

Von der Fotosynthese über die alkoholische Gärung zum Missbrauch des (Bio-)Ethanols

– Vorbemerkung

Seit mehr als 50 Jahren, d. h. seit Beendigung des 2. Weltkrieges, 1945, sprechen wir über den Hunger der Menschen in der Welt, über das baldige Versiegen der Energiequellen des Erdöls, des Erdgases, über sich ausbreitende Krankheitsepidemien in der Welt und neuerdings über die knappen Süßwasserreserven, obwohl Wasser nicht verbraucht, sondern nur genutzt wird. Wir diskutieren ebenso intensiv über die Notwendigkeit des Umweltschutzes und neuerdings über einen vermutlichen Klimawandel.

Keines dieser Probleme ist gelöst worden, trotz vieler internationaler Konferenzen und Vereinbarungen.

Woran liegt das? Was läuft hier falsch? In unserem industriell-wirtschaftlich-politischen Handeln werden Naturgesetze außer Kraft gesetzt bzw. es wird so getan, als gäbe es sie gar nicht.

Z. B. die thermodynamischen Hauptsätze oder das 3. Axiom nach Newton, nämlich
$$\text{actio} = \text{reactio}.$$

An Stelle der thermodynamischen Hauptsätze sind die

Hauptsätze der finanziellen Gewinnmaximierung

getreten. Die Bedürfnisse der Menschen nach ausreichender Nahrung, nach hygienisch einwandfreiem Wasser, nach Gesundheit und nach sinnvoller Energiebereitstellung sind zweitrangig geworden.

Nach dem 3. Newtonschen Axiom bewirkt jede Fehlentscheidung eine weitere Fehlentscheidung und so stolpern wir von einem Problem in das andere, wobei das Ausmaß sich jedes Mal vergrößert, auf jede Aktion folgt eine Reaktion.

Was fehlt, ist die gründliche Suche nach den wahren Ursachen von wahrgenommenen Wirkungen. Dazu ist es notwendig, in Zusammenhängen zu denken.

Expertenwissen muss zu Ganzheitserkenntnissen zusammengeführt werden. Wie formulierte der Physiker und Nobelpreisträger Werner Heisenberg (1901 – 1976) in seinem Buch „**Der Teil und das Ganze?: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teilchen.** Diese

Aussage gilt auch für gesellschaftlich-wirtschaftliche Systeme! Aufgabe der Wissenschaften ist es, nach Erkenntnissen zu suchen, unabhängig von den jeweils herrschenden politischen und wirtschaftlichen Trends. Es passt nicht zusammen, wenn in Deutschland die Bauern Geld vom Staat erhalten, um fruchtbare Ackerflächen still zu legen und Hunderte von Millionen Menschen weltweit hungern.

Ebenfalls ist es ein Widerspruch, Energie einsparen zu wollen und zugleich naturwidrige Luxuserholungseinrichtungen einzurichten.

Bioethanol ist eine modische Bezeichnung für den seit Menschengedenken bekannten Ethylalkohol, der mittels eines anaeroben Prozesses und der Hefe *Saccharomyces* hergestellt wird. Als Rohstoffe dienen und dienen Getreide, Mais, Reis und zuckerhaltige Früchte.

Ethanol, chemisch *Ethylalkohol*, $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{OH}$, mit der Molmasse 46,07 ist eine klare, farblose, würzig riechende und brennend schmeckende, leicht entzündliche, wasseranziehende Flüssigkeit. Bei 15 °C beträgt ihre Dichte $0,79367 \text{ g/cm}^3$. Der Siedepunkt ist 78,32 °C und der Gefrierpunkt $-114,5 \text{ °C}$. Mit Wasser, Benzin und Benzol ist Ethylalkohol in jedem Verhältnis mischbar. Bei der Mischung mit Wasser kommt es zu einer Volumenminderung (-kontraktion) und Wärmeentwicklung, z. B. ergeben 52 Volumenteile Ethanol und 48 Volumenteile Wasser nicht 100 sondern nur 94,3 Volumeneinheiten. Mit schwach leuchtender Flamme verbrennt Ethanol exotherm zu Kohlenstoffdioxid und Wasser (Gl. 3).

Die alkoholische Gärung ist eine der Folgereaktionen der Fotosynthese. Die *Fotosynthese* ist eine energiespeichernde Hydrierungsreaktion, durch die sie aus dem Kohlenstoffdioxid der Luft und dem Wasser mit Hilfe der Sonnenenergie Glucose aufbaut. Glucose ist unter anderem der Baustein für Stärke, Zellulose, Chitin und andere kohlenhydratähnliche Verbindungen (Abb. 1 u. 2, Gleichung 1).

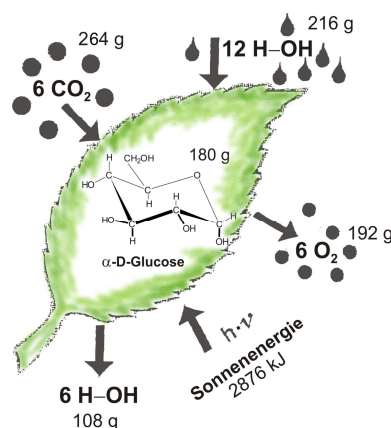
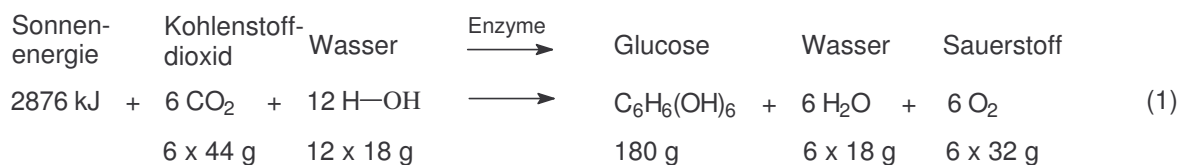


Abb. 1: Fotosynthetisierendes Blatt

Die Synthese findet in den Zellorganellen der fotosynthetisierenden grünen Pflanzen, den Chloroplasten¹ statt (Abb. 1). Zur Fotosynthese sind nicht nur Pflanzen, sondern auch Algen, Flechten, Plankton² und zahlreiche Bakterien befähigt (Gl. 1).

Die durch die Fotosynthese auf der Erde jährlich gespeicherte Energiemenge wird auf 10^{12} Kilojoule geschätzt. Das entspricht dem Einbau von mehr als 10^{10} (10 Milliarden) Tonnen Kohlenstoff in Kohlenhydraten und anderen daraus abgeleiteten organischen Substanzen. Im Prinzip ist das diejenige Energiemenge, die jährlich an technischer und physiologischer Energie in Form von Kohle, Erdöl, Erdgas und Getreide von den Menschen zum Leben benötigt wird (Tab. 1). Dabei ist zu berücksichtigen, dass der für die menschliche Ernährung verwertbare Anteil der geringere ist. Denn der Mensch vermag aufgrund seines Enzymsystems nur Stärke und ausgewählte Zuckerarten aufzuschließen, d. h. die α -glucosidisch miteinander verknüpft sind.

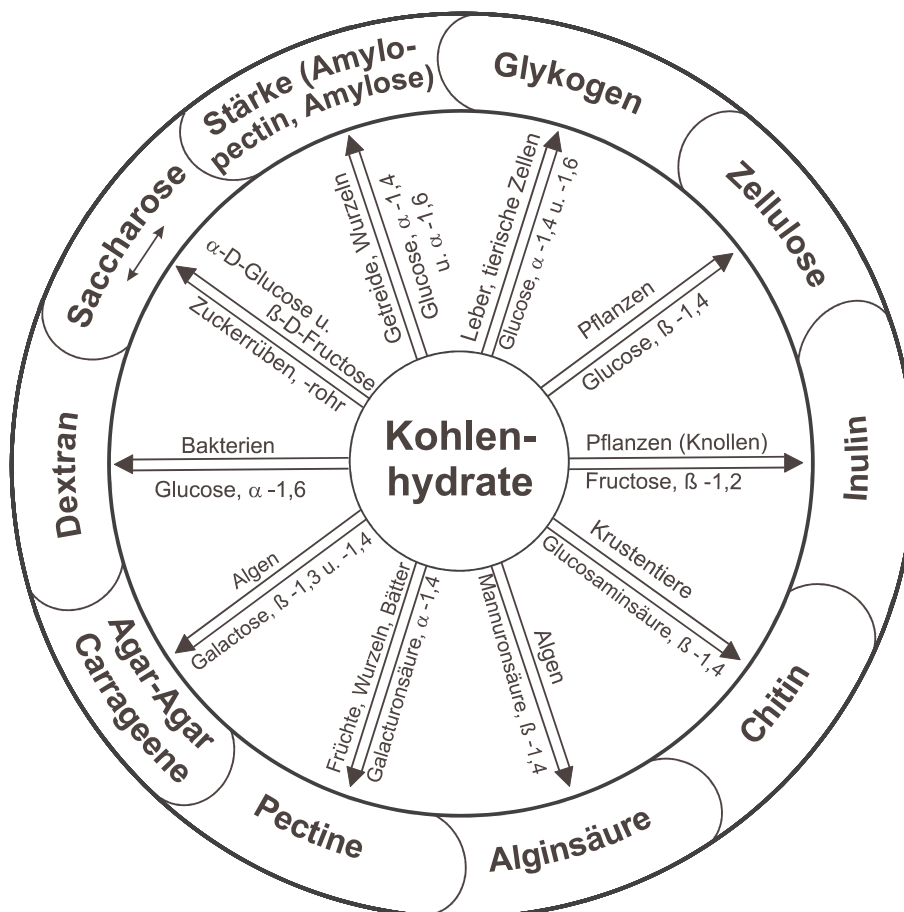


Abb. 2: Wichtige Kohlenhydrate in der Natur

Der größte Weizenproduzent in der Welt ist China mit 96,3 Mio. t, gefolgt von Indien mit 72 Mio. t und den USA mit 57,1 Mio. t. Russland steht mit 47,6 Mio. t an vierter Stelle (2005).

¹ chloros (grch.) – gelbgrün; plassein (grch.) – formen, bilden

² planktos (grch.) – umhergetrieben

Tab. 1: Physiologische Energiequellen in der Welt im Jahre 2005 [in Mio. t]
 [E. physiological energy sources of the world in the year 2005 (mio. t)]

Getreide gesamt	2203,50
Davon Weizen	619,25
Mais	683,81
Reis	615,60
Roggen	14,54
Gerste	137,44
Hafer	23,64
Hirse/Sorghum	89,78
anderes Getreide wie Triticale, Buchweizen, Quinoa, Fonio	19,44

Zum Vergleich: Geförderte Mengen an technischen Energierohstoffen in
 2005/2006 weltweit

Steinkohle [Mio. Tonnen]	4551,0
Braunkohle [Mio. Tonnen]	885,0
Erdöl [Mio. Tonnen]	3942,2
Erdgas [Mrd. Kubikmeter]	2834,2

Quelle : ZMP Marktbilanz Getreide, Ölsaaten, Futtermittel (2006),
 Situationsbericht (2007), Deutscher Bauernverband Berlin und
 Oeldorado 2007, Exxon Mobil Central Europe Holding GmbH, 22297 Hamburg.

Weizen ist ein vollwertiges Grundnahrungsmittel. Von einigen essentiellen Aminosäuren abgesehen, enthält er alle wichtigen Nährstoffe, die ein Mensch bedarf. Die fehlenden essentiellen Aminosäuren können durch den Verzehr von Hülsenfrüchten ergänzt werden. Stärke und Eiweiß sind im Mehlkörper enthalten. Mineralien und der wasserlösliche Vitamin B-Komplex befinden sich in den Randschichten, den Aleuronzellen, eines Weizenkornes. Die fettlöslichen Vitamine, z. B. A, D und E und die ungesättigten Fette sind im Weizenkeim.

Der physiologische Brennwert von 1 kg Weizen errechnet sich aus der Summe der Brennwerte von 715 g Stärke, 121 g Eiweiß und 21 g Fett. Dieser ist $15\,198\text{ kJ/kg}$. Das ist etwas mehr als der tägliche Bedarf eines körperlich schwer arbeitenden Menschen, der mit ca. 12 000 kJ/Tag angesetzt wird. Der Wassergehalt vom Weizenkorn beträgt im Mittel 12 %. Der Anteil der Mineralstoffe wird mit 1,5 % angegeben!

Von 2 Mio. t Weizen können also

$$\frac{2000 \times 10^6 \text{ kg} \times 15198 \text{ kJ} \times \text{Tage} \times \text{Mensch}}{365 \text{ Tage} \times \text{kg} \times 12000 \text{ kJ}} \approx 6,9 \text{ Mio. Menschen ein Jahr lang ernährt werden.}$$

Doch dieser Weizen wird zurzeit in Deutschland zu (Bio-)Ethanol verarbeitet.

Die *alkoholische Gärung* ist ein biologisch-chemischer Abbau von Kohlenhydraten bzw. Zuckern unter Mitwirkung von einzelligen Sprosspilzen. Dabei entstehen Ethanol, Kohlenstoffdioxid und exergonische Energie.

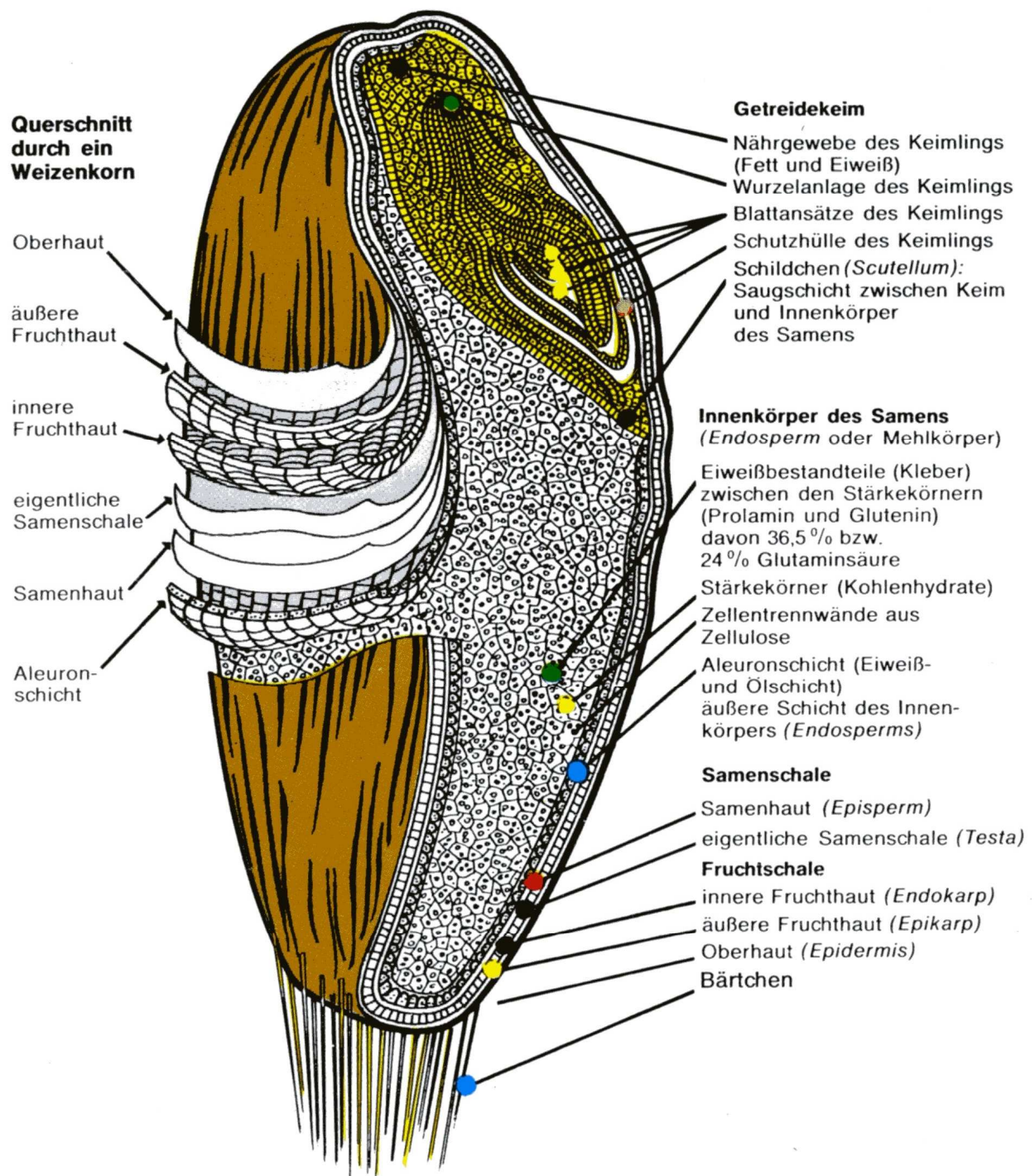
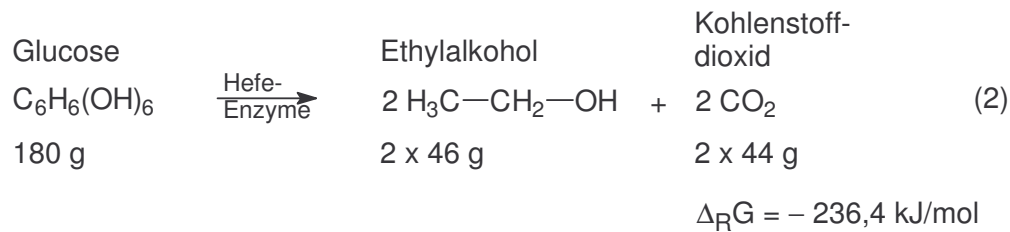


Abb. 3: Schnitt durch ein Weizenkorn



Die Herstellung von Bier, Wein und anderen alkoholischen Getränken sowie das Brotbacken mit Hefe beruhen auf diesem chemisch-biologischen Prozess.

Spezielle Hefearten für die ober- und untergärigen Biere sind die *Saccharomyces cerevisiae* (Bierhefen) und zur Weinherstellung *Saccharomyces ellipsoides* (Weinhefe). Die Bäckerhefe ist eine Züchtung aus der Bierhefe. Die Zahl der Hefearten wird heute mit mehr als 500 angegeben.

Die Herstellung von alkoholischen Getränken reicht weit in die Vergangenheit der alten Kulturvölker zurück. Eine 8000 bis 9000 Jahre alte sumerische Keilschrifttafel beschreibt die Bierherstellung aus Gerste. Babylonier, Ägypter, Griechen und Römer beherrschten die Verfahren, aus Getreide, Reis, Mais, Weintrauben u. a. Früchten alkoholische Getränke herzustellen. In Mexiko wurde aus *Agavensaft* der bekannte *Pulque* gewonnen. Die Germanen vergärten Honig und Wasser zu *Met*.

Das Destillieren von Alkohol aus den Gärungsprodukten ist zwischen 1150 und 1250 in Salerno/Sizilien aufgekommen. 1554 wird zum ersten Mal absoluter, d. h. reiner Alkohol in *Kardanus „de subtilitate“* (Köln) erwähnt. Im Jahre 1796 gelang mit Pottasche die erste Darstellung von wasserfreiem Ethanol.

Dem französischen Chemiker und Biologen Louis Pasteur (1822 – 1895) und dem deutschen Chemiker E. C. Hansen (1842 – 1909) gelang es erstmalig, reine Bierhefe zu züchten.

Ein wesentlicher Grund für die Verbreitung der alkoholischen Gärung im Altertum und auch bei den Naturvölkern war der Mangel an hygienisch einwandfreiem Trinkwasser. Auch heute ist ein großer technischer Aufwand für die Aufbereitung von Wasser zu Trinkwasser notwendig.

Schon in historisch sehr weit zurückliegenden Zeiten wussten die Menschen, dass Wasser während der alkoholischen Gärung zu Bier oder Wein hygienisch genießbar wird. Der relativ geringe Alkoholgehalt wurde dabei in Kauf genommen. Heute weiß man, dass während der Gärung infektiöse aerobe Mikroorganismen durch die *Saccharomyces cerevisiae* vernichtet werden.

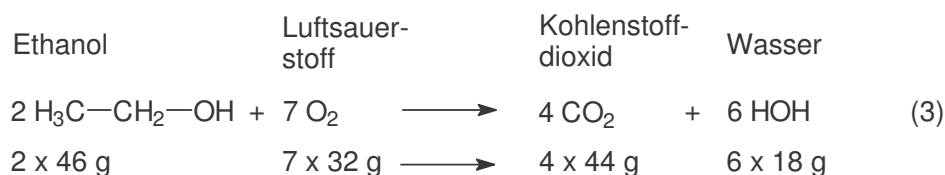
Die *Saccharomyces cerevisiae* zählen zu den fakultativen³ Mikroorganismen. Sie vermögen sowohl im luftsauerstofffreien Medium zu gedeihen (anaerob) als auch in Gegenwart von Luftsauerstoff (aerob). Ihr Stoffwechselprozess schaltet entsprechend um.

Während des Vergärens des Malzes, das aus Stärke erhalten wird, zu Bier bzw. der Glucose zu Wein, laufen mehrere Prozesse parallel ab. Beim anaeroben Abbau des Malzes bzw. der Glucose zu Ethylalkohol sinkt der pH-Wert des wässrigen Gärmediums vom neutralen in den sauren Bereich bis zu pH = 4 bis 3. Die Überlebensbedingungen für die aeroben Mikroorganismen, wie z. B. Pantoffeltierchen, Flagellaten, Amöben u. a. verschlechtern sich. Der Anteil der *Saccharomyces*, der auf einen aeroben Stoffwechsel umgeschaltet hat, weil in dem wässrigen Medium auch Luftsauerstoff anwesend ist, verringert diesen so stark, dass die reinen (obligaten)⁴ Aerobier wegen Sauerstoffmangel absterben. Die fakultativen aerob wirkenden *Saccharomyces* schalten wieder auf eine anaerobe Lebensweise um, weil kein Luftsauerstoff mehr zugegen ist. Der Luftsauerstoff kann durch Zufuhr von außen nicht ausgeglichen werden, da das während der Gärung frei werdende Kohlenstoffdioxid das gesamte Reaktionsmedium gegen die äußere Luft abschirmt. (s. Reaktionsgleichung). Die abgestorbenen aeroben Mikroorganismen und andere Verunreinigungen werden von dem sich bildenden Gärschlamm, der im Wesentlichen aus den sich vermehrten *Sacchromyces* besteht, absorbiert. Er wird am Ende des Gärvorganges abgefiltert. Es wird ein von Verunreinigungen und Fremdorganismen geklärtes trinkbares Bier bzw. geklärter trinkbarer Wein erhalten.

Vergleich der Verbrennungsenthalpien zwischen dem Ethanol und n-Octan

Die entsprechenden Verbrennungsenthalpien sind aus den Bildungsenthalpien errechnet und auf 1 Kilogramm Ethanol bzw. n-Octan bezogen worden.

- Technische Verbrennung von Ethanol

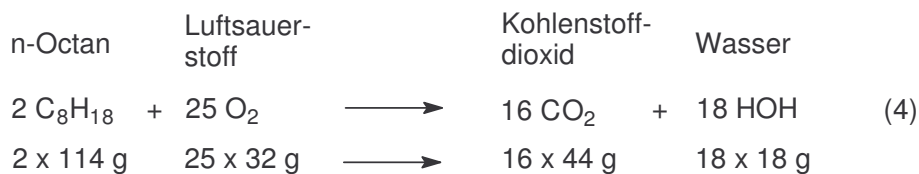


$\Delta_{\text{R}}H = -2733,4 \text{ kJ} \hat{=} -1366,7 \text{ kJ/mol}$ Ethanol, das entspricht einem Verbrennungswert von 29711 kJ pro Kilogramm.

³ facultas (lat.) – Möglichkeit, Fähigkeit; fakultativ bedeutet wahlfrei nach eigenem Ermessen.

⁴ obligare (lat.) – binden, verpflichten; obligat – unerlässlich, unbedingt erforderlich.

- Technische Verbrennung von n-Octan, stellvertretend für den Kraftstoff Benzin



$\Delta_R H = -10968,7 \text{ kJ} \hat{=} -5484,35 \text{ kJ/mol n-Octan}$, das entspricht einem Verbrennungswert von 48108 kJ pro Kilogramm.

Die Verbrennungswerte von n-Octan zu Ethanol verhalten sich wie $48108 : 29711 = 1,62 : 1$

Der Ausgangsstoff im Getreide, Mais und im Reis für die alkoholische Gärung ist die Stärke. Nach der enzymatischen Spaltung in Glucose wird diese in Gegenwart von *Saccharomyces cerevisiae* zu Ethylalkohol abgebaut. Der Energieverlust mit $\Delta_R G = -236,4 \text{ kJ/mol}$, d. h. pro 180 g Glucose ist relativ gering (s. Gl. (2)). Das sind 8 Prozent der im Glucosemolekül gespeicherten Energie von $\Delta G = -2876,0 \text{ kJ}$ (s. Gl. (1)).

- Wieviel Kilogramm Weizen sind erforderlich, um 1 kg (Bio-)Ethanol zu erzeugen? Wieviel Kilogramm Weizen entsprechen 1 Kilogramm n-Octan in seinem Brennwert?

Im Mittel besteht ein Weizenkorn aus 71,5 % Stärke, 12,1 % Eiweiß, 2,1 % Fett, 12,6 % Wasser und 1,7 % Vitamine, Mineralien u. a. (s. Abb. 3).

Nach Gleichung (2) entstehen aus 180 g Glucose 92 g Ethylalkohol, aus dem nach Gleichung (3) 2733,4 kJ freigesetzt werden.

1 Kilogramm Weizen bzw. 715 Gramm Stärke liefern demnach 10858 Kilojoule Energie, das sind 3,016 Kilowattstunden (KWh).

2 Mio. Tonnen Weizen entsprechen somit einem Energiewert von

$$\begin{aligned}
 10858 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 2 \cdot 10^9 \text{ kg} &= 21716 \cdot 10^9 \text{ kJ} \\
 &= 21716 \cdot 10^3 \text{ Gigajoule}
 \end{aligned}$$

Um den Brennwert von 1 kg n-Octan mit 48108 kJ/kg mittels Weizen zu entsprechen, müssen $\frac{48108}{10858} = 4,43$ Kilogramm Weizen aufgewendet werden.

- (Bio-)Ethanol in Deutschland

In Deutschland werden zurzeit ca. 2 Mio. Tonnen Getreide zu Bioethanol verarbeitet, aus diesen können nach vorausgegangenen Überlegungen ca. 766600 Tonnen Ethylalkohol gewonnen werden. Auch der Dicksaft von Zuckerrüben wird zunehmend als Ausgangs-

stoff eingesetzt. Die Ernteerträge von Weizen und Roggen pro Hektar, das sind 10 000 m², betragen ca. 60 Doppelzentner $\hat{=}$ 6 Tonnen.

Für 2 Mio. t Getreide müssen also ca. 333 333 Hektar Ackerfläche bereitgestellt werden. Das sind 3 333 qkm oder eine Fläche von 10 km Breite und 333 km Länge. Diese Fläche muss bearbeitet, gedüngt, besät, mit Pflanzenschutzmittel versehen werden und abgeerntet werden. Die Ernteprodukte müssen anschließend in die Ethanolfabriken transportiert werden. Der dafür notwendige Energieaufwand lässt sich nur annähernd abschätzen. Für die Bearbeitung, das Einsäen, Ernten u. a. werden fünf Arbeitswege mit einer Länge von 333 km und einer Breite von 10 Metern (das ist die Breite, die ein Arbeitsweg durch die jeweilige Bearbeitungsmaschine abdeckt) vorgesehen.

Die Ackerfläche von 10 km Breite und 333 km Länge muss also 1 000 Mal von einer motorisierten Arbeitsmaschine befahren werden. Das sind 333 000 km. Dazu wird ca. 25 kg Kraftstoff auf 100 km benötigt. Für die gesamte zu bearbeitende Fläche von 333 333 Hektar müssen somit $\frac{333000 \text{ km} \times 25 \text{ kg}}{100 \text{ km}} = 83\,250 \text{ kg}$ Kraftstoff aufgewendet werden.

Wie in der vorangegangenen Berechnung ausgeführt worden ist, entspricht der Energieinhalt von 1 kg n-Octan 4,43 kg Weizen.

Für 83 250 kg Kraftstoff sind $83\,250 \times 4,43 = 368\,798 \text{ kg}$ bzw. ca. 370 t Weizen erforderlich. Für 5 Arbeitsgänge sind das $370 \text{ t} \times 5 = 1\,850 \text{ Tonnen}$ Weizen.

Die Transportenergie von den Feldern zu den Produktionsstandorten lässt sich wie folgt abschätzen. Als Transportweg für einen 25 t-Container wird eine mittlere Entfernung zwischen Feldern und Produktionsort von 50 km angenommen. Für die Hin- und Rückfahrt sind das 100 km.

Für 2 Mio. t Getreide ergibt das einen Kraftstoffbedarf von

$$\frac{2000000 \text{ t} \times 25 \text{ kg}}{25 \text{ t}} = 2\,000\,000 \text{ kg} \hat{=} 2\,857\,000 \text{ Liter Kraftstoff}^5.$$

Dafür sind wieder 4,43 kg Weizen pro Kilogramm Kraftstoff nötig, insgesamt also $2\,000\,000 \text{ kg} \times 4,43 \text{ kg} = \underline{8\,860 \text{ Tonnen}}$. Zusammen mit dem Energieaufwand für die einzelnen Arbeitsgänge ergibt das $8\,860 \text{ t} + 1\,850 \text{ t} = 10\,710 \text{ Tonnen}$ Weizen. Auf 2 Mio. Tonnen Getreide bezogen sind das nur 0,54 % Energieaufwand für die Arbeits- und Transportgänge. Das ist sehr wenig und beweist die hohe Energiedichte im Getreidekorn.

⁵ Die Dichte des Octans beträgt 0,7, entsprechend ist die Mengenangabe in Liter ein höherer Zahlenwert.

Entsprechendes gilt für Reis, Mais und Rübenzucker sowie für Biodiesel auf der Grundlage von Pflanzenölen, wie z. B. aus Raps oder Palmenfrüchten.

Destillation, ihr Energieaufwand und andere gravierende Belastungsfaktoren

Die Destillation des Ethylalkohols aus dem flüssigen Gärungsgemisch belastet diese positive Bilanz stärker.

Aus 1 Kilogramm Weizen bzw. 715 g Weizenstärke werden durch alkoholische Gärung 365,44 g Ethylalkohol erhalten. 2 Mio. t Weizen liefern demnach $\approx 731\,000$ Tonnen Ethylalkohol. Der Brennwert von 1 g Kohlenhydrate (Stärke) wird hier mit 17,2 kJ/g angesetzt.

Während der alkoholischen Gärung bildet sich eine wässrige ethylalkoholische Lösung, die eiweißhaltige u. a. Begleitstoffe enthält. Der Alkoholanteil beträgt höchstens 15 Gewichtsprozent.

Um reinen Alkohol zu gewinnen, wird nach der Abtrennung der Feststoffe durch Filtration die Wasser-Alkohol-Lösung fraktioniert destilliert. Destillationsprozesse sind energieaufwendig. Die theoretisch einzusetzende Mindestenergie lässt sich aus der Verdampfungsenthalpie errechnen. Für Ethylalkohol ist sie $\Delta H_v = 39,34$ kJ/mol, d. h. um 46,01 g Ethylalkohol zu verdampfen, müssen mindestens 39,34 kJ an Energie aufgewendet werden. Auf 1 Kilogramm Alkohol bezogen sind das 854 Kilojoule.

Für 1 Tonne Alkohol sind entsprechend 854,0 Megajoule und für 731 000 Tonnen Weizenstärke $854 \text{ Megajoule} \times 731 \cdot 10^3 \text{ t} = 624\,274 \cdot 10^3 \text{ Megajoule} \hat{=} 624\,274 \text{ Gigajoule}$ an Destillationsenergie aufzuwenden. 624 274 Gigajoule entsprechen 50 762 Tonnen Weizen, wenn man den auf den Stärkegehalt bezogenen Energiewert zugrunde legt.

$$\underline{1 \text{ kg Weizen}} \hat{=} 715 \text{ g Stärke} \hat{=} 715 \text{ g} \times 17,2 \text{ kJ/g} = \underline{12\,298 \text{ kJ}}.^6$$

Um 2 Mio. t Weizen in 731 000 t (Bio-)Ethanol umzuwandeln, müssen für die Bearbeitung der Ackerflächen und für Transportwege 10 710 t und für die Destillation 50 762 t Weizen als Energielieferant eingesetzt werden, insgesamt also ca. 61 500 t. Das sind etwas mehr als 3 % auf 2 Mio. t Weizen bezogen. Die Energiebilanz ist noch positiv.

Doch diese Destillation reicht nicht aus, um wasserfreies Ethanol als Kraftstoffzusatz zu gewinnen. Der Treibstoff für die Kraftfahrzeuge darf kein Wasser enthalten, da es eine starke korrodierende Wirkung sowohl auf die Metallwände der Lagertanks ausübt als auch auf die Kfz-Motoren. Während der Destillation wird kein wasserfreier Ethylalkohol erhalten. Das Alkoholdestillat ist ein azeotropes⁷ Gemisch aus 95,57 Gewichts-% Ethanol und 4,43 Gewichts-% Wasser.

⁶ Der Brennwert von 1 g Kohlenhydrate (Stärke) wird hier mit 17,2 kJ/g angesetzt.

⁷ Azeotrope Flüssigkeitslösungen bestehen aus 2 Flüssigkeiten definierter Anteilsmengen mit konstantem Siedepunkt und lassen sich destillativ nicht voneinander trennen.

Ethylalkohol ist zwar in jedem Verhältnis mit Kohlenwasserstoffen, $-(CH_2)_x-$, wie sie für Benzin typisch sind, mischbar. Doch zeigt er einige Besonderheiten, auf die zu achten ist, wenn er dem Benzin als Kraftstoff zugesetzt wird. Mit der alkoholischen *HO-Gruppe* hat Ethanol auch hydrophile Eigenschaften, die das Kraftstoffgemisch z. B. aus 5 Gewichtsprozent Ethanol und 95 Gewichtsprozent Benzin beeinflussen. Der Siedepunkt des Ethanols, seine Verdampfungsenthalpie, die Temperatur- und Konzentrationsabhängigkeit des Dampfdruckes sind unterschiedlich von dem Kohlenwasserstoffgemisch des Benzins.

Diese physikalischen Daten müssen bei technischem Einsatz des Ethanols als Kraftstoffzusatz berücksichtigt werden.

Es sind weitere technische energie- und kostenaufwendige Verfahren einzusetzen, damit der so genannte (Bio-)Ethanol als Kraftstoffzusatz geeignet ist. Dadurch verschlechtert sich die Energiebilanz zuungunsten des (Bio-)Ethanols erheblich. Doch es sind andere gravierende Faktoren, die es verbieten sollten, Weizen zu Kraftstoff zu verarbeiten.

(Bio-)Ethanol als Konfliktstoff zwischen Nahrungsmittelversorgung und Kraftstoff

Die Probleme der (Bio-)Ethanol-Nutzung als Kraftstoff liegen zum einen in der Nahrungsmittelversorgung der Menschen, zum anderen in der Degradation der Ackerflächen. Getreide, Mais, Reis und Pflanzenöle sind neben Fleisch die wichtigsten Nahrungsmittelrohstoffe. Für 1 kg Rindfleisch sind aber 9 kg Getreide zur Fütterung des Viehes notwendig.

Mehr als 1 Milliarde Menschen auf der Erde sind unterernährt oder hungern. Die Verwendung der oben genannten Pflanzenprodukte für die technische Energieversorgung steht damit in direkter Konkurrenz zu dem Nahrungsmittelsektor.

In Brasilien dient die Hälfte der Zuckerrohrernte der (Bio-)Ethanolherzeugung und deckt 40 % des dortigen Kraftstoffverbrauchs ab (ohne Diesel). Neben Weizen werden in Deutschland ca. 2,5 Mio. Tonnen Zuckerrüben zu Ethylalkohol verarbeitet.

In den USA gehen 15 % der Getreideernten in die (Bio-)Ethanolproduktion und ersetzen ca. 2 % des Benzinbedarfs. Zusätzlich importieren sie Mais aus dem benachbarten Mexiko und verwenden diesen teilweise ebenfalls für die (Bio-)Ethanolherstellung. In den letzten 12 Monaten ist der Maispreis um 33 % gestiegen und verteuert bestimmte Nahrungsmittel.

Die rücksichtslose Ausnutzung des Getreides und anderer Nahrungsmittelrohstoffe für technische Zwecke wird sich nicht nur in einer Verknappung der Nahrungsmittel, sondern auch die Regenerationsfähigkeit der genutzten Ackerflächen nachhaltig mindern.

In Deutschland werden von 356 716 qkm Landesfläche 170 000 qkm landwirtschaftlich bearbeitet, das sind 47,7 % der Landesfläche, bzw. 17 Mio. Hektar, davon werden 11,9 Mio. Hektar als Ackerfläche, der Rest als Weide- und Grünland genutzt. Ca. 30 % der Landesfläche sind mit Wald bedeckt, das sind 10,8 Mio. Hektar bzw. 108 Tsd. qkm.⁸

Die Partikelgröße der Ackerkrumen liegt zwischen 200 µm und 20 µm (Mikrometer). Bei den Porenstrukturen wird unterschieden zwischen fein-, mittel- und grobporig. Feinporig ist kleiner als 0,2 µm; mittelporig, 0,2 µm – 50 µm, ist besonders geeignet für Bakterienwuchs und Wasseraufnahme; grobporig ist größer als 50 µm und geeignet für Bakterienwuchs, hat aber geringes Wasserspeichervermögen.

Das *Wasserrückhaltevermögen* und die *Wasserdurchlässigkeit* bestimmen den Schwammeffekt des Ackers.

Fruchtbares Ackerland ist ein biologisches System, das im Wesentlichen aus drei sich ergänzenden komplexen Bestandteilen aufgebaut ist:

- die von der Natur vorgegebene Zusammensetzung der Erdschicht mit ihrem speziellen Ackerkrumenprofil,
- Grundwasser, Sickerwasser, Oberflächenwasser und kapillaraktives Wasser,
- eine Humusschicht mit einem System aus Mikroorganismen, Kleinerdgetier wie Regenwürmer, Insekten, organischen Restsubstanzen und der typischen Porenstruktur.

Seitdem die Pferde als Zugkräfte durch Traktoren verdrängt worden sind, werden die Böden mit immer leistungsfähigeren elektronisch zu bedienenden Maschinen bearbeitet bzw. abgeerntet. Die Folge ist, dass die landwirtschaftlichen Nutzflächen immer höheren Druckbelastungen ausgesetzt sind. Die luftführenden, wasserableitenden und wasserspeichernden Poren der Ackerkrume werden bis in tiefere Schichten irreversibel zusammengepresst. Die Fähigkeit des Bodens, Niederschlagswasser aufzunehmen, sinkt rapide. Das Wasser fließt auf den verdichteten Schichten ab, sobald nur eine geringe Geländehöhen­differenz vorliegt. Damit verbunden ist auch eine erhöhte Erosionsgefahr⁹.

Die verheerenden Überschwemmungen im Herbst 2002 sind auch auf die Bodenverdichtung durch die Landwirtschaft zurückzuführen. Verdichtete Böden nehmen weniger Wasser auf. Auch ihr Ertrag nimmt ab und ist weniger planbar. Ist es im Frühjahr zu nass, bleiben die Wurzeln der Pflanzen in Wasserhöhe an der Oberfläche. Trocknet der Boden

⁸ *Quelle:* Trends und Fakten zur Landwirtschaft, (2007), Situationsbericht, Hrsg.: Deutscher Bauernverband, 10117 Berlin.

⁹ erosio (lat.) – Zernagung; Erosion ist die Abtragung von Oberflächen-Erdschichten durch Wasser und Wind.

im Sommer schnell ab, kommt das Wurzelwachstum in die Tiefe nicht hinterher. Die Nährstoffquellen können nicht mehr erreicht werden.

Schon Traktoren von 8 t bis 10 t sind für den Acker viel zu schwer. Aufgrund internationaler Versuche sollten 5 t die Höchstbelastung sein.

Der Druck breitet sich im Boden dreidimensional aus, d. h. Ballon ähnlich bis zu einer Tiefe von 50 cm. Die Regenerationsdauer solcher geschädigter Böden beträgt bis zu 10 Jahren¹⁰.

Monokultur ist der Anbau gleicher Pflanzen über längere Zeitfolgen. Sie führt zur einseitigen Verarmung von Mineralien, wie z. B. Stickstoff-, Phosphat- oder Kaliumsalzverbindungen u. a. Der offene Nährstoffkreislauf im Boden ist gestört. Außerdem ermüdet die Bodenfruchtbarkeit und die Schädlinge vermehren sich verstärkt.

Monokulturen sind Raubbau an der natürlichen Bodenfruchtbarkeit und Regenerationsfähigkeit des Ackers. Entsprechende Düngerzugaben können eine Bodendegradation nur verzögern oder nicht verhindern. Eine ertragreich und verantwortungsbewusst betriebene Landwirtschaft strebt eine vielseitige Fruchtfolge an.

Bodenschonende Fruchtfolgen sind notwendig, um die Fruchtbarkeit und Regenerationsfähigkeit zu erhalten und zu stärken. Luftstickstoff bindende Pflanzen (Leguminosen) sollten im Wechsel mit Vorfrüchten, Hackfrüchten und Getreide angebaut werden.

Nachteilig auf die Regenerationsfähigkeit des Ackerbodens wirkt sich die Nährstoffverarmung des Humus aus. Beim Ernten von 1 Tonne Weizenkörner als Haupternteprodukt fallen ca. 800 kg (0,8 t) Stroh als Nebenernteprodukt an. Doch dieses Stroh entzieht wie die Weizenfrucht dem Boden ebenfalls Nährstoffe.

Weizenkorn und Stroh werden abgefahren und gelangen, wie das Stroh in früheren Jahrzehnten in Form von tierischem Streumist aus Viehställen, nicht mehr auf den Acker zurück. Pro Hektar Weizenanbaufläche werden auf diese Weise dem Humus ca. 280 Kilogramm Nährstoffe entzogen, die in Form von Dünger ersetzt werden müssen.

Beim Mais beträgt der Nährstoffverlust bis zu 560 kg pro Hektar.^{*)}

Es ist zu befürchten, dass der einseitige sich ausdehnende Getreide-, Zuckerrüben- und Rapsanbau zur (Bio-)Ethanol- und (Bio-)Diesel-Gewinnung ähnliche Landwirtschaftskatastrophen zur Folge haben wird wie sie im 19. und 20. Jahrhundert in den Entwicklungsländern und in den großen Landwirtschaftskombinaten der ehemaligen Sozialistischen Länder zu verzeichnen waren.

¹⁰ *Quelle:* Professor Dr. Rainer Horn, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Universität Kiel und Frankfurter Allgemeine Zeitung Nr. 291 vom 15.12.2003.

^{*)} *Quelle:* Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, www.landwirtschaftskammer.de

Bevölkerungszunahme, Industrialisierung und Verstädterung haben das Süßwasser zu einem knappen Gut werden lassen. 1,3 Mrd. Menschen der Weltbevölkerung haben nicht ausreichend Trinkwasser oder müssen mit hygienisch nicht einwandfreiem Wasser vorlieb nehmen. Knapp 50 % der 6,6 Mrd. Menschen in der Welt leben in verstädterten Regionen. In der Europäischen Union sind es sogar 73 % der Bewohner. Der Grundwasserspiegel ist in diesen Landschaften in den letzten Jahrzehnten kräftig gesunken, so dass für eine ausreichende Versorgung mit Trinkwasser viel Energie und Abwasserreinigungstechnik aufgewendet werden muss.

Die Landwirtschaft benötigte von jeher viel Süßwasser für den Pflanzenanbau und die Viehzucht.

Je nach Klimabedingungen und Bodenbeschaffenheit müssen für 1 kg Weizen 500 Liter bis 1 500 Liter aufgewendet werden. Für Reis sind es noch mehr (s. Tab. 2).

Tab. 2: Der Wasserbedarf von Pflanzen

Landwirtschaftliche Nutzpflanzen 1 kg Trockenmasse	Wasserbedarf [Liter/kg]
Winterweizen	500 - 1000
Gerste	450
Mais	300
Reis	bis 2000 und mehr
Zucker	120
Hülsen-, Wurzel-, Knollenfrüchte	1000

Ackerland ist knapp geworden. Die weltweit genutzten landwirtschaftlichen Flächen werden pro Kopf der Bevölkerung immer geringer. 1950 waren es noch 0,51 Hektar pro Person, 1975 nur noch 0,34 Hektar und in 2025 werden es nur noch 0,15 ha/Person sein.

Eine ausreichende Energieversorgung, d. h. sowohl von physiologischer (Nahrung) und technischer (Elektrizität und Wärme) Energie ist die Herausforderung für die Menschen weltweit in den nächsten Jahrzehnten. Eng verknüpft ist damit die Bereitstellung von Süßwasser. Energie und Süßwasser hängen miteinander zusammen. Energiequellen für technische Bedürfnisse zu Lasten der physiologischen Energie zu nutzen, ist eine der schlechtesten und gefährlichsten Lösungen. Hungersnot und Unterernährung von Hunderten Millionen Menschen in der Welt verschärfen und vergrößern sich. Abgesehen von der ethischen Verwerflichkeit, führen sie zu sozialen Krisen und kriegerischen Auseinandersetzungen.

Getreide, Mais, Reis, Pflanzenöle, Zuckerrohr und Zuckerrüben als Energieträger für Kraftstoffe wie *(Bio-)Ethanol* und *(Bio-)Diesel* einzusetzen, würde dem Verhalten von Bauern entsprechen, die vor Hunger im Winter ihr letztes Saatkorn verzehren, ohne daran

zu denken, dass es ihnen im Frühjahr fehlen wird, um die Äcker für eine neue Ernte mit Saat zu bestellen.

Zuckerrübenbedarf für den Energieinhalt von 1 Kilogramm Kraftstoff – eine Überschlagsrechnung

Um auf der Grundlage von Zuckerrüben Ethanol zu erzeugen, müssen ca. 17,6 kg Zuckerrüben eingesetzt werden. Je nach Qualität und Wachstumsbedingungen enthalten die Zuckerrüben

- ca. 75 % Wasser,
- 15 % - 20 % Zucker und ca.
- 5 % - 10 % nicht vergärbare Beileitstoffe.

Rübenzucker ist ein Disaccharid, das zu gleichen Teilen aus Glucose und Fructose zusammengesetzt ist. Beide werden vollständig zu Ethylalkohol vergoren.

In dieser Beispielrechnung wird von 18 % Zuckergehalt pro 1 Kilogramm Rüben ausgegangen, d. h. 1 kg Rübenzucker enthalten ca. 180 g Zucker. Wie in vorangegangenen Rechnungen am Beispiel Weizen gezeigt wurde, entsprechen 3167,45 g Stärke $[71,5 \text{ g Stärke (Glucose)} \times 4,43 \text{ kg Weizen}]$ 1 Kilogramm n-Oktan (Benzin). Das bedeutet, 180 g Rübenzucker sind in 1 kg Rüben enthalten. 3167 g Rübenzucker sind in 17,6 kg Rüben enthalten. Es müssen also für 1 Kilogramm n-Oktan bzw. Benzin ca. 17,6 Kilogramm Zuckerrüben eingesetzt werden.

Die Bevölkerung in Deutschland wird zurzeit auf höhere Preise für Brot und Milch sowie Milchprodukte, z. B. Butter, Käse, Quark, eingestimmt. Alle diese Nahrungsmittel hängen direkt oder indirekt von dem Getreideangebot auf dem Markt ab. Die landwirtschaftlich genutzten Ackerflächen, die für die menschliche Versorgung mit Grundnahrungsmitteln nötig sind, werden zugunsten von (Bio-)Ethanolgetreide geringer. Von den abnehmenden Ackerflächen für die Nahrungsmittelerzeugung sind auch Milch und deren Produkte betroffen. Denn die zu hoher Milchlieferung getrimmten Kühe müssen mit *Krafftutter* auf der Grundlage von Getreide und Sojaschrot gefüttert werden. Die Fütterung mit Zelluloseprodukten wie Grünfutter, Heu oder Stroh reicht nicht aus. Obwohl die Rinder von Natur aus als Wiederkäuer über entsprechende Enzyme verfügen, um Zellulose als Futter zu verwerten.

Rindermast und die hochgezüchtete Kuh mit ca. 9 600 Liter Milchleistung pro Jahr bzw. 38 Liter täglich sind zu Konkurrenten des Menschen auf dem Getreidesektor geworden. Um 1 Kilogramm Rindfleisch zu erhalten, müssen 9 Kilogramm Futtergetreide aufgewendet werden. Eine Kuh bedarf täglich ca. 100 L Wasser.

Die moderne Menschheit hat die Beziehung zu den natürlichen Quellen der Grundnahrungsmittel verloren. Wie heißt es im Gebet des *Vater Unser*? Unser täglich Brot gib uns heute! Dafür muss man *arbeiten* und die *Erholungsfähigkeit* der Natur erhalten und nicht *managen*.

*Wirtschaftliches*¹¹

Die größten Bioethanolhersteller in der Welt sind zurzeit Brasilien und die Vereinigten Staaten. Die Jahresproduktion beträgt in beiden Ländern je 18 Mio. m³ Bioethanol. Diese Menge entspricht 14,13 Mio. Tonnen (Dichte des Ethanol 0,785 g/cm³).

Als Rohstoff in Brasilien dient der Rohrzucker, ein Disaccharid, wie der Rübenzucker, und in den USA der Mais. Die Maisstärke ist ein Polymerisat aus Glucose. Aus Mexiko wird sehr viel Mais in die USA importiert. Entsprechend stark verteuern sich die Nahrungsmittel auf Maisbasis.

In der Europäischen Union werden zurzeit 2,7 Mio. m³ (2,12 Mio. t) Bioethanol hergestellt, davon 50 % in Deutschland (s. Tab. 3). Zurzeit gibt es in Deutschland 8 größere Bioethanolanlagen.

Tab. 3: Standorte von Bioethanolanlagen in Deutschland (Stand Oktober 2006).
Aufgelistet sind Unternehmen, deren Kapazität größer als 20 000 m³ pro Jahr ist.

<i>Namen des Unternehmens</i>	<i>Standorte</i>	<i>Kapazität in [m³]</i>	<i>Rohstoffe</i>	<i>Rohstoffbedarf [t]</i>
Crop Energies AG/ Südzucker AG	Zeitz	260 000	Getreide (Weizen)	700 000
Crop Energies AG/ Südzucker AG	Zeitz	100 000	Zuckerrüben- Dicksaft	k. A.
Verbio AG	Schwedt	225 000	Roggen	550 000
Nordzucker AG	Klein Wanzleben	130 000	Zuckerrüben- Dicksaft	600 000 bis 700 000
Nawaro Chemie GmbH	Rostock	125 000	Roggen	300 000
Verbio AG	Zörbig	100 000	Getreide	270 000
Prokon Nord	Stade (geplant)	100 000	Weizen	250 000
Danisco	Anklam (geplant)	80 000	Zuckerrüben	500 000

¹¹ *Lit.*: Trechow, P. (2007), Kornbrand für den Tank, VDI-Nachrichten Nr. 9 vom 02.03.2007
Situationsbericht 2007, Trends und Fakten, Hrsg. Deutscher Bauernverband, Claire-Waldoff-
Straße 7, 10117 Berlin.

Tab. 4: Bio-Ethanolproduktion in verschiedenen Ländern

<i>Länder</i>	<i>Rohstoffe für Bio-Ethanol</i>	<i>Kapazitäten in [m³] (2006)</i>	<i>Produktionsmengen in [m³]</i>
Brasilien	Zuckerrohr	18 000 000	17 800 000
USA	Mais	21 000 000	18 400 000
EU	Weizen, Rübenzucker	3 000 000	2 000 000
China	Mais, Weizen	140 000	160 000
Australien	Zuckerrohr, Weizen	100 000	100 000
Thailand	Zuckerrohr, Kassaava	300 000	300 000

Crop Energies AG will die Gesamtproduktion in ihren Anlagen in Belgien, Frankreich und Deutschland bis 2008/2009 auf 760 000 m³ (596 600 t) steigern.

Gemäß den EU-Biokraftstoffrichtlinien müssen bis zum Jahre 2010 dem Benzin schrittweise 3,6 % Bioethanol beigemischt werden.

Die steigende Bioethanolproduktion wird auch in Deutschland die Nahrungsmittelpreise und auch die Bierpreise in die Höhe treiben. Die Anbauflächen für Brotgetreide und Braugerste werden zugunsten der Bioethanol-Getreiderohstoffe verringert. Entsprechend kleiner fallen die Getreideernten für Nahrungsmittel und Braugerste aus.

In Deutschland haben sich die Preise für Brotweizen von 2006 bis 2007 um 100 % erhöht, nämlich von 115 Euro pro Tonne auf 225 Euro/t. Für Braugerste entwickelten sich die Preise entsprechend. Sie stiegen von 120 Euro/t auf 240 Euro/t. Nicht nur mit der Bioethanolherstellung sind diese Preissteigerungen zu erklären. Die Verknappung des Getreides auf dem Weltmarkt spielt ebenfalls eine Rolle. Auch sollte nicht verschwiegen werden, dass die von staatlicher Seite geförderte Stilllegung von landwirtschaftlich genutzten Flächen ebenfalls ihre Folgen zeigt. Diese rückgängig zu machen, dazu sind Jahre nötig. *Naturvorgänge sind Langzeitprozesse.*

In den Vereinigten Staaten werden fast ein Drittel der Maisernte zu Bioethanol verarbeitet, nämlich von 338 Mio. Tonnen werden 90 Mio. Tonnen zu Ethylalkohol umgesetzt, entsprechend haben sich die Preise von 69,5 Euro/t im Jahr 2006 auf 93,7 Euro/t im Jahr 2007 erhöht. Das sind ca. 33 %.

Ethanolproduktion in Brasilien^{*)}

Die Führungsstellung des lateinamerikanischen Energiesektors bei vielversprechenden neuen Energietechnologien ist eine große Chance. Der Anteil erneuerbarer Energien in Lateinamerika ist bereits beträchtlich (Tab. 5); in Brasilien beläuft er sich aufgrund des umfangreichen Einsatzes von Wasserkraft auf 40%. Bei einigen fortschrittlichen Technologien nimmt die Region zudem eine Vorreiterrolle ein.

Die Verwendung von Biotreibstoff in Brasilien ist bemerkenswert. Brasilien ist mit Abstand der größte Biotreibstoffkonsument der Welt. Es ist weltweit der größte Ethanol-Produzent und verfügt über verschiedene einschlägige Forschungs- und Entwicklungsprogramme zur Produktion und Nutzung des Treibstoffs.³ Brasiliens Ethanol-Produktion ist in den vergangenen fünf Jahren um nicht weniger als 8% pro Jahr gestiegen, und das Land verfügt über die weltweit niedrigsten Produktionskosten. Im Verkehr liegt die Durchdringungsquote von Ethanol bereits bei 40 % der Kleinwagen. Obwohl Brasilien derzeit der größte Ethanol-Exporteur weltweit ist, bestehen jedoch noch wesentliche Hindernisse für den Ausbau des weltweiten Ethanol-Handels. Dazu gehören Protektionismus, die begrenzte Anzahl von Lieferalternativen, eine unzureichende Verkehrsinfrastruktur und ein zu geringer wirtschaftlicher Vorteil gegenüber Benzin (Cambridge Energy Research Associates 2007a). In den kommenden Jahren ist in Europa mit einem beträchtlichen Anstieg der Nachfrage nach Bio-Kraftstoffen zu rechnen (Abb. 4).

Tab.: 5: Ausgewählte Indikatoren für erneuerbare Energien nach Ländern (Zahlen für 2004, die jüngsten verfügbaren Daten der IEA)

	Ges. Primärenergieverbrauch ¹⁾ Mio. Tonnen ²⁾	Anteil erneuerbarer Energien	
		A (%)	B (%)
Argentinien	64	7,5	4,1
Brasilien	205	40,0	13,5
China	1609	15,6	1,9
Deutschland	348	3,8	1,3
Indien	573	38,8	1,3
Mexiko	166	9,8	4,8
UK	234	1,5	0,3
USA	2326	4,2	1,5

¹⁾ Berechnet anhand der Wirkungsgradmethode

²⁾ Mio. Tonnen Öläquivalente

A: Anteil der gesamten erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch

B: Anteil der erneuerbaren Energien ohne Wasserkraft und Müllverwertung am Primärenergieverbrauch

^{*)} Deutsche Bank Research, Dezember 2007, Der Energiesektor in Lateinamerika
www.dbresearch.de

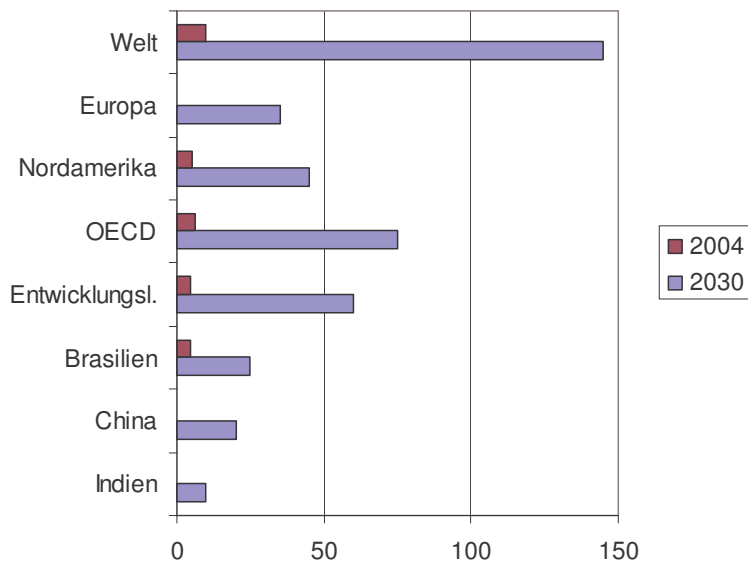


Abb. 4: Steigende Nachfrage nach Biokraftstoffen
(Nachfrage nach Biokraftstoffen im Straßenverkehr, Mio. Tonnen)

Schlussbemerkung

Auf der einen Seite werden Energiesparprogramme in der Öffentlichkeit angemahnt. Der hohe Kohlenstoffdioxidausstoß wird beklagt. Auf die Folgen einer Klimaänderung wird drohend hingewiesen. Auf der anderen Seite werden Skipisten und Eisflächen zum Ski- und Schlittschuhlaufen künstlich errichtet, um den Tourismus zu fördern und angeblich Arbeitsplätze zu schaffen. Diese Schnee- und Eissportstätten haben das ganze Jahr geöffnet und verzehren eine Menge an elektrischer Energie. Es werden sogar Nahrungsmittelrohstoffe eingesetzt, um an anderer Stelle durch (Bio-)Ethanol und (Bio-)Diesel Energielücken zu schließen. Steuergelder als Subventionsmittel werden dafür verschleudert. Erst vor kurzem, im Jahre 2006, wurde ein solches Touristen-Schnee- und Eissportzentrum bei Wittenburg in Mecklenburg eröffnet. Nun können auch die Flachländer aus Hamburg und Lübeck nach einer Anfahrt von 120 km bis 150 km im Sommer zum Skilaufen fahren. Ihre Autos werden dann mit (Bio-)Ethanol angereichertem Kraftstoff betrieben. Inzwischen gibt es Landwirte, die ihr Getreide unmittelbar als Heizmaterial einsetzen, um ihre Gebäude damit zu erwärmen.

Der Getreideanbau und damit der Versorgung der Menschen mit Nahrungsmitteln hängen unmittelbar von genügendem Ackerland und dem Dargebot an Süßwasser ab. Mit zunehmender Bevölkerungsverdichtung und Industrialisierung sind beide Ressourcen knapp geworden und sie werden noch knapper werden. Die Produktion von Biokraftstoffen auf der Grundlage von Getreide, Ölfrüchten und anderen Nahrungsmittelrohstoffen gefährdet eine

ausreichende und ausgewogene Ernährung der Menschen in der Welt. Kraftstoffe sind zu Konkurrenzprodukten von Nahrungsmitteln geworden.

Solange diese Widersprüche nicht beseitigt werden, bleiben alle Zielvorgaben der Politiker und verantwortlichen Technologen und Wirtschaftskapitäne, die Not der Menschen zu lindern, nur Lippenbekenntnisse, teilweise wirken sie wie eine Verhöhnung der hungernden Menschen in der Welt.

Ausblick

Einen besseren Weg, Kraftstoffe und Biodiesel aus nachwachsenden Rohstoffe zu gewinnen, bieten die Begleitprodukte des Getreides und Mais wie Stroh, sowie Holzreste. Sie alle enthalten spezielle Zellulose, und deren Abwandlungen, die als Nahrungsmittel nicht geeignet sind (Abb. 2). Die Verfahren dazu sind schon während des 2. Weltkrieges (1939 – 1945) erarbeitet und genutzt worden.

Das *Forschungszentrum in Karlsruhe, Eggenstein-Leopoldhafen* hat zusammen mit dem Anlagenbauunternehmen *Lurgi* eine hochmoderne Pilotanlage zur Synthese von BtL-Kraftstoffen (Biomass to Liquids) errichtet. Als erster Verfahrensschritt werden durch Schnellpyrolyse bei 500 °C die zellulosehaltigen Rohstoffe in ein flüssiges Zwischenprodukt (Bioliquyncrude) umgewandelt. Im zweiten Schritt wird in einem Flugstromvergaser bei über 1200 °C und Drücken bis zu 80 bar ein Synthesegas, d. h. eine Mischung aus Wasserstoff, H₂, und Kohlenstoffmonoxid, CO, erhalten. Aus diesem Synthesegas lassen sich Methanol, CH₃-OH, und viele andere für Kraftstoffe geeignete Kohlenwasserstoffe herstellen.

Damit kommt das alte Fischer-Tropsch-Verfahren und die Kölbel-Engelhardt-Synthese wieder zu neuen Ehren.¹²

Veröffentlicht in:

- Hopp, V., *Chemische Rundschau* (2007), Heft Nr. 6, S. 20 – 22, Kehrseite mit ethischer Dimension.
- Hopp, V., *Technik u. Mensch*, 2007, Heft III, Hrsg. Verein Deutscher Ingenieure, Bezirksverein Frankfurt-Darmstadt, S. 19 – 23, Von der Fotosynthese über die alkoholische Gärung zum Missbrauch des (Bio-)Ethanol

Literaturverzeichnis:

- [1] Caspary, G. (2007), *Der Energiesektor in Lateinamerika*, Aktuelle Themen 404, Dez. 2007, Deutsche Bank Research, Frankfurt/M., Germany.
- [2] *Deutscher Bauernverband* (2007), *Trends und Fakten zur Landwirtschaft*, Situationsbericht 2007, 10117 Berlin, Claire-Waldoff-Straße 1.
- [3] Eucar, IRC, Concawe (2006), *Das Einsparpotenzial von Biokraftstoffen an Treibhausgasen im Straßenverkehr (Weel-To-Wheels Analyses of Future, Automotive Fuels and Powertrains in the European context)*, MWV aktuell; Hrsg.: Mineralöl Wirtschaftsverband e. V.

¹² *Quelle:* ChEManager 17/2007, S. 8, Synthesekraftstoffe aus Stroh und Co.

- [4] Forschungszentrum Karlsruhe Eggenheim-Leopoldshafen (2007), Synthesekraftstoff an Stroh und Co, CHEManager Nr. 17, 2007.
- [5] Henk, J.M.; Jepper, G. u. Netzel, J. (2002), Steuerbefreiung für Biokraftstoffe: Ist Bioethanol wirklich eine klimapolitische Option? Kieler Arbeitspapier Nr. 1136 des Instituts für Weltwirtschaft, 24105 Kiel, Düsternbrooker Weg 120.
- [6] Hopp, V. (2000), Grundlagen der Life Sciences, Chemie – Biologie – Energetik, Wiley-VCH Verlag Weinheim, Germany.
- [7] Hopp, V. (2004), Wasser – Krise? Wasser, Natur, Mensch, Technik und Wirtschaft, Wiley-VCH Verlag GmbH u. Co. KGaA, Weinheim, Germany.
- [8] Hopp, V. (2006), Nano-Science and Biology – Ninnovative fields at present – in consideration of an Education curriculum, Journal Ideas Nr. 13, 2006, ISBN-83-921738-3-X.
- [9] Horn, R. (2003), Frankfurter Allgemeine Zeitung Nr. 291 vom 15.12.2003.
- [10] Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg GmbH, Ifeu. (2003), Final Report: Life Cycle Assessment of Biodiesel: Update and New Aspects, Project Nr. 530/025, Heidelberg May 2003, Germany.
- [11] Müller, A. (2007), Wheat, maize and sugar cane: foodstuff or energy source; Sun and Wind Energy Nr. 3, 2007.
- [12] Trechow, D. (2007), Kornbrand für den Tank, VDI-Nachrichten Nr. 9 vom 02.03.2007.