



Peter Berg

Endliche Welt, unendliches Geld

Das wahre Dilemma der Nachhaltigkeit

 oekom

Peter Berg

Endliche Welt, unendliches Geld

Das wahre Dilemma der Nachhaltigkeit

ISBN 978-3-86581-803-4

188 Seiten, 14,8 x 21 cm, 19,95 Euro

oekom verlag, München 2016

©oekom verlag 2016

www.oekom.de

sich auch eine hoch entwickelte Gesellschaft letzten Endes ausgesetzt sieht. Ressourcenschöpfung (oder besser gesagt: Reservenschöpfung) wird unumgänglich an ihre Grenzen gelangen, während unsere sozioökonomische Komplexität zunimmt. Um es mathematisch auszudrücken: Ein System mit abnehmenden Erträgen beschreibt ein Szenario, in dem die Rate, mit dem Erträge (*returns* oder *output*) mit der Einsatzmenge (*effort* oder *input*) zunehmen, zu höheren Einsatzmengen hin abnimmt. Mathematiker nennen dies eine konkave Funktion, und ein Beispiel ist in der Abbildung 6 dargestellt. Im schlimmsten Fall fallen die Erträge sogar, wenn eine gewisse Schwelle an Einsatz übertroffen wird.

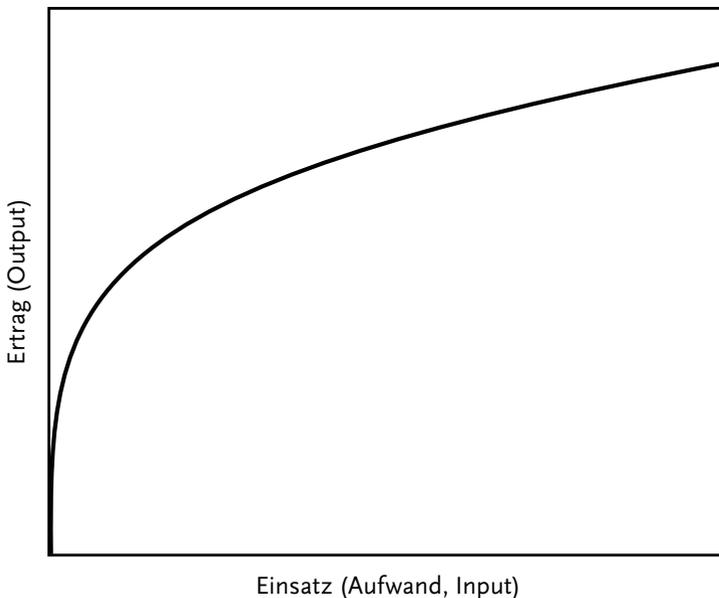


Abbildung 6: Abnehmende Erträge: Je höher die Erträge sind, desto aufwendiger wird es, sie um eine gewisse Menge zu steigern.

Um es mit anderen Worten zu sagen, treten abnehmende Erträge dann in einem System auf, wenn es bei zunehmendem Einsatz aufwendiger wird, Erträge um eine gewisse Menge zu erhöhen. Mehr

und mehr Einsatz ist notwendig, Erträge weiterhin zu steigern. Dies resultiert schließlich in einer Situation, bei der eine Steigerung wirtschaftlich oder einsatzmäßig keinen Sinn mehr macht. Bei der Kartoffelernte ist die y-Achse in der Abbildung der Ernteertrag und die x-Achse der Einsatz beim Ernten, zum Beispiel die Gesamtstundenzahl des Buddelns.

Was die Energieversorgung oder die Agrarwirtschaft anbelangt, gehen abnehmende Erträge Hand in Hand mit dem im letzten Kapitel genannten Konzept der Energierendite, im Englischen auch als *energy return on energy invested* (EROEI) oder *energy return on investment* (EROI) bezeichnet. Für ein physikalisches System ist es schlicht das Verhältnis zwischen der nutzbaren Energiemenge aller erzeugten Produkte (Outputs) und der totalen Energiemenge, die dem System als Inputs zugeführt wurde, um diese Outputs zu erzeugen:

$$\text{EROI} = \frac{\text{(nutzbare Energiemenge aller Outputs)}}{\text{(Energiemenge aller Inputs)}}$$

Als Beispiel diene hier maisbasierter Bioethanolkraftstoff. Hier wird der EROI bestimmt, indem man berechnet, wie viel Energie notwendig ist, um eine Energieeinheit (1 Joule) an Ethanol zu erzeugen, die anschließend durch Verbrennen dieses Stoffs freigesetzt werden kann (»Brennwert«). Allerdings wird hier nicht die Sonnenenergie selbst berücksichtigt, die zum Maiswachstum beiträgt, sondern nur der »anthropogene« Zusatzaufwand in der Prozesskette. Letzterer beinhaltet beispielsweise Düngemittel, Pestizide, Diesel für Traktoren in der Feldarbeit und für LKWs im weiteren Maistransport und Erdgas für die Destillation des Alkohols. Der EROI eines Energie liefernden Systems ist also ein Maß dafür, wie effizient nutzbare Energie zur Verfügung gestellt werden kann, sei es aus erneuerbaren oder nichterneuerbaren Quellen.

Abnehmende Erträge und Energierenditen sind relativ neue Begriffe in den Ressourcen- und Energiewissenschaften, zumindest was deren konkrete Anwendung und Auswirkung betrifft. Letztere wird zunehmen, wenn Ressourcenschöpfung an ihre Grenzen stößt. Wir lernen nach und nach, dass die bisherige Geschichte der Menschheit sprichwörtlich eng verbunden ist mit dem Pflücken von niedrig hängenden Früchten oder eben mit den ersten Kartoffeln bei der Ernte, also denjenigen Systemen, die eine hohe Energierendite aufweisen. Wie wir noch im weiteren Verlauf sehen werden, betrifft dies insbesondere unsere Energieressourcen wie Öl, Kohle, Erdgas, Biokraftstoff und Kernbrennstoffe. Es bezieht sich aber auch auf andere Bereiche wie etwa Erze, wobei hier der Energieaufwand pro Masseinheit an gefördertem Erz ausschlaggebend ist. Sogar Holz, Fische und Wildtiere kann man anführen. Allerdings sind dies Ressourcen, deren Regenerationszeitskala begreiflich erscheint und die daher einen anderen Stellenwert einnehmen.

Fossile

Wir alle kennen aus Film und Fernsehen das Bild eines Ölgeysirs, eines Sprudelbohrlochs, bei dem das Öl als Fontäne gen Himmel schießt und nicht selten die Höhe des Bohrturms selbst übertrifft. Es zeigt, wie hoch der Druck im Innern eines Ölreservoirs sein kann, das zum ersten Mal angezapft wird. Es ist eine spektakuläre Ansicht. Zu Beginn des Ölzeitalters war dies ein nicht ungewöhnliches Spektakel und machte deutlich, wie leicht die Ölförderung zu dem Zeitpunkt noch war. Es bedurfte nur wenig Energie, um Öl zu fördern. Man schätzt die entsprechende Energierendite auf bis zu 100:1, insbesondere im Fall Saudi-Arabiens in den 60er-Jahren, als das Land zum unumstrittenen Weltmarktführer im Ölhandel wurde. Allerdings konnte dieses leicht zu fördernde Öl nicht ewig währen. In unserem Unterfangen, immer größere Produktionsraten zu gewährleisten,

sieht sich die Menschheit vermehrt gezwungen, auf immer extremere Felder und Quellen zuzugreifen: Offshore, Ölsände in Kanada und Venezuela, Schieferöl. Albertas Ölsände sind ein Extrembeispiel, bei dem die Energierendite je nach Förderart bis auf 4:1 fallen kann. Dies ist um den Faktor fünfundzwanzig geringer als beim hochwertigen Leichtöl Saudi-Arabiens in der guten alten Zeit. Generell kann man bei der klassischen Förderung von Kohle, Öl und Gas aber schon feststellen, dass sie, energetisch gesehen, vorteilhaft sind, da die EROI-Werte weit über 20 und zum Teil sogar über 50 liegen.

Schätzungen für Schieferöl sind schwieriger zu erhalten, aber es ist sicherlich nicht zu erwarten, dass sie weit über 5:1 liegen. Profite werden hier und bei den Ölsänden vorwiegend erzielt, weil alle Umweltkosten, die durch Verschmutzung, Kontaminationen, Emissionen und Abfallprodukte anfallen, externalisiert werden.

Die komplexen Prozesse, die bei der Gewinnung von Öl aus Ölsänden zur Anwendung kommen, verschlingen riesige Mengen an Energie, vorwiegend in der Form von Erdgas, dessen Verbrennung in großem Maße zur Wasserdampferzeugung dient. Von den zwei Abbauarten mag der Oberflächenabbau weniger energieintensiv sein als die Gewinnung in situ, bei der die Viskosität des Bitumens durch die Einleitung von Wasserdampf gesenkt wird und es somit zugänglich wird. Allerdings müssen ganze Bodenschichten und Landstriche für den Oberflächenabbau geopfert werden. Bei der weiteren Separation des Bitumens von den anderen Bestandteilen des Ölsandes, also Sand, Lehm und Wasser, fallen dann Unmengen an Emulsionen an, die in gigantischen künstlichen Seen aufgefangen werden.

Bei der Gewinnung von Öl aus Albertas Ölsänden ist der Energieaufwand mittlerweile so groß, dass dieses Areal nun zur größten Einzelquelle von CO₂-Emissionen in Kanada aufgerückt ist. Als Teil einer Problemlösung ist sogar schon vorgeschlagen worden, entsprechend skalierte Kernreaktoren zu bauen, um den Energieaufwand des Erdgases durch »sauberen Atomstrom« zu erstatten. Man

ist also bereit, CO₂-arme Kernenergie in Elektrizität und Wasserdampf umzuwandeln, um dann Öl zu gewinnen, dessen Verbrennung jeden Vorteil zunichtemacht, den der saubere Atomstrom zu Anfang potenziell gehabt hätte. Ähnliches kann man von der Benutzung des relativ sauberen Erdgases sagen, was einige Kritiker dazu veranlasst hat, Albertas Ölsandindustrie als eine gigantische Maschinerie zu bezeichnen, die Gold in Dreck verwandelt.

Seien es Kanadas Ölsände, tiefe Offshorefelder oder die abgelegenen Regionen der Arktis und Grönlands, der Trend ist der gleiche: Die Energierendite der Ölindustrie fällt kontinuierlich und gnadenlos. Nichts kann diesen Trend stoppen, und Technologie kann ihn bestenfalls verlangsamen. Es handelt sich hier schlicht um die natürliche Konsequenz von niedrig hängenden Früchten, die uns allmählich ausgehen.

Erdgas weist eine parallele Entwicklung auf, die sich durch Verzweiflungstaten wie das Schiefergas samt Fracking bemerkbar macht. Der Footprint dieser fortgeschrittenen Technologien bezüglich des Energieaufwandes und der Umwelteinwirkungen ist wesentlich größer als bei der konventionellen Erdgasförderung. Das geht mit fallender Energierendite einher, Fortschritt im Rückschritt sozusagen. Leider bieten die Zahlen der Internationalen Energieagentur hier mit Blick auf das Klima keinen Grund zum Optimismus. Nichtkonventionelle Gasreserven könnten global die konventionellen um einen Faktor sechs übertreffen. Falls wir sie tatsächlich wirtschaftlich und energetisch sinnvoll fördern könnten, bräuchten wir uns bezüglich unserer Energiesicherheit als Menschheit auf Jahrzehnte hinaus keine Sorgen zu machen. Wir haben aber bereits gelernt, dass theoretische Reservezahlen und die Realität unseres weltweiten, komplexen Energieversorgungssystems zwei verschiedene Paar Schuhe sind. Es gibt eine ganze Reihe an Faktoren, die entscheiden werden, mit welchen Raten man aus Reserven fördern kann und inwiefern ein Energieträger in verschiedenen Bereichen zum Einsatz kommen kann. Befasst man sich zudem

näher mit der Frackingtechnologie, sieht die Lage schnell sehr kompliziert aus.

Hydraulisches Fracking (*Aufbrechen*) ist eine Technologie, mit der unter Anwendung von Druck Wasser und Chemikalien in gasreiche Schichten gepresst werden, um die geringe Porosität und Durchlässigkeit ebendieser zu erhöhen. Diese Methodik steigert die Formation von diesem in engen Poren gebundenen Gas (*tight gas*) in größeren Poren sowie den Gasfluss durch das poröse Gestein, was eine Förderung dieses unkonventionellen Erdgases erst wirtschaftlich macht. Hierbei kann es sich um Gasvorkommen in Kohleflözen, Schiefer- oder Sandsteinschichten handeln. Fortschritte in der Bohrtechnologie aus anderen Bereichen wie etwa der Erdölförderung kommen dabei zur Anwendung. Ein Beispiel ist die Bohrung von extrem langen, horizontalen Bohrlöchern durch die relevanten Gasschichten, in denen sich das freisetzende Gas ansammelt und gen Oberfläche strömt.

Nach dem Fracking muss das Wasser zunächst einmal dem Bohrloch entnommen werden, um dem Gas, also Methan und anderen Kohlenwasserstoffgasen, den Weg frei zu machen. Der Wasserverbrauch ist dabei nicht unerheblich, was in trockenen Förderregionen durchaus Versorgungsprobleme bereiten kann. Ebenso problematisch ist die Entsorgung oder Wiederaufbereitung des gebrauchten Wassers. Dieses enthält einen Cocktail aus zugeführten Chemikalien, dessen Inhalt Unternehmen in vielen Ländern gemäß gewerblichem Urheberrecht unter Verschluss halten wollen. Dieses Verhalten zieht sich selbst bis in amerikanische Kongressanhörungen hinein. Zudem gesellen sich weitere Stoffe aus dem Gestein beim Fracking hinzu, die ebenfalls an die Oberfläche gelangen. Da bleibt es nicht aus, dass viele Bürger skeptisch geworden sind, was den Eingriff in die Umwelt und insbesondere das Grundwasser betrifft. Im Internet und in Dokumentarfilmen gibt es reihenweise Videoclips, die auf erdgashaltiges Grundwasser bei privaten Selbstversorgern hindeuten, die in der Nähe von Frackingförderstätten

wohnen. Dieses wird dann bei der Ausströmung aus dem Wasserhahn auf spektakuläre Weise entzündet. Solch ein Eintreten des freigesetzten Gases in das Grundwasser wird mittlerweile von vielen Wissenschaftlern nicht mehr angezweifelt. Allerdings ist nicht bewiesen, ob die Frackingchemikalien sich auch ihren Weg in das Grundwasser bahnen.

Bei all dieser Komplexität ist es nicht verwunderlich, dass eine Studie der renommierten Cornell-Universität den (CO₂-)Treibhausgasfootprint von Schiefergas bei der Stromproduktion als ebenso hoch einschätzt wie den der Kohle. Hierbei werden alle Emissionen miteinbezogen, die mit der Förderung, dem Transport, dem Verbrauch und dem Leckverlust von Schiefergas einhergehen. Während konventionelles Erdgas als »halb so dreckig« wie Kohle eingestuft wird, sollten wir also klimamäßig das nichtkonventionelle besser im Boden lassen. Dazu hat sich zumindest Frankreich durch ein Frackingverbot entschieden, auch wenn die Gründe hier sicherlich vielschichtiger waren. Hinzu kommen noch die hohen finanziellen Kosten des Frackings, die mit dem Ressourceneinsatz und der Hochtechnologie eng verknüpft sind. Der dominante Faktor ist allerdings der rapide Abfall der Förderrate eines neu erschlossenen Bohrlochs, der durchaus bei 50 Prozent innerhalb der ersten zwei Förderjahre liegen kann. Gegen diesen Rückgang muss man regelrecht um die Wette bohren. Dave Hughes, vielleicht Kanadas führender Kohle- und Gasexperte, fasst all dies pointiert zusammen: »Schiefergas ist ein Versuch, größere Komplexität bei stetig fallenden Erträgen zu erzeugen.«

Genauere EROI-Zahlen liegen allerdings nicht vor. Das Gleiche lässt sich von Methanhydraten sagen. Bei diesem Stoff handelt es sich um eine Kristallstruktur von Wassermolekülen, die Methanmoleküle einem Käfig gleich umschließen und gefangen halten. Für den Laien ähnelt Methanhydrat, äußerlich betrachtet, tatsächlich gewöhnlichem Eis. Allerdings bedarf es eines hohen Drucks und einer niedrigen Temperatur, um Methanhydrat in seiner einzigarti-

gen Kristallstruktur stabil zu halten, was an zahlreichen kontinentnahen Ozeanböden beziehungsweise Unterwasserhängen, aber auch zum Teil in Kontinentalgesteinen gegeben ist. Es gibt momentan keine etablierte, wirtschaftliche und sichere Technologie, diese Vorkommen abzubauen, aber es wird durchaus daran gearbeitet. Japan und sogar Deutschland, zwei Industriemächte mit geringen Bodenschätzen, betreiben Forschung in diesem Bereich, wobei Japan vielleicht als erstes Land mit der Erschließung beginnen wird. Eine wesentliche Herausforderung liegt in der Kontrolle des Methans, das sich bei einem Abfall des Druckes unter Beförderung an die Oberfläche schnell in Blasen zusammenschließen kann. Diese können nicht nur gewaltsam und unverhofft explodieren oder als potentes Treibhausgas in die Atmosphäre gelangen, sie senken im Meer auch die Auftriebskraft schwimmender Körper wie die Förderinstallationen selbst. Der Super-GAU besteht aber in der Erzeugung von Instabilitäten direkt im gelagerten Methanhydrat, die Studien zufolge durchaus beim Abbau im industriellen Maßstab am Meeresboden auftreten könnten. Dieser GAU ist durch eine plötzliche Freisetzung gewaltiger Mengen an gasförmigem Methan charakterisiert, deren Konsequenzen nur schlecht abzuschätzen sind. Gasressourcen sind also nicht gleich Gasressourcen.

Kohleressourcen sind im Vergleich nicht unbedingt leichter zu verstehen. Die Geschichte der Kohleindustrie ist durch den Aufschwung Chinas und Indiens in eine neue Phase getreten. Während sich Nordamerika allmählich von Kohle entfernt, erlebt sie in den zwei bevölkerungsreichsten Nationen der Erde eine Renaissance. Aber auch hier wird die Energierendite letztlich die zukünftige Entwicklung steuern. Smog spielt auch eine entscheidende Bedeutung, da dieser nach wie vor mit dem Betrieb vieler Kohlekraftwerke einhergeht. Es sei nicht vergessen, dass die Qualität der weltweit geförderten Kohle abnimmt, was mit höheren Schwefelgehalten und geringeren Brennwerten verknüpft ist. Dadurch allein muss mehr Kohle gefördert werden, um die gleiche Nettoenergie zu liefern.

Dabei machen wir auch nicht vor dem Abtragen ganzer Berg- beziehungsweise Hügelkuppen halt, wie es in den Appalachen in den USA vorstattengeht. Die Dicke der Kohleflöze und deren Qualität sowie deren Erreichbarkeit spielen zunehmend eine Rolle. Wie stark kann sich dies auswirken? Ein Beispiel sei Großbritannien. Noch 1984 wurde geschätzt, dass das Land über etwa 90 Jahre an Kohlereserven verfüge, gemessen am damaligen Verbrauch. Im Jahr 2009 fiel diese Zahl auf ganze zehn Jahre. Wohin ist die ganze Kohle verschwunden? Nirgendwohin. Es ist schlicht eine revidierte Schätzung, die auf besseren Daten besteht, die Erreichbarkeit (»Förderbarkeit«) und Wirtschaftlichkeit miteinbezieht. Wir sollten also nicht verwundert sein, falls weit weniger Kohle der Energiewirtschaft zur Verfügung stehen wird, als es aktuelle Reserve- und Ressourcenzahlen suggerieren.

Grüne Energie

Die Geschichte der Bioenergie hat gerade erst begonnen, sieht man einmal von der traditionellen Rolle ab, die Brennholz einnimmt. Hier gibt es allerdings einen bemerkenswerten Trend: Die Energierendite von Biokraftstoffen nimmt durch Innovation, Technologiefortschritt und Erfahrung in der Branche im Vergleich zu fossilen Brennstoffen eher zu. Dies bedeutet leider nicht, dass Bioenergie im großen Stil Anwendung finden wird. Es kommt eher darauf an, den richtigen Biokraftstoff und das richtige Ausmaß für die jeweiligen lokalen und regionalen Gegebenheiten zu wählen. Hierbei muss man zwischen Feststoff wie Holz, flüssigem Biokraftstoff wie Bioethanol oder -diesel und gasförmigen Ressourcen wie etwa Methan unterscheiden. Holz spielt immer noch die führende Rolle, vor allem in weniger industrialisierten Ländern. Biogas wird bereits erfolgreich gewonnen, speziell in hoch entwickelten Ländern. Beide Energiequellen haben sich etabliert und werden als sinnvoll oder selbstverständlich angesehen. Bei Bioethanol und -diesel sieht die Sache anders aus.

Momentan wird Bioethanol weltweit vorwiegend aus Mais oder aus Rohrzucker hergestellt, wobei die USA die Produktion aus Mais und Brasilien die aus Rohrzucker anführt. Dies ist im Wesentlichen auf große Subventionen in diese beiden Agrarzweige zurückzuführen. Nicht selten werden die Sicherheit der nationalen Energieversorgung und sauberer Kraftstoff als Hauptziele angeführt, die eine solche Verzerrung des freien Energiemarkts angeblich rechtfertigen.

Die Energierendite von Rohrzucker wird auf ungefähr 8:1 geschätzt, ein recht respektable Wert. Maisbasierter Ethanol kommt im Vergleich auf weniger als 2:1. Tatsächlich hat in der Wissenschaft jahrelang eine heftige Debatte über den letztgenannten Wert stattgefunden und darüber, ob er über oder unter 1:1 liegt, was einem Nettoenergiegewinn beziehungsweise -verlust gleichkommt. Die Details sind verzwickelt, und man findet keinen Konsens darüber, welche Produkte und Prozesse bei der Berechnung miteinzubeziehen sind. In jedem Fall scheint die optimistischste Zahl bei 1,3:1 zu liegen, also einem Überschuss von nur 30 Prozent. Ethanol auf Maisbasis ist die Sache energiemäßig also in keinem Fall wert. Unsere komplexe Wirtschaft und Gesellschaft kann nicht auf einem EROI von 1,3:1 basieren, wenn man bedenkt, dass der Durchschnitt unseres globalen Energiesystems zurzeit über 10:1 liegt. Brasilien macht hier derzeit also eine Ausnahme. Es ist bezeichnend, dass die Energiebilanz beim Rohrzucker zum Beispiel die der Ölsände in Kanada übertrifft. Allerdings ist dies nicht mit Nachhaltigkeit zu verwechseln. Es werden riesige Felder zum Rohrzuckeranbau bereitgestellt. Diese Monokulturen schaden nicht nur drastisch der Biodiversität, sie erwecken auch Zweifel an der CO₂-Bilanz des Bioethanols, wenn die Erstellung eines Feldes auf der Vernichtung von Regenwald, also kohlenstoffreichem Materials beruht.

Beim Biodiesel sieht die Situation nicht viel rosiger aus. Hier kann der EROI-Wert zwar bei 2,5:1 liegen, Biodiesel lässt sich aber nicht leicht auf weltweite Industriedimensionen hochskalieren. Wenn das gesamte Pflanzenöl weltweit als Biokraftdiesel zur Ver-

fügung stünde, wären nur circa 25 Prozent des Dieselbedarfs in Nordamerika und Europa gedeckt. Dieses Problem hat die Europäische Union mittlerweile auch anerkannt, und sie ist von ihrem anfänglichen ambitionierten Ziel abgerückt, Biodiesel als gangbare Alternative zu Öl zu betrachten. Beim Bioethanol aus der Maisproduktion ist es ganz ähnlich. Etwa 20 Prozent der amerikanischen Maisernte wurden 2008 zur Bioethanolproduktion verwendet, um weniger als drei Prozent des Benzinbedarfs zu substituieren.

Aufgrund dieser wenig überzeugenden Bilanzen wird nun vermehrt auf die zweite Generation der Biokraftstoffe gesetzt, die organische Nebenprodukte der Agrarwirtschaft benutzt sowie Biomasse, die nicht in direkter Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung steht. Bei den Nebenprodukten könnte die Energierendite so hoch wie bei Rohrzucker liegen, aber ein Problem bleibt auch hier bestehen. Es ist nicht klar, inwiefern und wie schnell Böden veröden, wenn man das gesamte organische Material, also die gesamte Pflanze, bei der Ernte entfernt, anstatt einen großen Teil dem Boden wieder zuzufügen. Vereinzelt Tests deuten darauf hin, dass der Ertrag eines Feldes innerhalb von zwei bis drei Jahren bei dieser Verfahrensweise kollabieren kann, wenn man nach einem kompletten Abtragen keinen Dünger zufügt.

Bioenergie sollte Kunstdüngergebrauch ausschließen. Dünger kann und sollte auf Dauer nur auf pflanzlicher und tierischer Basis bestehen, da die Produktion von Biokraftstoffen gerade das Ersetzen von fossilen Brennstoffen zum Ziel hat. Es ist also an sich widersprüchlich, Kunstdünger anzuwenden, um Biokraftstoffe zu erzeugen.

Daher ist ein Drang hin zu alternativen Biokraftstoffen entstanden, die nicht an den Ackerbau geknüpft sind. Beispiele sind Algen, Jatropha oder Rutenhirse. Aber auch hier ist die Energiebilanz eine Herausforderung, was manche Anwender wieder dazu veranlasst, diese Rohstoffe ausschließlich als Brennstoffe zu benutzen. Die Rutenhirse kann als Brennstoff eine Energierendite bis zu 20:1 auf-

weisen, während diese Zahl auf 7:1 fällt, wenn sie zur Bioethanol-erzeugung dient. Dies unterstreicht die Grenzen der Bioenergie. Eine spezifische Technologie sollte vorwiegend in Regionen zum Zug kommen, die dazu geeignet sind, bei Anwendungen, die energetisch sinnvoll sind, und auf einer Skala, die nachhaltig ist. Gleichzeitig sollte auf lange Sicht auf fossile Brennstoffe verzichtet werden, um Biokraftstoffe zu gewinnen. Diese vier Kriterien schließen in jeder Region eine Reihe von Biokraftstoffen aus, sie führen aber auch zu neuen, unkonventionellen Lösungen wie zum Beispiel bei der Rutenhirse. In jedem Fall verleiten sie zu einem Realitätscheck, der unsere Erwartungen und Hoffnungen normalisiert, die wir an die Bioenergie knüpfen.

Das theoretische Limit bei der Bioenergie ist durch die Rate gegeben, mit der Biomasse global generiert wird, und dadurch, welcher Anteil davon tatsächlich zu energieerzeugenden Maßnahmen abgezweigt werden kann. Schätzungen dieser Rate bewegen sich in einem Bereich von etwa 20 Prozent, was momentan ungefähr einen Anteil von 15 Prozent unseres weltweiten Energiebedarfs befriedigen würde, Tendenz sinkend. Über 85 Prozent unseres Bedarfs muss also durch andere Quellen abgedeckt werden.

Zukunftsfressen

Bioenergie ist eng verbunden mit Agrarwirtschaft, und dies führt uns auf das Thema EROI bei der Nahrungsmittelproduktion, das hier kurz angesprochen sei.

Die Abhängigkeit der Agrarwirtschaft von fossilen Brennstoffen hat dramatische Ausmaße angenommen, was vorwiegend der Mechanisierung und der Industrialisierung der Landwirtschaft zu verdanken ist. Eine britische Studie ist zu der Schätzung gelangt, dass die Energierendite beim durchschnittlichen Ernährungsbedarf eines Erwachsenen im Vereinigten Königreich bei etwa 1:7 liegt. Mit ande-

ren Worten bedarf es etwa sieben Kalorien (an Energie), um eine Kalorie an Nahrung auf dem Teller bereitzustellen. Dies beinhaltet vorwiegend Energie in Form von Diesel, Elektrizität, Kunstdünger und Pestiziden. Sonnenenergie wird hierbei, wie bereits erwähnt, bewusst ausgeschlossen. Dies ist ein erstaunlicher Wert und zeigt, wie selbstverständlich unsere Gesellschaft einen hohen Energieverbrauch hinnimmt. Vor der industriellen Revolution war dieser Wert wesentlich geringer. Man verfügte nicht über Kunstdünger oder Pestizide. Die Arbeit der Traktoren wurde von Tieren und Menschenhand erledigt. Da die meisten Bauern im Schnitt eine Überschussernte erzielten, nachdem Familie und Tiere ihre Rationen erhalten hatten, war der EROI-Wert zumindest größer als eins. Die Sonne lieferte letztendlich für alles die notwendige Energie. Dies lässt vermuten, dass sich unsere Landwirtschaft dramatisch verändern wird, wenn es mit den fossilen Brennstoffen zur Neige geht.

Ein weiterer Aspekt, der sich nach der industriellen Revolution veränderte, ist der Zustand des Bodens. Insbesondere der Nährstoffgehalt und die Kapazität, sich zu regenerieren, sind zu Sorgenkindern geworden. Heutzutage erodieren Agrarböden in den USA geschätzte siebzehnmals schneller, als sie sich wieder erholen können. Eine Erosionsrate beim Mutterboden von zwölf Tonnen pro Hektar pro Jahr, ein typischer Wert bei circa 40 Prozent der amerikanischen Agrarflächen, wird von den Bundesbehörden als akzeptabel eingestuft. Bei dieser Rate wären viele Flächen bis zum Ende des Jahrhunderts unbrauchbar. Auf den verbleibenden Flächen müsste dann der Ertrag noch weiter steigen, um eine ausreichende Gesamternte zu gewährleisten. Dies wird ohne fossile Brennstoffe eine beachtliche Herausforderung. Was wird den Kunstdünger und konventionelle Pestizide in der Zukunft ersetzen? Gibt es Alternativen? Liegen diese im großen, industriellen Maßstab, also in der Bioökonomie und im hochtechnologisierten Anbau, oder wieder im kleineren Bioanbau? Die Zukunft der Nahrungsmittelproduktion scheint sich hinter einem großen Fragezeichen zu verstecken.

Die Pi-mal-Daumen-Regel – zu Risiken und Nebenwirkungen ...

Betrachtet man die fallenden EROI-Werte verschiedener Energiequellen sowie Systeme mit abnehmenden Erträgen, fällt ein Trend ins Auge: Die negativen Konsequenzen für die Umwelt nehmen zu, legt man den gleichen Ertrag (zum Beispiel ein Joule gelieferte Energie) zugrunde. Einige der extremsten Beispiele sind bereits erwähnt worden, und ihre Risiken und negativen Konsequenzen seien hier zusammengefasst:

- Kanadas Ölsände: im Vergleich zum Branchenstandard extrem hohe Schadstoffbelastungen von Luft und Wasser (saurer Regen, flüchtige organische Verbindungen, CO₂, Metallverbindungen); hoher Erdgas- und Wasserverbrauch; Verlust an Boden, Wald und Biodiversität durch großflächige Räumung, Straßen- und Wegebau; Errichtung riesiger Auffangbecken für Abraum (Schlamm)
- Gasfracking: Entweichen von Methan, einem potenten Treibhausgas, aus gashaltigen Schichten hinein in Grundwasser und Luft; Abraum bestehend aus salzhaltigem Wasser und Chemikalien, die zum Fracking notwendig sind; Risiko des Entweichens von Frackingchemikalien in das Grundwasser; Fragmentierung von Flora und Fauna durch Straßen- und Wegebau; erhöhte seismische Aktivität
- Berggipfelabtragung (*mountain-top removal*) beim Kohletagebau: Verlust riesiger Flächen an unberührter Natur, inklusive Wälder; drastische Veränderung der lokalen Geografie; kontaminiertes Grund- und Oberflächenwasser; Luftverschmutzung vorwiegend durch erhöhte Staub- und Partikelkonzentrationen
- Bioethanol: hoher Verbrauch an Energie, insbesondere Diesel und Erdgas, und an Kunstdünger und Wasser, wobei bis zu 150l Wasser für einen Liter Bioethanol notwendig sind; Monokulturanbau
- Bergbau: steigender Einsatz von Energie und Zunahme von Abraum bei fallendem Erzgehalt des Gesteins; dies betrifft auch den Abbau von Uran zur Herstellung von nuklearen Brennstoffen.