

## Die fossile Energiefalle

von Dr. Walter Kuhn

### Übersicht:

- A) Einleitung
- B) Problemdarstellung
- C) Arten von fossiler Energie
- D) Globale Zusammenhänge
- E) Energiespeicher
- F) Ausblick
- G) Anhänge

### A) Einleitung

Es wird versucht die aktuelle Situation des weltweiten fossilen Energieverbrauchs transparenter zu machen.

Ziel ist es zu einem breiteren Verständnis für Energiegewinnung und Energieverbrauch beizutragen.

Erstellung diese Artikel : 2008

Mit folgendem, aus der eignen Erfahrung resultierenden Beispiel soll verdeutlicht werden, dass grundsätzliche physikalisch - chemische Zusammenhänge der breiten Allgemeinheit nicht gegenwärtig sind. Diese "Unwissenheit" führt zu falschen Ansichten und Reaktionen.

A sagt:

*Wasserstoff ist nicht die ideale Lösung unserer Energieprobleme. Zum einen gibt es keine Lagerstätten. Man muss ihn also teuer erzeugen. Zum anderen ist er spezifisch sehr leicht. Ein Liter Benzin wiegt etwa 700 g, 1 Liter verflüssigter Wasserstoff wiegt 70 g. D.h. ein Wasserstoff Tank in einem PKW müsste, abgesehen von anderen grundsätzlichen Problemen, wesentlich größer sein, um genügend Wasserstoff zur Bewältigung der gleichen Entfernungen mitführen zu können..*

B antwortet:

*Da muss man eben den flüssigen Wasserstoff zusammendrücken.*

Geht das?

Antwort:

*Nein, verflüssigter Wasserstoff kann prinzipiell nicht mehr nennenswert weiter komprimiert werden.*

Der folgende populärwissenschaftlich gehaltene Artikel wird durch Anhänge mit etwas vertieftem Inhalt ergänzt.

## **B) Problemdarstellung**

Seit ca. 3,5 Milliarden Jahren entsteht und vergeht auf der Erde Biomasse durch das Wirken der Sonne. Biomasse ist chemisch gesehen stofflich gespeicherte Sonnenenergie. Sie begegnet uns auf Schritt und Tritt in Form von Leben aller Art, als abgestorbene Organismen sowie deren Stoffwechselprodukte und stellt die gesamte Masse an organischem Material dar, das biochemisch entstanden ist.

Aus einem Bruchteil dieser Biomassen sind die fossilen Energiespeichersubstanzen, Kohle (Steinkohle, Braunkohle, Torf), Erdöl und Erdgas, einige hundert Millionen Jahren vor unserer Zeitrechnung, entstanden.

Kohle, Öl und Gas, wurden jedoch nun in einem winzigen Bruchteil ihrer Entstehung, im voranstürmenden Maschinenzeitalter durch unkritischen Einsatz nahezu aufgebraucht.

Diese Zeitspanne der Industrialisierung ist durch enormen Zuwachs der Weltbevölkerung, aber auch durch fürchterliche Kriege gekennzeichnet. Letztlich sind wohl beide Effekte auf das Danaergeschenk der fossilen Energie zurückzuführen. Technischer Fortschritt und egoistische Verteilungskämpfe: das gewohnte Bild unseres in jedem Fall dualistischen Erfahrungsschatzes.

Die Umstände erinnern an vertraute Abschnitte in der Menschheitsgeschichte, die sich hier wiederholen:

In vorteilhaften Phasen vermehrt sich die Menschheit mehr oder weniger unkontrolliert bis Versorgungsengpässe entstehen.

Durch diese Herausforderungen entwickelten sich innovative landwirtschaftliche und technische Lösungen, die für einige Zeit den Druck des Geburtenzuwachses abschwächten.

Beispiele:

- Ackerbau, Viehzucht in der frühen Menschheitsgeschichte.

- Herstellung von Kunstdünger, um ertragreichen Ackerbau treiben zu können. (Haber-Bosch Verfahren zur Ammoniak- und damit auch Nitratgewinnung aus Luftstickstoff, 1913)

Heute nimmt diese Entwicklung aber eine neue Dimension an. Es ist ein Unterschied, ob sich eine Population von einigen Millionen Menschen, oder ob sich (heute) 8 Milliarden Menschen vermehren.

Es besteht der Eindruck, dass das unwiderrufliche Leerlaufen der vertrauten fossilen Energie Quellen, und das gilt leider auch für andere Ressourcen wie Wasser oder Schlüsselrohstoffe usw., die Industrienationen mehr oder weniger unvorbereitet trifft. Abgesehen von unaufhaltsamen Preissteigerungen in der Austropphase, muss mit

Verteilungskämpfen und mit wirtschaftlichen und politischen Folgen von globalem Ausmaß gerechnet werden.

Die Weltwirtschaft befindet sich in einer fossilen Energiefalle. Sie bedient sich heute, bei steigendem Bedarf, mehrheitlich aus einem sich leerenden Speicher von fossilen Energieträgern.

### **C) Arten von fossilen Energieträgern**

Unter fossilen Energieträgern versteht man Kohle (Steinkohle, Braunkohle, Torf) Erdöl (Petrochemie) und Erdgas.

Seit etwa 100 Jahren eskalierend, sind die fossilen Energieträger die fast ausschließlich benutzten stofflichen Energiespeicher zur Bereitstellung von Nutzenergien wie Wärme, Elektrizität, oder von Antrieben für stationäre und mobile Maschinen der Industrienationen.

Vor allem durch billigen Zugang zu petrochemischen Produkten - Benzin und Diesel – hat sich eine uns mittlerweile selbstverständlich erscheinende uferlose Mobilität von ungeheurer Dimension und Dynamik entwickelt.

Aber auch Schlüsselindustrien wie die Chemie sind, abgesehen von der Energiebereitstellung, von der Versorgung mit fossilen petrochemischen Ausgangsmaterialien zur Umsetzung zu den vielfältigsten Produkten wie Kunststoffe, Textilien, Feinchemikalien, pharmazeutischen Produkte usw. abhängig.

Kohle ist Voraussetzung zur großtechnischen Gewinnung von Metallen aus Erzen, vor allem aber von Stahl.

Letztlich stammen alle fossilen Energieträger aus Biomasse, die im Laufe von Äonen durch den Prozess der Photosynthese (s.u.) entstanden ist. Druck, Temperatur und sehr viel Zeit haben dazu geführt, dass Biomasse unter Luftabschluss, immer mehr auf ihren eigentlichen Kern reduziert wurde: Kohlenstoff in Form von Kohle und flüssige, bzw. gasförmige Kohlenwasserstoffe wie Erdöl und in Erdgas.

#### **1. Kohle (Braunkohle, Torf)**

**Kohle** ist ein schwarzes oder bräunlich-schwarzes, festes Sedimentgestein, das durch Karbonisieren von Pflanzenresten (Inkohlung) entstand und zu mehr als 50 Prozent des Gewichtes und mehr als 70 Prozent des Volumens aus Kohlenstoff besteht.

*Siehe: Anhang 1: C) 1 (Entstehung und Vorräte)*

#### **2. Erdöl**

**Erdöl** ist ein in der Erdkruste eingelagertes, hauptsächlich aus Kohlenwasserstoffen (=  $(-CH_2-)_n$  und unter anderem auch gasförmigem Methan) bestehendes lipophiles Stoffgemisch. Rohes Erdöl (**Rohöl**) stellt mit mehr als 17.000 Bestandteilen eine der komplexesten Mischungen an organischen Stoffen dar, die natürlicherweise auf der Erde vorkommen.

*Siehe: Anhang 2: C) 2 (Entstehung und Vorräte)*

### 3. Erdgas

**Erdgas** ist ein brennbares Naturgas, das in unterirdischen Lagerstätten vorkommt. Es tritt häufig zusammen mit Erdöl auf, da es auf ähnliche Weise entsteht. Erdgase bestehen hauptsächlich aus Methan (= CH<sub>4</sub>), unterscheiden sich aber in ihrer weiteren chemischen Zusammensetzung.

Siehe: Anhang 3: C) 3 (Entstehung und Vorräte)

### 4. Torf

**Torf** ist ein organisches Sediment, das in Mooren entsteht. Im getrockneten Zustand ist er brennbar. Er bildet sich aus der Ansammlung nicht, oder nur unvollständig zersetzter pflanzlicher Substanz und stellt die erste Stufe der Inkohlung dar. Torf besitzt eine große wirtschaftliche Bedeutung und wird deshalb an zahlreichen Stellen abgebaut.

Siehe: Anhang 4: C) 4 (Entstehung und Vorräte)

### 5. Gemeinsamkeiten

Allen o. a. fossilen Energieträgern ist chemisch gesehen die Basis Kohlenstoff gemeinsam. Sie stellen bisher, abgesehen von der Kernenergie und Wasserkraft, unsere Grundlage der Primärenergieversorgung dar. Es sind stoffliche Speicherenergien.

Primärenergieträger können sozusagen jederzeit aus dem Speicher entnommen, aufbereitet und verbraucht werden. Man gewinnt aus ihnen durch Verbrennen Wärme, die zum Antrieb von Maschinen oder zum Heizen benötigt wird.

Als Basis zum Maschinen Antrieb ermöglichen sie Mobilität und über den Antrieb von Stromgeneratoren die Sekundärenergie Elektrizität (= Strom). Strom ist aber nicht speicherbar soweit man ihn nicht stofflich einfängt; z. B. als Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser. Überwiegend muss Strom während der Bereitstellung verbraucht werden

Darüber hinaus werden etwa 3 % der fossilen Energieträger,

Quelle: Internet: Rohstoffentwicklung und die chemische Industrie, 21.11.2006 Dr. Stefan Marcinowski, BASF Prey@basf.com

davon 20 % des Öls, für die Stoffströme der Chemischen Industrie aufgewendet.

Quelle: Süddeutsche Zeitung, 04.11.2008, Thema: Abschied vom Öl, Michael Bauchmüller.

Den fossilen Energieträgern sind darüber hinaus, im Vergleich zu den Energielieferanten wie Solaranlagen, Wind- und Gezeitenwerken, Wasserkraftwerken und Kernreaktoren, einige für den Verbraucher sehr "bequeme" Attribute eigen:

- relativ leichte Zugänglichkeit  
(Bohren oder graben, abpumpen oder einsammeln)
- geringer Aufbereitungsaufwand, da sie sich schon in verwertbarer Form befinden (Sieben, destillieren, ev. cracken, abtransportieren und verteilen)
- vertraute Speicherung als Feststoff (Kohle), Flüssigkeit (Erdöl) oder komprimiertes Gas (Erdgas)

- leichte, erprobte technische Handhabbarkeit
- zum Teil Direktnutzung (Erdgas)
- respektable Energiedichte bezogen auf das Volumen

Man muss sie sozusagen nur finden, einsammeln, verteilen und anzünden.

Diese Attribute haben weltweit die Technik zur Energienutzung geprägt. Es sind fundamentale Abhängigkeiten und hunderte von Millionen von Arbeitsplätzen entstanden, deren Gefährdung zzt. unabsehbare gesellschaftspolitische Auswirkungen hätten.

Dies gilt vor allem für den Bereich der weltweiten Mobilität. Gerade die Mobilität ist der Bereich den die Energiefälle am schnellsten einholen wird. Mobilität hängt heute davon ab, beliebig über gut handhabbare Energiepakete – Benzin und Diesel – jederzeit und überall kostengünstig verfügen zu können.

## **6. Reichweite**

Seit Mitte der 70iger Jahre wird über die Reichweite der fossilen Energieträger kontrovers diskutiert.

„Reichweite = statische Reichweite. Ist durch das Verhältnis zwischen den bekannten, mit heutiger Technologie explorierbaren Quellen und dem heutigen Verbrauch definiert.“

Quelle: Internet: Rohstoffentwicklung und die chemische Industrie, 21.11.2006 Dr. Stefan Marcinowski, BASF Prey@basf.com

Gezielt werden wir Verbraucher immer wieder durch Meldungen neuer riesiger Erdöl- oder Erdgasfunde besänftigt. Wie belastbar sind diese Botschaften hinter denen man undurchschaubare Interessen der großen Energieverwalter vermuten darf? Der Konsument wird immer wieder ruhig gestellt. Das Geschäft geht weiter.

Letztlich kommt es für uns Verbraucher auf das gleiche heraus: Entweder werden die Preise durch Spekulation oder durch Verknappung hoch gehalten.

Inzwischen kann m. E. als gesichert angesehen werden, dass der immer weiter gesteigerte Verbrauch sich, bis auf Kohle, einem absehbaren Ende durch Erschöpfung nähert. Siehe auch: Süddeutsche Zeitung: „Abschied vom Öl“, November 2008

Daher muss baldmöglichst eine neue Basis für die Sicherung oder den Ersatz der vorhandenen Energie-, Mobilitäts- und Chemiestrukturen gefunden werden, wenn Zusammenbrüche von weltweit genutzten Basistechnologien, Infrastrukturen, Logistik- und Ernährungssystemen, aber auch politischen Systemen, vermieden werden sollen.

## **7. Kohlendioxid – Klimaerwärmung**

(Kohlendioxid = CO<sub>2</sub>)

Die Diskussion Kohlendioxid- Klimaerwärmung wird zwiespältig gesehen:

## 1. Den Anstieg des atmosphärischen Kohlendioxid-Spiegels als alleinige Ursache der Klimaerwärmung zu sehen bedarf m. E. der Überprüfung.

Die Einwände zur Ursächlichkeit der Kohlendioxid-bedingten Klimakatastrophe, die von manchen Wissenschaftlern erhoben werden, sollten zumindest insofern ernst genommen werden, als die einseitige Kohlendioxid-Treibhausdiskussion in eine Sackgasse führen kann. Wenn die Verminderung der Kohlendioxid-Emission als Allheilmittel angesehen wird, werden Weichen falsch gestellt.

Beispiel:

Kohlendioxid aus Kohlekraftwerken unter Tag einleiten, „Das Oxyfuel-Verfahren“:

Quelle: Main Echo, 10.09.2008, Strom aus Braunkohle fast CO<sub>2</sub>-frei

Unter beträchtlichem Energieaufwand wird die Trennung von verflüssigter Luft in Sauerstoff und Stickstoff durchgeführt. Die Kohleverbrennung erfolgt mit dem abgetrennten reinen Sauerstoff, um in dem Verbrennungsprozess anfallenden Kohlendioxid-Abgas den Stickstoffanteil zu vermeiden.

Enorme Mengen an kostenintensiv zu verflüssigendem Kohlendioxid aus diesem Verbrennungsprozess sollen in leere ehemalige Erdöl Lagerstätten gepumpt werden.

Ab Mitte des Jahrhunderts sollen 10 Milliarden Tonnen Kohlendioxid eingelagert werden.

Quelle: Süddeutsche Zeitung Nr. 46, 22.10.2008

Wer kennt die Auswirkung auf das Grundwasser oder die Stabilität der Lagergesteine? Wie will man unbeabsichtigte Kohlendioxid-Austritte an die Erdoberfläche beherrschen? Bekanntlich ist Kohlendioxid-Gas schwerer als Luft und wird sich im Havarie Fall als erstickende Schleppe am Austrittsort über die Landschaft wälzen.

Es muss gefragt werden, wann die berechnete Beharrlichkeit zur Klärung nach der Zuverlässigkeit von atomaren Endlagern, auch für Kohlendioxid-Endlager an den Tag gelegt wird.

*Jahr 2022: Inzwischen gibt es interessante Ansätze Kohlendioxid in solchen Lagerstätten an geeignete Mineralien chemisch zu binden.*

## 2. Aus chemischer Sicht sollte die Frage diskutiert werden, inwieweit das Massenwirkungsgesetz im Zusammenhang mit einem Mehr an Kohlendioxid im weltweiten Kohlenstoffkreislauf zu berücksichtigen ist.

Annahme:

Wird, durch welche Ursache auch immer, der atmosphärische Kohlendioxid-Spiegel ( $2600 \times 10^9$  t) langfristig angehoben, muss das globale System des Kohlenstoff/Sauerstoffkreislaufs dem Zwang des vermehrt anfallenden Kohlendioxids ausweichen, indem die vermehrte Fixierung des Kohlendioxids im Rahmen der Photosynthese zu Speicherenergie Glucose erfolgt.

Resultat: Erhöhtes Pflanzenwachstum.

Siehe: Anhang 6: C) 7 Kohlendioxid – Klimaerwärmung (Massenwirkungsgesetz)

Letztlich wird ja auch im Rahmen der Kohlendioxid-neutralen Energiegewinnung argumentiert, dass die Natur jederzeit in der Lage ist, den Verlust von einjährig wachsenden Pflanzen, als Folge der anthropogenen Nutzung, in Jahresrhythmen zu verkraften. Argument: das bei ihrer Verbrennung gebildete Kohlendioxid würde ja im nächsten Jahr wieder in Form von Pflanzen gebunden. Man rechnet also in diesem Fall mit einer sehr schnellen Anpassung der Natur durch Pflanzenwachstum.

Vielleicht ist zur validen Beurteilung der globalen Kohlendioxid-Kreislaufentwicklung etwas Geduld in der augenblicklichen Einschwingphase angebracht.

3. Die Kohlendioxid-Klimaforschung hat beträchtliche Summen in Forschung und Equipment investiert. Eine Umorientierung würde manches liebgegewonnene, aber vielleicht festgefahrene Forschungsprojekt gefährden. Widerstände sind verständlich da es um Forschungsbudgets geht.

Der anthropogene Anteil der CO<sub>2</sub>-Emission wird mit 3 % diskutiert.

Quelle: Internet : Treibhauseffekt

In der wissenschaftlichen Literatur wird der Kohlendioxid-Anteil der Erd-Lufthülle mit  $2\,600 \times 10^9$  t, die Mineralisation mit  $92 \times 10^9$  t, die Pflanzenatmung mit  $37 \times 10^9$  t und der Austausch im Phytoplankton durch Atmung mit  $146 \times 10^9$  t angegeben.

Dem gegenüber steht die anthropogene Kohlendioxid-Emission von  $18 \times 10^9$  t. Das ist vergleichsweise wenig Potential für eine Klimabeeinflussung.

Quelle: Georg Fuchs, Allgemeine Molekularbiologie, Thieme-Verlag, Seite 18

M.E. macht es vor dem Hintergrund dieser Zahlen Sinn zu überdenken, ob die Erderwärmung auch auf weitere Effekte wie z.B. Sonnenaktivität zurückzuführen ist.

Dann kann man zumindest, wie bereits erwähnt, die Kohlendioxid-Strategie überdenken.

4. Es ist allerdings festzustellen, dass die aktuelle Kohlendioxid-Klimakatastrophen-Diskussion aus politischer und zukunftsorientierter Sicht willkommen ist.

Sie ist als Vehikel zu sehen, das mit hilft Alternativen zur Verwendung von fossilen Brennstoffen zu finden, zu fördern und neuen Wege zu beschreiten. Nur so kann breite Akzeptanz für zukunftsfähige Lösungen aus der Sackgasse von Öl- und Erdgasabhängigkeit aufgebaut werden.

Mit dem oft missionarisch verbreiteten Katastrophen-Fanal der Kohlendioxid-Klimakatastrophe gelingt die Bekehrung von uns allen, als oft kurzsichtige, energieverwöhnte Verbraucher. Durch die Stigmatisierung der Kohlendioxid-Emissionen aus fossilen Energieträgern wird deren Ersatz durch teurere Alternativen von den Konsumenten, wenn auch zähneknirschend, akzeptiert.

## D) Globale Zusammenhänge

Es folgt eine kurze Darstellung der Zusammenhänge zwischen Sonnenlicht, Energiespeicherung, Speichersubstanz Glucose, Kohlendioxid/Sauerstoff-Kreislauf und fossilen Energieträgern.

Die naturwissenschaftliche Grundlage wurde im 19. und 20. Jahrhundert erarbeitet und ist weiterhin eines der interessantesten Forschungsgebiete der Biochemie. Die Zusammenhänge sind äußerst komplex und nicht in allen Details verstanden. Es wird auf die umfangreiche Fachliteratur verwiesen.

### 1. Uratmosphäre

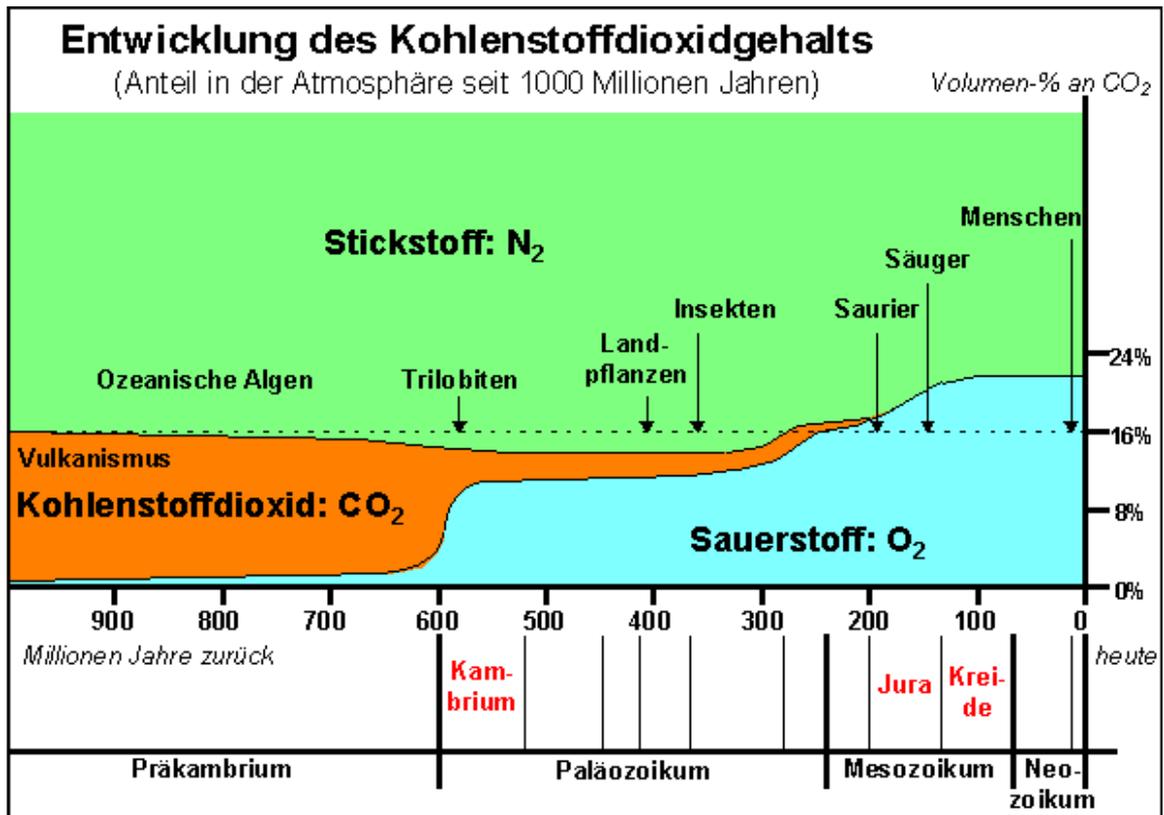
Man geht heute davon aus, dass die Uratmosphäre vor 3-4 Milliarden Jahren, neben Schwefelwasserstoff und Wasserstoff, u.a. ursprünglich ca. 15 % Kohlendioxid, aber keinen Sauerstoff enthielt. Heute liegt der Kohlendioxid-Anteil durch u.a. biochemische Vorgänge nur noch bei 0,0385 %, allerdings bei steigender Tendenz.

Grund für diese gigantische atmosphärische Veränderung ist die Wirkung von Kohlendioxid-verbrauchenden und Sauerstoff-produzierenden Zellsystemen, den Prokaryoten. Diese vor 3-4 Milliarden Jahren entstandenen Mikroorganismen sind Einzeller ohne definierten Zellkernbereich. Im wesentliche handelt es sich dabei um Purpurbakterien, Schwefelbakterien und Blaualgen. Jede dieser Bakterienart entwickelte einen eigenen Weg (Photosynthesestrategie) mit unterschiedlicher Kohlenstoff-Quelle, unter Verwendung von Wasser als Reduktionsquelle, zur Erzeugung der universalen Speichersubstanz Glucose.

Vor etwa 1,5 -2 Milliarden Jahren bildeten sich aus den Prokaryoten das Zellsystem der Eukaryoten. Das sind Zellen mit definiertem Zellkern. Von den Eukaryoten leiten sich alle höheren Lebewesen ab.

Letztlich hat die Evolution den Weg der Blaualgen favorisiert, die als Kohlenstoff-Quelle ausschließlich Kohlendioxid nutzt, dem in der in der Uratmosphäre in überreichlich vorhandenen, atmosphärischen Gas.

Mit dem Verbrauch von Kohlendioxid durch Prokaryoten, bzw. Eukaryoten, über Milliarden von Jahren, unter Fixierung als Biomasse und der Freisetzung von Sauerstoff, änderte sich die Uratmosphäre stetig und hat zu der uns heute vertrauten Atemluft geführt. Sie besteht zu ca. 80 % aus Stickstoff, 20 % aus Sauerstoff und ca. 0,0385 % Kohlendioxid. Geologischen Verwitterungsvorgängen haben ihren Teil dazu beigetragen, Diese Zusammensetzung ist seit ca. 100 Millionen Jahren weitgehend konstant. Es besteht ein dynamisches Gleichgewicht. Die Waage hat sich eingependelt.



Quelle: Internet, „Der Kohlenstoffkreislauf“ Proseminar Prof. Dr. Michael Matthis

## 2. Photosynthese

Alles Leben ist ursächlich mit dem Energielieferant Sonne verknüpft.

Jährlich trifft Sonnenergie in Form von Wärme und Licht von  $1,5 \times 10^{18}$  kWh (=  $5,4 \times 10^{21}$  kJ) auf die Erde und übertrifft damit den gesamten Primärenergieverbrauch der Menschheit um das 15 000-fache (Grundlage: Jahr 2006)

Quelle: Internet, WIKIPEDIA, Photovoltaik

Der "Sonnenmotor" treibt durch die Einstrahlung von Licht-/Wärme-Energie, in allen pflanzlichen Zellen und phototropen Bakterien die Synthese von stofflich gespeicherter Energie in Form von Glucosebausteinen an. Neben diesem pflanzlichen Vorgang erfolgt über die Hälfte des gesamten Photosynthese-Umsatzes der Erdoberfläche in den Meeren in mikroskopisch kleinen Algen, oder besser gesagt dem Phytoplankton.

Die Gesamtheit dieser Organismen wird auch als Produzenten organischer Substanzen, Biomasse, im Naturhaushalt bezeichnet.

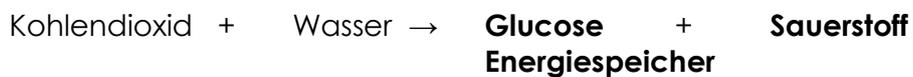
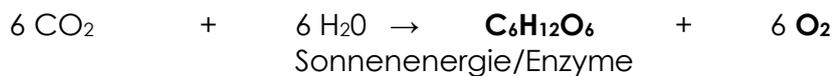
Die in der Tiefsee ablaufenden Synthesestrategien, die ohne Sonnenlicht auszukommen scheinen, sind nicht Thema dieses Artikels; Stichwort: „Schwarze Raucher“. Letztendlich ist aber auch in diesen Synthesegängen, über Diffusions-Kreisläufe, Sonnenlicht in unerlässlich.

Die Photosynthese erfolgt in ausbalancierten Synthesekreisläufen unter Katalyse mit Enzymen. Atmosphärisches, oder gelöstes Kohlendioxid und der Reaktionspartner Wasser, der den Wasserstoff zur Reduktion des Kohlendioxids liefert, werden in Glucose und Sauerstoff überführt. Der Prozess benötigt Sonnenlicht als Energielieferant und setzt Sauerstoff frei.

Die Steuerung der komplexen Abläufe innerhalb der Zellsysteme erfolgt durch Bereitstellung von Enzymen und ist in der DNA festgelegt.

Im Anabolismus der Zellen wird die Verknüpfung von Glucosebausteinen zu den Polymeren Glykogen, Stärke und Cellulose, auch Polysaccharide genannt, abgewickelt.

Das "Beiprodukt" Sauerstoff ist der für die tierische Atmung notwendige Oxidationspartner (s.u. Atmung)



Für Interessierte sei zur vertieften Betrachtung auf das Stichwort „Calvin-Zyklus“ verwiesen.

Seit hunderterten von Millionen Jahren spielen sich diese Vorgänge Flächen deckend auf der Erde ab. Beispielweise nimmt man an, das täglich weltweit ca. 400 Millionen t Cellulose gebildet werden, was einer Menge von ca. 150 Milliarden t pro Jahr entspricht. Die Glucose-Polymere Cellulose und Stärke, machen über 75 % der organischen Kohlenstoffverbindungen der Erde aus.

In vergleichbarem Ausmaß, etwa 20 % im Vergleich zu Cellulose, produzieren viele Pflanzen das Stützmaterial Lignin, das sich chemisch gesehen aber strukturell grundsätzlich von Cellulose unterscheidet. Es handelt sich um ein Polymer aus aromatischen Alkoholen.

Diese Biomassen waren, wie bereits ausgeführt, der "Rohstoff" für die Kohle-, Braunkohle- und Torf-Lagerstätten sowie der Erdöl- und Erdgaslager.

### 3. Atmung

Die gebildete Glucose ist zunächst in erster Linie Energiespeicher und wird für die Energie-verbrauchenden Lebensabläufe der Zelle benötigt.

Stark vereinfacht dargestellt wird in den Zellen aller Tiere, Enzym-kontrolliert, Glucose in einer "Stille Verbrennung", unter Verbrauch von Sauerstoff veratmet, wobei wieder Wasser und Kohlendioxid gebildet werden.

Man bezeichnet daher die Tiere und natürlich auch den Menschen im Hinblick auf den Naturhaushalt als die Konsumenten.

Sauerstoff, der wie beschrieben in der Photosynthese (s.o.) gebildet wird, ist der Oxidationspartner.



Dabei wird die in der Glucose gespeicherte Sonnenenergie, die beim "stillen Verbrennen" im Körper verfügbare wird, über eine viel stufige, fein abgestimmte Energiewandlungs-Kaskade in komplexere Energiespeichersubstanzen – u.a. Adenosintri-phosphat (=ATP) – überführt. Diese sind dann für den differenzierten Einsatz in den Zellsystemen geeigneter und finden sich als universeller Energiespeicher in allen Lebewesen und Pflanzen.

Pflanzen und Tiere wiederum haben bekanntlich begrenzte Lebenszeit, sterben und werden letztlich von Pilzen und Bakterien, den Destruenten, in mineralische, anorganische Verbindungen, Wasser und Kohlendioxid überführt. Im Naturgeschehen wird dieser Vorgang als Mineralisation bezeichnet.

Mit dem entstehenden Kohlendioxid, das wieder an die Atmosphäre abgegeben wird, schließen sich Photosynthese und Atmung zu einem vor ca. 1,5 - 2 Milliarden entstanden Kohlendioxid/Sauerstoff-Kreislauf, einem gigantischen Masse- und Energiefluss, der alles pflanzliche und tierische Leben beherrscht.

#### **4. Verbrennung und fossile Energieträger**

Versunkene Biomassen, die letztlich über Glucose während des Karbons vor etwa 280 bis 360 Millionen Jahren gebildet wurden, waren wie ausgeführt der "Rohstoff" für unsere Kohle-, Braunkohle- und Torflagerstätten.

Phytoplankton wird als Basis für die Erdöl- und Erdgas Vorkommen angesehen.

Alle fossilen Energien basieren aus chemischer Sicht damit auf dem Element Kohlenstoff. Auch für zukünftige Energiespeicher ist absehbar, dass Kohlenstoff zumindest im Mobilitätssektor, außer ev. Wasserstoff, eine Hauptsäule sein wird (s.u.).

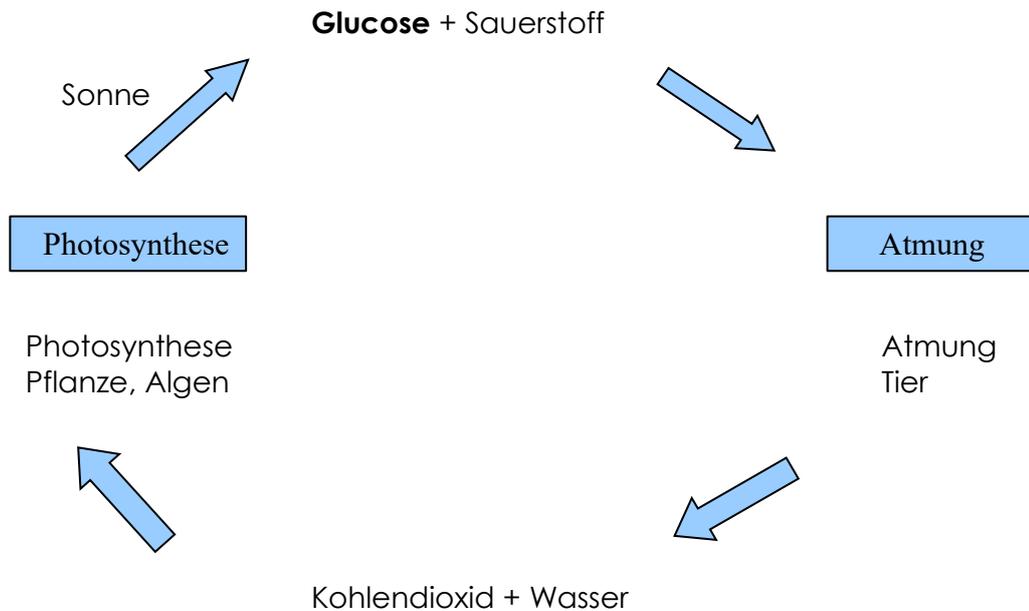
Durch Verbrennung von Kohle, Erdöl oder Erdgas, die im Wesentlichen aus in Jahrmillionen angehäuften, ungeheuren Mengen von Kohlenstoff bestehen, werden diese fossilen Materialien wieder in Kohlendioxid überführt.



Durch die Energiepraxis der Industrienationen wurden seit ca. 100 Jahren sehr schnell ungeheuren Kohlendioxid Mengen freigesetzt, die in den weltweiten Kohlendioxid/Sauerstoff-Kreislauf eingehen. Globale Auswirkungen sind anzunehmen.

Es sollte aber das o. a. erörterte Argument des entlastenden, forcierten Pflanzenwachstums infolge des Massenwirkungsgesetzes nicht außer Acht gelassen werden.

## 5. Der Kohlendioxid/Sauerstoff-Kreislauf schematisch:



## E) Energiespeicher

### 1. Organische Energiespeicher (Kohlenstoffspeicher)

Weltweit belaufen sich die Kohlenstoff-Reservoirs in Form von Pflanzen auf 560 Milliarden Tonne die sich auf Land- bzw. Seepflanzen, auf Wurzelmasse, Stütz- oder Blatt-, Halm-, Frucht- oder Stielmasse aufteilen.

Quelle: [www.lothar-mayer.de/Bausteine](http://www.lothar-mayer.de/Bausteine) :Kohlenstoffkreislauf

Andere Schätzungen belaufen sich auf  $2 \times 10^{12}$  t in lebender Biomasse fixierten Kohlenstoff.

Quelle: Georg Fuchs, Allgemeine Molekularbiologie, Thieme-Verlag, Seite 17

Alle fossilen Energien sind, wie bereits angesprochen, aus chemischer Sicht untrennbar mit dem Element Kohlenstoff verbunden. Wie die Evolution heraus optimiert hat, bietet kein anderes Element aus dem chemischen Periodensystem, und das ist die gesamte stoffliche Grundlage unserer Existenz, ein vergleichbares Potential. Der Grund liegt in seiner weitgehend unpolaren, räumlichen Vierbindigkeit und der Fähigkeit eine Vielzahl komplexer Bindungen einzugehen. Diese Eigenschaften sind die Grundlage allen Lebens

Auf dieser Basis hat die Evolution auf geniale Weise das grundsätzliche Energiespeicher-Problem gelöst:

Die in überreichem Maß, seit Bestehen des Sonnensystems vorhandene Energie des einstrahlenden Sonnenlichts, lässt sich als rein immaterielle Energie nicht speichern, oder, plakativ gesagt, „nicht in Flaschen abfüllen“. Energie Speicherung gelingt

aber auf dem Weg der Überführung in eine substanzielle Basis z.B. eines Zuckers: der Glucose. Die Evolution hat diesen Weg stufenweise herausgefiltert und so erst die Basis für das Leben von Mehrzellern ermöglicht.

Mehrzeller, also der gesamte Bereich der Zoologie, können im Gegensatz zu den autotrophen Zellen (direkte Kohlendioxid-Verwerter), als sogenannte heterotrophe Zellen, keine direkte Kohlendioxid-Verwertung betreiben. Sie leben, bzw. beziehen die für die Lebensvorgänge notwendige Energie, durch den Verzehr von den in Glucose-Polymeren angelegten Speichern der Pflanzen.

Glucose mit ihrem sechsgliedrigen, ringförmigen Kohlenstoff-Sauerstoff-Gerüst ist die strukturelle Basis zum Aufbau von Sonnenenergie-Speichersubstanzen, die sich chemisch-thermodynamisch gesprochen in einen energiereicheren Zustand befinden als die Ausgangsverbindungen Kohlendioxid und Wasser. Der Energielieferant ist Sonnenenergie, die sozusagen in die Glucose eingebaut wird.

*Siehe: Anhang 8: E) 1 (Stereochemie der Glucose)*

Dieses Mehr an Energie in der Glucose, im Gegensatz zu den Ausgangsverbindungen Kohlendioxid und Wasser, wird im Molekül gespeichert durch die Art und Weise wie Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff miteinander verknüpft sind, also aus den verschiedenen Bindungen der einzelnen Atome untereinander.

Aus chemischer Sicht: aus den unterschiedlichen Bindungsenergien.

Gleichzeitig stellt das Glucosegerüst im Gegensatz zu den Ausgangsprodukten Kohlendioxid und Wasser einen höheren Ordnungszustand dar. Die Thermodynamiker nennen das eine Entropieabnahme (Entropie kann als Maß der Unordnung angesehen werden). Insgesamt werden an Freier Energie 2870 kJ/Mol Glucose gespeichert. (Ein Mol Glucose entspricht 180,16 g).

Durch Oxidation – Verbrennung mit Sauerstoff – werden aus den ehemaligen Glucosespeichern Kohle, Erdöl oder Erdgas, energieärmere Substanzen: Kohlendioxid und Wasser. Der Energie-Unterschied, also die unterschiedlichen Bindungsenergien in der Glucose und den Verbrennungsprodukten Kohlendioxid und Wasser, ist bekanntlich als Reaktionswärme nutzbar.

Diese Reaktionswärme wird technisch weltweit in den vielfältigsten Varianten genutzt und ist der Technologiemotor schlechthin.

## **2. Kohlendioxid-Speicher**

In gebundenem Zustand findet es sich Kohlendioxid in ungeheuren Mengen, vor allem als Calciumcarbonat  $\text{CaCO}_3$  und Magnesiumcarbonat  $\text{MgCO}_3$ , in Gebirgszügen, die ursprünglich aus freiem, gasförmigem Kohlendioxid und dem durch Verwitterung von Calciumsilikaten frei gewordenen Kalk ( $\text{CaO}$ ) entstanden.

Der reine Kohlendioxidanteil wird mit 10 – 2500 000 Milliarden Tonnen angegeben.

Quelle: Georg Fuchs, Allgemeine Molekularbiologie, Thieme-Verlag, Seite 18

Freie Kohlendioxid-Speicher:

133 000 Milliarden Kohlendioxid Tonnen gelöst in den Meeren

2 600 Milliarden Kohlendioxid Tonnen in der Lufthülle

Quelle: [www.lothar-mayer.de/Bausteine](http://www.lothar-mayer.de/Bausteine) :Kohlenstoffkreislauf

### **3. Anorganische Speicher**

Die Möglichkeit Sonnenenergie, als Elektrizität aus Alternativenergie-Quellen, stofflich in Form von chemischen Batterien zu speichern ist natürlich gegeben. Fraglich dürfte aber sein, ob es möglich ist die Mobilitätskrise mit Batterien zu lösen. Das würde allein für Deutschland eine KFZ-Batteriekapazität von 35 Millionen Stück für die derzeit ca. 35 Millionen Automobile erfordern. Die hierfür erforderlichen Batterie-Werkstoffe wie Kupfer, Lithium, Nickel usw. sind bereits heute Mangelware bzw. Spekulationsobjekte der Rohstoffbörsen mit den bekannten Effekten.

Energie-Speicherung z.B. in Salzschnmelzen wird ernsthaft diskutiert, können aber zumindest zum Mobilitätsproblem nichts beitragen.

### **F) Ausblick**

Seit Mitte der 70iger Jahre wird über die Reichweite der fossilen Energieträger kontrovers diskutiert. Es sei an die Ölkrise Anfang der 70iger Jahre erinnert.

Inzwischen kann als gesichert angesehen werden, dass der seit über 100 Jahren immer weiter gesteigerte Verbrauch sich einem absehbaren Ende durch Erschöpfung nähert.

Auch wenn es immer wieder so dargestellt wird als würde sich die Lage entspannen, ist m.E. keine Entwarnung angesagt, allenfalls ein kurzes Atemholen. Die aktuelle Bankenkrise und wirtschaftlichen Abschwünge von 2008 werden überwunden, die Wirtschaftsentwicklung wird wieder Fahrt annehmen und der Run auf Energie, Rohstoffe und Wasser wird mit unverminderter Tendenz weiter gehen. China und Indien werden Ihre Aufholjagt nicht abbrechen. Weitere Schwellenländer sind auf dem Sprung.

Daher muss baldmöglichst eine neue Basis für die Sicherung oder den Ersatz der vorhandenen Energie- und Chemiestrukturen gefunden werden, wenn Zusammenbrüche von weltweit genutzten Basistechnologien, Infrastrukturen, Logistik- und Ernährungssystemen usw. vermieden werden sollen.

### **1. Bestehende Abhängigkeit**

Man kann Energieverbrauch in zwei Bereiche unterteilen:

#### **Stationäre Verbraucher**

Das sind z.B. Fertigungsmaschinen und Heizungssysteme. Zum Betrieb kann fossile Energien in Form von Kohle, Diesel, Benzin und Erdgas genutzt werden. Es ist aber genauso gut möglich dafür ungespeicherte Energie, also im wesentlichen Elektrizität einzusetzen.

Damit sind stationäre Verbraucher durch den Einsatz von Alternativ-Energien (s.u.: Ersetzen) mittelfristig deutlich unproblematischer anzusehen als mobile Verbraucher.

### **Mobile Verbraucher**

Alle mobilen Verbraucher sind abhängig von „mitnehmbaren Paketen“ gespeicherter Energie hoher Energiedichte, um genügend Bewegungsspielraum zu sichern. Um die unser tägliches Leben beherrschende Mobilität zu ermöglichen, sind in den bestehenden Technologie-Strukturen die Kohlenwasserstoff-Energiespeicher Benzin/Diesel/Erdgas in Form von „Paketen“, sprich Tankfüllungen, Voraussetzung.

Man muss sich nur die Auto-Lawinen auf Autobahnen, die maschinelle Landwirtschaft, Waldarbeiten, die Touristik, den Flugverkehr, den Einsatz von Motorbetriebenen Geräten in Haus und Handwerk usw. vor Augen halten: Alle hängen am Tropf dieser bisher leicht verfügbaren, leicht handhabbaren, noch billigen petrochemischen Produkte.

Diese Mobilitätsgaranten sind das kurzfristig zu lösende Problemfeld in der heraufziehenden Energiekrise.

Dabei geht es im wesentliche um unabsehbare Folgen, wenn alle die Arbeitsplätze, die an der Mobilität hängen, ihre Inhaber nicht mehr ernähren können. Auch wenn man unserer gigantischen Mobilität kritisch bzw. ablehnend gegenüber steht, muss man sie entweder erhalten, oder zumindest Alternativarbeitsplätze schaffen, um schwere soziale Konflikte zu vermeiden.

*Siehe: Anhang 9: F) 1 (Dualismus)*

(Zu der Version Wasserstoff folgt unten eine gesonderte Anmerkung unter E) 2.3.)

## **2. Neue Strategien**

Vor diesem Hintergrund wird ein dreistufiges Vorgehen zum Umgang mit den fossilen Energievorräten vorgeschlagen:

- kurzfristig: Einsparen und Strecken
- kurz- bis mittelfristig: Suchen nach Alternativen
- langfristig: Ersetzen der fossilen Energiespeicher

Eine Universallösung ist m.E. derzeit nicht in Sicht.

Einige konkrete aktuelle Ansatzpunkte sollen angesprochen werden:

### **2.1 Einsparen und damit Strecken**

Bereits heute sollte, und das erfolgt bereits in vielfältiger Weise, alles getan werden, um den fossilen Energie Verbrauch zu minimieren. Stichwort: Einsparen

Das beginnt mit der Bereitstellung von Automobilen mit minimiertem Verbrauch, Stichwort: Hybridantrieb, führt über Bevorzugung von Mobilität mit elektrisch betriebenen Vehikeln, Wärmedämmung in allen Bereichen, optimierter

Energiebereitstellung in Kraftwerken, bis zur vorübergehende Nutzung der ungeliebten Kernenergie.

Ein weiterer wichtiger Beitrag ist das Recycling von Basiswerkstoffen wie Metallen, Glas, Kunststoffen und Papier, deren Wiederaufbereitung mit deutlich geringerem Energieaufwand als eine Neugewinnung verbunden ist; ganz abgesehen von der sinkenden Verfügbarkeit.

### **„Strecken“ von Kunststoffen**

Im Bereich der Kunststofffertigung können die auf petrochemischer Basis erzeugten Polymergranulate, Ausgangsprodukten für Plastik aller Art, durch „Verdünnen“ mit Naturprodukten gestreckt werden:

Vielversprechende Ansätze, die aber noch auf eine viel breitere Basis zu stellen sind bieten z.B. die zzt. im Aufbau befindlichen Bioraffinerien.

In der Bioraffinerien der Fa. Biowert in Brensbach, wird z.B. Gras mit Wasser ausgelaugt und die erhaltene Grasgülle, zusammen mit anderem Güllematerial, zu Biogas umgesetzt (s.u.). Das ausgelaugte Gras wird getrocknet und eignet sich hervorragend als Zusatz zu Polymergranulat, das dann nach Spritzguss-Verfahren zu Gebrauchsartikeln aus Gras-Mischpolymerisat (= Bioplastik) umgesetzt werden kann.

In gleicher Weise können Holzfaserzusätze verwendet werden.

Ein weiterer Anwendungsbereich des in Bioraffinerien anfallenden ausgelaugten Grases ist, nach Zusatz von Borsalzen zur Verminderung der Entflammbarkeit, der Einsatz als Dämmmaterial. Es kann die mit hohem Energieaufwand, durch Zerkleinern von geschmolzener Gesteinsmasse (bei Temperaturen von 1500°C) erzeugten Watte-artigen bekannten Dämmmaterialien, ersetzen.

Bioraffinerien liefern darüber hinaus aus der Gülleverwertung Naturdünger, was die Produktion industriell erzeugter Düngemitteln entlasten kann.

Quelle: [www.Biowert.de](http://www.Biowert.de)

Bioraffinerien können selbstverständlich außer Gras auch andere Cellulose-haltigen Materialien als Basismaterial einsetzen, wie sie sich von Land zu Land von Region zu Region anbieten.

### **Kohle als Energie- und Kohlenwasserstofflieferant**

Angesichts der rasant voranschreitenden Öl-Verknappung und damit der Bedrohung der Mobilität, kann mit etwas Erleichterung registriert werden, dass eine Verknappung der Kohle- und Braunkohlevorräte mittelfristig nicht zu befürchten ist.

Diese Vorräte, beruhend auf „in Kohlenstoffstruktur gegossene“ Sonnenenergie, sind m.E. wie folgt zu bewerten.

- Für den Einsatz von Kohle zur Elektrizitätsbereitstellung in Kraftwerke, wird es politisch erheblicher Überzeugungsarbeit bedürfen, Akzeptanz für die unvermeidliche Kohlendioxid-Emission zu finden. Die Kohlendioxid-Verflüssigung

und Speicherung halte ich für einen aus der Not geborenen Irrweg. Da hilft sicher nur die Macht des Faktischen: Entweder es gelingt in absehbarer Zeit durch Alternativenergien die Kohle zu toppen, oder aber Ölpreis und kalte Winter zwingen zu Kompromissen.

Die Prognosen der IEA (Internationale Energieagentur) gehen von einem weltweiten Anstieg der Bereitstellung von Elektrizität in den nächsten 20 Jahren von 50% aus. Kohle wird den Hauptanteil an Primärenergie stellen.

- Kohle ist zur weltweit im großindustriellen Maßstab betriebenen Gewinnung von Metallen aus Erzen, vor allem Eisen, unverzichtbar. Will man auch hier Kohlendioxid-Verflüssigung und Speicherung betreiben???

*Jahr 2022: Die Alternative zur Erzreduktion mit Kohle könnte Wasserstoff sein.*

- Kohle war im 19. Jahrhundert das Sprungbrett für die Entwicklung der chemischen Industrie. Eine Vielzahl von organischen Grundsubstanzen und Lösungsmitteln waren und sind über Kohlevergasung zugänglich. Die Kohle wurde in dieser Anwendung in den letzten 50 Jahren weitgehend von der Petrochemie abgelöst. Nun zeigt sich, dass Öl viel zu kostbar ist, um als Wärme und für Mobilität verheizt zu werden. Zurück zur Kohle?

Ja. Zumindest in einer Übergangsphase.

- Als Basis für die Erzeugung von Benzin und Diesel haben Kohle- und Braunkohlevorräte, vor allem hinsichtlich der bedrohten Mobilitätsbasis eine respektable Zukunft. Die Technologie zur Überführung in diese Mobilitätsgaranten ist seit 1925 bekannt und wird auch im noch auszuführenden Punkt: Umwandlung von Biomasse in Kohlenwasserstoffe, nochmals angesprochen. Es handelt sich um das von Franz Fischer und Hans Tropsch ausgearbeitete Verfahren, das die Überführung von Synthesegas (Kohlenmonoxid und Wasserstoff) aus Kohle in flüssige Kohlenwasserstoffe ermöglicht.

## **2.2 Suchen nach Alternativen**

### **Bioraffinerien**

Bioraffinerien sind, wie bereits ausgeführt, integrative Gesamtkonzepte für die biochemische und thermodynamische Umwandlung von nachwachsenden Rohstoffen zu Chemikalien, Werkstoffen sowie Brenn- und Kraftstoffen unter möglichst vollständiger Ausnutzung der Biomasse.

Die Wertstoffseite wurde oben angesprochen. Darüber hinaus kann Biogas erzeugt werden.

Es bestehen bereits Anlagen, die Biogase erzeugen, z.B. die Anlage der Firma Biowert in Brensbach im Odenwald. Eine Bioraffinerie mit 500 Hektar Gras-Einzugsgebiet kann in einem Blockheizkraftwerk, mit im Verbund anfallendem Biogas, 1MWh erzeugen.

Quelle: [www. Biowert.de](http://www.Biowert.de)

## **Weißer Biotechnologie**

Unter dem Begriff „Weißer Biotechnologie“ werden bereits heute Kraftstoffe, Grund-Chemikalien, organische Säuren u.v.a.m. hergestellt.

Beispielhaft sei Ketogulonsäure genannt:

Ketogulonsäure ist seit den 30iger Jahren die Schlüsselsubstanz zur großtechnischen Produktion von Ascorbinsäure (=Vitamin C). Ascorbinsäure wird heute weltweit in einer Menge von ca. 100 000 Tonnen pro Jahr produziert. Bis in die 90iger Jahre wurde Ketogulonsäure in äußerst aufwändigen Syntheseschritten aus Glucose, unter Einsatz von Hunderttausenden von Tonnen anorganischer Chemikalien wie Schwefelsäure, Natronlauge, Bleichlauge, Salzsäure und Bereitstellung riesiger Mengen an Lösungsmitteln wie Aceton, Xylol, Methanol usw. hergestellt. Enorme Primärenergie Aufwendungen waren notwendig.

Heute erfolgt die Produktion der Ketogulonsäure, nach einem chemischen Hydrierschritt der Glucose zu Sorbit, ausschließlich mit Mikroorganismen und hat eine Halbierung der Preis für Vitamin C bewirkt.

## **Lignin**

Lignin kommt in vergleichbaren Mengen wie Cellulose vor. Es ist ein aus aromatischen Ringen bestehendes Polymerisat und fällt hauptsächlich bei der Aufbereitung von Holz im Abwasser im Rahmen der Papiergewinnung an. Meist wird es nach Eindickung direkt als Heizmedium eingesetzt. Angesichts der riesigen nachwachsenden Vorkommen erscheinen Überlegungen zur Energiegewinnung oder zum Ersatz von petrochemischen Plastikwerkstoffen sinnvoll. (s.u. Bio-Kunststoffe)

## **Algen + Kohlendioxid**

Kanadische Forscher der Dalhousie Universität in Halifax arbeiten an Planktonzuchtungen mit deren Hilfe es gelingen soll in Photo-Bioreaktoren, mit Nährstoffe wie Kohlendioxid, unter Belichtung Pflanzenöle zu erzeugen, die sich in Biodiesel überführen lassen.

An Quellen für Kohlendioxid ist bekanntlich kein Mangel. Zu lösen ist allerdings das Problem, wie das in wasserfernen Kraftwerken anfallende Kohlendioxid zu den Algen gelangt oder umgekehrt. Wenn man allerdings die Aufwendungen sieht, die im Oxyfuel-Verfahren (s.o.) ernsthaft erwogen werden, sollte man vielleicht auch diese Alternative nicht ganz hinten stellen.

Quelle: Internet: Oilgea.com

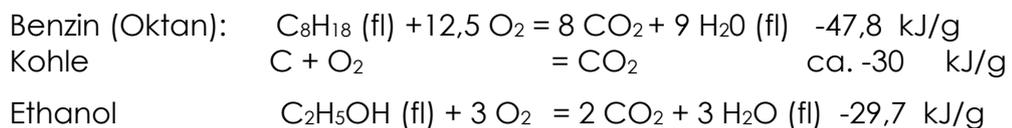
Ganz grundsätzlich ist die Frage zu stellen, ob es gelingen kann, den eingangs geschilderten Vorgang der Photosynthese, der Kohlendioxid als Kohlenstofflieferant und Wasser als Reduktionspartner zum Aufbau des Glucosemoleküls nutzt, über speziellen Katalysatoren und unter Energielieferung durch die Sonnen nachzustellen. Angesichts der Komplexität dieser Aufgabenstellung ist es m.E., zumindest zum Einstieg, aussichtsreicher sich der vorhandenen natürlichen Pflanzen- und Plankton-„Fabriken“ zu bedienen, sie also solche zu optimieren und dann zu „melken“.

Kohlendioxid ist nun mal, chemisch – thermodynamisch gesehen, ein ziemlich toter Hund, dessen Wiederbelebung bisher nur die Evolution, in Milliarden von Jahren, über eine raffinierte Synthesestrategie erprobt, optimiert und ubiquitär etabliert hat.

## Ethanol

Ethanol könnte hinsichtlich einer Reihe von physikalischen Eigenschaften ein sehr interessanter Ersatz von Benzin oder Diesel werden.

Verbrennungswärmen:



Es liefert, bezogen auf das Volumen, eine vergleichbar Energieausbeute und kann in vertrauter Weise, wie die bekannten Mobilitätsgaranten Benzin und Diesel gehandhabt werden.

Herstellungswege:

Heute industriell: Z.B. auf petrochemischer Basis aus Ethylen.

Zukünftig biochemisch: Durch Mikroorganismen aus Cellulose, bzw. Glucose. Siehe Brasilien.

Verfahren der Überführung von weltweit verfügbarer Holz-Cellulose in Glucose sind z. B. in der Papierindustrie seit vielen Jahren bekannt, ebenso die Vergärung zu Ethanol.

Die Bereitstellung aus Nahrungsmitteln wie Mais kann kein mit ethischen Grundsätzen vereinbares Konzept sein, solange diese Nahrungsmittel nicht im Überfluss vorhanden sind. Das ist aber in der augenblicklichen Situation nicht abzusehen.

## 2.3 Ersetzen

### 2.3.1 Ersatz von Kunststoffen

Es gibt eine Reihe von Cateringprodukten, Teller, Tasse, Geschirr usw. die meist aus PE (=Polyethylen), also auf fossiler Basis gefertigt werden und deshalb weder Kohlendioxid-neutral noch biologisch abbaubar sind.

Inzwischen sind solche Gebrauchsartikel in beliebiger Stückzahl aus biologisch leicht abbaubarer Cellulose verfügbar. Da diese Cellulose z.B. aus Bagasse, einem Nebenprodukt der Zuckerrohrherstellung, gewonnen wird, ist das Material als Kohlendioxid-neutral einzustufen, da es sich bei Zuckerrohr um Einjahres-Pflanzen handelt. Dieses biologische leicht abbaubare Material ist in vielen anderen Bereichen der Verpackungsindustrie, der Stoßdämmung (anstelle von Polystyrol-Schnitzeln), in der Papier- und Kartonageindustrie usw. einsetzbar.

Vergleichbare Eigenschaften, wie Kohlendioxid-Neutralität und gute Abbaubarkeit weisen auch Gebrauchsartikel auf, die auf Basis von Milchsäure hergestellt werden: Diese wird durch Fermentation von Glucose gewonnen, zu Lactid bzw. zu Polylactid umgesetzt, das dann weiter polymerisiert werden kann. Solange allerdings

Glucose eingesetzt wird, die aus dem Nahrungsmittelbereich, z.B. Mais kommt, ist dieser Weg vor dem Hintergrund weltweiter Nahrungsmittelverknappung nicht vertretbar.

### 2.3.2 Bio-Kunststoffe

Durch Einsatz von Lignin, einem in der Papierindustrie als Abfallprodukt anfallenden Nebenprodukt, gestreckt mit bis zu 50 % Cellulosefasern (Bagasse), erhält man unter Temperaturerhöhung einen Faserverbundwerkstoff, eine Art künstliches Holz, ganz ohne petrochemische Basis.

Quelle: Internet: PPPreport 27

### 2.3.3 Durch alternative Direktenergien

Hier sind zu nennen: Solarenergie (Solarthermie, Photovoltaik), Wasserkraft, Windenergie, Gezeitenenergie, Erdwärme, Kernenergie und Kernfusion

Der in diesem Zusammenhang bereits vorhandenen Literatur soll an dieser Stelle nur folgende Anmerkung beigefügt werden:

Die Mehrzahl der Sonnenenergie-Wandlungspfade ist vorwiegend im stationären Betrieb einsetzbar. Gemeinsam ist diesen Wegen, dass sie mehrheitlich als Elektrizität ungespeichert genutzt werden müssen. Wie gewonnen so zerronnen.

Für den Einsatz im Mobilitätsbereich sind aber z.Zt. nur stoffliche Speicherenergien vorstellbar. Dafür kommen in erster Linie Kohlenstoff-Derivate aus Biomasse, also z.B. Ethanol oder Methan und mit Einschränkungen, Wasserstoff (s.u.) in Frage.

Wenn es allerdings gelänge einen dieser Energiewandlungspfade so zu optimieren, dass abgesehen von Investitionskosten, Energie in „unbegrenzter“ Menge, mit geringste möglichen Proportionalkosten verfügbar würde, könnten Wege wie „Biomasse zu Kohlenwasserstoffen“ oder gar eine „Wasserstoffwirtschaft“ sehr viel interessanter werden.

Gute Potentiale könnte die Kernfusion haben, deren kommerzielle Nutzung aber wohl noch in weiter Ferne liegt.

Vorstellbar sind aber auch der Ausbau der Fotovoltaik und Solarthermie in Bereichen hoher Sonneneinstrahlung; leider weniger in Nordeuropa. So sind die derzeit diskutierten 13 % der Gesamtfläche Deutschlands, als Basis zur Bereitstellung der gesamten Primärenergie Deutschlands durch Fotovoltaik nicht ermutigend. Sollte es aber gelingen, das bisher notwendige hochreine Silizium (Gehalt: > 99,9999%) durch „unreineres“ Silizium (Gehalt: 99,999%) zu ersetzen, sind beträchtliche Verminderungen von Investitions- und Herstellungskosten möglich.

Quelle: „Ein bisschen Dreck darf sein“ Süddeutsche Zeitung 25.09.2008

Billigste Energie könnte die Wasserstoffwirtschaft beflügeln, die ja abgesehen von hohen Erzeugungskosten ganz entscheidend an zusätzlichen Kosten für Kompression und Verflüssigung sowie Logistik krankt (s.u.). Dies wäre ein Einstieg in die Speichermasse Flüssigwasserstoff. Aus solchen Speichern wäre zu beliebigen Zeitpunkten und Orten jederzeit Strom auf den bekannten Wegen zu erzeugen.

## 2.3.4 Durch stofflich gespeicherte Energien

### 2.3.4.1 Durch Biomasse

Wie eingangs ausgeführt sind unsere fossilen Energieträger letztlich alle aus Biomasse entstanden, die sich über lange Zeit unter Druck und ohne Sauerstoffzutritt gebildet haben. Es ist naheliegenden diesen Prozess durch geeignete Produktionsbedingungen aus täglich anfallender Biomasse nachzuvollziehen.

Inzwischen sind Verfahren bekannt geworden, die in diesem Sinn arbeiten.

Bleibt die Frage nach dem Kosten-Nutzen-Aspekt.

Wichtig dürfte es aber sein zu klären, ob überhaupt genügend Biomasse verfügbare ist.

Zur Erzeugung des gesamten Energiebedarfs in Deutschland auf der Basis von Biomasse, wird mit einer notwendigen Fläche von ca. 1.000.000 km<sup>2</sup> gerechnet. Das entspricht der ca. 2,8-fachen Fläche der Bundesrepublik. Welche Energiegewinnungspfade bei dieser Berechnung zugrunde liegen wäre interessant: Erzeugung von Biodiesel aus Nahrungspflanzen, einfaches Verbrennen, Erzeugen von Biogas usw., oder wie, oder was ?

Quelle: Internet, WIKIPEDIA Photovoltaik 2008

### Umwandlung von Biomasse in Kohlenwasserstoffe

Kürzlich hat [www.forum-chemie-macht-zukunft.de](http://www.forum-chemie-macht-zukunft.de) eine interessante Zahl veröffentlicht:

1. Süddeutsche Zeitung: 19.05.2008  
Prof. Dr. Wandrey:  
„Weltweit entstehen ....jeden Tag über 400 Millionen Tonnen Cellulose“
2. Süddeutsche Zeitung: 15.09.2008  
Prof. Antranikian: „Jeden Tag produziert die Natur durch Photosynthese weltweit etwa 400 Millionen Biomasse.“

Grundsätzlich wäre zunächst zu klären, ob es sich nur um Cellulose handelt, oder um Biomasse, die ja neben Cellulose in hohen Anteilen organische Begleitsubstanzen, wie z.B. Lignin enthält.

Nehmen wir an, es handele sich nur um Cellulose, führt folgende grundsätzliche Überlegung hinsichtlich des Ersatzes der bisherigen fossilen Energiespeicher durch Biomasse zu einer interessanten Folgerung:

### Weltweiter jährlicher Verbrauch an fossilen Energieträgern:

Bei einem jährlichen Verbrauch von derzeit 10 Milliarden t Kohle, Erdöl und Erdgas

Quelle: Internet: Rohstoffentwicklung und die chemische Industrie, 21.11.2006 Dr. Stefan Marcinowski, BASF Prey@basf.com

werden, bei durchschnittlicher Energieausbeute von 40 kJ/g,

**ca.  $40 \times 10^{16}$  kJ im Jahr**

erzeugt.

(Verbrennungswärme von fossiler Energie:

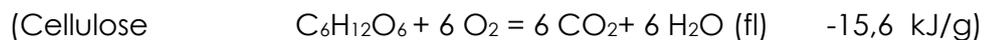
Methan:	$\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} (\text{fl})$	-55,7 kJ/g
Benzin (Octan):	$\text{C}_8\text{H}_{18} (\text{fl}) + 12,5 \text{O}_2 = 8 \text{CO}_2 + 9 \text{H}_2\text{O} (\text{fl})$	-47,8 kJ/g
Kohle	$\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$	ca. -30 kJ/g)

### Theoretischer weltweit jährlich entstehender Energievorrat an Cellulose:

Jährlich werden von der Photosynthese ca. 150 Milliarden t Cellulose produziert.

Was ist davon theoretisch für energieliefernde Verbrennung nutzbar?

Verbrennungswärme von Cellulose:



Rechnerisch entspricht diese Cellulosemasse einer Energiemenge von

**ca.  $234 \times 10^{16}$  kJ pro Jahr**

Vergleicht man den heutigen Energieverbrauch von ca.  $40 \times 10^{16}$  kJ im Jahr mit dem theoretisch verfügbaren Energiegewinn aus Cellulose von ca.  $234 \times 10^{16}$  kJ, so findet man, dass „nur“ das ca. 6-fache an Cellulose verfügbar wäre.

Das ist alarmierend, da davon auszugehen ist, dass nur ein Bruchteil davon vernünftig zugänglich und verwertbar ist.

Wenn es gelänge einen biochemischen Weg zu initiieren, der Cellulose quantitativ in Methan überführt, wäre ein fast doppelt so hoher Energiebetrag gewinnbar, wenn man aus Cellulose fermentativ Methan erzeugen und verbrennen würde:

1 Mol Glucose (180,16 g) kann theoretisch in 6 Mole Methan (16 g) überführt werden.

1 Mol Glucose liefert  $180,16 \text{ g} \times 15,6 \text{ kJ/g} = 2810 \text{ kJ}$

6 Mol Methan liefern  $6 \times 16,04 \text{ g} \times 55,7 \text{ kJ/g} = 5361 \text{ kJ}$

Leider ist die biochemische Realität etwas anders:



Abgesehen davon würde die vollständige energetische Verwertung der 150 Milliarden t jährlich entstehenden Biomasse aber bedeuten, dass der weltweit Photosynthese betreibende biologische Apparat mit einem Schlag vernichtet und als Folge kein Sauerstoff mehr produziert würde, mit vernichtenden Folgen für alles tierische Leben und das gesamte Ökosystem.

## Ungenutzte Kohlenstofflieferanten

Ein ungenutztes Biomasse-Potential, das uns auf Schritt und Tritt begegnet, sind unsere vielfältigen Abfälle aus Land- und Forstwirtschaft aus Küche und Garten. In diesen Bereichen fallen Biomassen auf Basis von Pflanzenmaterial an, die in der Regel in Kompostierungsanlagen energetisch weitgehend ungenutzt zu Wasser und Kohlendioxid abgebaut werden. Sozusagen als Nebenprodukt erhält man Kompost.

In diesem Zusammenhang erscheint auch die Einbeziehung der über das ganze Land verteilten Deponien, dieser Krebsgeschwüre unserer Wegwerfgesellschaft, Überlegenswert. Abgesehen von anorganischen Bestandteilen dürfte es sich hierbei im Wesentlichen auch um Kohlenstoffträger handeln. Man bedenke den steigenden Aufwand für die Entsorgung von Deponieabwässern und Entlüftung. Wird man diesen Aufwand auch in Zeiten von Wirtschaftskrisen aufrecht erhalten können? Durch gezielte energetische Verwertung wären solche Zeitbomben entschärfbar.

Diese Potentiale sollten zu Biogas umgesetzt, zumindest aber als Brennmaterial verwendet werden. Die damit absehbare Dioxin-Problematik ist in den 70iger Jahren, im Gefolge der verständlichen Ablehnung von Müllverbrennungsanlagen, weitgehend gelöst worden.

- Am Rand sei in die während der Mangelzeiten des zweiten Weltkriegs eingesetzten Holzvergaser erinnert: In einem am Automobil installierten Heizkessel wurden Holschnitzel aufgeheizt und die entstehenden Gase, die u.a. Methanol und Aceton enthielten, dem Verbrennungsmotor zugeführt. Eine solche Lösung wäre allerdings nur für Endzeitszenarien vorstellbar.

Man stelle sich einen Porsche mit Holzvergaser vor!

- Beiläufig sei auf die makabre, aber technisch interessante Überführung von Biomasse in Diamant verwiesen. Bei Temperaturen von 3500 °C und Drücken von etwa 50 000 bar, gelingt die „Transformation“ von Asche aus Leichenverbrennungen in diese reinste Form von Kohlenstoff. Abgesehen von der ethischen Fragwürdigkeit zeigt sich, dass die Imitation der erdgeschichtlichen Karbonisierungswege im Karbon, heute auch in einem winzigen zeitlichen Bruchteil, allerdings unter enormem Energieaufwand möglich ist.

Aber: man muss ja nicht mit Diamant, also Reinstkohlenstoff, unsere Energieprobleme lösen wollen. Ölige Zwischenphasen würden es auch schon tun.

## Weltweit verfügbarer Kohlenstoff

Es gibt Annahmen, die von einem weltweiten Bestand an pflanzlichem Kohlenstoff von 560 Milliarden Tonnen Kohlenstoff ausgehen.

Quelle: [www.lothar-mayer.de/Bausteine](http://www.lothar-mayer.de/Bausteine) :Kohlenstoffkreislauf

Dies entspräche, willkürlich zu 50 % umgerechnet in Cellulose, einer Masse ca. 625 Milliarden Tonnen und einer berechenbaren Konversion in Energie von ca.  $9,8 \times 10^{18}$  kJ. Das klingt natürlich schon ganz anders. Aber:

Es muss natürlich bedachte werden, dass nur ein Bruchteil für die Energieverwertung

zugänglich wäre. Die Hauptmasse ist in Form von Wurzeln, Pflanzen-, Stütz- und Blattmaterial sowie Frucht- und Speichersubstanz gebunden. Sie wird von Tieren verwertet oder bei Bränden vernichtet und entsteht und vergeht in jahreszeitlichen Rhythmen.

Was wäre davon für eine Verwertung zugänglich, ohne den weltweit wichtigste Kreislauf, den Kohlenstoffkreislauf zu stören? Sicherlich nur ein ganz verschwindender Bruchteil.

Siehe: *Anhang 10: F) 2 (Weitere Überlegungen zu diesem Thema)*

### **Zukünftige Energieversorgung aus Biomasse?**

Es sieht so aus, als ob Biomasse zwar ein hochinteressanter Kohlenstoff- und damit Energielieferant sein könnte, aber nicht mit grenzenloser Verfügbarkeit.

Man sollten daher ihr Potential, die Basis Kohlenstoff, vorwiegend auf die Überführung in Flüssigtreibstoff (= Benzin-/Diesel-Ersatz) beschränken soweit Mobilität auch in Zukunft in der gewohnten Weise möglich sein soll. Als Basis für Grundchemikalien der Chemischen Industrie wird sie spätestens nach Erschöpfung der Petrochemie große Bedeutung erlangen.

Grundsätzlich ist aber zu beachten, dass Biomasse das Vorhandensein von ausreichenden Mengen des offensichtlich immer knapper werdenden lebensnotwendigen Wassers voraussetzt. Auch die Notwendigkeit für entsprechende Bodendüngung zu sorgen, darf nicht außer Acht gelassen werden.

#### **2.3.4.2 Durch Wasserstoff**

Zu diesem Thema sei auf den sehr interessanten Beitrag von Ulf Bossel, Technikfolgenabschätzung-Theorie und Praxis Nr. 1, 15. Jg. April 2006 verwiesen: Einige Kernsätze:

- „Aus physikalischen Gründen hat eine Wasserstoffwirtschaft keine Chance.“
- „Wasserstoff ist lediglich ein Energieträger, dessen Herstellung, Verteilung und Nutzung enorm viel Energie verschlingt.“
- „Mit Ausnahme von Biomasse und direkt genutzter Solarwärme wird Energie aus erneuerbaren Quellen jedoch als elektrischer Strom „geerntet“. In einer nachhaltigen Energiezukunft werden fossile Energieträger durch Elektrizität verdrängt. Strom wird zur billigen Ausgangsenergie, während alle daraus künstlich erzeugten chemischen Energieträger – also auch Wasserstoff – teurer sein müssen. Strom wird so zur „Leitwährung“ des Energiesystems.

Beispiel:

Am Frankfurter Flughafen werden täglich 50 Jumbo-Jets mit je 130 Tonnen (160 m<sup>3</sup>) Flugbenzin befüllt. Die gleiche Energiemenge steckt in 50 Tonnen (715 m<sup>3</sup>) flüssigem Wasserstoff. (Ergänzung durch den Autoren: 1 Liter Flugbenzin wiegt ca. 700 g, 1 Liter flüssiger Wasserstoff wiegt aber nur ca. 70 g, benötigt also das ca. 10-fache Volumen. Allerdings hat Wasserstoff die ca. 3-fache höhere Energiedichte als Benzin)

Zur Betankung aller Jumbos mit Wasserstoff müssten täglich 2.500 m<sup>3</sup> Flüssigwasserstoff bereitgestellt werden, für dessen Herstellung man 22.500 m<sup>3</sup>

sauberes Wasser und die elektrische Leistung von acht Kraftwerken von je 1 GW benötigt (zum Vergleich: Das AKW Biblis hat eine Leistung von 1,3 GW). Für die Versorgung aller Flugzeuge des Flughafens mit Wasserstoff müsste man den Wasserverbrauch der Stadt Frankfurt und die Energie von mindestens 25 Großkraftwerken einsetzen."

Grundsätzlich sei darauf hingewiesen, dass es weltweit keine Lagerstätten von Wasserstoff gibt. Wasserstoff ist viel zu reaktiv ; er verbindet sich bekanntlich höchst bereitwillig mit Sauerstoff zu Wasser. In den gängigen Diskussionen zum Thema: Wasserstoff, das Allheilmittel unserer Energie-und Kohlendioxidkrise, vermisst man immer wieder dieses prinzipielle Statement. Wasserstoff kommt nicht, wie etwa Erdgas in Lagerstätten vor, sondern muss erst aus Wasser durch Elektrolyse oder andere chemische Verfahren, über Kohle, oder Kohlenwasserstoffe hergestellt werden. Das aber heißt Energieaufwand.

Wie bereits ausgeführt, wird sich die Situation dann grundlegend ändern, wenn es gelingt eine Energiequelle zu erschließen, die die Kosten der Bereitstellung minimiert: Die Kernfusion?

Ganz pessimistisch gesehen, müssen sich die nächsten Generationen die Frage stellen, ob eine Weltbevölkerung die sich in exponentiellem Ausmaß vermehrt, noch genügend Ressourcen vorfinden wird.

Überall werden beunruhigende Zahlen publiziert:

- Energiemangel

- Bevorstehender Wassermangel

- Verknappung wichtiger Grund- (z.B. Kupfer) und Katalysatormetalle

- Versteppung ganzer Landstriche

Meines Erachtens ist bereits heute, bei einem Stand von 6-7 Milliarden Menschen ein Punkt erreicht, an dem eine Beschränkung des Bevölkerungszuwachses und Stabilisierung auf diesem Niveau viele elementare Probleme lösen könnte.

Eine harmonische Durchführbarkeit erscheint derzeit allerdings illusionär.

Ziel dieses Beitrags war es zu sensibilisieren für die Zukunft unserer Energieversorgung. Es ist in der momentanen Finanzkrise (2008) sicherlich schwer auch noch für ein weiteres Horrorszenario, die Energiekrise, Aufmerksamkeit zu wecken. Wir müssen uns aber darüber klar werden, dass diese Fragen gelöst werden müssen; ansonsten stehen wir unvorbereitet immobil vor der großen Kälte. Wenn nicht unsere Generation, dann die nächsten.

Vor allem gilt es die Macht der bekannten großen Energiezuteiler zu beschränken. Ein Weg könnte sein, die zentrale Energieerzeugung, die von ihren Verwaltern für uns Verbraucher leicht undurchsichtig gehalten werden kann, durch kleine dezentrale Einheiten zu ersetzen. Solche den Kommunen zuzueignende Anlagen wären den Interessen der ausschließlich börsen- und gewinnorientierten

Energieindustrie leichter zu entziehen. Leitlinie sollte vorwiegend Kostendeckung für Versorgungssicherheit, Ökologie und Zukunftsfähigkeit sein.

Wie eine nicht gewinnorientierte Wasserversorgung zu den Grundrechten der Menschen gehört, ist m.E. eine rein gewinnorientierte Energieversorgung als unethisch anzusehen.

## F) Anhänge

### Anhang 1: C) 1: Kohle (Braunkohle)

#### Entstehung:

Das Ausgangsmaterial von Kohle ist hauptsächlich pflanzlichen Ursprungs wie beispielsweise Farne (Baumfarne). Im Karbon, der erdgeschichtlichen Entstehungszeit der heute abbaubaren **Steinkohle**, herrschte ein sehr warmes und feuchtes Klima mit einem ausgeprägten Pflanzenwachstum. Beim Absterben einzelner Pflanzen versanken diese im Sumpf und wurden so dem normalen aeroben Zersetzungsprozess entzogen. Es entstand Torf.

Bei Meereseinbrüchen wurden diese Sümpfe mit Sedimenten bedeckt. Unter dem wachsenden Druck und der erhöhten Temperatur begann der Prozess der Inkohlung. Der Druck presste das Wasser aus dem Torf und es entstand zuerst **Braunkohle**. Mit der Ablagerung weiterer Schichten erhöhte sich der Druck und immer mehr Wasser wurde aus der Kohle herausgepresst. Nach und nach wurde aus der Braunkohle Steinkohle und mit nochmals mehr Druck **Anthrazit**. Deshalb ist die wirtschaftliche Qualität der Kohle besser, die tiefer in der Erde liegt und älter ist.

Insbesondere während des Karbons vor etwa 280 bis 345 Millionen Jahren entstanden mächtige Steinkohlelagerstätten, die heute zu den weltweit wichtigsten Energielieferanten zählen. Die Braunkohlelagerstätten sind wesentlich jünger und sind im Tertiär vor 2,5 bis 65 Millionen Jahren entstanden.

#### Vorräte

Die förderfähigen Reserven wurden 2004 auf weltweit 783,1 Mrd. t SKE Kohle geschätzt. Davon entfallen 27 % auf die USA, 16 % auf Russland, 12 % auf China, 12 % auf Indien, 7 % auf die Europäische Union (EU-25) und ebenfalls 7 % auf Australien. Bei gleich bleibendem Verbrauch (2004: 3,8 Mrd. t SKE Kohle) könnte der Bedarf noch für etwa 206 Jahre gedeckt werden. In Deutschland lagern derzeit etwa 77 Mrd. t Braunkohle, von denen 53 % (ca. 41 Mrd. t) mit dem Stand der heutigen Technologie gerinnbar wären. Damit würden die Vorräte bei konstanter Förderung (2004: 181,9 Mill. t) noch für 225 Jahre ausreichen. Von den deutschen Steinkohlevorräten gelten rund 24 Mrd. t als gewinnbar. Angesichts einer aktuellen Förderquote von 25,7 Mill. t (2004) ergibt sich eine theoretische Reichweite von über 900 Jahren. Aufgrund ungünstiger geologischer Bedingungen ist zurzeit jedoch nur ein Teil dieser Vorräte international wettbewerbsfähig förderbar. Vertreter der deutschen Kohlewirtschaft beziffern deshalb unter Beibehaltung der derzeitigen

Fördermengen die Reichweite der deutschen Kohle auf etwa 400 Jahre. Die deutsche Energie Watch Group, eine unabhängige Analytikergruppe um Wissenschaftler der Ludwig-Bölkow-Stiftung (München), kam im Frühjahr 2007 hinsichtlich der weltweiten Kohlereserven und insbesondere hinsichtlich der Reservensituation in Deutschland zu einem anderslautenden Ergebnis:

„Viele Statistiken sind veraltet. (...) Vermutlich ist deutlich weniger Kohle verfügbar als weithin angenommen. (...) 'Viele Angaben wurden seit Jahren nicht mehr aktualisiert. Wo dies erfolgte, wurden die Reserven meist nach unten korrigiert teilweise sehr drastisch.' So hatte die Bundesanstalt für Geowissenschaften die deutschen Steinkohlereserven über Jahrzehnte mit 23 bis 24 Milliarden Tonnen angegeben. Im Jahr 2004 wurden sie auf 183 Millionen Tonnen herabgestuft, also um 99 Prozent reduziert. Auch bei der Braunkohle gab es dramatische Abwertungen um mehr als 80 Prozent. Deutschland ist der größte Braunkohleförderer der Welt. Ähnliche Tendenzen, wenn auch nicht ganz so massiv, gibt es beispielsweise in Großbritannien oder Polen.“ Das globale Kohle-Fördermaximum könnte daher, so die „EWG“, bereits im Jahre 2025 erreicht sein.

Die US-amerikanische Wissenschaftsakademie National Academy of Sciences schätzt in einer im Juni 2007 veröffentlichten Studie, dass die Kohlevorräte in den USA bei gleichbleibendem Verbrauch entgegen den Erwartungen nur noch für 100 Jahre reichen.

In den letzten 10 Jahren hat sich der Weltmarktpreis für Kraftwerkskohle von unter 40 Euro pro Tonne SKE auf über 90 Euro (1. Quartal 2008) erhöht.

Quelle: Internet WIKIPEDIA 2008

## Anhang 2: C) 2: Erdöl

### Entstehung:

Der **biogenen Theorie** zur Erdölentstehung nach entsteht Erdöl aus Meeresorganismen (Plankton), die absterben, absinken und dann auf dem Meeresboden von Sedimenten bedeckt werden. Durch Absinken der Sedimente werden diese organischen Materialien hohem Druck und hoher Temperatur ausgesetzt. Unter diesen Bedingungen wandeln sie sich in so genannte Kerogene um, organische Stoffe, die vorwiegend aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen. Im Verlauf der weiteren Diagenese können die Kerogene bituminös werden. Sedimentgesteine, die Kerogene enthalten, werden als Erdölmuttergestein bezeichnet. Ein Beispiel für ein Erdölmuttergestein mit fein verteilten bituminösen Kerogenen ist Ölschiefer aus dem Lias epsilon (unterer Jura).

Die fein verteilten Kerogene können unter bestimmten Bedingungen, vor allem bei hohen Temperaturen, wandern, da sie leichter als Wasser sind und durch dieses verdrängt werden. Beim Wandern („Migration“ des Erdöls) vereinigen sich die Kerogene zu kompakteren Massen, zu Erdöl. Die Migration verläuft im Großen und Ganzen aufwärts. Gerät das Erdöl unter undurchlässige Erdschichten, die seine weitere Wanderung nach oben und nach den Seiten verhindern (Erdölfallen), reichert es sich dort an und es entsteht so eine Erdöllagerstätte. Eine Erdöllagerstätte besteht also aus einem Speichergestein, dem in seinen Poren befindlichen Erdöl und

mehr oder weniger Lagerstätten Wasser, das sich – sofern vorhanden – ebenfalls in den Poren des Speichergesteins befindet. Das Lagerstätten Wasser enthält oft gelöste Salze. Teilweise entstand unter ähnlichen Bedingungen Erdgas. Oberhalb von Erdöllagerstätten kann sich deshalb eine Kappe aus Erdgas befinden. Oberflächennahe, erdöhlartige sandige Sedimente werden als Erdölsande bezeichnet. Erdöl ist weltweit nicht gleich zusammengesetzt. So sind zum Beispiel in einigen Gebieten mehr Alkane, in anderen mehr Alkene enthalten, auch das Verhältnis von aliphatischen zu aromatischen Kohlenwasserstoffen ist verschieden.

Die langsame Neubildung findet auch heute noch statt, ist aber relativ zum Verbrauch unbedeutend.

Einer **abiogenetischen Theorie** (auch: **abiotisch**) nach, die weitaus weniger Vertreter (siehe insbesondere Thomas Gold) als die biogenetische Theorie hat, existieren im Inneren der Erde von ihrer Entstehung an große Mengen Kohlenstoffverbindungen, darunter auch viele Kohlenwasserstoffe. Diese Kohlenstoffverbindungen werden wegen ihrer geringen Dichte in Richtung Erdoberfläche aufgepresst. Die abiogenetische Theorie hatte viele Anhänger unter Geologen in der Sowjetunion.

Jahr 2022. Ausschnitt aus meinem Buch „Energie , Entropie., Leben“  
Abschnitt 2.1.7, Reaktionsdiversität

„...Wenn man dieses Laborergebnis auf die gesamte Erde umrechnet und zusätzlich den ungeheuren Zeitfaktor von vielleicht 1 Milliarde Jahre berücksichtigt, sollten ungeheure Mengen an abiotischen Molekülen den Weg auf die Erde gefunden haben. Was ist daraus geworden? Ein geringerer Anteil müsste auf dem Festland angehäuft worden sein, der weitaus größere Teil sollte als relativ schwer lösliche Masse in den Ozeanen gelöst oder als Sediment versunken sein. M.E. ist es vorstellbar, dass sie zur Ausbildung von fossilem Material z.B. Erdöl beigetragen haben.“ (Der Gedanke ist: Bildung einfacher, abiotischer Moleküle, z.B. einfache Proteine, im Sinn der Millerschen Synthese. Gebildet in der terrestrischen Uratmosphäre aus interstellaren Atomgruppen wie CO, HCN, NH<sub>3</sub> usw.).

## Vorräte

Für das Jahr 2004 wurden die bestätigten Weltreserven je nach Quelle auf 1260 Milliarden Barrel (171,7 Milliarden Tonnen nach Öldorado 2004 von ExxonMobil) bzw. auf 1148 Milliarden Barrel (156,6 Milliarden Tonnen nach BP Statistical Review 2004) berechnet. Das Wissenschaftsmagazin Science ging 2004 sogar von Reserven von insgesamt drei Billionen Barrel aus. Die Reserven, die geortet sind und mit der heute zur Verfügung stehenden Technik wirtschaftlich gewonnen werden können, nahmen in den letzten Jahren trotz der jährlichen Fördermengen jeweils leicht zu und erreichten im Jahre 2004 den höchsten jemals berechneten Stand. Während die Reserven im Nahen Osten, Ostasien und Südamerika aufgrund der Erschöpfung von Lagerstätten und unzureichender Prospektionstätigkeit sanken, stiegen sie in Afrika und Europa leicht an. Es wird vorausgesagt, dass die Erdölreserven nur noch 50 Jahre den Weltverbrauch decken können. Die Tatsache, dass ähnliche, nicht eingetretene Vorhersagen bereits in der Vergangenheit getroffen wurden, hat den

Begriff Erdölkonstante hervorgebracht. Im Jahre 2003 befanden sich die größten Erdölreserven in Saudi-Arabien (262,7 Milliarden Barrel), im Iran (130,7 Milliarden Barrel) und im Irak (115,0 Milliarden Barrel), darauf folgten die Vereinigten Arabischen Emirate, Kuwait und Venezuela (siehe Abschnitt *Reserven für eine genaue Tabelle*).

Kritiker dieser Angaben weisen allerdings darauf hin, dass die Zahlen häufig aus politischen Gründen verfälscht wurden. Zudem melden viele Länder jährlich dieselben Zahlen, obwohl sie gleichzeitig große Mengen Erdöl fördern; die Zahlen werden also oft nicht angepasst. Darüber hinaus wird nach Schätzungen unabhängiger Experten im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts die als Peak-Oil bekannte Spitze der Hubbert-Kurve erreicht werden. Das Erreichen dieses 'Ölfördermaximums' ('peak') bedeutet, dass weltweit die Förderung bzw. Produktion von Erdöl nicht mehr erhöht werden kann. Infolgedessen wird der Ölpreis unausweichlich und in hohem Maße steigen, da bei stetig wachsendem Verbrauch das Angebot die Nachfrage nicht mehr bedienen kann.

Die Länder der Europäischen Union sind verpflichtet, einen 90-Tage-Vorrat als Strategische Ölreserve für Krisenzeiten zu unterhalten. Ein großer Teil der deutschen und ein kleinerer Teil der ausländischen Vorräte liegen in den unterirdischen Kavernenanlagen im Zechsteinsalz im Raum Wilhelmshaven, wohin auch das meiste Erdöl nach Deutschland eingeführt wird. In Österreich übernimmt die Erdöl-Lagergesellschaft diese Aufgabe. Bei einem täglichen Verbrauch von 87 Mio. Barrel<sup>[5]</sup> ergibt sich bei 1255 Mrd. Barrel eine Laufzeit von etwa 40 Jahren, bei 854 Mrd. Barrel eine Laufzeit von 27 Jahren. <sup>[6]</sup>

Quelle: Internet WIKIPEDIA 2008

### **Anhang 3: C) 3: Erdgas**

#### **Entstehung**

Erdgas entsteht meist durch ähnliche Art wie Erdöl und wird daher auch oft mit diesem zusammen gefunden. Es bildet sich unter Luftabschluss, erhöhter Temperatur und hohem Druck aus abgestorbenen und abgesunkenen Kleinstlebewesen (Mikroorganismen, Algen, Plankton). Diese sind auf den Grund der damaligen Ozeane abgesunken und anschließend von undurchlässigen Schichten überdeckt worden. Die dann einsetzenden chemischen Prozesse führten zur Bildung von Erdgas.

Größere Erdgasmengen entstanden aber auch in Folge einer bakteriellen Zersetzung organischer Stoffe an Ort und Stelle, also ohne wesentliche Migration. Gasvorkommen mit dieser Entstehungsgeschichte finden sich zum Beispiel im Voralpenland Oberösterreichs und Oberbayerns. Mit einer Entstehungszeit von ca. 20 Mio. Jahren gelten sie als sehr jung.

Ein Großteil des heute verfügbaren Erdgases ist vor 15 bis 600 Millionen Jahren entstanden.

Erdgas erschöpft sich nicht in einem allmählich schwächer werdenden Ausstoßprozess ähnlich dem Schwächer werden eines Erdölvorkommens (vgl. Peak Oil). Es stoppt ganz plötzlich aus einer 100 %-Ergiebigkeit, wenn die Gasquelle

entleert ist. Dadurch wird die Vorhersehbarkeit und Planbarkeit eines Vorrats erheblich reduziert. Dies gilt analog für den Welt-Erdgasvorrat als Ganzes.

### **Vorräte**

Die Netto-Weltförderung von Erdgas (Naturgas) einschließlich Erdöl gas, abzüglich zurückgepresstes und abgefackeltes Gas und abzüglich Eigenverbrauch betrug im Jahr 2004 rund 2.689 Milliarden m<sup>3</sup>, davon waren Russland mit 22 % und die USA mit 20 % Weltanteil die Hauptförderländer. Russland förderte 2004 589,1 Milliarden m<sup>3</sup>, die USA 542,9 Milliarden m<sup>3</sup> Erdgas. Weitere bedeutende Förderstaaten sind Kanada mit 6,8 % (182,8 Mrd. m<sup>3</sup>), Großbritannien mit 3,6 % (95,9 Mrd. m<sup>3</sup>), Algerien mit 3,0 % (82,0 Mrd. m<sup>3</sup>), Indonesien, Niederlande, Norwegen, Usbekistan, Iran, Argentinien, Mexiko, Saudi-Arabien, Vereinigte Arabische Emirate und Malaysia. Deutschland förderte 17,2 Milliarden m<sup>3</sup> (0,6 %), Österreich 2,0 Milliarden m<sup>3</sup>.

Damit deckt Erdgas etwa 24 % des weltweiten Energieverbrauchs. Da das Erdgas in der Regel unter hohem Druck steht, fördert es sich sozusagen von selbst, sobald das Reservoir einmal geöffnet ist.

Die nachgewiesenen Welterdgasreserven beliefen sich 2004 auf 170.942 Milliarden m<sup>3</sup> bzw. 185 Milliarden Tonnen SKE. Diese Erdgasreserven sollten nach Hochrechnungen aus dem Jahr 2004 noch knapp 67 Jahre reichen. Dabei sind diese geschätzt wie folgt verteilt: Naher Osten 72.830 Milliarden m<sup>3</sup>, Europa und GUS-Staaten 64.020 Milliarden m<sup>3</sup>, Asien und Australien 14.210 Milliarden m<sup>3</sup>, Afrika 14.060 Milliarden m<sup>3</sup>, Nordamerika 7.320 Milliarden m<sup>3</sup> und Südamerika 7.100 Milliarden m<sup>3</sup>.

Bedeutende Importländer von Erdgas sind USA, Deutschland, Japan, die Ukraine, Italien, Frankreich und Weißrussland.

Quelle: Internet WIKIPEDIA 2008

## **Anhang 4: C) 4: Torf**

### **Entstehung**

Wo die Bodenbeschaffenheit eine Ansammlung von stehendem seichtem Wasser in flachen Seen und Senken der Flussauen gestattet, wird dieses im Laufe der Zeit eutrophieren und durch die abgestorbenen Pflanzenreste verlanden. Vorerst entsteht ein nährstoffreiches Niedermoor mit Niedermoorortf. Bei geeigneten Bedingungen koppelt sich die Oberfläche des Moores durch Auflagerungen allmählich vom stehenden Grundwasser in der Senke ab. Das Moorwasser hat nun einen niedrigen pH-Wert (um die 3,4 - 3,7) und kaum noch Nährstoffe und nur wenig Sauerstoff sind gelöst, so dass die aerobe und anaerobe Zersetzung pflanzlicher Substanzen gehemmt ist. An diese Bedingung sind die Hochmoor-Pflanzengesellschaften angepasst, deren Ablagerungen den Hochmoortorf bilden. Die Entstehung von Torf geht sehr langsam vor sich. Als Durchschnittswert für die Torfablagerung in einem Moor ist ein Mittelwert von 1 mm pro Jahr anzusetzen (bis zu 10 mm = 1 cm pro Jahr sind auch bekannt). Die Entstehung des norddeutschen Teufelsmoores bei Worpswede benötigte ca. 8.000 Jahre.

Die Pflanzen, die zur Vermoorung und Vertorfung führen, sind solche, welche in

großer Anzahl vorkommen und stark wuchern, besonders aber verfilzte Wurzeln treiben: die Heiden (Besenheide, Glocken-Heide), Sauergräser (besonders Seggen-Arten und Wollgräser und Simsen), Binsen, Schwarz-Erlen, vor allem aber Torfmoose (*Sphagnum*). In hoch gelegenen Regionen kann auch die Bergkiefer (*Pinus mugo*) eine Rolle spielen. Je nach Beteiligung einzelner der genannten Pflanzen an der Moorbildung der Ökologies und den hydrologischen Verhältnissen unterscheidet man Niedermoore, Zwischenmoore sowie Hochmoore. In ersteren dominieren Seggenriede, Röhrichte und Bruchwälder, in den nährstoffärmeren Zwischen- und Hochmooren sind Torf- und Braunmoose die Haupttorfbildner.

### **Vorräte**

Weltweit gibt es etwa 271 Millionen Hektar Torfboden. In Afrika 6 Millionen Hektar, in Nordamerika 135 Millionen Hektar, Südamerika 6 Millionen Hektar, Asien 33 Millionen Hektar, Europa 88 Millionen Hektar, Mittlerer Osten 2 Millionen Hektar und Ozeanien 1 Millionen Hektar.

Quelle: Internet WIKIPEDIA 2008

### **Anhang 5: C) 7: CO<sub>2</sub>- Klimaerwärmung, 3 % anthropogene Emissionen**

Betrachtet man die Globale C-Emission/Jahr, so sieht man ein gigantisches Puffersystem in dem etwa 210 GT Kohlendioxid/Jahr umgeschlagen werden und in dem die anthropogenen Emissionen neben Ausgasungen aus dem Meer, der Bodenorganismen und den Landorganismen etwa 22GT Kohlendioxid/Jahr ausmachen, was nur ca. 3 % entspricht.

Quelle: Internet : Treibhauseffekt

### **Anhang 6: C) 7: CO<sub>2</sub> - Klimaerwärmung**

Aus chemischer Sicht handelt es sich bei der Photosynthese, um eine chemische Reaktion. Eine chemische Reaktion besteht aus Hin- und Rückreaktion. Von „außen“ gesehen stellt sich ein Gleichgewicht ein. Das ist Erkenntnis der Chemie seit weit über 100 Jahren und wird als Massenwirkungsgesetz bezeichnet.

*Aussagen des Massenwirkungsgesetzes:*

Chemische Gleichgewichte folgen u.a. dem Le Chatelierschen Prinzip.

Le Chateliersches Prinzip: „Prinzip des kleinsten Zwanges: Übt man auf ein im Gleichgewicht befindliches System durch Änderung der äußeren Bedingungen einen Zwang aus, so verschiebt sich das Gleichgewicht derart, dass es dem äußeren Zwang ausweicht.“

*Le Chateliersches Prinzip angewendet auf den Kohlenstoffkreislauf:*

Hinreaktion (Photosynthese):

Kohlendioxid und Wasser werden intrazellulär in allen Pflanzen bzw. Algen (Phytoplankton), mit Hilfe von Sonnenlicht, in gespeicherte Energie in Form von Glucose überführt. Als Beiprodukt wird Sauerstoff erzeugt.

Rückreaktion (Atmung):

Durch die Zellatmung aller Organismen wird unter Verbrauch von Sauerstoff und Glucose („stille Verbrennung“) wieder Kohlendioxid erzeugt. Zusätzliches Kohlendioxid entsteht aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern. Dieses Kohlendioxid war über Millionen von Jahren in diesen Fossilispeichern in Form von Kohlenstoff gelagert. Das freigesetzte Kohlendioxid sollte vorübergehend den weltweiten Kohlendioxid-Spiegel anheben. Das aber muss nach dem Le Chateliersches Prinzip Auswirkungen haben.

Wird, durch welche Ursache auch immer, der atmosphärische Kohlendioxid-Spiegel langfristig angehoben, muss das globale System des Kohlenstoff/Sauerstoffkreislaufs dem Zwang des vermehrt anfallenden Kohlendioxid ausweichen, indem die vermehrte Fixierung des Kohlendioxid im Rahmen der Photosynthese zu Speicherenergie Glucose erfolgt.

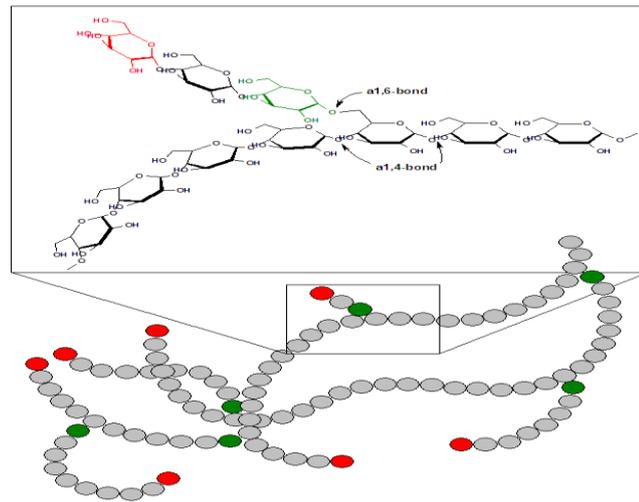
Sprich: Erhöhtes Pflanzenwachstum.

### **Anhang 7: D) 2: Zusammenhänge zwischen Sonnenlicht, Energiespeicherung, Kohlendioxid-Kreislauf und Fossil-Energieträger**

Glucose hat die Fähigkeit sich über Sauerstoffbrücken zu Glucose-Polymeren, dem Glykogen, der Stärke und der Cellulose zu verbinden:

Als Glykogen (bis zu 50 000 baumartig verzweigte Glucosebausteine) bildet sie das Energiereservoir in der Leber. Nach Rückspaltung in einzelne Glucosebausteine dienen diese in einer "stillen Verbrennung" der Deckung des Energiebedarfs der Zellen von Pflanzen, Tieren, Algen usw. also allen Lebewesen.

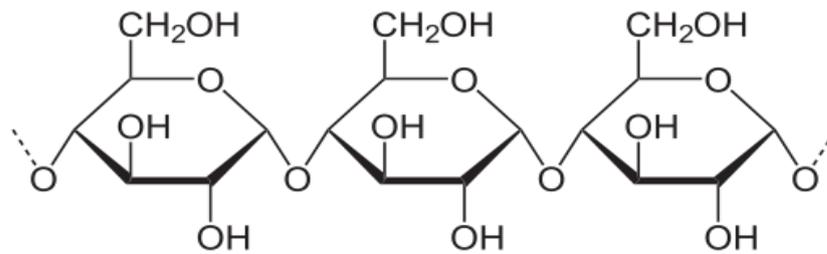
Abb.: Glykogen



Quelle: Internet: WIKIPEDIA 2008

Als Stärke (Alpha-1,4 bzw. 1.6 glykosidisch verknüpfte D-Glucosebausteine, Verknüpfung: geknäult, Körnerstruktur) ist sie in einer Vielzahl von Pflanzen in Samen und anderen Speicherarealen enthalten und steht der Nahrungsaufnahme (=Energieaufnahme) der Pflanzenverwerter zur Verfügung.

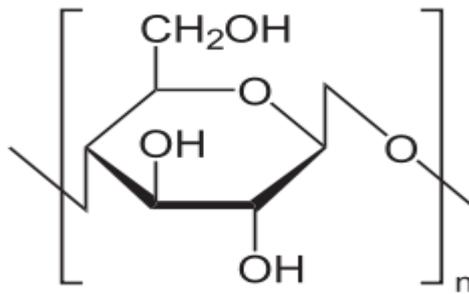
Abb.: Stärke



Als Cellulose (Beta-1.4-Glykosidisch verknüpfte D-Glucosebausteine, Verknüpfung: gestreckt, räumlich geordnet zu Cellulosefibrillen) finden wir sie als Baustein der meisten Zellwänden von Pflanzen. Sie ist die wichtigste Nahrungsbasis von Pflanzenverwertern.

Quelle: Internet: WIKIPEDIA 2008

Abb.: Cellulose



Quelle: Internet: WIKIPEDIA 2008

### Anhang 8: E) 1 : Organische Energiespeicher

Dieses Glucose-Gerüst hat es allerdings in sich: Wie die Stereochemie lehrt sind prinzipiell 16 Möglichkeiten vorhanden ein lineares Molekül mit der Summenformel  $C_6H_{12}O_6$  zu kreieren. Es gibt acht solche Moleküle mit unterschiedlicher Anordnung der H-Atome bzw. HO-Gruppe an den Kohlenstoffatomen 3, 4 und 5. Zusätzlich gibt es zu jedem dieser acht Zucker die spiegelbildliche Version. Man unterscheidet sie als acht D- und acht L-Isomere. Alle 16 Zucker sind bekannt und benannt.

Quelle: Siehe Lehrbücher der Kohlehydratchemie Quelle: H. Beyer, Lehrbuch der Organischen Chemie

Die Evolution hat sich letztlich für die D-Glucose entschieden: Warum? Es bietet sich an, thermodynamische Effekte hier verantwortlich zu sehen

### Anhang 9: F) .1: Ausblick

Man kann in dieser Dualität eine interessante Parallele zu der uns umgebenden Pflanzen- und Tierwelt sehen:

Pflanzen sind stationäre Energieverbraucher, da sie sich naturgemäß keine Nahrungs = Energiequelle aussuchen können. Sie beziehen ihre für das Leben notwendigen Energiezufluss aus dem Sonnenlicht mit dessen Hilfe sie, wie oben beschrieben, über die Photosynthese die Speicher- und Substanz Glucose aufbauen und daraus ihren Stoffwechsel energetisch speisen.

Tiere, und das gilt natürlich auch für den Menschen zu, sind mobile Energieverbraucher. Sie müssen den Gewinn an Mobilität durch Aufnahme von stofflich gespeicherter Energie über die Ernährung „bezahlen“. Diese Ernährung besteht im Kern aus dem Verzehr von Pflanzen und ist damit wieder auf gespeicherte Sonnenenergie, also Glucose, zurückzuführen. Tier und Mensch hängen zu 100 % von der Pflanze ab.

### Anhang 10: F) 2.3: Ausblick

Welcher Anteil der jährlich durch die Photosynthese erzeugten Cellulose tatsächlich verwertbar ist, mag auch aus folgender Überlegung erhellen:

Wenn man von der Entstehungsgeschichte der Kohle im Karbon vor 360 – 280 Millionen Jahren ausgeht ergibt sich eine Entstehungszeit von ca. 180 Millionen

Jahren. In dieser Zeit muss pflanzliches Material angehäuft und 280 Millionen Jahre lang zu Kohle karbonisiert worden sein.

Bei vergleichbaren Umsatzraten im Rahmen der Photosynthese wie heute, müssten ca. 150 Milliarden t Cellulose pro Jahr 180 Millionen Jahren lang angehäuft worden sein.

Damit sollte in 180 Millionen Jahren folgende Menge an Cellulose gebildet worden und in Kohlelagern vorhanden sein:

$$150 \times 10^9 \text{ t Cellulose/Jahr} \times 180 \times 10^6 \text{ Jahre} = \mathbf{27 \times 10^{15} \text{ t Cellulose}}$$

Bei einem Kohlenstoffanteil in der Cellulose von ca. 40 % entspricht das einem „Kohlelager“ von ca.  **$11 \times 10^{15} \text{ t}$**

Dem stehen um 2004 bekannte Kohlevorräte von  **$7,8 \times 10^{11} \text{ t}$**  gegenüber.

Damit ist heute nur noch ein winziger, verschwindend kleiner Bruchteil von ca. einem Zehntausendstel der über Photosynthese pflanzlich gebundene Kohlenstoffanteil als Kohle vorhanden. Tatsächlich ist der weitaus überwiegende Anteil im Rahmen des Entstehens und Vergehens von Pflanzen, nur im stetigen Kohlenstoffkreislauf zu finden.

Ist in etwa diesem Rahmen ist Verfügbarkeit von Cellulose zu sehen?

#### Literaturverzeichnis:

1. Zitierte Internetquellen
2. Holleman Wiberg: Lehrbuch der Anorganischen Chemie, Walter de Gruyter 1985  
ISBN 3-11-007511-3
3. Dickerson/Geis, CHEMIE –eine lebendige und anschauliche Einführung, Verlag Chemie 1983, ISBN 3-527-25867-1
4. Albert L. Lehninger, Biochemie, Verlag Chemie 1979, ISBN 3-527-25688-1
5. Hans Beyer, Lehrbuch der organischen Chemie, S. Hirzel Verlag Leipzig 1967
6. Georg Fuchs, Allgemeine Mikrobiologie, Georg Thieme Verlag, 2007, ISBN 3-13-444608-1  
ISBN 3-13-444608-1, ISBN 978-3-13-444608-1