

# Bioethanol in Deutschland

Norbert Schmitz (Hrsg.)



Bundesministerium  
für Verbraucherschutz, Ernährung  
und Landwirtschaft



Schriftenreihe  
„Nachwachsende Rohstoffe“  
Band 21

# Bioethanol in Deutschland

Verwendung von Ethanol und Methanol  
aus nachwachsenden Rohstoffen  
im chemisch-technischen  
und im Kraftstoffsektor  
unter besonderer Berücksichtigung  
von Agraralkohol



2003  
Landwirtschaftsverlag GmbH  
48165 Münster

Die Durchführung der Studie erfolgte durch eine Arbeitsgemeinschaft unter Führung des meo Consulting Teams, Köln.

Gesamtleitung: Dr. Norbert Schmitz.

Autoren: Dr. Norbert Schmitz, meo Consulting Team  
Ludz Wilkening, Kraul & Wilkening u. Stelling KG-GmbH & Co.  
Dr. Carl Ludwig Wilkening, Kraul & Wilkening u. Stelling KG-GmbH & Co.  
Dr. Klaus Höring, meo Consulting Team  
Dr. Harald Jatzke, Bundesministerium der Finanzen  
Prof. Dr. Gernot Klepper, Institut für Weltwirtschaft, Kiel

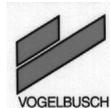
Das Autorenteam wurde insbesondere unterstützt durch:

Dirk Agena, Raiffeisen Hauptgenossenschaft Nord AG  
Colin Beavan, Sasol GmbH  
Robert Hafner, Vogelbusch GmbH  
Dr. Marita Hilgenstock, RWE AG  
Dr. Gerhard Isenberg, DaimlerChrysler AG  
Berthold Nolte, Südzucker AG  
Prof. Dr. R.-Dieter Reineke, meo Consulting Team  
Dr. Wolfgang Wach, Südzucker AG

An der Durchführung der Studie beteiligte Organisationen:



DAIMLERCHRYSLER



Weiterhin beteiligte Institutionen sind im Kapitel 1 aufgelistet.

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) unter dem Förderkennzeichen 22009200 gefördert.

Das BMVEL und der Projektträger Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow waren an der Abfassung der Aufgabenstellung und der wesentlichen Randbedingungen beteiligt.

Die Verantwortung für den Inhalt liegt jedoch allein bei den Autoren.

Alle Rechte, auch die der fotomechanischen Vervielfältigung und des auszugsweisen Nachdrucks, vorbehalten durch Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Satz und Layout: tangram documents, 18182 Bentwisch  
Druck: LV Druck im Landwirtschaftsverlag GmbH, 48165 Münster

Diese Veröffentlichung kann zum Preis von € 20,-  
beim Landwirtschaftsverlag GmbH, 48084 Münster, bezogen werden.

ISBN 3-7843-3217-X

---

# Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	13
Abkürzungsverzeichnis.....	14
Wichtige Merkmale von Ethanol und Methanol.....	16
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>17</b>
<b>2 Zusammenfassung.....</b>	<b>23</b>
<b>3 Erzeugung von Ethanol und Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen.....</b>	<b>38</b>
3.1 In Deutschland verfügbare nachwachsende Rohstoffe für die Erzeugung von Ethanol und Methanol.....	38
3.1.1 Zuckerhaltige Rohstoffe.....	38
3.1.2 Stärkehaltige Rohstoffe.....	43
3.1.3 Lignozellulosehaltige Rohstoffe.....	53
3.1.4 Sonstige Rohstoffe.....	57
3.1.5 Zusammenfassende Beurteilung der Verfügbarkeit von Rohstoffen für die Ethanolerzeugung.....	59
3.1.6 Rohstoffe für die Methanolerzeugung.....	64
3.2 Technologie und Wirtschaftlichkeit der Herstellung von Ethanol und Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen.....	65
3.2.1 Technologien und Herstellungsverfahren.....	65
3.2.1.1 Verfahren zur Herstellung von Ethanol.....	65
3.2.1.2 Rohstoffaufbereitung.....	67
3.2.1.3 Fermentation.....	70
3.2.1.4 Destillation und Rektifikation.....	73
3.2.1.5 Entwässerung des Ethanols.....	76
3.2.1.6 Reststoffaufarbeitung.....	79
3.2.1.7 Ethanolgewinnung aus lignozellulose- haltigen Rohstoffen.....	81
3.2.2 Patente und wissenschaftliche Veröffentlichungen zu Technologien und Verfahren.....	83

3.2.3	Technologische und verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Verbesserung der Effizienz .....	84
3.2.4	FuE-Bedarf zur Entwicklung und Optimierung von Technologien und Verfahren .....	87
3.2.5	Wirtschaftliche Betrachtung der Erzeugung von Ethanol.....	98
3.2.6	Kosten der Ethanolerzeugung .....	100
3.2.7	Erlöse .....	108
3.2.8	Ergebnisse der Kalkulation .....	110
3.2.9	Technologien und Wirtschaftlichkeit der Erzeugung von Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen .....	113
3.3	Erzeugung von Ethanol .....	119
3.3.1	Globale Ethanolerzeugung.....	119
3.3.2	Ethanolerzeugung in der EU .....	123
<b>4</b>	<b>Verwendung von Ethanol und Methanol .....</b>	<b>129</b>
4.1	Grundsätzliche Verwendungsbereiche von Ethanol.....	129
4.2	Verwendungsbereiche und Substitutionsbeziehungen im chemisch-technischen Sektor.....	131
4.2.1	Ethanol im chemisch-technischen Sektor in Deutschland .....	135
4.2.2	Chemisch-technischer Markt für Ethanol in der EU und ausgewählten Drittländern .....	139
4.2.3	Diskussion der marktbestimmenden Faktoren und Perspektiven für die Verwendung von Ethanol im chemisch-technischen Sektor in Deutschland .....	143
4.3	Verwendung von Ethanol und Methanol im Kraftstoffsektor.....	147
4.3.1	Verwendungsmöglichkeiten im Kraftstoffsektor .....	147
4.3.2	Beimischung von Bioethanol zum Ottokraftstoff .....	151
4.3.3	Herstellung und Beimischung von ETBE .....	156
4.3.4	Verwendung von Ethanol im Kraftstoffsektor in ausgewählten EU-Ländern .....	161
4.3.4.1	Überblick über die Bioethanol- verwendung in der EU.....	161
4.3.4.2	Spanien .....	163
4.3.4.3	Frankreich .....	166
4.3.4.4	Schweden .....	175

4.3.5 Verwendung von Ethanol im Kraftstoffsektor außerhalb der EU .....	179
4.3.5.1 Weltweite Entwicklung von Bioethanolprogrammen .....	179
4.3.5.2 Brasilien .....	181
4.3.5.3 USA .....	187
4.3.5.4 Zusammenfassende Betrachtung und Schlußfolgerungen aus den internationalen Erfahrungen .....	193
4.3.6 Entwicklung und marktbestimmende Faktoren des deutschen Kraftstoffsektors .....	196
4.3.7 Bewertung der Marktpotenziale von Bioethanol und ETBE im Kraftstoffsektor.....	203
<b>5 Ordnungs- und steuerrechtliche Rahmenbedingungen .....</b>	<b>209</b>
5.1 Wirtschaftspolitische und ordnungsrechtliche Rahmenbedingungen .....	209
5.1.1 GATT/WTO Richtlinien.....	209
5.1.1.1 Liberalisierung des Welthandels .....	209
5.1.1.2 Zollpolitik gegenüber Entwicklungsländern.....	211
5.1.2 EU-Handelspolitik.....	213
5.1.3 EU-Agrarpolitik .....	213
5.1.3.1 Förderung von Biokraftstoffen und Gemeinsame Agrarpolitik .....	213
5.1.3.2 Gemeinsame Marktorganisation für Ethyl- alkohol landwirtschaftlichen Ursprungs.....	214
5.1.4 EU-Energiepolitik .....	217
5.1.4.1 Eckpfeiler der EU-Energiepolitik .....	217
5.1.4.2 Energiesteuerrichtlinie .....	220
5.1.4.3 Emissionshandel .....	221
5.1.5 Ableitung von ordnungsrechtlichen Handlungs- optionen zur Förderung des Einsatzes von Ethanol und Methanol im Kraftstoffsektor.....	224
5.2 Steuerrechtliche Rahmenbedingungen.....	227

5.2.1	Gemeinschaftsrechtliche und nationale Rechtslage hinsichtlich der Mineralölsteuer.....	228
5.2.1.1	Verpflichtung zur Besteuerung nach Gemeinschaftsrecht .....	228
5.2.1.2	Ausnahmen nach Art. 8 Abs. 2 d der Mineralölstruktur-Richtlinie .....	229
5.2.1.3	Ausnahmen nach Art. 8 Abs. 4 der Mineralölstruktur-Richtlinie .....	230
5.2.1.4	Nationale Rechtslage .....	232
5.2.2	Steuerrechtliche Möglichkeiten zur Förderung von Biokraftstoffen .....	235
5.2.2.1	Vollständige Steuerbefreiung.....	235
5.2.2.2	Besteuerung zu einem ermäßigten Mineralölsteuersatz .....	236
5.2.2.3	Steuervergünstigungen für Pilotprojekte.....	237
5.2.2.4	Zu beachtende Restriktionen des Gemeinschaftsrechts.....	238
5.2.3	Fortentwicklung des Gemeinschaftsrechts .....	240
<b>6</b>	<b>Umweltpolitische Bewertung der Herstellung von Ethanol .....</b>	<b>244</b>
6.1	Klimapolitische Maßnahmen zur Vermeidung von Treibhausgasen.....	244
6.2	Energiebilanzen für Ethanol .....	246
6.2.1	Energiebilanz für die Ethanolproduktion aus Weizen ...	249
6.2.2	Energiebilanz für Zuckerrüben .....	250
6.2.3	Nettoenergiebilanzen für Ethanol.....	250
6.2.3.1	Flächenbezogene Energiebilanzen .....	252
6.3	Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Energiebilanzen.....	257
6.4	Fazit.....	259
6.5	Klimapolitische Bewertung des Einsatzes von Ethanol als Biokraftstoff.....	260
6.5.1	Treibhausgasbilanzen .....	260
6.5.2	Die Treibhausgasbilanz von ETBE.....	264
6.5.3	Gesamtwirtschaftliche Bewertung des Einsatzes von Bioethanol .....	265
6.5.4	Die Rolle der Kuppelprodukte für die Vermeidungskosten.....	269
6.6	Fazit.....	271

---

<b>7</b>	<b>Synthese der Erkenntnisse im Bioethanol-Modell .....</b>	<b>273</b>
7.1	Zielsetzung des Bioethanol-Modells.....	273
7.2	Modul-Übersicht.....	274
7.2.1	Die Sektoren .....	274
7.2.2	Die Simulationslogik.....	276
7.2.3	Zur Methodik und Steuerung.....	278
7.3	Der Sektor Landwirtschaftliche Produktion.....	281
7.4	Der Sektor Agrar-Handel .....	283
7.5	Der Zucker-Sektor .....	285
7.6	Der Sektor Bioethanol Nachfrage und Produktion .....	289
7.7	Der Sektor Bioethanol-Handel.....	292
7.8	Der Kraftstoff-Sektor .....	299
7.9	Auswertungen.....	305
7.9.1	Energie-Bilanz .....	305
7.9.2	Umwelt-Bilanz .....	310
7.9.3	Simulationsergebnisse .....	314
<b>8</b>	<b>Simulationen und Ergebnisse .....</b>	<b>317</b>
8.1	Untersuchung der Vorteilhaftigkeit der einzelnen Rohstoffe..	317
8.2	Der Einfluss des Rohöl-Preises .....	334
8.3	Der Effekt der Anlagengröße.....	335
8.4	Der Effekt von Importen.....	337
8.5	Minimale Erzeugerpreise für Zuckerrüben .....	338
8.6	Alternative Produktstrategien .....	340
8.6.1	Bioethanol und ETBE .....	340
8.6.2	Produktstrategie ETBE.....	341
<b>9</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>343</b>
<b>10</b>	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis .....</b>	<b>347</b>
10.1	Eigenständige Schriften und Artikel.....	347
10.2	Gesetze, Verordnungen, Richtlinien u.ä.....	352
10.3	Weitere Quellen .....	353

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Varianten im Vergleich: Herstellung von Bioethanol aus Triticale mit bestehender Technik und in einem Positivszenario .....	34
Abb. 2:	Ansatzpunkte zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Bioethanol .....	35
Abb. 3:	Zuckerrübenenerzeugung in Deutschland .....	39
Abb. 4:	Weizenerzeugung in Deutschland .....	44
Abb. 5:	Triticaleerzeugung in Deutschland .....	45
Abb. 6:	Roggenerzeugung in Deutschland .....	47
Abb. 7:	Roggen Interventionen und Lagerbestände der EU .....	48
Abb. 8:	Körnermaiserzeugung in Deutschland .....	50
Abb. 9:	Kartoffelerzeugung in Deutschland .....	51
Abb. 10:	Erwartete Herstellungskosten für Ethanol aus lignozellulosehaltigen Rohstoffen .....	56
Abb. 11:	EU-Export von subventioniertem Weinethanol nach WTO-Bestimmungen .....	58
Abb. 12:	Energieertrag und Emissionen verschiedener Feldfrüchte .....	62
Abb. 13:	Alkoholische Gärung .....	66
Abb. 14:	Aufschluß von stärkehaltigen Rohstoffen zu Glucose .....	68
Abb. 15:	Aufschluß von zuckerhaltigen Rohstoffen .....	70
Abb. 16:	Verfahrensschema der Bioethanolherstellung aus Melasse nach dem Batch-Verfahren .....	71
Abb. 17:	Verfahrensschema der Bioethanolherstellung aus Getreide nach dem Kaskaden-Verfahren .....	72
Abb. 18:	Verfahrensschema der Bioethanolherstellung aus Melasse nach dem kontinuierlichen Verfahren .....	74
Abb. 19:	Membranverfahren zur Entwässerung des Ethanols .....	77
Abb. 20:	Möglichkeiten der Zellulose-Hydrolyse .....	83
Abb. 21:	Kalkulationsschema KWST .....	99
Abb. 22:	Vergleich Konversionskosten .....	112
Abb. 23:	Konversionskosten und Emissionen verschiedener Feldfrüchte bei der Ethanolerzeugung .....	113
Abb. 24:	Chemische Grundreaktionen zur Gewinnung von Methanol .....	114

---

Abb. 25:	Verfahren zu Herstellung von Methanol aus Biomasse .....	117
Abb. 26:	Regionale Verteilung der Ethanolerzeugung und erwartetes Wachstum .....	120
Abb. 27:	Führende Ethanolhersteller in den USA .....	121
Abb. 28:	Ethanolerzeugung in Deutschland im Vergleich zur EU ....	124
Abb. 29:	Die Struktur des deutschen Ethanolmarktes.....	127
Abb. 30:	Globale Verwendung von Ethanol nach Sektoren .....	129
Abb. 31:	Welt-Ethanolmarkt für Industrieethanol .....	132
Abb. 32:	Ethanol als Grundstoff für chemische Synthesen.....	133
Abb. 33:	Ethanolnachfrage im chemisch-technischen Sektor in Deutschland .....	137
Abb. 34:	Entwicklung repräsentativer Marktpreise für Ethanol (1985-2002) .....	139
Abb. 35:	Preisentwicklung von Ethanol und Ethylen im Vergleich ..	144
Abb. 36:	Optionen für den Einsatz von Ethanol und Methanol .....	149
Abb. 37:	Dampfdruck und Oktanzahlen von Bioethanol und ETBE im Vergleich zu anderen Kraftstoffkomponenten ....	152
Abb. 38:	Bestehende und geplante ETBE- und Bioethanolanlagen in Europa .....	162
Abb. 39:	Ethanolerzeugung in Spanien .....	164
Abb. 40:	Ethanolerzeugung in Frankreich.....	167
Abb. 41:	Ethanolproduktion Frankreich nach eingesetztem Rohstoff.....	169
Abb. 42:	Ethanolerzeugung in Schweden.....	176
Abb. 43:	Ethanolerzeugung in Brasilien, USA und EU im Vergleich.....	180
Abb. 44:	Ethanolerzeugung in Brasilien .....	182
Abb. 45:	Zuckerrohrernten und Anteil Rohr für Zuckerproduktion .	185
Abb. 46:	Ethanolherstellung für den Kraftstoffsektor in den USA ....	189
Abb. 47:	Rohstoffe für die Ethanolerzeugung in den USA .....	191
Abb. 48:	Prognose des Verbrauchs von Diesel- und Ottokraftstoffen in Deutschland bis zum Jahr 2020 .....	197
Abb. 49:	Ölpreisentwicklung.....	200
Abb. 50:	Verbraucherpreis für Normalbenzin in Deutschland, Nettobenzinpreis und Ölpreis im Vergleich .....	201
Abb. 51:	MTBE- und ETBE-Nachfrage in der EU.....	203
Abb. 52:	Bedeutung von erneuerbaren Energien .....	204
Abb. 53:	Importpreise für Ethanol aus Brasilien .....	217

Abb. 54:	Entwicklung der Mineralölsteuer und der Kraftstoffpreise ohne Mineralölsteuer .....	233
Abb. 55:	Mineralölsteueraufkommen in Deutschland .....	234
Abb. 56:	Fossiler Energieeinsatz bei der Ethanolproduktion aus Weizen (in MJ/l).....	249
Abb. 57:	Fossiler Energieinput bei der Ethanolproduktion aus Zuckerrüben (in MJ/l).....	251
Abb. 58:	Normierte Nettoenergiebilanz für Ethanol aus Weizen.....	253
Abb. 59:	Normierte Nettoenergiebilanz für Ethanol aus Zuckerrüben.....	253
Abb. 60:	Fossiler Energieinput für den Anbau von Weizen und die Produktion von Ethanol (in MJ/ha).....	254
Abb. 61:	Fossiler Energieinput für den Anbau von Zuckerrüben und die Produktion von Ethanol (in MJ/ha) .....	254
Abb. 62:	Normierte Nettoenergiebilanz – Weizen (in MJ/ha) .....	256
Abb. 63:	Normierte Nettoenergiebilanz – Zuckerrüben (in MJ/ha) .....	256
Abb. 64:	Energiegewinn pro Flächeneinheit bei verschiedenen Rohstoffen und Energieträgersubstitutionen.....	258
Abb. 65:	Treibhausgasemissionen bei der Produktion von Ethanol aus Weizen.....	261
Abb. 66:	Treibhausgasemissionen bei der Produktion von Ethanol aus Zuckerrüben.....	261
Abb. 67:	Normierte Nettotreibhausgasbilanz der Ethanolproduktion aus Weizen (in kg CO <sub>2</sub> -Äquivalenten/ha).....	263
Abb. 68:	Normierte Nettotreibhausgasbilanz der Ethanolproduktion mit Zuckerrüben (in kg CO <sub>2</sub> -Äquivalenten/ha) .....	264
Abb. 69:	Vermeidungskosten von Treibhausgasemissionen durch die Substitution von Ethanol auf Weizenbasis.....	266
Abb. 70:	Vermeidungskosten von Treibhausgasemissionen durch die Substitution von Ethanol auf der Basis von Zuckerrüben.....	268
Abb. 71:	Gesamtüberblick Vermeidungskosten von Treibhausgasen .....	268
Abb. 72:	Mögliche Änderung der Vermeidungskosten unter Berücksichtigung von Kuppelprodukten bei konstanten Kuppelproduktpreisen .....	270
Abb. 73:	Die Sektoren des Modells.....	275
Abb. 74:	Simulationslogik für erwartete Rohstoff-Preise.....	276
Abb. 75:	Simulationslogik für maximale Rohstoff-Preise .....	278

---

Abb. 76:	Eingabe-Werte zur Steuerung des Modells .....	279
Abb. 77:	Kennzeichnung exogener Größen im Modell .....	280
Abb. 78:	Konnektoren.....	280
Abb. 79:	Darstellung landwirtschaftlicher Rohstoffe am Beispiel Weizen .....	281
Abb. 80:	Simulation des Agrarhandels .....	284
Abb. 81:	Nachfrage nach Zucker und zuckerhaltigen Produkten .....	286
Abb. 82:	Herstellung von Zucker, Melasse und Dicksaft.....	287
Abb. 83:	Bioethanol-Nachfrage .....	289
Abb. 84:	Produktion Bioethanol mit verschiedenen Anlagengrößen.....	290
Abb. 85:	Nachfrage Ethanol.....	292
Abb. 86:	Simulationssteuerung I und II.....	293
Abb. 87:	Bioethanol-Handel auf Basis erwarteter Rohstoffpreise.....	294
Abb. 88:	Steuertabelle für die Berechnung der Auftragsvergabe nach Marktpreis.....	295
Abb. 89:	Bioethanol-Handel .....	296
Abb. 90:	Eingaben und Steuerung bei vorgegebenem Rohstoffmix..	297
Abb. 91:	Simulation mit Rohstoffmix und Berücksichtigung eines Mindest-Deckungsbeitrages .....	298
Abb. 92:	Berechnung der Umsätze und Durchschnittspreise.....	299
Abb. 93:	Verbrauch Ottokraftstoff mit Beimengungen .....	300
Abb. 94:	Heizwerte von Benzin, Bioethanol, ETBE und MTBE .....	301
Abb. 95:	Kraftstoff-Mischung.....	302
Abb. 96:	Staatliche Einnahmen und Ausgaben sowie Umweltbilanz .....	304
Abb. 97:	Ermittlung der Energieeinsätze in der Landwirtschaft .....	306
Abb. 98:	Ermittlung der Energieeinsätze in den Brennereien .....	308
Abb. 99:	Energiegewinn gegenüber dem Heizwert (Hu) .....	309
Abb. 100:	Energiebilanz bei gleichem Heizwert.....	310
Abb. 101:	Ermittlung der Emissionswerte in der Landwirtschaft .....	311
Abb. 102:	Berechnung der Emissionen in den Brennereien.....	312
Abb. 103:	Addition der Emissionen .....	313
Abb. 104:	Emissionsbilanz .....	313
Abb. 105:	Wichtige Ergebnisdaten der Simulation .....	315
Abb. 106:	Bioethanol-Herstellung ausschließlich aus zuckerhaltigen Rohstoffen .....	318
Abb. 107:	Simulationsergebnisse für den Vergleich zwischen alter und neuer Technik .....	319

Abb. 108: Simulationsergebnisse für den Vergleich zwischen Melasse und Dicksaft .....	320
Abb. 109: Simulationsergebnisse für den Vergleich zwischen Weizen und zuckerhaltigen Rohstoffen .....	321
Abb. 110: Simulationsergebnisse für Roggen im Vergleich zu Weizen .....	322
Abb. 111: Simulationsergebnisse für Roggen mit Vergleich alter und neuer Technik .....	323
Abb. 112: Simulationsergebnisse für Triticale im Vergleich zu Roggen.....	324
Abb. 113: Simulationsergebnisse für Triticale: Vergleich alter Technik mit Positivszenario.....	325
Abb. 114: Simulationsergebnisse für Körner-Mais im Vergleich zu Triticale .....	326
Abb. 115: Simulationsergebnisse für Kartoffeln im Vergleich zu zuckerhaltigen Rohstoffen.....	327
Abb. 116: Simulationsergebnisse für einen Rohstoffmix .....	328
Abb. 117: Simulationsergebnisse für einen Rohstoffmix bei kleinen und großen Anlagen in den Brennereien.....	329
Abb. 118: Simulationsergebnisse für einen Rohstoffmix bei niedrigem Ethanolpreis.....	330
Abb. 119: Energieeinsatz und Emissionen über dem Bioethanol-Preis der Rohstoffe nach veröffentlichten Studien.....	331
Abb. 120: Energieeinsatz und Emissionen über dem Bioethanol-Preis der Rohstoffe nach Untersuchung neuer Techniken..	332
Abb. 121: Der Einfluss des Rohölpreises .....	335
Abb. 122: Zwei Szenarien für die Auswirkungen der Rohölpreis-Entwicklung.....	335
Abb. 123: Die Auswirkungen der Anlagengrößen .....	336
Abb. 124: Die Auswirkungen eines Import-Stops .....	337
Abb. 125: Wirtschaftliche Situation der Rüben-Produktion unter Grenzbedingungen.....	338
Abb. 126: Szenario des minimalen Zuckerrüben-Preises.....	339
Abb. 127: Mischungsverhältnis bei Strategie 1 .....	340
Abb. 128: Die Bioethanol-ETBE-Strategie.....	341
Abb. 129: Die ETBE-Strategie .....	342

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vollkosten der Ethanolerzeugung .....	27
Tabelle 2:	Vergleich von Ottokraftstoff und Bioethanol in Abhängigkeit vom Rohölpreis .....	31
Tabelle 3:	Stärken-/Schwächenprofil der landwirtschaftlichen Rohstoffe für die Ethanolerzeugung .....	60
Tabelle 4:	Übersicht der ausgewählten Patente und die Schwerpunkte .....	85
Tabelle 5:	Forschungsansätze des National Renewable Energy Laboratory, USA .....	89
Tabelle 6:	Forschungsansätze .....	95
Tabelle 7:	Dampfverbrauch in Abhängigkeit vom eingesetzten Rohstoff .....	104
Tabelle 8:	Personalbesetzung .....	106
Tabelle 9:	Personalkosten der verschiedenen Anlagen .....	106
Tabelle 10:	Geschätzte Investitions- und Kapitalkosten .....	107
Tabelle 11:	Konversions-, Herstell- und Vollkosten bei verschiedenen Anlagengrößen und Rohstoffen sowie Überschuß unter Berücksichtigung von Nebenprodukterlösen .....	110
Tabelle 12:	Elementarzusammensetzung von Biomasse im Vergleich zu Methanol .....	115
Tabelle 13:	Preissegmente im Ethanolmarkt .....	138
Tabelle 14:	Eigenschaften von Ethern im Vergleich .....	157
Tabelle 15:	Ethanol, ETBE und Biodiesel im Vergleich .....	159
Tabelle 16:	Ethanolerzeugung für den Kraftstoffsektor in ausgewählten Ländern .....	194
Tabelle 17:	PKW-Szenarien (Quelle: Shell) .....	199
Tabelle 18:	Vergleich von Ottokraftstoff und Bioethanol in Abhängigkeit vom Rohölpreis .....	205
Tabelle 19:	Erforderliche Steuerermäßigung um Preisgleichheit von Ottokraftstoff und Bioethanol herzustellen .....	207
Tabelle 20:	EU-Einfuhrzölle auf Importe aus Brasilien, USA und Polen .....	212
Tabelle 21:	Zusammenfassung der Simulationsläufe .....	333

## Abkürzungsverzeichnis

Abl.	EG Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft
afta	Association for fair trade in alcohol
Art.	Artikel
BfB	Bundesmonopolverwaltung für Branntwein
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BFH	Bundesfinanzhof
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMF	Bundesministerium der Finanzen
BML	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
BMVEL	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft
BranntwMG	Branntweinmonopolgesetz
BZ	Brennstoffzelle
BSP	Bruttosozialprodukt
C	Celsius
cbm	Kubikmeter
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
Ct	Cent
d	day
DB	Deckungsbeitrag
DDGS	Distillers' Dried Grains Solubles
DGMK	Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.
DIN	Deutsche Industrie Norm
DIPE	Di-Iso-Propyl-Ether
DOE	Department of Energy
ECOFIN	Rat der Wirtschafts- und Finanzminister
EG	Europäische Gemeinschaften
EGV	Vertrag zur Gründung der Europäischen Gemeinschaft
EN	Europäische Norm
ETBE	Etyl-Tertiär-Butyl-Ether

EU	Europäische Union
EuGH	Europäischer Gerichtshof
EuGHe	Sammlung der Rechtsprechung des Gerichtshofes der Europäischen Gemeinschaften
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
FAZ	Frankfurter Allgemeine Zeitung
FFV	Flexible Fuel Vehicle
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
F&E	Forschung und Entwicklung
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GATT	General Agreement on Tariffs and Trade
ha	Hektar
hl	Hektoliter
Hrsg.	Herausgeber
HSanG	Haushaltssanierungsgesetz
IEA	Internationale Energieagentur
l	Liter
IFEU	Institut für Energetik und Umwelt
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Jg.	Jahrgang
KN	Kombinierte Nomenklatur
KOM	Europäische Kommission
KWK	Kraft-Wärmekopplung
MinöStG	Mineralölsteuergesetz
MinöStV	Mineralölsteuer-Durchführungsverordnung
Mio.	Millionen
MITI	Ministry of Industry and Trade
MOZ	Motor Oktanzahl
MJ	Mega Joule
MTBE	Methyl-Tertiär-Butyl-Ether
NEDO	New Energy Development Organization
NREL	National Renewable Energy Laboratory
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
o.V.	ohne Verfasser
p.a.	per annum
PTBE	Iso-Propyl-Tertiär-Butyl-Ether
Rdnr.	Randnummer
RL	Richtlinie

RME	Rapsmethylester
ROZ	Research Oktanzahl
Rs	Rechtssache
SOZ	Straßen Oktanzahl
Std.	Stunden
t	Tonne
T	Tausend
Tab.	Tabelle
TAME	Tertiär-Amyl-Methyl-Ether
VO	Verordnung
Vol.	Volumen
WTO	World Trade Organisation

## Wichtige Merkmale von Ethanol und Methanol

Merkmal	Ethanol	Methanol
Chemische Strukturformel	$C_2H_5OH$	$CH_3OH$
Spezifisches Gewicht kg/l	0,789	0,796

# 1 Einleitung

Die Erde wird sich nach Ansicht von Wissenschaftlern wesentlich stärker erwärmen als bisher angenommen. Die internationale Wissenschaftlergruppe des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), die im Auftrag der Vereinten Nationen den Klimawechsel erforscht, ist im Jahr 2000 zu dem Schluß gekommen, dass die von Menschen verursachte Umweltverschmutzung einen wesentlichen Beitrag zum Treibhauseffekt leistet. Sollte der Ausstoß der Treibhausgase, hauptsächlich CO<sub>2</sub>, weltweit nicht sinken, rechnet sie für die kommenden 100 Jahre mit einem Temperaturanstieg von bis zu sechs Grad Celsius. Diese Prognose liegt deutlich höher als die 1995 von der gleichen Gruppe herausgegebene Einschätzung.

Dieses Ergebnis zeigt, dass die globale Erwärmung ein wirkliches Problem und die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses eine Herausforderung für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft darstellt. Wesentlich zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen trägt der Transportsektor bei. Die EU schätzt, dass die durch den Transportsektor verursachte Umweltbelastung bis zum Jahre 2010 im Vergleich zu 1990 um 40 % zunehmen wird. Der Verkehrsbereich stellt damit klimapolitisch die größte Herausforderung dar.

Die Bundesregierung hat sich im Rahmen des Klimaschutzprogramms zu Minderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen und der sechs wichtigsten Treibhausgase verpflichtet.<sup>1</sup> Die verstärkte Nutzung regenerativer Energiequellen kann hierzu einen Beitrag leisten. Zu den regenerativen Energiequellen gehören auch Ethanol und Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen, die vor allem im Verkehrsbereich eingesetzt werden können.<sup>2</sup> Nachwachsende Rohstoffe leisten sowohl einen Beitrag zur Schonung

---

1 Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Nationales Klimaschutzprogramm, Beschluss der Bundesregierung vom 18. Oktober 2000 sowie Nachhaltige Energiepolitik für eine zukunftsfähige Energieversorgung, Energiebericht, Berlin 2001.

2 Im allgemeinen Sprachgebrauch wird oftmals der Begriff „Alkohol“ für Ethanol verwendet. Der Begriff Alkohol ist allerdings unpräzise, da es verschiedene Alkohole gibt, zu denen auch Methanol und Ethanol zählen. In dieser Studie wird der Begriff Ethanol für die gemeinhin als „Alkohole“ bezeichneten Produkte (z.B. Agraralkohol, Neutralalkohol, Branntwein, Primasprit, Weinalkohol) verwendet. Für Ethanol, das dem Kraftstoff beigemischt werden soll, verwenden wir den Begriff Bioethanol.

fossiler Ressourcen als auch zum Klimaschutz aufgrund ihrer weitgehenden CO<sub>2</sub>-Neutralität.

Ein stärkerer Einsatz von Ethanol und Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen ist jedoch nicht nur vor dem Hintergrund der Erreichung klimapolitischer Ziele zu beurteilen, sondern eröffnet auch Einkommensperspektiven für die Landwirtschaft. Durch eine Verminderung der Überschüsse im Nahrungsmittelbereich und eine Begrenzung der Marktordnungskosten kann ein Beitrag zur Sicherung von landwirtschaftlichen Einkommen und Arbeitsplätzen geleistet werden. Schließlich kann auch die Abhängigkeit vom importierten Rohöl verringert werden.

Im Kraftstoffsektor kann Ethanol direkt dem Ottokraftstoff zuge-mischt oder – nach einem weiteren Verarbeitungsschritt – als Ethyl-Ter-tiär-Butyl-Ether (ETBE) Verwendung finden. Methanol wird bereits als Wasserstoffträger bei der Brennstoffzellentechnologie genutzt. Allerdings ist der Einsatz nachwachsender Rohstoffe nicht unumstritten: Gegen-er argumentieren mit geringen Nettoenergieausbeuten und ungünstigen Ökobilanzen aufgrund aufwändiger Umwandlungsprozesse. Zudem sei die Verwendung von Ethanol im Kraftstoff eine im Vergleich zu anderen Optionen teure klimapolitische Maßnahme und erfordere hohe staatliche Subventionen.

Vor diesem Hintergrund hat die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) eine Neubewertung des Einsatzes von Ethanol und Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen im chemisch-technischen und im Kraftstoffsektor unter besonderer Berücksichtigung von Agraralkohol für erforderlich gehalten.<sup>3</sup> Dieses erfolgt in der vorliegenden Studie. Technische, wirtschaftliche und ökologische Aspekte werden unter Berücksichtigung rechtlicher und politischer Rahmenbedingungen untersucht. Dabei zielt die Studie nicht auf eine Förderung wissenschaftlicher Primärerkenntnisse sondern auf die Zusammenführung und Auswertung verfügbaren Wissens ab. Besondere Aktualität hat die Studie durch die EU-Richtlinien zur Förderung von Biokraftstoffen und durch die Entscheidung der Bundesregierung, Biokraftstoffe von der Mineralölsteuer zu befreien, erlangt.

---

3 Mit dem Zusatz im Untertitel „... unter besonderer Berücksichtigung von Agraralkohol“ konzentriert sich die Studie automatisch auf Ethanol. Eine Umwandlung des Agrarethanol in Methanol macht wirtschaftlich keinen Sinn, da damit ein weiterer Konversionsschritt mit entsprechenden Energieverlusten anfällt, Ethanol aber direkt energetisch verwendet werden kann. Methanol ist allerdings in der Forstwirtschaft eine Option, da hier sog. „Holzgeist“ gewonnen werden kann.

Das umfangreiche Thema ist in der Studie in vier Untersuchungsbereichen aufgearbeitet worden, die dann in einer Synthese in ein computergestütztes Simulationsmodell eingeflossen sind. Ein erster Untersuchungsbereich beschäftigt sich mit der Erzeugung von Ethanol und Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen. Dabei stehen die Verfügbarkeit landwirtschaftlicher Produkte für die Ethanol- und Methanolerzeugung, Technologien und Wirtschaftlichkeit von Konversionsverfahren sowie eine Erläuterung der globalen, europäischen und deutschen Ethanolerzeugung im Vordergrund. Angebotsstrukturen der Methanolerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen sind nicht abgebildet worden, da sich die entsprechenden Anlagen noch im Versuchsstadium befinden.

Der zweite Untersuchungsbereich gilt der Verwendung von Ethanol und Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen im chemisch-technischen und im Kraftstoffsektor. Die Potenziale für Ethanol im chemisch-technischen Markt werden vor dem Hintergrund der Analyse des deutschen Marktes sowie internationaler Entwicklungen diskutiert. Deutlich größere Absatzpotenziale für Ethanol sind im Kraftstoffsektor vorhanden. Zunächst werden die Anforderungen an Kraftstoffkomponenten sowie die Beimischung von Bioethanol und ETBE erörtert, bevor Erfahrungen aus EU-Staaten und aus Übersee dargelegt werden. Auf dieser Basis erfolgt eine Diskussion der marktbestimmenden Faktoren in Deutschland mit Schlußfolgerungen für eine Einführung von Ethanol im Kraftstoffsektor.

Der dritte Untersuchungsbereich befaßt sich mit ordnungs- und steuerrechtlichen Aspekten, die für die Herstellung von Ethanol und Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen relevant sind. Hier stellt sich beispielsweise die Frage, inwieweit bei einem Bioethanolprogramm in Deutschland Importe von Ethanol aus Ländern wie Brasilien vor dem Hintergrund von GATT/WTO-Vereinbarungen eingeschränkt oder verhindert werden können. Von Bedeutung sind ferner das deutsche und europäische Agrarmarktsystem, das Branntweinmonopol und die Zuckermarktordnung. Hinsichtlich der steuerrechtlichen Rahmenbedingungen steht die Mineralölsteuer im Vordergrund. Die Untersuchung verlangt eine Darstellung sowohl der nationalen als auch der gemeinschaftsrechtlichen Rechtslage.

Der vierte Untersuchungsbereich befaßt sich mit umweltpolitischen Aspekten. Vor dem Hintergrund der nationalen und internationalen Klimapolitik erfolgt eine energetische und ökologische Bewertung von

Ethanol. Dabei wird auf vorliegende, wissenschaftlich nachvollziehbare Studien zurückgegriffen, die die Meinungsbildung in Deutschland wesentlich geprägt haben. Im Rahmen des Projektes konnten keine neuen Energie- und Ökobilanzen erstellt werden. Hier besteht Handlungsbedarf, da die meisten Studien bei der Aufstellung von entsprechenden Bilanzen von Technologien und Verbrauchswerten ausgehen, die nicht mehr aktuell sind. So sind beispielsweise die Energieverbräuche bei der Herstellung von Ethanol heute in der betrieblichen Praxis von Brenneinheiten nur noch halb so hoch wie in den Studien angegeben.

Erkenntnisse aus den vier Untersuchungsfeldern bilden die Grundlage für das eigens entwickelte, computergestützte Bioethanol-Modell. Das Modell bildet die gesamte Produktions- und Handelskette des Bioethanols von der landwirtschaftlichen Erzeugung über die Herstellung von Ethanol bis zum Verbrauch im Kraftstoffsektor ab. Die Produktströme werden um Preise und Kosten sowie um Kennzahlen zur Beurteilung der Energiebilanz und der Umwelteffekte ergänzt. Ethanol kann dabei aus sechs unterschiedlichen landwirtschaftlichen Produkten erzeugt werden, die miteinander im Wettbewerb stehen.

Das Modell wurde gestaltet, um die vielfältigen Einflussgrößen auf die zukünftige Entwicklung synoptisch darzustellen und einen Leitfaden für das Zusammentragen der wichtigsten Daten aus unterschiedlichen Disziplinen und Wirtschaftssektoren zu haben. Auf diese Weise dient das Modell dazu, die unterschiedlichen Experten-Wissen zu vereinen und wechselseitig in Einklang zu bringen.

Auf der Basis des so validierten Modells ist es möglich, Szenarien über mögliche zukünftige Entwicklungen zu erhalten. Aus Sensitivitätsanalysen erkennt man die Schwankungsbreite, in der sich die weitere Entwicklung vollziehen kann. Die besonders einflussreichen Größen, auf deren Bestimmung viel Wert zu legen ist, werden abgebildet. Mit alternativen Szenarien lassen sich darüber hinaus unterschiedliche Entscheidungen auf ihre Vorteilhaftigkeit hin untersuchen.

Für die Bearbeitung der Studie ist die Zusammenstellung eines qualifizierten, interdisziplinären Teams erforderlich gewesen. Die Gesamtleitung der Projektes lag bei Dr. Norbert Schmitz, meó Consulting Team. Er wurde unterstützt durch seine meó-Kollegen Dr. Klaus Höring und Prof. Dr. R.-Dieter Reineke.

Technische und wirtschaftliche Fragestellungen der Ethanolerzeugung wurden verantwortlich von Dr. Carl Ludwig Wilkening und Ludz

Wilkening von Kraul & Wilkening u. Stelling KG-GmbH & Co. (KWST) bearbeitet. Robert Hafner von der Vogelbusch GmbH in Wien hat Beiträge zur Erstellung der technischen Kapitel geleistet. Darüber hinaus hat KWST die Erstellung der Marktkapitel wesentlich unterstützt.

Prof. Dr. Gernot Klepper und Jan Michael Henke vom Kieler Institut für Weltwirtschaft zeichnen verantwortlich für die Behandlung der umweltpolitischen Fragestellungen im Rahmen der Studie. Dr. Harald Jatzke, Regierungsdirektor im Bundesministerium der Finanzen, hatte die Bearbeitung EU- und steuerrechtlicher Fragestellungen übernommen.

Die Bearbeitung landwirtschaftlicher Fragestellungen erfolgte mit Unterstützung der Raiffeisen Hauptgenossenschaft Nord AG (RHG) sowie der Südzucker AG. Nikolaus von Veltheim und Dirk Agena von der RHG haben Beiträge zu stärkehaltigen Rohstoffen für die Ethanolherzeugung geleistet. Bei der Südzucker AG haben vor allem Berthold Nolte und Dr. Wolfgang Wach sowie Dr. Mohammad Munir und Prof. Dr. Markwart Kunz wichtige Beiträge bei der Diskussion landwirtschaftlicher und technischer Themen geleistet.

Colin Beavan von Sasol Solvents GmbH war in die Bearbeitung des Kapitels zum chemisch-technischen Markt eingebunden. Dr. Ing. Gerhard Isenberg und Dr. Raphael Edinger von DaimlerChrysler haben die Erstellung der Beiträge zur Methanolherstellung sowie die Diskussion um die Brennstoffzellentechnologie unterstützt. Dr.-Ing. Marita Hilgenstock von RWE bearbeitete im Rahmen des Projektes energiewirtschaftliche Strategien.

Neben diesem Kernteam haben zahlreiche Unternehmen und Einzelpersonen das Vorhaben durch inhaltliche Beiträge gefördert. Besonders danken möchten wir: Kenneth Werling, Agroetanol AB; Rob Vierhout, Association for Fair Trade in Alcohol; Bernd Nierhauve, Bernhard Scholtissek und Wolfgang Dörmer, Aral Forschung GmbH; Stephane Halgand, Confederation Generale Des Planteurs De Betteraves (CGB); Dr. Anton Althapp, Choren Industries; Dane Colbert, Ethanol Union; Beatriz Yordi, EU DG TREN; Michael Brenndörfer, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL); Dr. Peter Schlüter, Dr. Barbara Meyer-Bukow, Dr. Michael Winkler, Mineralölwirtschaftsverband; Dr. Krumm, Jean J. Cadu, Shell; Jean-Pierre Leroudier, Syndicat National des Producteurs D'Alcool Agricole; Peter Pilz, Union Deutscher Agraralkoholherzeuger und -verarbeiter; Kurt Teichner, Bundesmonopolverwaltung für Branntwein; Michael Wang, United States Department of Agriculture.

Darüber hinaus haben Abengoa, France Alcool, Saint-Louis Sucre, die Association pour le Developpement des Carburants Agricoles und TotalFinaElf die Studie unterstützt.

Von Seiten des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft wurden wir durch Dr. Jürgen Ohlhoff, Hubert Honecker und Werner Albrecht gefördert.

Schließlich danken wir Birger Kerckow, Dr. Hermann Hansen und Dr.-Ing. Andreas Schütte von der FNR für die kompetente Begleitung der Studie während der gesamten Projektlaufzeit von Juli 2001 bis September 2002.

## 2 Zusammenfassung

Sowohl auf europäischer wie auf deutscher Ebene findet aktuell eine **Diskussion zur Förderung von Biokraftstoffen** statt. Die Europäische Kommission hat Vorschläge für Richtlinien unterbreitet mit der Zielsetzung, den Anteil regenerativer Energien im Energiemix in der EU deutlich zu steigern. In Deutschland wurde im Sommer 2002 für Biokraftstoffe die Befreiung von der Mineralsteuer beschlossen.<sup>4</sup> Damit wird ab voraussichtlich 2003 die Möglichkeit eröffnet, Ethanol direkt oder nach einem weiteren Konversionsschritt als ETBE dem Ottokraftstoff beizumischen.

Unter Berücksichtigung der von der Mineralölindustrie erwarteten zukünftigen Nachfrageentwicklung würde sich beispielsweise bei einer **Beimischung** von 2 % Ethanol zum Ottokraftstoff im Jahre 2005 ein Bedarf von 700.000 m<sup>3</sup> ergeben. Steigt die Beimischung im Jahre 2010 auf die entsprechend der geltenden Kraftstoffnorm zulässige Grenze von 5 Vol.%, errechnet sich ein Bioethanolbedarf von 1,6 Mio. m<sup>3</sup>. Bei Zugrundelegung US-amerikanischer Verhältnisse (10 % Beimischung) würde der Bedarf in Deutschland sogar auf 2,9 Mio. m<sup>3</sup> ansteigen. Wird MTBE durch ETBE ersetzt, ergibt sich bei dem derzeitigen Verbrauch von knapp 30 Mio. t Ottokraftstoff in Deutschland ein Bioethanolbedarf von etwa 200.000 m<sup>3</sup>.

Ethanol in diesen Größenordnungen kann nur aus landwirtschaftlichen Rohstoffen hergestellt werden, bei denen ein **Mindestmaß an Anbauerfahrung** und eine möglichst bestehende bzw. naheliegende **großtechnische Nutzung** vorhanden sind. Bei Zuckerrüben, Weizen, Roggen, Triticale, Körnermais und Kartoffeln verfügt die deutsche Landwirtschaft über erhebliche Anbauerfahrung und erzielt hohe Erträge meist in Verbindung mit einer hohen Ertragssicherheit. Unter den gegebenen meteorologischen und anbautechnischen Bedingungen stellen diese Rohstoffe die vielversprechendsten Optionen für eine Produktion von Ethanol dar. Andere nutzbare Kulturpflanzen wie Zuckerhirse, Gehaltsrüben, Topinambur und Zichorien erfüllen die genannten Krite-

<sup>4</sup> Vgl. Gesetz zur Änderung des Mineralölsteuergesetzes und anderer Gesetze vom 23. Juli 2002, BGBl. I Nr. 52 vom 29. Juli 2002, S. 2778.

rien (Anbauerfahrung, großtechnische Nutzung) nicht und kommen daher als Rohstoff für die Ethanolherzeugung derzeit nicht in Betracht.

Zuckerrüben weisen die höchste **Flächenproduktivität**, aber auch, gemeinsam mit Kartoffeln, die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen je ha auf. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Körnermais, Weizen, Triticale und Roggen sind auf den ha bezogen in etwa gleich, allerdings sind die Nettoenergieerträge von Körnermais und Weizen höher als bei Triticale und Roggen. Das genetische Potenzial der Feldfrüchte ist noch nicht ausgeschöpft. Für die Zukunft werden jährliche Ertragssteigerungen von 1 bis 1,5 % angenommen.

Die verschiedenen Rohstoffe sind unterschiedlich gut für die Ethanolherzeugung geeignet. **Zuckerrüben** können direkt, in Form von Dick- oder Dünnsaft und über Melasse zu Ethanol verarbeitet werden. Zwar weisen Zuckerrüben Nachteile im Hinblick auf Lager- und Logistikkosten auf, dafür ist aber die Konversion besonders wirtschaftlich. Zuckerrüben stellen relativ hohe Anforderungen an Böden, wodurch der Anbau regional begrenzt ist. Bislang werden nur rund 25 % der für den Zuckerrübenanbau verwendbaren Fläche genutzt, so dass auch ein deutlicher Ausbau für eine Bioethanolherzeugung möglich wäre. Hinzu kommt, dass sich die Situation nach Auslaufen der derzeit geltenden Zuckermarktordnung ohnehin ändern dürfte.

Der **Getreideanbau** zur Ethanolherzeugung zielt vor allem auf einen möglichst hohen Stärkegehalt ab. Weizen weist einen hohen Stärkegehalt und eine gute Kornausbildung auf, ist allerdings ein teurer Rohstoff, der zudem hohe Ansprüche an die Böden stellt. Dagegen können Roggen und Triticale auch auf schwachen Böden angebaut werden. Diese Sorten erreichen im Vergleich zu Weizen nur eine geringere Flächenproduktivität. Bei Roggen ist die Verarbeitung zu Ethanol etwas teurer, da viskositätssenkende Enzyme zur Verhinderung der Verschleimung im Konversionsprozess beigegeben werden müssen und ein höherer Dampfbedarf aufgrund schlechterer Möglichkeiten der Schlemperückführung erforderlich ist. Die Verfügbarkeit von Roggen am Markt ist derzeit abhängig von der geltenden Marktordnung.

Die Nachfrage nach **Roggen** ist deutlich niedriger als das Angebot in Deutschland. Interventionen im Roggenmarkt sind aufgrund des großen Kontraktvolumens ein wichtiges markt- und finanzpolitisches Thema. Roggen in der Größenordnung von bis zu einer Jahresernte wird in Interventionslagern für durchschnittlich zwei Jahre eingelagert, bevor es auf dem Weltmarkt mit erheblichen Verlusten veräußert wird. Eine Verände-

rung des Interventionssystems ist aufgrund der wachsenden Interventionsbestände und der kostspieligen Drittlandsexporte in der Diskussion. Die Vorschläge der EU-Kommission im Rahmen des Mid-Term-Reviews vom 10.07.2002 sehen eine Abschaffung der Interventionsmöglichkeiten für Roggen vor. Damit dürfte sich der traditionelle Roggenanbau in Deutschland stark verringern. Problematisch ist, dass auf typischen Roggenstandorten nur bedingt andere Getreidearten angebaut werden können. Triticale gehören zu diesen Pflanzen, allerdings wird geschätzt, dass nur etwa 50 % der Roggenanbaufläche für diese Getreideart wirtschaftlich nutzbar ist.

Bislang spielt die Ethanolherstellung auf **Maisbasis** in Deutschland keine Rolle. Zukünftig kann sich dies ändern, wenn neue Sorten zugelassen werden, bei denen der Mais noch auf dem Feld trocknen kann, bevor er geerntet wird. Dadurch wird die sonst erforderliche aufwändige Trocknung vor der Verarbeitung eingespart. Damit kann Mais zu einem attraktiven Rohstoff für die Ethanolherzeugung in Deutschland werden.

Traditionell eine große Bedeutung für die Ethanolherzeugung in Deutschland hat die **Kartoffel**. Rund 50 % des von der Bundesmonopolverwaltung für Branntwein übernommenen Ethanols kommt aus kleinen landwirtschaftlichen Brennereien, die auf Kartoffelbasis arbeiten. Kartoffeln sind für die Ethanolherzeugung ein problematischer Rohstoff. Nachteilig sind vor allem die hohen Rohstoff-, Lager- und Verarbeitungskosten, die eingeschränkte Verwendbarkeit der Schlempe sowie der hohe Abwasseranfall.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die in Deutschland zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen **Anbauflächen** grundsätzlich **keinen limitierenden Faktor** für die Erreichung der genannten Beimischungsziele darstellen. Es kann auch davon ausgegangen werden, dass aufgrund von Kostensenkungen und Produktivitätsfortschritten in der Landwirtschaft die realen Preise für die angebotenen Rohstoffe sinken. Die Annahme, dass die Flächenprämien reduziert werden, dürfte zudem den Druck zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit erhöhen.

Neben der Verwendung traditioneller landwirtschaftlicher Produkte wird zunehmend die Verarbeitung von **lignozellulosehaltigen Rohstoffen** diskutiert, bei denen Zellulose, Lignin und Hemizellulose für die Ethanolherzeugung genutzt werden. Zu diesen Pflanzen zählen etwa schnellwachsende Baumarten wie Pappeln, Weiden, Miscanthus und Rutenhirse. Mittel- bis langfristig sind zellulosehaltige Rohstoffe vielver-

sprechend, da sie zum einen in sehr großer Menge und zum anderen wahrscheinlich zu niedrigen Einstandspreisen zur Verfügung stehen können. Bislang bestehen allerdings erhebliche technische Schwierigkeiten, Ethanol auf dem Wege der Fermentation aus zellulosehaltigen Rohstoffen zu gewinnen. Zudem sind die Konversionskosten noch deutlich zu hoch, um wirtschaftlich Ethanol auf Basis von lignozellulosehaltigen Rohstoffen produzieren zu können. Schließlich bestehen ungelöste Probleme bei der Aufbereitung des Abwassers. Dieser Verarbeitungsansatz kommt daher für ein Bioethanolprogramm in Deutschland derzeit nicht in Betracht, kann allerdings für die Zukunft eine interessante Option darstellen.

Sofern keine Änderung der **Interventionspraxis im Weinmarkt** erfolgt, dürfte Weinethanol auch zukünftig zu niedrigen Preisen von der EU-Kommission verfügbar sein. Bei einem verstärkten Einsatz von Bioethanol im europäischen Kraftstoffsektor dürfte auch ein größeres Volumen an Weinethanol in diesem Bereich abgesetzt werden.

**Technologien** und Verfahren der Ethanolherstellung gelten als weitgehend ausgereift. Dies zeigt sich beispielsweise darin, dass im zurückliegenden Jahrzehnt relativ wenige Patente angemeldet wurden und die wesentlichen wissenschaftlichen Veröffentlichungen älteren Datums sind. Die eingesetzten Verfahren sind aber immer weiter optimiert worden, wobei die Energiekosten den wesentlichen Hebel zur Verbesserung der Effizienz darstellen. So hat beispielsweise das Kaltmaisverfahren das bei der Getreideethanolherstellung übliche Dämpfverfahren mit einem hohen Dampfeinsatz ersetzt und den Energieaufwand drastisch reduziert. Das Verfahren ist inzwischen durch Wärmeaustausch so verfeinert worden, dass der Stärkeaufschluss heute praktisch ohne Zusatzenergie erfolgt.

Auch in der **Destillations- und Rektifikationstechnologie** sind Verfahren entwickelt und umgesetzt worden, die den Energieeinsatz maßgeblich reduziert haben. Die computergesteuerte Prozesstechnik hat das energiesparende Mehrdruckverfahren ermöglicht, das durch im Vakuumbetrieb nachgeschaltete Kolonnen weiterentwickelt wurde. Gegenüber herkömmlichen Verfahren läßt sich so ein Energieeinsparungseffekt von 60 % erzielen. Bei der Fermentationstechnologie werden in modernen **kontinuierlichen Verfahren** wie dem Kaskaden- oder Biostillverfahren durch Schlempe- und Heferückführung zusätzliche Einspareffekte sowohl hinsichtlich des Energieeinsatzes als auch der Ausbeute erzielt.

Es ist heute davon auszugehen, dass durch die genannten **energieeinsparenden Maßnahmen** nur noch 50 bis 60 % des Energiebedarfs von herkömmlichen Anlagen erforderlich sind. Die in der Literatur aufgeführten Energieverbräuche für die Gewinnung von Ethanol berücksichtigen diese technologischen Fortschritte vielfach noch nicht. Sie liegen erheblich höher als die in dieser Studie gemachten Angaben. Hinzu kommt, daß bei der Reststoffaufarbeitung noch weitere energiesparende Entwicklungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden können.

Tabelle 1: Vollkosten der Ethanolerzeugung

<b>Vollkosten</b>					
= Selbstkosten zuzügl. Gewinnaufschlag ==> 10 % auf Umsatz Hauptprodukt					
Rohstoff	Rst-Preis	Kleine Anlagen	Mittlere Anlagen	Große Anlagen	Größte Anlage
		60 m³/d	180 m³/d	360 m³/d	720 m³/d
Zuckerrüben					
Melasse	85 €/t	657 €/m³	560 €/m³	538 €/m³	532 €/m³
Rüben Dicksaft	202 €/t	643 €/m³	548 €/m³	527 €/m³	522 €/m³
Weizen	120 €/t	805 €/m³	671 €/m³	632 €/m³	610 €/m³
Roggen	85 €/t	738 €/m³	604 €/m³	565 €/m³	544 €/m³
Triticale	105 €/t	779 €/m³	646 €/m³	607 €/m³	587 €/m³
Mais	105 €/t	761 €/m³	626 €/m³	585 €/m³	562 €/m³
Kartoffeln	50 €/t	1.033 €/m³	928 €/m³	898 €/m³	885 €/m³

Für die **Analyse der Wirtschaftlichkeit** der Ethanolerzeugung wurden vier repräsentative Kapazitätsgrößen ausgewählt (20.000 m³, 60.000 m³, 120.000 m³, 240.000 m³ p.a.). Auf die Betrachtung einer noch kleineren Anlagenvariante wurde verzichtet, da sich schon bei der Anlage mit einer Jahreskapazität von ca. 20.000 m³ die mangelnde Wettbewerbsfähigkeit aufgrund der deutlichen Kostendegression bei zunehmender Anlagengröße zeigt. Dies kann sich anders darstellen, wenn vorhandene, größtenteils abgeschriebene Kapazitäten genutzt werden können und eine Grenzkostenbetrachtung durchgeführt wird.

Bei den zugrundegelegten Rohstoffpreisen sind die **Vollkosten** der Herstellung von Ethanol aus Melasse und Dicksaft am niedrigsten. Die

Herstellung von Ethanol aus Roggen, dem günstigsten stärkehaltigen Rohstoff, ist bei der mittleren Anlagengröße etwa 10 % teurer als die Verwendung von Dicksaft. Zurückzuführen sind die höheren Kosten bei stärkehaltigen Rohstoffen darauf, dass der apparative und energetische Aufwand für die Erstellung der Nachprodukte wesentlich aufwändiger ist als bei der Bearbeitung des Nachproduktes aus zuckerhaltigen Rohstoffen. Weizen, Triticale und Mais sind von ihrer Kostenposition her ähnlich. Die höchsten Kosten entstehen bei der Herstellung von Ethanol aus Kartoffeln: Bei einer großen Anlage liegen die Kosten mit knapp 900 €/m<sup>3</sup> um 70 % über den vergleichbaren Kosten bei Nutzung von Dicksaft.

Die Vermarktungsmöglichkeiten der **Kuppelprodukte** sind unterschiedlich. Bei Getreide fällt je nach Produktionsverfahren ein an Eiweiß reichhaltiges Trocken- oder Flüssigfutter an, für das es einen großen Markt in Deutschland und Europa gibt. Die Herstellung erfordert allerdings erhebliche Investitionskosten und einen hohen Energieaufwand bei der Trocknung. In kleineren Einheiten kann die Schlempe auch in Biogasanlagen zur Energieerzeugung eingesetzt werden. Bei der Herstellung von Ethanol aus Zuckerrüben fällt Vinasse an. Als Futtermittel ist dieser Stoff aufgrund marktlicher Restriktionen nur begrenzt absetzbar, kann aber bei durchschnittlich geringeren Erlösen auch als Düngemittel abgesetzt werden.

Die Betrachtung der Kosten zeigt die **Economies of Scale** der Ethanol-erzeugung. Neben den Kapitalkosten sind für die Kostendegression die Personalkosten im wesentlichen verantwortlich. Allerdings nimmt die Kostendegression bei zunehmender Anlagengröße ab. Die Transportkosten für die anzuliefernden Rohstoffe erhöhen sich erwartungsgemäß bei größeren Anlagen. Es ist festzustellen, dass die nur noch geringfügige Fixkostendegression zwischen der großen und der größten Anlage von den höheren Transportkosten nahezu kompensiert werden. Dies trifft in besonderem Maße auf die Transportkosten-intensiven Feldfrüchte Zuckerrüben und Kartoffeln zu.

Die **Struktur der deutschen Brennereiwirtschaft** ist geprägt durch das Branntweinmonopolgesetz. Es existieren etwa 900 Verschlussbrennereien, von denen bis auf etwa 20 alle jeweils weniger als 700 m<sup>3</sup> p.a. produzieren. Insgesamt werden in Deutschland etwa 220.000 m<sup>3</sup> Ethanol hergestellt. Davon entfallen rund 90.000 bis 100.000 m<sup>3</sup> auf Fermentations- und der Rest auf Syntheseethanol. Die Fa. Sasol ist der einzige Hersteller

von Syntheseethanol in Deutschland. Bei den Herstellern von Fermentationsethanol handelt es sich überwiegend um kleine landwirtschaftliche Brennereien, die knapp 70.000 m<sup>3</sup> Ethanol herstellen. Der überwiegende Rest wird von einer stark schrumpfenden Anzahl gewerblicher Brennereien hergestellt. Rund 1.000 Obstbrennereien produzieren etwa 5.000 m<sup>3</sup> Ethanol. Fast die Hälfte des in Deutschland produzierten Ethanols wird auf der Basis von Kartoffeln erzeugt. Die meisten Brennereien sind ohne Förderung durch die Monopolverwaltung nicht existenzfähig. Geht man davon aus, dass die von der Monopolverwaltung gezahlten Übernahmepreise für den Agraralkohol die tatsächlichen Kostenstrukturen der landwirtschaftlichen Brennereien widerspiegeln, dann dürfte der Absatz von Agraralkohol für den Bioethanolmarkt für die meisten Betriebe aus Kostengründen kaum darstellbar sein.

Anders stellen sich die Erzeugerstrukturen in Ländern dar, in denen bereits Bioethanolprogramme eingeführt sind: **Große Unternehmen dominieren die Ethanolherstellung** in den wichtigen Erzeugerländern und nutzen die Möglichkeiten der Economies of Scale. Der größte Produzent weltweit ist Archer Daniels Midland (ADM) in den USA mit einer Produktionskapazität von 3,4 Mio m<sup>3</sup>, das entspricht etwas mehr als einem Zehntel der weltweiten Ethanolerzeugung in 2001. Aufgrund von staatlich gefördertern, umfangreichen Bioethanolprogrammen sind die USA und Brasilien die führenden Erzeugerländer. Beide Länder zusammen produzieren mit 20 Mio m<sup>3</sup> zehnmal soviel Ethanol wie die EU.

Für die kommenden Jahre rechnen Analysten mit einem **starken Anstieg der Erzeugung**. In 2006 sollen 43 Mio. m<sup>3</sup> produziert werden, dies sind knapp 40 % mehr als im Jahr 2001. Ursache für diesen starken Anstieg ist die erwartete weitere Ausdehnung von Bioethanolprogrammen. Schon heute werden rund zwei Drittel der gesamten Erzeugung im Kraftstoffsektor abgesetzt und dieser Anteil steigt weiter.

Unter der Annahme, dass es in Deutschland einen Beimischungszwang nicht geben wird, ist die Bereitschaft der Mineralölindustrie zum Einsatz des Produktes Bioethanol ein **kritischer Erfolgsfaktor** für die Marktpenetration. Bislang bewertet die Mineralölwirtschaft den Einsatz von Bioethanol im Kraftstoffsektor negativ und führt neben technischen Gründen auch die hohen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten an. Die Attraktivität des Produktes Bioethanol hängt bei den gegebenen Marktbedingungen von den möglichen Deckungsbeiträgen ab, die es dem Unternehmen erbringen kann.

Die Herstellungskosten von Bioethanol sind deutlich höher als die des zu substituierenden Ottokraftstoffs. Bei einem Ölpreis von 20 US\$/Barrel ist Bioethanol etwa dreimal so teuer wie herkömmlicher Ottokraftstoff. Erst bei einem Ölpreis von etwa 60 US\$ kostet die Herstellung beider Produkte gleich viel. Die Befreiung von der Mineralölsteuer führt zur **Wettbewerbsfähigkeit von Bioethanol**. Aufgrund der Höhe der Steuer führt die Steuerbefreiung zu einem erheblichen Kostenvorteil für Bioethanol: Bei einem Rohölpreis von 20 US\$ liegt dieser Vorteil bei 28,3 Ct/l, bei einem Rohölpreis von 30 US\$ steigt dieser sogar auf 36,2 Ct/l an. Selbst bei niedrigen Rohölkosten von nur 10 US\$/Barrel ergibt sich immer noch ein deutlicher Kostenvorteil von 20,3 Ct/l. Es zeigt sich damit, dass eine Steuerbefreiung von Bioethanol bei Kosten von 50 Ct/l zu einem deutlichen Kostenvorteil im Vergleich zu Ottokraftstoff führt. Selbst bei hohen angenommenen Kosten für Bioethanol von 60 bis 70 Ct/l sind ab einem Rohölpreis von 15 US\$ erhebliche Vorteile zu sehen.

Das Potenzial und die Einführung von Bioethanol im Kraftstoffmarkt hängen damit im wesentlichen davon ab, inwieweit das Produkt durch eine steuerliche Förderung preislich attraktiv im Vergleich zum Ottokraftstoff wird.

**Kritische Produktmerkmale** sind der geringere Heizwert sowie die bei der Beimischung möglicherweise auftretenden technischen Probleme. Der **geringere Heizwert** kann sich in einem Mehrverbrauch niederschlagen und damit negative Auswirkungen auf die Kundenakzeptanz haben. Positiv ist dagegen, dass Bioethanol ein langfristig im Kraftstoffsektor einsetzbares Produkt ist, da es nicht nur bei Ottomotoren sondern auch bei der Brennstoffzelle verwendet werden kann. Ebenfalls spricht für die Beimischung von Bioethanol, dass die vorhandene flächendeckende Infrastruktur mit geringen Adaptionen verwendet werden kann und nicht der Aufbau einer zusätzlichen Vertriebskanals mit entsprechend hohen Kosten erforderlich ist. Schließlich ist das Produkt eine erneuerbare Energie und führt zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses, was von der Mineralölindustrie werblich genutzt werden kann.

**ETBE** wird hinsichtlich der Produkteigenschaften von der Mineralöl- und Automobilindustrie deutlich besser beurteilt als Bioethanol. ETBE bietet zudem der Mineralölwirtschaft die Möglichkeit, das im Raffinerieprozeß anfallende Isobuten abzusetzen. Aber auch hier gilt analog zu den obigen Ausführungen, dass das Produkt ohne eine entsprechende steuerliche Förderung seines Ethanolanteils nicht wettbewerbsfähig ist. Nach-

Tabelle 2: Vergleich von Ottokraftstoff und Bioethanol in Abhängigkeit vom Rohölpreis<sup>a</sup>

Rohölpreis	Betrachtung ohne Mineralölsteuer			Betrachtung mit Mineralölsteuer <sup>b</sup> bei Steuerbefreiung für Bioethanol		
	Nettopreis Ottokraftstoff	Nettopreis Bioethanol <sup>c</sup>	Preisnachteil Bioethanol	Ottokraftstoff mit MinÖlSt.	Bioethanol	Preisvorteil Bioethanol
US\$/Barrel	Ct/l	Ct/l	Ct/l	Ct/l	Ct/l	Ct/l
10	7,9	50	-42,1	70,3	50	20,3
15	11,9	50	-38,1	74,3	50	24,3
20	15,9	50	-34,1	78,3	50	28,3
25	19,8	50	-30,2	82,2	50	32,2
30	23,8	50	-26,2	86,2	50	36,2
35	27,7	50	-22,3	90,1	50	40,1

- Die unterschiedlichen Heizwerte von Ottokraftstoff und Bioethanol sind in der Gegenüberstellung nicht berücksichtigt.
- Eine Mineralölsteuer von 62,4 Ct/l wurde zugrundegelegt.
- Ethanolpreis von 0,45 Ct/l zuzüglich ca. 10% Misch-/Distributionskosten. Steigende Energiekosten bei der Ethanolerzeugung bei steigenden Ölpreisen sind in der Darstellung nicht berücksichtigt.

teilig bei ETBE ist der erforderliche zusätzliche Konversionsschritt, der weitere Energie verbraucht.

Bei der Beurteilung der steuerlichen Förderung von Biokraftstoffen sind die Vorgaben und Restriktionen zu berücksichtigen, die sich aus den **GATT/WTO-Verhandlungen** ergeben. Ethanol ist nach der GATT-Definition ein landwirtschaftliches Produkt und unterliegt als solches auch dem Trend zur Liberalisierung, wie in der Uruguay-Runde festgelegt. Relevant für die Beurteilung der Förderung von Biokraftstoffen sind die weitere Liberalisierung des Handels mit Entwicklungsländern sowie die Zollpolitik der Gemeinschaft in Bezug auf Ethanol aus Entwicklungsländern. Wichtigste Schlußfolgerung dabei ist, dass ein wirksamer **Schutz vor Importen** aus Drittländern wohl **nicht erreicht werden kann**.

Eine Förderung von Ethanol als Biokraftstoff steht den Zielen der **Gemeinsamen Agrarpolitik** nicht entgegen. Nach Ansicht der Kommission würde die Schaffung eines gemeinschaftsweiten Marktes für Biokraftstoffe den Beitrittsländern neue Marktchancen eröffnen. Der Anbau von Kulturen für die Herstellung von Biokraftstoffen würde die Aufnahme des Landwirtschaftssektors der neuen Mitgliedstaaten in die gemeinsame Agrarpolitik erleichtern. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) darauf ausgerichtet ist, der Entwicklung des ländlichen Wirtschaftsraums eine größere Bedeutung beizumessen. Die Produktion von Biokraftstoffen könnte dieses Ziel fördern, indem neue Einkommensquellen für die ländlichen Gebiete erschlossen würden. Damit würde auch ein Beitrag zur Sicherung der Beschäftigung in diesen Gebieten geleistet. Deshalb wäre eine steuer- oder ordnungsrechtliche Förderung von Biokraftstoffen mit den Zielen und der Organisation der Gemeinsamen Agrarpolitik vereinbar.

Bei der Betrachtung von Ethanol aus **klimapolitischer Perspektive** sind sowohl Energie- wie CO<sub>2</sub>-Bilanz aufzustellen. Für die Aufstellung der **Energiebilanz** für Ethanol müssen die im gesamten Produktzyklus anfallenden fossilen Energieeinsätze geschätzt werden. Der Einsatz fossiler Energieträger in der Rohstoffproduktion konzentriert sich auf den fossilen Energiegehalt von Düngemitteln und Pestiziden sowie auf den Energieeinsatz bei Maschinen und beim Transport der Rohstoffe. Die zweite Phase der Ethanolproduktion besteht in der Konversion der Rohstoffe zu Ethanol. Dabei gibt es zwei wichtige Einflussfaktoren, die den fossilen Brennstoffeinsatz bestimmen. Dies sind einerseits der technologische Standard und die Größe der für die Konversion genutzten Anlagen und andererseits die Art des Energieeinsatzes sowie die Effizienz der Energienutzung z. B. durch Kraft-Wärme-Kopplung oder energetische Nutzung von Abfall- oder Reststoffen.

Die vorliegenden Studien kommen zu **unterschiedlichen Ergebnissen** für diese Energieeinsätze. Während für Getreide pro ha ein im Vergleich zu Zuckerrüben geringer Energieeinsatz notwendig ist, wird dies durch den höheren Hektarertrag von Zuckerrüben wieder kompensiert. Die entscheidende Größe ist deshalb der Energieeinsatz in der landwirtschaftlichen Produktion im Verhältnis zu einem Liter Ethanol, der mit dem entsprechenden Rohstoff produziert werden kann. Sowohl für Weizen als auch für Zuckerrüben liegt der gesamte fossile Energieeinsatz bei etwa 25 MJ/l Ethanol bzw. 18 MJ/l Ethanol. Die Schwankungsbreite ist

einerseits bedingt durch unterschiedliche Annahmen über den Einsatz von Düngemitteln und zum anderen durch unterschiedliche Erwartungen über die Hektarerträge der Rohstoffe. Bei Berücksichtigung des Heizwertes von Ethanol (21,06 MJ/l) liegen diese Energieeinsätze im Grenzbereich, bei dem die Energiebilanz für Weizen negativ und für Zuckerrüben positiv wird. Allerdings berücksichtigen die vorliegenden wissenschaftlichen Studien nicht jüngere Entwicklungen bei der Optimierung von Verfahren und Technologien in Brennereien und in der Landwirtschaft sowie Gutschriften für anfallende Kuppelprodukte. Im Rahmen der Studie wurden daher Schätzungen von Energieverbräuchen vorgenommen, die den aktuellen Stand der Technologie zugrundelegen. Dabei zeigen sich geringere Energieverbräuche, die ebenfalls in der Modellsimulation berücksichtigt werden.

Die Mineralölsteuerbefreiung für Biokraftstoffe wird unter anderem mit der **Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen** begründet. Diese Argumentation basiert auf der These, dass durch die Produktion von Biokraftstoffen auf der Basis von Energiepflanzen ein signifikanter Beitrag zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen geleistet werden kann. Dies trifft bei Bioethanol zu, allerdings sind die Vermeidungskosten relativ hoch, wie die Modellsimulationen ergeben. Diesen Nachteil haben auch andere alternative Kraftstoffe, wie beispielsweise Biodiesel, die im Verkehrssektor eingesetzt werden können.

Eine **komplette gesamtwirtschaftliche Analyse** des Einsatzes von Bioethanol als klimapolitische Strategie erfordert einen Vergleich der Kosten der zur Vermeidung des Klimawandels eingesetzten wirtschaftlichen Ressourcen mit den durch diese Klimapolitik vermiedenen Schäden des Klimawandels. Solche Analysen sind erst in ersten Schritten verwirklicht und befinden sich noch auf einem hohen Abstraktionsniveau. Die Ergebnisse variieren noch beträchtlich, insbesondere weil es noch keine allgemein akzeptierten Regeln für die intertemporale Diskontierung von Kosten und Nutzen gibt.

Insgesamt zeigt Bioethanol für den Einsatz im Kraftstoffsektor derzeit noch Nachteile in ökonomischer, energetischer und ökologischer Sicht. Die **wechselseitigen Beziehungen** zwischen den ökonomischen und ökologischen Sachverhalten und Zielgrößen wurden in dieser Studie intensiv untersucht und in einem Computer-gestützten **Simulationsmodell** getestet. Daraus lassen sich vielfältige Erkenntnisse und Anregungen für die politische und betriebliche Entscheidungsfindung gewinnen. Die

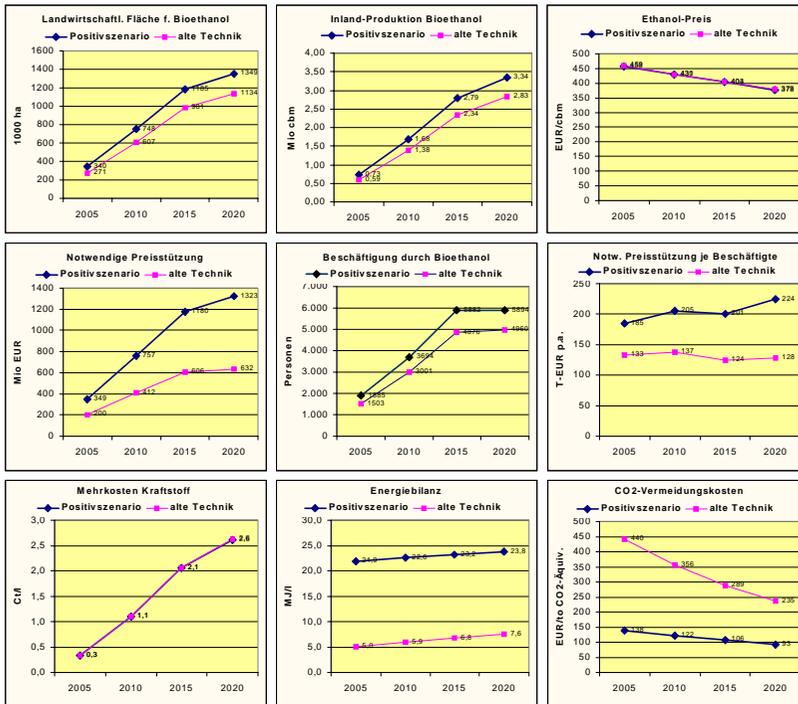


Abb. 1: Varianten im Vergleich: Herstellung von Bioethanol aus Triticale mit bestehender Technik und in einem Positivszenario

Notwendigkeit, unterschiedliche Strategien anhand ausgewählter Kriterien systematisch zu untersuchen rührt aus der Tatsache, dass ein Optimum zwischen ökologischen und ökonomischen Zielen gefunden werden muß. So verursachen einige Rohstoffe, die kostengünstig zu Ethanol verarbeitet werden können, hohe Energieaufwände und Emissionen.

In Abb. 1 wird die Herstellung von Bioethanol aus Triticale mit bestehender Technik als Status quo-Darstellung verglichen mit einem **Positivszenario** mit neuer Technik, höheren Gutschriften für Kuppelprodukte, einem besseren Heizwertverhältnis zu Ottokraftstoff und keinen Importen von Ethanol und landwirtschaftlichen Rohstoffen. Bei Verwendung alter Technik beträgt der Nettoenergiegewinn 5 MJ/l und die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten liegen entsprechend hoch bei 440 € je t. Im Positivszena-

rio dagegen steigt der Nettoenergiegewinn auf 22 MJ/1 und die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten sinken deutlich auf 138 € je t.

Für die politisch gesetzten klimapolitischen Ziele muss der Mitteleinsatz daraufhin überprüft werden, ob er effizient ist, d.h. ob eine bestimmte Maßnahme zu den erwarteten Kosten umgesetzt werden kann, oder ob sie zu teuer und damit ineffizient ist. Teure Maßnahmen mit Vermeidungskosten von mehreren Hundert € würden nur dann sinnvollerweise eingesetzt werden, wenn **weitergehende klimapolitische Ziele** formuliert worden sind. Ansonsten sind kostengünstigere Maßnahmen vorzuziehen.

Da die Bundesregierung die **Steuerbefreiung** von Ethanol bei der Beimischung zum Ottokraftstoff **beschlossen** hat, und die Mineralölindustrie aufgrund der preislichen Vorzüglichkeit von Ethanol offensichtlich eine Markteinführung vorbereitet, sollten zukünftige Bemühungen auf eine Verbesserung der Produkteigenschaften entlang der Wertschöpfungskette von Ethanol abzielen, wie in der nachfolgenden Abb. 2 dargestellt.

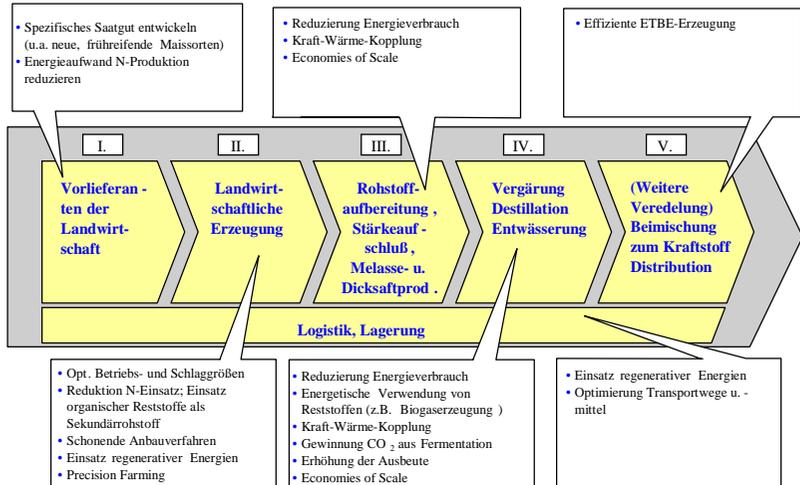


Abb. 2: Ansatzpunkte zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Bioethanol aus betriebswirtschaftlicher, energetischer und ökologischer Sicht entlang der Wertschöpfungskette

Neben der Verwendung von **Ethanol** im Kraftstoffsektor kann auch ein verstärkter Einsatz im **chemisch-technischen Sektor** erwogen werden. Im chemisch-technischen Sektor wird Ethanol überwiegend von Unternehmen der chemischen, pharmazeutischen und kosmetischen Industrie eingesetzt. Ethanol wird als Lösungsmittel, als Grundstoff für chemische Synthesen oder für sonstige Zwecke, insbesondere zur Abfüllung in reiner oder verdünnter Form (Frostschutzmittel, Desinfektionsmittel, Brennspiritus) eingesetzt. Global betrachtet ist der chemisch-technische Sektor nach dem Kraftstoffsektor der zweitwichtigste Absatzbereich für Ethanol. Rund ein Fünftel der weltweiten Ethanolerzeugung findet hier Verwendung. Der Sektor nimmt in Deutschland mit 220.000 m<sup>3</sup> p.a. rund zwei Drittel der Gesamtnachfrage nach Ethanol ein.

Das **Wachstumspotenzial** dieses Marktes ist – wie auch in anderen hochentwickelten Industrieländern – als **gering** einzuschätzen. Positive Effekte in einem Marktsegment werden meist durch negative Effekte in anderen Bereichen kompensiert. So vollzieht sich derzeit im Kosmetikbereich ein geringes Wachstum, dem eine rückläufige Nachfrage bei Farben und Lacken gegenübersteht. Von größerer Bedeutung ist daher die Frage, inwieweit Fermentationsethanol gegenüber Syntheseethanol und anderen Substitutionsprodukten wie Isopropanol komparative Wettbewerbsvorteile aufweist, die für ein Wachstum im Markt genutzt werden können.

Das fermentativ hergestellte Ethanol und das **synthetische Ethanol** stehen in Konkurrenz zueinander. Beide Stoffe sind für die meisten technischen Anwendungen gleich gut geeignet. Bestimmte Industrien sehen im Fermentationsethanol eine ökologische Vorteilhaftigkeit, die sie im Marketing nutzen können. Allerdings ist die Preissensibilität hoch und die Wertschätzung derartiger Produkte in diesem Marktsegment eher gering. Zusammenfassend ist daher festzustellen, dass zusätzliche Absatzmöglichkeiten für Fermentationsethanol aus landwirtschaftlichen Rohstoffen im chemisch-technischen Sektor sehr begrenzt sind. Bei einem hohen Ölpreis ist eine weitergehende Substitution von Syntheseethanol möglich. Wesentliche zusätzliche Verwendungsmöglichkeiten für Fermentationsethanol werden derzeit nicht gesehen.

Für **Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen** sind die Verwendungsmöglichkeiten im Kraftstoffmarkt wie im chemisch-technischen Markt als derzeit gering einzustufen. Methanol ist ein vielseitig einsetzbarer Rohstoff für die (petro-)chemische Industrie. Es wird derzeit auch als

Wasserstoffträger für Brennstoffzellen-Fahrzeuge eingesetzt. Für die Nutzung spricht zum einen, dass es in ähnlicher Weise wie Erdgas mit Wasserdampf zu Wasserstoff und Kohlendioxid umgesetzt werden kann. Zum anderen eignet sich Methanol aufgrund seiner physikalisch-chemischen Eigenschaften prinzipiell gut als Kraftstoff für den Verkehrsbereich.

Methanol wird **großtechnisch** derzeit fast ausschließlich aus **Synthesegas** hergestellt, das über die Vergasung von Kohle oder aus Erdgas und schweren Ölrückständen gewonnen wird. Zur Herstellung von Methanol kommen Katalysatoren vor allem aus Zinkoxid-Chromoxid sowie Zinkoxid-Chromoxid-Kupferoxid zum Einsatz. Methanol kann allerdings auch aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden. Neben Holz können zahlreiche andere Roh- und Reststoffe für die Methanolerzeugung verwendet werden.

Grundsätzlich kann bei der Vergasung dieser Rohstoffe von einem **energetischen Wirkungsgrad** in Bezug auf Synthesegas von etwa 60 % incl. der technisch aufwändigen Gasreinigung ausgegangen werden. Die anschließende Fischer-Tropsch-Synthese kann mit einem Wirkungsgrad von bestenfalls 75 % erfolgen. Das Verhältnis von eingesetzter Energie zu gewonnener Energie ist ungünstig. Erprobte und ausgereifte Verfahren zur Methanolherstellung aus Biomasse gibt es bislang nicht. Technische Probleme bereitet insbesondere der Teeranfall im Prozessgas, der dazu führt, dass das entstehende Gas in mehreren Stufen gereinigt und der anfallende Teer entsorgt werden muß. Offen ist auch die Frage, wie das Abwasser entsorgt werden soll bzw. wie die Entstehung verhindert werden kann.

Aussagen zur **Wirtschaftlichkeit** können noch nicht gemacht werden, da noch keine entsprechenden Erfahrungen aus laufenden Anlagen vorliegen. Die Kosten der Methanolerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen betragen derzeit ein Mehrfaches der Kosten der Erzeugung aus Erdgas. Verlässliche Aussagen dazu, wann mit wirtschaftlich arbeitenden Verfahren zu rechnen ist, können beim derzeitigen Entwicklungsstand nicht gemacht werden.

### **3 Erzeugung von Ethanol und Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen**

Ethanol aus nachwachsenden Rohstoffen kann auf Basis zucker- und stärkehaltiger Feldfrüchte oder aus zellulosehaltigen Pflanzenbestandteilen hergestellt werden. In Deutschland ist die Zuckerrübe der wichtigste Zuckerlieferant, während Kartoffeln und Winterweizen die wichtigsten Rohstoffträger für Stärke darstellen. Methanol wird in Deutschland derzeit fast ausschließlich über die Vergasung von Kohle oder aus Erdgas und Rückstandsölen hergestellt, kann aber auch aus Biomasse oder Reststoffen gewonnen werden. Im folgenden wird die Eignung der unterschiedlichen Rohstoffe für Ethanol geprüft. Weiterhin werden technischer Entwicklungsstand und wirtschaftliche Bedingungen der Methanolerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen erläutert und sich daraus möglicherweise ergebende Potenziale für die deutsche Forstwirtschaft beschrieben.

#### **3.1 In Deutschland verfügbare nachwachsende Rohstoffe für die Erzeugung von Ethanol und Methanol**

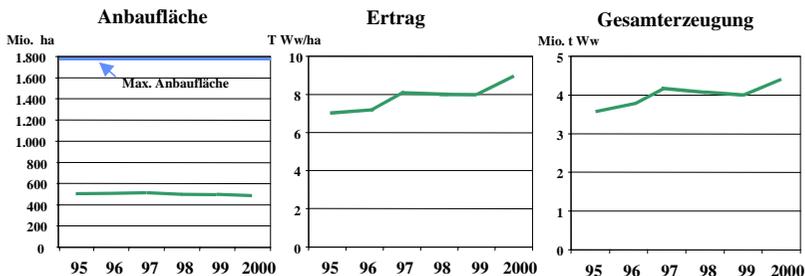
##### **3.1.1 Zuckerhaltige Rohstoffe**

Zuckerhaltige Rohstoffe spielen global betrachtet die dominierende Rolle bei der Ethanolerzeugung.<sup>5</sup> Bei der Umwandlung von Sonnenenergie in Biomasse erbringt die Zuckerrübe auf die Fläche bezogen die höchste Leistung aller Nutzpflanzen der gemäßigten Zonen. Dies ist auf ihre Fähigkeit zur intensiven Photosynthese auch bei relativ niedrigen Temperaturen zurückzuführen.

Von den insgesamt in Deutschland zur Verfügung stehenden knapp zwölf Mio. ha Ackerfläche werden zur Zeit etwa 450.000 ha für den

---

5 Rund drei Fünftel der globalen Produktion erfolgt auf der Basis von Zuckerrohr und Zuckerrüben, während die Ethanolerzeugung auf Basis von Getreide nur ein Drittel und die Syntheseethanolerzeugung weniger als ein Zehntel ausmacht. Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 1.



#### Kennzahlen zur Produktion 2000

<b>Gesamterzeugung</b>	<b>27,8 Mio. t Rüben, 4,4 Mio. t Zucker</b>
<b>Durchschnittlicher Ertrag</b>	<b>61,7 t/ha Rüben, 8,96 t/ha Zucker</b>
<b>Durchschnittlicher Preis</b>	<b>47 A-, 29 B-, 17 C-Preise in €/t</b>
<b>Ertragssteigerungspotential</b>	<b>1,5 % p.a.</b>
<b>Ethanolertrag</b>	<b>6,62 m<sup>3</sup>/ha</b>
<b>Energieverbrauch</b>	<b>19.806 MJ/ha</b>
<b>Energieertrag</b>	<b>155.570 MJ/ha</b>
<b>Emissionen</b>	<b>2.200 kg/ha CO<sub>2</sub>-Äquivalente</b>

Abb. 3: Zuckerrübenenerzeugung in Deutschland

Zuckerrübenanbau genutzt; dies entspricht einem Anteil von knapp 4 % an der gesamten Ackerfläche.<sup>6</sup> Rund ein Viertel der gesamten Anbaufläche entfällt auf Niedersachsen, gefolgt von Nordrhein-Westfalen und Bayern mit einem Anteil von jeweils rund einem Sechstel. 1,8 Mio. ha, das sind rund 15 % der gesamten Ackerfläche, gelten als für den Zuckerrübenanbau geeignet. Derzeit gehen die Anbauflächen allerdings bedingt durch die begrenzten Absatzmöglichkeiten zurück, und es wird erwartet, dass sich aufgrund steigender Zuckererträge dieser Trend in Zukunft kontinuierlich fortsetzen wird.

Der Rübenenertrag stieg von 50,7 t/ha im Wirtschaftsjahr 1996/97 um über 20 % auf 61,7 t/ha in 2000/2001.<sup>7</sup> Allerdings ist das Ertragsniveau regional unterschiedlich. Im Durchschnitt liegen die jährlichen Steigerungsraten der Zuckerrübenenerträge zwischen 1,2 % und 1,5 %; dies wurde in verschiedenen Studien bei Betrachtung größerer Zeiträume für

6 Angaben der Wirtschaftlichen Vereinigung Zucker sowie Haupterhebung zur Bodennutzung für das Jahr 2001. Vgl. o.V.: Das Sommerwetter begünstigt die Ernte, FAZ v. 3.8.2001.

7 Wirtschaftliche Vereinigung Zucker.

Deutschland nachgewiesen.<sup>8</sup> Für die Zukunft wird mit einer weiterhin linear wachsenden Flächenproduktivität gerechnet.<sup>9</sup> Der Züchtungsfortschritt spielt eine besondere Rolle für den zu erwartenden Zuckerertrag. Dabei wird das genetische Potenzial durch die Sorte vorgegeben, aber offensichtlich durch fehlende klimatische und standortbedingte Voraussetzungen in Mitteleuropa nur selten ausgenutzt. In klimatisch für den Zuckerrübenanbau besonders vorzüglichen Anbauregionen, wie z.B. Südbayern, konnten in vereinzelt Versuchen und in einzelnen Jahren mit den vorhandenen Sorten 100 t Rüben ertrag pro ha mit mehr als 17 % Zuckergehalt geerntet werden.<sup>10</sup>

Aus den im Wirtschaftsjahr 2000/2001 insgesamt erzeugten 27,8 Mio. t Zuckerrüben wurden rund 4,4 Mio. t Zucker gewonnen. Der durchschnittliche Zuckergehalt betrug 17,57 %, die durchschnittliche Ausbeute lag bei 15,58 %. Im Wirtschaftsjahr 2001/2002 wurden 24,7 Mio t Rüben und 3,7 Mio. t Zucker produziert; der durchschnittliche Zuckergehalt lag bei 17 % und die Ausbeute bei 14,97 %.<sup>11</sup> Da die Technologien zur Zuckerherstellung als ausgereift gelten, sind in der Zukunft nur geringfügig steigende Zuckerausbeuten zu erwarten.

Futter-(Gehalts-)Rüben sind in der Vergangenheit ebenfalls als Rohstoff für die Ethanolherzeugung diskutiert worden. Sie erbringen relativ hohe Flächenerträge<sup>12</sup> und besitzen im Vergleich zur Zuckerrübe den Vorteil, wegen des hohen Sitzes im Boden und der ihnen eigenen glatten Rübenform nur geringe Anteile anhaftenden Bodens mit zu führen, die zudem in der Wäsche in der Zuckerfabrik leicht zu entfernen sind. Aller-

---

8 Untersuchungen der TU München-Weihenstephan haben beispielsweise für den Zeitraum 1953 bis 1990 eine linear jährliche Steigerungsrate von 1,2 % ermittelt, wobei die witterungsabhängige Streuung der Jahresdurchschnittserträge um nicht lineare Trendlinien pendelte. Bei einer Untersuchung des bereinigten Zuckerertrages von 1988-1996 wurden jährliche lineare Zunahmen von etwa 1,5 % ermittelt. Vgl. Märländer, Bernward: Zuckerrüben. Produktionssteigerung bei Zuckerrüben als Ergebnis der Optimierung von Anbauverfahren und Sortenwahl sowie durch Züchtungsfortschritt, Stadthagen 1991, S. 115.

9 Neben Ertrag und Qualität von Zuckerrübensorten stehen nach Aussagen des Instituts für Zuckerrübenforschung in Göttingen zunehmend die Ertragssicherheit durch Ertragstoleranz oder Resistenz gegen Krankheiten im Vordergrund. Vgl. hierzu auch Ladewig, E.: Sorten im Wandel. Vom Ertrag über Qualität zur Resistenz, in: Die Zuckerrüben Zeitung, Nr. 2, Febr. 2001, S. 6.

10 Vgl. Märländer, Bernward: Zuckerrüben. Produktionssteigerung bei Zuckerrüben als Ergebnis der Optimierung von Anbauverfahren und Sortenwahl sowie durch Züchtungsfortschritt, Stadthagen 1991, S. 122.

11 Vorläufiger Kampagne-Schlussbericht der Wirtschaftlichen Vereinigung Zucker e.V., Bonn, vom 14.02.2002.

dings liegen die durchschnittlichen Zuckergehalte deutlich niedriger als bei der Zuckerrübe. Erst die Kombination von Rübenanbau und Zuckergehalt führt zum Ertrag an vergärbare Substanz, der für die Einschätzung des Rohstoffes für die Ethanolherstellung ausschlaggebend ist. Diesbezüglich ist die Gehaltsrübe im Vergleich zur Zuckerrübe nicht konkurrenzfähig für die Ethanolherstellung, und es sind auch keine Entwicklungen bekannt, die dies auf absehbare Zeit ändern könnten.

Eine weitere Zuckerpflanze, die Zuckerhirse, spielt für den Anbau in Deutschland und die Ethanolherstellung keine Rolle. Landbau- und verfahrenstechnische Probleme haben bislang den Einsatz von Zuckerhirse zur Ethanolherstellung in Deutschland und Europa verhindert.<sup>13</sup> Von einer Bewältigung der bestehenden Schwierigkeiten ist mittelfristig nicht auszugehen. Von daher wird diese Pflanze bei den weiteren Betrachtungen nicht berücksichtigt.

Der Zuckerrübenanbau in der EU ist durch eine sog. „Marktordnung“ geregelt. Im Jahre 1968 wurde die erste gemeinsame Marktordnung für Zucker eingeführt, die die bis dahin eigenständige Zuckerpolitik der EG-Mitgliedsstaaten beendete. Zu den zentralen Elementen der Zuckermarktordnung, die etwa alle fünf Jahre einer Revision unterzogen wird, gehören Produktionsquoten sowie Preis- und Abgabenregelungen. Kritisiert wird an der Zuckermarktordnung, dass sie die Entstehung von Überschüssen nicht verhindern konnte und strukturkonservierend wirkt.<sup>14</sup>

So wurden im Jahr 2001 16,9 Mio. t Zucker in der EU erzeugt, der EU-Verbrauch betrug allerdings nur 14,4 Mio. t. Damit wurden rund 17 % Zucker mehr erzeugt als verbraucht. Die überschüssige Menge wurde auf den Weltmärkten abgesetzt. Die Zuckerwirtschaft geht davon aus, dass

---

12 Bei der Versuchsanlage Ahausen/Eversen wurden Aufwuchsleistungen je nach Zuchtichtung zwischen 49,1 t/ha und 77 t/ha erreicht. Die Zuckergehalte der einzelnen Sorten bzw. Stämme streuten zwischen 10,5 und 14,7 %.

13 Zuckerhirse ist tropischer Herkunft und gehört zu den Süßgräsern. Züchterisch ist die Zuckerhirse bislang wenig bearbeitet. Die Erträge schwanken in Abhängigkeit von der Witterung stark; ein warmes Frühjahr ist wichtig für den Ertrag. Der Saft der Pflanze muß unmittelbar nach der Ernte verarbeitet werden. Allerdings ist die Flächenproduktivität die Zuckerhirse bei Lösung der landbau- und verfahrenstechnischen Probleme höher als die der Zuckerrübe.

14 Vgl. hierzu Vierling, Georg: Die regionale Wettbewerbsfähigkeit der Zuckerrübenproduktion in der Europäischen Union. Mögliche Effekte eines flexibilisierten Quotenmarkts auf das Rübenangebot, in: *Agarwirtschaft, Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Marktforschung und Agrarpolitik*, Sonderheft 155, 1997. Siehe hierzu auch die Ausführungen im Bericht zu den ordnungspolitischen Rahmenbedingungen.

der derzeitige pro-Kopf-Verbrauch von etwa 35 kg in Deutschland stabil ist und von einer Zunahme nicht ausgegangen werden kann.

Eine weitere Liberalisierung des Welthandels wird auf die Zuckermarktordnung Auswirkungen haben. Die Vermarktung des EU-Zuckers auf den Weltmärkten wird eingeschränkt und die Importbeschränkungen für Zucker werden voraussichtlich reduziert. Damit würde ein Zuckerrübenanbau für die traditionellen Verwendungen im derzeitigen Umfang und zu derzeitigen Preisen in der EU und in Deutschland nicht mehr möglich sein. Die Verwendung von Zuckerrüben für die Bioethanolerzeugung stellt für die Rübenbaubetriebe daher eine wichtige Zukunftsoption dar. Unabhängig davon wird sich die Weiterentwicklung der Bezahlungssysteme stärker an den Verarbeitungskosten der Rüben und den Erlösen auf den Zuckermärkten orientieren müssen.<sup>15</sup>

Die Wirtschaftlichkeit des Zuckerrübenanbaus und der Zuckerrübenverarbeitung kann durch Fortschritte in Züchtung und Anpassung der Produktionstechnik zu weiter steigenden Zuckererträgen und verbesserter Zuckergewinnbarkeit in den Fabriken führen. Hinzu kommt, dass durch optimierte Betriebsgrößen der Rübenbaubetriebe eine flächenabhängige Kostendegression erreicht werden kann. Im allgemeinen belasten kleine Rübenanbauflächen bzw. kleine Schlaggrößen die Rübenproduktion mit höheren Kosten, da der Arbeitseinsatz mit sinkender Anbaufläche überproportional steigt. Vor allem bei der Rübenernte treten Skaleneffekte im Bereich der Maschinenkosten auf. Im alten Bundesgebiet liegen die mittleren Anbauflächen bei ca. sieben ha, in den neuen Bundesländern sind die durchschnittlichen Anbauflächen um den Faktor vier bis fünf größer.<sup>16</sup>

Ethanol auf Zuckerrübenbasis wird überwiegend direkt aus Zuckerrüben oder aus Melasse gewonnen. Von den etwa 960.000 t Melasse, die jährlich in Deutschland anfallen, wird nur ein kleiner Teil von etwa 25.000 t der Ethanolerzeugung zugeführt; der Rest wird im wesentlichen von Futtermittel- und Hefefabriken verarbeitet. Aufgrund der Nachfrage für andere Verwendungen dürfte in Zukunft maximal ein Drittel der

---

15 Vgl. Köhler, Reinhold; Nolte, Berthold: Wertbestimmende Parameter der Zuckerrübe, in: Fortschritte im Zuckerrübenanbau, Ochsenfurt, 2001, S. 21.

16 In Frankreich und Großbritannien liegen die mittleren Rübenanbauflächen je Betrieb bei deutlich über 10 ha. Vgl. Vierling, Georg: Die regionale Wettbewerbsfähigkeit der Zuckerrübenproduktion in der Europäischen Union. Mögliche Effekte eines flexibilisierten Quotenmarkts auf das Rübenangebot, in: Agarpolitik, Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Marktforschung und Agrarpolitik, Sonderheft 155, 1997, S. 22.

anfallenden Melasse aus der traditionellen Zuckererzeugung für die Ethanolerzeugung zur Verfügung stehen.

Während Melasse ein Kuppelprodukt der Zuckerherstellung ist, wird bei der Verwendung von Dicksaft der gesamte Zuckerrübensaft zur Ethanolherstellung eingesetzt. Dies erfolgt im Regelfall in einer Annexanlage zur Zuckerfabrik. Dicksaft entsteht als Zwischenprodukt in der Prozesskette zur Zuckergewinnung und weist normalerweise einen Trockensubstanzanteil von 67 % und einen Zuckeranteil von 63 % auf. Dicksaft ist lagerfähig und steht ganzjährig für die Zucker- oder Ethanolproduktion zur Verfügung. Zur Ethanolerzeugung kann als Vorprodukt auch Dünnsaft mit einem Zuckergehalt von 17 % verwendet werden.

Bei Zuckerrüben verfügt die deutsche Landwirtschaft über erhebliche Anbauerfahrung und erzielt hohe Erträge bei gleichzeitig hoher Ertragsicherheit. Zuckerrüben stellen daher unter den in Deutschland gegebenen meteorologischen und anbautechnischen Bedingungen eine relevante Option für die Produktion von Bioethanol dar. Zudem liegt ausreichende Erfahrung mit der großtechnischen Erzeugung von Ethanol aus Melasse wie Dicksaft vor. Schließlich bietet Bioethanol den deutschen Rübenanbaubetrieben ein alternatives Absatzpotenzial, das insbesondere bei einer weiteren Rückführung der Zuckermarktordnung genutzt werden könnte.

### **3.1.2 Stärkehaltige Rohstoffe**

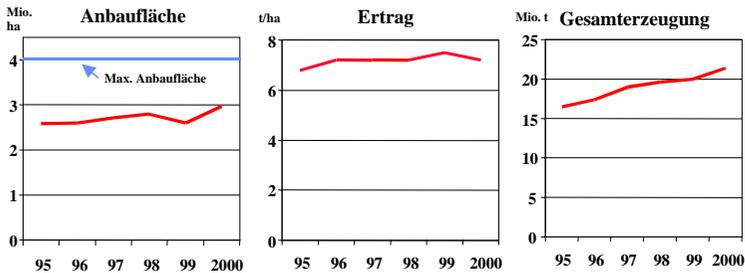
Zu den Rohstoffen, deren Stärkegehalt für die Ethanolerzeugung technisch nutzbar gemacht werden kann und die in Deutschland anbaubar sind, zählen die verschiedenen Getreidearten, Kartoffeln, Topinambur und Zichorien.

In Deutschland nimmt Getreide mit einer Anbaufläche von rund sieben Mio. ha einen Anteil von rund drei Fünftel an der gesamten Ackerfläche ein.<sup>17</sup> Weizen und Gerste stellen dabei die wichtigsten Arten dar: Im Jahr 2000 wurden knapp drei Mio. ha Weizen und 2,2 Mio. ha Gerste angebaut. Auf Roggen entfallen noch 850.000 ha und auf Triticale 500.000 ha.<sup>18</sup> Die Erträge lagen dabei bei Weizen mit durchschnittlich 7,3 t/ha am höchsten, gefolgt von Gerste mit etwa 6 t/ha, Triticale 5,6 t/ha und Roggen mit 4,9 t/ha.

---

<sup>17</sup> Vgl. o.V.: Das Sommerwetter begünstigt die Ernte, FAZ v. 3.8.2001.

<sup>18</sup> Triticale ist eine durch Kreuzung von Weizen und Roggen geschaffene Getreideart.



**Kennzahlen zur Produktion 2000**

<b>Gesamterzeugung</b>	21,4 Mio. t	<b>Ethanolertrag</b>	2,76 m <sup>3</sup> /ha
<b>Durchschnittlicher Ertrag</b>	7,2 t/ha	<b>Energieverbrauch</b>	25.142 MJ/ha
<b>Durchschnittlicher Preis</b>	118 €/t	<b>Energieertrag</b>	64.860 MJ/ha
<b>Ertragssteigerungspotential</b>	2,0 % p.a.	<b>Emissionen</b>	1.595 kg/ha CO <sub>2</sub> -Äquivalente

Abb. 4: Weizenerzeugung in Deutschland

Weizen und Gerste werden in Deutschland und zahlreichen anderen europäischen Ländern als Winter- und Sommergetreide angebaut. Hafer wird fast nur als Sommerhafer angebaut und spielt hauptsächlich als Futtergetreide eine Rolle, daneben wird er aber auch zu Nahrungsmitteln verarbeitet. Roggen wird vorwiegend in den Nachfolgestaaten der UdSSR, Polen, Skandinavien und Deutschland angebaut. In diesen Ländern spielt der Roggen als Brotgetreide eine gewisse Rolle. In anderen Ländern wird Roggen nicht oder nur marginal angebaut. Die in verschiedenen Arten vorkommende Hirse ist vor allem Futtergetreide, daneben wird sie zur Herstellung von Stärke und in geringem Umfang zur Herstellung von Nahrungsmitteln verwendet. Sie spielt vom Anbauumfang her keine große Rolle.

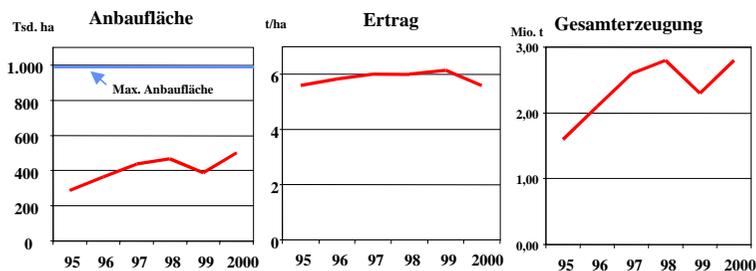
In den zurückliegenden Jahrzehnten konnten die Getreideerträge in Deutschland um durchschnittlich 1-2 % p.a. gesteigert werden. Für die Zukunft nehmen Saatzüchter und landwirtschaftliche Verwertungsgesellschaften ähnliche Steigerungsraten an, da das genetische Potenzial der angebauten Sorten von 15 bis 20 t pro ha noch nicht ausgeschöpft ist. Auf guten Böden<sup>19</sup> werden heute bis zu zwölf t pro ha erreicht. Die Diskrepanz zwischen Ertrag und Potenzial ist wesentlich auf Parameter wie

<sup>19</sup> Z.B. bei Hildesheim oder Magdeburg.

Wetter und Bodenbedingungen, „punktgenaue“ Aussaat- und Erntetermine sowie Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen zurückzuführen.

Das Korngut für die Bioethanolerzeugung entstammt bislang dem herkömmlichen Getreideanbau, der auf die Belange der Mülerei, der Bäckerei und der Fütterung zugeschnitten ist. Insofern ist über agronomische, ausbeuterelevante, energetische und ökonomische sowie umweltrelevante Effekte einer von vorneherein auf die Bioethanolerzeugung ausgerichteten Korngutproduktion wenig bekannt.<sup>20</sup>

Der Getreideanbau zur Ethanolerzeugung zielt auf einen möglichst hohen Stärkegehalt ab. Dieser kann durch einen hohen Kornertrag sowie durch einen hohen Stärkegehalt im Korn erreicht werden. Wichtig dafür ist eine gute Kornausbildung, da der Eiweißgehalt des Getreidekorns im Laufe der Kornfüllungsphase ständig abnimmt und Stärke eingelagert wird.<sup>21</sup>



#### Kennzahlen zur Produktion 2000

Gesamterzeugung	4,1 Mio. t	Ethanolertrag	2,23 m <sup>3</sup> /ha
Durchschnittlicher Ertrag	5,6 t/ha	Energieverbrauch	15.554 MJ/ha
Durchschnittlicher Preis	100 €/t	Energieertrag	52.405 MJ/ha
Ertragssteigerungspotential	1,0 % p.a.	Emissionen	1.595 kg/ha CO <sub>2</sub> -Äquivalente

Abb. 5: Triticaleerzeugung in Deutschland

<sup>20</sup> Vgl. Rosenberger, Alexander: Optimierung und Bewertung der Produktion von Getreidekorngut als Rohstoff für die Bioethanolerzeugung, Hohenheim 2001, S. 7.

<sup>21</sup> Vgl. Kaltschmitt, M., Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse, Berlin u.a. 2001, S. 89. Vgl. auch Pieper, H.-J. Biotechnologische Eigenschaften von Triticale für die Stärkehydrolyse und deren Bedeutung für die Ethanolproduktion, in: Vortr. Pflanzenzüchtung, 34, (1996), S. 68.

Verschiedene Getreidearten sind unterschiedlich gut für die Ethanol-erzeugung geeignet.<sup>22</sup> Entscheidend für den Kornertrag sind Anbauintensität und Art bzw. Sorte. Die geforderten hohen Stärkegehalte bei guter Kornausbildung werden besonders von Winterweizen, Wintergerste und Triticale erfüllt. Der Stärkegehalt von Weizen ist mit 67,5 % am höchsten, gefolgt von Triticale mit 66,5 % und Gerste mit 66,1 %. Roggen verfügt über einen Stärkeanteil von 64,6 % und hat aufgrund seiner Kornform, der geringeren Korngröße sowie des höheren Gehalts an nicht vergärbaren Pentosen eine geringere Ethanolausbeute.<sup>23</sup> Eine hohe Ethanolausbeute erfordert zudem niedrige Fallzahlen und geringe Kornfeuchtigkeit.

Da Stärke von Hefen nicht zu Ethanol vergoren werden kann, müssen in den Produktionsprozess Konversionsschritte eingeschaltet werden, die eine Umwandlung der Stärke in vergärbaren Zucker sicherstellen.<sup>24</sup> Die biochemische Konversion umfaßt den Stärkeaufschluß mit Verflüssigung und Verzuckerung, der anschließenden Vergärung der verzuckerten Maische und die Destillation.

In manchen Getreidesorten ist das potenziell vorhandene korneigene Enzymsystem amylytisch so wirksam, dass unter günstigen Umständen die korneigene Stärke weitgehend in vergärbare Zucker konvertiert werden kann. Zu den Getreidearten, die ein derartiges wirkungsvolles auto-amylytisches Enzymsystem aufweisen, gehören u.a. Roggen und Weizen.<sup>25</sup> Auch Triticale sind aufgrund ihrer hohen Eigenenzymaktivität für die Ethanolproduktion interessant.<sup>26</sup>

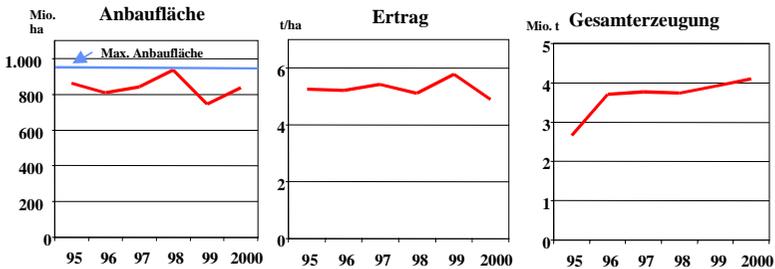
---

22 Vgl. hierzu Aufhammer, W.; Pieper, H. J.; Stützel, H.; Schäfer, V.: Eignung von Korngut verschiedener Getreidearten zur Bioethanolproduktion in Abhängigkeit von der Sorte und den Aufwuchsbedingungen, in: Die Bodenkultur, Journal für landwirtschaftliche Forschung, 44. Band, Heft 2, (Mai 1993), S. 183-194. Vgl. auch Rosenberger, Alexander: Optimierung und Bewertung der Produktion von Getreidekorngut als Rohstoff für die Bioethanolerzeugung, Hohenheim 2001, S. 99.

23 Vgl. Kaltschmitt, M., Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse, Berlin u.a. 2001, S. 89.

24 Dieser Vorgang erfolgt in erster Linie durch Zusatz amylytisch hochaktiver Fremdenzyme in Form von Malzen oder vorzugsweise mikrobiellen Enzympräparaten aus bestimmten Mikroorganismen. Vgl. Pieper, H.-J. Biotechnologische Eigenschaften von Triticale für die Stärkehydrolyse und deren Bedeutung für die Ethanolproduktion, in: Vortr. Pflanzenzüchtung, 34, (1996), S. 67.

25 Die autoamylytischen Eigenschaften von Roggen und Weizen bei der Ethanolerzeugung werden im Kaltmaisverfahren genutzt.



**Kennzahlen zur Produktion 2000**

Gesamterzeugung	4,1 Mio. t	Ethanolertrag	2,03 m <sup>3</sup> /ha
Durchschnittlicher Ertrag	4,9 t/ha	Energieverbrauch	15.554 MJ/ha
Durchschnittlicher Preis	95 €/t	Energieertrag	47.705 MJ/ha
Ertragssteigerungspotential	1,0 % p.a.	Emissionen	1.595 kg/ha CO <sub>2</sub> -Äquivalente

Abb. 6: Roggenerzeugung in Deutschland

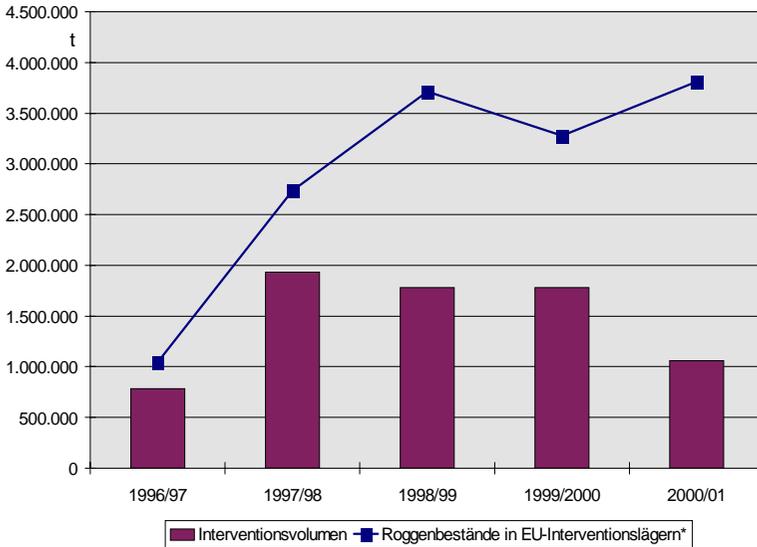
Der deutsche und europäische Getreidemarkt ist mit einem "reichlichen Angebot aus eigener Ernte gut versorgt".<sup>27</sup> Die Preise gerieten im Frühjahr 2001 sogar unter Druck, weil das EU-Exportgeschäft und die Binnennachfrage stark abflauten. Bei Drittlandsexporten von Weizen und Gerste bremsen auf Null gesetzte Ausfuhrerstattungen die Konkurrenzfähigkeit der EU-Ware am Weltmarkt. Die Intervention mußte daher zum Marktausgleich beitragen. Trotz hoher Exporte aus der Intervention schloß das Wirtschaftsjahr 2000/01 EU-weit mit Beständen von 6,9 Mio t Getreide. In Deutschland lagerten im Jahr 2001 allein 3,8 Mio. t Roggen und rund 800.000 t Gerste.<sup>28</sup>

Die Interventionen im Roggenmarkt sind aufgrund des großen Kontraktvolumens ein herausragendes markt- und finanzpolitisches Thema. Roggen in der Größenordnung von bis zu einer Jahresernte wird in Interventionslagern für durchschnittlich zwei Jahre eingelagert, bevor es auf dem Weltmarkt mit erheblichen Verlusten veräußert wird.<sup>29</sup> Eine Veränderung des Interventionensystems ist aufgrund der wachsenden Interven-

26 Für die stärkehydrolisierenden Fremdenzyme werden rohstoff- und verfahrensabhängige Kosten von 0,05 bis 0,10 €/l geschätzt, das sind etwa 40-70 % der Gesamtkosten des Maischprozesses. Vgl. Rosenberger, A.: Optimierung und Bewertung der Produktion von Getreidekorngut als Rohstoff für die Bioethanolherzeugung, Hohenheim 2001, S. 4.

27 Quelle: ZMP.

28 Quelle: ZMP.



Quelle: BMVEL

Abb. 7: Roggen Interventionen und Lagerbestände der EU

tionsbestände und der kostspieligen Drittlandsexporte in der Diskussion. Die Vorschläge der EU-Kommission im Rahmen des Mid-Term-Reviews vom 10.07.2002 sehen eine Abschaffung der Interventionsmöglichkeiten für Roggen vor. Damit wird sich der Roggenanbau in Deutschland stark verringern. Problematisch ist, dass auf typischen Roggenstandorten nur bedingt andere Getreidearten angebaut werden können. Triticale gehören zu diesen Pflanzen, allerdings wird geschätzt, dass nur etwa 50 % der Roggenanbaufläche für diese Getreideart wirtschaftlich nutzbar sind.

Roggen weist einen relativ hohen Proteingehalt auf, der einerseits negativ auf die Ethanolherstellung, andererseits aber positiv auf das

29 Die Lagerkosten schwanken von 1,00 € bis 2,50 € pro t pro Monat. Damit entstehen durchschnittliche Kosten von 36,00 € pro t Roggen allein für die Einlagerung. Für Logistik- und Nebenkosten können weitere 14,00 € pro t angesetzt werden, so dass sich bei einem Ankaufspreis von 100,00 € pro t die Gesamtkosten auf 140,00 € belaufen. Bei einem angenommenen Verkaufspreis von 70,00 € beträgt der Verlust pro t Roggen 70,00 €. Bei 3,8 Mio. t ergibt sich somit eine Gesamtbelastung für die EU in Höhe von 266 Mio. €.

Distillers' Dried Grains with Solubles (DDGS)<sup>30</sup> wirkt. Jedoch liegen noch keine Erfahrungen mit Roggen-DDGS vor und es ist folglich am Markt als Futtermittel noch nicht etabliert. Die Aussichten für eine mögliche Markteinführung werden positiv eingeschätzt.

Bei der Erzeugung von Ethanol aus Roggen entstehen etwas höhere Konversionskosten als bei Weizen oder Triticale. Diese höheren Kosten resultieren aus der Anwendung viskositätssenkender Enzyme, um der Verschleimung im Konversionsprozess zu begegnen und dem höheren Dampfbedarf bei der DDGS-Trocknung. Eine Schlemperückführung ist nur nach Maßgabe der Einmaischkonzentration möglich und schwankt damit in Abhängigkeit von der Viskosität. Der Rohstoff muß ggfs. im Hinblick auf sein Viskositätsverhalten vor der Verwendung getestet werden.

Bislang spielt die Ethanolherstellung auf Maisbasis in Deutschland keine Rolle. Allerdings werden in den USA und im europäischen Ausland Ethanolanlagen auf Maisbasis betrieben bzw. sind in Planung oder Bau.<sup>31</sup> Als Rohstoff für die Ethanolerzeugung kommen grundsätzlich entweder Körnermais oder Corn-Cob-Mix in Betracht.

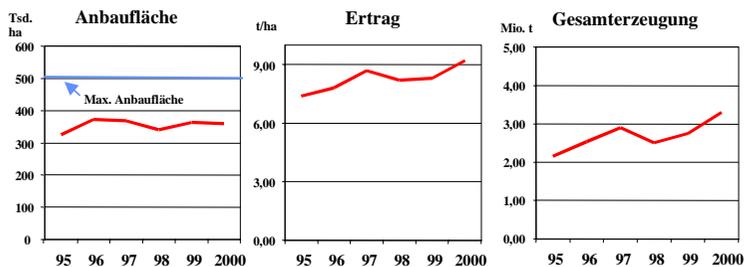
In Deutschland werden rund 360.000 ha Mais angebaut, die Gesamterzeugung betrug 2000 3,3 Mio. t. Aufgrund der klimatischen Bedingungen ist die Anbaufläche in Deutschland begrenzt. Dies zeigt sich auch darin, dass rund 40 bis 45 % der jährlichen Körnermaisanbaufläche in Baden-Württemberg und Bayern liegen. Allerdings führen züchterische Fortschritte zu zunehmend guten Maiserträgen auch in klimatisch weniger begünstigten Regionen. Dennoch kann der inländische Bedarf nicht aus eigener Erzeugung gedeckt werden, so dass Maisimporte erforderlich sind. Zwischen den Mais-Notierungen in der EU und am Weltmarkt bestehen so große Differenzen, dass zum Schutz des EU-Marktes Importzölle als unentbehrlich gelten. Einfuhren aus Südosteuropa nehmen aufgrund ermäßigter Zollsätze und vergrößerter Importkontingente an Bedeutung zu.

Für die Ethanolproduktion aus Mais werden ein Wassergehalt der Körner von max. 15 % (bezogen auf Frischmasse), ein Stärkegehalt von

---

30 Die beiden wesentlichen Bestandteile von DDGS sind Fasern aus der Maische und der Fermentation und lösliche Bestandteile aus dem gesamten Verarbeitungsprozess. Diese werden gemischt, getrocknet und als Futtermittel verkauft.

31 In Ungarn wird Ethanol aus Mais hergestellt. In Lacq (Pyrenäen) wird eine Destillationsanlage für Mais gebaut und in Südfrankreich laufen Versuche mit der Erzeugung von Ethanol aus Mais.



**Kennzahlen zur Produktion 2000**

<b>Gesamterzeugung</b>	3,3 Mio. t	<b>Ethanolertrag</b>	3,52 m <sup>3</sup> /ha
<b>Durchschnittlicher Ertrag</b>	9,2 t/ha	<b>Energieverbrauch</b>	21.184 MJ/ha
<b>Durchschnittlicher Preis</b>	123 €/t	<b>Energieertrag</b>	82.720 MJ/ha
<b>Ertragssteigerungspotential</b>	1,0 % p.a.	<b>Emissionen</b>	1.595 kg/ha CO <sub>2</sub> -Äquivalente

Abb. 8: Körnermaiserzeugung in Deutschland

mindestens 62 bis 65 % und möglichst geringe Rohproteingehalte von 9 bis 10,5 % gefordert.<sup>32</sup> Problematisch ist der hohe Energieaufwand bei der Trocknung von Körnermais, da unter mitteleuropäischen Klimabedingungen die Ernte erst im Oktober oder November erfolgen kann. Dieser Nachteil entfällt bei der Verwendung von Corn-Cob-Mix, da die geschroteten und silierten Maiskolben unmittelbar und ohne aufwändige Trocknung in die Maische gegeben werden können.

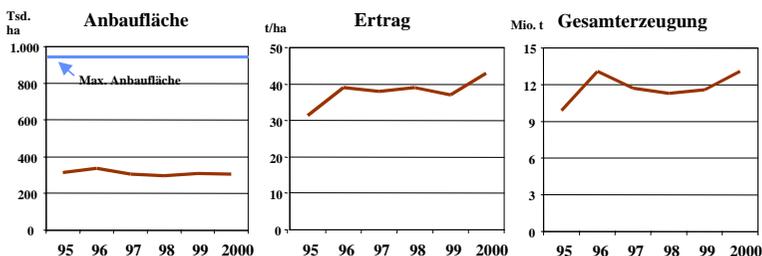
Traditionell eine große Bedeutung für die Ethanolherzeugung in Deutschland hat die Kartoffel. Rund 50 % des im Branntweinmonopol erzeugten Ethanols kommen aus kleinen landwirtschaftlichen Brennereien, die auf Kartoffelbasis arbeiten.<sup>33</sup>

Der Kartoffelanbau wird in Deutschland auf einer Fläche von rund 300.000 ha betrieben. In den 50er und 60er Jahren wurden knapp eine Mio. ha Kartoffeln angebaut. In dieser Größenordnung liegt auch die maximale Anbaufläche.<sup>34</sup> Die Ansprüche an den Boden sind recht gering

32 Vgl. Kaltschmitt, M., Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse, Berlin u.a. 2001, S. 91.

33 Im Geschäftsjahr 2000/2001 hat die BfB 40.000 m<sup>3</sup> Ethanol aus Kartoffelbrennereien übernommen. Insgesamt gingen der BfB rund 75.000 m<sup>3</sup> aus den verschiedenen Eigenbrennereien zu. Vgl. BfB: Geschäftsbericht für das 51. Geschäftsjahr, 1. Oktober 2000 bis 30. September 2001.

34 Pflanzenbaulich sinnvoll ist eine Fruchtfolge von vier Jahren.



**Kennzahlen zur Produktion 2000**

<b>Gesamterzeugung</b>	<b>13,1 Mio. t</b>	<b>Ethanolertrag</b>	<b>3,55 m<sup>3</sup>/ha</b>
<b>Durchschnittlicher Ertrag</b>	<b>43 t/ha</b>	<b>Energieverbrauch</b>	<b>34.403 MJ/ha</b>
<b>Durchschnittlicher Preis</b>	<b>63 €/t</b>	<b>Energieertrag</b>	<b>83.425 MJ/ha</b>
<b>Ertragssteigerungspotential</b>	<b>1,3 % p.a.</b>	<b>Emissionen</b>	<b>2.200 kg/ha CO<sub>2</sub>-Äquivalente</b>

Abb. 9: Kartoffelerzeugung in Deutschland

und mit Erträgen von rund 40 t je ha wird eine hohe Flächenproduktivität erreicht. Allerdings schwanken die Erträge stark. In der Vergangenheit wurden durchschnittliche jährliche Ertragssteigerungen von 1,3 % erreicht, die auch für die Zukunft fortgeschrieben werden. Der Stärkegehalt der Kartoffel schwankt zwischen 15 und 21%.

Der Kartoffelanbau ist weitgehend nicht reguliert, und die Preisbildung erfolgt auf Märkten durch das Zusammentreffen von Angebot und Nachfrage.<sup>35</sup> Im Jahr 2000 wurden in Deutschland knapp 12 Mio. t Kartoffeln nachgefragt, die auf ein geringfügig höheres Angebot stießen. Der durchschnittliche Preis lag bei 63 € pro t, wobei die Bandbreite bei den unterschiedlichen Sorten hoch ist.

Kartoffeln sind für die Ethanolherzeugung ein problematischer Rohstoff. Nachteilig sind vor allem die hohen Rohstoff-, Lager- und Verarbeitungskosten, die eingeschränkte Verwendbarkeit der Schlempe sowie der hohe Abwasseranfall.

Im Gegensatz zur Kartoffel erlangte Topinambur in Deutschland bisher niemals eine große Bedeutung in der landwirtschaftlichen Nut-

<sup>35</sup> Eine Ausnahme stellt die Stärkekartoffelproduktion dar. Hier gibt es ein System von Mindestpreisen und Quoten. Vgl. Verordnung (EG) Nr. 1253/1999 des Rates vom 17. Mai 1999 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1766/92 über die gemeinsame Marktordnung für Getreide und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2731/75 über die Standardqualitäten für Weichweizen, Roggen, Gerste, Mais und Hartweizen, Abl L 160/18 v. 26.6.1999.

zung.<sup>36</sup> Das zur Familie der Korbblütler gehörende Topinambur<sup>37</sup> produziert Sprossknollen, die zur Ethanolerzeugung eingesetzt werden können.<sup>38</sup> Die Inhaltsstoffe der Topinamburknollen sind denen der Kartoffel sehr ähnlich, jedoch wird zusätzlich das Kohlenhydrat Inulin<sup>39</sup> in großen Mengen gebildet. Die Pflanze stellt geringe Ansprüche an Boden wie Bodenbearbeitung, allerdings hält vor allem der Durchwuchs in der Folekultur die Landwirte vom Anbau dieser Pflanze ab.<sup>40</sup>

Bislang ist Topinambur vorrangig für Kleinbrenner interessant. Nach dem Branntweinmonopol-Gesetz zählt Topinambur zu den Obststoffen und ist gesetzlich zugelassener Rohstoff für die Obstbrennerei.<sup>41</sup> Über 90 % der derzeit in Baden angebauten Topinamburbestände werden in Obstbrennereien verwertet. Dennoch ist der Anteil an den gesamten in Baden-Württemberg zu Ethanol verarbeiteten Obststoffen mit etwa 0,3 % sehr gering.<sup>42</sup>

In Europa existieren keine großen Ethanolanlagen, in denen Topinambur verarbeitet wird. Die Lagerung, Reinigung und Verarbeitung ist wie bei Kartoffeln relativ aufwändig. Problematisch sind zudem die Rückstände, da aus diesen kein hochwertiges Futterprodukt hergestellt werden kann. Zudem kann die Ethanolerzeugung aus Topinambur nur saisonal erfolgen. Positiv sind dagegen die relativ hohen Ethanolerträge<sup>43</sup> sowie der nutzbare enorme oberirdische Biomasseaufwuchs.

---

36 Bundesweit wird der Topinamburanbau derzeit auf weniger als 1.000 ha geschätzt. Vgl. Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim: Anbau und Verwertung von Topinambur, Sonderheft 1/2002, S. 19.

37 Im anglophonen Sprachraum ist die Topinambur-Knolle unter der Bezeichnung Jerusalemartischoke bekannt.

38 Im badischen Raum wird Topinambur traditionell zu Trinkbranntwein veredelt und als regionale Spezialität vermarktet.

39 Inulin ist ein hauptsächlich aus Fructosemolekülen aufgebautes Polysaccharid mit einem Anteil von ca. 6% Glucose.

40 Die Pflanze gedeiht prinzipiell sowohl auf leichten Sandböden als auch auf schweren Tonböden. Topinambur reagiert äußerst empfindlich auf Wassermangel, daher sind ausreichende und gut verteilte Niederschläge sehr wichtig für das Anbauggebiet. Vgl. Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim: Anbau und Verwertung von Topinambur, Sonderheft 1/2002, S. 54.

41 § 27 BranntwMonG.

42 Vgl. Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim: Anbau und Verwertung von Topinambur, Sonderheft 1/2002, S. 118.

Eine weitere Kulturart, die ebenso wie Topinambur das Kohlenhydrat Inulin speichert, ist die Wurzelzichorie. Die Wurzelzichorie wird seit Jahrzehnten zur Erzeugung von Kaffeersatzstoffen genutzt, der Anbauumfang beträgt allerdings nur wenige hundert Hektar.<sup>44</sup> Für den Zichorienanbau ist der Faktor Klima weniger ausschlaggebend als die Bodengüte. Humoser, tiefgründiger sandiger Lehm ist besonders geeignet, bei nicht zu trockenem Klima auch lehmiger Sand. Saure Bodenreaktionen und übermäßige Feuchtigkeit werden nicht vertragen. In der Jugendentwicklung ist das Wärmebedürfnis hoch. Das gravierendste Problem stellt die Unkrautbekämpfung dar. Das angebotene Saatgut ist durch eine schlechte Keimfähigkeit charakterisiert. Die Zichorie verträgt Trockenheit besser als die Zuckerrübe, deren Stelle sie in der Fruchtfolge übernehmen könnte.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die Zichorie aus pflanzenbaulicher Sicht nicht unproblematisch, grundsätzlich aber zur Erzeugung von Inulin bzw. Ethanol geeignet ist. Allerdings liegt die Ertragsleistung unter der von Zuckerrüben. Diese Leistung könnte durch intensive züchterische Bearbeitung verbessert werden.

Für eine industrielle Bioethanolerzeugung sind Kornmassen gegenüber kohlenhydrathaltigen Sproß- Rüben- und Knollenmassen im Vorteil, weil sie aufgrund hoher Energiedichte und niedriger Wassergehalte eine relativ unaufwendige Lagerung erlauben und eine höhere Transportwürdigkeit besitzen. Zusammen gewährleistet dies auch die ganzjährige Auslastung einer Konversionseinrichtung.<sup>45</sup>

### **3.1.3 Lignozellulosehaltige Rohstoffe**

Bei der Verarbeitung von lignozellulosehaltigen Rohstoffe für die Ethanolerzeugung besteht ein wesentlicher Anteil der nutzbaren Biomasse aus Zellulose, Lignin, Pektin und Hemizellulose. Zu den für die Energiegewinnung favorisierten lignozellulosehaltigen Pflanzen zählen etwa

---

43 Die Landesanstalt für Pflanzenbau in Forchheim hat die theoretische Ethanolausbeute ermittelt und kommt zu dem Ergebnis, dass bis 5,025 m<sup>3</sup> Ethanol pro ha Topinambur erzielt werden können

44 In Belgien werden aktuell ca. 10.000 ha Zichorien für die Inulinproduktion angebaut. Für Inulin gibt es in der EU Quoten im Rahmen der Zuckermarkordnung.

45 Vgl. Rosenberger, Alexander: Optimierung und Bewertung der Produktion von Getreidekorngut als Rohstoff für die Bioethanolerzeugung, Hohenheim 2001, S. 3.

schnellwachsende Baumarten (z.B. Pappel, Weide), Miscanthus<sup>46</sup>, Rutenhirse, Rohrglanzgras und Futtergräser.<sup>47</sup>

Die Herstellung von Ethanol aus lignozellulosehaltigen Rohstoffen ist weltweit von steigendem Interesse. Mittel bis langfristig sind zellulosehaltige Rohstoffe besonders vielversprechend, da sie zum einen in sehr großer Menge und zum anderen im Vergleich zu bekannten stärke- bzw. zuckerhaltigen Rohstoffen mit großer Wahrscheinlichkeit zu wesentlich niedrigeren Einstandspreisen zur Verfügung stehen könnten. Bislang bestehen allerdings erhebliche technische Schwierigkeiten, Ethanol auf dem Wege der Fermentation aus zellulosehaltigen Rohstoffen zu gewinnen. Zudem sind die Konversionskosten noch deutlich zu hoch, um wirtschaftlich Ethanol auf Basis von lignozellulosehaltigen Rohstoffen produzieren zu können. Schließlich bestehen noch ungelöste Probleme bei der Handhabung des Abwassers.<sup>48</sup>

Zellulose als wichtigster Gerüststoff für den Aufbau praktisch aller Pflanzen ist in vielfältiger Form als nativer Rohstoff als auch als Reststoff bzw. Abfallstoff anzutreffen. Zellulose ist als eine Art Gerüststoff für die Struktur der Pflanzen verantwortlich.<sup>49</sup> Die wichtigsten Zelluloselieferanten sind:<sup>50</sup>

#### (1) Holz

- Primärholz aus vorhandenen Forstkulturen bzw. Waldbeständen
- Plantagenholz (schnell wachsende Baumarten wie Pappel, Weide u.a.)
- Primärabfälle aus der Forstindustrie (z. B. Schwachholz, Astholz)
- Sekundärholzabfälle aus der Holzverarbeitenden Industrie (Holzschnitzel u.a.)
- Zellulosehaltige Plantagenpflanzen (Miscanthus, Rutenhirse, Rohrglanzgras oder Futtergräser)<sup>51</sup>

---

46 Auch Chinaschilf genannt.

47 Vgl. hierzu etwa Kaltschmitt, M., Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse, Berlin u.a. 2001, S.57 ff.

48 Vgl. hierzu Sarkkinen, Kari: Technology for bioethanol production from different raw materials, International Symposium on Alcohol Fuels, September 21-24, 1998, Beijing.

49 Zellulose wird von der Pflanze aus Glukose, einem gewöhnlichen C<sub>6</sub>-Zucker, der als Monomer die Summenformel (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) aufweist, gebildet.

50 Vgl. Katzen, R.; Madson, P.W.; Monceaux, D. A.: Use of cellulosic feedstocks for alcohol production, in: The Alcohol Textbook, hrsg. v. T.P. Lyons, D.R. Kelsall, J.E. Murtagh, Nottingham 1995, S. 38.

51 Vgl. hierzu etwa Kaltschmitt, M., Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse, Berlin u.a. 2001, S. 57 ff.

(2) Zellulosehaltige Rückstände aus der Landwirtschaft

- Stroh (Weizen, Roggen, Gerste usw.)
- Bagasse (Zuckerrohr, Sorghum)<sup>52</sup>
- Silagen (Mais, Milo, Rübenblatt, Gras)

(3) Häusliche Abfälle

(4) Papierabfall (Altpapier, Kartonagen usw)

Für walddreiche Regionen wie z.B. Skandinavien oder Nordamerika ist die Verwertung von primären Naturhölzern bzw. Abfällen aus der Forstindustrie von besonderem Interesse. In Regionen wie der Bundesrepublik Deutschland ist mittelfristig vorrangig die Verarbeitung von zellulosehaltigen Rückständen aus der Landwirtschaft relevant.<sup>53</sup> In Kanada wird bereits in einer ersten Anlage aus zellulosehaltigen Rückständen aus der Landwirtschaft Ethanol erzeugt.<sup>54</sup> Auch in den USA werden erhebliche Forschungsanstrengungen in diese Richtung unternommen.<sup>55</sup> In Schweden wird der Bau einer Pilotanlage zur Verarbeitung von Zellulose mit US\$ 15 Mio. öffentlich gefördert und in Spanien wird in einer neuen Ethanolanlage zu Versuchszwecken zellulosehaltiger Abfall aus der Landwirtschaft verarbeitet.<sup>56</sup> Allerdings gibt es bislang – außerhalb der Papierindustrie – im westlichen Europa keine großen Ethanolanlagen, die auf Basis Lignozellulose arbeiten.

Holz besteht neben Zellulose aus Hemizellulose, Lignin und Pektin.<sup>57</sup> Die einzelnen Zellulosemoleküle verbinden sich untereinander zu Netzwerken (sog. Mikrofibrils), da sie eine Fähigkeit zur Wasserstoffbrückenbildung haben. Lignin ist ein sehr komplexes Molekül, das aus Phenylpropaneinheiten in einer dreidimensionalen Struktur besteht. Lignin kann als Klebstoff verstanden werden, der die Zellulosefibrils zusammenhält.<sup>58</sup> Diese Eigenschaft verleiht dem Holz großes Widerstandsvermögen gegen die zur Ethanolgewinnung erforderliche Säurehydrolyse

---

52 Für Deutschland sind diese Rohstoffe nicht von Bedeutung.

53 Darüber hinaus könnte die Verwendung von Plantagenholz und Gräsern sowie von Industrie- und Hausabfällen sowie Altpapier von zunehmendem Interesse sein. Die Behandlung von Abfällen ist allerdings nicht Gegenstand dieser Arbeit.

54 Die Firma Iogen baut nach eigenen Angaben gegenwärtig eine Ethanol-aus-Zellstoff-Anlage im Wert von umgerechnet 22 Mio. € in Verbindung mit ihrem strategischen Partner, Petro Canada, der drittgrößten Ölgesellschaft Kanadas. Die kanadische Bundesregierung leistet einen zusätzlichen Beitrag von 7 Mio. €. Diese Anlage soll ab 2002 im kommerziellen Umfang produzieren. Das Verfahren soll mehr als 300 Liter Ethanol pro Tonne Abfallstoff erzeugen und damit 3.000 bis 4.000 m<sup>3</sup> Ethanol jährlich aus Weizenstroh, Maishüllblättern und sonstigen natürlichen Abfall gewinnen.

55 Vgl. hierzu [www.ieabioenergy.com](http://www.ieabioenergy.com).

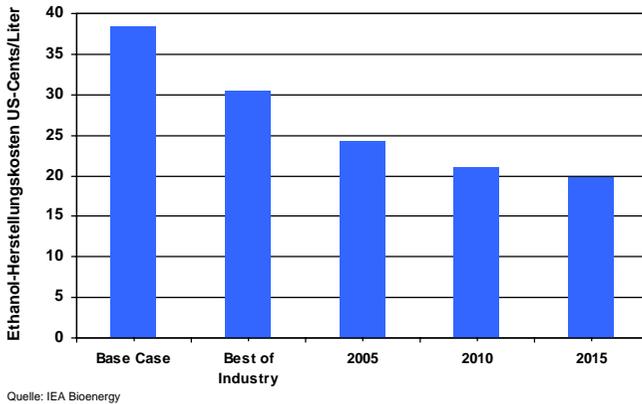


Abb. 10: Erwartete Herstellungskosten für Ethanol aus lignozellulosehaltigen Rohstoffen

und gegen enzymatische Reaktionen. An Stellen, wo keine Wasserstoffbrückenbindung zwischen den einzelnen Ketten vorliegt, ist die Struktur amorpher und leichter angreifbar.

Prognosen gehen von einer deutlichen Reduzierung der Konversionskosten für die Ethanolherstellung aus lignozellulosehaltigen Stoffen aus. Die internationale Energieagentur schätzt die Kosten pro Liter derzeit auf 30 bis 38 US\$ Ct. und erwartet bis zum Jahr 2015 ein Absinken auf 20 US\$ Ct je Liter.<sup>59</sup> Zucker und Stärke werden aber auf absehbare Zeit weiterhin die wesentlichen Rohstoffe für die Ethanolerzeugung bleiben.

56 Das Unternehmen Biocarburantes Castilla León, an dem Abengoa maßgeblich beteiligt ist, plant in Spanien die Errichtung einer neuen Ethanolanlage, die aus Biomasse jährlich 5.000 m<sup>3</sup> Ethanol herstellen soll. Dabei sollen vorrangig Kleie, Druschabfälle und Stroh verwendet werden. Die Anlage soll 2004 die Produktion aufnehmen. Vgl. hierzu auch Sarkkinen, Kari: Technology for bioethanol production from different raw materials, International Symposium on Alcohol Fuels, September 21-24, 1998, Beijing.

57 Zellulose und Hemizellulose werden oft auch unter dem Begriff Holozellulose zusammengefasst.

58 Vgl. Katzen, R.; Madson, P.W.; Monceaux, D. A.: Use of cellulosic feedstocks for alcohol production, in: The Alcohol Textbook, hrsg. v. T.P.Lyons, D.R. Kelsall, J.E. Murtagh, Nottingham 1995, S 37 ff.

59 Vgl. hierzu auch Saddler, Jack: The IEA' Liquid Biofuels Network and Progress in the Commercialisation of Biomass-to-Ethanol, in: World Ethanol Congress, London, 8./9. 11.2001.

### **3.1.4 Sonstige Rohstoffe**

Grundsätzlich kann Ethanol sowohl aus nachwachsenden Rohstoffen als auch aus Reststoffen bzw. Rückständen hergestellt werden. Zu diesen Reststoffen zählen etwa Müll, Altholz oder Abfälle aus Molkereien. Eine Untersuchung der Ethanol- oder Methanolerzeugung aus Reststoffen ist nicht Gegenstand dieser Studie.

Zucker-, stärke- sowie lignozellulosehaltige Rohstoffe sind weiter oben beschrieben worden. Weitere pflanzliche Rohstoffe existieren nicht für die Ethanolerzeugung. Allerdings kann Ethanol auch aus agrarischen Produkten wie Wein hergestellt werden. Dies ist in der EU aufgrund der hohen Überproduktion von Wein besonders bedeutsam.<sup>60</sup>

Regelmässig interveniert die EU im Weinmarkt, um nicht absetzbare Mengen aus dem Markt zu nehmen. Dieser Wein wird dann destilliert und als Weinethanol eingelagert. Die jährliche Weinethanolproduktion bewegt sich zwischen 150.000 und 250.000 m<sup>3</sup>. Bei besonders guten Ernten mit sehr hohen Erträgen werden neben den „normalen“ Interventionen zusätzlich Kriseninterventionen vorgenommen. Italien, Spanien und Frankreich sind die mit Abstand führenden Weinethanolproduzenten der EU. Im Jahr 2002 befanden sich schätzungsweise 300.000 m<sup>3</sup> Weinethanol in den Lagern der EU. Weinethanol wird im Regelfall über öffentliche Versteigerungen abgesetzt.<sup>61</sup>

Weinethanol kann qualitative Probleme aufweisen und auch die Logistik ist nicht unproblematisch: Der erfolgreiche Bieter erwirbt an verschiedenen Standorten eingelagerten, qualitativ unterschiedlichen Weinethanol.

Ein besonders wichtiger Absatzmarkt für diesen Weinethanol ist die Karibik.<sup>62</sup> Aufgrund der Caribbean Basin Initiative<sup>63</sup> können Produzenten der karibischen Inselstaaten zollfrei ihre Waren in die USA exportie-

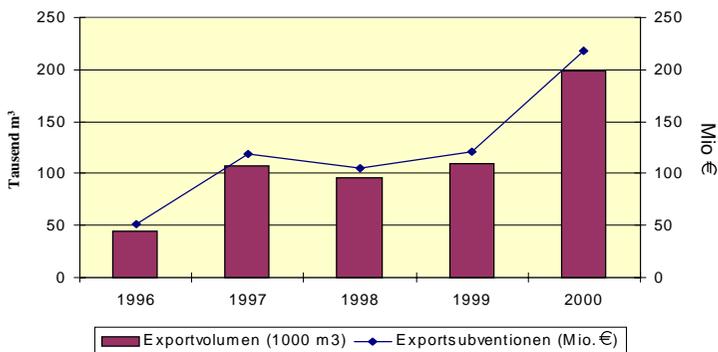
---

60 Vgl. zum Weinethanol insbesondere Albrecht, Werner: Die Reform der europäischen Weinmarktordnung, in: Handbuch für die Brennerei- und Ethanolwirtschaft 2000, 47. Jg., Balve 1999, S. 279 ff.

61 Vgl. z.B. Verordnung (EG) Nr. 644/2001 der Kommission vom 30. März 2001 zur Eröffnung öffentlicher Versteigerungen von Weinalkohol zur Verwendung als Bioethanol in der Europäischen Gemeinschaft, Abl. L 91 v. 31.3.2001, S. 37 ff.

62 80% der EU-Ethanolexporte nach Amerika entfallen auf die Karibik und bestehen ausschließlich aus Weinethanol.

63 The Caribbean Basin Economic Recovery Act 1983 stellt ein Handelsabkommen dar, dass den zollfreien Export bestimmter Produkte in die USA erlaubt.



Quelle: WTO

Abb. 11: EU-Export von subventioniertem Weinethanol nach WTO-Bestimmungen

ren. Diese Waren müssen allerdings in der Karibik wertschöpfend bearbeitet worden sein; bei einem reinen Durchhandeln von Gütern aus Drittländern wird die Zollpräferenz nicht gewährt.<sup>64</sup> Weinethanol wird in die Karibik exportiert, dort beispielsweise entwässert, und dann anschließend zollfrei in die USA exportiert und im Kraftstoffsektor abgesetzt. Auf Jamaika, in Costa Rica und El Salvador existieren sechs Anlagen mit einer Gesamtverarbeitungskapazität von 450.000 m<sup>3</sup>; diese Kapazitäten sind zu etwa 30 bis 50 % ausgelastet.<sup>65</sup>

Die Kosten des Weinethanols (Wein, Destillation, Logistik und Lagerung) betragen für die EU nach Schätzungen etwa 1.150 € pro m<sup>3</sup>. Beim Absatz des Weinethanols in der Karibik werden rund 70 bis 80 € pro m<sup>3</sup> erzielt. Die Beseitigung des Überschusses über diesen Weg kostet die EU damit rund € 1.075 pro m<sup>3</sup>. Bei einem Absatz von jährlich 100.000 m<sup>3</sup> Weinethanol führt dies zu Kosten in Höhe von rund 100 Mio. €. <sup>66</sup>

64 Seit 1989 ist der CBI-Import von Ethanol auf max. 7% des US-amerikanischen Ethanol-Kraftstoffmarktes beschränkt.

65 Quelle: ED&F Man Group.

66 Die Zukunft dieser karibischen Ethanolindustrie ist abhängig von der Verfügbarkeit von Weinethanol aus der EU. In diesem Markt sind nur wenige Unternehmen aktiv, so dass auch nur wenige Bieter bei den EU-Tendern erscheinen. Anfang 2002 wurden Untersuchungen amerikanischer Behörden und der EU eingeleitet, um Hinweisen auf unerlaubte Preisabsprachen nachzugehen. In der Folge wurde der Absatz von Ethanol über diesen Kanal eingestellt.

Eine weitere Absatzmöglichkeit ist die Veräußerung des Weinethanols für spezifizierte neue industrielle Anwendungen. Dabei werden mit € 250/m<sup>3</sup> zwar höhere Preise erzielt, allerdings ist das Absatzvolumen sehr begrenzt. In Frankreich werden beispielsweise relativ geringe Mengen Ethanol für neue Anwendungen in der Hefeindustrie eingesetzt. Das Potenzial dieser Absatzmöglichkeit wird auch zukünftig als sehr gering eingeschätzt.

Eine dritte Möglichkeit ist schließlich die Veräußerung von Weinethanol an Bioethanolproduzenten. Die Erzeuger müssen nachweisen, dass sie Ethanol im Kraftstoffsektor absetzen, dann können sie an Tender-Verfahren teilnehmen. Derzeit sind lediglich drei Unternehmen bei der EU registriert.<sup>67</sup> Die erzielten Preise bei den ersten Verkäufen lagen bei rund € 20 pro m<sup>3</sup>.

Die Reform des EU-Weinmarkts wird ggfs. dazu führen, dass nur noch in außergewöhnlichen Jahren sog. Kriseninterventionen vorgenommen werden. Die EU-Weinethanolausfuhren sollen auf rund 100.000 m<sup>3</sup> im Jahr fallen. Auf jeden Fall dürften größere Mengen Weinethanol mittel- bis langfristig im europäischen Kraftstoffsektor abgesetzt werden.

### **3.1.5 Zusammenfassende Beurteilung der Verfügbarkeit von Rohstoffen für die Ethanolerzeugung**

Kurz- und mittelfristig sind Zuckerrüben sowie die verschiedenen Getreidearten die am besten geeigneten Rohstoffe für die Ethanolerzeugung in Deutschland. Die Zuckerrübe weist dabei die höchste Flächenproduktivität aus, allerdings auch die höchsten Emissionen. Körnermais wird in Deutschland derzeit noch nicht für die Ethanolerzeugung verwendet, hat aber u.U. mittelfristig Potenzial. Weizen, Triticale, aber auch Roggen sind sehr gut für die Ethanolerzeugung geeignet, zeigen aber einen vergleichsweise geringen Ethanolertrag bezogen auf die Fläche. Dieser geht aber mit entsprechend geringen Emissionen einher.<sup>68</sup> Feldfrüchte, die sowohl hohe Nettoenergieerträge als auch geringe Emissionen aufweisen, wären

---

<sup>67</sup> Dies sind Abengoa aus Spanien, Sekab aus Schweden und Primalco aus Finnland.

<sup>68</sup> Die meisten Studien machen keine Aussagen zu den Energieverbräuchen und Emissionen von Kartoffeln, Triticale und Roggen. Nach KTBL können Triticale und Roggen aber mit gewissen Abstrichen mit Weizen gleichgesetzt werden. Danach wären diese im Hinblick auf die Emissionen etwas besser als Weizen abzubilden. KTBL geht auch bei Kartoffeln von geringeren Energieverbräuchen und Emissionen aus. Dies beeinflusst das Gesamtbild aber nicht grundsätzlich.

Tabelle 3: Stärken-/Schwächenprofil der landwirtschaftlichen Rohstoffe für die Ethanolherzeugung

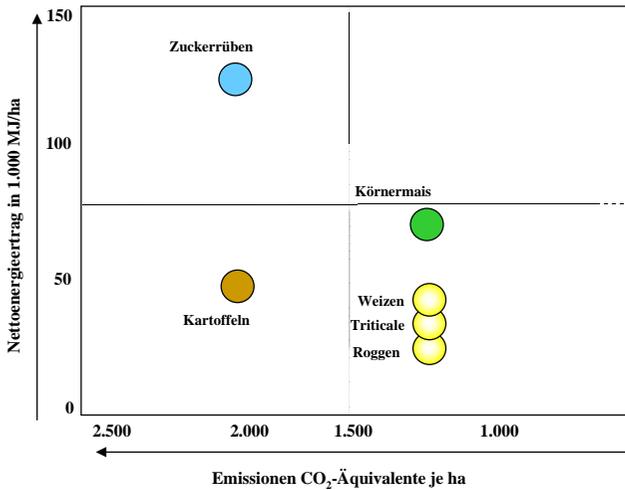
Landwirtsch. Rohstoff	Stärken	Schwächen
Zuckerrüben	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Gute Photosyntheseleistung resultiert in positiver CO<sub>2</sub>-Bilanz</li> <li>+ Höchste Flächenproduktivität und hohe Ertragssicherheit</li> <li>+ Gute Wirtschaftlichkeit (Konversionskosten)</li> <li>+ Erfahrung und gute Verarbeitungseigenschaften bei Ethanolherzeugung</li> <li>+ Potenzial zur Kostensenkung bei landwirtschaftlicher Produktion</li> <li>+ Positive Wirkung in der Fruchtfolge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativ hohe Anforderungen an Böden, dadurch regionale Begrenzung des Anbaus</li> <li>- Lagerfähigkeit als Rübe eingeschränkt, aber als Dicksaft ganzjährig verfügbar</li> <li>- Hohe Transport- und Logistikkosten</li> <li>- Begrenzter Markt für Kuppelprodukte (insb. Vinasse)</li> <li>- Hohe Kosten für Abwasserbeseitigung in Zuckerfabrik und Melassebrennerei</li> </ul>
Weizen	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ hoher Stärkegehalt, gute Kornausbildung</li> <li>+ Gute Lagerfähigkeit</li> <li>+ Gute Verfügbarkeit; weltweit auf Märkten gehandelt</li> <li>+ Flächenproduktivität bei Vergleich mit anderen Getreidearten hoch</li> <li>+ Gute Verarbeitungseigenschaften bei der Ethanolherzeugung und hochwertige Kuppelprodukte</li> <li>+ Relativ geringe Abwassermengen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativ hohe Ansprüche an den Boden</li> <li>- Relativ teurer Rohstoff</li> <li>- Im Vergleich zu zuckerhaltigen Rohstoffen und Kartoffeln geringe Flächenproduktivität</li> </ul>
Roggen	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Vorzüglichkeit auf schwachen Böden</li> <li>+ Geringere Ansprüche an Düngung und Pflege</li> <li>+ Kostengünstiger Rohstoff, im Überangebot verfügbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Angebot abhängig v. Marktordnung</li> <li>- Geringere Ethanolausbeute als bei Weizen und Triticale</li> <li>- Hoher Proteingehalt (führt andererseits aber auch zu höherwertigen DDGS)</li> <li>- Höhere Kosten wegen viskositätssenkender Enzyme und höheren Dampfbedarfs für die DDGS-Trocknung</li> <li>- Schlempe-Rückführung nur begrenzt möglich</li> </ul>

Tabelle 3: Stärken-/Schwächenprofil der landwirtschaftlichen Rohstoffe für die Ethanolerzeugung (Forts.)

Landwirtsch. Rohstoff	Stärken	Schwächen
Triticale	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ hoher Stärkegehalt, gute Kornausbildung</li> <li>+ Nicht so anspruchsvoll wie Weizen im Hinblick auf Bodengüte, Düngung u. Pflege</li> <li>+ Gute Verarbeitung bei Ethanolerzeugung</li> <li>+ Relativ hohe Ausbeute</li> <li>+ Vorzüglichkeit auf schwachen Böden</li> <li>+ Kostengünstiger Rohstoff</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativ geringe Flächenproduktivität</li> <li>- wird nicht wie Weizen auf internationalen Märkten gehandelt</li> <li>- Verfügbarkeit am Markt eingeschränkt</li> </ul>
Körnermais	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Geringe Ansprüche an Boden</li> <li>+ Kann in Monokultur angebaut werden (keine Fruchtfolge erforderlich)</li> <li>+ Hohe Flächenproduktivität</li> <li>+ Gute Verfügbarkeit; allerdings ist Deutschland Mais-Importland</li> <li>+ Gut verwertbare Kuppelprodukte (Öl, DDGS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anbauflächen in Deutschland aufgrund klimatischer Restriktionen für Mais eingegrenzt</li> <li>- Hoher Düngeraufwand erforderlich</li> <li>- Trocknung von Mais erfordert hohen Energieaufwand</li> </ul>
Kartoffeln	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Relativ geringe Ansprüche an Boden</li> <li>+ Hohe Flächenproduktivität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hohe Rohstoffkosten</li> <li>- Relativ hohe Lagerkosten bei hohem Lagervolumen</li> <li>- Hohe Verarbeitungskosten</li> <li>- Eingeschränkte Verwendbarkeit der Schlempe</li> <li>- Hoher Abwasseranfall</li> </ul>

in der nachfolgenden Graphik im oberen rechten Quadranten, der nicht besetzt, ist abzubilden. Allerdings sind bei dieser Betrachtung Gutschriften für die Nebenprodukte nicht berücksichtigt.

Problematisch stellt sich – wie weiter oben beschrieben – die Absatzsituation für Roggen dar. Roggen kann als Rohstoff für die Ethanolerzeugung verwendet werden, weist allerdings Produktnachteile auf, die die



(ermittelt aus Kennzahlen der landwirtschaftlichen Erzeugung des Jahres 2000)

Abb. 12: Energieertrag und Emissionen verschiedener Feldfrüchte

Verarbeitung erschweren und damit die Kosten steigern. Nachfolgend sind im Überblick die Stärken und Schwächen der verschiedenen landwirtschaftlichen Rohstoffe aus Sicht der Ethanolherzeugung dargestellt.

Alle Feldfrüchte können in ausreichendem Umfang für ein Bioethanolprogramm in Deutschland produziert werden, da entsprechende Flächen zur Verfügung stehen. Unsere Einschätzung deckt sich damit mit der deutschen Verkehrswirtschaftlichen Energiestrategie (VES). Die VES schätzt das Potenzial von Biokraftstoffen aus Energiepflanzen, Abfall- und Reststoffen auf 15 % des gesamten Kraftstoffbedarfs für die EU-15; die Bandbreite liegt dabei für die einzelnen Länder allerdings zwischen 11 und 24 %.

Von einer Beeinträchtigung anderer Märkte wird nicht ausgegangen. Eine Ausnahme bilden die Futtermittelmärkte, auf denen größere Mengen der Nebenprodukte der Ethanolherzeugung abgesetzt würden. Ein vergrößertes Angebot, das auf eine gleichbleibende Nachfrage stößt, dürfte am Markt zu Preissenkungen für Futtermittel, aber auch zu geringeren Drittlandsimporten führen.

Die Verwendung lignozellulosehaltiger Rohstoffe sollte mittel- bis langfristig eine wichtige Option werden. Sofern keine Änderung der

Interventionspraxis im Weinmarkt erfolgt, dürfte Weinethanol auch zukünftig zu niedrigen Preisen von der EU-Kommission abgesetzt werden. Bei der verstärkten Verwendung von Bioethanol im europäischen Kraftstoffsektor dürfte auch ein größeres Volumen an Weinethanol in diesem Bereich abgesetzt werden.

Es kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund von Kostensenkungen und Produktivitätsfortschritten in der Landwirtschaft die realen Preise für die angebotenen Rohstoffe sinken. Die Annahme, dass die Flächenprämien reduziert werden, dürfte zudem den Druck zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit verstärken.<sup>69</sup>

Gelegentlich wird aus bestimmten gesellschaftlichen Kreisen die Verwendung von Produkten aus ökologischem Landbau für die Bioethanolherzeugung gefordert. Dies ist weder aus volks- und betriebswirtschaftlichen noch auch ökologischen Gesichtspunkten sinnvoll. Der ökologische Landbau führt zu steigenden Rohstoffkosten für die Bioethanolherzeugung, gleichzeitig sind Energie- und Ökobilanz deutlich schlechter als bei konventionellem Anbau. Die Südzucker AG beispielsweise zahlt Landwirten für im ökologischen Landbau gewonnene Rüben einen 50%igen Preisaufschlag auf den A-Rübenpreis, um Mindererträge und höhere Aufwendungen für die Unkrautbekämpfung auszugleichen. Die Preise bewegen sich dann auf einem Niveau von ca. 75 € je t Rüben. Dies ist ungefähr dreimal so viel wie in unseren Projektionen mittelfristig für Ethanolrüben angesetzt worden ist. Die Ethanolherzeugung aus ökologisch gewonnenen Rüben führt aufgrund der hohen Rohstoffkosten zu etwa doppelt so hohen Ethanolkosten (ca. 1040 €/m<sup>3</sup>) wie bei der Verwendung normaler Rüben.

---

<sup>69</sup> Für den Anbau von Zuckerrüben wird derzeit keine Prämie gezahlt. Bei nachhaltiger Nutzung von Zuckerrüben für die Herstellung von Ethanol könnte es zu einer Änderung der Verordnung (EG) Nr. 2461/1999 kommen, die die Nutzung stillgelegter Flächen regelt für die Erzeugung von Ausgangserzeugnissen, die in der Gemeinschaft zur Herstellung von nicht unmittelbar zu Lebens- oder Futtermittelzwecken bestimmten Erzeugnissen dienen. Die Verordnung besagt, dass der Anbau von Zuckerrüben, Topinambur und Zichorienwurzel auf stillgelegten Flächen nicht ausgeschlossen werden sollte. Wegen der Gefahr der Beeinträchtigung des Zucker- und des Getreidemarktes dürfen für diese Kulturen aber keine Flächenzahlungen geleistet werden. Wenn Zuckerrüben nun aber nachhaltig für die Ethanolherzeugung angebaut werden, kann es auch hier zur Gewährung von Flächenprämien kommen.

### 3.1.6 Rohstoffe für die Methanolerzeugung

Methanol ist ein vielseitig einsetzbarer Rohstoff für die (petro-)chemische Industrie. Es wird derzeit auch als Wasserstoffträger für Brennstoffzellen-Fahrzeuge eingesetzt. Für die Nutzung spricht zum einen, dass es in ähnlicher Weise wie Erdgas mit Wasserdampf zu Wasserstoff und Kohlendioxid umgesetzt werden kann. Zum anderen eignet sich Methanol aufgrund seiner physikalisch-chemischen Eigenschaften prinzipiell gut als Kraftstoff für den Verkehrsbereich. Zwar hat es einen deutlich geringeren spezifischen Energieinhalt als Otto- oder Dieselmotorkraftstoffe, es ist aber wie diese unter Normalbedingungen flüssig und kann nahezu gleichermaßen gehandhabt sowie über die bestehenden, nur geringfügig zu modifizierenden Tankstellen bezogen werden.<sup>70</sup>

Methanol wird großtechnisch derzeit ausschließlich aus Synthesegas hergestellt, das über die Vergasung von Kohle oder aus Erdgas und schweren Ölrückständen gewonnen wird. Auch eine Vergasung von organischen Abfällen im Gemisch mit geringen Anteilen an Kohle ist großtechnisch umgesetzt, um u.a. Methanol zu erzeugen.

Methanol wird durch katalytische Hydrierung aus Synthesegas, bestehend aus Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Wasserstoff, hergestellt. Diese Gase wiederum gewinnt man zu fast 90 % aus der Erdgasreformierung, der Rest stammt im wesentlichen aus Rückständen der Erdölverarbeitung. In Deutschland wird Methanol aus diesen Rohstoffen hergestellt, allerdings muß Methanol zur Deckung der Nachfrage auch importiert werden.

Methanol entsteht auch bei der Vergärung nachwachsender Rohstoffe durch den Zerfall von Pektinen.<sup>71</sup> Es bildet sich bei der trockenen Destillation des Holzes und wurde daher auch „Holzgeist“ genannt. Allerdings fällt dabei auch ein wasserhaltiges Teerprodukt an, das eine aufwändige Aufarbeitung erfordert.

Damit stellt die Methanolerzeugung insbesondere eine Zukunftsoption für die Forstwirtschaft dar, da Bruchholz oder Holzhackschnitzel im Prozess als Rohstoff verwendet werden können. Die Holzwirtschaft

---

<sup>70</sup> Vgl. hierzu etwa Oertel, Dagmar; Fleischer, Torsten: Brennstoffzellen-Technologie: Hoffnungsträger für den Klimaschutz. Technische, ökonomische und ökologische Aspekte ihres Einsatzes in Verkehr und Energiewirtschaft, Berlin 2001, S. 60 f.

<sup>71</sup> Pektine kommen in unterschiedlichen Mengen in Pflanzen vor und stellen chemisch Methylester der Polygalakturonsäure dar.

leidet unter dem großen Altpapiervolumen, das Absatzmöglichkeiten für die eigenen Produkte einschränkt. Aber auch wenn Bruchholz oder sonstige minderwertige Hölzer nahezu kostenfrei zur Verfügung stehen sollten, so stellt sich doch die Frage, welche Kosten mit der Beschaffungslogistik verbunden sind. Neben Holz können allerdings auch zahlreiche andere Roh- und Reststoffe für die Methanolerzeugung verwendet werden.<sup>72</sup>

### **3.2 Technologie und Wirtschaftlichkeit der Herstellung von Ethanol und Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen**

Ethanol kann – im Unterschied zu Pflanzenölen – nicht direkt aus Pflanzen hergestellt werden, sondern muß durch eine Gärungsprozess aus in Pflanzen enthaltenen Rohstoffen gewonnen werden. Dabei werden Kohlenhydrate mit Hilfe von Mikroorganismen gespalten und über mehrere Zwischenprodukte zu Ethanol umgewandelt.

Nachfolgend wird zunächst ein Überblick über die grundlegende Technik der Ethanolherstellung und die einzelnen Verfahrensschritte gegeben, bevor darauf aufbauend aktuelle Forschungsarbeiten sowie technologische Möglichkeiten zur Verbesserung der Effizienz diskutiert werden. Betriebswirtschaftliche Betrachtungen schließen diesen Abschnitt zur Ethanolherstellung ab. Im Anschluß daran findet sich eine Betrachtung der Herstellung von Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen.

#### **3.2.1 Technologien und Herstellungsverfahren**

##### **3.2.1.1 Verfahren zur Herstellung von Ethanol**

Die alkoholische Gärung hat die Menschheit bereits seit Jahrtausenden beschäftigt, wenn nicht sogar begeistert. Die älteste bekannte Ethanolgewinnung ist die Vergärung von Trauben zu Wein und die Herstellung von Bier aus Getreide. Das Interesse, Getränke mit einem höheren Ethanolgehalt herzustellen, führte schließlich zur Destillation von Wein und

---

<sup>72</sup> Das Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe (SVZ) verwertet feste und flüssige Abfälle über Festbett- und Flugstromvergasungsreaktoren und gewinnt so Synthesegas, aus dem Methanol hergestellt wird. Nicht umsetzbare Purgegase und Restgase werden zu Dampf und Strom umgewandelt.

Bier. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde im geringen Umfang aus zuckerhaltigen Rohstoffen in Europa Ethanol hergestellt.<sup>73</sup> In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entstanden in Norddeutschland Brennereien, die aus Melasse Ethanol produzierten.

Die alkoholische Gärung erfolgt nach folgender Formel:

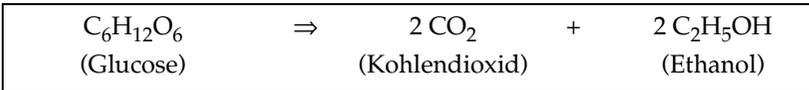


Abb. 13: Alkoholische Gärung

Ethanol wird aus vergorenen Maischen gewonnen. Die Maische wird durch Erhitzen zum Sieden gebracht, wobei dann das Ethanol in Dampf- form gemischt mit wenig Wasserdampf entweicht. Das Dampf- gemisch wird in einem geschlossenen Rohrsystem aufgefangen und durch Abküh- lung zu einer wäßrigen Ethanollösung kondensiert.

Die so gewonnene Ethanollösung enthält noch Nebenbestandteile, die bei der Gärung entstanden sind. Diese werden in der Rektifikation als sogenannte Seitenabzüge aus der wäßrigen Ethanollösung entfernt. Ein wesentliches Merkmal der Rektifikation ist die Verstärkung des schwach- konzentrierten Rohethanols zu hochkonzentriertem 96%-igen Ethanol. Die Qualität bzw. die Reinheit des Fertigproduktes kann variieren; sehr hohe Reinheitsgrade werden durch eine aufwändige mehrstufige Rektifi- kation erzielt.

Ethanol bildet mit Wasser bei ca. 97,2 % vol ein Azeotrop, das destil- lativ ohne spezielle Verfahren nicht zu trennen ist.<sup>74</sup> Möchte man was- serfreies Ethanol herstellen, muß nach der Rektifikation in einem getrenn- ten physikalischen Verfahren das noch enthaltene Wasser entzogen werden.

Bei der Destillation fällt im Verhältnis zum gewonnenen Ethanol ein großes Volumen Schlempe als Reststoff an. Die Schlempe muß aufgear- beitet werden, um sie haltbar oder weiterverwendungsfähig zu machen. Für stärke- und zuckerhaltige Rohstoffe ergeben sich dabei grundsätzlich unterschiedliche Verfahrensschritte, die noch im einzelnen darzulegen sind.

---

73 Vgl. Winner, C.: Franz Carl Achard als Wegbereiter einer experimentellen Pflanzen- bauwirtschaft in: Geschichte der Zuckerrübe, Berlin 1984, S. 22

74 Vgl. Kirschbaum, E.: Möglichkeiten zur Verringerung des Wärmeverbrauchs, in: Destillier- und Rektifikationstechnik, Berlin 1969, S. 25.

Die Ethanolherstellung erfordert Lagermöglichkeiten für die Rohstoffe, die Hilfs- und Betriebsstoffe, für die Fertigprodukte selbst und für die Nebenprodukte. Die Rohstoffe fallen erntebedingt meist in einer jahreszeitlich sehr kurzen Zeit an, müssen aber für die Verarbeitung ganzjährig zur Verfügung stehen. Somit sind jeweils Lagerkapazitäten beim Handel (Getreide) oder bei der Zuckerfabrik vorzuhalten. Bei der Lagerung von Ethanol ist zu berücksichtigen, dass dieses eine brennbare Flüssigkeit ist, die nach den Sicherheitsbestimmungen der Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF) zu behandeln ist und damit hohen Sicherheitsanforderungen zu entsprechen hat.<sup>75</sup> Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass unvergälltes Ethanol monopolrechtlichen Sicherheitsmaßnahmen unterliegt.<sup>76</sup> Vergälltes Ethanol unterliegt nur untergeordnet diesen Bestimmungen.

Bei der Technik der Ethanolherstellung sind grundsätzlich die folgenden Verfahrensschritte zu unterscheiden, die nachfolgend detaillierter erläutert werden:

- Rohstoffaufbereitung bzw. Zuckeraufschluss
- Fermentation des aufgeschlossenen Zuckers
- Destillation und Rektifikation
- Entwässerung
- Reststoffaufarbeitung
- Lagerung und Transport der gewonnenen Produkte.

### 3.2.1.2 Rohstoffaufbereitung

Der Aufschluß der stärke- oder zuckerhaltigen Rohstoffe ist der erste Verfahrensschritt bei der Herstellung von Ethanol. Bei stärkehaltigen Rohstoffen beginnt er mit der Aufspaltung der Bestandteile im Getreidekorn.<sup>77</sup> Die im Korn enthaltene Stärke muß in niedermolekularen Zucker umgewandelt werden. Diese Reaktion ist eine Hydrolyse, wobei die Stärke mit Wasser vermischt und auf Reaktionstemperatur gebracht wird. Unter Enzymzugabe wird das Stärkemolekül verflüssigt und an-

---

<sup>75</sup> Benzin ist in Brandklasse A1, Ethanol in B1 eingeordnet. Vgl. Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF), erhältlich über <http://teeresias.umsicht.fhg.de/>. Mittlerweile ist die VbF durch die Betriebssicherheitsverordnung vom 27.09.2002 (BGBl. I S. 3777) ersetzt worden.

<sup>76</sup> Brennereivereinbarung, Anlage zum Branntweinmonopolgesetz vom 8.4.1922.

<sup>77</sup> Zum Beispiel enthält Weizen: ca. 20 % Schalen (Kleie), 8-10 % Gluten (Protein), 6 % Fasern und Pentosene, 65 % Stärke.

schließlich durch eine weitere Enzymzugabe in Glucose umgewandelt.<sup>78</sup> Der chemische Prozess verläuft unter Zugabe von Enzymen und läßt sich wie folgt darstellen:

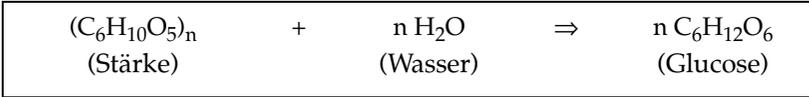


Abb. 14: Aufschluß von stärkehaltigen Rohstoffen zu Glucose

Dieser vereinfacht dargestellte Vorgang verläuft allerdings mikrobiologisch und in der betrieblichen Praxis wesentlich komplizierter ab. Um an das Stärkekorn zu gelangen, muß das Getreide im ersten Verarbeitungsschritt vermahlen werden. Die Vermahlung kann als Trockenvermahlung oder als Nassvermahlung erfolgen. Die Trockenvermahlung, bei der in der Regel Hammermühlen eingesetzt werden, ist zwar einfach (keine Abtrennung von Fasern oder Keimlingen), aber energieaufwändiger und fordert vor dem Kochprozess einen Mixer, in dem das Mahlgut mit Wasser homogenisiert wird. Die vom Energieaufwand günstigere Nassvermahlung ist von der Ausrüstung her wesentlich komplizierter, erfordert ein längeres Einweichen des Mahlgutes, und danach eine mehrstufige Vermahlung und Auftrennung. Dieses investitionsintensive Verfahren rentiert sich nur bei gleichzeitiger Stärke- und Keimölgewinnung.

Das in Deutschland bis vor einigen Jahren verbreitete Druckaufschlußverfahren<sup>79</sup> wird heute auf Grund seines hohen Dampfverbrauchs nicht mehr angewandt. Bei diesem Verfahren wurden Getreide oder Kartoffeln bei einem Dampfdruck von drei bar gekocht, und beim anschließenden Ausblasen des Vormaischers „explodierte“ das Getreidekorn oder die Kartoffel. Dabei trat das Stärkekorn isoliert zu Tage.

Um die in dem Getreide enthaltene Stärke in einem Maischprozess zu vergärbaren Zuckern abbauen zu können, muß diese zunächst in Lösung gebracht werden. In kaltem Wasser aber ist Stärke praktisch nicht löslich. Die Maische wird daher in einem ersten Prozessschritt soweit erhitzt, dass die Stärke in Lösung gehen kann. Beim Erhitzen quillt die Stärke durch Wasseranlagerung sehr stark auf, wodurch es bei Erreichen der sogenannten Verkleisterungstemperatur zu einem drastischen Anstieg

---

<sup>78</sup> Vgl. Murthagh, J. E.: Molasses as a feedstock for alcohol production in: The Alcohol Textbook, Nottingham 1995, S. 27

<sup>79</sup> Vgl. Foth-Drews: Die Praxis des Brennereibetriebes, Berlin 1951, S. 101

der Viskosität der Maische kommt. Die Viskosität einer Maische steigt hierbei soweit an, dass ein Rühren der Maische ohne einen gleichzeitigen Abbau der Stärke nicht mehr möglich wäre. Hierzu werden  $\alpha$ -Amylasen<sup>80</sup> eingesetzt, die die hochmolekulare Stärke in kleinere Dextrine<sup>81</sup> zerlegen, wodurch die auftretende Viskosität rasch abgebaut wird. Diese Dextrine sind jedoch noch nicht vergärbar.

Zur Verflüssigung der Maische sind bei üblicher Verfahrensweise Temperaturen von über 65 °C erforderlich. Diese Temperaturen führen jedoch zu einer thermischen Inaktivierung der dem Getreide innewohnenden natürlichen Verzuckerungsenzyme, so dass die Verzuckerung der Maischen, d. h. die Freisetzung von vergärbaren Zuckern aus den Dextrinen, in einem zweiten Prozessschritt bei Temperaturen zwischen 52 und 55 °C durchgeführt werden muß.

Für die Freisetzung von vergärbaren Zuckern aus Stärke und Dextrinen stehen mehrere Enzyme im technischen Maßstab zur Verfügung.  $\alpha$ -Amylase, Glucoamylase ( $\alpha$ -1,4-Glucan-Glucohydrolase) sowie Enzyme, die speziell die  $\alpha$ -1,6-Bindungen an den Verzweigungsstellen von Stärke und Dextrinen angreifen.  $\beta$ -Amylase ist das verzuckernde Enzym des Malzes, das fast ausschließlich in Pflanzen und so auch beispielsweise in Triticale zu finden ist.<sup>82</sup>

Verfahrenstechnisch wird die mit Prozesswasser homogenisierte Maische in einem Wärmeaustauscher auf 90 bis 95 °C erhitzt und gelangt in den Verflüssigungstank. Unter Hinzugabe von  $\alpha$ -Amylase (Verflüssigungsenzym) erfolgt bei einer Verweilzeit von ca. einer Stunde die Verflüssigung der Stärke. Danach gelangt die Maische über einen Wärmeaustauscher mit 50 °C in einen Verzuckerungstank, wo unter Zugabe von  $\beta$ -Amylase (Verzuckerungsenzym) die Verzuckerung erfolgt, ebenfalls mit einer Verweilzeit von rund einer Stunde.

---

80  $\alpha$ -1,4-Glucan-Glucanohydrolase. Die  $\alpha$ -Amylasen werden meist aus *Bacillus licheniformis* oder *Bacillus stearothermophilus* gewonnen.

81 Dextrin ist ein Sammelbegriff für verschiedene Abbaustufen der Stärke, die wie diese aus Glucoseeinheiten ( $C_6H_{12}O_5$ ) aufgebaut sind, jedoch über einer wesentlich geringeren Anzahl an Bausteine verfügen. Die Anzahl der Glukoseeinheiten liegt meistens bei fünf bis sechs.

82 Glucoamylase wird im Wesentlichen aus den Schimmelpilzen *Aspergillus niger* sowie aus *Rhizopus spec.* gewonnen. Die entzweigenden Enzyme stammen meist aus Malz oder sie sind als Nebenaktivitäten vor allem in Glucoamylase-Präparaten aus *Rhizopus spec.* vorhanden.

Bei der Verarbeitung von zuckerhaltigen Rohstoffen stellt sich der Verfahrensschritt des Rohstoffaufschlusses anders dar. Bei der traditionell in Europa verarbeiteten Rübenmelasse liegt der Zucker (Saccharose) als Disaccharid vor, der von der Hefe in Monosaccharide gespalten und vergoren werden kann. Dieser Vorgang läßt sich in der folgenden Formel abbilden:

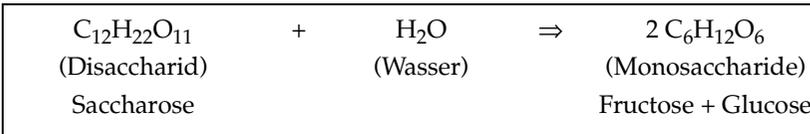


Abb. 15: Aufschluß von zuckerhaltigen Rohstoffen

Da der Rohstoff in flüssiger und nahezu vollständig löslicher Form vorliegt, ist der verfahrenstechnische Aufwand sehr viel geringer als bei stärkehaltigen Rohstoffen.

### 3.2.1.3 Fermentation

Bei der Fermentation werden unter Zugabe von Hefe die Monosaccharide in Ethanol und Kohlensäure umgewandelt. Die Hefe produziert unter bestimmten Bedingungen<sup>83</sup> ein Enzym, die sogenannte Zymase, die für die Umsetzung von Glucose in Ethanol und Kohlendioxid verantwortlich ist. Diese Umwandlung erfolgt unter steigendem Ethanolgehalt in der Maische. Dabei können das Batch-, das Kaskaden- und das kontinuierliche Verfahren unterschieden werden.

Das **Batch-Verfahren** ist das klassische, seit Jahrhunderten praktizierte Gärverfahren. Dabei wird ein Gäransatz mit Maische und Hefe unter starker Belüftung hergestellt, um somit genügend Hefe zu züchten, die für einen „Satz“ erforderlich ist. Danach wird die Maische kontinuierlich hinzugegeben, bis der Gärbehälter gefüllt ist. In dieser Zeit beginnt die Gärung bereits. Im vollen Gärbottich vollzieht sich die Gärung anaerob bis der Zucker abgebaut ist und das Ethanol im entsprechenden Umfang entstanden ist. Das Batch-Verfahren ist verschiedentlich verfeinert worden. So hatte sich beispielsweise in Deutschland das als sehr praktikabel geltende Justsche-Zulauf-Verfahren durchgesetzt.

---

<sup>83</sup> pH-Wert und Temperatur sowie Zuckergehalt sind wichtige Faktoren.

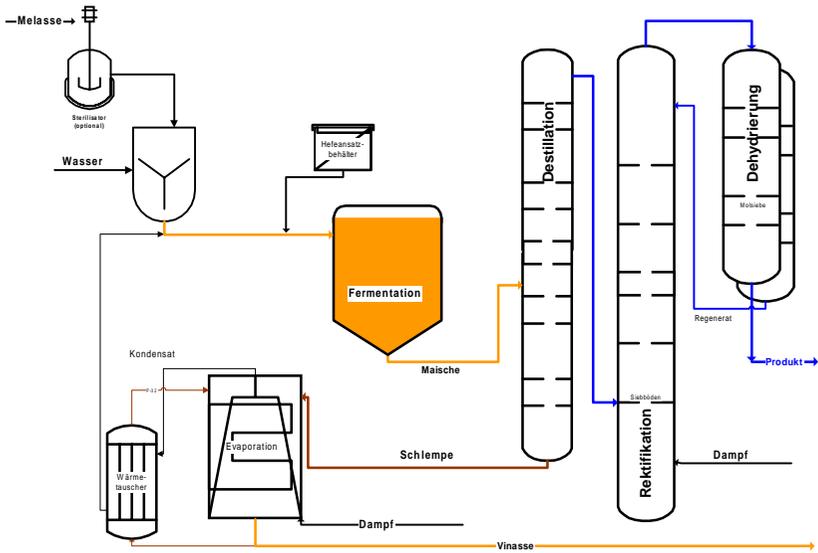


Abb. 16: Verfahrensschema der Bioethanolherstellung aus Melasse nach dem Batch-Verfahren

Der Vorteil des Batch-Verfahrens liegt in der robusten Gärführung. Die einmal gewonnene ethanolhaltige Maische wird relativ kurzfristig aus dem Prozess mittels Destillation herausgenommen. Dadurch wird das bestehende Infektionsrisiko weitgehend ausgeschlossen.

Ein Infektionsrisiko entsteht im Fermenter dann, wenn aufgrund der dort vorherrschenden Bedingungen eine Vermehrung anderer Mikroorganismen als die für die Ethanolproduktion notwendigen Hefezellen überhand nimmt. Es kann sich dabei um „wilde“ Hefen oder andere Pilze, wie z. B. Schimmelpilze oder aber auch um Bakterien handeln. Eine Infektion kann zur Folge haben, dass die unerwünschten Mikroorganismen aufgrund ihrer hohen Vermehrungsrate Nährstoff – im wesentlichen Zucker – verbrauchen und damit die Ethanolausbeute verringert wird oder sogar die gewünschten Hefezellen in ihrer Vermehrung so stark behindern, dass es zum vollständigen Erliegen der alkoholischen Gärung kommt. Infektionen können auch durch vorherige Dampf- oder Drucksterilisation vermieden werden. Im Normalfall wird nur bei der Fermenter-

tation in der Anzuchtphase der Hefen unter sterilen Bedingungen gearbeitet.<sup>84</sup>

Das **Kaskaden-Verfahren** ist ein Fermentationsverfahren, bei dem die Fermenter hintereinander geschaltet sind und die Maische im Gefälle von einem Fermenter zum nächsten läuft. Im ersten Fermenter wird die Maische belüftet, um die erforderliche Hefeherstellung zu erreichen. Im zweiten Fermenter erfolgt der Süßmaischezulauf, und die Umwandlung in Ethanol erfolgt in diesem und den darauf folgenden zwei oder drei anaerob arbeitenden Fermentern. Nach diesem Grundprinzip arbeitet auch das angebotene Vogelbusch-Multikonti-Verfahren. Bei klaren Substraten kann im letzten Fermenter die Hefe absepariert und im Prozess, nach einer Hefewäsche, vorne wieder eingesetzt werden.

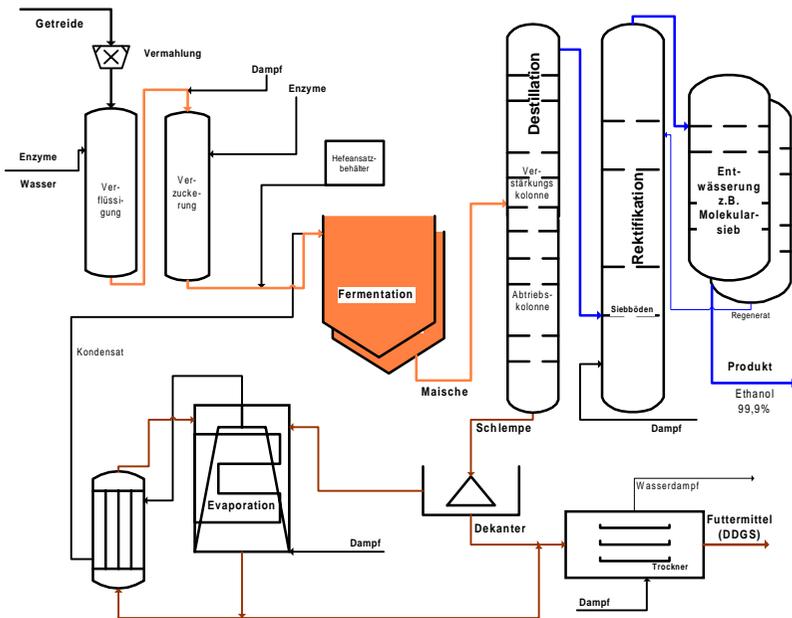


Abb. 17: Verfahrensschema der Bioethanolherstellung aus Getreide nach dem Kaskaden-Verfahren

84 Die VB-Multicont Kaskadenfermentation etwa wird so geführt, dass die Hefe unter optimalen Bedingungen arbeitet und für die Dauer der Fermentation der dominierende Organismus bleibt.

Das Kaskaden-Verfahren ist wenig arbeitsintensiv und relativ einfach im apparativen Aufbau. Hohe Ethanolausbeuten und hohe Ethanolgehalte in der Maische sind die signifikanten Vorteile dieses Verfahrens.<sup>85</sup> Um möglichst lange Betriebsintervalle zu erhalten, ist eine sorgfältige Infektionsüberwachung erforderlich. Es stellt somit höhere Anforderungen an das Betriebspersonal als das Batch-Verfahren.

Unter diesen Bedingungen ist das Kaskaden-Verfahren als sehr effizient und empfehlenswert einzuschätzen. Darüber hinaus wird bei der weiteren Verarbeitung aufgrund des hohen Ethanolgehalt der Maischen in der Destillation Energie eingespart.

Im **kontinuierlichen Gärverfahren** wird in einem Fermenter der gesamte Fermentationsprozess betrieben. Es wird gleichzeitig Hefe gezüchtet und Ethanol erzeugt, zuckerhaltiges Substrat zugegeben und vergorene Maische abgezogen. Bekannt ist das Uhde-Verfahren aus den 70er Jahren, das Biostillverfahren aus den 80er Jahren und das von Kelsall<sup>86</sup> beschriebene Verfahren.

Das Kontiverfahren zeichnet sich durch eine kompakte Bauweise, hohen Automatisierungsgrad und Energieersparnis aus. Darüber hinaus wird durch die Hefeseperation eine Infektionsreduzierung bewirkt, da die leichteren Bakterien mit der Maische zur Destillation gelangen und somit aus dem Prozess laufend entfernt werden. Darüber hinaus kann es praktisch ohne direkte Betreuung durch Mitarbeiter betrieben werden.

Durchgesetzt hat sich das Biostillverfahren bei der Verarbeitung von Rohmelasse. Es wird von der Firma Cematür, Schweden angeboten.

#### 3.2.1.4 Destillation und Rektifikation

Der in der fermentierten Maische enthaltene Ethanol muß in einem ersten Arbeitsgang der Maische entzogen werden. Um die Maische restlos vom Ethanol zu trennen, erfolgt dies in übereinander angeordneten Kochböden in einer Kolonne.

---

85 Ein hoher Ethanolgehalt in der Maische bedeutet einen geringeren Wasseranteil. Dies bedingt, dass eine geringere Menge Wasser bei der Destillation erhitzt bzw. zum Sieden gebracht werden muss, was wiederum Einsparungen an Dampf, also Energiezufuhr, bedingt.

86 Vgl. Kelsall, D. R.: The Management of Fermentation in the Production of Alcohols, in: The Alcohol Textbook, Nottingham 1995, S. 93.

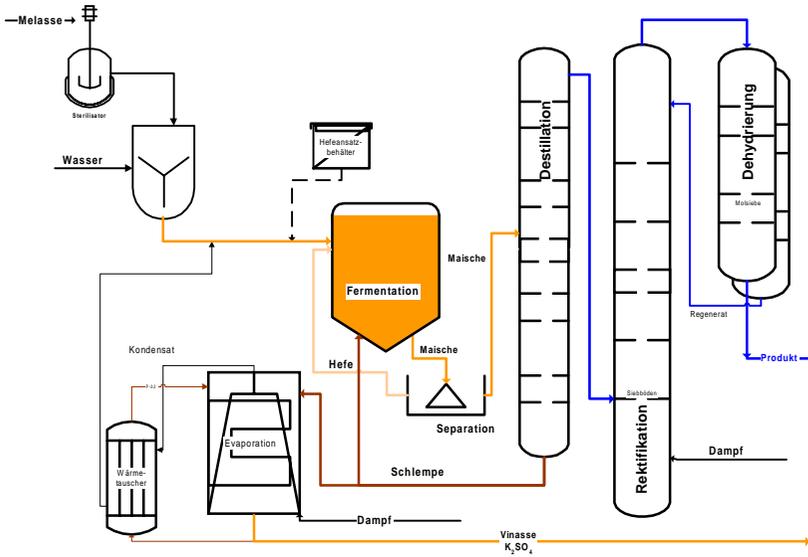


Abb. 18: Verfahrensschema der Bioethanolherstellung aus Melasse nach dem kontinuierlichen Verfahren

Die oben in der **Maischekolonne**<sup>87</sup> eingeführte Maische rieselt von Boden zu Boden. Im untersten Teil der Kolonne wird die Maische mit Hilfe eines Wärmeaustauschers aufgeköcht, so dass der entweichende Dampf von Boden zu Boden aufsteigen und die Maische „entgeisten“ kann. Am Kopf der Kolonne entweicht ein Ethanol-Wasserdampf-Gemisch. Am Fuß der Kolonne verbleibt die vom Ethanol befreite Maische, die Schlempe.

Soweit möglich, wird ein Teil der Schlempe in den Fermentationsprozess zurückgeführt. Damit erhöht sich einerseits die Schlempekonzentration und andererseits verringert sich der apparative und energetische Aufwand bei der Nachbehandlung. Bis zu 50 % von Weizen- und Maischlempe lassen sich in den Prozess zurückführen. Dies gilt auch für Dicksaft. Bei Roggen dagegen ist aufgrund der Konsistenz der Schlempe die Konzentration technologisch schwieriger und aufwändiger zu erhöhen als bei Schlempe aus anderen Getreidearten. Allerdings kann durch Zugabe von zusätzlichen Enzymen dieser Erscheinung entgegengewirkt

<sup>87</sup> Auch Abtriebskolonne genannt.

werden<sup>88</sup>. Soweit bekannt, gibt es bislang keine ausreichenden Erfahrungen bei der Verarbeitung von Roggenschlempe.

Das gewonnene Ethanol-Wasser-Gemisch muß auf 97,2 % vol Ethanolgehalt verstärkt werden. Da bei der Gärung neben Ethanol niedere Alkohole wie Methanol und Aldehyde und höhere Alkohole wie Propanol und Fuselöl entstehen, muß eine Abtrennung dieser Nebenprodukte erfolgen. Diese Aufkonzentrierung und die Reinigung von Nebenprodukten erfolgt in der Rektifikationsanlage.

Das **Rektifikationsgerät** ist ein geschlossenes atmosphärisches System, in dem sich verschiedene Druck- und Temperaturverhältnisse einstellen. Dies führt dazu, dass neben dem ansteigenden Ethanolgehalt sich in bestimmten „Klimazonen“ die Gärungsnebenstoffe ansammeln. Diese werden durch „Seitenabzüge“ aus dem Rektifikationssystem abgeführt und in einer getrennten Kolonne konzentriert. Der so gewonnene Vor- und Nachlauf kann entweder zu untergeordneten Zwecken vermarktet, dem Treibstoffethanol vor der Dehydrierung wieder zugemischt oder energiesparend in der Kesselanlage eingesetzt werden.

Da die Qualitätsansprüche für Bioethanol als Benzinzusatz geringer sind als bei der Verwendung im traditionellen Bereich, kann die apparative Ausrüstung in der Bioethanol-Rektifikation einfacher gestaltet werden. Es sind weniger Kolonnen und Böden erforderlich und die Seitenabzüge können teilweise entfallen. Dies führt zu einem geringeren Investitions- und Energiebedarf.

In herkömmlichen Anlagen erfolgt die Destillation und Rektifikation atmosphärisch: Das zur Verdampfung gebrachte Rektifikationsgut wird in der Verstärkungskolonne mittels Wärmeaustauscher mit Kühlwasser kondensiert. Dieses Verfahren ist sehr energieaufwändig.

Kirschbaum hat bereits 1936 darauf hingewiesen, dass es möglich sein könnte, mehrstufig zu destillieren und zu rektifizieren. Danach werden Ethanolbrüden der ersten Stufe kondensiert, während sie Ethanol der zweiten Stufe zum Verdampfen bringen. Der Ethanoldampf der zweiten Stufe heizt dann bei der Kondensation die dritte Stufe und so fort.<sup>89</sup> Aus verschiedenen Gründen wurde dieses Verfahren in der Ethanolerzeugung nicht angewandt.

---

88 Nach Auskunft der Fa. Vogelbusch liegen Erfahrungen mit entsprechenden enzymatischen Verfahren vor.

89 Vgl. Kirschbaum, E.: Möglichkeiten zur Verringerung des Wärmeverbrauchs, in: Destillier-Rektifikationstechnik, Berlin 1969, S. 227.

1978 hat KWST den Gedanken von Kirschbaum aufgegriffen und mit schwedischen Verfahrenstechnikern ein mehrstufig energiesparendes Rektifikationsverfahren entwickelt und eine danach gebaute Rektifikationsanlage 1980 in Betrieb genommen. Heute ist dies Stand der Technik.<sup>90</sup> Auch bei der Herstellung von Bioethanol wird inzwischen ausschließlich nach diesem Verfahren vorgegangen.

### 3.2.1.5 Entwässerung des Ethanols

Sofern Ethanol als Zusatz zum Ottokraftstoff verwendet werden soll, muß es absolut wasserfrei sein. Destillativ lässt sich Ethanol nur bis zum azeotropen Punkt entwässern, der in der Praxis bei 96 % vol liegt. Die restlichen 4 % Wasser müssen durch einen weiteren Verfahrensschritt entfernt werden. Dies kann durch die Schleppestoffdestillation, das Membran- oder Molekularsiebverfahren erfolgen:

Das **Schleppestoffverfahren** ist das älteste, heute aber noch vielfach angewandte Verfahren. Es beruht darauf, dass dem Ethanol ein weiterer Stoff hinzugegeben und so ein Drei-Stoff-Gemisch entsteht, das destillativ zu trennen ist.<sup>91</sup> Das Ethanolschleppestoff-Wassergemisch kann so in einem Kolonnensystem getrennt werden. Das Ethanol wird im unteren Teil abgezogen, das Schleppestoff-Wassergemisch entweicht der Kolonne dampfförmig und wird anschließend kondensiert.

Das Schleppestoff - in der Regel wird Cyclohexan<sup>92</sup> eingesetzt - und das Wasser müssen anschließend getrennt werden. Dieses erfolgt in einem Dekanter, der aus einem erweiterten Rohr besteht, in dem sich das beruhigte Gemisch entmischt. Die Oberphase enthält das Schleppestoff, das dem Prozess wieder zugeführt wird, während die Unterphase, vorwiegend Wasser und Spuren von Schleppestoff und Ethanol, in einer weiteren Kolonne konzentriert wird. Das Wasser wird am Fuß der Kolonne entnommen. Dieses sog. Drawinolverfahren<sup>93</sup> ist im Laufe der Jahre technisch verfeinert und energetisch optimiert worden.

---

90 Vgl. Tegtmeier, U.: Fortschritte in der Ethanol-Destillieretechnik, in: Die Branntweinwirtschaft, Berlin 1985, S. 130.

91 Vgl. Kirschbaum, E.: Möglichkeiten zur Verringerung des Wärmeverbrauchs, in: Destillier- und Rektifikationstechnik, Berlin 1969, S. 28.

92 Als Schleppestoff wurde auch Benzol oder Glykol verwendet.

93 Vgl. Kirschbaum, E.: Möglichkeiten zur Verringerung des Wärmeverbrauchs, in: Destillier- und Rektifikationstechnik, Berlin 1969, S. 98.

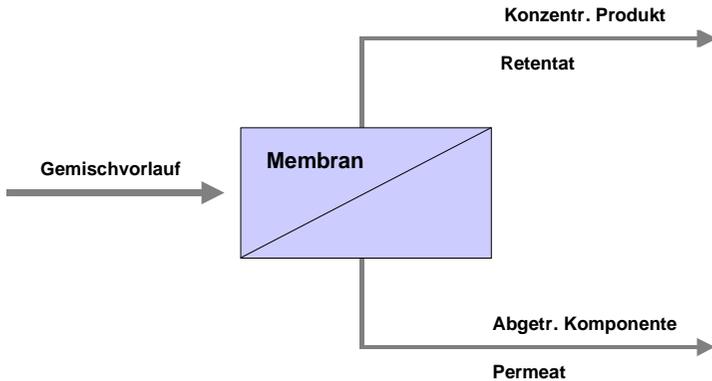


Abb. 19: Membranverfahren zur Entwässerung des Ethanols

Das **Membran-Verfahren** (Pervaporation<sup>94</sup>) ist von der Firma Lurgi entwickelt worden und zeichnet sich durch eine sehr kompakte Bauweise aus. Die Pervaporation eignet sich bevorzugt zur Trennung flüssiger und insbesondere engsiedender bzw. azeotrop-bildender Lösungsmittelgemische. Die Pervaporation unterscheidet sich von anderen Membrantrennverfahren besonders durch den Phasenwechsel von der Flüssigphase zur Dampfphase, der durch die Membran permeierenden Komponente.

Bei der Ultrafiltration und Mikrofiltration dagegen werden Porenmembranen mit definiertem Porengrößenspektrum zur Abtrennung und Fraktionierung hochmolekularer Komponenten verwendet.

Die treibende Kraft für den Stofftransport durch die Membran wird bestimmt durch die Aktivitätsdifferenz der permeierenden Komponente (des sog. Permeats) bzw. durch den Unterschied des Partialdampfdruckes des Gemisches auf der Membran-Vorderseite und des dampfförmigen Permeats, das auf der Membran-Rückseite unter Vakuum oder mittels Trägergas abgeführt wird.

Besonders vorteilhaft lässt sich die Pervaporität bei der Ethanol-Wasser-Trennung im oberen Konzentrationsbereich zur Absolutierung einsetzen. Dieses Verfahren hat sich, auch wenn es viele Vorteile in sich birgt, nicht durchgesetzt. Vor allem deshalb, weil die Membranen sehr teuer sind und nur eine geringe Lebensdauer haben.

<sup>94</sup> Unter Pervaporation wird die Verdampfung durch eine Membran verstanden.

Das **Molekularsiebverfahren** hat sich in den letzten fünf Jahren weitgehend durchgesetzt und ist heute bei vielen Neuanlagen das gebräuchlichste Verfahren. Das Prinzip ist seit langem bekannt und wird bei der Entwässerung von Gasen bereits seit Jahrzehnten benutzt. Es beruht auf dem Grundprinzip der Adsorption.

Molekularsiebanlagen bestehen in der Regel aus zwei Behältern oder Kolonnen, die mit einer Schüttung – bestehend aus sog. Zeolithen – gefüllt sind. Zeolithe sind synthetisch kristalline Aluminiumsilikate, die die Eigenschaft haben, unter bestimmten Bedingungen selektiv kleinere Moleküle in den sehr feinen Poren – 0,3 nm – reversibel anzulagern, während größere Moleküle nicht aufgenommen werden können. Das Ethanol wird im dampfförmigen Zustand komprimiert und durch das Molekularsiebbett gedrückt. Während sich die Wassermoleküle in den Poren durch Adsorption anlagern, gehen die Ethanolmoleküle ungehindert durch die Schüttung und werden anschließend zu entwässertem Ethanol mit weniger als 500 ppm Wasseranteil kondensiert. Aufgrund der begrenzten Porenzahl in der Schüttung ist nach relativ kurzer Zeit (ca. 5-10 Minuten) die Beladung in den Zeolithen so hoch, dass das Wasser ebenfalls durch die Schüttung gelangen würde und eine einwandfreie Trennung von Ethanol und Wasser nicht mehr möglich wäre. Daher wird in einem festen Rhythmus zwischen den beiden Kolonnen umgeschaltet.

Wenn die vorgesehene Beladung mit Wassermolekülen in der einen Schüttung erreicht ist, wird auf die andere inzwischen regenerierte Kolonne umgeschaltet, wo nach dem gleichen Prinzip entwässert wird. Durch die Beaufschlagung der beladenen Kolonnen mit entwässertem Ethanol und der Absenkung des Partialdruckes lösen sich die Wassermoleküle wieder aus den Poren der Zeolithe und werden mit dem entwässerten Ethanol ausgespült. Das dann wasserhaltige Ethanol muss entweder in einer separaten Verstärkungsanlage wieder aufgearbeitet werden oder in den Rektifikationsprozess zurückgeführt werden.

Vorteile dieses Verfahrens sind geringe Betriebskosten (Energie, Schleppmittel), relativ hohe Unempfindlichkeit gegenüber Verunreinigungen im Ethanol sowie hohe Flexibilität bei dem Wassergehalt des zu entwässernden Ethanols (es kann auch Ethanol mit einem geringeren Ethanolgehalt als 96 % verarbeitet werden) und die Vermeidung von Schleppmittelspuren im Produkt. Als Nachteil sind die relativ hohen Investitionskosten, insbesondere für die Füllung, anzusehen. Allerdings ist die Lebensdauer nach bisherigen Erfahrungen hoch, so dass sich dieser Nachteil relativiert.

### 3.2.1.6 Reststoffaufarbeitung

Der bei der Ethanolerzeugung anfallende Reststoff, die Schlempe, wird in kleineren Brennereien entweder verfüttert oder als Dünger ausgebracht. Aufgrund des großen Volumens und aus Umweltgründen ist diese unproblematische Verwendung in größeren Brennereinheiten nicht möglich.

Die **Getreideschlempe** verursacht in einer Großbrennerei wesentliche Investitionen und stellt einen wichtigen Kostenfaktor bei der Ethanolerzeugung dar. Etwa 45 % des gesamten Investitionsvolumens entfallen auf die Anlagen für die Aufarbeitung der Getreideschlempe. Ein gleichhoher Teil des gesamten Energieaufwandes ist für die Verarbeitung der Schlempe erforderlich.

Die anfallende Dünnschlempe wird in einem ersten Verarbeitungsschritt dekantiert<sup>95</sup> – in einer Schnecke werden die Feststoffe mit einer Trockensubstanz (TS) 25-30 % von der Flüssigphase abgetrennt und gepresst. Die Flüssigphase wird in einem stufigen Verdampfer bis zu 60-70 % Trockensubstanz eingedickt. Das Kondensat wird als Prozesswasser bei der Einmischung wieder eingesetzt; damit fällt bei der Getreidebrennerei in der Regel kaum Abwasser an.

Die Dickphase aus dem Dekanter und die konzentrierte Dünnschlempe werden anschließend vermischt und in einer Trockentrommel getrocknet und dann pelletiert. Das Produkt, das Distillers' Dried Grains with Solubles (DDGS), ist sehr proteinhaltig und damit eine wertvolle Futtermittelkomponente.

Die anaerobe Getreideschlempeaufarbeitung wird in landwirtschaftlichen Brennereien erfolgreich praktiziert. In einigen Anlagen werden gleichzeitig Abfallstoffe (wie z. B. Bratfette, Gülle) mit verarbeitet. Die Schlempeaufarbeitung soll in dieser Kombination wirkungsvoller verlaufen.

Das gewonnene Biogas besteht aus 75 bis 80 % Methan und 20 bis 25 % Kohlendioxid und kann in einem nachgeschalteten Blockheizkraftwerk (BHKW) verstromt und in das Stromnetz eingespeist werden.

---

<sup>95</sup> Dieser Dekanter ist ein Separator besonderer Bauart, der zur kontinuierlichen Trennung schwererer Feststoffe von einer leichteren Flüssigkeit mittels Zentrifugalkraft dient. Die einzelnen Phasen werden durch getrennte Gehäuse aufgefangen und abgeleitet.

Es handelt sich dabei um eine großvolumige und schwach belastete Anlage mit einer Raumbelastung von 5 kg CSB/m<sup>3</sup>.<sup>96</sup> Die Aufenthaltszeit in den Reaktoren beträgt bis zum vollständigen Abbau 30 bis 50 Tage. Bei einer Tagesproduktion von 60 m<sup>3</sup>, 180 m<sup>3</sup> und 360 m<sup>3</sup> Ethanol bedeutet dies bei 10%iger ethanolhaltiger Maische einen Schlempeanfall von 540 m<sup>3</sup>, 1.620 m<sup>3</sup> und 3.240 m<sup>3</sup> Schlempe pro Tag. Bei 30 Tagen Verweilzeit in den Reaktoren ergeben sich Behältergrößen von 16.200 m<sup>3</sup>; 48.600 m<sup>3</sup> und 97.200 m<sup>3</sup>. Behältervolumen in dieser Größenordnung lassen sich weder technisch noch wirtschaftlich rechtfertigen.

Da außerdem die getrocknete Schlempe als DDGS einen erheblichen Beitrag zur Stützung der Rohstoffkosten leistet, erscheint die „Vernichtung“ in einer Abwasseranlage bei Getreide nicht sinnvoll. Sie ist hingegen bei anderen Rohstoffen, wie Kartoffeln oder Obst, für die Flüssigkeit nach Abtrennung der Fasern in Erwägung zu ziehen. Die Fasern könnten dann weiter getrocknet werden.

Bei der **Ethanolherzeugung aus zuckerhaltigen Rohstoffen** enthält die Schlempe neben organischen Stoffen einen hohen Anteil an Salzen. Es sind die Salze, die ursprünglich als Düngemittel von der Rübe aus dem Boden aufgenommen worden sind und über den Zucker- und Ethanolherzeugungsprozess bis in der Schlempe gelangen.

Bei der Verarbeitung von Melasse fallen bezogen auf die Inputmenge rund 35 % Nachprodukte an, die als Vinasse bezeichnet wird. Die Vinasse ist praktisch die entzuckerte Melasse, die in einem Verdampfersystem gewonnen wird. Bei der Erzeugung von Ethanol aus Dicksaft fällt deutlich weniger Vinasse an: Es können bis zu 75 % weniger Vinasse sein als bei der Verwendung von Melasse.

Der Investitions- und Energieaufwand ist wesentlich geringer als bei der Aufarbeitung der Schlempe aus der Getreideverarbeitung. Die Anlagen sind produktseitig und dampfseitig mehrstufig ausgelegt um Energie einzusparen. Die Vinasse ist als Futtermittelzusatz oder als Düngemittel (Epadding)<sup>97</sup> einsetzbar.

Das dem Prozess entweichende Brüdenkondensat ist organisch hoch belastet. Deshalb ist eine biologische Reinigung des Abwassers erforderlich, bevor es abgeleitet werden kann. Die dafür erforderlichen Anae-

---

96 Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) ist eine Maßzahl für die chemische Belastung eines Abwassers.

97 Vgl. Lewicki, W.: Zuckerrüben-Vinasse düngt den Boden und die Pflanze, in: Neue Landwirtschaft, Ludwigshafen 6/97, Sonderdruck, S. 1-3.

rob-/Aerobanlagen stehen in einer Zuckerfabrik in der Regel zur Verfügung.

**Melasse- oder Dicksaftschlempe** enthält neben abbaubarer organischer Substanz 30 bis 40 % bzw. 10 % nicht biologisch abbaubare Salze. Bei einer Belastung von 40.000 mg CSB je Liter bedeutet dies, dass nach einer anaerob/aerob Behandlung das „gereinigte“ Abwasser bei Melasse noch mindestens 12.000 mg CSB je Liter und bei Dicksaft 4.000 mg CSB je Liter enthält.

Diese Werte übersteigen die zulässigen indirekten oder direkten Einleitungsgrenzwerte bei weitem. Somit scheiden diese Verfahrensschritte bei der Reststoffaufarbeitung von zuckerhaltigen Rohstoffen zur Zeit aus.

### 3.2.1.7 Ethanolgewinnung aus lignozellulosehaltigen Rohstoffen

Die Verarbeitung von lignozellulosehaltigen Rohstoffen erfordert im Gegensatz zur Verarbeitung von stärke- oder zuckerhaltigen Rohstoffen einen vorgeschalteten Verfahrensschritt zur Aufspaltung der Zelluloseketten und Zerlegung in C<sub>6</sub>-Zucker wie Glucose.<sup>98</sup> Aufgrund der beschriebenen sehr festen Bindung innerhalb der Zellulosemoleküle und zwischen den einzelnen Zelluloseketten stellt dies immer noch die größte technische Schwierigkeit bei der Verarbeitung der Rohstoffe dar.

Der Zelluloseaufschluss bzw. die Hydrolyse der Zellulose kann auf grundsätzlich drei verschiedenen Wegen erfolgen:

- konzentrierter Säureaufschluss
- verdünnter Säureaufschluss
- enzymatischer Aufschluss

Konzentrierter und verdünnter Säureaufschluss sind relativ alte und bekannte Verfahren zur Verarbeitung von Lignin und Zellulose innerhalb der Holzverarbeitenden Industrie. Dabei wird Schwefelsäure oder Salzsäure, seltener auch Fluorwasserstoff, verwendet.

Bei der konzentrierten Säurehydrolyse wird häufig zweistufig verfahren, wobei die Zellulose im ersten Schritt durch konzentrierte Schwefelsäure und im zweiten Schritt durch verdünnte Säurehydrolyse aufgeschlossen wird. Ein kritischer Punkt im Prozess ist dabei die Trennung der Zucker von der sauren Mutterlauge sowie die Säurerückgewinnung

---

<sup>98</sup> Die wesentlichen Verfahrensschritte der Ethanolherstellung aus Zellulose sind: Vorbehandlung, Fraktionierung, Hydrolyse, Fermentation, Aufarbeitung des Produktes (Rektifikation und Entwässerung), Abwasserbehandlung.

und Aufkonzentration der recycelten Säure. Die gewonnenen Zucker können durch Fermentation in Ethanol umgewandelt werden.<sup>99</sup>

Die Zellulosehydrolyse mit verdünnter Säure wurde bereits Ende des 19. Jahrhunderts in Deutschland zur Herstellung von Ethanol aus Zellulose eingesetzt. Damals wurden Ausbeuten von 7,6 l Ethanol pro 100 kg Holzabfälle erreicht. Die Hydrolyse erfolgt dabei grundsätzlich in zwei Schritten, wobei im ersten Schritt unter mildereren Bedingungen als beim erstgenannten Verfahren vorwiegend Hemizellulose, die schon teilweise hydrolysiert ist, aufgeschlossen wird. Im zweiten Schritt erfolgt die Hydrolyse der widerstandsfähigeren Zellulosefraktionen. Nicht aufgeschlossene Zellulose, Lignin und ungelöste Reststoffe aus den Hydrolysereaktoren werden aus dem Produktstrom entfernt und zum Zwecke der Dampf- oder Stromerzeugung verbrannt. In der papier- und holzverarbeitenden Industrie wurde der Zelluloseaufschluss mit verdünnter Schwefelsäure über lange Jahre hinweg intensiv eingesetzt. Heute findet dieses Verfahren noch in einigen Fabriken Anwendung<sup>100</sup>. In vielen Industrieländern wie in Deutschland, Japan oder Russland ist das Verfahren aufgrund mangelnder Wettbewerbsfähigkeit nicht mehr im Einsatz.

Den Verfahren des reinen Säureaufschlusses ist gemeinsam, dass aufgrund der hohen Korrosivität der Säure hohe Anforderungen an das Material gestellt werden und damit die Investitionskosten für Verarbeitungsanlagen sehr hoch werden. Darüber hinaus bestehen erhebliche Nachteile in der kostenintensiven Abwasserbehandlung.

Neuere Forschungen gehen daher zum enzymatischen Zelluloseaufschluss über. Allerdings sind bis heute Verfahren mit befriedigenden wirtschaftlichen Ergebnissen ohne vorherige Säurebehandlung nicht bekannt. Das Hauptproblem liegt darin, dass die für die Zerlegung der Zelluloseketten notwendigen Enzyme sich selbst durch ihre Reaktionsprodukte<sup>101</sup> hemmen. Deshalb konzentrieren sich die Forschungsschwerpunkte generell auf die Lösung der Hemmkinetik bei der enzymatischen Aufspaltung von Zellulose. Obwohl bereits Fortschritte erzielt worden sind, ist bislang keine Lösung des Problems erreicht worden. Die Verbes-

---

99 Derzeit arbeiten beispielsweise die Firmen Arkenol und Masada Resource Group an diesen Verfahren zur Herstellung von Bioethanol.

100 Beispielsweise in Norwegen, Schweden und der Schweiz.

101 Es handelt sich dabei vorrangig um den dimeren Zucker Cellobiose. Auch die sofortige Umwandlung der Cellobiosen durch Cellobiasen ( $\beta$ -Glucosidasen) in Glukose ist problematisch, da auch die Cellobiasen durch die Akkumulation ihrer Reaktionsprodukte der Glukose stark gehemmt wird.

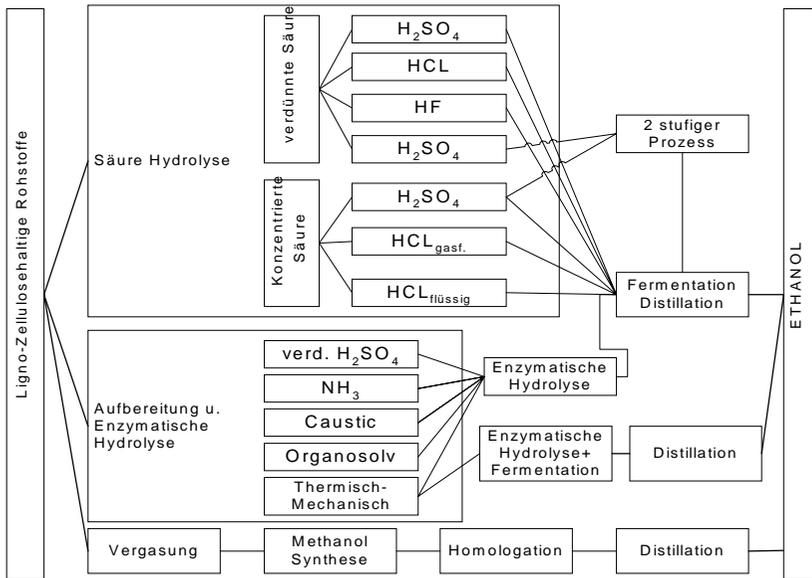


Abb. 20: Möglichkeiten der Zellulose-Hydrolyse

serung der Energiebilanz, die Nutzung von Nebenprodukten sowie Substratdiversifikation für den Ganzjahresprozess sind weitere Arbeitsfelder, in denen derzeit geforscht wird.<sup>102</sup> Ein weiteres Problem besteht in den sehr hohen Kosten für die notwendigen Enzyme.<sup>103</sup>

### 3.2.2 Patente und wissenschaftliche Veröffentlichungen zu Technologien und Verfahren

Im Rahmen der Studie wurde eine internationale Patentrecherche an der TU Berlin durchgeführt, um einen aktuellen Überblick über die neueren

<sup>102</sup> Vgl. Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung: Biotechnologische Herstellung von Wertstoffen unter besonderer Berücksichtigung von Energieträgern und Biopolymeren aus Reststoffen, Arbeitspapier, Karlsruhe, Januar 2002.

<sup>103</sup> Forschend bzw. mit Pilotprojekten bei der Herstellung von Ethanol aus lignozellulosehaltigen Rohstoffen aktiv sind: University of British Columbia, Universität Lund, Universität Göteborg und Chalmers, Hochschule Wismar, U.S. Department of Energy, IEA, Abengoa, Akenol, Baff, BC International, Iogen Corp., Masada Resource Group.

technischen Entwicklungen und Forschungsschwerpunkte zu erhalten. Die wesentlichen Ergebnisse werden nachfolgend dargestellt.<sup>104</sup>

Die internationale Patentrecherche hat bestätigt, dass die Technologie der Ethanolherstellung aus Stärke oder Zucker als eine ausgereifte Technik betrachtet wird. Insbesondere verfahrenstechnisch und in Bezug auf die Destillations- und Rektifikationstechnik wurde in den letzten 15 bis 20 Jahren relativ wenig veröffentlicht und auch wenig patentiert.

Nach adäquater Eingrenzung des Untersuchungsgegenstandes aus 187 Patenten wurden für den Zeitraum von 1980 bis 2002 31 Patente identifiziert, die Verfahren oder Verfahrensschritte zur Ethanolherstellung zum Inhalt haben. Der Großteil der Patente ist thematisch auf Stärkeaufschluss und Fermentation ausgerichtet. Ein weiteres wichtiges Gebiet stellen die Enzyme dar, während nur vereinzelte Patente auf eine Verbesserung der Energienutzung abzielen. Lediglich zwei Patente haben die Nutzung der Zellulose als Rohstoff für die Ethanolherstellung zum Inhalt.

Auffällig ist, dass die meisten Patente noch aus den 80er Jahren stammen, und die Patentanmeldung in den 90er Jahren deutlich zurückgegangen ist. Die mit Abstand größte Zahl der Patente kommt aus Japan und den USA.

### **3.2.3 Technologische und verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Verbesserung der Effizienz**

Die Energiekosten stellen den wesentlichen Hebel zur Verbesserung der Effizienz bei der Herstellung von Ethanol dar. In den zurückliegenden 20 Jahren sind Verfahren entwickelt und eingesetzt worden, die den Energieaufwand schon wesentlich reduziert haben, sowohl bei der Herstellung von Getreideethanol als auch bei der Verarbeitung von zuckerhaltigen Rohstoffen.

So hat das von H. E. Dinglinger und H. Kreipe entwickelte und von Dinglinger in die Praxis umgesetzte Kaltmaisverfahren bei der Getreideethanolherstellung den Energieaufwand drastisch reduziert. Das bis dahin übliche Dämpfverfahren im Henzedämpfer mit einem hohen Dampfinsatz wurde dahingehend ersetzt, dass das Getreide im warmen

---

<sup>104</sup> Die relevanten wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu Technologien und Verfahren der Ethanolherstellung sind in den jeweiligen Abschnitten dieser Studie zitiert.

Tabelle 4: Übersicht der ausgewählten Patente und die Schwerpunkte

Lfd. Nr.	Patent/ Stichwort	Jahr	Land	Komplettverfahren	Stärkeaufschluss	Enzyme	Zucker	Zellulose	Fermentation	Vinasse	Energieoptimierung
1	CZ 283872	96	CZ	x	x			x			x
2	WO 2002038787	02	USA		x	x					
3	RU 2150504	00	RU		x				x		
4	WO 9636723	96	I	x	x						
5	PL 163620	86	PL				x		x		
6	PL 140567	87	PL				x		x		
7	WO 8905861	90	USA	x						x	
8	PL 159970	89	PL		x	x			x		
9	FR 2586032	87	Fra	x	x				x		
10	IN 158345	86	In		x	x					
11	JP 61166397	86	Jpn		x				x		
12	JP 61012292	86	Jpn		x	x			x		
13	BR 8305000	85	Bra			x			x		
14	DD 205928	84	DDR		x				x		
15	JP 58089190	83	Jpn						x		
16	JP 57152891	82	Jpn		x				x		
17	EP 49994	82	USA		x				x	x	x
18	WO 8100857	81	USSR		x	x					
19	RU 2125590	90	Ru								
20	RU 2102480	98	Ru		x				x		
21	RU 2143001	91	Ru		x				x		
22	CN 1071697	93	Chn						x		
23	CN 1035726	97	Chn						x		
24	JP 01218592	89	Jpn						x		
25	EP 310883	89	D				x		x		
26	ZA 8005297	81	ZA		x				x		
27	US 1980-119034	80	Den		x				x		
28	JP 56015691	81	Jpn		x				x		
29	JP 55038116	80	Jpn						x		
30	US 4243740	81	USA		x				x		
31	US 4242455	80	USA		x			x	x		

Wasser vorgeweicht und anschließend in zwei Mahlvorgängen feinst vermahlen wurde, um damit das Stärkekorn zu isolieren. Das Verfahren ist inzwischen durch Wärmeaustausch so verfeinert worden, dass der Stärkeaufschluss heute praktisch ohne Zusatzenergie erfolgt.

Auch in der Destillations- und Rektifikationstechnologie sind in dieser Zeit Verfahren entwickelt und umgesetzt worden, die den Energieeinsatz maßgeblich reduziert haben. Kirschbaum hatte bereits in den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts Anregungen in diese Richtung gegeben, die allerdings erst fünfzig Jahre später realisiert wurden. Zurückzuführen war dies darauf, dass damals die apparative Weiterentwicklung der Ethanolherstellung traditionell vorwiegend in Deutschland durchgeführt und diese in den Kriegs- und ersten Nachkriegsjahren praktisch zum Erliegen gekommen war. Danach waren in den 50er bis in die zweite Hälfte der 70er Jahre die Energiepreise so niedrig, dass es betriebswirtschaftlich wenig Sinn machte, große Investitionen in die Energieeinsparung vorzunehmen.

Ein weiterer wesentlicher Gesichtspunkt war, dass beim Einsatz von mehrstufigen Kolonnensystemen, die zum Energiesparen notwendig sind, ein sehr hoher Regelaufwand erforderlich ist. Mit der bis dato üblichen mechanischen und manuellen Überwachung waren solche ineinander geschalteten Kolonnensysteme nicht zu beherrschen. Erst die computergesteuerte Prozesstechnik hat das energiesparende Mehrdruckverfahren auch in der Ethanolherstellung ermöglicht. Nach Einsatz der ersten mehrstufigen Druckdestillation im Jahre 1980 sind weitere Anlagen mit zusätzlicher Energieeinsparung entwickelt worden. Dies konnte insbesondere durch in Vakuum betriebene nachgeschaltete Kolonnen erreicht werden.

Als besonders energiesparend hat sich das Biostillverfahren erwiesen, das mit einer extrem hohen Schlemperückführung und einem Hefekreislauf einen Einsparungseffekt gegenüber herkömmlichen Verfahren von 60 % erbringt. Bei der Verarbeitung von Rohrmelasse zu Ethanol ist es inzwischen vor allem in Übersee sehr gebräuchlich. Bei der Verarbeitung von Getreide zu Ethanol hat sich dieses Verfahren aus anderen Gründen allerdings nicht durchsetzen können.

Es ist heute davon auszugehen, dass durch die genannten energieeinsparenden Maßnahmen nur noch 50 bis 60 % des Energiebedarfs von herkömmlichen Anlagen erforderlich sind. Hiermit ist der Stand der Technik an einen Punkt angelangt, wo mit rein mechanischen Maßnahmen nur

noch marginale Verbesserungen möglich sind. Dies trifft auch für andere Herstellungsprozesse in der Papier-, Zement- oder Zuckerindustrie zu.

Die in der Literatur aufgeführten Energieverbräuche für die Gewinnung von Ethanol berücksichtigen diese technologischen Fortschritte vielfach noch nicht. Sie liegen erheblich höher als die in dieser Studie gemachten Angaben zu den Energieverbräuchen. Die im Abschnitt zur wirtschaftlichen Betrachtung zugrundegelegten Energieverbräuche berücksichtigen den derzeitigen Stand der Technik und sind durch Gutachten, Vergleichswerte von in Betrieb befindlichen Anlagen und Erfahrungen der Verfasser der Studie belegt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Reststoffaufarbeitung bei der Herstellung von Ethanol aus Getreide einen hohen Investitions- und Energieaufwand erfordert, ist es naheliegend, in diesem Bereich über weitere Einsparungspotentiale nachzudenken.

### **3.2.4 FuE-Bedarf zur Entwicklung und Optimierung von Technologien und Verfahren**

Wie bereits dargelegt, ist die Ethanolherstellung eine seit langem bekannte und ausgereifte Technologie. Obwohl Rohstoffaufbereitung, Fermentation, Destillation, Rektifikation und Entwässerung heute einen sehr hohen Entwicklungsstand erreicht haben und die Möglichkeiten für grundlegende Weiterentwicklungen beschränkt erscheinen, gibt es doch noch erhebliche Optimierungspotenziale in Teilbereichen der Ethanolherstellung. Insbesondere im Bereich der Fermentation besteht Forschungsbedarf zur Verbesserung der Ausbeute, der Prozesskontrolle sowie der Aufarbeitung und Verwendung des dort entstehenden CO<sub>2</sub>. Ein weiteres wichtiges Gebiet ist die Gasreinigung bei der Trocknung von Reststoffen. Da die Reststoffaufarbeitung bei der Verarbeitung von Getreide für 45 % des gesamten Energieaufwandes im Konversionsprozess verantwortlich ist, kommt ihr eine besondere Bedeutung hinsichtlich F&E zu, da hier ein erhebliches Energieeinsparpotenzial besteht.

Der Schwerpunkt der internationalen F&E-Anstrengungen liegt aber derzeit bei der Entwicklung von Verfahren zur Herstellung von Ethanol aus lignozellulosehaltigen Rohstoffen. Einerseits sind die Erwartungen in die Verfahrensentwicklung der Ethanolherstellung aus Zellulose derzeit sehr hoch, andererseits werden die kurz- und mittelfristigen Erfolgsaussichten auch sehr kritisch beurteilt.

Maßgeblich für den Erfolg der Zelluloseverarbeitung zu Ethanol ist die Vorbehandlung des Rohstoffs. Diesbezüglich werden verschiedene biologische, chemische und physikalische Methoden geprüft, um den Zugang zur Zellulose zu optimieren. Die enzymatische Spaltung erfolgt mit Zellulasen. Neben der enzymatischen Hydrolyse ist die relativ alte Technologie des Aufschlusses mit Säure nach wie vor eine Schlüsseltechnologie. Die Forschungsaktivitäten sind weiterhin darauf gerichtet, Mikroorganismen zu finden bzw. durch gentechnische Arbeiten bereitzustellen, die in der Lage sind, Zellulose in C<sub>5</sub>- und C<sub>6</sub>-Zucker umzuwandeln sowie Mikroorganismen, die diese Zucker zu Ethanol fermentieren können.

In den USA fördert das U.S. Department of Energy (DOE) intensiv die Forschung auf dem Gebiet der Biokraftstoffe.<sup>105</sup> Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Verarbeitung von Biomasse. Das DOE betreibt über das National Renewable Energy Laboratory (NREL) eine Pilotanlage in Golden, Colorado (USA). Die Anlage hat eine Verarbeitungskapazität von einer Tonne Biomasse am Tag und verfügt über eine umfangreiche Ausstattung für den Aufschluss und die Fermentation sowie Destillation.

Das DOE arbeitet mit einer Vielzahl von Firmen gemeinsam an Technologien zur Herstellung von Ethanol aus Zellulose und stellt die Anlage zu diesem Zweck zur Verfügung. Eine Übersicht wichtiger Projekte ist in der folgenden Tab. dargestellt, die anschließend beispielhaft erläutert werden.<sup>106</sup>

Die Firma Arkenol Inc. betreibt eine Pilotanlage mit einer Verarbeitungskapazität von einer Tonne Biomasse am Tag. Die Anlage besteht aus sechs Prozessstufen:<sup>107</sup>

- Rohstoffaufbereitung
- Decrystallisation/Hydrolyse mit konzentrierter Schwefelsäure (Batch)
- Fest-/Flüssig Filtration
- Separation von Säure und Zucker
- Fermentation der Zucker (C<sub>5</sub> und C<sub>6</sub>)
- Produktveredelung.

---

<sup>105</sup> In den Jahren 2000 und 2001 stand der Organisation ein Budget von 38 bzw. 46,5 Mio. US\$ zur Verfügung.

<sup>106</sup> Vgl. [www.ott.doe.gov/biofuels](http://www.ott.doe.gov/biofuels), Juli 2002.

Tabelle 5: Forschungsansätze des National Renewable Energy Laboratory, USA

Unternehmen	Rohstoff	Produkt	Mikroorganismus
AMOCO	Maispflanzen	Ethanol, Viehfutter	Hefestämme
BC International	Bagasse, Reisstroh, Holz	Ethanol	E.coli Bakterienstämme
Arkenol Inc.	Reisstroh	Ethanol	Zymomonas Bakterienstämme
Sustainable Technology Energy Partnership <sup>a</sup>	Verschiedene feste Reststoffe	Ethanol	Hefestämme
Sealaska Corp.	Weichholz	Ethanol	Hefestämme
Quincy Library Group	Weich- und Schwachholz	Ethanol	Hefestämme
Collins Pine, California Energy Commission	Weichholz	Ethanol	keine
Swan Biomass	Reisstroh	Ethanol	Saccharomyces Hefestämme

- a. DOE, NREL, California Energy Commission, California Institute of Food and Agricultural Research at UC Davis, Waste Energy Integrated Systems.

Die wesentlichen Prozessverbesserungen sieht Arkenol in der Entwicklung von Mikroorganismen zur Vergärung von C<sub>5</sub>- und C<sub>6</sub>-Zucker und in hohen Zuckerkonzentrationen und hoher Reinheit in der Maische.

Das Unternehmen arbeitet gemeinsam mit dem DOE an der Projektierung einer Anlage in Californien zur Verarbeitung von Reisstroh zu Ethanol, Zitronensäure und Zeoliten. Reisstroh wird derzeit auf den Feldern

107 Bei dem Arkenol-Prozess wird die Dekristallisation der Zellulose durch Zugabe von 75 bis 77%iger Schwefelsäure zur vorbehandelten Biomasse, die nicht mehr als 10 % Feuchtigkeit enthalten soll, durchgeführt. Die Säure wird im Verhältnis 1,25:1 hinzugefügt. Die Temperatur wird auf weniger als 50 °C gehalten und Verdünnungswasser wird anschließend hinzugefügt, bis die Säure eine Konzentration von 20 bis 30 % erhält und anschließend auf 100 °C aufgeheizt. Nach einer Verweilzeit von ca. 1 Stunde liegen vergärbare Zucker vor. In einem weiteren Verfahrensschritt sind die Zucker von der sauren Mutterlauge und Feststoffen zu trennen. Verbliebene Feststoffe wie auch Säure werden in dem Prozess zurückgeführt. In der Fermentation wird sowohl Xylose als auch Glukose in Ethanol mit theoretischer Ausbeute von 85 bis 92 % fermentiert. Nach Angaben von Arkenol beträgt der Säureverlust im Produktstrom (Zucker) nicht mehr als 3 %.

verbrannt und führt so zu einer nicht unerheblichen Umweltbelastung. Zukünftig soll dieses Reisstroh als kostengünstiger Rohstoff für die Ethanolherzeugung zur Verfügung stehen. Ziel des gemeinsamen Projektes ist die Entwicklung neuer Stämme von *Zymomonas mobilis* zur simultanen Fermentation von C<sub>5</sub>- und C<sub>6</sub>-Zuckern. Die Entwicklungskosten werden derzeit auf 400.000 US\$ geschätzt.<sup>108</sup>

B. C. International (BCI) errichtet derzeit zusammen mit dem DOE eine 75.000 m<sup>3</sup> Anlage in Jennings, Louisiana (USA), auf Basis von Zuckerrohr-Bagasse als Reststoff aus der Zuckerherstellung und Reisstroh. Das Verfahren basiert auf dem verdünnten Säureaufschluss und der Fermentation von C<sub>5</sub>- und C<sub>6</sub>-Zuckern mit genetisch modifizierten Enzymen die auf den Mikroorganismus *Zymomonas mobilis* zurückgehen. Die Anlage ist weitgehend fertiggestellt und die Inbetriebnahme ist für dieses Jahr geplant.<sup>109</sup> Das Investitionsvolumen gibt BCI mit 90 Mio. US\$ an. Es sollen 60 Mitarbeiter in der Anlage beschäftigt werden. Die Anlage ist nach Unternehmensangaben eine der ersten großtechnischen Produktionsanlagen, die Bioethanol aus Lignozellulose zu gegenüber fossilen Kraftstoffen wettbewerbsfähigen Preisen herstellt.<sup>110</sup>

Eine weitere Anlage mit einer ähnlichen Kapazität auf der Rohstoffbasis Reisstroh und Holzabfälle plant die Firma in Gridley Californien (USA). Die Anlage wird neben einem 18,5 MW Biomasse-Kraftwerk errichtet werden und soll durch sinnvolle Ergänzung die Wirtschaftlichkeit verbessern. Das Projekt wird in erheblichen Umfang von der Regierung (Energieministerium) unterstützt, da die Luftverschmutzung durch die Verbrennung von Reisstroh auf den Feldern reduziert werden soll.<sup>111</sup>

Die Firma Sealaska Corporation, Ketchikan in Alaska (USA) projektiert eine Anlage zur Herstellung von 22.700 m<sup>3</sup> Ethanol p.a. aus Sägemühlenabfällen. Der Zelluloseaufschluss erfolgt ebenfalls mit verdünnter Schwefelsäure.

Die erste und nach Firmenauskunft bislang einzige Demonstrationsanlage zur Herstellung von Bioethanol aus Biomasse auf dem Wege des enzymatischen Aufschlusses wurde von der Firma Iogen in Ottawa (Kanada) errichtet. Die Anlage verarbeitet bis zu 40 t Weizenstroh pro

---

108 Vgl.: [www.arkenol.com](http://www.arkenol.com), Juli 2002.

109 O.V.: Bagasse-to-ethanol plant proposed, Ethanol report v. 8.1.1998 sowie Wald M. L. "A new bacterium helps turn agriculture waste in to energy to fuel cast", The New York Times, 25.10.1998.

110 Vgl: [www.bcintlcorp.com](http://www.bcintlcorp.com) Juli 2002.

111 Vgl: [www.bcintlcorp.com](http://www.bcintlcorp.com) Juli 2002.

Tag und wird im Schichtbetrieb von ca. 20 Mitarbeitern betrieben. Die Investitionssumme gibt das Unternehmen mit 30 Mio US\$ an. Das Unternehmen will bis Mitte 2004 einen ausgereiften Prozess entwickeln und zwei Jahre später mit einer 2.000 m<sup>3</sup> Anlage die Produktion aufnehmen.<sup>112</sup> Partner bzw. Teilhaber des Unternehmens sind Petro Canada, Hoffmann-La Roche Ltd. und die kanadische Regierung sowie seit Frühjahr 2002 die Royal Dutch Shell, die 46 Mio. US\$ in das Unternehmen investiert hat. Im März 2002 wurde der Firma Iogen ein dreijähriges Förderprogramm der kanadischen Regierung in Höhe von 2,7 Mio. US\$ zur Entwicklung von optimierten Cellulasen zur Herstellung von Bioethanol aus Biomasse zur Verfügung gestellt.<sup>113</sup>

Auf der Inputseite können durch die Verwendung optimierter Sorten in der Landwirtschaft die Ethanolausbeuten gesteigert werden. Saatzüchter schätzen das Optimierungspotenzial auf 4 bis 7 % Ausbeuteerhöhung in der Fermentation. Betrachtet man die einzelnen Rohstoffe, so ist zunächst festzustellen, dass bei Weizen und Mais wenig F&E-Bedarf besteht, da die Ethanolergiebigkeit der einzelnen Sorten weitgehend bekannt ist und die Ertragssteigerungen im statistisch zu erwartenden Rahmen liegen werden. Triticale ist hingegen als Rohstoff für die Ethanolherzeugung nicht im gleichen Umfang erforscht, allerdings liegen einige Studien zur Ethanolergiebigkeit einiger Sorten und der Eigenenzymbildung vor.<sup>114</sup> Diese sollten allerdings im Hinblick auf eine Ethanolherzeugung im großen Rahmen vertieft werden, auch im Hinblick auf die DDGS-Qualität und Wertigkeit eines aus Triticale gewonnenen Nebenproduktes. Auch hinsichtlich einer möglichen Methanisierung der Schlempe fehlen geeignete Daten. Somit besteht sowohl hinsichtlich der Sorten und deren Zulassung als auch für die Bearbeitung des Nachproduktes Forschungsbedarf.

Ähnlich liegen die Verhältnisse beim Roggen. Vor allem die Problematik der Viskosität der Süßmaische ist zu lösen. Aber auch die DDGS-Eigenschaften und deren Wertigkeit sind weitgehend unbekannt, gleiches gilt für die Methanergiebigkeit des Nachproduktes.

---

<sup>112</sup> [www.iogen.ca](http://www.iogen.ca).

<sup>113</sup> Vgl.: [www.iogen.ca](http://www.iogen.ca), Juli 2002

<sup>114</sup> Vgl. Pieper, H. J.: Biotechnologische Eigenschaften von Triticale für die technische Stärkehydrolyse und deren Bedeutung für die Alkoholproduktion, Universität Hohenheim, Vortr. Pflanzenzüchtung 1996, S. 73.

Die Züchtung geeigneter lignozellulosehaltiger Rohstoffe für die Ethanolherstellung stellt auch in Deutschland einen möglichen Forschungsschwerpunkt dar. Dem sollte sich die Züchtung geeigneter Mikroorganismen anschließen, die in der Lage sind, lignozellulosehaltige Rohstoffe mit ausreichender Ausbeute zu Ethanol zu verarbeiten. Dabei ist der enzymatische Zelluloseaufschluß besonders wichtig. Daneben sind Mikroorganismen von Interesse, die C<sub>5</sub>-Zucker zu Ethanol vergären können.

Die Entwicklung von Enzymen, die über eine höhere Temperatur- und Alkoholtoleranz verfügen, verspricht eine höhere Effektivität und Ausbeute in der Fermentation. Dies könnte durch Selektion von Hefestämmen oder Genveränderungen erreicht werden. Höhere Alkoholgehalte in der Maische (bis zu 14 Vol.%) senken den Energieaufwand in der Destillation erheblich.

Bei der Ethanolherstellung aus zuckerhaltigen Rohstoffen ist der Salzgehalt der Maische ein hemmender Faktor. Die Osmotoleranz der Hefen begrenzt den Einsatz von Substraten, wie z.B. Melasse oder die Rezirkulationsrate der Schlempe bei der Dicksaftverwendung. Durch Erhöhung der Rezirkulationsrate der Schlempe in der Maische ließe sich der Primärenergie- und Kühlwasserbedarf einschränken, somit wäre die Entwicklung von osmotoleranten Hefen ebenfalls ein F&E-Ansatz.

Der für den Prozess erforderliche Input an Primärenergie kann durch Nutzung von Biogas, das aus den Kuppelprodukten gewonnen wird, in der thermischen Energieerzeugung deutlich gesenkt werden. Die anaerobe Methanisierung von Getreide- und Kartoffelschlempe ist in landwirtschaftlichen Brennereien bereits heute Stand der Technik, wie weiter oben bereits ausgeführt. Für die Schlempe sind dabei Verweilzeiten von 30 bis 50 Tagen für die vollständige Fermentation erforderlich. Überträgt man dies auf die in dieser Studie betrachteten Betriebsgrößen, wäre ein Fermentervolumen von nicht darstellbarer Größe erforderlich. FuE-Bedarf besteht hier insofern zur Entwicklung einer Technik, die die Verweilzeit im Fermenter auf wenige Tage reduzieren würde.

Auch bei der Ethanolerzeugung aus Dicksaft könnte die Schlempe anaerob behandelt zu einer hohen Energieausbeute führen. Hierbei ist aber zusätzlich der hohe, nicht biologisch abbaubare Salzgehalt zu berücksichtigen. FuE-Bemühungen könnten sich hier darauf konzentrieren, über zusätzliche Verfahrensschritte ein einleitungsfähiges Abwasser zu erhalten.

Durch Verarbeitung bzw. Umwandlung der Reststoffe der Ethanolherstellung aus Getreide und Zuckerstoffen zu Biogas in mittleren und großen Anlagen ließen sich große Einsparpotenziale realisieren, da zum einen die hohen Energieaufwendungen für die Trocknung der Kuppelprodukte entfallen, zum anderen erhebliche Energieausbeuten aus der Verbrennung des Biogases erzielt werden könnten. Nach Einschätzung der Verfasser ließe sich ein großer Teil des Energiebedarfs für die Destillation durch das erzeugte Biogas abdecken.

Durch sinnvoll eingesetzte Kraft-Wärme-Kopplung lässt sich die energetische Ausbeute noch weiter verbessern. Andererseits entfällt der Erlös aus dem Verkauf der hochwertigen Kuppelprodukte. Die wirtschaftlich optimale Lösung ist im Einzelfall zu ermitteln und hängt wesentlich von den Investitionskosten und den Primärenergiekosten sowie Futtermittelerlösen ab.

Ein weiteres Feld, in dem F&E-Bedarf besteht, ist die Fermentation des zuckerhaltigen Rohstoffs zu Ethanol. Dies wird heute fast ausschließlich mit freien Hefezellen durchgeführt. Hier gab es in der Vergangenheit Bemühungen, flokkulierende Hefen einzusetzen, d. h. Agglomerate, die in einem Fermentersystem zurückgehalten werden können. Eine Weiterentwicklung in diesem Bereich stellen die Immobilisierungstechniken dar, die dazu führen, dass Zellen wie z. B. hier die Hefen in einer Matrix eingehüllt werden und somit physikalisch in dem jeweiligen Reaktionsgefäß zurückgehalten werden können. Limitierend wirkt die Auswahl an Immobilisierungsmaterialien, die in einem Fermentationssystem sowohl den Scherkräften als auch den Angriffen der Mikroorganismen gewachsen sind, aber auch den extremen Belastungen Stand halten, die durch eine CO<sub>2</sub>-Produktion des Mikroorganismus auftreten.

Darüber hinaus kann die Prozessführung durch eine verbesserte Betriebskontrolle optimiert werden. So besteht heute noch weitgehend Unklarheit über die Abläufe in den Zellen bei der Ethanolbildung. Die PH-Messung erfolgt ungenau und auch die Analytik von Zuckern gestaltet sich problematisch. Verbesserungspotenzial gibt es auch bei der Analytik von Stärke. Die Bildung von Maltose, Maltobiose, Michsäure, Essigsäure und sonstiger Fehlgärungen gilt es zu vermeiden.

Geruchsemissionen entstehen bei der Trocknung der Schlempe. Da dies ein erhebliches Ausmaß annehmen kann, wird zunehmend eine Gasreinigung notwendig, die technisch noch weitgehend unausgereift ist.

Hier sollte eine Energierückführung möglich sein, um die zusätzlichen Energiekosten zu begrenzen.

In diesem Zusammenhang steht auch die Qualität des Kuppelproduktes DDGS. Durch Maßnahmen insbesondere bei der Trocknung sollte eine Verbesserung der Qualität bzw. eine gleichbleibend hohe Qualität erreicht werden. Dadurch kann eine Aufwertung des Produktes erreicht werden, was Absatzpotenzial und Wirtschaftlichkeit verbessern würde. Allerdings sollten auch alternative Verwendungsmöglichkeiten erforscht werden, da das Absatzpotenzial für das Futtermittel DDGS begrenzt ist.

Ein weiteres Kuppelprodukt ist das bei der Fermentation anfallende CO<sub>2</sub>. Es kann relativ einfach gesammelt und aufgearbeitet werden. Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der diesbezüglichen Prozessgestaltung sowie hinsichtlich der Vermarktungsmöglichkeiten.

Wie an anderer Stelle bereits ausgeführt, existieren derzeit keine aktuellen, auf Deutschland bezogenen Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen der Bioethanolherstellung, die den Stand der Technik bzw. realistische Zukunftswerte zugrundelegen. Eine derartige Untersuchung erscheint aber dringend geboten, um Bioethanol ökologisch bewerten zu können.

Es liegen Studien neueren Datums aus den Vereinigten Staaten vor, die zu deutlich positiveren Ergebnissen hinsichtlich der Energie- und Ökobilanz für Ethanol kommen als bekannte deutsche bzw. europäische Studien. Aufgrund anderer Rohstoffe und teilweise anderer Prozessschritte in Landwirtschaft und Konversion können diese Ergebnisse nicht einfach auf Deutschland übertragen werden. Eigene praxisbezogene Berechnungen der Verfasser unter Zugrundelegung neuer Technologien bestätigen den Trend der sich verbessernden Energie- und Ökobilanzen.<sup>115</sup>

In diesem Zusammenhang ist eine wissenschaftlich fundierte Untersuchung des Brennwertäquivalents von Ethanol im Kraftstoff besonders wichtig. Legt man die unteren Heizwerte zugrunde, beträgt der Energiegehalt von Ethanol im Vergleich zu Ottokraftstoff nur ca. 65 %. Befürworter von Bioethanol argumentieren, dass der Sauerstoffgehalt von Ethanol zu einer deutlichen Verbesserung der Verbrennung und Energieausbeute führt. Mineralöl- und Automobilindustrie beurteilen dies weitgehend anders. Die vorliegenden Studien zu diesem Thema sind älteren Datums

---

<sup>115</sup> In Frankreich, das bereits seit Jahren ETBE fördert, wurde eine Untersuchung zur energetischen und ökologische Bewertung vorgenommen. Ergebnisse sollen in der zweiten Jahreshälfte 2002 vorliegen.

und für die neue Motorengeneration nicht mehr relevant. Daher sollten Energieausbeute bzw. Kraftstoffverbrauch und Motorenleistung bei Verwendung von Ethanol-Kraftstoffgemischen und ETBE-Kraftstoffgemischen wissenschaftlich untersucht werden.

In Europa besteht ein Überangebot an Ottokraftstoff bei vergleichsweise knapper Versorgung mit Dieseldieselkraftstoff. Daher besteht seitens der Mineralölindustrie ein größeres Interesse an der Substitution von Dieseldieselkraftstoff. Bei Diesel ist in Deutschland zudem ein ungebrochener Trend zu verstärkter Nachfrage festzustellen. Von daher sollten auch die technischen Möglichkeiten der Beimischung von Ethanol zu Diesel geprüft werden.

Ein weiterer wichtiger Forschungsansatz ist die Nutzung von Bioethanol als Wasserstoffträger für die Brennstoffzelle.

Zusammenfassend sind die relevanten Forschungsansätze in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 6: Forschungsansätze

Input für die Ethanol- erzeugung	Forschungsansatz
Getreide	Züchtung, verbesserte Erträge pro ha, verbesserte Ausbeuten Anbau, Energieeinsatz Anbau. Schwerpunkt Roggen und Triticale. Nach Auskünften von Saatzüchtern 4 bis 7 % Ethanol-Ausbeuteerhöhung pro Einsatzmenge in der Fermentation durch Züchtung möglich
Zuckerrüben	ähnlich Getreide
Lignozellulosehaltige Rohstoffe	Forschungsschwerpunkt Züchtung geeigneter Pflanzen
Enzyme, Hefen usw.	Forschungsschwerpunkt Züchtung geeigneter Mikroorganismen, die in der Lage sind, lignozellulosehaltige Rohstoffe mit ausreichender Ausbeute zu Ethanol zu verarbeiten. Schwerpunkt enzymatischer Zelluloseaufschluß, weiterhin sind Mikroorganismen von großem Interesse, die in der Lage sind, C <sub>5</sub> -Zucker zu Ethanol zu vergären
Wasser	Wasserverbrauch minimieren durch Recycling des Prozesswassers
Energie	KWK, Biogasnutzung in der thermischen Energieerzeugung
Personal	Training, Verbesserte Betriebskontrolle, Hygiene

Tabelle 6: Forschungsansätze (Forts.)

Prozess der Ethanol- erzeugung	Forschungsansatz
Verbesserung der Ausbeute in der Fermentation	Screening von Mikroorganismen, insbesondere Hefen, die in höherem Maße alkohol-, temperaturtolerant und nicht anfällig gegen Infektionen sind
Verringerung des Energieeinsatzes	Optimale Energieeffizienz durch Minimierung des spez. Verbrauchs und möglichst vollständige Ausnutzung der erzeugten Energiemenge. Ausnutzung des Temperaturgefälles, z. B. durch Druckstufen Rektifikation. Optimierungsbedarf im Bereich Trocknung sowie Nutzung der Restwärme (< 70-80 °C)
Verbesserte Prozessführung durch verbesserte Betriebs- kontrolle insbes. Analytik	Noch weitgehend Unklarheit über die Abläufe in den Zellen (Zellteilung, Ethanolbildung); PH Messung derzeit zu ungenau; Analytik von Zuckern problematisch; bessere Prozessführung durch verbesserte Analytik, insbesondere bei Stärke; Vermeidung der Bildung von Maltose und Maltobiose; Vermeiden der Bildung von Milchsäure, Essigsäure sowie sonstiger Fehlgärungen; Verbesserungspotential bei der Nährstoffversorgung der Hefe
Lignozellulosehaltige Roh- stoffe	Der herausragende Forschungsschwerpunkt weltweit, hier erschliessen sich große Rohstoffreserven zu u.U. sehr kostengünstigen Preisen. Beispielsweise können Abfallströme zu Ethanol verarbeitet werden. Forschungsschwerpunkt sind die Entwicklung der Prozesse zum Zelluloseaufschluss und Fermentation sowie die Identifikation bzw. Entwicklung (Schwerpunkt Genmanipulation) geeigneter Mikroorganismen
Verbesserung d. Energieeffi- zienz in der Trocknung	Verringerung des Energieeinsatzes insbesondere durch Nutzung der Abwärme aus der Trocknung im Destillationsprozess.
Erhebliches Energieeinspar- potenzial durch Vermeidung der Trocknung von Schlempe	Siehe auch unter Output. Entwicklung von Prozessen zur wirtschaftlichen Nutzung der Schlempe als Energieträger

Tabelle 6: Forschungsansätze (Forts.)

Geruchsemissionen in der Trocknung verhindern bei möglichst geringem Energieaufwand	Aufgrund der teilweise erheblichen Geruchsemissionen durch die Trocknung wird zunehmend eine Gasreinigung notwendig, die noch weitgehend technisch unausgereift ist. Eine Energierückführung sollte erfolgen, um die zusätzlichen Energiekosten zu begrenzen
Analyse der Energie- und CO <sub>2</sub> -Bilanzen	Derzeit keine wissenschaftlich fundierten Studien über Energie-, CO <sub>2</sub> -Bilanz der Bioethanolherstellung und -verwendung verfügbar, die den aktuellen Stand der Technik bzw. die realistischen Zukunftswerte für Deutschland widerspiegeln
<b>Output der Ethanol- erzeugung</b>	<b>Forschungsansatz</b>
Ethanol als Energieträger für Brennstoffzellen	Derzeit wird in Deutschland Methanol als Wasserstoffträger intensiv diskutiert. Ethanol stellt eine ungiftige Alternative dar
Ethanolbeimischung zu Benzin in höheren Anteilen	Praxisversuche in den USA haben gezeigt, dass bei herkömmlichen Verbrennungsmotoren bis zu 40% Ethanol dem Kraftstoff beigemischt werden kann
Energiegehalt von Ethanol-Benzingemischen	Bislang gibt es keine verlässlichen Aussagen über die energetische Wirkung von Ethanol im Benzin. Es ist bekannt, dass Ethanol als Oxygenat wirkt und die Verbrennungseigenschaften verbessert
Beimischung von Ethanol zu Dieseldieselkraftstoff	Bislang findet Bioethanol keine Verwendung in Dieseldieselkraftstoffen. Sofern diese Option grundsätzlich durchführbar erscheint, bedarf es hier systematischer Forschung
CO <sub>2</sub> Gewinnung und Vermarktung	Fermentationsprozesse sollten so optimiert werden, dass das entstehende CO <sub>2</sub> leicht gewonnen und aufgearbeitet werden kann. F&E-Bedarf besteht hinsichtlich der Verwendung des CO <sub>2</sub>
DDGS	Durch Maßnahmen insbesondere bei der Trocknung eine Verbesserung der Qualität bzw. Konstanz der Qualität erreichen. Aufgrund erheblicher zusätzlicher Mengen an proteinhaltigem DDGS (USA, Europa) sollten zudem alternative Verwendungen in Betracht gezogen und erforscht werden

### 3.2.5 Wirtschaftliche Betrachtung der Erzeugung von Ethanol

Im folgenden Kapitel werden die Vollkosten für die Herstellung von Bioethanol auf Basis verschiedener Rohstoffe in Anlagen mit unterschiedlicher Kapazität kalkuliert. Die Berechnungen basieren auf Anlagekonzeptionen, die von der Firma Vogelbusch, die über umfangreiche internationale Erfahrungen im Bau von Ethanolanlagen verfügt, für diese Studie erstellt wurden. Die vorgeschlagenen Anlagekonzeptionen sind vielfach erprobt und durch Referenzen unterlegt. Darüber hinaus sind Erfahrungen von KWST und Erkenntnisse aus Besichtigung von Betrieben mit Anlagen anderer Hersteller sowie aus Expertendiskussionen im In- und Ausland eingeflossen.

Nicht erprobte Technik ist nicht kalkulierbar. Sie kann sowohl hinsichtlich der Machbarkeit des Produktionsbetriebes als auch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit zu Fehlschlüssen führen.<sup>116</sup> Aus diesem Grunde ist in dieser Studie auf bewährte Verfahren zurückgegriffen worden, um dann in der Diskussion Ansatzpunkte für Verbesserungen der Wirtschaftlichkeit aufzuzeigen.

Weizen, Triticale und Mais sowie Zuckerrüben und Kartoffeln wurden als für die Bioethanolherstellung relevante Rohstoffe betrachtet. Auf die zusätzliche Darstellung von Gerste wurde verzichtet, da sie ähnliche Eigenschaften aufweist wie die betrachteten Getreidesorten. Bei der Verwendung von Zuckerrüben wurde zwischen der Ethanolproduktion aus Melasse und Dicksaft unterschieden. Darüber hinaus ist denkbar, dass im Falle der Ethanolproduktion aus Dicksaft in Annexanlagen auch der direkt anfallende Dünnsaft mit ca. 17 % Zuckergehalt verarbeitet wird. Allerdings ist dies nur in den Kampagnemonaten Oktober bis Dezember möglich, da dieses Halbfabrikat nicht lagerfähig ist. Auf eine zusätzliche Darstellung für Dünnsaft wurde verzichtet. Die Verwendung von Kartoffeln ist – wie an anderer Stelle dargestellt – ökonomisch wenig sinnvoll. Mais steht nur sehr bedingt zu attraktiven Einstandspreisen für die Ethanolherzeugung zur Verfügung. Dennoch werden sowohl Mais wie auch Kartoffeln der Vollständigkeit halber nachfolgend berücksichtigt.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wurden vier repräsentative Kapazitätsgrößen ausgewählt. Die kleinste Anlage hat eine Jahreskapazität von ca. 20.000 m<sup>3</sup>. Auf die Untersuchung einer noch kleineren Variante wurde verzichtet, da sich bereits bei der kleinen Variante zeigt, dass auf-

---

<sup>116</sup> Vgl. Schlussbericht Ahausen Eversen.

<b>Rohstoffkosten</b>	Su. Proportionale Kosten	Herstellkosten	Selbstkosten	Konversionskosten	Vollkosten
Transportkosten Rohstoff					
Hilfsstoffe					
Energie					
Wasser					
Abwasser					
Reparaturkosten					
<b>Personalkosten Fertigung</b>	Summe Fixe Kosten				
Zinsen Finanzierung Invest					
Zinsen Umlaufvermögen					
kalkulatorische Abschreibungen					
Reparaturkosten*					
<b>sonst. Overhead (= sonst. FGK f. Vertrieb und Verwaltung)</b>					
Transportkosten Produkt frei Kunde					
<b>Gewinnaufschlag</b>					

Quelle: KWST

Abb. 21: Kalkulationsschema KWST

grund der hohen Investitionskosten und den damit verbundenen hohen Kapitalkosten der Neubau einer Anlage unterhalb dieser Größe wirtschaftlich nicht sinnvoll ist. Dies kann sich anders darstellen, wenn vorhandene, größtenteils abgeschriebene Kapazitäten genutzt werden können.

Für die Anlagen wurde mit 333 Produktionstagen p.a. gerechnet, da grundsätzlich von einer ca. 4-wöchigen Stillstandszeit für Wartung und Instandsetzungsarbeiten ausgegangen wurde. Für die Kalkulation der Kosten wurde das abgebildete Kostenartenschema zugrundegelegt.

Es ist zu beachten, dass die sog. Konversionskosten<sup>117</sup> alle Kosten enthalten, die bei der Verarbeitung bzw. Umwandlung (Konversion) des Rohstoffes entstehen. Der Gewinnaufschlag ist darin nicht enthalten. Im folgenden werden die Kostenarten entsprechend der Reihenfolge in der Übersicht erläutert.

<sup>117</sup> Der Begriff Konversion hat sich in der Brennereiwirtschaft eingebürgert und umfasst alle wirtschaftlichen und technischen Maßnahmen, die erforderlich sind, um einen Rohstoff in ein Fertigprodukt zu überführen. In unserem Fall wäre dies beispielsweise die Überführung von Getreide (Stärke) in Ethanol.

### 3.2.6 Kosten der Ethanolerzeugung

Den **Rohstoffkosten** kommt im besonderen Maße Bedeutung zu, da sie mit 50 bis 70 % den Großteil der Herstellkosten ausmachen. Sie setzen sich aus den Beschaffungskosten, den Kosten für Lagerhaltung und Transportkosten frei Fabrik zusammen. Es wird davon ausgegangen, dass die Lagerhaltung beim landwirtschaftlichen Produzenten bzw. Händler erfolgt und damit die Lagerhaltungskosten im Einkaufspreis enthalten sind. Die Transportkosten frei Fabrik sind nicht in den Einkaufspreisen enthalten (ex works Preise), sie werden separat kalkuliert und gehen in die Konversionskosten ein. In den Beispielkalkulationen wurden im allgemeinen derzeit übliche Marktpreise zugrunde gelegt.

Als **zuckerhaltige Rohstoffe** werden weltweit Zuckerrohr und Zuckerrüben eingesetzt. In Europa wird überwiegend **Zuckerrübenmelasse und Dicksaft** zur Ethanolherstellung verwandt. Die Preise für Melasse werden von vielschichtigen Marktmechanismen beeinflusst und unterliegen erheblichen Schwankungen. Dagegen sind Dicksaftpreise meist unternehmensinterne Verrechnungspreise. Den schwankenden Marktpreisen für Melasse wurde dadurch Rechnung getragen, dass für die Kalkulation mit 85 €/t Melasse ein langjähriger Durchschnittswert zugrundegelegt wurde.<sup>118</sup> Zur Vereinfachung wurde mit den gleichen Transportkosten wie bei Rüben gerechnet. Der Rohstoffeinsatz bei der Melasseverarbeitung beträgt ca. 3,3 bis 3,4 t/m<sup>3</sup> Ethanol. Der Dampfverbrauch für die Konversion wird auf 3,6 t/m<sup>3</sup> Ethanol und der Stromverbrauch auf 162 kWh/m<sup>3</sup> Ethanol geschätzt.

In der EU, vor allem in Frankreich, wird Bioethanol u. a. aus eigens für die Ethanolherstellung angebauten Rüben hergestellt. Desweiteren gelangen Nebenprodukte wie z.B. B-Ablauf im Rahmen der üblichen Zuckergewinnung in die Ethanolherstellung. Für eine Bioethanolherstellung in Deutschland wäre Vergleichbares denkbar. So gibt es Überlegungen, aus einem Seitenstrom der Zuckerherstellung einen Sirup mit einem Zuckergehalt von ca. 65 bis 68 % zu gewinnen, der dann der Ethanolherstellung zugeführt werden soll. Ein solcher Sirup ließe sich sehr viel einfacher als Melasse zu Ethanol verarbeiten, da dieser weniger Nichtzuckerstoffe enthält als die handelsübliche Melasse. Es ist ebenfalls denkbar, den bei der

---

<sup>118</sup> Die Marktpreise im Jahr 2002 liegen mit ca. 100 €/t frei geliefert zwar deutlich höher, Marktteilnehmer gehen aber von zukünftig deutlich geringeren Preisen aus. Im Jahr 2000 lagen die Melassepreise noch bei 60 €/t frei Kunde.

Zuckerproduktion anfallenden Dünnsaft mit ca. 17 % Zucker direkt zu Ethanol zu verarbeiten. Dies ist technisch lösbar und hat den Vorteil der Energieersparnis bei der Eindampfung des Dünnsaftes auf 65 %. Allerdings ist der Dünnsaft nicht lagerfähig. Daher kommt dieser Verarbeitungsweg nur in den Kampagnemonaten Oktober bis Dezember in Frage. Aufgrund dieser Tatsache wurde diese Variante nicht weiter untersucht.

In der durchgeführten Beispielrechnung gibt die Südzucker AG die Einsatzmenge für die Verarbeitung von Dicksaft mit 1,59 t/m<sup>3</sup> Ethanol an. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass dieser Wert auf den Zuckergehalt im Dicksaft (auf 100 % Zucker) umgerechnet ist. Die tatsächliche Einsatzmenge ist also um den entsprechenden Faktor höher. Der von der Zuckerindustrie angegebene Einstandspreis ist analog auf reinen Zucker umgerechnet.

Im Verhältnis zum Ethanolpreis sind die Rohstoffkosten bei stärkehaltigen Rohstoffen höher als bei zuckerhaltigen Rohstoffen, auch unterliegen sie dem EU-Interventionsmechanismus für Getreide, was zu geringeren Schwankungsbreiten beim Rohstoffbezug führt.

**Weizen** ist der gebräuchlichste Rohstoff für die Ethanolherstellung in der EU. Zur Herstellung von 1 m<sup>3</sup> Ethanol wird entsprechend dem Vogelbusch-Gutachten von einem Weizenbedarf von 2,85 t ausgegangen. Bei guter Prozessführung kann mit einem Rohstoffausbeute von 2,7 t/m<sup>3</sup> Ethanol gerechnet werden. Dieser Ansatz ist in der Kalkulation berücksichtigt worden. Der Energiebedarf liegt insgesamt bei ca. 5,45 t Dampf/m<sup>3</sup> und 358 kWh/m<sup>3</sup>.

**Triticale** ist brennereitechnologisch dem Weizen gleichwertig. Die derzeitige Verfügbarkeit ist begrenzt, da für Triticale zur Zeit kein Markt besteht. Im Brennereibetrieb lässt sich ohne Schwierigkeit Triticale gegen Weizen austauschen. Auch die Behandlung des Nachprodukts (Schlempe) unterliegt den gleichen Verfahrensschritten. So ist auch das Nachprodukt DDGS im Futtermittelbereich dem DDGS auf Weizenbasis gleichwertig. Es ist somit im weitesten Sinne eine organisatorische und ökonomische Frage, inwieweit Weizen oder Triticale bei der Bioethanolherzeugung zum Einsatz kommt. Darüber hinaus besteht beim Triticaleanbau noch ein Ertragssteigerungspotential. Der Rohstoffbedarf ist mit 2,75 t/m<sup>3</sup> geringfügig höher als bei Weizen. Auch der Energiebedarf liegt mit 6,15 t Dampf/m<sup>3</sup> geringfügig höher.

Aus **Roggen** lässt sich ebenfalls Ethanol herstellen. Der Pentosengehalt im Roggen ist wesentlich höher als bei Weizen und Triticale und

bewirkt, dass sich dieser schlechter verarbeiten lässt. Die dadurch verursachte Schleimbildung bewirkt eine Zähflüssigkeit der Maische, die im Abtrieb Probleme bereitet. Auch lässt sich die Roggen-Schlempe unter normalen Bedingungen schlechter rezirkulieren, wodurch sich der Dünnschlempeanfall erhöhen würde. Dies führt bei der DDGS-Herstellung zu einem höheren Dampfverbrauch als bei Weizen und Triticale. Allerdings kann durch Zugabe von zusätzlichen Enzymen dieser Erscheinung entgegengewirkt werden, was zu erhöhten Hilfsstoffkosten führt. Über den Futtergehalt und die Wertigkeit von DDGS auf Roggenbasis liegen bisher kaum Erfahrungen vor. Bekannt ist, dass sich Roggenschlempe unkonzentriert nicht zur Verfütterung an Schweine eignet. Aufgrund des hohen Proteingehalts ist die getrocknete Schlempe (oder DDGS) relativ hochwertig einzuschätzen. Aufgrund fehlender Erfahrungen wurde bei der Kalkulation der Futter- bzw. Marktwert mit dem derzeitigen Marktwert für DDGS auf Weizenbasis bewertet. Bei guter Ausbeute kann mit einem Rohstoffbedarf von 2,85 t/m<sup>3</sup> Ethanol gerechnet werden, was in der Kalkulation zugrundegelegt wird. Der Dampfverbrauch ist ähnlich dem der Triticaleverarbeitung.

**Mais** ist als Rohstoff für die Ethanolherstellung grundsätzlich sehr gut geeignet. Die zur Zeit in Deutschland zugelassenen Sorten lassen – zumindest was Nord- und Mitteldeutschland betrifft – einen erntesicheren Anbau nicht zu. Der Rohstoffeinsatz liegt bei Mais bei 2,4 t/m<sup>3</sup> Ethanol. Der Energieverbrauch wird mit 5,6 t Dampf/m<sup>3</sup> Ethanol und 310 kWh/m<sup>3</sup> angegeben.

Die Bioethanolherstellung aus **Kartoffeln** ist mit wesentlichen Nachteilen verbunden. Transport und Lagerung der Kartoffeln, die über 80 % Wasser enthalten, verursachen erhebliche Kosten. Der technologische Aufwand ist sehr viel umfangreicher als bei anderen stärkehaltigen Rohstoffen. Dies beginnt mit einer sehr aufwändigen und abwasserträchtigen Kartoffelwaschanlage und endet damit, dass die Eindickung der Kartoffelschlempe technisch nicht erprobt ist und aller Voraussicht nach auf erhebliche Schwierigkeiten stoßen wird. Versuche, aus Kartoffeln Bioethanol herzustellen, wurden in Ahausen Eversen durchgeführt, das Ergebnis ist wenig ermutigend gewesen<sup>119</sup>. Der Rohstoffeinsatz liegt bei ca. 10 t/m<sup>3</sup> Ethanol. Die Rohstoffpreise für Kartoffeln sind besonders schwer vorherzusagen, da aufgrund schwankender Erntemengen und unberechenbarer Marktmechanismen erhebliche Preisschwankungen in

---

<sup>119</sup> Siehe Abschlussbericht Ahausen Eversen.

der Vergangenheit zu verzeichnen waren. Nach Einschätzung der Verfasser liegen keine Erfahrungen für eine Ethanolherstellung auf Basis von Kartoffeln im großtechnischen Maßstab vor.<sup>120</sup> Dies ist vermutlich auch nicht sinnvoll. Die Modellrechnungen werden der Vollständigkeit halber dennoch vorgenommen.

Für die **Transportkosten** der Rohstoffe wurde pauschal ein Wert von 0,25 €/t km zugrunde gelegt. **Hilfsstoffe** sind Stoffe, die bei der Fertigung in das Erzeugnis eingehen, ohne wesentlicher Bestandteil des Erzeugnisses zu werden. Der Hilfsstoffbedarf ergibt sich aus dem spezifischen Verbrauch je m<sup>3</sup> Ethanol multipliziert mit der Erzeugungsmenge. Ein Angebotsvergleich hat ergeben, dass keine kapazitätsbezogenen Unterschiede bei den Bezugspreisen bestehen. Bei branchenüblichen Bezugsmengen handelt es sich jeweils um Paletten- und Tankwagenlieferungen, was in jedem Fall gegeben ist.

Die für die alkoholische Gärung erforderlichen Hilfsstoffe wie Phosphorsäure und Ammoniak dienen vor allem der Nährstoffversorgung der Hefe. Diese können als Substrat oder als handelsübliche Mischungen eingesetzt werden. Die Schwefelsäure dient der Ansäuerung, um die Maische zu verzuckern und auf gärfähigen PH-Wert einzustellen. Antischaummittel verhindern eine für den Prozess störende Schaumbildung.

Die Mengenangaben für den **Dampfverbrauch** basieren auf dem Vogelbusch-Gutachten. Als Brennstoff wurde schweres Heizöl angenommen, zu einem mittleren Bezugspreis von 150,00 €/t. Dieser Preis entspricht Durchschnittswerten der jüngeren Vergangenheit. Auf Basis dieses Energiepreises wurde ein Dampfpreis von 12,80 €/t Dampf errechnet, der für alle Rohstoffe und Anlagenkapazitäten als konstant angenommen wird. Der Primärenergiepreis spielt eine wesentliche Rolle, da die Dampfkosten beispielsweise bei Weizen etwa 11 % der Vollkosten und 14 % der Herstellkosten verursachen. Bei der Verarbeitung von Melasse verursachen die Dampfkosten bei den zugrundegelegten Preisen ca. 9 % der Vollkosten. Der angenommene gesamte Dampfverbrauch einschließlich der Aufarbeitung der Kuppelprodukte für die einzelnen Rohstoffe ist in der nachstehenden Tabelle wiedergegeben:

Der Hilfsstoffbedarf für die Wasseraufbereitung ist ebenfalls eingerechnet. Die Investitionen für die Dampferzeuger sind im Gutachten im Gesamtprojekt berücksichtigt, so dass Kapitalkosten nicht in Ansatz gebracht werden müssen.

---

<sup>120</sup> Dies wären Anlagen mit einer Jahresproduktionskapazität von mehr als 5.000 m<sup>3</sup>.

Tabelle 7: Dampfverbrauch in Abhängigkeit vom eingesetzten Rohstoff

Rohstoff	Dampfverbrauch (t Dampf je m <sup>3</sup> Ethanol)
Zuckerrüben, Melasse	3,60
Zuckerrüben, Dicksaft <sup>a</sup>	2,90
Weizen	5,45
Triticale	6,15
Roggen	6,15
Mais	5,35
Kartoffeln	8,55

- a. Es ist zu berücksichtigen, dass bei der Herstellung von Ethanol aus Dicksaft in einer Annexanlage die Dampf- bzw. Energiekosten durch den Energieverbund mit der Zuckerfabrik deutlich gesenkt werden können.

Beim Bedarf für **elektrische Energie** wurden ebenfalls die von Vogelbusch genannten Verbrauchsmengen in der Kalkulation berücksichtigt. Bei den Bezugskosten sind mit 0,05 €/KWh derzeit marktübliche Preise in Ansatz gebracht worden.

Eine Kraftwärmekopplung ist grundsätzlich möglich und wünschenswert, da sie die Energiebilanz wesentlich verbessert. Dieses kann erfolgen, in dem hochgespannter Dampf erzeugt wird und in einer zwischengeschalteten Dampfturbine mit angeschlossenem Generator, der Strom erzeugt, teilentspannt. Der teilentspannte Dampf wird als Prozesswärme genutzt. Dieses ist ein vielfach praktiziertes Verfahren in der Zucker- und Alkoholindustrie.

Des weiteren ist es möglich, Gasturbinen mit nachgeschalteten Generator einzusetzen, die Strom erzeugen. Die Abgase der Turbine werden in einen Abhitzekessel geleitet, der den nötigen Prozessdampf liefert. Derartige Ansätze können über reduzierte Strompreise in den Kalkulationen abgebildet werden.

**Prozesswasser** sollte nach Möglichkeit grundsätzlich als Trinkwasserqualität zur Verfügung stehen. Bei der Herstellung von Bioethanol sind die Anforderungen nicht so hoch anzusetzen, da kein Genussmittelethanol hergestellt wird. Allerdings muß sichergestellt sein, dass das Prozesswasser die Fermentation nicht beeinträchtigt.

**Kühlwasser** wird in der Regel über Kühlaggregate im Kreislauf gefahren. Es sind lediglich die Verdunstungs- und Entsalzungsverluste auszugleichen, die kaum zu Buche schlagen. Für die Kühlkreisläufe sind in den Gutachten Investitionsaufwendungen berücksichtigt, die sich in den kalkulatorischen Kosten niederschlagen.

Aus den genannten Gründen sind die Wasserhaltungsaufwendungen mit lediglich 0,50 €/m<sup>3</sup> Wasser (das entspricht z.B. bei Weizen 3 €/m<sup>3</sup> Ethanol) in Ansatz gebracht.

Die **Abwasserkosten** in einer Getreidebrennerei, in der das Nachprodukt zu DDGS verarbeitet wird, sind relativ gering. Das bei der Eindampfung anfallende Brüdenkondensat wird weitgehend als Prozesswasser wieder eingesetzt. Dies entspricht dem Stand der Technik.

Bei der Ethanolherstellung aus zuckerhaltigen Rohstoffen liegen derartige Erfahrungen mit der Rückführung von Kondensat nicht vor. In der Regel wird das aus der Schlempeeindampfung anfallende Brüdenkondensat in einer biologischen Kläranlage anaerob und aerob gereinigt, bevor es abgeleitet werden kann.

In den Vogelbusch-Gutachten sind keine Investitionsaufwendungen für eine anaerob/aerob Behandlung des Kondensates enthalten. Daher ist für die Kalkulation der Reinigung des Abwassers auf Erfahrungen von KWST zurückgegriffen worden, und ein Abwasserkostenansatz in Höhe von 1,50 €/m<sup>3</sup> Abwasser wurde in den Berechnungen zugrundegelegt.

Die **Personalkosten** sind aufgrund eigener Erfahrungen und Erkenntnissen aus dem Ausland etwas niedriger angesetzt worden als im Vogelbusch-Gutachten. Der Personalbedarf unterscheidet sich nicht in Abhängigkeit von dem Rohstoff, da in allen Größenvarianten davon ausgegangen wird, dass die Verarbeitungsschritte weitgehend automatisiert sind.

In den Reparatur- und Ersatzinvestitionen sowie in den Overheadkosten ist zusätzlicher Aufwand für Wartung und Instandhaltung berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass in den Produktionsstillstandszeiten mit Fremdfirmen als Subunternehmer zusammengearbeitet wird.

Als Personalaufwand wird als Durchschnittswert je Mitarbeiter 40.000 € eingeplant. Für die kleinste Anlagenvariante (60 m<sup>3</sup> Ethanol/Tag) errechnet sich dann der gesamte Personalaufwand wie folgt:

$$18 \text{ MA} \times \text{€ } 40.000 = 720.000 \text{ €/a} \text{ bzw. } \frac{18 \text{ MA} \times \text{€ } 40.000}{19.980 \text{ m}^3} = 36,04 \text{ €/m}^3 \text{ Ethanol}$$

Die kleine Anlage lässt sich nur als Annexbetrieb in Anlehnung an ein Getreidelager, eine Mühle oder eine Zuckerfabrik wirtschaftlich betreiben. Leichte Personalreduzierungen sind beim Betrieb als Annexanlage noch denkbar.

Die Personalbesetzung der mittleren und großen Anlagen ist wie folgt angesetzt:

Tabelle 8: Personalbesetzung

Funktion	Anzahl Mitarbeiter
Betriebsleitung	1
Produktionsleitung (Brennmeister)	1
Büro/Sekretariat	1
Labor	2
Entladung/Hof	4
Regeltechniker	2
Schichtführer	5
Anlagenfahrer	5
Helfer	5
<b>Summe</b>	<b>26</b>

Es wird angenommen, dass für die nächstgrößeren Anlagen (360 m<sup>3</sup> Ethanol/Tag bzw. 720 m<sup>3</sup> Ethanol/Tag) jeweils zusätzlich vier Mitarbeiter erforderlich sind. Der Personalbedarf und die gesamten Personalkosten für die verschiedenen Anlagengrößen stellen sich dann wie folgt dar:

Tabelle 9: Personalkosten der verschiedenen Anlagen

Indikator	Kleinste Anlage	Mittlere Anlage	Mittelgrosse Anlage	Grosse Anlage
	(60 m <sup>3</sup> /d)	(120 m <sup>3</sup> /d)	(360 m <sup>3</sup> /d)	(720 m <sup>3</sup> /d)
Personalbedarf	18 MA	26 MA	30 MA	34 MA
Personalaufwand p.a.	720 T€	1.040 T€	1.200 T€	1.360 T€
Lohnstückkosten	36,04 €/m <sup>3</sup>	17,35 €/m <sup>3</sup>	10,01 €/m <sup>3</sup>	5,67 €/m <sup>3</sup>

Die **Kapitalkosten** setzen sich zusammen aus den Zinsen für die Gesamtinvestitionssumme und für die Finanzierung des Umlaufvermögens sowie die kalkulatorischen Abschreibungen. Es wurde mit einem

Zinssatz in Höhe von 6,5 % p.a. kalkuliert. Dies entspricht dem durchschnittlichen Zinssatz für langfristiges Fremdkapital.<sup>121</sup> 20 % des Jahresumsatzes mit dem Hauptprodukt Ethanol (bewertet mit 550 €/m<sup>3</sup>) wurde als erforderliches Umlaufvermögen angesetzt.

*Tabelle 10: Geschätzte Investitions- und Kapitalkosten*

Rohstoff	Kleine Anlagen	Mittlere Anlagen	Große Anlagen	Größte Anlage
	60 m <sup>3</sup> /d	180 m <sup>3</sup> /d	360 m <sup>3</sup> /d	720 m <sup>3</sup> /d
<b>Geschätzte Investitionskosten (Mio €)</b>				
Zuckerrüben				
Melasse	21,36	29,56	40,71	59,45
Rüben Dicksaft	20,76	28,96	40,11	58,85
Weizen	31,63	48,49	69,49	105,64
Roggen	32,05	49,06	70,24	106,39
Triticale	31,63	48,49	69,49	105,64
Mais	31,63	48,49	69,49	105,64
Kartoffel	30,00	50,00	70,00	90,00
<b>Geschätzte Kapitalkosten pro m<sup>3</sup> Ethanol (€/m<sup>3</sup>)</b>				
Zuckerrüben				
Melasse	148,80	72,49	52,15	40,00
Rüben Dicksaft	144,82	71,17	51,48	39,67
Weizen	216,91	114,34	83,96	65,53
Roggen	219,69	115,60	84,78	65,94
Triticale	216,91	114,34	83,96	65,53
Mais	216,91	114,34	83,96	65,53
Kartoffel	206,10	117,68	84,52	56,89

Der gesamte Investitionsaufwand bzw. die sich daraus abgeleiteten Abschreibungen sind dem Gutachten von Vogelbusch entnommen. Es wurde eine kalkulatorische Abschreibungsdauer von grundsätzlich zehn Jahren zugrunde gelegt. Eine Differenzierung der Abschreibungsperiode für Gebäude und Anlagen wurde nicht vorgenommen, da dies für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht von Relevanz ist. Zudem ist der Gebäudeanteil sehr gering bei derartigen Anlagen. Die gesamten Investi-

<sup>121</sup> Einheitliche mündliche Auskunft von Kundenbetreuern der Geschäftsbanken Commerzbank AG und Dresdner Bank AG, Juli 2002.

tionskosten der einzelnen Anlagen sowie die sich daraus ergebenden Kapitalkosten je m<sup>3</sup> Ethanol sind Tabelle 10 zu entnehmen.

Die Investitionsaufwendungen für Getreideanlagen (Weizen, Triticale, Roggen, Mais) sind im wesentlichen gleich. Lediglich für Roggen wurde eine etwas größere Summe ermittelt, da die Dimensionierung der Schlemmpetrocknung sich etwas anders darstellt. Anlagen zur Verarbeitung von Dicksaft sind etwas niedriger einzuschätzen als für Melasse, da auch hier der Verdampfer anders dimensioniert ist. Für Kartoffelbrennereien in der gewählten Größenordnung liegen wie bereits erwähnt keine genaueren Erfahrungen vor. Der Investitionsaufwand wurde deshalb grob abgeschätzt.

Unter der Position **Overhead** sind allgemeine Verwaltungskosten zusammengefasst. Diese sind pauschal abgebildet, wobei ein Kostenansatz von 5 % des Erlöses des Hauptproduktes Ethanol (bewertet mit 550 €/m<sup>3</sup>) angesetzt worden ist.

Zur Berechnung der Vollkosten wurde der **Gewinn** mit 10 % auf den Umsatz des Hauptproduktes Ethanol (bewertet mit 550 €/m<sup>3</sup>) berechnet. Mit dem Gewinn sind unternehmerische und kalkulatorische Wagniskosten abgedeckt.

### 3.2.7 Erlöse

Zentraler Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Investition ist der am Markt erzielbare Preis. Preise für Bioethanol in Deutschland gibt es noch nicht. Von daher muß mit Hilfsgrößen gerechnet werden. In der nachfolgenden Betrachtung wurde ein Marktpreis für Bioethanol in Höhe von 550 €/m<sup>3</sup> angenommen. Die Wirtschaftlichkeit wird aber auch von den Erlösen der Kuppelprodukte beeinflusst.

Bei den Kuppelprodukten der Ethanolherstellung aus Getreide, sind die Komponentenpreise bei der Mischfutterherstellung der Futterindustrie maßgebend. Aufgrund vielfältiger Weltmarkteinflüsse sind diese erheblichen Schwankungen unterworfen. Bei Weizen und Triticale kann davon ausgegangen werden, dass 40 % des eingesetzten Brenngutes als marktfähige Futtermittelkomponente anfallen. Die aus dem Dekanter anfallende Dickphase ist wenig energiereich und muss mit der konzentrierten Dünnphease vermischt und getrocknet werden, um ein marktfähiges Produkt zu erhalten. Das Nebenprodukt enthält je nach Rohstoff und

Produktionsverfahren (Hefehydrolesat) 30 % bis 35 % Protein und stellt somit eine wertvolle Futterkomponente dar.

Aus amerikanischer Produktion wird im großen Umfang DDGS unter der Bezeichnung Kornglutenfeed-Pellets importiert und gehandelt. Zur Zeit notieren sie mit ca. 100 €/t fob Hamburg. Diese Notierungen sind relativ konstant, so dass mittelfristig mit diesem Wertansatz gerechnet werden kann.

Es gibt allerdings auch die Möglichkeit, einen Teil des Proteins zu isolieren, zu trocknen und für den menschlichen Gebrauch oder als hochwertiges Futtermittel einzusetzen. Dieses Verfahren wird vorwiegend in der Stärkeindustrie verwandt. Das Produkt unterliegt starken Marktschwankungen und wird zwischen 1.000 und 2.000 €/t gehandelt. Diese Option ist bei den hier angestellten Überlegungen außer Ansatz geblieben, da es sich um ein spezielles Verfahren handelt und zusätzliche Investitionen erforderlich würden.

Bei der Melasseverarbeitung zu Ethanol wird dieser lediglich der Zucker entzogen, alle übrigen Bestandteile bleiben in der Schlempe. Diese wird auf 65 % bis 70 % Trockensubstanz in einem Verdampfersystem konzentriert und hat die Konsistenz von Melasse. Vinasse enthält Protein (Hefehydrolesat), das mit 25 % bis 28 % ein wertbestimmender Faktor ist. Desweiteren wird Vinasse als Flüssigdünger (Epdange) eingesetzt. Neben Mineralstoffen wie Kalium, Phosphor, Calcium und Stickstoff sind wertvolle Spurenelemente enthalten, die der Bodenverbesserung dienen.

Bei der Eindampfung der Schlempe wird prozessintegriert  $K_2SO_4$  in kristalliner Form ausgeschieden. Dieses Produkt (Kaliumsulfat) ist marktfähig und wird relativ konstant mit 100 €/t gehandelt. Beim Vinasseeinsatz als Futtermittlersatz steht die Vinasse in Relation zum jeweiligen Marktpreis der Melasse und wird mit einem Drittel bis einem Viertel dieses Preises gehandelt. Da der Marktpreis für Melasse starken Schwankungen ausgesetzt ist, gilt dieses ebenso für die Vinasse.

Bei der Verarbeitung von Zuckersirup und Dicksaft fällt nach Aussage von Vogelbusch aus Grünsirup ca. ein Drittel weniger Vinasse an als bei der Verarbeitung von Melasse zu Ethanol. In diesem Verhältnis sind die Mengeneinsätze in der Kalkulation berücksichtigt.

### 3.2.8 Ergebnisse der Kalkulation

Die berechneten Konversionskosten, Selbstkosten und Vollkosten für die verschiedenen Rohstoffe und Anlagengrößen sind Tabelle 11 zu entnehmen.

Tabelle 11: Konversions-, Herstell- und Vollkosten bei verschiedenen Anlagengrößen und Rohstoffen sowie Überschub unter Berücksichtigung von Nebenprodukterlösen

Rohstoff	Rst-Preis (€/t)	Kleine Anlagen	Mittlere Anlagen	Große Anlagen	Größte Anlage
		60 m³/d	180 m³/d	360 m³/d	720 m³/d
<b>Konversionskosten Ethanolherstellung (€/m³) = Selbstkosten abzgl. Rohstoffkosten</b> (Transportkosten sind in Konversionskosten enthalten)					
Zuckerrüben					
Melasse		320	222	200	194
Rüben Dicksaft		267	172	151	146
Weizen		426	292	253	231
Roggen		441	306	267	247
Triticale		435	302	264	243
Mais		453	318	277	254
Kartoffel		478	373	343	330
<b>Selbstkosten (€/m³)</b>					
Zuckerrüben					
Melasse	85	602	505	483	477
Rüben Dicksaft	202	588	493	472	467
Weizen	120	750	616	577	555
Roggen	85	683	549	510	489
Triticale	105	724	591	552	532
Mais	105	706	571	530	507
Kartoffel	50	978	873	843	830
<b>Vollkosten (€/m³) = Selbstkosten zzgl. Gewinnaufschlag</b> => 10 % auf Umsatz Hauptprodukt					
Zuckerrüben					
Melasse	85	657	560	538	532
Rüben Dicksaft	202	643	548	527	522
Weizen	120	805	671	632	610
Roggen	85	738	604	565	544

Tabelle 11: Konversions-, Herstell- und Vollkosten bei verschiedenen Anlagengrößen und Rohstoffen sowie Überschuss unter Berücksichtigung von Nebenprodukterlösen (Forts.)

Rohstoff	Rst-Preis (€/t)	Kleine Anlagen	Mittlere Anlagen	Große Anlagen	Größte Anlage
		60 m <sup>3</sup> /d	180 m <sup>3</sup> /d	360 m <sup>3</sup> /d	720 m <sup>3</sup> /d
Triticale	105	779	646	607	587
Mais	105	761	626	585	562
Kartoffel	50	1.033	928	898	885
<b>Überschuss (€/m<sup>3</sup>)</b> (bei Marktpreis Bioethanol = 550 €/m <sup>3</sup> abzgl. Vollkosten)					
Zuckerrüben					
Melasse	85	-67	31	53	58
Rüben Dicksaft	202	-81	13	35	40
Weizen	120	-155	-21	18	40
Roggen	85	-88	46	85	106
Triticale	105	-129	4	43	63
Mais	105	-111	24	65	88
Kartoffel	50	-448	-343	-313	-300

Zunächst kann festgestellt werden, dass die Konversionskosten für die Ethanolherstellung aus stärkehaltigen im Verhältnis zu denen aus zuckerhaltigen Rohstoffen relativ hoch sind. Die niedrigsten Konversionskosten in Höhe von 146 €/m<sup>3</sup> werden bei einer 720 m<sup>3</sup>/d-Anlage aus Dicksaft erreicht. Bei der Anlagengröße liegen die Konversionskosten für Weizen um knapp 20 % höher. Auch bei allen anderen Anlagengrößen sind die Konversionskosten bei Melasse und Dicksaft deutlich niedriger. Das ist darauf zurückzuführen, dass der apparative und energetische Aufwand für die Erstellung der Nachprodukte wesentlich aufwändiger ist als bei der Bearbeitung des Nachproduktes aus zuckerhaltigen Rohstoffen.

Bei den stärkehaltigen Rohstoffen sind die Konversionskosten von Weizen die niedrigsten bei allen Anlagengrößen. Roggen und Triticale liegen ähnlich günstig, teurer wird die Verarbeitung von Mais und Kartoffeln.

Die Betrachtung der Konversionskosten zeigt auch die Economies of Scale der Ethanolherzeugung. Neben den Kapitalkosten sind für die Kostendegression die Personalkosten im wesentlichen verantwortlich.

Allerdings nimmt die Kostendegression bei zunehmender Anlagengröße ab. Bei der Erzeugung von Ethanol aus Triticale sinken die Kosten von der kleinen Anlage auf die mittlere Anlage um etwas mehr als 30 %, beim nächsten Schritt bis zur großen Anlage um etwa 20 % und im letzten Schritt zur größten Anlage nur noch um knapp 10 %. Diese Entwicklung der abnehmenden Kostendegression zeigt sich bei allen Rohstoffen.

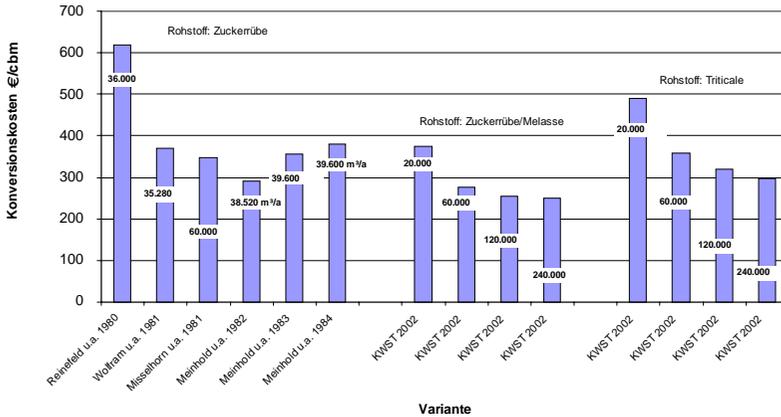
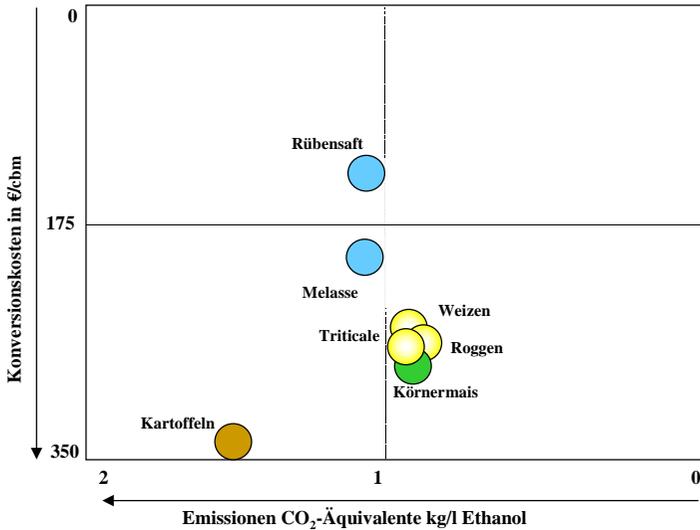


Abb. 22: Vergleich Konversionskosten

Die Transportkosten für die anzuliefernden Rohstoffe erhöhen sich erwartungsgemäß bei größeren Anlagen. Es ist festzustellen, dass die nur noch geringfügige Fixkostendegression zwischen der großen und der größten Anlage von den höheren Transportkosten nahezu kompensiert werden. Dies trifft in besonderem Maße auf die transportkosten-intensiven Feldfrüchte Zuckerrüben und Kartoffeln zu.

Auch bei den Selbstkosten sind die zuckerhaltigen Rohstoffe die günstigsten. Bei einem Rohstoffpreis von 85 €/t ist Roggen bei allen Anlagengrößen der kostengünstigste stärkehaltige Rohstoff. Mais ist auf der zweiten Position, gefolgt von Triticale und Weizen. Kartoffeln sind am teuersten: Bei der mittleren Anlagengröße betragen die Selbstkosten mit 873 €/m³ knapp 80 % mehr als bei der Herstellung von Ethanol aus dem kostengünstigsten Rohstoff Dicksaft.

Selbstkosten zuzüglich einem Gewinnzuschlag von 10 % ergeben die Vollkosten. Bei einem angenommenen Marktpreis von 550 €/m³ Ethanol



Den Berechnungen wurde eine Anlagengröße von 120.000 m<sup>3</sup> zugrundegelegt.  
In den Konversionskosten sind Rohstoffkosten nicht enthalten.

Abb. 23: Konversionskosten und Emissionen verschiedener Feldfrüchte bei der Ethanolerzeugung

zeigt sich, dass die kleinen Anlagen mit einer Kapazität von 60 m<sup>3</sup>/d nicht kostendeckend produzieren können. Ethanol aus Kartoffeln ist bei allen Anlagengrößen nicht kostendeckend herzustellen.

Die Konversionskosten sind deutlich niedriger als in früheren Studien beschrieben, wie die Abb. 22 zeigt. Die unterschiedlichen Emissionen bei der Ethanolerzeugung im Verhältnis zu den Konversionskosten sind im letzten Schaubild des Abschnitts dargestellt.

### 3.2.9 Technologien und Wirtschaftlichkeit der Erzeugung von Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen

Bislang bestehen noch keine größeren Anlagen, die Methanol über eine Vergasung von nachwachsenden Rohstoffen erzeugen. Eine Anlage mit einer Leistung von 100 kg/h wird in einem vom BMWi geförderten Verbundprojekt von Choren GmbH mit der DaimlerChrysler AG in Freiberg in Sachsen realisiert.

Grundsätzlich führen die folgenden chemischen Grundreaktionen zur Gewinnung von Methanol aus Kohlenmonoxid und Kohlendioxid:

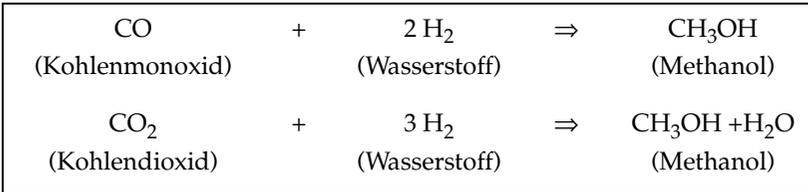


Abb. 24: Chemische Grundreaktionen zur Gewinnung von Methanol

Es handelt sich dabei um druckabhängige Reaktionen, die praktisch bei möglichst hohen Drücken und niedrigen Temperaturen realisiert werden. Neben der Bildung von Methanol entstehen bei der Synthese weitere Stoffe wie z. B. Methan, Ethanol und anderer Kohlenwasserstoffe, die durch die Auswahl möglichst selektiver Katalysatoren unterdrückt werden sollen. Die eingesetzten Synthesegase sollten frei von Schwefel- und Chlorverbindungen sein, da sie zur Vergiftung der eingesetzten Katalysatoren führen.

Zur Herstellung von Methanol kommen vor allem Zinkoxid-Chromoxid- sowie Zinkoxid-Chromoxid-Kupferoxid-Katalysatoren zum Einsatz. Als technisch realisierte Verfahren können aufgeführt werden:

- das Hochdruckverfahren der BASF bei einem Druck von ca. 300 bar und 380 °C und einem ZnO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Katalysator,
- das Mitteldruckverfahren von Vulcan/USA bei einem Druck von 150 bis 250 bar und 220 bis 300 °C unter Verwendung eines Cu-Zn-Al-Katalysators,
- das Niederdruckverfahren von ICI bei etwa 50 bar unter Verwendung eines Cu-haltigen Katalysators.

Japan Gas Chem. Co. sowie Lurgi bieten ebenfalls Niederdruckverfahren auf der Basis von kupferhaltigen Katalysatoren an. Die Betriebsparameter Druck und Temperatur können in Abhängigkeit vom jeweiligen entwickelten und eingesetzten Katalysator schwanken.

Der technisch realisierbare Weg für die Gewinnung von Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen erfolgt über die Vergasung der Biomasse und die Umwandlung des Vergasungsgases zu einem CO- und H<sub>2</sub>-haltigen Synthesegas. Die folgende Tabelle zeigt, dass bereits bei der reinen Sauerstoffvergasung zuviel Sauerstoff zugeführt wird, der zur Bildung

Tabelle 12: Elementarzusammensetzung von Biomasse im Vergleich zu Methanol

	Massenanteile			Molverhältnis			H <sub>2</sub> -Bedarf	O <sub>2</sub> -Bedarf
	kg/kg			kmol/kmol			kmol/kmol	kmol/kmol
	C	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	C	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>		
Methanol	0,37	0,13	0,50	1	2	0,5	-	-
Biomasse	0,51	0,06	0,43	1	0,71	0,32	1,29	0,18
Rohgas <sup>a</sup>	0,30	0,05	0,65	1	0,94	0,81	1,06	-0,31
Rohgas <sup>b</sup>	0,18	0,07	0,75	1	2,32	1,52	-0,32	-1,02

a. Carbo-V-Vergasung mit Sauerstoff bei 850 °C

b. Carbo-V-Vergasung mit Sauerstoff/Wasserdampf bei 850 °C

von Kohlendioxid und Wasser führt. Das Wasser kann durch Kondensation bei der Gasabkühlung relativ einfach aus dem Gas entfernt werden, führt aber zu einem Verlust an Wasserstoff. Wird Kohlendioxid nicht aus dem Gas entfernt, führt es in der Methanolsynthese zu einem Mehrverbrauch an Wasserstoff, was die Methanolausbeute letztendlich verringert. Die Entfernung des Kohlendioxids ist verfahrenstechnisch und energetisch aufwändig.

Führt man der Vergasung neben Sauerstoff zusätzlich Wasserstoff in Form von Wasser zu, kann der Wasserstoffanteil erhöht werden. Es bildet sich aber auch mehr Kohlendioxid. Die Entfernung des überschüssigen Sauerstoffs führt somit zu einem Kohlenstoffverlust.

Soll der Kohlenstoff der Biomasse weitergehend genutzt werden, dann muss der erforderliche Wasserstoff oder ein Teil davon der Vergasung in reiner Form, d. h. ohne den störenden Sauerstoff, zugeführt und so das notwendige Molverhältnis eingestellt werden. Dies kann auf dem Weg der Kombination der Brennstoffvergasung mit der Wasserelektrolyse erfolgen.

Von grundsätzlicher Bedeutung für die Herstellung eines für die Methanolsynthese geeigneten Synthesegases ist die Auswahl des geeigneten Verfahrens für die Vergasung der Biomasse. Das Verfahren muß dabei folgenden wesentlichen Anforderungen genügen:

- hohe Durchsatzleistung
- geringe Anforderungen an die Brennstoff- (Biomasse-) Qualität hinsichtlich Stückigkeit, Feuerstandsfestigkeit, Homogenität etc.

- Unempfindlichkeit gegenüber schwankenden Brennstoffeigenschaften, wie Feuchtigkeit und Aschegehalt
- Variabilität gegenüber unterschiedlichen Brennstoffen
- geringe spezifische Verluste, d. h. hoher Vergasungswirkungsgrad
- Vermeidung von höheren Kohlenwasserstoffen (Teeren) im Vergasungsgas
- hohe Verfügbarkeit
- geringe Investitionskosten.

Aus den genannten Anforderungen resultiert, dass praktisch alle in Entwicklung befindlichen und z. T. mit mehr oder weniger Erfolg erprobten Festbett-Vergasungsverfahren ungeeignet sind. Die Hauptgründe sind die geringen Durchsatzleistungen und die vor allem bei Gegenstromvergaser zu hohen Teergehalte und Methangehalte im Vergasungsgas.

Ein Verfahren, das für hohe Leistungen geeignet ist und technisch erprobt wurde, ist das Wirbelschicht-Vergasungsverfahren. Prinzipiell kann auch jegliche Biomasse nach entsprechend notwendiger Aufbereitung in der Wirbelschicht vergast werden. Problematisch ist der noch relativ hohe Teergehalt und auch der Methangehalt im Gas, der zu hohen Aufwendungen in der Gasreinigung, in der Aufbereitung der Waschwässer und in der Purgegasnutzung führt.

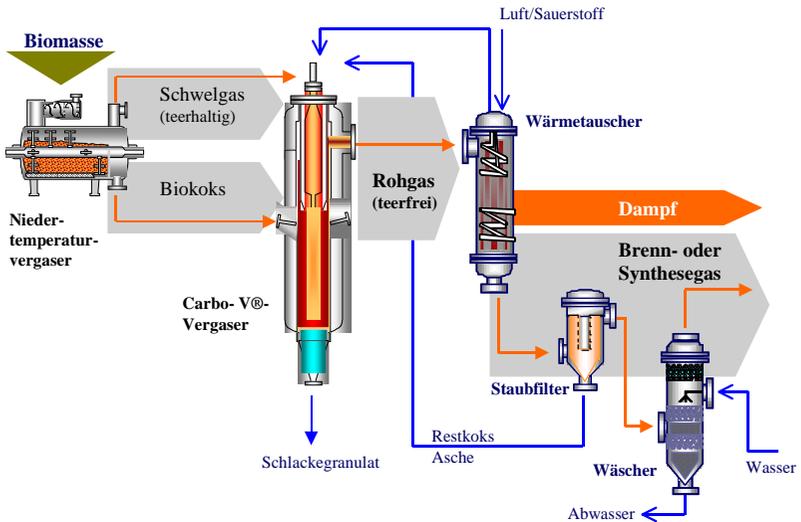
Praktisch werden Versuche unternommen, z. B. durch thermische oder thermisch-katalytische Nachbehandlung den Restteergehalt im Gas zu verringern bzw. Teer ganz zu vermeiden. Ein weiteres Verfahrensprinzip ist die Flugstromvergasung, die hauptsächlich für die Vergasung von staubförmigen Stoffen wie Kohle, Klärschlamm u.ä. entwickelt worden ist. Das Haupthindernis für den Einsatz dieses Verfahrens zur Vergasung von Biomasse ist, dass Biomasse nicht oder nur mit unvertretbar hohem Aufwand in Brennstaub aufbereitet werden kann. Die grundsätzliche Eignung des Verfahrens für die Vergasung von Holz, Steinkohle und Reststoffe wurde in einer Versuchsanlage nachgewiesen.<sup>122</sup>

Das von UET/Choren Industries entwickelte Carbo-V<sup>®</sup>-Verfahren vereint die Vorteile der hohen Leistung einer Flugstromvergasung mit dem thermodynamisch vorteilhaften Prozessablauf in einem Festbettreaktor. Es wurde für Holz entwickelt und bietet sich somit für die Herstel-

---

<sup>122</sup> Die UET hat 1995 mit der Entwicklung des Carbo-V<sup>®</sup>-Verfahrens für die Vergasung von Holz und anderer Biomasse begonnen. Im Zeitraum 1998/99 wurde in der 1 MW<sub>th</sub>-Versuchsanlage der UET in Freiberg der Nachweis für die Eignung des Verfahrens erbracht.

lung von Methanol aus Biomasse an. Durch die spezielle Stoffführung im Prozess werden Kohlenwasserstoffe sicher zerstört, was zu einem absolut teerfreien Vergasungsgas und bei der Verwendung von Sauerstoff als Vergasungsmittel zu einem Syntheserohgas führt.



Quelle: Choren Industries

Abb. 25: Verfahren zu Herstellung von Methanol aus Biomasse

Die CO-Konvertierung oder homogene Wassergasreaktion wird in einer eigenständigen katalytischen Prozessstufe durchgeführt, um durch Zugabe von Wasserdampf Wasserstoff zu produzieren und damit den Wasserstoffanteil im Synthesegas zu erhöhen. Die CO-Konvertierung ist ein exothermer Prozess. Es muss somit Wärme abgeführt werden.

Die CO<sub>2</sub>-Konvertierung ist die Umkehrung der homogenen Wassergasreaktion. Sie kann genutzt werden, überschüssiges CO<sub>2</sub> durch Zugabe von Wasserstoff in Kohlenmonoxid umzuwandeln und damit die Kohlenstoffausnutzung bei der Methanolsynthese zu erhöhen. Die CO<sub>2</sub>-Konvertierung ist ein endothermer Prozess. Es muß somit Wärme zugeführt werden.

Eine Vergasung der Biomasse mit Luft erscheint auf Grund der starken Druckabhängigkeit der Methanolsynthese als nicht sinnvoll, da der

Stickstoffanteil im Synthesegas die Partialdrücke der reagierenden Komponenten herabsetzt. Eine Vergasung mit Luft als Vergasungsmittel scheidet somit von vornherein aus.

Das beschriebene Verfahren lässt sich auch aufgrund der lokalen Verfügbarkeit von Biomasse in einem Konzept umsetzen, dass dezentral die Biomasse in Koks umsetzt und dieser Biokoks in einer zentralen Anlage weiter in dem Flugstromvergaser der Vergasung mit chemischer Quench zu einem CO-reichen Gas umsetzt, dass seinerseits entsprechend den aufgeführten Prozessstufen in ein Methanolsynthesegas überführbar ist.

Bei im Jahre 2000 üblichen Preisen von Holzhackschnitzel wurden Gesteungskosten für das in Stoff-Kraft-Wärme-Kopplung hergestellte Methanol von ca. 430 €/t erwartet. Die Ausbeute kann bis ca. 350 kg Methanol/t lufttrockenes Holz erreichen. Durch Kombination der Biomassenvergasung mit der Wasserelektrolyse lässt sich die Methanolausbeute bis über 700 kg/t lufttrockenes Holz erhöhen. Bei einem Preis für die Elektroenergie von ca. 25 €/MWh am Standort der Methanolanlage werden Herstellungskosten von ca. 360 € je t Methanol erwartet.<sup>123</sup>

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass grundsätzlich bei der Vergasung von einem energetischen Wirkungsgrad in Bezug auf Synthesegas von etwa 60 % incl. der technisch aufwändigen Gasreinigung ausgegangen werden kann.<sup>124</sup> Die anschließende Fischer-Tropsch-Synthese kann mit einem Wirkungsgrad von bestenfalls 75 % erfolgen. Das Verhältnis von eingesetzter Energie zu gewonnener Energie ist ungünstig. Erprobte und ausgereifte Verfahren zur Methanolherstellung aus Biomasse gibt es bislang nicht. Technische Probleme bereitet insbesondere der Teeranfall im Prozessgas, der dazu führt, dass das entstehende Gas in mehreren Stufen gereinigt und der anfallende Teer entsorgt werden muß. Allerdings gibt es hier erste Lösungsansätze, wie das obige Beispiel von Choren zeigt. Offen ist auch die Frage, wie das Abwasser entsorgt werden soll bzw. wie die Entstehung verhindert werden kann.

Aussagen zur Wirtschaftlichkeit können noch nicht gemacht werden, da noch keine entsprechenden Erfahrungen aus laufenden Anlagen vorliegen. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Kosten der Methanolerzeugung aus Biomasse derzeit ein Mehrfaches der Kosten der Erzeugung aus Erdgas entsprechen.

---

<sup>123</sup> Angaben der Choren Industries GmbH.

<sup>124</sup> Angaben der Choren Industries GmbH.

Die Verfahren zur Herstellung von Kraftstoffen in größeren Mengen aus eigens angebauten nachwachsenden Rohstoffen über den Weg der Vergasung und Synthese befinden sich noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium und mittelfristig kann voraussichtlich keine Kostensituation hergestellt werden, die zu einem marktreifen Verfahren führt.

Hinzu kommt, dass der Markt für Methanol ausreichend versorgt ist. Die Herstellungskapazitäten für die weltweite Methanolerzeugung sind in den zurückliegenden Jahren immer weiter angestiegen. So stieg die Gesamtkapazität von 31,5 Mio. t im Jahre 1997 auf rund 38,2 Mio. t in 2002.<sup>125</sup> Dies entspricht einem Anstieg von 21 % in fünf Jahren. Bis 2005 sollen die Kapazitäten auf knapp 40 Mio. t ansteigen. Dabei wachsen die Kapazitäten schneller als die Nachfrage, so dass die Auslastung der Anlagen auf etwa 80 % abgesunken ist.<sup>126</sup> In Deutschland existieren vier Anlagen zur Methanolerzeugung, die über eine Gesamtkapazität von 1,8 Mio. t verfügen.<sup>127</sup> Die Gesamtkapazität in Europa liegt bei 7,4 Mio. t.

In den nachfolgenden Kapiteln konzentriert sich die Studie daher aufgrund der nicht vorhandenen Marktreife von Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen auf Ethanol, für dessen Herstellung ausgereifte Technologien vorliegen, die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und die Diskussion von derzeitigen und zukünftigen Marktchancen im chemisch-technischen und im Kraftstoffsektor ermöglichen. Sofern in den einzelnen Kapiteln Themen behandelt werden, die für eine mögliche Verwendung von Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen relevant sind, wird darauf eingegangen.<sup>128</sup>

### **3.3 Erzeugung von Ethanol**

#### **3.3.1 Globale Ethanolerzeugung**

Die weltweite Ethanolerzeugung im Jahre 2001 betrug etwa 31 Mio. m<sup>3</sup>. Dieses Volumen liegt nur relativ knapp unter der bislang höchsten Produktionsmenge von 33 Mio. m<sup>3</sup>, die in 1997 erreicht wurde. Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich die globale Ethanolerzeugung in der

---

<sup>125</sup> DeWitt & Company, Inc.

<sup>126</sup> DeWitt & Company, Inc.

<sup>127</sup> BASF, DEA, Leunawerke und die ehemalige VEBA-Anlage in Gelsenkirchen produzieren auf der Basis von Lurgi-Prozessen Methanol. Mit einer Kapazität von 660.000 t betreibt Leuna die größte Anlage.

<sup>128</sup> Z.B. bei Anforderungen an Kraftstoffkomponenten.

letzten Dekade auf hohem Niveau bewegte und eine leicht steigende Tendenz aufwies. Für die kommenden Jahre rechnen Analysten mit einem starken Anstieg der Erzeugung. In 2006 sollen 43 Mio. m<sup>3</sup> produziert werden, dies sind 37 % mehr als im Jahr 2001.<sup>129</sup> Ursache für diesen starken Anstieg ist die erwartete weitere Ausdehnung von Bioethanolprogrammen. Schon heute werden rund zwei Drittel der gesamten Erzeugung im Kraftstoffsektor abgesetzt und dieser Anteil steigt weiter.

**Amerika, global der mit Abstand führende Ethanolherzeuger, wird auch in Zukunft die Kapazitäten deutlich ausweiten**

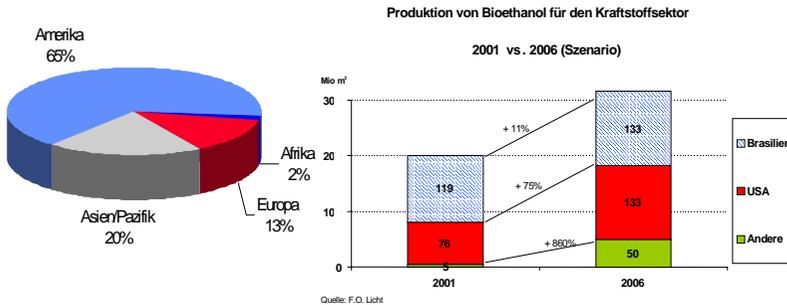


Abb. 26: Regionale Verteilung der Ethanolherzeugung und erwartetes Wachstum

Zwei Drittel der Produktion entfallen auf Nord- und Südamerika, gefolgt von Asien mit einem Anteil von knapp einem Fünftel und Europa mit rund einem Siebtel. Für die dominierende Position Amerikas sind Brasilien und die USA verantwortlich. Allein Brasilien produziert mit rund 12 Mio. m<sup>3</sup> mehr als ein Drittel der weltweiten Produktion, gefolgt von den USA, die immerhin noch 8 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr produzieren. Beide Länder zusammen produzieren mit 20 Mio m<sup>3</sup>, zehnmal soviel Ethanol wie die EU.

Große Unternehmen dominieren die Ethanolherstellung in den wichtigen Erzeugerländern. Der größte Produzent weltweit ist Archer Daniels Midland (ADM) in den USA mit einer Produktionskapazität von 3,4 Mio m<sup>3</sup>, das entspricht rund 10 % der weltweiten Ethanolherzeugung

<sup>129</sup> Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 2.

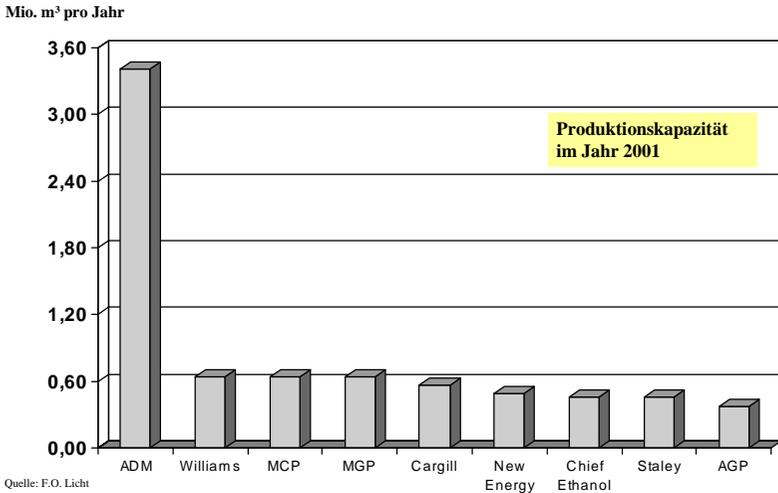


Abb. 27: Führende Ethanolhersteller in den USA

in 2001.<sup>130</sup> ADM ist zugleich auch der weltgrößte Verarbeiter agrarischer Rohstoffe. Etwas weniger als die Hälfte der US-amerikanischen Produktionskapazitäten entfallen auf ADM. Das zweitgrößte Unternehmen, Williams, verfügt dagegen nur noch über eine Kapazität von 600.000 m<sup>3</sup>, das entspricht einem Sechstel der ADM-Größe.<sup>131</sup> ADM geht davon aus, dass es seine Ethanolumsätze, die 10 % des Gesamtumsatzes ausmachen, in den kommenden Jahren verdoppeln kann.<sup>132</sup>

Knapp sechs Mio. m<sup>3</sup> Ethanol wurden 2001 in Asien hergestellt, davon entfällt die Hälfte auf China. Die Angebotsseite ist in China stark fragmentiert, mit sehr vielen Klein- und Kleinstproduzenten. Die Anzahl der Erzeuger wird auf 37.000 geschätzt.<sup>133</sup> Die Erzeuger produzieren primär

<sup>130</sup> Vgl. [www.admworld.com](http://www.admworld.com).

<sup>131</sup> Vgl. GAO analysis of Renewable Fuels Association data.

<sup>132</sup> US-Steuerzahler werfen der Regierung seit Jahren vor, das Ethanolgeschäft von ADM mit Steuergeldern zu subventionieren. Vgl. Rettberg, Udo: ADM will mit Bio-Treibstoffen wachsen, Handelsblatt vom 25./26.5.2001. Vgl. auch Bovard, James: Archer Daniels Midlang: A Case Study in Corporate Welfare, Cato Policy Analysis No. 241, Sept. 26, 1995. Vgl. auch o.V.: US Ethanol Euphoria Evaporating?, in: F.O. Licht's International Molasses and Alcohol Report, Vol. 39, No. 3 v. 15.02.2002, S. 48 ff.

<sup>133</sup> Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 73.

für den Spirituosenmarkt. Derzeit sind allerdings einige Großprojekte im Bau, u. a. die größte Ethanolanlage der Welt, die die Situation deutlich verändern dürfte.<sup>134</sup>

Der zweitgrößte Produzent Asiens ist Indien mit einer geschätzten Erzeugungskapazität von 2,7 Mio. m<sup>3</sup> und einer Produktion von 1,7 Mio m<sup>3</sup> in 2001.<sup>135</sup> Die Kapazitäten der überwiegend auf Basis von Melasse arbeitenden Anlagen sind damit relativ gering ausgenutzt (63 %), allerdings dürfte sich die Gesamtsituation bei der Einführung eines Ethanolbeimischungsprogramms zum Kraftstoff in Höhe von 5 % deutlich verändern.

Thailand ist der drittgrößte Ethanolproduzent Asiens mit derzeit rund 20 Anlagen in Betrieb, die im wesentlichen den Spirituosen- und chemisch-technischen Markt bedienen. Mit steuerlichen Vorteilen sollen auf der Basis eines Kabinettsbeschlusses aus dem Jahre 2000 Anreize für den Bau von weiteren Anlagen mit einer Jahreskapazität von 3 Mio. m<sup>3</sup> gegeben werden, um ein Bioethanolprogramm zu starten.<sup>136</sup> Thailand ist damit neben China und Indien das dritte Land in der Region, das Ethanol im Kraftstoffsektor fördert.

Der Transformationsprozess in den EU-Beitrittsländern und den weiteren osteuropäischen Ländern hat zu erheblichen Veränderungen der dortigen Ethanolindustrie geführt. Die Bandbreite der Veränderungen reicht dabei von der weitgehenden Liberalisierung der Ethanolmärkte bis hin zur starken Reglementierung. Russland und die Ukraine verfügen über die größten Produktionskapazitäten, allerdings sind diese nicht hinreichend ausgelastet. Im Jahre 2001 produzierten Russland 1,2 Mio m<sup>3</sup> und die Ukraine 220.000 m<sup>3</sup> Ethanol; das sind in Russland 28% und in der Ukraine weniger als die Hälfte der Produktion des Jahres 1993.<sup>137</sup> Importzölle oder -verbote schützen diese Märkte bis 2005. Bei den EU-Beitrittsländern ist Polen mit einer Ethanolproduktion von 158.000 m<sup>3</sup> in 2001 das mit Abstand führende Land.

In Afrika ist die Ethanolproduktion mit rund 70 % der gesamten Erzeugung des Kontinents in Südafrika konzentriert.<sup>138</sup> Synthese-

---

134 Vgl. hierzu auch Modl, Josef: Beverage & Fuel Ethanol in China, World Ethanol 2001 Conference, 8.-9. Nov. 2001, London.

135 Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 74.

136 Vgl. Ponlaboot, Alongkorn: The Thai Fuel Ethanol Project: One Year On, World Ethanol 2001 Conference, 8.-9. Nov. 2001, London.

137 Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. S-1.

138 Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 71.

ethanol<sup>139</sup> ist vom Angebotsvolumen her deutlich führend, allerdings werden wachsende Mengen Fermentationsethanol hergestellt. In Äthiopien, Zimbabwe und Malawi werden bestehende Kapazitäten derzeit ausgebaut bzw. neue Anlagen errichtet. Die Investitionen werden ausgelöst durch eine gute Nachfrage nach Ethanol, die in vielen afrikanischen Ländern auf ein nur begrenztes Angebot trifft. Zudem fördert die Weltbank erneuerbare Energien und damit auch Ethanol in zahlreichen afrikanischen Ländern.

In den 70er und 80er Jahren haben die steigende Nachfrage des chemisch-technischen Sektors sowie niedrige Preise für Ethylen zu einer starken Expansion der Syntheseethanolkapazitäten geführt. Dennoch entfallen insgesamt nur 7 % der globalen Erzeugung auf Syntheseethanol. Die derzeitige globale Produktionskapazität wird auf 1,8 Mio. t geschätzt; die europäische Produktion ist stagnierend.<sup>140</sup> Zu den führenden Syntheseethanolhersteller zählen Sabic (375.000 m<sup>3</sup>) BP Chemicals (330.000 m<sup>3</sup>) und Sasol (275.000 m<sup>3</sup>).

Zurückzuführen ist die relativ schwache Marktposition von Syntheseethanol darauf, dass in zahlreichen Ländern die Verwendung von Syntheseethanol im Nahrungsmittelbereich verboten ist und Ethanol für die Kraftstoffbeimischung fast ausschließlich aus landwirtschaftlichen Rohstoffen gewonnen wird.

### **3.3.2 Ethanolerzeugung in der EU**

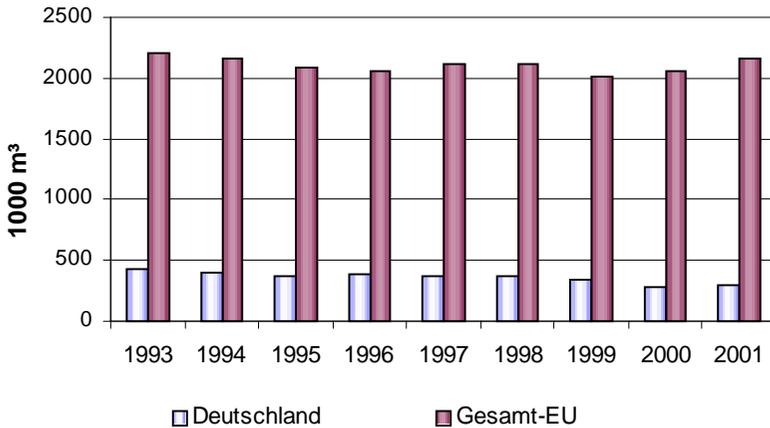
In der EU wurden 2000 etwa 2 Mio. m<sup>3</sup> Ethanol hergestellt. Frankreich, Großbritannien, Spanien und Deutschland sind die wichtigsten Erzeugerländer, wobei Frankreich alleine mehr als ein Drittel der Produktion ausmacht. Die Gesamtproduktion in der EU war in den letzten zehn Jahren relativ stabil.

Bislang gibt es keine gemeinsame Marktordnung für Ethanol in der EU, obwohl bereits seit einiger Zeit daran gearbeitet wird und der Kommission ein Vorschlag unterbreitet worden ist. Eine Besonderheit des EU-Marktes ist die mengenmäßig nicht unerhebliche Erzeugung von Ethanol aus Wein. Importe in die EU sind – trotz reduzierter Zollsätze – zurückgegangen, was im wesentlichen auf den schwachen Euro, aber auch auf gute Absatzmöglichkeiten in den USA zurückgeführt wird. Im

---

<sup>139</sup> In Südafrika wird Ethanol für den Kraftstoffsektor aus Kohle gewonnen.

<sup>140</sup> Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 30.



Quelle: F.O. Licht

Abb. 28: Ethanolerzeugung in Deutschland im Vergleich zur EU

Jahr 2001 wurden knapp 800.000 m<sup>3</sup> importiert und etwa 910.000 m<sup>3</sup> exportiert.<sup>141</sup>

Der deutsche Anteil an der EU-Ethanolerzeugung ist mit 200.000 bis 280.000 m<sup>3</sup> relativ gering. Dies ist auf die ordnungsrechtlichen Rahmenbedingungen des deutschen Ethanolmarktes zurückzuführen. Die Struktur der deutschen Brennereiwirtschaft unterscheidet sich grundlegend von der Situation in anderen europäischen Ländern wie beispielsweise in Frankreich oder in den Niederlanden. In diesen Ländern existieren deutlich größere Produktionseinheiten.

Dabei war die französische Ethanolerzeugung bis zur Auflösung des dort ebenfalls bestehenden Branntweinmonopols ähnlich strukturiert wie die deutsche Ethanolindustrie. Kleinere und mittlere Betriebe prägten das Bild. 1985 wurde das französische Ethanolmonopol aufgehoben. In der Folgezeit mußten viele Brennereien schließen, da sie auf dem freien Markt nicht mehr wettbewerbsfähig waren. Überleben konnten vor allem Brennereien, die direkt an Zuckerfabriken angeschlossen waren und so von den Vorteilen einer Verbundproduktion profitieren konnten. Weitere Maßnahmen zur Existenzsicherung lagen in einem Ausbau der vorhandenen Kapazitäten, um so von den relativ hohen Economies of Scale der

<sup>141</sup> Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. S-2-3.

Ethanolproduktion profitieren zu können. Heute existieren noch rund 30 französische Brennereien mit einer Gesamtkapazität von etwa 900.000 m<sup>3</sup> pro Jahr. Etwa 15 Unternehmen betreiben große Anlagen und sind auch am französischen ETBE-Programm beteiligt.

Der deutsche (Fermentations- und Synthese-)Ethanolmarkt wird derzeit auf ca. 350.000 m<sup>3</sup> geschätzt.<sup>142</sup> Im Jahr 2000/2001 wurden etwa 216.000 m<sup>3</sup> in Deutschland erzeugt. Davon entfielen knapp 70.000 m<sup>3</sup> auf landwirtschaftliche Brennereien, die im Rahmen ihres jeweiligen Brennrechts ablieferungspflichtigen Ethanol produzieren. Die meisten Brennereien (850) sind landwirtschaftliche Brennereien, die vor allem aus Kartoffeln und Weizen Ethanol herstellen. Daneben existieren noch etwa 100 Obstbrennereien, die etwa 5.000 m<sup>3</sup> pro Jahr herstellen. Fermentationsanlagen in einer Größenordnung, wie sie in Frankreich und den Niederlanden betrieben werden, gibt es in Deutschland nicht. Fast die Hälfte des in Deutschland produzierten Ethanols wird auf der Basis von Kartoffeln erzeugt.

Die brennrechtslosen Brennereien, die ihren Ethanol außerhalb des Branntweinmonopols vermarkten, haben in diesem Zeitraum knapp 20.000 m<sup>3</sup> hergestellt. Eine Besonderheit des deutschen Ethanolmarktes im internationalen Vergleich ist der relativ hohe Anteil von Syntheseethanol. Der einzige Produzent in Deutschland, Sasol, betreibt eine Anlage mit einer Kapazität von rund 140.000 t im Ruhrgebiet. Im Jahr 2000/2001 wurden etwa 124.000 m<sup>3</sup> Syntheseethanol erzeugt.

Wesentlich für die deutsche Ethanolerzeugung ist die Existenz der Bundesmonopolverwaltung für Branntwein (BfB), die seit dem 1.10.1919 besteht<sup>143</sup> (früher Reichsbranntweinmonopol) und ihre heutige Rechtsgrundlage im Branntweinmonopolgesetz (BranntwMonG) vom 08.04.1922, zuletzt geändert durch das Haushaltssanierungsgesetz, hat.<sup>144</sup> Das Branntweinmonopol ist seiner Form nach ein Finanzmonopol, seinem Inhalt nach eine nationale Marktordnung mit primär agrarpoliti-

---

142 Statistische Zahlen zum deutschen Ethanolmarkt liegen nur im sehr begrenzten Umfang vor. Die hier verwendeten Marktdaten wurden auf Basis des vorliegenden veröffentlichten Datenmaterials (Insbesondere Zahlen der Bundesmonopolverwaltung für Branntwein, vgl.: Statistisches Bundesamt: Branntweinmonopol und Branntweinsteuer 1999/2000, Reihe 9.4 Fachserie 14, S. 16 ff.) und Marktrecherchen der Verfasser zusammengestellt.

143 Vgl. Chronik des deutschen Branntweinmonopols, Hans Hölzlein, In Branntweinwirtschaft 1989, S.298 ff.

144 HSaNG v. 22.12.1999, Art. 12, BGBl. I, S.2534/2536.

scher Zielsetzung. Die Aufgaben der BfB bestehen in der Übernahme des im Bundesgebiet hergestellten Ethanol aus agrarischen Rohstoffen aus kleinen und mittelständischen Brennereien, die über ein Brennrecht verfügen, sowie in der Reinigung, Lagerung und dem Verkauf dieses Ethanol. Das Gesetz über das Branntweinmonopol verpflichtet die BfB, den innerhalb des Monopolgebiets aus bestimmten Rohstoffen im Rahmen von Erzeugungsrechten (Brennrechten) hergestellten Ethanol zu übernehmen.

Die Monopolverwaltung erstattet kleinen Brennereien mit einer Kapazität von bis bis zu 60 m<sup>3</sup> die durchschnittlichen Kosten der Ethanolerzeugung (ca. 85%iger Rohethanol). Die Kosten werden durch Prüfungen in den Brennereien ermittelt. Für größere Brennereien gibt es feste Betriebsabzüge, die beispielsweise für eine 100 m<sup>3</sup>-Anlage 156,50 €/m<sup>3</sup> betragen. Der maximale Betriebsabzug beträgt 553 €/m<sup>3</sup>. Die Übernahmepreise bei 70 % Jahresbrennrecht liegen beispielsweise für Ethanol aus Stärkekartoffeln bei 1.430 € je m<sup>3</sup>, für Ethanol aus Triticale bei 1.268 € je m<sup>3</sup> und für Obstethanol sogar bei 3.600 € je m<sup>3</sup>. Dabei betragen die Konversionskosten bei der Herstellung von Agrarethanol aus Stärkekartoffeln 1.043 €/m<sup>3</sup>, die Rohstoffkosten 387 €/m<sup>3</sup>. Die Kosten für die anschließend erforderliche Rektifikation liegen bei etwa 100 €/m<sup>3</sup>; damit sind auch Kosten für Transport und Lagerung abgegolten. Insgesamt liegen die Kosten für die Herstellung rektifizierten Ethanol aus Stärkekartoffeln bei einem 70%igen Jahresbrennrecht in einer 100 m<sup>3</sup>-Brennerei dann bei etwa 1.600 €/m<sup>3</sup>.<sup>145</sup>

Die Monopolverwaltung versucht, über die Festsetzung von Jahresbrennrechten für Brennereien die Ethanolerzeugung an die aktuelle Nachfrage anzupassen. Der im Rahmen dieser Brennrechte, bzw. Jahreskontingente hergestellte Ethanol wird von der Monopolverwaltung zu kostendeckenden Übernahmepreisen abgenommen, gereinigt, standardisiert, gelagert und vertrieben. Die Abnahmepreise liegen über den Marktpreisen, so dass beim Absatz von Ethanol ein Subventionsbedarf entsteht. Der entstehende Jahresfehlbetrag wird aus dem Bundeshaushalt gedeckt.

Nach Branntweinmonopolgesetz werden die Marktsegmente Spirituosen, Lebensmittel, Arzneimittel, Essig, Kosmetik und andere Zwecke (gewerblich, technisch) unterschieden. Die nachstehende Grafik zeigt die Struktur des deutschen Ethanolmarktes sowie Einschränkungen bei der Verwendung von Syntheseethanol.

---

<sup>145</sup> Allerdings ist zu berücksichtigen, dass es in Deutschland auch landwirtschaftliche Brennereien gibt, die zu deutlich geringeren Kosten Ethanol herstellen können.

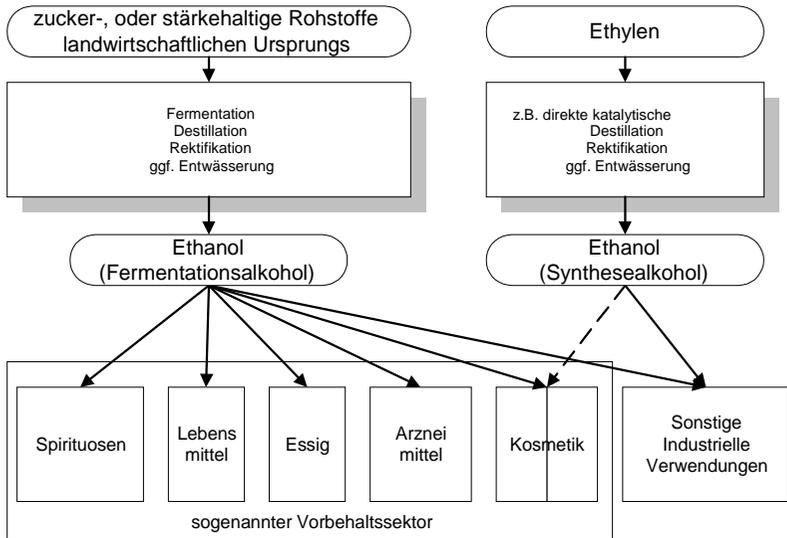


Abb. 29: Die Struktur des deutschen Ethanolmarktes

Das deutsche Branntweinmonopol war Gegenstand von wichtigen Entscheidungen. Die Aufhebung des Einfuhrmonopols durch den Europäischen Gerichtshof im Jahre 1976 führte das deutsche Monopol in eine finanzielle Krise. Die Aufhebung der Schutzfunktion des Einfuhrmonopols zwang die Bundesmonopolverwaltung zu einer Änderung ihrer Preispolitik. Unter dem Druck der Konkurrenz aus anderen Mitgliedstaaten mußten die Verkaufspreise für Ethanol drastisch gesenkt werden. Auf der anderen Seite war es nicht möglich, die Ankaufspreise zu senken, ohne die agrar- und sozialpolitische Zielsetzung preiszugeben. Die Subvention der Landwirtschaft durch garantierte Übernahmepreise für den innerhalb der Brennrechte erzeugten Agraralkohols, die die durchschnittlichen Herstellungskosten einer gut geführten landwirtschaftlichen Kartoffelbrennerei abdecken, führte zu einer Situation, in der sich ein Monopolgewinn nicht mehr erwirtschaften ließ. Dadurch kam es zu den regelmässigen Fehlbeträgen, die durch den Bundeshaushalt abgedeckt werden mußten. Diese Fehlbeträge lagen Ende der 90er Jahre bei rund 150 Mio. € pro Jahr. Durch das Haushaltssanierungsgesetz wurden gewerbliche Brennereien aus dem Kreis der Begünstigten nach Abfindun-

gen bzw. Übergangsregelungen ausgeschlossen, und zudem wurden weitere Maßnahmen ergriffen, um den Stützungsbedarf dauerhaft abzusenken.

In der Zeit von 1984 bis 1992 gab es in Deutschland drei Pilotprojekte zur Untersuchung der Kosten und Nutzen eines Bioethanoleinsatzes im Kraftstoffsektor (Ochsenfurt, Ahausen und Dormagen). Inzwischen wurden alle drei Projekte eingestellt. Die Gründe für das Scheitern liegen zum Teil in der technischen Konzeption der Produktionsverfahren. So gab es beispielsweise in Ahausen Probleme mit der Rektifikation. Darüber hinaus scheiterten die deutschen Pilotprojekte an zu hohen Rohstoffkosten. Die Kapitalausstattung war zu gering, es fehlte an zahlungskräftigen Trägern (wie beispielsweise die großen Agrarkonzerne in Frankreich). Weitere Widerstände kamen von der Mineralölindustrie, die das hergestellte Ethanol nicht übernehmen wollte.

## 4 Verwendung von Ethanol und Methanol

### 4.1 Grundsätzliche Verwendungsbereiche von Ethanol

Ethanol wird im wesentlichen von der Nahrungsmittelindustrie, vom chemisch-technischen sowie vom Kraftstoffsektor nachgefragt.

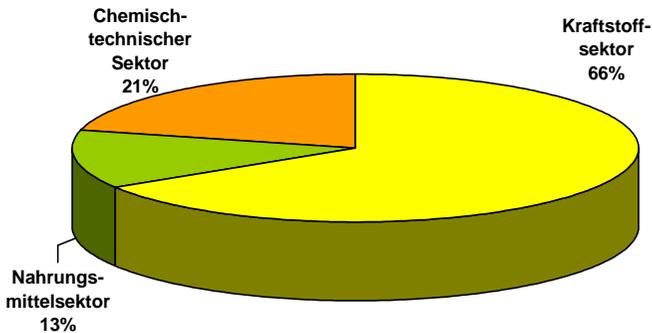


Abb. 30: Globale Verwendung von Ethanol nach Sektoren

Traditionell wird Ethanol in der Nahrungsmittelindustrie eingesetzt. Weltweit betrachtet ist dieser Sektor mit rund 13 % inzwischen der kleinste Nachfrager nach Ethanol. Bei der Verwendung im Nahrungsmittelsektor wird azeotropes Ethanol (96 %vol.) sehr hoher analytischer und organoleptischer Reinheit eingesetzt, das aus landwirtschaftlichen Produkten durch Fermentation hergestellt wird.<sup>146</sup> Durch Herabsetzen des Ethanolgehaltes auf Trinkstärke und gegebenenfalls Zugabe von Aroma-

<sup>146</sup> An die Qualität des Produktes werden in diesem Sektor besondere Anforderungen gestellt. Zum einen muß die analytische Reinheit strengen Anforderungen genügen, zum anderen wird hinsichtlich der geruchlichen und geschmacklichen Eigenschaften unterschieden. Während mitunter ein besonders neutrales Ethanol gewünscht ist, wird teilweise eine spezifische Rohstoffnote verlangt. International wird dieses Marktsegment als „potable“ bezeichnet und von Ethanol für industrielle Zwecke und „fuel ethanol“ unterschieden.

und Geschmackstoffen werden trinkfertige Spirituosen gewonnen, die teilweise regional, teilweise weltweit vermarktet werden. Die Verwendung von Syntheseethanol in diesem Bereich ist in der EU wie in nahezu allen Industrieländern seit vielen Jahren untersagt. Eine weitere wichtige Verwendung von Ethanol im Nahrungsmittelsektor ist die Herstellung von Essig. Das Absatzvolumen von Ethanol im Nahrungsmittelsektor stagniert bzw. ist leicht rückläufig, da aufgrund von verändertem Konsumverhalten die Nachfrage nach Spirituosen kontinuierlich sinkt.<sup>147</sup> Für die Zukunft wird keine Veränderung dieser Tendenz erwartet.

Auch im chemisch-technischen Sektor zeigen sich bislang kaum Potenziale für einen höheren Absatz von Ethanol. Rund ein Fünftel der weltweiten Ethanolerzeugung werden hier als Lösungsmittel für Farben und Lacke, für pharmazeutische Produkte sowie Reinigungs- und Pflegemittel eingesetzt.<sup>148</sup> Geht man von einer globalen Ethanolerzeugung von 31 Mio m<sup>3</sup> in 2001 aus, so entfällt auf den chemisch-technischen Markt ein Volumen von 6,5 Mio. m<sup>3</sup>.

Der global bedeutendste Nachfrager nach Ethanol ist der Kraftstoffsektor, der inzwischen zwei Drittel der weltweiten Ethanolproduktion auf sich vereint. Ethanol kann als Reinkraftstoff oder als Mischkomponente in Verbindung mit herkömmlichen Kraftstoffen verwendet werden und eignet sich als Vorprodukt zur synthetischen Herstellung von Kraftstoffkomponenten, insbesondere von Ethern wie Ethyl-Tertiär-Buthyl-Ether (ETBE). Ethanol wird dabei vorwiegend in entwässelter Form mit einem Ethanolgehalt von ca. 99,8 % Vol. und mittlerer Reinheit als Kraftstoffkomponente mit unterschiedlich hohen Beimischungsanteilen im Treibstoffbereich verwendet.

Nachfolgend werden zunächst die derzeitige Verwendung von Ethanol im chemisch-technischen Sektor erläutert und Ansatzpunkte für einen verstärkten Absatz von Ethanol aus agrarischen Rohstoffen aufgezeigt. Daran anschließend werden im Folgekapitel die Verwendungsmöglichkeiten im Kraftstoffsektor diskutiert.

---

147 Vgl. hierzu etwa Pohlmann, Eva-Maria: Entwicklungen auf dem deutschen Spirituosenmarkt 1998. Konsolidierung des Spirituosenmarktes nicht in Sicht? in: Handbuch für die Brennerei- und Alkoholwirtschaft 2000, 47. Jg., Balve 1999, S. 395 ff.

148 Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 15.

## 4.2 Verwendungsbereiche und Substitutionsbeziehungen im chemisch-technischen Sektor

Der Verwendungszweck von Ethanol im chemisch-technischen Sektor ist vielfältig: Es wird als Lösungsmittel, als Grundstoff für chemische Synthesen oder für sonstige Zwecke, insbesondere zur Abfüllung in reiner oder verdünnter Form (Frostschutzmittel, Desinfektionsmittel, Brennspritus), eingesetzt.

Der wichtigste Verwendungszweck von Ethanol im chemisch-technischen Bereich ist der als Grundstoff für die chemische Synthese. Mit 2,3 Mio. m<sup>3</sup> fließt rund ein Drittel des Ethanolabsatzes im chemisch-technischen Sektor in diese Verwendung. Ein Viertel des Ethanols wird für kosmetische Produkte verwendet. Es folgen Reinigungsmittel sowie Farben und Lacke mit einem Anteil von jeweils 10 % und Lösungsmittel mit 6 %.

Aus Ethanol lassen sich zahlreiche chemische Grundstoffe herstellen. Die Eigenschaften von Ethanol als **Grundstoff für chemische Synthesen** werden durch die funktionale OH-Gruppe bestimmt, auf die sich viele industriell bedeutende chemische Reaktionen des Ethanols, wie z.B. Dehydratation, Halogenierung, Veresterung und Oxidation zurückführen lassen.<sup>149</sup>

Die gesamte Ethylenchemie kann durch Dehydratation von Ethanol erschlossen werden. Durch Weiterentwicklung der Katalysatortechnik konnten Fortschritte in der Ethanolchemie erzielt werden. Nach dem Mobil-Prozeß kann nicht nur Methanol sondern auch Ethanol in Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden. Durch Änderung der Reaktionsbedingungen können entweder mehr Aromaten oder ein höherer Anteil an C<sub>2</sub>/C<sub>3</sub>-Olefinen hergestellt werden.<sup>150</sup>

Ein sehr wichtiges Syntheseprodukt, das durch Veresterung von Essigsäure mit Ethanol gewonnen wird, ist Essigsäureethylester (Ethyl-

---

149 Das Wasserstoffatom der Hydroxylgruppe kann durch ein Aluminium, Erdalkali oder Alkalimetalle substituiert werden, so dass ein Metalloethoxid (Ethanolat, Ethylat) sowie Wasserstoffgas entsteht. Durch Oxidation von Ethanol wird Acetaldehyd gebildet, das mit Ethanol Halbacetale bzw. Acetale bildet. Vgl. Kosaric, N. et al., Ethanol, in: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 1982, 5.Aufl., Vol.A9, S.588-590; sowie: Encyclopädia of Chemical Processing and Design, 1983, Bd.19, S.445-447.

150 Vgl. Swodenk, W.: Ethanol als Rohstoff, in: Chem.-Ing.-Techn., 55, 1983, S. 683 ff., sowie Weissermehl, Arpe H.-J.: Industrielle organische Chemie, 3. Aufl., Weinheim, Basel, Cambridge, New York, 1990, S.36.

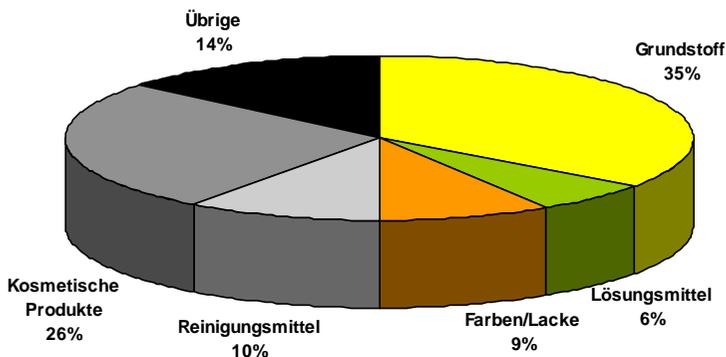


Abb. 31: Welt-Ethanolmarkt für Industrieethanol

acetat). Allerdings werden die Herstellungsverfahren heute zunehmend auf die direkte katalysierte Addition von Essigsäure an Ethylen umgestellt. Lediglich wenn Ethanol oder ethanolhaltige Crackerfraktionen besonders preisgünstig zur Verfügung stehen, wird die Herstellung von Essigsäureethylester über Ethanol bevorzugt. Dies wird beispielsweise in den USA und Südafrika praktiziert. Weitere besonders wichtige Folgeprodukte sind neben den Estern (z. B. Essigester) Ether (z. B. Diethylether) und Ethanolate (z. B. Al-Ethylat).

Bei der Verwendung von Ethanol als Grundstoff für chemische Synthesen werden weltweit sowohl Fermentations- als auch Syntheseethanol eingesetzt. Aufgrund des erheblichen Wettbewerbsdrucks und der traditionell engen Beziehung zwischen petrochemischer und chemischer Industrie kommt es überwiegend zur Verwendung von Syntheseethanol.

Der zweitwichtigste Absatzbereich im chemisch-technischen Sektor ist die **kosmetische Industrie**, der weltweit ein Volumen von etwa 1,7 Mio m<sup>3</sup> umfaßt. Im kosmetischen Bereich wird Ethanol als Hilfsstoff im Fertigungsprozeß eingesetzt oder verbleibt als ein Bestandteil im Produkt (z. B. Deodorant, After shave). Man spricht daher auch in diesem Sektor von Humananwendungen. Da es sich aber nur um äußerliche Anwendungen handelt und das Ethanol lediglich mit der Haut der Konsumenten in Berührung kommt, kann hier im Normalfall sowohl Fermentations- als auch Syntheseethanol verwendet werden. Aufgrund der hohen Anforderungen an die analytische und geruchliche Qualität wird in einigen Marktsegmenten der kosmetischen Industrie bevorzugt

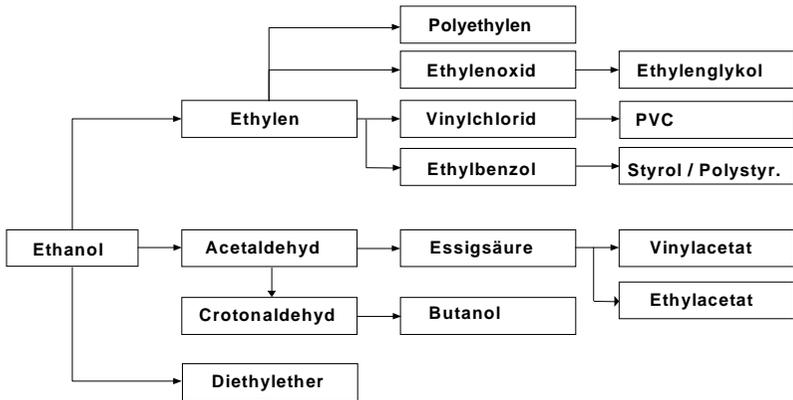


Abb. 32: Ethanol als Grundstoff für chemische Synthesen  
(Nach Angaben von VEBA und Swodenk, W., Ethanol als Rohstoff,  
in: Chem.-Ing.-Techn., 55, 1983, S. 685.)

Syntheseethanol eingesetzt. Andererseits wird mitunter aus Marketinggründen gerne Fermentationsethanol verwendet, um auf den Produkten mit dem Hinweis auf die Verwendung „natürlicher“ oder „biologischer“ Bestandteile werben zu können.<sup>151</sup>

Der drittichtigste Absatzbereich für Ethanol im chemisch-technischen Sektor liegt bei der Verwendung für **Reinigungsmittel** für den gewerblichen und Haushaltsbereich. Ethanol findet dabei sowohl im Haushalts- wie im gewerblichen Bereich Verwendung. Bei diesen Verwendungszwecken wird Ethanol normalerweise in azeotroper Form, mittlerer Reinheit, vollständig vergällt, unverdünnt oder mit verschiedenen Ergänzungstoffen vermarktet. Als Desinfektionsmittel wird vorwiegend wasserfreies Ethanol höchster Reinheit verwendet, das auf die gewünschte Verdünnung reduziert wird. In diesem Segment werden Fermentationsethanol und Syntheseethanol gleichermaßen eingesetzt.

<sup>151</sup> Allerdings sind diese Effekte insbesondere hinsichtlich der Endkundenwertschätzung derzeit nicht sehr hoch zu bewerten, wie einige Studien ergeben haben. Vgl. Niedersächsisches Umweltministerium: Mit Öko auf Kundenfang? Produktinformation und Marketing als Chance für Wirtschaft und Verbraucher, Tagungsband zur Veranstaltung am 3. Mai 2002 in Hannover, Graue Reihe.

Im Marktsegment **Farben/Lacke** sind u. a auch die Bereiche Verpackungen, Coatings (Beschichtungen) Klebstoffe usw. zusammengefasst. Hier wird vorwiegend wasserfreies Ethanol höchster Reinheit und Neutralität in denaturierter Form verwendet. Traditionell ist dieser Markt eine Domäne der Syntheseethanolindustrie, zumal hier oft ganze Produktgruppen als Paket geliefert werden. Es werden im Normalfall keinerlei Qualitätsabweichungen oder Schwankungen hinsichtlich der Sensorik geduldet.

Schließlich gibt es noch das Marktsegment der **Lösungsmittel**.<sup>152</sup> Nach Wasser zählt Ethanol – neben Methanol, Isopropanol und Butanolen – zu den am häufigsten verwendeten polaren Lösungsmitteln.<sup>153</sup> Im Bereich der Pflanzenextraktion ist Ethanol sogar das am häufigsten verwendete Lösungsmittel.

**Übrige Verwendungen** machen noch 14 % des Marktes aus. Ethanol wird hier beispielsweise als Frostschutzmittel oder als Brennspritus abgesetzt. Die Anforderungen sind hier nicht besonders hoch im Hinblick auf analytische oder sensorische Qualität

Ethanol, das nicht im Nahrungsmittelsektor verwendet wird, wird im Normalfall in „vergällter“ (denaturierter) Form in den Handel gebracht, da es sich um unversteuerten Branntwein handelt. Es werden je nach Einsatzzweck unterschiedliche Hilfsstoffe zur Denaturierung eingesetzt.<sup>154</sup> Die unbeschränkte Vermarktung von unversteuertem Ethanol z. B. in Form von Brennspritus oder Frostschutzmittel an private Endkunden setzt eine sog. vollständige Vergällung voraus.

Im chemisch-technischen Sektor kann Ethanol durch Isopropanol substituiert werden. Isopropanol ist eine wasserklare, leicht ölige Flüssig-

---

152 Es gibt hier naturgemäß Überschneidungen mit den anderen Marktsegmenten, da beispielsweise auch in der Farbenindustrie Ethanol als Lösungsmittel eingesetzt wird. Das hier dargestellte Marktsegment umfaßt den Einsatz von Ethanol als Lösungsmittel außerhalb der anderen Verwendungszwecke. Insgesamt betrachtet ist die Funktion des Ethanols als Lösungsmittel eine sehr wichtige.

153 Ein Lösungsmittel dient neben dem eigentlichen Auflösen, zum Verdünnen, Extrahieren, Homogenisieren oder Reinigen.

154 Vergällungen werden unter Beaufsichtigung durch den Zoll oder durch beauftragte und vereidigte Personen durchgeführt. Die wichtigsten Vergällungsmittel im Bereich der industriellen Verwendung sind Methyl-Ethyl-Keton, Ethylacetat, Cyclohexan, Iso-Tert- Buthylat, Toluol, Diethylether und Phthalsäurediethylester. Der Handel und die Belieferung mit vergälltem Ethanol erfolgt dennoch unter Zollaufsicht und setzt die Berechtigung des Empfängers zum Erwerb von Ethanol voraus, die er durch Vorlage eines Erlaubnissscheines nachweisen muß.

keit, die sich beliebig mit Wasser und den meisten organischen Lösungsmitteln mischen lässt und geruchlich an Ethanol oder Aceton erinnert. Isopropanol wird heute überwiegend durch katalysierte Gasphasen-Hydratisierung von Propen hergestellt. Die wichtigste Verwendung ist die Herstellung von Isopropylestern (z. B. Isopropylacetat) und in Deutschland die Verwendung als Zusatzstoff zu Kraftstoffen zur Verhinderung von Vergaservereisungen.

Aber auch als Lösungs- und Extraktionsmittel findet Isopropanol vielfältige Verwendungsmöglichkeiten, da es Kunst- und Naturharze, aber auch Fette und Proteine lösen kann. Es wird daher als Bestandteil von Reinigungs-, Frostschutz- und Enteisungsmitteln eingesetzt. In der Hygiene- und Kosmetikindustrie ist es zur äußerlichen Anwendung zugelassen und wird hier als Ethanolersatz verwendet. Da die bakteriziden Eigenschaften von Isopropanol mehr als doppelt so hoch sind als von Ethanol, wird es häufig als Bestandteil von Hand-Desinfektionsmitteln verwendet.

Als Syntheseprodukt der Petrochemie hängt der Preis von Isopropanol stark von der Entwicklung der Rohölpreise und den Synthesekapazitäten ab. Die Preisschwankungen in der Vergangenheit waren mitunter erheblich. Im Vergleich zu Ethanol sind sowohl deutlich höhere Preise als auch deutlich niedrigere Preise festgestellt worden. Derzeit liegt Isopropanol preislich ca. zehn Prozent unter Ethanol (Isopropanol: 67,00 €/100 kg gegenüber Ethanol: ca. 75,00 €/100 kg).

Die in diesem Kapitel gemachten Aussagen gelten nicht nur für Deutschland sondern auch für die Verwendung von Ethanol im chemisch-technischen Sektor im Ausland. In den Kapiteln, in denen ausländische Märkte beschrieben werden, wird daher auf eine Wiederholung dieser grundlegenden Aussagen verzichtet.

#### 4.2.1 Ethanol im chemisch-technischen Sektor in Deutschland

Der deutsche (Fermentations- und Synthese-)Ethanolmarkt wird derzeit auf ca. 350.000 m<sup>3</sup> geschätzt.<sup>155</sup> Eine Besonderheit des deutschen Marktes

---

<sup>155</sup> Statistische Zahlen zum deutschen Ethanolmarkt liegen nur im sehr begrenzten Umfang vor. Die in diesem Kapitel verwendeten Marktdaten wurden auf Basis des vorliegenden veröffentlichten Datenmaterials (Insbesondere Zahlen der Bundesmonopolverwaltung für Branntwein, vgl.: Statistisches Bundesamt: Branntweinmonopol und Branntweinsteuer 1999/2000, Reihe 9.4 Fachserie 14, S. 16 ff.) und Marktrecherchen der Verfasser zusammengestellt.

im internationalen Vergleich ist der relativ hohe Anteil von Syntheseethanol. Die Aufteilung des deutschen Marktes stellt sich im Jahr 2000 wie folgt dar: Der chemisch-technische Sektor nimmt mit 220.000 m<sup>3</sup> rund zwei Drittel der Gesamtnachfrage nach Ethanol das bei weitem größte Marktsegment ein.<sup>156</sup> Der zweitwichtigste Verwendungsbereich ist die Spirituosenindustrie, auf den 81.000 m<sup>3</sup> entfallen. Essig- und Lebensmittelhersteller fragen rund 22.000 m<sup>3</sup> Ethanol nach, und die Nachfrage nach Korn schwankt um 25.000 m<sup>3</sup>.

In Deutschland sind die Märkte für Spirituosen, Lebensmittel, Essig und Arzneimittel ausschließlich dem Fermentationsethanol vorbehalten. Eine Sonderregelung gilt für die Belieferung der Kosmetikindustrie. Hier ist die Verwendung von Syntheseethanol in einem Betriebsjahr erst dann zulässig, wenn zuvor 20.000 m<sup>3</sup> Agraralkohol zur Verarbeitung im Kosmetiksektor von der Zollverwaltung abgefertigt wurden. In den letzten Jahren konnte Synthesealkohol zur Herstellung von Kosmetika nach Ablauf von rund sechs Monaten des jeweiligen Betriebsjahres verwendet werden. Dieser Zeitpunkt wird vom Bundesministerium der Finanzen im Bundesanzeiger bekannt gegeben.

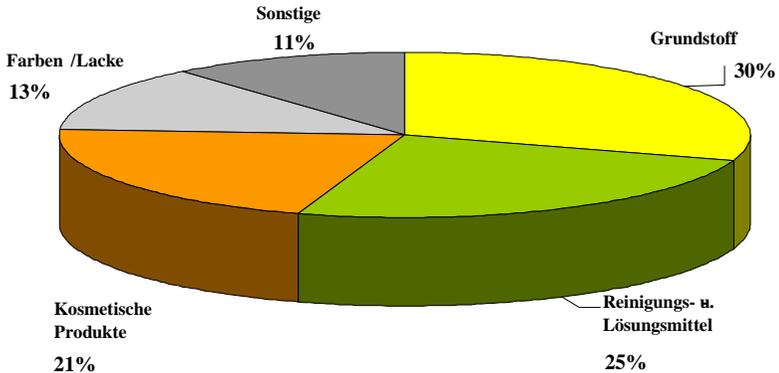
Fermentationsethanol aus der EU darf in Deutschland uneingeschränkt in allen Marktsegmenten eingesetzt werden. Fermentationsethanol aus deutscher Erzeugung war zwar auch schon vor der letzten Änderung des BranntwMonG vom 22.12.1999<sup>157</sup> zum Absatz im Vorbehaltsektor zugelassen, allerdings wurde diese Möglichkeit von den Anbietern nicht im nennenswerten Umfang genutzt.

Seit Oktober 2000 wird in Deutschland nicht ablieferungspflichtiger Fermentationsethanol in zunehmender Menge hergestellt und in allen Segmenten des Vorbehaltsektors – auch im Kosmetiksektor – abgesetzt. Inwieweit die besondere Vorbehaltsregelung für den Syntheseethanol davon betroffen ist, ist derzeit noch nicht abzusehen. Grundsätzlich besteht allerdings die Möglichkeit, dass aufgrund zunehmender Konkurrenz und erhöhter Absatzmengen von Fermentationsethanol im Vorbehaltsektor das Absatzziel der BfB erst zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt im Geschäftsjahr erreicht wird und somit die möglichen Absatzmengen an Syntheseethanol eingeschränkt werden. Inwieweit die

---

156 Eine Abgrenzung der Bereiche Kosmetik und sonstige chemisch-technische Industrie, wie durch die Monopolverwaltung praktiziert, ist nicht unproblematisch und international auch nicht üblich. Daher werden diese nachfolgend zusammen betrachtet.

157 Vgl. Haushaltssanierungsgesetz vom 22.12.1999, Art. 12.



Quellen: Sasol, KWST

Abb. 33: Ethanolnachfrage im chemisch-technischen Sektor in Deutschland

Syntheseethanolindustrie diese Entwicklung tolerieren wird, ist derzeit noch nicht absehbar.

Vor dem Hintergrund der besonderen historischen und rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland bedarf die Analyse der Verwendungsbereiche, Substitutionsbeziehungen und Preise von Ethanol eine eindeutige Abgrenzung und Begriffsbestimmung. Während synthetisches Ethanol nur in bestimmten Anwendungen verwendet werden darf, ist der Einsatz von Fermentationsethanol aus landwirtschaftlichen Produkten unbeschränkt möglich. Die Abgrenzung der Einsatzzwecke ist teilweise nicht unproblematisch. So wird Ethanol in der pharmazeutischen Industrie einerseits als Hilfsstoff verwendet, der im Produktionsprozess eingesetzt, dann aber wieder entfernt wird,<sup>158</sup> andererseits aber auch als Lösungs- und Trägermedium von Wirkstoffen genutzt und somit dem menschlichen Verzehr zugeführt.<sup>159</sup> Ethanol, das im Fertigprodukt verbleibt, muß auf biologischem Wege durch Gärung aus landwirtschaftlichen Rohstoffen hergestellt worden sein.

Vom Gesamtabsatz im industriellen Sektor mit einem geschätzten Volumen von 220.000 m<sup>3</sup> in 2000 entfällt mit knapp 67.000 m<sup>3</sup> ein Drittel auf die chemische Industrie, 54.000 m<sup>3</sup> auf konsumnahe Verwendungen als Lösungs- und Reinigungsmittel und 46.000 m<sup>3</sup> auf die Kosmetik-

<sup>158</sup> Z.B. zur Extraktion von Wirkstoffen.

<sup>159</sup> Z.B. als Hustensaft.

industrie. Etwa 30.000 m<sup>3</sup> werden von der Farben- und Lackeindustrie nachgefragt und ein Anteil von etwa 24.500 m<sup>3</sup> entfällt auf sonstige Verwendungen.

Aufgrund der Zweiteilung des Marktes durch die gesetzlich begrenzten Absatzmöglichkeiten von Syntheethanol kommt es mitunter dazu, dass sich der Genußethanolmarkt vom Markt für chemisch-technische Anwendungen abkoppelt. Im Normalfall wird dabei für Trinkethanol ein höherer Preis als für „normalen“ Industrieethanol gezahlt.

Insgesamt lassen sich am Ethanolmarkt drei Preissegmente identifizieren:

Tabelle 13: Preissegmente im Ethanolmarkt

Preissegment	Produktanforderungen	Produkte
<b>Oberes Preissegment (bis zu 10 % mehr gegenüber mittlerem Segment)</b>	Ethanol höchster Reinheit für Spirituosen, pharmazeutische Industrie und Kosmetiksektor	Fermentationsethanol, azeotrop und bedingt wasserfreie Qualität
<b>Mittleres Preissegment</b>	Sehr hohe Reinheit für sonstige industrielle Anwendungen	Fermentations- und Syntheseethanol, azeotrop und wasserfrei
<b>Unteres Preissegment (bis zu 15 % niedrigerer Preis)</b>	Geringe Reinheit für sonstige Verwendungen insbes. Frostschutz, Brennspritus	Fermentationsethanol, azeotrop

Die Bundesmonopolverwaltung hat bis 1998 die durchschnittlichen Verkaufspreise veröffentlicht. Damit sind die Marktpreise für den Vorbehaltssektor bis zu diesem Zeitpunkt weitgehend bekannt. Für Industrieethanol liegen keine offiziellen Marktpreisstatistiken vor. Auch im Vorbehaltssektor sind seit 1998 keine verbindlichen Preisstatistiken mehr erhältlich. Hilfsweise können die veröffentlichten Preise von Brancheninformationsdiensten herangezogen werden.<sup>160</sup> In der nachfolgenden Grafik sind die Ethanolpreise der letzten 15 Jahre für Fermentationsethanol (Vorbehaltssektor) und Syntheseethanol (Industrieethanol) wiedergegeben. Die Preise für Syntheseethanol repräsentieren weitgehend die Marktpreise für Ethanol hoher Qualität im chemisch-technischen Sektor.

<sup>160</sup> Vgl. ISIS LOR.

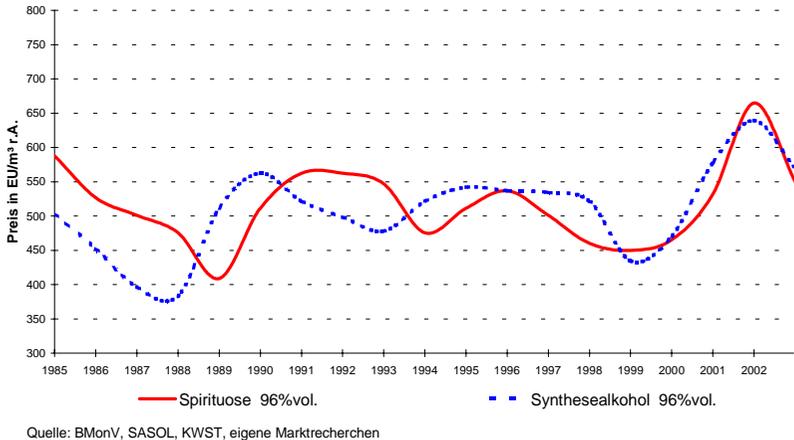


Abb. 34: Entwicklung repräsentativer Marktpreise für Ethanol (1985-2002)

#### 4.2.2 Chemisch-technischer Markt für Ethanol in der EU und ausgewählten Drittländern

Verwendungsbereiche, Substitutionsbeziehungen und Preise von Ethanol im chemisch-technischen Sektor stellen sich im europäischen Ausland ähnlich wie in Deutschland dar. Der europäische chemisch-technische Markt für Ethanol wird auf etwa 900.000 m<sup>3</sup> geschätzt und ist stagnierend.<sup>161</sup> Nachfolgend werden beispielhaft Frankreich, Spanien, Italien und Schweden betrachtet, wobei auf die Herausstellung signifikanter Unterschiede zur deutschen Situation abgestellt wird.

Der Ethanolmarkt in **Frankreich** ist geprägt durch die Erzeugung von – für europäische Verhältnisse – relativ großen Mengen von Bioethanol für den Kraftstoffsektor. Daneben sind die gleichen Verwendungszwecke wie in Deutschland anzutreffen: Ethanol wird für die Herstellung von Spirituosen, für kosmetische Zwecke, Lösungsmittel, Farben und Lacke sowie für chemische Synthesen eingesetzt. Die Ethanolmärkte für Spirituosen wie für Kosmetik sind wesentlich konzentrierter als in Deutschland und werden von einigen großen Herstellern beherrscht. Die qualitativen Anforderungen im Spirituosenmarkt sind sehr hoch, im Kosmetikbereich sind sie mit den Anforderungen in Deutschland vergleichbar.

<sup>161</sup> Vgl. FO. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 30.

Im chemisch-technischen Sektor werden in Frankreich traditionell relativ große Mengen Ethanol abgesetzt. Insbesondere für Anwendungen im Haushaltsbereich ist Spiritus als Reinigungszusatz sehr verbreitet. Die Qualitätsanforderungen in diesem Segment sind im Vergleich zu Deutschland eher niedrig. Die Größe des Gesamtmarktes entspricht in etwa dem deutschen Marktvolumen.<sup>162</sup> Der gesamte Industrieethanolmarkt dürfte im Vergleich zu Deutschland ein etwas geringeres Volumen aufweisen (ca. 200.000 m<sup>3</sup> p.a.), allerdings ist darin der Kosmetiksektor relativ bedeutender als in Deutschland.

Das Preisgefüge des französischen Ethanolmarktes entspricht derzeit im wesentlichen dem des deutschen Marktes. Dies war nicht immer so. Vor einigen Jahren konnten noch relativ deutliche und dauerhafte Preisunterschiede zwischen den beiden Märkten festgestellt werden. Mittlerweile kann von einem europäischen Ethanolmarkt mit weitgehend identischen Preisgefüge gesprochen werden. Zeitweise auftretende Preisunterschiede in den nationalen Märkten, meist durch Überangebot verursacht, gleichen sich auf dem europäischen Markt meist relativ schnell aus.<sup>163</sup> Eine Institution wie das deutsche Branntweinmonopol, das den Markt entsprechend beeinflussen würde, gibt es in Frankreich nicht mehr.

Auch in **Spanien** dominiert der Bereich Bioethanol die Nachfragesituation. Der übrige spanische Ethanolmarkt fällt im Vergleich zum deutschen Markt deutlich kleiner aus, da die Verwendungen im Bereich Chemie, Pharma sowie sonstige Lösungsmittel geringer sind. Nach Händlerauskünften liegt der Anteil von Trinkethanol am Gesamtmarkt bei deutlich über 50 %, teilweise wird er sogar auf 60 bis 70 % eingeschätzt.<sup>164</sup> Aufgrund der milden Temperaturen in dem südeuropäischen Land entfällt das Marktsegment Frostschutzmittel fast vollständig. Der chemisch-technische Gesamtmarkt für Ethanol beträgt nach Händlerauskünften schätzungsweise maximal die Hälfte des deutschen Marktes.

**Italien** hat eine traditionell starke Spirituosenindustrie. Der Ethanolmarkt teilt sich vermutlich zu etwa gleichen Teilen auf die Bereiche Spirituosen und Industrieethanol auf. Es sind die gleichen Marktsegmente wie

---

<sup>162</sup> Statistiken zur Größe der einzelnen Marktsegmente liegen nicht vor.

<sup>163</sup> Ausgenommen davon sind „europäische Randlagen“, in denen aufgrund höherer Frachtraten mitunter dauerhaft höhere Preise für Ethanol realisiert werden.

<sup>164</sup> Allerdings ist davon auszugehen, dass der Anteil an Importspirituosen recht hoch ist. Die nationale Spirituosenindustrie ist stark auf direkt hergestellte Alkoholika (z.B. Brandy) ausgerichtet, die kein Ethanol benötigen.

in Deutschland anzutreffen, wobei auch hier der Bereich der Frostschutzmittel sehr gering ausfällt. Der Gesamtmarkt dürfte nicht nur aus diesem Grund kleiner sein als in Deutschland. Im Vergleich ist insbesondere die chemische Industrie in Deutschland ein größerer Abnehmer. Bioethanol spielt in Italien bislang keine Rolle. Statistische Zahlen über die Aufteilung des italienischen Ethanolmarkts sind nicht verfügbar. Da die nationalen Erzeugungskapazitäten in Italien die Nachfrage bei weitem nicht befriedigen, ist der Importanteil sehr hoch. Wohl auch dadurch bedingt sind die Preisschwankungen auf dem italienischen Markt etwas stärker ausgeprägt als auf dem deutschen Markt. In den letzten Jahren waren auf dem italienischen Markt zeitweise die im europäischen Vergleich niedrigsten und zu anderen Zeiten die höchsten Preise für Ethanol zu verzeichnen.

**Schweden** hat kürzlich mit ca. 50.000 m<sup>3</sup> p.a. eine namhafte Bioethanolproduktion aufgebaut. Da der Markt für Ethanol für konventionelle Zwecke deutlich kleiner ist als in Deutschland, bedeutet dies bereits jetzt eine dominierende Rolle des Bioethanols. Der sonstige Ethanolmarkt dürfte nach Händlerauskunft mit ca. 60.000 m<sup>3</sup> nicht mehr als 20 % des deutschen Marktvolumens betragen. Die Aufteilung der Marktsegmente ist ähnlich. Wetterbedingt ist das wichtige Absatzgebiet Frostschutzmittel in ganz Skandinavien wesentlich umfangreicher. Trotz der geringeren Bevölkerungszahl werden große Mengen in diesem Segment abgesetzt. Der Ethanolpreis ist in Schweden trotz der logistischen Vorteile (häufig Wasseranschluss) traditionell etwas höher als in Deutschland.

Grundsätzlich hängt die Nachfrage nach Ethanol für den chemisch-technischen Sektor vom industriellen Entwicklungsstand eines Landes ab. So ist es auch nicht verwunderlich, dass in den schnell wachsenden **asiatischen Ländern** die Ethanolnachfrage steigt, während in den fortgeschrittenen Industrieländern, in denen der Dienstleistungssektor eine immer wichtigere Rolle einnimmt, die Nachfrage nach Ethanol für den industriellen Sektor stagnierend oder sogar rückläufig ist.

Im asiatisch-pazifischen Raum ist die Ethanolnachfrage für den industriellen Sektor von etwa 150.000 m<sup>3</sup> auf 400.000 m<sup>3</sup> Mitte der 90er Jahre gewachsen und soll bis zum Jahr 2004 ein Volumen von 600.000 m<sup>3</sup> erreichen.<sup>165</sup> Mit Abstand wichtigster Markt der Region ist China mit Wachstumsraten von mehr als 10 % p. a. Die Verwendungsarten konzentrieren sich dort auf Wasch- und Reinigungsmittel sowie Farben und Lacke.

---

<sup>165</sup> Vgl. hierzu F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S 29 ff.

Japan ist trotz eigener Fermentations- und Synthesekapazitäten mit 400.000 m<sup>3</sup> p.a. einer der größten Nettoimporteure von Ethanol. Der Anteil des Industrieethanols macht etwas weniger als die Hälfte der Gesamtnachfrage aus. Der Markt für Industrieethanol wird durch die New Energy Development Organization (NEDO), Teil des Ministry of Industry and Trade (MITI), reguliert, soll aber in den nächsten Jahren liberalisiert werden. NEDO ist ein Monopol, das Ethanol aufkauft und weiter veräußert, ähnlich der Bundesmonopolverwaltung in Deutschland. In Korea beträgt die Nachfrage nach Ethanol knapp 400.000 m<sup>3</sup>, wovon etwa drei Viertel importiert werden. Ähnlich wie in Japan, so ist auch hier die Nachfrage nach Industrieethanol stagnierend.

Der nur leicht wachsende chemisch-technische Ethanolmarkt in den USA wird auf ein Volumen von insgesamt etwa 900.000 m<sup>3</sup> p.a. geschätzt.<sup>166</sup> Damit macht dieses Marktsegment etwa ein Zehntel des gesamten Ethanolmarktes aus. In diesem Segment entfallen jeweils rund ein Fünftel auf die Verwendung für Kosmetika und für Farben und Lacke. Jeweils ein Zehntel werden chemische Verwendungen, Essig und Wasch- und Reinigungsmittel verwendet. Der Markt wird sowohl von Synthese- wie auch Fermentationsethanolerzeugern beliefert. Die Syntheseethanolkapazitäten in den USA sind aufgrund der Dominanz des Fermentationsethanols vergleichsweise sehr gering. Derzeit soll sich nur noch einzige Syntheseethanolanlage in Betrieb befinden.

In **Brasilien** ist der Anteil des im industriellen Sektor verwendeten Ethanols am Gesamtverbrauch mit 0,4 %<sup>167</sup> noch deutlich geringer als in den USA. Dies ist auf das brasilianische Bioethanolprogramm sowie auf den vergleichsweise kleinen industriellen Sektor zurückzuführen.

Abschließend sei an dieser Stelle festgestellt, dass die Nachfragesituation im chemisch-technischen Markt auch von der Konjunktorentwicklung allgemein abhängig, wobei die einzelnen Marktsegmente unterschiedlich konjunkturabhängig sind: Während die chemische Industrie deutlich mit Änderungen ihrer Nachfrage auf konjunkturelle Entwicklungen reagiert, sind andere Segmente wie Kosmetik, Wasch- und Reinigungsmittel weniger sensibel.

---

<sup>166</sup> Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 52.

<sup>167</sup> Vgl. F.O. Licht's International Molasses and Alcohol Report, Vol. 39, No. 2 v. 30.01.2002, S. 43.

#### 4.2.3 Diskussion der marktbestimmenden Faktoren und Perspektiven für die Verwendung von Ethanol im chemisch-technischen Sektor in Deutschland

Die Perspektiven für den verstärkten Einsatz von Ethanol im chemisch-technischen Sektor in Deutschland hängen im wesentlichen von den nachfolgenden Faktoren ab:

- Die Entwicklung der Angebots- und Nachfragestruktur.
- Das Fortbestehen des deutschen Branntweinmonopols und der damit bestehenden Vorbehaltsregelung, die den Absatz von Syntheseethanol im Kosmetiksektor begrenzt.
- Die Entwicklung der Herstellungskosten; dabei sind Rohstoffpreise, sowohl bei Fermentations- wie Syntheseethanol, besonders relevant.
- Die Entwicklung von Importen von Ethanol und Gemischen aus AKP- und Drittländern.
- Die Substitutionsbeziehungen zwischen Syntheseethanol und Fermentationsethanol sowie Substitutionsbeziehungen zu anderen Produkten.

Der Gesamtmarkt für Ethanol für Anwendungen im chemisch-technischen Sektor wurde weiter oben mit rund 220.000 m<sup>3</sup> p. a. geschätzt. Unter der Annahme, dass im grenznäheren europäischen Ausland ebenfalls Absatzpotenzial besteht, kann der Gesamtmarkt auf etwa 300.000 m<sup>3</sup> eingeschätzt werden.

Das Wachstumspotenzial des Marktes ist als gering einzuschätzen. Positive Effekte in einem Bereich werden meist durch negative Effekte in anderen Bereichen kompensiert. So vollzieht sich derzeit im Kosmetikbereich ein geringes Wachstum, dem eine rückläufige Nachfrage bei Farben und Lacken gegenübersteht. Von höherer Bedeutung ist daher die Frage, inwieweit Fermentationsethanol gegenüber Syntheseethanol und anderen Substitutionsprodukten wie Isopropanol komparative Wettbewerbsvorteile aufweist, die für ein Wachstum im Markt genutzt werden können.

Das fermentativ hergestellte Ethanol und das synthetische Ethanol stehen in Konkurrenz zueinander. Beide Stoffe sind für die meisten technischen Anwendungen gleich gut geeignet. Die Besonderheit hinsichtlich der ökologischen Vorteilhaftigkeit von Fermentationsethanol wurde bereits beschrieben. Bestimmte Industrien sehen hier durchaus Marke-

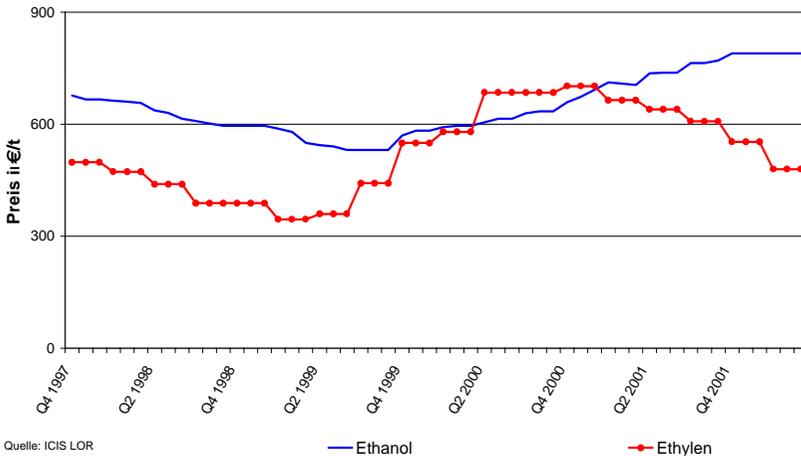


Abb. 35: Preisentwicklung von Ethanol und Ethylen im Vergleich

tingvorteile. Allerdings ist die Preissensibilität hoch und die Wertschätzung derartiger Produkte auch auf Verbraucherseite derzeit eher gering.

Aufgrund großer Produktionskapazitäten in Großbritannien und Deutschland für Syntheseethanol ist der Marktanteil von Syntheseethanol in diesen Ländern traditionell hoch. So wird der chemisch-technische Markt in Deutschland zu über 60 % von den Syntheseethanolherstellern BP, SASOL und SODEZ (über Brenntag) beliefert. Mit einem Marktvolumen von ca. 85.000 t p.a. ist dies für die genannten Anbieter ein wichtiger Absatzmarkt. Darüber hinaus wird Fermentationsethanol aus dem europäischen Ausland importiert und in Deutschland in den genannten Bereichen vermarktet. Addiert ergibt sich ein Marktanteil von etwa 75 %. Die verbleibenden 25 % Marktanteil werden von inländischen Fermentationsethanolherstellern und Veredelungsbetrieben (zum großen Teil ehemalige Lohnreinigungsvertragsbetriebe der Bundesmonopolverwaltung) gehalten. Sowohl Syntheseethanolproduzenten als auch europäische Importeure und inländische Hersteller und Veredler verfügen über nicht unerhebliche freie Produktionskapazitäten. Daher ist von einer verstärkten Konkurrenzsituation auszugehen. Alle Marktteilnehmer sind bestrebt, ihre Marktanteile auszubauen oder zumindest zu halten.

Ein Sonderfall besteht in der beschriebenen deutlichen Reduzierung des Vermarktungsumfanges der Bundesmonopolverwaltung für Brannt-

wein durch Abfindung der gewerblichen Brenner und schrittweisen Reduzierung der Branntweinerzeugung im Rahmen von Brennrechten und somit zu einer Veränderung der Anbieterstruktur. Zwar werden einige der abgefundenen gewerblichen Brennereien die Ethanolproduktion fortsetzen, mittelfristig ist jedoch mit einem Ausscheiden eines Großteils der betroffenen Brennereien zu rechnen. Diese Reduktion betrifft in erster Linie den Vorbehaltssektor und verschärft den Wettbewerb zwischen Syntheseethanolindustrie und einigen ungebundenen Ethanolproduzenten. Unter der Annahme unausgelasteter Kapazitäten wird der Angebotspreis zum entscheidenden Parameter.

Auch im Vergleich zu Isopropanol zeigt sich die besondere Bedeutung des Angebotspreises bei der Kaufentscheidung. Der deutliche Preisvorteil von Isopropanol (in Abhängigkeit vom Ölpreis) kann im Normalfall nicht aufgewogen werden. Das Wachstumspotential für Fermentationsethanol im diesem Segment wird daher als eher gering eingeschätzt.

Die Entwicklung der Rohstoffpreise ist von herausragender Bedeutung für die Kosten der Ethanolherstellung und damit für seine Wettbewerbsfähigkeit. Bei der Produktion von Syntheseethanol sind dies die Preise für Ethylen und bei der Herstellung von Fermentationsethanol die Preise für Melasse und Getreide. Wichtigster Rohstoff für die Syntheseethanolherstellung ist Ethylen. Ethylen wird von der Petrochemie für eine Vielzahl von Zwischen- und Fertigprodukten nachgefragt. Die Ethylenpreise hängen wesentlich von den Rohölpreisen ab, die wiederum vom €/US\$-Wechselkurs beeinflusst werden. Je nach Ethylennachfrage und Crackerkapazitäten können sich die Ethylenpreise mitunter auch vom Rohölpreis abkoppeln. Dies geschah beispielsweise Anfang der neunziger Jahre in einer Phase hoher Ethylenpreise bei gleichzeitig vergleichsweise niedriger Rohölpreise, was auf Engpässe der Crackerkapazitäten zurückzuführen war.

Der derzeit wichtigste agrarische Rohstoff für die Fermentationsethanolherstellung sind Zuckerrüben. In Frankreich und in den Niederlanden wird in erster Linie auf Basis von Zuckerrüben Ethanol hergestellt. Während in den Niederlanden Melasse und teilweise Stärke Hydrolysat verarbeitet wird, verwenden französische Hersteller neben Melasse auch ganze Zuckerrüben in Form von Dünn- oder Dicksaft. Melasse wird in Europa im wesentlichen als Zuckerrübenmelasse angeboten. Auch Zuckerrohrmelasse wird als Importware vermarktet. Größter Abnehmer

für Melasse generell ist die Futtermittelindustrie. Hier wird sowohl Roh- als auch Rübenmelasse verwendet. Die Fermentationsindustrie (Ethanol- und Hefeindustrie) verarbeitet im wesentlichen Zuckerrübenmelasse.

Die Melassepreise unterliegen großen Schwankungen: Im Jahr 2001 lagen die Preise zwischen 99 und 137 € je Tonne in Deutschland. Zum einen liegt dies an wechselnden Situationen am Weltmarkt für Rohmelasse. Phasen eines Überangebotes wechseln mit Phasen von Knappheit, was durch Ernteschwankungen zu erklären ist. Zum anderen ist die Nachfragesituation auf dem Futtermittelmarkt ausschlaggebend für die Entwicklung der Melassepreise. Ende der neunziger Jahre führte eine Neubewertung der Melasse als Futtermittel zu einem deutlichen Preisverfall am Melassemarkt. Dieser Phase folgte allerdings ein schneller Preisanstieg aufgrund vermehrter Nachfrage auf Seiten der Fermentationsindustrie (Hefe und Ethanol) und einer verstärkten Exportaktivität aufgrund eines relativ hohen US\$/€-Wechselkurs verbunden mit einem geringem Angebot auf dem Weltmarkt.

Im allgemeinen ist davon auszugehen, dass aufgrund der großen Kapazitäten und der im langjährigen Mittel geringen Rohstoffkosten die Syntheseethanolindustrie in der Lage ist, zu vergleichsweise geringeren Herstellungskosten zu produzieren. Dies kann sich natürlich in Abhängigkeit von den Rohölpreisen, Ethylenpreisen und landwirtschaftlichen Erzeugerpreisen für zuckerhaltige und stärkehaltige Rohstoffe auch in das Gegenteil verkehren.

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Bewertung der Marktpotenziale von Fermentationsethanol im chemisch-technischen Sektor in Deutschland sind die Importe von Ethanol, die meist über die Seehäfen Rotterdam und Amsterdam in die EU abgewickelt werden. Dabei handelt es sich um zollfrei eingeführtes Ethanol aus Staaten mit Präferenzstatus<sup>168</sup>, um zollfrei eingeführte ethanolhaltige Gemische oder Substitutionsprodukte und um Ethanol, das unter Zahlung der EU-Ausgleichsabgabe in den freien Warenverkehr der EU eingeführt wird. Die Importmengen hängen in erster Linie von der preislichen Attraktivität des europäischen Marktes im Vergleich zu übrigen Weltmärkten ab. Eine besondere Rolle kommt hierbei dem derzeit größten Ethanolproduzenten Brasilien zu. Brasilien ist allerdings kein AKP-Land und genießt daher keinen Präferenzstatus.

---

<sup>168</sup> AKP-Staaten genießen diesen Präferenzstatus.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Absatzmöglichkeiten für Fermentationsethanol aus landwirtschaftlichen Rohstoffen im chemisch-technischen Sektor sehr begrenzt sind. Bei einem hohen Ölpreis ist eine weitergehende Substitution von Syntheseethanol möglich. Wesentliche zusätzliche Verwendungsmöglichkeiten für Fermentationsethanol werden derzeit nicht gesehen. Von daher konzentriert sich die Untersuchung fortan auf den Kraftstoffsektor.

### **4.3 Verwendung von Ethanol und Methanol im Kraftstoffsektor**

#### **4.3.1 Verwendungsmöglichkeiten im Kraftstoffsektor**

Die Alkohole Ethanol und Methanol eignen sich aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften prinzipiell gut als Kraftstoffe für den Verkehrsbereich. Zwar haben sie geringere spezifische Energieinhalte als Otto- oder Dieselmotoren, aber sie sind unter Normalbedingungen flüchtig und können nahezu gleichermaßen gehandhabt werden. Im Vergleich mit anderen neuen Kraftstoffen von Vorteil ist zudem, dass die Substanzen lange bekannt sind und mit etablierten Techniken hergestellt werden können.<sup>169</sup>

Weltweit sind die Motorenkonzepte Otto- und Dieselmotor führend in der Anwendung. Die Verwendung von Ethanol in diesen Motoren ist keine neue Überlegung: Schon Nikolas August Otto verwendete 1860 Ethanol als Kraftstoff in einem Prototyp eines Verbrennungsmotors.<sup>170</sup> Auch Henry Ford ging davon aus, dass Ethanol, hergestellt aus landwirtschaftlichen Rohstoffen, der wesentliche Kraftstoff für sein legendäres T-Modell sein würde.

In Deutschland wurde Ethanol ab 1925 im großen Umfang dem Kraftstoffmarkt als Mittel zur Erhöhung der Klopfestigkeit des Benzin zugeführt. Der Marktanteil erreichte schließlich 10 %.<sup>171</sup> Um den Selbstversor-

---

169 Vgl. hierzu Oertel, Dagmar; Fleischer, Torsten: Brennstoffzellen-Technologie: Hoffnungsträger für den Klimaschutz. Technische, ökonomische und ökologische Aspekte ihres Einsatzes in Verkehr und Energiewirtschaft, Berlin 2001, S. 123.

170 Bemerkenswert ist, dass Otto eine Projektfinanzierung für seine Versuche von Eugen Langen, Inhaber einer Zuckerfabrik, die heute Bestandteil der Pfeifer & Langen AG ist, erhalten hatte. Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 17.

171 Vgl. Dietrich, K. R.: Die Erzeugung und Eignung von Ethylalkohol als Kraftstoff, in: Erdöl und Kohle, 6. Jg, 1953, S. 146 ff.

gungsgrad des Reiches zu erhöhen, hatte die Reichsmonopolverwaltung bis in die letzten Kriegsjahre Benzin mit 10 % Ethanol unter der Marke Monopolin vertrieben. Die niedrigen Erdölpreise in der Nachkriegszeit verhinderten ein Wiederaufleben dieser Ethanolbeimischung.

Grundsätzlich kommen die Verwendung von Ethanol als Reinkraftstoff, als Mischkraftstoff und nach chemischer Umwandlung in Betracht. Ethanol als Reinkraftstoff kann nicht für den Betrieb von konventionellen Motoren verwendet werden.<sup>172</sup> Erforderlich sind Reinethanolmotoren. Eine breite Anwendung setzt damit eine entsprechende Verbreitung dieses Motorentyps sowie ein eigenes Distributionssystem für den Kraftstoff voraus.<sup>173</sup> Damit sind entsprechend hohe Investitionen verbunden.

Ethanol darf herkömmlichem Ottokraftstoff nach DIN EN 228 bis zu 5 Vol.% beigemischt werden. Modifikationen an Motoren sind bei dieser Beimischungshöhe nicht erforderlich.<sup>174</sup> Auch in den EU-Richtlinien 85/536 und 87/441 EWG wird EU-weit die Beimischung von bis zu 5 Vol.-% Ethanol zu Ottokraftstoffen freigestellt.

Eine weitere Möglichkeit stellen die sog. „Flexible Fuel Vehicles“ dar, die sowohl stark ethanolhaltigen Kraftstoff (E-85) wie auch herkömmlichen Ottokraftstoff verwenden können. Zwar ermöglicht dieses Konzept eine höhere Flexibilität, aber auch hier ist ebenfalls der Aufbau einer eigenen Infrastruktur erforderlich. Dieses Konzept wird in einzelnen Projekten für Fahrzeugflotten z. B. in Schweden und in den USA umgesetzt.

Ethanol kann nach chemischer Umwandlung als Ether dem Kraftstoff beigemischt werden. Das dabei entstehende Ethyl-Tertiär-Butyl-Ether (ETBE) kann zum Ersatz der Kraftstoffkomponente Methyl-Tertiär-Butyl-Ether (MTBE) verwendet werden.<sup>175</sup> Der Anteil von ETBE im Kraftstoff darf nach EN DIN 228 bis zu 15 Vol.% betragen.<sup>176</sup> Möglich ist auch die Beimischung von ETBE und Ethanol zum Ottokraftstoff.

---

172 Dieser Reinkraftstoff mit einem Wasseranteil von bis zu 4% wird als E-100 bezeichnet.

173 Vgl. hierzu auch die Ausführungen zu Brasilien.

174 Gelegentlich findet man in der Literatur deutlich höhere Werte (bis zu 30 %) als Grenze für die Beimischung von Ethanol. Dabei wird i.d.R. von Versuchsmotoren oder modifizierten Serienmotoren ausgegangen.

175 Zu MTBE vgl. insbesondere: The European Fuel Oxygenates Association: MTBE Resource Guide, Brüssel 2002, [www.foa.org](http://www.foa.org).

176 Da der Sauerstoffgehalt von ETBE niedriger ist als der von Ethanol, können dem Kraftstoff größere Mengen beigemischt werden, ehe der zulässige maximale Sauerstoffgehalt im Ottokraftstoff erreicht ist.

**Optionen für den Einsatz von Ethanol und Methanol  
in Otto- und Dieselmotoren sowie in Brennstoffzellen**

	Ottomotoren	Dieselmotoren	Brennstoffzellen
Ethanol als Reinkraftstoff	Erfordert Reinethanolmotor	./.	./.
Ethanol als Mischkraftstoff	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zumischung von bis zu 5 Vol.%, keine Modifikationen erforderlich (DIN EN 228)</li> <li>• höhere Zumischung mit Modifikationen</li> <li>• E-85 (angepasste Motoren, Flexible Fuel Vehicles)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei geringer Zumischung bereits deutliche Absenkung des Flammpunktes (DIN EN 590), daher keine Option</li> </ul>	Ethanol als Wasserstoffträger
Ethanol nach chemischer Umwandlung	Etyhl-Tertiär-Butyl-Ether als Oktanzahlverbesserer (Substitution MTBE)	./.	./.
Methanol	Max. 3% Zumischung (DIN EN 228)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wie Ethanol, daher keine Option</li> </ul>	Methanol als Wasserstoffträger

Abb. 36: Optionen für den Einsatz von Ethanol und Methanol

Die Beimischung von Ethanol zum Diesel wird nicht praktiziert. In der Dieselmotorkraftstoffnorm DIN EN 590 wird auf Ethanol nicht ausdrücklich Bezug genommen. Eine bereits geringfügige Beimischung von Ethanol würde allerdings zu einer deutlichen Absenkung des Flammpunktes führen, was entsprechend der Norm nicht zulässig ist.<sup>177</sup>

Nach den Ölkrisen wurde Methanol, das kostengünstig aus Erdgas synthetisiert werden kann, als Zusatz zum Ottokraftstoff wie auch als Alternativkraftstoff intensiv diskutiert.<sup>178</sup> Das farblose und giftige Methanol darf bis zu 3 Vol.% dem Ottokraftstoff beigemischt werden. Gegenüber Benzin hat es den Vorteil, nicht krebserregend zu sein. Im Boden kann es von Mikroorganismen relativ schnell abgebaut werden. Sicherheitstechnisch hat Methanol zum einen den Nachteil, das es mit nahezu unsichtbarer Flamme brennt, zum anderen den Vorteil, dass es schnell mit Wasser zu löschen ist.<sup>179</sup>

Der Einsatz des aus Erdgas gewonnenen Methanols ist energetisch der direkten Verbrennung von Erdgas unterlegen. Vorteilhaft ist bei der Ver-

177 Diesel ist der Gefahrenklasse A III mit einem Flammpunkt > 55°C zugeordnet.

178 Der Methanol-Kraftstoff war unter der Bezeichnung M 100 bekannt.

179 Methanol ist deshalb als einziger Kraftstoff für das Indianapolis-Rennen zugelassen.

wendung von Methanol lediglich die im Vergleich mit Erdgas höhere Energiedichte. Allerdings ist diese Energiedichte immer noch deutlich niedriger als die von Ottokraftstoff.<sup>180</sup>

Aussichtsreicher könnte die Verwendung von Methanol als Wasserstoffträger für die Brennstoffzellentechnologie (BZ) sein. Der Vorteil von Methanol für die Brennstoffzellentechnik offenbart sich bereits in der chemischen Formel  $\text{CH}_3\text{OH}$ , die den hohen Anteil an Wasserstoff und den relativ geringen Anteil an Kohlenstoff dokumentiert. Bei dem Einsatz von BZ-Antrieben kommt kurz- bis mittelfristig den Methanolreformersystemen, längerfristig der Direktmethanol-BZ eine wichtige Rolle zu.

Die BZ gewinnt aus dem „methanolisierten“ Wasserstoff in einer Reaktion mit Sauerstoff Strom, der den Elektromotor antreibt. Gegenüber konventionellen verbrennungsmotorischen Antrieben weisen Brennstoffzellenantriebe einen deutlich höheren Systemwirkungsgrad (Tank-to-Wheel) auf. Dieser Vorteil wird durch energetische Verluste in der Erzeugung fossilen Wasserstoffs oder fossilen Methanols aus Erdgas in Höhe von etwa 30-40 % (Well-to-Tank) gegenüber Benzin/Diesel (8-12 %) teilweise kompensiert. Beim Einsatz von regenerativem Wasserstoff, Methanol oder synthetischem Benzin/Diesel haben die Antriebskonzepte in der gesamtenergetischen Betrachtung (Well-to-Wheel) denselben energetischen Aufwand in der Kraftstoffbereitstellung. Hier kann die Brennstoffzelle ihren höheren Fahrzeugwirkungsgrad voll ausspielen.

Der Wasserstoffträger Methanol kann ähnlich wie Benzin über das bestehende Tankstellennetz vertrieben werden. Allerdings kann neben Methanol auch Ethanol als Wasserstoffträger Verwendung finden. Diesen Ansatz verfolgen beispielsweise die französischen Automobilhersteller.<sup>181</sup>

---

180 Der in der Mineralölwirtschaft geläufige Satz „Methanol ist schon zur Hälfte verbrannt“ beschreibt dieses Dilemma zutreffend.

181 Bei der Brennstoffzellentechnologie läßt sich der benötigte Wasserstoff über den Prozess der Reformierung aus nahezu allen konventionellen Energieträgern gewinnen, also auch aus den heute genutzten Kraftstoffen Diesel und Benzin. Die jeweiligen Kohlenwasserstoffe werden dazu katalytisch in ihre chemischen Bestandteile zerlegt. Energetisch und technisch gesehen scheidet Diesel als Kraftstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge heute weitgehend aus, da der Reformierprozess nur bei sehr hohen Temperaturen abläuft und die zahlreichen Nebenprodukte die chemische Reaktion beeinträchtigen.

Der technologische Stand des BZ-Antriebs wird mittlerweile als „einsatztauglich“ bezeichnet, bereits in naher Zukunft kann mit ersten Anwendungen gerechnet werden. So sollen im Jahre 2002 die erste Stadtbusse, ab 2004 die ersten PKWs mit der BZ-Technologie von DaimlerChrysler ausgeliefert werden.<sup>182</sup> Allerdings ist nicht davon auszugehen, dass noch in diesem Jahrzehnt eine breite Markteinführung von BZ-Fahrzeugen und damit einhergehend eine nennenswerte Substitution von Otto- und Dieselfahrzeugen stattfindet. Vertreter der Automobilindustrie gehen davon aus, dass BZ-Fahrzeuge erst ab 2015 technologische und wirtschaftliche Produktreife erlangen und im Markt eingeführt werden.

Die direkte Beimischung von Bioethanol zu Ottokraftstoff sowie die Herstellung von ETBE sind somit die relevanten Optionen.

#### 4.3.2 Beimischung von Bioethanol zum Ottokraftstoff

Weiter oben wurde ausgeführt, dass Ethanol herkömmlichen Ottokraftstoff bis zu 5 Vol.% zugemischt werden darf. Von dieser Möglichkeit macht die Mineralölwirtschaft in Deutschland bislang keinen Gebrauch, da Ethanol ohne steuerliche Besserstellung gegenüber den fossilen Kraftstoffkomponenten preislich nicht wettbewerbsfähig ist. Allerdings werden auch technische Gründe für die Ablehnung des Produktes Bioethanol aufgeführt. Die Beimischung von Ethanol zum Ottokraftstoff hat Auswirkungen auf Fahrverhalten, Emissionen und Kraftstoffverbrauch. Oktanzahlen, Volatilität und Wasseraffinität werden durch die Beimischung verändert. Dies wird nachfolgend erörtert.

Kraftstoffe mit niedrigen Oktanwerten neigen im Motor zum sogenannten „Klopfen“.<sup>183</sup> Die Folgen reichen von einem merklichen Leistungsverlust bis hin zu gravierenden Motorschäden wie etwa durchgebrannte Kolben. Klopfeste Kraftstoffe vermeiden solche Spontanverbrennungen. Erkennbar ist dieses Benzin an entsprechend hohen Oktan-

---

182 Vgl. o.V.: Kraftstoffe für die Welt von morgen, in: DaimlerChrysler Hightech Report, Ausgabe 2000, S. 12 ff.

183 Man spricht vom Klopfen, wenn es unter hohen Temperaturen und hohem Druck neben der durch die Zündkerze verursachten Hauptverbrennung zu einer unkontrollierten „Spontanverpuffung“ kommt. Problematisch an der unkontrollierten Verbrennung ist die dadurch verursachte thermische und mechanische Überbeanspruchung des Motors. Die Selbstentzündung erzeugt eine Stosswelle mit extremen Drücken und hohen Temperaturen, wodurch Motorteile in Schwingungen geraten können. Dies erzeugt das typische „klopfende“ oder „klingelnde“ Geräusch.

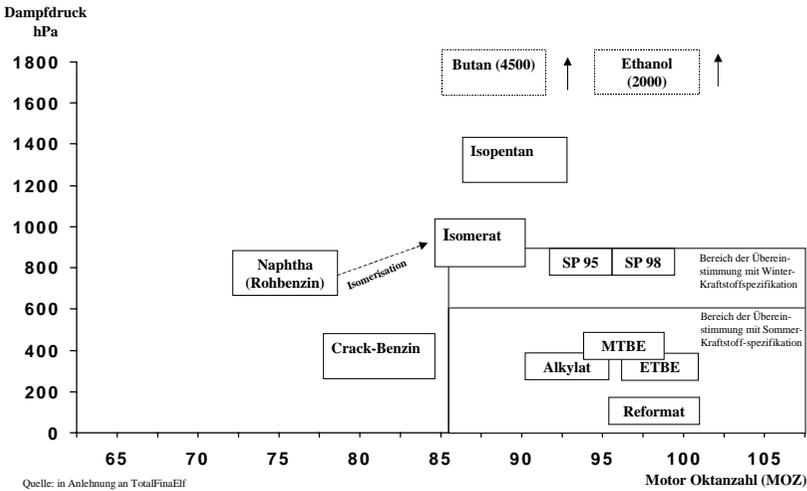


Abb. 37: Dampfdruck und Oktanzahlen von Bioethanol und ETBE im Vergleich zu anderen Kraftstoffkomponenten

zahlen.<sup>184</sup> Als Grundregel gilt somit, dass für den motorischen Betrieb die Oktanzahl möglichst hoch sein sollte.

Die Zugabe von Ethanol erhöht die Oktanzahl, wobei der Effekt bei der Research Oktanzahl (ROZ) ausgeprägt und bei der Motor Oktanzahl (MOZ) nach Aussagen der Mineralölwirtschaft nur noch gering ist.<sup>185</sup> Der Gewinn an Klopfestigkeit des Ottokraftstoffs ermöglicht eine Steigerung des Kompressionsverhältnisses des Motors und damit einen besseren Wirkungsgrad. Darin liegt ein großer Vorteil der Beimischung von Ethanol.

<sup>184</sup> Oktanzahlen von Kraftstoffen liegen zwischen 0 und 100, einzelne Komponenten können Oktanzahlen bis 120 aufweisen. Je niedriger die Zahl, desto klopfreudiger ist das Kraftstoffgemisch. 100 ist die Oktanzahl für klopfeste Gemische. In einem Laborverfahren mit einem Prüfmotor werden bei unterschiedlichen Leistungsbedingungen zwei Oktanzahlen bestimmt: die „Research-Oktanzahl“ (ROZ) und die „Motor-Oktanzahl“ (MOZ). Da bei MOZ die Bedingungen härter sind, fällt diese Oktanzahl immer niedriger aus als die ROZ. Schließlich wird noch unter Praxisbedingungen eine „Straßen-Oktanzahl“ (SOZ) ermittelt.

<sup>185</sup> Robles, H.; Schuhmacher, T.: Gasoline Oxygenates: Is there a "Safer" Alternative to the Use of MTBE?, <http://www.lfr.com/mtbe/mtbe-AEH-2000.htm>, 2002

In Versuchen auf der Straße (SOZ) wurde die positive Wirkung der Ethanolbeimischung zum Ottokraftstoff bestätigt, insbesondere bei niedrigen Drehzahlen und unter Beschleunigungsbedingungen.<sup>186</sup> Dieser positive Effekt vermindert sich allerdings mit steigenden Drehzahlen und Übergang auf Vollastbedingungen und kann sich dabei sogar in eine Verschlechterung umkehren, die bei höheren Ethanolkonzentrationen ausgeprägter ist.<sup>187</sup>

Bei Mischungen von Ottokraftstoff mit Ethanol kommt es zu einer Veränderung des Dampfdrucks, der nicht linear mit dem Mischungsverhältnis ist. Der Dampfdruck resultiert aus den Kraftstoffkomponenten, die bei einer definierten Temperatur in einem geschlossenen Behälter aus der Flüssigphase in die Dampfphase übergehen. Bei der Beimischung von Ethanol treten hier Dampfdruckanomalien auf. Ethanol und Methanol weisen einen niedrigeren Dampfdruck als Ottokraftstoff, so dass bei Zumischung der Dampfdruck des Gemischs abfallen sollte.<sup>188</sup> Dies ist allerdings bei niedrigen Ethanolkonzentrationen nicht der Fall. Bei höheren Ethanolgehalten nimmt die Dampfdruckanomalie ab.<sup>189</sup>

Durch die Veränderung des Dampfdrucks kann es zu Volatilitätsproblemen kommen. Die Neigung des Benzins zur Verdampfung – seine Flüchtigkeit (Volatilität) – ist die zentrale Voraussetzung zum Einsatz als Ottokraftstoff und zugleich ein wesentliches Qualitätsmerkmal.<sup>190</sup> Prinzipiell muss die Flüchtigkeit des Ottokraftstoffs so beschaffen sein, dass in allen Situationen ein zündfähiges Kraftstoff-Luft-Gemisch dem Brennraum zur Verfügung steht.

Ethanol ist ein Lösungsmittel und im Gegensatz zu Ottokraftstoff mit Wasser völlig mischbar. Diese Eigenschaft von Ethanol kann zu Problemen führen, wenn Ottokraftstoffe mit Bioethanolanteil mit Wasser in Berührung kommen. Da Wasser eine höhere Dichte als Ottokraftstoff hat, scheidet es sich im Tank als separate Phase am Boden ab. Hierhin kann ein großer Teil des Bioethanols wandern.<sup>191</sup> Dieses Wasser-Ethanol-Gemisch ist nicht für den Betrieb von Motoren geeignet.

---

186 Ethanol brennt schneller als Ottokraftstoff, was einen schnelleren Drehmoment-Aufbau zur Folge hat. Ethanol hat auch aufgrund der OH-Gruppe eine besonders hohe Verdampfungswärme, die für eine gute Innenkühlung des Motors sorgt.

187 Allerdings sei darauf hingewiesen, dass diese Studien vor ca. 20 Jahren mit den damals vorhandenen Motoren durchgeführt worden sind.

188 Reines Ethanol hat bei 37,8°C einen Dampfdruck von 160 hPa. Der Dampfdruck von Ottokraftstoff liegt bei ca. 400 hPa.

Dieses Phänomen der möglichen Phasentrennung erschwert die Lagerung von Ethanol-Ottokraftstoffmischungen. Tanks müssen gründlich getrocknet und weitgehend gegen den Zutritt von Feuchtigkeit geschützt werden. Um das Gemisch nicht lagern zu müssen, wird z. B. in Schweden und in den USA Ethanol erst bei der Beladung der Tankzüge beige-mischt.<sup>192</sup> Problematisch ist auch der Transport von Ottokraftstoff-Bioethanol-Gemischen in Pipelines, da diese im Regelfall nicht trocken gehalten werden können und sich somit Wasser-Ethanolansammlungen bilden können. Diese Pipelineproblematik zeigt sich z.B. besonders stark in den USA.

Zur Verhinderung der Entmischung können dem Kraftstoff zusätzliche Lösungsvermittler beigegeben werden.

Ethanol ist aufgrund seiner polaren Hydroxylgruppe reaktionsfreudiger als Kohlenwasserstoffe. Manche Elastomere quellen bei Kontakt mit Ethanol stark auf und auch Farbanstriche sind nicht immer mit Ethanol verträglich.<sup>193</sup> Dies erfordert in Fahrzeugen und in der Logistikkette den Einsatz geeigneter Schläuche und Dichtungen. Ethanolhaltige Kraftstoffe wirken zudem korrodierend auf Leichtmetalle und Stahl. Dabei handelt es sich im Normalfall meist um eine Sekundärwirkung durch den höheren Wassergehalt dieser Kraftstoffe. Diesem Problem kann mit dem Zusatz von Korrosionsschutzmitteln begegnet werden. Bei hohen Ethanolkonzentrationen kann auch eine direkte Einwirkung des Ethanols auf Aluminium, Magnesium, Kupfer, Blei und Zink erfolgen.

---

189 Die Alkohole haben einen niedrigeren Dampfdruck als Ottokraftstoff, obwohl wegen der kleineren Moleküle das Gegenteil zu erwarten wäre. Ursache dafür sind die sogenannten Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den OH-Gruppen der Alkohole. Diese Bindungen verkoppeln die Alkoholmoleküle miteinander zu größeren Einheiten. Das erschwert die Verdampfung, weil die Wasserstoffbrückenbindungen vor dem Übergang eines Moleküls in die Gasphase gelöst werden müssen. Wird Alkohol nur in geringen Mengen Kohlenwasserstoffen zugemischt, so sind die einzelnen Alkoholmoleküle im wesentlichen von Kohlenwasserstoffen umgeben und dadurch voneinander getrennt. Die die Verdampfung hemmenden Wasserstoffbrückenbindungen können sich nur in geringerem Maß ausbilden, und es kommt folglich zu einer Dampfdruckerhöhung des Grundkraftstoffs. Deshalb wird auch in Gemischen aus Alkohol und Kohlenwasserstoffen mit Blendwerten gearbeitet.

190 Da Benzin ein Gemisch aus vielen Kohlenwasserstoffen ist, hat es keinen definierten Siedepunkt, sondern einen Siedebereich, der etwa zwischen 30 °C und 200 °C liegt. Die Flüchtigkeit wird durch den Sieverlauf in diesem Temperaturband und durch den Dampfdruck charakterisiert. Der Sieverlauf beschreibt den Anteil verdampfter Flüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen.

Zwei Faktoren beeinflussen den Kraftstoffverbrauch gegenläufig: Zum einen beträgt der Energiegehalt von Ethanol nur etwa zwei Drittel des Energiegehalts von Ottokraftstoff,<sup>194</sup> zum anderen hat Ethanol bessere Verbrennungseigenschaften und erhöht die Oktanzahl. Dies führt über eine höhere Kompression des Motors zur einer Wirkungsgradverbesserung.

Die Angaben über den Kraftstoffverbrauch bei der Zumischung von Ethanol sind nicht einheitlich, teilweise sogar widersprüchlich. Prüfstands- und Straßentests haben sowohl Kraftstoffmehrverbräuche wie -minderverbräuche gezeigt. Bei modernen Fahrzeugen mit komplexer Regelungstechnik ist der geringere Energiegehalt deutlich sichtbar geworden und hat sich in entsprechenden Mehrverbräuchen geäußert.<sup>195</sup> Vertreter der Automobil- wie der Mineralölindustrie vermuten, dass bei den heutigen Motorenkonzepten der Mehrverbrauch etwa 40 % des beigemischten Ethanolanteils beträgt.

Bei ethanolhaltigen Kraftstoffen wird im Vergleich zu ethanolfreien Ottokraftstoffen im allgemeinen einerseits eine Verminderung der Emissionen von Kohlenwasserstoffen, Kohlenmonoxid, Partikeln und aromatischen karzinogenen Verbindungen gefunden, andererseits steigt die Freisetzung der ebenfalls karzinogenen Aldehyde an. Für Stickoxide wurden teils Verminderungen, teils Erhöhungen festgestellt.<sup>196</sup>

Versuche mit ethanolhaltigen Ottokraftstoffen wurden vor allem in den 80er Jahren durchgeführt. Aktuelle Studien, die Veränderungen des Fahrverhaltens wie des Verbrauchs der derzeitigen Motorengeneration abbilden, liegen nicht vor. Hier sehen sowohl Vertreter der Mineralöl-

---

191 Das Wasserlösevermögen von Ethanol-Ottokraftstoffmischungen ist eine Funktion des Ethanolgehalts, der Temperatur und der Zusammensetzung des Ottokraftstoffs, wobei niedere Aromaten für die Wasseraufnahme besonders förderlich sind. Phasentrennung tritt besonders leicht bei niedrigen Ethanolgehalten auf, weil das Aufnahmevermögen für Wasser mit sinkendem Ethanolgehalt abnimmt.

192 Vgl. Sarkkinen, Kari: Technology for bioethanol production from different raw materials, International Symposium on Alcohol Fuels, September 21-24, 1998, Beijing.

193 Der Angriff auf die Elastomeren erfolgt oft durch Peroxide, die im Rahmen der leicht erfolgenden Oxidation des Ethanols zu Carbonsäuren gebildet werden.

194 Der untere Heizwert von Ethanol beträgt 21,06 MJ/l. Das Verhältnis zum Ottokraftstoff mit einem Heizwert von 35,7 MJ/l beträgt damit 1:0,6486.

195 Beispielsweise sind für E-10-Fahrzeuge Mehrverbräuche von 2-5% gemessen worden, was im wesentlichen mit dem geringeren Energiegehalt übereinstimmt. Vgl. Oxy-Fuel News v. 17.7.1995.

196 Vgl. Oxy-Fuel News v. 17.7.1995.

wie der Automobilindustrie konkreten Forschungsbedarf. Insbesondere Erkenntnisse zur Frage, ob und in welchem Umfang es zu Kraftstoffmehrerbräuchen bei modernen Motoren kommt, ist von zentraler Bedeutung, da dies nicht nur wirtschaftliche Auswirkungen hat, sondern auch eine Hebelwirkung auf Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz von Bioethanol besitzt.

Bei allen Mischungen mit Ottokraftstoff muß Ethanol wasserfrei sein. Problematisch für die Verwendung im Kraftstoff können neben einem möglichen Wassergehalt Säuren und andere Nebenbestandteile sein. Spezifikationen für Bioethanol sind bei der deutschen Mineralölindustrie bislang nicht vorhanden.

### 4.3.3 Herstellung und Beimischung von ETBE

In der Vergangenheit wurden in den Raffinerien zur Verbesserung der Klopfestigkeit von Ottokraftstoffen hauptsächlich Bleialkyle eingesetzt. Die Herausnahme des Bleis und die zunehmende Auslegung moderner Motoren auf Superbedarf erfordern heute andere Verfahren zur Herstellung hochklopfester Kraftstoffe. Die Klopfestigkeit wird durch die Zugabe von Ether wie MTBE, ETBE, DIPE oder TAME verbessert. Ether sind sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffverbindungen, in denen eine CH<sub>2</sub>-Gruppe durch ein Sauerstoffatom ersetzt ist. Sie zeichnen sich u. a. durch hohe Oktanzahlen (ROZ über 100, MOZ bei 100) und niedrigen Dampfdruck aus. Die hohe Oktanzahl der Ether macht diese Komponenten für das Aufmischen hochoktaniger Ottokraftstoffe wertvoll. Die Herstellung von Ether erfolgt durch Reaktion von Alkoholen mit verzweigten Olefinen.

Ether sind als sauerstoffhaltige Kraftstoffkomponenten gut mit Kohlenwasserstoffen mischbar, weisen keine Dampfdruckanomalie wie etwa Ethanol auf und sind wenig wasseraffin. Zudem ist die Materialverträglichkeit als Mischkomponente im Ottokraftstoff gegeben. Bei den Abgasemissionen macht sich der Sauerstoffanteil positiv bemerkbar, da er zu einer Gemischabmagerung und damit zur Emissionssenkung beiträgt.<sup>197</sup> Ether dürfen dem Ottokraftstoff nach DIN EN 228 bis zu 15 Vol.% beige-mischt werden.

---

<sup>197</sup> Einige US-Bundesstaaten mit hoher Kohlenmonoxid-Belastung schreiben daher Kraftstoffe mit mindestens 2,5 Vol.% Sauerstoff vor.

Tabelle 14: Eigenschaften von Ethern im Vergleich<sup>a</sup>

Bezeichnung	Siedepunkt °C	Dichte kg/m <sup>3</sup> bei 20°C	Dampfdruck hPa	Octanzahl ROZ	Octanzahl MOZ	Heizwert Hu MJ/kg	Sauerstoffgehalt Gew.-%
<b>MTBE</b> Methyl-Tertiär- Butyl-Ether	55	740	480	114	98	35,27	18,15
<b>ETBE</b> Ethyl-Tertiär- Butyl-Ether	72	742	280	118	102	36,39	15,66
<b>DIPE</b> Di-Iso-Propyl- Ether	68	725	240	110	100	26,445	15,66
<b>TAME</b> Tertiär-Amyl- Methyl-Ether	85	770	160	111	98	27,905	15,66
<b>PTBE</b> Iso-Propyl-Ter- tiär-Butyl-Ether	88,5	740	200			27,461	13,77
<b>Ottokraftstoff</b> Super z. Ver- gleich	25-215	ca. 750	600-900	96	85	ca. 41	0-2

- a. Vgl. DGMK: Ansatzpunkte und Potentiale zur Minderung des Treibhauseffektes aus Sicht der fossilen Energieträger, Forschungsbericht 448-2, 1992, eigene Berechnungen.

Überwiegend MTBE wird heute als oktanzahlerhöhende Kraftstoffkomponente eingesetzt, vor allem in der Ottokraftstoff-Qualität Super Plus. Wegen vergleichsweise höherer Herstellungskosten werden andere Ether kommerziell kaum verwendet. MTBE wird in einer katalytisch gesteuerten Umwandlung aus 36 % Methanol und 64 % Isobuten gewonnen. Isobuten fällt als Nebenprodukt in der Raffinerie bei der Benzinherstellung an. Wichtig ist, dass die MTBE-Herstellung in einem Verbund mit einer Erdölraffinerie und einer weiterverarbeitenden chemischen Industrieanlage erfolgt, um Synergieeffekte sowohl bei Herstellungskosten wie Energieverbrauch nutzen können.<sup>198</sup>

<sup>198</sup> So wird z.B. die MTBE-Anlage von Degussa Huels im Industriepark Marl betrieben, wo diese Voraussetzungen erfüllt sind.

Dieses MTBE kann durch ETBE ersetzt werden, das zu 47 % aus Ethanol und 53 % Isobuten gewonnen wird. Es wird also lediglich der Methanolanteil durch einen etwas höheren Ethanolanteil ausgetauscht.

ETBE unterscheidet sich positiv von Ethanol als Kraftstoffkomponente, da es problemlos in den Raffinerien dem Ottokraftstoff beigegeben und auch in Pipelines transportiert werden kann. Das Wasseraufnahmevermögen von MTBE entspricht dem von Ethanol oder Methanol, allerdings wandern Ether nicht in eine sich möglicherweise bildende Wasserphase. Die ursprüngliche Zusammensetzung des Kraftstoffs wird damit nicht verändert. ETBE ist in Wasser noch weniger gut löslich als MTBE und ist daher noch vorteilhafter zu beurteilen. Ether sind allerdings nicht so gut abbaubar wie Ethanol oder Methanol, weil die Etherbindung chemisch wenig reaktiv ist. Zur Toxizität von MTBE und ETBE ist zu bemerken, dass MTBE vorläufig als Stoff klassifiziert worden ist, der möglicherweise Krebs auslösen kann.<sup>199</sup> Spezifische Erkenntnisse zur Toxizität von ETBE sind nicht bekannt, allerdings wird vermutet, dass die Eigenschaften ähnlich denen von MTBE sind.

Nach den Ergebnissen mehrerer Studien sind die Emissionen von ETBE-haltigem Ottokraftstoff mit denen von MTBE vergleichbar oder besser.<sup>200</sup> Durch den Einsatz von ETBE können Kraftstoffkomponenten, die bei den Emissionen in starkem Maß zur Partikelbildung führen, ersetzt oder verdünnt werden, so dass insgesamt günstigere Abgaswerte erhalten werden. Zudem liegen gute Praxiserfahrungen mit ETBE vor. Im praktischen Einsatz gibt es keine Probleme, wie etwa die Erfahrungen in Frankreich zeigen.

MTBE-Anlagen können ohne großen Aufwand in ETBE-Anlagen umgebaut werden, da lediglich von der Herstellung eines Ethers auf ein anderes Ether umgestellt werden muß. Zur Verbesserung der Ausbeute wird ETBE bei einer etwas höheren Reaktionstemperatur hergestellt. Die Konversionskosten von ETBE sind damit auch etwas höher als bei MTBE und betragen etwa 51 € je t.

Die Diskussion um den Ersatz von MTBE wurde in jüngster Vergangenheit insbesondere durch den Beschluß des kalifornischen Gouverneurs, den Zusatz von MTBE zu Ottokraftstoffen ab Ende 2003 zu verbie-

---

<sup>199</sup> US Environmental Protection Agency.

<sup>200</sup> Vgl. Hoshi, H.: Vehicles and engines for ethanol blended gasoline, The Importance of Ethanol as Additive to Gasoline in Japan, United Nations University, Tokio, 5th November 2001, [www.bnri.co.jp/biomass](http://www.bnri.co.jp/biomass).

Tabelle 15: Ethanol, ETBE und Biodiesel im Vergleich

Eigenschaften	Ethanol	ETBE	zum Vergleich Biodiesel (RME)
Verfügbarkeit landwirtschaftliche Rohstoffe	ausreichend für EU-Beimischungsziele	ausreichend	begrenzt auf ca. 1,2 Mio. t, entspricht etwa 5 % des aktuellen Dieselerbrauchs
Herstellungskosten <sup>a</sup>	ca. 45-55 Ct/l	ca. 40 Ct/l	ca. 50-55 Ct/l
Beimischungsgrenze <sup>b</sup>	bis 5 Vol.%	bis 15 Vol%; ETBE kann zum Ersatz von MTBE im Kraftstoff eingesetzt werden (derzeit ca. 1,4 % des Ottokraftstoffs)	bislang Anwendung als reiner "Biodiesel"; Beimischung zum herkömmlichen Diesel bei der Mineralölindustrie in der Diskussion
Wasseraffinität	hohe Wasseraffinität, kann zur Phasentrennung führen und erschwert Lagerung wie Transport	ETBE weniger gut löslich in Wasser als MTBE; sehr gute Eigenschaft von ETBE	Wasser kann zur Zersetzung durch Hydrolyse führen; Problem durch Additive lösbar
Abbaubarkeit	leicht abbaubar	Ether nicht so gut abbaubar wie Ethanol, da chemisch weniger reaktiv	leicht abbaubar, kann in sensiblen Bereichen eingesetzt werden
Toxizität	wenig toxisch	möglicherweise karzinogene Wirkung	nicht toxisch
Volatilität	Dampfdruckanomalie; ggfs. kann es aufgrund des steigenden Dampfdrucks zu Volatilitätsproblemen kommen	besser als MTBE und Ethanol; Volatilität unproblematisch	nicht relevant

Tabelle 15: Ethanol, ETBE und Biodiesel im Vergleich (Forts.)

Eigenschaften	Ethanol	ETBE	zum Vergleich Biodiesel (RME)
Materialverträglichkeit	ggfs. bei bestimmten Elastomeren und Metallen problematisch. Tanks und Leitungen müssen entsprechend ausgelegt sein	gut, Anwendung unproblematisch	Umbaumaßnahmen an Tanks und Leitungen sowie Motoren erforderlich
Oktan- bzw. Cetanzahlen	Gewinn an Klopfestigkeit, dadurch Steigerung Kompression und besserer Wirkungsgrad möglich	wie Ethanol; ETBE ist wertvolle hochoktanige Kraftstoffkomponente	Cetanzahl von Biodiesel besser als herkömmliches Diesel
Emissionen	Verminderung der Emissionen von Kohlenwasserstoffen, Kohlenmonoxid, Partikeln und aromatischen karzinogenen Aldehyden; u.U. Erhöhung Stickoxide	wie Ethanol; deutliche Verbesserung gegenüber MTBE-Kraftstoff	deutlich weniger Schadstoffausstoß als bei fossilen Kraftstoffen
Kraftstoffverbrauch	Mehrverbrauch wahrscheinlich	kein Mehrverbrauch	Mehrverbrauch (+10 %)
Anwendungserfahrung	seit vielen Jahren im Ausland praktiziert ohne signifikante Probleme (>20 % Änderung Motor erforderlich)	seit vielen Jahren Anwendungserfahrung im Ausland vorhanden, ETBE gilt in der Praxis als gute Kraftstoffkomponente	vorhanden, allerdings Probleme mit der Sicherstellung von Qualitätsstandards

- a. Herstellungskosten sind vor allem abhängig von landwirtschaftlichen Rohstoffkosten, US-Dollarkurs sowie Rohölpreis.
- b. DIN EN 228.
- c. EU, DG Energie und Transport.

ten, gefördert. In den USA war MTBE vielfach in Grund- und Oberflächenwasser nachgewiesen worden. Begründet wurde dieser Schritt mit dem geringen Abbau der Substanz im Grundwasser und dem Verdacht auf krebserzeugende Wirkung. Zudem führen bereits geringe Konzentrationen zu einer starken geruchlichen Beeinträchtigung des Trinkwassers.<sup>201</sup>

Auch wenn ETBE überwiegend nicht biogenen Ursprungs ist, wird es dennoch als ein Biokraftstoff mit Potenzial betrachtet, da es als Kraftstoffkomponente sehr gute Eigenschaften aufweist.

Tabelle 15 gibt einen Überblick über die wesentlichen Eigenschaften von Ethanol und ETBE. Der bereits etablierte Kraftstoff Biodiesel wurde zu Vergleichszwecken in den Überblick einbezogen.

#### **4.3.4 Verwendung von Ethanol im Kraftstoffsektor in ausgewählten EU-Ländern**

##### **4.3.4.1 Überblick über die Bioethanolverwendung in der EU**

Der größte Bioethanolerzeuger in der EU ist Spanien, gefolgt von Frankreich. In beiden Ländern wird ETBE im Kraftstoffsektor eingesetzt. Dagegen wird in Schweden Bioethanol dem Ottokraftstoff beigemischt. Während man in Schweden zunächst Erfahrungen mit dem relativ jungen Bioethanolprogramm sammeln möchte, werden in Spanien und Frankreich bereits erhebliche Kapazitätsausweitungen geplant.

In der EU gibt es laufende Bioethanolprogramme nur in diesen drei Ländern. In Österreich ist bislang die Verwendung von Biodiesel gefördert worden. Auch in Italien wird Biodiesel in größeren Mengen hergestellt. In Zukunft will Italien aus klimapolitischen Erwägungen verstärkt Bioethanol fördern und sieht darin auch eine gute Verwendungsmöglich-

---

<sup>201</sup> Im Gegensatz zur Situation in Kalifornien werden in Deutschland in 94 % der Kraftstoffe deutlich geringere Mengen MTBE zugesetzt. Aufgrund des hohen Sicherheitsstandards und entsprechender Vorschriften ist darüber hinaus auch die Leckagerate der Pipelines und Tankstellen deutlich geringer als in Kalifornien. Das Umweltbundesamt sieht daher bei MTBE kein akutes Umweltrisiko und empfiehlt weiterhin den Zusatz zum Ottokraftstoff, da dadurch die Emissionen des karzinogenen Benzols stark gemindert und auch CO- und HC-Emissionen reduziert werden. Vgl. Pahlke, Günter: Kein Umweltrisiko durch MTBE, [www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/mtbe.htm](http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/mtbe.htm). Siehe auch McKee, R.; Molyneux, M.: The health hazards and exposures associated with gasoline containing MTBE, Concawe, Brüssel 1997.

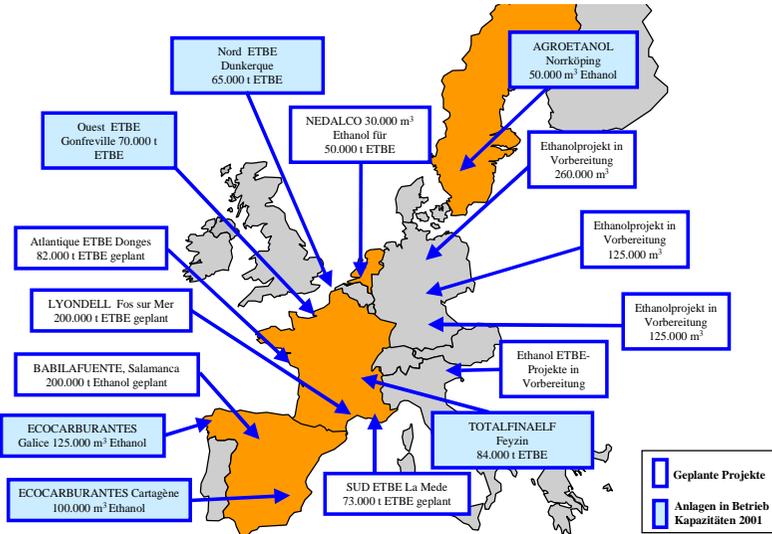


Abb. 38: Bestehende und geplante ETBE- und Bioethanolanlagen in Europa (In Anlehnung an UEPA, eigene Nachforschungen)

keit für das im Lande anfallende große Volumen an Weinethanol. In den Niederlanden hat es in der Vergangenheit Versuche des einzigen Herstellers Nedalco gegeben, Bioethanol bzw. ETBE im Markt zu etablieren. Diese sind an den Widerständen der Mineralölindustrie gescheitert. In Belgien gibt es bislang lediglich eine Biodieselanlage. In Deutschland planen Zuckerindustrie und Getreidevermarkter große Ethanolanlagen. Großbritannien, Heimat eines der größten Syntheseethanolherstellers der Welt, fördert Bioethanol bislang nicht, auch sind Informationen über Projektplanungen in einem fortgeschrittenen Stadium nicht bekannt. Allerdings wird Biodiesel gefördert. Auch in den weiteren EU-Ländern werden derzeit Bioethanol- oder ETBE-Programme staatlich nicht gefördert. Vor dem Hintergrund der im Jahr 2002 beschlossenen Mineralölsteuerbefreiung von Ethanolbeimischungen zum Kraftstoff planen die Zuckerindustrie und Getreidevermarkter Großanlagen in Nord-, Süd- und Ostdeutschland.

Nachfolgend werden die Hintergründe und Erfahrungen in Spanien, Frankreich und Schweden erläutert. Daran anschließend erfolgt eine Analyse der beiden größten Bioethanolherzeuger der Welt, Brasilien und USA.

#### 4.3.4.2 Spanien

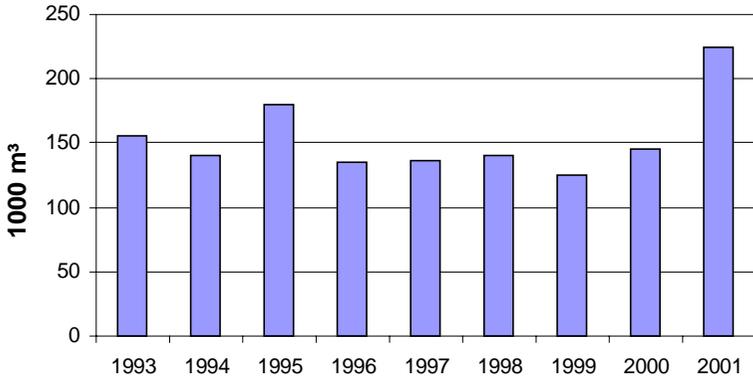
Spanien hat sich in relativ kurzer Zeit zum größten Bioethanolhersteller Europas entwickelt und produziert seit Inbetriebnahme der zweiten Anlage im Jahr 2002 mit insgesamt 225.000 m<sup>3</sup> p.a. mehr Bioethanol als Frankreich. Diese Menge wird im Jahr 2004 nach Inbetriebnahme der derzeit in Planung befindlichen dritten Großanlage auf insgesamt 425.000 m<sup>3</sup> ansteigen. Damit wird Spanien in Europa nach jetzigem Planungsstand das mit deutlichen Abstand führende europäische Bioethanoland sein.

Begonnen hat das Engagement für Bioethanol in Spanien im Jahr 1995, als der Firma Ecocarburantes Españols von den spanischen Steuerbehörden eine Steuerbefreiung für Bioethanol zugesagt wurde. Daraufhin wurde ab 1996 von der Firma Abengoa, die 95 % der Anteile an Ecocarburantes Españols hält, und der Nationalen Spanischen Energieagentur (IDEA), Eignerin der restlichen 5 % des Unternehmens, ein Projekt zur Herstellung von Bioethanol in Cartagena entwickelt. Die Anlage wurde im Jahr 2000 in Betrieb genommen und produziert ca. 100.000 m<sup>3</sup> Ethanol im Jahr. Das Investment wird von Abengoa mit 70 Mio. € einschließlich der Energieerzeugung angegeben. Bei der Energieerzeugung handelt es sich um eine KWK-Anlage. Es sind ca. 70 Mitarbeiter im Unternehmen beschäftigt.

Die Bioethanolerzeugung erfolgt nach den nachfolgenden, typischen Verfahrensschritten:

- Aufbereitung des Rohmaterials auf dem Wege einer Trockenvermahlung
- Verflüssigung und Verzuckerung
- Fermentation mit Kohlendioxidgewinnung
- Destillation
- Rektifikation
- Entwässerung mit einem Molekularsieb
- Aufbereitung bzw. Trocknung DDGS
- Vergällungseinrichtungen
- Abwasserbehandlungsanlage.

Ein zweites Projekt begann im Jahr 1997 mit der Steuerbefreiung für eine Anlage in Galizien. Mit dem Bau dieser Anlage wurde in 2000 begonnen, die Produktion lief im Jahr 2002 an. Träger der Anlage sind zu 90 % die Firma Abengoa und zu 10 % eine lokale Investitionsgesellschaft, die SO-DIGA Galicia. Die Jahresproduktionsmenge beträgt 125.000 m<sup>3</sup> Ethanol.



Quelle: F.O. Licht

Abb. 39: Ethanolerzeugung in Spanien

Als drittes Projekt wird derzeit eine Anlage in Babilafuente bei Salamanca, nordwestlich von Madrid, geplant. Das Unternehmen Biocarburantes Castilla León (BCL) plant hier die Produktion von 200.000 m<sup>3</sup> Ethanol p.a. Mit dem Bau der Anlage soll im Laufe des Jahres 2002 begonnen werden. BCL ist ein Joint Venture von Abengoa und Ebro Puleva.

In allen in Betrieb befindlichen Anlagen wird ausschließlich Weizen und Gerste verarbeitet. Andere Getreidesorten oder gar Hackfrüchte sind für die klimatischen Bedingungen in Spanien wenig geeignet. In der geplanten Anlage von BCL sollen neben Getreide auch ca. 60.500 t lignozellulosehaltige Rohstoffe zu ca. 5.000 m<sup>3</sup> Ethanol verarbeitet werden. Als Kuppelprodukte wird in den spanischen Anlagen DDGS und CO<sub>2</sub> produziert und verkauft.

Das in den derzeit bestehenden Anlagen produzierte Bioethanol wird als entwässertes Ethanol in den Raffinerien der Firmen Repsol und Cepsa zu ETBE weiterverarbeitet.<sup>202</sup> Zukünftig ist allerdings auch geplant – etwa für die Produktion aus der Anlage von BCL – bis zu ca. 5 % Ethanol dem Benzin direkt beizumischen.

Eine Belieferung der konventionellen Märkte für Ethanol in Spanien erfolgt nicht. Im Jahr 2001 betrug die Gesamterzeugung in Spanien etwa 220.000 m<sup>3</sup>, davon entfielen rund 45 % auf den Kraftstoffsektor. Im Jahr

<sup>202</sup> Die wichtigsten Qualitätsparameter der spanischen Mineralölindustrie für Bioethanol lauten: MOZ 102; ROZ 129; Dichte 790 kg/m<sup>3</sup>; 34,7% O<sub>2</sub>-Gehalt; VHL 0,92.

2004 wird nach Inbetriebnahme der dritten Anlage die Gesamterzeugung in Spanien bei rund 550.000 m<sup>3</sup> liegen. Der konventionelle Markt wird dann nur noch einen Anteil von rund 20 % haben. Die Bioethanolanlagen liefern ausschließlich in den Kraftstoffsektor. Anders als in Frankreich erfolgt die Bioethanolerzeugung damit in sog. „dedicated factories.“ Eine Belieferung der konventionellen Märkte würde in Spanien als Wettbewerbsverzerrung betrachtet werden.

Im spanischen Bioethanolprogramm ist die Firma Abengoa der industrielle Partner, der für Planung, Bau und Betrieb der Anlagen verantwortlich zeichnet. Die produzierenden Landwirte sind über Erzeugergenossenschaften eingebunden, darüberhinaus sind staatliche Gesellschaften wie IDEA und SODIGA sowie weitere Investoren wie Ebro Puleva an der Entwicklung der Bioethanolprojekte beteiligt. Die beiden wichtigsten spanischen Ölgesellschaften, Repsol und Cepsa, sind durch den Abschluß langfristiger Lieferträge in das Programm eingebunden.

Die Steuerbefreiung für Biokraftstoffe ist zeitlich auf fünf Jahre begrenzt und erfolgte unter Zugrundelegung der EU-Pilotprojektregelung.<sup>203</sup> Die spanische Regierung verfolgt mit dem Programm ähnliche Ziele wie z. B. Frankreich oder Schweden. Zum einen soll durch zusätzliche Wertschöpfung bei landwirtschaftlichen Produkten die Einkommenssituation insbesondere in ärmeren ländlichen Regionen verbessert werden und Arbeitsplätze gesichert bzw. geschaffen werden, zum anderen soll ein Beitrag für den Umwelt- und Klimaschutz geleistet werden.

Die Erfahrungen mit dem spanische Bioethanol-Projekt sind nach Aussagen der Beteiligten bislang positiv, da entsprechend der Zielsetzung die Land- als auch Forstwirtschaft von den Aktivitäten profitiere, der Primärenergieverbrauch an fossiler Energie reduziert und die Abhängigkeit von Energieimporten weiter verringert worden sei. Zudem gebe es positive Auswirkungen auf die Handelsbilanz und das Projekt fördere Industrieaktivitäten in ländlichen Gebieten.

Die positiven Auswirkungen auf den Umweltschutz liegen sowohl im Bereich der Energieeinsparung als auch im Bereich der Emissionsverringerng. Die Energiebilanz der Anlage in Cartagena wird insbesondere

---

<sup>203</sup> EU Direktiven 92/81CE vom 31.10.1992 (Pilotprojekte) sowie 98/70CE vom 13.10.1998. Vgl. auch Weißbuch und Grünbuch der EU, neuere EU-Direktiven sowie die spanischen Gesetze für die Steuerbefreiung im Mineralölbereich: 38/1992 und RD-1165/1995, für den Kohlenwasserstoffbereich 34/1998, für die Direktbeimischung in Benzin RD-1728/1999, für die Förderung von Biokraftstoffen RD-62000.

durch die Energieerzeugung durch ein Kraft-Wärme-Kraftwerk verbessert. Dieses Kraftwerk versorgt die umliegende Region mit Strom und Wärme und liefert darüber hinaus Dampf und elektrische Energie für die Bioethanolanlage. Hingewiesen wird zudem auf deutlich niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionen von ethanolhaltigen Ottokraftstoff.

Diesem Nutzen stehen auf der anderen Seite Steuerausfälle des Staates gegenüber. Normaler Ottokraftstoff wird in Spanien mit 0,396 € je Liter besteuert. Bei einem Absatz von 225.000 m<sup>3</sup> Ethanol gehen dem Staat Verbrauchssteuern in Höhe von etwa 85 Mio. € p.a. verloren.

In Spanien werden intensive Forschungsbemühungen unternommen, um einen Dieselmotorkraftstoff mit Ethanolbeimischung zu entwickeln. Einen weiteren Forschungsschwerpunkt stellt die Ethanolherstellung aus Biomasse,<sup>204</sup> wie z. B. Getreidestroh, Weichholz oder häusliche Abfälle, dar. Biomasse wird generell als bedeutendster Rohstoff für die zukünftige Ethanolherstellung eingeschätzt, allerdings ist die wirtschaftliche Herstellung bislang noch nicht möglich, und die Entwicklung entsprechender Verfahren wird voraussichtlich noch einige Jahre in Anspruch nehmen.<sup>205</sup> In Spanien wird zudem für die Brennstoffzellentechnik Ethanol als Wasserstoffträger präferiert.

#### 4.3.4.3 Frankreich

Frankreich ist der führende europäische Ethanolherzeuger. Im Marktsegment Bioethanol mußte im Jahre 2002 allerdings die führende Rolle an Spanien abgegeben werden. Allerdings wird in Frankreich nicht Ethanol, sondern bis zu 15 % ETBE dem Ottokraftstoff beigemischt.<sup>206</sup>

Frankreich kann auf eine lange Tradition der Verwendung von Ethanol im Kraftstoffsektor zurückblicken. Erste Versuche einer Beimischung wurden 1873 unternommen. 1923 wurde ein Gesetz erlassen, das Ölimporteuren eine Abnahmeverpflichtung von Ethanol in Höhe von 10 % ihrer Öl-Einkaufsmenge auferlegte. Im Jahre 1935 wurde dieser Satz auf 15 % erhöht; damit wuchs der Marktanteil von Ethanol im Kraftstoffsek-

---

204 Die Anlage von BCL in Babilafuente wird eine der ersten großtechnischen Anlagen in Europa sein, die lignozellulosehaltige Rohstoffe verarbeitet.

205 Vgl. zu diesem Abschnitt Alarcón, Joaquín: The Strategic Vision of Abengoa Biofuels, Vortrag, World Biofuels Congress 2002 in Sevilla, 23./24.04.2002 sowie weitere Auskünfte von Abengoa.

206 Darüber hinaus wird in Frankreich auch Biodiesel hergestellt. Das Biodieselvolumen ist etwa doppelt so hoch wie das Ethanolvolumen.

tor auf 12 %. Nach dem Zweiten Weltkrieg ließ jedoch der Einsatz von Ethanol im Kraftstoffsektor nach. Anfang der 50er Jahre benutzten nur noch Busse der Pariser Verkehrsbetriebe eine Kraftstoffmischung, die Ethanol enthielt. 1958 wurde auch diese Form der Beimischung beendet.

Eine Wiederbelebung erfolgte in den 80er und frühen 90er Jahren, als die Regierung die negativen Auswirkungen der ersten Runde der Agrarreformen abfedern und den Landwirten eine zusätzliche Einkommensmöglichkeit schaffen wollte.<sup>207</sup> Die zuvor ablehnende Einstellung der Automobil- und der Mineralölindustrie zu Ethanol aufgrund der Volatilität und Wasseraffinität des Produktes änderte sich, da man vor allem auf ETBE setzte, das zunehmend Akzeptanz fand.

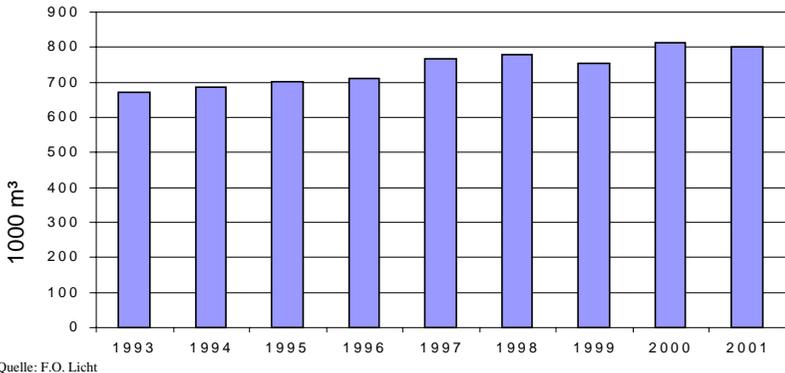


Abb. 40: Ethanolerzeugung in Frankreich

Ende der 80er Jahre wurde eine frühere MTBE-Raffinerie bei Lyon in eine erste ETBE-Anlage umgebaut, zwei weitere Anlagen wurden neu aufgebaut. Diese Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 219.000 t/a werden von TotalFinaElf betrieben. Die Anlage Feyzin mit einer Kapazität von 84.000 t ist ein Unternehmen der TotalFinaElf, bei den beiden anderen Anlagen Nord ETBE in Dunkerque und Quest ETBE in Gonfre-

<sup>207</sup> 1985 wurde die Association pour le Developpement des Carburants Agricoles (ADECA) gegründet. ADECA ist der französische Verband für die Förderung von Biokraftstoffen. Mitglieder sind agroindustrielle Unternehmen und Landwirte mit Aktivitäten im Zuckerrüben-, Weizen-, Mais- Kartoffel- und Ölsaatenanbau.

ville handelt es sich um Joint Ventures, an denen neben TotalFinaElf auch Ethanolherzeuger mit 40 % und Landwirte mit 20 %<sup>208</sup> beteiligt sind.

Weitere Umbauten bzw. Neubauten von Anlagen sind vor dem Hintergrund der Diskussion um die Biokraftstoffrichtlinie der EU geplant. In Donges am Atlantik soll eine ETBE-Anlage mit einer Kapazität von 82.000 t und in La Mède eine Anlage für 131.000 t ETBE errichtet werden. Damit würde die derzeit bestehende ETBE-Erzeugungskapazität verdoppelt.

Ethanol wird in Frankreich im industriellen Maßstab von etwa 15 Unternehmen in 20 verschiedenen Anlagen hergestellt. Die jährliche Gesamtproduktion liegt bei ca. 800.000 m<sup>3</sup>. Davon werden rund 100.000 bis 120.000 m<sup>3</sup> im ETBE-Markt abgesetzt.<sup>209</sup> Schätzungen gehen davon aus, dass Kapazitätsreserven von rund 100.000 m<sup>3</sup> bei den Produzenten bestehen.

Bei den Ethanolherzeugungsanlagen handelt es sich überwiegend um Annexanlagen von Zuckerfabriken. So ist es auch nicht verwunderlich, dass rund 75 % der Produktion auf Basis von Zuckerrüben erfolgt, während auf Getreide nur ein Anteil von 25 % entfällt. Die Ethanolherzeuger haben langfristige Lieferverträge mit den Betreibern der ETBE-Anlagen abgeschlossen.

Die Rohstoffproduktion erfolgt im Vertragsanbau. Dafür werden knapp 14.000 ha Zuckerrüben- und knapp 12.000 ha Getreide angebaut.<sup>210</sup> Damit macht der Zuckerrübenanbau für die Bioethanolherzeugung nur einen Anteil von 3,2 % der gesamten Zuckerrübenanbaufläche von 440.000 ha aus. Die 35.000 französischen Zuckerrübenanbauer bearbeiten im Schnitt 13 ha Zuckerrübenfläche; allerdings ist die Bandbreite sehr groß. Im Durchschnitt entfallen damit 0,4 ha Bioethanol-Rübenfläche auf einen Landwirt. Dieses Mengenverhältnis erklärt auch die Bereitschaft der Landwirte, das relativ niedrige Preisniveau und das Risiko eines möglichen negativen Deckungsbeitrages zu einzugehen.

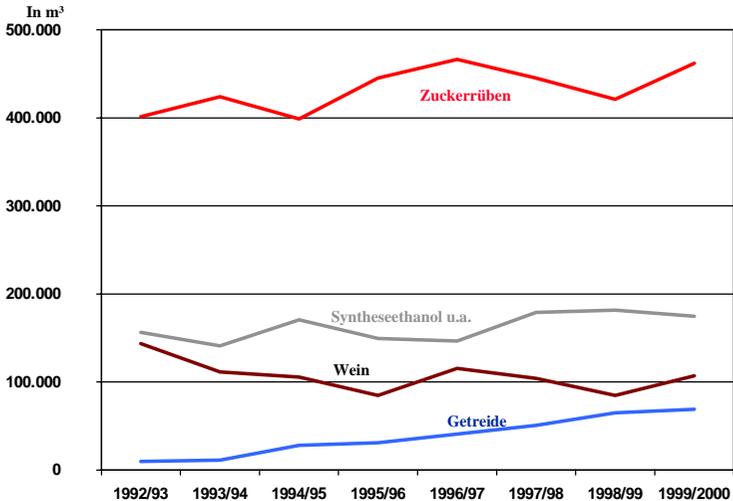
Die Preise für Zuckerrüben und Getreide richten sich nach den zu erzielenden Ethanolpreisen. In der Vergangenheit lagen die Preise, die die Landwirte erzielen konnten, meist nahe dem C-Rübenpreis; sie schwankten zwischen 21,5 und 26 €/t bei 16 % Zuckergehalt. Die Land-

---

<sup>208</sup> Es handelt sich dabei um den Verband der Zuckerrübenanbauer, Confédération Générale des Planteurs de Betteraves, CGB, und den der Getreideherzeuger, AGPD.

<sup>209</sup> Quelle: CGB.

<sup>210</sup> Quelle: CGB.



Quelle: SNPAA

Abb. 41: Ethanolproduktion Frankreich nach eingesetztem Rohstoff

wirte erhalten dafür im Regelfall keine Flächenprämie. Für Weizen werden etwa 76 €/t gezahlt. Das ist weniger als der Getreideinterventionspreis von 101 €/t. Die Preisgestaltung ist so gewählt, damit es durch die Energiegetreideproduktion auf Stilllegungsflächen nicht zu Störungen des traditionellen Getreidemarktes kommt. Wird Weizen für die Ethanolherzeugung auf Stilllegungsflächen erzeugt, werden Stilllegungsprämien gezahlt. Eine stärkere Nutzung von Weizen als Rohstoff ist nach einer generellen Vereinbarung der beteiligten Verbände dann vorgesehen, wenn mehr als 200.000 m<sup>3</sup> Ethanol für den Kraftstoffsektor hergestellt werden. Bei der über diese Grenze hinausgehenden Menge soll Ethanol zu 70 % auf Basis von Getreide hergestellt werden.

Die Ethanolherzeuger übernehmen den Transport der Rüben vom Acker und tragen auch die Kosten. Die durchschnittliche Entfernung zur Zuckerfabrik beträgt etwa 20 km, allerdings werden die entferntesten Rüben auch über eine Distanz von 150 km transportiert.

Aufgrund der Verbrauchssteuerbefreiung des Ethanolanteils im ETBE wurde dieses Produkt wettbewerbsfähig und für die Mineralölindustrie attraktiv. Die Preise für Ethanol, das im ETBE verwendet wird, liegen bei ca. 400 bis 450 €/m<sup>3</sup>. Die ETBE-Erzeuger erhalten eine Steuergutschrift für

das verwendete Ethanol. Der Ethanolanteil im ETBE liegt bei 47 %. Die Unternehmen, die an diesem Prozess teilnehmen wollen, müssen sich dazu in einer europaweiten Ausschreibung bewerben. Die in das Programm einbezogenen Anlagen werden zollamtlich geprüft.

Dies geht auf die französische Rechtsregelung zur Verbrauchssteuerermäßigung von 1997 zurück, die unbefristet ausgestellt wurde. Sie sieht vor, dass die französischen Behörden eine Zulassung erteilen, die es einem zugelassenen Lagerinhaber, der Biokraftstoffe mit Mineralölen mischt, ermöglicht, die Verbrauchssteuerermäßigung in Anspruch zu nehmen. Diese Zulassungen gelten für einen Zeitraum von höchstens drei bis neun Jahren, gerechnet ab dem Datum ihrer Erteilung.

Nach dieser Regelung gibt es derzeit in Frankreich drei zugelassene Einrichtungen, die als Begünstigte die Verbrauchssteuerermäßigung in Anspruch nehmen können. Es handelt sich dabei um die weiter oben beschriebenen ETBE-Anlagen von Total/Fina/Elf. Allerdings beschränkte die Regierung mengenmäßig die Produktion, um die Einnahmeverluste für das Finanzministerium zu begrenzen. Die Menge ist das Ergebnis von jährlich stattfindenden Verhandlungen von Finanz- und Landwirtschaftsministerium mit den beteiligten Unternehmen und Verbänden.

In den Jahren 2000 und 2001 erzielten die ETBE-Hersteller aufgrund des hohen Preises von ETBE und des geringen Preises von Isobuten sehr hohe Gewinne. Daher erscheint eine Kopplung der Steuervergünstigungen an den Rohölpreis sinnvoll.

Als Gegenleistung zur Gewährung von Steuervergünstigungen fordert die französische Regierung eine Verbesserung der Produktivität und eine Minimierung der Herstellungskosten, die zu einem späteren Zeitpunkt eine Herabsetzung der Steuervergünstigungen rechtfertigt. Neue Produktionsstätten sollen nur genehmigt werden, wenn sich die Betreiber im Gegenzug zu Produktivitätssteigerungen verpflichten.

Mit dem Finanzgesetz Nr. 91-1322 vom 30. Dezember 1991 führte Frankreich Mineralölsteuervergünstigungen für Biokraftstoffe ein. Diese Vergünstigungen wurden durch das Finanzberichtigungsgesetz für 1993 fortgeschrieben. Die höchstens bis zum 31. Dezember 2005 zu gewährenden Steuervorteile galten für Raps- und Sonnenblumenölester, reines Ethanol und Ethanolanteile in Derivaten, wie z.B. in ETBE.<sup>211</sup>

Frankreich hat sich bei der Entwicklung des ETBE-Programms auf die nach dem EG-Verbrauchssteuerrecht gegebene Möglichkeit zur Gewährung von Steuervergünstigungen für Biokraftstoffe gemäß Art. 8 Abs. 2

der Mineralöl-Strukturrichtlinie bezogen. Danach können Mitgliedsstaaten bei Pilotprojekten zur technologischen Entwicklung umweltverträglicher Produkte, insbesondere in Bezug auf Kraftstoffe aus erneuerbaren Rohstoffen, Steuerbefreiungen oder Steuerermäßigungen vorsehen. Die Begünstigung erstreckt sich dabei lediglich auf die im Versuch verwendeten Mineralöle, nicht jedoch auf die im Rahmen des Pilotprojektes hergestellten oder erprobten Erzeugnisse, deren Vermarktung betrieben und deren Absatz gefördert werden soll.

Die Europäische Kommission leitete hinsichtlich der von Frankreich getroffenen Maßnahmen im Juni 1995 gemäß Art. 93 Abs. 2 EGV ein beihilferechtliches Prüfungsverfahren ein. In ihrer Entscheidung vom 18. Dezember 1996<sup>212</sup> qualifizierte die Kommission die von Frankreich gemäß Art. 32 des Finanzgesetzes für 1992, Art. 89 des Finanzgesetzes für 1993 und Art. 30 des Finanzberichtigungsgesetzes für 1993 sowie durch die beiden ETBE-Abkommen gewährten Steuerbefreiungen für Biokraftstoffe als gemeinschaftswidrige Beihilfen und forderte Frankreich zur Einstellung dieser Maßnahmen auf. Daraufhin legte Frankreich der Kommission geänderte Regelungen vor. Nach erneuter Prüfung kam die Kommission nunmehr zu dem Ergebnis, dass die Steuervergünstigungen weder den Wettbewerb verfälschen noch den innergemeinschaftlichen Handel beeinträchtigen und somit unter die Ausnahmeregelung in Art. 92 Abs.3 c EGV fallen würden. Offensichtlich handele es sich um die Durchführung eines begrenzten Steuerbefreiungsprogramms, das die industrielle Realisierbarkeit der Biokraftstoffherstellung zeigen und eine Verbesserung ihrer Wirtschaftlichkeit erreichen solle. Aus diesen Gründen stufte die Kommission die französischen Regelungen als Pilotprojekte im Sinne von Art. 8 Abs. 2d RL 92/81/EWG ein.

---

211 Das nähere Verfahren wurde in einem Erlass geregelt. Die Steuerbefreiung für Ethanol und dessen Derivate war gemäß Art. 22 des Erlasses vom 27. März 1992 an die Vorlage einer den landwirtschaftlichen Ursprung dieser Erzeugnisse bestätigenden Produktionsbescheinigung gebunden. Für ETBE, das nicht in Raffinerien hergestellt und unter Steueraufsicht erst in Mineralölherstellungsbetriebe verbracht wurde, stellten die Zollbehörden die Freistellungsbescheinigungen erst beim Eintreffen des ETBE im Steuerlager des Kraftstoffherstellers aus. Die Freistellung bezog sich dabei auf den errechneten Ethanolanteil. Die Mineralölherstellungsbetriebe wurden von der französischen Zollverwaltung als Betriebe eingestuft, in denen Biokraftstoffe im Rahmen eines Pilotprojektes im Sinne von Art. 8 Abs. 2 d der Mineralölstruktur-Richtlinie hergestellt wurden.

212 97/542/EG.

Durch Art. 25 des Finanzberichtigungsgesetzes für 1997 setzte Frankreich seine Steuerbegünstigung für Biokraftstoffe fort. Die Begünstigung betrug für den Ethanolgehalt der Derivate von Ethanol (insbesondere für ETBE) 329,50 FRF/hl. Diese Steuerbegünstigung konnte Unternehmen gewährt werden, die von den französischen Behörden aufgrund einer im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten Ausschreibung zum Biokraftstoff-Programm zugelassen worden waren. Auf die im Amtsblatt am 19. November 1997 veröffentlichte Ausschreibung gingen für ETBE vier Anträge auf Zulassung einer jährlichen Gesamtmenge von 227.600 t ein. Die Kommission teilte Frankreich mit, dass sie beschlossen habe, gegen die Mineralölsteuervergünstigungen keine Einwände aus beihilferechtlicher Sicht zu erheben.

Gegen die Entscheidung der Kommission erhob jedoch einer der größten Hersteller von Synthesethanol, BP Chemicals Ltd, London, Nichtigkeitsklage vor dem EuGH. Die Klägerin rügte insbesondere einen Verstoß gegen die Bestimmungen der RL 92/81/EWG und gegen Art. 87 Abs.3 EGV. Nach ihrer Ansicht seien die Voraussetzungen für die Pilotprojektregelung nicht gegeben. Dies habe zur Folge, dass es sich bei den von Frankreich gewährten Steuerbegünstigungen um Beihilfen handle, die mit dem Gemeinsamen Markt nicht vereinbar seien. Der EuGH folgte der Argumentation der Klägerin und erklärte in seinem Urteil vom 27. September 2000 die Entscheidung der Kommission vom 9. April 1997 insoweit für nichtig, als diese Maßnahmen zugunsten von ETBE betraf.<sup>213</sup> Der EuGH urteilte, dass die französischen Maßnahmen nicht darauf gerichtet gewesen seien, die technische oder technologische Realisierbarkeit der Herstellung von Biokraftstoffen aufzuzeigen, sondern vielmehr darauf, die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und die industriellen Kapazitäten der bestehenden Produktionsanlagen für Biokraftstoffe zu beurteilen. Ein Pilotprojekt läge somit nicht vor. Auch müsste die Einschätzung der Kommission, dass die Auswirkungen der streitigen Regelung auf den Kraftstoffmarkt gering sei, relativiert werden. Da die Kommission gegen Art. 8 Abs.2 d RL 92/81/EWG verstoßen habe, könne die beihilferechtliche Entscheidung keinen Bestand haben und sei für nichtig zu erklären. Ergänzend wies der EuGH in der Urteilsbegründung darauf hin, dass nichts dagegen spreche würde, über die steuerlichen Vergünstigungen im Rahmen einer Entscheidung des Rates nach Art. 8 Abs.4 RL 92/81/EWG zu befinden.

---

213 SG (97) D/3266.

Die französische Regierung griff diesen Hinweis auf und beantragte am 17. November 2000 eine entsprechende Ermächtigung mit Rückwirkung zum 1. November 1997. Die beantragte Ausnahmegenehmigung wurde durch Entscheidung des Rates vom 25. März 2002 erteilt.<sup>214</sup> Parallel hierzu hatte die Kommission bereits am 29. November 2000 ein beihilferechtliches Verfahren nach Art.88 Abs.2 EGV eingeleitet.<sup>215</sup>

Die mit der Entscheidung des Rates vom 25. März 2002 rückwirkend genehmigten Steuervergünstigungen beruhen auf Art. 25 des Finanzberichtigungsgesetzes für 1997, auf dem Dekret Nr. 98-309 vom 22. April 1998 und auf einem Erlass vom 22. April 1998 zur Einsetzung eines Ausschusses zur Prüfung der Anträge auf Zulassung von Herstellungsbetrieben für Biokraftstoffe.

Das Verfahren und der Umfang der steuerlichen Förderung von ETBE in Frankreich stellen sich wie folgt dar: Es wurden insgesamt drei als Steuerlager ausgestaltete Raffinerien zugelassen, die von TotalFinaElf betrieben werden. In diesen, weiter oben aufgeführten Einrichtungen wird ETBE unverbleitem Benzin zugemischt. Für das angelieferte ETBE erhalten die Steuerlagerinhaber sog. Freistellungsbescheinigungen. Der auf der Bescheinigung ausgewiesene Steuerbetrag wird bei der Mineralölsteuer angerechnet, die bei der Entfernung der fertigen Mischung aus dem Steuerlager für die Gesamtmenge des Kraftstoffes entsteht. Die Vergünstigung kann auch bei Biokraftstofflieferungen aus anderen Mitgliedstaaten der Gemeinschaft in Anspruch genommen werden, sofern die entsprechenden Begleitdokumente den zugesetzten Biokraftstoffanteil ausweisen.

Die Höhe der Vergünstigung beträgt 50,23 €/hl bzw. 297,35 €/t. Die erste Ausschreibung im Jahre 1997 bezog sich auf 270.000 t ETBE (dies entspricht einem Steuerwert von 527 Mio. FRF). Tatsächlich wurden jedoch zunächst nur Zulassungen für 219.000 t (d.h. für einen Steuerwert von 427 Mio. FRF) erteilt. Inzwischen wurde diese Menge deutlich angehoben. Der effektive Mineralölsteuersatz für Mischungen von unverbleitem Benzin und 15 % ETBE Anteil beträgt 511 €/1000 l.<sup>216</sup> Der gemeinschaftsrechtlich festgelegte Mindeststeuersatz für unverbleites Benzin in Höhe von 287 €/1000 l wird durch diese Vergünstigung nicht unterschritten.

---

214 ABl. EG Nr. L 92 vom 9. April 2002, S. 22.

215 Sache C 64/2000, ABl. EG Nr. C 60 vom 24. Februar 2001, S. 4.

216 Der nationale Regelsteuersatz für unverbleites Benzin in Frankreich beträgt 574 €/1000 l.

Unter beihilferechtlichen Aspekten könnte sich ein Problem daraus ergeben, dass Biokraftstoff-Herstellungsanlagen Ethanol oder dessen Derivate sowohl für die Kraftstoffproduktion als auch für andere Zwecke, z. B. für die Herstellung von Spirituosen, verwenden. Aufgrund größerer Verarbeitungs-Kapazitäten und stärkerer Nachfrageposition könnte diesen „dedicated factories“ ein Wettbewerbsvorteil gegenüber Anlagen entstehen, die ausschließlich für den Kraftstoffsektor produzieren. Die steuerliche Förderung von Biokraftstoffen könnte sich als Quersubvention für andere Produktionsbereiche darstellen. Dieses Problem ist den Dienststellen der Kommission bekannt. Die beihilferechtliche Überprüfung dauert zurzeit noch an.

In Frankreich sind die Entwicklung neuer Absatzmöglichkeiten für Landwirte, die Reduzierung des Ölimports und die Förderung von erneuerbaren Energien die wesentlichen Treiber des ETBE-Programms. Damit stehen politische Ziele im Vordergrund des französischen ETBE-Programms. Eine volkswirtschaftliche Analyse, die Kosten und Nutzen des Programms ins Verhältnis setzt, wurde bislang nicht ange stellt.

Alternative Rohstoffe für die Ethanolherzeugung werden auch in Frankreich diskutiert. In Südfrankreich werden Versuche mit Mais unternommen. Topinambur und andere Feldfrüchte wurden ebenfalls analysiert, allerdings werden hier mittelfristig keine signifikanten Potenziale gesehen. Großes Potenzial wird der Produktion von Bioethanol aus lignozellulosehaltigen Rohstoffen eingeräumt, allerdings erst langfristig. Eine kommerzielle Anwendung in größerem Umfang wird mittelfristig in Frankreich nicht erwartet. Dagegen wird Methanol aus Biomasse als eine unattraktive Alternative betrachtet. Die französische Automobilindustrie nimmt zudem Abstand von Methanol als Treibstoff für die Brennstoffzelle und forscht stärker im Hinblick auf den Einsatz von Ethanol in diesem Bereich.

Standards für das Produkt Bioethanol sollen in naher Zukunft entwickelt und verbindlich festgelegt werden. Als besonders wichtig erachten die ETBE-Kunden die Wasserfreiheit des Produktes, daneben darf der Kupferanteil im Ethanol geringe Grenzwerte nicht überschreiten.<sup>217</sup> Die direkte Beimischung von Ethanol zum Ottokraftstoff ist eine wichtige Option für die Zukunft, da hierbei auf eine Verarbeitungsstufe verzichtet werden kann. Versuche mit reinen Ethanolfahrzeugen wurden einge-

---

<sup>217</sup> Kupfer im Kraftstoff beeinträchtigt die Funktion des Katalysators.

stellt, da für diese Anwendung in Frankreich keine Steuerbefreiung existiert; ein wirtschaftlicher Betrieb von reinen Ethanolfahrzeugen ist damit ausgeschlossen.

#### 4.3.4.4 Schweden

Schweden produziert Ethanol auf Basis unterschiedlicher Rohstoffe und mischt dem Kraftstoff bis zu 5 % Ethanol bei. Darüber hinaus wird E-85 für den Flottenbetrieb von Flexible Fuel Vehicles (FFV)<sup>218</sup> sowie als Rein-kraftstoff (E-100) für den Betrieb von Bussen im öffentlichen Nahverkehr eingesetzt. Zur Zeit stellen Biokraftstoffe in Schweden etwa 1 % des Verbrauchs an Kraftstoffen dar.

Im Jahr 2000 betrug die gesamte Ethanolerzeugung in Schweden noch weniger als 20.000 m<sup>3</sup>.<sup>219</sup> Mit der Anfang 2001 in Betrieb gegangenen Bioethanolanlage von Agroetanol in Norrköping hat sich die schwedische Erzeugungskapazität mehr als verdoppelt. Das Unternehmen mit einer Kapazität von 50.000 m<sup>3</sup> produziert Ethanol auf Weizenbasis und setzt es über das Tankstellennetz (OK-Q8, Preem, Shell, Statoil, Hydro, Jet) ab. Dampf und Elektrizität für die Produktion werden über einen Biomasse-reaktor in einem benachbarten Kraftwerk erzeugt.

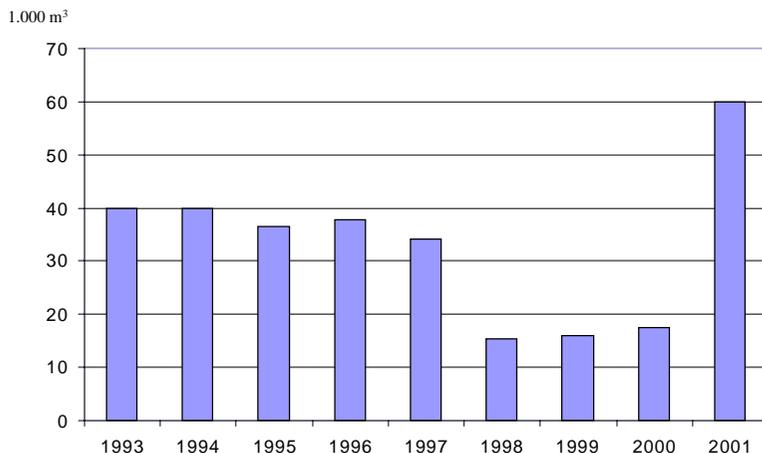
Die erste Ölkrise in 1973 löste auch in Schweden eine Diskussion über eine eventuell entstehende Energieversorgungslücke aus. Die Gewinnung von Energie aus heimischen Rohstoffen wurde in einer ersten Studie untersucht. Dabei wurden Ethanol, Methanol und Zellulose als Ausgangsstoffe betrachtet. 1985 verdichtete sich die Diskussion auf die Herstellung von Ethanol, da Methanol und Zelluloseherstellungsverfahren nicht wirtschaftlich oder noch nicht als technisch ausgereift eingestuft wurden.

Neben der Sicherstellung der Energieversorgung spielten die Interessen der Landwirtschaft eine zweite wichtige Rolle bei der Förderung von Bioethanol. In Schweden wird deutlich mehr Weizen produziert als verbraucht. Die Erzeugung von Ethanol aus Weizen erschien dabei als eine Option, die Überschüsse zu beseitigen. Deshalb ergriffen Landwirt-

---

218 Die Ford-Werke bauen als einziger Hersteller in Europa FFV für ein Käuferkonsortium in Schweden. Ihre Focus-Version „Flexifuel“ fährt dort mit dem Kraftstoff E-85. Bis zum Jahresende 2002 sollen 3.000 Fahrzeuge nach Schweden geliefert werden. Vgl. o.V.: Focus fährt mit Bioalkohol, in VDI-nachrichten, Nr. 3, 18.1.2002, S. 11.

219 Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 64.



Quelle: F.O. Licht, eigene Schätzungen

Abb. 42: Ethanolerzeugung in Schweden

schaftsverbände und der Landwirtschaft nahestehende Politiker in den zwei Dekaden von 1980 bis 2000 verschiedene Initiativen.

1982 wurde auf Initiative der Landwirtschaftsverbände Lantmännen (ähnlich organisiert wie die Raiffeisen Genossenschaften in Deutschland) und LRF Lantmännensriksförbund (entspricht dem deutschen Bauernverband) sowie unter Mitwirkung des schwedischen Staates eine Pilotanlage mit einer Kapazität von 200 m<sup>3</sup> pro Tag projektiert. Das Ziel bestand in der Errichtung sechs derartiger Anlagen. Die Durchführung scheiterte jedoch an der Finanzierung und dem nicht gesicherten Absatz der Erzeugung.

Im Jahre 1984 wurde dann doch eine erste Pilotanlage in Lidköping im westlichen Mittelschweden gebaut. Diese wurde je zur Hälfte von Lantmännen und der Firma Alfalaval finanziert. Letztere hatte ein erhebliches Interesse zur Errichtung einer Referenzanlage mit Blick auf den amerikanischen Bioethanol-Markt. Ein staatlicher Zuschuß von 20 Mio. Kronen wurde zur Finanzierung beigesteuert. Die Anlage hatte eine Kapazität von 20 m<sup>3</sup> am Tag und stellte neben Ethanol Flüssigstärke und Flüssigkohlenensäure her. Mit der OK Mineralölgesellschaft wurde ein Abnahmeabkommen für drei Jahre vereinbart. Vorgesehen und durchgeführt war eine 4%ige Beimischung zum Normalbenzin. Der schwedische Staat gewährte eine Steuerbefreiung für 10.000 m<sup>3</sup> jährlich.

Anfang der 90er Jahre wurde ein größeres Projekt in Zusammenarbeit mit der Mineralölindustrie bei einer Raffinerie in der Nähe von Göteborg projektiert. Die Durchführung scheiterte an der Zusage der Mineralölsteuerbefreiung seitens des schwedischen Staates.

Ein weiteres Projekt, und zwar in Ost-Mittel-Schweden in Norrköping, das ebenfalls auf Initiative der Landwirtschaftsverbände Mitte der 90er auf den Weg gebracht wurde, ist inzwischen erfolgreicher. Für eine Menge von 50.000 m<sup>3</sup> hat der schwedische Staat eine Mineralölsteuerbefreiung gewährt. Die Steuerbefreiung für diese Menge ist auf fünf Jahre und ausschließlich auf dieses Pilotprojekt beschränkt. Die Anlage in Norrköping wurde von der EU-Kommission als Pilotprojekt genehmigt.

Der schwedische Staat erwägt eine Verlängerung der Steuerbefreiung, wenn die ökologischen Wirkungen des Projektes positiv sind und die Erzeugungskosten, die Benzin- und die Ethanolpreise in einem Verhältnis stehen, das unverhältnismässige Gewinne bei den beteiligten Unternehmen verhindert.

Für die Begleitung dieses Projektes ist das schwedische Finanzministerium verantwortlich. Weiterhin sind eingebunden:

- staatliche Energie Mündighet (oberste Energiebehörde)
- Lärkemedels Verket (oberster Behörde für Lebensmittel und Arzneimittelüberwachung, entspricht Monopolamt)
- Folkhälsoinstitutet (Oberste Gesundheitsbehörde)
- Länsstürlsen (Regierungspräsident für die örtliche Überwachung)

Die Mineralölindustrie ist als Abnehmer in das Projekt integriert. Agroetanol verkauft das Ethanol an die sechs führenden Mineralölgesellschaften, mit denen Abnahmeverträge für fünf Jahre abgeschlossen worden sind. Für das Blending an sechs Auslieferungsdepots wurden Misch-einrichtungen etabliert

Auch in Schweden hat man die Erfahrung gemacht, dass die Mineralölindustrie gegenüber der Verwendung von Ethanol im Kraftstoff eher negativ eingestellt ist. Dies scheint allerdings auch eine Generationenfrage zu sein: Bei den jüngeren Entscheidungsträgern in der Mineralölindustrie findet eine Neuorientierung statt, bei der die Endlichkeit des Mineralöls und ökologische Gesichtspunkte stärker berücksichtigt werden.

Dennoch gilt, dass gute Beziehungen zur Mineralölwirtschaft einen kritischen Erfolgsfaktor für die erfolgreiche Etablierung von Bioethanol-

programmen darstellen. In Schweden sind z.B. die Unternehmen Statoil und Shell sowohl als Produzent wie auch als Verteiler im Bioethanolprogramm beteiligt und äußern sich positiv zu ihren Erfahrungen. OK dagegen als reiner Verteiler nimmt eine eher gespaltene Haltung ein.

Das Projekt wird von den maßgeblichen Behörden in Schweden positiv beurteilt, da es die Nutzung der landwirtschaftlichen Ressourcen ermöglicht und gleichzeitig zur Beseitigung der entstehenden Überschüsse beiträgt. Dabei spielen insbesondere die Getreideüberschüsse eine große Rolle: Schweden erzeugt ca. sechs Mio. Tonnen p. a., der Bedarf liegt allerdings bei nur vier Mio. t. Der Überschuß wurde bislang von staatlichen Stellen garantiert übernommen und meist zu subventionierten Preisen exportiert.<sup>220</sup>

In Schweden erwartet man von dem Pilotprojekt in Norrköping Beiträge die nachfolgenden Nutzenwirkungen:

- Reduzierung des Aufwandes für Exportsubventionierung
- Reduzierung des CO<sub>2</sub> Ausstoßes
- Entwicklung von neuen Technologien, die der Wirtschaft zugute kommen
- Erhöhung der Versorgungssicherheit.

Agroetanol und die dahinterstehenden landwirtschaftlichen Organisationen sehen das Projekt als zukunftssträchtig an.<sup>221</sup> Inwieweit sich Bioethanol in Schweden etablieren läßt, ist noch fraglich und wird weitgehend von Entscheidungen auf europäischer Ebene abhängen.

Etwa 70 % des Bioethanols werden dem Benzin beigemischt und als Ottokraftstoff (95 Oktan) ohne besondere Auszeichnung an den Tankstellen angeboten. Etwa 30 % der Vertragsmenge werden als E-85 abgesetzt, das an den Zapfsäulen billiger als herkömmlicher Kraftstoff angeboten wird. Eine relativ geringe Menge entfällt auf ethanolbetriebene Busse im öffentlichen Nahverkehr. Für die Zukunft wird auch die Verwendung von ETBE diskutiert.

Im Jahre 2001 kostete Benzin in Schweden rund zehn Kronen je Liter (ca. € 1,10). Die Steuerbelastung betrug einschließlich der MWSt. sechs Kronen je Liter, so dass sich ein Nettobenzinpreis von etwa vier Kronen je

---

220 In der Vergangenheit wurden größere Mengen Weizen in das Gebiet des ehemaligen Ostblocks geliefert. Dabei kaufte der schwedische Staat Weizen zu Preisen von 1,00 bis 1,20 Kronen je kg, erzielte beim Export allerdings nur Preise von 0,50 Kronen je kg.

221 Das Unternehmen steht zu je 50 % im Eigentum von LRF und der schwedischen landwirtschaftlichen Vermarktungsgesellschaft.

Liter ergibt. Es wird geschätzt, dass die Mineralölindustrie etwa 55 €/m<sup>3</sup> für Ethanol bezahlt. Der Steuerausfall wird auf jährlich rund 200 Mio. Kronen (ca. 21 Mio. €) geschätzt und wird dem Unternehmen gutgeschrieben.<sup>222</sup> Agroetanol wiederum hat sich vertraglich verpflichtet, die höheren Aufwendungen der Mineralölindustrie für Mischung, Lagerung und Disposition finanziell zu vergüten. Nach unserer Einschätzung beträgt dieser Ausgleich etwa 25 % des Ethanolerslöses bzw. ca. 33 % der Ethanolherstellungskosten von Agroetanol.

Agroetanol hat mit den anderen Ethanolherzeugern im Land eine Vereinbarung abgeschlossen, dass das Unternehmen nicht die traditionellen Ethanolmärkte beliefert. Im Trinkethanolbereich sind traditionell das Staatsunternehmen Vin & Sprit und Ceramyl tätig. Beide Unternehmen stellen Ethanol aus Weizen her. Den industriellen Sektor beliefern Svensk Etanolkemi AB und Mo & Domsjö AB, die beide Sulfitlaugen aus der Zellstoffindustrie als Ausgangsstoff verwenden. Das Produktionsvolumen dieser Unternehmen schwankt in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Sulfitlaugen. Syntheseethanol wird in größerem Umfang von BP im Markt vertrieben.

### 4.3.5 Verwendung von Ethanol im Kraftstoffsektor außerhalb der EU

#### 4.3.5.1 Weltweite Entwicklung von Bioethanolprogrammen

Mit einer Gesamtproduktion von etwa zwei Mio. m<sup>3</sup> p.a. ist die EU ein relativ kleiner Erzeuger von Ethanol. Brasilien produziert sechsmal soviel, die USA viermal soviel Ethanol wie die EU. Brasilien und die USA sind die bestimmenden Länder der globalen Ethanolherzeugung, die in den nachfolgenden Abschnitten deshalb ausführlicher betrachtet werden.

Ethanolmärkte entwickeln immer dann eine Dynamik, wenn ein Bioethanolprogramm gestartet wird, da die Verwendungsmöglichkeiten außerhalb des Kraftstoffsektors in den meisten entwickelten Ländern kaum Wachstum ermöglichen. Auf regenerative Energien im Kraftstoffsektor setzt in Asien verstärkt China. Das Land ist trotz eigener Ölvorkommen ein Nettoölimporteur. Die erschlossenen und in der Exploration befindlichen heimischen Ölvorkommen sind nicht ausreichend, um den prognostizierten erheblichen Zuwachs an Kraftstoff decken zu kön-

---

<sup>222</sup> Die Mineralölsteuer in Schweden beträgt 0,499 Ct je Liter. Quelle: BMF.

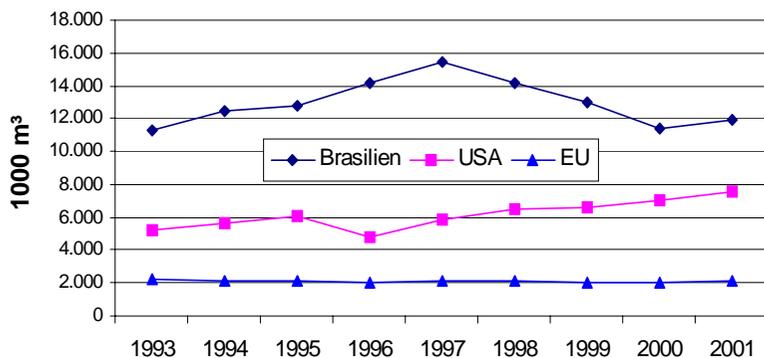


Abb. 43: Ethanolerzeugung in Brasilien, USA und EU im Vergleich

nen.<sup>223</sup> Gleichzeitig fallen im landwirtschaftlichen Sektor Überschüsse in der Getreideproduktion an, die hohe Kosten verursachen. Aus diesem Grunde entschloß sich die Regierung zur Einführung eines Bioethanolprogramms: im Jahr 2001 wurde in einzelnen Provinzen E-10-Kraftstoff eingeführt. Derzeit werden in China die weltgrößten Ethanolanlagen errichtet<sup>224</sup> und zudem bestehende Großanlagen mit Kapazitäten von mehreren 100.000 t ausgebaut.

Indien ist der zweitgrößte Erzeuger von Ethanol in der Region. In drei Anlagen wird Bioethanol für die Beimischung zum Ottokraftstoff hergestellt. Die Abhängigkeit von Ölimporten und unausgelastete Kapazitäten der Ethanolindustrie gelten als wichtige Ursachen für das Beimischungsprogramm.

Einkommen für Landwirte und zusätzliche Verwendungsmöglichkeiten für landwirtschaftliche Überschüsse sind wesentliche Treiber des Biodiesel- und Bioethanolprogramms in Thailand. Hinzu kommt auch hier, wie in China, die Abhängigkeit von Ölimporten.<sup>225</sup> Nachdem Vorschläge

<sup>223</sup> Derzeit werden in China ca. 36 Mio. t Kraftstoff jährlich im Transportsektor verbraucht. Vgl. FO. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 74.

<sup>224</sup> In der Provinz Jilin wird derzeit eine Ethanolanlage auf Getreidebasis mit einer Kapazität von 600.000 t errichtet, die Ende 2002 in Betrieb gehen soll. Knapp zwei Mio. t Getreide sind als Rohstoff für die Erzeugung dieser Ethanolmenge erforderlich. Eine weitere Anlage mit einer Kapazität von 500.000 t wird in der Zuckerrohrprovinz Guangdong gebaut. Vgl. Modl, Josef: Beverage & Fuel Ethanol in China, World Ethanol 2001 Conference, 8.-9. Nov. 2001, London.

eines „Ethanol Committees“ der Regierung unterbreitet worden waren, wurde im Jahre 2000 Ethanol im Ottokraftstoff von der Verbrauchssteuer befreit, und es wurden Anreize für Produktion und Ausbau der Ethanol-erzeugung gesetzt.<sup>226</sup>

In Australien wird E-10 regional begrenzt vermarktet. Mit unterschiedlichen Anreizsystemen wird versucht, die Ethanolproduktion für den Kraftstoffsektor auszuweiten. In Japan wird der Ersatz von MTBE durch ETBE diskutiert; zu diesem Zweck soll Ethanol aus Brasilien importiert werden.

In Russland bestehen etwa 200 Brennereien mit einer Kapazität von etwa einer Mio. m<sup>3</sup>, die nur zur Hälfte ausgenutzt ist. Bislang wird die Produktion in konventionellen Märkten abgesetzt, allerdings werden auch kleine Pilotprojekte zur Verwendung von Ethanol im Kraftstoffsektor durchgeführt.<sup>227</sup> Ähnlich stellt sich die Situation in den zentral- und osteuropäischen Transformationsländern dar. In Tschechien beispielsweise werden die Kapazitäten auf 100.000 m<sup>3</sup> geschätzt, davon werden etwa 60 % genutzt. Beimischungen spielen eine sehr untergeordnete Rolle: Im Jahr 2000 wurden rund 1.100 m<sup>3</sup> Ethanol dem Kraftstoff beige-mischt.

In Kanada wird seit mehr als zehn Jahren Ethanol für den Kraftstoffsektor steuerlich gefördert. In einzelnen Provinzen werden auch zusätzliche Anreize für die Verwendung von Ethanol im Kraftstoff gegeben. Umweltpolitische Gründe sind der wesentliche Grund für die Förderung von Bioethanol in Kanada.

#### 4.3.5.2 Brasilien

Weltgrößter Hersteller und Kostenführer bei der Ethanolerzeugung ist Brasilien. Das Land erzeugt etwas mehr als ein Viertel der weltweiten Ethanolproduktion. Im Jahr 2001 wurden etwa 12 Mio. m<sup>3</sup> Ethanol produziert und zum weit überwiegenden Teil im Kraftstoffsektor in Form von Zumischungen zum Ottokraftstoff, als E-100 für Ethanolfahrzeuge sowie

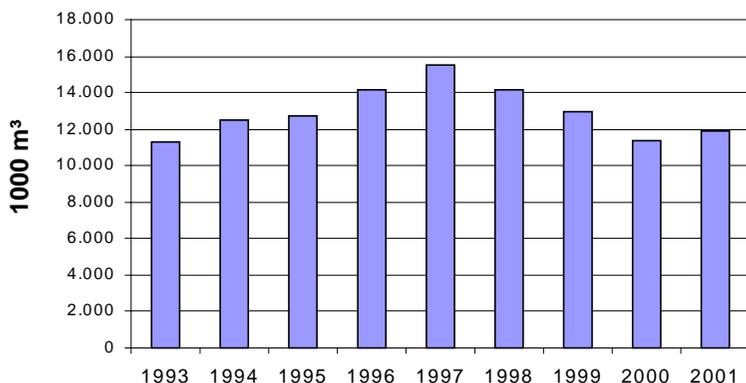
---

225 Thailand muß mehr als 95 % des Rohölbedarfs importieren.

226 Investitionsanreize umfassen insbesondere eine Steuerbefreiung von Ethanolerzeugung für acht Jahre, Befreiung von Importzöllen für Maschinen. Vgl. Ponlaboot, Alongkorn: The Thai Fuel Ethanol Project: One Year On, World Ethanol 2001 Conference, 8.-9. Nov. 2001, London.

227 Vgl. Yarunin, Sergei: Russia Situation and Outlook for the Future, World Ethanol 2001 Conference, 8.-9. Nov. 2001, London.

als ETBE<sup>228</sup> abgesetzt. Die wesentlichen Treiber des brasilianischen Ethanolprogramms sind einerseits die Importabhängigkeit vom Rohöl<sup>229</sup> und andererseits die Überproduktion an Zuckerrohr.<sup>230</sup> In Jahren mit niedrigen Zuckerpreisen am Weltmarkt soll zudem ein nutzbares inländisches Absatzpotenzial bestehen. Nicht die günstige Kostenposition, sondern die umfangreiche staatliche Subventionierung hat dazu geführt, dass die Ethanolerzeugung in Brasilien eine derartig große Bedeutung erlangt hat.



Quelle: F.O. Licht

Abb. 44: Ethanolerzeugung in Brasilien

Brasilien kann auf eine lange Tradition beim Einsatz von Ethanol im Kraftstoff zurückblicken. Schon im Jahr 1931 wurde eine Beimischung von 5 Vol.% Ethanol zum Kraftstoff verbindlich festgelegt. Die Höhe der Beimischungen schwankte in den Folgejahren in Abhängigkeit von Zucker-, Ethanol- sowie Energiepreisen.<sup>231</sup> Die Regierung griff in dieser Zeit über die Bestimmung der Beimischungshöhe regulierend in die

228 In Brasilien wird eine Anlage zur Herstellung von ETBE betrieben.

229 Brasilien hat in der Vergangenheit traditionell Handelsbilanzdefizite ausgewiesen und mußte rund ein Drittel der Exporterlöse für Finanzierung von Energieimporten verwenden. Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 35.

230 Brasilien produziert rund 300 Mio. t Zuckerrohr p.a. und hält damit einen Anteil von 25 % an der weltweiten Produktion.

231 Vgl. Silva Santos, Adailson da; Murta Valle, Maria Letícia; Giannini, Roberto Gomes: Addition of oxygenated compound to gasoline and the Proalcool experience, Economy & Energy, No. 19, April/May 2000.

Zucker- und Ethanolmärkte ein. Allerdings waren die im Kraftstoffsektor abgesetzten Ethanolmengen noch relativ gering.

Das änderte sich nach der Ölkrise im Jahr 1974. Das Land, das hochgradig von Ölimporten abhängig war und unter dem hohen Ölpreis litt, startete das weltweit erste große Ethanolprogramm (Proálcool). Die Umsetzung des Programms war eine politische Entscheidung; dabei spielten Energieabhängigkeit und Devisenersparnisse die entscheidende Rolle. Das Proálcool-Gesetz wurde im November 1975 verabschiedet. In der ersten Phase zwischen 1975 und 1979 wurden Brennereien als Annexanlagen neben Zuckerfabriken errichtet und das im Lande erzeugte Ethanol verstärkt dem Kraftstoff beigemischt.

In dieser Phase des Programmes war die Zumischung von wasserfreien Ethanol auf max. 22 % des Kraftstoffes (E-22) beschränkt. Die Ethanolerzeugung stieg von 230.000 m<sup>3</sup> in 1976 auf 2,7 Mio. m<sup>3</sup> in 1980.<sup>232</sup>

Nach der zweiten Ölkrise 1979 entschied die brasilianische Regierung, das Proálcool-Programm auszubauen und die Einführung von Ethanolfahrzeugen im Markt zu fördern. In dieser Phase wurden bis etwa 1985 zahlreiche neue Brennereien gebaut, meist unabhängig von Zuckerfabriken und regional konzentriert im Staat Sao Paulo.<sup>233</sup> Die Einführung wurde unterstützt mit staatlichen Anreizen für die Entwicklung geeigneter Motoren, mit der Gewährung von zinsgünstigen Krediten für Landwirtschaft und Industrie und mit einer Preispolitik, die den Ethanolkraftstoff günstiger machte als den normalen Kraftstoff. Darüber hinaus wurden Steuerbefreiungen für die Halter von Ethanolfahrzeugen gewährt.

Folge dieser Politik war ein starker Anstieg der Produktion von wasserhaltigem Ethanol<sup>234</sup> als E-100-Kraftstoff, der 1991 mit einem Produktionsvolumen von 10,7 Mio m<sup>3</sup> den Höhepunkt erreichte. Der Erfolg des Programmes aus Sicht der Ethanolerzeuger war herausragend: Ende der 80er Jahre war der Marktanteil von Ethanol sogar größer als der von Benzin, was vor allem auf den aggressiven Verkauf von reinen Ethanolkraftfahrzeugen zurückzuführen war: In der zweiten Hälfte der 80er Jahre waren über 80 % der PKW-Neuzulassungen mit Ethanolmotoren ausge-

---

232 Vgl. FO. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 36.

233 Vgl. Walter, Arnaldo; Cortez, Luis: An historical overview of the Brazilian Bioethanol Program, in: Renewable Energy for Development, Stockholm Environment Institute, June 1999, Vol. 11, No. 1, S. 2.

234 93% Ethanol-, 7% Wasseranteil.

stattet.<sup>235</sup> Die Zahl der Ethanolfahrzeuge stieg von rund 165.000 in 1980 auf mehr als vier Millionen im Jahr 1990.<sup>236</sup>

Die Zeit von 1985 bis 1990 war gekennzeichnet von sinkenden Ölpreisen. Proálcool kam aufgrund der hohen Kosten für Ethanol im Vergleich zu Benzin sowie der erheblichen Subventionierung der Zucker- und Ethanolunternehmen zunehmend in die Kritik. Die Ethanolkosten waren in dieser Zeit teilweise doppelt so hoch wie die Kosten des importierten Benzins. Steigende Zuckerpreise führten zu einer nachlassenden inländischen Ethanolproduktion, so dass die brasilianische Regierung aufgrund der drohenden Ethanolknappheit zeitweilig zu immensen Subventionen des Zuckerrohrpreises sowie zu Ethanolimporten gezwungen war. Brasilien importierte bis zu 600.000 m<sup>3</sup> Ethanol pro Jahr. Dabei handelte es sich überwiegend um Syntheseethanol aus Südafrika und Russland, Kraftstoffethanol aus den USA und Weinethanol aus der EU.<sup>237</sup> Diese Situation hat dem Image des Programms nachhaltig geschadet. Viele Verbraucher verloren das Vertrauen in Ethanol als Kraftstoff.

Im Jahre 1990 fiel der Anteil der Pkw-Neuzulassungen mit Ethanolmotor auf weniger als 20 % und – nach einer kurzen Erholungsphase in 1993 – noch weiter auf unter 1 % in den späten 90er Jahren. 1997 wurden nur noch 500 Ethanolfahrzeuge verkauft, das entsprach einem Anteil von 0,03 % der Neuzulassungen.<sup>238</sup>

Allerdings sind im Jahr 2001 die Zulassungen von Ethanolfahrzeugen wieder deutlich angestiegen. Rund 18.000 Fahrzeuge wurden verkauft, das waren 78 % mehr als in 2000.<sup>239</sup> Inwieweit es zu einem dauerhaften Anstieg kommt, bleibt abzuwarten.

Preis- und Quotenfestlegungen für Zuckerrohr und Zucker, Ethanol und Exportsteuern waren übliche Interventionsinstrumente der Regierung zur Beeinflussung der Märkte. 1994 begann unter dem „plano real“ die Liberalisierung des Sektors, die im Jahre 1999 schließlich zu einer Frei-

---

235 Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 38.

236 Vgl. Andrade, Adnei Melges de et. al.: Biomass Energy Use in Latin America: Focus on Brazil, Workshop, International Energy Agency, Paris, March 23-24, 1998, S. 3.

237 Vgl. afa: Brazilian Alcohol. A review of Production, Subsidies and Intervention, Brüssel 2000, S. 14.

238 Vgl. Andrade, Adnei Melges de et. al.: Biomass Energy Use in Latin America: Focus on Brazil, Workshop, International Energy Agency, Paris, March 23-24, 1998, S. 4. Vgl. auch Coelho, Suani Teixeira et. al.: The current situation of Proalcohol the Brazilian Alcohol Program, The National Reference Center on Biomass Sao Paulo, October 1999, [www.cenbio.br.doc\\_port5.html](http://www.cenbio.br.doc_port5.html).

239 Brazilian Association of Car Manufacturers.

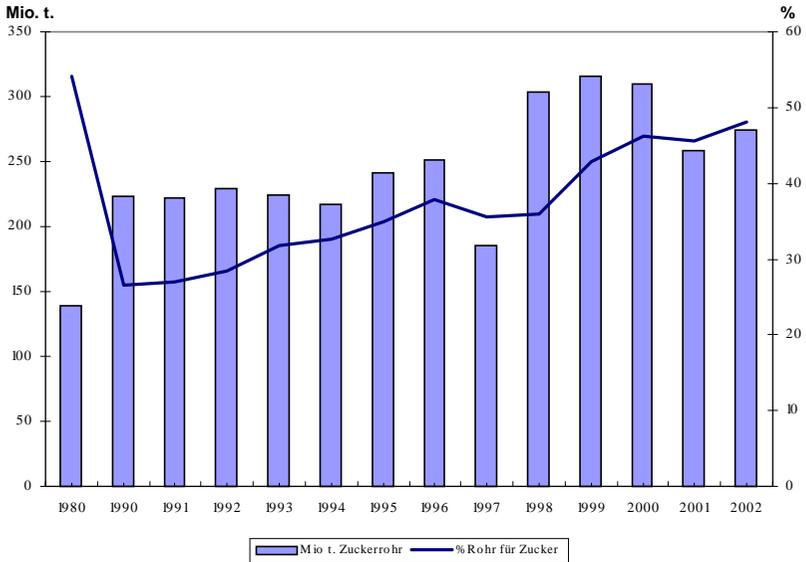


Abb. 45: Zuckerrohrernten und Anteil Rohr für Zuckerproduktion

gabe der Preise führte. Aufgrund eines erheblichen Überangebots („lago de etanol“) und einem damit verbundenen Preisverfall von rund 60 % in fünf Monaten sah sich die Regierung genötigt, zwischen Mai 1999 und Februar 2000 rund 600.000 m<sup>3</sup> Ethanol über eine Serie von Aufkaufauktionen aus dem Markt zu nehmen.<sup>240</sup> Darüber hinaus wurde ein Syndikat der Erzeuger (Brasil Alcool SA) gebildet, mit der Zielsetzung, überschüssigen Ethanol auf Auslandsmärkten abzusetzen.

Die Erzeugung von Ethanol aus Zuckerrohr gilt als die kostengünstigste Herstellungsart. Die durchschnittlichen Herstellungskosten für Ethanol in Brasilien werden auf etwa 200 bis 250 €/m<sup>3</sup> geschätzt. In den zurückliegenden Jahren konnten durch gestiegene Produktivität in der Landwirtschaft und in der Ethanolherstellung die Herstellungskosten um rund 4 % p.a. gesenkt werden. Insgesamt konnten die Ethanolerträge je Hektar um 47 % gesteigert werden. Weitere Kostensenkungen der Ethanolherstellung durch den Einsatz neuer Technologien werden erwartet.

<sup>240</sup> Vgl. FO. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 39.

In Brasilien geht man sogar davon aus, dass die Kosten der Ethanolproduktion aus Zuckerrohr mittelfristig um 20 % und langfristig um 40 % sinken werden. Zwei Drittel dieser Kostensenkung werden im Zuckerrohranbau, ein Drittel bei der industriellen Verarbeitung erwartet.<sup>241</sup> So sollen beispielsweise die Zuckerrohrrückstände – Bagasse und Blattspitzen – einer wirtschaftlichen Verwendung zugeführt werden. Derzeit nutzen die brasilianischen Erzeuger lediglich ein Drittel der Energie, die im Zuckerrohr enthalten ist.<sup>242</sup> Jährlich wächst der Zuckerrohrertrag um durchschnittlich 1 %. Zudem werden neue, ertragreichere und krankheitsresistentere Sorten gezüchtet.

Insgesamt ist es Brasilien in den zurückliegenden 15 Jahren gelungen, die Mineralölimporte deutlich zu reduzieren. Allerdings hat sich die Situation seit Beginn des Proálcool Programms Mitte der 70er Jahre erheblich geändert. Die politischen Rahmenbedingungen sind heute völlig anders als damals, und Brasilien ist als Land mittlerweile in der Weltwirtschaft integriert. Hinzu kommt, dass das Land die nationale Ölproduktion seit Ende der 70er Jahre von 15 % auf heute rund 60 % des nationalen Bedarfs steigern konnte.<sup>243</sup>

Dennoch hat die brasilianische Regierung ihre Absicht bekräftigt, an dem Programm festzuhalten und über das Instrument der Beimischungsquote zum Kraftstoff die Allokation von Zuckerrohr zu den verschiedenen Verbrauchssektoren zu steuern. So wurde im Frühjahr 2001, als deutlich wurde, dass der Markt mit einer großen Zuckerrohrmenge rechnen konnte, die Beimischung von 20 % auf 22 % erhöht.

Der brasilianische Ethanolmarkt erscheint vielen Marktteilnehmern als „unkalkulierbar“. Die staatlichen Interventionen und unterschiedlich gute Zuckerrohrernten führen dazu, dass das Land kurzfristig von einem Ethanolexporteur zu einem Importeur wechseln kann und umgekehrt. Durch das hohe Produktionsvolumen und die ebenfalls hohe Nachfrage nach Ethanol für den Kraftstoffsektor hat das Land einen großen Einfluß auf den Weltethanolhandel. Von Marktteilnehmern in anderen Ländern wird bemängelt, dass das von Brasilien auf den Weltmärkten angebotene

---

241 Vgl. hierzu Sarkkinen, Kari: Technology for bioethanol production from different raw materials, International Symposium on Alcohol Fuels, September 21-24, 1998, Beijing.

242 Vgl. Nastari, P.M.: Sugar Cane Residues as Source of Biomass for Power Generation in Brazil, in: International Conference on Accelerating Grid-Based Renewable Energy Power Generation for a Clean Environment, March 7-8, 2000, The World Bank, Washington, DC.

243 Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 40.

Ethanol – im Jahr 2002 sind es rund 600.000 m<sup>3</sup><sup>244</sup> – erheblich subventioniert sei. So werden allein die direkten Subventionen für die Ethanol-erzeugung auf 300 Mio. € pa. geschätzt.<sup>245</sup> Hinzu kommen indirekte Subventionen, die nur schwer zu quantifizieren sind. Insgesamt dürfte das Proálcool-Programm den brasilianischen Staat etwa 800 Mio. bis 1 Mrd. € pro Jahr kosten.

Trotz zunehmender Mechanisierung in der Landwirtschaft geht man davon aus, dass etwa eine Mio. Arbeitsplätze mit dem Proálcool-Programm verbunden sind.<sup>246</sup> Dabei handelt es sich im wesentlichen um Arbeitsplätze für Arbeiter im brasilianischen Hinterland.

Die massiven staatlichen Eingriffe in den brasilianischen und Weltethanolmarkt haben zudem nachhaltige Störungen des Weltzuckermarktes zur Folge. Aufgrund des Proálcool-Programms begann Brasilien nachhaltig Zucker zu exportieren. Die Exportmenge erreichte 1999 12,6 Mio. t. Heute wird jeweils etwa die Hälfte des Zuckerrohrs für Zucker- und Ethanolproduktion verwendet.<sup>247</sup>

#### 4.3.5.3 USA

Wie in Brasilien, so ist auch in den USA die Größe des Marktes auf die Verwendung von Ethanol im Kraftstoffsektor zurückzuführen: Sechs Mio. m<sup>3</sup> der insgesamt erzeugten acht Mio. m<sup>3</sup> p.a. werden im Kraftstoffsektor abgesetzt. Die gesamte Produktionskapazität wird auf etwa neun Mio. m<sup>3</sup> geschätzt. Importe von Ethanol spielen nur eine marginale Rolle, da der nationale Verbrauch über eigene Produktion gedeckt wird.

Ethanol wird in den Vereinigten Staaten seit knapp einhundert Jahren im Kraftstoffsektor verwendet. Allerdings ist der Verbrauch nach dem

---

244 Vgl. o.V.: 2002 Alcohol Exports to Reach 600 Mln Litres, in: F.O. Licht's International Molasses and Alcohol Report, Vol. 39, No. 4 v. 28.2.2002, S. 81 f. Vgl. auch Knight, P.: Brasilien vor Rekorderte, in: F.O. Lichts Europäisches Zuckerjournal, 140. Jg., Nr. 33 v. 14. Nov. 2001, S. 582 ff.

245 Vgl. afta: Brazilian Alcohol. A review of Production, Subsidies and Intervention, Brüssel 2000, S. 27.

246 Vgl. Silva Santos, Adailson da; Murta Valle, Maria Letícia; Giannini, Roberto Gomes: Addition of oxygenated compound to gasoline and the Proalcohol experience, Economy & Energy, No. 19, April/May 2000.

247 Im Jahr 2002 wurden nach Angaben von Datagro 49,5% des Zuckerrohrs zu Zucker, der Rest zu Ethanol verarbeitet.

zweiten Weltkrieg aufgrund des überall verfügbaren, preiswerteren Benzins auf minimale Mengen zurückgegangen.

Die Ölkrise von 1973 und 1979 haben zur Einführung von „Gasohol“ geführt. Gasohol besteht zu 10 % aus Ethanol und 90 % Benzin (entspricht E-10). Neben energiepolitischen Gründen sprachen agrarpolitische Gründe für das ethanolhaltige Kraftstoffgemisch: Die US-amerikanische Regierung wollte die Farmer für die Auswirkungen des damals gegen die Sowjetunion ausgesprochenen Getreideembargos entschädigen und einen zusätzlichen Absatzmarkt für das im Lande produzierte Getreide schaffen.<sup>248</sup>

Im Jahre 1978 genehmigte der Kongreß den National Energy Act, der u.a. eine steuerliche Förderung für E-10-Kraftstoff beinhaltete. Mit der Förderung von etwa US\$ 0,10 je Liter war die Wettbewerbsfähigkeit von Ethanol im Vergleich zum herkömmlichen Benzin hergestellt. Zur gleichen Zeit suchte die Environmental Protection Agency (EPA) einen Ersatz für Bleiadditive, die im Kraftstoff als Antiklopffmittel eingesetzt wurden; Ethanol bot sich hier mit seiner hohen Oktanzahl und dem hohen Sauerstoffanteil als ein ideales Substitut an.<sup>249</sup>

1984 wurde die steuerliche Förderung von Ethanol auf US\$ 0,15 je Liter angehoben,<sup>250</sup> ab dem Jahr 1990<sup>251</sup> um 10 % auf US\$ 0,135 reduziert und für zehn Jahre festgeschrieben. Gleichzeitig wurde mit diesem Gesetz eine zusätzliche Förderung von US\$ 0,025 je Liter über eine Steuergutschrift für kleinere Ethanolerzeuger eingeführt. 1998 wurde mit dem Surface Transportation Act die steuerliche Förderung von Ethanol mit US\$ 0,135 je Liter über das Jahr 2000 hinweg bis auf 2007 ausgedehnt. Allerdings wird die Förderung, die auch ETBE einschließt, sukzessive reduziert. Über die Bundesförderung hinaus bieten fünfzehn Staaten, insbesondere im mittleren Westen, zusätzliche Anreize für die Ethanolerzeugung an.

Die Verwendung von Ethanol im Kraftstoffsektor wurde weiterhin durch die Verabschiedung des Clean Air Act Amendments (CAAA) im Jahre 1990 gefördert, wonach in den Städten mit der höchsten Luftver-

---

248 Vgl. hierzu auch Shapouri, Hosein; Duffield, James A.; Wang, Michael: *The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update*, United States Department of Agriculture, Washington 2002.

249 Vgl. zu den rechtlichen Grundlagen des Bioethanolprogramms in den USA insbesondere F.O. Licht: *World Ethanol Markets. Analysis and Outlook*, London 2001, S. 41 ff.

250 Deficit Reduction Act.

251 Budget Reconciliation Act.

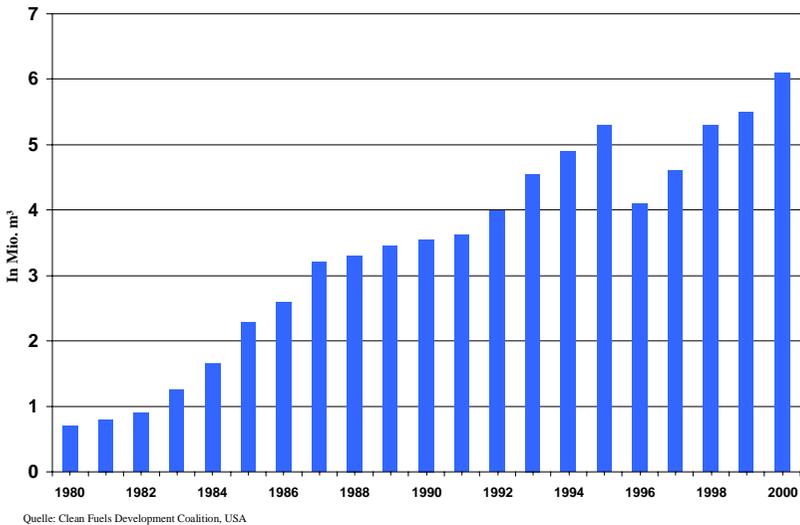


Abb. 46: Ethanolherstellung für den Kraftstoffsektor in den USA

schmutzung die Beimischung von sauerstoffhaltigen Komponenten verpflichtend vorgeschrieben wurde. In mehr als 40 großen Städten mit besonders hoher  $\text{CO}_2$ -Konzentration müssen in der Wintersaison mindestens 2,7 % Sauerstoff im Kraftstoff enthalten sein. Als sauerstoffhaltige Komponenten kommen MTBE, ETBE, Methanol und Ethanol in Betracht, wobei der Sauerstoffanteil der beiden Ether mit 15,2 bzw. 17,0 % deutlich höher ist als bei Methanol (5,2 %) und Ethanol (7,4 %). Allein im Jahr 1999 wurden rund eine Mio  $\text{m}^3$  Ethanol für die Mischung mit Benzin in den von dem Gesetz betroffenen Städten verbraucht.<sup>252</sup>

Eine weitere deutliche Erhöhung der Nachfrage nach Ethanol wird in Kalifornien erwartet. Der Gouverneur Davis hatte im März 1999 mit dem Executive Order D-5-99 den Einsatz des Additivs MTBE bis spätestens Ende 2002 verboten.<sup>253</sup> Damit reagierte Gouverneur Davis auf Berichte über Wasserverunreinigungen durch MTBE. Die festgestellten Verunrei-

<sup>252</sup> Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 46 f.  
Vgl. hierzu auch Sarkkinen, Kari: Technology for bioethanol production from different raw materials, International Symposium on Alcohol Fuels, September 21-24, 1998, Beijing.

<sup>253</sup> Vgl. [www.energy.ca.gov/mtbe/](http://www.energy.ca.gov/mtbe/)

nigungen sind im wesentlichen auf Lecks in Vorrattanks von Tankstellen und Pipelines zurückzuführen. Im Juni 2001 untersagte die U.S. Environmental Protection Agency dem Staat Kalifornien, den im Bundesgesetz festgelegten Mindestsauerstoffanteil im Kraftstoff zu unterschreiten. Da der Gouverneur die Versorgung mit alternativen sauerstoffhaltigen Kraftstoffkomponenten nicht gewährleistet sah, wurde daraufhin im März 2002 eine neue Executive Order veröffentlicht, in der die weitere Verwendung von MTBE bis Ende 2003 erlaubt wurde.

In den Vereinigten Staaten werden derzeit etwa ein Drittel aller Kraftstoffe als reformulierte Kraftstoffe abgesetzt und beinhalten eine MTBE-Komponente. Entsprechend groß ist das Marktpotenzial für Ethanol, wenn MTBE flächendeckend verboten werden würde: Wird MTBE durch Ethanol ersetzt, dann ist bei einem Marktvolumen von 160 Mio. m<sup>3</sup> reformulierten Kraftstoffen mit einer Ethanolnachfrage von knapp 10 Mio m<sup>3</sup> zu rechnen.<sup>254</sup> Dies ist mehr als die derzeitige gesamte US-amerikanische Produktion.

Eine relativ geringe Menge an Ethanol wird in höheren Konzentrationen eingesetzt, beispielsweise im E-85-Kraftstoff. E-85-Fahrzeuge werden im wesentlichen im öffentlichen Nahverkehr eingesetzt. Die Nachfrage nach Ethanol für E-85 ist in 1998 auf knapp 10.000 m<sup>3</sup> angewachsen. Hier wird mit einer deutlichen Zunahme gerechnet: In den USA sind bereits nahezu 5 % des Neuwagenmarktes Flexible Fuel Vehicles, die mit E-85 betrieben werden können. Dazu zählen neben Fahrzeugen mit Ethanol auch solche mit Erdgasantrieb. Die Käufer sind bislang überwiegend Behörden, da die Regierung entschieden hat, dass behördliche Fahrzeugflotten verstärkt mit alternativen Kraftstoffen betrieben werden müssen.<sup>255</sup> Aber auch in anderen Marktsegmenten werden vermehrt FFVs angeboten: Beispielsweise bietet General Motors ab 2002 alle Sport- und Freizeitwagen sowie Pickups auch als FFVs an.

Über 90 % des Ethanols wird aus Mais gewonnen. Darüber hinaus werden im Norden des Landes Weizen und Gerste für die Ethanolherzeugung angebaut. Dort laufen derzeit auch Versuche, durch die Entwicklung neuer Enzyme zur Hydrolyse von Maisfasern und Maisrückständen auch diese Rohstoffe für die Ethanolherzeugung verwendbar zu machen. Insgesamt werden etwa 20 Mio t. Getreide für die Ethanolherzeugung in den USA verwendet; davon entfallen mehr als vier Fünftel auf den Kraft-

---

254 Vgl. National Corn Growers Association, [www.ncga.com](http://www.ncga.com).

255 Vgl. o.V.: Focus fährt mit Bioalkohol, in VDI-nachrichten, Nr. 3, 18.1.2002.

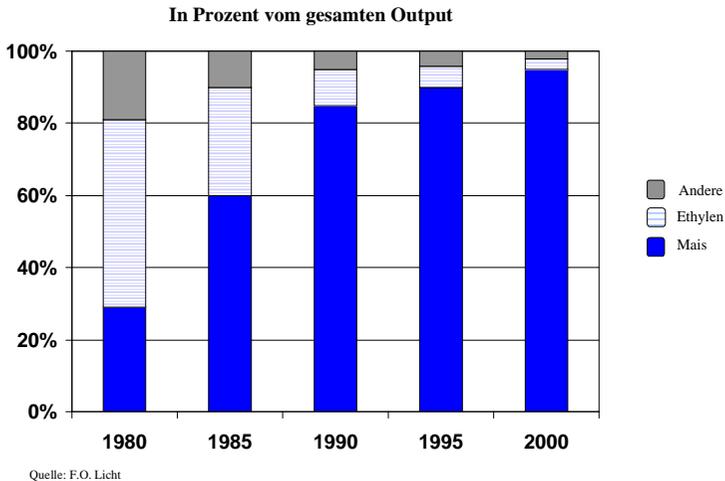


Abb. 47: Rohstoffe für die Ethanolerzeugung in den USA

stoffsektor, der Rest entfällt auf Trink- und Industriethanol.<sup>256</sup> Zuckerkhaltige Rohstoffe werden in den USA nicht für die Ethanolerzeugung eingesetzt.

Die Preise für Ethanol in den USA sind bislang relativ stabil gewesen. In der Zeit von 1993 bis 1998 bewegten sie sich in einem Korridor zwischen 260 und 320 US\$ je m<sup>3</sup>.<sup>257</sup> Lediglich im Jahre 1996 waren deutlich höhere Preise in Höhe von etwa 370 US\$ zu verzeichnen, was auf hohe Maispreise zurückzuführen war. Die Nettomaiskosten sind kritisch für die Profitabilität der Ethanolanlagen. Dies sind die Maiskosten abzüglich der Erträge aus der Veräußerung der Beiprodukte, insbesondere des DDGS. Die Nettomaiskosten variierten in einer erheblichen Bandbreite von US\$ 0,03 bis zu US\$ 0,30 je Liter im Zeitraum von 1975 bis 2001.<sup>258</sup>

Der andere wichtige Faktor für die Ethanolpreise im Kraftstoffsektor sind die Rohölpreise. Ethanolpreise sind abhängig vom Rohölpreis, da Ethanol auch durch rohölbasierte sauerstoffhaltige Produkte substituiert werden kann. In den USA sind im Verlaufe des Jahres 2001 die Rohölpreise um 35 % zurückgegangen. In der gleichen Zeit sind die Ethanol-

<sup>256</sup> US Department of Agriculture.

<sup>257</sup> California Energy Commission.

<sup>258</sup> Vgl. F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001, S. 42.

preise von einem hohen Niveau um 60 % eingebrochen, die Maispreise aber nur um 15 % gesunken.<sup>259</sup> Neben dem Rohölpreis wird die deutliche Ausweitung der Ethanolkapazitäten für den Preisrückgang verantwortlich gemacht, der insbesondere genossenschaftlich organisierte Brenneien in erhebliche wirtschaftliche Schwierigkeiten bringt.

Die Produzenten von Ethanol in den USA veräußern ihre Produkte nicht nur im Kraftstoffsektor, sondern bedienen gleichzeitig auch den chemisch-technischen und Trinkethanolmarkt. Eine Abgrenzung der Märkte wie beispielsweise in Spanien gibt es nicht.

Derzeit existieren etwa 60 Ethanolanlagen in den USA. Regional konzentriert sich die Ethanolerzeugung auf Illinois, Iowa, Minnesota und Nebraska. In diesen vier Staaten sind knapp vier Fünftel der Ethanolindustrie beheimatet. Etwa 100 weitere Anlagen befinden sich im Planungsstadium. Gefördert wird dieser massive Ausbau u. a. durch ein nationales Bioenergie-Förderprogramm, das allein im Haushaltsjahr 2001/2002 150 Mio. US\$ an Fördermitteln zur Verfügung stellt für Unternehmen, die ihre Kapazitäten zur Erzeugung von Bioethanol erhöhen.<sup>260</sup>

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Entwicklung kann damit insgesamt von einer deutlichen Ausweitung der US-amerikanischen Ethanolproduktion ausgegangen werden. Der Staat von Kalifornien beispielsweise rechnet damit, dass bei einem Verbot von MTBE bis zum Jahr 2005 die Ethanolkapazitäten von heute etwa acht Mio. m<sup>3</sup> auf etwa 16 Mio. m<sup>3</sup> verdoppelt werden.<sup>261</sup> Ein bundesweites Verbot von MTBE ist auch Bestandteil des Renewable Fuels Standard im Energy Bill. Dieses Gesetz will bis zum Jahr 2012 den Anteil erneuerbarer Energien im Kraftstoffsektor auf 20 Mio. m<sup>3</sup> erhöhen. Als erneuerbare Energien gelten Ethanol und Biodiesel aus nachwachsenden Rohstoffen sowie Naturgas.

Hohe Ethanolerträge aus landwirtschaftlichen Rohstoffen gelten als ein Erfolgsfaktor für die US-Ethanolindustrie. Unabhängig davon ist das Kraftstoff-Beimischungsprogramm abhängig vom Goodwill der politischen Entscheidungsträger, da sowohl eine direkte Unterstützung durch

---

259 Vgl. o.V.: US Ethanol Euphoria Evaporating?, in: F.O. Licht's International Molasses and Alcohol Report, Vol. 39, No. 3 v. 15.02.2002, S. 48 f.

260 Vgl. United States Department of Agriculture: President Bush's Energy Policy Advanced by USDA's FY 2002 Bioenergy Program Signup, [www.fsa.usda.gov/pas](http://www.fsa.usda.gov/pas). Vgl. auch o.V.: US Ethanol Euphoria Evaporating?, in: F.O. Licht's International Molasses and Alcohol Report, Vol. 39, No. 3 v. 15.02.2002, S. 48 ff.

261 State of California, Energy Commission.

Steuerermäßigungen und Produktionssubventionen als auch eine indirekte Unterstützung durch eine Umweltgesetzgebung erforderlich ist, die die Nutzung erneuerbarer Energien verbindlich festlegt.<sup>262</sup>

#### 4.3.5.4 Zusammenfassende Betrachtung und Schlußfolgerungen aus den internationalen Erfahrungen

Die nachfolgende Tabelle faßt die Situation in den wesentlichen bioethanol-erzeugenden Ländern Frankreich, Spanien, Schweden, USA und Brasilien zusammen.

Darüber hinaus können noch folgende Feststellungen gemacht werden:

- Die politische Unterstützung für Bioethanol wächst. Weltweit fördern immer mehr Länder Bioethanolprogramme. Folge ist, dass die Ethanolerzeugungskapazitäten derzeit deutlich ausgedehnt werden.
- Agrarpolitische Zielsetzungen, insbesondere die Verwendung von landwirtschaftlichen Überschüssen und die Förderung ländlicher Räume, sind wesentliche Treiber von Bioethanolprogrammen. Daneben spielen auch klima- und energiepolitische, in einigen Ländern auch handelsbilanzpolitische Gründe eine Rolle.
- In allen betrachteten Ländern sind erhebliche staatliche Förderungen für Bioethanolprogramme erforderlich. Steuerbefreiungen oder Steuerermäßigungen für Ethanolbeimischungen sowie teilweise noch zusätzliche Anreize für Ethanolproduzenten (Befreiung von Ertragssteuern, Investitionszuschüsse, zinsverbilligte Kredite etc.) werden gewährt. Die Kosten für die Bioethanolprogramme sind durchweg hoch.
- Der Rohölpreis ist ein wichtiger Bestimmungsfaktor für den Ethanolpreis. Niedrige Rohölpreise erschweren die Vermarktung von Ethanol im Kraftstoffsektor, wenn ein Beimischungszwang nicht besteht.
- Brasilianisches Ethanol kostet nur etwa halb so viel wie europäisches Ethanol und ist damit mit deutlichem Abstand vor den USA Kostenführer. In Brasilien werden für die Zukunft noch deutliche Produktivitätsfortschritte erwartet.

---

<sup>262</sup> Vgl. o.V.: US Ethanol Euphoria Evaporating?, in: F.O. Licht's International Molasses and Alcohol Report, Vol. 39, No. 3 v. 15.02.2002, S. 48 ff.

Tabelle 16: Ethanolerzeugung für den Kraftstoffsektor in ausgewählten Ländern

	Frankreich	Spanien	Schweden	USA	Brasilien
<b>Produktionsvolumen</b>	115.000 m <sup>3</sup> in 2001	100.000 m <sup>3</sup> in 2001, 225.000 m <sup>3</sup> in 2002	50.000 m <sup>3</sup> in 2001	6 Mio. m <sup>3</sup> in 2001	12 Mio. m <sup>3</sup> in 2001
<b>Verwendungsform</b>	15 % ETBE-Beimischung zum Ottokraftstoff	ETBE-Beimischung zum Ottokraftstoff	Bis 5 % Ethanolbeimischung zum Ottokraftstoff, FFVs, E-100 im ÖPNV	Ethanolbeimischung (E-10) sowie in geringem Umfang E-85	Beimischung (E-22), Ethanolfahrzeuge (E-100), ETBE
<b>Eingesetzte Rohstoffe</b>	ca. 75 % Zuckerrüben, ca. 25 % Weizen	100 % Gerste und Weizen	100 % Weizen	Nahezu 100 % Mais	100 % Zuckerrohr
<b>Ethanolpreis</b>	ca. 400-450 €/m <sup>3</sup>	ca. 400-450 €/m <sup>3</sup> , geschätzt	ca. 550-650 €/m <sup>3</sup> , geschätzt	260-320 US\$/m <sup>3</sup>	ca. 200-250 €/m <sup>3</sup>
<b>Konventionelle Ethanolmächte</b>	Keine Markttrennung	Kozept der „Dedicated factories“	Vereinbarung, konv. Märkte nicht zu beliefern	Keine Trennung der Märkte	Keine Trennung der Märkte
<b>Förderinstrumente bzw. -volumen</b>	Steuerermäßigung für drei zugelassene Einrichtungen; Fördervol. begrenzt	Steuerbefreiung von Ethanol für ETBE für 5 Jahre	Steuerbefreiung, allerdings steuerliche Förderung auf 50.000 m <sup>3</sup> p.a. beschränkt	Primär Steuerermäßigung, weitere Förderinstrumente auf Bundes- und Staatsebene	Erhebliche staatliche Interventionen in den Markt (Preise, Mengen, Subv.)
<b>Perspektiven</b>	Weiterer Ausbau, zusätzl. Kapazitäten von 125.000 m <sup>3</sup> in Planung	Verdopplung der Kapazitäten, ggfs. direkte Beimischung Ethanol	Bislang noch keine Entscheidung über mögl. Ausweitung des Programms getroffen	Erhebliche Ausweitung erwartet, zusätzl. Förderung für Erzeuger begonnen	Trotz aufgetretener Schwierigkeiten Fortsetzung auf hohem Niveau erwartet

- Rohstoffkosten variieren teilweise stark und haben erheblichen Einfluß auf die Verfügbarkeit und den Preis von Ethanol. Die Sicherstellung der Kontinuität der Belieferung mit landwirtschaftlichen Rohstoffen kann problematisch sein. Eine Herstellung von Bioethanol in Europa kann sowohl auf Basis von zuckerhaltigen wie stärkehaltigen Rohstoffen erfolgen.
- Die Verarbeitung lignozellulosehaltiger Rohstoffe wird als eine wichtige Zukunftsoption betrachtet, allerdings befinden sich die Verfahren in den betrachteten Ländern noch im Versuchsstadium.
- Es werden gleichermaßen Strategien der Beimischung von Ethanol wie ETBE zum Ottokraftstoff verfolgt. Optionen mit geringerer Bedeutung sind FFVs und E-100 im ÖPNV. ETBE hat die Einführung von Ethanol im Kraftstoffsektor erleichtert.
- Auch wenn die Förderung der Landwirtschaft ein wichtiges Ziel ist, so sind die Einkommenseffekte von Bioethanol für die Landwirte oft gering. Die für die landwirtschaftlichen Rohstoffe gezahlten Preise ermöglichen in Europa nur geringe Deckungsbeiträge für die Landwirte. Wesentliche Teile der steuerlichen Förderung verbleiben bei der Ethanol- und Mineralölindustrie.
- Bioethanolprogramme haben beträchtlichen Einfluß auf Erzeugerstrukturen und fördern die Bildung von Großunternehmen. Kleine und mittelständische Unternehmen haben aufgrund von Economies of Scale in der Ethanolproduktion kaum eine Marktchance. In einigen Ländern werden daher kleinere Unternehmen zusätzlich gefördert.
- Die steuerliche Förderung von Bioethanol könnte sich als Quersubvention für andere Produktionsbereiche erweisen. Hersteller können Ethanol für die Kraftstoffproduktion als auch für andere Zwecke verwenden. Aufgrund größerer Verarbeitungskapazitäten und stärkerer Nachfrageposition könnte diesen „dedicated factories“ ein Wettbewerbsvorteil gegenüber Anlagen entstehen, die ausschließlich für den Kraftstoffsektor produzieren.<sup>263</sup> Diese beihilferechtliche Fragestellung ist noch nicht beantwortet.

---

<sup>263</sup> Der technische Aufwand für die Modifikation einer Bioethanolanlage zur Herstellung von Trinkethanol ist gering.

#### 4.3.6 Entwicklung und marktbestimmende Faktoren des deutschen Kraftstoffsektors

Die Entwicklung der Nachfrage für Otto- und Dieselmotorkraftstoff hängt von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Dazu zählen das Wachstum der Volkswirtschaft, die Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur, die Anwendung neuer Technologien, die Höhe der Besteuerung des Kraftstoffs sowie Veränderungen des Verbrauchsverhaltens. Ein weiterer marktbestimmender Faktor ist das Angebot im Kraftstoffsektor, das wiederum wesentlich von der Verfügbarkeit und vom Preis des Rohöls abhängig ist. Nachfolgend wird zunächst auf die Entwicklung der Nachfrage und daran anschließend auf die Entwicklung des Angebotes eingegangen. Daraus werden abschließend Schlußfolgerungen für mögliche Preisentwicklungen für Ottokraftstoff und MTBE gezogen.

Im Jahre 2001 wurden nach Angaben des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWW) 28 Mio. t Ottokraftstoff abgesetzt. Das waren 3 % weniger als im Vorjahr. Gründe für diese Entwicklung liegen in sparsameren Neufahrzeugen, leicht zurückgehenden Fahrleistungen und einer Abnahme der Neuzulassungen von benzinbetriebenen Fahrzeugen zu Gunsten von Dieselfahrzeugen. Trotz steigender Dieselfahrzeugbestände ging in 2001 auch der Absatz an Dieselmotorkraftstoff leicht zurück. Mit knapp 29 Mio. t lag er um 1 % unter dem des Jahres 2000. Konjunkturelle Gründe waren für diese Entwicklung ausschlaggebend.<sup>264</sup>

Nach der Prognose des MWW wird der Mineralölverbrauch in Deutschland aber auch langfristig bis zum Jahr 2020 auf 104 Mio. t zurückgehen. Das entspricht einem Rückgang um 14 %. Zum Ende dieses Jahrzehnts wird eine Nachfrage von 118 Mio. t erwartet. Dabei geht die Prognose davon aus, dass die Bevölkerung trotz Zuwanderung leicht rückläufig ist, ein durchschnittliches Wirtschaftswachstum von 2 % p.a. erreicht wird und die Ölversorgung weiterhin sicher ist bei relativer Preisstabilität. Der Anteil des Mineralöls am Primärenergieverbrauch wird dabei von gegenwärtig 39 % bis zum Ende der Prognoseperiode auf 35 % zurückgehen, während das Erdgas von 21 % auf 28 % zunehmen wird.<sup>265</sup>

---

<sup>264</sup> Vgl. Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Jahresbericht 2001, Hamburg 2002, S. 11.

<sup>265</sup> Vgl. Mineralölwirtschaftsverband e.V. (Hrsg.): MWW-Prognose 2020 für die Bundesrepublik Deutschland, Hamburg 2001.

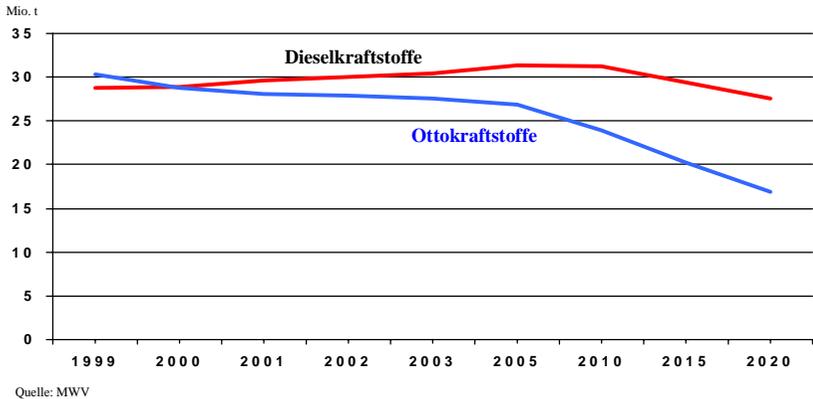


Abb. 48: Prognose des Verbrauchs von Diesel- und Ottokraftstoffen in Deutschland bis zum Jahr 2020

Der Straßen- und Luftverkehr nehmen als wichtige Träger des Mineralölverbrauchs weiterhin zu, dennoch sinkt nach Einschätzung des MWV der Kraftstoffbedarf insgesamt. Der PKW-Bestand wird weiterhin steigen, allerdings mit geringeren Zuwachsraten als in den Vorjahren. Kleinere Fahrzeuge und sparsamere Motoren werden einen kontinuierlichen Rückgang des spezifischen Verbrauchs bewirken. Die abnehmende Jahresfahrleistung, der wachsende Anteil der Diesel-PKW sowie die steigende Anzahl geringverbrauchender Fahrzeuge führen zu einem Rückgang des Ottokraftstoffverbrauchs. Bis zum Jahr 2015 wird mit einer Verringerung von 8,6 Mio. t. auf 20 Mio. t. und bis zum Jahr 2020 sogar mit 12 Mio. t. Rückgang auf dann nur noch 17 Mio. t. gerechnet.

Der Bedarf an Dieselmotoren wird hingegen nach Ansicht des MWV zunächst steigen, bis zum Jahr 2005 um 8 % auf 31,3 Mio. t. Für diese Entwicklung bestimmend ist neben dem anhaltenden Zuwachs im Straßengüterverkehr auch die deutliche Steigerung des Diesel-PKW Bestandes. Verbrauchsmindernd wirkt sich im nächsten Jahrzehnt der Einsatz von sparsameren Fahrzeugen sowie geringere Jahresfahrleistungen bei den Diesel-PKW aus. Ausgehend von einer Effizienzsteigerung durch verbessertes Fuhrparkmanagement und durch Vermeidung von Leerfahrten wird es bis 2020 zu einem Verbrauchsrückgang auf 27,6 Mio. t. kommen.

Diese Einschätzung wird von den Grundaussagen her auch von den großen Mineralölunternehmen geteilt. Beispielsweise geht die Deutsche Shell davon aus, dass sich der gesamte Kraftstoffkonsum bis zum Jahr 2020 auf 21,1 bis 24,5 Mio. t reduzieren wird.<sup>266</sup> Das Unternehmen rechnet damit mit einem noch deutlicheren Rückgang als der MWV. Allerdings wurde diese Einschätzung nicht auf der Basis einer Fortschreibung der Gegenwartszahlen vorgenommen. Stattdessen arbeitet die Deutsche Shell mit Zukunftsszenarien. Szenarien beschreiben in sich geschlossene mögliche Zukunftsbilder, geben Aufschluß über denkbare Entwicklungen und können als Planungsgrundlage dienen.

Die Deutsche Shell hat zwei Szenarien entwickelt. Im Szenario „One World“ organisiert sich die Weltwirtschaft zunehmend nach US-amerikanischen Werten und Wirtschaftsprinzipien. Die Globalisierung und Liberalisierung der Wirtschaft wird vorangetrieben, und in Deutschland wächst die Wirtschaft jährlich um knapp 2 %. Die Nutzer von Verkehrsinfrastruktur werden verstärkt von privaten Betreibern für die Kosten der Inanspruchnahme direkt belastet. Alternative Kraftstoffe und neue Antriebstechnologien kommen zunehmend in den Markt, um die Umweltbelastungen zu reduzieren.

Im Szenario „Kaleidoskop“ sind globale Handelsvereinbarungen kaum durchsetzbar. Der Staatseinfluß in diesem Szenario ist höher und das Wirtschaftswachstum mit 1,4 % niedriger als im ersten Szenario. Hohe Mineralölsteuern und Abgaben machen das Autofahren teuer, und der Druck auf die Automobilindustrie, aus Umwelt- und Klimaschutzgründen noch sparsamere Fahrzeuge zu bauen, nimmt weiter zu.<sup>267</sup>

Gemeinsam ist beiden Szenarien, dass die Motorisierung weiter zunehmen wird: Im Szenario „One World“ wird der Pkw-Bestand um weitere knapp zehn Mio. Fahrzeuge auf 52 Mio. in 2020, im Szenario „Kaleidoskop“ noch um immerhin fünf Mio. Fahrzeuge auf knapp 48 Mio. zunehmen. Alternative Antriebe machen dabei einen Anteil von 3 % bzw. 10 % aus. Dabei wird von Antriebstechnologien ausgegangen, die auf fossiler Energie beruhen. Im Szenario „One World“ wird die Entwicklung des Brennstoffzellenantriebs stark vorangetrieben, so dass die

---

266 Vgl. Shell Pkw-Szenarien: Mehr Autos – weniger Verkehr? Szenarien des Pkw-Bestands und der Neuzulassungen in Deutschland bis zum Jahr 2020, Hamburg 2001, S. 4.

267 Vgl. Shell Pkw-Szenarien: Mehr Autos – weniger Verkehr? Szenarien des Pkw-Bestands und der Neuzulassungen in Deutschland bis zum Jahr 2020, Hamburg 2001, S. 5.

flächendeckende Markteinführung der neuen Fahrzeuge bereits ab 2015 beginnen könnte.

Der Durchschnittsverbrauch der Fahrzeuge wird um etwa 30 bis 35 % gegenüber 2000 zurückgehen und auch die Fahrleistung pro Jahr sinkt in beiden Szenarien deutlich. Sinkender Durchschnittsverbrauch und mäßig ansteigende bzw. sogar sinkende Gesamtfahrleistung lassen den Kraftstoffverbrauch bis zum Jahr 2020 deutlich zurückgehen, je nach Szenario zwischen 30 und 40 %.

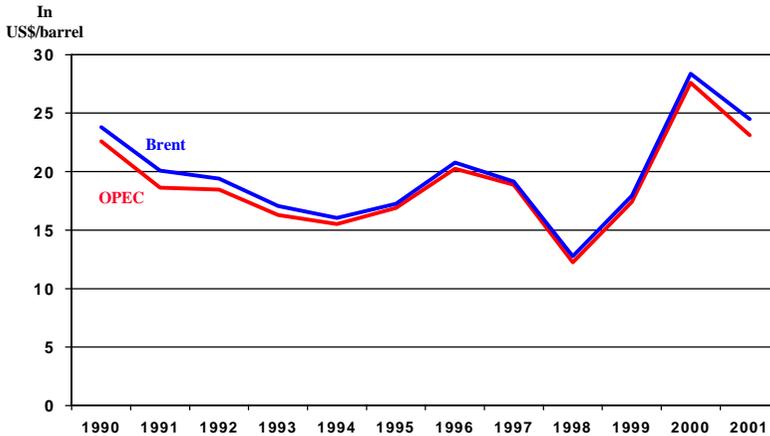
Tabelle 17: PKW-Szenarien (Quelle: Shell)

Kennzahlen		2000	Szenario „One World“		Szenario „Kaleidoskop“	
			2010	2020	2010	2020
Pkw-Dichte (Pkw je 1.000 Erw.)		643	715	755	696	714
Pkw-Bestand (Jahresmitte)	(in Mio.)	42,8	49	52,3	47,4	47,8
davon Diesel		6	12,5	15,7	13,5	19,1
davon alternative Antriebe		0	0,4	5,2	0,3	1,4
Neuzulassungen	(in Mio.)	3,378	4,07	4,18	3,52	3,3
Durchschnittsverbrauch Otto-Diesel-Pkw	(l/100 km)					
Bestand		8,5	7,2	5,8	7,1	5,5
Neuzulassungen		7,7	5,7	4,3	5,4	3,7
Fahrleistung pro Jahr	(km)	12.300	11.900	11.300	11.300	10.300
Gesamtfahrleistung Kraftstoffkonsum	(Mrd. km)	528	581	591	535	494
Otto- und Diesel-Pkw	(Mio. t.)	33,9	31,7	24,5	29,2	21,1

Diese deutlich sinkende Nachfrage stößt auf ein aus Sicht der oligopolistischen Mineralölindustrie<sup>268</sup> reichliches und sicheres Angebot an Öl: Die als „Weltölvorräte“ definierten Ölvorräte lagen im Jahr 2002 bei etwa 140 Mrd. t. Bei diesen Reserven handelt es sich um die bestätigten, mit heute vorhandener Technik und bei heutigem Preisniveau wirtschaftlich förderbaren Vorräte.<sup>269</sup> Allerdings lagern nur 2 % dieser Reserven in

<sup>268</sup> Die Mineralölindustrie ist eine homogene Branche mit Dominanz weniger, schwergewichtiger Unternehmen. BP, Royal Dutch, TotalFinaElf und Shell sind die global führenden Unternehmen in diesem Markt. ENI, Repsol YPF, BG Group und Statoil sind Unternehmen mit regionaler Bedeutung.

<sup>269</sup> Vgl. Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Jahresbericht 2001, Hamburg 2002, S. 10.



Quelle: MWV

Abb. 49: Ölpreisentwicklung

Europa, über 70 % lagern in den OPEC-Ländern.<sup>270</sup> Als problematisch wird die zunehmende Importabhängigkeit der EU von den Golfstaaten sowie den Ländern rund um das kaspische Meer betrachtet.

Prognosen der Ölpreisentwicklung sind ausgesprochen schwierig.<sup>271</sup> Die Ölpreise haben sich in der letzten Dekade in einer Bandbreite von etwa 10 bis 30 US\$ pro Barrel bewegt. Die Preise für OPEC-Öl und Nordsee-Öl (Brent) sind dabei fast deckungsgleich gewesen. Für die Zukunft wird in Europa von einer längerfristigen Bandbreite des Ölpreises zwischen 15 und 30 US\$ ausgegangen.<sup>272</sup> Begründet wird dies damit, dass bei Preisen über 30 US\$ die Verbraucher ihren Konsum einschränken und zudem alternative Energiequellen wettbewerbsfähig werden, anderer-

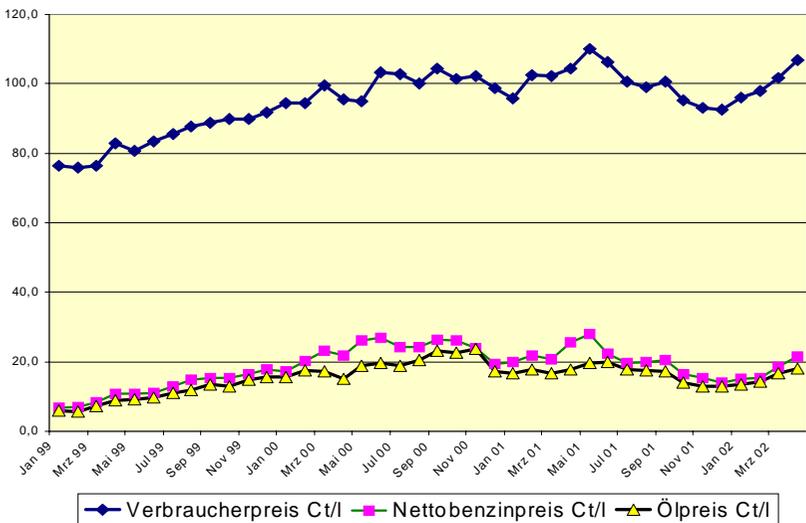
270 Vgl. Europäische Kommission: Grünbuch, Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit, Brüssel 2001, S. 39. Siehe auch Europäische Kommission: 2001 – Annual Energy Review, Brüssel 2002.

271 „Oil has always been the strategic resource, and, as such, is subject to a wide variety of non-economic influences. That means that there can often be a lot of emotion in the markets and complex political and psychological influences...The major resource owners and the taxation policies of governments in major consuming markets determine the oil price level – the oil companies do not.“ Veer, Jeroen van der: Leadership in a Time of Increased Volatility, Handelsblatt Annual Energy Conference, Berlin, 17.1.2001.

272 Vgl. Kruppa, Steffen: Der Energiemix der Zukunft, Vortrag Fachkonferenz Öl im Energiemix der Zukunft, Köln 25. u. 26.02.2002.

seits bei Preisen deutlich unter 15 US\$ Investitionen in die Exploration reduziert werden. In den USA sieht man die Rohölpreise bis zum Jahr 2020 in einem Korridor zwischen 20 und 25 US\$.<sup>273</sup> Die Grenzkosten der Ölproduktion außerhalb der OPEC stagnieren seit Jahren bei 15 US\$ pro Barrel und es ist davon auszugehen, dass diese Untergrenze des Ölpreises bei Bestand der herrschenden Marktstrukturen nicht dauerhaft unterschritten wird. Die OPEC ihrerseits peilt einen Preiskorridor für ihr Öl zwischen 22 und 28 US\$ an.<sup>274</sup>

Parallel zu den Ölpreisen verlaufen die Preise für Otto- und Dieselmotorkraftstoff, wie die nachfolgende Graphik zeigt. In der Zeit zwischen Januar 2000 und März 2002 schwankten die Ölpreise, die als Mittelwert von Opec- und Brentpreisen ermittelt wurden, in einer Bandbreite von 70 bis 90 % des Nettobenzinpreises. Der Mittelwert betrug 84 %. Die Erhöhung des Verbraucherpreises in dieser Zeit ist vor allem auf Erhöhungen der Mineralölsteuer zurückzuführen.



Quelle: MWV, eigene Berechnungen

Abb. 50: Verbraucherpreis für Normalbenzin in Deutschland, Nettobenzinpreis und Ölpreis im Vergleich

273 Vgl. Energy Information Administration: Annual Energy Outlook, Washington, DC, 2000.

274 Vgl. Schürmann, Heinz Jürgen: Rohölpreise im Bereich der 20-Dollar-Marke, in: Handelsblatt v. 7.1.2002.

Auch die Preise für einzelne Kraftstoffkomponenten stehen in Beziehung zum Rohölpreis. So schwanken die Erlöse für MTBE in Abhängigkeit vom Rohölpreis zwischen 270 und 420 €/t.<sup>275</sup> Sofern MTBE durch ETBE ersetzt werden soll, muß sich der Preis für ETBE auch am Preis für MTBE orientieren. Isobuten ist ein in der Raffinerie anfallendes Kuppelprodukt und wird im Regelfall direkt weiterverarbeitet. Deshalb wird Isobuten auch nicht an Märkten gehandelt und Marktpreise sind nicht bekannt. Allerdings können ersatzweise die Preise für Butadien angesetzt werden, die derzeit zwischen 330 und 380 US\$/t liegen.<sup>276</sup>

Das Volumen der MTBE-Nachfrage entwickelt sich entsprechend der Gesamtnachfrage nach Ottokraftstoff. Der jeweilige Einsatz von MTBE in den verschiedenen Kraftstoffqualitäten ist je nach Raffinerie unterschiedlich. Nach Angaben der Mineralölindustrie kann man derzeit im deutschen Markt von folgenden Bandbreiten der MTBE-Zumischung zum Kraftstoff ausgehen:

- Normal: 0,0 - 1,1 Vol%
- Super: 1,1 - 5,4 Vol%
- SuperPlus: 3,1 - 13,1 Vol%.

Die Gesamtnachfrage nach MTBE in Deutschland beläuft sich damit auf etwa 1,4 % der Ottokraftstoffnachfrage. Dies entspricht etwa 350.000 bis 400.000 t p.a.<sup>277</sup>

Die weltweit bestehenden ETBE-Kapazitäten liegen bei etwa 5 Mio. m<sup>3</sup>. Etwas mehr als die Hälfte der gesamten ETBE-Erzeugungskapazität befindet sich in den USA, wo insgesamt acht Anlagen betrieben werden. In Europa ist Frankreich führend bei den ETBE-Kapazitäten. Weitere Anlagen werden in Spanien, Italien, aber auch in Polen und Russland betrieben. In Deutschland existieren derzeit keine ETBE-Anlagen.

In Europa wird der Umbau von MTBE in ETBE-Anlagen bzw. der Neubau zur Erweiterung der Kapazitäten in Frankreich, den Niederlanden und Spanien geplant. Analysten schätzen, dass sich die ETBE-Kapazitäten in naher Zukunft um etwa 50 % vergrößern könnten.

---

<sup>275</sup> Im Juni 2002 kostete MTBE 312 €/t. Vgl. European Chemical News, June 17-23, 2002.

<sup>276</sup> Butadien ist ein ungesättigter, gasförmiger Kohlenwasserstoff, der in Erdgas oder Erdöl enthalten ist. Vgl. ICIS LOR und European Chemical News, June 17-23, 2002.

<sup>277</sup> Vgl. hierzu Internationale Energieagentur, DeWitt & Co. Vgl. auch European Fuel Oxygenates Association: MTBE Resource Guide, Appendix, Brüssel 2002, [www.efoa.org](http://www.efoa.org).

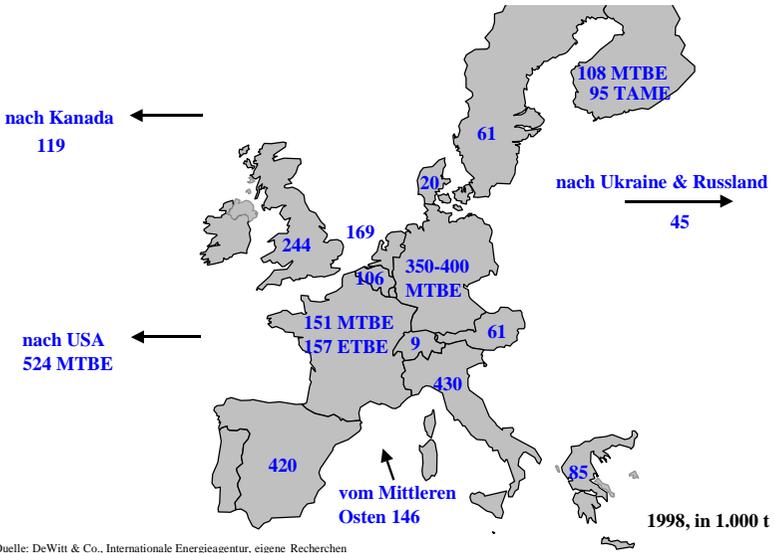


Abb. 51: MTBE- und ETBE-Nachfrage in der EU

### 4.3.7 Bewertung der Marktpotenziale von Bioethanol und ETBE im Kraftstoffsektor

Der Anteil der erneuerbaren Energien wird in den nächsten Dekaden erheblich zunehmen, wie die nachfolgende Graphik zeigt. Dieser Prognose liegt die Berücksichtigung ökologischer und klimatischer Auswirkungen fossiler und anderer Energieträger zugrunde. In etwa 40 Jahren könnte danach der Anteil regenerativer Energien weltweit bei 30 bis über 50 % liegen. Fraglich ist, welches Marktpotenzial für regenerative Energien im Kraftstoffsektor entstehen wird und inwieweit dies durch Bioethanol und ETBE oder alternative Lösungen<sup>278</sup> genutzt werden kann. Nachfolgend wird die Marktattraktivität dieser beiden Produkte diskutiert.

Die Eigenschaften von Bioethanol bei der Beimischung zum Ottokraftstoff wurden weiter oben beschrieben. Die Mineralölwirtschaft bewertet den Einsatz von Bioethanol im Kraftstoffsektor daher negativ und führt

<sup>278</sup> Volkswagen beispielsweise betrachtet Wasserstoff als den Kraftstoff der Zukunft, allerdings im Brennstoffzellenantrieb und regenerativ erzeugt. Diesen Ansatz bezeichnet das Unternehmen als „Sunfuel“.

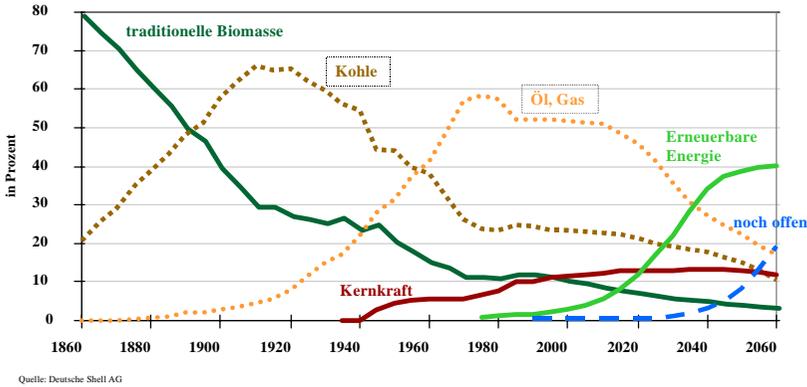


Abb. 52: Bedeutung von erneuerbaren Energien

neben technischen Gründen auch die hohen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten an.<sup>279</sup> Allerdings muß man bei der Bewertung dieser Aussage auch berücksichtigen, dass den großen Mineralölunternehmen bei der Beimischung von Bioethanol Absatzpotenzial für das eigene Rohöl im Umfang der Beimischung verlorenggeht. Dies ist in einer Situation ohnehin leicht schrumpfender Märkte von besonderer Bedeutung. Geht man davon aus, dass es nicht zu einem Beimischungszwang kommt, dann ist die Bereitschaft der Mineralölindustrie zum Einsatz des Produktes Bioethanol ein kritischer Erfolgsfaktor für die Marktpenetration. Die Attraktivität des Produktes Bioethanol hängt dann bei den gegebenen Marktbedingungen von den möglichen Deckungsbeiträgen ab, die es dem Unternehmen erbringt.

Die Herstellungskosten von Bioethanol sind deutlich höher als die des zu substituierenden Ottokraftstoffes. Bei einem Ölpreis von 20 US\$ ist Bioethanol etwa dreimal so teuer wie herkömmlicher Ottokraftstoff. Erst bei einem Ölpreis von etwa 60 US\$ kostet die Herstellung beider Produkte gleich viel. Dabei muß auch noch berücksichtigt werden, dass der untere Heizwert von Bioethanol nur rund zwei Drittel des Heizwerts von Ottokraftstoff beträgt.

Durch die Befreiung von der Mineralölsteuer kann die Wettbewerbsfähigkeit von Bioethanol verbessert werden. Aufgrund der Höhe der Steuer führt die Steuerbefreiung zu einem erheblichen Kostenvorteil für

<sup>279</sup> Vgl. Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Kraftstoffe der Zukunft, Hamburg 2000.

Bioethanol: Bei einem Rohölpreis von 20 US\$ liegt dieser Vorteil bei 28,3 Ct/l, bei einem Rohölpreis von 30 US\$ steigt dieser sogar auf 36,2 Ct/l an. Selbst bei niedrigen Rohölkosten von nur 10 US\$/Barrel zeigt sich immer noch ein deutlicher Kostenvorteil von 20,3 Ct/l. Diese Zusammenhänge sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 18: Vergleich von Ottokraftstoff und Bioethanol in Abhängigkeit vom Rohölpreis<sup>a</sup>

Rohölpreis <sup>b</sup>	Betrachtung ohne Mineralölsteuer			Betrachtung mit Mineralölsteuer <sup>c</sup> bei Steuerbefreiung für Bioethanol		
	Nettopreis Ottokraftstoff	Nettopreis Bioethanol <sup>d</sup>	Preisnachteil Bioethanol	Ottokraftstoff mit MinÖlSt.	Bioethanol	Preisvorteil Bioethanol
US\$/Barrel	Ct/l	Ct/l	Ct/l	Ct/l	Ct/l	Ct/l
10	7,9	50	-42,1	70,3	50	20,3
15	11,9	50	-38,1	74,3	50	24,3
20	15,9	50	-34,1	78,3	50	28,3
25	19,8	50	-30,2	82,2	50	32,2
30	23,8	50	-26,2	86,2	50	36,2
35	27,7	50	-22,3	90,1	50	40,1

- Die unterschiedlichen Heizwerte von Ottokraftstoff und Bioethanol sind in der Darstellung nicht berücksichtigt.
- US\$/€-Kurs von 1,05.
- Eine Mineralölsteuer von 62,4 Ct/l wurde zugrundegelegt.
- Ethanolpreis von 0,45 Ct/l zuzüglich ca. 10 % Misch-/Distributionskosten. Steigende Energiekosten bei der Ethanolerzeugung bei steigenden Ölpreisen sind in der Darstellung nicht berücksichtigt.

Es zeigt sich damit, dass eine Steuerbefreiung von Bioethanol bei Kosten von 50 Ct/l zu einem deutlichen Kostenvorteil im Vergleich zu Ottokraftstoff führt. Selbst bei hohen angenommenen Kosten für Bioethanol von 60 bis 70 Ct/l sind ab einem Rohölpreis von 15 US\$ erhebliche Vorteile zu sehen.

Inwieweit die Mineralölkonzerne diesen Kostenvorteil auf dem Wege niedrigerer Verbraucherpreise an die Kunden weitergeben, kann nicht

beurteilt werden. Allerdings stellt sich die Frage, ob ein Kostenvorteil von Bioethanol in der hier beschriebenen Größenordnung erforderlich ist, um das Produkt für die Verwendung im Kraftstoffsektor attraktiv zu machen.

Auf jeden Fall muß ein finanzieller Anreiz für die Mineralölwirtschaft gesetzt werden, damit es zur Beimischung kommt.<sup>280</sup> Berücksichtigt werden muß auch, dass die Einführung von Bioethanol zunächst Mehrkosten für die Mineralölwirtschaft verursachen wird (Bau zusätzlicher Tanks und Mischanlagen). Diese Kosten sind bereits im hier zugrundegelegten Ethanolpreis berücksichtigt.<sup>281</sup>

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Höhe der Steuerermäßigung, die bei unterschiedlichen Rohölpreisen erforderlich ist, damit Bioethanol genau so teuer ist wie Ottokraftstoff. Sie können als eine Untergrenze für den Grad der erforderlichen steuerlichen Förderung betrachtet werden.

So beträgt bei einem Rohölpreis von 10 US\$/Barrel der Preisnachteil von Bioethanol 42,1 Ct/l. Ottokraftstoff mit Mineralölsteuer kostet hier 70,3 Ct/l. Damit Bioethanol genauso teuer wie Ottokraftstoff ist, muß die Mineralsteuer von 62,4 Ct/l um 67,5 % reduziert werden auf 42,1 Ct/l. Die Spalte „Preisnachteil Bioethanol“ zeigt damit gleichzeitig die absolute Höhe der Mineralölsteuer bei unterschiedlichen Ölpreisen an. Die Tabelle zeigt auch, dass bei wahrscheinlichen Ölpreisen um 20 bis 25 US\$ eine Steuerermäßigung von etwa 50 % ausreichend ist, um die Preisgleichheit beider Produkte herzustellen.

Die Mineralölsteuer zählt zu den ergiebigsten Verbrauchssteuern des Bundes. Bei einer Steuerbefreiung von Bioethanol wird es zu erheblichen Mindereinnahmen kommen. So ergibt sich beispielsweise bei einem Verbrauch von 26 Mio. t Ottokraftstoff und einer Beimischung von 2 % Bioethanol eine Reduzierung der Mineralölsteuer um 1,16 Ct/l. Dies entspricht Mindereinnahmen in der Größenordnung von 400 Mio. € pro Jahr. Werden 5% beigemischt, sinkt die Mineralölsteuer um 2,92 Ct/l und der

---

280 Auch die Ethanolproduzenten werden ohne entsprechende Anreize wohl kaum in die zu errichtenden Anlagen investieren. Zudem haben die Ethanolproduzenten keinen direkten Zugang zu den Endkunden, was zu einer Abhängigkeit von den Mineralölunternehmen führt.

281 Zu spezifischen Distributionskosten von Ethanol vgl. z.B. Gover, M.P. et al.: *Alternative Road transportation fuels – a preliminary life-cycle study for the UK*, Harwell, UK, 1995; Deluchi, M.A.: *Emissions of greenhouse gases from the use of transportation fuels and electricity*. Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, Illinois, USA, 1991.

Tabelle 19: Erforderliche Steuerermäßigung um Preisgleichheit von Ottokraftstoff und Bioethanol herzustellen

Rohölpreis <sup>a</sup>	Betrachtung ohne Mineralölsteuer			Erforderliche Steuerermäßigung um Preisgleichheit zu erreichen		
	Nettopreis Ottokraftstoff	Nettopreis Bioethanol <sup>b</sup>	Preisnachteil Bioethanol	Ottokraftstoff mit MinÖlSt.	Bioethanol	Steuerermäßigung
US\$/Barrel	Ct/l	Ct/l	Ct/l	Ct/l	Ct/l	% v. Steuerersatz
10	7,9	50	-42,1	70,3	70,3	67,5
15	11,9	50	-38,1	74,3	74,3	61,1
20	15,9	50	-34,1	78,3	78,3	54,7
25	19,8	50	-30,2	82,2	82,2	48,4
30	23,8	50	-26,2	86,2	50	42,0
35	27,7	50	-22,3	90,1	50	35,7

a. US\$/€-Kurs von 1,05.

b. Ethanolkosten von 0,45 Ct/l zuzüglich ca. 10 % Misch-/Distributionskosten. Steigende Energiekosten bei der Ethanolerzeugung bei steigenden Ölpreisen sind in der Darstellung nicht berücksichtigt.

jährliche Ausfall der Mineralölsteuer beläuft sich dann auf 1 Mrd. € bei gleichbleibendem Verbrauch.

Dieser negative Effekt wird ggfs. abgefedert durch einen möglichen Mehrverbrauch an Ottokraftstoffen aufgrund des geringeren Heizwertes von Bioethanol. Berücksichtigt werden muß auch, dass die Beimischung von Bioethanol in unterschiedlicher Konzentration auch zu unterschiedlichen Steuersätzen für das Kraftstoffgemisch führt. Dies dürfte auf Seiten der Finanzverwaltung zusätzlichen Arbeitsaufwand verursachen. Problematisch ist zudem, dass im Kraftstoffgemisch eine Unterscheidung von Bio- und Syntheseethanol nicht möglich ist.

Das Potenzial und die Einführung von Bioethanol im Kraftstoffmarkt hängen damit im wesentlichen davon ab, inwieweit durch eine steuerliche Förderung die Attraktivität des Produktes im Vergleich zum Ottokraftstoff gesteigert wird.

Kritische Produktmerkmale sind der geringere Heizwert sowie die bei der Beimischung möglicherweise auftretenden technischen Probleme.

Der geringere Heizwert kann sich in einem Mehrverbrauch niederschlagen und damit negative Auswirkungen auf die Kundenakzeptanz haben. Positiv ist dagegen, dass Bioethanol ein langfristig im Kraftstoffsektor einsetzbares Produkt ist, da es nicht nur bei Ottomotoren sondern auch bei der Brennstoffzelle verwendet werden kann. Ebenfalls spricht für die Beimischung von Bioethanol, dass die vorhandene flächendeckende Infrastruktur mit geringen Adaptionen<sup>282</sup> verwendet werden kann und nicht der Aufbau einer zusätzlichen Vertriebskanals mit entsprechend hohen Kosten erforderlich ist. Schließlich ist das Produkt eine erneuerbare Energie und führt zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses, was von der Mineralölindustrie werblich genutzt werden kann.

ETBE wird von den Produkteigenschaften her von der Mineralöl- und Automobilindustrie deutlich besser beurteilt als Bioethanol. ETBE bietet zudem der Mineralölwirtschaft weiterhin die Möglichkeit, das im Raffinerieprozeß anfallende Isobuten abzusetzen. Aber auch hier gilt analog zu den obigen Ausführungen, dass das Produkt ohne eine entsprechende steuerliche Förderung seines Ethanolanteils nicht wettbewerbsfähig ist.

ETBE substituiert im Regelfall MTBE und muß sich daher an diesem Preis orientieren. MTBE kostet ca. das 1,5fache des Superbenzinpreises ohne Steuern und liegt damit im April 2002 bei etwa 32 Ct/l. Mit Steuern kostet MTBE dann 94,4 Ct/l. Bei einem Ethanolpreis von 50 Ct/l kostet das ETBE 39,6 Ct/l. Wird nur auf den 53 % Isobuten-Anteil Mineralölsteuer erhoben, dann beträgt die Steuer 33,1 Ct/l und der Preis ETBE mit Steuer 72,7 Ct/l. ETBE ist damit 30 % billiger als MTBE.

Bei dieser preislichen Vorzüglichkeit, den beschriebenen guten Produkteigenschaften und der Möglichkeit zum einfachen Umbau von MTBE-Anlagen in ETBE-Anlagen wird dem Produkt ein großes Marktpotenzial eingeräumt. Allerdings ist das Marktvolumen sehr begrenzt, wenn man nur MTBE ersetzt: Bei einem Verbrauch von 26 Mio. t Ottokraftstoff beträgt der MTBE-Anteil etwa 500.000 m<sup>3</sup>. Daraus erwächst ein Absatzvolumen für Ethanol von 230.000 m<sup>3</sup>, das bei einer Steuerbefreiung zu 128 Mio. € Mineralölsteuerausfall pro Jahr führen würde.

---

<sup>282</sup> Lager- und Transportsysteme müssen in ethanolresistenten und nichtrostenden Werkstoffen ausgeführt sein. Dies gilt auch für alle Dichtungen und Schläuche. Außerdem sind Filter einzubauen, die mögliche Verunreinigungen zurückhalten.

## 5 Ordnungs- und steuerrechtliche Rahmenbedingungen

### 5.1 Wirtschaftspolitische und ordnungsrechtliche Rahmenbedingungen

#### 5.1.1 GATT/WTO Richtlinien

Bei der Beurteilung von Chancen und Risiken der steuerlichen Förderung von Biokraftstoffen sind die Vorgaben und Restriktionen zu berücksichtigen, die sich aus den GATT/WTO-Verhandlungen ergeben. Ethanol<sup>283</sup> ist nach der GATT-Definition ein landwirtschaftliches Produkt und unterliegt als solches auch dem weltweiten Trend zur Liberalisierung, wie in der Uruguay-Runde festgelegt. Relevant für die Beurteilung der Förderung von Biokraftstoffen sind die weitere Liberalisierung des Handels mit Entwicklungsländern sowie die Zollpolitik der Gemeinschaft in Bezug auf Ethanol aus Entwicklungsländern. Wichtigste Schlußfolgerung dabei ist, dass ein wirksamer Schutz vor Importen aus Drittländern nicht erreicht werden kann. Dies wird im folgenden näher dargelegt.

##### 5.1.1.1 Liberalisierung des Welthandels

Aufgrund der Einbindung der Bundesrepublik Deutschland in die EU ist ein Alleingang bei der Einführung von Handelsbeschränkungen nicht möglich. Die ausschließliche Kompetenz der Gemeinschaft zur gemeinsamen Handelspolitik ergibt sich aus Art.110 ff. EGV (insbesondere Art. 113 EGV). Daraus folgt, dass die Mitgliedstaaten ohne eine entsprechende Ermächtigung keine eigenen handelspolitischen Maßnahmen mit Außenwirkung für die Gemeinschaft vornehmen können. Durch die Mitgliedsstaaten eingeführte Außenzölle und Abgaben gleicher Wirkung sind daher unzulässig. Auch Kontingentregelungen und Maßnahmen, die

---

<sup>283</sup> In handels- und steuerrechtlichen Ausführungen wird oftmals der Begriff Ethylalkohol verwendet. Ethylalkohol wird durch Destillation gewonnen und kann synthetischer oder natürlicher Herkunft sein. Ethylalkohol verschiedener Stärken ist in den KN 29051100 und KN 22072000 erläutert.

gleiche Wirkungen wie mengenmäßige Beschränkungen haben, fallen in die ausschließliche Kompetenz der Gemeinschaft.<sup>284</sup>

Die Gemeinschaft kann indes Importbeschränkungen im Außenregime, z. B. durch Zölle, zollgleiche Abgaben oder durch Kontingentregelungen und Maßnahmen mit gleicher Wirkung selbstständig oder im Rahmen von völkerrechtlichen Verträgen gemäß Art. 113 EGV einführen. Grenzen ergeben sich allerdings aus den GATT- bzw. WTO-Übereinkommen, die eine zunehmende Liberalisierung des Welthandels und den Abbau aller tarifären und nichttarifären Handelshemmnisse vorsehen. Dies gilt insbesondere im Verhältnis zu den Entwicklungsländern.

Die Uruguay-Runde von 1994 hat einen neuen Liberalisierungsprozess eröffnet. Die Ergebnisse der 8. Verhandlungsrunde des GATT erschweren eine Abschottung des europäischen Marktes, denn Grundlage für alle im Übereinkommen über die Landwirtschaft vereinbarten Regelungen (Marktzugang, Außenschutz, interne Agrarstützung, Reduzierung der Exportbeihilfen) bildet die Abschaffung aller den freien Handel beeinträchtigenden Maßnahmen. Die Regelungen des Landwirtschaftsabkommens in Verbindung mit den Zugeständnissen des Marrakesch-Protokolls sahen folgende Handelserleichterungen vor:

- innerhalb von sechs Jahren Abbau des Außenschutzes um mindestens 36 % (bei Nicht-Entwicklungsländern),
- Verringerung der internen Agrarstützung um 20 %,
- Innerhalb von sechs Jahren Verringerung der Exportsubventionen um 36 % gegenüber dem Zeitraum von 1986-1990,
- Eröffnung von Mindesteinfuhrmöglichkeiten (minimum access tariff quotas) für Entwicklungsländer von 3 bis 5 % für alle landwirtschaftlichen Erzeugnisse bezogen auf den inländischen Verbrauch.

Aus diesen Festlegungen leiten sich für die Folgezeit eine weitere Liberalisierung des Welthandels und weitere Erleichterungen zugunsten der Entwicklungsländer ab. Zunächst konnten sich die Handelsminister der 135 Mitgliedstaaten auf der Sitzung des Ministerrates der Welthandelsorganisation in Seattle im Dezember 1999 nicht über den Themenkatalog für die geplante neue Runde einigen. Neue Impulse gab jedoch die 4. WTO-Ministerkonferenz, die im November 2001 in Doha (Katar) stattfand.

Die Verhandlungsergebnisse von Doha tragen den Bedenken der Entwicklungsländer Rechnung, die sich aus der Umsetzung der Vereinba-

---

<sup>284</sup> Vgl. VO 520/94, ABL EG Nr. L 67 vom 10.3.1994.

rungen von Marrakesch ergeben haben. Vereinbart wurde eine weitere Liberalisierung von Handel und Investitionen (z.B. Verhandlungsmandate zu Zöllen). Die Marktzugangsverpflichtungen sollen vervollständig und deren Einhaltung sichergestellt werden. Die Mitgliedstaaten verständigten sich auch darauf, dass die nachhaltige Entwicklung ein übergeordnetes Verhandlungsziel sein solle. Allerdings wurde auch das Recht der WTO-Mitglieder anerkannt, in den Bereichen Gesundheit, Sicherheit und Umweltschutz geeignete Maßnahmen zu treffen. Besondere Bedeutung wurde der weiteren Integration der Entwicklungsländer in die Weltwirtschaft zugemessen. Hinsichtlich der Landwirtschaft nennt die Erklärung von Doha erhebliche Verbesserungen beim Marktzugang als Verhandlungsziel und erkennt auch in diesem Sektor die Notwendigkeit einer weiteren Liberalisierung an. Aufgabe der eingeleiteten Verhandlungsrunden ist es nun, die Entwicklungsagenda von Doha und die Ziele der EU in Einklang zu bringen.

Insbesondere die Ausfuhr des EU-Quotenzuckers ist in den nächsten Jahren von den Ergebnissen der GATT-Verhandlungen betroffen. Der EU-Zuckersektor ist dabei zum einen von der Kürzung des Außenschutzes, zum anderen von der Reduzierung der Quotenzuckerausfuhren betroffen.

#### 5.1.1.2 Zollpolitik gegenüber Entwicklungsländern

Im Bereich der Zollpolitik strebt die EU eine weitere Senkung der Zollsätze im Verhältnis zu Entwicklungsländern an. Im Ethanolsektor wurde Anfang 2002 eine entsprechende Maßnahme zugunsten der am wenigsten entwickelten Länder getroffen. Die Zollsätze für Ethanol wurden für Entwicklungsländer deutlich gesenkt. Nach Art. 7 Abs.4 der VO EG Nr. 2501/2001 des Rates vom 10. Dezember 2001 über ein Schema allgemeiner Zollpräferenzen für den Zeitraum vom 1. Januar 2002 bis 31. Dezember 2004<sup>285</sup> beträgt die Herabsetzung des spezifischen Zolls des Gemeinsamen Zolltarifs für Waren des KN-Codes 2007 (Ethanol) 15 %. Danach ergeben sich folgende Abgabenbelastungen für Importethanol: Ethanol der KN-Position 2207 1000: 19,2 €/hl (für Entwicklungsländer 16,32); Ethanol der KN-Position 2207 2000: 10,2 €/hl (für Entwicklungsländer 8,67 €/hl).

---

<sup>285</sup> ABl. EG Nr. L 346 vom 31. Dezember 2001.

Als eine möglicherweise starke Bedrohung für die deutsche Ethanol-erzeugung werden auch immer wieder Importe aus AKP-Staaten betrachtet. Allerdings sind die Ethanolerzeugungskapazitäten in den meisten AKP-Staaten sehr gering, so dass derzeit von größeren Importen aus direkt in AKP-Staaten hergestellten Ethanol wohl eher nicht auszugehen ist. Dies steht in Übereinklang mit den Erfahrungen in anderen Industrien: Die AKP-Staaten sind international kaum wettbewerbsfähig. Der AKP-Handelsanteil am europäischen Markt ist auf nur noch 4 % zurückgefallen, wobei im wesentlichen nicht verarbeitete Grundstoffe wie Erze, Rohöl, Diamanten und Gold sowie Obst, Kakao und Kaffee exportiert werden.<sup>286</sup>

Tabelle 20: EU-Einfuhrzölle auf Importe aus Brasilien, USA und Polen<sup>a</sup>

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Ethylalkohol mit Alkoholgehalt mind. 80 %, unvergällt (TARIC 2207100000); in Ecu/hl bzw. ab 1999 in €/hl	30,0	28,2	26,4	24,6	22,8	21,0	19,2	19,2
Ethylalkohol beliebiger Alkoholgehalt, vergällt (TARIC 2207200000); in Ecu/hl bzw. ab 1999 in €/hl	16,0	15,0	14,1	13,1	12,1	11,2	10,2	10,2
Ethylalkohol mit Alkoholgehalt kleiner 80 %, unvergällt, in Behältnissen mit Inhalt mind. 2 Liter (TARIC: 2208909900); in ECU/%vol/hl bzw. ab 1999 in €/ %vol/hl	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0

a. Zollsätze jeweils zum 1. Januar eines Jahres.

Tabelle 20 zeigt die Entwicklung der Zollsätze für vergällten und unvergällten Ethylalkohol sowie für Methanol, die auf Importe aus den bedeutendsten Weltproduzenten Brasilien und USA, aber auch für EU-Beitrittskandidaten wie Polen, erhoben werden. Nur die AKP-Staaten können im Rahmen des AKP-Vertrages frei in die Europäische Union exportieren.

<sup>286</sup> Im Herbst 2002 sollen Verhandlungen zwischen der EU und den AKP-Staaten über neue Partnerschaftsabkommen beginnen, an deren Ende die Schaffung einer Freihandelszone stehen soll. Mit einem Abschluß der Gespräche vor 2008 ist nicht zu rechnen, und die Übergangsfristen für Textilien, Agrarprodukte und andere „sensible“ Erzeugnisse könnten sich bis weit in das kommende Jahrzehnt hinziehen. Vgl. o.V.: AKP-Handel in Schwierigkeiten, in: FAZ v. 21.05.2002.

## **5.1.2 EU-Handelspolitik**

Eine steuerliche Förderung von Biokraftstoffen steht mit der EU-Politik im Handelsbereich in Übereinstimmung. In Brüssel wird auch die Meinung vertreten, dass Biokraftstoffe dem Ziel dienen, eine unabhängigere Energieversorgung sicherzustellen, und dass vor diesem Hintergrund Importe von Rohstoffen für die Ethanolherzeugung in der EU oder Ethanolimporte für den Kraftstoffsektor dem zuwiderlaufen.

## **5.1.3 EU-Agrarpolitik**

### **5.1.3.1 Förderung von Biokraftstoffen und Gemeinsame Agrarpolitik**

Eine Förderung von Biokraftstoffen steht den Zielen der Gemeinsamen Agrarpolitik nicht entgegen. Nach Ansicht der Kommission würde die Schaffung eines gemeinschaftsweiten Marktes für Biokraftstoffe den Beitrittsländern neue Marktchancen eröffnen. Der Anbau von Kulturen für die Herstellung von Biokraftstoffen würde die Aufnahme des Landwirtschaftssektors der neuen Mitgliedstaaten in die gemeinsame Agrarpolitik erleichtern.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) darauf ausgerichtet ist, der Entwicklung des ländlichen Wirtschaftsraums eine größere Bedeutung beizumessen. Die Produktion von Biokraftstoffen könnte dieses Ziel fördern, indem neue Einkommensquellen für die ländlichen Gebiete erschlossen würden. Damit würde auch ein Beitrag zur Sicherung der Beschäftigung in diesen Gebieten geleistet. Deshalb wäre eine steuer- oder ordnungsrechtliche Förderung von Biokraftstoffen mit den Zielen und der Organisation der Gemeinsamen Agrarpolitik vereinbar.

Die Gemeinschaft fördert seit 1985 die Entwicklung und den Einsatz von Biokraftstoffen. Die am 5. Dezember 1985 verabschiedete Richtlinie 85/536/EWG zur Einsparung von Rohöl durch die Verwendung von Ersatz-Kraftstoffkomponenten in Benzin gestattete es den Mitgliedstaaten, Benzin bis zu 5 % Ethanol und bis zu 15 % ETBE zuzusetzen.<sup>287</sup> Mit dieser Möglichkeit soll die Abhängigkeit der Gemeinschaft von Rohöl-

---

<sup>287</sup> Die Richtlinie 85/536/EWG wurde mit Wirkung vom 1.1.2000 durch die Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Qualität von Otto- und Dieselmotorkraftstoffen ersetzt

einführen gemildert werden. Durch die Entscheidungen des Rates 93/500/EWG<sup>288</sup> und 98/352/EG<sup>289</sup> sowie die Entscheidung Nr. 646/2000/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates<sup>290</sup> wurde das Programm ALTENER zur Förderung von erneuerbaren Energien ins Leben gerufen. Es hat zum Ziel, bis zum Jahre 2005 den Anteil von Biokraftstoffen am Gesamtverbrauch von Kraftstoffen in der Gemeinschaft auf 5 % zu erhöhen.

Die Bedeutung des Einsatzes von Biokraftstoffen für den Kraftstoffsektor wurde auch durch die Verlautbarung der Kommission: Mitteilung der Kommission – Energie für die Zukunft: erneuerbare Energieträger – Weissbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan<sup>291</sup> hervorgehoben. Darin empfiehlt die Kommission im Jahre 2010 eine Produktion von 18 Millionen Tonnen flüssiger Biokraftstoffe zu erreichen und allgemein den Anteil erneuerbarer Energieträger am Gesamtverbrauch bis zu diesem Zeitpunkt zu verdoppeln. Schließlich befasst sich auch das Grünbuch der Kommission „Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit“<sup>292</sup> mit der Verwendung von Biokraftstoffen. Darin wird das Ziel festgelegt, bis zum Jahre 2020 20 % der herkömmlichen Kraftstoffe durch alternative Kraftstoffe zu ersetzen. Darüber hinaus fordert die Kommission eine steuerliche Förderung. Nur durch steuerliche Begleitmaßnahmen könne der Unterschied zwischen dem Gestehungspreis von Biokraftstoffen und den konkurrierenden herkömmlichen Kraftstoffen verringert werden. Der am 7.11.2001 verabschiedete Aktionsplan zur Förderung von Biokraftstoffen<sup>293</sup> dient der Umsetzung dieser Forderungen in das sekundäre Gemeinschaftsrecht.

### 5.1.3.2 Gemeinsame Marktorganisation für Ethylalkohol landwirtschaftlichen Ursprungs

Im Rahmen des am 17. Juli 2000 vom Rat der Landwirtschaftsminister ausgehandelten Agrarpreiskompromisses für 2000/2001 wurde die Kommission gebeten, die Einführung einer Gemeinschaftsregelung für Agrar-ethanol in Erwägung zu ziehen. Daraufhin hat die Kommission im Juni

---

288 ABl. EG Nr. L 235 vom 18.9.1993.

289 ABl. EG Nr. L 159 vom 3.6.1998.

290 ABl. EG Nr. L 79 vom 25.10.2000.

291 KOM (97) 599 endg. vom 26.11.1997.

292 KOM (2000) 769 endg. vom 29.11.2000.

293 KOM (2001) 547.

2001 einen Entwurf für eine „leichte“ Marktorganisation für Ethylalkohol landwirtschaftlichen Ursprungs (Agraralkohol) vorgelegt.<sup>294</sup>

Der Vorschlag erfasst Erzeugnisse der KN-Positionen 2207 10.00, 2207 20.00 und 2208 90.91 und 2208 90.99 (Ethylalkohol), soweit dieser aus landwirtschaftlichen Erzeugnissen hergestellt ist. Vorgesehen ist eine Marktorganisation für Agraralkohol unter ausdrücklichem Ausschluss von Agrardestillaten und von Synthesealkohol. Der Vorschlag enthält detaillierte Regelungen über die Verpflichtung zur statistischen Erfassung und zur Meldung von Produktionsdaten (wie z. B. Produktion, Absatz, Bestände und voraussichtliche Produktionsmengen), Ein- und Ausfuhrlicenzen, Verfahrensregelungen für Kontingente und die Möglichkeit zur Ergreifung von Dringlichkeitsmaßnahmen bei erheblichen Marktstörungen. Darüber hinaus wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass auf die Produktion der von der Marktorganisation erfassten Erzeugnisse sowie auf den Handel mit diesen Erzeugnissen die beihilferechtlichen Vorschriften des EGV (Art. 87, 88 und 89 EGV) Anwendung finden. In Art. 6 des Entwurfs wurde eine Regelung zur Verwaltung von Kontingenten aufgenommen, sofern sich solche Beschränkungen aus den gemäß Art. 300 EGV oder einem anderen Rechtsakt des Rates geschlossenen Übereinkommen ableiten lassen. Bei schwerwiegenden Marktstörungen ermächtigt Art. 9 des Vorschlags den Rat zur Erhebung von Abgaben mit Zollwirkung oder zur Einführung von mengenmäßigen Beschränkungen oder Maßnahmen gleicher Wirkung. Zu Recht wird in der Begründung darauf hingewiesen, dass die Einführung von derartigen Dringlichkeitsmaßnahmen mit den sich aus den betreffenden WTO-Übereinkommen ergebenden Verpflichtungen in Einklang stehen müsse. Im übrigen müsse die Handelsregelung den Verpflichtungen Rechnung tragen, die sich aus den im Rahmen der multilateralen Handelsverhandlungen der Uruguay-Runde geschlossenen Übereinkommen ergeben.

Hinsichtlich der in Frage stehenden Förderung von Biokraftstoffen wäre die vorgesehene Marktordnung für Agraralkohol nicht in der Lage, den europäischen Markt gegen Importe aus Drittstaaten wirksam abzuschotten.

Aufgrund der im Rahmen der WTO-Übereinkommen angestrebten Liberalisierung des Handels mit diesen Staaten ist mit der Einführung von Kontingentregelungen oder anderen Dringlichkeitsmaßnahmen

---

<sup>294</sup> Vorschlag für eine Verordnung des Rates über die gemeinsame Marktorganisation für Ethanol landwirtschaftlichen Ursprungs, ABl. EG Nr. C 180 vom 26.6.2001, S.146 ff.

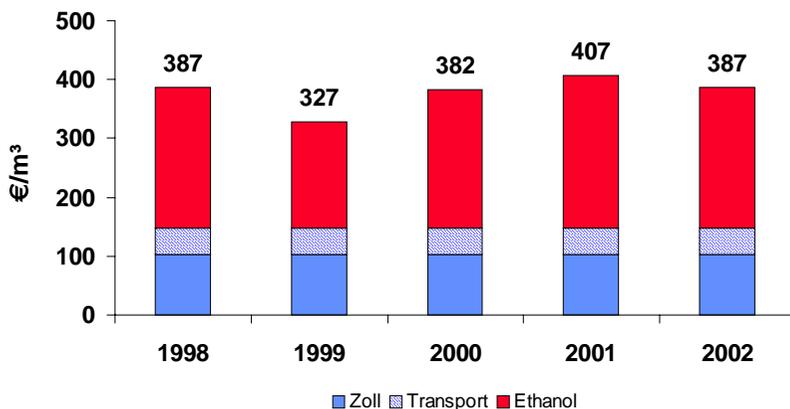
nicht zu rechnen, es sei denn, der Agraralkohol aus Drittstaaten würde nachweislich zu Dumpingpreisen in die EU eingeführt und führte auf dem EU-Markt zu schwerwiegenden Marktstörungen.

Im Agrarrat am 27. Juni 2002 konnte keine Einigung über den Vorschlag erzielt werden; die weitere Behandlung in den Ratsgremien ist offen. Es zeichnet sich jedoch ab, dass die überwiegende Mehrheit der Mitgliedsstaaten dafür plädiert, anstelle einer gemeinsamen Marktorganisation eine „einfache“ Ratsverordnung zu erlassen, die Synthesealkohol in die statistische Erfassung mit einbezieht. Hauptstreitpunkt ist nach wie vor die Frage, ob die künftige EG-Alkoholmarktregelung eine Beihilfenvorschrift enthalten soll. Die EG-Kommission fordert eine entsprechende Kontrollvorschrift.

Die Bundesregierung setzt sich in Übereinstimmung mit entsprechenden Beschlüssen von Bundesrat und Bundestag dafür ein, dass die geplante EG-Alkoholmarktregelung eine Beihilfenvorschrift nicht enthält, damit das Branntweinmonopol als nationale Marktregelung zulässig bleibt.

Bei der weiteren Untersuchung der zur Verfügung stehenden Handlungsoptionen für die Förderung des Einsatzes von Bioethanol als Kraftstoff kann insoweit die beabsichtigte EG-Alkoholmarktregelung außer Betracht bleiben. Der Vorschlag würde im Falle seiner Verabschiedung den bestehenden Außenschutz gegenüber Agraralkohol aus Drittstaaten nicht erhöhen.

Da auch andere Mitgliedstaaten, wenn auch aus unterschiedlichen Gründen, den Vorschlag ablehnen, ist nicht absehbar, ob und wann es zu einer Einigung kommen wird. Bei der weiteren Untersuchung der zur Verfügung stehenden Handlungsoptionen für die Förderung des Einsatzes von Ethanol als Kraftstoff können die Festlegungen des Vorschlages daher außer Betracht bleiben. Festzuhalten ist lediglich, dass der Vorschlag im Falle seiner Verabschiedung keinen wirksamen Importschutz vor Billiganbietern von Ethanol landwirtschaftlichen Ursprungs aus Drittländern bieten könnte. Welche Bedeutung dieses Problem hat, wird anhand der nachfolgenden Abbildung deutlich, die die Importpreise für entwässerten Ethanol aus Brasilien zeigt.



Quelle: Südzucker AG

Abb. 53: Importpreise für Ethanol aus Brasilien

## 5.1.4 EU-Energiepolitik

### 5.1.4.1 Eckpfeiler der EU-Energiepolitik

Die EU-Energiepolitik agiert im Zieldreieck Wettbewerbsfähigkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit. Aus diesen Zielen abgeleitet konzentriert sich der Handlungsrahmen auf die Liberalisierung der Energiemärkte, Versorgungssicherheit und Daseinsfürsorge sowie die Diversifizierung der eingesetzten Energieträger, insbesondere im Hinblick auf erneuerbare Energien.

Wettbewerbsfähigkeit soll durch die Förderung marktwirtschaftlicher Strukturen im Energiemarkt geschaffen werden. Dazu müssen die eingesetzten Energieträger bezüglich ihrer Kosten wettbewerbsfähig sein. Dies gilt auch für Energieträger aus nachwachsenden Rohstoffen.

Bei der Liberalisierung der Energiemärkte ist die vollständige Öffnung der Strom- und Gasmärkte EU-weit das zentrale Ziel. Eine Marktöffnung von mindestens 60 % soll ab 2004 erreicht werden, bislang wurden nur 30 % gefordert. Eine vollständige Öffnung der Strom- und Gasmärkte hat es bislang nur in Deutschland, Großbritannien, Österreich und den nordischen Ländern gegeben. Zur Sicherstellung der Liberalisierung kann auf nationaler Ebene alternativ auf freiwillige Vereinbarun-

gen<sup>295</sup> oder auch auf Einsetzung von Regulierungsbehörden gesetzt werden.

Das zweite Ziel, die Versorgungssicherheit, ist bedeutend, da die heimische Produktion nicht ausreicht und die EU verstärkt auf Importe angewiesen ist. Es gilt, eine vielseitige Energieträgermatrix zu schaffen, auch durch eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien, und möglichst weltweite Bezugsquellen zu nutzen, um die Versorgungslage zu sichern und Importrisiken zu mildern. Dazu trägt auch eine sparsamere Energieverwendung und eine Reduzierung des Bedarfs bei.

Um die Versorgungssicherheit zu erhöhen, soll der zukünftig weiter steigenden Abhängigkeit der EU von Energieimporten (heute rd. 50 % bei Fortschreibung des Status quo in 20-30 Jahren 70 %) entgegengewirkt werden. Im Grünbuch „Hin zu einer europäischen Strategie zur Energieversorgungssicherheit“ werden Elemente einer langfristigen Strategie aufgezeigt. Sie umfassen Maßnahmen zu Gunsten einer nachfrageorientierten Politik, die auf eine grundlegende Änderung des Verbraucherverhaltens hinwirken. Die Steigerung der Energieeffizienz soll mehr noch als zuvor Bestandteil der Gemeinschaftsstrategie werden, insbesondere im Bausektor. Da 40 % der Energie im Verkehrssektor verbraucht werden und dort gleichzeitig 28 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen anfallen, wird dort ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Reduktion des Energieverbrauchs gesehen. Das Weißbuch „Die Europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft“ entwickelt diesbezüglich Konzepte. Der mittelfristige Beitrag der Kernenergie in Hinblick auf globale Erwärmung, Versorgungssicherheit und nachhaltige Entwicklung soll geprüft werden. Die strategischen Vorräte an Erdöl und Erdgas sollen aufgestockt werden.

Weiterhin ist angedacht, über eine Rahmenrichtlinie zur Konsolidierung und Präzisierung der Daseinsfürsorge für „Dienstleistungen von allgemeinem Interesse“, die auch die Versorgung der Bürger mit Energie einschließen kann, den Wettbewerb zurückzunehmen.

Für Deutschland scheint die Fortsetzung der Kohlebeihilfen degressiv bis 2010 gesichert zu sein (Entscheidung der EU-Energieminister am 6./7. Juni 2002). Die deutsche Forderung nach einem nationalen Energiesockel ohne EU-Genehmigungsaufgaben kann sich vorerst nicht durchsetzen.

Mit der Osterweiterung werden wichtige Kohleproduzenten wie Polen und Tschechien zur EU gehören. Die Beitrittsländer werden die

---

295 Z.B. Verbändevereinbarungen in Deutschland.

Emissionsvorschriften der EU übernehmen und u.a. ihre fossilen Kraftwerke nachrüsten müssen. Die energetische Nutzung großer Agrarflächen in den Erweiterungsstaaten wird ebenso auf die Tagesordnung kommen wie die nukleare Sicherheit bestehender Anlagen.

Größte Herausforderung beim dritten Ziel, der Umweltverträglichkeit, ist der wirksame Klimaschutz. Heute basiert der überwiegende Teil des Energieeinsatzes auf fossilen Brennstoffen, die sowohl lokale Umweltprobleme verursachen, als auch global das Klima beeinflussen. Zu einer sparsameren und rationelleren Nutzung von Energie und zur Erreichung der Umwelt- und Klimaschutzziele kann die Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien, d. h. ein Ersatz von umweltbelastenden durch umweltschonende Energieträger, einen bedeutsamen Beitrag leisten.

Um tatsächlich den Anteil der Energieträger aus nachwachsenden Rohstoffen zu erhöhen, müssen sich diese innerhalb der Kriterien des Zieldreiecks relativ zu anderen Energieträgern bewähren.

Laut Weißbuch von 1997 soll der Anteil erneuerbarer Energieträger an Bruttoenergieverbrauch der EU von 6 % in 1997 auf 12 % bis 2010 sich verdoppeln. Eine Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen aus 2001 zielt darauf ab, den Anteil „grünen“ Stroms in der EU von 14 % in 1997 auf 22 % in 2010 zu erhöhen. Zu berücksichtigen ist schließlich die Fortentwicklung des Gemeinschaftsrechts (z. B. Regelungen in Art. 14 Abs.1 b der Energiesteuer-Richtlinie) und die Gemeinschaftspolitik zur Förderung von Biokraftstoffen (Programm Altener, Weißbuch der Kommission für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan zur Biokraftstoffförderung).

Eine wichtige Veränderung in Deutschland stellt das im Frühjahr 2000 verabschiedete Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien dar. Hier von profitiert z. B. die Biogasgewinnung zur Stromproduktion durch feste Vergütungssätze der in das öffentliche Netz eingespeisten Elektrizität.

Die Einzelziele des Zieldreiecks stehen in erheblicher Konkurrenz zueinander. So kann beispielsweise zur Erreichung von ehrgeizigen Klimaschutzziele eine Reduktion der Nutzung der heimischen Kohlequellen notwendig sein, was aber dem Ziel der Versorgungssicherheit widerspricht. Es gilt also das energiepolitische Zieldreieck insgesamt zu optimieren und nicht ein Ziel zu Lasten eines anderen zu maximieren.

Für die Beurteilung der Förderung von Bioethanol spielen die Energiesteuerrichtlinie und die möglichen Auswirkungen des Emissionshandels auf Biokraftstoffe eine besondere Rolle. Daher wird auf diese beiden Themen nachfolgend detaillierter eingegangen.

#### 5.1.4.2 Energiesteuerrichtlinie

Seit über zehn Jahren wird auf Gemeinschaftsebene über eine umfassende Harmonisierung der Energiesteuern unter Einbeziehung aller Energieerzeugnisse beraten. Im Oktober 1992 gelang es zumindest die Mineralölsteuer zu harmonisieren. Über den am 12. März 1997 vorgelegten Richtlinienvorschlag zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen<sup>296</sup> konnte bisher jedoch keine Einigung erzielt werden. In Bezug auf die steuerliche Förderung von Biokraftstoffen enthält der Vorschlag in Art. 14 a eine Pilotprojektregelung, die der seit 1992 bestehenden Vorschrift in der Mineralölstruktur-Richtlinie entspricht. In Art. 14 b wird die Möglichkeit eröffnet, Energieerzeugnisse der KN-Codes 1507 bis 1508 (Pflanzenöle), 2207 20 00 und 2905 11 00 (Ethanol, Methylethanol u. a. Ethanole) sowie 4401 und 4402 (Holz) von der Steuer zu befreien oder auf diese Erzeugnisse ermäßigte Steuersätze anzuwenden. Sollte der am 27. November 2001 vorgelegte Vorschlag für eine Biokraftstoff-Richtlinie<sup>297</sup>, über den die Finanzminister bereits auf dem ECOFIN-Rat am 20. Juni 2002 eine politische Verständigung herbeigeführt haben, endgültig verabschiedet werden, würden die darin enthaltenen Regelungen Art. 14b des alten Richtlinienvorschlages ersetzen.

Auf dem EU-Gipfel im März 2002 in Barcelona wurde verabredet, bis Ende 2002 den Energiesteuer-Richtlinienvorschlag zu verabschieden und damit eine Einigung auf eine gemeinschaftsweite Mindestbesteuerung des Energiekonsums zu erreichen. Die bestehenden Mindeststeuersätze sollen angehoben und eine Besteuerung von anderen Energieträgern als Mineralöle (z. B. Strom und Kohle) eingeführt werden. Im Mittelpunkt der Harmonisierungsbemühungen stehen auch weiterhin die Energiesteuervergünstigungen, insbesondere für energieintensive Unternehmen und für bestimmte Verwendungszwecke. Es besteht Einigkeit, dass Wärme und die als Rohstoffe eingesetzten Energieerzeugnisse nicht steu-

---

<sup>296</sup> KOM (97) 30 endg.

<sup>297</sup> KOM (2001) 527 endg.

erlich belastet werden sollen, denn nach ihrer Grundkonzeption sind Energiesteuern verwendungsorientierte Verbrauchsteuern auf Energieleistungen.

Nachdem eine Einigung auf Schlussfolgerungen unter der spanischen Präsidentschaft insbesondere an den Problemen im Zusammenhang mit den von einigen Mitgliedstaaten in den letzten Jahren eingeführten mineralölsteuerlichen Entlastungen für das Transportgewerbe gescheitert ist, hat die dänische Präsidentschaft die Beratungen auf der Grundlage der bereits auf anderen Gebieten erzielten Ergebnisse fortgesetzt. Hierzu hat sie einen vollständig überarbeiteten Richtlinienentwurf vorgelegt und in Art. 16 dieses Vorschlags die Regelungen aus der Biokraftstoff-Richtlinie übernommen. Eine Einigung konnte bis Ende 2002 jedoch nicht erzielt werden.

#### 5.1.4.3 Emissionshandel

Um die CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele der EU von 8 % innerhalb eines Zeitraumes von 2008 bis 2012 zu erreichen, soll das Instrument des Emissionshandels etabliert werden. Für eine Übergangszeit soll von den Kyoto-Gasen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, H-FKW, FKW und SF<sub>6</sub>) nur Kohlendioxid erfasst werden, da CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahre 1999 über 80 % der Treibhausgasemissionen ausmachten. Das endgültige System soll dann ab 2008 bis 2012 gelten und einen Zeitraum abdecken, der mit dem Verpflichtungszeitraum des Kyoto-Protokolls zusammenfällt. Eine Einbeziehung aller Kyoto-Gase wird in Erwägung gezogen. Sie bedarf allerdings eines neuen Vorschlages der Kommission.

Zur Einführung des Emissionshandels hat die Kommission im Oktober 2001 im Anschluss an die Veröffentlichung des „Grünbuchs zum Handel mit Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union“ vom 8. März 2000<sup>298</sup> auf der Grundlage von Art. 175 Abs. 1 EGV einen Richtlinienentwurf über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionsberechtigungen in der Gemeinschaft vorgelegt.<sup>299</sup>

Das Konzept sieht vor, einem ausgewählten Kreis von energieintensiven Unternehmen anlagenbezogene Genehmigungen zu erteilen, die mit Überwachungs-, Berichterstattungs- und Prüfungspflichten verbunden sind. Dabei sollen insbesondere Anlagen zur Herstellung von Roheisen

---

<sup>298</sup> KOM (2000) 87 endg.

<sup>299</sup> KOM (2001) 581 endg.

und Stahl, Zementklinkern, keramischen Erzeugnissen, Glas, Zellstoffen aus Holz, Erzeugnissen aus Papier und Pappe sowie Röst- und Sinteranlagen für Metallerz, Verbrennungsanlagen mit einer Wärmenettozufuhr über 20 MW, Mineralölraffinerien und Kokereien erfasst werden. Bewusst ausgenommen werden kleine und mittlere Unternehmen, da sie nicht im größeren Umfang CO<sub>2</sub> emittieren.

Die Erteilung der Genehmigungen ist verbunden mit der Einführung von Berechtigungen, die in der Vorbereitungsphase zwischen 2005 und 2007 von jedem Mitgliedstaat anhand objektiver und transparenter Kriterien kostenlos ausgegeben werden sollen. Dabei obliegt es jedem Mitgliedstaat, die nach dem Lastenverteilungsplan zugewiesenen Emissionsmengen im Einklang mit den Kyoto-Zielen und den Schlussfolgerungen des Rates vom 16. Juni 1998 zu verteilen. Von den betroffenen Unternehmen sind die Berechtigungen jedes Jahr zur Löschung vorzulegen. Die Mitgliedstaaten sind gehalten, Unternehmen, die nicht spätestens am 31. März jeden Jahres ausreichende Berechtigungen zur Abdeckung ihrer im Vorjahr verursachten Emissionen abgeben, für die Emissionsüberschreitungen Sanktionen<sup>300</sup> aufzuerlegen. Da die Zertifikate zum gemeinschaftsweiten Handel zugelassen sind, können diese Unternehmen von anderen Anlagen-Betreibern im Inland oder in anderen Mitgliedstaaten, die ihre in den Berechtigungen ausgewiesenen Mengen nicht vollständig in Anspruch genommen haben, zusätzliche Zertifikate erwerben und die drohenden Sanktionen vermeiden. Der Preis für eine Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent wird nach Kommissionsangaben voraussichtlich zwischen 20 und 33 € liegen. Durch die Schaffung eines Systems von verbundenen nationalen Verzeichnissen soll der grenzüberschreitende Handel mit Emissions-Zertifikaten kontrolliert werden.

Die Kommission verspricht sich, auf diese Weise mit marktwirtschaftlichen Ansätzen die nach dem Kyoto-Protokoll zu leistende Emissionsreduktion am kostengünstigsten zu erreichen. Allerdings ist dies nur eine Binnenlösung für die Europäische Gemeinschaft. Negative Auswirkungen auf die Wettbewerbschancen im Verhältnis zu Drittstaaten, die nicht am Handel beteiligt sind, können nach der Konzeption des zurzeit in der Diskussion befindlichen Systems nicht ausgeschlossen werden. Nur ein weltweiter Handel mit Zertifikaten könnte dies verhindern. Sofern in Drittstaaten ähnliche Systeme bestehen, kann die Gemeinschaft nach Art.

---

300 100 € je t CO<sub>2</sub>-Äquivalent oder das Doppelte des durchschnittlichen Marktpreises für entsprechende Berechtigungen

300 EGV entsprechende Vereinbarungen schließen. Eine spezielle Ermächtigung enthält Art. 24 des Richtlinienvorschlages.

Am 9. Dezember 2002 konnte sich der Rat einstimmig auf einen gemeinsamen Standpunkt zum Vorschlag der Kommission über den Emissionshandel einigen. Gegenüber dem ursprünglichen Vorschlag wurden einige Modifikationen vorgenommen. Grundsätzlich soll der gemeinschaftsweite Emissions-Handel 2005 aufgenommen werden. Den Mitgliedsstaaten wird allerdings gestattet, im Zeitraum 2005 bis 2007 einzelne Anlagen oder Wirtschaftstätigkeiten auszunehmen. Dies ist für die betroffenen Unternehmen jedoch nur mit einer Genehmigung der Kommission möglich. Ab 2008 können die Mitgliedstaaten das System mit Zustimmung der Kommission auch auf weitere Bereiche und weitere Gase ausdehnen. Die Zertifikate werden zunächst kostenlos ausgegeben. Ab 2008 können die Mitgliedstaaten bis zu 10 % ihrer Berechtigungen versteigern. Bis 2012 ist es Unternehmen gestattet, ihre Emissionsberechtigungen zusammenzulegen (pool-Lösung).

Ungelöst ist bisher auch das Verhältnis der Emissionshandel-Richtlinie zur Energiesteuer-Richtlinie. Es besteht zumindest ein Konsens, dass eine doppelte Belastung der am Emissionshandel teilnehmenden Unternehmen durch Energiesteuern und den Preis für den Erwerb von Zertifikaten vermieden werden soll. Unter spanischer Präsidentschaft hat die Kommission sich bereit erklärt, einen neuen Richtlinienvorschlag über steuerliche Maßnahmen vorzulegen, der die künftige Umsetzung eines Emissionshandelssystems begleiten und eine Doppelbelastung vermeiden soll.

Der Einsatz von Kraft- oder Heizstoffen biogenen Ursprungs hat nur bei der Verwendung von biogenen Heizstoffen eine unmittelbare Auswirkung auf das System. Da die Richtlinie nur die von ortsfesten Anlagen ausgehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen erfasst, könnte sich nur die Substitution von fossilen Brennstoffen durch biogene Heizstoffe auf den Bedarf an Emissions-Berechtigungen auswirken.

Der Einsatz von Biokraftstoffen in betrieblich genutzten Fahrzeugen hingegen würde sich außerhalb des Betriebes der Anlagen vollziehen und hätte deshalb keinen Einfluss auf das Erreichen des Minderungszieles und den Verbrauch der entsprechenden Berechtigungen. Eine unmittelbare Beziehung zwischen dem Einsatz von Biokraftstoffen und dem Emissionshandel besteht somit nicht. Nach dem derzeitigen Verhandlungsstand ist die Einbeziehung von Kraftstoffen auch nicht vorgesehen.

Allerdings könnte ein verstärkter Einsatz von Biokraftstoffen einen Beitrag zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor leisten und damit indirekt über die Lastenverteilung innerhalb der einzelnen Sektoren den gewerblichen Bereich entlasten und Sanktionen bei Nichterreichung der von Deutschland übernommenen Klimaschutzverpflichtungen vermeiden helfen.

Eine Einigung über den Richtlinienvorschlag konnte bisher noch nicht erzielt werden. Der Umweltrat hat am 12. Dezember eine erste Orientierungsdebatte geführt. Bis Ende Mai 2002 fanden unter der spanischen Präsidentschaft insgesamt fünf Sitzungen der Ratsarbeitsgruppe Umwelt statt. Anlässlich der Tagung des Europäischen Rates am 25. Juni 2002 in Luxemburg wurde von der Präsidentschaft ein Fortschrittsbericht vorgelegt. Unter dänischer Präsidentschaft sind die Beratungen inzwischen fortgesetzt worden.

Auf Bundesebene befasst sich die Arbeitsgruppe „Emissionshandel zur Bekämpfung des Treibhauseffekts“, die durch Beschluss der Bundesregierung vom 18. Oktober 2000 eingesetzt worden ist, mit dem Thema. Sie besteht aus Vertretern der beteiligten Ressorts, der Bundesländer, des Deutschen Bundestages, der Wirtschaft, der Gewerkschaften und der Umweltverbände. Die wesentlichen Ergebnisse der Arbeitsgruppe sind in einem Ende 2001 erstellten Zwischenbericht enthalten.<sup>301</sup>

### **5.1.5 Ableitung von ordnungsrechtlichen Handlungsoptionen zur Förderung des Einsatzes von Ethanol und Methanol im Kraftstoffsektor**

Eine Möglichkeit zur Erhöhung des biogenen Kraftstoffanteils am Gesamtverbrauch an Kraftstoffen wäre die Einführung einer an die Kraftstoffhersteller gerichteten Verpflichtung, den herkömmlichen Kraftstoffen eine vorgegebene Menge an Biokraftstoffen beizumischen. Ein solcher Beimischungszwang wird von der Europäischen Kommission im Rahmen des Richtlinienvorschlages zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen als zielführende ordnungsrechtliche Option in Betracht gezogen, falls die in der Richtlinie festgelegten Ziele durch die bloße Festlegung von unverbindlichen Richtwerten nicht erreicht werden könnten.

---

<sup>301</sup> Der Bericht wurde auf der Homepage des BMU veröffentlicht. [www.bmu.de](http://www.bmu.de).

Durch Einführung einer Verpflichtung zur Beimischung von Ethanol oder ETBE zu Ottokraftstoffen würden die Absatzchancen für diese Produkte deutlich verbessert. Dabei könnte ein bestimmter Prozentsatz festgelegt werden, der von den Kraftstoffherstellern erreicht werden müsste. Realistisch wäre ein Einstieg mit 1-2 %. In den folgenden Jahren könnte dann eine stufenweise Erhöhung in Aussicht genommen werden.

Die Einführung eines Beimischungszwanges hätte den Vorteil, dass sich diese Maßnahme außerhalb des steuerlichen Bereiches vollziehen würde. Eine zusätzliche Subventionierung wäre zwar immer noch möglich, aber nicht mehr erforderlich. Die Mineralölkonzerne würden die höheren Gestehungskosten für den Biokraftstoffanteil im Rahmen einer Mischkalkulation auf die Endverbraucherpreise umlegen. Eines zusätzlichen Anreizes zur Beeinflussung der Kaufentscheidung des Konsumenten bedürfte es nicht mehr, wenn die Kraftstoffmischungen flächendeckend angeboten und die ungemischten Kraftstoffe vom Markt verdrängen würden. In diesem Fall würde sich die flächendeckende Markteinführung unmerklich vollziehen.

Nachteile einer ordnungspolitischen Lösung dieser Art wären eine zu erwartende Erhöhung des Benzinpreises und eine Einschränkung der unternehmerischen Freiheit durch einen dirigistischen Eingriff in den freien Markt. Ein solcher Eingriff darf aufgrund der verfassungsrechtlichen Vorgaben nicht willkürlich erfolgen.

Grundsätzlich wird die Einführung eines Beimischungszwanges als ordnungspolitische Maßnahme als zulässig erachtet. Als Legitimation für eine entsprechende nationale Umsetzung können Gesichtspunkte der Versorgungssicherheit und des Umweltschutzes herangezogen werden, die bereits die letzte Änderung des Mineralölsteuergesetzes und die Erweiterung der Möglichkeiten für die steuerliche Freistellung von Biokraftstoffen gestützt haben. Von entscheidender Bedeutung sind jedoch die zu beachtenden gemeinschaftsrechtlichen Restriktionen. Zunächst sah der am 17. Dezember 2001 von der Kommission vorgelegte Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen die Möglichkeit einer gemeinschaftsweiten Einführung eines Beimischungszwanges ausdrücklich vor. Zumindest sollte diese Maßnahme in Betracht gezogen werden, wenn sich unverbindliche Festlegungen nicht als zielführend erweisen sollten.

Nach ersten Verhandlungen in der Ratsarbeitsgruppe und einer allgemeinen Orientierung des Energieministerrates am 7. Juni 2002 hat die

Kommission aufgrund des Widerstandes einiger Mitgliedstaaten diesen Ansatz aufgegeben. Die Frage der gemeinschaftsweiten Einführung eines Beimischungszwanges wird auf Gemeinschaftsebene nicht weiter verfolgt. Es ist auch nicht damit zu rechnen, dass eine entsprechende Regelung oder ein entsprechender Hinweis in den zur Verabschiedung anstehenden Rechtstext aufgenommen wird. Da Festlegungen auf Gemeinschaftsebene nicht erfolgen werden, stünden einem Alleingang eines einzelnen Mitgliedstaates erhebliche gemeinschaftsrechtliche Bedenken entgegen.

Dabei ist zu beachten, dass die an Kraftstoffe zu stellenden Qualitätsanforderungen in der Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 1998 über die Qualität von Otto- und Dieselmotorkraftstoffen festgelegt sind. Nach den im Anhang I aufgeführten umweltbezogenen Spezifikationen darf der Anteil an Ethanol 5 % nicht übersteigen. Geregelt wird die grundsätzliche Zulässigkeit einer Beimischung von Ethanol zu Ottokraftstoffen, nicht jedoch die Zulässigkeit einer Zwangsmaßnahme, mit der dieser Anteil auf dem Markt durchgesetzt werden soll. Nach Art.5 der Richtlinie 98/70/EG dürfen die Mitgliedstaaten das Inverkehrbringen von Kraftstoffen, die den Vorschriften dieser Richtlinie entsprechen, weder untersagen, noch beschränken, noch verhindern. Ein im nationalen Alleingang eingeführter Beimischungszwang könnte aufgrund dieser Regelung nicht auf Kraftstoffe ausgedehnt werden, die aus einem anderen Mitgliedstaat in das Inland verbracht werden. Denn ausländische Kraftstoffe, denen kein Ethanol beigemischt worden wäre, würden die qualitätsmäßigen Anforderungen der Richtlinie 98/70/EG erfüllen und müssten damit für den freien Verkehr zugelassen werden. Die Forderung nach einem Biokraftstoffanteil würde sich als gemeinschaftsrechtlich unzulässiges Handelshemmnis darstellen.

In diesem Zusammenhang ist auf die negativen Erfahrungen Österreichs hinzuweisen. Österreich beabsichtigte 1999 einen Beimischungszwang in Höhe von 2 % einzuführen. Die entsprechende nationale Rechtsverordnung wurde gegenüber der Kommission nach der Richtlinie 98/34/EG notifiziert. Aufgrund von Einwänden anderer Mitgliedstaaten, die bei Umsetzung dieses Vorhabens eine Beeinträchtigung des innergemeinschaftlichen Handels befürchteten, und schließlich auch der Kommission wurde der Antrag im September 1999 wieder zurückgezogen. Eine Beschränkung der Verpflichtung zur Beimischung auf den österreichischen Handel wurde insbesondere aus Wettbewerbsgründen nicht in

Erwägung gezogen. Ausländische Anbieter hätten einen Preisvorteil erlangt. Zudem bestand die Gefahr, dass inländische Hersteller ihre Produktion in benachbarte Mitglied- oder Drittstaaten verlegt hätten.

Ein nationaler Beimischungszwang könnte deshalb nur dann als sinnvolle Fördermaßnahme in Betracht gezogen werden, wenn auf Gemeinschaftsebene entsprechende Rechtsgrundlagen geschaffen worden sind, die eine Durchsetzbarkeit zumindest auch gegenüber den Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft gewährleisten. Diese Voraussetzung ist zurzeit jedoch nicht erfüllt. Unberührt davon bleiben Anforderungen, die sich aus GATT-rechtlichen Bestimmungen ergeben und bei Drittlandsimporten zu beachten sind (z. B. Meistbegünstigungsklausel, Diskriminierungsverbot). Die Durchsetzung eines Beimischungszwanges dürfte gegenüber Drittstaaten bereits aus diesen Erwägungen nicht möglich sein.

Als Eingriff von geringerer Intensität käme auch eine freiwillige Vereinbarung mit der Mineralölindustrie in Betracht, die eine Normierung eines Beimischungszwanges zunächst entbehrlich machen würde. Ausgangspunkt könnte die Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge sein. Gegenüber ihrer früheren Erklärung hat sich die deutsche Wirtschaft darin verpflichtet, die Emissionsvolumina im Jahre 2005 um zusätzliche 10 Mio. t CO<sub>2</sub> und im Jahre 2012 nochmals um zusätzliche 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente zu senken. Die Mineralölindustrie könnte durch freiwillige Beimischung von Biokraftstoffen einen Beitrag zur Erreichung dieses Zieles leisten.

## **5.2 Steuerrechtliche Rahmenbedingungen**

Nach dem deutschen Mineralölsteuerrecht sind reine Biokraftstoffe keine Steuergegenstände und unterliegen daher nicht der Besteuerung. Das Mineralölsteuergesetz findet nur auf solche Erzeugnisse Anwendung, die ganz oder teilweise aus Kohlenwasserstoffen bestehen und zur Verwendung als Kraft- oder Heizstoff bestimmt sind. Darüber hinaus ermöglicht eine Sonderregelung Endverwendern das steuerfreie Zutanken von Biokraftstoffen an dafür ausgerüsteten Tankstellen. Das Mischen von Biokraftstoffen mit herkömmlichen Mineralölkraftstoffen beim Befüllen von Hauptbehältern von Kraftfahrzeugen gilt in diesen Fällen nicht als Herstellungshandlung und führt somit nicht zur Entstehung der Mineralölsteuer. Nach einer kürzlich erfolgten Änderung des Mineralölsteuergesetzes

setzes ist nunmehr auch eine Begünstigung von gewerblich hergestellten Mischungen möglich. Weitergehende Steuervergünstigungen für Biokraftstoffe bestehen für Versuche, die der Erforschung und Entwicklung von Verwendungsmöglichkeiten von nachwachsenden Rohstoffen dienen.

Die Untersuchung verlangt daher eine Darstellung der nationalen und der gemeinschaftsrechtlichen Rechtslage ( § 1 MinöStG i.V.m. § 2 Abs. 4 Nr. 2 MinöStV). Näher zu betrachten ist die steuerliche Behandlung von reinen Biokraftstoffen und Mischungen von Biokraftstoffen mit herkömmlichen Ottokraftstoffen.

## **5.2.1 Gemeinschaftsrechtliche und nationale Rechtslage hinsichtlich der Mineralölsteuer**

### **5.2.1.1 Verpflichtung zur Besteuerung nach Gemeinschaftsrecht**

Seit dem 1. Januar 1993 sind bei der Erhebung von besonderen Verbrauchsteuern auf Mineralöle und Ersatzkraftstoffe gemeinschaftsrechtliche Restriktionen zu beachten. Diese sind in mehreren Richtlinien festgelegt. Die Richtlinie 92/12/EWG (System-Richtlinie) regelt das innergemeinschaftliche Beförderungsverfahren, d. h. die Bedingungen für den Versand und den Empfang von verbrauchsteuerpflichtigen Waren innerhalb der Gemeinschaft sowie deren Lagerung und Herstellung unter Steueraussetzung in Steuerlagern. Die Richtlinie 92/81/EWG (Mineralölstruktur-Richtlinie) ergänzt die System-Richtlinie indem sie den Kreis der steuerpflichtigen Mineralöle näher bestimmt und für bestimmte Verwendungszwecke fakultative oder obligatorische Steuervergünstigungen vorsieht. Schließlich sind in der Richtlinie 92/82/EWG (Mineralölsteuersatz-Richtlinie) Mindeststeuersätze festgelegt, die von den Mitgliedstaaten bei der Ausgestaltung der nationalen Mineralölsteuer zu beachten sind.

In Bezug auf die steuerliche Behandlung von Biokraftstoffen fordert das geltende Gemeinschaftsrecht grundsätzlich eine Besteuerung. Hierzu bestimmt Art. 2 Abs. 3 der Mineralölstruktur-Richtlinie, dass alle zur Verwendung als Kraftstoff oder als Zusatz oder Verlängerungsmittel von Kraftstoff bestimmten oder als solche zum Verkauf angebotenen oder verwendeten Erzeugnisse als Kraftstoff zu besteuern sind. Diese Regelung wurde aufgenommen, um Ersatzkraftstoffe zu erfassen, die in der in

Art. 2 Abs. 1 der Mineralölstruktur-Richtlinie aufgeführten Liste der steuerpflichtigen Mineralöle nicht enthalten sind. Biokraftstoffe – gleich welchen Ursprungs – unterliegen dieser Bestimmung und damit grundsätzlich der harmonisierten Mineralölsteuer. Die Höhe des anzuwendenden Mindeststeuersatzes wird bei Mineralölen, für die in der Mineralölsteuersatz-Richtlinie keine Steuersätze ausgewiesen sind, entsprechend dem Verwendungszweck in Höhe des Satzes für einen gleichwertigen Heiz- oder Kraftstoff festgesetzt. Danach ergibt sich für Biokraftstoffe, die als Ersatz für unverbleites Benzin eingesetzt werden, ein einzuhaltender Mindestsatz in Höhe von 287 € je 1000 Liter.<sup>302</sup>

Als die Mineralölstruktur-Richtlinie im Herbst 1992 in den europäischen Gremien beraten wurde, fanden auch Erörterungen über einen Richtlinienvorschlag über den Verbrauchsteuersatz auf Kraftstoffe aus landwirtschaftlichen Rohstoffen<sup>303</sup> statt. Da im Rat eine Einigung über diesen Vorschlag nicht zu erzielen war und die Verabschiedung der Mineralölstruktur-Richtlinie nicht verzögert werden sollte, kamen der Rat und die Kommission darin überein, dass bei der Besteuerung von Biokraftstoffen der nationale „status quo“ zumindest solange aufrecht erhalten werden könne, bis die Frage der Besteuerung von Biokraftstoffen mit der Verabschiedung einer gesonderten Richtlinie einer gemeinschaftsweiten Lösung zugeführt worden sei. Eine rechtlich verbindliche Fixierung dieser Absicht wurde allerdings nicht vorgenommen. Da entsprechende Festlegungen im sekundären Gemeinschaftsrecht nicht ausdrücklich erfolgt sind, vertritt die Kommission nunmehr die Ansicht, dass alle Ersatzkraftstoffe als Mineralöle zu besteuern sind. Inzwischen hat die Kommission auch den ursprünglichen Vorschlag für eine Biokraftstoff-Richtlinie zurückgezogen.<sup>304</sup>

#### 5.2.1.2 Ausnahmen nach Art. 8 Abs. 2 d der Mineralölstruktur-Richtlinie

Von dem Zwang zur Besteuerung von Biokraftstoffen gibt es einige Ausnahmen, die in Art. 8 der Mineralölstruktur-Richtlinie festgelegt sind. Von besonderer Bedeutung ist die in Art. 8 Abs. 2 d) angelegte fakultative Steuervergünstigung für Pilotprojekte. Danach können die Mitgliedstaaten uneingeschränkte oder eingeschränkte Steuerbefreiungen oder Steu-

---

302 Art. 4 der Mineralölsteuersatz-Richtlinie.

303 KOM (92) 36 endg. vom 28.2.1992, ABl EG Nr. C 73 vom 24.3.1992.

304 Beschluss 1999/C 235/02, ABl. EG Nr. C 235 vom 18.8.1999, S. 7.

ersatzermäßigungen für Mineralöle oder andere wie diese eingesetzte Erzeugnisse gewähren, die bei Pilotprojekten zur technologischen Entwicklung umweltverträglicher Produkte und insbesondere in bezug auf Kraftstoffe aus erneuerbaren Rohstoffen verwendet werden.

Die Auslegung dieser Pilotprojektregelung war bereits Gegenstand eines Verfahrens vor dem Europäischen Gerichtshof (EuGH). In seinem Urteil vom 27. September 2000<sup>305</sup> hat der EuGH den Anwendungsbereich der Vorschrift stark eingegrenzt. Er urteilte, dass die Ausnahmeregelung eng auszulegen und anzuwenden sei. Anlass für den Rechtsstreit bildete eine an Frankreich gerichtete Beihilfeentscheidung der Kommission. Unter Hinweis auf Art. 8 Abs. 2 d der Mineralölstruktur-Richtlinie hatte die Kommission eine von Frankreich eingeführte Steuerbefreiung für als Zusatz für bleifreies Benzin verwendetes ETBE als eine unter die Pilotprojektregelung fallende Maßnahme eingestuft und gemäß Art. 93 Abs.3 EG-Vertrag beihilferechtlich gebilligt. Gegen die Beihilfeentscheidung vom 9. April 1997<sup>306</sup> wandte sich ein Großherzeuger von synthetischem Ethanol, der die Steuerbefreiung nicht in Anspruch nehmen konnte. Der EuGH beanstandete die Einstufung als Pilotprojekt mit der Begründung, dass die streitige Regelung im wesentlichen nicht darauf gerichtet gewesen sei, die technische oder technologische Realisierbarkeit der Herstellung von Biokraftstoffen aufzuzeigen, sondern vielmehr darauf, die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und die industriellen Kapazitäten der bestehenden Produktionsanlagen für Biokraftstoffe zu beurteilen. Damit hätte sich die Tätigkeit der begünstigten Unternehmen der Stufe der Vermarktung und der kommerziellen Nutzung der Ersatzkraftstoffe angenähert.

#### 5.2.1.3 Ausnahmen nach Art. 8 Abs. 4 der Mineralölstruktur-Richtlinie

Eine weitere Möglichkeit, Biokraftstoffe mineralölsteuerlich zu begünstigen, wird durch das Verfahren nach Art. 8 Abs. 4 der Mineralölstrukturrichtlinie eröffnet, auf das der EuGH in der vorgenannten Entscheidung ebenfalls hingewiesen hat. Danach kann der Rat auf Vorschlag der Kommission einstimmig einen Mitgliedstaat ermächtigen, weitere Steuerbefreiungen oder Ermäßigungen aus besonderen politischen Erwägungen zu gewähren. Nach der gegenwärtig geübten Praxis ist in jedem Fall ein

---

305 Rechtssache T-184/97.

306 SG (97) D/3266.

Entscheidungsvorschlag der Kommission und eine Befassung der Ratsarbeitsgruppe Steuerfragen erforderlich. Da es sich um steuerliche Maßnahmen handelt, ist das in Art. 93 EGV festgelegte Einstimmigkeitsprinzip zu beachten. Das bedeutet, dass alle Mitgliedstaaten der beantragten Ausnahmeregelung zustimmen müssen.

Zur steuerbegünstigten Verwendung von Biokraftstoffen wurden bis jetzt drei Mitgliedstaaten ermächtigt. Mit der Entscheidung des Rates vom 25. März 2002<sup>307</sup> wurde Italien ermächtigt, bis zum 30. Juni 2004 gestaffelte Verbrauchsteuersätze auf als Kraftstoff verwendete Mischungen mit einem Biodieselanteil von 5 % bzw. 25 % anzuwenden. Die an Frankreich gerichtete Entscheidung vom 25. März 2002<sup>308</sup> gestattet es Frankreich, die Verbrauchsteuer auf als Kraftstoff verwendete Mischungen aus Benzin und Ethylethanolderivaten, deren Ethanolanteil pflanzlichen Ursprungs ist, und auf Kraftstoff-Mischungen aus Gasöl und Pflanzenöl-Methylester zu staffeln und entsprechende Zulassungen zu erteilen. Diese Zulassungen gelten für einen Zeitraum von höchstens sechs Jahren.

Die in Frankreich für Mischungen aus Benzin und Ethanolderivaten eingeführte Steuerermäßigung beträgt höchstens 50,23 € je hl bzw. 297,35 € je t. Das Vereinigte Königreich wurde ermächtigt, die Verbrauchsteuer auf als Kraftstoff im Straßenverkehr verwendeten Biodiesel und reinen Biodiesel zu staffeln. Nach den Erwägungsgründen soll der Verbrauchsteuersatz für Biodiesel 20 Pence unter demjenigen für besonders schwefelarmen Dieselmotorkraftstoff liegen. Im Zeitpunkt der Antragstellung im Dezember 2001 betrug der Regelsteuersatz für Dieselmotorkraftstoffe in Großbritannien 734,3 €/1000 l. Die Steuerbelastung für reinen Biodiesel würde demgegenüber nur 413,8 €/1000 l betragen.<sup>309</sup>

In allen Ermächtigungen sind Bestimmungen enthalten, nach denen die in der Mineralölsteuersatz-Richtlinie festgelegten Mindeststeuersätze eingehalten werden müssen. Darüber hinaus müssen die Verbrauchsteuervergünstigungen an die Entwicklung der Rohstoffpreise angepasst werden, um zu gewährleisten, dass die Steuerermäßigungen nicht zu einer Überkompensation der Mehrkosten für die Erzeugung von Biokraftstoffen führen.

---

307 2002/265/EG.

308 2002/266/EG.

309 ABL. EG Nr. C 181 vom 30.07.2002, S. 280.

#### 5.2.1.4 Nationale Rechtslage

In Deutschland unterliegen reine Biokraftstoffe nicht der Mineralölsteuer. Dieses Ergebnis wird nicht durch eine im Mineralölsteuergesetz verankerte Steuerbefreiung erreicht, sondern durch die Definition des Steuergegenstandes Mineralöl in § 1 Abs. 1, Abs. 2 Nr. 13 und Abs. 3 Nr. 6 des Mineralölsteuergesetzes vom 21. Dezember 1992.<sup>310</sup> Ersatzkraftstoffe sind nämlich nur dann Mineralöl im Sinne des Mineralölsteuergesetzes, wenn sie ganz oder teilweise aus Kohlenwasserstoffen bestehen und zur Verwendung als Kraft- oder Heizstoff bestimmt sind. Reine Biokraftstoffe bestehen grundsätzlich nicht aus Kohlenwasserstoffen. Bei der mineralölsteuerlich ausgerichteten Definition von Kohlenwasserstoffen bleiben Kohlenwasserstoffe mit angelagerter OH-Gruppe (Ethanole) und veresterte Kohlenwasserstoffe außer Betracht. Daher sind reine Biokraftstoffe vom Anwendungsbereich des Gesetzes ausgenommen. Ein geringer Kohlenwasserstoffanteil von bis zu drei Volumenprozent ist für diese Einstufung unschädlich. Denn gemäß § 1 Abs. 2 der Mineralölsteuer-Durchführungsverordnung vom 15. September 1993<sup>311</sup> gelten zur Verwendung als Kraftstoff bestimmte Waren aus nachwachsenden Rohstoffen mit einem Gehalt an Kohlenwasserstoffen von nicht mehr als drei Volumenprozenten nicht als Mineralöl im Sinne des Gesetzes.

Nach der bisherigen Rechtslage erfolgt eine Besteuerung von Biokraftstoffen auch nicht im Falle des Vermischens mit herkömmlichen Kraftstoffen, sofern die Vermischung beim Betanken eines Fahrzeuges erfolgt. Während eine Vermischung nach der Systematik des Mineralölsteuergesetzes zur Entstehung der Mineralölsteuer führt, bestimmt § 2 Abs. 4 Nr. 2 der Mineralölsteuer-Durchführungsverordnung, dass das Mischen von Mineralöl mit Kraftstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen unter den dort genannten Voraussetzungen keine Herstellung von Mineralöl ist. Mit dieser Ausnahmeregelung wird für Endverbraucher das steuerfreie Zutanken von Biokraftstoffen ermöglicht. Nicht erfasst wird allerdings die gewerbliche Mischung von herkömmlichen Mineralölen und Biokraftstoffen, z. B. in Raffinerien.

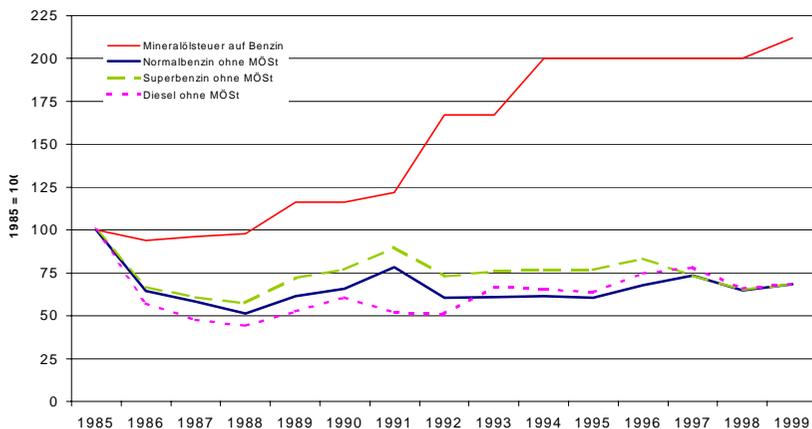
Durch Artikel 1 des Gesetzes zur Änderung des Mineralölsteuergesetzes und anderer Gesetze<sup>312</sup> wurden Regelungen in das Mineralölsteuer-

---

310 BGBl. I S. 2185.

311 BGBl. I S. 1602.

312 Vgl. BGBl. I 2002, S. 2778.



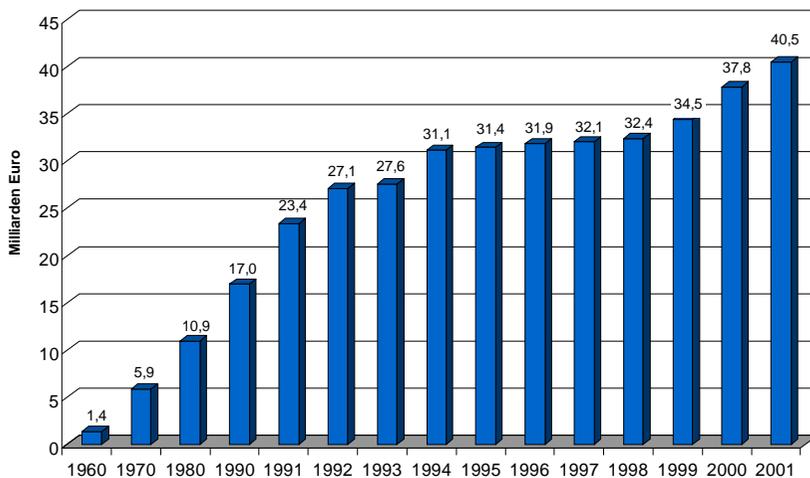
Quelle: MWV

Abb. 54: Entwicklung der Mineralölsteuer und der Kraftstoffpreise ohne Mineralölsteuer

gesetz aufgenommen, die eine steuerbegünstigte Mischung von Biokraftstoffen mit herkömmlichen Kraftstoffen auch auf der gewerblichen Ebene ermöglichen. Hierzu bestimmt der neu eingefügte § 2a MinöStG, dass die nationalen Regelsteuersätze nach § 2 Abs. 1 MinöStG (für Benzin und Dieselmotorkraftstoff) und § 3 Abs. 1 MinöStG (für Flüssiggase, Erdgas und andere gasförmige Kohlenwasserstoffe) bis zum 31. Dezember 2008 in dem Umfang ermäßigt sind, in dem die dort genannten Mineralöle nachweislich Biokraftstoffe enthalten. Zur Definition des Begriffes Biokraftstoffe wird auf die Biomasseverordnung vom 21. Juni 2001<sup>313</sup> zurückgegriffen. Bei nur anteilig aus Biomasse hergestellten Kraftstoffen gilt nur der biogene Anteil als Biokraftstoff. Folglich kann auch nur dieser Anteil steuerlich begünstigt werden. Um jedoch den status quo in Bezug auf Biodiesel zu erhalten, gilt für Pflanzenölmethylester, wie z.B. RME, eine Sonderregelung. Durch die Bestimmung, dass Pflanzenölmethylester als Biokraftstoffe gelten, wird auch der nicht biogene Anteil (ca. 10 % Methanol) von der Steuer freigestellt.

Die mineralölsteuerlichen Bestimmungen treten an dem Tag in Kraft, an dem sowohl die Kommission der Europäischen Gemeinschaften die hierfür erforderliche beihilferechtliche Genehmigung als auch der Rat der

313 BGBl. I 2001, S. 1234.



Quelle: MWV

Abb. 55: Mineralölsteueraufkommen in Deutschland

Europäischen Union die hierfür erforderliche Ermächtigung nach Art. 8 Abs. 4 der Mineralölstruktur-Richtlinie erteilt haben, frühestens jedoch am 1. Januar 2003.

Eine steuerliche Begünstigung von Biokraftstoffen, die einen Kohlenwasserstoffgehalt von über 3 % aufweisen und daher der Mineralölsteuer unterliegen, ist bei der Durchführung von Pilotprojekten zur technologischen Entwicklung von Biokraftstoffen unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Hierzu bestimmt § 3 Abs.5 MinöStG, dass das zuständige Hauptzollamt in besonders gelagerten Einzelfällen eine Steuerbegünstigung (Steuerfreiheit oder Steuerermäßigung) im Verwaltungswege zu Versuchszwecken auch bei unmittelbarer oder mittelbarer Verwendung von Mineralöl als Kraftstoff gewähren kann. Sinn und Zweck der Vorschrift ist es, dass im Interesse der Allgemeinheit liegende Versuche nicht an dem durch die Mineralölsteuer verursachten Kostenanteil scheitern. Hinsichtlich der steuerlichen Förderung von Biokraftstoffen können nach dieser Ermächtigung nur Versuche begünstigt werden, bei denen Mineralöle oder Mischungen von Mineralölen mit herkömmlichen Kraftstoffen verwendet werden, um die Einsatzmöglichkeiten von nachwachsenden Rohstoffen im Kraftstoffsektor zu erforschen und neue Technologien

zu entwickeln. Ist das entwickelte Produkt bereits marktfähig und soll ausschließlich dessen Absatz gefördert werden, ist ein Versuch i.S.v. § 3 Abs. 5 MinöStG nicht mehr gegeben, da die Entwicklung des Kraftstoffes insoweit abgeschlossen ist.

Ausweislich einer Presseerklärung des Bundesministeriums der Finanzen vom 18. April 2002 zur Steuerbefreiung für Biodiesel gibt es zurzeit keine Pläne zur Abschaffung oder Beschränkung der bestehenden Begünstigung. Die derzeitige Förderung entspreche der ökologischen Ausrichtung der Politik der Bundesregierung. Deutschland habe sich auch auf europäischer Ebene für die Förderung nachwachsender Rohstoffe eingesetzt und die Initiativen der Kommission unterstützt. Ziel der Bundesregierung sei es dabei gewesen, die Möglichkeit der weiteren vollen Steuerbefreiung von Biokraftstoffen zu erreichen.

## **5.2.2 Steuerrechtliche Möglichkeiten zur Förderung von Biokraftstoffen**

### **5.2.2.1 Vollständige Steuerbefreiung**

Die größtmögliche steuerliche Förderung von Biokraftstoffen bestünde in einer vollständigen Steuerbefreiung. Diese könnte entsprechend der bestehenden Rechtslage auf reine Biokraftstoffe beschränkt oder – wie vom deutschen Bundestag am 7. Juni 2002 beschlossen und in Artikel 1 des Gesetzes zur Änderung des Mineralölsteuergesetzes und anderer Gesetze vom 23.07.2002 vorgesehen – auf gewerblich hergestellte Mischungen von Biokraftstoffen mit herkömmlichen Kraftstoffen ausgedehnt werden. Für den Einsatz von Bioethanol wäre die Freistellung von Mischungen von großer Bedeutung, da die Einsatzmöglichkeiten von reinem Ethanol oder Methanol aufgrund der fehlenden Motorentechnik noch stark begrenzt sind und somit vorwiegend ETBE zum Einsatz kommen würde.

Geht man von einem jährlichen Verbrauch von 38 Milliarden Liter Benzin aus, würde ein ETBE-Anteil von nur einem Prozent zu einem Steuerausfall von ca. 240 Millionen € führen. Diesem Steuerausfall sind die Vorteile eines Einsatzes von Bioethanol für die Umwelt und die Landwirtschaft gegenüberzustellen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass ein Schutz vor Billigimporten aus Drittstaaten oder Mitgliedstaaten der EU nicht zuverlässig verhindert werden kann, auch nicht durch die Fest-

setzung von hohen und daher prohibitiv wirkenden Anforderungen an die Qualität der verwendeten Ausgangsstoffe oder des Endprodukts. Die zu erwartenden positiven Effekte für die Beschäftigungssituation in der Landwirtschaft könnten durch eine steigende Zahl an Importen negativ beeinflusst werden.

Hinsichtlich der Freistellung von Kraftstoffmischungen ist darüber hinaus der damit verbundene höhere Verwaltungsaufwand zu berücksichtigen. Zur Vermeidung von Steuerumgehungen ist eine Gewährleistung der Steueraufsicht erforderlich. Betriebe, in denen die Mischungen hergestellt werden, müssten evtl. der Steueraufsicht unterworfen und als Steuerlager zugelassen werden. Nach der Konzeption des Mineralölsteuergesetzes entsteht die Steuer für das Endprodukt, d. h. für die im Steuerlager (z. B. in einer Raffinerie) hergestellten Mischungen, im Zeitpunkt der Entfernung des Mineralöls aus dem Steuerlager. Die Höhe der Mineralölsteuer richtet sich nach dem jeweiligen Anteil an Biokraftstoffen. Sofern die Mineralölindustrie keine konstanten Beimischungsquoten einhält, kann dies zur Anwendung einer beliebig großen Anzahl von verschiedenen Steuersätzen führen.

Darüber hinaus wäre die Entwicklung von zuverlässigen und standardisierten Nachweisverfahren erforderlich, um den Biokraftstoffanteil in den Mischungen in dem für die Steueraufsicht erforderlichen Umfang bestimmen zu können. Dies wäre mit zusätzlichen Kosten verbunden. Schwierigkeiten können auch bei Vergütungsverfahren auftreten, bei denen der Vergütungsbetrag anhand vorgelegter Tankstellenquittungen zu berechnen ist. Denn in der Regel wird es dem Tankstelleninhaber nicht möglich sein, den genauen Anteil an steuerfreien Biokraftstoffen in der Rechnung auszuweisen.

#### 5.2.2.2 Besteuerung zu einem ermäßigten Mineralölsteuersatz

Eine andere Möglichkeit bestünde in der Besteuerung von reinen Biokraftstoffen und/oder Mischungen von reinen Biokraftstoffen mit herkömmlichen Kraftstoffen zu einem ermäßigten Mineralölsteuersatz. Diese Möglichkeit wird in der Begründung zum Entwurf eines Zweiten Gesetzes zur Änderung des Mineralölsteuergesetzes ausdrücklich angesprochen. Es wird darauf hingewiesen, dass Biokraftstoffe auf dem Kraftstoffmarkt nur konkurrenzfähig seien, wenn sie nicht der vollen Mineralölsteuer unterlägen. Eine Steuerbefreiung sei solange notwendig, wie sie

zur Schaffung von wirtschaftlicher Rentabilität beitrage. In dem Maß, in dem Biokraftstoffe an Konkurrenzfähigkeit gegenüber fossilen Kraftstoffen gewinnen würden, könne eine Teilbesteuerung erfolgen.

Bei einer solchen Teilbesteuerung stellt sich das Problem der Bemessung des Steuervorteils und der Festlegung von Kriterien, nach denen die Bemessung ausgerichtet werden kann. Um eine nicht gerechtfertigte und unter beihilferechtlichen Aspekten zu beanstandende Überförderung zu vermeiden, könnte die Höhe des ermäßigten Steuersatzes am tatsächlichen Subventionsbedarf ausgerichtet werden. Die Ermäßigung wäre so zu bemessen, dass eine Konkurrenzfähigkeit der geförderten Biokraftstoffe zu herkömmlichen Kraftstoffen gewährleistet werden kann. Um die größtmögliche Förderung zu gewähren würde aufgrund der unterschiedlichen Herstellungsverfahren und den verschiedenen Ausgangsprodukten eine Differenzierung nach Produktgruppen erforderlich sein. Diesen Weg hat die französische Steuerverwaltung bereits beschritten indem sie für Mischungen aus Gasöl und Pflanzenöl-Methylester und für Mischungen aus Benzin und ETBE unterschiedlich hohe Steuersätze festgelegt hat. Die Überprüfung der unterschiedlichen Produktionsbedingungen kann dazu führen, dass auch dieser Ansatz im Ergebnis zu einer vollständigen Befreiung des aus Biomasse hergestellten Kraftstoffes führt, wenn ohne eine vollständige Steuerverschonung die unbedingte Konkurrenzfähigkeit nicht hergestellt werden könnte. Die Entscheidung darüber liegt im außersteuerlichen Bereich.

### 5.2.2.3 Steuervergünstigungen für Pilotprojekte

Eine vollständige oder partielle Steuervergünstigung könnte auch durch die Genehmigung von Pilotprojekten erreicht werden. Nach § 3 Abs. 5 MinöStG kann das zuständige Hauptzollamt in besonders gelagerten Einzelfällen eine Steuerfreiheit oder Steuerermäßigung im Verwaltungswege zu Versuchszwecken auch bei unmittelbarer oder mittelbarer Verwendung von Mineralöl als Kraftstoff gewähren. Zu beachten sind hier die oben dargestellten gemeinschaftsrechtlichen Restriktionen, die sich aus Art. 8 der Mineralölstruktur-Richtlinie und der Rechtsprechung des EuGH ergeben. Danach kommt eine Förderung der Vermarktung eines bereits entwickelten und daher marktfähigen Biokraftstoffes nicht in Betracht. Aufgrund dieser Restriktionen dürfte der Anwendungsbereich der Pilotprojektregelung nicht sehr groß sein.

#### 5.2.2.4 Zu beachtende Restriktionen des Gemeinschaftsrechts

Bei der Ausgestaltung der Steuervergünstigung ist das bereits skizzierte Gemeinschaftsrecht zu beachten. Es setzt der Freiheit des deutschen Gesetzgebers Grenzen. Restriktionen ergeben sich einerseits aus den beihilferechtlichen Bestimmungen und andererseits aus den steuerrechtlichen Regelungen des Sekundärrechts.

Grundsätzlich können steuerliche Vergünstigungen Beihilfen darstellen. Nach der von der Rechtsprechung des EuGH<sup>314</sup> bestätigten Auffassung der Kommission stellt jede Maßnahme, durch die der Staat selektiv einzelne Unternehmen oder Sektoren von steuerlichen Belastungen freistellt, eine Beihilfe dar, wenn diese Ausnahmen nicht durch die Struktur oder den inneren Aufbau des Steuersystems gerechtfertigt sind. Es ist nach der Rechtsprechung des EuGH lediglich festzustellen, ob eine staatliche Maßnahme im Rahmen einer bestimmten rechtlichen Regelung geeignet ist, bestimmte Unternehmen oder Produktionszweige im Sinne des Art. 87 Abs. 1 EGV gegenüber anderen Unternehmen, die sich im Hinblick auf das mit der betreffenden Maßnahme verfolgte Ziel in einer vergleichbaren tatsächlichen oder rechtlichen Situation befinden, zu begünstigen.<sup>315</sup>

Nach Art. 87 Abs. 3 EGV liegt es im Ermessen der Kommission, die als Beihilfen identifizierten steuerlichen Maßnahmen als mit dem Gemeinsamen Markt vereinbar anzusehen. In einem Gemeinschaftsrahmen für staatliche Umweltschutzbeihilfen<sup>316</sup> hat die Kommission ihre Entscheidungsgrundlagen konkretisiert. Dabei handelt es sich um interne Verwaltungsvorschriften, die keinen Rechtsnormcharakter aufweisen. Ihnen kommt jedoch unter dem Gesichtspunkt der Selbstbindung der Verwaltung aufgrund gleichmäßiger Ermessensausübung eine beschränkte Außenwirkung zu. Die Steuervergünstigungen für Biokraftstoffe werden von der Kommission als Beihilfen eingestuft, weil sie nur bestimmte Unternehmen oder Produktionszweige begünstigen und somit nicht mehr als allgemeine steuerliche Maßnahmen angesehen werden können.<sup>317</sup>

314 Vgl. Urteil vom 2.7.1974 Rs C-173/73, EuGHE 1974, 709, Urteil vom 19.5.1999 Rs C-6/97, EuGHE 1999, 2981 m.w.N. sowie Urteil vom 8.11.2001 Rs C-143/99.

315 Vgl. Urteil vom 17.6.1999 Rs C-75/97, EuGHE 1999, 3671 Rdnr.28 bis 31.

316 ABl. EG Nr. C 37 vom 3.2.2001, S. 3.

317 Vgl. hinsichtlich der von Frankreich eingeführten Vergünstigungen für Biokraftstoffe die Entscheidung der Kommission vom 18. Dezember 1996. 97/542/EG, ABl. EG Nr. L 222 vom 12.8.1997, S.26 ff.

Hinsichtlich der von Frankreich und Italien gewährten Mineralölsteuervergünstigungen für Biokraftstoffe hat die Kommission eine Überprüfung nach Beihilfegesichtspunkten begonnen und in Bezug auf die von Frankreich seit dem 1. November 1997 gewährten Steuerbegünstigung für ETBE im November 2000 ein Verfahren gemäß Art.88 Abs.2 EGC eingeleitet<sup>318</sup>. Eine beihilferechtliche Genehmigung wird dadurch erleichtert, dass die ermäßigten Steuersätze über den gemeinschaftsrechtlich fixierten Mindeststeuersätzen liegen, so dass eine Überförderung weitgehend ausgeschlossen werden kann. Darüber hinaus haben sich die Staaten verpflichtet, den Ermäßigungsbetrag jährlich neu zu berechnen, um sicherzustellen, dass es nicht zu einer Überkompensation der Mehrkosten bei der Herstellung von Biokraftstoffen gegenüber den Kosten der Herstellung anderer Kraftstoffe fossiler Herkunft kommt. Dies entspricht der Regelung in Art.8c der Biokraftstoff-Richtlinie, nach der die Verbrauchsteuerbefreiungen- oder ermäßigungen entsprechend der Entwicklung der Rohstoffpreise zu modulieren sind, damit sie nicht zu einer Überkompensation der Mehrkosten im Zusammenhang mit der Erzeugung von Biokraftstoffen führen. Die beihilferechtliche Überprüfung der britischen Regelungen ist nach der Annahme des Antrages nach Art. 8 Abs. 4 der Mineralölstruktur-Richtlinie eingeleitet worden. Da der britische Verbrauchsteuersatz für Biodiesel nur 20 Pence unter dem Steuersatz für besonders schwefelarmen Dieselmotorkraftstoff liegt und damit ca. 41,4 Cent pro Liter betragen würde, dürfte eine Überkompensation nicht vorliegen.

Neben der beihilferechtlichen Genehmigung nach dem Gemeinschaftsrahmen für staatliche Umweltschutzbeihilfen wäre zur Beibehaltung oder Einführung von mineralölsteuerlichen Vergünstigungen für Biokraftstoffe auch eine Ermächtigung nach Art. 8 Abs. 4 der Mineralölstruktur-Richtlinie erforderlich. Dabei müsste Deutschland detaillierte Angaben zum Umfang der Förderung machen. In einem von der Kommission standardisierten Verfahren müssten z. B. folgende Angaben gemacht werden: Zahl und Art der Begünstigten, Höhe der Vergünstigung, Art der verfolgten Ziele, Höhe des Steuerausfalls, Aussagen über den Beihilfecharakter und die Einleitung eines entsprechenden Genehmigungsverfahrens, Vereinbarkeit der Regelung mit den Gemeinschaftspolitiken.

Nach Bekunden der Kommission achtet sie darauf, dass von den antragstellenden Mitgliedstaaten die Mindeststeuersätze eingehalten

---

318 Sache C 64/2000 „Biokraftstoffe Frankreich“, ABl. EG Nr. C 60 vom 24.2.2001, S. 4.

werden. Sofern dies nicht der Fall ist, besteht die Gefahr, dass dem Rat ein entsprechender Entscheidungsvorschlag nicht vorgelegt wird. Für die Bewertung der zur Verfügung stehenden Handlungsoptionen bedeutet dies, dass der Subventionsbedarf in jedem Fall hinreichend begründet werden muss. Bei einer vollständigen Freistellung von reinem Ethanol oder von ETBE von der Mineralölsteuer müsste die Notwendigkeit dieser Förderung zur Herstellung der Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu herkömmlichen Mineralölen nachgewiesen werden.

Da bereits drei andere Mitgliedstaaten ihre Förderung über dem Mindestsatz angelegt haben, müsste nachgewiesen werden, dass gerade in Deutschland besondere Produktions- und Absatzbedingungen bestehen, die eine vollständige Befreiung erforderlich machen. Zudem müsste sich Deutschland – wie auch schon die anderen Mitgliedstaaten – verpflichten, in gewissen zeitlichen Abständen die Mineralölsteuervergünstigungen zu überprüfen und somit eine Überkompensation der Mehrkosten bei der Herstellung der Biokraftstoffe auszuschließen.

### 5.2.3 Fortentwicklung des Gemeinschaftsrechts

Wie bereits ausgeführt, hat die Kommission den im März 1992 vorgelegten Vorschlag über den Verbrauchsteuersatz auf Kraftstoffe aus landwirtschaftlichen Rohstoffen im Sommer 1999 förmlich zurückgezogen. Dieser Vorschlag war in der Ratsarbeitsgruppe mehrere Jahre erfolglos beraten worden.

Am 18. Juni 1998 hat das Europäische Parlament in einer Entschließung gefordert, den Marktanteil der Biokraftstoffe durch ein Maßnahmenpaket innerhalb von fünf Jahren auf 2 % zu erhöhen.

Daraufhin hat die Kommission den Mitgliedstaaten am 27. November 2001 zwei neue Vorschläge unterbreitet:<sup>319</sup>

**Der Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen** hat eine Erhöhung des Marktanteils von Biokraftstoffen zum Inhalt. Danach sollen die Mitgliedstaaten gewährleisten, dass bis zum 31. Dezember 2005 mindestens 2 % aller auf ihren Märkten verkauften Otto- und Dieselmotorkraftstoffe, gemessen am Energiegehalt, auf Biokraftstoffe entfallen. Dieser Anteil soll dann in mehreren Stufen jedes Jahr erhöht werden, bis im

---

319 KOM (2001) 547 endg.

Jahre 2010 ein Marktanteil von 5,75 % erreicht wird. Bis zum Jahre 2020 wird ein Anteil von 20 % angestrebt.

Die Richtlinie erfasst sowohl reine Biokraftstoffe als auch Mischungen und Derivate von Biokraftstoffen, wie z. B. ETBE. Nach Ansicht der Kommission sollte wegen des für die Errichtung der entsprechenden Produktionseinrichtungen erforderlichen zeitlichen Vorlaufs eine Verpflichtung zur Beimischung nicht vor dem Jahr 2005 in Aussicht genommen werden. Ohne eine solche Maßnahme hält es die Kommission für unwahrscheinlich, dass in den einzelnen Mitgliedstaaten ein Biokraftstoffanteil von mehr als 4-5 % erreicht werden könne. Deshalb beabsichtigt sie vor Ende 2006 zu prüfen, ob eine obligatorische Beimischung zu Otto- und Dieselmotorkraftstoffen erforderlich ist. Ein entsprechender Beimischungszwang könnte dann durch eine Änderung der Richtlinie 98/70/EG, die für die genannten Kraftstoffe Qualitätsanforderungen enthält, erfolgen.

**Der Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Änderung der Richtlinie 92/81/EWG bezüglich der Möglichkeit, auf bestimmte Biokraftstoffe und Biokraftstoffe enthaltende Mineralöle einen ermäßigten Verbrauchsteuersatz anzuwenden**, befasst sich mit der mineralölsteuerlichen Förderung. Nach dem Vorschlag dürfen reine Biokraftstoffe und Mischungen von Biokraftstoffen mit Mineralölen nicht unter 50 % des normalen Verbrauchsteuersatzes besteuert werden, der in dem jeweiligen Mitgliedstaat für vergleichbare Kraftstoffe erhoben wird. In die Berechnung des Steuerniveaus sind alle auf dem Produkt lastenden indirekten Steuern einzubeziehen, mit Ausnahme der Mehrwertsteuer. Diese Regelung kommt den Mitgliedstaaten entgegen, die auf Mineralöle neben der gemeinschaftsweit harmonisierten Mineralölsteuer noch nationale emissionsabhängige Umweltsteuern erheben.<sup>320</sup>

Bei der Ausgestaltung des nationalen Steuersatzes dürfen die in der Mineralölsteuersatz-Richtlinie festgelegten Mindeststeuersätze unterschritten werden. Mitgliedstaaten, die wie Deutschland bereits vor dem 1. Januar 2001 reine Biokraftstoffe von der Mineralölsteuer ausnehmen, können die vollständige Befreiung bis zum 31. Dezember 2003 beibehalten. Diese Besitzstands-Klausel trägt insbesondere der deutschen Situation Rechnung. Bei der Begünstigung von Biokraftstoffen sind die Mitgliedstaaten dazu verpflichtet, den Steuervorteil der Entwicklung der

---

<sup>320</sup> Beispielsweise erheben Schweden und Dänemark CO<sub>2</sub>-Steuern. In Schweden existiert darüber hinaus noch eine Verbrauchsteuer auf den Schwefelgehalt der Kraftstoffe.

Rohstoffpreise anzupassen, damit im Falle eines andauernden Anstiegs der Rohölpreise eine Überkompensation vermieden wird.

Beide Vorschläge sind unter spanischer Präsidentschaft mehrmals in den jeweils zuständigen Ratsarbeitsgruppen beraten worden. Eine politische Einigung konnte bisher nur hinsichtlich der Besteuerung von Biokraftstoffen erzielt werden. Einen entsprechenden Beschluss fassten die Finanzminister auf dem ECOFIN-Rat am 20. Juni 2002 in Madrid. Die endgültige Verabschiedung der Richtlinie zur Änderung der Richtlinie 92/81/EWG bezüglich der Möglichkeit, auf bestimmte Biokraftstoffe und Biokraftstoffe enthaltende Mineralöle eine Befreiung von der Verbrauchsteuer oder einen ermäßigten Verbrauchsteuersatz anzuwenden, kann aufgrund der Vorbehalte einiger Mitgliedstaaten nur zusammen mit der Verabschiedung der Richtlinie zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen erfolgen. Die Verhandlungen über diesen Gemeinschaftsrechtsakt dauern noch an. Die Mehrheit der Mitgliedstaaten hat sich bisher gegen die Festlegung von verbindlichen Quoten ausgesprochen. Erwogen wird deshalb die Aufnahme von unverbindlichen Richtzielen, die auch Abweichungen unter Berücksichtigung von nationalen Besonderheiten zulassen.

Hinsichtlich der steuerlichen Behandlung von Biokraftstoffen sieht die am 20. Juni 2002 erzielte politische Einigung im wesentlichen folgende Regelungen vor:

Vom 1. Januar 2004 bis zum 31. Dezember 2012 können die Mitgliedstaaten reine Biokraftstoffe oder den biogenen Anteil in Mischungen mit herkömmlichen Kraftstoffen von der Mineralölsteuer befreien oder ermäßigte Verbrauchsteuersätze anwenden.<sup>321</sup> Begünstigt werden Erzeugnisse, die aus Biomasse hergestellt sind. Unter Biomasse ist der biologisch abbaubare Anteil von Erzeugnissen, Abfällen und Rückständen der Landwirtschaft (einschließlich pflanzlicher und tierischer Stoffe), der Forstwirtschaft und damit verbundener Industriezweige sowie der biologisch abbaubare Anteil von Abfällen aus Industrie und Haushalten zu verstehen.

Die Verbrauchsteuerbefreiungen oder -ermäßigungen sind entsprechend der Entwicklung der Rohstoffpreise zu modulieren, damit sie nicht

---

<sup>321</sup> Begünstigt werden Erzeugnisse der KN-Codes 1507 bis 1508; 3823 90 87 und 3823 90 98 hinsichtlich ihrer aus Biomasse hergestellten Bestandteile, 2207 20 00 und 2905 11 00, die nicht von synthetischer Herkunft sind, sowie Erzeugnisse aus Biomasse, einschließlich Erzeugnisse der KN-Codes 4401 und 4402.

zu einer Überkompensation der Mehrkosten im Zusammenhang mit der Erzeugung von Biokraftstoffen führen.

Bis zum 31. Dezember 2003 oder bis zum Tag der Umsetzung der Richtlinie können die Mitgliedstaaten Erzeugnisse, die vollständig oder nahezu vollständig aus Biokraftstoffen bestehen, von der Steuer befreien oder eine bereits bestehende Steuerbefreiung fortsetzen. Die Mitgliedsstaaten haben der Kommission spätestens am 31. Dezember 2004 und danach alle 12 Monate eine Aufstellung der Verbrauchsteuerermäßigungen oder -befreiungen zu übermitteln. Die Kommission hat dem Rat spätestens am 31. Dezember 2009 über die steuer-, wirtschafts-, landwirtschafts-, energie-, industrie- und umweltrelevanten Aspekte der Befreiungen oder Ermäßigungen zu berichten.

Diese Festlegungen ermöglichen es Deutschland, die bereits bestehenden Mineralölsteuerbegünstigungen zumindest bis zum 31. Dezember 2003 beizubehalten. Die gilt insbesondere für den nicht biogenen Anteil in RME (ca. 10 % Methanol). Hinsichtlich ETBE kann eine Befreiung nur für den Anteil gewährt werden, der biogenen Ursprungs ist, da das Kriterium „nahezu vollständig“ aufgrund des hohen Anteils an Stoffen, der nicht aus Biomasse hergestellt wurde, nicht erfüllt ist. Sofern eine Befreiung auch dieses Anteils erreicht werden sollte, wäre eine entsprechende Ermächtigung nach Art. 8 Abs. 4 der Mineralölstruktur-Richtlinie erforderlich.

Unter dänischer Präsidentschaft wurden die Regelungen der Biokraftstoffrichtlinie in Art. 16 des Vorschlages für eine Energiesteuerrichtlinie übernommen. Nach dem Verhandlungsstand Ende 2002 wurde die zeitliche Befristung für die steuerliche Förderung von Biokraftstoffen aufgehoben. Bei Verabschiedung der Energiesteuerrichtlinie könnten die Mitgliedsstaaten Biokraftstoffe auch nach dem 31. Dezember 2012 begünstigen.

## 6 Umweltpolitische Bewertung der Herstellung von Ethanol

### 6.1 Klimapolitische Maßnahmen zur Vermeidung von Treibhausgasen

Der seit Beginn der industriellen Revolution immer stärker zunehmende Einsatz von fossilen Brennstoffen in Produktion und Konsum ist eine der Hauptursachen für eine Vielzahl von Umweltproblemen. Sowohl lokale Umweltschäden als auch das globale Klimasystem werden durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe bestimmt. Lokale und regionale Umweltschäden treten durch die Emissionen von Schwefeldioxid, Stickoxiden und anderen Schadstoffen auf, während die Treibhausgase Kohlendioxid und Stickoxide auch das globale Klima beeinflussen und damit zu weltweiten Schäden führen können. Eine Abschätzung der lokalen und globalen Schäden ist außerordentlich schwierig, zum einen da sich Klimaschäden erst mit einer Verzögerung von etlichen Jahrzehnten auswirken werden, zum anderen, weil lokale Schäden der Nutzung fossiler Energieträger sehr vielfältig und regional sehr unterschiedlich ausfallen können. Trotzdem besteht Konsens darüber, dass eine Verminderung des Einsatzes fossiler Brennstoffe zu einer messbaren Verbesserung der Umweltsituation führen kann, wobei man davon ausgeht, dass die Verminderung dieser Emissionen zu etwa zwei Dritteln den globalen Klimaschäden zugerechnet werden kann und zu etwa einem Drittel den lokalen.<sup>322</sup>

Zur Vermeidung von Treibhausgasen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe gibt es eine Vielzahl von klimapolitischen Maßnahmen, deren Kosten beträchtlich variieren. In Simulationsstudien über die gesamtwirtschaftlichen Kosten der Reduktion von Treibhausgasen ergeben sich bei einem effizienten Mitteleinsatz Vermeidungskosten, die in der Europäischen Union für die Erreichung der Kyoto-Ziele in der Größenordnung von etwa 33 € je t Kohlendioxid liegen, wenn der Handel mit Emissionsrechten in der EU eingeführt wird.<sup>323</sup> Für die USA wären diese

---

<sup>322</sup> Vgl. Burtraw, Dallas; Toman, Michael: The Benefits of Reduced Air Pollution in the U.S. from Greenhouse Gas Mitigation Policies, Resources for the Future, Discussion Paper 98-01-REV, 1997.

Kosten um einiges höher. Das Erreichen der Kyoto-Ziele würde hier Vermeidungskosten von etwa 100 US-Dollar je t Kohlendioxid verursachen.<sup>324</sup>

Die Optionen, den Einsatz fossiler Brennstoffe im Wirtschaftsprozess zu reduzieren, bestehen einerseits darin, den Energieeinsatz in der Volkswirtschaft zu verringern, das heißt, die Energieproduktivität zu erhöhen. Andererseits können nicht-fossile Energieträger die fossilen substituieren. Neben Wind, Wasser und Sonnenenergie kommt auch Biomasse als potentieller Energieträger in Frage. Inwieweit die Nutzung von Biomasse fossile Energieträger tatsächlich ersetzt, wird im Folgenden noch dargestellt werden.

Biomasse als Energieträger kann zum einen gezielt erzeugt werden, indem agrarische Rohstoffe in der Landwirtschaft angebaut werden. Zum anderen können Reststoffe der landwirtschaftlichen Produktion bzw. der Verarbeitung zu Agrarprodukten in eine energetische Nutzung überführt werden. Die vorhandene Biomasse kann in unterschiedliche Energieformen konvertiert werden. Dies geht von der direkten Verbrennung oder Vergasung zur Wärmeerzeugung oder Stromerzeugung bis hin zu komplexeren Konversionen wie die Herstellung von ETBE.

Die folgenden Analysen konzentrieren sich auf den Einsatz von Biomasse für die Erzeugung von Ethanol als Substitut für Benzin.<sup>325</sup> Dazu wird zunächst das Einsparpotential an fossilen Brennstoffen bei der Produktion von Ethanol bewertet. Dies kann mit Hilfe einer Energiebilanz geschehen. Auf der Basis der tatsächlichen Energiegewinne aus der Produktion von Ethanol kann die Vorteilhaftigkeit dieses Kraftstoffes aus umweltökonomischer Sicht beurteilt werden, indem mit Hilfe von Ökobilanzen und unterschiedlichen Betrachtungsperspektiven ein Vergleich unterschiedlicher Nutzungen von Biomasse vorgenommen wird.

---

323 Vgl. Europäische Kommission: Grünbuch zum Handel mit Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union, Brüssel, KOM (2000) 87 endgültig.

324 Bei den hier genannten Vermeidungskosten handelt es sich nicht um die Kosten für die erste vermiedene Tonne CO<sub>2</sub>, sondern um die Kosten je t zur Erreichung der Kyoto-Ziele. Da die USA inzwischen viel weiter von ihrem Ziel entfernt sind als die EU, haben sie auch höhere marginale Vermeidungskosten. Shogren, Jason; Toman, Michael: How Much Climate Change is Too Much? An Economics Perspective. Resources for the Future. Climate Change Issues Brief No. 25, 2000.

325 In diesem wie auch in anderen Kapiteln dieser Studie wird Ethanol und Ottokraftstoff in zahlreichen Abbildungen und Aussagen volumetrisch 1:1 verglichen. Auf den unterschiedlichen Heizwert sei an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich hingewiesen.

## 6.2 Energiebilanzen für Ethanol

Um eine Energiebilanz für Ethanol zu erstellen, müssen die im gesamten Produktzyklus anfallenden fossilen Energieeinsätze geschätzt werden. Dazu wird die Ethanolproduktion in zwei Produktionsphasen unterteilt, die Produktion agrarischer Rohstoffe und die Konversion dieser Rohstoffe in Ethanol. Der Einsatz fossiler Energieträger in der Rohstoffproduktion konzentriert sich auf den fossilen Energiegehalt von Düngemitteln und Pestiziden sowie auf den Energieeinsatz bei Maschinen und im Transport der Rohstoffe. Beide Formen des Energieeinsatzes unterscheiden sich bei den verschiedenen Rohstoffen beträchtlich.

Für dieses Gutachten wurden alle uns vorliegenden Studien analysiert, die hinsichtlich der hier zu betrachtenden Fragestellung ausreichende Daten und Konsistenz beinhalten. Dabei wurde ausschließlich die Produktion von Ethanol aus Weizen und Zuckerrüben berücksichtigt, da Studien über die Produktion aus Zuckerrohr und Mais für Deutschland aufgrund der Anbaubedingungen nicht relevant sind. Für die Produktion aus Kartoffeln, Roggen und Triticale existiert keine hinreichend umfangreiche Studie, so dass diese Optionen hier nicht berücksichtigt werden konnten.

Die vorliegenden Studien kommen zu recht unterschiedlichen Ergebnissen für diese Energieeinsätze. Während für Getreide pro ha ein im Vergleich zu Zuckerrüben geringer Energieeinsatz notwendig ist, wird dies durch den höheren Hektarertrag von Zuckerrüben wieder kompensiert. Die entscheidende Größe ist deshalb der Energieeinsatz in der landwirtschaftlichen Produktion im Verhältnis zu einem Liter Ethanol, der mit dem entsprechenden Rohstoff produziert werden kann. Sowohl für Weizen als auch für Zuckerrüben liegt der fossile Energieeinsatz zwischen knapp 4 MJ/l Ethanol und 6-8 MJ/l Ethanol. Die Schwankungsbreite ist einerseits bedingt durch unterschiedliche Annahmen über den Einsatz von Düngemitteln und zum anderen durch unterschiedliche Erwartungen über die Hektarerträge der Rohstoffe. Dabei kommen die niedrigen Werte hauptsächlich durch sehr optimistische Ertrags Erwartungen zustande.

Die zweite Phase der Ethanolproduktion besteht in der Konversion der Rohstoffe in Ethanol. Die Konversion beansprucht den weitaus größeren Teil des gesamten fossilen Energieinputs. Dabei gibt es zwei wichtige Einflussfaktoren, die den fossilen Brennstoffeinsatz bestimmen. Dies sind einerseits der technologische Standard und die Größe der für die Konver-

sion genutzten Anlagen und andererseits die Art des Energieeinsatzes sowie die Effizienz der Energienutzung z. B. durch Kraft-Wärme-Kopplung oder energetische Nutzung von Nebenprodukten.

Um die Nettoeinsparung an fossilen Brennstoffen zu bestimmen, muß der gesamte Energieinput in Benzin mit dem fossilen Energieinput von Ethanol verglichen werden. Dabei müssen auch die unterschiedlichen Verbrennungseigenschaften von Ethanol in die Analyse eingehen. Dies bedeutet für die Energiebilanz, dass bei dem Energieinput in der Produktion von Ethanol alle fossilen Brennstoffe mit ihrem Brennwert bewertet addiert werden. Dieser fossile Energieinput wird dann verglichen mit dem fossilen Input, den das Ethanol ersetzt, das heißt mit dem Brennwertäquivalent von Ethanol als Benzinsubstitut.

Es gibt eine ganze Reihe von Untersuchungen, die Energiebilanzen für Ethanol erstellt haben. Diese kommen zu teilweise stark unterschiedlichen Ergebnissen, weil es kritische Faktoren gibt, die Einfluss auf die Energiebilanz haben. Diese betreffen im großen und ganzen die folgenden Bereiche:

- Bei der Produktion der Rohstoffe für die Ethanolerzeugung besteht der Energieinput hauptsächlich aus den Energieeinsätzen für Düngemittel und Pestizide, aus dem Energieeinsatz für Transport- und andere Maschinen. Der dominante Faktor beim Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden ist der Energieeinsatz in Form von Stickstoffdünger. Darüber hinaus beeinflussen die Hektarerträge des jeweiligen Rohstoffs den Energieeinsatz pro Liter Ethanol.
- Die Konversion von Rohstoffen in Ethanol stellt eine energieintensive Verarbeitungsstufe dar. Der größte Teil des Energieeinsatzes besteht in der Wärmeproduktion. Dabei kommen komplexe Interaktionen zutage, weil im Konversionsprozess neben Ethanol auch eine Reihe von Kuppelprodukten anfallen, die selbst einen nicht unerheblichen Energiegehalt haben. Diese können zum Teil am Markt weiterverkauft werden, sie können aber auch als Energierohstoff in der Produktion selbst wieder eingesetzt werden. Eine energetische und eine betriebswirtschaftliche Überprüfung dieser Alternativen ist im Detail nur ansatzweise vorgenommen worden.
- Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor für die Energiebilanz sind die agrarischen Rohstoffe, die für die Ethanolherstellung benutzt werden, da diese sowohl unterschiedliche Energieeinsätze bei Anbau und Konversion benötigen, als auch unterschiedliche Hektarer-

träge liefern. Weltweit wird der größte Teil des Bioethanols aus Zuckerrohr bzw. aus Mais hergestellt. Beide Optionen sind für Deutschland von praktisch keiner Bedeutung. Für die Ethanolproduktion in Deutschland kommen hauptsächlich Getreide, hier insbesondere Weizen, Triticale und Roggen sowie Zuckerrüben in Frage. Daneben wird Ethanol auch in begrenztem Maße aus Kartoffeln gewonnen.

- Für die Erstellung einer Energiebilanz sind die Kuppelprodukte in Bezug auf ihren energetisch und ökonomisch nutzbaren Gehalt zu überprüfen. Eine korrekte Methode bestünde in der Schätzung der durch die mit dem Einsatz der Kuppelprodukte einher gehenden Energieeinsparungen. So könnten z. B. Abfallprodukte der Rohstoffproduktion (Blattwerk bei Zuckerrüben) in gewissem Ausmaß als Dünger eingesetzt werden und damit chemischen Dünger substituieren. Der in der Substitution eingesparte fossile Energieeinsatz müsste dann in der Energiebilanz dem Ethanol gut geschrieben werden. Ähnliches gilt bei der Konversion, bei der ebenfalls Kuppelprodukte anfallen, die andere energiehaltige Produkte ersetzen können. Zunehmend wird es auch möglich, Abfallprodukte energetisch im Konversionsprozess zu nutzen und somit fossile Brennstoffe einzusparen. Bei diesen neuen Prozessen käme allerdings keine Gutschrift in Frage, da der Konversionsprozess selbst jetzt mit einem niedrigeren Energieinput in die Bilanz eingeht. Unter den hier untersuchten Studien hat nur die Studie der Internationalen Energieagentur (IEA) Kuppelprodukte explizit berücksichtigt. Um die Studien annähernd vergleichbar zu machen wurden deshalb Kuppelprodukte nicht in die Energiebilanz mit einbezogen. In der IEA-Studie liegt der Anteil der Gutschrift durch Kuppelprodukte im Energieeinsatz bei 10 bis 20 Prozent. In den USA wurde für DDGS aus Mais eine Gutschrift von bis zu 20 Prozent ermittelt. Allerdings sollte bedacht werden, dass die neuen energieeffizienten Prozesse weitgehend ihre Kuppelprodukte energetisch selbst nutzen, so dass eine Gutschrift in diesem Umfang nicht mehr nötig ist.

Wie weiter oben bereits erläutert, werden im folgenden Energiebilanzen für die Ethanolproduktion aus Weizen bzw. aus Zuckerrüben vorgestellt. Dabei werden verschiedene Studien herangezogen, insbesondere um den Einfluss unterschiedlicher Annahmen über die oben genannten Einflussfaktoren transparent zu machen.

### 6.2.1 Energiebilanz für die Ethanolproduktion aus Weizen

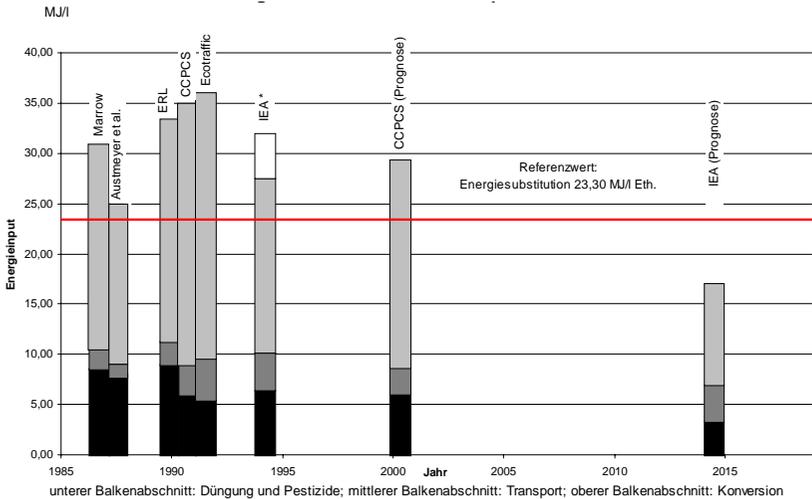


Abb. 56: Fossiler Energieeinsatz bei der Ethanolproduktion aus Weizen (in MJ/l)

Abbildung 56 zeigt eine Übersicht verschiedener Studien für den Einsatz fossiler Energieträger bei der Produktion von Ethanol aus Weizen. Die Studien beziehen sich auf verschiedene Jahre und sind nach Jahren sortiert worden.<sup>326</sup> Die Energieeinsätze in der Produktion von Weizen sind im unteren Teil der Balken dargestellt und liegen bei den tatsächlich gemessenen Werten zwischen 6 und 8 Megajoule für Dünger und Pestizide. Die Prognose der Internationalen Energieagentur (IEA) für zukünftige Technologien geht von einem etwa halbierten Wert aus. Nimmt man noch den Energieeinsatz für Maschinen und den Transport hinzu, so liegt der fossile Energieeinsatz bei der Produktion von Weizen bei etwa 10 MJ/l Ethanol. Der Primärenergiebedarf für die Konversion von Weizen in Ethanol stellt den weitaus größeren Teil des gesamten Energieverbrauchs dar. Hier schwanken die Ergebnisse der Studien beträchtlich. Austmeyer kommt zu einem Primärenergiebedarf von etwa 16 MJ/l

<sup>326</sup> Die Wahl des Jahres 2015 für die Prognose der internationalen Energieagentur ist etwas willkürlich gesetzt, da dort kein genaues Jahr angegeben ist.

Ethanol während die Studie der Europäischen Union (CCPCS) auf 26 MJ/l Ethanol kommt. Die Prognosen der Internationalen Energieagentur für zukünftige Technologien kommen auf Werte, die knapp unter 10 MJ/l Ethanol liegen. Die Ursachen für diese Schwankungen dürften zum einen in dem Ethanolertrag der Anlagen und zum anderen in der Energieeffizienz dieser Anlagen liegen.

Der vergleichbare Energieeinsatz für die Bereitstellung von Benzin ist als Referenzwert für die Energiesubstitution dargestellt. Er beinhaltet den Brennwert von Benzin einschließlich der für die Raffinierung von Benzin erforderlichen Energie. Außerdem ist die unterschiedliche Leistung von Ethanol im Motor im Vergleich zu Benzin berücksichtigt. Die Mineralölindustrie geht davon aus, dass ein Liter Ethanol die gleiche Leistung wie 0,65 Liter Benzin erbringen. Dies ist auf die unterschiedlichen unteren Heizwerte von Benzin und Ethanol zurückzuführen. Somit ergibt sich ein Referenzwert von 23,3 MJ/l Ethanol.

### 6.2.2 Energiebilanz für Zuckerrüben

Die Auswertung der Studien über die Ethanolproduktion auf der Basis von Zuckerrüben ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Aufgrund der stärker variierenden Modellannahmen der einzelnen Studien zeigen diese eine weitaus höhere Schwankungsbreite als dies bei Weizen der Fall ist. Darüber hinaus wird deutlich, dass die landwirtschaftliche Produktion von Zuckerrüben mit einem geringeren Energieeinsatz auskommt, während sich die Konversionsenergie in vergleichbaren Bereichen bewegt. Die Hauptursache für den vergleichsweise niedrigen fossilen Energieeinsatz in der Produktion von Zuckerrüben liegt in den geringeren Düngergaben, deren Energiegehalt auf weniger als die Hälfte reduziert wird. Teilweise liegt dies an den geringeren Düngergaben; ein guter Teil des Rückgangs beruht aber auch auf der Annahme eines reduzierten Energiegehalts des eingesetzten Düngers. Aber auch bei der Konversion geht der Energieeinsatz um etwa 25 % zurück.

### 6.2.3 Nettoenergiebilanzen für Ethanol

Um den Effekt für den Verbrauch an fossilen Brennstoffen bei der Produktion von Ethanol zu erhalten, muß der fossile Brennstoffeinsatz in der Produktion von Ethanol mit dem vermiedenen fossilen Brennstoffeinsatz

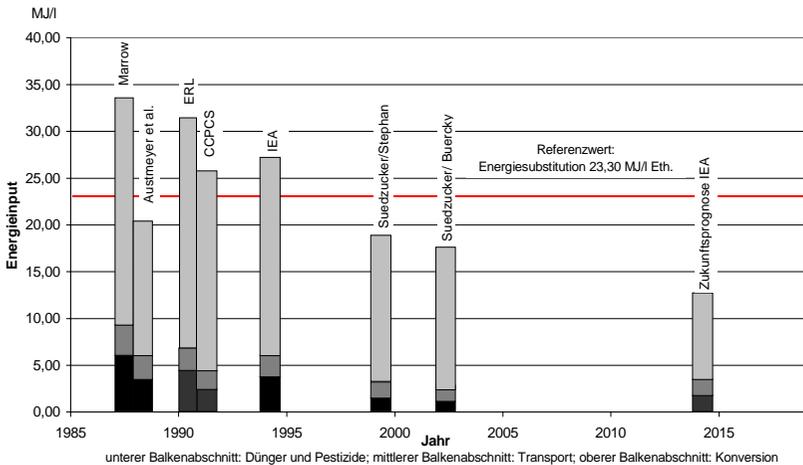


Abb. 57: Fossiler Energieinput bei der Ethanolproduktion aus Zuckerrüben (in MJ/l)

durch die Substitution von Benzin durch Ethanol saldiert werden. Da Ethanol mit einem Heizwert von 21,2 MJ/l kein vollständiges Substitut für Benzin (Heizwert 32,4 MJ/l) ist, wird beim Einsatz von Ethanol bei der Verbrennung im Motor geringere Leistung erbracht. Aufgrund der unterschiedlichen Heizwerte ersetzt ein Liter Ethanol nur 0,65 Liter Benzin.<sup>327</sup> Um zu dem Kredit für die Substitution von Benzin zu kommen, müssen darüber hinaus die Energieeinsätze in der Produktion von Benzin hinzugerechnet werden. Unter der Annahme<sup>328</sup>, dass 10 % des Heizwertes von Benzin zusätzlich zur Produktion von Benzin benötigt werden, ersetzt Ethanol fossile Energie in Höhe von 23,3 MJ/l.<sup>329</sup>

Insgesamt schneidet Weizen in der Nettoenergiebilanz schlechter ab als die Produktion von Ethanol aus Zuckerrüben. In einigen Studien ist die Nettoenergiebilanz sogar negativ, das heißt für den Ersatz von Benzin

327 Dieser Wert ergibt sich aus der Relation der unterschiedlichen Heizwerte von Ethanol und Benzin.

328 Vgl. Agroetanol, 2002.

329 Die Systemgrenze für Energiebilanzen ist in allen Studien die Raffinerie. Würde man den Energieverbrauch vom Bohrloch zu Raffinerie noch mit einbeziehen, so würde der Energieinput für die Benzinherstellung, je nach Herkunft des Rohöls, von den gegenwärtig 10 Prozent um einen bis höchstens drei Prozentpunkte höher sein.

durch Ethanol wird bei der Herstellung von Ethanol mehr fossile Energie eingesetzt als durch die Verbrennung von Ethanol ersetzt wird. Die Prognosen der Internationalen Energieagentur sowie die neuesten Zahlen und erwarteten Produktivitätsfortschritte in der landwirtschaftlichen Produktion sowie Energieeinsparungen in der Konversion deuten an, dass sich die Nettoenergiebilanz in der Zukunft weiter zu einer positiven Bilanz entwickeln wird. Insgesamt sind jedoch die Einsparungen an fossiler Energie vergleichsweise gering.

Die folgenden beiden Abbildungen 58 und 59 zeigen den Energiegewinn, der durch die Substitution von Benzin durch Ethanol, hergestellt aus Weizen bzw. Zuckerrüben, erzielt wird, abzüglich der benötigten Energie für Anbau und Konversion der Rohstoffe. Die dargestellten Werte unterscheiden sich von den in manchen Studien berechneten Nettoenergiewerten, weil dort unterschiedliche Annahmen für die Energiegutschrift für eingespartes Benzin gemacht werden. Um die Studien unabhängig von diesen Annahmen vergleichbar machen zu können, wurde ein einheitlicher Referenzwert für die eingesparte Energie im Benzin benutzt. Geht man von einem besseren Substitutionsverhältnis von Benzin zu Ethanol als von 0,65 aus, so würde sich die Nettoenergiebilanz verbessern. Weizen bekäme eine knapp positive Nettoenergiebilanz und Zuckerrüben könnte die Nettoenergiegewinne etwa verdoppeln, wenn man von einer Substitution von 1:1 ausginge.

### 6.2.3.1 Flächenbezogene Energiebilanzen

In der oben dargestellten Energiebilanz pro Liter produzierten Ethanols liegt das Hauptinteresse darin, transparent zu machen, wie viel fossile Energie in einen Liter Bioethanol eingeht und wie viel fossile Energie durch das Bioethanol ersetzt wird. Der Sinn einer solchen Betrachtungsweise liegt darin, zu illustrieren, inwieweit knappe fossile Brennstoffe durch nachwachsende Rohstoffe im Kraftstoffsektor ersetzt werden können. Dabei ignoriert die obige Betrachtungsweise, dass bei der Herstellung nachwachsender Rohstoffe auch ein nicht vermehrbarer Faktor eingesetzt werden muss, nämlich landwirtschaftliche Produktionsfläche. Es liegt deshalb nahe, die Energiebilanzen auch in Bezug auf die verfügbare Produktionsfläche zu betrachten. Eine solche Betrachtungsweise legt das Augenmerk auf die Frage, wie viel fossile Energie mit welchem agrarischen Rohstoff auf einer bestimmten Fläche substituiert werden kann.

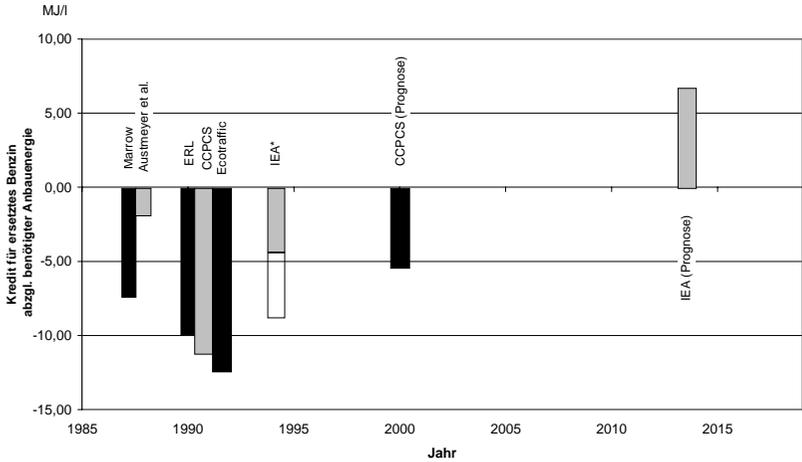


Abb. 58: Normierte Nettoenergiebilanz für Ethanol aus Weizen

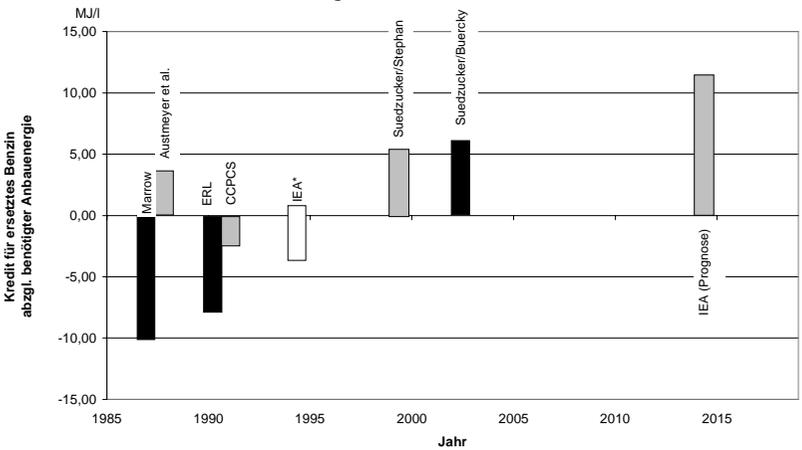


Abb. 59: Normierte Nettoenergiebilanz für Ethanol aus Zuckerrüben

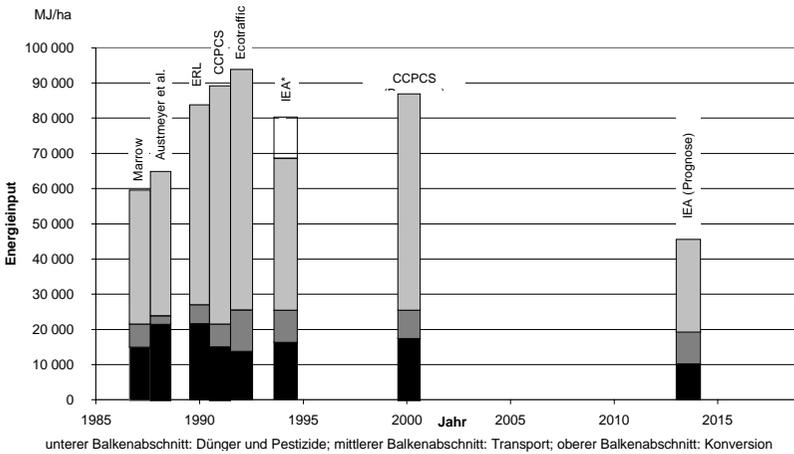


Abb. 60: Fossiler Energieinput für den Anbau von Weizen und die Produktion von Ethanol (in MJ/ha)

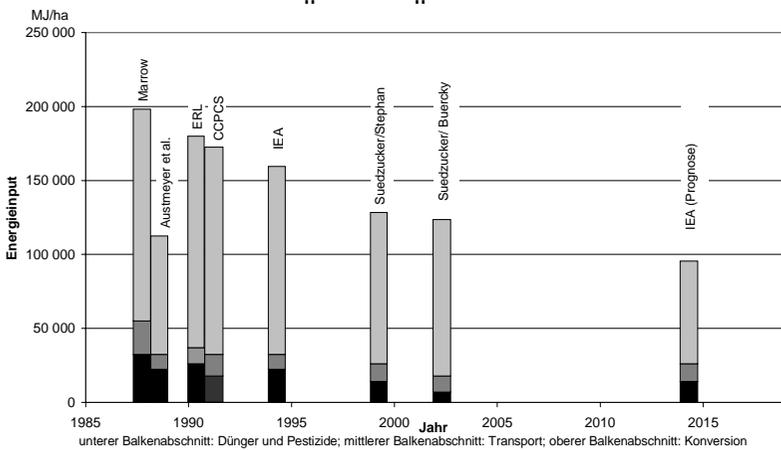


Abb. 61: Fossiler Energieinput für den Anbau von Zuckerrüben und die Produktion von Ethanol (in MJ/ha)

In Abbildung 60 sind die Energieeinsätze für die Produktion von Bioethanol mit Weizen dargestellt. Auf einem Hektar lassen sich mit Hilfe von Weizen ca. 2.500 Liter Ethanol produzieren, wobei die Annahmen in den verschiedenen Studien variieren. Die Energieeinsätze pro Hektar liegen um ca. 20.000 MJ/ha. Wiederum fällt der größte Teil der Energie in der Konversion an, so dass insgesamt heute etwa 80.000 MJ/ha an fossiler Energie eingesetzt werden müssen, um 2.500 Liter Ethanol zu produzieren. Allerdings erwartet die Internationale Energieagentur in der Konversion eine dramatische Verbesserung der Energieinputs, die sich in der Zukunft nahezu halbieren sollen (siehe IEA-Prognose in Abbildung 56). Die Situation bei Zuckerrüben liegt etwas anders, da auf einem Hektar etwa 6.000-7.000 Liter Ethanol produziert werden können. Während der Energieeinsatz in der Produktion von Zuckerrüben pro Hektar nach neuesten Daten (Südzucker AG) in ähnlichen Bereichen liegt wie bei Weizen, fallen für die Konversion wegen des höheren Rübenertrages weitaus höhere Energieeinsätze an. Diese liegen in der Größenordnung von etwa 100.000 bis 130.000 MJ/ha (Abb. 61).

Betrachtet man nun die mögliche Einsparung von fossilen Brennstoffen durch die Produktion von Bioethanol auf einem Hektar, so ergeben sich folgende Resultate. Wiederum wurde für alle Studien der gleiche Benzinkredit angenommen, das heißt der Primärenergiegehalt von Benzin wurde an den Brennwert von Ethanol angepasst.

Abbildung 62 zeigt die Nettoenergiebilanzen für die verschiedenen Studien unter Berücksichtigung eines einheitlichen Benzinkredits. Bis auf die langfristige Prognose der Internationalen Energieagentur sind die Nettoenergiebilanzen für den Weizenanbau und die Produktion von Bioethanol mit Hilfe von Weizen negativ.

Auch die in Abbildung 63 dargestellten Nettoenergiebilanzen verschiedener Studien für die Bioethanolproduktion auf der Basis von Zuckerrüben zeigen einige negative Nettoenergiewerte. Die neuesten für Deutschland angegebenen Daten kommen allerdings zu einer positiven Nettoenergiebilanz in der Größenordnung von etwa 70.000 MJ/ha.<sup>330</sup> Die negativen Werte würden insgesamt nach oben geschoben, wenn man die Kuppelprodukte mit ihrem nutzbaren Energiegehalt berücksichtigt. Die hier ausgewiesenen negativen bzw. nur sehr geringfügig positiven Nettoenergiebilanzen für die Einsparung an fossilen Brennstoffen durch die Produktion von Biokraftstoffen auf landwirtschaftlichen Flächen werden

---

<sup>330</sup> Siehe die Angaben von Stephan & Südzucker sowie Südzucker (Buercky).

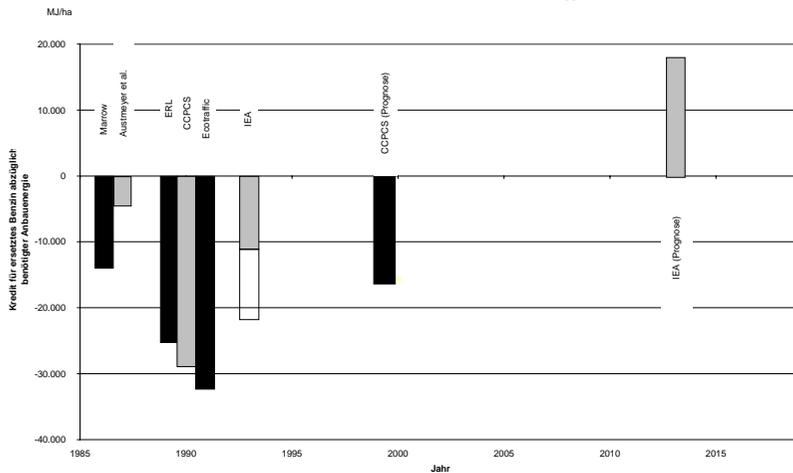


Abb. 62: Normierte Nettoenergiebilanz – Weizen (in MJ/ha)

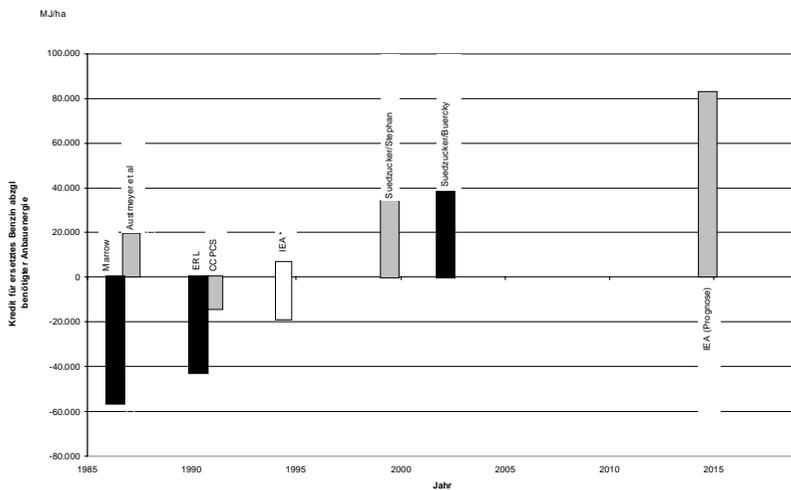


Abb. 63: Normierte Nettoenergiebilanz – Zuckerrüben (in MJ/ha)

weitgehend determiniert durch die Annahmen über den Brennwert und die Leistungsfähigkeit von Ethanol im Vergleich zu fossilem Benzin als Kraftstoff. Die Variation in den Ergebnissen über die fossilen Energieinputs beim Anbau der Rohstoffe sowie bei der Konversion dieser Rohstoffe in Ethanol ist dagegen von untergeordneter Bedeutung. Würde man den hier angenommenen Wirkungsgrad von 0,65 – das heißt 0,65 Liter Benzin werden durch 1 Liter Ethanol ersetzt – durch einen höheren Wert ersetzen, so würde sich die Energiebilanz um diese Faktoren verbessern. Unter der Annahme, dass Benzin und Ethanol 1:1 ersetzt werden können, würde auch die Nettoenergiebilanz für Weizen in den meisten Studien leicht positiv werden.<sup>331</sup>

### **6.3 Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Energiebilanzen**

Bei der Produktion regenerativer Energieträger mit Hilfe agrarischer Rohstoffe stellt sich aus gesamtwirtschaftlicher Sicht die Frage, wie viel fossile Energie mit welchem Rohstoff und welcher Konversion auf einer landwirtschaftlichen Fläche erreicht werden kann. Dabei kommen für die Nutzung dieser landwirtschaftlichen Flächen nicht nur agrarische Rohstoffe für die Produktion von Bioethanol bzw. Biokraftstoffen wie Rapsdiesel oder RME in Frage. Es gibt auch die Option, andere fossile Energieträger wie Gas und Kohle zu ersetzen, indem z. B. Strom aus Biomasse produziert wird. Als Rohstoffe kommen dabei neben dem gezielten Anbau von Biomasse auch verschiedene agrarische Reststoffe und andere Abfälle in Frage. Hier wird im folgenden nur verglichen, welches Einsparpotential an fossilen Energieträgern bei dem Anbau von Biomasse mit verschiedenen Früchten in unterschiedlichen Verwendungen erzielt werden kann.

Abbildung 64 zeigt einen Vergleich verschiedener Bioenergieproduktionen und Verwendungen. Die Balken für Zuckerrüben, Weizen und Mais beziehen sich auf den Anbau dieser Früchte für die Produktion von Bioethanol, Raps für die Produktion von Rapsmethylester und Holz für die Produktion von Strom durch Verbrennung von Holz. Dabei zeigt sich, dass der größte Energiegewinn, das heißt die Einsparung an fossilen Brennstoffen, nicht bei der Produktion von Ethanol anfällt. Wenn eine maximale Einsparung fossiler Energie erreicht werden soll, dann wäre es

---

<sup>331</sup> Diese Annahme ist in einigen Studien gemacht worden, ist aber in den hier vorgestellten Zahlen bei der Normierung des Benzinkredites herausgerechnet worden.

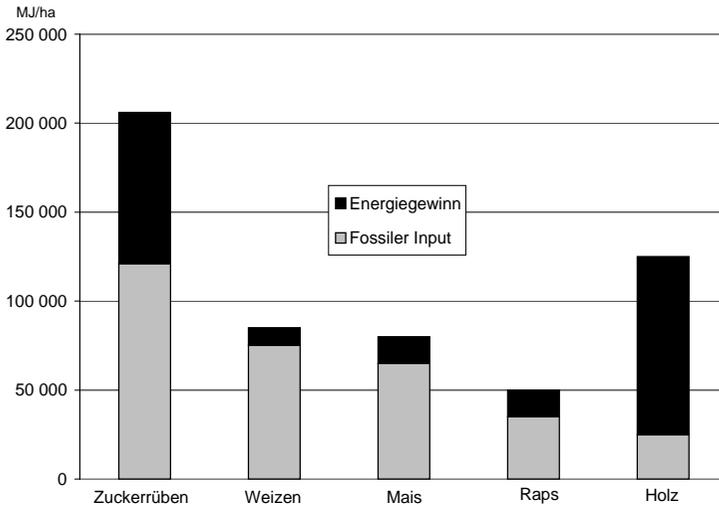


Abb. 64: Energiegewinn pro Flächeneinheit bei verschiedenen Rohstoffen und Energieträgersubstitutionen

weitaus sinnvoller, die landwirtschaftliche Fläche mit schnell wachsenden Holzarten zu bepflanzen, da dort der Energiegewinn pro Hektar und Jahr größer ist als in anderen Verwendungen.<sup>332</sup> Wenn es das Ziel ist, mit Hilfe von erneuerbaren Energieträgern auf der Fläche eine möglichst große Menge fossiler Energieträger zu ersetzen, so wäre es weitaus sinnvoller, die fossilen Energieträger im Bereich der Stromerzeugung zu ersetzen, als sie bei den Kraftstoffen zu substituieren, denn eine verfügbare Fläche Land würde dort mehr fossilen Brennstoff einsparen als bei den Kraftstoffen.

<sup>332</sup> Die in der Abbildung dargestellten Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Benzingußschriften. Deshalb ist z.B. der Energiegewinn bei Weizen positiv und bei Zuckerrüben größer als in den oben dargestellten Studien. Würde man die oben dargestellten Zahlen benutzen, so würde der Vorteil des Holzes noch stärker zur Wirkung zu kommen.

## **6.4 Fazit**

Mit Hilfe der Energiebilanzen kann bewertet werden, wie viel fossile Energieträger eingespart werden können, wenn Bioethanol Benzin als Kraftstoff ersetzt. Die Ergebnisse der Energiebilanzen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Für den fossilen Energieeinsatz bei der Produktion von Bioethanol wird der überwiegende Teil in der Konversion der agrarischen Rohstoffe in Ethanol verbraucht. Dies gilt sowohl für Zuckerrüben als auch für Weizen.
- Die Nettoeinsparung an fossilen Energieträgern, die Nettoenergiebilanz, hängt weitgehend davon ab, inwieweit Ethanol als Benzinersatz eine dem Benzin vergleichbare Leistung erbringt. Diese Fragen sind noch nicht endgültig geklärt.
- Bei einer Substituierbarkeit von 1 Liter Ethanol für 0,65 Liter Benzin ist die Nettoenergiebilanz nach der Mehrzahl der Studien beim Anbau von Weizen negativ. Die Nettoenergiebilanz für die Ethanolproduktion aus Zuckerrüben ist für heutige deutsche Anbau- und Konversionsverhältnisse leicht positiv. Sowohl für Weizen als auch für Zuckerrüben prognostiziert die Internationale Energieagentur positive Nettoenergiebilanzen.
- Auch bei der Betrachtung der Nettoenergiebilanz bezogen auf die landwirtschaftliche Fläche, die für die Produktion von Ethanol eingesetzt wird, ergibt sich bei Weizen ein Energieverlust, während bei Zuckerrüben ein leichter Energiegewinn zu verzeichnen ist.
- Die Berücksichtigung von Kuppelprodukten würde die Ergebnisse der hier zusammengefassten Studien verbessern. Mit dem im nachfolgenden Kapitel vorgestellten Simulationsmodell können die Verschiebungen abgeschätzt werden. Danach würde sich beispielsweise der Nettoenergiegewinn aus der Ethanolproduktion aus Zuckerrüben von etwa 5-6 MJ/l auf etwa 10 MJ/l erhöhen. Dies sollte im Verhältnis zu dem Energiegehalt von Benzin mit etwa 32 MJ/l gesehen werden.
- Bei einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung aller Optionen zur Einsparung fossiler Energieträger durch nachwachsende Rohstoffe hat die Produktion von Kraftstoffen geringere Einsparpotentiale als zum Beispiel die Substitution von anderen fossilen Energieträgern bei der Produktion von Strom durch schnell wachsende Hölzer. Bei

einer Bewertung alternativer Strategien des Einsatzes landwirtschaftlicher Fläche für die Produktion von Energieträgern würden andere Energieträger als Ethanol einen höheren Nettoenergieertrag erbringen. Die gesamtwirtschaftlichen Kosten der Energiebereitstellung durch Biomasse sind deshalb bei Ethanol höher als bei der direkten energetischen Nutzung von Biomasse, da keine Konversionsenergie anfällt. Die direkte Substitution von Benzin durch Biokraftstoffe ist deshalb gesamtwirtschaftlich weniger vorteilhaft als die Substitution von Mineralöl durch Biomasse, womit dann das eingesparte Mineralöl als Treibstoff zur Verfügung stehen würde.

## **6.5 Klimapolitische Bewertung des Einsatzes von Ethanol als Biokraftstoff**

### **6.5.1 Treibhausgasbilanzen**

Die Mineralölsteuerbefreiung für Biokraftstoffe wird unter anderem mit der Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen begründet. Diese Argumentation basiert auf der These, dass durch die Produktion von Biokraftstoffen auf der Basis von Energiepflanzen ein signifikanter Beitrag zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen geleistet werden kann. Hintergrund ist die Annahme, dass man damit eine gesamtwirtschaftlich effiziente Vermeidungsstrategie gewählt hat. Im folgenden werden deshalb die Produktion von Energiepflanzen sowie deren Konversion in Ethanol unter dem Gesichtspunkt der Klimapolitik analysiert. Dabei werden zunächst die mit der Produktion von Bioethanol einhergehenden Treibhausgasemissionen bestimmt. Danach wird der Effekt der Substitution von Benzin durch Ethanol auf die Treibhausgasemissionen berechnet. Schließlich werden die voraussichtlichen Kosten der Vermeidung von Treibhausgasemissionen durch den Einsatz von Bioethanol bestimmt und mit anderen klimapolitischen Strategien verglichen.

Die Abbildungen 65 und 66 stellen die Treibhausgasemissionen dar, die anfallen, wenn 1 Liter Ethanol mit Hilfe von Weizen bzw. Zuckerrüben produziert wird. Bei der Weizenproduktion und bei der Zuckerrübenproduktion fallen neben den CO<sub>2</sub>-Emissionen fossiler Brennstoffe bei Transport und der Feldarbeit Stickstoffemissionen an. Insgesamt liegen die Treibhausgasemissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet beim Anbau von Weizen in einer Höhe von etwa 0,5-0,6 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente

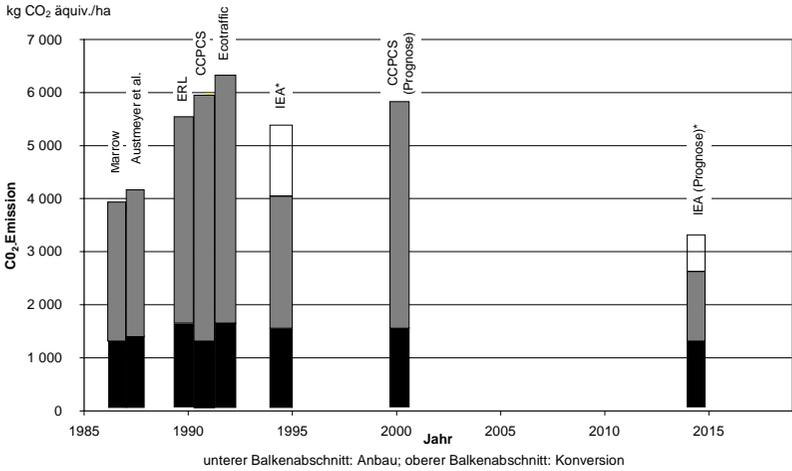


Abb. 65: Treibhausgasemissionen bei der Produktion von Ethanol aus Weizen

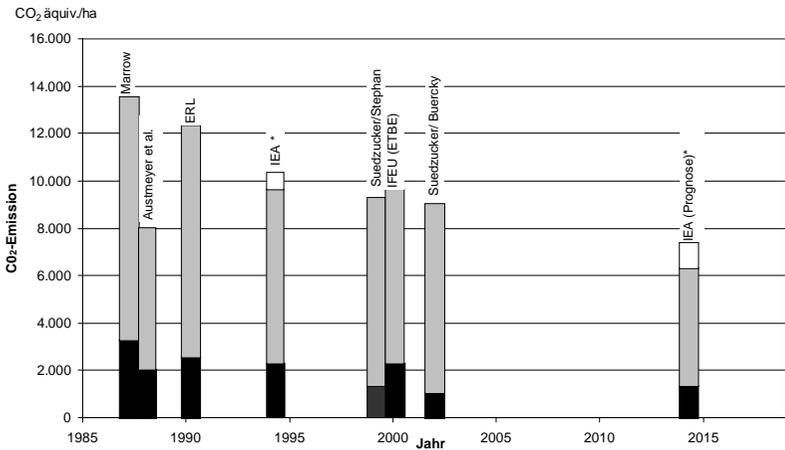


Abb. 66: Treibhausgasemissionen bei der Produktion von Ethanol aus Zuckerrüben

pro Liter Ethanol. Hinzu kommen bei der Konversion von Weizen in Ethanol ca. 1,5 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Liter, so dass insgesamt etwa 2 kg an Treibhausgasemissionen anfallen wenn 1 Liter Ethanol produziert wird. Bei Zuckerrüben liegen die Emissionen in der landwirtschaftlichen Produktion etwas niedriger. Der Energieeinsatz bei der Konversion wird in älteren Studien in vergleichbaren Größenordnungen angesetzt wie bei Weizen. Neuere Zahlen aus Deutschland (siehe die Balken Stephan & Südzucker bzw. Südzucker (Buercky)) kommen zu niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Konversion. Dies liegt aber auch daran, dass in diesen beiden Studien keine anderen Treibhausgase neben CO<sub>2</sub> berücksichtigt werden.

Vergleicht man die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Produktion von Bioethanol mit den vergleichbaren CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Verbrennung von Benzin einschließlich der Herstellung von Benzin, so zeigt sich bei der Ethanolproduktion auf Weizenbasis eine etwa neutrale CO<sub>2</sub>-Bilanz, das heißt, Bioethanol hat demnach vergleichbare Treibhausgasemissionen wie Benzin. Bei Zuckerrüben zeigen ältere Studien auch eine in etwa neutrale Treibhausgasbilanz, während die Studien auf der Basis der Daten von Südzucker und anderen, eine geringfügig niedrigere Emissionsbilanz haben als Benzin. Dort fallen bei der Bioethanolproduktion ca. 1,5 kg CO<sub>2</sub>/l Ethanol an während die Verbrennung von Benzin als Kraftstoff Emissionen von etwa 1,8 kg CO<sub>2</sub>/l Ethanol verursacht.

Die Ergebnisse der CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Einsatz von Bioethanol als Kraftstoff und von Motorenbenzin können wieder umgerechnet werden in Kenngrößen pro Hektar Landfläche, die eingesetzt werden muss, um fossiles Benzin durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen. Abbildung 67 zeigt die Nettotreibhausgasbilanz gemessen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für die Bioethanolproduktion mit Hilfe von Weizen, das heißt die bei der Verbrennung von Benzin emittierten CO<sub>2</sub>-Emissionen abzüglich der bei der Produktion von Bioethanol entstandenen Treibhausgasemissionen. Wegen der großen Variation der Treibhausgasemissionen bei der Konversion von Weizen zu Ethanol, die hauptsächlich auf dem eingesetzten Brennstoffmix beruhen, variieren die Nettotreibhausgasemissionen beträchtlich. Wird, wie in einer Alternative der Studie der Internationalen Energieagentur angenommen, bei der Konversion ein Brennstoffmix von Kohle und Gas benutzt, so wird die Netto-CO<sub>2</sub>-Bilanz negativ, dagegen ergibt sich bei dem Einsatz von Gas, Strom und Kraft-Wärme-Kopplung ein Gewinn von ca. 1.300 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/ha.

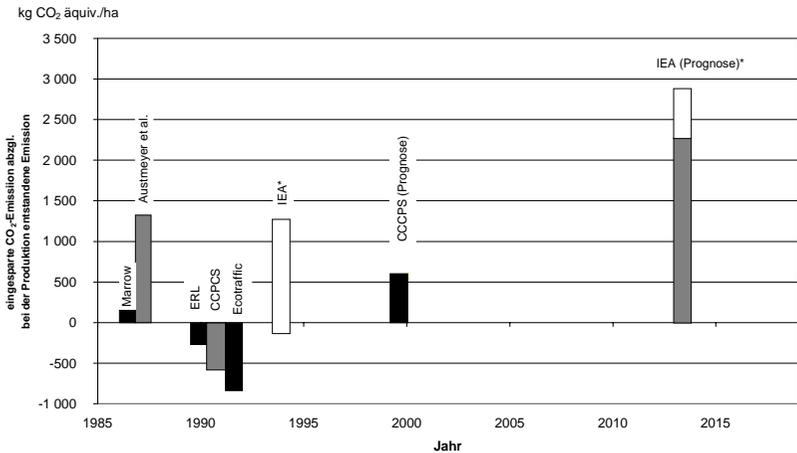


Abb. 67: Normierte Nettotreibhausgasbilanz der Ethanolproduktion aus Weizen (in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten/ha)

Insgesamt sind die Einsparungen von Treibhausgasen gemessen an dem für Bioethanol notwendigen Einsatz von Treibhausgasen gering: Bei Treibhausgasemission in der Produktion von Ethanol von zwischen 4.000 und 6.000 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/ha entsteht gegenüber dem Einsatz von Benzin eine Einsparung von ca. 500 bis etwas über 1.000 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/ha. Nur bei den Prognosen der Internationalen Energieagentur lässt sich ein großer Gewinn ermitteln. Dieser liegt darin begründet, dass der Energieeinsatz in der Konversion von Weizen in Ethanol mit zukünftigen Technologien drastisch reduziert wird.

Bei der Ethanolproduktion mit Hilfe von Zuckerrüben stellt sich die Treibhausgasbilanz etwas positiver dar. Während der Einsatz von Benzin im Vergleich zu der auf einem Hektar produzierbaren Menge Bioethanol ca. 14.000 CO<sub>2</sub>-Äquivalente/ha an Emissionen verursacht, benötigt die Produktion von Bioethanol ca. 10.000 kg/ha, so dass ein Nettogewinn von etwas knapp 4.000 kg/ha heute möglich zu sein scheint. Wiederum erwartet die Internationale Energieagentur einen starken Rückgang in dem Einsatz fossiler Brennstoffe bei der Konversion, so dass sich die Nettotreibhausgasemissionen beträchtlich verbessern. Ein Vergleich von Bioethanol aus Weizen und aus Zuckerrüben zeigt, dass auf einem Hektar mit Hilfe von Zuckerrüben über 3.000 kg Treibhausgas eingespart

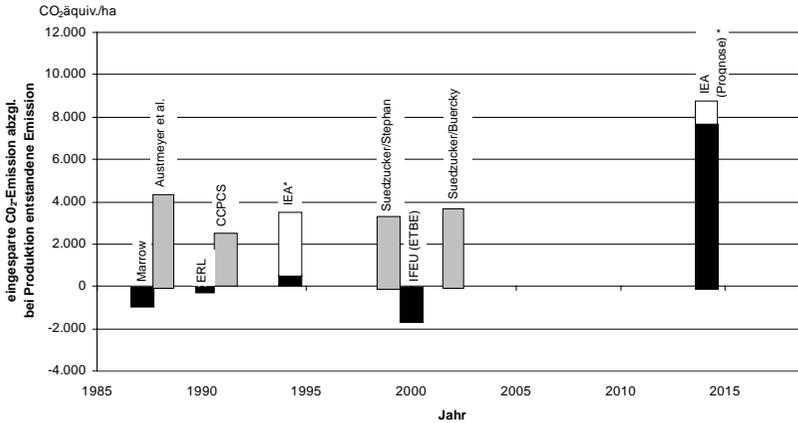


Abb. 68: Normierte Nettotreibhausgasbilanz der Ethanolproduktion mit Zuckerrüben (in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten/ha)

werden kann, während dies beim Anbau von Weizen nur in der Größenordnung von ca. 1.000 kg Treibhausgas liegt. Damit ist in Bezug auf die Treibhausgasemissionen der Anbau von Zuckerrüben dem Weizenanbau für die Ethanolproduktion weit überlegen.

### 6.5.2 Die Treibhausgasbilanz von ETBE

Statt einer Beimischung von Ethanol zu Benzin wird häufig auch eine Beimischung von ETBE als klimapolitische Strategie befürwortet. Bei ETBE handelt es sich um eine Substanz, die einen weiteren Konversionsprozess durchlaufen hat. Daraus folgt, dass der Einsatz fossiler Energieträger bei der Produktion von ETBE zunimmt und sich die Energie sowie die Treibhausgasbilanz damit verschlechtern. Dies ist in einer Studie vom IFEU<sup>333</sup> für die ETBE-Produktion in Deutschland mit Hilfe von Zuckerrüben untersucht worden. Danach erfordert die Produktion von einem Liter ETBE ca. 135 MJ fossilen Energieeinsatz (zum Vergleich: Ethanol ca. 20 MJ/l). Auf dieser Basis ergibt sich ein Nettoenergieverlust von ca. 100 MJ/l, wenn ETBE dem Benzin als Substitut beigemischt wird. Allerdings ergibt sich eine positive Energiebilanz, wenn MTBE durch ETBE ersetzt wird, da

333 Vgl. IFEU, Reinhardt, G., Zemanek, G.: „Ökobilanz Bioenergieträger: Basisdaten, Ergebnisse, Bewertungen, Initiativen um Umweltschutz“. Bd. 17, Berlin 2000.

der fossile Primärenergiegehalt von MTBE beträchtlich höher ist als der von ETBE. Das gleiche Ergebnis bekommt man, wenn man die Treibhausgasbilanz betrachtet. Bei der Substitution von Benzin durch ETBE ergibt sich ein Verlust von ca. 1.500 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente/ha. Dagegen liegen die Treibhausgasemissionen von ETBE um etwa 1/3 unter denen von MTBE.

### **6.5.3 Gesamtwirtschaftliche Bewertung des Einsatzes von Bioethanol**

Die Einführung von Biokraftstoffen wird von fast allen Parteien im Deutschen Bundestag als ein wesentlicher Schritt zur Fortentwicklung der Klimaschutzpolitik im Verkehrssektor angesehen.<sup>334</sup> Die oben dargestellten Ergebnisse der Energiebilanzen für Bioethanol aus verschiedenen Energierohstoffen sowie die Treibhausgasbilanzen zeigen, dass mit heutigen Produktions- und Konversionstechnologien eine wenn auch geringfügige Einsparung von fossilen Brennstoffen bzw. von Treibhausgasemissionen erzielt werden kann, wenn Bioethanol dem Benzin beigemischt und damit der Verbrauch an fossilem Benzin reduziert wird. Es bleibt noch die Frage zu untersuchen, ob diese klimapolitische Strategie unter volkswirtschaftlichen Aspekten Teil einer gesamtwirtschaftlich effizienten Klimaschutzpolitik sein kann.

Eine gesamtwirtschaftlich effiziente Klimapolitik erfordert die Reduktion von Treibhausgasen aus den Quellen, bei denen die Reduktion die gesamtwirtschaftlich geringsten Kosten verursacht. Dies liegt darin begründet, dass die Emission von Treibhausgasen unabhängig von ihrem Ort und dem Prozess, bei dem sie entstehen, die gleichen Umweltwirkungen haben. Es ist deshalb sinnvoll, wenn eine bestimmte Menge an Treibhausgasemissionen reduziert werden soll, dies dort vorzunehmen, wo die Kosten am niedrigsten sind. Eine Bewertung der klimapolitischen Sinnhaftigkeit des Einsatzes von Bioethanol erfordert also eine Abschätzung der Vermeidungskosten von Treibhausgasemission durch die Substitution von fossilem Benzin durch Bioethanol.

Die Kosten der Vermeidung von einer Tonne CO<sub>2</sub> liegen heute in der Europäischen Union bei durchschnittlich 50 bis 60 Euro. Würde man das von der Kommission der Europäischen Union vorgeschlagene Programm zum Emissionshandel ab dem Jahre 2005 in der Europäischen Union einführen, so würden diese Kosten durch die Effizienzgewinne des Emissi-

---

<sup>334</sup> Vgl. 240. Sitzung des Deutschen Bundestages am 7. Juni 2002 (Tagesordnungspunkt 29), <http://dip.bundestag.de/btp/14/14240.pdf>.

onshandels auf ca. 35 Euro/t CO<sub>2</sub> fallen. An diesen Kennziffern müssen die im folgenden dargestellten Vermeidungskosten von Treibhausgasen bzw. von CO<sub>2</sub> durch den Einsatz von Bioethanol gemessen werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub>-Reduktionen, den Kosten von Bioethanol und den Treibhausgasvermeidungskosten wie sie aus den verschiedenen Studien berechnet werden können.<sup>335</sup> An der Ordinate sind die Potentiale für die CO<sub>2</sub>-Reduktion in kg/ha angebaute Fläche von Weizen dargestellt. Die Abszisse zeigt die zusätzlichen Kosten, die anfallen, wenn Benzin durch Bioethanol substituiert wird. Das Ganze wiederum ist umgerechnet auf Hektar Anbaufläche mit dem jeweiligen Energierohstoff. Schließlich zeigen die Geraden die Kombinationen von CO<sub>2</sub>-Reduktionen und zusätzlichen Produktionskosten an, bei denen ein bestimmter Wert für die Vermeidungskosten von Treibhausgasen erreicht wird. Die linke Gerade bezeichnet die

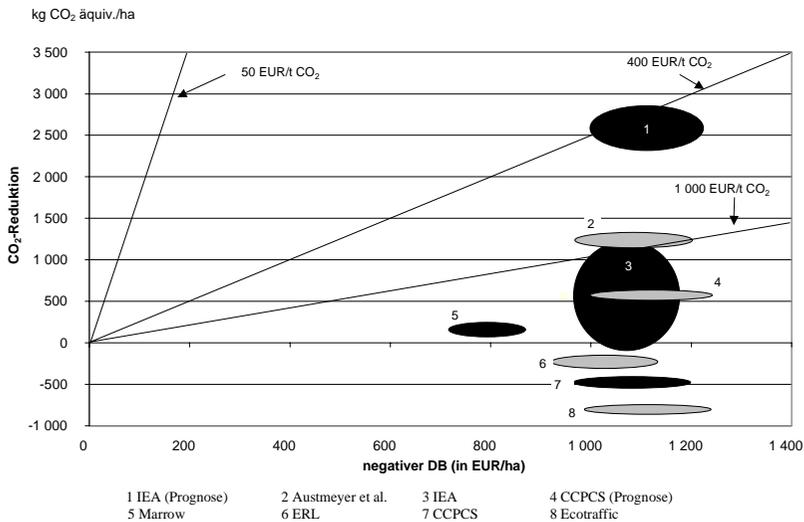


Abb. 69: Vermeidungskosten von Treibhausgasemissionen durch die Substitution von Ethanol auf Weizenbasis

<sup>335</sup> Da nicht alle Studien ausreichend Information über Vermeidungskosten zur Verfügung stellen, wurde teilweise auf Kennziffern von vollständigen Studien zurückgegriffen.

Kombinationen, bei denen die Vermeidung von 1 Tonne CO<sub>2</sub> etwa 50 Euro kostet. Dies ist die Gerade, die die heute durchschnittlichen Vermeidungskosten in der Europäischen Union zeigt. Da die älteren Studien zu keiner Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen kommen, liegen deren Bereiche von Vermeidungskosten und Vermeidungsreduktionen unterhalb der Abszisse. Für die heute realistischen Daten ergeben sich Vermeidungskosten, die in der Größenordnung von etwa 1.000 Euro/t CO<sub>2</sub> und mehr liegen. Nur bei der optimistischen Erwartung der Internationalen Energieagentur für zukünftige Technologien können die Vermeidungskosten für Treibhausgasemissionen durch den Anbau von Weizen und dessen Konversion in Ethanol auf ca. 400 Euro/t CO<sub>2</sub> abgesenkt werden.

Die Abbildung 70 für die Bioethanolproduktion aus Zuckerrüben ist nach demselben Prinzip aufgebaut. Auch bei dem Einsatz von Zuckerrüben in der Bioethanolproduktion zeigt sich, dass die Vermeidungskosten von Treibhausgasen in der Größenordnung von 1.000 Euro/t CO<sub>2</sub> und darüber liegen. Wiederum kommt nur die Zukunftstechnologie der von der Internationalen Energieagentur berechneten Studie in Bereiche von etwa 500 Euro/t CO<sub>2</sub>. Allerdings sind bei Zuckerrüben die zusätzlichen Kosten des Bioethanols gegenüber dem Benzin höher als bei Weizen als Rohstoff, wenn sie pro Flächeneinheit gerechnet werden. Dafür ist aber auch eine höhere Einsparung bei Treibhausgasen möglich.

Mit Hilfe des im nachfolgenden Kapitel dargestellten Simulationsmodells lassen sich die Größenordnungen angeben, um die sich die Ergebnisse verändern können, wenn Kuppelprodukte bei den Vermeidungskosten berücksichtigt werden. Unter optimiertem Einsatz großer Konversionsanlagen mit neuester Technik würden bei Weizen die Vermeidungskosten bei einer Energiegutschrift von Kuppelprodukten in Höhe von 20 % des Energieeinsatzes von ca. 400 €/t CO<sub>2</sub> äqu. auf ca. 350 €/t CO<sub>2</sub> äqu. fallen. Bei Zuckerrüben betragen die Vermeidungskosten ca. 640 €/t CO<sub>2</sub> äqu. ohne Gutschrift und ca. 550 €/t CO<sub>2</sub> äqu. mit Gutschrift für Kuppelprodukte. Sie lägen damit immer noch weit über den zur Zeit in der wissenschaftlichen Debatte diskutierten Vermeidungskosten von 20 bis 50 €/t CO<sub>2</sub>.

Abbildung 71 fügt noch einmal alle Studien und die damit verbundenen Vermeidungskosten von CO<sub>2</sub> durch den Einsatz von Bioethanol zusammen. Sowohl beim Einsatz von Weizen als auch beim Einsatz von Zuckerrüben ergeben sich über alle Studien hinweg vergleichbare Bereiche der Vermeidungskosten von Treibhausgasen. Bei Weizen sind die

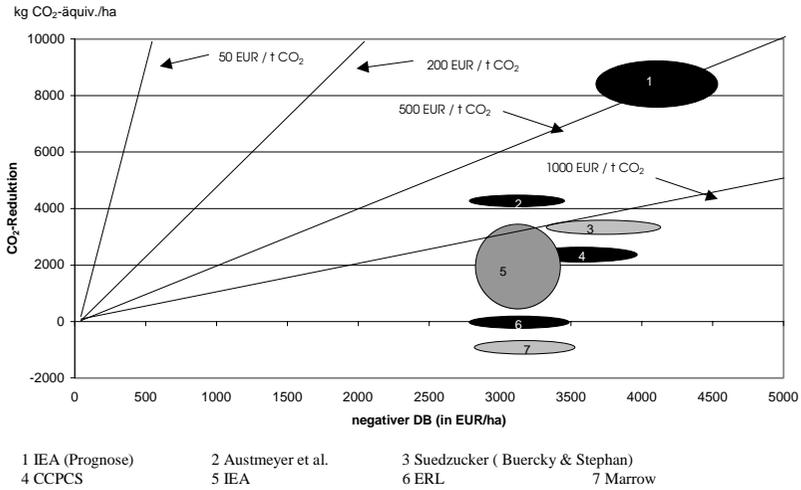


Abb. 70: Vermeidungskosten von Treibhausgasemissionen durch die Substitution von Ethanol auf der Basis von Zuckerrüben

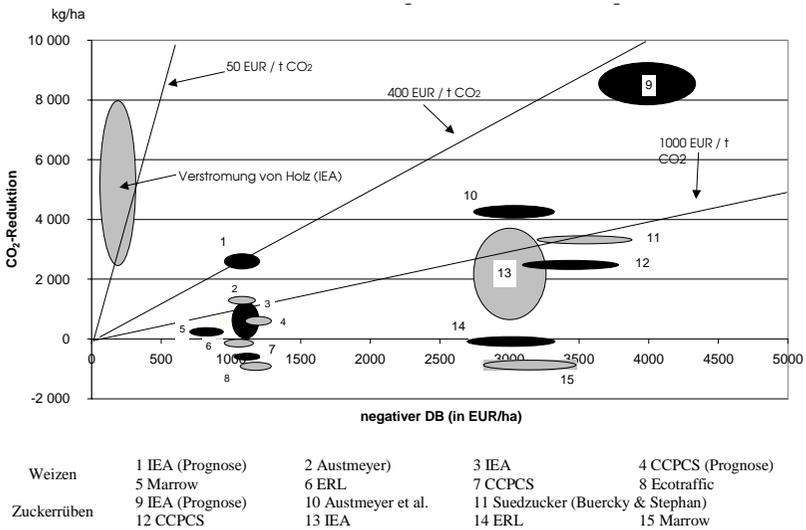


Abb. 71: Gesamtüberblick Vermeidungskosten von Treibhausgasen

zusätzlichen Kosten von Bioethanol geringer als bei Zuckerrüben. Gleichzeitig ist aber auch die Einsparung an Treibhausgasen geringer, so dass die Vermeidungskosten pro Tonne CO<sub>2</sub> ähnlich hoch liegen. Zur Illustration ist in Abbildung 71 die Verstromung von Holz als eine alternative Landnutzung dargestellt. Beim Einsatz von schnell wachsenden Holzarten auf der Fläche können CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten von unter 50 Euro/t CO<sub>2</sub> erreicht werden, wenn dieses Holz direkt in die Verstromung oder gar in die direkte Wärmeengewinnung geht. Der Einsatz von Bioethanol als Biokraftstoff ist also unter klimapolitischen Gesichtspunkten eine sehr teure Politikoption und damit unter gesamtwirtschaftlichen Aspekten ineffizient. Mit dem gleichen volkswirtschaftlichen Aufwand könnte in anderen Bereichen ein um ein Vielfaches höheres Volumen an Treibhausgasen eingespart werden.

#### **6.5.4 Die Rolle der Kuppelprodukte für die Vermeidungskosten**

Bei der bisherigen Analyse wurde bewusst der Effekt der Kuppelprodukte auf die Vermeidungskosten nicht berücksichtigt. Dies liegt daran, dass es beträchtliche methodische Probleme bei der Bestimmung von Vermeidungskosten unter Einschluss der Kuppelprodukte gibt. Zwei Bereiche sind dabei von besonderer Bedeutung:

- Die Kuppelprodukte verringern die Kosten der Vermeidung. Die Kostenreduktion hängt aber von den Preisen ab, die auf dem jeweiligen Markt für diese Produkte zu erzielen sind. Bei kleinen Mengen an anfallenden Kuppelprodukten können noch Marktpreise angesetzt werden, wenn der betreffende Markt ausreichend groß ist. Bei einem großflächigen Einsatz von Ethanol wird es aber auch Rückkopplungseffekte auf den Märkten für Kuppelprodukte geben. Im Extremfall ist es sogar möglich, dass solche Märkte kollabieren können. Es ist also außerordentlich schwierig, wenn nicht unmöglich, eine belastbare Zahl für die Kostenreduktion durch den Verkauf von Kuppelprodukten zu erhalten.
- Die Verwertung von Kuppelprodukten kann auch Auswirkungen auf die vermiedenen Treibhausgasemissionen haben. So könnten Kuppelprodukte andere energieintensive Produkte ersetzen, so dass mit dem Einsatz von Kuppelprodukten auch eine Gutschrift von Treibhausgaseminderung einhergeht. Um dies berechnen zu können, müssten allerdings wiederum für die ersetzten Produkte

Treibhausgasbilanzen erstellt werden, was im Rahmen dieses Projektes nicht möglich war. Eine Gutschrift für Kuppelprodukte müsste also ziemlich willkürlich erfolgen und eine bestimmte Zahl wäre bei dem heutigen Wissensstand nicht empirisch begründbar. Beide Probleme zusammen zeigen, dass es bestenfalls möglich ist eine ungefährere Tendenz anzugeben, in der sich die Vermeidungskosten für Treibhausgase entwickeln können, wenn Kuppelprodukte in die Analyse mit einbezogen werden. In Abbildung 72 ist illustriert, in welchen Größenordnungen die in Abbildung 71 dargestellten Vermeidungskosten sich bewegen würden, wenn man von einer Verbesserung der Energiebilanz mittels einer Gutschrift von 20 Prozent des Energieeinsatzes im Konversionsprozess zu Ethanol ausgeht. Zudem wird von der unrealistischen Annahme konstanter Marktpreise für Kuppelprodukte ausgegangen. Dann würden die Vermeidungskosten bei Zuckerrüben um ca. 25 Prozent und bei Weizen um ca. 50 Prozent fallen. Eine präzisere Bestimmung der Rolle von Kuppelprodukten würde, wie angedeutet, eine detaillierte Analyse der Märkte für Kuppelprodukte sowie Energiebilanzen der konkurrierenden Produkte erfordern.

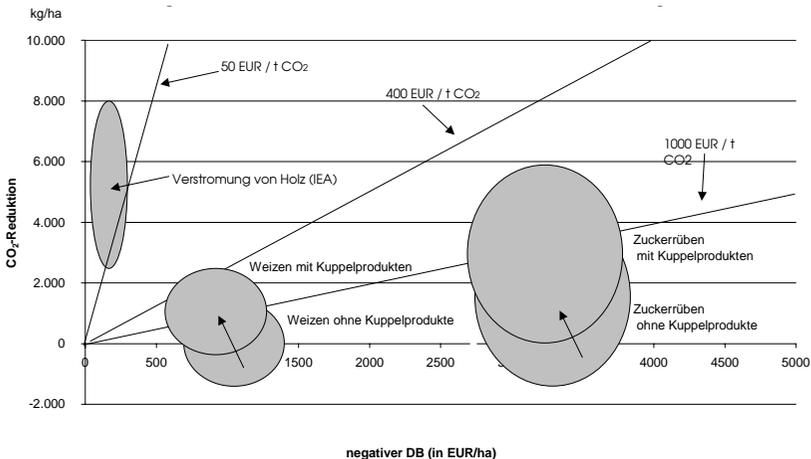


Abb. 72: Mögliche Änderung der Vermeidungskosten unter Berücksichtigung von Kuppelprodukten bei konstanten Kuppelproduktpreisen

## **6.6 Fazit**

Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Bilanzen für die Bioethanolproduktion aus Weizen und aus Zuckerrüben sowie die Bestimmung der Treibhausgasvermeidungskosten führen zu folgenden Ergebnissen:

Ältere Studien kommen sowohl für Weizen als auch für Zuckerrüben zu dem Ergebnis, dass der fossile Brennstoffeinsatz bei der Herstellung von Bioethanol in etwa den eingesparten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von fossilem Benzin entsprechen. Manche Studien kommen sogar zu einem höheren fossilen Energieeinsatz. Der größte Teil dieser fossilen Energie muss für die Konversion der Rohstoffe in den Biokraftstoff aufgewendet werden.

Für heutige Technologien und Einsatzverhältnisse ergibt sich bei Weizen ein geringfügig geringerer Wert der Treibhausgasemissionen aus Bioethanol als bei Benzin. Dieser Gewinn liegt allerdings nur bei etwa 10 Prozent der Emissionen. Bei Zuckerrüben ergibt sich bei Berücksichtigung aller Treibhausgase ebenfalls ein geringfügiger Treibhausgaseinsparungswert von etwa 10 Prozent. Die Analysen der Zuckerindustrie, die nur die CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnen kommen zu einer etwas höheren Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Mit heutigen Technologien lassen sich auf einem Hektar landwirtschaftlicher Fläche mit Hilfe von Zuckerrüben ca. 3.000-4.000 kg CO<sub>2</sub> einsparen. Bei Weizen dürfte diese Größenordnung zwischen 500 und 1.000 kg Treibhausgas pro Hektar liegen.

Die direkte energetische Nutzung von Energierohstoffen kommt dagegen zu CO<sub>2</sub>-Einsparungen in der Größenordnung von 5.000 kg Treibhausgasen pro Hektar und mehr, weil die bei der Konversion anfallenden Treibhausgasemissionen eingespart werden.

Die geringen Vermeidungen von Treibhausgasemissionen werden im wesentlichen beeinflusst durch die Verbrennungseigenschaften von Bioethanol im Verhältnis zum Benzin. Diese Zusammenhänge sind noch nicht ausreichend erforscht.

Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht stellt die Produktion von Biokraftstoffen eine der teuersten klimapolitischen Alternativen dar. Während die durchschnittlichen Vermeidungskosten von Treibhausgasen in der Größenordnung von etwa 50 Euro pro Tonne Treibhausgas liegen, kommen Biokraftstoffe auf Vermeidungskosten von bis zu 1.000 Euro und teilweise über 1.000 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Selbst mit zukünfti-

gen Technologien lässt sich dieser Wert nur auf ca. 500 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent absenken.

Falls Bioethanol 1:1 mit Benzin substituiert werden kann und den gleichen Wirkungsgrad erzielt, dann würden sich die oben geschilderten Vermeidungskosten von Treibhausgasen in etwa halbieren. Auch die Berücksichtigung von Kuppelprodukten bei der Energiebilanz und der Bestimmung der Vermeidungskosten von Treibhausgasemissionen kann diese noch einmal um ca. 20 Prozent absenken. Sie lägen dann aber immer noch um den Faktor 5 bis 10 über den Vermeidungskosten von Alternativen der Bioenergieproduktion, z. B. durch direkte energetische Nutzung von Holz.

## 7 Synthese der Erkenntnisse im Bioethanol-Modell

### 7.1 Zielsetzung des Bioethanol-Modells

Das Modell bildet die gesamte Produktions- und Handelskette des Bioethanols von der landwirtschaftlichen Erzeugung über die Herstellung von Ethanol bis zum Verbrauch im Kraftstoffsektor ab. Die Produktströme werden um Preise und Kosten sowie um Kennzahlen zur Beurteilung der Energiebilanz und der Umwelteffekte ergänzt. Ethanol kann aus sechs unterschiedlichen landwirtschaftlichen Produkten erzeugt werden, die miteinander im Wettbewerb stehen.<sup>336</sup>

Das Modell wurde gestaltet, um die vielfältigen Einflussgrößen auf die zukünftige Entwicklung synoptisch darzustellen und einen Leitfaden für das Zusammentragen der wichtigsten Daten aus unterschiedlichen Disziplinen und Wirtschaftssektoren zu haben. Auf diese Weise diente das Modell dazu, die unterschiedlichen Experten-Wissen zu vereinen und wechselseitig in Einklang zu bringen.

Auf der Basis des so validierten Modells ist es möglich, ein Szenario über die mögliche zukünftige Entwicklung zu erhalten. Da viele Annahmen im Modell einen Zeitraum von etwa 20 Jahren (bis 2020) betreffen, ist die Unsicherheit über die eingegebenen Daten naturgemäß groß. Sie kann nicht durch noch so differenzierte Berechnungen beseitigt werden. Zweckmäßig ist es jedoch, das Ausmaß der Unsicherheit zu erkennen und einen wahrscheinlichen Korridor abzustecken. Dazu dienen Sensitivitätsanalysen und alternative Szenarien.

Aus Sensitivitätsanalysen erkennt man die Schwankungsbreite, in der sich die weitere Entwicklung vollziehen kann. Die besonders einflussreichen Größen, auf deren Bestimmung viel Wert zu legen ist, werden erkannt. Mit alternativen Szenarien lassen sich darüber hinaus unterschiedliche Entscheidungen auf ihre Vorteilhaftigkeit hin untersuchen.

---

<sup>336</sup> Das Modell kann bezogen werden über: Dr. Norbert Schmitz, meo Consulting Team, Neusser Str. 29, D-50670 Köln, Tel.: +49-221-9727232, Fax: +49-221-7609835, e-mail: schmitz@meo-consulting.com

Insbesondere folgende Entscheidungen (politische und technologische Fragestellungen) lassen sich mit dem Modell untersuchen:

1. Mit welchem Erzeugerpreis für Bioethanol ist mittelfristig zu rechnen?
2. Mit welchen Feldfrüchten ist Bioethanol besonders kostengünstig zu erzeugen?
3. Welche Feldfrüchte lassen sich mit einem angemessenen wirtschaftlichen Ergebnis der Landwirtschaft für die Produktion von Bioethanol anbauen?
4. Welche Bedeutung haben Flächenprämien für die landwirtschaftliche Erzeugung von Rohstoffen für Bioethanol?
5. Mit welchen Beschäftigungseffekten ist zu rechnen?
6. Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Anlagengrößen auf die Erzeugerpreise von Bioethanol?
7. Welche Auswirkungen haben Importe von Bioethanol?
8. Welche Konsequenzen für den Staatshaushalt (Steuerausfälle) hat die Beimengung von Bioethanol zum Ottokraftstoff (in unterschiedlichen Anteilen)?
9. Welche Konsequenzen für den Staatshaushalt (Steuerausfälle) hat die Produktion und Beimengung von ETBE in unterschiedlichen Prozentanteilen?
10. Wie verändert sich der steuerliche Unterstützungsbedarf bei sich ändernden Rohölpreisen?
11. Wie hoch ist die Reduktion der Emission von Treibhausgasen (CO<sub>2</sub>-Äquivalente) in den unterschiedlichen Varianten?
12. Wie hoch sind die Kosten der Emissions-Vermeidung in den unterschiedlichen Varianten?
13. Wie lassen sich die Steuerausfälle und die Kosten der Emissions-Vermeidung möglichst gering halten?

## **7.2 Modul-Übersicht**

### **7.2.1 Die Sektoren**

Das Modell orientiert sich an den Produktströmen und den entsprechenden Nachfrage-Situationen, die Produktionsprozesse in Gang bringen. Das Modell bildet die Marktprozesse um Angebot und Nachfrage nicht mit Optimierungsalgorithmen ab, sondern es simuliert verschiedene Ver-

haltensweisen des Marktes. Dazu werden Kosten und kostenbasierte Preise ermittelt, wobei die Überzeugung zugrunde liegt, dass die langfristige Entwicklung nicht die Kostenstrukturen negieren kann.

Der im Modell abgebildete Handel repräsentiert die Auswahl unter alternativen Rohstoffen (Zuckerrübe, Weizen, Roggen, Triticale, Mais und Kartoffel) bzw. unter Ethanol auf der Basis dieser landwirtschaftlichen Produkte. Im Handelsmodul werden auch Import und Export abgebildet.

Die folgende Abbildung stellt die Sektoren des Modells dar.

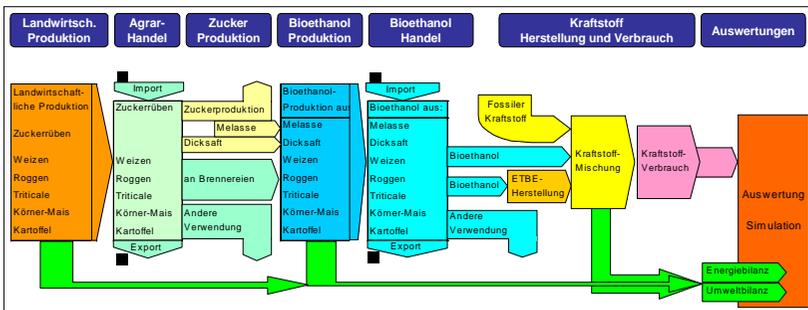


Abb. 73: Die Sektoren des Modells

Die landwirtschaftliche Produktion umfasst die Produktion für herkömmliche Märkte und die für Bioethanol, die gesondert ausgewiesen wird. Die Verwendung der Zuckerrübe teilt sich in die Produktion von Zucker, bei der Melasse als Kuppelprodukt anfällt, und in die Herstellung von Dicksaft für die Bioethanol-Herstellung. Export und Import können bei allen Agrar-Erzeugnisse außer bei Zuckerrüben berücksichtigt werden.

Die Produktion von Bioethanol (Konversion) wird mit technologischen Varianten (kleine, mittlere und große Anlagen) simuliert, die im Kapitel 3 ausführlich dargestellt worden sind. Auch hier können Import und Export (mit exogenen Größen) berücksichtigt werden. Die Verwendung des agrarischen Ethanol teilt sich in die Verwendung für die Kraftstoffbeimischung (Bioethanol) und in andere, nicht weiter simulierte Verwendungen.

Die Kraftstoff-Mischung erfolgt gemäß den Vorgaben über das Mischungsverhältnis. Der Gesamtbedarf an Ottokraftstoff ergibt sich aus Prognosen über den Verbrauch.

Die Auswertungen umfassen eine Energiebilanz und eine Bilanz der CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen (Umweltbilanz), für die die Werte aus den anderen Sektoren gesammelt werden. Zur Auswertung gehört außerdem eine Übersicht über die wichtigsten Kennzahlen zur Beurteilung eines simulierten Szenarios.

### 7.2.2 Die Simulationslogik

Die Simulation umfasst die Jahre 2000, 2005, 2010, 2015 und 2020, wobei die Vergangenheitswerte nur zur Veranschaulichung und Überprüfung der empirischen Daten dienen, denn im Jahr 2000 wurde in Deutschland noch kein Bioethanol verwendet.

Die Berechnung (Simulation) folgt einer Logik, die in folgender Grafik für eine Version I veranschaulicht wird.

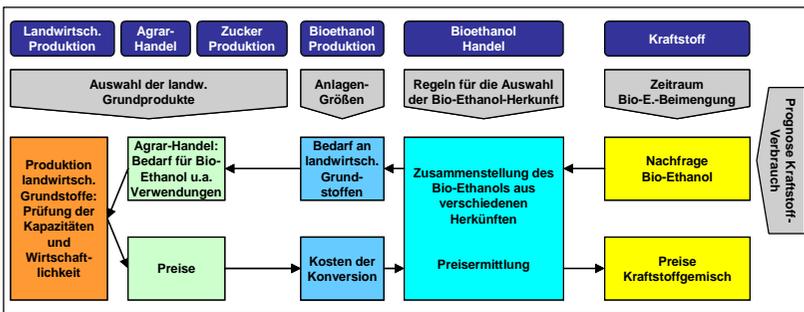


Abb. 74: Simulationslogik für erwartete Rohstoff-Preise

Die Berechnung startet mit der Prognose des Kraftstoffverbrauchs (rechts im Bild). Für die vorgegebenen Zeiträume und Beimengungs-Prozentsätze wird der Bedarf an Bioethanol berechnet.

Dieser Bedarf wird durch die Herstellung von Bioethanol aus unterschiedlichen landwirtschaftlichen Grundstoffen zu decken sein. Für die Entscheidung über die Mengenverteilung liegen unterschiedliche Regeln vor, die den „Markt“ simulieren. (Sie werden unten genauer beschrieben.)

Die Bedarfe für die Bioethanol-Herstellung werden im Agrar-Handel mit denen für andere Verwendungen zusammengeführt, damit der Umfang der landwirtschaftlichen Produktion der einzelnen Grundstoffe ermittelt wird. Anhand der Erzeugerpreise und der Kosten der landwirtschaftlichen Produktion lässt sich der Deckungsbeitrag des Landwirts je ha bestimmen. Wenn dieser einen Sockelwert (Mindestwert) nicht übersteigt, kann das Modell die Situation simulieren, in der sich die Landwirte gegen den Anbau des betreffenden Erzeugnisses entscheiden, die betreffende Feldfrucht also für die Produktion von Bioethanol ausscheidet.

In der hier beschriebenen Version I werden „erwartete Rohstoffpreise“ (Prognosen) als Erzeugerpreise angenommen. Diese Preise gehen in die Kostenrechnung der Ethanol-Konversion ein. Diese Kostenrechnung wird wesentlich von der angenommenen Technologie (Anlagengröße) bestimmt. Die Ethanol-Preise ergeben sich aus der Kalkulation der Kosten plus einem kalkulatorischen Gewinn. Diese Kalkulation führt bei den einzelnen Rohstoffen zu unterschiedlichen Preisen, die im Ethanol-Handel zu einem gewichteten Durchschnitt führen.

Bei der Herstellung des Kraftstoffgemisches entstehen nochmals Kosten, die die Ethanol-Preise erhöhen. Die Netto-Preise für den fossilen Ottokraftstoff ergeben sich aus den Rohölpreisen, die in der Prognose variieren können, und den durchschnittlichen Raffineriekosten.

In der Simulations-Version II werden „Maximale Ethanol-Preise“ zugrunde gelegt, damit die maximalen Rohstoff-Preise errechnet werden, zu denen in der Landwirtschaft eine Nachfrage entsteht. Die folgende Grafik veranschaulicht diese Rechenweise.

Die Abbildung unterscheidet sich im unteren Teil von der vorangegangenen. Aufgrund der vorgegebenen Maximalpreise für Ethanol lässt sich anhand der Kosten der Konversion ermitteln, wie hoch die Rohstoffkosten der Brennereien maximal sein dürfen. Daraus bestimmt sich der Maximal-Preis des jeweiligen landwirtschaftlichen Produktes.

Wenn dieser maximale Erzeugerpreis bei gegebener Kostenstruktur der Landwirtschaft nicht zu einem erforderlichen Deckungsbeitrag für die Landwirte reicht, kann das Modell die betreffende landwirtschaftliche Produktion ausschließen.

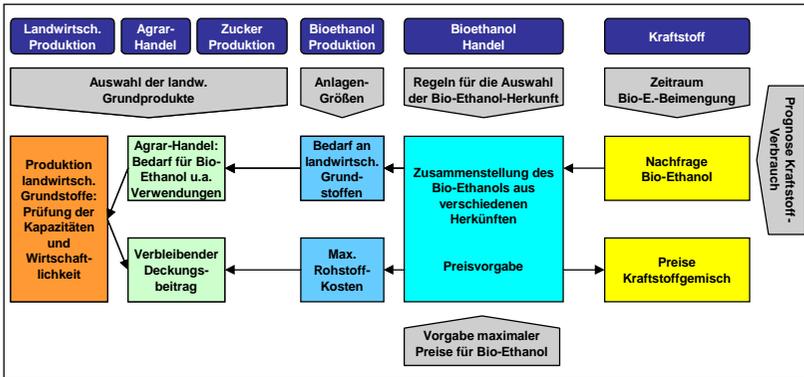


Abb. 75: Simulationslogik für maximale Rohstoff-Preise

### 7.2.3 Zur Methodik und Steuerung

Das Modell besteht aus einer Reihe von Excel-Tabellen, die miteinander verbunden und so aufgeteilt sind, dass sie jeweils einen Sektor und/oder einen Rohstoff auf anschauliche Weise abbilden. Zwischen den Seiten kann durch Klick auf eine Abbildung, einen Button oder einen Konnektor gesprungen werden.

Die Berechnungen sind i. d. R. einfach und leicht zu verstehen. Dabei ist es wichtig, die Eingabegrößen zu erkennen und richtig zu gebrauchen. Es werden unterschieden:

1. *Steuergrößen:* Sie bestimmen die Art der Berechnung (wie beispielsweise oben beschrieben) oder die Berücksichtigung von Rohstoffen, Prämien, Import und Export etc.
2. *Exogene Vorgaben:* Sie sind Ausdruck politischer oder wirtschaftlicher Willensbildung wie z. B. die prozentuale Höhe der Beimengung von Bioethanol zum Ottokraftstoff oder der minimal notwendige Deckungsbeitrag in der Landwirtschaft oder ein vorzugebender Maximal-Preis für Bioethanol. Auch die Simulations-Zeit ist eine veränderbare Vorgabe. Die Jahreszahlen können grundsätzlich geändert werden, wobei lediglich die aufsteigende Reihenfolge gewahrt bleiben muss.
3. *Prognosewerte:* Die wichtigsten Prognosewerte beschreiben den erwarteten Verbrauch an Ottokraftstoff und den zukünftigen Roh-

ölpreis. Zahlreiche Annahmen über die Veränderung technologi- scher Werte wurden als „prozentuale Veränderung pro Jahr“ eingegeben, so z. B. die Änderung der Erträge in der Landwirt- schaft oder die Änderung von Kosten in der Produktion.

4. *Empirische Ertrags- und Kostenwerte:* Die meisten dieser Inputs ba- sieren auf durchschnittlichen Werten der Vergangenheit, so z. B. für ha-Erträge oder landwirtschaftliche Kosten. Die Kosten der Konversion in Anlagen, die heute erst projiziert und in der Zu- kunft gebaut und erprobt werden, wurden durch sorgfältige Re- cherchen und Analysen von Anlagen-Planungen ermittelt.

Die Eingabe-Werte wurden zum Teil auf wenigen Seiten zusammenge- fasst und zum anderen so in die Berechnungsteile integriert, dass sie leicht im Kontext zu verstehen sind und ihre Änderung sofort verfolgt werden kann. Alle Werte in der Jahresspalte 2000 sind Ist-Werte, die dem Vergleich und der Plausibilitätsprüfung dienen.

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen die Art der Eingaben und Symbole.

**Steuerung**

**Landwirtsch. Produktion**

Anbau für Bioethanol  Zuckerrüben  Weizen  Roggen  Triticale  Körner-Mais  Kartoffel

**Bioethanol-Produktion**

Technik  Prämien  Ihre Anlagen  Mühle Anlagen  Aus Zuckerrübe:  Melasse  Dicksaft

**Bioethanol-Handel**

Preisbildung  Einzelte. Schrottpreise  Max. Schrottpreise  Auswahl über  Nicht aktiv  Import 20%  Export 5%

**Beimischung**

Simulationszeit **2000 2005 2010 2015 2020**

Bioethanol	>>	2,0%	5,8%	9,5%	13,3%
ETB		1,4%	1,4%	7,0%	7,0%
Max. Preis Bioethanol [EUR/m <sup>3</sup> ]	>>	500	500	500	500

**Basis**

Zuckerbasis		40%	40%	40%	40%
Weizenbasis		20%	10%	10%	10%
Roggen		15%	10%	10%	10%
Triticale		15%	20%	20%	20%
Körner-Mais		10%	20%	20%	20%
Kartoffel					
Gesamt		100%	100%	100%	100%

**Vergangenheit**

Hinweis zur Simulation  
 Verweis auf Nutzung der Daten (in Pfeilrichtung). Navigation durch Mausclick  
 Exogene Eingabe  
 Zur Navigation in die Modell-Seiten auf die gewünschten Teile klicken

Abb. 76: Eingabe-Werte zur Steuerung des Modells

Die „Schalttafel“ auf der ersten Seite erleichtert die übersichtliche Ein- gabe sehr wichtiger Steuergrößen und exogener Vorgaben. Die Eingaben können numerisch sein (z. B. „500“) oder durch Anklicken auf einen Kasten erfolgen.

In den Berechnungstabellen werden exogene Größen durch einen Stern gekennzeichnet, wie ihn die folgende Abbildung darstellt.

Die Tabellenwerte neben einem Stern können direkt eingegeben wer- den. Alle anderen Werte sind berechnet. Wenn Tabellenwerte von ande- ren Seiten übernommen oder dorthin weitergereicht werden, erfolgt eine Kennzeichnung mit Konnektoren: Pfeile, die nach innen zur Tabelle zei-

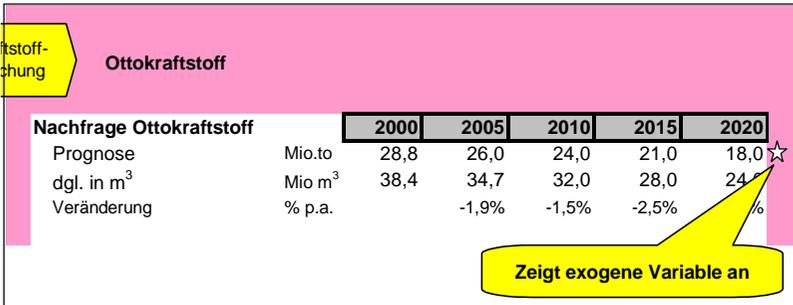


Abb. 77: Kennzeichnung exogener Größen im Modell

gen, bedeuten die Übernahme von Werten aus anderen Seiten. Pfeile nach außen die Weitergabe an andere Tabellen. Diese Pfeile fungieren gleichzeitig als Buttons: Ein Klick darauf führt zur betreffenden Tabelle. Die folgende Abbildung veranschaulicht die Konnektoren.

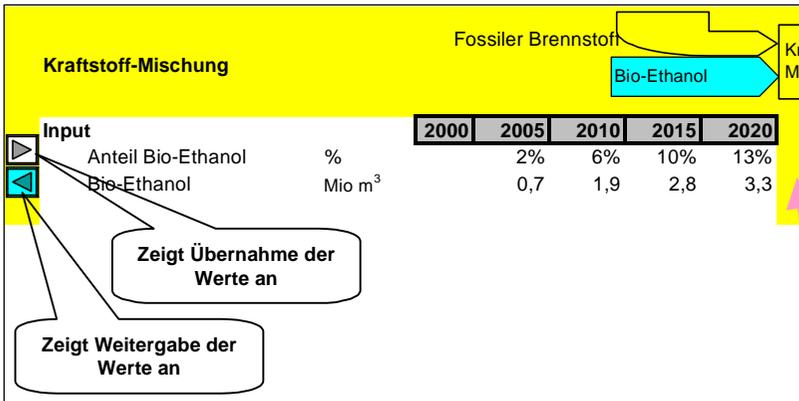


Abb. 78: Konnektoren

Dieses Beispiel veranschaulicht, dass auch exogene Eingabegrößen (z. B. der %-Anteil Bioethanol) aus anderen Seiten übernommen werden können.

### 7.3 Der Sektor Landwirtschaftliche Produktion

Der landwirtschaftliche Sektor bildet die Erzeugung der sechs Grundstoffe (Zuckerrübe, Weizen, Roggen, Triticale, Körner-Mais und Kartoffel) ab. Diese wurden als die wichtigsten Grundstoffe für die Bioethanol-Produktion ausgewählt. Es können aber leicht auch andere Feldfrüchte an die Stelle der jetzt vorgesehenen eingegeben werden, wenn entsprechende Daten vorliegen. Jeder Grundstoff kann einzeln mit einem Klick auf den Haken im Steuerungsteil auf Seite 1 von der Simulation ausgeschlossen werden. Die folgende Abbildung zeigt die Größen, die für jeden Grundstoff simuliert werden.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	<b>Landwirtschaftliche Produktion</b>									Landwirtschaftliche Produktion
3										
4	<b>Weizen</b>				<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	
5	Anbaufläche		1000 ha		2.972	2.376	2.163	1.955	1.803	
6	Max. Fläche		1000 ha		4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	★
7	Nutzungsanteil		%		74%	59%	54%	49%	45%	
8	Fläche für Bio-Ethanol		1000 ha			34	82	107	118	
9										
10	Erträge		to/ha		7,2	7,9	8,7	9,6	10,5	★
11	Ertragssteigerung		% p.a.			2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	★
12										
13	Erzeugung		Mio.to		21,4	18,8	18,8	18,7	19,0	
14										
15	Wirtschaftliche Situation									
16	Erwart. Erz.-Preise		EUR/to		118	95	95	98	100	◀
17	Preisindex		%		100%	81%	81%	83%	85%	
18	ha-Einnahmen		EUR/ha		850	752	828	939	1.054	
19	+ Prämie		EUR/ha		350	350	250	150		◀
20	- Kosten incl. Pacht		EUR/ha		900	850	800	775	750	★
21	= Deckungsbeitrag		EUR/ha		300	252	278	314	304	
22	Notwendiger DB		EUR/ha		300	300	300	300	300	★
23	Eff. DB über notw.		EUR/ha		<b>0</b>	<b>-48</b>	<b>-22</b>	14	4	
24										
25	Personaleinsatz		Std/ha		9	9	8	7	7	★
26	Beschäftigte		Pers		16.719	13.363	10.816	8.555	7.887	
27	Besch.-Effekt Bio-E.		Pers			193	410	466	515	
28										

Abb. 79: Darstellung landwirtschaftlicher Rohstoffe am Beispiel Weizen

Die Anbaufläche ergibt sich aus der erforderlichen Inlanderzeugung (berechnet im Handel) und den Hektarerträgen (Zeile 10). Für die Erträge wird eine jährliche Steigerung angenommen (Zeile 11), die sich auch in der Vergangenheit in dieser Höhe ergeben hat.

Die maximal zur Verfügung stehende Fläche (Zeile 6) beruht auf einer groben Experten-Schätzung. Sie ist kein limitierender Faktor. Sie wird für einen warnenden Indikator gebraucht: Wenn der Nutzungsanteil (Zeile 7) die 100 %-Marke überschreitet, werden die Zahlen als Warnung rot hinterlegt. Es ist dann zu beurteilen, ob die Flächen tatsächlich hinzugekommen werden können oder ob die Preise steigen werden, was zu einer Reduzierung der Nachfrage führt.

In Zeile 8 sind zur Information die Flächen ausgewiesen, die anteilig für die Erzeugung von Bioethanol angebaut werden.

In den Zeilen 9 und 10 werden die ha-Erträge bestimmt. Ausgehend von Zeitreihen-Analysen der Vergangenheit wurden für das Jahr 2000 ein Durchschnittswert und für die Zukunft zu erwartenden jährlichen Steigerungsraten ermittelt. Aus diesen Werten berechnen sich die Erträge [to/ha] der Simulationsperioden.

Aus angebaute Fläche und Ertragswerten ergibt sich (in Zeile 12) die tatsächliche Erzeugung in Mio.to p.a.

Ab Zeile 15 wird die wirtschaftliche Situation der Landwirtschaft für das betreffende Produkt dargestellt:

Zeile 16: In der Simulations-Variante I werden die erwarteten Erzeugerpreise angezeigt, die auf Experten-Schätzungen beruhen. In der Simulations-Variante II zeigt die Tabelle die maximalen Erzeugerpreise, die möglich sind, um den eingegebenen (vorgegebenen) Bioethanol-Preis zu erzielen.

Zeile 17: Der Preisindex errechnet sich in Prozent des Wertes im Jahr 2000.

Zeile 18: Die ha-Einnahmen [€/ha] errechnen sich aus den Erträgen und den Erzeugerpreisen. Nur beim Zuckerrüben-Anbau folgt auf diese Zeile eine zusätzliche, kalkulatorische Einnahme (in Zeile 19). Der Landwirt erhält getrocknete Zuckerschnitzel aus der Zuckerfabrik zurück, die als Futtermittel dienen und den Ankauf von Futtermitteln ersparen.

Zeile 19: Wenn eine landwirtschaftliche Prämie erwartet wird, so ist sie in Zeile 19 ausgewiesen. (Für den Zuckerrüben-Anbau verschieben sich die Zeilen um eine nach unten.)

Zeile 20: Die Kosten incl. Pacht enthalten alle Kosten eines Landwirtes entsprechend den Einschätzungen von Experten.

Zeile 21: Der Deckungsbeitrag wird errechnet aus den ha-Einnahmen zzgl. der Prämie und abzgl. der Kosten incl. Pacht. Dieser Deckungsbeitrag entspricht dem Unternehmer-Einkommen.

Zeile 22: Zielgröße für den Landwirten und als Grenzwert, unter dem ein Anbau des betreffenden landwirtschaftlichen Rohstoffs nicht wirtschaftlich sinnvoll ist, wird der notwendige Deckungsbeitrag (DB) ausgewiesen. Es handelt sich um eine Eingabegröße, die den nachfolgend beschriebenen Steuerungseffekt hat.

Zeile 23: Der „Effektive Deckungsbeitrag über dem notwendigen“ ergibt sich aus der Subtraktion: Ist-Deckungsbeitrag (Zeile 21) minus Zielgröße (Zeile 22). Wenn dieser Wert negativ (rot hinterlegt) ist, lohnt sich der Anbau der betreffenden Frucht nicht. Sie wird dann in der Simulation nicht berücksichtigt, wenn der Schalter „Mindest-Deckungsbeitrag“ aktiviert ist.

Die folgenden Zeilen dienen der Berechnung von Informationen zur Auswertung und Beurteilung der Simulation:

In Zeile 25 wird der Personal-Einsatz in durchschnittlichen Arbeitsstunden je ha als Eingabegröße angegeben. Daraus berechnet sich in Zeile 26 die Zahl der Beschäftigten auf der Basis der „normalen“ 1.600 Arbeitsstunden im Jahr. In Zeile 27 wird dargestellt, wie viele dieser Arbeitskräfte anteilig für die Herstellung von Bioethanol arbeiten.

## 7.4 Der Sektor Agrar-Handel

Der Agrar-Handel dient der Zusammenführung der Bedarfe für Bioethanol und für andere Verwendungszwecke sowie für die Berücksichtigung von Import und Export. Letzteres spielt bei der Zuckerrübe keine Rolle, weil sich die Rübe unter wirtschaftlichen Bedingungen nicht weit transportieren lässt.<sup>337</sup> Die folgende Abbildung veranschaulicht anhand des Weizens die Simulation des Agrar-Handels.

In Zeile 5 wird der Bedarf an Weizen für die Herstellung von Bioethanol aus dem Sektor „Bioethanol-Produktion“ übernommen. Die Zeile 6 weist die sonstige Inland-Verwendung und die Zeile 7 den Export des

---

<sup>337</sup> Der grenznahe Handel wird vernachlässigt. Dafür werden aber Import und Export von Zucker berücksichtigt.

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1										
2		<b>Agrar-Handel</b>								
3										
4		<b>Weizen</b>								
						<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
5		für Bioethanol	Mio.to						0,4	0,4
6		Sonst. Inland-Verw.	Mio.to	16,0	16,2	16,4	16,0	15,8	☆	
7		Export Eingabe	Mio.to	5,5	5,3	5,1	5,5	5,7	☆	
8		<input checked="" type="checkbox"/> berücksichtigt	Mio.to	5,5	5,3	5,1	5,5	5,7		
9		Bedarf ges.	Mio.to	21,5	21,5	21,5	21,9	21,9		
10		Bedarfsveränderung	% p.a.				0,4%	-0,1%		
11		Bioethanol-Anteil	%				1,9%	1,7%		
12		Import Eingabe	Mio.to	2,1	3,0	3,5	4,0	4,0	☆	
13		<input checked="" type="checkbox"/> berücksichtigt	Mio.to		3,0	3,5	4,0	4,0		
14		Inland-Erzeugung	Mio.to	21,4	18,5	18,0	17,9	17,9		
15		Inland Verfügbarkeit	Mio.to	23,5	21,5	21,5	21,9	21,9		
16		Überschuss	Mio.to	2,0						
17										
18		Import-Preis	EUR/to	125,0	130,0	130,0	133,0	135,0	☆	
19		Erwart. Erz.-Preise	EUR/to	118,0	95,0	95,0	100,0	100,0		
20		Durchschn. Preis	EUR/to	118,6	99,9	100,7	106,0	106,4		
21										

Abb. 80: Simulation des Agrarhandels

betreffenden Rohstoffs entsprechend der vorliegenden Expertenschätzungen aus. (Die Werte für 2000 sind Ist-Werte.)

Wenn in Zeile 8 der Haken gesetzt ist, wird der Export in der Simulation berücksichtigt und die Zeile mit den Eingabe-Werten (der Zeile 7) gefüllt. Andernfalls bleibt die Zeile leer und es erscheint die Angabe „Nicht berücksichtigt“.

In Zeile 9 werden die darüber liegenden Zeilen zum gesamten Bedarf aufaddiert. Nur informativ weist die Zeile 10 die jährliche Bedarfsveränderung und die Zeile 11 den Bioethanol-Anteil in Prozent aus.

In den Zeilen 12 und 13 wird der Import ebenso behandelt wie oben der Export.

In Zeile 14 wird aus dem gesamten Bedarf (Zeile 9) abzüglich dem Import (Zeile 13) die Inlanderzeugung berechnet. Diese Größe wird für die landwirtschaftliche Produktion zugrunde gelegt.

Zeile 15 weist informativ die Inland-Verfügbarkeit aus (Summe der Zeilen 13 und 14). Da in der Realität am Jahresende ein Überschuss

entstehen kann, wird dieser in Zeile 16 dargestellt. Die Simulation geht davon aus, dass derartige Überschüsse ausgeglichen werden.

In Zeile 20 wird aus dem Import-Preis und dem Erzeugerpreis ein gewichteter Durchschnitt berechnet, der den weiteren Simulationsrechnungen (auf Basis der erwarteten Erzeuger-Preise) zugrunde liegt. Wenn in Zeile 19 nicht der erwartete Erzeuger-Preis sondern der simulierte maximale Erzeuger-Preis ausgewiesen ist, so ist der Durchschnittspreis nur informativ. Der Import-Preis (Zeile 18) basiert auf eingegebenen Experten-Schätzungen.

## **7.5 Der Zucker-Sektor**

Der Zuckersektor bildet die Produktion von Zucker, Melasse und Dicksaft sowie deren Verwendungen ab. Die nachfolgende Tabelle beschreibt zunächst die Nachfrage nach Zucker und zuckerhaltige Produkte.

Der Inlandabsatz an Zucker (Zeile 5) beruht ebenso auf einer Expertenschätzung wie die eingegebenen Werte für den Zuckerexport (Zeile 6) und den Zuckerimport (Zeile 10). Wenn Export und Import jeweils berücksichtigt werden sollen (Haken im Kasten), dann werden die entsprechenden Werte für die Berechnung des gesamten Bedarfs (Zeile 8) und der Inland-Erzeugung (Zeile 12) herangezogen. Die Inland-Erzeugung ist der Ausgangswert für die Produktion (siehe unten). Die Inland-Verfügbarkeit an Zucker (Zeile 13) ist lediglich ein informativischer Hinweis.

Die Inland-Erzeugung an Zucker bestimmt die Verfügbarkeit von Melasse, die als Kuppelprodukt bei der Herstellung von Zucker anfällt. Die Melasse geht jedoch nicht ausschließlich in die Herstellung von Bioethanol ein. In Zeile 16 wird der prozentuale Anteil der Melasse angegeben, der für Brennereien (im Wettbewerb mit anderen Nachfragern) zur Verfügung stehen kann.

In den Zeilen 16 und 17 wird die Nachfrage nach Melasse und Dicksaft für die Herstellung von Bioethanol dargestellt. Die Werte werden vom Sektor Ethanol-Produktion übernommen und hier nur zum Verständnis wiedergegeben.

Entsprechendes gilt für die Preise von Melasse und Dicksaft (Zeilen 21 und 22), die entsprechend der Simulations-Steuerung entweder erwartete Preise auf der Basis der Herstellkosten oder maximale Preise sind, die bei

L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
<b>Nachfrage: Zucker und zuckerhaltige Produkte</b>									
<b>Nachfrage Zucker</b>									
				<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	
Inlandsabsatz		Mio.to		2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	☆
Export	Eingabe	Mio.to		1,9	1,9	2,9	3,9	4,9	☆
	<input checked="" type="checkbox"/>	berücksichtigt	Mio.to	1,9	1,9	2,9	3,9	4,9	
Bedarf ges.		Mio.to		4,7	4,7	5,7	6,7	7,7	
Bedarfsänderung		%				22%	18%	15%	
Import	Eingabe	Mio.to		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	☆
	<input checked="" type="checkbox"/>	berücksichtigt	Mio.to	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
Inland-Erzeugung		Mio.to		4,4	4,4	5,4	6,4	7,4	
Inland-Verfügbarkeit		Mio.to		4,7	4,7	5,7	6,7	7,7	
<b>Nachfrage für Bioethanol</b>									
Anteil verfügb. Melasse		%			30%	30%	30%	30%	☆
Melasse		Mio.to			0,26	0,32	0,38	0,44	◀
Dicksaft		Mio.to			0,18	0,13	0,82	0,65	◀
<b>Preise</b>									
Melasse	Erwart. Preis	EUR/to			80	80	80	80	◀
Dicksaft	Erwart. Preis	EUR/to			275	271	267	264	◀

Abb. 81: Nachfrage nach Zucker und zuckerhaltigen Produkten

vorgegebenen Bioethanol-Preisen vom Abnehmer akzeptiert werden können.

Die Produktion der Stoffe Zucker mit dem Kuppelprodukt Melasse sowie die Herstellung von Dicksaft werden in der folgenden Tabelle berechnet.

Im oberen Teil wird zusammengefasst, wie viel Input an Zuckerrüben für die Produktion gebraucht wird und zugleich die Anforderung an den Agrar-Handel darstellt: In Zeile 5 für die Zuckerproduktion, in Zeile 6 für den Dicksaft und in Zeile 7 die Summe. Der Preis der Zuckerrüben wird hier informatorisch in den beiden Alternativen erwarteter oder maximaler Preis gezeigt.

Die Berechnung der Rohstoffmengen erfolgt auf Basis der Ertrags-Koeffizienten: Der durchschnittliche Einsatz Rüben für Zucker (Zeile 14) multipliziert mit der Inland-Erzeugung Zucker (Zeile 11) ergibt den Rüben-Input für Zucker (Zeile 5). Entsprechend errechnet sich der

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2			<b>Zuckerproduktion aus</b>			<b>Zuckerrüben</b>	<b>Produktion: Zucker und Dicksaft</b>			
3										
4			<b>Zuckerrüben</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
5		◀	Input für Zucker	Mio.to		27,8	27,8	34,2	40,5	46,9
6		◀	Dicksaft	Mio.to						
7		◀	Zucker u. Dicksaft	Mio.to		27,8	27,8	34,2	40,5	46,9
8		▶	Max. Erzeugerpreise	EUR/to			12,7	13,6	14,4	15,2
9										
10			<b>Produktion Zucker</b>							
11			Zucker Inlanderzeug.	Mio.to		4,4	4,4	5,4	6,4	7,4
12			Melasse	Mio.to		0,9	0,9	1,1	1,3	1,5
13			Melasse-Anteil	%		20%	20%	20%	20%	20%
14			Einsatz Rüben f. Z.	to/to		6,37	6,37	6,37	6,37	6,37
15										
16			<b>Verkauf Melasse</b>							
17			für Brennereien	Mio.to			0,3	0,3	0,4	0,4
18			Max. Erz.-Preise	EUR/to			84	88	92	96
19			Min. Melassepreis	EUR/to			50	50	50	50
20			Preis-Spielraum	EUR/to			34	38	42	46
21			dgl. je ha	EUR/ha			70	86	102	120
22										
23			<b>Produktion Dicksaft (Werte auf Weißwert Zucker)</b>							
24			für Brennereien	Mio.to						
25			Einsatz Rüben	to/to		5,95	5,95	5,95	5,95	5,95
26										
27			Herstellkosten o.R.	EUR/to			113,1	113,1	113,1	113,1
28			Rohstoffkosten	EUR/to			75,4	80,8	85,9	90,5
29			- Erlöse Kuppelprod.	EUR/to			30,2	30,2	30,2	30,2
30	☆		20% Kalk. Gewinn	EUR/to			39,6	40,9	42,2	43,4
31			Max. Preis	EUR/to			197,9	204,7	211,0	216,8
32										
33			Notw. Rübenpreis	EUR/to			23,0	22,5	22,0	21,5
34			Soll-Preis - Ist-Preis	EUR/to			-10	-9	-8	-6
35										

Abb. 82: Herstellung von Zucker, Melasse und Dicksaft

Input für Dicksaft (Zeile 6) aus der Multiplikation des Einsatzes Rüben (Zeile 25) mit der Produktionsmenge Dicksaft (Zeile 24).

Die bei der Zuckerproduktion anfallende Melasse (Zeile 12) ergibt sich aus der Inlanderzeugung Zucker (Zeile 11) und dem prozentualen Anfall der Melasse als Kuppelprodukt (Zeile 13).

Der Verkauf der Melasse an die Brennereien in der hier angegebenen Höhe (Zeile 17) kann nur unter der Bedingung erfolgen, dass der Melasse-Preis (Zeile 18) über dem Grenzwert (Zeile 19) liegt, unter dem die Melasse nicht mehr angeboten wird. Der Preisspielraum (Zeile 20), der sich als Differenz zwischen dem Melasse-Preis (Zeile 18) und diesem Grenzwert (Zeile 19) ergibt, wird für die Simulation der Nachfrage-Entscheidung im Ethanol-Handel gebraucht. Zuvor muss der Wert jedoch mit Hilfe von Ertragszahlen in einen Preisspielraum je ha Rübenanbau umgerechnet werden (Zeile 21).

Der Teil „Produktion Dicksaft“ dient hauptsächlich der Kalkulation der Dicksaft-Preise (im Fall der Simulation mit erwarteten Rohstoffpreisen) oder der Kalkulation der maximal möglichen Rübenpreise (im Fall der Simulation mit vorgegebenen Bioethanol-Preisen und der Berechnung der maximal möglichen Rohstoffkosten).

Die Herstellkosten für Dicksaft (Zeile 27) und die Erlöse aus den Kuppelprodukten (Zeile 29) ergeben sich aus empirisch bekannten, technologischen Werten.

Die Rohstoffkosten je to Dicksaft (Zeile 28) ergeben sich im Simulationsfall I aus der Multiplikation der Rübenpreise (Zeile 8) mit dem spezifischen Einsatz (Zeile 25). Im Simulationsfall II werden die „maximalen Rohstoffkosten“ errechnet aus dem maximalen Dicksaftpreis (Zeile 31) und den übrigen Kosten bzw. Kuppelprodukterlösen und unter Berücksichtigung eines kalkulatorischen Gewinns (Zeile 30).

Der kalkulatorische Gewinn (Zeile 30) ermittelt sich aus einem einzugebenden, frei wählbaren Prozentsatz (B30) auf den Preis (Zeile 31).

Ebenso wie die Melasse nicht unter einem Grenzpreis gekauft werden kann, gibt es auch einen notwendigen Rübenpreis für Dicksaft (Zeile 33), unter dem die Belieferung der Produktion mit Rüben nicht mehr stattfindet, nämlich wenn die Max-(Soll)-Preis – Ist-Preis-Differenz negativ wird (Zeile 34 = Zeile 8 - Zeile 33), also der minimal notwendige Erlös in der Landwirtschaft nicht mehr gegeben ist. Dieser Grenzwert (Zeile 33) wird extern vorgegeben und entspricht etwa dem von Experten erwarteten Rohstoffpreis.

## 7.6 Der Sektor Bioethanol Nachfrage und Produktion

Die Berechnungen in diesem Sektor erfolgen in gleicher Weise für die Produktion von Ethanol aus Melasse, Dicksaft, Weizen, Roggen, Triticale, Mais, Kartoffeln oder welche Rohstoffe auch immer anstelle dieser eingesetzt werden.

Der eine Teil der Tabelle übernimmt Daten der Nachfrage und berechnet einige Prozentsätze. Der andere Teil bildet die Produktion mit ihrer alternativen Technologie ab, um auf der Basis der Kosten die Preise zu ermitteln.

Die folgende Abbildung veranschaulicht zunächst die Nachfrage-Seite.

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	<b>Bioethanol-Nachfrage</b>								
2									
3									
4	<b>Bioethanol aus</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	
5	Melasse	Mio.m <sup>3</sup>		0,08	0,10	0,11	0,13		◀
6	Marktanteil	%		13,2%	6,0%	4,9%	4,7%		
7									
8	Bedarf gesamt	Mio.m <sup>3</sup>		0,6	1,6	2,3	2,8		◀
9	Bedarfssteigg	% p.a.			34%	9%	4%		
10									
11	Kalk. Preis	EUR/m <sup>3</sup>		471	457	443	431		▶
12	Umsatz	Mio.EUR		37	44	51	57		
13									

Abb. 83: Bioethanol-Nachfrage

Die Zeile 5 zeigt, wie viel Bioethanol aus dem jeweiligen Rohstoff (hier im Beispiel Melasse) nachgefragt wird. Die Werte werden aus dem Bioethanol-Handel übernommen.

In Zeile 6 ist der Marktanteil erkennbar, der sich aus dem Quotienten Nachfrage (Zeile 5) zu Bedarf gesamt (Zeile 8) ergibt. Zur Plausibilitätsprüfung wird in Zeile 9 die jährliche Bedarfssteigerung dargestellt.

In Zeile 11 werden die Preise ausgewiesen. Sie ergeben sich im Simulationsfall I als kalkulierter Preis und im Simulationsfall II als Vorgabe-Preis für Bioethanol.

Der Umsatz wird in Zeile 12 nur informativ dargestellt.

Die folgende Abbildung zeigt die Produktion mit ihrer Technologie und Kalkulation.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		<b>Produktion Bioethanol aus</b>			<b>Melasse</b>		<b>Bio-Ethanol Produktion</b>			
3										
4		<b>Melasse</b>				<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
5	◀	Input		Mio.to		0,3	0,3	0,4	0,4	
6	▶	Erwartete Erzeugerpreise		EUR/to		80,0	80,0	80,0	80,0	
7										
8		<b>Brennereien</b>								
9		Technologie								
10		<input type="radio"/>	Kleine Anlagen	1000 m <sup>3</sup>	20	20	20	20	20	★
11		<input type="radio"/>	Mittlere Anlagen	1000 m <sup>3</sup>	60	60	60	60	60	★
12		<input checked="" type="radio"/>	Große Anlagen	1000 m <sup>3</sup>	120	120	120	120	120	★
13			Einsatz Rohstoff	to/m <sup>3</sup>	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	★
14			Kuppelprodukte	to/m <sup>3</sup> Eth	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	★
15			Erlös Kuppelprod.	EUR/to	25	23	23	22	22	★
16										
17			Anlagen Bedarf	Anz		0,7	0,8	1,0	1,1	
18			Personalbedarf	Pers.		20	24	29	33	◀
19										
20		Konversionskosten Bioethanol ohne Rohstoffkosten								
21			Kleine Anlagen	EUR/m <sup>3</sup>	320	296	274	253	234	★
22			Mittlere Anlagen	EUR/m <sup>3</sup>	222	205	190	176	163	★
23		→	Große Anlagen	EUR/m <sup>3</sup>	200	185	171	158	146	★
24			Jährl. Kostenredukt.	%		1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	★
25										
26		Kalkulation								
27			Konversionskosten	EUR/m <sup>3</sup>	200,0	185,0	171,1	158,3	146,4	
28			Rohstoffkosten	EUR/m <sup>3</sup>		268,0	268,0	268,0	268,0	
29			- Erlöse Kuppelprod.	EUR/m <sup>3</sup>	35,0	27,8	27,2	26,6	26,0	
30	★		10% Kalk. Gewinn	EUR/m <sup>3</sup>		47,2	45,8	44,4	43,2	
31			Kalk. Preis	EUR/m <sup>3</sup>		472,4	457,7	444,1	431,6	
32										

Abb. 84: Produktion Bioethanol mit verschiedenen Anlagengrößen

Der benötigte Rohstoff-Input (Zeile 5) ergibt sich aus der Multiplikation des Bedarfs (vorhergehendes Bild Zeile 5, Spalte P ff) mit dem Einsatzfaktor (Zeile 13).

In Zeile 6 werden die Preise informativ dargestellt (entweder als erwartete Erzeugerpreise (Fall I) oder als von oben nach unten gerechnete maximale Rohstoffpreise (Fall II)).

Für die Brennereien werden drei alternative Technologien i. S. von Anlagengrößen abgebildet, die bei der Simulationssteuerung durch Anklicken auszuwählen sind. Die Anlagengrößen, die dahinter stehenden Technologien und ihre Kosten wurden für diesen Modellteil intensiv von Fachleuten ausgelotet und verdichtet. Daraus folgen die Eingabewerte für:

- Zeilen 10-12: Anlagengrößen in 1000 m<sup>3</sup> p.a.
- Zeile 13: Einsatz Rohstoff in to pro m<sup>3</sup> Ethanol
- Zeile 14: Anfall veräußerbare Kuppelprodukte in to pro m<sup>3</sup> Ethanol
- Zeile 15: Erlöse für Kuppelprodukte in € je to Kuppelprodukt
- Zeile 21-23: Konversionskosten Bioethanol ohne Rohstoffkosten für alternative Anlagengrößen
- Zeile 24: Jährliche, erwartete Kostenreduktion aufgrund des technischen Fortschritts

Auf der Basis dieser Eingabegrößen lassen sich die folgenden Größen berechnen:

- Zeile 17: Bedarf an Anlagen der gewählten Größe. Dies ist nur eine informatorische Größe, die keinen begrenzenden Effekt hat.
- Zeile 18: Der Beschäftigungseffekt, der bei großen Anlagen bei 30 Personen, bei mittleren Anlagen bei 26 und bei kleinen bei 18 Personen liegt. (Die Annahmen für die Beschäftigung je Anlage werden in einer gesonderten Eingabe-Seite eingegeben)
- Zeile 27: Konversionskosten ohne Rohstoffkosten für die ausgewählte Anlagengröße
- Zeile 28: Rohstoffkosten auf der Basis der Einkaufspreise oder auf der Basis der Maximal-Preise, die im Einkauf bezahlt werden können.
- Zeile 29: Erlöse der Kuppelprodukte
- Zeile 30: Kalkulatorischer Gewinn, der sich aus einem gewählten, eingegebenen Prozentsatz bezogen auf den Gesamtpreis ergibt.
- Zeile 31: Der kalkulatorische Preis ergibt sich entweder aus der Addition der Kosten, abzgl. der Kuppelprodukt-Erlöse und einschließlich kalkulatorischem Gewinn, oder als vorgegebener Maximal-Preis für Bioethanol.

## 7.7 Der Sektor Bioethanol-Handel

Der Sektor Bioethanol-Handel besteht aus einem Teil Ethanol-Nachfrage, einem Teil Bestimmung des Bezugs und einem Teil Nachweis der Preise und Umsätze sowie eines Durchschnittspreises.

Die Ethanol-Nachfrage wird in einer Tabelle abgebildet, die ähnlich wie die anderen Nachfrage-Darstellungen aufgebaut ist. Die folgende Abbildung zeigt die Struktur.

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
5										
6			<b>Nachfrage Ethanol</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
7	Für	Bioethanol		Mio m <sup>3</sup>		0,70	1,88	2,75	3,34	◀
8		Traditionelle Märkte		Mio m <sup>3</sup>	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	☆
9	Inland	gesamt		Mio m <sup>3</sup>	0,35	1,05	2,23	3,10	3,69	
10		Bioethanol-Anteil		%		67%	84%	89%	91%	
11	Export	<input checked="" type="checkbox"/>	5%	Mio m <sup>3</sup>		0,05	0,11	0,16	0,18	☆
12	Gesamt	Nachfrage		Mio m <sup>3</sup>	0,35	1,10	2,34	3,26	3,87	
13	Import	<input checked="" type="checkbox"/>	20%	Mio m <sup>3</sup>	0,06	0,21	0,45	0,62	0,74	☆
14	Inlanderzeugung			Mio m <sup>3</sup>	0,29	0,89	1,89	2,64	3,13	
15		Veränderung p.a.		% p.a.		41%	23%	8%	4%	
16										
17			<b>Bioethanol</b>							
18		<b>Inlanderzeugung</b>		Mio m <sup>3</sup>		0,59	1,60	2,34	2,83	
19										

Abb. 85: Nachfrage Ethanol

Dieser Teil hat die Aufgabe, die Inlanderzeugung zu bestimmen und dabei unterschiedliche Verwendungszwecke sowie Import und Export zu berücksichtigen.

In Zeile 7 wird die Nachfrage nach Bioethanol aus dem Kraftstoffsektor übernommen. Der Bedarf an Ethanol für andere, traditionelle Märkte wird entsprechend den Experten-Einschätzungen hinzugefügt (Zeile 8), woraus sich die gesamte Nachfrage nach agrarischem Ethanol (Zeile 9) ergibt. In Zeile 10 wird der Anteil Bioethanol am gesamten agrarischen Ethanol in Prozent ausgewiesen.

In Zeile 11 lässt sich wahlweise der Export simulieren, wobei der Prozentsatz als wichtige Simulations-Steuergröße im „Steuerpult des Modells“ in der Übersichtsseite eingegeben wird. Aus Inlandsnachfrage und Export ergibt sich die gesamte Nachfrage (Zeile 12). In Zeile 13 wird auf analoge Weise der Import simuliert. Aus der Subtraktion des Importvolumens von der gesamten Nachfrage ergibt sich die Inlanderzeugung

an agrarischem Ethanol (Zeile 14) und ihre prozentuale, jährliche Veränderung in Zeile 15.

Für die Simulation ist die Inlanderzeugung des Bioethanols von besonderer Bedeutung. Sie ergibt sich in Zeile 18 aus der Multiplikation des inländischen Bioethanol-Anteils am agrarischen Ethanolbedarf (Zeile 10) mit der Inlanderzeugung (Zeile 14). Diese Größe ist Ausgangspunkt für den Bezug von Bioethanol aus verschiedenen landwirtschaftlichen Rohstoffen.

Die Auswahl des Bezugs kann auf verschiedene Weise simuliert werden, um auf diese Weise den Markt ersatzweise abzubilden:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>Bioethanol-Handel</b>			Preisbildung:			Auswahl nach:		
2				Erwartete Rohstoffpreise ▲			Marktpreis ▲		
3				Max. Rohstoffpreise ▼			Rohstoffmix in % ▼		
4				<input checked="" type="checkbox"/> Mindest-Deckungsbeitrag					

Abb. 86: Simulationssteuerung I und II

Entsprechend den bereits beschriebenen Varianten der Simulationssteuerung I und II kann das Modell entweder die erwarteten, hochgerechneten Rohstoffpreise oder einen Maximal-Preis als Vorgabe berücksichtigen.

Für beide Varianten lässt sich wählen, ob a) der Marktpreis für die Lieferanten-Auswahl herangezogen wird, oder ob b) die Simulation mit einem vorgegebenen Verteilungsschlüssel („Rohstoffmix in %“) für die Marktanteile rechnen soll. Im Fall b) kann der Mindest-Deckungsbeitrag in der Landwirtschaft (respektive der Mindestpreis für Melasse oder Dicksaft) als zu erfüllende Forderung eingeschaltet werden.<sup>338</sup>

Fall Ia): Die folgende Abbildung zeigt als Erstes die Tabellen-Darstellung bei der Berechnung auf Basis erwarteter Rohstoffpreise und der Entscheidung über den Marktpreis.

Der Bezug von Bioethanol (Zeilen 7-14) erfolgt auf der Basis des Preis-Ranges (Zeilen 26-32). Der Preis-Rang gibt die Rangfolge der Günstigkeit der Bioethanol-Preise an, die in den Zeilen 17-23 dargestellt sind.

Die Entscheidung folgt nach einer Steuer-Tabelle, die angibt, welchen Marktanteil der günstigste Anbieter, welchen der zweitgünstigste etc. erlangen wird. Diese Tabelle wird auf einer speziellen Eingabe-Seite bestimmt (s. Abb. 88).

<sup>338</sup> Siehe die Beschreibungen für die Sektoren Landwirtschaft und Zucker.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1			Preisbildung:			Auswahl nach:					
2	<b>Bioethanol-Handel</b>		Erwartete Rohstoffpreise			Marktpreis					
3				Max. Rohstoffpreise			Rohstoffmix in %				
4	<input checked="" type="checkbox"/> Nicht aktiv										
5											
6	<b>Bezug Bioethanol Inland</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>			
7	▲	aus Melasse	Mio m <sup>3</sup>		0,06	0,10	0,11	0,13			
8	▲	Dicksaft	Mio m <sup>3</sup>			0,06	0,35	0,15			
9	▲	Weizen	Mio m <sup>3</sup>		0,12	0,32	0,23	0,57			
10	▲	Roggen	Mio m <sup>3</sup>								
11	▲	Triticale	Mio m <sup>3</sup>		0,24	0,64	0,94	1,13			
12	▲	Körner-Mais	Mio m <sup>3</sup>		0,18	0,48	0,70	0,85			
13	▲	Kartoffel	Mio m <sup>3</sup>								
14	GESAMT			Mio m <sup>3</sup>		0,59	1,60	2,34	2,84		
15											
16	<b>Preis Bioethanol</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>			
17	▶	aus Melasse	EUR/m3		471	457	443	431			
18	▶	Dicksaft	EUR/m3		631	613	596	580			
19	▶	Weizen	EUR/m3		470	453	446	430			
20	▶	Roggen	EUR/m3		489	499	473	456			
21	▶	Triticale	EUR/m3		430	409	395	384			
22	▶	Körner-Mais	EUR/m3		464	442	424	408			
23	▶	Kartoffel	EUR/m3		1.056	1.030	1.005	983			
24											
25	<b>Preis-Rang</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>			
26		Melasse	Rang		4	4	3	4			
27		Dicksaft	Rang		6	6	6	6			
28		Weizen	Rang		3	3	4	3			
29		Roggen	Rang		5	5	5	5			
30		Triticale	Rang		1	1	1	1			
31		Körner-Mais	Rang		2	2	2	2			
32		Kartoffel	Rang		7	7	7	7			
33											
34	<b>Marktanteil Rohstoffe</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>			
35		Melasse	Mio.hl		10,0%	6,0%	4,9%	4,7%			
36		Dicksaft	Mio.hl			4,0%	15,1%	5,3%			
37		Weizen	Mio.hl		20,0%	20,0%	10,0%	20,0%			
38		Roggen	Mio.hl								
39		Triticale	Mio.hl		40,0%	40,0%	40,0%	40,0%			
40		Körner-Mais	Mio.hl		30,0%	30,0%	30,0%	30,0%			
41		Kartoffel	Mio.hl								
42	Gesamt			Mio.hl		100%	100%	100%	100%		
43											

Abb. 87: Bioethanol-Handel auf Basis erwarteter Rohstoffpreise

Eingabe für Berechnung der Auftragsvergabe nach Marktpreis					
Markt-Anteil	2000	2005	2010	2015	2020
Anbieter mit günstigstem Preis	Vergangenheit	40%	40%	40%	40%
Anbieter mit 2.-günstigstem Preis		30%	30%	30%	30%
Anbieter mit 3.-günstigstem Preis		20%	20%	20%	20%
Anbieter mit 4.-günstigstem Preis		10%	10%	10%	10%
Anbieter mit 5.-günstigstem Preis					
Anbieter mit 6.-günstigstem Preis					
Anbieter mit 7.-günstigstem Preis					
Gesamt (100% !)		100%	100%	100%	100%

Abb. 88: Steuertabelle für die Berechnung der Auftragsvergabe nach Marktpreis

Folgt man den Berechnungen, wird eine Besonderheit erkennbar. Wenn z. B. im Jahr 2010 die Melasse auf Platz 4 in der Preis-Rangliste steht, müsste sie laut der letzten Tabelle einen Marktanteil von 10 % erreichen. Dies ist aber laut Zeile 35 der vorstehenden Tabelle nicht der Fall. Die begrenzte Verfügbarkeit von Melasse erlaubt nur eine Produktion von 0,10 Mio.m<sup>3</sup>, was einem Marktanteil von 6 % entspricht. Die fehlenden 4 % vergibt das Modell an den zuckerhaltigen Dicksaft. Dabei ist zu beachten, dass dieser Mechanismus nicht funktionieren kann, wenn ausdrücklich die Produktion von Bioethanol aus Dicksaft ausgeschlossen wird, in dem z.B. auf der Steuerseite der Haken bei Dicksaft entfernt wird. In diesem Fall können geplante Teilmengen des Bedarfs nicht produziert werden. Dies wird durch Warnhinweise (rot hinterlegte Zahlen) in der Tabelle Alkohol-Handel und in der Simulationsübersicht angezeigt.

Fall IIa): Wenn anstelle der erwarteten Rohstoffpreise ein vorgegebener Bioethanol-Preis simuliert wird, kann die Auswahl nicht in der gleichen Weise erfolgen. In diesem Fall nimmt das Modell an, dass derjenige Rohstoff/Anbieter der günstigste ist, der mit der größten Flexibilität auf dem Markt auftreten kann. Die Flexibilität drückt sich im Deckungsbeitrag in der Landwirtschaft, bzw. im Rüben-/Melassepreis bei der Zuckerbasis aus. Je höher der Deckungsbeitrag über dem minimal erforderlichen liegt, desto günstiger kann angeboten werden.

In der folgenden Tabelle wird deshalb nicht der Bioethanol-Marktpreis dargestellt, sondern der (negative) Deckungsbeitrag als relativer „Preis-Spielraum“ (Zeile 17-23). Er wird hier negativ dargestellt, weil dann der günstigste Anbieter den kleinsten Wert hat, was zu der besten Preis-Rangfolge-Position führt Zeile 25-32).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		<b>Bioethanol-Handel</b>		Preisbildung:			Auswahl nach:			
3				Erwartete Rohstoffpreise ▲			Marktpreis ▲			
4				Max. Rohstoffpreise ▼			Rohstoffmix in % ▼			
5										<input checked="" type="checkbox"/> Nicht aktiv
6			<b>Bezug Bioethanol Inland</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
7	◀	aus	Melasse	Mio m <sup>3</sup>			0,06	0,10	0,11	0,13
8	◀		Dicksaft	Mio m <sup>3</sup>				0,06	0,12	0,15
9	◀		Weizen	Mio m <sup>3</sup>			0,24	0,64	0,70	1,13
10	◀		Roggen	Mio m <sup>3</sup>						
11	◀		Triticale	Mio m <sup>3</sup>			0,12	0,32	0,47	0,57
12	◀		Körner-Mais	Mio m <sup>3</sup>			0,18	0,48	0,94	0,85
13	◀		Kartoffel	Mio m <sup>3</sup>						
14			GESAMT	Mio m <sup>3</sup>			0,59	1,60	2,34	2,84
15										
16			<b>Rel. Preis-Spielraum (neg.)</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
17	▶	aus	Melasse	EUR/ha			-70	-86	-102	-120
18	▶		Dicksaft	EUR/ha			377	339	290	281
19	▶		Weizen	EUR/ha			-123	-248	-367	-457
20	▶		Roggen	EUR/ha			129	115	124	160
21	▶		Triticale	EUR/ha			-119	-118	-144	-124
22	▶		Körner-Mais	EUR/ha			-122	-203	-389	-431
23	▶		Kartoffel	EUR/ha			756	700	636	613
24										
25			<b>Preis-Rang</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
26			Melasse	Rang			4	4	4	4
27			Dicksaft	Rang			6	6	6	6
28			Weizen	Rang			1	1	2	1
29			Roggen	Rang			5	5	5	5
30			Triticale	Rang			3	3	3	3
31			Körner-Mais	Rang			2	2	1	2
32			Kartoffel	Rang			7	7	7	7
33										
34			<b>Marktanteil Rohstoffe</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
35			Melasse	Mio.hl			10,0%	6,0%	4,9%	4,7%
36			Dicksaft	Mio.hl				4,0%	5,1%	5,3%
37			Weizen	Mio.hl			40,0%	40,0%	30,0%	40,0%
38			Roggen	Mio.hl						
39			Triticale	Mio.hl			20,0%	20,0%	20,0%	20,0%
40			Körner-Mais	Mio.hl			30,0%	30,0%	40,0%	30,0%
41			Kartoffel	Mio.hl						
42			Gesamt	Mio.hl			100%	100%	100%	100%
43										

Abb. 89: Bioethanol-Handel

Fall Ib) und IIb): Wenn ein fester Rohstoffmix in Prozent vorgegeben wird, findet keine Auswahl über den Preis statt, weshalb die Varianten I und II gleich behandelt werden. Die folgende Tabelle zeigt die Eingaben im Steuerpult auf der Übersichtsseite: Der prozentuale Anteil der Rohstoffe wird vorgegeben.

Bioethanol-Handel		Beimischung		Simulationszeit				
Preisbildung				2000	2005	2010	2015	2020
Erwartete Rohstoffpreise ▲ Max. Rohstoffpreise ▼		Bioethanol ▲ ETBE Bioethanol + ETBE ▼		-->	2,0%	5,8%	9,5%	13,3%
Auswahl über Marktpreis ▲ Rohstoffmix in % ▼		Max. Preis Bioethanol [EUR/m <sup>3</sup> ]			500	500	500	500
<input type="checkbox"/> Mindest-Deckungsbeitrag <input checked="" type="checkbox"/> Import 20% <input checked="" type="checkbox"/> Export 5%				<b>Anteil</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
tausclick				Zuckerbasis	40%	40%	40%	40%
n				Weizen	20%	10%	10%	10%
				Roggen	15%	10%	10%	10%
				Triticale	15%	20%	20%	20%
				Körner-Mais	10%	20%	20%	20%
				Kartoffel				
				Gesamt	100%	100%	100%	100%

Abb. 90: Eingaben und Steuerung bei vorgegebenem Rohstoffmix

Da diese Simulation zu wirtschaftlich wenig wahrscheinlichen Lösungen führen kann, weil z. B. Landwirte ohne ausreichenden Deckungsbeitrag nicht produzieren werden, empfiehlt sich eine Variante, bei der zusätzlich die Forderung „Mindest-Deckungsbeitrag“ eingeschaltet wird.

Das Ergebnis einer solchen Simulation kann in folgender Weise aussehen (Abb. 91):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1			Preisbildung:			Auswahl nach:				
2	<b>Bioethanol-Handel</b>		Erwartete Rohstoffpreise ▲			Marktpreis ▲				
3				Max. Rohstoffpreise ▼			Rohstoffmix in % ▼			
4	<input checked="" type="checkbox"/> Mindest-Deckungsbeitrag									
5										
6	<b>Bezug Bioethanol Inland</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>		
7	▲	aus Melasse	Mio m <sup>3</sup>		0,08	0,10	0,11	0,13		
8	▲	Dicksaft	Mio m <sup>3</sup>							
9	▲	Weizen	Mio m <sup>3</sup>		0,26	0,32	0,47	0,57		
10	▲	Roggen	Mio m <sup>3</sup>							
11	▲	Triticale	Mio m <sup>3</sup>		0,20	0,64	0,94	1,13		
12	▲	Körner-Mais	Mio m <sup>3</sup>		0,13	0,64	0,94	1,13		
13	▲	Kartoffel	Mio m <sup>3</sup>							
14		GESAMT	Mio m <sup>3</sup>		0,67	1,69	2,45	2,97		
15										
16	<b>Preis Bioethanol</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>		
17	▲	aus Melasse	EUR/m3		500	500	500	500		
18	▲	Dicksaft	EUR/m3		500	500	500	500		
19	▲	Weizen	EUR/m3		500	500	500	500		
20	▲	Roggen	EUR/m3		500	500	500	500		
21	▲	Triticale	EUR/m3		500	500	500	500		
22	▲	Körner-Mais	EUR/m3		500	500	500	500		
23	▲	Kartoffel	EUR/m3		500	500	500	500		
24										
25	<b>Preis-Info</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>		
26		Melasse	Rang		1	1	1	1		
27		Dicksaft	Rang		1	1	1	1		
28		Weizen	Rang		1	1	1	1		
29		Roggen	Rang		1	1	1	1		
30		Triticale	Rang		1	1	1	1		
31		Körner-Mais	Rang		1	1	1	1		
32		Kartoffel	Rang		1	1	1	1		
33										
34	<b>Marktanteil Rohstoffe</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>		
35		Melasse	Mio.hl		11,6%	5,7%	4,6%	4,4%		
36		Dicksaft	Mio.hl							
37		Weizen	Mio.hl		39,3%	18,9%	19,1%	19,1%		
38		Roggen	Mio.hl							
39		Triticale	Mio.hl		29,4%	37,7%	38,1%	38,2%		
40		Körner-Mais	Mio.hl		19,6%	37,7%	38,1%	38,2%		
41		Kartoffel	Mio.hl							
42		Gesamt	Mio.hl		100%	100%	100%	100%		
43										

Abb. 91: Simulation mit Rohstoffmix und Berücksichtigung eines Mindest-Deckungsbeitrages

Obwohl eine andere Verteilung der Marktanteile eingegeben war, hat das Modell bei dieser Steuerung diejenigen Rohstoffe unberücksichtigt gelassen, die die Deckungsbeitrags-Mindestanforderungen nicht erfüllen. Das Ergebnis der Aufteilung des Bezugs auf die verschiedenen Rohstoffe schlägt sich in folgendem Tabellen-Ausschnitt nieder:

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
16											
17	<b>Bioethanol</b>										
18	<b>Inlanderzeugung</b>			Mio m <sup>3</sup>			0,59	1,60	2,34	2,83	
19											
20	<b>Umsatz</b>	Melasse		MioEUR		28	44	51	57		
21		Dicksaft		MioEUR			39	211	88		
22		Weizen		MioEUR		56	144	104	244		
23		Roggen		MioEUR							
24		Triticale		MioEUR		102	261	369	435		
25		Körner-Mais		MioEUR		83	212	298	347		
26		Kartoffel		MioEUR							
27		<b>GESAMT</b>		MioEUR		268	701	1.033	1.170		
28											
29	<b>Preis</b>	Vorgabe		EUR/m <sup>3</sup>		500	500	500	500	◀	
30		Auf Kostenbasis		EUR/m <sup>3</sup>		452	439	442	413		
31		Auswahl für Rechng		EUR/m <sup>3</sup>		452	439	442	413	▶	
32											

Abb. 92: Berechnung der Umsätze und Durchschnittspreise

In den Zeilen 20 bis 26 stehen die Bioethanol-Umsätze (Mengen mal Preise) der einzelnen Rohstoff-Herkünfte zusammen mit der Summe in Zeile 27. Daraus lässt sich der Durchschnittspreis auf Kostenbasis (Zeile 30) als Quotient aus Umsatz (Zeile 27) und Menge (Zeile 18) ermitteln. Diese Berechnung erübrigt sich, wenn in Variante II der Preis vorgegeben wird (Zeile 29).

In Zeile 31 wird ausgewiesen, welcher Preis in die weitere Berechnung im Kraftstoffsektor eingeht.

## 7.8 Der Kraftstoff-Sektor

Der Kraftstoff-Sektor bildet den Verbrauch an Ottokraftstoff sowie die Herstellung und Beimischung in Mengen und Preisen ab. Das Modell kann so wichtige Alternativen simulieren wie die Beimengung von Bioethanol und/oder ETBE in beliebigen Mischungsverhältnissen.

Die Berechnungen beginnen – wie in jedem Sektor – mit dem Verbraucher. Der folgende Tabellen-Ausschnitt stellt den Verbrauch in verschiedenen Varianten dar.

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
6	<b>Nachfrage Ottokraftstoff</b>				<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	
7	Prognose		Mio.to	28,8	26,0	24,0	21,0	18,0	☆	
8	dgl. in m <sup>3</sup>		Mio m <sup>3</sup>	38,4	34,7	32,0	28,0	24,0		
9	Veränderung		% p.a.		-1,9%	-1,5%	-2,5%	-2,9%		
10										
11	<b>Beimischung Bioethanol und ETBE</b>									
12	Die unterschiedlichen Heizwerte werden berücksichtigt:									
13	Im tatsächlichen Verhältnis der Heizwerte									
14	Im Heizwert-Verhältnis 1:1									
14	In folgendem Verhältnis der Heizwerte: Benzin : Ethanol/ETBE = 1 : ...									
14	0,80									
15	Fossiler Anteil		Mio m <sup>3</sup>	34,21	30,78	26,22	21,84			
16	Bioethanol		Mio m <sup>3</sup>	0,70	1,88	2,75	3,34			
17	ETBE		Mio m <sup>3</sup>	0,49	0,46	2,03	1,76			
18	Verkaufter Kraftstoff		Mio m <sup>3</sup>	34,91	32,66	28,97	25,17			
19	Mehrbedarf Kraftstoff		%		0,71%	2,06%	3,45%	4,88%		
20										

Abb. 93: Verbrauch Ottokraftstoff mit Beimengungen

Ausgangspunkt aller Berechnungen ist die prognostizierte Nachfrage nach Ottokraftstoff (Zeile 7). Sie liegt üblicherweise in Mio. to vor und muss für die weitere Behandlung in Mio. m<sup>3</sup> umgerechnet werden (Zeile 8). Zur Information wird in Zeile 9 die jährliche Veränderung gezeigt.

Ab Zeile 11 variiert das Modell je nach dem, ob nur Bioethanol oder nur ETBE oder beides dem Ottokraftstoff beigemischt werden soll. Die gewünschten prozentualen Anteile werden vom Steuerpult der Simulation in der Übersichtsseite übernommen.

Da die unteren Heizwerte (Hu) der beigemischten Stoffe sehr von dem des fossilen Benzins abweichen, ist es von erheblicher Bedeutung, welchen Heizwert der Liter gemischter Kraftstoff besitzt. Die folgende Tabelle veranschaulicht die Unterschiede.

Da gegenwärtig seitens der Kraftstoffindustrie keine eindeutige Stellungnahme zu den Heizwerten der Mischprodukte auf Basis verlässlicher Untersuchungen zu erhalten ist, wurde im Modell die Möglichkeit eingebaut, Sensitivitätsanalysen mit alternativen Annahmen zu berechnen.

Heizwert (Hu)	MJ/kg	MJ/l	kg/l
Benzin	43,30	32,48	0,750
Bioethanol	26,87	21,20	0,789
ETBE	36,39	27,00	0,742
MTBE	35,27	26,10	0,740

Abb. 94: Heizwerte von Benzin, Bioethanol, ETBE und MTBE

Diese werden in den Zeilen 13 und 14 ausgewählt. Es lassen sich berücksichtigen:

- a) die betreffenden Heizwerte (lineares Mischungsverhältnis),
- b) ein Verhältnis von 1 : 1 (keine Berücksichtigung der unterschiedlichen Heizwerte), oder
- c) ein frei zu wählendes Verhältnis der Heizwerte (Tabellenfeld T14), das sich z.B. aus neueren Untersuchungen ergeben könnte.

Wenn die Heizwerte als unterschiedlich anzunehmen sind, hat das erheblichen Einfluss auf die Menge des Benzinverbrauchs. Denn die Heizwerte von Bioethanol und ETBE betragen etwa nur 2/3 des Heizwertes von fossilem Benzin. Wenn die Kraftstoff-Verbrauchsprognose von einer zu erwartenden km-Leistung der Kraftfahrer ausgeht, dann müssen die Verbraucher für diese Fahrleistung bei gemischtem Kraftstoff entsprechend mehr Benzin tanken.

Dieser Mehrverbrauch ist einerseits in der Produktion zu berücksichtigen, und andererseits wirkt er sich bei den Ausgaben der Verbraucher negativ und bei den Einnahmen des Staates positiv aus.

Die Zeilen 15 bis 18 dienen der Berechnung der benötigten Stoffmengen entsprechend der gewählten Bedingungen. Aus Zeile 19 ist direkt zu entnehmen, um wie viele Prozent das Kraftstoffvolumen zu erhöhen ist, um die ursprüngliche Leistung zu erreichen.

Die Kraftstoffmischung mit den daraus resultierenden Kosten wird in folgendem Tabellen-Teil abgebildet.

Die Anteile gewünschtes Bioethanol und ETBE (Zeilen 7 und 8) werden von den Eingaben im Steuerpult in der Übersichtsseite hierher übernommen. Der Anteil Bioethanol in ETBE (Zeile 9) beträgt immer 47 %.

Aus diesen Anteilen lässt sich der gesamte Bedarf an Bioethanol zur Realisierung der gewünschten Beimengungen berechnen (Zeile 10). Der

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1											
2											
3			<b>Kraftstoff-Mischung</b>				<b>Fossiler Brennstoff</b>				
4							Bioethanol				
5							ETBE				
6							Bioethanol + ETBE				
7			<b>Input</b>				<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
8			Anteil Bioethanol	% Kraftst.			2,0%	5,8%	9,5%	13,3%	
9			Anteil ETBE	% Kraftst.			1,4%	1,4%	7,0%	7,0%	
10			Anteil Bioethanol in ETBE	% Kraftst.			0,7%	0,7%	3,3%	3,3%	
11			Bioethanol	Mio m <sup>3</sup>			0,92	2,05	3,58	3,97	
12			ETBE	Mio m <sup>3</sup>			0,49	0,45	1,96	1,68	
13			<b>Kosten Ottokraftstoff</b>								
14			Rohölpreis	\$ / barrel			25	25	25	25	☆
15			US-Dollar-Kurs	EUR			1,05	1,05	1,05	1,05	☆
16			Rohölpreis	Ct/l			16,5	16,5	16,5	16,5	
17			Netto-Kosten Ottokraftstoff	Ct/l			19,8	19,8	19,8	19,8	
18											
19			<b>Kosten Bioethanol in Kraftstoff</b>								
20			Bioethanol	Ct/l			52,8	51,4	48,8	47,3	
21			10% Misch- /Distr.-Kosten	Ct/l			5,3	5,1	4,9	4,7	☆
22			Bioethanol nach Mischung	Ct/l			58,0	56,5	53,7	52,0	
23			Ottokraftstoff mit Bioethanol	Ct/l			20,3	21,6	21,6	22,7	
24											
25			<b>Kosten ETBE</b>								
26			Bioethanol	Ct/l			52,8	51,4	48,8	47,3	
27			Isobuten	Ct/l			25,9	25,9	25,9	25,9	☆
28			Konversionskosten	Ct/l			3,8	3,8	3,8	3,8	☆
29			ETBE	Ct/l			42,3	41,7	40,5	39,7	
30			MinÖlsteuer auf ETBE	Ct/l			33,1	33,1	33,1	33,1	
31			Preis ETBE mit Steuer	Ct/l			75,4	74,7	73,5	72,8	
32			Vgl. MTBE Preis mit Steuer	Ct/l			94,4	94,4	94,4	94,4	☆
33											
34			<b>Mehrkosten Kraftstoff</b>	Ct/l			1,1	2,4	4,7	5,7	
35											

Abb. 95: Kraftstoff-Mischung

Input an ETBE wird aus der Beimischungsrechnung (siehe Abbildung zuvor Zeile 17) übernommen.

In den Zeilen 13 bis 17 wird der Netto-Preis des fossilen Ottokraftstoffes ausgehend vom Rohöl berechnet. Rohölpreis (Zeile 14) und Dollarkurs (Zeile 15) sind hier als gleichbleibend eingetragen. Diese exogenen Größen eignen sich für alternative Simulationen möglicher zukünftiger Entwicklungen am internationalen Markt.

In Zeile 16 wird der Rohölpreis in Ct/l umgerechnet, um vergleichbare und vertraute Größen in der Tabelle zu haben. Die Herstellkosten des Ottokraftstoffes betragen nach Zeitreihenanalysen rund 20 % des Rohölpreises. Dementsprechend ergeben sich die Netto-Kosten des Ottokraftstoffes (Zeile 17) als wichtige Basis-Größe für die weiteren Kostenbetrachtungen.

Die Kosten des Bioethanol-Kraftstoffgemisches werden in den Zeilen 19 bis 24 berechnet. Hierzu werden die Bioethanol-Preise aus dem Sektor Bioethanol-Handel übernommen (Zeile 20). Nach Experten-Aussagen betragen die Kosten und der Gewinnaufschlag zur Beimischung des Bioethanols in den Ottokraftstoff 10 % des Bioethanol-Preises (Zeile 21). Dieser Prozentsatz kann in der Simulation verändert werden durch Eingabe in das Feld B21. Nach der Addition der Bioethanol-Preise mit den Beimischungskosten (Zeile 22) werden die Netto-Preise für den gemischten Kraftstoff durch Addition der Anteile berechnet (Zeile 23).

Die Kosten des ETBE werden in den Zeilen 25 bis 32 berechnet. ETBE wird aus Bioethanol und Isobuten erzeugt. Die Bioethanol-Preise (Zeile 26) werden wieder aus dem Bioethanol-Handel übernommen. Die Preise für Isobuten (Zeile 27) entsprechen denen für Butadien, für das ein Marktpreis in Höhe von 350 €/to angesetzt wird. Für die Konversionskosten werden Werte von Fachleuten dieser Technologie im Modell verwendet. Der Preis ist an den des Rohöls gekoppelt, d. h. er steigt und fällt im selben Verhältnis.

Die gesamten Kosten des ETBE (Zeile 29) ergeben sich aus den Kosten der Rohstoffe, die im Verhältnis 47 % Bioethanol und 53 % Isobuten eingesetzt werden, sowie den Konversionskosten.

Auf ETBE entfällt Mineralölsteuer (Zeile 30) für den Anteil Isobuten (Bioethanol ist von der MinÖlSt befreit). Die Mineralölsteuer ergibt sich also aus 53 % auf den Steuersatz, der in der Simulation für die Zukunft variiert werden kann (siehe unten).

Der Preis für ETBE (Zeile 31) berechnet sich aus dem Netto-Preis (Zeile 29) plus der Mineralölsteuer (Zeile 30). Zum Vergleich wird in Zeile 32 der Preis für MTBE ausgewiesen, das durch ETBE substituiert werden kann.

In Zeile 34 werden die Mehrkosten des Liters Kraftstoff ausgewiesen. Die Kosten setzen sich zusammen aus den mit den anteiligen Mengen gewichteten Preisen der jeweiligen Einsatzstoffe (Benzin, Bioethanol und ETBE) bezogen auf den Liter Kraftstoff und vermindert um die Netto-Kosten des Benzins (Zeile 17).

Der letzte Bereich dieses Sektors betrifft die finanzielle Bewertung aus Sicht der staatlichen Einnahmen und Ausgaben und der Umweltbilanz (Kosten der Emissionseinsparung).

Die folgende Abbildung zeigt diesen Tabellen-Teil.

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
20											
21			<b>Staatliche Einnahmen - Ausgaben</b>								
22			Mineralölsteuer	Ct/l		62,40	62,40	62,40	62,40	☆	
23			Mehreinnahme MinÖlSt	Ct/l		0,44	1,29	2,16	3,05		
24			Mindereinnahme MinÖlSt	Ct/l		1,03	2,82	4,35	5,67		
25			Saldo Minder - Mehr-Einn.	Ct/l		0,59	1,53	2,20	2,62		
26			Ausfall Mineralölsteuer	MioEUR		205	501	636	661		
27											
28			<b>CO2-Emissionseinsparung</b>								
29			CO2-Äquivalente	kg/l		0,37	0,48	0,58	0,67	◀	
30			CO2-Vermeidungskosten	EUR/to CO2äq		848	603	450	346		
31											

Abb. 96: Staatliche Einnahmen und Ausgaben sowie Umweltbilanz

Für die Berechnung der Steuereinnahmen muss ein Mineralöl-Steuersatz zugrunde gelegt werden (Zeile 22). Er beträgt gegenwärtig 62,40 Ct/l. Im Rahmen von Alternativrechnungen bietet es sich an, diesen Satz, dessen zukünftige Höhe heute noch nicht bekannt ist, zu variieren. Die nachfolgenden Steuerveränderungen basieren auf Mengenänderungen ohne Veränderung des Steuersatzes.

In Zeile 23 stehen die Mehreinnahmen an MinÖlSt aufgrund des Mehrverbrauchs an Kraftstoff (Zeile 19 Bild Kraftstoffverbrauch oben) infolge einer möglichen Absenkung des Heizwertes durch die Beimischungen.

Die direkte Beimischung von Bioethanol in den Kraftstoff sowie der Bioethanol-Anteil im ETBE sind von der MinÖlSt befreit und führen zu Mindereinnahmen des Staates. Diese Mindereinnahmen werden pro Liter Kraftstoff (in Zeile 24) auf Basis der Prozentsätze Bioethanol (in den Zeilen 7 und 9) und den Kosten des beigemengten Bioethanols (F22 ff) ermittelt.

In Zeile 25 wird der Saldo der staatlichen Mindereinnahmen je l Kraftstoff minus Mehreinnahmen ausgewiesen. In Zeile 26 wird dieser Saldo mit dem Verbrauch (Zeile 18) multipliziert, woraus sich der gesamte Ausfall an MinÖlSt ergibt.

Im letzten Abschnitt dieses Sektors werden die Kosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung ausgewiesen. Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente (Zeile 29) wird aus der Umweltbilanz übernommen. Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten ergeben sich für Bioethanol aus den Mehrkosten des Produktes gegenüber fossilem Benzin und für ETBE aus den Mehrkosten gegenüber MTBE (ohne Steuern), das durch ETBE ersetzt wird. Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (Zeile 30) ergeben sich aus dem gewichteten Mittel aus den Vermeidungskosten von Bioethanol und ETBE.

## **7.9 Auswertungen**

Der Sektor Auswertungen ermittelt wichtige Kenngrößen zur Bewertung der simulierten Entwicklung, und fasst er fasst bereits ermittelte Kennzahlen in übersichtlichen Darstellungen zusammen. Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von Bioethanol sind die Energie- und die Umweltbilanz.

### **7.9.1 Energie-Bilanz**

Der Modellteil Energiebilanz ermittelt zuerst die Energie-Einsätze in der Landwirtschaft und in der Bioethanol-Produktion. Anschließend werden die Werte addiert und ins Verhältnis zum konventionellen Brennstoff gesetzt.

Die folgende Abbildung zeigt die Ermittlung der Energieeinsätze in der Landwirtschaft.

Der Energieverbrauch bei der landwirtschaftlichen Produktion und bei der Konversion ist einerseits aus diversen wissenschaftlichen Veröffentlichungen („Studien“) bekannt und andererseits in diesem Projekt gründlich auf der Basis neuer Technologien untersucht worden. Da die neueren Untersuchungen zu anderen Ergebnissen führen als die veröffentlichten, wurde im Modell die Möglichkeit vorgesehen, mit beiden Wertebereichen alternativ zu rechnen. Hierzu dient ein Schalter, der im oberen Bereich gesetzt wird und zwischen den Studien und der „Neuen Technik“ auswählt. Die Begründungen und Rechtfertigungen der Werte werden weiter oben in diesem Bericht behandelt. In den Zeilen 5 bis 12 wurden die von Experten geprüften Werte ins Modell übernommen. In der Spalte I befindet sich jeweils die Summe der Werte für Düngemittel und Pestizide sowie für Farm- und Transportbrennstoffe.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1										Studien	Energie
2										Neue Technik	
3	<b>Landwirtschaft</b>				Studien		Neue Technik				
4	<b>Energieverbrauch Landwirtschaft</b>				Dünge- mittel u. Pestizide	Farm- u. Transport- brennstoff	Dünge- mittel u. Pestizide	Farm- u. Transport- brennstoff	Gesamt gewählt		
5		Rüben für Melasse	MJ/ha	8.027	11.779	7.225	10.601	17.826		★	
6		Rüben für Dicksaft	MJ/ha	8.027	11.779	7.225	10.601	17.826		★	
7		Weizen	MJ/ha	16.134	9.008	14.521	8.107	22.628		★	
8		Roggen	MJ/ha	16.134	9.008	14.521	8.107	22.628		★	
9		Triticale	MJ/ha	16.134	9.008	14.521	8.107	22.628		★	
10		Körner-Mais	MJ/ha	15.043	6.141	13.539	5.527	19.066		★	
11		Kartoffel	MJ/ha	21.059	13.344	18.953	12.010	30.963		★	
12		Gutschrift f. Kuppelprodukte	MJ/l	10%		10%		10%		★	
13											
14	<b>Flächenbedarf je m<sup>3</sup> Bioethanol</b>				<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>		
15		Rüben für Melasse	ha/m <sup>3</sup>	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26			
16		Rüben für Dicksaft	ha/m <sup>3</sup>	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12			
17		Weizen	ha/m <sup>3</sup>	0,38	0,34	0,31	0,28	0,26			
18		Roggen	ha/m <sup>3</sup>	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48			
19		Triticale	ha/m <sup>3</sup>	0,49	0,47	0,45	0,42	0,40			
20		Körner-Mais	ha/m <sup>3</sup>	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22			
21		Kartoffel	ha/m <sup>3</sup>	0,23	0,22	0,21	0,19	0,18			
22											
23	<b>Energieeinsatz in der Landwirtschaft für Bioethanol</b>										
24		Rüben für Melasse	MJ/l	2,66	2,48	2,30	2,14	1,99			
25		Rüben für Dicksaft	MJ/l	1,18	1,10	1,02	0,95	0,89			
26		Weizen	MJ/l	3,67	3,33	3,03	2,75	2,50			
27		Roggen	MJ/l	5,69	5,41	5,16	4,91	4,68			
28		Triticale	MJ/l	4,80	4,57	4,35	4,15	3,95			
29		Körner-Mais	MJ/l	2,16	2,05	1,96	1,86	1,78			
30		Kartoffel	MJ/l	3,11	2,92	2,74	2,58	2,42			
31		Gesamt tatsächlich	MJ/l	4,14		3,86	3,73	3,66			
32											

Abb. 97: Ermittlung der Energieeinsätze in der Landwirtschaft

Da die meisten Untersuchungen den Energiebedarf in MJ je ha Ackerfläche ausweisen, ist es erforderlich, die Werte auf die Bezugsbasis Liter Bioethanol umzurechnen. Zu diesem Zweck werden in den Zeilen 15 bis 21 die verwendeten Flächenbedarfe zur Ethanolerzeugung in ha je m<sup>3</sup> ausgewiesen. Diese Werte ergeben sich aus den Ertragswerten, die in den Sektoren Landwirtschaft, Bioethanol-Erzeugung sowie Zucker als empirische Werte (mit jährlichen Veränderungen) eingegeben und somit der gesamten Modellrechnung zugrunde gelegt wurden.

Der Energieeinsatz in der Landwirtschaft je Liter Bioethanol errechnet sich (in den Zeilen 24 bis 30) aus der Multiplikation der Energieverbrä-

che [MJ/ha] mit dem Flächenbedarf [ha/m<sup>3</sup>], wobei noch die m<sup>3</sup> in Liter umgerechnet werden.

Der gesamte, tatsächliche Energieeinsatz in der Landwirtschaft (Zeile 31) ergibt sich aus der gewichteten Summe der Energieverbräuche, die mit der tatsächlichen (simulierten) Bioethanolerzeugung gewichtet wird. (Diese Produktionswerte befinden sich in der nachfolgenden Tabelle.)

Die folgende Abbildung zeigt die Ermittlung der Energieeinsätze in den Brennereien.

Analog zur Abbildung der Landwirtschaft werden auch für die Brennereien (in den Zeilen 5 bis 11) Energie-Verbrauchswerte aus Studien und aus neuen Expertenschätzungen („Neue Technik“) zugrunde gelegt. Entsprechend der oben beschriebenen Schalterstellung wird zwischen diesen Werten ausgewählt (Spalte R). Der technische Fortschritt, der sich in der Landwirtschaft über die sich ändernden Ertragswerte ausdrückt, wird auch für die Brennereien angenommen und mit einer jährlichen Veränderungsrate (in Spalte S) angegeben.

Weitere Energie-Verbräuche sind bei der Produktion von ETBE sowie der Herstellung von Isobuten (als Grundstoff für ETBE) zu berücksichtigen (Zeilen 12 und 13). Beide Werte werden weiter unten gebraucht.

Für die Berechnung der gewichteten Energie-Verbräuche werden die tatsächlichen (simulierten) Inland-Produktionsmengen von Bioethanol herangezogen. Um die Anschaulichkeit und Nachvollziehbarkeit der Berechnungen zu erhöhen, werden die Werte (in den Zeilen 17 bis 24) wiederholt (also aus dem Sektor Bioethanol-Handel übernommen). Entsprechend werden die Werte für ETBE (Zeile 25) aus dem Kraftstoff-Sektor herangezogen.

Der Energieeinsatz bei der Konversion von Bioethanol wird für das Jahr 2000 als identisch mit den eingegebenen Werten angesetzt (Zeilen 27 bis 33, Spalte P). In den Folgejahren werden die Energiewerte um die oben (in den Zeilen 5 bis 13, Spalte Q) eingesetzten Prozentsätze verändert, d. h. praktisch verringert.

Auf der Basis der so berechneten Energie-Verbräuche in der Landwirtschaft und bei der Konversion lassen sich zwei Arten von Energie-Bilanzen aufstellen, eine für den je-Liter-Einsatz und eine für die Substitution des fossilen Kraftstoffes.

Die folgende Abbildung stellt die Energiegewinnung je Liter dar.

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	<b>Energieverbrauch</b>										
2	<b>Brennereien</b>										
3											
4	<b>Energieverbrauch d. Konversion</b>				<b>v</b>						
				Studien	Neue Technik	gewählt	Veränderungsrate p.a.				
5	Melasse		MJ/l	14,66	7,86	7,86	-1,0%			★	
6	Dicksaft		MJ/l	14,66	6,33	6,33	-1,0%			★	
7	Weizen		MJ/l	17,41	12,30	12,30	-1,0%			★	
8	Roggen		MJ/l	19,15	13,71	13,71	-1,0%			★	
9	Triticale		MJ/l	17,41	13,71	13,71	-1,0%			★	
10	Körner-Mais		MJ/l	16,70	11,92	11,92	-1,0%			★	
11	Kartoffel		MJ/l	26,46	18,77	18,77	-1,0%			★	
12	Bioethanol zu ETBE		MJ/l	2,60	2,60	2,60				★	
13	Erzeugt+E-Gehalt Isobuten		MJ/l	35,00	35,00	35,00				★	
14	Gutschrift f. Kuppelprodukte		MJ/l	20%	20%	20%				★	
15											
16	<b>Inland-Produktion Bioethanol</b>				<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>		
17	▶ Melasse		Mio m <sup>3</sup>		0,08	0,10	0,11				
18	▶ Dicksaft		Mio m <sup>3</sup>		0,04	0,18	0,12				
19	▶ Weizen		Mio m <sup>3</sup>						0,28		
20	▶ Roggen		Mio m <sup>3</sup>		0,24	0,55	0,94	1,13			
21	▶ Triticale		Mio m <sup>3</sup>		0,18	0,42	0,70	0,85			
22	▶ Körner-Mais		Mio m <sup>3</sup>		0,06	0,14	0,47	0,57			
23	▶ Kartoffel		Mio m <sup>3</sup>								
24	▶ GESAMT		Mio m <sup>3</sup>		0,59	1,38	2,34	2,83			
25	▶ Produktion ETBE		Mio m <sup>3</sup>								
26	<b>Energieeinsatz in der Konversion von Bioethanol</b>										
27	Melasse		MJ/l	6,29	5,97	5,67	5,39	5,12			
28	Dicksaft		MJ/l	5,06	4,81	4,57	4,34	4,12			
29	Weizen		MJ/l	9,84	9,35	8,88	8,44	8,01			
30	Roggen		MJ/l	10,97	10,42	9,90	9,40	8,93			
31	Triticale		MJ/l	10,97	10,42	9,90	9,40	8,93			
32	Körner-Mais		MJ/l	9,54	9,06	8,61	8,18	7,77			
33	Kartoffel		MJ/l	15,02	14,27	13,55	12,87	12,23			
34	Gesamt tatsächlich		MJ/l		9,31	8,78	8,70	8,61			
35											

Abb. 98: Ermittlung der Energieeinsätze in den Brennereien

Der Energieeinsatz je Liter produziertes Ethanol (Zeile 41) ergibt sich aus der Summe der gesamten, tatsächlichen Einsätze in der Landwirtschaft (Zeile 31) und bei der Konversion (Zeile 34), die aus gewichteten Additionen hervorgehen. Die darüber liegenden Zeilen 34 bis 40 informieren über die Summe der Energieeinsätze in der Landwirtschaft und in den Brennereien für jeden Rohstoff. Daraus lässt sich die Vorteilhaftigkeit der Rohstoffe aus Sicht der Energiebilanz ablesen.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
32										
33			<b>Energieeinsatz je l Bioethanol</b>		<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	
34			Melasse	MJ/l	8,95	8,45	7,98	7,53	7,12	
35			Dicksaft	MJ/l	6,25	5,91	5,60	5,30	5,01	
36			Weizen	MJ/l	13,51	12,68	11,91	11,19	10,52	
37			Roggen	MJ/l	16,65	15,83	15,06	14,32	13,61	
38			Triticale	MJ/l	15,77	14,99	14,25	13,55	12,88	
39			Körner-Mais	MJ/l	11,69	11,11	10,56	10,04	9,54	
40			Kartoffel	MJ/l	18,13	17,19	16,29	15,45	14,65	
41			Energieeinsatz Ethanol	MJ/l Eth		13,46	12,64	12,44	12,27	
42			Energieeinsatz Isobuten	MJ/l ETBE						
43			Energ. Ethanol --> ETBE	MJ/l ETBE						
44			Energieeinsatz gesamt	MJ/l		13,46	12,64	12,44	12,27	
45			Heizwert (Hu)	MJ/l		21,20	21,20	21,20	21,20	
46			<b>Energie-Gewinn</b>	MJ/l		7,74	8,56	8,76	8,93	
47										

Abb. 99: Energiegewinn gegenüber dem Heizwert (Hu)

Der Energieeinsatz zur Erzeugung von Isobuten wurde aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen übernommen und in Zeile 13, Spalte P eingetragen. Die angenommene jährliche Veränderung durch technischen Fortschritt befindet sich daneben. Der Energie-Wert wird in Zeile 42 für das Jahr 2000 eingesetzt und in den folgenden Jahren verändert.

Der Energieeinsatz bei der Herstellung von ETBE aus Ethanol und Isobuten wird in Zeile 43 entsprechend behandelt.

Der gesamte Energieeinsatz (Zeile 44) ergibt sich aus der Summe der drei Energieeinsätze unter Berücksichtigung der jeweiligen Anteile.

Zieht man vom unteren Heizwert (Hu) in Zeile 45 den errechneten Energieeinsatz (Zeile 44) ab, so erhält man den Energie-Gewinn je Liter Bioethanol bzw. Bioethanol-ETBE-Gemisch (Zeile 46). (Bei dieser Rechnung werden die kleinen Unterschiede im Heizwert von Bioethanol und ETBE vernachlässigt.)

Die folgende Abbildung stellt die Energiebilanz für die Substitution des fossilen Kraftstoffes dar.

Die Berechnung erfolgt jeweils für das eingestellte Gemisch und die unterschiedlichen Berücksichtigungen der Heizwerte (wie oben beschrieben).

Diese Energiebilanz vergleicht den Energie-Input in fossilen Kraftstoff mit dem in Bioethanol (oder ETBE-Gemisch) für diejenigen Mengen, die einen gleichen Heizwert liefern (Benzin-Substitution): Der Brennwert des

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
35											
36	<b>Energiebilanz bei gleichem Hu:</b>				<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>		
37	Brennwert subst. Benzin	MJ/l			23,32	23,32	23,32	23,32	23,32		
38	- Fossiler Energieinput	MJ/l			13,46	12,64	12,44	12,27			
39	Netto-Energie-Gewinn	MJ/l			9,86	10,68	10,88	11,05			
40	in % des subst. Benzin	%			42,3%	45,8%	46,7%	47,4%			
41	Bioethanol	▲	Im tatsächlichen Verhältnis der Heizwerte Benzin : Ethanol = 1 : 0,6486								
42	ETBE		Im Heizwert-Verhältnis Benzin : Ethanol = 1 : 1								
43	Bioethanol + ETBE	▼	In folgendem Verhältnis der Heizwerte : Benzin : Ethanol = 1 : ...								

Abb. 100: Energiebilanz bei gleichem Heizwert

substituierten Benzins (Zeile 37) ergibt aus seinem unteren Heizwert (Hu) plus der für die Erzeugung von Benzin benötigten Energie (Annahme 10 %), korrigiert auf die Menge, die der Brennwert-Differenz zwischen Benzin und Ethanol entspricht. Der für die Erzeugung der alternativen Energie benötigte fossile Energieinput (Zeile 38) wurde bereits in Zeile 37 des linken Tabellenteils (vorangegangene Abbildung) berechnet. Er wird hier nur zur Veranschaulichung übernommen. Die Differenz ergibt die Netto-Energie-Bilanz.

### 7.9.2 Umwelt-Bilanz

Die Umwelt-Bilanz ist strukturell ähnlich der Energie-Bilanz aufgebaut. Das Ziel ist die Ermittlung der Emissionswerte für CO<sub>2</sub>-Äquivalente von allen Treibhausgasen.

Die folgende Abbildung zeigt die Ermittlung der Emissionswerte in der Landwirtschaft für den Bioethanol-bedingten Anbau.

Die wissenschaftlich ermittelten und geprüften Werte für die Emissionen in der Landwirtschaft stehen in den Zeilen 5 bis 11. Für die Umrechnung der auf ha bezogenen Werte in Liter Bioethanol stehen die Flächenbedarfs-Werte wie in der Energie-Bilanz (in den Zeilen 16 bis 22) zur Verfügung. Die Berechnung der Emissionen in der Landwirtschaft für Bioethanol (Zeilen 27 bis 33) erfolgt durch Multiplikation der zuvor genannten Matrizen.

Die gesamten, tatsächlichen Emissionen (Zeile 34) errechnen sich aus der mit der tatsächlichen Produktion gewichteten Summe der Einzelwerte.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2						Studien		<b>CO<sub>2</sub>-Äquivalente von alle</b>		
3			<b>Landwirtschaft</b>			Neue Technik				
4			<b>Emissionen Landwirtschaft</b>			Studien	Neue Technik	gewählt		
5			Rüben für Melasse	kg/ha	2.200	1.980	1.980			★
6			Rüben für Dicksaft	kg/ha	2.200	1.980	1.980			★
7			Weizen	kg/ha	1.595	1.436	1.436			★
8			Roggen	kg/ha	1.595	1.436	1.436			★
9			Triticale	kg/ha	1.595	1.436	1.436			★
10			Körner-Mais	kg/ha	1.595	1.436	1.436			★
11			Kartoffel	kg/ha	2.200	1.980	1.980			★
12			Gutschrift f. Kuppelprodukte	MJ/l	10%	10%	10%			★
13										
14										
15			<b>Flächenbedarf je m<sup>3</sup> Bioethanol</b>			<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
16		▶	Rüben für Melasse	ha/m <sup>3</sup>	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	
17		▶	Rüben für Dicksaft	ha/m <sup>3</sup>	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	
18		▶	Weizen	ha/m <sup>3</sup>	0,38	0,34	0,31	0,28	0,26	
19		▶	Roggen	ha/m <sup>3</sup>	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48	
20		▶	Triticale	ha/m <sup>3</sup>	0,49	0,47	0,45	0,42	0,40	
21		▶	Körner-Mais	ha/m <sup>3</sup>	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	
22		▶	Kartoffel	ha/m <sup>3</sup>	0,23	0,22	0,21	0,19	0,18	
23										
24										
25										
26			<b>Emissionen in der Landwirtschaft für Bioethanol</b>							
27			Rüben für Melasse	g/l	296	275	256	238	222	
28			Rüben für Dicksaft	g/l	274	255	237	221	205	
29			Weizen	g/l	484	440	400	364	331	
30			Roggen	g/l	751	716	682	649	618	
31			Triticale	g/l	634	604	575	548	522	
32			Körner-Mais	g/l	338	322	307	292	278	
33			Kartoffel	g/l	414	389	365	343	322	
34			Gesamt tatsächlich	g/l		553	525	505	493	
35										

Abb. 101: Ermittlung der Emissionswerte in der Landwirtschaft

Die folgende Abbildung stellt die Berechnung der Emissionen in den Brennereien dar.

Auch diese Berechnungen erfolgen analog zu denen der Energie-Bilanz. Sie basieren auf den Input-Werten in den Zeilen 5 bis 13. Dabei ist als Besonderheit zu beachten, dass die Emissionen in den Brennereien an die Energiebedarfswerte gekoppelt sind. Wenn diese sich aufgrund

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
2	<b>Treibhausgasemissionen</b>										
3	<b>Brennereien</b>										
4	<b>Emissionen Brennereien</b>			Studien	Neue Technik	gewählt	Veränderungsrate p.a.				
5	Melasse		g/l	1.120	600	600	-1,0%				
6	Dicksaft		g/l	1.120	484	484	-1,0%				
7	Weizen		g/l	950	671	671	-1,0%				
8	Roggen		g/l	738	529	529	-1,0%				
9	Triticale		g/l	671	529	529	-1,0%				
10	Körner-Mais		g/l	644	460	460	-1,0%				
11	Kartoffel		g/l	1.020	724	724	-1,0%				
12	Gutschrift f. Kuppelprodukte			MJ/l	20%	Bioethanol					
13	Bioethanol zu ETBE			kg/l	3.150	ETBE					
14	MTBE			kg/l	2.904 Einsatz:		1,4%		Bioethanol + ETBE		
15	<b>Inland-Produktion Bioethanol</b>				<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>		
16	Melasse		Mio m <sup>3</sup>			0,08	0,10	0,11			
17	Dicksaft		Mio m <sup>3</sup>			0,04	0,18	0,12			
18	Weizen		Mio m <sup>3</sup>							0,28	
19	Roggen		Mio m <sup>3</sup>			0,24	0,55	0,94		1,13	
20	Triticale		Mio m <sup>3</sup>			0,18	0,42	0,70		0,85	
21	Körner-Mais		Mio m <sup>3</sup>			0,06	0,14	0,47		0,57	
22	Kartoffel		Mio m <sup>3</sup>								
23	GESAMT			Mio m <sup>3</sup>		0,59	1,38	2,34		2,83	
24	Produktion ETBE			Mio m <sup>3</sup>							
25											
26	<b>Gasemissionen bei der Produktion von Bioethanol</b>										
27	Melasse		g/l	480	456	434	412	391			
28	Dicksaft		g/l	387	368	349	332	315			
29	Weizen		g/l	537	510	485	460	437			
30	Roggen		g/l	423	402	382	363	344			
31	Triticale		g/l	423	402	382	363	344			
32	Körner-Mais		g/l	368	349	332	315	299			
33	Kartoffel		g/l	579	550	523	496	472			
34	Gesamt tatsächlich			g/l		401	376	354	345		
35											

Abb. 102: Berechnung der Emissionen in den Brennereien

neuer Techniken verringern, verbessern sich auch die Emissionswerte im selben Maßstab.

Die Inland-Produktion Bioethanol (Zeilen 16-22) und die von ETBE (Zeile 24) wurden nur für die Zwecke der direkten Nachvollziehbarkeit auch hier übernommen. Die Berechnung der jährlich veränderten Gasemissionen bei der Produktion von Bioethanol und ihre Addition zum tatsächlichen Gesamtwert erfolgt in den Zeilen 27 bis 34.

Die folgende Teil-Tabelle zeigt die Addition der Emissionen in der Landwirtschaft und in den Brennereien.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
35										
36			<b>Emissionen gesamt</b>		<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	
37			Melasse	g/l	776	732	690	650	613	
38			Dicksaft	g/l	661	622	586	552	520	
39			Weizen	g/l	1.021	951	885	824	768	
40			Roggen	g/l	1.174	1.117	1.063	1.012	963	
41			Triticale	g/l	1.057	1.006	957	911	866	
42			Körner-Mais	g/l	706	672	639	608	578	
43			Kartoffel	g/l	993	939	888	840	794	
44			Gesamt tatsächlich	g/l		955	901	859	837	
45										

Abb. 103: Addition der Emissionen

Diese Aufstellung dient insbesondere der Auswertung beim Vergleich der Rohstoffe untereinander.

Die Emissionsbilanz wird in folgendem Tabellenteil berechnet.

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
35										
36			<b>Emissionsbilanz bei gleichem Hu</b>		<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	
37			Emiss. Herst. Bioethanol	g/l Eth	951	899	858	837		
38			Emiss. Herst. ETBE	g/l ETBE	2.411	2.387	2.369	2.359		
39			Emiss. Herst. Beimengung	g/l Beimeng.	1.552	1.457	1.379	1.364		
40			Emiss. Herst. MTBE	g/l MTBE	2.904	2.904	2.904	2.904		
41			Einsparg substituiert. MTBE	g/l ETBE	1.352	1.447	1.525	1.540		
42			dgl. in Prozent	%	47%	50%	53%	53%		
43			Einsparg substituiert. MTBE	g/l Kraftst.	19	20	21	22		
44			Emission Ottokraftstoff	g/l Ottokraftst.	3.194	3.194	3.194	3.194	★	
45			Emiss. Ottokraftst. eff. Verbr	g/l Kraftst.	3.152	3.044	2.887	2.742		
46			Emiss. Beimengung	g/l Kraftst.	31	98	188	272		
47			Emiss. gesamt eff. Verbr.	g/l Kraftst.	3.183	3.142	3.075	3.014		
48			Einsparg substituiert. Ottokr.	g/l Kraftst.	11	52	119	180		
49			Einsparung gesamt	g/l Kraftst.	30	72	140	202		
50			dgl. in Prozent	%	0,9%	2,3%	4,4%	6,3%		
51			Bei dieser Berechnung wurden die Heizwerte in folgender Weise eingesetzt:							
52			Im tatsächlichen Verhältnis der Heizwerte							
53			Im Heizwert-Verhältnis 1:1							
54			In folgendem Verhältnis der Heizwerte: Benzin : Ethanol und ETBE = 1 : ...							

Abb. 104: Emissionsbilanz

Die Emissionsbilanz wird unter Berücksichtigung des gleichen Heizwertes (Hu) der Brennstoffe und der Substitution von MTBE durch ETBE aufgestellt.

Die tatsächliche Emission bei der Herstellung von Bioethanol in kg/l (Zeile 37) ergibt sich aus den Summen der zuvor berechneten Emissionen in der Landwirtschaft und in den Brennereien. Die zusätzlichen Emissionen bei der Erzeugung von ETBE (Zeile 37) ergeben sich aus den Eingaben im Feld P12 der vorangegangenen Abbildung.

Wenn ETBE eingesetzt wird, substituiert es das giftige MTBE, bei dessen Erstellung Emissionen anfallen, die in Feld P13 eingegeben wurden. Sie werden als zeitlich invariant angesehen (Zeile 40).

Die Emission der tatsächlichen Beimengung (Zeile 39) ergibt sich aus der gewichteten Summe der Emissionswerte in den Zeilen 37 bis 38.

Diese Emission wird mit der einer bzgl. des Heizwertes vergleichbaren Menge Ottokraftstoff verglichen. Zunächst wird bis zu 1,4 % MTBE durch ETBE ersetzt (Zeile 43). In Zeile 44 wird für die Emission des Benzins ein Wert von 3,1942 kg/l zugrunde gelegt. Er wird auf das Volumen bezogen, das dem selben Heizwert entspricht wie ein Liter Bioethanol plus ggf. ETBE.

Aus der Addition der Zeilen 43 und 48 ergibt sich die gesuchte, gesamte Einsparung (Zeile 49) an Emissionen an CO<sub>2</sub>-Äquivalente von allen Treibhausgasen.

### 7.9.3 Simulationsergebnisse

Die Simulations-Übersicht stellt neben einigen Grafiken folgende Grunddaten der Simulation und Kennzahlen dar.

In der oberen Hälfte werden die Rohstoff-Produktion und die Inland-Produktion an Bioethanol sowie die Preise zusammengefasst.

Darunter stehen die wichtigsten Kennzahlen zur Beurteilung einer in einer Simulation dargestellten Situation unter wirtschaftlichen und ökologischen Beurteilungskriterien:

- Die Mehrkosten für den Kraftstoff, die durch Steuerausfall oder Steuererhöhung zu decken sind.
- Der Mehrbedarf an Kraftstoff, der von den Kraftfahrern zu decken ist, wenn sie bei gleicher Fahrleistung, d.h. bei gleichem Energiebedarf wie prognostiziert bleiben.

Steuerung		Zusammenfassung					
Erwartete Rohstoffpreise	Markt preis	Bioethanol	Im tatsächlichen Verhältnis der Heizwerte Benz				
Max. Rohstoffpreise	Rohstoffmix in %	ETBE	Im Heizwert-Verhältnis Benzin : Ethanol = 1:1				
<input type="checkbox"/> Nicht aktiv		Bioethanol + ETBE	In folgendem Verhältnis der Heizwerte: Benzin				
			2000	2005	2010	2015	2020
<b>Rohstoffe für Bioethanol</b>							
<input checked="" type="checkbox"/>	Zuckerrüben						
<input checked="" type="checkbox"/>	Melasse	Mio.to		0,3	0,3	0,4	
<input checked="" type="checkbox"/>	Dicksaft	Mio.to		0,1	0,3	0,2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Weizen	Mio.to					0,8
<input checked="" type="checkbox"/>	Roggen	Mio.to		0,7	1,6	2,7	3,2
<input checked="" type="checkbox"/>	Triticale	Mio.to		0,5	1,1	1,9	2,3
<input checked="" type="checkbox"/>	Körner-Mais	Mio.to		0,1	0,3	1,1	1,4
<input checked="" type="checkbox"/>	Kartoffel	Mio.to					
<b>Inland-Produktion Bioethanol</b>							
	Melasse	Mio m <sup>3</sup>		0,08	0,10	0,11	
	Dicksaft	Mio m <sup>3</sup>		0,04	0,18	0,12	
	Weizen	Mio m <sup>3</sup>					0,28
	Roggen	Mio m <sup>3</sup>		0,24	0,55	0,94	1,13
	Triticale	Mio m <sup>3</sup>		0,18	0,42	0,70	0,85
	Körner-Mais	Mio m <sup>3</sup>		0,06	0,14	0,47	0,57
	Kartoffel	Mio m <sup>3</sup>					
	<b>GESAMT</b>	<b>Mio m<sup>3</sup></b>		<b>0,59</b>	<b>1,38</b>	<b>2,34</b>	<b>2,83</b>
	<b>Landw. Fläche f. Bioethanol</b>	<b>1000 ha</b>		<b>229</b>	<b>522</b>	<b>871</b>	<b>1.050</b>
<b>Preise ohne Steuern</b>							
	Ottokraftstoff	Ct/l		19,8	19,8	19,8	19,8
	Bioethanol nach Mischung	Ct/l		51,4	49,0	45,8	42,8
	ETBE	Ct/l		39,1	38,1	36,8	35,5
	<b>Mehrkosten Kraftstoff</b>	<b>Ct/l</b>		<b>0,4</b>	<b>1,2</b>	<b>2,2</b>	<b>2,8</b>
	<b>Mehrbedarf an Kraftstoff</b>	<b>%</b>		<b>0,7%</b>	<b>1,8%</b>	<b>3,4%</b>	<b>4,8%</b>
	Beschäft.-Eff. Landwirtschaft	Pers		1.167	2.375	3.859	3.973
	Beschäft.-Eff. Brennereien	Pers		148	346	585	709
	<b>Beschäft.-Eff. Gesamt</b>	<b>Pers</b>		<b>1.316</b>	<b>2.722</b>	<b>4.444</b>	<b>4.682</b>
<b>Ausfall Mineralölsteuer</b>							
	<b>Ausfall MinÖlSt</b>	<b>MioEUR</b>		<b>207</b>	<b>439</b>	<b>644</b>	<b>670</b>
	je Beschäftigte f. Bioethanol	T-EUR/Pers.		157	161	145	143
	<b>CO2-Vermeidungskosten</b>	<b>EUR/to CO2äq</b>		<b>278</b>	<b>242</b>	<b>205</b>	<b>176</b>
	<b>Energiebilanz</b>	<b>MJ/l</b>		<b>9,9</b>	<b>10,7</b>	<b>10,9</b>	<b>11,1</b>
	<b>in % des substit. Benzins</b>	<b>%</b>		<b>42,3%</b>	<b>45,8%</b>	<b>46,7%</b>	<b>47,4%</b>

Abb. 105: Wichtige Ergebnisdaten der Simulation

- Das Beschäftigungsvolumen in Landwirtschaft und Brennereien für die Bioethanolerzeugung.
- Der Ausfall an Mineralölsteuer (unter der Annahme, dass die Mehrkosten des Bioethanols im Vergleich zum herkömmlichen Ottokraftstoff durch Steuerbefreiung ausgeglichen werden müssen)

- Die Kosten der Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.
- Die Energiebilanz, die aufzeigt, wie groß der Nettoenergiegewinn ist.

Von diesen Kennzahlen lassen sich beliebig Grafiken erzeugen, die unterschiedliche Simulationsläufe miteinander vergleichen, also z. B. eine gewählte „Ausgangslösung“ mit anderen Situationen.

## 8 Simulationen und Ergebnisse

### 8.1 Untersuchung der Vorteilhaftigkeit der einzelnen Rohstoffe

Zu Beginn der Beschreibungen der Simulationsergebnisse werden hier die einzelnen Rohstoffe vorgestellt. Für jeden einzelnen wird eine Situation beschrieben, als ob er alleine die notwendige Basis für die Erzeugung von Bioethanol stellen würde. Damit werden die Besonderheiten und auch die Grenzen eines Rohstoffs deutlich herausgestellt.

Die Ergebnisse dieser Betrachtung befinden sich zum einen in einer synoptischen Tabelle und zum anderen in Diagrammen, die für jede Simulation die wichtigsten Kenngrößen über die Simulationsperiode von 2005 bis 2010 darstellen.

#### (1) Bioethanol aus zuckerhaltigen Rohstoffen, neue Technik

In dieser Simulation wird Bioethanol von 2 % im Jahr 2005 bis 13,3% im Jahr 2020 dem Ottokraftstoff beigemischt, wobei nur Melasse und Dicksaft als Rohstoffe für die Ethanolerzeugung Verwendung finden. Die Landwirte erhalten für den Anbau Prämien. Ethanol wird in Großanlagen produziert. Für Kuppelprodukte werden Gutschriften von 10 % im landwirtschaftlichen Bereich und 20 % im Konversionsbereich berechnet. Die Preisbildung für landwirtschaftliche Rohstoffe erfolgt auf der Basis von erwarteten Rohstoffpreisen, und die Auswahl der Rohstoffe erfolgt über Marktpreise. In dieser Variante werden 20 % Importe und 5 % Exporte zugrundegelegt. Neue Technologien mit geringen Energieverbräuchen werden eingesetzt. Das Heizwertverhältnis von Ethanol zu Ottokraftstoff entspricht dem tatsächlichen Verhältnis entsprechend der Brennwerte.

Melasse kann in dieser Simulation nicht alleine berechnet werden (sondern nur zusammen mit Dicksaft), weil die verfügbare Menge Melasse nicht ausreicht, den gesamten Bedarf zu decken, und ein Fehlbestand übrig bliebe.

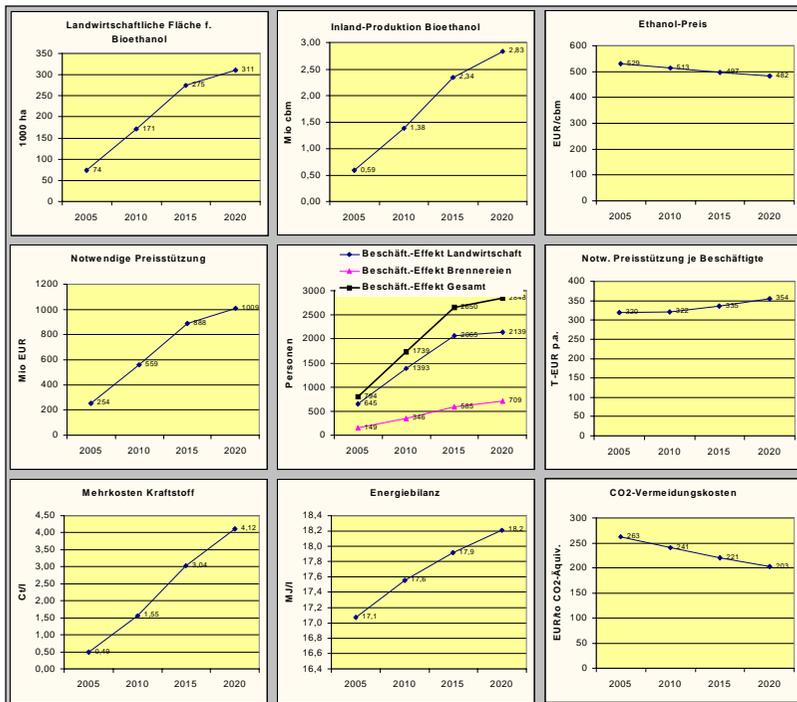


Abb. 106: Bioethanol-Herstellung ausschließlich aus zuckerhaltigen Rohstoffen

Die Simulation zeigt den Bedarfsanstieg und die zunehmenden Kosten bzw. Steuerausfälle. Die Energiebilanz ist über die ganze Zeit positiv. Die Kosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung sind degressiv auf hohem Niveau.

**(2) aus zuckerhaltigen Rohstoffen, alte Technik**

Wie (1), allerdings werden Energieverbräuche alter bzw. bestehender Technik zugrundegelegt.

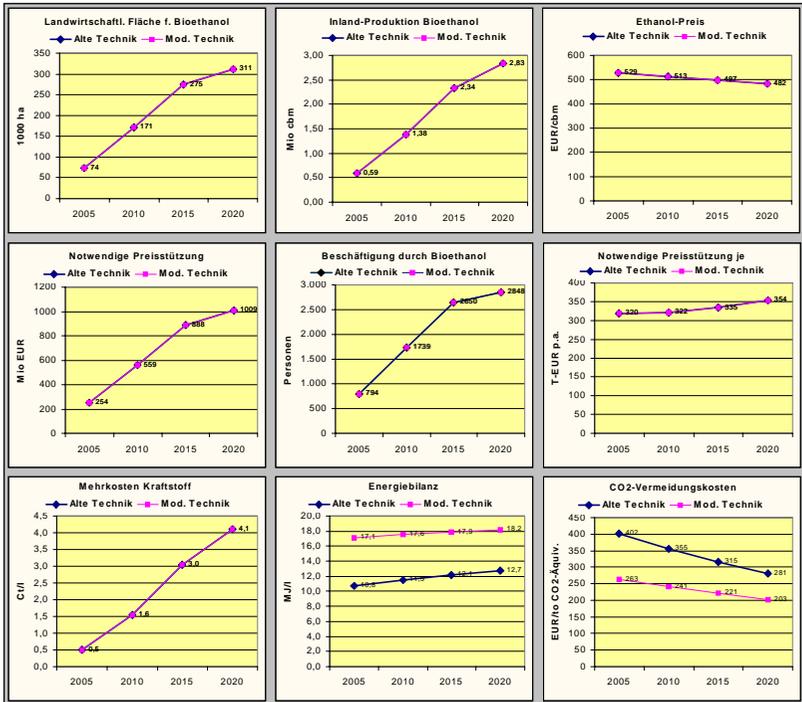


Abb. 107: Simulationsergebnisse für den Vergleich zwischen alter und neuer Technik

Aus der vergleichenden Darstellung wird leicht erkennbar, dass die moderne Technik zu einer deutlich besseren Energiebilanz und zu niedrigeren CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten führt.

### (3) Bioethanol nur aus Dicksaft

Wie (1), allerdings wird Melasse als Rohstoff nicht zugelassen.

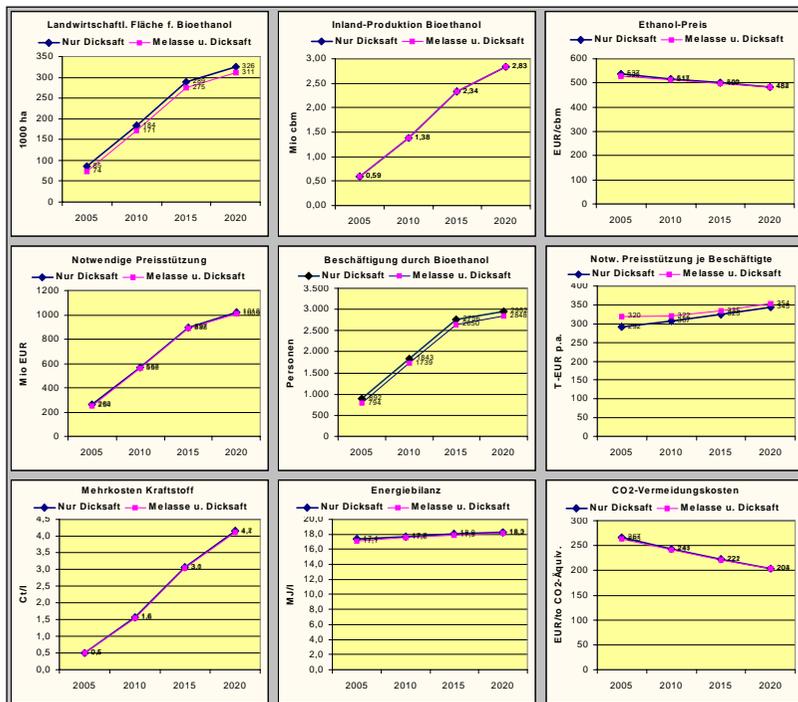


Abb. 108: Simulationsergebnisse für den Vergleich zwischen Melasse und Dicksaft

Ohne die Nutzung von Melasse steigen der Zuckerrüben-Anbau und die damit verbundene Beschäftigung. Die notwendige Preisstützung nimmt zu.

#### (4) Bioethanol aus Weizen

Wie (1), allerdings wird nur Weizen als Rohstoff zugelassen.

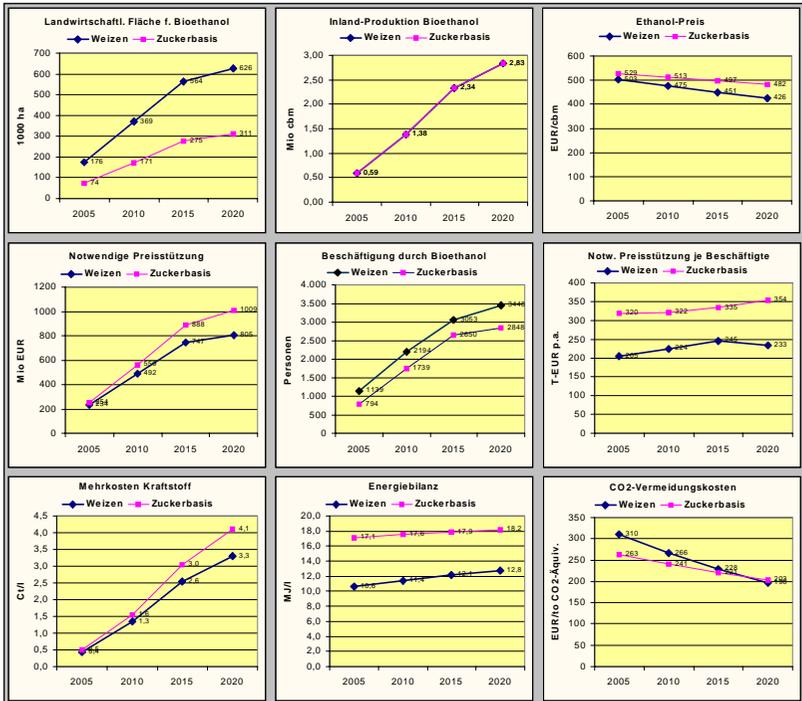


Abb. 109: Simulationsergebnisse für den Vergleich zwischen Weizen und zuckerhaltigen Rohstoffen

Aus der vergleichenden Darstellung wird leicht erkennbar, dass Weizen einen niedrigeren Bioethanol-Preis und damit geringere Steuerausfälle verursacht. Dabei werden mehr Personen in der Landwirtschaft beschäftigt, was zu einem geringeren Ausfall an Mineralölsteuer je Beschäftigten (Subvention) führt. Ein Kernproblem liegt jedoch in der Tatsache, dass die Energiebilanz nicht so gut ist.

### (5) Bioethanol aus Roggen (2%)

Wie (1), allerdings wird nur Roggen als Rohstoff zugelassen.

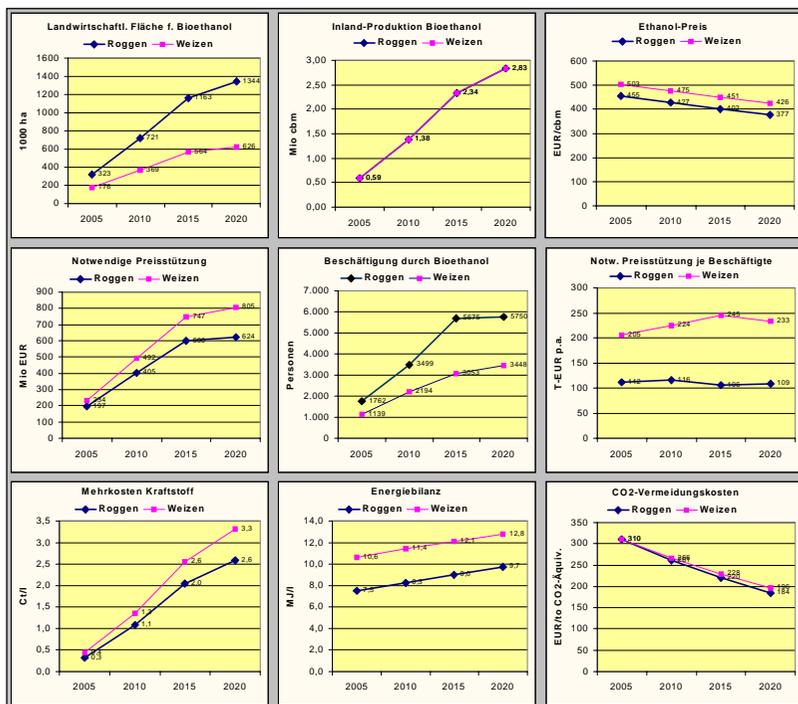


Abb. 110: Simulationsergebnisse für Roggen im Vergleich zu Weizen

Roggen hat zwar einen höheren Flächenbedarf als Weizen, führt aber bei niedrigen Rohstoffkosten auch zu einem günstigeren Preis für Bioethanol. Mit der größeren zu bearbeitenden Fläche ist mehr Beschäftigung verbunden, die aber pro Kopf sehr viel geringer (mit dem Steuer-ausfall) subventioniert werden muss.

### (6) Bioethanol aus Roggen, alte Technik

Wie (5), allerdings werden Verbrauchswerte alter bzw. bestehender Technik zugrundegelegt.

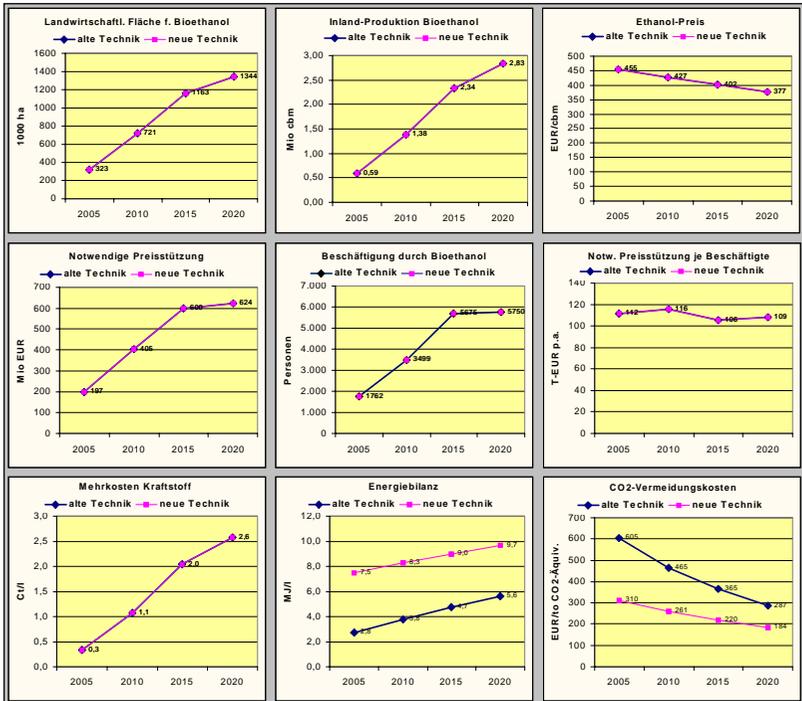


Abb. 111: Simulationsergebnisse für Roggen mit Vergleich alter und neuer Technik

Auch bei diesem Getreide liegt das Problem in der Energiebilanz. Sie ist bei alter, bestehender Technik nur schwach positiv. Die Umweltbilanz weist sehr hohe Kosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung aus. Der Deckungsbeitrag in der Landwirtschaft ist sehr gering.

### (7) Bioethanol aus Triticale, alte Technik

Wie (6), allerdings nur Triticale als Rohstoff zugelassen.

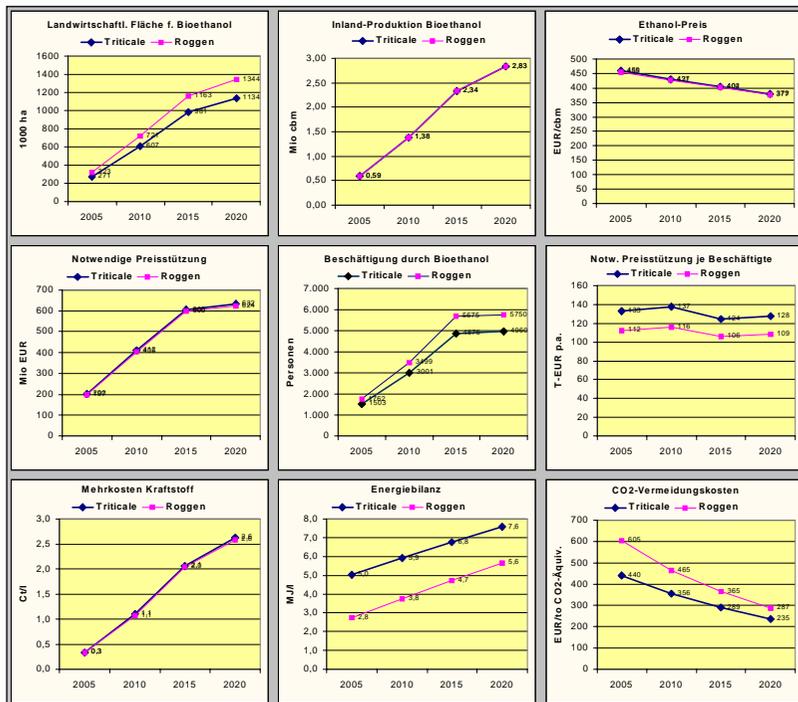


Abb. 112: Simulationsergebnisse für Triticale im Vergleich zu Roggen

Die Grafiken veranschaulichen die Ähnlichkeit der Triticale mit Roggen insbesondere bzgl. der Kosten und Preise. Der Flächen- und Personalbedarf ist etwas geringer. Die Energie- und die Umwelt-Bilanz sehen etwas besser aus, wenngleich auch für Triticale die Energiebilanz schwach positiv bleibt. Dies wird sich erst mit neuer Technologie etwas ändern. Die Kosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung sind noch auf sehr hohem Niveau.

### (8) Bioethanol aus Triticale, Positivszenario

Wie (7), allerdings 20 % Kuppelproduktgutschrift in der Landwirtschaft, 25 % bei der Konversion. Keine Importe zugelassen, allerdings 5 % Exporte. Einsatz neuer Technik und Heizwertverhältnis 1:1.

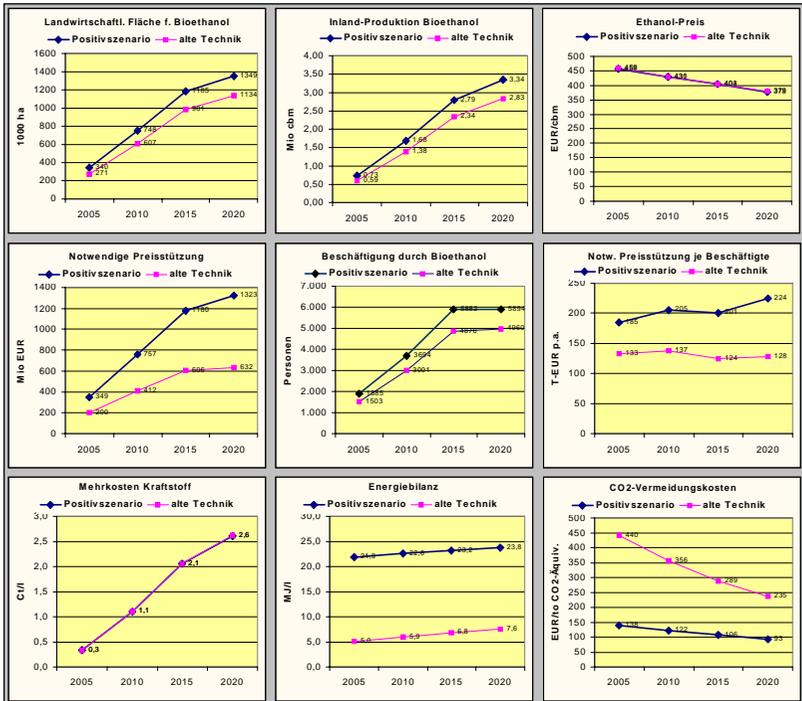


Abb. 113: Simulationsergebnisse für Triticale: Vergleich alter Technik mit Positivszenario

Die Inlandproduktion ist in diesem Positivszenario ohne Import höher, daraus resultiert auch eine höhere Preisstützung. Mit neuer Technik lässt sich die Energiebilanz wesentlich verbessern. Die Kosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung sinken auf ein Niveau um 200 EUR je to CO<sub>2</sub>-Äquivalent.

### (9) Bioethanol aus Körnermais

Wie (1), allerdings wird nur Körnermais als Rohstoff zugelassen.

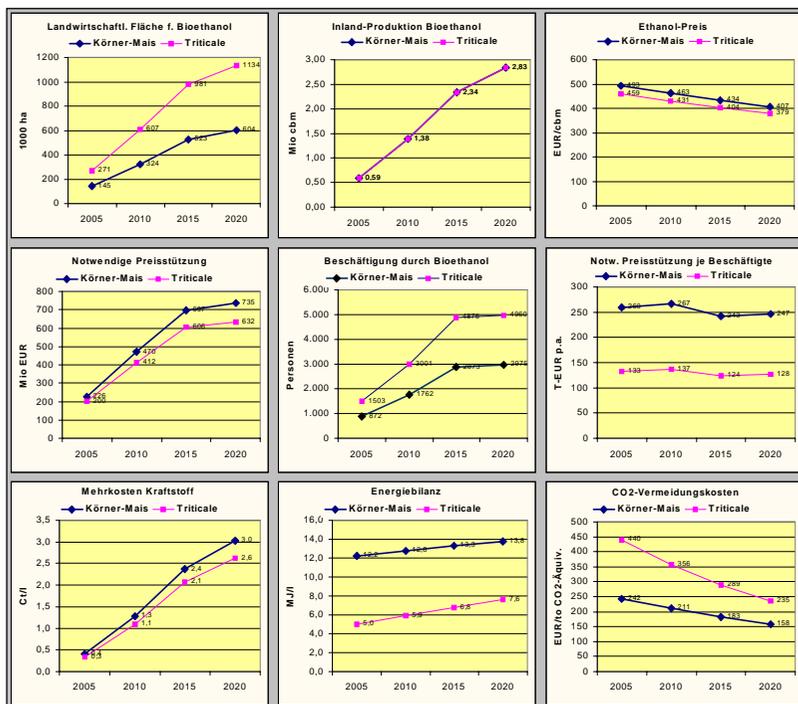


Abb. 114: Simulationsergebnisse für Körner-Mais im Vergleich zu Triticale

Körner-Mais beansprucht sehr viel weniger Fläche und Personal als Triticale. Die Bioethanol-Preise sind jedoch leicht höher, woraus sich ein höherer Steuerausfall und eine wesentlich höhere Pro-Kopf-Preisstützung bei Betrachtung des Beschäftigungseffekts ergibt.

Die Energiebilanz sieht wesentlich günstiger aus. Die Emissions-Vermeidungskosten liegen niedriger als bei Triticale und den anderen Getreidesorten.

## (10) Bioethanol aus Kartoffeln

Wie (1), allerdings werden nur Kartoffeln als Rohstoff zugelassen.

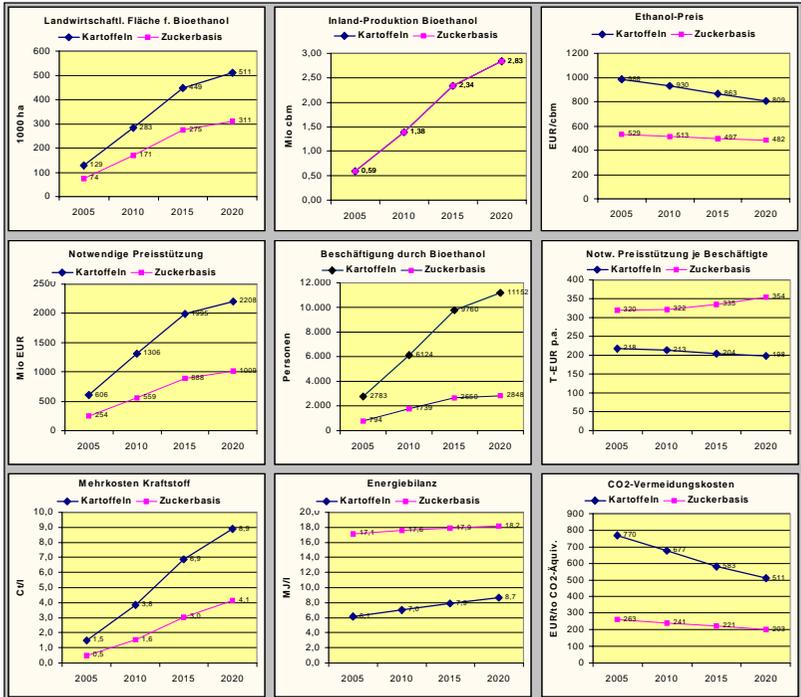


Abb. 115: Simulationsergebnisse für Kartoffeln im Vergleich zu zuckerhaltigen Rohstoffen

Kartoffeln haben einen außerordentlich hohen Flächen- und Personalbedarf. Nur deshalb stellt sich der Pro-Kopf-Preisstützung niedriger dar, obwohl die Gesamtkosten (Preise) und die Steuerausfälle höher sind als bei zuckerhaltigen Stoffen.

Die Energie- und die Umweltbilanz sind ungünstig: Die Energiebilanz wird nur bei neuer Technologie deutlich positiv auf niedrigem Niveau. Die Kosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung liegen sehr hoch.

### (11) Bioethanol aus Rohstoffmix

Rohstoffmix bestehend aus 50 % zuckerhaltigen Rohstoffen, 15 % Weizen, 15 % Roggen und 20 % Triticale. Landwirte erhalten Prämien, große Anlagen, 10 % Gutschrift für Kuppelprodukte in Landwirtschaft, 20 % in Konversion. Erwartete Rohstoffpreise, keine Importe, neue Technik und tatsächliches Heizwertverhältnis,

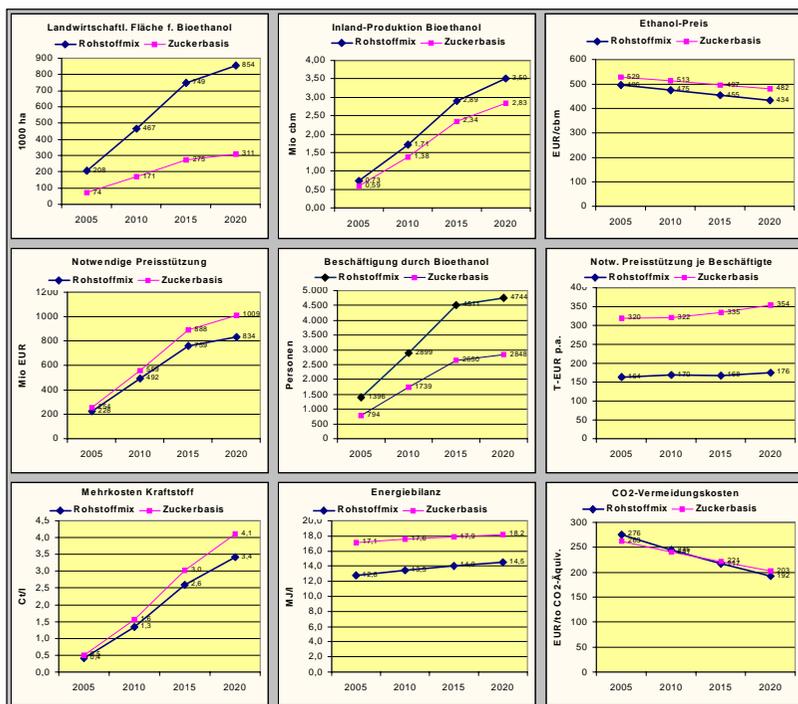


Abb. 116: Simulationsergebnisse für einen Rohstoffmix

Dieser Rohstoffmix wird unter günstigen Voraussetzungen im Vergleich mit der Simulation der zuckerhaltigen Rohstoffe dargestellt. Auf diese Weise lässt sich eine höhere Beschäftigung bei niedrigerer Preisstützung erzielen. Die Energiebilanz ist weniger gut als bei der Zuckerbasis.

## (12) Bioethanol aus Rohstoffmix, kleine Anlagen

Wie (11), nur Verwendung kleiner Brennereien.

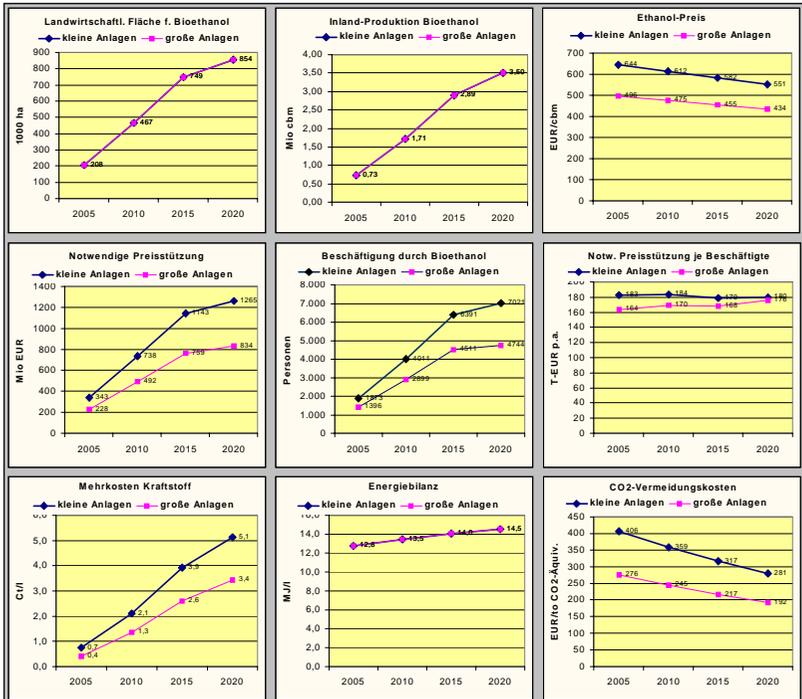


Abb. 117: Simulationsergebnisse für einen Rohstoffmix bei kleinen und großen Anlagen in den Brennereien

Kleine Brennereien verursachen höhere Kosten und höhere Emissionswerte.

**(13) Großes Absatzvolumen bei niedrigem Ethanolpreis; Verwendung von Bioethanol und ETBE**

Landwirte erhalten Prämien, große Anlagen, 10 % bzw. 20 % Gutschrift für Kuppelprodukte in Landwirtschaft und Konversion, 400 € Ethanolpreis vorgegeben, Auswahl Rohstoffe über Markt, keine Importe, Einsatz neuer Technik und Heizwertverhältnis 1 : 0,84.

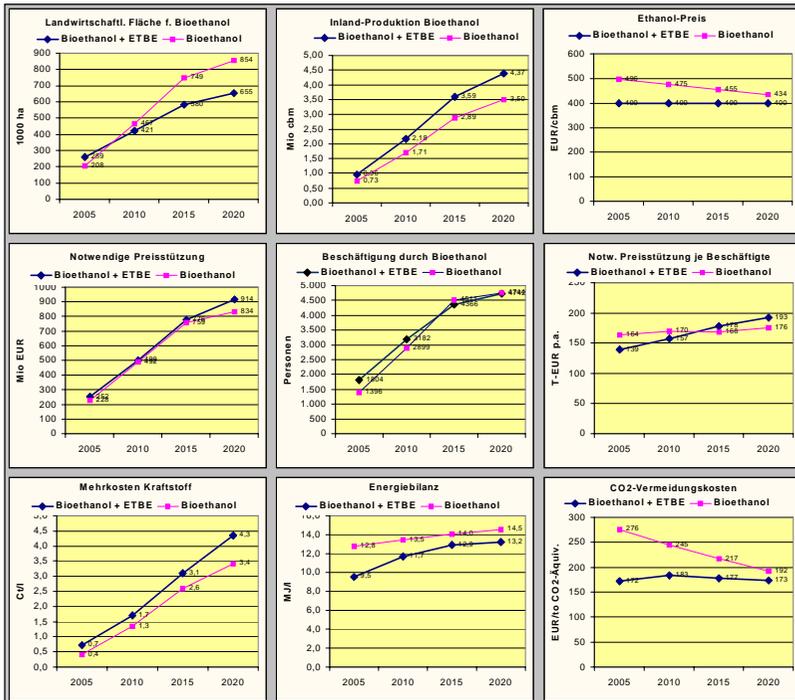


Abb. 118: Simulationsergebnisse für einen Rohstoffmix bei niedrigem Ethanolpreis

Auch wenn diese Simulation als vorteilhaft erscheint, so ist doch zu beachten, dass die Deckungsbeiträge in der Landwirtschaft außerordentlich niedrig sind und viele Landwirte zu den sich aus dem Ethanolpreis ergebenden Rohstoffpreisen nicht mehr produzieren werden.

## Rohstoff-Übersicht

Wie oben festgestellt wurde, verdienen die Zusammenhänge zwischen Ethanol-Preisen, dem Energie-Einsatz und der Umweltbelastung eine besondere Aufmerksamkeit. Denn tendenziell lässt sich erkennen, dass diejenigen Rohstoffe, deren Kosten der Landwirtschaft und der Konversion in Ethanol am kostengünstigsten sind, die höheren Einsätze an Energie und die höheren Emissionen verursachen.

Die folgenden Diagramme veranschaulichen diese Zusammenhänge. Die ersten beiden Diagramme basieren auf den Werten veröffentlichter Studien, die beiden anderen auf den untersuchten neueren Techniken.

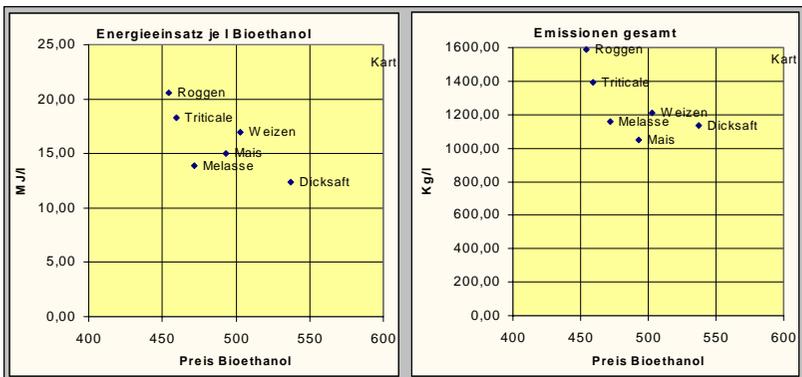


Abb. 119: Energieeinsatz und Emissionen über dem Bioethanol-Preis der Rohstoffe nach veröffentlichten Studien

Auffällig sind folgende (Extrem-) Werte:

- Roggen verursacht einen relativ hohen Energiebedarf und hohe Emissionen, aber die Herstellkosten sind sehr gering
- Triticale liegt nahe beim Roggen, ist aber etwas günstiger.
- Der Dicksaft aus Zuckerrüben hat den niedrigsten Energieverbrauch und liegt günstig bei den Emissionen, er führt aber zu relativ hohen Bioethanol-Preisen.
- Weizen und Mais nehmen in jeder Hinsicht Mittelwerte ein, wobei Mais etwas günstiger erscheint.
- Die Melasse zeichnet sich durch eine günstige Kostenstruktur und geringen Energieverbrauch aus. Sie verursacht aber relativ hohe Emissionen.

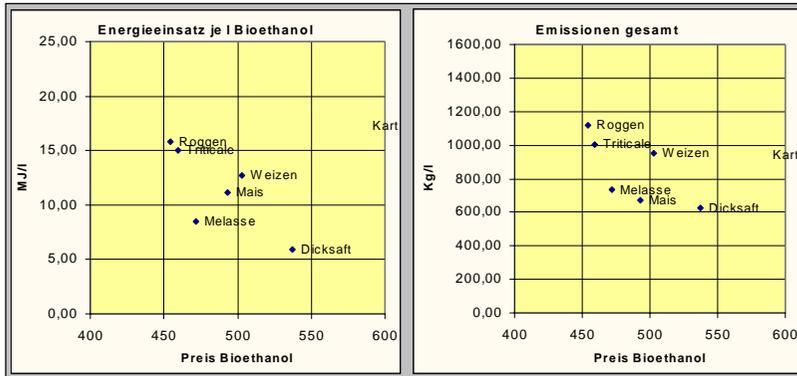


Abb. 120: Energieeinsatz und Emissionen über dem Bioethanol-Preis der Rohstoffe nach Untersuchung neuer Techniken

Die neuen Werte der Untersuchungen neuer Techniken unterscheiden sich von denen der Studien durch eine Absenkung der Energieverbräuche und der Emissionen. Die relative Günstigkeit der einzelnen Rohstoffe verändert sich dabei nur geringfügig.

Wenn es mit neuer Technik gelingt, die Energieverbräuche bei der Konversion wie beschrieben zu senken, dann ist die Energiebilanz der Bioethanolerzeugung bei allen Rohstoffen positiv.

Die folgende Tabelle zeigt noch einmal im Überblick die wichtigsten Vergleichswerte für die untersuchten Rohstoffe. Die erste Spalte zeigt die für die Bioethanolproduktion erforderliche Fläche, die zweite Spalte weist den auf den Hektar bezogenen Deckungsbeitrag des Landwirts aus. Die dritte Spalte gibt das Produktionsvolumen wieder, die vierte zeigt den entsprechenden Ethanolpreis.

Die nachfolgende Spalte zeigt die erforderliche Preisstützung, um Bioethanol preislich wettbewerbsfähig mit normalen Ottokraftstoff zu machen. Dazu kann der Staat beispielsweise das Instrument der Mineralölsteuerbefreiung oder -ermäßigung einsetzen.

Die sechste Spalte gibt an, wie viele Menschen in Landwirtschaft und Brennereien mit der Bioethanolerzeugung beschäftigt sind. Die Werte sind nicht zu verstehen als positive Beschäftigungseffekte, da davon ausgegangen werden muss, dass mit der Produktion von landwirtschaftlichen Rohstoffen für Bioethanol andere Verwendungsarten substituiert

Tabelle 21: Zusammenfassung der Simulationsläufe

Simulation		Anbaufläche f. Bio-Ethanol 1000 ha	Deckungsbeitrag Landwirtschaft €/ha	Prod. Bioethanol Mio. m <sup>3</sup>	Ethanol-Preis €/m <sup>3</sup>	Notwendige Preisstützg. Mio. €	Beschäftigung für Bioethanol Pers.	Notwendige Preisstützg. T-€/Pers.	Energie-Bilanz % d. subst. Benzins MJ/l	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten €/t CO <sub>2</sub> -Äquiv.	
Nr.	Variante										
<b>Einzelne Rohstoffe</b>											
1	Zuckerhaltige Produkte (2 % Bioethanol)	74	943	0,59	529	254	794	320	17,1	73	263
2	Wie 1 mit alter Technik	74	943	0,59	529	254	794	320	10,8	46	402
3	Nur Dicksaft (2 % Bioethanol)	85	943	0,59	537	260	892	292	17,4	75	267
4	Weizen (2 % Bioethanol)	176	411	0,59	503	234	1.139	205	10,6	46	310
5	Roggen (2 % Bioethanol)	323	193	0,59	455	197	1.762	112	7,5	32	310
6	Roggen, wie 5 mit alter Technik	323	193	0,59	455	197	1.762	112	2,8	12	605
7	Triticale mit alter Technik	271	264	0,59	459	200	1.503	133	5,0	21	440
8	Triticale mit neuer Technik, ohne Importe, Hu-Verh. 1:1, höhere Gutschrift Kuppelprodukte	340	264	0,73	458	349	1.885	185	21,9	61	138
9	Körner-Mais (2 % Bioethanol)	145	380	0,59	493	226	872	260	12,2	52	242
10	Kartoffeln (2 % Bioethanol)	129	1758	0,59	988	606	2.783	218	6,1	36	770
<b>Rohstoffmix:</b>											
11	Rohstoffmix ohne Importe	208		0,73	496	228	1.396	164	12,8	55	276
12	wie 11 mit kleinen Anlagen	208		0,73	644	343	1.873	183	12,8	55	406
13	Bioethanol 5 %, ETBE 3 %, kein Import, optim. Anna hmen für Technik, Vorg. Ethanol-Preis 400	652		2,36	400	541	4.565	118	10,0	39	199

werden. Die nachfolgende Spalte zeigt als Verhältniszahl die Höhe der notwendigen Preisstützung bezogen auf die in der Bioethanolerzeugung Beschäftigten.

Die folgenden Spalten zeigen die Werte für Energiebilanz und CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten. Spalte acht gibt den Nettoenergiegewinn wieder und errechnet sich aus dem Brennwert des durch Bioethanol substituierten Ottokraftstoffs abzüglich der im Erzeugungsprozess verwendeten fossilen Energie. Spalte neun zeigt den Anteil der „von der Sonne geschenkten“ biogenen Energie im Verhältnis zur fossilen Energie. Ein Wert von 46 % gibt beispielsweise an, dass 46 % des durch Bioethanol substituierten Brennwertes aus Biomasse gewonnen ist, 54 % dagegen auf den Einsatz fossiler Energien im Herstellungsprozess entfallen. Die letzte Spalte schließlich gibt schließlich die Vermeidungskosten je t CO<sub>2</sub>-Äquivalente an.

## 8.2 Der Einfluss des Rohöl-Preises

Der Rohölpreis schlägt sich im Benzinpreis nieder. Je höher dieser ist, desto günstiger muss Bioethanol sein. Mit Hilfe des Modells lässt sich leicht nachweisen, wie hoch der Rohölpreis steigen muss, damit die Mehrkosten des Bioethanols aufgewogen werden. Andererseits lässt sich auch bestimmen, welche relativen Nachteile bei einer Absenkung des Rohölpreises eintreten.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Auswirkungen des Rohölpreises auf die Mehrkosten des Kraftstoffes und auf die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten.

Der niedrige Rohölpreis von 20\$ je Barrel führt zu Mehrkosten von bis zu 3,5 Ct/l. Bei einem Rohölpreis von 50\$ sind die Mehrkosten des Kraftstoffes vernachlässigbar.

Während die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bei den aktuell niedrigen Rohölpreisen sehr hoch sind (300 bis 200 €/to), würden sie infolge eines hohen Rohölpreises auf so geringe Werte wie 100 bis 24 €/to fallen.

Sollte der Rohölpreis weiterhin nicht um die 25\$ (± 5\$) schwanken, sondern in den nächsten Jahren bis auf 50\$ steigen, dann könnte sich das in Abb. 122 dargestellte extreme Szenario einstellen

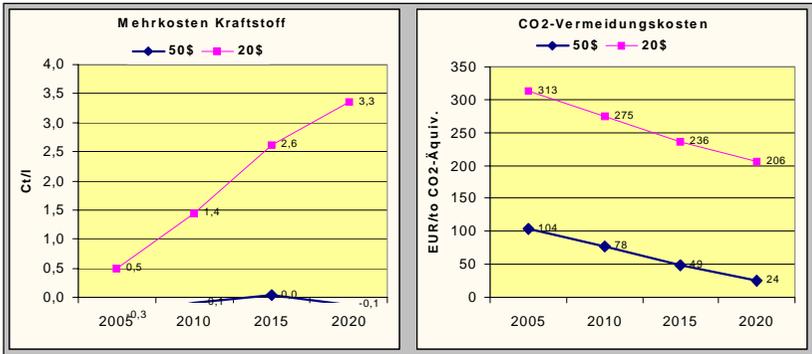


Abb. 121: Der Einfluss des Rohölpreises

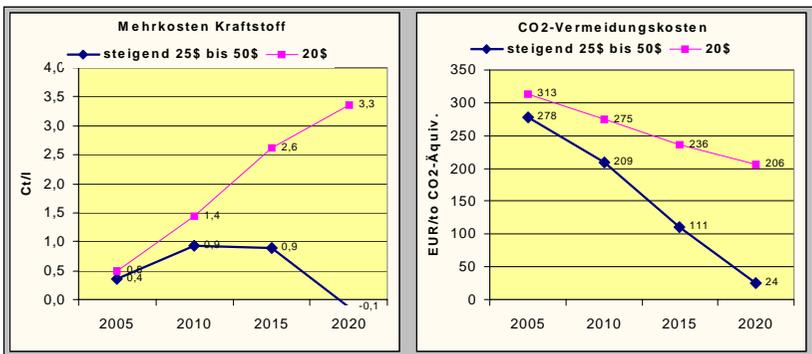


Abb. 122: Zwei Szenarien für die Auswirkungen der Rohölpreis-Entwicklung

### 8.3 Der Effekt der Anlagengröße

Mit der zunehmenden Größe der Konversionsanlagen sind Kostendegressionen und Vorteile für die Energie- und die Umweltbilanz zu erwarten. Die technologischen Effekte wurden sehr eingehend untersucht. Hier wird in einer vergleichenden Darstellung gezeigt, wie sich die technologischen Entwicklungen auf die Gesamtrechnungen auswirken werden.

Die folgenden Ergebnisdiagramme zeigen die Auswirkungen auf die Kenngrößen.

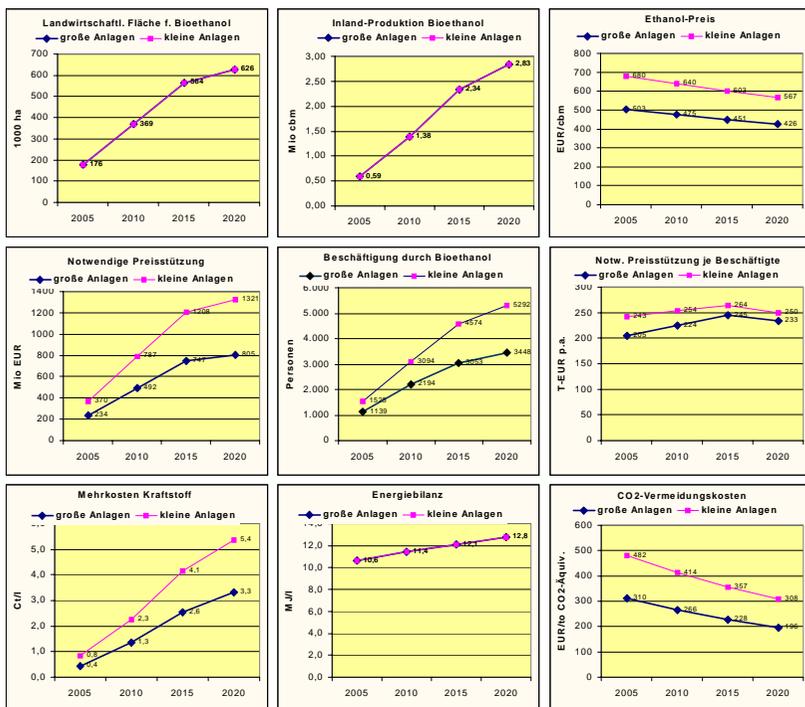


Abb. 123: Die Auswirkungen der Anlagengrößen

Der Simulation liegt das Szenario einer zunehmenden Bioethanol-Produktion zugrunde, die allein durch die Konversion von Weizen erreicht werden soll. Aufgrund der Kostendegression bei großen Anlagen stellt sich ein erheblich günstigerer Bioethanol-Preis ein, der zu geringeren Steuerausfällen führt. Zugleich wird weniger Personal in den Brennereien benötigt.

Aus den Diagrammen kann außerdem abgelesen werden, um wie viel die Mehrkosten des Kraftstoffes und die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten sinken.

## 8.4 Der Effekt von Importen

In der normalen Einstellung simuliert das Modell Importe und Exporte von Rohstoffen (außer Zuckerrüben). Die bisherigen Außenhandelswerte sind dem Modell eingegeben und setzen sich – wenn sie nicht abgeändert werden – in die Zukunft fort.

Ungeachtet der rechtlichen Rahmenbedingungen lässt sich mit dem Modell als eine der möglichen Fragestellungen austesten, welchen Effekt ein Aussetzen des Importes hätte.

Die folgenden Ergebniskennzahlen zeigen die Konsequenzen eines Import-Stoppes im Vergleich mit der normalen Situation (15 % Import Weizen, 20 % Import Ethanol).

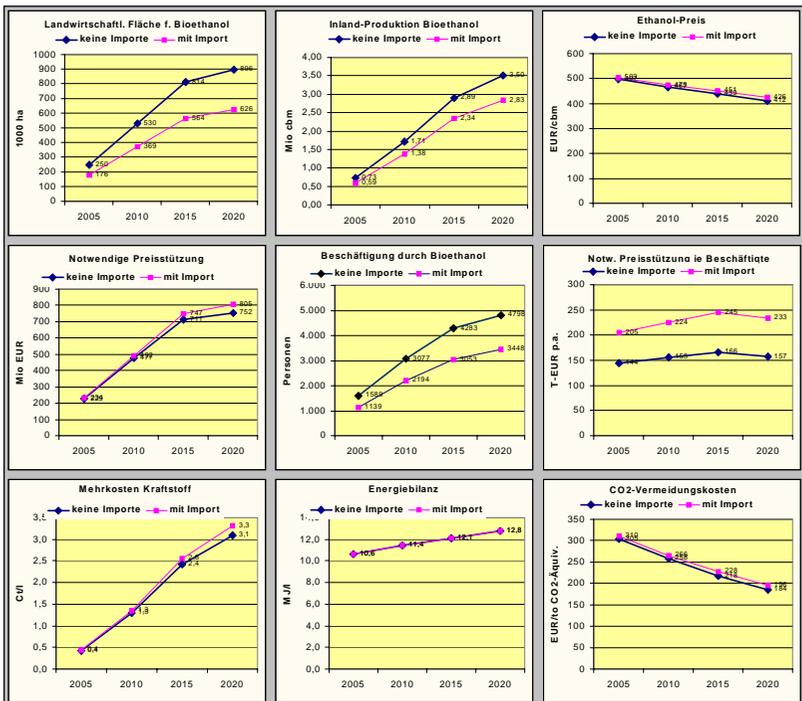


Abb. 124: Die Auswirkungen eines Import-Stoppes

Infolge des Import-Stopps müssten die Inland-Produktion steigen, der Flächen- und Personalbedarf zunehmen, ohne dass es zu einer nennenswerten Veränderung der Kosten kommen würde. Aufgrund der Beschäftigungszunahme um bis zu 1.000 Personen würde die Pro-Kopf-Subvention deutlich auf etwa 150.000 €/Person fallen.

### 8.5 Minimale Erzeugerpreise für Zuckerrüben

Häufig wird die Frage gestellt, bei welcher Höhe der minimale Zuckerrüben-Preis für die Ethanolherzeugung liegen könne. Diese Frage lässt sich mit dem Modell einfach austesten.

Landwirtschaftliche Produktion		Landwirtschaftliche Produktion				
Zuckerrüben		2000	2005	2010	2015	2020
Anbaufläche	1000 ha	451	493	651	804	880
Max. Fläche	1000 ha	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
Nutzungsanteil	%	25%	27%	36%	45%	49%
Fläche für Bioethanol	1000 ha	0	74	171	275	311
Erträge	to/ha	61,7	66,3	71,3	76,6	82,4
Ertragssteigerung	% p.a.		1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Erzeugung	Mio.to	27,8	32,7	46,4	61,6	72,5
Wirtschaftliche Situation						
Erwart. Erz.-Preise	EUR/to	29	13	12	11	12
Preisindex	%	100%	44%	42%	40%	40%
ha-Einnahmen	EUR/ha	1.779	847	857	877	955
Wert Z-Rübenschnitzel	EUR/ha	123	133	143	153	165
+ Prämie	EUR/ha		350	250	150	0
- Kosten incl. Pacht	EUR/ha	1.400	1.330	1.250	1.180	1.120
= Deckungsbeitrag	EUR/ha	503	0	0	0	0
Notwendiger DB	EUR/ha	300	0	0	0	0
Eff. DB über notw.	EUR/ha	203	0	0	0	0
Personaleinsatz	Std/ha	15	14	13	12	11
Beschäftigte	Pers	4.224	4.313	5.287	6.032	6.053
Besch.-Effekt Bioeth.	Pers		645	1.393	2.065	2.139

Abb. 125: Wirtschaftliche Situation der Rüben-Produktion unter Grenzbedingungen

Abb. 125 zeigt die wirtschaftliche Situation der Rübenbauer, wenn als Grenzwert kein Deckungsbeitrag erzielt wird.

Die Tabelle zeigt (in der Mitte) die erwarteten Erzeugerpreise. Wenn diese (hypothetisch) auf weniger als die Hälfte des Niveaus des Jahres 2000 abgesenkt werden, verbleibt dem Landwirt kein Deckungsbeitrag. Spätestens in dieser Situation wird er keine Rüben mehr anbauen.

Die folgenden Ergebniskennzahlen veranschaulichen die Situation bei diesen Grenzbedingungen im Vergleich mit den „normalen“ Preis-Annahmen.

Bei diesen extrem niedrigen Rohstoffkosten liegt der Bioethanol-Preis zwischen 400 und 350 €/m<sup>3</sup> anstelle von etwa 500 €/m<sup>3</sup>. Steuerausfall und damit auch die Pro-Kopf-Subvention fallen erheblich. Die Mehrkos-

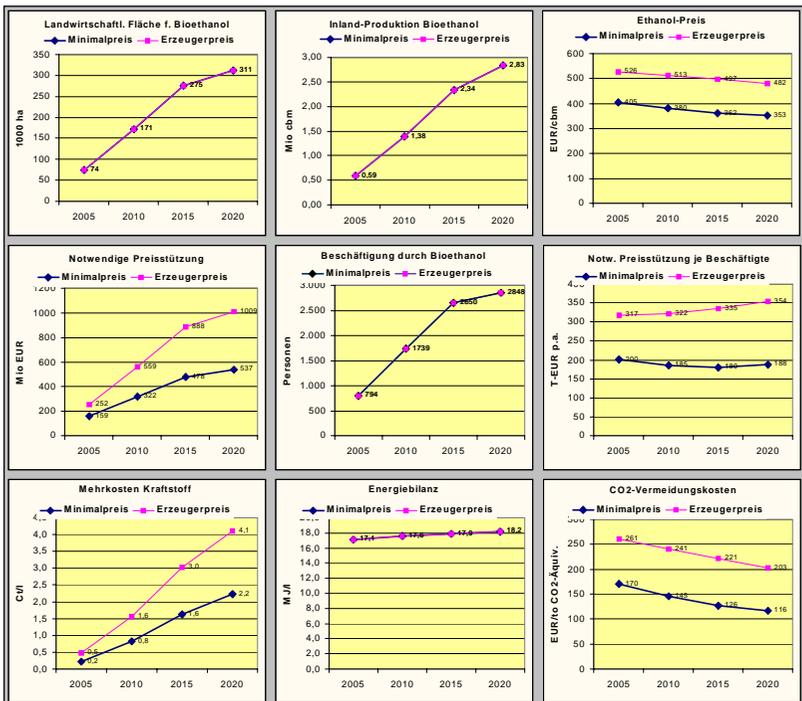


Abb. 126: Szenario des minimalen Zuckerrüben-Preises

ten des Kraftstoffs steigen nur auf etwa 2,5 Ct/l anstelle von 4,5 Ct/l. Auch die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten fallen auf etwa 150 bis 116 €/kg.

## 8.6 Alternative Produktstrategien

### 8.6.1 Bioethanol und ETBE

Die ökonomische und ökologische Bewertung kommt zu wesentlich anderen Ergebnissen, wenn man anstelle der bisher betrachteten Bioethanol-Beimengung eine andere Produktstrategie mit ETBE plant. Eine wichtige Alternative ist die Herstellung von ETBE aus Bioethanol und die Substitution von MTBE durch ETBE.

Als Strategie 1 wird eine Beimengung sowohl von Bioethanol als auch von ETBE untersucht.

Beimischung		2000	2005	2010	2015	2020
	Simulationszeit					
Bioethanol	▲	-->	2,0%	5,8%	9,5%	13,3%
ETBE						
Bioethanol + ETBE	▼	-->	1,4%	3,0%	5,0%	7,0%

Abb. 127: Mischungsverhältnis bei Strategie 1

Die folgenden Ergebniskennzahlen zeigen den Vergleich zwischen der bisher diskutierten reinen Bioethanol-Beimengung und einer Bioethanol - ETBE - Strategie.

Da für die Erzeugung von ETBE auch Bioethanol benötigt wird, erhöhen sich die Inland-Produktion, der Flächen- und Personalbedarf. Wegen der steigenden Kosten und Steuerausfälle erhöht sich die Pro-Kopf-Subvention trotz gestiegener Beschäftigtenzahlen.

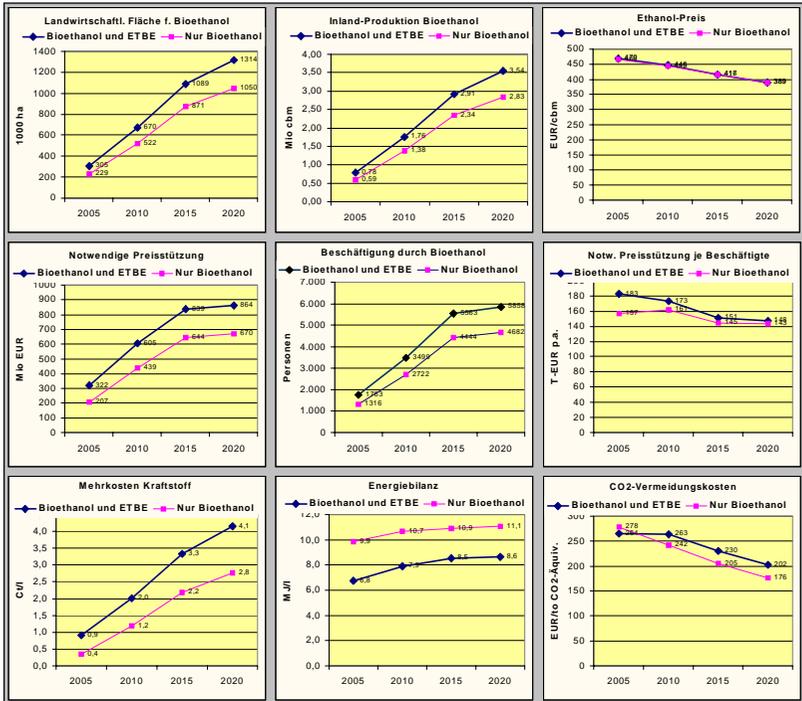


Abb. 128: Die Bioethanol-ETBE-Strategie

### 8.6.2 Produktstrategie ETBE

Die folgende Simulation untersucht die Situation, wenn die Produktstrategie ausschließlich auf ETBE ausgerichtet wird, d.h. es wird nur so viel Bioethanol erzeugt, wie zur Herstellung von ETBE benötigt wird.

Der folgenden Simulation liegen die gleichen prozentualen Beimengungen von ETBE zugrunde.

Insbesondere die niedrigen Beimengungen von 1,4% führen zu geringen Steuerausfällen und Mehrkosten. Dafür bleibt der Beschäftigungseffekt vernachlässigbar gering bei etwa doppelt so hohen Pro-Kopf-Subventionen wie bei der Bioethanol-Strategie.

Die Energie- und die Umweltbilanz sind ungünstig, da für die Herstellung von ETBE noch ein weiterer, energieaufwändiger Konversionsschritt erforderlich ist. Die Kosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung liegen etwa doppelt so hoch wie bei Bioethanol.

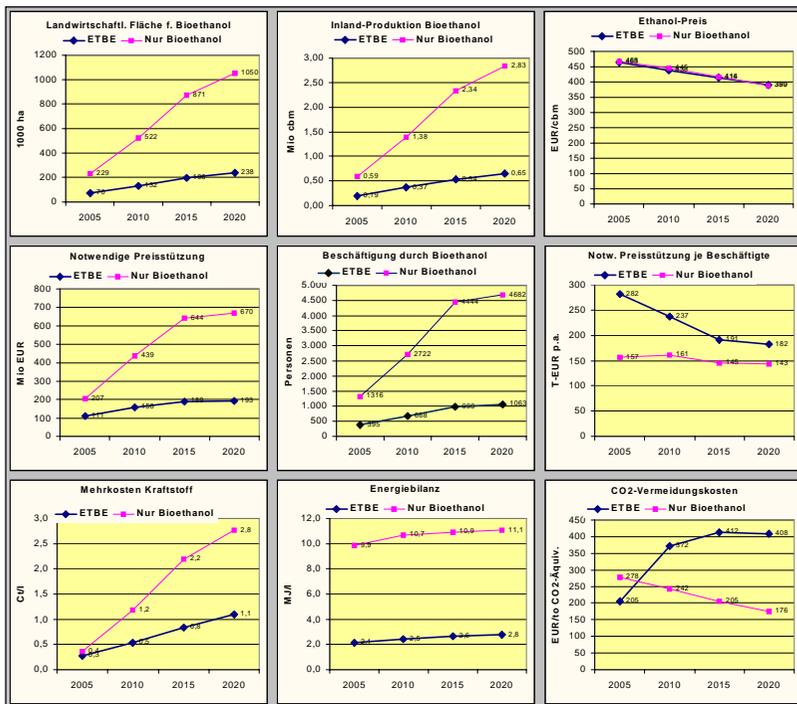


Abb. 129: Die ETBE-Strategie

## 9 Ausblick

Der Einsatz von Bioethanol bzw. ETBE als Substitut für Ottokraftstoff und MTBE eröffnet für Landwirtschaft und Ethanolhersteller erhebliche Absatzpotenziale. Geht man beispielsweise davon aus, dass im Jahr 2005 5 % Ethanol dem Ottokraftstoff beigemischt wird, dann würde dies einem Ethanolabsatz von 1,76 Mio. m<sup>3</sup> entsprechen. Dies entspräche dem fünffachen Volumen des derzeitigen gesamten Ethanolabsatzes in allen Marktsegmenten in Deutschland. Damit wird die Attraktivität dieses Marktsegments im Vergleich zu den traditionellen Absatzmärkten der Ethanolindustrie unterstrichen, in denen mittel- bis langfristig kaum Wachstumspotenziale erwartet werden.

Bioethanol ist ohne steuerliche Förderung gegenüber herkömmlichen Ottokraftstoff nicht wettbewerbsfähig. Die steuerliche Förderung wird mittelfristig aufrechterhalten bleiben müssen, da auch bei Verwendung bekannter neuer Technologien und Verfahren die Herstellungskosten nicht ausreichend gesenkt werden können um Wettbewerbsfähigkeit zu erreichen. Das Ausmaß der erforderlichen steuerlichen Förderung hängt u.a. vom Rohölpreis und den Produktionskosten für Ethanol in Deutschland ab. Bei den derzeitigen Ölpreisen und Steuersätzen in Deutschland stellt die in diesem Sommer vom Bundestag verabschiedete 100%ige Steuerbefreiung einen erheblichen Anreiz für die Einführung von Bioethanol oder ETBE im Markt dar. Es wird davon ausgegangen, dass die Politik diesen Anreiz bewußt gesetzt hat, um die Markteinführung des Produktes durch attraktive Margen für die Mineralöl- und ggfs. Ethanolindustrie zu fördern. Der Gesetzestext zur Steuerbegünstigung von Biokraftstoffen sieht vor, dass alle zwei Jahre ein Bericht über die Markteinführung der Biokraftstoffe und die Entwicklung der Preise für Biomasse und Rohöl sowie der Kraftstoffpreise vorzulegen ist und darin gegebenenfalls eine Anpassung der Steuerbegünstigung für Biokraftstoffe an die Marktlage vorzuschlagen ist. Dies führt wahrscheinlich dazu, dass die Steuerbefreiung in eine Steuerermäßigung umgewandelt werden wird.

Aus agrarpolitischer Sicht bietet Bioethanol einen zusätzlichen Absatzkanal für die Beseitigung landwirtschaftlicher Überproduktion.

Überschüsse können damit ggfs. kostengünstiger „entsorgt“ werden als über die Vermarktung zu subventionierten Preisen auf dem Weltmarkt nach langen und teuren Einlagerungen. Roggen stellt hierfür ein aktuelles Beispiel dar. Allerdings stellt sich immer noch die Frage, ob Roggen in den heutigen Mengen überhaupt produziert werden sollte, wenn es dafür keine Absatzmärkte gibt, auf denen dieses Produkt ohne staatliche Hilfe verkauft werden können.

Die Auswirkungen der Ethanolförderung für die Landwirtschaft bleiben allerdings beschränkt. Die Beschäftigungswirkungen einer verstärkten Bioethanolproduktion in Landwirtschaft und Brennereien sind aufgrund der hohen Mechanisierung und der erforderlichen Betriebsgrößen insgesamt niedrig. Problematisch ist zudem, dass attraktive Bioethanolpreise niedrige Rohstoffpreise voraussetzen. Andererseits sind positive Einkommenseffekte in der Landwirtschaft nur bei Rohstoffpreisen zu erwarten, die die Erwirtschaftung angemessener Deckungsbeiträge ermöglichen. Relativ hohe Rohstoffpreise verschlechtern aber die Wettbewerbsfähigkeit von Bioethanol gegenüber herkömmlichem Kraftstoff, so dass die Subventionierung weiter verstärkt und der Schutz vor Ethanolimporten beträchtlich ausgeweitet werden müsste.

Mit der Einführung eines Bioethanolprogramms wird die bestehende Branchenstruktur der ethanolerzeugenden Industrie in Deutschland voraussichtlich erheblich verändert werden. In anderen Ländern mit ähnlichen Programmen hat dies zur Entwicklung von Angebotsstrukturen mit einigen wenigen großen Unternehmen geführt, während bis dahin bestehenden kleine und mittlere Unternehmen meist aus dem Markt verdrängt wurden. Auch in Deutschland wird man davon ausgehen müssen, dass mit Inkrafttreten des Gesetzes zur Mineralölsteuerbefreiung für Biokraftstoffe große Unternehmen aus der Zucker- und Stärkeindustrie, aber auch Großunternehmen aus dem Ausland in den Bioethanolmarkt einsteigen und die bisherige Branchenstruktur erheblich verändern werden. Im Gegensatz zu Ländern wie Spanien ist in Deutschland bislang nicht die Trennung der Märkte für Bioethanol und für sonstige Verwendungen vorgesehen (Konzept der sog. "dedicated factories").

Bei der Betrachtung von Bioethanol unter klimapolitischen Aspekten ist festzustellen, dass Energie- und Ökobilanzen noch deutlich verbessert werden müssen, wenn man dieses Produkt mit alternativen volkswirtschaftlichen Strategien zur Minderung von Treibhausgasemissionen vergleicht und technologische Neuentwicklungen wie die sogenannten

„Designerkraftstoffe“ oder die Brennstoffzellentechnologie berücksichtigt.

Methanol wird als Wasserstoffträger für den Brennstoffzellenantrieb insbesondere bei führenden deutschen Automobilherstellern favorisiert. Statt Methanol kann allerdings auch Ethanol eingesetzt werden. Hier bietet sich ein zusätzlicher Ansatzpunkt für den Einsatz von Ethanol, der bislang in Deutschland wenig berücksichtigt worden ist, dafür aber in Ländern wie Frankreich und Brasilien intensiver diskutiert wird. Ethanol hat den großen Vorteil, dass es im Vergleich zu Methanol ungiftig ist.

Zur Verbesserung der Energiebilanz bedarf es insbesondere optimierter landwirtschaftlicher Anbaumethoden und energetisch optimierter Prozesse in den Konversionsanlagen. Dabei kommt der Verwertung der Kuppelprodukte besondere Bedeutung zu. Um energetisch sinnvolle Lösungen zu erhalten, sollte der Produktionsprozess eine vollständige energetische Verwertung der Biomasse vorsehen. Dabei ist nicht klar, ob dies heute auch eine wirtschaftlich sinnvolle Alternative darstellt. Bei den landwirtschaftlichen Rohstoffen sollten züchterische Maßnahmen darauf ausgerichtet sein, den Ethanolertrag je ha weiter zu steigern ohne zusätzliche fossile Inputs zu benötigen bzw. die Verarbeitung zu erleichtern. Ggfs. bieten hier auch alternative Rohstoffe Potenzial für die Zukunft. In diesem Kontext spielt die Verarbeitung lignozellulosehaltiger Rohstoffe eine besondere Bedeutung. Bei der Herstellung von Ethanol aus Stroh oder schnell wachsenden Hölzern sinken die Kosten erheblich, und auch Energie- und Ökobilanz sind deutlich besser als bei konventionellen Rohstoffen. Ausgereifte Technologien sollen nach Aussagen von einzelnen Marktteilnehmern bereits im Jahre 2006 vorliegen und in neuen Anlagen zum Einsatz kommen.

Forschungsbemühungen sollten darauf ausgerichtet sein, die bereits bestehenden Ansatzpunkte zur Verbesserung der Energie- und Klimabilanz weiter zu entwickeln. Die vielversprechenden F&E-Aktivitäten in diesem Bereich könnten einen Förderungsschwerpunkt bilden.

Die Kostendegression bei größeren Anlagen ist bei der Ethanolherstellung beachtlich. Daher wird davon ausgegangen, dass bei der Verwendung von Bioethanol im Kraftstoffsektor in Deutschland im wesentlichen aus großen Anlagen (Kapazitäten ab ca. 120.000 m<sup>3</sup>) geliefert werden wird. Kleine Einheiten werden i.d.R. nicht zu kostendeckenden Preisen Ethanol anbieten können. Allerdings ist auch vorstellbar, dass landwirtschaftliche Brenner, die ihre Anlagen bereits beschrieben haben, ihren

Agraralkohol im Bioethanolmarkt absetzen wollen und wirtschaftlich diesbezüglich Grenzkostenbetrachtungen anstellen. Inwieweit Ethanol aus Drittländern oder aus den EU-Erweiterungsländern zur Marktversorgung in Deutschland beitragen wird, ist derzeit schwer abzuschätzen. Globaler Kostenführer bei der Ethanolherstellung ist Brasilien, und bei den derzeit gegebenen Transportkosten und Zollsätzen ist die Einführung von großen Mengen Ethanol nach Europa ein ernstzunehmendes Zukunftsszenario.

Eine Hebelwirkung auf Energie- und Ökobilanz von Bioethanol hat die Einschätzung des energetischen Wirkungsgrades von Ethanol im Kraftstoffgemisch: Entspricht es dem Verhältnis der unteren Heizwerte von Ethanol und Benzin zueinander oder ist es besser einzuschätzen? Hierzu gibt es unterschiedliche Angaben. Eine auf deutsche bzw. europäische Verhältnisse bezogene Analyse des Verbrauchsverhaltens von modernen Motorenkonzepten bei Verwendung von Ottokraftstoff mit beigemischtem Ethanol sollte hierzu entsprechende Erkenntnisse liefern.

Die Nachfrage nach Ottokraftstoff ist in Deutschland rückläufig; Bioethanol würde in einem schrumpfenden Markt mit Überkapazitäten fossilen Kraftstoff verdrängen. Dagegen nimmt die Nachfrage nach Diesel, das einen deutlich besseren energetischen Wirkungsgrad als Ottokraftstoff aufweist, noch bis voraussichtlich 2010 kontinuierlich zu. Bisher ist eine Beimischung von Ethanol zum Diesel problematisch, da bereits bei einer geringen Zumischung der Flammpunkt deutlich abgesenkt wird. Das gleiche gilt für die Beimischung von Methanol. Durch entsprechende F&E-Bemühungen kann ggfs. dieses attraktive Marktsegment für den Absatz von Bioethanol erschlossen werden.

## 10 Literatur- und Quellenverzeichnis

### 10.1 Eigenständige Schriften und Artikel

afta: Brazilian Alcohol. A review of Production, Subsidies and Intervention, Brüssel 2000.

Albrecht, Werner: Die Reform der europäischen Weinmarktordnung, in: Handbuch für die Brennerei- und Alkoholwirtschaft 2000, 47. Jg., Balve 1999, S. 279-297.

Aufhammer, W.; Pieper, H. J.; Stützel, H.; Schäfer, V.: Eignung von Korngut verschiedener Getreidearten zur Bioethanolproduktion in Abhängigkeit von der Sorte und den Aufwuchsbedingungen, in: Die Bodenkultur, Journal für landwirtschaftliche Forschung, 44. Band, Heft 2, S. 183-194, Mai 1993.

Austmeyer, K., Röver, H.: Verbundproduktion von Ethanol und Weißzucker. Zuckerind. 113, Nr. 9, S. 765-772, 1988.

Bovard, James: Archer Daniels Midlang: A Case Study in Corporate Welfare, Cato Policy Analysis No. 241, Sept. 26, 1995.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Nationales Klimaschutzprogramm, Beschluss der Bundesregierung vom 18. Oktober 2000 und Nachhaltige Energiepolitik für eine zukunftsfähige Energieversorgung, Energiebericht, Berlin 2001.

Burtraw, Dallas; Toman, Michael: The Benefits of Reduced Air Pollution in the U.S. from Greenhouse Gas Mitigation Policies, Resources for the Future, Discussion Paper 98-01-REV, 1997.

Commission Consultative pour la Production de Carburant de Substitution (CCPCS): Rapport des Traveux du Groupe Numero 1, Paris 1991, in: IEA ,1994.

Conzelmann, Rütger: Erfolgsfaktoren der Innovation am Beispiel Pflanzenölmotor, Europäische Hochschulschriften, Reihe V, Bd.Vol. 1692, Frankfurt a.M. 1995.

Cornelissen, Josef (Hrsg.), Handbuch für die Brennerei- und Alkoholwirtschaft, 1999.

Dambroth, M.: Zusammenfassung der Ergebnisse Weiterentwicklung und Optimierung einer Ethanolproduktion aus nachgewachsenen Rohstoffen, FAL 1992.

Dambroth, M.: Produktionstechnik und Pflanzenzüchtung FAL-Bericht.

Dietrich, K. R.: Die Erzeugung und Eignung von Ethylalkohol als Kraftstoff, in: Erdöl und Kohle, 6. Jg, 1953, S. 146 - 148.

DGMK: Ansatzpunkte und Potentiale zur Minderung des Treibhauseffektes aus Sicht der fossilen Energieträger, Forschungsbericht 448-2, 1992.

Diepenbrock, W.; Pelzer, B.; Radtke, J.: KTBL (Hrsg.), Energiebilanz im Ackerbaubetrieb, Darmstadt 1995.

Ecotraffic: "The Life of Fuels-Motor Fuel From Source to End Use". Ecotraffic AB, Stockholm 1992, in: IEA, 1994.

Energy Information Administration: Annual Energy Outlook, Washington, DC, 2000.

Encyklopädia of Chemical Processing and Design, Bd.19, 1983.

Environmental Resources Limited (ERL): Study of the Environmental Impacts of Large Scale Bioethanol Production in Europe: Final Report, London 1990, in: IEA, 1994.

European Fuel Oxygenates Association (EFOA): MTBE, Resource Guide, 2002.

F.O. Licht: World Ethanol Markets. Analysis and Outlook, London 2001.

Fachlicher Informations Dienst: Richtwertdeckungsbeiträge 2000 der Landwirtschaftskammer Hannover, in: FID Sonderheft 28a, Hannover 2000.

Flaig, Holger; Mohr, Hans (Hrsg.): Energie aus Biomasse, Eine Chance für die Landwirtschaft, Berlin Heidelberg 1993.

Foth-Drews: Die Praxis des Brennereibetriebes, Berlin 1951.

Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung: Biotechnologische Herstellung von Wertstoffen unter besonderer Berücksichtigung von Energieträgern und Biopolymeren aus Reststoffen, Arbeitspapier, Karlsruhe 2002.

Hölzlein, Hans: Chronik des deutschen Branntweinmonopols, in: Branntweinwirtschaft, 1989.

International Energy Agency (IEA): Biofuels, Paris 1994.

IFEU, Reinhardt, G., Zemanek, G.: "Ökobilanz Bioenergieträger: Basisdaten, Ergebnisse, Bewertungen, Initiativen um Umweltschutz". Bd. 17, Berlin 2000.

Jatzke, Harald: Das System des deutschen Verbrauchssteuerrechts unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Verbrauchssteuerharmonisierung in der Europäischen Union, Berlin 1997.

Jatzke, Harald: Möglichkeiten und Grenzen der steuerlichen Förderung von Biokraftstoffen, ZfZ 1994, S. 104 ff.

Jatzke, Harald: Die mineralölsteuerlichen Ausnahmen nach dem Ermächtungsverfahren des Art. 8 Abs. 4 der Richtlinie 92/81/EWG, ZfZ 2001, S. 326 ff.

Kaltschmitt, Martin; Reinhardt, Guido A.: Nachwachsende Energieträger. Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung, Braunschweig/Wiesbaden 1997.

- Kaltschmitt, M., Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse, Berlin u.a., 2001.
- Katzen, R.; Madson, P.W.; Monceaux, D. A.: Use of cellulosic feedstocks for alcohol production, in: The Alcohol Textbook, hrsg. v. T.P.Lyons, D.R. Kelsall, J.E. Murtagh, Nottingham 1995.
- Kelsall, D.R.: The Management of fermentating in the product of alcohols, The Alcohol Textbook, Nottingham 1995.
- Kirschbaum, E.: Möglichkeiten zur Verringerung des Wärmeverbrauchs, in: Destillier- und Rektifikationstechnik, Berlin 1969.
- Köhler, Reinhold; Nolte, Berthold: Wertbestimmende Parameter der Zuckerrübe, in: Fortschritte im Zuckerrübenanbau, Ochsenfurt 2001.
- Kosaric, N./et al., Ethanol, in: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 5. Aufl., Vol. A9, 1982.
- Knight, P.: Brasilien vor Rekordernte, in: F.O. Lichts Europäisches Zuckerjournal, 140. Jg., Nr. 33 v. 14. Nov. 2001, S. 582 - 587.
- Ladewig, E.: Sorten im Wandel. Vom Ertrag über Qualität zur Resistenz, in: Die Zuckerrüben Zeitung, Nr. 2, S. 6, Febr. 2001.
- Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim: Anbau und Verwertung von Topinambur, Sonderheft 1/2002.
- Lewicki, W.: Zuckerrüben-Vinasse düngt den Boden und die Pflanze, in: Neue Landwirtschaft, Ludwigshafen 6/97, Sonderdruck.
- Mann, Stefan: Nachwachsende Rohstoffe, Stuttgart 1998.
- McKee, R.; Molyneux, Concaue (Hrsg.): The health hazards and exposures associated with gasoline containing MTBE, Brussels 1997.
- Märländer, Bernward: Zuckerrüben. Produktionssteigerung bei Zuckerrüben als Ergebnis der Optimierung von Anbauverfahren und Sortenwahl sowie durch Züchtungsfortschritt, Stadthagen 1991.
- Marrow, J., J. Coombs, E. Lees: An Assessment of Bio-Ethanol as a Transport Fuel in the UK. Vol 1, ETSU-R-44, Department of Energy/HMSO, London 1987, in: IEA, 1994.
- Meinhold, Kurt, Hollmann, Peter, Kögl, Hans: Betriebs- und Gesamtwirtschaftliche Aspekte der Ethanolgewinnung in: Agrarspectrum Schriftenreihe Nicht-Nahrungspflanzen, hrsg. v. Vorstand des Dachverbandes Wissenschaftlicher Gesellschaft der Agrar-, Forst-, Ernährungs-, Veterinär- und Umweltforschung, München, Frankfurt, Münster, Wien, Bern, 1982, S. 241 ff.
- Merkes, Rudolf: Überlegungen zur CO<sub>2</sub>-Emission beim Anbau von Zuckerrüben, in: Zuckerindustrie 121, Nr. 8, 1996.

Miller, Hermann; Koch, Heinz-Josef: Konservierende Bodenbearbeitung im Zuckerrübenanbau, in: Fortschritte im Zuckerrübenanbau, Ochsenfurt, 2001.

Murthagh, J.E.: Molasses as a feedstock for alcohol production, in: the Alcohol Textbook, Nottingham 1995.

Niedersächsisches Umweltministerium: Mit Öko auf Kundenfang? Produktinformation und Marketing als Chance für Wirtschaft und Verbraucher, Tagungsband zur Veranstaltung am 3. Mai 2002 in Hannover, Graue Reihe, 2002.

Oertel, Dagmar; Fleischer, Torsten: Brennstoffzellen-Technologie: Hoffnungsträger für den Klimaschutz. Technische, ökonomische und ökologische Aspekte ihres Einsatzes in Verkehr und Energiewirtschaft, Berlin 2001.

o.V.: Focus fährt mit Bioalkohol, in VDI-nachrichten, Nr. 3, 18.1.2002.

o.V.: Kraftstoffe für die Welt von morgen, in: DaimlerChrysler Hightech Report, 2000.

o.V.: Katerstimmung schon am Rosenmontag, FAZ, 26.02.01.

o.V.: Benzin und Diesel bleiben vorläufig die Kraftstoff-Sieger, FAZ, 02.05.01.

o.V.: Das Sommerwetter begünstigt die Ernte, FAZ, 03.08.2001.

o.V.: AKP-Handel in Schwierigkeiten, FAZ, 21.05.2002.

o.V.: Unruhe über Mais aus Ungarn, FAZ, 21.05.2002.

o.V.: 2002 Alcohol Exports to Reach 600 Mln Litres, in: F.O. Licht's International Molasses and Alcohol Report, Vol. 39, No. 4 v. 28.2.2002, S. 81 - 82.

o.V.: US Ethanol Euphoria Evaporating?, in: F.O. Licht's International Molasses and Alcohol Report, Vol. 39, No. 3 v. 15.02.2002, S. 48 -52.

Pieper, H.-J.: Biotechnologische Eigenschaften von Triticale für die Stärkehydrolyse und deren Bedeutung für die Ethanolproduktion, in: Vortr. Pflanzenzüchtung, 34, 1996.

Pohlmann, Eva-Maria: Entwicklungen auf dem deutschen Spirituosenmarkt 1998. Konsolidierung des Spirituosenmarktes nicht in Sicht? in: Handbuch für die Brennerei- und Alkoholwirtschaft 2000, 47. Jg., Balve 1999, S. 395-406.

Rask, Kevin: Clean air and renewable fuels: the market for fuel ethanol in the US from 1984 to 1993, Energy Economics 20, 1998.

Reinefeld, E., Wagner, F., Winner, C.: Die Zuckerrübe als Energiepflanze? in: Die Zuckerindustrie 105 Jg. 1980, Nr. 1.

Rettberg, Udo: ADM will mit Bio-Treibstoffen wachsen, in Handelsblatt, 25.5.2001.

Rosenberger, Alexander: Optimierung und Bewertung der Produktion von Getreidekorngut als Rohstoff für die Bioethanolerzeugung, Hohenheim 2001.

- Schürmann, Heinz Jürgen: Rohölpreise im Bereich der 20-Dollar-Marke, in: Handelsblatt v. 7.1.2002.
- Senn, T.: Aspekte der technologischen Nutzung von Triticale Pflanzenzucht 49 in 2000 Hohenheim.
- Silva Santos, Adailson da; Murta Valle, Maria Letícia; Giannini, Roberto Gomes: Addition of oxygenated compound to gasoline and the Proalcool experience, *Economy & Energy*, No. 19, April/May 2000.
- Shell International Petroleum Company Ltd.: Study of the Environmental Impacts of Large Scale Bioethanol Production in Europe: Final Report, London 1992. In: IEA, 1994.
- Shell Pkw-Szenarien: Mehr Autos - weniger Verkehr? Szenarien des Pkw-Bestands und der Neuzulassungen in Deutschland bis zum Jahr 2020, Hamburg 2001.
- Shogren, Jason; Toman, Michael: How Much Climate Change is Too Much? An Economics Perspective. *Resources for the Future*. Climate Change Issues Brief No. 25, 2000.
- Statistisches Bundesamt: Branntweinmonopol und Branntweinsteuer, Reihe 9.4 Fachserie 14, 1999/2000.
- Stephan: Arbeitskreises Forschung und Lehre der Wax-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG) 347, Bonn.
- Stephan, Christoph: Verfahrenstechnische Bewertung von Zuckerrübenanbauverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Energiebilanz, Forschungsbericht Agrartechnik, Dissertation, Bonn 1999.
- Swodenk, W.: Ethanol als Rohstoff, in: *Chem.-Ing.-Techn.*, 55, 1983.
- Tegtmeier, U.: Fortschritte in der Ethanol- Destillertechnik, in: *die Branntweinwirtschaft*, Berlin 1985.
- Valentin, Peter: Zuckerrübe und Energie - Ein Agrarrohstoff in der Ökobilanz von Produktion und Energiekreisläufen, in: *Zuckerindustrie*, 122 Nr. 7, 1997.
- Veer, Jeroen van der: Leadership in a Time of Increased Volatility, *Handelsblatt Annual Energy Conference*, Berlin 17.1.2001.
- Vierling, Georg: Die regionale Wettbewerbsfähigkeit der Zuckerrübenproduktion in der Europäischen Union. Mögliche Effekte eines flexibilisierten Quotenmarkts auf das Rübenangebot, in: *Agarwirtschaft, Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Marktforschung und Agrarpolitik*, Sonderheft 155, 1997.
- Walter, Arnaldo; Cortez, Luis: An historical overview of the Brazilian Bioethanol Program, in: *Renewable Energy for Development*, Stockholm Environment Institute, June 1999, Vol. 11, No. 1, S. 2.
- Wang, M.; Saricks, C.; Santini, D.: Effects of Fuel Ethanol Use on Fuel-Cycle Energy and Greenhouse Gas Emissions, 1999.

Weissermehl, Arpe H.-J.: Industrielle organische Chemie, 3. Aufl., Weinheim, Basel, Cambridge, New York, 1990.

Wilmes, A.: Taschenbuch chemische Substanzen, 1993.

Winner, C.: Franz Carl Achard als Wegbereiter einer experimentellen Pflanzenbauwirtschaft in: Geschichte der Zuckerrübe, Berlin 1984.

Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V.: Vorläufiger Kampagne-Schlussbericht, Bonn 2002.

Wirtschaftliche Vereinigung Zucker: Haupterhebung zur Bodennutzung, 2001.

Wolfram, R.-E., Hantelmann, H.: Die Rentabilität der Äthanolgewinnung aus Zuckerrüben unter derzeitigen veränderten ökonomischen Rahmenbedingungen, in: Agrar Europe, Nr. 40, 05.10.1981, S. 268 - 311.

ZMP-Marktbilanz: Getreide, Ölsaaten, Futtermittel, Bonn 2002.

## **10.2 Gesetze, Verordnungen, Richtlinien u.ä.**

Deutscher Bundestag: Beschlussempfehlung und Bericht des Finanzausschusses (7. Ausschuss) zu dem Gesetzentwurf der Bundesregierung, Drucksache 14/8711: Entwurf eines zweiten Gesetzes zur Änderung des Mineralölsteuergesetzes, 5.6.2002.

Beschluss des Bundesrates: Drucksache 45/02, Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung von Biokraftstoffen, 31.05.02.

Brennereiordnung, Anlage zum Branntweinmonopolgesetz vom 8.04.1922.

Europäische Kommission: Grünbuch, Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit, Brüssel 2001.

Europäische Kommission: 2001 - Annual Energy Review, 2002.

Europäische Kommission: Arbeitsunterlage Nachwachsende Rohstoffe im Rahmen der Agenda 2000, SEK 2169, 1998.

Europäische Kommission: Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: Summary and Conclusions, The Europe Acacia Project, 2000.

Europäische Kommission: Vorschlag für eine Verordnung des Rates über die gemeinsame Marktorganisation für EthylEthanol landwirtschaftlichen Ursprungs, 26.6.2001.

Europäische Kommission: Verordnung (EG) Nr. 644/2001 der Kommission vom 30. März 2001 zur Eröffnung öffentlicher Versteigerungen von Weinalkohol zur Verwendung als Bioethanol in der Europäischen Gemeinschaft, Abl. L 91 v. 31.3.2001, S. 37 -39.

BranntwMonGesetz.

EN DIN 228 (Ottokraftstoffnorm)

EN DIN 590 (Dieselnorm)

HSanG v. 22.12.1999, Art. 12, BGBl. I, S.2534/2536.

Mineralölsteuersatz-Richtlinie

Gesetz zur Änderung des Mineralölsteuergesetzes und anderer Gesetze vom 23. Juli 2002, BGBl. I Nr. 52 vom 29. Juli 2002, S. 2778.

Verordnung des Rates über die gemeinsame Marktorganisation für Ethylalkohol landwirtschaftlichen Ursprungs, KOM 101, Brüssel 2001.

Verordnung (EG) Nr. 2461/1999 Der Kommission mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) Nr. 1251/1999 des Rates in bezug auf die Nutzung stillgelegter Flächen für die Erzeugung von Ausgangserzeugnissen, die in der Gemeinschaft zur Herstellung von nicht unmittelbar zu Lebens- oder Futtermittelzwecken bestimmten Erzeugnissen dienen; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 299, 1999.

Verordnung (EG) Nr. 1253/1999 des Rates vom 17. Mai 1999 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1766/92 über die gemeinsame Marktordnung für Getreide und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2731/75 über die Standardqualitäten für Weichweizen, Roggen, Gerste, Mais und Hartweizen, Abl L 160/18 v. 26.6.1999.

### 10.3 Weitere Quellen

Agroethanol: Powerpoint-Präsentation: LCA\_eng.ppt., 2002.

Alarcón, Joaquín: The Strategic Vision of Abengoa Biofuels, Vortrag, World Biofuels Congress 2002 in Sevilla, 23./24.04.2002

Andrade, Adnei Melges de et. al.: Biomass Energy Use in Latin America: Focus on Brazil, Workshop, International Energy Agency, Paris, March 23-24, 1998.

ATV-Regelwerk: Merkblatt ATV - M 772, Abwässer aus Brennereien und der Spirituosenherstellung, Hennef 1999.

BfB: Geschäftsbericht für das 51. Geschäftsjahr, 1. Oktober 2000 bis 30. September 2001.

Bodengesundheitsdienst: Schriftliche Stellungnahme von Dr. Buercky, 16.5.2002.

California Energy Commission.

Choren Industries: [www.choren.de](http://www.choren.de).

Coelho, Suani Teixeira et. al.: The current situation of Proalcool the Brazilian Alcohol Program, The National Reference Center on Biomass Sao Paulo, October 1999, [www.cenbio.br.doc\\_port5.html](http://www.cenbio.br.doc_port5.html).

Confederation Generale des Planteurs de Betteraves: Ecobilan de l'ETBE de betterave, Paris 1995/96.

European Chemical News, June 17-23, 2002.

European Fuel Oxygenates Association: MTBE Resource Guide, Brüssel 2002, [www.efoa.org](http://www.efoa.org).

Hoshi, H.: Vehicles and engines for ethanol blended gasoline, The Importance of Ethanol as Additive to Gasoline in Japan, United Nations University, Tokio, 5th November 2001, [www.bnri.co.jp/biomass](http://www.bnri.co.jp/biomass).

Ipro: Großmunzelstudie 1987.

Kieler Diskussionsbeiträge: Zur Nutzung von Energiepflanzen im Nicht-Lebensmittelbereich, Institut für Weltwirtschaft, Kiel

Kruppa, Steffen: Der Energiemix der Zukunft, Vortrag Fachkonferenz Öl im Energiemix der Zukunft, Köln 25. u. 26.02.2002.

Maryland: Internet-Verbindung: <https://const-mail.gov.state.md.us/comar/03/03.03.06.03.htm>, 2002.

Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Jahresbericht 2001, Hamburg 2002.

Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Jahresbericht 2000, Hamburg 2002

Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Kraftstoffe der Zukunft, Hamburg 2000.

Mineralölwirtschaftsverband e.V. (Hrsg.): MWV-Prognose 2020 für die Bundesrepublik Deutschland, Hamburg 2001.

Modl, Josef: Beverage & Fuel Ethanol in China, World Ethanol 2001 Conference, 8.-9. Nov. 2001, London.

Nastari, P.M.: Sugar Cane Residues as Source of Biomass for Power Generation in Brazil, in: International Conference on Accelerating Grid-Based Renewable Energy Power Generation for a Clean Environment, March 7-8, 2000, The World Bank, Washington, DC.

Pahlke, Günter: Kein Umweltrisiko durch MTBE, Fachveröffentlichung, [www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/mtbe.htm](http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/mtbe.htm), November 2001.

Palacio, Loyola de: Energy policy for and in a liberalised energy market in Europe, Vortrag Berlin 2001.

Ponlaboot, Alongkorn: The Thai Fuel Ethanol Project: One Year On, World Ethanol 2001 Conference, 8.-9. Nov. 2001, London.

Robles, H.; Schuhmacher, T.: Gasoline Oxygenates: Is there a "Safer" Alternative to the Use of MTBE?, <http://www.lfr.com/mtbe/mtbe-AEH-2000.htm>, 2002.

Saddler, Jack: The IEA' Liquid Biofuels Network and Progress in the Commercialisation of Biomass-to-Ethanol, in: World Ethanol Congress, London, 8./9. 11.2001.

Sarkkinen, Kari: Technology for bioethanol production from different raw materials, International Symposium on Alcohol Fuels, September 21-24, 1998, Beijing.

Shapouri, Hosein; Duffield, James A.; Wang, Michael: The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update, United States Department of Agriculture, Washington 2002.

Suedzucker AG: Schriftliche Stellungnahme von Nolte, B, Nähle, C.

Umweltbundesamt (UBA):  
Internet-Verbindung: <http://www.umweltbundesamt.de/>, 18.4.2002.

Umweltbundesamt: Jahresbericht 1992, Berlin 1993.

United States Department of Agriculture: President Bush's Energy Policy Advanced by USDA's FY 2002 Bioenergy Program Signup, [www.fsa.usda.gov/pas](http://www.fsa.usda.gov/pas).

US Environmental Protection Agency.

[www.admworld.com](http://www.admworld.com).

[www.bcintlcorp.com](http://www.bcintlcorp.com).

[www.bmu.de](http://www.bmu.de).

[www.energy.ca.gov./mtbe/](http://www.energy.ca.gov./mtbe/).

[www.iogen.ca](http://www.iogen.ca).

[www.ncga.com](http://www.ncga.com).

[www.sunfuel.de](http://www.sunfuel.de).

[www.ott.doe.gov/biofuels](http://www.ott.doe.gov/biofuels).

Yarunin, Sergei: Russia Situation and Outlook for the Future, World Ethanol 2001 Conference, 8.-9. Nov. 2001, London.

# Schriftenreihe

## „Nachwachsende Rohstoffe“

Band 1:	Modellversuch „Wärme und Strom aus nachwachsenden Rohstoffen“ – Machbarkeitsstudien	vergriffen
Band 2:	Tagungsband Thermische Nutzung von Biomasse – Technik, Probleme und Lösungsansätze	vergriffen
Band 3:	Biomasse als erneuerbarer Energieträger (vollständige Neubearbeitung)	€ 35,-
Band 4:	Symposium Miscanthus – Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung	€ 8,-
Band 5:	Logistik bei der Nutzung biogener Festbrennstoffe	€ 9,-
Band 6:	Biomasse als Festbrennstoff	€ 16,-
Band 7:	Hanf Teil 1 – Zusammenfassung	€ 11,-
Band 7:	Hanf Teil 2 – Studie	€ 70,-
Band 8:	Umweltverträgliche Holzaufschlussverfahren	€ 26,-
Band 9:	Marktchancen der Markerbsestärke	€ 13,-
Band 10:	Biokonversion nachwachsender Rohstoffe	€ 25,-
Band 11:	Biologischer Holzschutz	€ 31,-
Band 12:	Chemische Nutzung heimischer Pflanzenöle	€ 18,-
Band 13:	Modellvorhaben „Schnellwachsende Baumarten“	€ 31,-
Band 14:	6 <sup>th</sup> Symposium on Renewable Resources	€ 31,-
Band 15:	Biokonversion nachwachsender Rohstoffe 1999	€ 16,-
Band 16:	Machbarkeitsstudie zum Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen in der Lackindustrie	€ 11,-
Band 17:	Eigenschaften biogener Festbrennstoffe	€ 23,-
Band 18:	Nachwachsende Rohstoffe für die Chemie – 7. Symposium 2001	€ 49,-
Band 19:	Krambe – eine alternative Sommerölfrucht	€ 16,-
Band 20:	Innovative Verfahren zur Wärme- und Stromerzeugung aus Biomasse	€ 20,-
Band 21:	Bioethanol in Deutschland	€ 20,-



**Herausgeber:**

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

Hofplatz 1 • 18276 Gülzow

Tel.: (0 38 43) 69 30-0 • Fax: (0 38 43) 69 30-102

E-Mail: [info@fnr.de](mailto:info@fnr.de) • Internet: <http://www.fnr.de>