Wärmeproduktion in der eigenen Anlage genutzt werden. (Seite 36)
ENERGEA-Verfahren ⁶	Kaliumsulfat als Dünger oder getrocknet/gereinigt als Chemikalie (Seite 53)

Kennziffern zum spezifischen Material- und Energieeinsatz (Übersicht Seite 87):

Tabelle 4: Spezifischer Material- und Energieeinsatz nach [2]

Verfahren	Anforderungen an das Öl	Katalysator			Reaktionsbedingungen	
		Reaktionsansatz [mol/mol Öl]	Stoff	Menge in % des Öls	Temperatur [°C]	Druck ⁷ [bar(g)]
Lurgi (kontinuierlich)	entschleimtes, entwässertes Rapsöl	5,5	CH ₃ NaO	0,6	60-70	0
Feld & Hahn I (diskontinuierlich)	voll raffiniert	3,6	NaOH	0,4	70	0
Feld & Hahn II (kontinuierlich)	entschleimt	>3	NaOH	0,7	70	0
Vogel & Noot (dis-	wasser-	4,2	KOH	1,4	Raumtemperatur	0

⁴ Verfahren der Fa. L.U.T. Labor- und Umwelttechnik GmbH mit simultaner Ver- und Umesterung, in-situ-Erzeugung eines sauren Katalysators und einer Produktreinigung mittels fraktionierter Destillation.

⁵ Das Verfahren selbst weist keine Besonderheiten auf. Interessant ist die Einbindung eines Sammel-systems für gebrauchte Fette und Öle aus Haushalten.

⁶ Verfahren der Firma Energea (Österreich), dessen Innovation in einem hochturbulenten statischen Reaktor zur Umesterung besteht.

⁷ Angabe als Überdruck, bezogen auf den normalen Atmosphärendruck.

Verfahren	Anforderungen an das Öl	Katalysator			Reaktionsbedingungen	
		Reaktionsansatz [mol/mol Öl]	Stoff	Menge in % des Öls	Temperatur [°C]	Druck ⁷ [bar(g)]
kontinuierlich)	entschleimt					
Hochdruck-Verfahren (kontinuierlich)	entschleimt	> 3	-	0,15	200	50

Tabelle 5: Stoffbilanz und Energieeinsatz für 1.000 kg Fettsäuremethylester nach [2], Teil 1

Verfahren	Einsatzstoffe und eingesetzte Energieträger								
	Öl	CH ₃ OH	Katalysator	HCl (30 %ig)	Ca(OH) ₂	Zitronensäure	Bleicherde	H ₃ PO ₄ (85 %ig)	Na ₂ CO ₃
Lurgi (kontinuierlich)	1.010	109	6	13,5	0,8	-			1,3
Feld & Hahn I (diskontinuierlich)	1.021	132	4	13	6,4	1			-
Feld & Hahn II (kontinuierlich)	1.040	10	7	20	3		5	2	2,5
Vogel & Noot (diskontinuierlich)	1.044	112	16					20,2	
Hochdruck V. (kontinuierlich)	1.010	135	1,5						

Tabelle 6: Stoffbilanz und Energieeinsatz für 1.000 kg Fettsäuremethylester nach [2], Teil 2

Verfahren	Einsatzstoffe und eingesetzte Energieträger (Fortsetzung)								
	Filterhilfsmittel	Aktivkohle	Stickstoff	Essigsäure	Dampf	Demin. H ₂ O	Kühlwasser	Wärme [kWh]	Elektroenergie [kWh]
Lurgi (kontinuierlich)	2	0,3	1		365	155	25.000	211	16
Feld & Hahn I (diskontinuierlich)		1,3					64.000	483	64
Feld & Hahn II (kontinuierlich)								178	17
Vogel & Noot (diskontinuierlich)			9 m ³	0,3	162		8.000	90	58
Hochdruck V. (kontinuierlich)							62.500	968	30

Tabelle 7: Stoffbilanz und Energieeinsatz für 1.000 kg Fettsäuremethylester nach [2], Teil 3

Verfahren	Output FAME ⁸	Rohglycerin	Fettphase	Filterkuchen	Abwasser (Vakuumsystem)	Rückstand a. Glycerinaufarbeitung	Fettsäuren	verbrauchte Bleicherde	Kaliumhydrogenphosphat
Lurgi (kontinuierlich)	1.000	116 (80 %ig)	3	10	15				
Feld & Hahn I (diskontinuierlich)	1.000	106 (88 %ig)		38	35	8			
Feld & Hahn II (kontinuierlich)	1.000	132 (80 %ig)				18,5	31	7	
Vogel & Noot (diskontinuierlich)	1.000	101 (88 %ig)	76		45				21
Hochdruck V. (kontinuierlich)	1.000	131 (81 %ig)							

⁸ In der Studie wird an dieser Stelle der Begriff RME (Rapsölmethylester) verwendet. Das ist der Tatsache geschuldet, dass zum Zeitpunkt der Anfertigung der Studie in Deutschland nahezu durchgängig RME hergestellt oder dessen Herstellung beabsichtigt wurde. Die Verwendung anderer Rohstoffe wurde zu diesem Zeitpunkt zwar diskutiert, war aber eine Randerscheinung im Markt. Der Systematik halber wurde an allen Stellen, bei denen RME als Synonym für einen beliebigen Methylester verwendet wurde, diese Abkürzung durch den umfassenderen Begriff FAME ersetzt.

Patentierte Verfahren:

Es wurden die zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie relevanten patentierten Verfahren systematisch erfasst. Die in Tab. 6 wiedergegebene Aufstellung scheint jedoch nicht vollständig zu sein, da beispielsweise das von der “Oehlmühle Leer Connemann GmbH & Co KG“ angemeldete Verfahren nicht aufgeführt ist.

Tabelle 8: Patentierte Verfahren nach [2]

Inhaber/ An- melder	Stufen	Öl	Vorveresterung Chemi- kalien	Pro- zesspa- rameter	Beson- derheit	Umesterung Chemikalien	Pro- zesspa- rameter	Beson- derheit	FAME Aufarbeitung	FAME Spezifika- tion
Lion Corporati- on	1. Umesterung 2. FAME- Aufarbeitung	entsäuertes Öl				Metha- nol+Katalysator (NaOH, KOH, Na- Methylat)	60-70 °C, Normal- druck	Schwer- kraft- trennung, Glycerin- phase wird abgezogen	Zugabe von H ₂ O zur Reaktionsmischung →Phasentrennung; Vakuum Wasser und Methanol entfernt, Aktivkohle zur Ent- fernung von färbenden Bestandteilen	
Henkel KgaA I	1. Entsäue- rung/ Vereste- rung 2. Umeste- rung	entschleim- tes Öl (mit viel FFA möglich)	CH ₃ OH+ Katalysa- tor (p- Tolu- olsulfon- säure)	50-100 °C, Nor- maldruck	Glycerin aus der Umeste- rung wird als Extrak- tionsmittel für Kataly- sator Ver- wendet	CH ₃ OH+Na- Methylat	60-65 °C, Normal- druck		mit Wasser gewa- schen	Umeste- rungsgrad 96-97 %
Henkel KgaA II	1. Veresterung 2. Reaktions- wasser- extraktion 3. Umesterung	entschleim- tes Öl	CH ₃ OH+ Katalysa- tor (p- Tolu- olsulfon- säure)	65 °C	Öl/FAME- Phase wird mit Metha- nol/Glyce- rin- Gemisch aus der Umeste- rung ent- wässert.	CH ₃ OH+Na- Me- thylat	65 °C			
Henkel KgaA III	Keine Angabe	entsäuertes Öl				CH ₃ OH+Na ₂ CO ₃ (s)	70 °C, Normal- druck	heterogene Katalyse	überschüssiges Me- thanol wird abge- dampft	
Henkel KgaA	Keine Angabe	entsäuertes Öl				CH ₃ OH+Na- Me- thylat.	70 °C, 3-10 bar	kontinuier- licher Pro-		

Inhaber/ An- melder	Stufen	Öl	Vorveresterung			Umesterung Chemikalien	Pro- zesspa- rameter	Beson- derheit	FAME Aufarbeitung	FAME Spezifika- tion
			Chemi- kalien	Pro- zesspa- rameter	Beson- derheit					
IV								zess in zwei aufei- nander folgenden Rohrreak- toren		
Höchst (AVENSIS)	Keine Angabe	rohes Öl				Na-Methylat +CH ₃ OH(g)	240 °C	Methanol- gas, FME und Glyce- rin werden gasförmig aus dem Reaktor getrieben und an- schließend bei 90 °C konden- siert	FME mit H ₂ O gewa- schen und getrock- net; Glycerin wird mit Waschwasser verei- nigt → Wasser abge- dampft	FAME mit 0,2 % FFS und mit Spuren von Glyce- rin beladen; Gly- cerin Rein- heit von 80-99 %
HÜLS AG	Keine Angabe	rohes Öl				CH ₃ OH +“ Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ “ als Fest- bett	240 °C, 68 bar		Methanol durch ent- spannen ausgetrie- ben	96 % FA- ME, 2,8 % nicht um- gesetzte Glyceride, 0,8 % FFS...
Gaskoks Ver- triebs GmbH	Keine Angabe	entschleimt und entsäu- ertes Öl				CH ₃ OH + NaOH	80 °C, Normal- druck			
Unilever	1. Umesterung 2. ?	Öl möglichst Wasserfrei				Alkohol + Kataly- sator (z.B. Na- Methylat)	50 – 120 °C, Nor- maldruck	Schrittwei- se Zugabe von Me- thanol, vorher	Waschung und Filtra- tion, Destillation	

Inhaber/ An- melder	Stufen	Öl	Vorveresterung			Umesterung			FAME Aufarbeitung	FAME Spezifika- tion
			Chemi- kalien	Pro- zesspa- rameter	Beson- derheit	Chemikalien	Pro- zesspa- rameter	Beson- derheit		
								Abnahme der Glyce- rinschicht; bei der zweiten Stufe wer- den Mono- und Digly- ceride mit FAME wieder zu Triglyceri- den umge- setzt und der ersten Stufe zu- geführt.		
Junek/ Mittel- bach	Keine Angabe	entschleim- tes Öl				KOH + CH ₃ OH(stöchio- metrisch)			Katalysatorreste mit Kationentauscher entfernt	FAME enthält 0,11 % FFS
EVVA Schmiermittel- fabrik	Keine Angabe	wasser- entschleim- tes (Raps-)Öl				KOH+Na- Methylat+CH ₃ OH	80 °C, 1 bar	Rohöl wird mit Calci- umoxid entwäs- sert; über- schüssiges Methanol wird in einem Zyklon- abscheider abge- dampft	Reaktionsgemisch wird mit 75 % Phos- phorsäure neutrali- siert; Reinigung im Separator, anschlie- ßend mehrstufige Dünnschicht- verdampferanlage unter niedrigem Druck verdampft und kondensiert	
DeSmet-	Keine Angabe	fettsäurehal-				Tetrabutyl-	200 °C,	FFS und	Wasserwäsche und	

Inhaber/ An- melder	Stufen	Öl	Vorveresterung			Umesterung			FAME Aufarbeitung	FAME Spezifika- tion
			Chemi- kalien	Pro- zesspa- rameter	Beson- derheit	Chemikalien	Pro- zesspa- rameter	Beson- derheit		
Verfahren		tiges ent- schleimtes Öl				orthotitanat + Methanol	50 bar	Triglyceri- de werden gleichzeitig zu FAME syntheti- siert.	Trocknung	

Schlussfolgerung:

Die Datengrundlage der Studie basiert auf dem Jahr 2001. Dadurch sind die meisten Schlussfolgerungen aus heutiger Sicht nur bedingt nachzuvollziehen bzw. teilweise überholt. Die Technologie der L.U.T. Labor- und Umwelttechnik Jena wurde in der Studie vergleichsweise breit und hinsichtlich der Kenndaten möglicherweise zu optimistisch dargestellt.

Einschätzung:

Aufgrund der alten Datenlage gibt die Studienarbeit einen guten Überblick über die Situation im Biodieselsektor um die Jahrtausendwende und ist sehr hilfreich zur Einarbeitung in das Thema Biodiesel. Für heutige weiterentwickelte Biodieselanlagen (hinsichtlich Technologie und Kapazität) ist sie nicht ausreichend.

Schlagworte:

Biodiesel, Verfahrensübersicht (Jahr 2002), Rohstoffverfügbarkeit

3.3.4 Auswertung der Studie „Assessing grandfathering options under an EU ILUC policy“ Ecofys B.V. [3]

Hintergrund:

Diese Studie wurde angefertigt, um herauszufinden, inwieweit die Bioenergieindustrie von neuen Regelungen (ILUC) der EU betroffen ist und welche Möglichkeiten es unter Berücksichtigung der ILUC für den Bestandsschutz gibt.

Datenbasis:

Literaturrecherche (ab Seite 59 Angaben der Literaturstellen)

Hauptaussagen:

ILUC – Politische Möglichkeiten:

- Erhöhung oder Vorziehen der GHG-Grenzwerte (Treibhausgaseinsparung)
- Einführung von Kulturpflanzen spezifischen Faktoren in der Biokraftstoff GHG-Bilanz
- Zielvorgabe für den Anteil an low-risk-ILUC-Biokraftstoffen am gesamten Biokraftstoffaufkommen

Bestandsschutzmaßnahmen mit verschiedenen Szenarien:

- 1 Produktionskapazitäten (errichtet bis 2013) werden bis 2017 geschützt
- 2 50 % der Produktionskapazität (errichtet bis 2013) werden bis 2017 geschützt
- 3 Produktionen mit Rohstoffen von Agrarland, welches im Januar 2008 zum Energierohstoffanbau genutzt wurde
- 4A wie 1 + 2018-20 Schutz in Höhe des Biodieselvebrauchs in 2010
- 4B Biodieselproduktion von 106 Mt von 2014-20

Schlussfolgerung:

Szenario 4B ist am besten geeignet, um Investments und Jobs zu sichern und zugleich ILUC bedingte Emissionen zu verhindern. Die Schlussfolgerung ist nachvollziehbar.

Einschätzung:

Für die Lösung der Aufgabenstellung ungeeignet, da Technologie- und Managementaspekte praktisch nicht berücksichtigt sind.

Schlagworte:

ILUC-Emissionen, Bestandsschutz, Biodiesel, Bioethanol

3.3.5 Dissertation „Bioenergy development pathways for Europe; Potentials, costs and environmental impacts“, De Witt [4]

Hintergrund:

Dissertation

Ziel:

Das Ziel der Arbeit war es, die Entwicklungswege für Bioenergie zu evaluieren, in dem die Voraussetzungen, der langfristige wirtschaftliche Ausblick und der Einfluss auf die Umwelt beurteilt werden.

Datenbasis:

Literaturrecherche (ab Seite 190: Angaben der Literaturstellen)

Hauptaussagen:

Der summierte maximale Energiegehalt aller nachwachsenden Rohstoffe in Europa liegt im Jahr 2030 bei ca. 27,7 EJ/a.

Simulationen zeigen, dass in der europäischen Landwirtschaft große Biomasseproduktionen in Kombination mit der Nahrungsmittelproduktion auf dem derzeitigen Niveau ohne zusätzliche ILUC möglich sind.

Größen unabhängiges Lernen (bessere Technologie) reduzierte die Kosten der Ethanolproduktion um 25-50 %.

S. 140, Tab. 6-2: Technisch-ökonomischer Überblick über die Biomasse zu Biokraftstoff Technologie (mit Größe, Investmentkosten, O&M-Kosten, Ausbeute Produkt und Nebenprodukt)

Potenzial zur Kostensenkung ist bei Biokraftstoffen der 2ten Generation deutlich höher als bei der ersten.

Bei moderaten Investkosten werden neu entwickelte Biokraftstoffe zeitnah nach der Entwicklung auf den Markt kommen.

Produktionskosten für Biokraftstoffe der ersten und zweiten Generation liegen im Bereich der Kosten für fossile Kraftstoffe.

Verschiedene Vorteile der Bioenergie sorgen für eine vermehrte Nutzung. Vorteile sind die einfache Substituierung von fossilen Kraftstoffen, sauber produzierte Bioenergie spart GHG Emissionen und sie nutzt die vorhandene Energieinfrastruktur.

Durch Bioenergie können auch Nachteile entstehen, z. B. Abholzung zum Anbau neuer Energiepflanzen.

Die mögliche maximale Fläche zum Anbau von Biomasse zur Energiegewinnung in Europa beträgt im Jahr 2030 90 Millionen ha (unter der Voraussetzung des „food first“-Paradigmas).

Der maximale Energiegehalt von Biomasse für Energiepflanzen beträgt in Europa zwischen 1,6 und 14,1 EJ/a im Jahr 2030.

Schlussfolgerungen:

Die Schlussfolgerungen sind nachvollziehbar, wobei darauf hingewiesen werden muss, dass die Zahlen nur aus Modellen stammen. Hierbei besteht die Möglichkeit falscher Annahmen bzw. inadäquater Modelle.

Einschätzung:

Diese Dissertation ist für das zu bearbeitende Projekt nur sehr eingeschränkt verwendbar. Als interessanter Punkt ist die Seite 140 zu benennen. Der Inhalt dieser Studie befasst sich nur insoweit mit Produktionstechnologien für Biokraftstoffe, als dass „historische“ und „fiktive“ Verbesserungen angenommen werden, welche dann zu Produktionskostensenkungen führen. Detailliert wird auf die Verbesserungen und Fortschritte aber nicht eingegangen.

Schlagworte:

Wirtschaftliche Entwicklung von Biokraftstoffen, Biomassepotenzial in Europa

3.3.6 Auswertung der Druckschrift „Biodiesel Produktion Technology“, Van Gerpen, Clements, Knothe et al. [5]

Hintergrund:

Es handelt sich um eine lehrbuchartige Darstellung, die Grundlagen zur Biodieselproduktionstechnologie vermittelt.

Datenbasis:

Zur Datenbasis wurde keine direkte Aussage getroffen. Nach zwei Kapiteln (10, 12) sind Literaturangaben ausgeführt, und Kapitel 8 basiert auf einer Patentauswertung.

Hauptaussagen:

Der Qualitätsstandard für Biodiesel⁹ ist festgelegt im Standard ASTM D 6751 – 02. (Seite 22)

Zur Nutzung von Dieselkraftstoffen bei kaltem Wetter ist der Cloudpunkt die limitierende Größe¹⁰. (Seite 25)

Bei basisch katalysierten Umesterungen wird ein Verhältnis von 6 mol Alkohol zu 1 mol Triglycerid eingesetzt, obwohl nur stöchiometrisch ein molares Verhältnis von 3:1 für die Reaktion benötigt werden würde. Dies führt zu einer Verschiebung des Reaktionsgleichgewichts auf die Seite des FAME. (Seite 31f.)

⁹ Dieser Standard gilt ausschließlich für die USA. Je nach Region haben sich die Länder entweder an diese Norm oder an die europäischen EN 14214 angelehnt. Wenngleich weiterhin erhebliche Unterschiede zwischen beiden Normungsansätzen bestehen, sind in weiterentwickelten Versionen der ASTM D 6751 eine Reihe von Prüfverfahren aus der EN 14214 übernommen worden.

¹⁰ Die Aussage ist nur bedingt zutreffend. Eine bessere Annäherung an die „Fahrbarkeit“ von Dieselkraftstoffen stellt der Parameter Cloud Filter Plugging Point (CFPP, EN116) dar. Der CFPP-Wert ist daher auch Bestandteil der europäischen EN 590 für Dieselkraftstoffe und der EN 14214 für Biodiesel.

Der Grund für den Einsatz von Methanol statt Ethanol ist, dass Methanol kein Azeotrop mit Wasser bildet und deshalb deutlich leichter entfernt werden kann.

Natriummethylat wird als 25 %ige Lösung in Methanol als Katalysator eingesetzt. Dieser Katalysator ist wirkungsvoller als NaOH in Methanol. Der Grund dafür ist wahrscheinlich das in-situ entstehende Wasser. (Seite 33)

Auf Seite 34 werden das Prinzip eines Batchreaktors und die zugehörige Produktionsweise beschrieben.

Auf Seite 35 wird in Übersichtsform dargestellt, wie das Verfahren in kontinuierlicher Weise durchgeführt wird (Prinzipien: Kontinuierliche Rührkessel(-kaskaden) bzw. Strömungsrohre).

Der maximale Anteil an freier Fettsäure (FFA) im Öl bei basisch katalysierten Umesterungen beträgt ca. 2 %, wobei < 1 % angestrebt wird. (Seite 36)

Der Hauptkostenfaktor in der Biodieselproduktion sind die Kosten für den Rohstoff. (Seite 40)

Auf der Seite 67f. werden Separationstechniken für die Trennung von Ester und Glycerol beschrieben (Dekanter, Zentrifuge und Hydrozyklon).

Die Esterwäsche produziert 1 L Abwasser für 1 L Ester. (Seite 77)

Methanol muss im Prozess vollständig recycelt werden und Glycerin sollte als ökonomisch wichtiges Koppelprodukt soweit wie möglich aufgearbeitet werden. (Seite 77)

Auf der Seite 79f wird der Ölmühlenprozess beschrieben.

Für eine Biodiesel-Produktions-Anlage besteht das größte Risiko im Umgang mit Methanol. (Seite 93)

Informationen zu den typischen FFA-Gehalten von Rohstoffen:

Tabelle 9: Zulässige FFA-Gehalte in Rohstoffen für die Biodieselproduktion nach [5]

Stoff	FFA-Anteil
Raffiniertes Pflanzenöl	< 0,05 %
Rohes Pflanzenöl	0,3 – 0,7 %
Restaurant-Altfolge	2 – 7 %
Tierische Folge	5 – 30 %
Abscheiderfolge	40 – 100 %

Verwertbares Nebenprodukt:

Das Nebenprodukt beim Wasser-Degumming kann als Einsatzstoff zur Lecithin-Produktion eingesetzt werden. (Seite 81)

Schlussfolgerungen:

Es werden nur Informationen übermittelt und keine Schlussfolgerungen gezogen.

Einschätzung:

Die Grundlagen und teilweise darüber hinaus gehende Details der Biodieselproduktion sind in der Druckschrift sehr detailliert und verständlich beschrieben. Aktuelle Entwicklungen kann das Buch aber nicht enthalten, da es 2004 veröffentlicht wurde. Daher ist es zur aktuellen Betrachtung der Technologie in der Biokraftstoffbranche nur eingeschränkt verwendbar.

Schlagworte:

Biodieselproduktion, Pflanzenöl, Umesterung, Patent

3.3.7 Auswertung der „Best Case Study Biodieselproduktion“, Berger [6]

Hintergrund:

Diplomarbeit, verwendet als Zuarbeit für die Internationale Energieagentur, Task 39.

Ziel:

Ursprünglich als Best-Case-Study angelegt.

Erstellung einer Dokumentation zum Stand der Entwicklung, Produktion, Nutzung, Marketing und gesetzlichen Rahmenbedingungen der Biodieselswirtschaft.

Datenbasis:

Befragung von Biodieselproduzenten mit standardisierten Fragebögen und deren Auswertung, ergänzt um eine Literaturrecherche.

Hauptaussagen:

Seite 2 enthält die relevanten Beurteilungskriterien für Biodieselanlagen.

In den Ländern, in denen die Vorteile der Biotreibstoffe erkannt und geeignete gesetzliche Rahmenbedingungen geschaffen wurden, ist diese Alternativenenergie auch erfolgreich eingeführt worden. (Seite 5)

Pflanzenöl wird umgeestert, um die Viskosität zu verringern. (Seite 6)

Immer höhere Anforderungen an eine gleichbleibende und den Normen entsprechende Produktqualität waren die Triebfeder für die Umstellung von diskontinuierlichen zu kontinuierlichen Prozessen. (Seite 8)

Biodiesel aus Tierfett leistet einen Beitrag zur Kostenbegrenzung bei der Tierkörperbeseitigung. (Seite 11)

Die Biodieselproduktion in Europa hat sich vom Jahr 1992 zum Jahr 2001 auf 780.000 t vervierzehnfacht. (Seite 30)

Die Produktion und der Verbrauch von Biodiesel hinken den Kapazitätserweiterungen deutlich hinterher. Gründe dafür sind, dass hauptsächlich Investitionen in neue Werke vorgenommen und die Marktentwicklung vernachlässigt wurden. (Seite 31)

Tabelle 10: Übersicht über die in der Studie [6] untersuchten Anlagen zur Herstellung von Biodiesel

Name	Ort	Infrastruktur	Rohstoff	FFA	Öl (1000 kg) zu Biodiesel (x kg)	Lagerkapazität Biodiesel	Produktionsart	Kapazität [t/a]	Anzahl Beschäftigte	Investitionssumme
ADM Ölmühle Leer Connemann GmbH & Co. KG	Leer (D)	Gleis, Fluss	Pflanzenöl	ca. 1 %	1.000	2.400 m³ (max. 1 Woche)	kontinuierlich	110.000	25	10,5 Mio. €
Biodiesel Schwarzheide GmbH	Butzbach (D) ¹¹	Gleis	Pflanzenöl	-	980	-	kontinuierlich	100.000	43	25 Mio. €
Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH	Magdeburg (D)	Fluss, Kanal	Pflanzenöl	ca. 0,05 %	980	< 1Monat	kontinuierlich	64.000	22	20 Mio. €
EOP ElbeOel Prignitz AG	Falkenhagen (D)	-	Rapsöl	ca. 1 %	995	-	kontinuierlich	35.000	9	-
MUW Mitteldeutsche Umesterungswerke GmbH & Co KG	Greppin (D)	Gleis	Pflanzenöl	ca. 3 %	980	12.000 m³	kontinuierlich	150.000	21	25 Mio. €
NEW-Natural Energy West GmbH	Marl (D)	Gleis, Kanal	Pflanzenöl	ca. 0,05 %	995	4.200 m³	kontinuierlich	100.000	14	12 Mio. €
RBE-Rheinische Bio Ester GmbH & Co KG	Neuss (D)	Gleis	Pflanzenöl	ca. 3 %	978	3.000 m³	kontinuierlich	100.000	10	-
Saria Bioindustries GmbH	Malchin (D)	-	tierische Fette	ca. 20 %	970	700 m³	diskontinuierlich	12.000	10	10 Mio. €
TMEW-Thüringer Methylesterwerke GmbH & Co KG	Niederpölnitz (D)	Gleis	Öl, Fett	ca. 20 %	1.000	-	kontinuierlich	45.000	14	14,5 Mio. €
Diester Industries	Grand Courone (F)	Gleis, Fluss	Pflanzenöl	-	-	-	kontinuierlich	250.000	35	-

¹¹ Damaliger rechtlicher Sitz des Unternehmens. Die Anlage befindet sich in Schwarzheide.

Ermittlung des Standes der Technik der Herstellung von Biokraftstoffen unter Berücksichtigung der verschiedenen Produktionstechniken und Umweltauswirkungen

Name	Ort	Infrastruktur	Rohstoff	FFA	Öl (1000 kg) zu Biodiesel (x kg)	Lagerkapazität Biodiesel	Produktionsart	Kapazität [t/a]	Anzahl Beschäftigte	Investitionssumme
Fox Petroli	Vasto (IT)	Hafen	Pflanzenöl	-	-	< Monatsproduktion	diskontinuierlich	100.000	32	-
Novaol srl	Livorno (IT)	Hafen, Gleis	Pflanzenöl	-	-	< Monatsproduktion	semikontinuierlich	80.000	35	-
BDK Biodiesel Kärnten GmbH	Arnolstein (AT)	-	Öl, Fett	ca. 20 %	> 920	2.000 m³	semikontinuierlich	25.000	14	14,5 Mio. €
Biodiesel Raffinerie GmbH	Zistersdorf (AT)	-	Öl, Fett	ca. 5 %	1.000	< Monatsproduktion	kontinuierlich	40.000	10	5 Mio. €
Ekoil Biodiesel, s.r.o.	Zohor (SV)	-	Öl	ca. 6 %	970	< Monatsproduktion	kontinuierlich	40.000	20	2 Mio. €
Stocks del Valles S.A.	Montmelo (ES)	-	Altspeiseöl, Altfette	ca. 20 %	1.000	< Monatsproduktion	diskontinuierlich	6.000	14	4,5 Mio. €
Agropodnik,.....,Jihlava	Polná (CZ)	Gleis	Pflanzenöl	ca. 2 %	980	< Monatsproduktion	diskontinuierlich	50.000	12	8 Mio. €

Verwertbares Nebenprodukt:

Destillationsrückstand bei der Biodiesel Destillation wird als Brennstoffzusatz verwendet. (Seite 97)

Schlussfolgerungen:

Die Eigenevaluierung der „Best-Case“ Kriterien deutscher Unternehmungen zeigt klar, dass die Technik sowie die verlässliche Prozesssteuerung verbunden mit gleichbleibender hoher Produktqualität und großen Ausbeuten, nach eigenen Angaben, keinerlei Probleme mehr darstellen sollte. (Seite 119)

Flexibler Rohstoffeinsatz und große Lagerkapazitäten werden bei steigenden Rapsölpreisen in Zukunft an Bedeutung gewinnen. (Seite 120)

Der Umsatz pro Beschäftigtem steigt mit der Höhe der Kapazität. (Seite 124)

Bei Biodieselanlagen nehmen die Investitionskosten pro Tonne mit zunehmender Kapazität ab. (Seite 125)

Die Ertragskraft der Unternehmen ist stark vom Rohmaterialpreis des Rapsöls abhängig. (Seite 129)

Einschätzung:

Die Diplomarbeit ist aufgrund des Zeitpunktes der Erstellung (2003) nur eingeschränkt für das zu bearbeitende Projekt nutzbar. Dennoch werden einige Biodieselanlagen in Europa auf ihre Grundparameter (Kapazität, Infrastruktur, Rohstoffbasis, Prozessführung, ...) hin betrachtet. Auf Technologie bzw. Verfahren wird nicht detailliert eingegangen. Da überwiegend eigene Einschätzungen durch die Unternehmen herangezogen wurden, ist ein Vergleich im Sinne einer „Best-Case-Study“ nach objektiven Kriterien nicht möglich.

Schlagworte:

Biodieselanlagenbauer, Länderspezifische historische Biodieselenwicklung, Biodieselanlagen in Europa

3.3.8 Auswertung des Sammelbandes „The Biodiesel Handbook“, [7] und [8]

Hintergrund:

Das Sammelwerk „The Biodiesel Handbook“ (erschienen 2005) ist nach einer ersten Auflage [7] im Jahre 2010 aktualisiert worden und als zweite Auflage [8] erschienen. Ziel war eine umfassende Darstellung, die sowohl Aussagen zur prinzipiellen Herstellungstechnologie und den Eigenschaften von Biodiesel sowie zur Analytik des Produkts vornimmt, aber sich darüber hinaus mit der Anwendung des Produkts einschließlich der motorischen Emissionen und der Toxikologie beschäftigt. Abgerundet wird die Darstellung durch regionalspezifische Informationen über den Status der jeweiligen Industrie, den Markt und die zugrunde liegenden regulatorischen Prinzipien.

Datenbasis:

Review. Jeder Artikel ist mit einer umfassenden Literaturliste versehen.

Hauptaussagen (zu Verfahrensaspekten):

Gegenüber der klassischen „Verlust“-Katalyse mittels NaOH, KOH oder den entsprechenden Methylenen wird die Möglichkeit einer homogenen Katalyse in einem einphasigen System als mögliche Alternative diskutiert. Hierzu ist die Zugabe eines speziellen Lösungsmittels notwendig, beispielsweise Tetrahydrofuran. Obwohl in Laboruntersuchungen auf diese Weise eine erhebliche Reaktionsbe-

beschleunigung festgestellt wurde, bereitet die Abtrennung des zusätzlichen Lösungsmittels erhebliche Schwierigkeiten.

Alternativ wird der Weg verfolgt, Fette und Öle (insbesondere solche aus Recyclingprozessen) zunächst zu freien Fettsäuren umzuwandeln und diese anschließend sauer katalysiert zu verestern. Der Weg erscheint insbesondere bei stark verunreinigten Rohstoff sinnvoll, zumal die freien Fettsäuren durch verschiedene Prozesse vergleichsweise effektiv von Nebenkomponenten gereinigt werden können. Bei einer solchen Veresterung muss mit einem hohen Methanolüberschuss und einer hohen Säurekonzentration gearbeitet werden. Dabei ist mit erheblichen parasitären Nebenreaktionen zu rechnen, die negativ zu Buche schlagen.

Auch eine heterogene Katalyse wird näher betrachtet. Grundsätzlich sind supersaure Katalysatoren (z.B. auf der Basis Zr/W/P) bzw. entsprechend modifizierte Polymere (z.B. mit Sulfonsäuregruppen) geeignet, um Veresterungsreaktionen zu beschleunigen. Ebenso ist die Verwendung von basischen Festkörperkatalysatoren experimentell bestätigt. Es wird auf einige wenige Versuche hingewiesen, bei denen die heterogene Katalyse im industriellen Maßstab implementiert wurde.

Ebenso wird die Variante einer Esterproduktion ohne Mitwirkung eines Katalysators betrachtet. Allerdings kommen die Autoren zu dem Schluss, dass aufgrund der dann notwendigen hohen Drücke und Temperaturen sowie des erforderlichen Methanolüberschusses eine wirtschaftliche Betriebsweise eher nicht zu erwarten ist.

Weiterhin wird die Möglichkeit diskutiert, in bestimmten Rohstoffen (z.B. Ölsaaten) enthaltene Öle und Fette direkt umzuestern, ohne diese vorher aus dem Rohstoff abzutrennen. Da in vielen Fällen Ölsaaten einer Doppelnutzung unterliegen (Press- bzw. Extraktionsrückstand als Futtermittel, Öl wahlweise zur Verwendung im Nahrungsmittel- oder technischen Bereich), würde eine solche Vorgehensweise die Verwendbarkeit des Press- bzw. Extraktionsrückstandes erheblich einschränken.

Die Autoren beschreiben darüber hinaus die vielfältigen Ansätze, Umesterungsreaktionen enzymatisch zu katalysieren.

Prinzipiell erscheint auch eine genetische Beeinflussung von Organismen möglich, so dass diese direkt Methylester produzieren. Somit wäre eine Umesterung nicht mehr erforderlich. Die technische Realisierung eines solchen Konzepts ist jedoch noch nicht absehbar.

Ein Beitrag beschäftigt sich speziell mit dem Einsatz von Ionenaustauscherharzen zur Produktreinigung. Ziel ist dabei sowohl die Entfernung von Alkalibestandteilen als auch die Zurückhaltung von Glycerin. Die Technologie wird der üblichen Produktreinigung mittels Wasserwäsche gegenüber gestellt.

Schlussfolgerungen:

Das Sammelwerk gibt einen Überblick über die etablierten Prinzipien der Biodieselherstellung. Dem werden neue Ansätze gegenüber gestellt, die jedoch bisher keinen Eingang in die industrielle Praxis gefunden haben.

Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeit ist die Verminderung des Einsatzes von Katalysatoren, die bei den aktuell betriebenen Anlagen nach der Reaktion deaktiviert werden müssen. In Form von Salzen oder Mischphasen anfallen und zudem die Eigenschaften von Biodiesel nachteilig beeinflussen können.

Weiterhin wird versucht, zur Verminderung des Wasserverbrauchs bzw. des Anfalls von organisch beladenem Abwasser Alternativen zur Produktreinigung mittels Wasserwäsche aufzuzeigen.

Einschätzung:

Die geschilderten Prinzipien der Biodieselproduktion gehen nicht über den einem Fachmann allgemein bekannten Stand hinaus.

Die diskutierten Verfahrensalternativen spielen – mit Ausnahme der Verwendung von Ionenaustauscherharzen zur Produktreinigung – in der industriellen Praxis keine Rolle. Eine Einführung ist nicht absehbar, da sowohl technische als auch wirtschaftliche Argumente dagegen sprechen.

Schlagworte:

Biodiesel Prozess, Alternative Rohstoffe, Veresterung, Umesterung, Katalyse, Festkörperkatalysatoren, Enzyme, Supersäuren, Ionenaustauscherharze

3.4 Patentrecherche: Mögliche zukünftige Technologien

Die nachfolgende Übersicht soll Ansätze aufzeigen, bei denen die Möglichkeit besteht, dass diese entweder zukünftige Produktionstechnologien für Biokraftstoffe (hier: Biodiesel) beeinflussen oder einen Beitrag zur Minderung von Emissionen, schlecht verwertbaren Nebenprodukten, Abfällen oder Abwässern führen. Auch alternative Verwertungen für Nebenprodukte werden mit berücksichtigt.

Ausgewählt wurden Lösungen, die entweder deutlich über den Stand der Technik hinausgehen oder durch die mit vergleichsweise einfachen Mitteln eine Prozessverbesserung ermöglicht werden könnte. Nicht untersucht wurde dagegen die formalrechtliche Relevanz der Patentanmeldungen, z.B. das mögliche Versagen der Erteilung nach eingehender Prüfung durch die jeweilige Schutzrechtsorganisation.

Ob die erfindungsgemäß vorgeschlagenen Lösungen tatsächlich die beschriebenen oder beabsichtigten Wirkungen entfalten und ob diese wirtschaftlich umsetzbar sind, kann nicht beurteilt werden. Die Aufstellung soll lediglich einen Eindruck über aktuelle Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte geben.

Tabelle 11: Auswahl erfindungsgemäßer Lösungen aus der Patentrecherche [9]

Patentnummer	Internationale Klasse	Veröffentlichungsdatum	Titel	Inhalt	Bemerkung
EP 2 250 236 A 2	C 10 G – 3/00	17.11.2010	VERFAHREN ZUR REINIGUNG VON BIODIESEL ODER BIODIESEL-VORSTUFEN METHOD FOR PURIFYING BIODIESEL OR BIODIESEL PRE-CURSOR PROCÉDÉ DE PURIFICATION DE BIODIESEL OU DE PRÉCURSEURS DE BIODIESEL	Anwendung eines Enzyms, das Sterylglycoside umwandeln oder spalten kann, vorzugsweise in wässriger Form. Ausgestaltungsvariante: Spaltprodukte verbleiben im Biodiesel	
US 7.790.651 B 2	B 01 J – 21/06	07.09.2010	Porous silica and metal oxide composite-based catalysts for conversion of fatty acids and oils to biodiesel	Poröser Katalysator mit spez. Oberfläche ca. 50 m ² /g auf Kieselsäurebasis mit Alkalianteil, Katalysator enthält sowohl saure als auch basische Zentren, unterstützt sowohl Um- als auch Veresterungen	
WO 10-102361 A 1	C 07 C – 29/00	16.09.2010	Method for producing propylene glycol from biodiesel glycerol	Dehydrogenolyse von Glycerin zu Propylenglycol, katalytische Festbettreaktion	
WO 10-104467 A 1	C 07 C – 29/00	16.09.2010	Oxygenated hydrocarbon reforming	Umwandlung von Glycerin zu Methanol, explizit Verwendung des Methanols in Biodiesel-Anlagen genannt, Festbettreaktion, Katalysator VIII. NG PSE	
US 7.790.937 B 2	C 07 C – 29/132	07.09.2010	Process for the preparation of 1,2-propanediol	Herstellung von Propandiol durch Hydrierung in Gegenwart von Cu-Katalysatoren	
US 2010-0312008 A 1	C 07 C – 69/02	09.12.2010	SOLID ACID CATALYSTS, METHODS OF MAKING, AND METHODS OF USE	Herstellung eines kohlenstoffbasierten Festbettkatalysators durch Sulfonierung und / oder Pyrolyse verschiedener Einsatzstoffe (Holz, Phenolharz, Kork)	
WO 10-107446 A 1 US 2010-	C 10 L – 1/00 C 10 L – 1/19	23.09.2010	BIODIESEL COLD SOAK FILTERING SYSTEM	Nachbehandlung des Biodiesels zum Erfüllen der Cold Soak-Anforderung: 1. Herunterkühlen auf ca. 5 bis 26 °C,	

Patentnummer	Internationale Klasse	Veröffentlichungsdatum	Titel	Inhalt	Bemerkung
0236138 A 1				Zwischenlagern bei dieser Temperatur (2,5 bis 5 h), Durchfluss durch Ionenaustauscher-Harz	
US 2010-0286421 A 1	C 11 C – 3/02	11.11.2010	NOVEL GLYCEROL-BASED HETEROGENEOUS SOLID ACID CATALYSTS USEFUL FOR THE ESTERIFICATION OF FATTY ACIDS, A PROCESS AND USE THEREOF	Festkörperkatalysator auf der Basis von sulfoniertem und thermisch behandeltem Glycerin, spez. Oberfläche: 2-12.6 m ² /g und Säuredichte von 1.6-4.6 mmol/g	
US 2010-0261921 A 1	C 11 C – 3/04	14.10.2010	Integrated System for the Production and Separation of Biodiesel and Method Thereof	Elektrochemisch initiierte simultane Veresterung und Umesterung	Zum Energieverbrauch finden sich keine Aussagen.
US 7.815.694 B 2	B 01 J – 8/00	19.10.2010	Production of biofuels and bio-lubricants from a common feed-stock	Hydrolyse der Triglyceride, Separation der Fettsäuren, Veresterung der für Biokraftstoffe geeigneten Fettsäuren, Hydrierung der Reste (z.B. mehrfach ungesättigte Fettsäuren (PUFAs)) zu Paraffinen	
WO 10-141917 A 2	C 01 G – 3/00	09.12.2010	PROCESS FOR CONTINUOUS PRODUCTION OF BIODIESEL FROM FATTY ACID CONTAINING FEEDSTOCK	Vorveresterung mit Lewis-Säure und Glycerin, anschließend alkalische Umesterung der (Partial)glyceride	
WO 10-112641 A 1	C 07 C – 67/02	07.10.2010	METHOD FOR THE PRODUCTION OF BIOFUELS BY HETEROGENEOUS CATALYSIS EMPLOYING A METAL ZINCATE AS PRECURSOR OF SOLID CATALYSTS	Festkörperkatalysator zur Umesterung auf Basis von Erdalkalizinkaten, keine belastbare Angabe zur tatsächlichen Reaktionsgeschwindigkeit enthalten	
EP 2 247 692 A 2	C 10 G – 17/06	10.11.2010	VERFAHREN UND SYSTEM ZUR HERSTELLUNG VON BIOBRENNSTOFFEN PROCESS AND SYSTEM FOR PREPARATION OF BIO-FUELS PROCÉDÉ ET SYSTÈME DE PRÉPARATION DE BIOCARBURANTS	Kontinuierliche Veresterungsanlage mit destillativer Abtrennung des Reaktionswassers, homogene oder heterogene Katalysatoren können verwendet werden	

Patentnummer	Internationale Klasse	Veröffentlichungsdatum	Titel	Inhalt	Bemerkung
EP 2 238 220 A 2	C 10 G – 25/00	13.10.2010	BEHANDLUNG VON BIO-BRENNSTOFFEN TREATMENT OF BIOFUELS TRAITEMENT DE BIOCOMBUSTIBLES	Verwendung von (nahezu) beliebigen Adsorbenzien, um Biodiesel zu reinigen (hauptsächlich Senken des Wassergehalts, Verringerung des Seifengehalts; andere Wirkungen scheinen gering zu sein	Ggf. kritisch für Kleinanlagen mit Endreinigung über Adsorption
WO 10-134219 A 1	C 10 G – 55/04	25.11.2010	METHOD FOR PRODUCING BIODIESEL FUEL OIL AND PRODUCTION DEVICE THEREFOR	Pyrolyse von Palmöl, Palmfrüchten; mehrstufig, Zusatz von Alkalien und Dehydrierung	
WO 10-148348 A 2	C 10 L – 1/02	23.12.2010	INTEGRATED BIOFUEL PROCESSING SYSTEM	Fermentation von „beliebiger“ Biomasse zu Alkoholen und deren „Oligomerisierung“	
US 2010-0293840 A 1	C 10 L – 1/02	25.11.2010	BIODIESEL SYNTHESIS	Reaktionsanordnung unter Verwendung statischer Mischer	
WO 10-098697 A 1	C 10 L – 1/08	19.02.2010	METHOD FOR PRODUCING BIODIESEL FUEL	Biodiesel aus Algen und Plankton, Zerstörung Zellenzyme durch Schockerhitzung, Zentrifugieren, Umestern mit Methylaten	
EP 2 238 224 A 1	C 10 L – 1/18	13.10.2010	VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON BIODIESEL AUS FETTEN UND ÖLEN METHOD FOR BIODIESEL PRODUCTION FROM FATS AND OILS PROCÉDÉ DE PRODUCTION DE BIODIESEL À PARTIR DE MATIÈRES GRASSES	Umesterung unter Verwendung von organischen Basen (organische Amine), angeblich auch für Veresterung freier Fettsäuren geeignet	
US 2010-0242348 A 1	C 10 L – 1/182	30.09.2010	METHOD OF INCREASING TRANSESTERIFICATION CONVERSION OF OILS	Kombination aus Scherapparat und Zentrifuge zur Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit	
US 2010-0229460 A 1	C 10 L – 1/19	16.09.2010	METHOD AND APPARATUS FOR THE BATCH PREPARATION OF BIODIESEL	Reaktor mit Heizer, Lufteinlass und Kondensator für Ethanoldämpfe, Verwendung für NaOH bzw. KOH-katalysierte Umesterung von Triglyceriden zu Biodiesel	

Patentnummer	Internationale Klasse	Veröffentlichungsdatum	Titel	Inhalt	Bemerkung
US 2010-0251607 A 1	C 10 L – 1/19	07.10.2010	Process of Making Alkyl Esters of Free Fatty Acids	Sauer katalysierte Veresterung bei Drücken oberhalb des Atmosphärendrucks	
US 2010-0257777 A 1	C 10 L – 1/19	14.10.2010	PRODUCTION OF COMMERCIAL BIODIESEL FROM GENETICALLY MODIFIED MICROORGANISMS	Typen von genveränderten Organismen (GMO), die Kohlenhydrate in Triglyceride oder andere Fettester umwandeln können	
US 2010-0307051 A 1	C 10 L – 1/19	09.12.2010	BIODIESEL PRODUCTION USING ULTRA LOW CATALYST CONCENTRATIONS IN A MEMBRANE REACTOR	Membranreaktor zur Umesterung (dient dem Austrag des gebildeten Biodiesels), Reaktionsmedium ist eine Öl-Methanol-Emulsion, wobei dem Methanol der Katalysator (NaOH) beigefügt wurde. Vorteil soll geringe Katalysatorkonzentration sein.	
US 2010-0313468 A 1	C 10 L – 1/19	16.12.2010	TREATMENT OF BIOFUELS	Behandlung von rohem Biodiesel durch Waschen und / oder Adsorption an Metalloxiden (Aluminiumoxid, Kieselsäure etc.), angebracht in einem Adsorptionsapparat mit mehreren Schichten unterschiedlicher Materialien, Desorption beispielsweise durch Waschen mit Methanol	Ggf. nahe an existierenden Lösungen bei Kleinanlagen mit Endreinigung über Adsorption
US 2010-0286002 A 1	C 10 M – 169/04	11.11.2010	Engine Oil Formulations for Biodiesel Fuels	Motoröl auf der Basis eines Alkylesters (Alkohol: C1-C4, Säure: C12-C24)	
US 2010-0252485 A 1	C 10 M – 175/02	07.10.2010	Methods and Apparatus for Removal of Degradation Byproducts and Contaminants From Oil for Use in Preparation of Biodiesel	Oberflächenmodifizierte Kieselerden, Kaolin, Aluminiumoxide mit verschiedenen funktionalisierten Siloxanen und Polymeren zur Adsorption von Verunreinigungen in Biodiesel-Einsatzstoffen	
US 2010-0228042 A 1	C 11 C – 1/00	09.09.2010	METHOD AND APPARATUS FOR PREPARING FATTY ACID ALKYL ESTER USING FATTY ACID	Mehrstufige Veresterung bei Drücken bis 10 bar und 200-350 °C	
US 2010-0317070 A 1	C 12 P – 17/04	16.12.2010	COMPLETE LIQUEFICATION OF LIGNOCELLULOSIC AGROWASTE TO FORM LIQUID	3stufige vollständige Verflüssigung von Biomasse, hier am Beispiel von Zuckerrohr:	

Patentnummer	Internationale Klasse	Veröffentlichungsdatum	Titel	Inhalt	Bemerkung
			BIOFUELS	1. Auskochen mit Wasser 2. Rückstand mit Eisen(III)-chlorid und Salzsäure aufschließen, Extraktion mit Aceton 3. Rückstand (Lignin) mit „Amberlyst“ aufschließen	
EP 2 241 631 A 1	C 12 P – 7/62	20.10.2010	KONTINUIERLICHE BIODIESELPRODUKTION MIT EINEM ENZYMATISCHEN VERFAHREN L CONTINUOUS PRODUCTION OF BIODIESEL FUEL BY ENZYMATIC METHOD L PRODUCTION EN CONTINU DE CARBURANT BIODIESEL PAR UN PROCÉDÉ ENZYMATIQUE	Hintereinanderanwendung mehrerer Kolonnenreaktoren mit Glycerinabscheidung nach jedem Reaktor. Katalysator: Enzyme	
US 7.799.544 B 2	C 12 P – 7/64	21.09.2010	Compositions which can be used as biofuel	Enzymatisch hergestelltes Gemisch aus Alkylestern (von C1-C8-Alkoholen) und Partialglyceriden, geeignet als Biokraftstoff	
WO 11-002023 A 1	C 07 C – 45/52	06.01.2011	METHOD AND DEVICE FOR SYNTHESIZING ACROLEIN	Herstellung von Acrolein aus Glycerin in Gegenwart von Säure und überkritischem Wasser	
WO 11-008847 A 2	C 07 C – 67/60	20.01.2011	SYSTEMS AND METHODS FOR REMOVING CATALYST AND RECOVERING FREE CARBOXYLIC ACIDS FROM TRANS-ESTERIFICATION REACTION	Verwendung von CO ₂ als „Säure“ zur Umwandlung von alkalischen Katalysatorresten in Carbonate bzw. Verdrängung von Fettsäuren aus ihren Salzen. Die umgewandelten Komponenten werden nach Stand der Technik abgetrennt	
US 7.871.448 B 2	C 10 L – 1/18	18.01.2011	Production of biodiesel and glycerin from high free fatty acid feedstocks	2stufige destillative Reinigung des Roh-Biodiesels	Ausgestaltung teilweise nahe an bereits realisierten Verfahren.
US 2011-0028747 A 1	C 07 C – 67/03	03.02.2011	METHOD FOR PREPARING FATTY ACID ALKYL ESTER USING FATTY ACID	Veresterung unter Verwendung eines Metall-Katalysators	

Patentnummer	Internationale Klasse	Veröffentlichungsdatum	Titel	Inhalt	Bemerkung
DE 10 2009 037579 (Z 0, T 8) A 1	C 07 C – 67/48	17.02.2011	Verfahren zur Herstellung von Biodiesel durch saure Umesterung sowie die Verwendung einer Sulfonsäure als Katalysator bei der Herstellung von Biodiesel	Verwendung aliphatischer Sulfonsäuren als Katalysator	
EP 2 285 940 A 1	C 10 L – 1/02	23.02.2011	VERFAHREN ZUR ENTFERNUNG VON STERYLGLYCOSIDEN AUS BIODIESEL PROCESS FOR REMOVING STERYL GLYCOSIDES FROM BIODIESEL PROCÉDÉ D'ÉLIMINATION DE STÉRYLGLYCOSIDES DE BIODIESEL	Adsorption der Sterylglycoside an einem Smektit-Silica-Gel	
EP 2 071 016 B 1	C 11 C – 3/04	16.02.2011	Verfahren zur Herstellung von Biodiesel Process for production of biodiesel Procédé de production de biodiesel	Umesterung von Triglyceriden durch Katalysatoren auf der Basis von lamellaren Titanaten in nanostrukturierter Form	
WO 11-018228 A 1	C 11 C – 3/10	17.02.2011	METHOD FOR MANUFACTURING BIODIESEL BY ACID TRANSESTERIFICATION, AND USE OF SULPHONIC ACID AS A CATALYST IN THE MANUFACTURE OF BIODIESEL	Einsatz von Alkylperfluorsulfonsäuren als Katalysator für die Veresterung / Umesterung	
US 7.906.082 B 2	B 01 J – 8/00	15.03.2011	Method and apparatus for refining biodiesel	Containeranlage zur Herstellung von Biodiesel unter Nutzung von Kavitationsenergie	
WO 11-028831 A 2	C 10 G – 3/00	10.03.2011	SYSTEMS AND PROCESSES FOR BIODIESEL PRODUCTION	Umesterung von Triglyceriden in einer zweistufigen Reaktionseinheit unter Verwendung von Ca-basierten (und anderen) Festkörperkatalysatoren, die im Reaktionsgemisch suspendiert werden	
US 7.906.665 B	C 11 C – 3/00	15.03.2011	Solid catalyst system for biodiesel	Katalysator, geeignet für Um- und	

Patentnummer	Internationale Klasse	Veröffentlichungsdatum	Titel	Inhalt	Bemerkung
2			production	Veresterung, bestehend aus Zement- und Kalkstaub	
EP 2 303 826 A 2	C 07 C – 67/03	06.04.2011	VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON BIODIESEL A PROCESS FOR PRODUCTION OF BIODIESEL PROCÉDÉ DE PRODUCTION DE BIODIESEL	Veresterung bzw. Umesterung an oxidischen Festkörperkatalysatoren	Umsetzungsgrad scheint sehr unvollständig zu sein
WO 11-044552 A 2	C 10 L – 1/08	14.04.2011	METHOD AND SYSTEM FOR PRODUCTION OF BIOFUELS USING A FIBER CONDUIT REACTOR	Reaktor mit Hohlfasern zur besseren Reaktion unmischbarer Substanzen	
WO 11-057196 A 1	B 01 J – 23/00	12.05.2011	METALOXIDE-ZR ₀₂ CATALYSTS FOR THE ESTERIFICATION AND TRANSESTERIFICATION OF FREE FATTY ACIDS AND TRIGLYCERIDES TO OBTAIN BIO –DIESEL	Festkörperkatalysator auf der Basis von Zinkoxid bzw. anderen Metalloxiden bzw. Mischoxiden.	Soll ein geringe Empfindlichkeit gegen Wasser haben, grundsätzlich bekannt; es wurde bisher nur geringe Reaktionsgeschwindigkeiten berichtet, daher häufig Ausführung als Hochtemperatur / Hochdruckprozess
US 2011-0113677 A 1	C 10 L – 1/00	19.05.2011	BIODIESEL AND ESTER PRODUCTION METHOD AND APPARATUS	Herstellung von Biodiesel mittels mehrstufiger Elektrodialyse	
WO 2011/070445 A2	C 10 L	16.06.2011	CONTINUOUS METHOD FOR PRODUCING BIODIESEL FUEL	Umesterung von Triglyceriden mit Methanol, Ethanol und deren Mischung, katalysiert mit NaOH oder KOH, Anwendung von Ultraschall-Kavitationszellen, wobei 2-8 Zellen hintereinander geschaltet werden.	
WO 2011/066419 A2	C 11 B – 1/10	03.06.2011	ENRICHMENT OF PROCESS FEEDSTOCK	Extraktion von Algenmasse unter Verwendung ionischer Flüssigkeiten	
US 2011/0160501 A1	C 10 L – 1/16	30.06.2011	Dimethyloctane as an Advanced Biofuel	Genveränderte Organismen (GMO), die in der Lage sind, direkt den (sehr kurzkettigen) Methylester zu produzieren.	
US	C 10 L – 1/19	23.06.2011	Method for Preparing a Mixture of	Umesterung in Gegenwart von Ethanol	Unvollständige Reaktion ist

Patentnummer	Internationale Klasse	Veröffentlichungsdatum	Titel	Inhalt	Bemerkung
2011/0146137 A1			Biofuels	und Ammonium-Heteropoly-Salzen	„beabsichtigt“.
WO 11-089253 A 1	B 01 J – 27/053	28.07.2011	ZIRCONIUM-BASED CATALYST COMPOSITIONS AND THEIR USE FOR BIODIESEL PRODUCTION	Oberflächenreicher Zirkonium-basierter Katalysator, hergestellt durch Calcinieren von Zirkoniumsulfat	Durch den Reaktionsweg dürften saure Oberflächenzentren gebildet werden.
US 2011-0174734 A 1	B 01 D – 61/00	21.07.2011	Non-Dispersive Process for Insoluble Oil Recovery From Aqueous Slurries	Membrantechnologie zu Abtrennung von Algenölen	
US 7.998.225 B 2	C 10 L – 1/08	16.08.2011	Methods of purifying biodiesel fuels	Umesterung von Ölen nach mehrstufiger Umwandlung in Partialglyceride in Gegenwart von Säuren, Emulsionsbrechung zur Abtrennung mittels elektrischem Feld	Die Vorgehensweise lässt die Befürchtung zu, dass erhebliche Anteile an Partialglyceriden in das Produkt durchschlagen
WO 11-113401 A 1	C 11 C – 1/08	22.09.2011	METHOD FOR REPROCESSING BIODIESEL SLUDGE	Umwandlung des im Lurgi-Verfahren zur Abtrennung von Sterylglycosiden gebildeten Rückstands zu Sterolen und Zucker durch saure Spaltung	Anmelder: Lurgi Die Erfindung bezieht sich auf den spezifischen Lurgi-Prozess zur Entfernung von Sterylglycosiden.
EP 1 867 702 B 1	C 10 L – 1/02	28.09.2011	VERFAHREN ZUR REINIGUNG VON BIODIESELKRAFTSTOFF METHOD FOR PURIFYING BIODIESEL FUEL PROCÉDÉ DE PURIFICATION DE CARBURANT BIODIESEL	Reinigung von Roh-FAME in einem elektrischen Feld	
US 2011-0245523 A 1	C 07 C – 67/02	06.10.2011	SINGLE STEP TRANSESTERIFICATION OF BIODIESEL FEEDSTOCK USING A GASEOUS CATALYST	Der gasförmige Katalysator ist beispielsweise HCl. Auch andere gasförmige Säuren (HCN, HF, H ₂ S) werden genannt. Es handelt sich um eine sauer katalysierte kombinierte Um- und Veresterung	Mit Ausnahme der Halogenwasserstoffe dürfte die Säurewirkung für eine nennenswerte Reaktionsgeschwindigkeit zu gering sein. Gefahr des Eintrags von Heteroelementen in den Biodiesel.
WO 11-144192 A 1	C 11 C – 1/08	24.11.2011	PROCESS FOR PRODUCTION OF BIODIESEL	Übliche Umesterung, gefolgt von einem Adsorptionsschritt unter Verwendung von (vorzugsweise) Bentonit als	Anmelder: Lurgi Der Vorschlag ist dadurch interessant, dass die Ad-

Patentnummer	Internationale Klasse	Veröffentlichungsdatum	Titel	Inhalt	Bemerkung
US 8.052.848 B 2	B 01 J – 19/10	08.11.2011	Ultrasonic and microwave methods for enhancing the rate of a chemical reaction and apparatus for such methods	Adsorptionsmittel. Die in der als Kolonne ausführenden Adsorptionseinheiten gebundenen Sterylglycoside können mittels eines Gemisches von FAME und Methanol / Ethanol desorbiert werden. Methanol / Ethanol kann durch Spülen mit FAME oder CO ₂ / N ₂ entfernt werden.	sorption reversibel sein soll.
US 8.062.391 B 2	C 10 L – 1/19	22.11.2011	Method for purifying biodiesel fuel	Kombination von Ultraschall und Mikrowellen zur Durchführung von Umessterungen ohne oder mit sehr geringen Katalysatormengen.	
US 2011-0294174 A 1	C 12 P – 7/64	01.12.2011	Tailored Oils Produced From Recombinant Heterotrophic Microorganisms	Elektrostatische Reinigung von Biodiesel	Hierzu hatte die AGQM vor einigen Jahren bei einer SIEMENS-Tochter Versuche durchführen lassen: Im Hinblick auf die Sterylglycoside ist die Methode unwirksam.
WO 12-004489 A 1	C 10 L – 1/02	12.01.2012	METHOD FOR PURIFYING A FATTY-ACID ALKYL ESTER BY LIQUID/LIQUID EXTRACTION	Methode zur Herstellung von GMO-basierten Mikroorganismen, die spezielle Fettsäurezusammensetzungen produzieren	Der beanspruchte Schutzbereich ist extrem breit angelegt.
US 8.097.049 B 2	C 10 L – 1/19	17.01.2012	Biodiesel purification by a continuous regenerable adsorbent process	Flüssig-Flüssig-Extraktion zur Entfernung vom Monoglyceriden aus Fettsäureethylestern (FAEE), Verwendung eines kurzkettigen Alkohols [mit Wasser] und einer darin nicht mischbaren unpolaren Komponente, wie z.B. Tetralin oder Decalin	Restgehalt 0,6 % Monoglyceride wird als erreichbar angesehen; die Beispiele gehen teilweise von sehr hohen Monoglyceridgehalten im Roh-FAME aus. Anmelder: ARKEMA (Frankreich)
				Reinigung von Fettsäurealkylestern unter Verwendung von Adsorptionskolonnen. Ziel ist die Entfernung von Seifen, Metallen, freiem Glycerin, Sterylglycosiden und freien Fettsäuren.	Das Prozesskonzept trägt erfinderischen Charakter. Entscheidend für die Umsetzung ist allerdings ein geeignetes reversibles

Patentnummer	Internationale Klasse	Veröffentlichungsdatum	Titel	Inhalt	Bemerkung
				Die Regenerierung (Desorption) erfolgt mit angesäuertem Alkohol. Das Desorbat wird anschließend in einem sauren Veresterungsschritt ebenfalls zu Biodiesel verarbeitet.	Adsorbenz.
US 8.110.670 B 2	C 12 N – 15/52	07.02.2012	Enhanced production of fatty acid derivatives	Genetisch modifizierte Zelle, die Fettalkohole, -aldehyde oder -ester produziert.	
US 2012-0029218 A 1	C 07 C – 67/02	02.02.2012	SUPPORTED CATALYST SYSTEMS AND METHOD OF MAKING BIODIESEL PRODUCTS USING SUCH CATALYSTS	Umesterung mittels Mischoxidkatalysatoren auf der Basis von Calcium, Lanthan und Zink	
WO 12-034904 A 1	C 07 C – 29/86	22.03.2012	PROCESS FOR PURIFYING CRUDE GLYCEROL	Reinigung der Glycerinphase aus der Biodieselherstellung durch Lösung in organischen Lösungsmitteln (genannt C1-C10 Ketone, Aldehyde, Alkohole, Acetale und andere), Abtrennung der ausgeschiedenen „Salzphase“ und anschließende Entfernung des Lösungsmittels	Anmelder: Rhodia Es wird vermutlich keine Reinheit wie nach einer Destillation erreicht, für technische Anwendungen dürfte das Prinzip jedoch geeignet sein.
EP 2 431 085 A 1	B 01 D – 17/06	21.03.2012	Verfahren zur Reinigung von aus der Biodieselherstellung stammendem Glycerin Process for purifying glycerin derived from biodiesel production Procédé de purification de glycérine dérivée de la production de biodiesel	Reinigung der Glycerinphase aus der Biodieselherstellung durch Elektrolyse nach vorhergehendem Ansäuern und anschließender Neutralisation	Hoher Stoffeinsatz (Säure, Base, NaCl)
EP 1 931 757 B 1	C 11 C – 3/00	21.03.2012	VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES FETTSÄUREALKYLESTERS BIODIESEL-BRENNSTOFF METHOD OF PRODUCING A FATTY ACID ALKYL ESTER BIODIESEL FUEL PROCÉDÉ DE PRODUCTION D	Kaliumphosphat als Katalysator für Umesterungsreaktionen	Katalyse ist deutlich geringer wirksam als bei konventionellen Katalysatoren

Patentnummer	Internationale Klasse	Veröffentlichungsdatum	Titel	Inhalt	Bemerkung
US 2012-0078003 A 1	C 07 C – 67/08	29.03.2012	UN ESTER D ALKYLE D'ACIDE GRAS BIODIESEL-COMBUSTIBLE Use of pressure swing absorption for water removal from a wet methanol stream	Methanolentwässerung über 2 bzw. 3 Druckstufen	Es gibt keinen Grund, eine Methanolentwässerung in Biodieselanlagen so aufwändig durchzuführen: Bereits Kolonnen ab 7 theoretischen Böden besitzen eine ausreichende Trennleistung.
US 8.163.946 B 2	C 11 C – 3/10	24.04.2012	Methods and catalysts for making biodiesel from the transesterification and esterification of unrefined oils	Anwendung eines „superbasischen“ heterogenen Katalysatorsystems auf der Basis von ZnO, La ₂ CO ₅ , und LaOOH	Sinngemäß schon mehrfach vorgeschlagen
US 8.188.305 B 2	C 11 C – 3/00	29.05.2012	Method of producing biodiesel with supercritical alcohol and apparatus for same	Reaktor zur Veresterung unter überkritischen Bedingungen, gebildetes Glycerin wird elektrostatisch abgeschieden.	
US 2012-0110897 A 1	C 10 L – 1/00	10.05.2012	Biofuel Production	Umesterung in Gegenstromkolonnen (Rohstoff bzw. Zwischenprodukt) wird von oben aufgegeben, Methanoldampf von unten eingeblasen. Weitere Systemkomponenten zur Methanolrückgewinnung und Glycerinabtrennung vorhanden	
EP 2 464 715 A 1	C 11 C – 3/10	20.06.2012	VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON BIODIESEL DURCH SAURE UMESTERUNG SOWIE DIE VERWENDUNG EINER SULFONSÄURE ALS KATALYSATOR BEI DER HERSTELLUNGEN VON BIODIESEL METHOD FOR MANUFACTURING BIODIESEL BY ACID TRANSESTERIFICATION, AND	Verwendung sehr starker Sulfonsäuren (z.B. Methylsulfonsäure bzw. Perfluorsulfonsäure) in der sauer katalysierten Veresterung von Fettsäuren	Der Einsatz der genannten Sulfonsäuren ist toxikologisch bzw. ökotoxikologisch kritisch. Die Rückgewinnung aus der Glycerinphase dürfte schwierig bis aussichtslos sein. Die Glycerinphase wird dabei vermutlich oligomerisieren.

Patentnummer	Internationale Klasse	Veröffentlichungsdatum	Titel	Inhalt	Bemerkung
			USE OF SULPHONIC ACID AS A CATALYST IN THE MANUFACTURE OF BIODIESEL PROCÉDÉ DE PRODUCTION DE BIODIESEL PAR TRANS-ESTÉRIFICATION ACIDE ET UTILISATION D'UN ACIDE SULFONIQUE EN TANT QUE CATALYSEUR LORS DE LA PRODUCTION DE BIODIESEL		
EP 1 976 815 B 1	C 07 C – 27/10	27.06.2012	BIODIESELSYNTHESE UNTER VERWENDUNG LEITENDER KERAMIKMEMBRANEN SYNTHESIS OF BIODIESEL USING ALKALI ION CONDUCTIVE CERAMIC MEMBRANES SYNTHESE DE BIODIESEL AU MOYEN DE MEMBRANES CERAMIQUES CONDUCTRICES D'IONS DE METAL ALCALIN	Elektrochemische Biodiesel-Synthese mittels alkalileitfähiger Keramikmembranen: Intermediäre Bildung von Alkoxiden, die dann mit Triglyceriden zur Reaktion gebracht werden. Die dabei gebildeten Glycerinalkoxide werden in einem zweiten Zellteil mit Wasser zur Reaktion gebracht und entladen. Parasitär erfolgt die Bildung Wasserstoff und Sauerstoff.	Interessante Synthese ggf. für Spezialprodukte. Für die großtechnische Biodiesel-Herstellung nicht geeignet, da ein erheblicher Strombedarf zu erwarten ist.
WO 12-099523 A 1	B 01 D – 37/00	26.07.2012	METHOD FOR PURIFICATION OF BIODIESEL USING A SELF-CLEANING FILTER	Selbstreinigendes Filter zur Entfernung von z.B. Sterylglycosiden aus Biodiesel. Es werden dem Cold Soak Test ähnliche Bedingungen (bzw. noch niedrigere Temp.) genutzt. Das Filter wird durch einen rotierenden Abstreifer gereinigt.	Anmelder: Perstorp

3.5 Bestehende Anlagen in Deutschland und Zuordnung von Technologien

Auf der Basis einer durch die Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP) in Kooperation mit der AGQM und dem Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V. (VDB) durchgeführten ständigen Erfassung der Hersteller von Biodiesel in Deutschland [10] wurde der Versuch unternommen, die jeweils angewandte Technologie den Unternehmen zuzuordnen.

Zur Kennzeichnung wurde die Technologie verwendet, die zum Zeitpunkt der Errichtung maßgeblich war. Spätere Technologiekonzepte und -optimierungen wurden nicht berücksichtigt.

Die Technologie wurde mit dem jeweiligen Anlagenbauer benannt, falls dieser der Träger der Technologie war. Konzepte des Betreibers sind durch Nennung des Namens des Betreibers gekennzeichnet. Die Zuordnung der Technologie ist unter dem Gesichtspunkt der guten Verständlichkeit vorgenommen worden, erlaubt aber keinen Rückschluss auf die formalrechtliche Zuordnung des Knowhows bzw. das Vorhandensein eventueller Schutzrechte. Letztere können auch bei Dritten liegen. Mitunter sind auch Teilanlagen durch unterschiedliche Anlagenbauer konzipiert worden. In solchen Fällen wurde die Gesamttechnologie dem Generalunternehmer zugeordnet.

Aktuell nicht betriebene Anlagen sind ebenfalls mit aufgeführt worden, soweit diese noch physisch existieren.

Bei Unternehmen, die sich in Insolvenz befinden, ist die letzte bekannte Unternehmensbezeichnung verwendet worden. Die angegebene Adresse ist – soweit nicht anders angegeben – die des Standorts der jeweiligen Anlage. Ein abweichender Firmensitz ist gekennzeichnet.

Tabelle 12: Übersicht über Biodieselanlagen in Deutschland, deren Kapazität und die angewandten Technologien nach [10]

Firma	Straße	PLZ	Ort	Kapazität 2010 in t/a	Kapazität 2011 in t/a	Kapazität 2012 in t/a	Technologie	Bemerkung
ADM Hamburg AG – Werk Hamburg	Nippoldstraße 117	21107	Hamburg	580.000	580.000	580.000	Connemann	Ölmühle am Standort
ADM Hamburg AG – Werk Leer	Sägemühlenstraße 45	26789	Leer	120.000	120.000	120.000	Connemann	Ölmühle am Standort, Ölmühle stillgelegt
ADM Mainz GmbH	Dammweg 2	55130	Mainz	275.000	275.000	275.000	Connemann	Ölmühle am Standort
Bioeton Kyritz GmbH	Pritzwalkers Straße 18	16866	Kyritz	80.000	80.000	80.000	AT	Ölmühle am Standort, jedoch ohne Extraktion
BIO-Diesel Wittenberge GmbH	Zur Hafenspitze 2	19322	Wittenberge	120.000	120.000	120.000	Eigenbau	inzwischen wesentlich durch Anteilseigner Cargill umgerüstet
Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH	Am Hansehafen 8	39126	Magdeburg	255.000	255.000	255.000	SKET	Ölmühle am Standort für eine Teilkapazität
BIOPETROL ROSTOCK GmbH	Zum Tanklager 8	18147	Rostock	200.000	200.000	200.000	Lurgi	Ölmühle der Getreide AG in Nachbarschaft
BIOPETROL SCHWARZHEIDE GmbH	Naundorfer Straße 40	01987	Schwarzheide	150.000		-	AT	N
Biowerk Oberlausitz				50.000	50.000	-	?	N, Anlage soll für „Herstellung von Additiven“ umgebaut sein
Biowerk Sohland	Am Gewerbering 5	02689	Sohland	50.000	50.000	50.000	GHP (?)	
BKK Biodiesel GmbH	Dr.-Hermann-Ludewig-Ring 6	07407	Rudolstadt	4.000	4.000	-	?	Nachbau eines österreichischen Konzepts durch EPC

Ermittlung des Standes der Technik der Herstellung von Biokraftstoffen unter Berücksichtigung der verschiedenen Produktionstechniken und Umweltauswirkungen

Firma	Straße	PLZ	Ort	Kapazität 2010 in t/a	Kapazität 2011 in t/a	Kapazität 2012 in t/a	Technologie	Bemerkung
BKN Biokraftstoff Nord AG	Bodenteicher Str. 3	29365	Sprakensehl-Bokel	35.000	35.000	-	INNOVAS, danach Umbau, ?	N Über den späteren Umbau ist nichts bekannt
Cargill GmbH	Industriepark Höchst, Gebäude C	65926	Frankfurt am Main	300.000	300.000	300.000	ÖHMI	
DBE Biowerk GmbH	Zum Meyerschen Hafen 3	39590	Tangermünde			-	Sitz des Unternehmens	
DBE Biowerk GmbH	Zum Meyerschen Hafen 3	39590	Tangermünde	33.000	33.000		?	N
DBE Biowerk GmbH	Budapester Str. 9	93053	Regensburg	66.000	66.000		?	N, Ein Modul der Anlage wurde für eine saure Veresterung umgebaut, jedoch nach Umbau nie in Betrieb genommen
Delitzscher Rapsöl GmbH Co. KG	Lissaer Straße 26	04509	Wiedemar OT Kölsa	4.000	4.000	-	?	N
EAI Thüringer Methylesterwerke GmbH	Am Bahnhof 13	07570	Harth-Pöllnitz	55.000	55.000	55.000	BDI	
ecodasa GmbH	Ahornweg 3	39288	Burg	50.000	50.000	-	?	N
ecoMotion GmbH	Brunnenstraße 138	44536	Lünen	212.000	212.000	212.000	Sitz des Unternehmens	
ecoMotion GmbH	Brunnenstraße 138	44536	Lünen				BDI	
ecoMotion GmbH	Brüeler Chaussee 3	19406	Sternberg				?	
ecoMotion GmbH	An der Landwehr	17139	Malchin				BDI	
Emerald Biodiesel Ebeleben GmbH	Thomas-Müntzer-Siedlung 19	99713	Ebeleben	90.000	90.000	-	Lurgi	N

Ermittlung des Standes der Technik der Herstellung von Biokraftstoffen unter Berücksichtigung der verschiedenen Produktionstechniken und Umweltauswirkungen

Firma	Straße	PLZ	Ort	Kapazität 2010 in t/a	Kapazität 2011 in t/a	Kapazität 2012 in t/a	Technologie	Bemerkung
Emerald Biodiesel Neubrandenburg GmbH	Zur Datze 4	17034	Neubrandenburg	40.000	40.000	-	Lurgi	N
german biofuels gmbh	Am Hünengrab 9	16928	Falkenhagen	130.000	130.000	130.000	SKET	Integrierte Ölmühle am Standort
Gulf Biodiesel Halle GmbH	Am Saalehafen 8	06118	Halle	58.000	58.000	-	Lurgi	
HHV Hallertauer Hopfenveredelungs-gesellschaft mbH	Auhofstraße 16	84048	Mainburg	7.500	7.500	-	Eigenbau	N, teildemontiert
KFS Biodiesel GmbH & Co. KG	Industriezubringer 31-35	49661	Cloppenburg				Sitz des Unternehmens	
KFS Biodiesel GmbH & Co. KG	Industriezubringer 31-35	49661	Cloppenburg	30.000	30.000	30.000	Löhrlein	
KFS Biodiesel GmbH & Co. KG	Feldmühlestraße	53859	Niederkassel	120.000	120.000	-	Lurgi	N
KFS Biodiesel Kassel GmbH & Co. KG	Schwarze Breite 15	34260	Kaufungen	35.000	35.000	35.000	Löhrlein	
LPV Landwirtschaftliche Produkt- Verarbeitungs GmbH	Hauptstraße 98	99947	Henningsleben	5.500	5.500	5.500	Feld & Hahn	
Louis Dreyfus Commodities Wittenberg GmbH	Dessauer Straße 126	06886	Lutherstadt Wittenberg	200.000	200.000	200.000	Lurgi	
MBF Mannheim Biofuel GmbH	Inselstraße 10	68169	Mannheim	100.000	100.000	100.000	Lurgi	
NEW Natural Energie West GmbH	Paul-Baumann-Straße 1	45764	Marl	260.000	260.000	260.000	Lurgi	
Nehlsen GmbH	Am Rauhen Berg 1	18507	Grimmen	33.000	33.000	-	?	N
Osterländer Biodiesel GmbH & Co. KG	Thomas-Müntzer-Siedlung 11	04626	Schmölln	4.000	4.000	-	?	
Petrotec GmbH	Fürst-zu-Salm-Salm-Straße 18	46325	Borken-Burlo	85.000	85.000	-	Eigenbau	
LubminOil GmbH	Südring 4	17509	Lubmin	60.000	60.000	-	Lurgi (?)	N
Rapsol GmbH	Gewerbering 3	19386	Lübz	6.000	6.000	6.000	Monforts	
Rapsveredelung Vorpommern	Industriegelände 3A	17039	Malchin	38.000	38.000	38.000	Lurgi	N

Ermittlung des Standes der Technik der Herstellung von Biokraftstoffen unter Berücksichtigung der verschiedenen Produktionstechniken und Umweltauswirkungen

Firma	Straße	PLZ	Ort	Kapazität 2010 in t/a	Kapazität 2011 in t/a	Kapazität 2012 in t/a	Technologie	Bemerkung
Rheinische Bioester GmbH	Duisburger Straße 15	41460	Neuss	150.000	150.000	-	AT, Katalysator modifiziert (NaOH)	N
Südstärke GmbH	Königslachener Weg 2-6	86522	Schrobenhausen	100.000	100.000	-	Lurgi	N
SüBio GmbH	Tachbacher Straße	98660	Themar	4.000	4.000	-	?	N
TECOSOL GmbH	Marktbreiter Straße 74	97199	Ochsenfurt	75.000	75.000	75.000	AT	
Ullrich Biodiesel GmbH	Schwarze Breite 13	34260	Kaufungen	35.000	35.000	-	Löhrlein	N
IFBI GmbH	Schwarze Breite 13	34260	Kaufungen	35.000	35.000	-	Löhrlein	N
Verbio Diesel Bitterfeld GmbH & Co. KG	Stickstoffstraße, Areal B	06803	Bitterfeld	190.000	190.000	190.000	VERBIO	
Verbio Diesel Schwedt GmbH & Co. KG	Passower Chaussee 111	16303	Schwedt	250.000	250.000	250.000	VERBIO	
Vesta Biofuels Brunsbüttel GmbH & Co. KG	Fährstraße 51	25541	Brunsbüttel	150.000	150.000	150.000	AT	
Vital Fettrecycling GmbH / Petrotec GmbH (Werk Emden)	Fürst-zu-Salm-Salm-Straße 18	46325	Borken-Burlo	100.000	100.000	-	?	Keine Information zum Betrieb der Anlage verfügbar
Verwertungsgenossenschaft "Biokraftstoff-Vogtland" eG	Am Mahnpöhl 11	08541	Plauen OT Großfriesen	2.000	2.000	-	AT (diskontinuierlich)	N
KVG Kartoffelverwertungsgesellschaft Cordes & Stoltenburg GmbH & Co.	St.-Jürgener-Str. 60	24837	Schleswig	-	-	-	INNOVAS	N
Summe				5.032.000	4.947.000	3.716.500		

Legende zur Tabelle 12

N Anlage wird derzeit nicht betrieben

AT Technologie der Fa. AT AGRAR-TECHNIK GmbH & Co. KG (Schlaitdorf)

BDI	Technologie der Fa. Biodiesel International AG (Österreich), vormals Vogel & Noot
Connemann	Technologie der Fa. Oelmühle Leer Connemann GmbH & Co. KG
Feld & Hahn	Technologie der ehemaligen Fa. Feld & Hahn GmbH
GHP	Technologie der Fa. GHP GmbH (heute nicht mehr auf diesem Gebiet tätig)
INNOVAS	Technologie der Fa. INNOVAS Innovative Energie- und Umwelttechnik Anselm Gleixner und Stefan Reitberger GbR
Löhrlein	Technologie, entwickelt an der Universität GH Kassel/Standort Witzenhausen, fortgeführt durch Fa. Löhrlein Systemtechnik
Lurgi	Technologie der Fa. Lurgi AG (Unternehmen hatte zwischenzeitlich als Lurgi Lifescience GmbH firmiert)
Monforts	Technologie der Fa. IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG
SKET	Technologie der Fa. Cimbria SKET, heute CPM SKET
ÖHMI	Technologie der ÖHMI Engineering, Bereich der ÖHMI AG
VERBIO	Technologie der Fa. Mitteldeutsche Umesterungswerke GmbH, heute ein Unternehmen der Verbio AG
?	Technologie nicht bekannt
(?)	Es handelt sich vermutlich um die angegebene Technologie

3.6 Andere Informationen zur Branche

Bei der Beurteilung von Anlagenemissionen und dem Anfall von schlecht verwertbaren Nebenprodukten, Abfällen und Abwasser spielt die Auslastung der Anlagen in Bezug auf die installierte technische Kapazität eine große Rolle. Optimale Auslegungen von Industrieanlagen bieten bei einem Betrieb in der Nähe der technischen Nennkapazität den spezifisch geringsten Anfall an unerwünschten Stoffen. Sowohl bei wesentlicher Unterschreitung als auch bei Überschreitung der technischen Kapazität werden die Verhältnisse sehr schnell ungünstiger. Die vom VDB aus eigenen Daten und unter Nutzung von statistischem Material der BAFA bzw. des BMU in Kooperation mit der UFOP erstellten Daten zeigen, dass von Ausnahmen in den Jahren 2003 bis 2005 abgesehen, eine mittlere Anlagenauslastung von 60 % nicht überschritten wurde.

Tabelle 13: Daten zur durchschnittlichen Anlagenauslastung bei Biodieselherstellern nach [11]

Jahr	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Absatz Biodiesel Inland in Mio. t	0,34	0,45	0,55	0,81	1,18	1,97	2,87	3,26	2,70	2,51	2,58	2,43
Produktion Biodiesel in Mio. t	0,22	0,28	0,45	0,75	0,98	1,45	2,40	2,90	2,82	2,78	2,80	2,85
Kapazität Biodiesel in Mio. t	0,25	0,52	0,94	1,13	1,21	2,01	3,90	4,83	5,04	5,04	4,96	4,81
Mittlere Anlagenauslastung, bezogen auf Produktion	88 %	53 %	48 %	66 %	81 %	72 %	62 %	60 %	56 %	55 %	56 %	59 %
Produktion Biodiesel in Mio. t	0,22	0,28	0,45	0,75	0,98	1,45	2,40	2,90	2,82	2,78	2,80	2,85

Das Bild stellt sich in Wahrheit noch wesentlich kritischer dar, da es neben Anlagen mit aufgrund besserer Marktanbindung nahezu 100 %iger Auslastung auch eine ganze Reihe von Anlagen gibt, deren Auslastung 30 % praktisch nicht überschreitet. In diesem Falle ist selbst bei kontinuierlichen Anlagen eine intermittierende Betriebsweise unausweichlich, die letztlich abweichend vom projektierten Optimum zu deutlich ungünstigeren Relationen hinsichtlich der spezifischen Material- und Energieverbräuche und dem spezifischen Anfall an unerwünschten Stoffen führt.

3.7 Potentielle Emissionsquellen in Biokraftstoffproduktionsanlagen

Aus der Kenntnis üblicher Technologieabläufe soll hier beispielhaft für die Biodieselherstellung eine Auflistung möglicher Emissionsquellen erfolgen. Eine vertiefte Evaluierung und Ergänzung sowie die Erweiterung auf die Bioethanolproduktion erfolgt in den nächsten Arbeitsabschnitten:

Tabelle 14: Potentielle Emissionsquellen bei der Biodieselproduktion

Prozess	Verfahrensschritt	Emissionsursache/ Bemerkung
Ölgewinnung	Konditionierung, Pressung der Saat	Geruchsbeladene Abluft
	Extraktion des Pressrückstandes bzw. der zerkleinerten Saat, Lösungsmittelkreislauf	Hexan-Verlust

Prozess	Verfahrensschritt	Emissionsursache/ Bemerkung
Biodieselherstellung	Annahme der Rohstoffe, Bevorratung, Verladung der Produkte	Tankatmung, Ausgleichsluft bei Annahme bzw. Verladung ist mit Ausnahme des Methanols weniger kritisch, da es sich durchgängig um schwerflüchtige Substanzen handelt.
	Umesterung, Atmosphäre über Reaktions- und Absetzbehältern	Behälterluft ist Methanol haltig und steht über Sicherheitseinrichtungen (Flammsperren) in Kontakt mit der Außenluft. Die Emissionsmengen sind bei stabiler Fahrweise allerdings gering, da praktisch kein Luftaustausch erforderlich ist. Die Emission ergibt sich im Wesentlichen aus Diffusion und Temperatur bedingten Volumenströmen.
	Entwässerung des Biodiesels im Fallfilmverdampfer	Die Abluft der Vakuumpumpe kann kurzkettsige Abbauprodukte und Reste von Methanol enthalten.
	Bei Destillation des Biodiesels	Abluft der Vakuumpumpe kann kurzkettsige Methylester, Abbauprodukte und Reste von Methanol enthalten.
	Reinigung des Glycerins durch zwei-stufige Destillation	Abluft der Vakuumpumpe kann kurzkettsige Methylester, Acrolein und Reste von Methanol enthalten.

Die geruchsbelastete Abluft aus der Konditionierung bzw. Pressung der Saat kann prinzipiell mit Biofiltern behandelt werden. Die Technik ist jedoch derzeit nur bei wenigen Anlagen im Einsatz. Der Hexanverlust durch den Extraktionsprozess ist dagegen nicht vollständig vermeidbar, da ein Teil des Hexans aus dem extrahierten festen Pressrückstand entfernt werden muss. Diese Systeme können Prinzip bedingt nicht vollständig geschlossen ausgeführt werden, so dass eine merkliche Leckrate bestehen bleibt.

Ölmöhlen, die auf eine Extraktion verzichten, haben das Problem der Hexanemission nicht. Die Wirtschaftlichkeit ist allerdings deutlich schwieriger, da in diesem Falle noch ein erheblicher Teil des Öls im Pressrückstand verbleibt, der bei einer Verwertung als Futtermittel nicht oder nicht ausreichend vergütet wird.

Biodieselanlagen selbst haben vergleichsweise wenige bzw. eher unkritische Emissionsquellen. Die größte Aufmerksamkeit muss dabei dem Methanol gewidmet werden. Abgasströme aus Vakuumpumpen werden in einigen Fällen der Verbrennungszuluft von Anlagen integrierten Wärmeerzeugungsgagregaten zugeleitet.

3.8 Fazit zum Arbeitspakte 1

Die in der verfügbaren Literatur enthaltenen Informationen bieten hinsichtlich der Aspekte „Technologie“, spezifischem Material- und Energieeinsatz sowie hinsichtlich des Anfalls von schlecht verwertbaren Nebenprodukten, Abfällen und Abwasser allenfalls eine Orientierung.

Im Falle von Bioethanol fehlen solche Angaben nahezu vollständig.

Die vorhandenen Daten sind nur bedingt vergleichbar. Darüber hinaus ist zu vermuten, dass sie überwiegend keinen aktuellen Stand der Technik widerspiegeln.

Bei der Herstellung von Biodiesel sind zwar weiterhin graduelle Verbesserungen der Prozesse zu erwarten. Grundlegende Verfahrensänderungen werden jedoch eher nicht eintreten. Der Einsatz von Mikrowellen, Ultraschall, Kavitation und anderen unkonventionellen Formen des Energieeintrages sowie die Anwendung von überkritischen Systemen (z.B. überkritisches CO₂) sind bisher auf den Laborbereich beschränkt. Eine wirtschaftliche Anwendbarkeit derartiger Ansätze ist derzeit nicht gegeben und in naher Zukunft auch nicht zu erwarten.

Es besteht dagegen in den Unternehmen ein erhebliches Interesse, beispielsweise eingesetzte Wärmeenergie auf mehreren Niveaus besser zu nutzen. Auch die Verminderung des Katalysatoreinsatzes

durch wirksamere Katalysatoren bzw. durch die Abkehr vom Prinzip des „Verlust“katalysators ist von großer Bedeutung, wobei sich Festkörperkatalysatoren in industriellen Prozessen bisher eher nicht bewährt haben. Im Fokus von Prozessoptimierungen steht ebenso die Verbesserung der Produktreinigung. Die überwiegend verwendete Wasserwäsche ist jedoch nur dann beispielsweise durch Adsorptionseinrichtungen ersetzbar, wenn eine reversible Betriebsweise durch Desorption der aufgenommenen Stoffe gegeben ist. Das erforderliche Desorptionsmittel (Eluent) muss preiswert und möglichst rückgewinnbar sein, um einen wirtschaftlichen und ökologisch vertretbaren Betrieb zu sichern.

4 Arbeitspaket 2: Verfahrensbeschreibung und Bewertung

Dieser Projektabschnitt gliedert sich in die Projektabschnitte 2a „Referenzanlagen“ und 2b „Sonstige Anlagen“

Schwerpunkt des Projektabschnitts 2a war die Identifikation von Referenzanlagen, deren Besichtigung und die Erfassung von BVT-relevanten Daten mit dem speziell dafür entwickelten Fragebogen.

Schwerpunkt des Projektabschnitts 2b war die Identifikation von weiteren Anlagen, deren Besichtigung und die Erfassung von BVT-relevanten Daten mit dem speziell dafür entwickelten Fragebogen.

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich – soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet – ausschließlich auf Anlagen zur Herstellung von Biodiesel. Der Anlagenteil zur Reinigung von Glycerin wurde mitbetrachtet, wenn das für das Verständnis der Zusammenhänge erforderlich erschien.

Ein Zugang zu Bioethanolanlagen oder alternativ die Bereitstellung von entsprechenden Daten wurde durch die Anlagenbetreiber trotz Zusage der anonymen Datenverwendung nicht ermöglicht.

4.1 Auswahl der Anlagen

Die Referenzanlagen für die Projektabschnitte 2a und 2b wurden so ausgewählt, dass möglichst unterschiedliche Anlagentypen und –größen berücksichtigt werden konnten. Kleinere Anlagen sind im Allgemeinen einfacher aufgebaut und werden meist in Batchfahrweise oder semikontinuierlich¹² betrieben, wohingegen größere Anlagen komplexer aufgebaut sind und kontinuierlich betrieben werden. Allein aus der Fahrweise oder der Größe von Anlagen können jedoch keine Ableitungen hinsichtlich BVT vorgenommen werden. Hierfür müssen weitere detailliertere Kriterien herangezogen werden.

Die Auswahl der Anlagen für das Vorhaben soll anhand nachfolgender Kriterien näher beschrieben werden:

- ▶ Anlagengröße
 1. Nennkapazität > 250.000 t/a („sehr groß“)
 2. Nennkapazität 100.000 bis 200.000 t/a („groß“)
 3. Nennkapazität 30.000 bis 100.000 t/a („mittelgroß“)
 4. Nennkapazität < 30.000 t/a („klein“)
- ▶ Ölmühle
 1. Werksintegrierte Press- und Extraktionsölmühle
 2. Werksintegrierte Ölmühle, nur Pressung
- ▶ Glycerinaufbereitung
 1. Ohne
 2. Nur Entsalzung und Aufkonzentrieren bis ca. 80 % Glyceringehalt
 3. Herstellung von Pharmaglycerin
- ▶ Prozessfahrweise (Umesterung)
 1. Diskontinuierlich

¹² Bei semikontinuierlicher Betriebsweise werden einzelne Prozessstufen (typischerweise die Umesterung und die Phasentrennung) diskontinuierlich ausgeführt, während nachfolgende Prozessstufen (z.B. Produktwäsche und –trocknung) kontinuierlich betrieben werden. Diese Fahrweise besitzt Vorteile bei der Verarbeitung chargenbezogener Rohstoffe, da hierbei einerseits durch Änderung von Verweilzeit, Temperatur und Katalysatorkonzentration optimale Bedingungen für den jeweiligen Ansatz hergestellt werden und andererseits geeignete Bedingungen für vorteilhafter kontinuierlich zu betreibende Anlagenteile geschaffen werden können.

2. Semikontinuierlich
 3. Kontinuierlich
- Besondere Rohstoffe
1. Verarbeitung tierischer Rohstoffe
 2. Verarbeitung von Rohstoffen mit erhöhten Anteilen an freien Fettsäuren
- Verfahrensgeber
1. Agrartechnik GmbH & Co. KG (Schlaitdorf) und abgeleitete Lösungen
 2. Biodiesel International (BDI, Österreich)
 3. Connemann-Verfahren (heute ADM Hamburg AG)
 4. Lurgi AG
 5. VERBIO AG
 6. PPM Technologie GmbH
 7. Andere

Die zu besichtigenden bzw. zu erfassenden Anlagen sollten daher so kombiniert werden, dass verschiedene Kriterien und deren Auswirkungen berücksichtigt werden können.

Die Betreiber der Anlagen bzw. mit der Errichtung bzw. Genehmigungsplanung von Anlagen betrauten Ingenieurbüros/Anlagenbauer wurden mit Bitte um Mitwirkung angefragt. In fast allen Fällen wurden Bedenken hinsichtlich der Datenverwendung bzw. der Preisgabe von Betriebsgeheimnissen geäußert. In den Fällen, in denen die Unternehmen nur der Besichtigung bzw. Befragung durch explizit akzeptierte Personen aus dem Kreis der Auftragnehmer zugestimmt haben, wurde diese Forderung umgesetzt.

Die Datenerhebung aus einer „mittelgroßen“ Anlage in Verbindung mit einer Besichtigung erfolgte im Projektabschnitt 2b, wobei eine andere Anlage ausgewählt werden musste als ursprünglich vorgesehen. In diesem Projektabschnitt wurden darüber hinaus die Daten weiterer Anlagen aus dem Größenbereich „groß“ bzw. „sehr groß“ ermittelt.

4.2 Erarbeitung der Fragebögen

Um die Ergebnisse der Befragung/Besichtigung der einzelnen Unternehmen vergleichbar zu machen, wurden auf die zu erwarteten Technologien bzw. Prozessschritte angepasste Fragebögen erarbeitet.

Grundlage für die Fragebögen zur Ermittlung der besten verfügbaren Technik waren die „Leitlinien für die Erhebung von Daten sowie für die Ausarbeitung der BVT-Merkblätter und die entsprechenden Qualitätssicherungsmaßnahmen“ gemäß der Richtlinie 2010/75/EU aus dem Durchführungsbeschluss 2012/119/EU der Kommission vom 10. Februar 2012 sowie die Erfahrungen mit Biodiesel- und Bioethanolanlagen aus der ingenieurtechnischen Praxis.

Die Leitlinien und die Erfahrungen gewährleisteten eine vergleichbare und umfassende Aufnahme aller für die BVT-Merkblätter relevanten Anlageninformationen. Zentrales Element der Fragebögen sind die Masse bezogene Zuordnung der In- und Outputs, die Aufstellung des spezifischen Energieeinsatzes nach verwendeten Energieträgern sowie die Abgabe von nutzbarer Sekundärenergie bzw. Angaben zur Mehrfachnutzung.

Die erarbeiteten Fragebögen wurden dem Umweltbundesamt vorgelegt. Danach erfolgte ein Testlauf mit dem Ziel der Prüfung auf Durchführbarkeit und Vollständigkeit. Es ergaben sich kleinere Änderungen, die vor der Befragung der übrigen Unternehmen eingearbeitet wurden.

4.3 Anlagensteckbriefe

Die detaillierten Angaben finden Sie in der Anlage A. Es wurden Daten in sieben Unternehmen erhoben, die im weiteren Text wie folgt gekennzeichnet werden:

- ▶ Unternehmen A
- ▶ Unternehmen B
- ▶ Unternehmen C
- ▶ Unternehmen D
- ▶ Unternehmen E
- ▶ Unternehmen F
- ▶ Unternehmen G

4.4 Orientierende Beschreibung der in den Unternehmen genutzten Technologien

4.4.1 Verfahrensbeschreibung

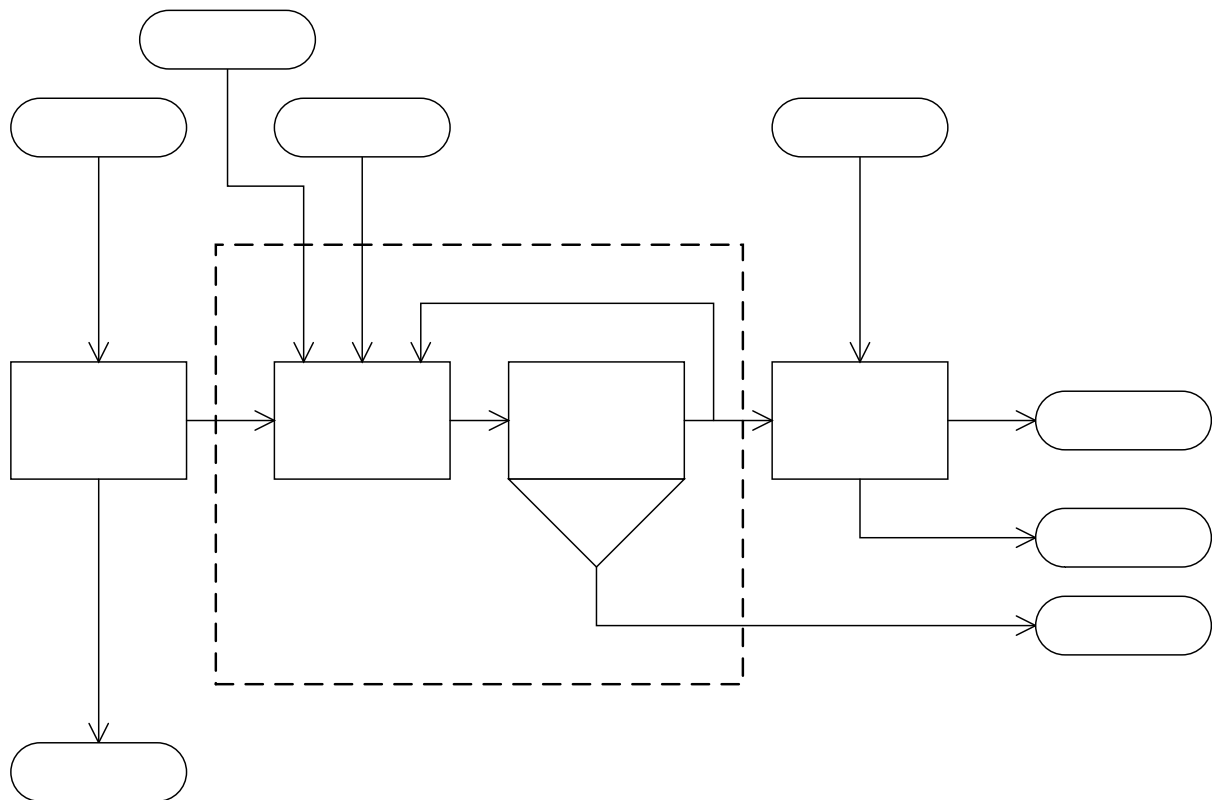
Die Anlage des Unternehmens A ist eine typische Kleinanlage mit diskontinuierlicher Betriebsweise, bei der das Pflanzenöl zunächst einer einfachen physikalischen Reinigung unterzogen wird. Es handelt sich dabei um einen Absetz-/Filterprozess, der den Eintrag von Schwebstoffen in die Reaktion verhindern soll. Er dient nicht der Entfernung von freien Fettsäuren (FFA) und anderen löslichen oder pseudolöslichen Nebenbestandteilen des Öls.

In einem Rührreaktor werden das vorbereitete Öl, Methanol und Katalysator (Kaliumhydroxid) zur Reaktion gebracht. Nach der Reaktion wird die gesamte Reaktionsmischung in einen Absetzbehälter überführt. Die Reaktionsmischung trennt sich in eine aufschwimmende Phase und eine Schwerphase. Die aufschwimmende Phase wird in den Rührreaktor zurückgeleitet, erneut mit Methanol und Katalysator versetzt und zur Reaktion gebracht. Ziel dieser zweiten Stufe ist eine Erhöhung des Umsetzungsgrades auf mind. 95 %. Anschließend wird die gesamte Reaktionsmischung erneut in den Absetzbehälter gepumpt. Es tritt erneut eine Trennung in eine aufschwimmende Roh-Fettsäuremethylester-Phase und eine Schwerphase ein.

Die Glycerin und Methanol haltige Schwerphase wird abgetrennt und in einem Tank zum Verkauf bereitgestellt. Der gewonnene Roh-Fettsäuremethylester wird durch eine mit Holzmehl/Holzschnitzel hergestellte Filterpackung geleitet. Diese entfernt restliches Methanol und Alkali- bzw. Erdalkalielemente. Der Biodiesel wird danach unmittelbar in den Verkaufstank geleitet.

Abbildung 6: Prinzip zur Herstellung von Biodiesel nach dem Verfahren der Firma Cimbria-Heid¹³ (Anlage des Unternehmens A)

¹³ Das Verfahren entspricht im Wesentlichen einem frühen Technologiestand von Biodieselanlagen, die von der Fa. AT Agrartechnik GmbH & Co KG (Schlaitdorf) entwickelt und errichtet wurden.



Vorteil einer solchen Vorgehensweise ist der geringe apparative Aufwand, der es typischerweise bereits mit zwei in den gleichen Apparaten nacheinander ausgeführten Reaktionsstufen gestattet, einen für die Endproduktqualität ausreichenden Reaktionsumsatz zu erzielen. Außerdem ergibt sich ein vergleichsweise geringer Wasserverbrauch, da auf eine explizite Wasserwäsche des Produkts verzichtet wird. Andererseits erhöhen zusätzliche Schritte bei der Reinigung des Reaktionsbehälters den Wasserverbrauch.

Nachteilig ist, dass auf diese Weise nur in einem sehr engen Toleranzfeld der Rezeptur normgerechte Produkte erzeugt werden können. Es ist insbesondere praktisch ausgeschlossen, den Methanolüberschuss zu erhöhen, um bei schwierigen Rohstoffen einen ausreichenden Reaktionsumsatz zu erreichen. In diesem Falle würde sich Methanol in der Leichtphase in einem solch hohen Maße anreichern, dass nach der Endfiltration immer noch ein zu hoher Methanolgehalt im Produkt verbliebe. Dies kann nur durch eine Wiederholung der Reaktion und der Phasentrennung (3. Stufe) vermieden werden.

Allerdings zeigt die Erfahrung, dass bei bestimmten Rohstoffprovinzen wiederholte Reaktionsschritte zu keiner Verbesserung des Reaktionsumsatzes führen. Es können faktisch nur kaltgepresste Pflanzenöle oder entschleimte und neutralisierte Pflanzenöle eingesetzt werden.

Das Fehlen einer Waschstufe bedingt auch das Risiko, dass gelegentlich bei kaltgepressten Ölen vorkommende hohe Konzentrationen an Calcium bis in den Biodiesel durchschlagen und somit die Normanforderungen verletzen würden. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass die verbrauchten Holzmehl-/Holzschnitzel-Filterpackungen Abfall sind und fachgerecht entsorgt werden müssen.

Ein weiterer Nachteil ist, dass keine Aufarbeitung der Schwerphase vor Ort stattfindet, so dass diese zwingend zur Verwertung an entsprechende Aufbereitungsbetriebe gegeben oder als Abfall entsorgt werden muss. Hiermit ist verbunden, dass das in der Schwerphase enthaltene Methanol für weitere Umsetzungen verloren ist, so dass sich zwingend ein erhöhter spezifischer Methanolverbrauch gegenüber dem stöchiometrisch erforderlichen Wert ergibt. Dies ist allerdings vordergründig nur betriebs-

wirtschaftlich und nicht hinsichtlich der Umweltwirkung relevant, da bei sachgerechter Aufarbeitung das Methanol ohne schädliche Auswirkung auf die Umwelt vollständig zurückgewonnen wird.

Die Anlagen des Unternehmens C und des Unternehmens B benutzen gleichermaßen die Technologie der Fa. Lurgi AG¹⁴, wobei kleinere Unterschiede in der konkreten Ausgestaltung bestehen.

Die Technologie beruht auf einer zweistufigen kontinuierlichen Umesterung des Pflanzenöls mit Methanol in Gegenwart von Natriummethylat als Katalysator in einer Mixer-Settler-Kaskade, gefolgt von einer Wasserwäsche mit angesäuertem Wasser und anschließender Produkttrocknung in einem Fallfilmverdampfer. Die ausschließliche Sauerwäsche hat sich jedoch nicht bewährt, so dass die praktisch ausgeführten Anlagen stets um eine zusätzliche Waschstufe mit deionisiertem Wasser bzw. Kondensat ergänzt wurden.

Die in den Separatoren der Mixer-Settler-Kaskade anfallende Schwerphase wird vereinigt und das enthaltene Methanol destillativ entfernt. Danach erfolgt die Abscheidung einer durch die Lurgi AG als „Fettphase“ bezeichneten Fraktion, die Fettsäuremethylester und freie Fettsäuren sowie Reste von Methanol enthält. Anschließend wird der pH-Wert so eingestellt, dass die enthaltenen Katalysatorreste als Salz ausfallen und auf diese Weise von der Glycerin haltigen Phase abgetrennt werden können. Abschließend wird der Wassergehalt destillativ so weit reduziert, bis ein mindestens 80 %iges Rohglycerin entsteht.

Das Verfahrensschema ist in Abbildung 8 dargestellt.

Zusätzlich erfolgt über das abgebildete Verfahrensschema hinaus eine Aufarbeitung des Rohglycerins zu Pharmaglycerin, indem das Rohglycerin unter Vakuum in einem Dünnschichtverdampfer destilliert und anschließend durch ein Aktivkohlefilter zur weiteren Entfernung von Spurenbestandteilen sowie zur Verbesserung der Farbzahl geleitet wird.

Der wesentliche Vorteil des Verfahrensprinzips ist die kontinuierliche Prozessführung, die eine Skalierung der Anlagenkapazität bis zu mehreren 100.000 t/a gestattet. Ebenso ist die Sicherung einer stabilen Endproduktqualität insbesondere durch die Reinigungsstufen einschließlich der Produkttrocknung gewährleistet. Ungeachtet dessen sind derartige Anlagen nur für ein enges Rohstofffenster ausgelegt. Insbesondere der Gehalt an freien Fettsäuren des Einsatzöls darf einen Wert von 0,1 % nicht überschreiten. Sollen breitere Rohstoffspektren verarbeitet werden, ist die Vorschaltung einer Ölaufbereitung – ähnlich wie in einer Ölmühle – zwingend erforderlich.

Nach dem Anlagenprinzip und unter Lizenz der Fa. Lurgi AG wurden weltweit über 30 Biodieselanlagen mit Kapazitäten von 37.000 t/a bis 250.000 t/a errichtet.

Die erste großtechnische Anlage zur Erzeugung von Biodiesel in Deutschland wurde in der Oelmühle Leer Connemann GmbH (heute Werk Leer der ADM Hamburg AG) im Jahre 1995 in Betrieb genommen und danach am Standort mehrfach erweitert bis zu einer Kapazität von 110.000 t/a. Späterhin wurde am Standort Hamburg eine Anlage mit einer Kapazität von 180.000 t/a errichtet, die durch Optimierungen und Aufbau einer weiteren Produktionsstraße auf eine Kapazität von 580.000 t/a erweitert wurde.

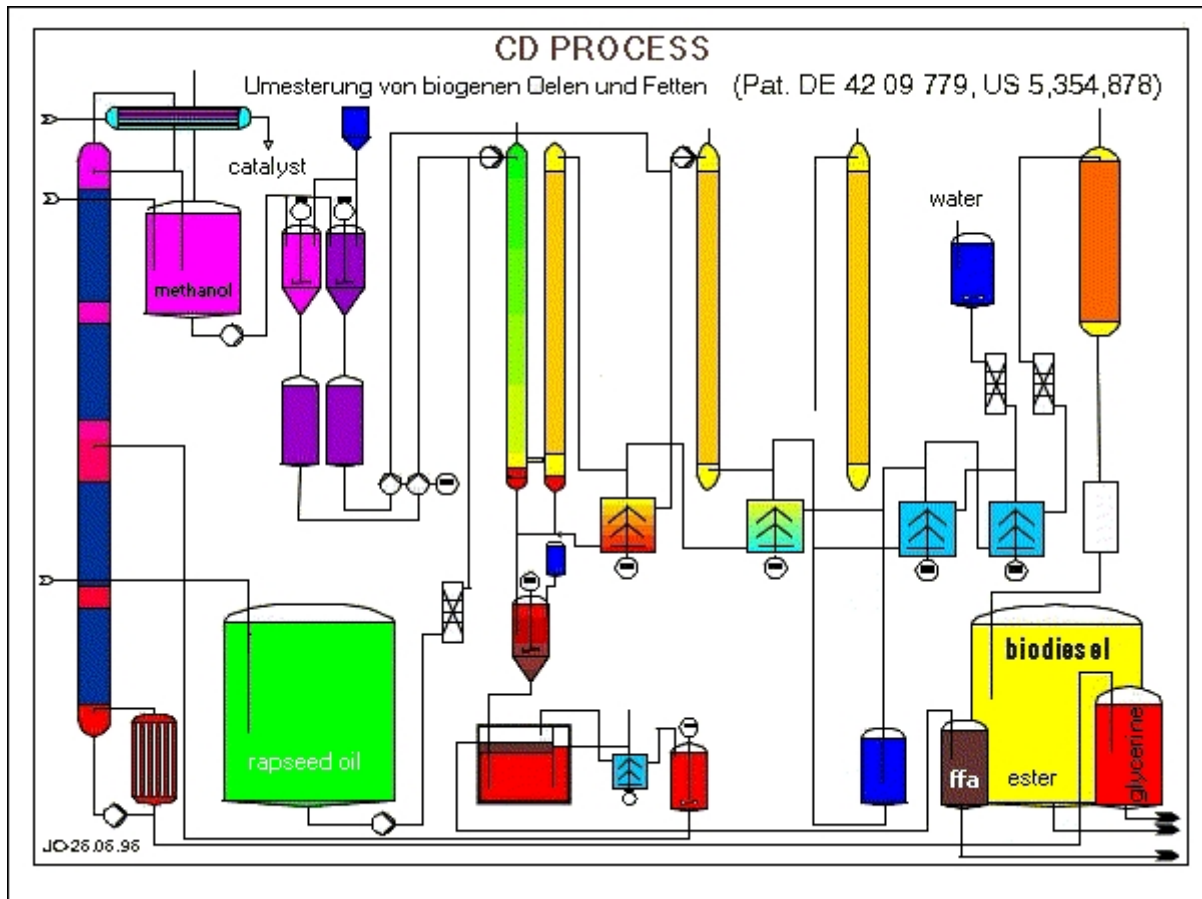
Das hierbei angewandte Technologieprinzip¹⁵ vermeidet Rührbehälter zur Durchführung der Umesterung, indem die Reaktion in zwei aufeinanderfolgenden Reaktionskolonnen durchgeführt wird, wobei das umzuesternde Öl und das Methanol im Gleichstrom geführt werden. Die Trennung der Reaktions-

¹⁴ Das Unternehmen firmierte zum Zeitpunkt der Entwicklung der Technologie als Lurgi Life Science GmbH. Die Lurgi Life Science GmbH wurde zusammen mit anderen GEA Tochtergesellschaften in die Lurgi AG überführt. Die Lurgi AG wurde 2007 an die französische Fa. Air Liquide verkauft, dabei zunächst in eine GmbH umgewandelt und ist heute vollständig in den Geschäftsbereich „Construction & Engineering“ (C&E) von Air Liquide integriert.

¹⁵ Die Technologie wurde unter der Bezeichnung „Connemann-Verfahren“ (Basis Patent: DE 42 09 779) vermarktet und war zum Zeitpunkt der erstmaligen technischen Realisierung das hinsichtlich niedrigster Gehalte an Nebenkomponenten im FAME führende Verfahren.

produkte erfolgt in auf dem Zentrifugalprinzip beruhenden Separatoren. Die Reaktion wird durch die Phasentrennung in Verbindung mit anschließender Wäsche des Roh-FAME mit angesäuertem Wasser abgebrochen.

Abbildung 7: Prinzip zur Herstellung von Biodiesel nach dem Connemann-Verfahren



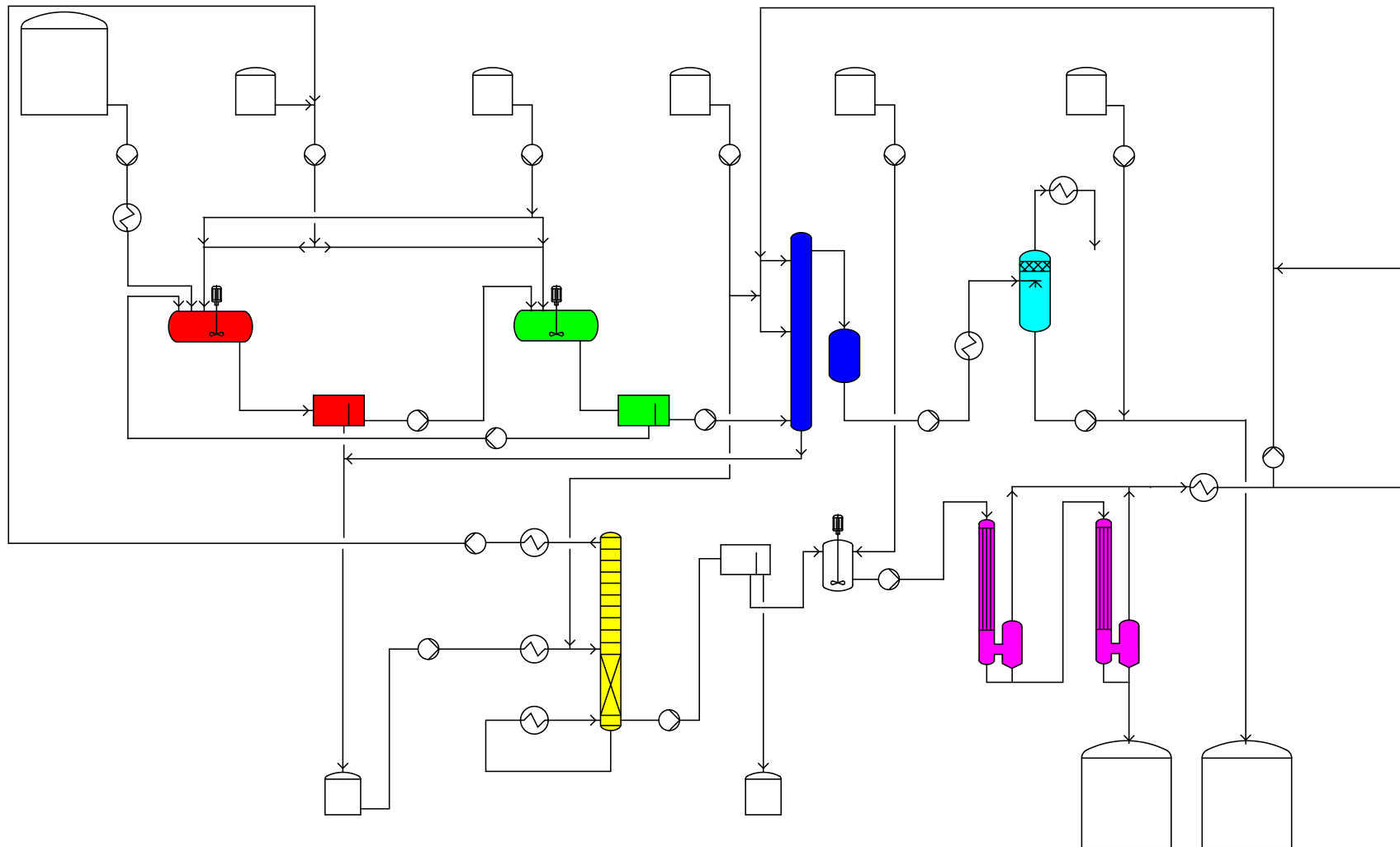
Der technologische Ablauf in der Anlage der Fa. VERBIO Diesel GmbH & Co. KG ist hinsichtlich des grundsätzlichen Prozessverlaufs mit dem nach dem Lurgi-Verfahren vergleichbar und zeigt auch eine gewisse Verwandtschaft mit dem Conneman-Verfahren. Die verfahrenstechnischen Operationen werden jedoch teilweise mit anderen Apparaten bzw. Wirkprinzipien durchgeführt (z.B. die Durchführung der Umesterung in Reaktionskolonnen sowie Optimierung der Waschprozesse mittels spezieller Apparate). Ebenso wurde von Anfang an darauf geachtet, dass Prozesswärme mehrstufig möglichst bis zu deren vollständiger Degradation in verschiedenen Prozesseinheiten genutzt wird. Auf diese Weise wird zugleich eine sehr kompakte Bauweise der Anlage erreicht. Die Anlage ist ebenfalls mit einer Prozesseinheit zur Herstellung von Pharma-Glycerin ausgestattet. Auch bei dieser Anlagentechnik bestehen spezifische Merkmale, die aus eigenen Entwicklungen stammen und fortschrittlich gegenüber dem Stand der Technik sind. Außerdem besteht mittels einer zusätzlichen Prozesseinheit die Möglichkeit, Fettsäure haltige Rohstoffe (z.B. Spaltfettsäuren aus Ölmühlen) oder Fettsäure haltige Phasen aus der Umesterung mit einer Veresterung ebenfalls zu Methylestern zu verarbeiten. Hierbei werden verschiedene saure Katalysatoren eingesetzt.

Die Fa. VERBIO Diesel GmbH & Co. KG hat einer Veröffentlichung des technologischen Schemas nicht zugestimmt. Das Anlagenprinzip wird neben dem Standort der ersten errichteten Anlage in Bitterfeld weiterhin in einer ebenfalls zur VERBIO AG gehörenden Anlage in Schwedt/Oder genutzt. Lizenzvergaben zum Verfahren der VERBIO sind nicht bekannt.

Die im Vergleich zu einfachen Biodieselanlagen komplexen Prozesse (hier: VERBIO AG bzw. Lurgi AG als Verfahrensträger) vermeiden zwar Abfall durch weitest gehende Verarbeitung aller Stoffe und weisen zugleich niedrige spezifische Stoffeinsatzmengen auf, führen jedoch aufgrund der notwendigen thermischen Prozesse und der Vielzahl der Apparate potenziell zu einer Erhöhung des Energieaufwandes und der Vervielfachung der Zahl der primären Emissionsquellen. Durch deren Zusammenfassen, geeignete technische Maßnahmen zur Emissionsminderung nach Stand der Technik und Maßnahmen zur Energieeinsparung fällt dies jedoch gegenüber den einfachen Anlagen nicht nachteilig ins Gewicht.

Letztlich repräsentieren derartige komplexe Anlagen wirtschaftliche, Ressourcen schonende und emissionsarme Technologien zur Herstellung von Biodiesel.

Abbildung 8: Prinzip zur Herstellung von Biodiesel nach dem Verfahren der Firma Lurgi AG



Quelle: Werbematerial, veröffentlicht

4.4.2 Zum Einsatz von Katalysatoren

Insbesondere bei einfachen Anlagen wird Kaliumhydroxid als Katalysator eingesetzt. Dieser Katalysator hat den Vorteil, dass die Umesterung auch noch bei Raumtemperatur mit ausreichender Geschwindigkeit stattfindet. Alternativ kann auch Natriumhydroxid eingesetzt werden. Hierbei sind jedoch Reaktionstemperaturen von mindestens 50 °C erforderlich.

Üblicherweise werden die Hydroxide in einem Rührbehälter mit Methanol vorgemischt und als Lösung in Methanol der Reaktion beigegeben. Da das chemisch wirksame Agens das jeweilige temporär gebildete Methylat ist, kann alternativ auch ein extern bereitgestelltes Methylat (typischerweise als ca. 30 %ige Lösung in Methanol) eingesetzt werden. Das hat den Vorteil, dass kein parasitärer Eintrag von Reaktionswasser aus der Methylatbildung in die Umesterung stattfindet, wodurch sich Gleichgewichtslage und Reaktionsgeschwindigkeit deutlich verbessern. Ebenso vermindert sich die unerwünschte Bildung von Seifen. Durch eine geeignete Prozessführung kann der Nachteil von Hydroxiden kompensiert werden. Andererseits sind die Kosten beim Einsatz von Methylaten deutlich höher als beim Einsatz von Hydroxiden, so dass bis heute beide Konzepte parallel verfolgt werden. Es gibt jedoch einen Trend zur Verwendung von Methylaten. Insbesondere bei schwierigen Rohstoffen weisen Methylate Vorteile gegenüber Hydroxiden auf, da durch eine höhere Dosierung die Wirkung gesteigert werden kann, ohne dass zugleich große Mengen an Alkaliseifen gebildet werden. Außerdem kann die Raum-Zeit-Ausbeute bei bestehenden Apparatekonfigurationen verbessert werden.

Da es sich bei der Umesterung um eine typische Gleichgewichtsreaktion handelt, muss verhindert werden, dass die Reaktion beispielsweise bei den Waschprozessen oder bei der Trocknung rückwärts verläuft bzw. eine Hydrolyse des Esters eintritt. Das kann am wirksamsten dadurch vermieden werden, indem sofort nach der Reaktion die noch vorhandenen Reste des alkalischen Katalysators deaktiviert werden. Dies wird im Allgemeinen durch Ansäuern, gefolgt von einer sauer eingestellten Wasserwäsche erreicht. Je nach Katalysatorart werden bestimmte Säuren präferiert; einige theoretisch mögliche Kombinationen sind jedoch nicht zu empfehlen:

Tabelle 15: Katalysatoren und anwendbare Säuren zu deren Deaktivierung

Katalysator	Deaktivierungsagens	Bemerkung
NaOH NaOCH ₃	HCl	Salz ist Abfall oder kann bei geringer organischer Fracht als Enteisungsmittel eingesetzt werden. Anwendung bei: Connemann-Verfahren, VERBIO, Lurgi-Verfahren
	H ₂ SO ₄	Natriumsulfat bildet voluminöse Dekahydrate mit Neigung zur Kristallisation an Oberflächen. Diese Kombination ist daher nicht zu empfehlen.
	Citronensäure	Citronensäure ist ein Komplexbildner und daher sehr wirksam. Eine Salzfällung kann auf diese Weise jedoch nicht erreicht werden sondern die Salze müssen mittels Wasserwäsche entfernt werden.
KOH KOCH ₃	HCl	KCl hat eine hohe Löslichkeit in den betreffenden Phasen und wird schlecht ausgeschieden. Diese Kombination ist daher nicht zu empfehlen.
	H ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄ kristallisiert gut selbst aus konzentrierten Lösungen aus; wenig Neigung zum Anbacken an Apparateoberflächen. Substanz kann als Bestandteil von Mineraldüngern eingesetzt werden. Das Salz enthält zum Teil Hydrogensulfat und ist extrem feinkörnig ¹⁶ Anwendung bei: Verfahren der Agrartechnik GmbH (Schlaitdorf)
	H ₃ PO ₄	Es entstehen Mischungen verschiedener Phosphate, die gut auskristallisieren. Ziel ist die Herstellung eines Salzes mit hohem Dün-

¹⁶ Die Hinweise in den Sicherheitsdatenblättern sind zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken bei der Verwendung unbedingt einzuhalten. Insbesondere der Anteil an Hydrogensulfaten kann beim Einatmen der Stäube zu ernsthaften Gesundheitsschäden führen.

Katalysator	Deaktivierungsagenz	Bemerkung
		gewert. Allerdings ist auch der Einsatz von Phosphorsäure mit vergleichsweise hohen Kosten verbunden, so dass unter heutigen Bedingungen dieses Szenario nicht wirtschaftlich ist.
	Essigsäure	Die Alkaliacetate fallen unter den in Biodieselanlagen üblichen Bedingungen nicht aus. Die Methodik führt zwar zu neutralen Estern, es besteht jedoch ein hohes Risiko, dass die Alkalielement-Grenzwerte der DIN EN 14214 mit dieser Methode nicht eingehalten werden. Anwendung bei: Bio-Diesel Wittenberge GmbH zum Zeitpunkt der Errichtung der Anlage (vor Umbau durch das Konsortium Cargill/Agravis)

4.5 Ermittlung von spezifischen Kennwerten

Nachfolgend werden auf der Basis der Ergebnisse der Anlagenbesichtigungen bzw. der Befragung der Verantwortlichen für die einzelnen BVT-relevanten Parameter die betrieblichen spezifischen Kennwerte ermittelt. Offenkundige Übermittlungs- und Erfassungsfehler wurden bei der Umrechnung in die Kennwerte berichtigt, soweit dies mittels redundanter oder plausibler Ableitung aus anderen Angaben möglich war. In den Fällen, in denen offenkundige Abweichungen trotz dieses Abgleichs fortbestehen, wurde dies ausdrücklich in den Tabellen gekennzeichnet.

4.5.1 Materialeinsatz im Hauptprozess (Umesterung und Produktreinigung FA-ME)

Auf der Basis der Angaben der Betreiber bzw. ausführender Ingenieurunternehmen wurden folgende Kennwerte des spezifischen Materialeinsatzes im Hauptprozess ermittelt:

Tabelle 16: Spezifischer Materialeinsatz zur Herstellung von Biodiesel

Stoff	Anlage / Verfahren	Spezifische Menge in t/t Biodiesel	Bemerkung
Pflanzenöl, andere triglyceridische Fette	Unternehmen D	1,04	
	Unternehmen B / Lurgi AG	1,04	Annahme: Gewinnbarer Ölgehalt der Rapssaat: 40 %
	Unternehmen C/ Lurgi AG	1,04	Eine echte Bilanzierung ist nicht vorhanden, Annahme des Anlagenbetreibers
	Unternehmen A / Cimbria Heid	1,13	
	Unternehmen E	1,02	
	Unternehmen F	1,00	Eine echte Bilanzierung ist nicht vorhanden, Nennwert lt. BImSchG-Genehmigung
	Unternehmen G	1,04	
Methanol	Unternehmen D	0,097	
	Unternehmen B / Lurgi AG	0,096	
	Unternehmen C / Lurgi AG	0,096	
	Unternehmen A / Cimbrian Heid	0,164	
	Unternehmen E	0,12	
	Unternehmen F	0,1	

Stoff	Anlage / Verfahren	Spezifische Menge in t/t Biodiesel	Bemerkung
	Unternehmen G	0,096	
Katalysator: NaOH	Unternehmen D	0,0019	
Katalysator: NaOCH ₃	Unternehmen B / Lurgi AG	0,0051	
	Unternehmen C / Lurgi AG	0,0045	
	Unternehmen E	0,0090	
	Unternehmen F	0,0066	
	Unternehmen G	0,0045	
Katalysator: KOH	Unternehmen A / Cimbria Heid	0,0140	
Deaktivierung des Katalysators: HCl	Unternehmen D	0,0043	Etwa 50 % des HCl werden für die Sauerwäsche des Roh-FAME eingesetzt
	Unternehmen B / Lurgi AG	0,0037	
	Unternehmen C /Lurgi AG	0,0030	
	Unternehmen F	0,0045	
	Unternehmen G	0,0044	
Deaktivierung des Katalysators: -	Unternehmen A Cimbria Heid		
Deaktivierung des Katalysators: Citronensäure:	Unternehmen E	0,0006	
Weitere Stoffe: -	Unternehmen D		
	Unternehmen B / Lurgi AG		
	Unternehmen C / Lurgi AG		
	Unternehmen E		
	Unternehmen G		
Weitere Stoffe: Holzmehl/ Holz-schnitzel	Unternehmen A / Cimbria Heid	0,0002	
	Unternehmen F	0,002	

Hinweis:

Die Bilanzierung des Methanols scheint bei den Großanlagen deutlich zu optimistisch zu erfolgen: Bei der Herstellung von Rapsmethylester aus üblichen Doppel-Null-Rapssorten ist stöchiometrisch pro Tonne Endprodukt der Einsatz von 108 kg Methanol erforderlich. Selbst unter der (extremen) Annahme, dass der tatsächliche Estergehalt im Produkt nur 96,5 % (Grenzwert der DIN EN 14214) beträgt, wären immer noch 104 kg Methanol pro Tonne Rapsmethylester erforderlich.

Die Ursache für diese Abweichung konnte nicht geklärt werden.

4.5.2 Energieeinsatz im Hauptprozess (Umesterung und Produkteingang FAME)

Auf der Basis der Angaben der Betreiber bzw. ausführender Ingenieurunternehmen wurden folgende Kennwerte des spezifischen Energieeinsatzes im Hauptprozess ermittelt. Da nicht in allen Fällen eine getrennte Zählung der Energie für Biodieselherstellung und Glycerinaufbereitung vorhanden ist, wurde bei fehlenden Angaben pauschal angenommen, dass 60 % der jeweiligen Energieform für die eigentliche Biodieselherstellung und 40 % für die Glycerinaufbereitung angewendet werden:

Tabelle 17: Spezifischer Energieeinsatz zur Herstellung von Biodiesel

Energieform	Anlage / Verfahren	Spezifischer Energieaufwand in kWh/t Biodiesel	Bemerkung
Elektroenergie	Unternehmen D	25	Annahme: 60 % für Biodieselprozess
	Unternehmen B / Lurgi AG	75	Annahme: 60 % für Biodieselprozess
	Unternehmen C/ Lurgi AG	99	Annahme: 60 % für Biodieselprozess
	Unternehmen A / Cimbria Heid	125	
	Unternehmen E	25	80 % aus eigenem erdgasbefeuelten BHKW und 20 % extern zugekauft
	Unternehmen F	67	Annahme: 60 % für Biodieselprozess Anteil BHKW marginal
	Unternehmen G	85	Annahme: 60 % für Biodieselprozess
Dampf	Unternehmen D	159	Annahme: 60 % für Biodieselprozess
	Unternehmen B / Lurgi AG	292	Annahme: 60 % für Biodieselprozess
	Unternehmen C/ Lurgi AG	204	
	Unternehmen A / Cimbria Heid	-	
	Unternehmen E	-	
	Unternehmen F	-	
	Unternehmen G	200	
Weitere Energieträger: Erdgas	Unternehmen D	21,7	Annahme: 60 % für Biodieselprozess
	Unternehmen E	52	Anteilig stehen 50 % zur

Energieform	Anlage / Verfahren	Spezifischer Energieaufwand in kWh/t Biodiesel	Bemerkung
	Unternehmen F	168	Wärmeversorgung zur Verfügung Annahme: 60 % für Biodieselprozess

4.5.3 Einsatz von Wasser

Auf der Basis der Angaben der Betreiber bzw. ausführender Ingenieurunternehmen wurden folgende Kennwerte des Wassereinsatzes für die Biodieselherstellung ermittelt. Da nicht in allen Fällen eine getrennte Zählung für Biodieselherstellung und Glycerinaufbereitung vorhanden ist, wurde bei fehlenden Angaben pauschal angenommen, dass 60 % der jeweiligen Menge für die eigentliche Biodieselherstellung und 40 % für die Glycerinaufbereitung angewendet werden:

Tabelle 18: Spezifischer Wassereinsatz zur Herstellung von Biodiesel

Wasser	Anlage / Verfahren	Spezifischer Wassereinsatz in t/t Biodiesel	Bemerkung
Öffentliche Wasserversorgung	Unternehmen D	0,067	Annahme: 60 % für Biodieselprozess
	Unternehmen B / Lurgi AG	0,51	Aus Abwassermenge berechnet. Annahme: 60 % für Biodieselprozess
	Unternehmen C/ Lurgi AG	0,024	Aus Abwassermenge berechnet. Annahme: 60 % für Biodieselprozess Die Angabe scheint jedoch deutlich zu gering zu sein.
	Unternehmen A / Cimbria Heid	0,075	
	Unternehmen E	0,20	
	Unternehmen F	0,052	
	Unternehmen G	0,07	

4.5.4 Herstellung von Nebenprodukten

Auf der Basis der Angaben der Betreiber bzw. ausführender Ingenieurunternehmen wurden folgende Kennwerte der spezifischen Erzeugung von weiteren Produkten bzw. Nebenprodukten ermittelt:

Tabelle 19: Erzeugung von Nebenprodukten

Produkt/ Nebenprodukt	Anlage / Verfahren	Spezifische Menge in t/t Biodiesel	Bemerkung
Glycerin: Pharmaqualität 99,5 %	Unternehmen D	0,10	
	Unternehmen B / Lurgi AG	0,12	Die Angabe liegt deutlich oberhalb der stöchiometrisch möglichen Menge
	Unternehmen C / Lurgi AG	0,10	Annahme des Anlagenbetreibers; Bilanzierung nicht möglich, da die Glycerinanlage nicht die gesamte

Produkt/ Nebenprodukt	Anlage / Verfahren	Spezifische Menge in t/t Biodiesel	Bemerkung
			Biodiesel bezogene Anlagenkapazität abdeckt
	Unternehmen F	0,09	
	Unternehmen G	0,10	
Glycerin: Rohglycerin mit 60 % Glyceringehalt	Unternehmen E	0,20	Die Angabe liegt deutlich oberhalb der stöchiometrisch möglichen Menge
Glycerin: Rohe Glycerinphase	Unternehmen A / Cimbria Heid	0,17	Der Stoff kann ggf. auch als Abfall eingestuft werden
Salze: NaCl techn.	Unternehmen D	0,0058	
	Unternehmen B / Lurgi AG	0,0032	Der Wert ist aufgrund der vergleichsweise kurzen Betriebszeit der Anlage als nicht gesichert anzusehen
	Unternehmen C / Lurgi AG	0,0075	
	Unternehmen F	0,0020	Vermutlich nur der Anteil aus der Glycerindestillation; Salzfällung aus der Katalysatordeaktivierung fehlt in der Stoffbilanz
	Unternehmen G	0,0070	
Salze: -	Unternehmen A / Cimbria Heid		Keine explizite Katalysatordeaktivierung
	Unternehmen E		Abgabe als Bestandteil des sog. Seifenwassers

4.5.5 Emissionen

4.5.5.1 Anfall von prozessbedingten Abfällen

Auf der Basis der Angaben der Betreiber bzw. ausführender Ingenieurunternehmen wurden folgende spezifische Kennwerte der prozessbedingten Abfälle ermittelt. Die Einstufung der Salze erfolgte – unabhängig von der konkreten abfallrechtlichen Einstufung – grundsätzlich als „Nebenprodukt“, um eine bessere Vergleichbarkeit der Anlagen auf der technischen Ebene zu ermöglichen:

Tabelle 20: Anfall von prozessbedingten Abfällen

Abfallbezeichnung	Anlage / Verfahren	Spezifische Menge in t/t Biodiesel	Bemerkung
-	Unternehmen D		Siehe „Salze“ unter Nebenprodukte
	Unternehmen B / Lurgi AG		
	Unternehmen C / Lurgi AG		
	Unternehmen E		
	Unternehmen F		
	Unternehmen G		
Beladenes	Unternehmen A / Cimbria Heid	0,0004	

Abfallbezeichnung	Anlage / Verfahren	Spezifische Menge in t/t Biodiesel	Bemerkung
Holzmehl	Unternehmen F	0,002	Die Sättigung des Holzmehls mit Biodiesel ist hierbei offenbar nicht berücksichtigt.

4.5.5.2 Luftemissionen

Auf der Basis der Angaben der Betreiber bzw. ausführender Ingenieurunternehmen wurden folgende spezifische Kennwerte der Luftemissionen ermittelt. Die Glycerinaufbereitung wurde hierbei nicht berücksichtigt:

Tabelle 21: Spezifische Luftemissionen

Merkmale	Anlage / Verfahren	Spezifisches Emissionsvolumen in Nm ³ /t Biodiesel Konzentration in mg C/Nm ³	Bemerkung
Emissionsvolumenstrom Konzentration	Unternehmen D	1,11	Frachtgrenzwerte: 0,5 kg Gesamt-C/h 0,1 kg Methanol/h
Emissionsvolumenstrom Konzentration	Unternehmen B / Lurgi AG	2,70	Zum Zeitpunkt der BIm-SchG-Genehmigung max. 22.000 GE/m ³ , durch Anlagenänderung sollen Werte < 500 GE/m ³ erreicht werden. Wert wird durch Ölmühle bestimmt.
Emissionsvolumenstrom Konzentration	Unternehmen C	1,05	Die zulässige Fracht wird mit 1,5 kg Methanol/a angegeben
Emissionsvolumenstrom Konzentration	Unternehmen A / Cimbria Heid	0,02	Keine Angabe verfügbar
Emissionsvolumenstrom Konzentration	Unternehmen E	3,5 700 400	(Gesamt-C) (Methanol)
Emissionsvolumenstrom Konzentration	Unternehmen F		Keine Angabe verfügbar
Emissionsvolumenstrom Konzentration	Unternehmen G	1,5	Beschränkungen nur für den Anlagenteil Ölmühle festgelegt

4.5.5.3 Abwasser

Es liegen keine Angaben zum Abwasser vor, die einen tatsächlichen Vergleich der Anlagen untereinander gestatten. Soweit überhaupt Grenzwerte festgelegt sind, ist der CSB-Wert begrenzt. In keiner der Anlagen

erfolgt derzeit eine messtechnische Überprüfung hinsichtlich Art und Menge der Abwasserinhaltsstoffe, da diese im Falle der Biodieselanlagen einerseits als gut abbaubar gelten und andererseits eine relativ stabile Fracht für eine Kläranlage darstellen.

In der Anlage des Unternehmens E entsteht kein Abwasser im konventionellen Sinne. Das wasserhaltige Nebenprodukt wird als sog. Seifenwasser in die Biogasherstellung abgegeben.

Auf eine tabellarische Übersicht wurde daher an dieser Stelle verzichtet.

4.6 Potenziale und Maßnahmen zur Technologischen Verbesserung der Prozesse

4.6.1 Abschätzung des Energiebedarfs von Biodieselanlagen

Die in der Praxis vorgefundenen bzw. von den Anlagenbetreibern genannten Werte für den Energiebedarf (thermisch und elektrisch) weichen stark voneinander ab. Die Ursachen konnten selbst durch spezifische Rückfragen nicht im Detail ermittelt werden. Auch die Berücksichtigung von bekannten – aus energetischer Sicht entweder eher ungünstig oder besonders effizient erscheinenden Konzepten konnte keine befriedigende Klärung herbeigeführt werden.

Aus diesem Grunde wurde mit einem vereinfachten Ansatz der Energiebedarf typischer Biodiesel-Technologien in mittelgroßen und großen Anlagen abgeschätzt.

Für die Ermittlung wurden im Einzelnen folgende Annahmen getroffen bzw. Prozessschritte berücksichtigt:

- ▶ Es wird ausschließlich das Prinzip „Umesterung von Triglyceriden mit alkalischen Verlustkatalysatoren“ als chemischer Kernprozess der Biodieselherstellung berücksichtigt (keine Veresterung).
- ▶ Die chemische Reaktion (Umesterung) wird als thermoneutral angesehen.
- ▶ Die Wärmekapazität aller organischen Stoffe wurde mit 2 J/g/K angenommen.
- ▶ Typische Mengen an Waschwasser aufgrund von Betriebsbesichtigungen (als Durchschnittswert)
- ▶ Für den Aufwand an thermischer Energie wurden folgende wesentlichen Schritte identifiziert:
 1. Aufheizung des Produktstroms
 2. Lagerung der Endprodukte (Wärmeverlust gegenüber der Umgebung)
 3. Rückgewinnung des Methanols aus dem Waschwasser durch destillative Trennung in einer Kolonne
 4. (Fallfilm)verdampfer zur Wasserentfernung aus dem FAME nach Durchlaufen des Waschprozesses
 5. Destillative Entfernung von Wasser und Methanol aus dem Rohglycerin
 6. Destillative Reinigung des Glycerins
 7. Vakuumherzeugung für die Glycerindestillation mittels Dampf injektionspumpe
- ▶ Zur Abschätzung des Aufwandes an elektrischer Energie wurden die aus den Anlagenbesichtigungen ermittelten typische Anzahlen von Pumpen, Rührwerken etc. angesetzt, wobei für den Leistungsbedarf nicht der Anschlusswert sondern jeweils das Produkt aus Anschlusswert und Einschaltzeit angesetzt wurde. Alternativ zu betreibende Einrichtungen wurden nur einmal berücksichtigt.
- ▶ Energierückgewinnung wurde an den Prozessschritten berücksichtigt, bei denen diese nach Stand der Technik immer erfolgt (z.B. Aufheizen des Rohstoffs gegen Kühlung des Endprodukts, Nutzung der Kondensationswärme von Destillaten und Rückkühlung des Sumpfprodukts gegen die Aufheizung des Einsatzstoffs.) Nicht herangezogen wurden dagegen proprietäre Konzepte, die offenbar nur in einzelnen Anlagen umgesetzt sind.
- ▶ Parasitärer Wärmeaustritt aus Rohrleitungen und Apparaten wurde nicht berücksichtigt.

Mit Ausnahme der Methanol Rückgewinnung wurden die zu erwartenden Energieverluste der einzelnen Schritte nach Stand der Technik pauschal berücksichtigt. Die Baugruppe „Methanol Rückgewinnung“ wurde mittels ChemCAD simuliert und hieraus der thermodynamisch unvermeidliche Energieverlust berechnet.

Da die Sättigungskonzentration von Wasser in FAME auch unter ungünstigen Bedingungen 1200 mg/kg nicht überschreitet, wurde der Energiebedarf für die Verdampfung des Wassers bei der Trocknung des FAME vernachlässigt.

Die Berechnungstafel ist im Anhang 7.2 dargestellt. Um die durchgeführte Kalkulation transparent zu machen, sind die hinterlegten Formeln in Anhang 4.2 dargestellt.

Die vorgenommene Abschätzung stützt die ursprünglich gesetzte Annahme, dass der Anlagenteil, der direkt der Herstellung von FAME zuzuordnen ist, ca. 60 % des gesamten Bedarfs an thermischer Energie aufnimmt, während auf die Glycerinherstellung etwa 40 % entfallen.

4.6.2 Maßnahmen zur Energieeinsparung

In allen Anlagen werden (in unterschiedlichem Umfang) Maßnahmen zur besseren Nutzung der Prozesswärme durch Rekuperation oder Folgenutzung der Abwärme von auf höherem Wärmeniveau liegenden Prozessschritten eingesetzt. Die Anlage des Unternehmens D zeichnet sich durch einen vergleichsweise effizienten Einsatz von Elektroenergie und Wärme aus. Das ist durch konzeptionelle Maßnahmen bereits bei der Errichtung der Anlage bewirkt worden und wurde späterhin mit einer konsequenten Optimierungsstrategie fortgeführt. Es ist allerdings eher nicht zu erwarten, dass andere (bestehende) Anlagen auf dem Weg der Nachrüstung ein solches Niveau erreichen können. Grundsätzlich kann jedoch davon ausgegangen werden, dass noch Potenzial zur Energieeinsparung besteht. Möglicherweise sind investive Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz jedoch nicht in jedem Falle wirtschaftlich.

Einige Anlagen setzen zur Bereitstellung der Prozessenergie (thermisch und elektrisch) Blockheizkraftwerke ein. Damit soll zum einen die Versorgungssicherheit der Anlagen verbessert werden. Außerdem können von den Betreibern Vergünstigungen nach dem KWK-Gesetz für eingespeisten Überschussstrom in Anspruch genommen werden.

4.6.3 Maßnahmen zur Minderung von Emissionen und zur Abfallvermeidung

Mit Ausnahme der Kleinanlage vom Unternehmen A wurden in allen anderen Anlagen umfangreiche Maßnahmen zur Emissionsminderung umgesetzt. Hierzu gehören u.a. interne Gaspendelleitungen und Abluftwäscher. Die Biodieselanlagen selbst sind trotz des Einsatzes von Methanol emissionsseitig eher unauffällig. Die zulässigen Werte gemäß BImSchG-Genehmigungen sind äußerst unterschiedlich. Dabei wurden durch die zuständige Behörde Fracht- oder Konzentrationsgrenzwerte in einem sehr weiten Bereich festgelegt, ohne dass eine Korrelation zur Anlagentechnik oder zur Sensibilität eines Standortes erkennbar ist.

Im Gegensatz dazu sind Ölmühlen aus der Sicht der Geruchsemission kritisch, wie die hier aufgeführten Beispiele, aber auch aktuell vorgenommene Nachrüstungen an anderen Ölmühlen zeigen: Die Nachrüstung bei der Anlage des Unternehmens B bezog sich im Kern auf die Verminderung der Geruchsemission der Ölmühle. Trotz einer nachgewiesenen erheblichen Emissionsminderung durch ein im Jahre 2012 in der Ölmühle des Unternehmens G eingebautes Biofilter fühlen sich Anwohner im Umfeld des Chemieparks weiterhin Geruchsbelästigungen ausgesetzt.

Die Herstellung von Biodiesel ist eine abfallarme Technologie, da praktisch alle Produkte und Nebenprodukte wertstofflich genutzt werden können. Das schließt grundsätzlich auch die bei der Katalysatordeaktivierung gebildeten Salze ein, wenngleich die Anwendungsbreite für anfallendes Natriumchlorid gering ist und daher in diesem Falle die Einstufung als Abfall eine wichtige Alternative zur Verwendung darstellt. Kaliumhaltige Salze werden vorteilhafterweise als Düngemittel bzw. Düngemittelkomponente eingesetzt.

Kleinere Biodieselanlagen besitzen häufig weder eine Methanolrückgewinnung noch Prozessstufen zur Aufarbeitung der rohen Glycerinphase. Rohe Glycerinphase ist eine am Markt handelbare Substanz. Sie wird von spezialisierten Unternehmen aufgenommen, die den Stoff bis zur Pharmaqualität aufarbeiten und zugleich das Methanol rückgewinnen. Die Verarbeitung von roher Glycerinphase wird teilweise auch von Biodieselanlagen übernommen, deren Glycerinlinie aus eigenem Aufkommen nicht ausgelastet ist.

Bestimmte gemischte kohlenstoffreiche Prozesswässer (sog. Seifenlauge) werden an Biogasanlagen als Ko-substrat abgegeben.

4.7 Nutzung der Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

4.7.1 Mitwirkung bei BREF-Dokumenten

Im Rahmen des aktuell bearbeiteten Projekts wurde im Juni 2014 der Abschnitt „Fatty Acid Methyl Esters (Biodiesel)“ im Dokument „Best Available Techniques (BAT) Reference Document in the Large Volume Organic Chemical Industry“ grundhaft überarbeitet und mit Stakeholdern bzw. ihren Verbänden (darunter auch dem European Biodiesel Board) diskutiert.

Die ursprüngliche Beschreibung erwies sich bei näherer Prüfung hinsichtlich des genannten Abschnitts als unvollständig und bezog sich teilweise auf eine eher untypische Ausgestaltung von FAME-Technologien. Mit der Überarbeitung sollte sichergestellt werden, dass sachgerechte Schlussfolgerungen zur FAME-Technologie getroffen werden können.

Vor diesem Hintergrund wurde der Schwerpunkt auf die den Markt beherrschenden Umwandlungstechnologien zu Biodiesel gesetzt. Die dabei angewandten Prozessschritte wurden in einer verallgemeinerten Form dargestellt. Bekannte Alternativen und technologische Ergänzungen wurden entsprechend ihrer Bedeutung eingeordnet. Der überarbeitete Abschnitt stellt den sich aus dem vorliegenden Projekt bisher ergebenden Rahmen für den Energieverbrauch derartiger Anlagen explizit dar. Weiterhin erfolgte die Klarstellung, dass Biodieselanlagen nach Stand der Technik emissionsarm arbeiten und insbesondere keine Geruchsbelästigungen (im Rahmen eines industriellen Umfeldes) verursachen. Geruchsemissionen sind dagegen vor allem den vorgelagerten Verfahrensstufen der Ölgewinnung zuzuordnen und müssen dort mit geeigneten Maßnahmen begrenzt werden.

Der European Biodiesel Board (EBB) trägt als europäischer Verband von Biokraftstoffherstellern die überarbeitete Fassung mit und hat diese entsprechend weitergegeben.

4.7.2 Zusammenfassung

Die ermittelten Daten bescheinigen den untersuchten Anlagen einen guten Stand hinsichtlich des Rohstoff- und Energieeinsatzes sowie der Emissionsminderung. Allerdings gibt es zwischen den Anlagen eine deutliche Abstufung. Das vom Unternehmen D verwirklichte Effizienzkonzept ist jedoch nicht allgemein zugänglich und muss daher als deutlich über dem Stand der Technik liegend eingestuft werden. Es kann daher nicht als BVT eingeordnet werden.

Auffallend ist der hohe spezifische Wasserverbrauch der Anlage Unternehmens B, der früheren Angaben zur Lurgi-Technologie entspricht. Später installierte Anlagen nach der Lurgi-Technologie wurden mit einem spezifischen Wassereinsatz von 0,2 t/t Biodiesel angeboten. Allerdings ist auch dieser Wert inzwischen nicht mehr Stand der Technik und kann durch Anlagenanpassungen merklich vermindert werden. Experten schätzen ein, dass durch Optimierung bestehender Anlagen ein spezifischer Wasserverbrauch von 0,1 t/t Biodiesel erreichbar ist.

Erwartungsgemäß sind Effizienzkennzahlen kleiner Biodieselanlagen im Vergleich zu größeren tendenziell eher ungünstig, wenngleich bei Einzelparametern durchaus gute Werte erreicht werden können. Die Schwierigkeit, bei kleinen Anlagen durchgängig eine gute Effizienz zu erreichen, lässt sich vermutlich auch durch Einsatz von besserer Technik nicht wesentlich ändern. Insofern muss daher auch die Technik kleiner Anlagen als faktisch BVT-konform angesehen werden, selbst wenn in diesem Falle die Effizienz größerer Anlagen nicht erreicht wird.

Unter dem Gesichtspunkt der Sicherung niedriger Emissionen bzw. Verminderung des spezifischen Energiebedarfs ist der Verzicht auf Weiterverarbeitungsstufen (beispielsweise Abgabe von roher Glycerinphase oder von Glycerin als 60 %iges Rohglycerin, Weiterverarbeitung organisch belasteter Wässer in Biogasanlagen) ein geeigneter Ansatz, um kleine Anlagen im Einklang mit den Forderungen der Industrieemissionsrichtlinie zu betreiben. Bei größeren Anlagen ist dagegen z.B. durch Wärmerückgewinnung und Wärmemehrfachnutzung, Kreislauffahrweise und effizientere Aggregate ein deutlich größeres Potenzial vorhanden, das bereits heute zum Teil erschlossen ist.

Die Erhebung im Rahmen dieses Vorhabens hat aber zugleich gezeigt, dass Unternehmen teilweise mit nicht plausiblen Daten operieren bzw. wichtige detaillierte Verbrauchsdaten der Anlagen nicht oder nur global er-

fasst werden. Ebenso wurden merkliche Abweichungen zwischen den Werbeaussagen der Anlagenbauer und den tatsächlich ermittelten Kennzahlen der realisierten Anlagen festgestellt.

Es scheint einen Zusammenhang hinsichtlich der Bauweise der Anlagen und deren thermischem Energieverbrauch zu geben: Kompakte Anlagen in Gebäuden haben tendenziell Vorteile gegenüber offenen oder halb-offenen Anlagen. Die gefundenen Abweichungen gegenüber der theoretischen Abschätzung sind vermutlich in einem erheblichen Maße durch Wärmeaustag infolge nicht ausreichend isolierter Rohrleitungen und Apparate bedingt.

Obwohl man Großanlagen im Allgemeinen eine bessere Energieeffizienz als Kleinanlagen unterstellt, sind größere Anlagen häufig nicht mehr wirtschaftlich innerhalb von Gebäuden unterzubringen. Daher können aus Sicht des Energiebedarfs eingebaute mittelgroße Anlagen durchaus ebenbürtig sein. In Kleinanlagen wird dagegen aus apparatetechnischen und wirtschaftlichen Gründen häufig auch Elektroenergie für die Durchführung thermischer Schritte eingesetzt, was sich negativ auf die Energieeffizienz auswirkt.

Bei einer umfassenden Bewertung ist aber auch zu berücksichtigen, dass bestimmte zur Sicherung einer von den Rohstoffeigenschaften weitgehend entkoppelten Produktqualität erforderliche technische Aufwendungen sich auch im Energiebedarf niederschlagen, den Wasserbedarf erhöhen oder höhere Abwasserbelastungen nach sich ziehen (z.B. Vorverarbeitung des Rohöls, Vorveresterung hoch FFA-haltiger Rohstoffe, zusätzliche Reinigungsschritte usw.). Die in dieser Untersuchung berücksichtigten Anlagen unterscheiden sich hinsichtlich solcher Merkmale deutlich. Eine Systematisierung ist jedoch nicht möglich, da diese Details von den Anlagenbetreibern entweder nicht zur Verfügung gestellt oder für eine entsprechende Auswertung nicht freigegeben wurden.

Im Rahmen des Vorhabens wurden weitere Anläufe unternommen, Ethanol-Anlagen zu besichtigen bzw. Daten zu erheben. Mittlerweile haben alle Betreiber von Großanlagen in Deutschland eine Mitwirkung sowohl hinsichtlich der Besichtigung als auch bezüglich der Erhebung von Daten abgelehnt. Entsprechend ablehnend hat auch der Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft (BDBE) reagiert.

Alternativ wurde daher geprüft, ob ggf. kleinere – eher landwirtschaftlich geprägte - Ethanolanlagen zur Ermittlung charakteristischer Daten herangezogen werden können. Es zeigte sich jedoch in zwei näher untersuchten Betrieben, die derzeit Lebensmittelalkohol herstellen, dass die Daten keinesfalls als übertragbar für Großanlagen zur Herstellung von Biokraftstoffen angesehen werden können¹⁷. Die eingesetzten Technologien sind eher auf die Erzielung von bestimmten geschmacklichen Kriterien eingerichtet als auf die Herstellung von möglichst reinem Ethanol. Aus diesem Grund werden Apparate und Technologieprinzipien eingesetzt, die sich eher nicht am Stand der Technik orientieren. In beiden Fällen fehlte u.a. auch die Stufe der Absolutierung, die einen wesentlichen Beitrag zum Energieaufwand der Ethanolherstellung leistet.

Um die Aufnahme von fehlerhaften bzw. nicht repräsentativen BVT-Aussagen zu vermeiden, ist dieser Weg nicht weiter verfolgt worden.

¹⁷ Hierzu wurden Anlagen angesprochen, die grundsätzlich Interesse gezeigt haben, nach dem Wegfall des staatlichen Branntweinmonopols industriellen Alkohol herzustellen. Es ist anhand der erhaltenen Informationen jedoch zu vermuten, dass diese Anlagen im Wettbewerb mit industriellen Großanlagen nicht bestehen können.

5 Arbeitspaket 3: Umweltrelevanz

5.1 Umweltwirkung

Zur Beschreibung der Umweltwirkungen von Anlagen wurde zunächst der Begriff Umweltwirkung in Anlehnung an das Prüfschema für Einzelfalluntersuchung nach § 3 c UVPG festgelegt. Kriterien die bei der Bewertung der Gesamtumweltwirkung der Anlagen berücksichtigt werden, sind:

- ▶ Verbrauch an Energie,
- ▶ Wasserbedarf und Quelle (Oberflächen-, Grundwasser),
- ▶ Abwasser und Entsorgung,
- ▶ Emissionen (Luftschadstoffe, Gerüche),
- ▶ Lärmemissionen,
- ▶ sonstige Umweltwirkung (Licht, Wärme, Erschütterung, Strahlung),
- ▶ Änderung des Verkehrsaufkommens,
- ▶ Gefahrstoffe (Einsatz, Synthese),
- ▶ wassergefährdende Stoffe (Einsatz, Synthese).

Grundsätzlich gilt für Biodieselanlagen, deren Standort sich in einem größeren Industriegebiet befindet, dass die Umweltauswirkungen beinahe vollständig vernachlässigbar sind, da sie die Umwelt des Standortes kaum beeinflussen. In weniger stark industriell geprägten Gebieten sind die Umweltauswirkungen von Biodieselanlagen größer.

5.1.1 Energie

In den Anlagen werden hauptsächlich elektrischer Strom, Dampf und erhitztes Thermalöl als Energieträger eingesetzt. Diese werden im Allgemeinen konventionell unter Abgabe von CO₂ erzeugt.

5.1.2 Wasser

Der Wasserbedarf der Anlagen ist mit ca. 150 l pro Tonne Biodiesel sehr klein im Vergleich zu anderen organisch-chemischen Prozessen. Das Wasser wird im Allgemeinen durch den öffentlichen Versorger als Trinkwasser bereitgestellt. Für die Produktwäsche wird dieses Wasser anlagenintern mittels Ionenaustauschern noch weiter aufbereitet, um einen parasitären Eintrag von Alkali- und Erdalkalitionen in das Produkt Biodiesel zu vermeiden.

5.1.3 Abwasser

Das anfallende Abwasser ist in geringen Mengen mit organischen Komponenten und Salzen belastet und wird i.A. an Kläranlagen abgegeben. Nahezu alle Stoffe die bei der Biodieselproduktion entstehen, können als Produkt bzw. Nebenprodukt verkauft werden.

5.1.4 Emissionen

Biodieselanlagen sind emissionsseitig sowohl bei Geruch als auch bei Luft-Schadstoffen eher unauffällig.

5.1.5 Lärmemissionen

Die Lärmemissionen entsprechen denen von hinsichtlich der Ausrüstung wie Pumpen, Verdichtern und Dampfstrahlern vergleichbaren Industrieanlagen. Laute Aggregate sind u.a. aus Lärmschutzgründen eingehaust bzw. die gesamte Biodieselanlage steht in einer Halle.

5.1.6 Sonstige Umweltwirkungen

Die unter den sonstigen Umweltwirkungen aufgezählten Erschütterungen und Strahlungen sind in Biodieselanlagen nicht relevant. Die Anlagen werden aber beleuchtet und die Apparate geben Wärme an die Umgebung ab.

5.1.7 Änderungen des Verkehrsaufkommens

Sowohl die Versorgung der Biodieselanlage mit Rohstoffen als auch der Abtransport der Produkte findet bei kleinen und mittleren Biodieselanlagen überwiegend mit LKWs statt. Bei sehr großen Anlagen wird der Transport der Rohstoffe und Produkte teilweise auch mit Eisenbahn oder Schiff abgewickelt.

5.1.8 Gefahrstoffe und Wassergefährdende Stoffe

In der nachfolgenden Tabelle ist eine repräsentative Auswahl der in einer Biodieselanlage verwendeten Stoffe mit ihren Gefährlichkeitsmerkmalen aufgelistet.

Tabelle 22: Auflistung von Gefahrstoffen in Biodieselanlagen mit Angabe der WGK und den H-Sätzen

Gefahrstoff	WGK	Bemerkungen	Signalwort	Kategorie	H-Sätze
Pflanzenöle (Raps)	--	Kein gefährlicher Stoff nach GHS		1B	314
Phosphorsäure (H ₃ PO ₄)	1	Ätzwirkung auf die Haut	Gefahr	1	290
		Korrosiv gegenüber Metallen		1	290
Natriumhydroxid (NaOH)	1	Ätzwirkung auf die Haut	Gefahr	1A	314
		Korrosiv gegenüber Metallen		1	290
Kaliumhydroxid (KOH)	1	Korrosiv gegenüber Metallen	Gefahr	1A	314
		Ätzwirkung auf die Haut		4	302
		Akute Toxizität Verschlucken			
Bleicherde	--	Kein gefährlicher Stoff nach GHS		1B	314
Salzsäure (HCl)	1	Ätzwirkung auf die Haut	Gefahr	1	290
		Korrosiv gegenüber Metallen		3	335
		Spezifische Zielorgan-Toxizität		1A	314
Schwefelsäure (H ₂ SO ₄)	1	Ätzwirkung auf die Haut	Gefahr	1	290
		Korrosiv gegenüber Metallen		2	225
Methanol (CH ₃ OH)	1	Entzündbare Flüssigkeiten	Gefahr	3	331
		Akute Toxizität Einatmen		3	311
		Akute Toxizität Hautkontakt		3	301
		Akute Toxizität Verschlucken		1	370
		Spezifische Zielorgan-Toxizität		1	228
Natriummethylat (NaOCH ₃)	1	Entzündbare Feststoffe	Gefahr	1	251
		Selbsterhitzungsfähige Stoffe		1B	314
		Ätzwirkung auf die Haut		1	228
Kaliummethylat (KOCH ₃)	1	Entzündbare Feststoffe	Gefahr	1	251
		Selbsterhitzungsfähige Stoffe		1B	314
		Ätzwirkung auf die Haut		2	319
Toluolsulfonsäure	1	Augenreizung	Achtung	3	335

Gefahrstoff	WGK	Bemerkungen	Signalwort	Kategorie	H-Sätze
Xylolsulfonsäure	--	Spezifische Zielorgan-Toxizität	Gefahr	1	318
		Schwere Augenschädigung		1C	314
		Ätzwirkung auf die Haut		1	290
		Korrosiv gegenüber Metallen			
Biodiesel		Kein gefährlicher Stoff nach GHS			
Rohglycerin	1	Kein gefährlicher Stoff nach GHS			
Kaliumsulfat (K ₂ SO ₄)	1	Kein gefährlicher Stoff nach GHS		Chronisch 2	411
Oxidationsstabilisator (2,6 Di-tert-butylphenol)	2	Gewässergefährdend		4	302
Biozid (z.B. grotamar 71®)	1	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken	Gefahr	4	332
		Gesundheitsschädlich bei Einatmen		1C	314
		Ätzwirkung auf die Haut		2	319
Citronensäure	1	Augenreizung	Achtung		

Die in der Tabelle 22 aufgeführten Stoffe sind hauptsächlich ätzend und schwach wassergefährdend. Das hier angegebene Biozid ist gesundheitsschädlich. Das zur Umesterung verwendete Methanol ist giftig.

Mittlere und große Biodieselanlagen sind nahezu voll automatisierte Anlagen, welche mindestens technisch dicht ausgeführt sind und regelmäßig gewartet werden. Die Stoffe werden in den Anlagen sicher eingeschlossen, so dass ein großvolumiger Austritt von gefährlichen Stoffen nicht zu besorgen ist.

Die Gesamtumweltwirkung von Biodieselanlagen ist durch die modernen Anlagen, regelmäßige Wartung und unauffälliges Emissionsverhalten gering.

5.2 Beschreibung der technisch möglichen Emissionswerte und Energieverbrauchswerte

5.2.1 Energieverbrauchswerte

Die Energieverbrauchswerte sind innerhalb dieser Studie in zwei Kategorien, nämlich Elektroenergie und thermische Energie, unterteilt. Die erhobenen Daten für die Elektroenergie reichen von 25 kWh/t Biodiesel für Unternehmen D und E bis zu 125 kWh/t Biodiesel für Unternehmen A. Für die Nutzung thermischer Energie, z.B. in Form von Dampf, geht die Spanne von 52 kWh/t Biodiesel für Unternehmen E bis 292 kWh/t für Unternehmen B.

Zur Abschätzung der Qualität der erhobenen Daten ist in Kapitel 7.1 und in den Anlagen 4.1 und 4.2 ein theoretischer Ansatz zur Ermittlung von Energieverbrauchswerten beschrieben. Die dort berechneten Energieverbrauchswerte geben aber auch einen Hinweis auf erreichbare Energieverbrauchswerte. Ermittelt wurden für den Einsatz von thermischer Energie 52 kWh und 12 kWh für die elektrische Energie pro produzierte Tonne Biodiesel.

Einige der Referenzanlagen in dieser Studie kommen sehr nah an die theoretisch berechneten Werte heran. Hier besonders zu erwähnen ist das Unternehmen E, welches sowohl bei den Verbrauchswerten der thermischen als auch der elektrischen Energie sehr niedrige Werte aufweist. Die Anlage zeichnet aus, dass sie innerhalb eines Gebäudes steht, die Energieversorgung zu großen Teilen durch das im Gebäude stehende BHKW sichergestellt wird, und dass es keine Aufbereitung der glycerinhaltigen Phase gibt. Des Weiteren

wurde die Anlage seit Bestehen durchgängig u.a. auf niedrige Energieverbrauchswerte optimiert, z.B. hinsichtlich der Wärmenutzung durch Rekuperation.

Der mit dem theoretischen Ansatz ermittelte thermische Energiebedarf wird von fast allen Anlagen deutlich überschritten. Dies könnte neben prozessinternen Optimierungsmöglichkeiten und im Modell nicht berücksichtigten An- und Abfahrvorgängen damit erklärt werden, dass es sich bei diesen Anlagen um Freianlagen handelt, welche nicht durchgängig isoliert sind und so einen Teil der thermischen Energie ungenutzt an die Umwelt abgeben.

5.2.2 Emissionswerte

Die ermittelten Emissionswerte der untersuchten Biodieselanlagen sind durch den Einsatz von Emissionsminderungsmaßnahmen innerhalb der Anlagen, z.B. Gaspendelleitungen und Abluftwäscher, generell unauffällig und bedürfen keiner weiteren Betrachtung.

5.3 Beschreibung der technisch möglichen Emissionswerte und Energieverbrauchswerte

Die Befragung der Anlagenbetreiber, die ergänzend über die Anlagen übermittelten Informationen zu den eingesetzten Technologien sowie die Daten zu technischen Produktionskapazitäten und Stoffströmen zeigen klare Zusammenhänge zwischen Technologie und Betriebsweise auf der einen und der Anlagengröße auf der anderen Seite auf.

Biodieselanlagen bis zu einer Kapazität von etwa 30.000 t/a werden überwiegend diskontinuierlich betrieben. Dabei werden insbesondere für die Reaktion und die Phasentrennung die gleichen Apparate benutzt, und der Prozess wird zur Erzielung eines hohen Reaktionsumsatzes bzw. einer guten Produktqualität mehrfach nacheinander in diesen ausgeführt. Anlagen dieser Baugröße konzentrieren sich auf das Hauptprodukt Biodiesel wohingegen die abgetrennte Glycerinphase nicht weiter aufgearbeitet wird sondern an spezialisierte Unternehmen zur Gewinnung von Glycerin sowie Rückgewinnung des enthaltenen Methanols gegeben wird. Für diese sog. Glycerinphase existiert inzwischen ein funktionierender europaweiter Markt.

Diese Vorgehensweise erscheint sowohl unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit als auch der Emissionsvermeidung als sachgerecht für kleinere Anlagen. Diese Anlagen sind typischerweise ausschließlich auf Umesterung eingestellt, d.h. es können nur Öle und Fette mit geringem Anteil an freien Fettsäuren verarbeitet werden. Der Anteil an freien Fettsäuren ist als Alkaliseife in der Glycerinphase enthalten und wird bei der externen Aufarbeitung der Glycerinphase durch Seifenspaltung als freie Fettsäure zurückgewonnen.

Biodieselanlagen im Tonnagebereich zwischen etwa 20.000 t/a und 100.000 t/a werden häufig halbkontinuierlich betrieben: Die Umesterung (teilweise auch Veresterung) wird diskontinuierlich gefahren wohingegen die weitere Aufarbeitung des Roh-FAME bzw. der Glycerinphase kontinuierlich erfolgt. Der besondere Vorteil dieser Verfahrensweise besteht darin, dass die Rezeptur individuell auf die zu verarbeitende Rohstoffcharge angepasst werden kann. Auf diese Weise wird z.B. sowohl eine Unterdosierung des Katalysators mit der Folge unzureichender Reaktionsumsätze als auch eine Überdosierung mit der Folge schlechterer Phasentrennung vermieden. Auch der Methanolüberschuss kann optimal eingestellt werden. Ebenso wie diskontinuierliche Anlagen kommen halbkontinuierliche Technologien mit einer zweistufigen Reaktion aus, wobei die größeren Anlagen für jede Reaktionsstufe einen eigenen Apparatesatz benutzen.

Anlagen in diesem Tonnagebereich arbeiten die Glycerinphase zumindest bis zu einem Glycerin-Wasser-Gemisch (mind. 60 % Glyceringehalt, häufig auch bis zu 80 % Glyceringehalt) auf. Das in der Glycerinphase enthaltene Methanol wird intern in den Prozess zurückgeführt, die Reste des Katalysators bzw. die Alkaliseifen in anorganische Salze (abhängig vom Katalysator NaCl oder K₂SO₄, in selteneren Fällen auch Kaliumphosphat) überführt und die Fettsäure zurückgewonnen. Eine weitergehende Aufarbeitung zu technischem oder Pharmaglycerin findet in diesen Anlagen überwiegend nicht statt.

Große Anlagen mit Kapazitäten ab 100.000 t/a werden ausschließlich vollkontinuierlich betrieben. Sie enthalten Teilanlagen zur vollständigen Rückgewinnung des Methanols (sowohl aus dem Roh-FAME als auch aus der Glycerinphase) und mit wenigen Ausnahmen auch Teilanlagen zur Aufarbeitung des Glycerins zu einer Reinheit entsprechend Pharmaqualität. Diese Anlagen enthalten teilweise kleiner dimensionierte Nebenanlagen, um anfallende oder angekaufte Fettsäuren zu verestern.

Bei den in Deutschland betriebenen Biodieselanlagen handelt es sich um weitestgehend geschlossene Systeme mit einer geringen Emission gasförmiger Stoffe. Diese Aussage gilt prinzipiell für Anlagen aller genannten Größenklassen, wenngleich die erforderlichen Maßnahmen für größere Anlagen anspruchsvoller sind.

Da mit der Entwicklung des Marktes für Biokraftstoffe zunehmend größere Anlagen errichtet wurden, hat sich in den letzten 10 Jahren eine Lernkurve ergeben, die sehr wirksam aus den Betriebserfahrungen der jeweils kleineren Vorgängeranlagen gespeist wurde. Inzwischen hat sich ein faktischer Stand der Technik ergeben, der wie folgt gekennzeichnet ist:

- ▶ Keine Errichtung von Anlagen mit Kapazitäten unter 200.000 t/a; bei der grundhaften Ertüchtigung kleinerer Altanlagen werden Zielkapazitäten zwischen 50.000 t/a und 100.000 t/a angestrebt.
- ▶ Einsatz von KOH, NaOH, KOCH₃ und NaOCH₃ in methanolischer Lösung als „Verlust“katalysator
- ▶ Ausfällung des Katalysators mit starken Mineralsäuren als Salz aus der Glycerinphase
- ▶ Reinigung des Roh-FAME durch Wasser-Wäsche
- ▶ Rückgewinnung des überschüssigen Methanols durch Rektifikation des Waschwassers bzw. der Brüden aus der ersten Stufe der Glycerinreinigung
- ▶ Trocknung des FAME im Fallfilmverdampfer

Daraus ergeben sich einige theoretische Ansätze für Optimierungsmöglichkeiten:

- ▶ Vermeidung des Anfalls von Salzen durch die Anwendung von Festkörperkatalysatoren
- ▶ Durchführung der Umesterung in homogener Phase mit Hilfe von überkritischen Medien
- ▶ Ersatz von Waschprozessen bzw. Entfernung des Restwassers durch Ionenaustauscher bzw. reversible Adsorption

Die genannten Ansätze nehmen in der Patentliteratur einen breiten Raum ein. Dennoch konnten sich diese Technologiemodifizierungen bisher weder in Deutschland noch international durchsetzen.

Allen bisher getesteten heterogenen Katalysatoren ist gemeinsam, dass sie zwar teilweise eine hohe Anfangsaktivität aufweisen aber relativ schnell degradieren bis hin zur völligen Unwirksamkeit. Dadurch relativiert sich der Vorteil gegenüber den Verlustkatalysatoren – sowohl wirtschaftlich als auch umweltpolitisch – bzw. kehrt sich sogar um: Solange eine sachgerechte Verwendung für die Salze abgesichert ist, ergibt sich kein Umweltvorteil für heterogene Katalysatoren.

Die Reaktionsgeschwindigkeit der Umesterung wird durch den Stofftransport zwischen hydrophiler und hydrophober Phase begrenzt. Insofern erscheint die Reaktionsführung in homogener Phase als ein Ausweg um zu höheren Raum-Zeit-Ausbeuten zu kommen bzw. den Energieaufwand für die permanente Durchwirbelung der zur Reaktion zu bringenden nichtmischbaren Phasen zu vermeiden. Die Realisierung durch Umesterung unter überkritischen Bedingungen ändert jedoch die Rahmenbedingungen für die Anlage grundlegend: Die nach Stand der Technik drucklos betriebenen Biodieselanlagen müssten dann als Druckanlagen ausgelegt werden. Neben einem erhöhten investiven Anlagenaufwand steigen auch die Energiekosten durch die dauerhafte Aufrechterhaltung des hohen Druckniveaus. Auch die Nebenanlagen müssten entsprechend angepasst werden.

Ionenaustauscher werden in einigen kleinen bis mittelgroßen Anlagen zur Reinigung des Roh-FAME eingesetzt. Ziel ist hierbei vor allem die Entfernung von Katalysatorresten. Diese Technologie gestattet eine wasserarme Reinigung. Die Abtrennung von Methanol muss dennoch auf destillativem Wege erfolgen. Die Standzeit der Ionenaustauscher ist begrenzt. Demgegenüber kann der Nachteil einer Wasserwäsche durch Kreislaufführung des Waschwassers deutlich vermindert werden.

Ebenso wird der Einsatz von Molekularsieben und anderen Adsorbentien zur Entfernung von Wasser und Methanol vorgeschlagen. Um eine kontinuierliche Betriebsweise aufrecht zu erhalten, müssen ebenso wie bei den Ionenaustauschern mindestens zwei Einheiten vorhanden sein, die sich jeweils wechselseitig in der Betriebsphase bzw. der Regenerierphase befinden. Der realisierbare Raum-Zeit-Durchsatz gestattet keine sinnvolle Maßstabsübertragung auf große Anlagen.

Ergänzend hierzu steht die anlagentechnische Umsetzung basierend auf einem fortschrittlichen Stand der Ingenieurwissenschaften. Hierzu gehören vor allem

- ▶ die Kaskadennutzung der Wärmeenergie,
- ▶ die Kreislaufführung von Medien,
- ▶ die durchsatzabhängige Anpassung von Heiz- und Kühlprozessen und
- ▶ die Vermeidung von unnötiger Wärmeabgabe an die Umgebung infolge Strahlung oder Konvektion.

Eine Analyse der spezifischen Verbrauchswerte der erfassten Anlagen legt nahe, dass hierbei durchaus noch Reserven bestehen. Diese Potentiale sollten gehoben werden. Dennoch ist allenfalls eine graduelle Verbesserung zu erwarten.

Seit einigen Jahren werden alternativ zu den bisher klassisch verwendeten Pflanzenölen auch andere Rohstoffe als Grundlage für die Herstellung von Biodiesel kontrovers diskutiert. Wenngleich beispielsweise bei Palmöl verglichen mit anderen Pflanzenölen eine sehr hohe Produktionsleistung pro Fläche vorliegt sind jedoch einige nachteilige andere Aspekte wie z.B. Landnutzungsänderungen oder die Methanemission aus Nebenprozessen der Verarbeitung der Fruchtstände zu berücksichtigen, die diesen Vorteil zum Teil wieder aufheben. Hinzu kommen technische Einschränkungen für den Einsatz von Biokraftstoffen, die überwiegend aus Palmöl hergestellt werden. Solche Einschränkungen bestehen auch für Rohstoffe, wie z.B. Fischöle. Letztere enthalten in großen Mengen mehrfach ungesättigte Fettsäuren (PUFA), die zu einer sehr geringen Oxidationsstabilität des daraus erzeugten Biodiesels führen.

Um die eskalierende Diskussion „Tank vs. Teller“ zu entschärfen, sind zunehmend auch andere Zugangswege für triglyceridische Öle und Fette in den Fokus der Betrachtung gekommen, die in keinem direkten Wettbewerb mit der Nutzung als Nahrungsmittel stehen. Eine in den letzten Jahren propagierte Lösung orientiert auf die Nutzung von Jatropha, da diese Pflanze auch auf Flächen gedeihen kann, die für den Anbau von Nahrungsmitteln nicht geeignet sind. Allerdings kann die Frucht bisher nicht industriell geerntet werden, da sie nicht saisonal reift. Teile der Pflanze sind giftig. Befriedigende Erträge werden nur dann erreicht, wenn die Böden gut mit Wasser und Nährstoffen versorgt werden. Insofern tritt indirekt letztlich doch ein Wettbewerb um Ressourcen ein.

Prinzipiell sind auch Algen und andere Mikroorganismen geeignet, um triglyceridische Öle und Fette zu erzeugen. Diese Organismen könnten sowohl im Meer als beispielsweise auch nachgeschaltet zu Kraftwerksanlagen als CO₂-Akzeptor kultiviert werden. Problematisch ist hierbei vor allem die verlustarme Gewinnung der Triglyceride aus den Zellen der Mikroorganismen. Trotz einer Vielzahl an Veröffentlichungen in der Patentliteratur scheint bisher hierfür noch keine allgemein anwendbare und effektive Methode zu existieren.

Mittlerweile orientiert die Europäische Kommission ihre Biokraftstoffpolitik verstärkt auf die Nutzung von Abfall- und Reststoffen. Abgesehen von einigen bereits existierenden spezialisierten Anlagen ist eine Verarbeitung solcher Stoffe in konventionellen Biodieselanlagen, die für die Verarbeitung von Pflanzenölen vorgesehen sind, nicht möglich sondern erfordert Technologieanpassungen bzw. -erweiterungen (z.B. zur Rohstoffreinigung und Minderung der Übertragung von Polymeren unterschiedlicher Herkunft in das Endprodukt). Darüber hinaus werden die Anteile der Emissionen und Abfälle aufgrund der Entfernung von unerwünschten Begleitstoffen zunehmen. Ebenfalls steigen wird der Energieaufwand infolge zusätzlich notwendiger Stofftrennungen.

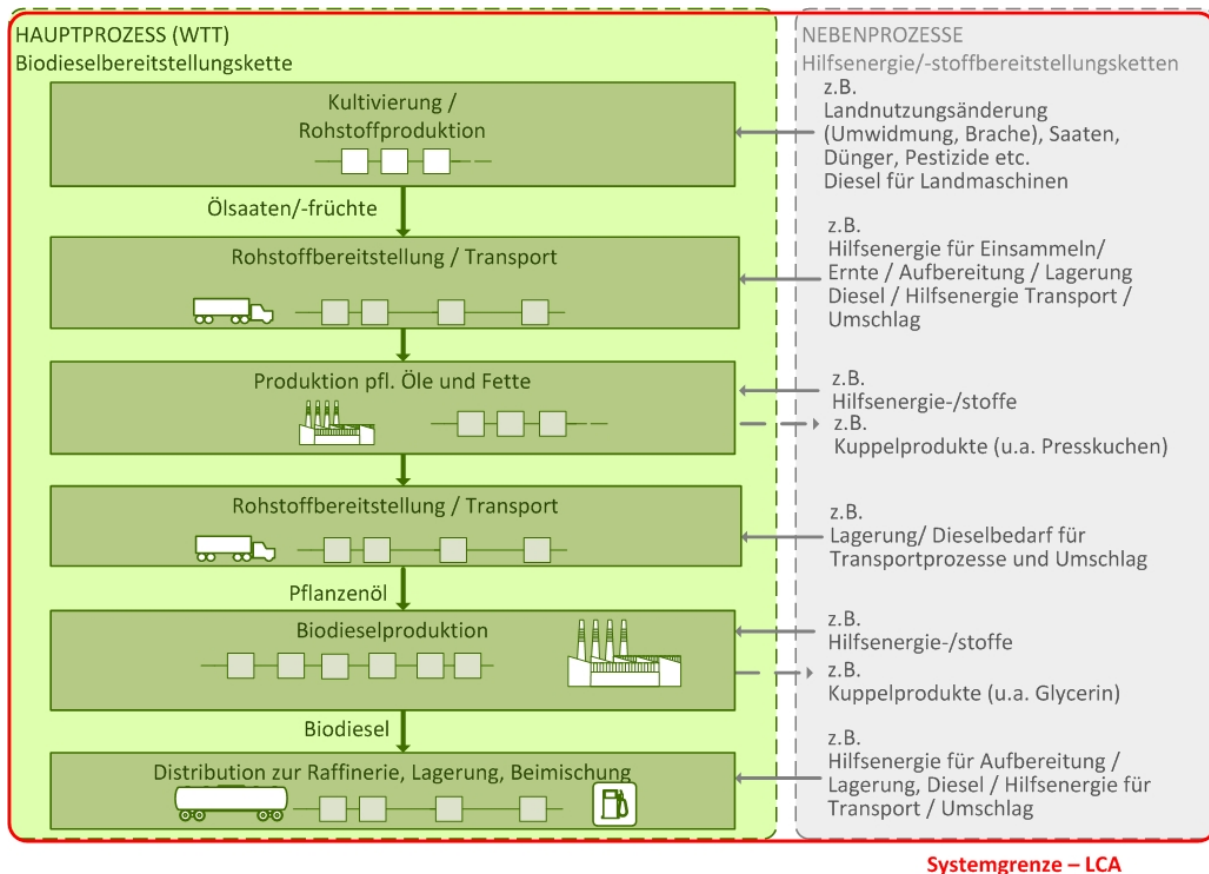
Die Anforderungen an Kraftstoffe steigen ständig, um die Betriebssicherheit von modernen Motoren und das Erreichen der damit verbundenen Emissionsgrenzwerte sicherzustellen. Bei Dieselmotoren wirkt sich das erwartungsgemäß auch auf die Blendkomponente Biodiesel aus. Der Blick gerät verstärkt auf die Nebenbestandteile des Biodiesels (z.B. Sterylglycoside, gesättigte Partialglyceride und Polymere), deren Verminderung zunehmend Gegenstand technologischer Maßnahmen wird.

Es ist zu erwarten, dass die evolutionäre Weiterentwicklung der Biodieseltechnologie die genannten Herausforderungen weitestgehend abfangen, aber zugleich einen wesentlichen Teil der Fortschritte beim Energieeinsatz und der Emissionsminderung wieder zunichtemachen wird.

5.4 Rechtliche Einordnung und Aufzeigen von möglichem Regelungsbedarf

Eine Vielzahl von Studien hat nachgewiesen, dass zur Verminderung der Treibhausgasemission von Biodiesel die Vorkette vom Anbau über den Transport der Ölfrüchte bis hin zur Herstellung und Bereitstellung des Öls den entscheidenden Einfluss auf die erzielbaren Treibhausgaseinsparungen ausübt.

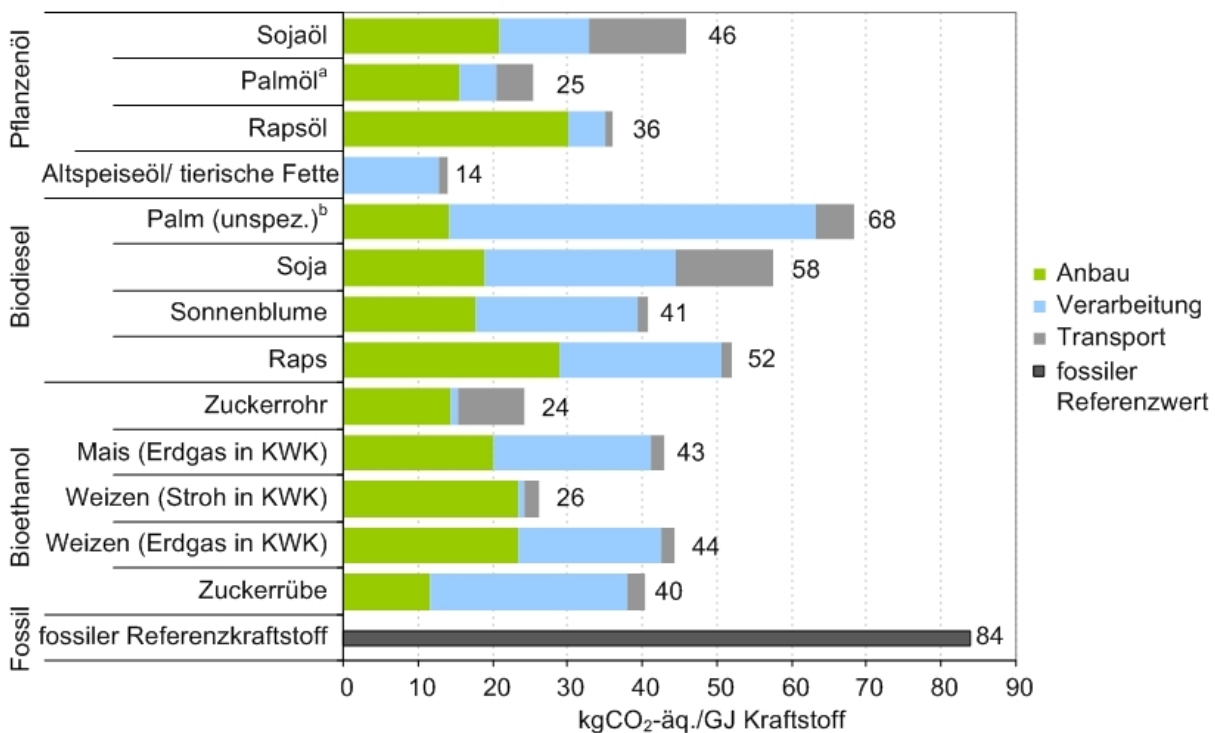
Abbildung 9: Systemgrenzen der THG-Bilanzierung nach EU-Richtlinie 2009/28/EG



Majer, St., Oehmichen, K. (Mai 2010): Mögliche Ansätze zur Optimierung der THG-Bilanz von Biodiesel aus Raps, Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ)

Diese Einschätzung wird selbst bei der vergleichsweise konservativen Betrachtung der sog. Defaultwerte nach der Renewable Energy Directive (RED) (EU Richtlinie 2009/28/EG) deutlich.

Abbildung 10: Ausgewählte Default-Werte der EU-Richtlinie 2009/28/EG



^a Palmölproduktion mit Methanabscheidung an der Mühle

^b Palmölproduktion ohne Methanabscheidung an der Mühle

Majer, St., Oehmichen, K. (Mai 2010): Mögliche Ansätze zur Optimierung der THG-Bilanz von Biodiesel aus Raps, Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ)

Dagegen ist in der Konversionsstufe nur noch ein geringer Beitrag zur Treibhausgasminderung erreichbar:

- Die stoffliche Ausbeute ist bei Anlagen nach Stand der Technik kaum noch zu verbessern; sie liegt aktuell typischerweise bei > 97 % der eingesetzten Stoffe.
- Der Beitrag der Energieaufwendungen auf die THG-Emission ist – gemessen am Einfluss der Stoffströme – gering.

Biodieselanlagen sind Prinzip bedingt hinsichtlich der stofflichen und Lärmemissionen eher unauffällige Anlagen. Die gasförmigen Emissionen beschränken sich

- auf den Austausch des Gasraums von Vorrattanks bei Be- und Entladevorgängen soweit nicht eine Gaspendelung aufgrund anderer Bestimmungen ohnehin erforderlich ist,
- auf den Druckausgleich mit der Atmosphäre gegenüber der methanolhaltigen Atmosphäre über entsprechende Dampfsperren und
- auf nichtkondensierbare Gase aus Vakuumpumpen.

Die Lärmemissionen entsprechen denen typischer Chemieanlagen und stellen innerhalb von Gewerbeflächen kein Problem dar.

Da eine weitestgehend vollständige stoffliche Verwertung erfolgt, spielen auch Abfälle in dieser Betrachtung eine eher untergeordnete Rolle. Bei Kleinanlagen wird je nach Auffassung der lokalen Genehmigungsbehörde ggf. die nicht weiter verarbeitete rohe Glycerinphase als Abfall klassifiziert, obwohl dieser Stoff in jedem Falle von spezialisierten Unternehmen aufgearbeitet – aber nie beseitigt wird. Insbesondere bei Anlagen zur Herstellung von Biodiesel aus Abfall- und Reststoffen fallen Destillationsrückstände an. Diese können bei Einhaltung bestimmter Anforderungen als Bioheizöl in dafür geeigneten Anlagen eingesetzt werden.

Das Abwasser resultiert im Wesentlichen aus Auskreisungen aus der Teilanlage zur Rückgewinnung von Methanol aus Waschwässern, aus Kondensaten von Vakuumpumpen und in sehr geringem Umfang aus Reaktionswasser von Veresterungsschritten. Das Abwasser ist neutral und enthält ausschließlich mikrobiologisch gut abbaubare organische Stoffe.

Im Hinblick auf die im Rahmen des Projekts besichtigten und befragten Anlagen in Deutschland ist kein über das bisherige BImSchG und seine Verordnungen bzw. Technischen Anleitungen hinausgehender Regelungsbedarf erkennbar.

Eine weitere Verbesserung der Energieeffizienz der Anlagen ist wünschenswert, sollte aber in keinem Falle durch bindende Regelungen im BImSchG festgelegt werden. Solche systemfremden Festlegungen könnten der Vielfalt der Konzepte einschließlich der angestrebten Verarbeitung von Abfällen und Reststoffen entgegen wirken und die Technologieneutralität hinsichtlich der Erfüllung von rechtlichen Anforderungen gefährden.

Es besteht zurzeit bei Rechtsetzungsvorhaben eine Tendenz, erforderliche Korrekturen und neue Anforderungen, die sachlich bereits existierendem Fachrecht zuzuordnen wären, stattdessen in andere Vorhaben aufzunehmen. Die Gründe dafür sind vielfältig; die Vorgehensweise führt jedoch zu sowohl für die Vollzugsbehörden als auch für die betroffenen Unternehmen schwer durchschaubaren Regelungen.

Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass insbesondere durch Umsetzung der neuen EU-Energieeffizienzrichtlinie (2012/27/EU) Instrumente geschaffen werden, die geeignet sind, die Energieeffizienz in Unternehmen deutlich zu verbessern. Hierzu gehören insbesondere die Pflicht zur Durchführung von qualifizierten Energieaudits bzw. alternativ die Anerkennung der Einführung von Energiemanagementsystemen. Wenngleich sich die Verpflichtungen formal nur auf Unternehmen beziehen, die keine KMU sind, wird gerade im Bereich der chemischen Konversion auch eine Vielzahl kleinerer Unternehmen von diesen Anforderungen betroffen sein, da zum einen selbst mit vergleichsweise geringem Personalbestand große Umsätze realisiert werden und zudem häufig wirtschaftliche Verflechtungen bestehen, die einem KMU-Status entgegen stehen. Das trifft auch auf die Biodieselbranche in ihrer heutigen Struktur weitestgehend zu.

In der gesellschaftspolitischen Diskussion ist das Thema „Energieeffizienz“ derzeit positiv besetzt. Das liegt vor allem daran, dass in diesem Bereich CO₂-Vermeidung und Kosteneinsparung synonym verlaufen. Die Politik unternimmt daher aktuell große Anstrengungen, Effizienzmaßnahmen durch Setzen entsprechender Rahmenbedingungen auf freiwilliger Basis voranzubringen. Energieeinsparverpflichtungssysteme, die seinerzeit die EU-Kommission als allgemeinen Lösungsansatz zur regulatorischen Umsetzung der Ziele der Effizienzrichtlinie in die Diskussion gebracht hatte, werden in diesem Kontext als eher kontraproduktiv angesehen.

Durch die aktuellen Ansätze in der Biokraftstoffpolitik stehen Bestandsanlagen unter einem erheblichen wirtschaftlichen Druck. Bereits die mittelfristige Perspektive ist unsicher. Das ist erkennbar an der faktischen Stilllegung einer vergleichsweise großen Zahl von Anlagen und an der geringen Auslastung der technischen Kapazität der produzierenden Anlagen. Investitionen können derzeit nur

- ▶ im Hinblick auf den Ersatz verschlissener Anlagenteile,
- ▶ bei Erwartung signifikanter Verbesserungen der Energieeffizienz und
- ▶ bei Erweiterungen zur Verarbeitung von Rohstoffen aus Rest- und Abfallstoffen

erwartet werden.

Um die noch bestehenden Potentiale bei bestehenden Biodieselanlagen zu heben, erscheint das Instrument der Energieaudits als wesentlich geeigneter als die Aufnahme bestimmter fester Grenz- oder Zielwerte in Rechtsvorschriften.

5.5 Beschreibung der Wirtschaftlichkeit einer Optimierung

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Optimierungen wurde zunächst eine anonyme Befragung der Mitgliedsunternehmen der AGQM durchgeführt. Hierzu wurde mittels eines Fragebogens die Kosten für Roh-

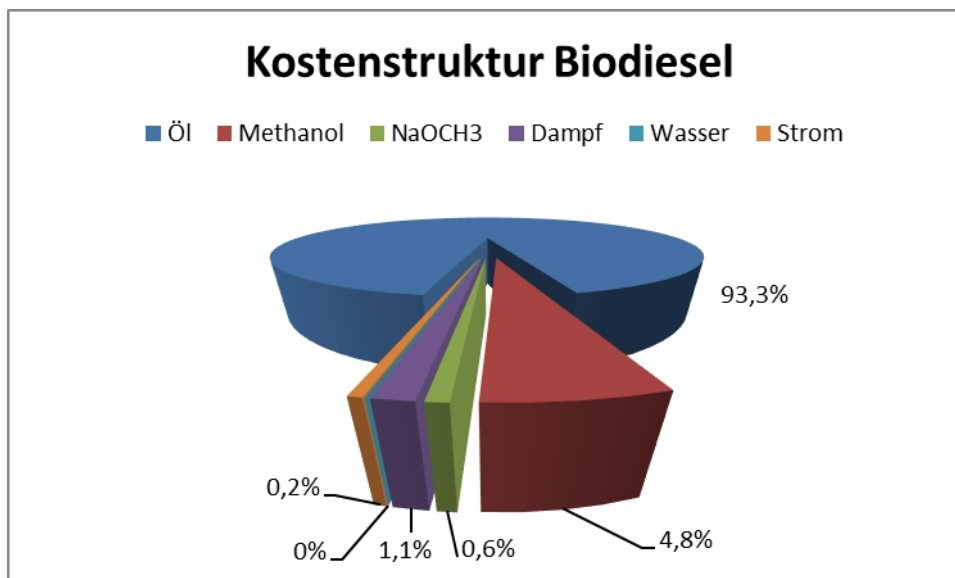
stoffe, Hilfsstoffe und Medien abgefragt. Ziel war es, anhand der erhobenen Daten Kostenpositionen zu finden, bei denen aufgrund ihres Anteils an den Gesamtkosten eine Einsparung sinnvoll möglich ist.

In der nachfolgenden Tabelle sind die erhobenen Daten zusammengefasst dargestellt. Die Genauigkeit der zusammengefassten Daten ist ausreichend, da es nur um eine Abschätzung der möglichen Optimierungspotenziale geht. Zur Ermittlung der Kostenstruktur sind aus dem Abschnitt 4.5 spezifische Verbrauchswerte für die Kostenpositionen und die sich daraus ergebenden Kosten aufgeführt. In der Tabelle sind nur die verfahrenstechnischen Hauptpositionen aufgeführt, wie Öl, Methanol, Katalysator und Energieträger, da aufgrund von sehr geringen Verbrauchswerten der weiteren Hilfsstoffe diese auf die Kosten keinen relevanten Einfluss haben.

Tabelle 23: Auflistung der Kostenpositionen mit Preis, spezifischen Verbrauch und Kosten pro Tonnen Biodiesel

Kostenposition	Preis	Spezifische Menge pro Tonne Biodiesel	Kosten	
			€/t Biodiesel	%
Öl	800 €/t	1,04 t	832	93,3
Methanol	400 €/t	0,108 t	43	4,8
NaOCH ₃	680 €/t	0,007 t	5	0,6
Dampf	0,05 €/kWh	200 kWh	10	1,1
Wasser	0,55 €/m ³	0,15 m ³	0,1	0
Strom	0,032 €/kWh	60 t	1,9	0,2

Abbildung 11: Vereinfachte Kostenstruktur einer fiktiven Biodieselanlage



In der Abschätzung für die fiktive Beispiel-Biodieselanlage betragen die Kosten für den Einkauf von Pflanzenöl ca. 93 % und für Methanol ca. 5 % der Gesamtkosten, d.h. für Energie und Hilfsstoffe müssen lediglich ca. 2 % der Gesamtkosten aufgewendet werden. Bei Einbeziehung aller Hilfsstoffe und Medien sinken die hier angegebenen Kostenanteile noch geringfügig. An der Grundstruktur, dass über 90 % der Kosten auf das Öl und Methanol fallen, dürfte dies aber nichts ändern.

Bei einem Kostenanteil für Energie und Hilfsstoffe von ca. 2 % an den Gesamtkosten sind die Möglichkeiten für wirtschaftliche Optimierungen, wenn überhaupt gegeben, nur sehr klein. Daher lässt sich unter dem Ge-

sichtspunkt der Wirtschaftlichkeit nahezu keine Maßnahme mit dem Ziel der Reduzierung des Verbrauchs von Strom, Dampf oder Wasser darstellen.

Wirtschaftlich mögliche Optimierungen sind nur für die Kostenpositionen Öl und Methanol aufgrund der Kostenanteile von ca. 93 % und 4,8 % an den Gesamtkosten vorstellbar. Zum Beispiel könnten Maßnahmen zur Verbesserung der Reaktionsführung und damit einhergehende Umsatzsteigerung wirtschaftlich darstellbar sein.

Die Optimierungsmöglichkeiten zur Erhöhung des Umsatzes der Umesterungsreaktion sind aber nahezu ausgeschöpft. Zur Senkung des Methanolverbrauchs ist heute eine Rückgewinnung des nicht umgesetzten Methanols aus dem Prozess Stand der Technik, welche in nahezu allen Anlagen eingesetzt wird.

Diese Abschätzung zeigt einerseits, dass die energetische Optimierung der Referenz-Biodieselanlagen sehr weit fortgeschritten ist und andererseits, dass Kosteneinsparungen für Energie ein eher untergeordneter Treiber für potenzielle Anlagenoptimierungen sind.

6 Quellenverzeichnis

- [1] K. Naumann, K. Oehmichen et al. (2012): Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ), Monitoring zur Wirkung nationaler und internationaler gesetzlicher Rahmenbedingungen auf die Marktentwicklung im Biokraftstoffsektor, FKZ 03KB008, Schlussbericht nach Nr. 8.2 NKBF 98, Leipzig
- [2] C. Warnecke (2002): Die Auswahl technisch-wirtschaftlicher Varianten für Biodieselvefahren, Studie G&P Ingenieurgesellschaft für Verfahrenstechnik, Sicherheitstechnik und Umweltschutz mbH, Merseburg
- [3] D. Peters, A. van den Bos and J van de Staij, (20 January 2012): Ecofys B.V., Netherlands, Assessing grandfathering options under an EU ILUC policy, Project for: DG Transport & Environment, BIONL11838
- [4] Marc de Wit, Bioenergy development pathways for Europe; Potentials, costs and environmental impacts
- [5] Van Gerpen, Clements, Knothe et al. (August 2002–January 2004): Biodiesel Production Technology
- [6] Berger, Diplomarbeit, Best Case Study Biodieselproduktion im Auftrag der Internationalen Energie-Agentur (IEA), Task 39
- [7] Editors G. Knothe, J. Van Gerpen und J. Kahl (2005): The Biodiesel Handbook, AOCS Press, Campaign, Illinois
- [8] Editors G. Knothe, J. Van Gerpen und J. Kahl (2010): The Biodiesel Handbook, 2nd edition, AOCS Press, Urbana, Illinois
- [9] Patentrecherche der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. mit den Suchprofil: Patentklassen: C10L, C07C, C08K und C10M, Suchworte (im Volltext): Biodiesel, Biokraftstoff (biofuel), Fettsäuremethylester (fatty acid methyl ester), FAME, Fettsäureethylester (fatty acid ethyl ester), FAEE, Fettsäurealkylester (fatty acid alkyl ester), Blendkraftstoff (blend fuel), Kraftstoffzusammensetzung (fuel composition), Kraftstoffmischung (fuel mixture), Additiv (additive), Stabilisator (Stabilizer), Antioxidant, Kälteeigenschaften (cold stability properties), Detergent, HVO, Hydriertes Pflanzenöl (hydrogenated vegetable oil), Fließverbesserer (flow improver), Wax antisetling additive, CFPP, Oxidationsstabilität (oxidation stability), Decarboxylierung (decarboxylation), C-Kettenkürzung (carbon chain shortage), Metathese (metathesis), Fettsäuremuster (fatty acid pattern), Fettsäureprofil (fatty acid profile), GMO, Genetically modified, Umesterung (transesterification), Veresterung (esterification), Katalysator (catalyst) [125u im Zusammenhang mit Umesterung oder Veresterung oder transesterification oder esterification], Nebenbestandteile (minor components), Wachs (wax), Sterylglycoside (sterol glucosides), Filterierbarkeit (filterability), Filterversatz (filter plugging/clogging)
Recherchezeitraum von 08/2010 bis 09/2012
- [10] Erfassung der in Deutschland betriebenen Biodieselanlagen mit ihren aktuellen Nennkapazitäten durch Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP) in Kooperation mit der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. sowie dem Verband der deutschen Biokraftstoffindustrie e.V., Internes Material erstellt aufgrund von Marktbeobachtungen und Berichten der Mitglieder.
- [11] Ermittlung der mittleren Anlagenauslastung 2000 bis 2011 in Deutschland; Internes Material des Verbandes der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V., erstellt auf der Basis von Berichten der Mitglieder, statistischem Material der BAFA und des BMU sowie durch Abgleich mit Informationen der Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP).
- [12] Majer, St., Oehmichen, K. (Mai 2010): Mögliche Ansätze zur Optimierung der THG-Bilanz von Biodiesel aus Raps, Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ)

7 Anlagen

7.1 Anlagensteckbriefe

(Diese Anlage ist vertraulich, da sie die Codierung der Anlagen zu den im Bericht erhobenen Daten enthält.)

Unternehmensbezeichnung (Betreiber):	XXX
Codierung im Bericht	XXX
Adresse:	XXX
Kapazität (bezogen auf Biodiesel):	XXX
Fahrweise:	XXX
Zeitpunkt der Errichtung/wesentlicher Änderung:	XXX
Art der wesentlichen Änderung:	XXX
Anzahl der Beschäftigten:	XXX
Weitere Anlagenbestandteile:	XXX

7.2 Abschätzung Energiebedarf

Die Berechnungstafel zur Abschätzung des spezifischen Energiebedarfs von Biodieselanlagen ist als vertrauliche, gesonderte Anlage beigefügt.

7.3 Vorschlag zum BREF

Der Vorschlag zum Abschnitt „Fatty Acid Methyl Esters (Biodiesel)“ im Dokument „Best Available Techniques (BAT) Reference Document in the Large Volume Organic Chemical Industry ist als gesonderte Anlage beigefügt.

