

Geschlossene Kreisläufe für die Energie- und Rohstofftechnik

Nachfolgend ist ein Artikel von Prof. R. Schulten abgedruckt über „Geschlossene Kreisläufe für die Energie- und Rohstofftechnik“ aus dem Jahr 1975.

Prof. Schulten leitete die Entwicklung des Thorium-Hochtemperaturreaktors, eines inhärent sicheren Kernreaktors, der sich bei Ausfall aller Regelungs- und Kühlsysteme von selbst ausschaltet und anschließend wieder hochgefahren werden kann. Es entsteht kein Endlagerproblem für Spaltprodukte wie bei den heute üblichen Druckwasserreaktoren. Er kann für die Elektrizitätserzeugung, Wärmeerzeugung (bis 1000°C), Wasserstofferzeugung, Meerwasserentsalzung überall in der Welt eingesetzt werden. Dieser Reaktor könnte einen großen Teil der Energieversorgung Deutschlands garantieren.

Die Energieversorgung des lebenden Organismus ist ein Beispiel für einen geschlossenen Energie- und Rohstoffkreislauf, wie er in der Photosynthese abläuft, siehe beigefügten Artikel „Photosynthese und Wasserstofftechnik in der Natur“.

Sigurd Schulien

Arbeitsgemeinschaft deutsche Energie- und Wirtschaftspolitik

www.adew.eu

Geschlossene Kreisläufe für die Energie- und Rohstofftechnik

R. Schulten

Institut für Reaktorentwicklung
Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Geschlossene Kreisläufe der Rohstoff- und Energietechnik ändern die natürlichen Verhältnisse, d.h. die Umwelt, nicht. Rohstoffgewinnung, Umwandlung, Verwendung, Verbrauch und Rezyklierung sowie die Ablagerung der Abfallstoffe und die Beseitigung der Abfallwärme solcher Prozesse erfolgen bei einem idealen Rohstoffkreislauf so, daß keine langfristigen und wichtigen, vor allem aber keine globalen Änderungen der "natürlichen" Verhältnisse bewirkt werden. Ideale, geschlossene Rohstoffkreisläufe, wie sie uns durch die Natur selbst demonstriert werden z.B. Wasserkreislauf der Erde, CO₂-Kreislauf der Biosphäre und Atmosphäre u.a., können jedoch offenbar technisch nicht realisiert, sondern nur angestrebt werden. Der Grad der Annäherung an die idealen Verhältnisse eines geschlossenen Kreislaufes ist ein Qualitätsmaß für die Umweltfreundlichkeit des betreffenden technischen Verfahrens.

Die technische Entwicklung der letzten Jahrhunderte hat den Gesichtspunkt der geschlossenen Kreisläufe wenig betrachtet, ja nicht einmal seine Bedeutsamkeit bemerkt. Die starke, exponentielle Steigerung der Produktion in den letzten 50 Jahren erfordert nun eine ständig zu verstärkende Anstrengung, die Technik möglichst weitgehend in geschlossenen oder zumindest in annähernd geschlossenen Kreisläufen zu betreiben. Nur so sind weitere Wachstumsraten möglich und zulässig. Dieser Umstellungsprozeß kann und muß in etwa 50 bis 100 Jahren vollzogen sein und wird unsere Technik in wichtigen Teilen durch Umwelttechnik ergänzen oder verändern und damit auch für die Zukunft ein angemessenes Wachstum ohne Gefahren ermöglichen.

Die Natur verwendet "geschlossene" Kreisläufe

Die großen geschlossenen Kreisläufe der Natur, z.B. der Wasser- und Wärmehaushalt, arbeiten seit vielen Millionen Jahren unter scheinbar stabilen Bedingungen. Sie haben sich aber, wie wir wissen, im Laufe von Jahrtausenden gebildet, auf Stabilität eingestellt und verändert. Ihre Bedingungen und vielfachen Rückkoppelungen sind kompliziert und in allen Einzelheiten heute noch nicht erkannt. Ihre Erhaltung ist letzten Endes der grundsätzliche Maßstab für die Entwicklungsfähigkeit der Technik und somit für den Wohlstand sowie für die mögliche Anzahl der Erdenbürger. Gewollte oder ungewollte, merkbare Eingriffe in diese natürlichen Kreisläufe erscheinen uns unverantwortlich, da sie die Bewohnbarkeit des Planeten Erde gefährden. Das frühzeitige Erkennen und Verhindern von globalen Gefahren durch diese Eingriffe ist sicher eine der wichtigsten Aufgaben der Wissenschaften.

Der Wasserhaushalt der Erde ist schlechthin eine der wichtigsten Voraussetzungen unseres Lebens. Dieses Geschehen ist außerordentlich kompliziert, u.a. auch durch die Rückkoppelung mit dem Wärmehaushalt der Erde. Es ist leicht einzusehen, daß gerade eine mögliche Störung des Wärmehaushaltes der Erde eine prinzipielle Begrenzung für die Entwicklung der Technik und das Wachstum darstellt. Alle technischen Prozesse wie auch alle Lebensprozesse lassen sich nach einem allgemein bekannten, physikalischen Sachverhalt immer nur so durchführen, daß eine gewisse Abfallwärme, die weiter nicht verwendbar ist, abgeführt werden muß. Bei immer größerem Umfang und immer größerer Anzahl von technischen Anlagen wird jedoch auch die Menge der Abfallwärme immer größer. Während man sie bisher u.a. durch Fluß- oder Seewasser "beseitigte", wird man sie in der Zukunft nur noch an die Luft abgeben können, da das Leben in den Flüssen schon durch eine geringe Temperaturerhöhung empfindlich beeinflußt werden kann. Bei der Abgabe von extrem großen Wärmemengen an die Luft stellt sich natürlich die Frage, ob dadurch nicht die unmittelbare Umgebung einer technischen Anlage geschädigt wird. Darüber hinaus ist die Abgabe von Abfallwärme an die Lufthülle der Erde sicher nicht unbegrenzt möglich, ohne das Klima der Erdoberfläche zu ändern. Von dieser Grenze sind wir glücklicherweise heute noch weit entfernt.

Auch der Kreislauf des Sauerstoffs und Kohlendioxids der Lufthülle erweist sich von fundamentaler Bedeutung. Der heutige Sauerstoff der Lufthülle ist vor vielen Millionen Jahren in der Karbonzeit durch Pflanzenwachstum entstanden, wobei durch den sogenannten Assimilationsprozeß Kohlendioxid der Erdatmosphäre in Sauerstoff umgewandelt wurde. Durch diesen Prozeß sind die Kohle sowie das Erdöl und das Erdgas entstanden. Die Tatsache, daß wir heute in der Luft eine beachtliche Sauerstoffkonzentration haben, ist nur darauf zurückzuführen, daß die damaligen riesigen Wälder nicht verbrannt, sondern durch geologische Ereignisse mit Erdschichten bedeckt und damit konserviert wurden. Solange der Mensch noch keine technischen Anlagen betrieben hat, stand die Produktion von Kohlendioxid durch Pflanzen und Tiere mit der Produktion von Sauerstoff durch die Pflanzen in einem Gleichgewicht. Durch die Entwicklung der Technik, u. a. durch das Verbrennen von Kohle, Erdöl und Erdgas, wird in den letzten Jahrzehnten in steigendem Maße der Kohlendioxid- und Sauerstoffhaushalt der Erde gestört. Obwohl die heute vorliegenden und wahrgenommenen Änderungen noch nicht alarmierend sind, müssen wir aber damit rechnen, daß in einem Zeitraum von höchstens 50 oder 100 Jahren eine wesentliche Reduzierung der Verbrennungsprozesse eingeleitet werden muß, um die natürlichen Verhältnisse der Erde nicht zu stark zu stören.

Die aufgeworfenen Probleme sind sehr ernst zu nehmen. Vor allen Dingen werden sie bald zu der Erkenntnis führen, daß diese Auswirkungen globaler Natur sind, also die gesamte Erdoberfläche betreffen. Da die Kenntnisse über diese sehr komplizierten Zusammenhänge noch sehr unvollkommen sind und heute bezweifelt werden muß, ob diese Zusammenhänge in allen Einzelheiten genügend sicher erkannt werden können, muß gefordert werden, daß jedes technische Wachstum sich an die von der Natur gegebenen Maßstäbe anpaßt.

Die Technik verwendet bis heute vornehmlich nicht geschlossene

Kreisläufe

In der bisherigen Geschichte der Technik konnten ohne Bedenken größtenteils offene Prozesse angewendet werden. Der Einfluß der Abfallstoffe und der Abfallwärme war meist gering und immer nur lokal wirksam, also in keinem Fall von einer globalen Bedeutung. So beziehen sich die heutigen Anstrengungen der Umwelttechnik zunächst nur auf die lokalen Auswirkungen der Technik; das globale Problem ist heute noch nicht aktuell. Alle technischen Verfahren vor allen Dingen aber die Verfahren der Großtechnik für die Massenproduktion müssen aber bald auch unter dem Gesichtspunkt ihrer globalen Auswirkungen betrachtet werden.

Die Verbrennung ist z.B. ein offener Prozeß, bei dem große Mengen von Sauerstoff verbraucht werden und als Abfallstoff Kohlendioxid und eine Reihe von anderen Abfallstoffen an die Luft abgegeben werden. Hier ist u.a. die Verbreitung von Schwefeldioxid zu nennen, die uns zur Zeit stark beschäftigt, die aber eigentlich nur ein lokales Umweltproblem darstellt. Aus heutiger Sicht kann gesagt werden, daß ein ständig steigendes Wachstum der Industrie auf der Basis der fossilen Brennstoffe auf lange Sicht nicht möglich ist. Neben einer vorauszusehenden Klimaveränderung würden auch der Mensch und die Tierwelt weniger und weniger lebensfähig sein.

Offene Kreisläufe werden heute auch in großem Umfang für die Stahlerzeugung und für die Erzeugung von chemischen Produkten angewendet. Viele Industriebetriebe befinden sich jedoch bereits in einer Umwandlungsphase, indem möglichst versucht wird, die flüssigen und festen Abfallstoffe entweder wieder zu verwenden oder sie in eine solche Form überzuführen, für die eine natürliche und ungefährliche Ablagerung möglich ist. Die Elektrizitätserzeugung benutzt bis heute in der Hauptsache Verbrennungsprozesse. Vor allem in diesem Bereich ist dem Problem der Abfallwärme besondere Beachtung zu zollen, da die Umwandlung der chemischen Energie der Kohle und des Erdöls

in Elektrizität mit einem Wirkungsgrad von etwa 30 bis 35% realisiert werden kann. Aber auch die übrige Wärmedarbietung zum Beheizen der Häuser sowie die in der Industrie verwendete Prozeßwärme führen zu einem starken Anfall von Abwärme. Insgesamt erreichen wir heute in der BRD auf die gesamte Energiewirtschaft bezogen einen Wirkungsgrad von etwa 50%. Das bedeutet, daß die Hälfte der Energie aus den Primärrohstoffen als Abfallwärme an die Außenwelt abgegeben wird, ohne eine Nutzung zu erfahren. Hier liegt eine große Möglichkeit des Einsparens des Energieverbrauchs.

Andere wichtige offene Kreisläufe, die in der Technik bis heute verwendet werden, sind im Bereich der Rohstoffverwendung und -verarbeitung zu nennen, deren Abfallstoffe bisher in die Flüsse und das Weltmeer geleitet wurden. Vom heutigen Standpunkt aus gesehen ist man sich mehr und mehr darüber im klaren, daß die Gewässer und das Weltmeer als Abfallspeicher auf die Dauer nicht genutzt werden können. Besonders kritisch ist die Frage der Abfallstoffe, die bei der Verwendung der Kernenergie als radioaktive Substanzen anfallen. Über diese Problematik wird noch besonders zu berichten sein. Frühere Vorschläge, das Meer allgemein als Abfallager dieser Stoffe zu verwenden, werden heute als unverantwortlich und unzweckmäßig verworfen.

Anpassung von technischen Verfahren an geschlossene Kreisläufe

Die Technik von morgen wird sich mehr und mehr den Prozessen mit geschlossenen Kreisläufen annähern. Die Rohstoffverarbeitung und die Rohstoffanwendung wird entweder eine Abfallverwertung oder aber eine natürliche Ablagerung bedingen. Produkte, die diese Anforderungen nicht erfüllen, werden in der Zukunft zumindest als Massenprodukt auf lange Sicht nicht mehr produziert werden können.

Für viele Arten von Großtechnik sind heute bereits Annäherungen an geschlossene Kreisläufe in dem oben definierten Sinn erreicht oder

vorauszusehen. Aus dem vorausgegangenen etwas düsteren Bild des Verhältnisses der Technik zur Umwelt darf man keineswegs den Schluß ziehen, daß ein angemessenes Wachstum nicht mehr möglich ist. In Wirklichkeit liegt die vielfach lösbare Problematik darin, daß eine fehlende Komponente der bisherigen Verfahren zu ergänzen ist, nämlich die Anpassung der technischen Prozesse an die Umwelt.

In der Energietechnik haben wir in Form der elektrischen Kreisläufe bereits eine ideale Verwirklichung dieser Anpassung erreicht, wenngleich diese Anpassung sich nur auf den elektrischen Teil des Kreislaufs bezieht. Eine Erweiterung und Anpassung der elektrischen Energietechnik ist insofern notwendig, als durch Koppelung mit wärmetechnischen Kreisläufen die Abfallwärme und damit auch die Menge des verbrauchten Brennstoffs erheblich vermindert werden kann. Da heute und wahrscheinlich auch in der Zukunft die größere Menge der Energie für die Wärmeerzeugung und nicht für die Erzeugung von elektrischer Energie verwendet wird, ergibt sich die Möglichkeit, die Wärmeerzeugung mit der elektrischen Energieerzeugung zu koppeln, so daß die Elektrizität weitgehend ein Beiprodukt der sowieso notwendigen Wärmeerzeugung wird. Die Wärme kann in Zukunft von großen Wärmequellen, z.B. von Kernreaktoren, produziert und durch Wärme-Kreisläufe über größere Entfernungen zu mittleren und kleineren Verbrauchern transportiert werden. Möglichkeiten bestehen zum Beispiel darin, die fühlbare Wärme von Kernreaktoren durch heißes Wasser oder durch die Spaltung des Methans mit Hilfe von Wasserdampf in chemische Energie umzusetzen. Das im letzteren Falle entstehende Gemisch aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff hat einen höheren Energiegehalt als die Ausgangsprodukte. Das Gasgemisch nach bekannten Verfahren transportiert und am Ort des Energiebedarfs durch einen katalytischen Rekombinationsprozeß wieder in die ursprünglichen chemischen Substanzen, nämlich Methan und Wasser, rückverwandelt werden. Die dabei freiwerdende chemische Energie kann in Form von fühlbarer Wärme an Ort und Stelle genutzt werden. Die rekombinierten Produkte werden dann mit einer Rückleitung zu der Wärmequelle zurückgeführt, so daß ein vollständig geschlossener Kreislauf für die Wärmeübertragung entsteht. Die so übertragene fühlbare Wärme kann am Ver-

brauchsstandort auch für die Koppelung von Stromerzeugung und Wärmedarbietung verwendet werden. Diese Koppelung bedeutet Energieersparnis, indem das obere Temperaturniveau der angebotenen Wärme für die Elektrizitätserzeugung verwendet wird und die Abwärme für die Deckung des Wärmebedarfs dient. Ein solches System, das chemische Energie, hergestellt durch fühlbare Wärme, in einem verzweigten Netz transportiert, kann den größten Teil des Energiemarktes, nämlich die Wärme für die Hausheizung, den Dampf für die technischen Prozesse und Elektrizität, gleichzeitig darbieten. Durch diese Kombination ist aus heutiger Sicht die stärkste Ersparnis auf dem Energiemarkt möglich, die gleichzeitig zu einer Minimalisierung der Abfallwärme führt.

Auch die Zerlegung des Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff durch verschiedene technische Prozesse stellt für die Zukunft einen attraktiven Kreislauf dar. Wasserstoff kann aus Wasser durch Elektrolyse gewonnen werden. Es zeichnet sich aber ab, daß auch andere rein chemische Kreisprozesse, die lediglich fühlbare Wärme verwenden, entwickelt werden können, um Wasserstoff und Sauerstoff herzustellen. Sollte diese Entwicklungen zu einem positiven Ergebnis führen, dann könnte Wasserstoff als ein idealer Energieträger universell eingesetzt werden. Die Verbrennung des Wasserstoffs führt wieder zu Wasser, der umweltfreundlichsten chemischen Verbindung. Der notwendige Sauerstoff wird bei der Produktion von Wasserstoff automatisch mitproduziert, so daß auch auf weiteste Sicht eine Beeinträchtigung der Sauerstoffatmosphäre durch eine noch so stark expandierende Energietechnik nicht zu befürchten ist. Aber nicht nur als Energieträger, sondern auch als Rohstoff für eine große Anzahl technischer Verfahren kann Wasserstoff eingesetzt werden.

Allerdings sind auch diese drei hier vorgeschlagenen und beschriebenen Kreisläufe: die Kreisläufe mit der Energieübertragung von heißem Wasser, von chemischer Energie und der Wasserstoffkreislauf mit dem Problem der Abfallwärme behaftet, oder anders ausgedrückt, diese Kreisläufe gestatten zwar eine wesentliche Einschränkung der Abfallwärme jedoch ist eine vollständige Lösung des Problems nicht möglich. Daraus ergibt sich, daß hieraus eine prinzipielle Begrenzung des Wachstums abzuleiten ist.

Bemerkenswert ist, daß in der Öffentlichkeit häufig angenommen wird, daß die Verwendung der Sonnenenergie diese Problematik weitgehend entschärfen oder sogar vollständig eliminieren könnte. Der heute allerdings noch sehr phantastisch anmutende Vorschlag, mit Hilfe eines Erdsatelliten Sonnenenergie in großem Umfang zu gewinnen und sie durch elektromagnetische Wellen im Kurzwellenbereich auf die Erdoberfläche zu leiten, ist jedoch im Hinblick auf die Abfallwärme von dem gleichen Schwierigkeitsgrad wie bei jeder anderen Energietechnik. Auch in diesem Fall wird Energie zusätzlich zu der normalen Sonnenenergiemenge auf der Erdoberfläche freigesetzt. Auch die bis heute noch nicht bekannte Technologie einer Umwandlung von Sonnenenergie in der Äquatorgegend der Erde und die Überleitung dieser Energie zu Ländern der nördlichen Halbkugel führt zu einer ähnlichen Problematik, ebenso z.B. die Ausnutzung der geothermischen Energie, deren Verwendungsmöglichkeiten heute noch nicht geklärt sind.

Aus dem bisher Gesagten muß man wohl die Schlußfolgerung ziehen, daß die bisher verwendeten konventionellen Energieträger und auch die regenerativen Energiequellen keine Lösung des zukünftigen Energieproblems bringen können. Die konventionellen Energieträger sind nicht unbegrenzt vorhanden und können nicht in geschlossenen Kreisläufen verwendet werden. Die regenerativen Energien können aus wirtschaftlichen Gründen nur in einem mäßigen Umfang eingesetzt werden. Es bleibt also nur der Schluß, daß die Kernenergie auf lange Sicht die einzig verfügbare Energie darstellt.

Die chemische Industrie wird sich, wie bereits erwähnt, in immer stärkerem Maße bemühen müssen, ihre Produktion in Form von geschlossenen Kreisläufen einzurichten. Schon heute ist ein chemisches Werk eine weitgehende Verzweigung von Produktionseinheiten, in denen das Abfallprodukt eines Prozesses nach Möglichkeit als Rohstoff für einen anderen Prozeß angewendet wird.

Nicht nur aus Umweltgründen sondern auch aus Gründen der Rohstoffersparnis wird in Zukunft eine starke Tendenz bestehen, alle Rohstoffe im Kreislauf zu verwenden. Allerdings ist vorauszusehen, daß

das zu einem höheren Energiebedarf führen wird.

In diese Überlegungen ist auch die Verarbeitung des Mülls mit einzu-
beziehen. Es wird notwendig sein, den größten Teil des Mülls wieder
als Rohstoff zugänglich zu machen. Man darf dabei nicht übersehen,
daß die hierfür erforderlichen Verfahren kostspielig und schwierig
sind.

Es sind allerdings auch andere Bereiche der Technik bekannt, für
die nach dem heutigen Stand des Wissens die Entwicklung von ge-
schlossenen Kreisläufen kaum denkbar ist. Ein Beispiel mag die Ver-
wendung von Treibstoffen für den Verkehr sein. Bisher ist nur der
Vorschlag der Verwendung von Wasserstoff als Treibstoff in einem
geschlossenen Kreislauf gemacht worden, was möglich erscheint, da
ja die Verbrennung von Wasserstoff in Motoren wiederum als Abfall-
produkt lediglich Wasser erzeugt. Aber die Handhabung von Wasser-
stoff, entweder als Flüssigkeit, als Gas oder an Feststoffen ab-
sorbiert, scheint auf unüberwindliche Schwierigkeiten zu stoßen.
Vom Standpunkt des heutigen Wissens wird also der Verkehr auch in
Zukunft voraussichtlich flüssige Kohlenwasserstoffe verwenden wie
bisher.

Die im Vorangegangenen gemachte Schlußfolgerung, daß nur die Kern-
energie in den nächsten Jahrhunderten die Bedingungen einer umwelt-
freundlichen Technik erfüllen kann, bedarf noch einer kritischen
Betrachtung des Abfallproblems, das sich durch diese neuartige
Technologie ergibt. Alle denkbaren Verwendungen von Kernenergie
basieren auf dem Verbrauch von Uran und Thorium für die Spaltreak-
toren und von Lithium und schwerem Wasserstoff für die Fusionsreak-
toren. Wie bereits vielfach in der Öffentlichkeit dargestellt, kann
man wegen des Brutprozesses der Kernreaktoren und der Fusionsreak-
toren die Vorräte an nuklearen Brennstoffen für viele Jahrhunderte
vielleicht sogar für Jahrtausende als gesichert ansehen. Unter Brut-
prozessen verstehen wir dabei die Erzeugung von Kernbrennstoffen
aus Nichtkernbrennstoffen, den sogenannten Brutstoffen, durch An-
lagerung von überschüssigen Neutronen.

Im Bewußtsein der Öffentlichkeit entsteht oft der Eindruck, daß die Verwendung der Nukleartechnik im Hinblick auf die Umwelt besonders problematisch ist. Wie in anderen technischen Bereichen, so müssen wir allerdings auch hier einen akzeptablen geschlossenen Kreislauf für die nuklearen Rohstoffe fordern. Das heißt, neben den Produktions- und Verarbeitungsmethoden von Spalt- und Brutstoffen muß die Weiterverarbeitung und Ablagerung aller radioaktiven Stoffe, die bei den Prozessen erzeugt werden, einwandfrei gewährleistet sein. Die erste Kategorie dieser Stoffe, die sogenannten Spaltprodukte, die bei der Kernspaltung des Urans oder anderer Kernbrennstoffe entstehen, werden mit Hilfe von chemischen Verfahren aus den verwendeten Brennelementen des Reaktors ausgeschieden. Es läßt sich zeigen, daß eine etwa vierhundertjährige Aufbewahrung die Spaltprodukte durch radioaktiven Zerfall in einen Zustand versetzt, der im Hinblick auf sein Gefährdungsniveau etwa dem natürlichen Uran entspricht. Nehmen wir also hier wiederum die natürlichen Maßstäbe als Vorbild für die Gefährdung, so erkennen wir, daß eine solche Ablagerung zu einem "natürlichen" Zustand, wenn auch nach einem notwendig langen Zeitraum, führt. Die eigentliche Problematik ergibt sich durch die Produktion der Abfallstoffe einer zweiten Kategorie, der Transurane, die in geringem Umfang als Nebenprodukt bei der Kernspaltung entstehen. Problematisch sind diese Abfallstoffe insbesondere wegen ihrer sehr langen Lebensdauer, die bis zu 10 Millionen Jahre beträgt. Nach dem Stand des heutigen Wissens bietet sich die Möglichkeit an, diese Stoffe in den Kernreaktoren selbst umzuwandeln und sie durch weitere neutronenphysikalische Prozesse letzten Endes vollständig zu spalten. Allerdings ergibt sich in diesem Zusammenhang heute noch eine praktische Schwierigkeit: Etwa 1^o/100 bis 5^o/100 der erzeugten Transurane werden aufgrund des nicht ganz vollständigen Trennverfahrens in den Spaltprodukten verbleiben, so daß deren Ablagerung zwar nach einem Zeitraum von 400 Jahren zur Erreichung des natürlichen Zustandes - vergleichbar mit dem Natururan - führt, die langlebigen Abfallstoffe aber dennoch übrigbleiben. Es muß deshalb darauf geachtet werden, daß in Kernspaltungsreaktoren möglichst nur solche Prozesse angewandt werden, bei denen die Erzeugungsrate der schweren Atomkerne möglichst gering ist, um zu

gewährleisten, daß durch deren Anwesenheit in den radioaktiven Abfällen die Radioaktivität des Natururans langfristig nicht wesentlich überschritten wird.

Schlußfolgerungen

Die Grenzen des Wachstums sind nicht so sehr in der Rohstofftechnik zu finden, sondern die eigentliche, prinzipielle Grenze ist die Bewältigung des Abwärmeproblems. Allerdings ergeben Abschätzungen, daß auf der Erde 10 Milliarden Menschen mit einem Lebensstandard existieren können, der den heutigen Lebensstandard des amerikanischen Menschen noch übertrifft, ohne daß eine Gefährdung der natürlichen Zustände zu befürchten ist.

Photosynthese und Wasserstofftechnik in der Natur

Die Verkünder der Klimakatastrophe, die durch CO₂ in der Atmosphäre verursacht werden soll, wissen anscheinend nicht, welche Funktion das CO₂ für alles Leben auf der Erde hat und wie die Natur die Solarenergie speichert und nutzt. Der Vorgang soll nachfolgend kurz beschrieben werden.

Es ist bekannt, daß organisches Leben ohne stetige Energiezufuhr nicht möglich ist. Jeder Vorgang in der Natur ist immer mit einem Energiefluß verbunden, es wird dabei entweder Energie verbraucht oder erzeugt. Dies gilt für jeden möglichen Vorgang, auch für geistige Arbeit des Menschen.

Für das organische Leben liefert die Lichtstrahlung der Sonne die benötigte Energie in die organischen Zellen, in denen der Vorgang abläuft. Die Zellen sind die kleinsten Einheiten der lebenden Organismen. Der Mensch besteht aus Billionen unterschiedlichen Zellen, die vor allem aus Eiweißmolekülen aufgebaut sind, die für ihre speziellen Funktionen Energie benötigen. Für die Pflanzen bedeutet das: Da die Sonne nachts nicht scheint und die meisten Zellen in der Pflanze auch bei Sonnenschein nicht vom Sonnenlicht erreicht werden, muß die Sonnenenergie gespeichert werden. Zu diesem Zweck erzeugt die Pflanze mit Hilfe des Sonnenlichts Glucose (Zucker). Glucose liefert die zum Leben nötige Energie. Glucose ist der Sonnenenergiespeicher für Pflanzen, Tiere, Menschen.

Diese Speicherung wird mit Hilfe der Photosynthese (Glucose-Herstellung) in den Pflanzen bewirkt, die im Pflanzen- und Tierreich seit Milliarden Jahren die Energieversorgung der Lebewesen ermöglicht. Dabei werden die überall in der Erdatmosphäre vorhandenen Moleküle CO₂ (Kohlendioxid) und Wasser (H₂O) genutzt, um mit Hilfe von Sonnenenergie das Molekül Glucose (C₆H₁₂O₆) zu bilden. Dabei entsteht auch Sauerstoff, der über die Blätter an die Atmosphäre abgegeben wird. Das CO₂ wird durch die Spaltöffnungen auf der Unterseite der Blätter von der Pflanze aus der Luft aufgenommen, das Wasser über die Wurzeln aus der Erde. Die Glucoseerzeugung findet innerhalb der Blätter der Pflanze in den Chloroplasten der Pflanzenzelle statt. Die erzeugten Glucose-Moleküle werden in die Pflanzenzelle gebracht, die Energie benötigt.

Bei der Bildung von Glucose in den Blättern der Pflanze unter Zuhilfenahme von Sonnenenergie wird Sauerstoff frei, der an die Atmosphäre abgegeben wird. Aller Sauerstoff in der Erdatmosphäre ist in Milliarden Jahren auf diese Art in die Atmosphäre gelangt.

Tiere und Menschen leben von der Umkehrreaktion der Photosynthese (siehe Reaktionsgleichung unten). Der Mensch nimmt die von den Pflanzen erzeugten Glucosemoleküle über die Nahrung auf. Diese Glucosemoleküle (Traubenzucker) gelangen als Energieträger über das Verdauungssystem und den Blutkreislauf in die menschliche Zelle, wo sie in den Mitochondrien zersetzt werden, wobei 12 Wasserstoffatome frei werden. Diese Wasserstoffatome können mit Sauerstoff reagieren, der über die Lunge und den Blutkreislauf in die Zelle gelangt, wobei Wasser und CO₂ entstehen sowie Energie zur Erhaltung des Lebens frei gesetzt wird. Das beim Abbau der Glucose entstehende Wasser und CO₂ wird über Blutkreislauf und Lunge ausgeschieden.

Der Vorgang der Photosynthese kann kurz beschrieben werden durch die Reaktionsgleichung



Die Gleichung von links nach rechts gelesen beschreibt den Photosynthesevorgang, von rechts nach links die Energieversorgung von Mensch und Tier durch Glucose, außerdem beschreibt sie die Zersetzung von Biomasse in Gegenwart von Sauerstoff. Bei der Verrottung von Blättern, Gräsern, Holz entstehen pro Jahr so viele hundert Milliarden Tonnen Kohlendioxid und Wasser. Muß man das Kompostieren verbieten? Am Amazonas verbrauchen die Pflanzen bei der Herstellung von Glucose viel CO_2 , das bei der Verrottung wieder frei wird.

Die oben angegebene Photosynthesereaktion zeigt, daß in den Chloroplasten der Pflanze 6 Wassermoleküle und 6 CO_2 -Moleküle mit Hilfe von Sonnenenergie ein Glucosemolekül erzeugen sowie 6 Sauerstoffmoleküle.

Um die Energieversorgung einer pflanzlichen oder menschlichen Zelle zu beschreiben, ist die obige Reaktionsgleichung von rechts nach links zu lesen: 6 Sauerstoffmoleküle aus der Luft und ein Glucosemolekül reagieren in den Mitochondrien der Zelle, wobei Energie frei wird sowie 6 Wassermoleküle und 6 CO_2 -Moleküle entstehen, die beim Menschen über den Blutkreislauf und die Lunge ausgeschieden werden. Bei der Zersetzungsreaktion von Glucose (Energiespeicher) in der Zelle entsteht als Zwischenreaktion Wasserstoff, der mit dem Sauerstoff (über die Lunge aufgenommen) zu Wasser reagiert, wobei Energie für den Lebensvorgang frei wird. Das Glucosemolekül enthält 12 Wasserstoffatome. Die von einer lebenden Zelle benötigte Energie wird ihr über Wasserstoff aus der Glucosezersetzung zugeführt. Glucose ist ein Speicher für Wasserstoff, ebenso wie Stärke oder Zellulose.

Aus Glucose werden in der Pflanze weitere Nähr- und Strukturstoffe gebildet: Fette, Öle, Eiweiße (Proteine). Glucose ist ein Kohlehydrat, bestehend aus 6 Kohlenstoffatomen und 6 Wassermolekülen: $\text{C}_6(\text{H}_2\text{O})_6$, eine andere Schreibweise als in der obigen Reaktionsgleichung.

Stärke (der Energiespeicher in Getreidekörnern und Kartoffeln) besteht aus einer großen Anzahl von miteinander verbundenen Glucosemolekülen.

Cellulose (Gerüstsubstanz im Holz) ist aufgebaut aus über 10.000 Glucosemolekülen, die kettenartig miteinander verbunden sind. Bei Verbrennung von Holz wird Energie frei, weil bei der Verbrennung von Cellulose Wasserstoff frei gesetzt wird.

CO_2 ist kein Schadstoff, sondern seit jeher ein Grundelement der Energieversorgung aller Lebewesen. Ohne CO_2 gibt es kein Leben auf der Erde.

Politik und Medien verkünden, daß CO_2 aus der Atmosphäre entfernt werden muß.

Welch ein Irrsinn! Die wachsende Menschheit braucht in Zukunft mehr CO_2 als bisher für die Produktion des Speichermediums Glucose, einer Grundsubstanz für die Ernährung der Menschheit. Glucose ist nicht nur der Energielieferant für alle Stoffwechselforgänge der Lebewesen, sondern auch der Ausgangsstoff für die Herstellung von Ölen, Fetten und Proteinen.

Sigurd Schullien