

Die internationale Energie- und Klimakrise überwinden –

Methanolökonomie und Bodenverbesserung schließen den Kohlenstoffzyklus¹

Franz Josef Radermacher²

¹ Erscheint in: Gabriel, S., Radermacher, F. J., Rüttgers, J.: Europa fit machen für die Zukunft, Senat der Wirtschaft - Verlag, 2019

² Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. Franz Josef Radermacher, Vorstand des Forschungsinstituts für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung/n (FAW/n), Professor em. für Informatik, Universität Ulm, Präsident des Senats der Wirtschaft e. V., Bonn, Ehrenpräsident des Ökosozialen Forum Europa, Wien sowie Mitglied des Club of Rome

Korrespondenzadresse: Forschungsinstitut für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung (FAW/n), Lise-Meitner-Str. 9, D-89081 Ulm, Tel. 0731-850712 81, Fax 0731-850712 90, E-Mail: radermacher@fawn-ulm.de, <http://www.fawn-ulm.de>

Inhalt

Abstract.....	3
1. Eine Welt in Wohlstand ist möglich	4
2. Was ist zu tun?.....	4
3. Carl von Carlowitz und die große Transformation	5
4. Ist die Dekarbonisierung die Lösung?	5
5. Das Referenzszenario: Methanolökonomie	6
6. Warum erfolgt eine 4-fache Recyclierung des Kohlenstoffs?	8
7. Die biologische Seite	9
8. Die Ankersubstanz Methanol.....	10
9. Europa und Afrika können allein vorangehen	11
10. Was sind die Schlüsselemente für das Referenzszenario?	11
Box 1 Methanolökonomie	12
Box 2 Das Referenzszenario: 2020 – 2050	14
Box 3 Was kostet die Methanolproduktion in Nordafrika?	17
Abb. 1–8	19-23
Literatur.....	24
Danksagung	26

Abstract

Die weltweite Energie- und Klimakrise kann wachstumscompatibel und wohlfördernd gelöst werden. Die mittlerweile fast panischen öffentlichen Debatten in Richtung eines Weltuntergangs, Klimaplanwirtschaft, Elektrifizierung des gesamten Mobilitätssektors etc. werden der Mehrdimensionalität der Herausforderung in keiner Weise gerecht. Der beschriebene Ansatz hingegen erlaubt es Afrika, Indien und anderen Schwellenländern den Entwicklungsweg Chinas einzuschlagen – ohne negative Klimawirkung. Mit dem beschriebenen Ansatz sind die SDGs bis 2050 umsetzbar. Drei wesentliche Elemente sind zu kombinieren: (1) Methanolökonomie, (2) Böden als Kohlenstoffspeicher und (3) Entwicklung fördernde CO₂-Kompensationsprojekte zur Umsetzung der Agenda 2030.

Der auf Kohlenstoff-basierten Flüssigkeiten gegründete Teil der Ökonomie kann beim vorgeschlagenen Vorgehen bis 2050 um 50 % ausgeweitet werden. Durch viermalige Recyclierung des Kohlenstoffs im Kontext einer Wasserstoff-/Methanolökonomie werden die CO₂-Emissionen dennoch auf nur noch etwa 10 Milliarden Tonnen pro Jahr (heute 34 Milliarden Tonnen pro Jahr) abgesenkt, dies trotz erheblicher wirtschaftlicher Wachstumsprozesse. Ein entsprechendes Investitions- und Umbauprogramm kann der Sektor der fossilen Energien, einer der leistungsstärksten Wirtschaftssektoren der Welt, bis 2050 umsetzen. Die jährlichen Investitionen im Methanolbereich liegen bei etwa 600 Milliarden Euro pro Jahr.

Durch massive weltweite Aufforstung, insbesondere auf marginalisierten Böden in den Tropen, Förderung der Humusbildung in der Landwirtschaft, vor allem auch in semi-ariden Gebieten, Einsatz von Biokohle etc. können Böden zu einer Kohlenstoffsinkes für die verbleibenden 10 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr werden. Dies steigert zugleich die landwirtschaftliche Produktivität und ist für die massiv steigenden Anforderungen an die Ernährung in einer Welt in Wohlstand mit 10 Milliarden Menschen ohnehin erforderlich. Insgesamt wird so der Kohlenstoffkreislauf geschlossen. Wald- und Landwirtschaftsprojekte spielen für die in 2018 durch das BMZ lancierte Allianz für Entwicklung und Klima eine zentrale Rolle.

Diese fördert neben internationalem Klimaschutz insbesondere auch Entwicklung und damit die soziale Seite des Weges in die Zukunft. Über hochwertige Projekte in Nichtindustrieländern werden zugleich Co-Benefits zu allen SDGs (Agenda 2030) und positive Klimaeffekte erzielt. Dies birgt große Chancen für das Ziel, dass die Größe der Weltbevölkerung in 2050 mit 10 Milliarden Menschen ihr Maximum erreicht und in der Folge langsam wieder absinkt.

Dabei ist die Methanolökonomie der Schlüssel für die beschriebene Lösung. Sie wird gespeist durch preiswerten Wüstenstrom aus dem Sonnengürtel der Erde. So wie die Erfindung der Dampfmaschine vor 300 Jahren die Basis für die volle Entfaltung des Potentials der Kohle zur Wohlförderung für die Menschheit war, sind die erneuerbaren Energien, verbunden mit dem Sonnenpotential großer Wüsten (Desertec 2.0) der Schlüssel dafür, die Menschheit mit einer Wasserstoff-/Methanolökonomie aus der aktuellen Sackgasse bezüglich Entwicklung, Energie und Klima, herauszuholen.

1. Eine Welt in Wohlstand ist möglich

Der vorliegende Beitrag behandelt die Zukunft in den Bereichen Energie und Klima - ein Thema, das zunehmend den gesellschaftlichen Diskurs beherrscht. Vor allem die Proteste von Schülern und Jugendlichen bewegen die Gesellschaft. Das Thema ist schwierig. Was sollen wir tun? Was sind gesicherte Erkenntnisse? Wie unvollständig unser Verständnis über das Klimasystem der Erde ist, wie komplex dieses ist und dass wir immer wieder mit Überraschungen konfrontiert sind, zeigt kenntnisreich der Beitrag von Reinhard Hüttl, Oliver Bens und Bern Uwe Schneider vom Deutschen GeoForschungs-Zentrum GFZ, Potsdam [7].

Die nachfolgenden Überlegungen bauen auf eine jahrzehntelange Beschäftigung des Autors mit den genannten Themen auf [15, 16, 17]. Sie zeichnen ein positives Bild der Zukunft. Dies sehr zur Freude des Autors, der **jahrzehntelang nach einer Lösung des jetzt vorliegenden Typs gesucht hat**: Eine Lösung, die zugleich Wohlstand für 10 Milliarden Menschen und den Schutz von Umwelt und Klima ermöglicht. Das offene Marktsystem und die Technik können liefern. Die Bewältigung der vor uns liegenden Herausforderungen gelingt dabei nicht durch aus Verzweiflung resultierenden Verzicht auf wertvolle Errungenschaften unserer Geschichte, sondern durch das Leistungspotential einer technischen Zivilisation. Milliarden Menschen in Afrika, auf dem indischen Subkontinent und in weiteren Entwicklungs- und Schwellenländern, in denen sich in den nächsten Jahrzehnten die Bevölkerungsgröße verdoppeln wird und extreme Armut überwunden werden muss, **können den Entwicklungspfad Chinas replizieren** ohne zugleich eine ökologische Katastrophe heraufzubeschwören - mit Megacities, Hochhäusern aus Beton und Stahl, Autofloten und Flugzeugen.

2. Was ist zu tun?

Dass dies möglich sein soll - und ebenso eine Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele (SDGs) der Vereinten Nationen bis 2050 (nicht 2030) - ist zunächst überraschend [3, 17]. Denn der Wohlstandsaufbau in den sich entwickelnden Ländern ist der eigentliche Treiber der steigenden CO₂-Emissionen. Wie Abb. 1 zeigt, drohen in Afrika (und in erheblichem Umfang auch auf dem indischen Subkontinent) die entscheidenden CO₂-Zuwächse, die das zukünftige Bild bestimmen und uns in eine Katastrophe führen werden, wenn keine neuen technischen Lösungen entstehen. Die Emissionen in den dortigen Ländern mit ihren rasch wachsenden Bevölkerungen werden dann sogar diejenigen von China übertreffen. Und die chinesischen Emissionen übertreffen bereits heute die der USA, Europa und Japan zusammengenommen. Wie kann unter diesen Umständen ein klimaverträglicher Weg in die Zukunft, der Wohlstandserwartungen und Umwelt- und Klimaschutz weltweit miteinander in Einklang bringt, realisiert werden? Eine Wohlstandsperspektive für alle ist dringend erforderlich, weil sonst soziale Verwerfungen bis hin zu Bürgerkrieg oder gar Krieg drohen. Auch ist nur durch Wohlstand für alle eine Stabilisierung der Weltbevölkerungsgröße zu erreichen. Ohne Wohlstandszuwachs sind offensichtlich viele der in Abb. 2 formulierten Zielsetzungen für tragfähige Zukunftslösungen nicht erreichbar. Die in diesem Text vorgeschlagene Referenzlösung für die Zukunft im Energie- und Klimabereich **erfüllt hingegen alle in Abb. 2 aufgelisteten Kriterien**.

3. Carl von Carlowitz und die große Transformation

Erforderlich für den hier aufgezeigten Weg ist eine **große Transformation**. Davon sprechen viele, meinen aber etwas anderes, als hier gemeint ist. Oft wird ein „neuer“ Mensch, eine andere Ethik, ein Leben in Bescheidenheit gefordert. Das hält der Autor für nicht sehr aussichtsreich. Weltuntergangsszenarien, Panik oder die Propagierung einer neuen Sicht auf Leben und Zufriedenheit werden nicht helfen.

Was aber hilft? Dazu sei eine Analogie gezogen: Die Situation heute erinnert nämlich an die Verhältnisse vor 300 Jahren. Damals hatte **Holz** eine ähnliche Schlüsselrolle inne wie heute die fossilen Energieträger: energetisch, materiell und für die Entfaltung von Macht (damals insbesondere Kriegsschiffe). Die Wälder waren damals in existentieller Gefahr. In Deutschland thematisierte Carl von Carlowitz die dringend notwendigen Erfordernisse – den nachhaltigen Umgang mit Wald. In anderen Ländern wurden ähnliche Positionen vertreten. Die Botschaft lautete, nicht mehr Holz zu fällen als nachwachsen kann. Aber nicht dieser Diskurs, so wichtig er war, hat die Wälder gerettet. Existentielle Wohlstands- und Machtinteressen starker Akteure und Bevölkerungsgruppen lassen sich nämlich nicht durch ethisch-moralische Erörterungen einhegen, allenfalls durch zerstörerische Kriege. Deshalb wächst auch heute weltweit nach wie vor und trotz aller Debatten das Volumen der genutzten fossilen Energieträger, wie die Internationale Energieagentur Jahr für Jahr aufzeigt und auch für die Zukunft prognostiziert (Abb. 3). Aus demselben Grund wuchs auch der Holzverbrauch vor 300 Jahren stetig weiter.

Die große Transformation erfolgte dann aber doch und zwar auf ganz andere Weise - durch die **Erfindung der Dampfmaschine** [15]. Diese konnte das Potential der Kohle, die schon lange in kleinen Mengen gefördert und genutzt wurde, endlich voll ausschöpfen, nämlich durch den erzeugbaren großen Energieüberschuss. Tiefe Schächte, Wasserpumpen, Kohle und Stahl sowie Eisenbahnen waren die Folge. In Deutschland gehört dazu die Entfaltung des Ruhrgebiets mit seiner industriellen, aber auch militärischen Kraft. Nach 3 industriellen Revolutionen hat sich in der Folge in 300 Jahren die Zahl der Menschen auf der Erde verzehnfacht und der (materielle) Wohlstand ver Hundertfacht. Nun läuft allerdings auch dieses neue technische System im Energiebereich gegen seine Grenzen, insbesondere wegen der aus den CO₂-Emissionen, die mit fossilen Energieträgern verbunden sind, resultierenden Klimaproblematik.

4. Ist die Dekarbonisierung die Lösung?

Nein. **Die von vielen herbeigesehnte Dekarbonisierung wird kurz- und mittelfristig nicht erfolgen** und wenn, dann in anderer Weise, als das Thema üblicherweise diskutiert wird (vgl. Abb. 4 und 5). Das ist auch gut so. Die Folgen wären eine extreme Weltwirtschaftskrise und sehr wahrscheinlich Krieg und Bürgerkrieg. Es wird aber auf absehbare Zeit keine Dekarbonisierung geben. Die Politik der Großmächte, insbesondere der USA, steht einem solchen Weg diametral entgegen. Dies wird in [16] ausführlich beschrieben (vgl. hierzu auch ein Interview mit Fatih Birol, Direktor der Internationalen Energieagentur IEA, <http://www.taz.de/!5590256/>; siehe hierzu auch Abb. 3 in diesem Text). In diesem Kontext hat US-Präsident Trump jüngst nach einem Bericht der New York Times (April 10, 2019)

zwei neue Dekrete (executive orders) unterzeichnet, die Firmen künftig den Bau von Pipelines in den USA wesentlich erleichtern sollen. Seine Politik zielt auf rasches Wachstum der US-Produktion von Öl und Gas – das **Gegenteil von Dekarbonisierung**. Dabei sind die USA heute schon der weltgrößte Ölproduzent. Sie haben Saudi-Arabien und Russland überholt und steigern ihre Produktion zügig weiter.

Die Weltgemeinschaft will Wohlstand für 10 Milliarden Menschen. 2050 könnte dann im besten Fall mit dieser Zahl von Menschen endlich ein Stabilisierungsplateau für die Größe der Weltbevölkerung erreicht sein. Im Unterschied zu der großen Transformation vor 300 Jahren, die zu einer Verzehnfachung der Weltbevölkerung geführt und damit immer neue Wachstumsdynamiken entfaltet hat, könnte die Menschheit diesmal einen steady state auf vergleichsweise hohem weltweiten sozialen Ausgleichs- und Wohlstandsniveau erreichen. Der weltweite Wohlstand muss dazu in 30 Jahren tendenziell verdoppelt werden. Die SDGs sollen und können nach der Logik des vorliegenden Textes bis dahin umgesetzt werden, aber nur bei starker politischer Führung [10].

Was heißt das für die Energieseite? Selbst bei weiteren Effizienzgewinnen ist, wie in Box 2 dargestellt, eine Verdoppelung der Nutzenergiemenge im Verhältnis zu heute erforderlich, wobei der Carbon-basierte Teil, der heute etwa 34 Milliarden Tonnen CO₂-Emissionen zur Folge hat und etwa 81 % von 100 % Gesamtenergiemenge (Primärenergie) beisteuert, um etwa 50 % auf ein Äquivalenzniveau von etwa 50 Milliarden Tonnen CO₂-Emissionen anwachsen wird. Neuere erneuerbare Energien, die heute weltweit noch deutlich weniger als 5 % der Primärenergiemenge ausmachen, werden dann, zusammen mit sonstigen Energien, im Nutzbereich 40-45 % der Energie (Größenordnung insgesamt 200 %) beisteuern. Hinzu kommt ein erneuerbarer Anteil (im Wesentlichen Solarenergie) von 140 % von 340 %, der die in Box 1 beschriebene Recyclierung von Kohlenstoff „befeuern“ bzw. ermöglichen wird (vgl. Abb. 7 für einen Überblick). Dies ist von den Zahlen her betrachtet ein ineffizienter Prozess, der aber in der Sache höchst wirksam und den verfügbaren Alternativen offensichtlich überlegen ist. Es gibt einen Energieüberschuss - ein **Pendant zur Dampfmaschine in der großen Transformation vor 300 Jahren**. Die neuen erneuerbaren Energien werden in 2050 stark dominieren und zusammen mit den sonstigen Energien etwa 2/3 der gesamten Primärenergie beisteuern (vgl. Abb. 7).

5. Das Referenzszenario: Methanolökonomie

Wie können wir vorgehen, wenn das beschriebene Ziel erreicht werden soll? Der vorliegende Text entwickelt dazu ein **Referenzszenario für die Welt** (vgl. Box 2), dessen Eckdaten nachfolgend beschrieben werden. Es fällt zentral in den Carbon-to-Liquid Kontext und greift viele Diskussionen in Fachkreisen auf, die allerdings im politischen Raum viel zu wenig gehört werden. Dass eine klimaverträgliche Lösung der Weltenergiebereitstellung, falls Wohlstand das Ziel ist, massiv auf synthetische Kraftstoffe zurückgreifen muss, thematisieren mittlerweile viele Studien. Wir erwähnen hier eine Studie des World Energy Council/Weltenergieerat Deutschland von Oktober 2018 [19], ebenso wie die E-Fuels Studie „The potential of electricity-based fuels for low-emission transport in the EU“ [18] von ludwig bölkow systemtechnik und dena (German Energy Agency). In dieselbe Richtung weist die gemeinsame Erklärung der Verbände BDBe, DVFG, MEW, MVaK, MWV, UFOP, UNITI

und VDB [1]. Dahinter steht die Allianz für grüne Kraftstoffe und ihr Credo, dass die angestrebten Klimaziele im Verkehr nur mit CO₂-armen Kraftstoffen zu erreichen sind.

In der öffentlichen Debatte beherrschen heute leider Diskurseliten in Politik und Medien den Raum, die die globale Dimension der Herausforderungen meist ignorieren und wenig technisches Wissen mitbringen, ständig reden und kommunizieren, dafür finanziert werden und in der Folge rund um die Uhr die Kommunikationskanäle mit ihren Überlegungen fluten. Besonders gerne werden Weltuntergangsszenarien beschrieben, gerne auf demonstrierende Schüler verwiesen. Politikern, die nicht in diesen Kanon einstimmen, wird oft mit großer Arroganz und Besserwisserei die Lernfähigkeit abgesprochen. Das mit vollster Überzeugung vorgeschlagene Programm zur Rettung der Welt ist dabei von großer Schlichtheit und würde uns voll gegen die Wand fahren. Raus aus der Kohle, rein in die Welt der Elektroautos, Smart Grids, Umstieg aufs Fahrrad, Geschwindigkeitsbeschränkungen, Urlaub in Deutschland machen, kein Fleisch mehr essen, nicht mehr fliegen. Kohle wird per se verteufelt. Das Klimaproblem muss herhalten, um anderen Menschen den eigenen, überlegenen Lebensstil aufzuzwingen. Das ist ein **Gegenprogramm zu dem, was in diesem Text vorgeschlagen wird**. Es ist zudem ein Programm **massiver Grausamkeit gegen die sich entwickelnden Länder**. Große finanzielle Transfers sind nicht vorgesehen. Ersatz für die angestrebte Einsparung der Kosten für den Import von fossilen Energieträgern ist nicht eingeplant. Internationaler Tourismus fällt aus, Fair Trade ebenso. Obwohl wir in Deutschland Exportweltmeister sind, brauchen wir alles Geld für uns selber, für unsere Energiewende, um der Welt zu zeigen, wie es geht. Ein zum Scheitern verurteiltes Programm.

Das in der Folge beschriebene Referenzszenario ist eine Lösung ganz anderer Art, die dem Autor einleuchtend erscheint. Sie zielt auf Energie-Wohlstand, nicht auf eine Verwaltung von Knappheit. Die Entwicklungs- und Schwellenländer sollen in der Globalisierung zu Gewinnern werden und **den Weg Chinas replizieren können**. Es sind dabei auch andere Varianten bzw. Ausprägungen technischer Art möglich, als sie im Referenzszenario diskutiert werden. Z. B. können auch **Brennstoffzellen in Elektroautos mittels Methanol betrieben werden**. Der Einsatz von Brennstoffzellen erspart die in vielerlei Hinsicht problematischen großen und schweren Batterien. Das heißt, die dann noch benötigten Batterien, die ständig mit dem Strom aus der Brennstoffzelle aufgeladen werden, sind deutlich kleiner und entsprechend leichter. Methanol zur Betreibung der Brennstoffzellen ist in diesem Kontext eine interessante Option und hat mehrere Vorzüge im Verhältnis zum Einsatz von Wasserstoff, der normalerweise an dieser Stelle vorgesehen wird. Elektroautos werden so zu einem Teil des Referenzszenarios, das vielfach modifizierbar ist. Das Referenzszenario stellt in diesem Sinne eine Option mit vielen Facetten dar – es würde funktionieren. So könnte man es machen. Vielleicht gibt es aber auch eine noch bessere Lösung. Dann sind wir aber Dank Referenzszenario auf der sicheren Seite.

Im Referenzszenario ist der entscheidende Ansatz die **Senkung der Carbon-Intensität des Carbon-basierten Energiesystemanteils auf 20 %**. Kohlenstoff, der aus der Erde geholt wird – insbesondere auch Kohle – wird dazu im Mittel viermal recycelt (vgl. Abb. 4 vorher / Abb. 5 nachher), ehe er schließlich über individuelle Mobilitätsprozesse (Verbrennungsmotoren) und individuelle Wärme/Kälte-Prozesse (Heizungen / Wärmestrahler und Kühlgeräte) in die Atmosphäre entweicht. Die verbleibenden 20 % Kohlenstoff (etwa 10 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr) werden über biologische Prozesse (Aufforstung, Humusbildung,

Weidewirtschaft, Einbringen von Holz- und Pflanzenkohle in die Erde), der Atmosphäre entzogen. Das Gesamtsystem wird damit insgesamt **(bilanziell) klimaneutral** (vgl. Abb. 5). **Das Energie- und Klimaproblem wäre dann gelöst. Bis 2050 könnten die entscheidenden Umsetzungsschritte erfolgt sein.** Box 2 gibt einige Hinweise zu den dazu erforderlichen Investitions- und Umsetzungsprogrammen. Die sich dann einstellende Energiesituation zeigt Abb. 7 im Vergleich zur aktuellen Situation in Abb. 6.

Ganz offensichtlich ist das wirtschaftliche und technologische Potential des möglichen Wegs in die Zukunft sehr attraktiv. Europa hat die Chance, sich an die Spitze einer solchen Entwicklung zu stellen. Recycling von Kohlenstoff über die Methanolökonomie und Nutzung der Böden als Kohlenstoffspeicher: Das ist ein Chancen-Programm für die Welt, aber auch für Europa und Afrika, gerade auch in enger Partnerschaft. Der Senat der Wirtschaft hat solche Entwicklungspfade in eine Empfehlung zur Europawahl aufgenommen [6]. Die deutsche EU-Präsidentschaft sollte dies zu einem Schwerpunkt ihrer Aktivitäten von 2020 machen [6].

6. Warum erfolgt eine 4-fache Recyclingung des Kohlenstoffs?

Die Recyclingung des Kohlenstoffs ist primär eine Methode, um Sonnenenergie (preiswert) zu speichern und in eine gut handhabbare, vielfach nutzbare Form zu bringen. Wenn man in allen energetischen Prozessen (1) immer Methanol verwenden könnte und (2) das über den Verbrennungsprozess freigesetzte CO₂ immer bequem und preiswert abgefangen werden könnte, wäre man mit dem zugrundeliegenden Recyclingansatz in einem klimaneutralen Zustand. So ist die Situation aber nicht. Viele Prozesse der Schwerindustrie brauchen fossile Energieträger als Input (dafür reichen aber 20 % Volumen aus), bei anderen Prozessen kann das CO₂ nicht gut abgefangen werden. Dies betrifft individuelle Mobilität und individuelle Wärme-/Kälteproduktion. Für die unter (2) genannten wichtigen Prozesse, die heute die Debatten beherrschen, dürften 20 % ebenfalls ausreichen. So ergibt sich dann der Recyclingfaktor 4.

Dabei wird angenommen, dass ein Großteil der Wärme-/Kälteproduktion mittelfristig über Strom abgedeckt wird, z. B. Stromprodukte auf Methanolbasis. Dies ist aus Klimasicht eine gute Lösung und bezahlbar. Für den Verkehr geht der Autor davon aus, dass **Elektromobilität eine Rolle spielen wird, aber keine dominante.** In großen Städten hat der Ansatz Vorteile. Energetisch empfiehlt sich dafür die Kombination von Methanol mit **Brennstoffzellen.** Aus Sicht des Autors wäre es allerdings wohlstandsvernichtend und ökonomisch eine Katastrophe, voll auf eine Elektromobilität zu setzen, deren Basis große und schwere Batterien sind.

Das wäre Geldvernichtung, wie auch die Total-Sanierung aller Wohnungen im energetischen Bereich. Mit der richtigen Kombination geeigneter strombasierter und Methanol-basierter Antriebe und Wärme-/Kältelösungen ist die Zukunftsperspektive hingegen gut.

Klar ist, dass neben der Methanollösung im Sinne von Desertec auch weiter über Stromtransporte von Afrika nach Europa nachgedacht werden sollte. Dazu ist es erforderlich, Hochspannungs-Übertragungsleitungen zwischen Afrika und Zentraleuropa zu verlegen. Desertec hat dazu bereits Trassenvorschläge erarbeitet, deren Machbarkeit

(technisch, ökonomisch, politisch) zu untersuchen ist. Innerhalb Afrikas werden wachsende Stromtransporte ohnehin eine große Bedeutung besitzen. Umwandlungskosten in Methanol werden dort seltener anfallen, als für Europa (und den Norden insgesamt). **Die Energie- und Kraftstoffbereitstellung in Afrika ist im Referenzszenario deshalb deutlich preiswerter möglich als in Europa.** Das fördert die Chancen für die weitere wirtschaftliche Entwicklung auf diesem Kontinent. Natürlich bestehen im Umfeld synthetischer Kraftstoffe / Methanolökonomie auch interessante Potenziale in Europa, insbesondere auch in Deutschland. So fährt das Fährschiff „Germanica“ der Stena-Lines (Göteborg) bereits seit Januar 2015 mit Methanol – umweltfreundlich und wirtschaftlich. Methanolprodukte aus Hüttenabgasen sind das Ziel eines laufenden Pilotprojekts der „Carbon2Chem“-Initiative der Thyssenkrupp AG und des Bundesforschungsministeriums (BMBF).

7. Die biologische Seite

Die Methanolökonomie braucht eine zweite Seite – sowie auch eine Bilanz 2 Seiten hat. Im beschriebenen Szenario müssen der Atmosphäre auf Dauer jährlich etwa 10 Milliarden Tonnen CO₂ entzogen werden, um eine klimaneutrale Welt zu erreichen. Der Schlüssel hierzu sind Negativemissionen, vor allem durch Aufforstung und Humusbildung [4, 5, 14, 16]. Zu diesem Thema sei u.a. auf die 4 PER 1000 Initiative – Soils for food security and climate (www.4p1000.org) verwiesen, ebenso auf das European Biochar Certificate (www.european-biochar.org).

Wie ist diese Vorgehensweise auch unter ökonomischen Aspekten einzuschätzen? Hier ist es wichtig zu erkennen, dass entsprechende Investitionen in Böden und Aufforstung ohnehin erforderlich sind, wenn eine wachsende, wohlhabendere Weltbevölkerung auf deutlich höherem Ernährungsniveau als heute versorgt werden soll, während der zivilisatorische Prozess gleichzeitig in massivem Umfang gute, landwirtschaftlich genutzte Flächen für Gebäude und Infrastrukturen umnutzen wird. Deshalb muss die Qualität und Produktivität der verbleibenden, landwirtschaftlich genutzten Böden weltweit deutlich verbessert werden. Ferner müssen neue Böden aktiviert werden, z. B. in heute semiariden Gebieten (etwa am Rande der Sahara), in denen es kaum Nutzungskonkurrenz gibt. Pflanzen werden dann zukünftig kaum noch für die Erzeugung von Bioenergie verwendet werden. Nutztiere werden wieder in viel größerem Umfang als heute auf Weideflächen grasen.

Die Schließung des Kohlekreislaufs muss querfinanziert werden. Vor allem auch, um den Umbauprozess massiv zu beschleunigen. Die Bindung der Kohle im Boden (oder alternative Formen der CO₂-Sequestrierung) können über Zertifikate dokumentiert werden. Alle Akteure, die am Kohlenstoff- und Methanolkreislauf partizipieren, werden vernünftigerweise mitfinanzieren müssen, dass sich der Kohlenstoffkreislauf schließt. Das kann erhebliche zusätzliche finanzielle Mittel für die Landwirtschaft erzeugen (potentiell mehrere hunderte Euro pro Hektar) und wird (im Referenzszenario) von den Nutzern fossiler Energiequellen und von Methanol (mit-)finanziert werden. Aus heutiger Sicht reichen 20-30 Euro pro Tonne CO₂ auf Seiten der genannten Akteure. Diese Mittel werden teilweise auch heute schon aufgebraucht und sind ein niedriger Preis, wenn es darum geht, die heutige Zivilisation zu erhalten und ihr Geschäftsmodell prinzipiell fortzuführen und sogar erheblich ausdehnen zu können. Die Mittel können zentral abgegriffen

werden. Es geht um 1-1,5 Billionen Euro pro Jahr. Ein Teil davon wird in Bodenverbesserung und Aufforstungsprogramme investiert werden können. Aufforstung kann rasch viele Negativemissionen erzeugen. Das gibt Zeitgewinne und hilft, das Risiko des Erreichens von **Tipping-Points** abzusenken. Tipping-Points bilden offensichtlich das größte Risiko, mit dem die Menschheit im Klimabereich aktuell konfrontiert ist, denn wenn ein solcher Punkt einmal überschritten ist, wird der Klimawandel irreversibel. Solange das noch nicht passiert ist, kann uns noch immer etwas einfallen. Deshalb ist Zeitgewinn so wichtig, nachdem wir schon sehr viel Zeit nicht genutzt – oder mit wenig klugen Aktivitäten – verbraucht haben.

8. Die Ankersubstanz Methanol

Der Kern der Lösung im Referenzszenario ist die Recyclierung des Kohlenstoffs über die **Ankersubstanz Methanol**. Methanol (vgl. Box 1 zur Methanolökonomie und Box 3 zur Kostenseite) ist aus Sicht des Autors wie vieler anderer Beobachter eine Schlüsselsubstanz – ein idealer Speicher für Sonnenenergie, Wasserstoff, Sauerstoff und CO₂. Es gibt viele Wege, Methanol herzustellen, vgl. Abb. 8. Im Kontext des Referenzszenarios ist (auch mit Blick auf die Adressierung der Klimaprobleme) der Ausgangsprozess die Elektrolyse von Wasser und damit insbesondere die Produktion **großer Mengen von Wasserstoff**, der dann mit CO₂ zu Methanol weiterverarbeitet wird. Die Herstellung des Wasserstoffs erfolgt bevorzugt (aber nicht ausschließlich) und preiswert über Sonnenstrom aus den sonnenreichen Wüstengebieten der Welt, bevorzugt in Meeresnähe. Letzteres auch in so weit, als Wasser für Kühlzwecke in energetischen Umsetzungsprozessen benötigt wird. Solche Wüstengebiete gibt es an vielen Stellen der Erde, meist in ärmeren Ländern, z. B. die Sahara, die Arabische Wüste, die Wüste in Namibia, Wüstengebiete im Südiran oder auch die Atacama Wüste in Chile. In Frage kommen aber auch Wüstengebiete im Süden der USA, Chinas, Indiens und Europas.

Der mit Wüstenstrom erzeugte Wasserstoff wird mit CO₂ zu Methanol verbunden. CO₂ kann in großindustriellen Anwendungen preiswert abgefangen und nach Verflüssigung über große Distanzen transportiert werden. Methanol ist so bequem transportierbar wie Benzin und als Substanz viel sicherer. Im Wasser wird es beispielsweise auf natürlichem Wege abgebaut. Zudem ist es in der Verbrennung eine Alternative zu Benzin und Diesel und viel sauberer. Für Methanol können im Wesentlichen dieselben Transport- und Infrastrukturen genutzt werden, wie heute für Öl, Benzin und Gas.

Mit Methanol können Kraftwerke befeuert werden, wobei CO₂ dabei für etwa 30 Euro pro Tonne abgefangen werden kann. Die Kosten für die Produktion einer Doppeltonne Methanol (entspricht energetisch einer Tonne Öl / Benzin) liegen im Basisszenario (je nach Strompreis) bei 500 Euro bzw. 700 Euro. Pro Doppelliter sind das etwa 40 bzw. 56 Cent. Die Kosten sind mit heutigem Benzin konkurrenzfähig, auch wenn mitbedacht wird, dass eine Tonne Benzin etwa 1330 Liter und eine Tonne Methanol etwa 1270 Liter umfasst. Subventionen werden nicht benötigt – aber Regulierung hinsichtlich zulässiger Beimischungen.³ Hinweis: Der

³ Wichtig wäre die eindeutige Anerkennung von Methanolbeimischungen als klimaneutrale Anteile zu den **CO₂-Flottenwerten** in der Automobilindustrie, wenn in der Methanolproduktion CO₂ aus großindustriellen Prozessen recycelt wird. Beimischungen von Methanol zu Benzin sind bis zu ei-

heutige Marktpreis in China (und auch in Indien) ist übrigens niedriger (unter 30 Cent pro Doppelliter). Allerdings wird dort kein klimaverträglicher Herstellungsprozess genutzt.

Die Kosten der Methanolproduktion in Deutschland sind heute 2–3 Mal so hoch wie in Wüsten im Sonnengürtel der Erde (deutlich über 1,50 Cent), und zwar aufgrund der ungünstigen Sonnensituation und der deutlich höheren Regulierungskosten für Strom im deutschen System. Diese höheren Kosten hängen mit der Sicherung der Stabilität des gesamten Netzes unter Bedingungen volatiler Strominputs zusammen. Bei der Methanolproduktion in Afrika ist die Situation deutlich einfacher. Sie kann flexibel auf Stromverfügbarkeit reagieren. Die Volatilitätsprobleme sind deutlich geringer. Zu den genannten Gesteungskosten kommen, wie heute auch, die Steuern hinzu, die den größten Teil des Endpreises ausmachen.

9. Europa und Afrika können allein vorangehen

Das hier beschriebene Referenzszenario (und viele Varianten davon) kann Europa in Partnerschaft mit Afrika zum Vorteil von beiden Seiten sofort in Angriff nehmen. Das ist ein großer Vorteil. Es ist kein weltweiter Konsens wie in Klimaverträgen erforderlich. **Der Ansatz fällt in das Paradigma eines Marshall Plans mit Afrika** [3, 9,17]. Afrika hat Europa sehr viel zu bieten. Nicht nur die Sonnenpotentiale in großen Wüsten, sondern auch die Flächen und Potentiale für massive Aufforstung wie für die Aufwertung von Böden – etwa semiaride Flächen an den Rändern der Wüste. In dem beschriebenen Prozess kann Afrika die benötigten **Megacities** realisieren. Parallel dazu gilt dasselbe für Schwerindustrie, Chemie, Strom, Kraftstoffproduktion etc. All das kann aufgebaut bzw. genutzt und auch bezahlt werden.

Mit Meeres- und Grundwasserentsalzung können die Wasserprobleme des Kontinents zu akzeptablen Preisen und klimaneutral bewältigt werden. Hunderte Millionen von Arbeitsplätzen werden entstehen, insbesondere in der Landwirtschaft, in der Forstwirtschaft und in den nachfolgenden Veredelungsprozessen sowie im Umfeld der Methanolökonomie. Die Risikoliste in Abb. 2 lässt sich so Punkt für Punkt abarbeiten. Die Methanolökonomie im Referenzszenario kann dann in Verbindung mit der biologischen Seite „liefern“.

10. Was sind die Schlüsselemente für das Referenzszenario?

Wichtig: Der gemachte Vorschlag ist nur möglich dank der Fortschritte bei den erneuerbaren Energien. Hinzukommen muss der massive Einsatz von Energiequellen im Sonnengürtel der großen Wüsten. Das ist die **Desertec-Idee**, für die der

nem 15%-Anteil problemlos möglich. Das würde 8% CO₂-Minderung mit sich bringen. Der bestehende Druck auf die Automobilindustrie kann durch ein solches Vorgehen erheblich entschärft werden. Das würde den Weg in eine Methanolökonomie deutlich befördern. In der EU ist die regulative Situation eher ablehnend, wenig transparent und im Fluss. In Anerkennungsfragen wird auch differenziert zwischen biogenem CO₂ und CO₂ aus anderen Quellen. Dafür gibt es keine überzeugende Begründung. Sachfremde Interessen bzw. ein spezifisches Framing spielen offenbar eine große Rolle. Hier besteht dringender Handlungsbedarf.

Club of Rome (Deutsche Sektion) sich schon lange einsetzt. Direkter Transport von elektrischer Energie von z. B. Afrika nach Europa, kann weiter ein Thema bleiben. Die Widerstände aller Art dagegen waren bisher massiv, weil dafür auch keine konkreten Punkt-zu-Punkt-Verbindungen vorgeschlagen wurden. Vielmehr wurde ein massives Netz von Übertragungsleitungen auf die Landkarte Europas projiziert. Der Ansatz der Desertec-Foundation ist ein völlig anderer und könnte, sofern die Machbarkeitsprüfung positiv ist, auch allgemeine Akzeptanz finden. Mit Methanol (Desertec 2.0) ist die oben beschriebene Art der Verhinderung durch interessierte Kreise ohnehin nicht mehr möglich. Es können die Infrastrukturen genutzt werden, die heute für Öl und Gas bereitstehen. Der gewaltige Industriekomplex, der von fossilen Energien abhängig ist, kann weiter aktiv bleiben, sich sogar ausdehnen (um 50 % bis 2050). Aus Sicht des Autors könnte Saudi-Arabien der größte Investor werden. Aber alle großen Konzerne aus diesem Wirtschaftsbereich werden dabei sein.

Positiv ist, wie schon erwähnt, dass Europa und Afrika auch alleine vorangehen können. Die technologischen Potentiale für die Beteiligten eröffnen massive Optionen, gerade auch für Europa [6]. Offensichtlich werden im Referenzszenario alle SDGs positiv „befördert“. Das ist überall offensichtlich, außer bei Ziel 14 „Leben unter Wasser“. Da aber die geplanten Aktivitäten bei Böden die Belastung der Meere mit Schadstofffrachten abmildern werden, sind sogar auch hier Fortschritte zu erwarten.

Es verbleibt die **soziale Dimension** des Themas. Hier eröffnet die vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ) Ende 2018 gestartete **Allianz für Entwicklung und Klima** viele interessante Anknüpfungspunkte und Chancen [17]. Ihr Fokus sind Co-Benefits im Bereich der SDGs, also soziale Ziele (z. B. Frauenförderung, Ausbildung für Alle, Verlangsamung des Bevölkerungswachstums, mehr Wohlstand), aber ebenso ökologische Ziele (Biodiversität, Wasserhaushalt). Mehr Wohlstand allein wird nicht ausreichen, um an dieser Stelle weiterzukommen. Verteilungsfragen sind immer schwierig. Die Allianz kann an dieser Stelle vieles bewirken und hoffentlich dazu beitragen, dass die Größe der Weltbevölkerung etwa 2050 mit 10 Milliarden Menschen ihren Höhepunkt erreicht. Das Referenzszenario wird die wirtschaftliche Entwicklung in Entwicklungs- und Schwellenländern fördern (Beispiel China). Die Ungleichheit zwischen den Staaten wird abnehmen. Für die Ungleichheit innerhalb der Staaten ist das nicht klar. **Daher hat die neue Allianz eine große Rolle und sollte spätestens 2020 anlässlich der deutschen EU-Präsidentschaft auf die europäische Ebene gehoben werden.**

Box 1

Methanolökonomie

Methanol ist ein besonders interessanter Stoff, vgl. Abb. 8. Methanol ist eine Art synthetisches Benzin, allerdings praktisch ohne schädliche Nebenwirkungen. Benzin ist deutlich giftiger und gefährlicher als Methanol. Bei korrekter Handhabung besteht keine Explosionsgefahr und beim Verbrennen entstehen im wesentlichen weder Ruß, Asche noch Feinstaub. Die segensreichen Qualitäten des einfachsten Alkoholmoleküls Methanol sind in der chemischen Industrie längst erkannt. Es ist

heute nach Rohöl die weltweit am zweitmeisten hergestellte und gehandelte Flüssigkeit. Man kann es über Vergasung aus Kohle herstellen und dann dem Benzin beimischen. Das ist in China der Normalfall, und zwar in der Regel mindestens 15 %, oft sehr viel mehr. Dies geschieht in China, um Devisen für Öleinfuhren zu sparen. Dem Klima hilft das nicht. Man kann Methanol auch aus Methan herstellen. Das kann in manchem Kontext eine gute Lösung für das Klima sein.

Im Referenzsystem wird Methanol aus Strom, CO₂ und Wasser in einem Syntheseverfahren hergestellt. Das ist heute technisch beherrscht. Einige deutsche Unternehmen operieren an der Weltspitze. Im Gegensatz zu Bioethanol konkurriert dieses Verfahren nicht mit Nahrungsmittel-Anbauflächen und kann zentral in Großanlagen oder dezentral in Kleinanlagen genutzt werden. Methanol ist ein idealer Partner von erneuerbarer Energie. Noch ein Hinweis: Die Energiedichte von Methanol (als Energiespeicher) ist 50 Mal so hoch wie diejenige von modernen Batterien, diejenige von Benzin ist noch einmal um den Faktor 2 höher. Deshalb sind **energetische Flüssigkeiten** offensichtlich eine bessere Lösung als Batterien und so wichtig für den Erhalt unseres Wohlstands.

Da die Vorgänge des Lagerns, Tankens und Nutzens bei Methanol sehr ähnlich sind wie bei den üblichen Flüssig-Treibstoffen Diesel und Benzin, kann die bestehende Infrastruktur weiter genutzt werden. Außerdem ist hervorzuheben, dass es bei der Verwendung von Methanol als Treibstoff von Fahrzeugen mit Benzinmotoren nahezu keiner Umrüstung bedarf.

Methanol kann alle 14 heute gebräuchlichen flüssigen und fossilen Brennstoffe (Normal- und Superbenzin, Diesel, Heizöl, Kerosin usw.) ersetzen. Damit ist eine wesentlich einfachere, ökologischere und ökonomisch wirksame weltweite Energieversorgung möglich.

Die Methanolökonomie hat eine lange Historie. In der aktuellen (deutschen) Diskussion fällt sie in den Rahmen der Aktivitäten zum Thema e-fuels und Power-to-Liquid. Der Weltenergieat (deutsche Sektion) hat in einer bemerkenswerten Studie [19] klargemacht, dass ohne Fortschritte in diesem Bereich eine zukunftsfähige Lösung der weltweiten Energie- und Klimafragen nicht möglich ist.

Viele Aspekte der Methanolökonomie werden in der großen Publikation [2] behandelt. Zwei der Autoren sind wichtige Gesprächspartner und Impulsgeber für den vorliegenden Text, nämlich **Prof. Dr. Dr. Heribert Offermanns, langjähriger Forschungschef von Degussa** und **Dr. Ludolf Plass, langjähriger Forschungschef von Lurgi**.

Die Methanolökonomie hat ihre Wurzeln in Deutschland an der RWTH Aachen. Heribert Offermanns verweist in einem historischen Überblick [11] auf die technische Chemie an der RWTH Aachen, auf die drei Institutsleiter Walter M. Fuchs, Friedrich Assinger und schließlich Wilhelm Keim (Das Motto von Wilhelm Keim lautet „CO₂ als Rohstoff“) und ein sehr erfolgreiches, breit gefächertes Forschungsprogramm.

In einer parallelen Entwicklung behandelt der US-amerikanische Nobelpreisträger George A. Olah das Thema in seinem Buch „Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy“ [13]. Er würdigt leider nicht die langjährigen Arbeiten in Deutschland, aber das ist im Bereich der Wissenschaft (leider) nicht unüblich. Viel wichtiger ist aus der Sicht des vorliegenden Textes, dass über G. A. Olah eine zweite breite internationale Basierung des Themas Methanolökonomie erfolgt. Besonderes Anliegen von G.A. Olah ist die Argumentation, warum eine klimaneutrale Energiebasis der Zukunft nicht direkt in der Wasserstoffnutzung liegen wird, sondern in einem 2-stufigen Prozess, nämlich zunächst in der Erzeugung von Wasserstoff über

preiswerte Solarenergie, sodann in der Überführung dieses Wasserstoffs in Methanol über Kombination mit CO₂. Voraussetzung hierfür ist aus wirtschaftlicher Sicht die **Verfügbarkeit extrem preiswerter Solarenergie** (genauer: klimaneutraler Energie) zur Herstellung des Wasserstoffs und damit indirekt des Methanols, bevorzugt durch Verbindung von Wasserstoff und CO₂.

Interessant sind in diesem Kontext auch die Überlegungen von Offermanns/Effenberger/Keim/Plass in [12]. Dort schlagen sie vor, in Nordafrika auf Basis preiswerter Kohle (z.B. aus Lateinamerika) Schwerindustrie zur Entwicklung Afrikas zu etablieren und das dort entstehende CO₂ in Methanol zu überführen. Letzteres über Nutzung von preiswertem Solarstrom aus der Sahara. An der Küste würde über Elektrolyse reiner Sauerstoff und Wasserstoff hergestellt und auf dieser Basis Methanol zur Nutzung in weiteren Prozessen synthetisiert. Solche Ansätze werden heute auch in der Folge der Desertec-Debatten, in die wesentlich auch der Club of Rome (deutsche Sektion) involviert war und ist, als Desertec 2.0 diskutiert. Erinnert sei hier insbesondere an die Beiträge des verstorbenen Gerhard Knies.

Dabei ist zu beachten, dass die ursprünglichen Desertec-Vorschläge nicht deshalb gescheitert sind, weil prinzipielle Probleme bezüglich der Machbarkeit oder der Investitionsbereitschaft bestanden hätten. Die Probleme lagen ganz woanders. Zum einen verunmöglichte das deutsche Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) den Verkauf von Solarstrom aus Nordafrika in Deutschland, insofern als die hohen Subventionen für Solarstrom und dessen Bevorzugung bei der Einspeisung in das Stromnetz auf in Deutschland produzierten Solarstrom beschränkt war. So kann man geschickt Konkurrenz ausschließen und Innovationen in Entwicklungs- und Schwellenländern – die angeblich so wichtig sind – verunmöglichen. Zum anderen kann Widerstand gegen „Strom-Konkurrenz“ auch durch Blockade gegen den Bau von Stromtrassen umgesetzt werden. Wir können das nach wie vor beim Bau bzw. Nichtbau von Stromtrassen in Deutschland beobachten. Desertec geht jetzt einen anderen Weg. Der Solarstrom aus Afrika sollte keinen Solarstrom aus EEG-Anlagen ersetzen, sondern über die europäischen Strombörsen in Konkurrenz zu Energie aus fossilen Energieträgern angeboten werden. Zusätzlich kann Solarstrom aus Afrika zur Stabilisierung unseres Stromverbundsystems beitragen.

In jedem Fall braucht der Desertec-Ansatz, der insbesondere auch zur Förderung des Wohlstandsaufbaus in Afrika und zur massiven Steigerung der Energieversorgung in Nordafrika wichtig ist, einen alternativen Transportansatz. Dies gelingt im Kontext von Desertec 2.0 mittels der beschriebenen Power-to-Liquid-Ansätze, im Besonderen der Methanolökonomie. Dies ist eine der Quellen für die Überlegungen in dem vorliegenden Text.

Box 2

Das Referenzszenario: 2020 – 2050

Das Referenzszenario geht vom heutigen Welt-BIP von etwa 80 Billionen Dollar bei 7,5 Milliarden Menschen aus. Der Energiebedarf wird heute zu 81 % von primären fossilen Energieträgern gedeckt. Diese erzeugen aktuell 34 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr. Deutlich weniger als 5 % der gesamten Primärenergie stammen aus neueren erneuerbaren Energieträgern [8].

Bis 2050 vergrößert sich im Szenario das Welt-BIP auf etwa 140 Billionen Dollar. Das ist fast eine Verdoppelung. Die prozentual höchsten Wachstumsraten der Wirtschaft finden sich in den Entwicklungs- und Schwellenländern. Das ist nötig zur Umsetzung der SDGs bis 2050. Der chinesische Weg wird repliziert.

Im Gegensatz zu heute üblichen Untersuchungen zu unserer Energiezukunft (bei Forderung von Nachhaltigkeit) spielen dabei die Kohlenstoffbasierten Teile der genutzten Energie, vor allem Energieflüssigkeiten, weiter eine zentrale Rolle. Dieser Teil vergrößert sich um etwa 50 %, was bei der heutigen Technik etwa 50 Milliarden Tonnen CO₂ entsprechen würde. Durch 4-maliges Recycling von CO₂ liegen die tatsächlichen Emissionen aber nur noch bei etwa 10 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr. D.h. die CO₂-Intensität des Kohlenstoffbasierten Energieanteils geht auf 20 % zurück. 80 % sind vom sekundären Typ und in diesem Sinne klimaneutral (vgl. Abb. 7).

Dass in dem beschriebenen Ansatz die Branchen im Bereich fossiler Energieträger nicht in den Zusammenbruch getrieben werden, ist positiv, ja entscheidend (vgl. Abb. 2). Dekarbonisierung zu Lasten dieser großen Industrien findet nicht statt, im Gegenteil, es gibt ein Wachstumspotential von 50 %. In diesem Kontext muss der Sektor aber massiv umgebaut werden. Das ist bis 2050 machbar. Eine gute und friedliche Zukunft wird so gefördert. Dabei geht es um sehr viel Geld. So hat allein der weltgrößte Konzern in diesem Umfeld, nämlich der saudische Konzern Saudi Aramco, im letzten Jahr (2018) einen Gewinn von 110 Milliarden Dollar erzielt - etwa 11 Mal die gesamte Entwicklungshilfe Deutschlands. Massive Einbrüche bei diesen Industrien würden zum Kollaps der Weltökonomie führen. Im Szenario findet das nicht statt. Der Sektor wächst und kann insofern den zur Recycling von Kohlenstoff erforderlichen Umbau finanzieren. Saudi-Arabien wird dabei wegen seiner großen Investitionskraft an die Spitze gelangen, aber auch alle anderen großen Energiekonzerne werden bei diesem Geschäft dabei sein. Es geht um viel Geld. Es kann an vielen Stellen der Welt verdient werden. Und der Markt weitet sich erheblich aus.

Die Schätzungen für den weltweiten Primärenergieverbrauch liegen heute bei etwa 100 Milliarden Barrel Öläquivalent. Die Preise pro Barrel schwanken stark. Aktuell liegen sie bei etwa 70 US-Dollar. Das führt für den gesamten weltweiten Primärenergieverbrauch zu einem Wert von etwa 7 Billionen US-Dollar pro Jahr für dieses zentrale Segment der Ökonomie, etwa ein Zwölftel des Welt-BIPs, das bei 80 Milliarden Dollar liegt.

Die Welt wird für das deutlich erhöhte Welt-BIP für 2050, vor allem auch angesichts der vergleichsweise niedrigen Energieeffizienz in aufholenden Ökonomien, im Arbeitsbereich wahrscheinlich das Doppelte der heutigen Energiemengen brauchen. Die Gewichte in der Energiebereitstellung verschieben sich dabei in Richtung der modernen Erneuerbaren, vor allem Wind und Sonne (vgl. Abb. 7). Diese Transformation wird vor allem im Sonnen-Wüsten-Gürtel der Welt erfolgen. Aber auch viele andere Länder werden partizipieren. Die kohlenstoffbasierten Energieformen werden bei der Nutz-Energie in 2050 wahrscheinlich immer noch die Erneuerbaren dominieren, aber nur in geringem Umfang (etwa 60:40). Hinzukommen wird aber ein weiteres großes Volumen an erneuerbarer Energie aus dem Wüsten-Sonnengürtel und zwar zur Recycling von Kohlenstoff und zur Herstellung von Methanol. Das Volumen wird auf 140 % (bei einem Gesamtvolumen von 340 %) geschätzt. Diese 140 % werden im Referenzszenario gebraucht, um Wasserstoff und Methanol zu produzieren. Das ist ein energieintensiver, tendenziell ineffizienter Prozess. Aber er lohnt sich. Er löst das Volatilitätsproblem der Erneuerbaren und schafft gespeicherte Energie in Methanolform, die gut lagerbar, transportierbar, vielfach nutzbar ist. Sie ist der Schlüssel für eine Welt in Wohlstand und für die

Überwindung der Probleme in den Bereichen Energie und Klima. In Analogie entspricht die Aktivierung dieses Potentials der Rolle, die die Erfindung der Dampfmaschine für die Ablösung des Holzes durch Kohle vor 300 Jahren in der damaligen großen Transformation innehatte.

Betrachten wir die 340 % Energieproduktion in 2050, werden die neuen Erneuerbaren die Carbon-basierten Kraftstoffe an Volumen übertroffen haben. Mit sonstigen Energien zusammen werden sie 2/3 der Primärenergiebereitstellung leisten. Einen Gesamtüberblick gibt Abb. 7.

Welches Ausmaß hat der Umbau des Weltenergiesystems gemäß Referenzszenario mit Blick auf 2050? Es ist in 2050 das heutige Primärenergieniveau der Welt von etwa 14 Mrd. Tonnen Öl-Äquivalent als Methanol bereitzustellen. Der Weg dorthin ist zu gestalten. Es geht in 2050 um 28 Milliarden Tonnen Methanol (14 Milliarden Doppeltonnen).

Die heute größten Anlagen zur Methanolproduktion können gut 10.000 Tonnen pro Tag synthetisieren. Im Jahr sind 4 Millionen Tonnen möglich. Die Kosten pro Anlage liegen bei etwa 3 Milliarden Euro. Über die nächsten 35 Jahre sind im Referenzszenario insgesamt etwa 7.000 Anlagen erforderlich, dies sind Jahr für Jahr etwa 200 neue Anlagen. Die jährlichen Gesamtkosten liegen dann bei 600 Milliarden Euro. Dies sind Größenordnungen, die der Energiesektor auch heute jährlich investiert, u.a. für die Neuexploration von Öl- und Gasfeldern. Diese Aktivitäten würden zukünftig weitgehend entfallen. Der Umbau ist eine große Herausforderung, aber leistbar. Insbesondere gilt dies dann, wenn man die hohen Einnahmepotenziale im Umfeld der Methanolproduktion mit in Betracht zieht.

Dass der Umbau finanzierbar ist, zeigt folgende exemplarische Überlegung: In Deutschland werden im Verkehrssektor jährlich etwa 40 Millionen Tonnen Kraftstoffe eingesetzt. Daraus entstehen etwa 120 Millionen Tonnen CO₂, etwa 1/8 der deutschen Gesamtemissionen. Nimmt man hypothetisch an, dass man die Hälfte davon durch (energetisch vergleichbare) 20 Millionen Doppeltonnen Methanol ersetzen würde, ließen sich etwa 60 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr einsparen. Für die benötigte Menge Methanol würden etwa 10 große Methanolkraftwerke mit einem Investitionsvolumen von insgesamt 30 Milliarden Euro benötigt. Diese Kosten entstehen jedoch nicht zusätzlich, sondern ersetzen andere Investitionen und werden im Markt verdient.

Im Vergleich dazu bedeutet der deutsche Kohlekompromiss, dass man für ein (wegen der Wechselwirkung mit dem EU-Zertifikatesystem) nicht genau quantifizierbares Einsparvolumen in Höhe einer bescheidenen 2-stelligen Millionenzahl an Tonnen CO₂ pro Jahr gewachsene Marktstrukturen zerstört und ein Kompensationspaket zugunsten der betroffenen Bundesländer von 40 Milliarden Euro über die nächsten 20 Jahre schnüren muss. Weitere 60 Milliarden kommen über den Zeitraum für die Förderung anderer Betroffener hinzu (vgl. <https://www.insm-oekonomieblog.de/20687-klimaschutz-mit-marktwirtschaft-wie-die-politik-den-kohleausstieg-guenstiger-und-klimafreundlicher-gestalten-kann/>). Eine gewaltige Verschwendung dringend benötigter Finanzmittel.

Box 3

Was kostet die Methanolproduktion in Nordafrika?

Die Kosten für die Methanolproduktion sind im Wesentlichen bestimmt durch die Stromkosten für die Elektrolyse und damit die Herstellung des benötigten Wasserstoffs. Das ist der dominante Kostenblock. Im Referenzszenario betragen diese Kosten unter Bedingungen der Nutzung von günstigem Wüstenstrom etwa 200 – 400 Euro pro Doppeltonne Methanol. Die Kalkulation basiert auf einem Sonnenstrompreis von 1 Cent bzw. 2 Cent pro Kilowattstunde. Wichtig für einen so günstigen Preis ist, dass die Sonne praktisch immer scheint (hohe Auslastung der Anlagen) und die Bereitstellungs-/Regulierungskosten für Strom gering sind.

Wie ist die Kostensituation für Methanol? Für eine Doppeltonne Methanol werden als Input etwa 370 kg Wasserstoff (H₂) und 2,7 Tonnen CO₂ eingesetzt. Der benötigte Stromumfang zur Herstellung des Wasserstoffs beträgt etwa 19 000 Kilowattstunden (kWh). Bei einem Preis von 1 Cent pro kWh geht es um etwa 200 Euro. Bei einem Preis von 2 Cent pro kWh um 400 Euro. Pro Doppeltonne Methanol kommen zusätzlich zu den Stromkosten etwa 100 Euro Abschreibung auf Installationen vor Ort hinzu. Für das Abgreifen und die Reinigung von CO₂ müssen etwa 30 Euro pro Tonne gerechnet werden, für den Transport von CO₂ (inklusive Verflüssigung) von Europa nach Afrika etwa weitere 30 Euro, für den Transport von Methanol von Afrika nach Europa etwa 20 Euro pro Doppeltonne. Die Transportkosten für Methanol sind niedriger als die für CO₂, da es sich bei Methanol um eine Flüssigkeit handelt.

Da für eine Doppeltonne Methanol etwa 2,7 Tonnen CO₂ benötigt werden, kommen pro Doppeltonne Methanol für die CO₂-Bereitstellung noch einmal 2,7 x 60 Euro, d. h. etwa 160 Euro hinzu. Insgesamt entsteht so der geschätzte Methanolpreis von 500 bzw. 700 Euro pro Doppeltonne. Da eine Tonne Methanol etwa 1250 Liter entspricht, ergibt sich ein Preis von 40 bzw. 56 Cent pro Doppelliter Methanol. Das liegt tendenziell unter den heutigen Benzinpreisen. Subventionen erscheinen insofern nicht als erforderlich. Nochmals als Hinweis: Die Marktpreise für Methanol in China und Indien sind heute signifikant niedriger, allerdings ist die Herstellung nicht klimafreundlich. In Deutschland ergeben sich bei der Methanolproduktion wegen der deutlich höheren Kosten im Bereich der Erzeugung von erneuerbarem Strom und dessen Verteilung (Regulierungskosten), und damit der viel höheren Kosten zu Produktion von Wasserstoff, Gesamtkosten von mindestens 1,50 Euro pro Doppelliter Methanol (vor Steuern).

Insgesamt ergibt sich ein Kreislauf. CO₂ kann im Referenzszenario in der Schwerindustrie in Europa abgegriffen werden, wird verflüssigt und an die Küste nach Nordafrika transportiert. Dort wird das CO₂ mit Wasserstoff zu Methanol verbunden, das dann die Rückreise nach Europa antritt. Dieser Aufwand entfällt natürlich bei Strom- bzw. Methanolnutzung in Afrika. Das sind gute Voraussetzungen für die Umsetzung eines **Marshall Plans mit Afrika**.

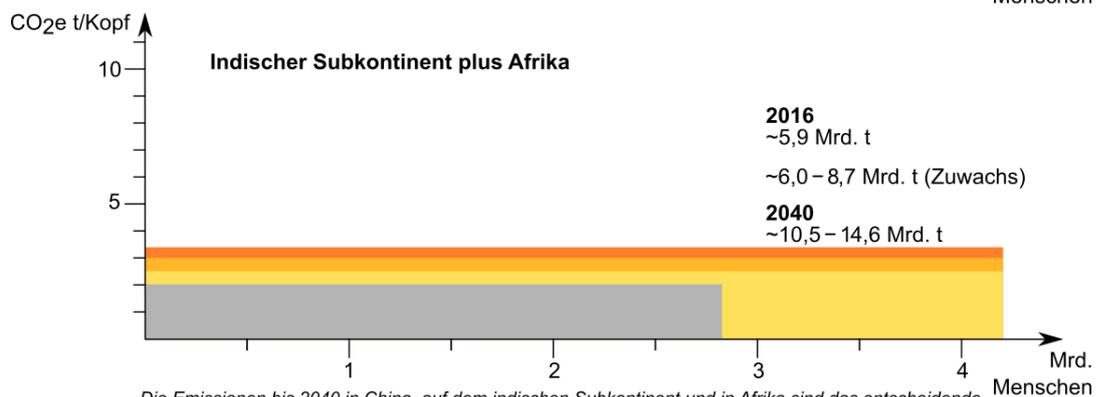
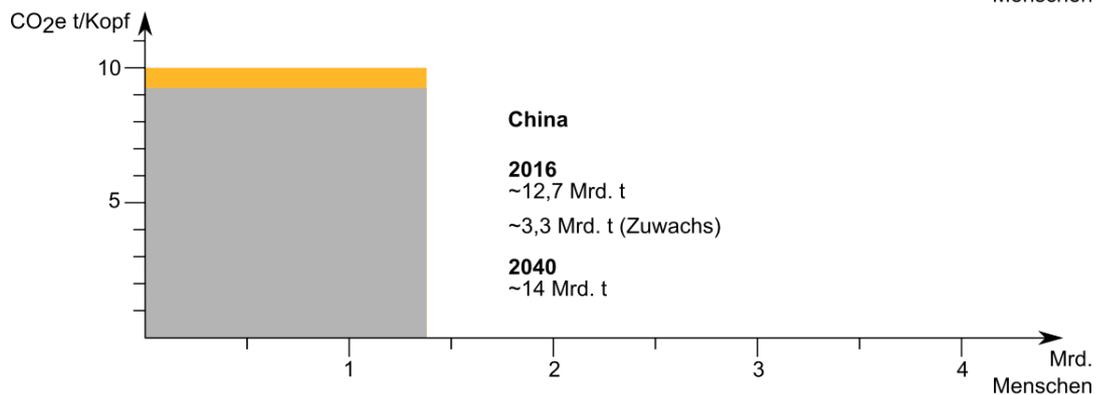
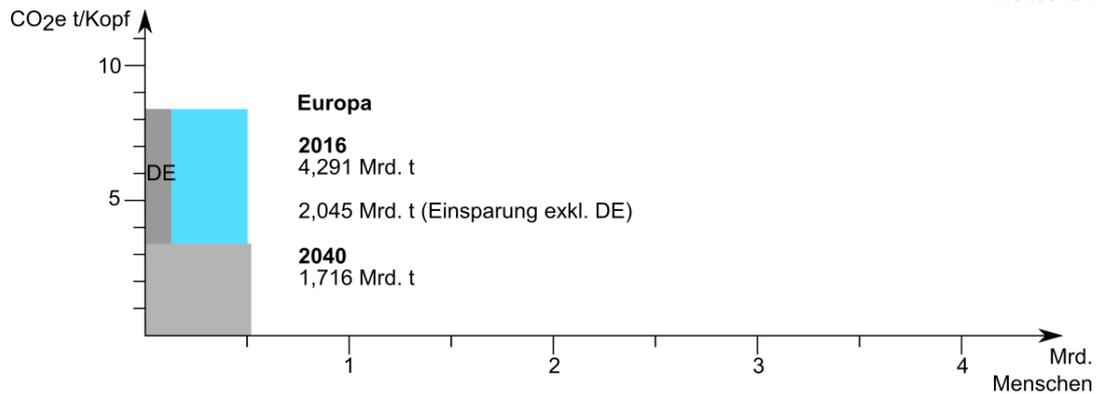
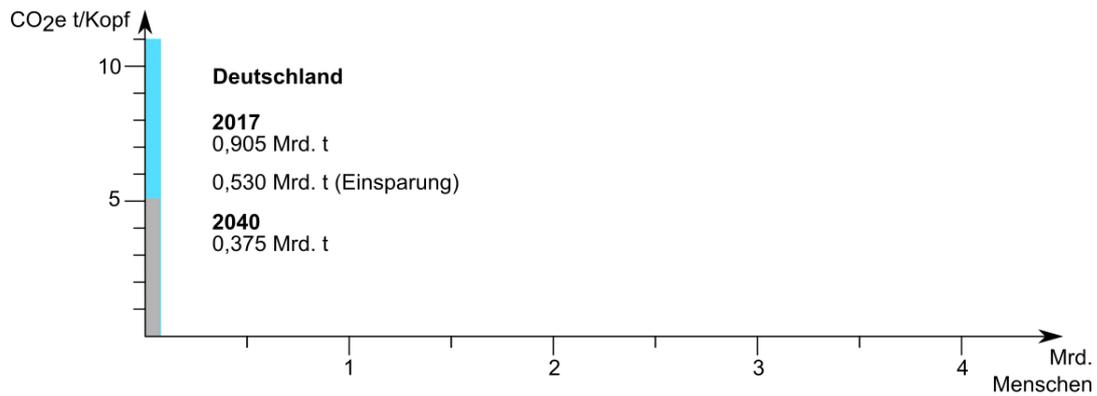
Da, wie oben erwähnt, die Effizienz der Methanolerzeugung bei etwa 70% liegt, also ein Stromvolumen von 140 % erzeugt werden muss, um 100 % einer gewünschten Energiemenge zu erhalten, ist zu erwarten, dass der erneuerbare Strom, der zu CO₂-Recyclierzwecken, und damit zur Herstellung von Methanol benötigt wird, etwa 140 % des heutigen Energieverbrauchs (2019) der Welt entspricht. Dies ergibt sich wie folgt:

Der heutige 81%-Anteil der fossilen Energieträger wächst um etwa 50 %. Davon sind 80 % über Methanolisierung gebildet, insgesamt etwa 100 % des Energieverbrauchs zum jetzigen Zeitpunkt. Da die Effizienz der Methanolproduktion bei etwa 70 % liegt, werden etwa 140 % Stromvolumen benötigt, um die angestrebte Methanolmenge zu produzieren. Dabei geht es um 20 Milliarden Tonnen Öl-Äquivalent. Dafür werden etwa 272.000 Terawattstunden elektrischer Energie aufgewandt. Die im Jahr 2050 genutzte Energiemenge erreicht damit 340 % im Verhältnis zu 100 % heute.

Die scheinbare Ineffizienz dieses Prozesses ist dabei kein Problem, **sondern Kern der Lösung**. Weil die erneuerbare Energie in den Sonnenwüsten der Welt sehr preiswert ist, wird ein deutlich höheres Volumen an Kohlenstoff-basierten Energieflüssigkeiten auf diesem Wege bereitgestellt als heute verfügbar (nämlich 100:85) und das zu Gesamtkosten, die unterhalb der heutigen Kosten pro Liter Benzin für 2 Liter Methanol liegen. Die Stromkosten beziehen sich auf das heutige Primärenergievolumen (Öl-Äquivalent) von 14 Milliarden Tonnen. Hier ist also der Zusatzfaktor 140 % bezüglich der Stromseite bereits abgedeckt. Bei einem Preis von 200 bzw. 400 Euro Stromkosten pro Doppeltonne Methanol ergeben sich 2,8 Billionen Euro bzw. 5,6 Billionen Euro (alternativ 3,1 Billionen US Dollar oder 6,2 Billionen US Dollar). Die vielen Milliarden für den Strom zu Methanolproduktion geben den Ländern, die dafür gute Bedingungen bieten, vieler Einnahmehancen. **Afrika sollte mit mindestens 1-2 Billionen US Dollar pro Jahr profitieren können**. Das wäre ein guter Schritt nach vorne für den Marshall Plan mit Afrika.

Die genannten Billionen sollten im Vergleich zu den heutigen Aufwendungen für fossile Energieträger gesehen werden. Das sind etwa 81 % der aktuellen Weltprimärenergieversorgung (Öl-Äquivalente) von etwa 14 Milliarden Tonnen. Damit ungefähr 11 Milliarden Tonnen Öläquivalente an Primärenergie. Dafür werden heute weltweit pro Jahr etwa 7,7 Milliarden US Dollar aufgebracht. In diesem Bereich ergeben sich im Szenario bis 2050 wesentliche Umbauten.

Die Carbon-basierten Energieträger stellen in 2050 immer noch den größten Teil der Nutzenenergie bereit (125:75) bei erfolgter Verdoppelung der Nutzenergie. Nimmt man aber die 140 % Erneuerbaren für die Methanolproduktion hinzu, ist man bei 125:215, d. h., die Erneuerbaren (zusammen mit den sonstigen) bestimmen das Bild mit einem fast 2 Drittel Anteil (vgl. Abb. 7).



Die Emissionen bis 2040 in China, auf dem indischen Subkontinent und in Afrika sind das entscheidende Thema. Natürlich sind sie mit Unsicherheit behaftet. Sie hängen stark von den politischen Maßnahmen und der wirtschaftlichen Entwicklung ab. Für den indischen Subkontinent (Indien, Pakistan, Bangladesch) plus Afrika sind drei Szenarien für Zuwächse gezeigt. In jedem Fall ist aber der absehbare Zuwachs gewaltig. Hier muss gehandelt werden.

Abb. 1 Pro-Kopf-CO₂e-Emissionen aktuell und erwartet (2040), Bevölkerungsentwicklung und mögliche Einsparungen (blau) bzw. erwartbare Zuwächse (gelb/orange)
Die drohenden massiven Emissionszuwächse in Afrika und auf dem indischen Subkontinent bestimmen das Bild.

Was muss gelingen?

(Zielsetzungen einer zukunftsfähigen Lösung,
insbesondere im Klimabereich)

- Weltbevölkerung bei 10 Milliarden Menschen stabilisieren⁴
- 20 Millionen neue Arbeitsplätze pro Jahr in Afrika schaffen
- Keinem Staat ökonomisch die „Luft“ abdrehen
- Einen „nuklearen Winter“ als Folge eines atomaren Kriegs auf niedrigem Niveau verhindern
- Die riesigen, auf fossilen Energieträgern beruhenden Industrien intakt halten
- Bilanzielle CO₂-Neutralität erreichen (z. B. durch Kohlenstoffrecycling)
- Regenwälder erhalten (Industrieländer sollen dafür zahlen)
- Böden intakt halten und verbessern (zu Kohlenstoffspeichern weiterentwickeln)
- Menschheit ernähren (Wüstenbildung umkehren, besserer Umgang mit Böden)
- Zwei-Klassengesellschaft in Europa verhindern
- Zwei-Klassengesellschaft weltweit graduell überwinden

Abb. 2 Zielsetzungen einer zukunftsfähigen Lösung

⁴ Dies kann nur bei Entstehung von Wohlstand und Umsetzung der SDGs gelingen

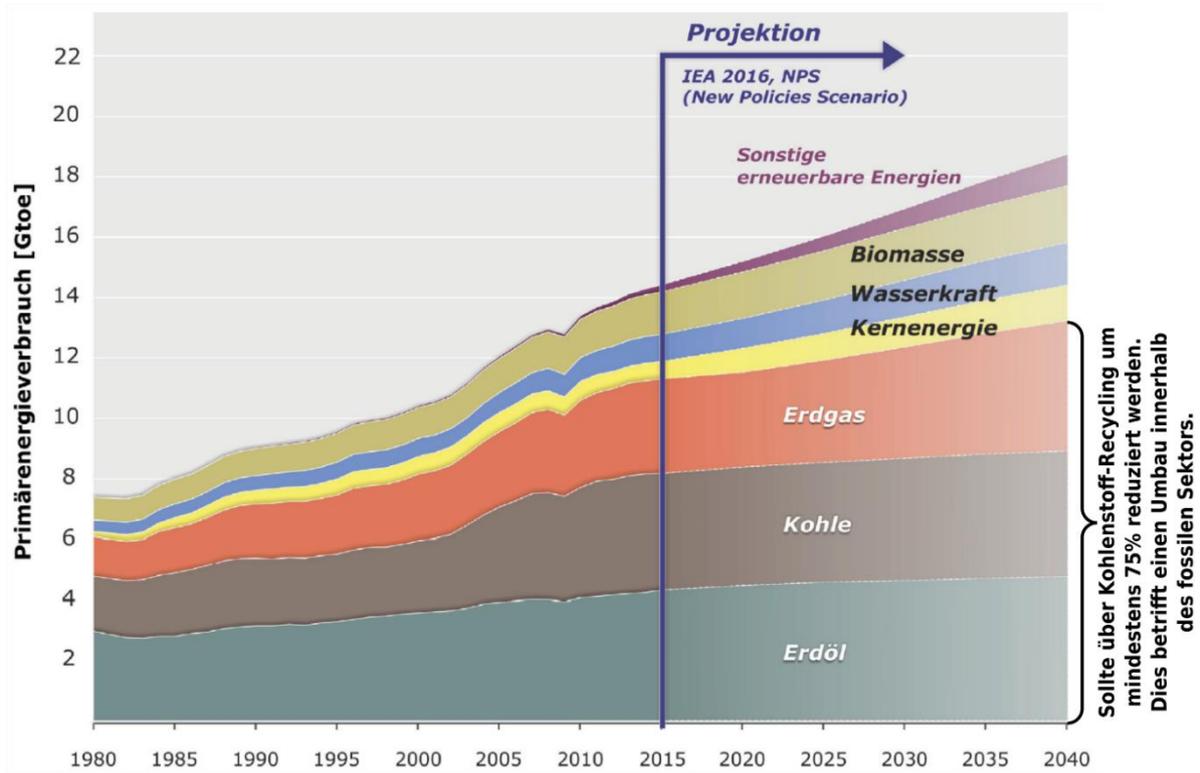


Abb. 3 Prognostizierter weltweiter Energieverbrauch

Quelle: Grafik modifiziert, aus Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Energiestudie 2016, Szenarien nach IEA 2016: World Energy Outlook. Paris, Frankreich

Kohlenstoffzyklus Energie heute



Kraftwerke, Schwerindustrie, Chemie, Mobilitätsbereich, Wärme, ...

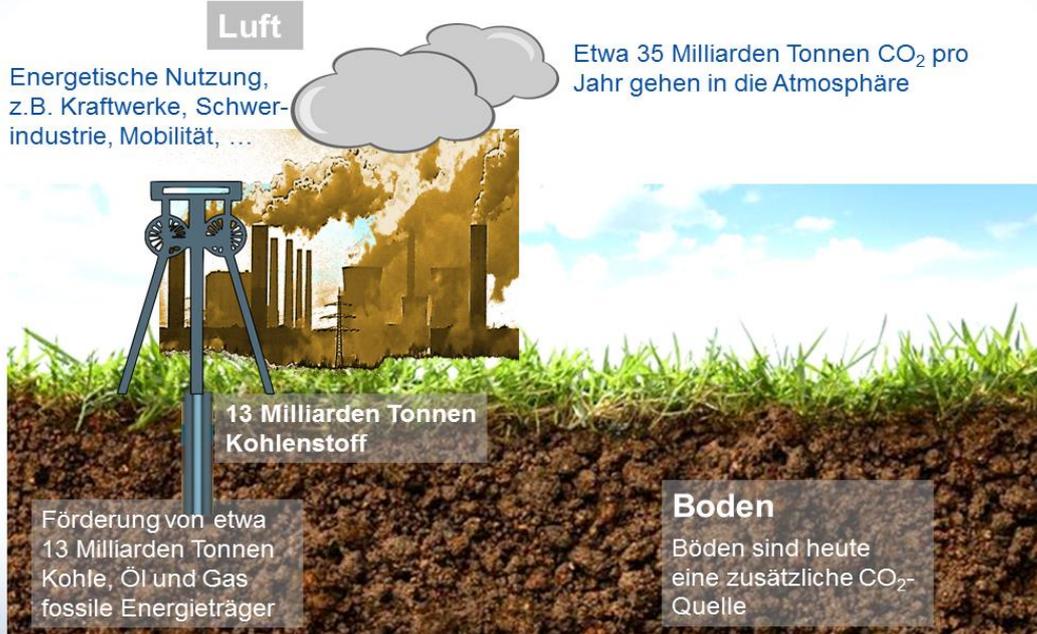


Abb. 4 Heutiger Kohlenstoffzyklus

Geschlossener Kohlenstoffzyklus Energie (zukünftig)



Erhalt/Umbau der mit fossilen Energien verbundenen Industriebranchen in der heutigen wirtschaftlichen Größenordnung (Kraftwerke, Schwerindustrie, Chemie, Mobilitätsbereich, Wärme, ...). Abstützung des Industriesektors durch zwei Bereiche: den primären Kohlenstoffbereich (fossile Energieträger) und den sekundären Kohlenstoffbereich (Methanol-Ökonomie).

Geschlossener Kohlenstoffkreislauf – bestehend aus der Quelle „fossile Energieträger“ und der Senke „Boden“

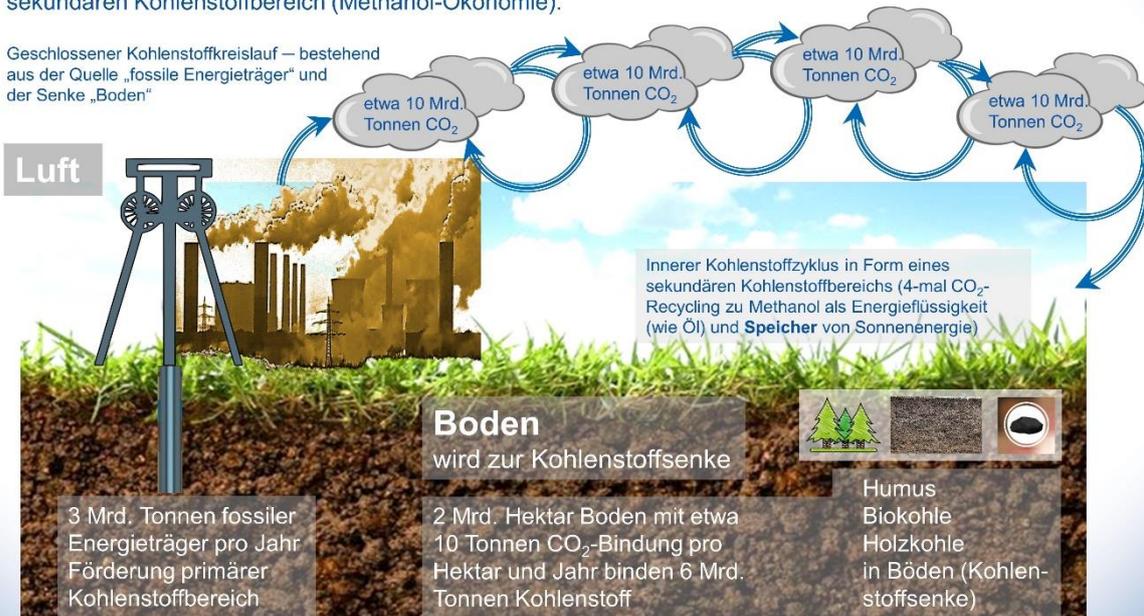


Abb. 5 Zukünftiger geschlossener Kohlenstoffzyklus

Energiestatus 2019

7,5 Milliarden Menschen, Welt-BIP 80 Billionen Euro

hohe Ungleichheit, insbesondere zwischen den Staaten

Zusammensetzung der genutzten Primärenergie:

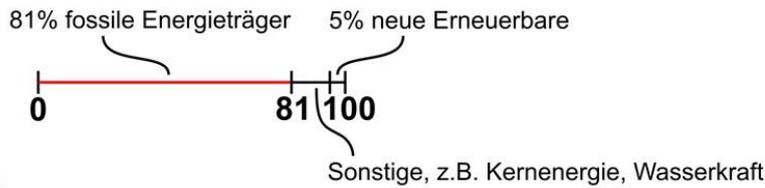


Abb. 6 Energiesituation 2019

Energiestatus 2050 (gemäß Referenzszenario)

10 Milliarden Menschen (Peak der Weltbevölkerungsentwicklung?!)

Welt-BIP 140 Billionen Euro; deutlich verbesserte Wohlstandssituation

in den Entwicklungs- und Schwellenländern / Umsetzung der SDGs

(bei starker staatlicher Führung)

Zusammensetzung der genutzten Primärenergie:

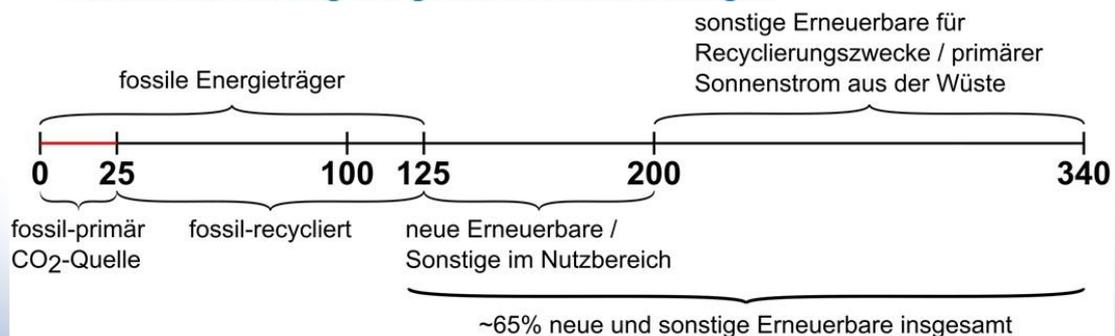


Abb. 7 Energiesituation 2050

Wege zu Methanol (CH₃OH) und Einsatzfelder

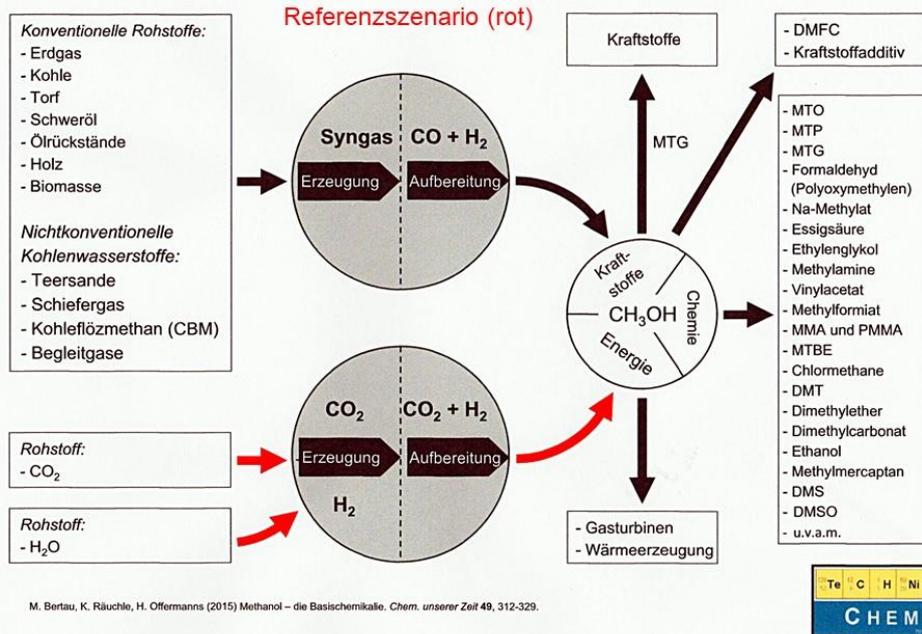


Abb. 8 Wege zu Methanol (CH₃OH) und Einsatzfelder

Literatur

1. BDBe, DVFG, MEW, MVaK, MWV, UFOP, UNITI und VDB Verbände: Allianz für grüne Kraftstoffe: Klimaziele im Verkehr sind nur mit CO₂-armen Kraftstoffen zu erreichen. Berlin, 03.04.2019
2. Bertau, M., Offermanns, H., Plass, L., Wernicke, H.-J. (Hrsg.): Methanol: The Basic Chemical and Energy Feedstock of the Future: Asinger's Vision Today. Springer, 2014
3. Club of Rome, Senat der Wirtschaft: Migration, Nachhaltigkeit und ein Marshall-Plan mit Afrika, Denkschrift für die deutsche Bundesregierung, November 2016
4. Crowther, T.W. et al.: Mapping tree density at a global scale, Nature 525, 201-205, 2015
5. Crowther, T.W. et al.: Predicting Global Forest Reforestation Potential, bioRxiv, doi:<https://doi.org/10.1101/210062>, 2017
6. Gabriel, S., Radermacher, F.J., Rüttgers, J.: Europa fit machen für die Zukunft – Ein Beitrag zur Europawahl. Ultrakurzvariante. Senat der Wirtschaft Deutschland und Senate of Economy Europe, März 2019
7. Hüttl, R.F., Bens, O., Schneider, B.U.: Klimaänderung im System Erde: Minderung oder Anpassung? Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, 2012
8. IEA World Energy Balances database © OECD/IEA 2018, www.iea.org/statistics
9. Müller, G.: UNFAIR! Für eine gerechte Globalisierung, Murmann Publishers, 2017
10. Nair, C.: The Sustainable State – The Future of Government, Economy, and Society. Berrett-Koehler Publishers, 2018
11. Offermanns, H.: Ein Institut und eine Vision. In: Nachrichten aus der Chemie 64, April 2016 www.gdch.de/nachrichten
12. Offermanns, H., Effenberger, F., Keim, W., Plass, L.: Solarthermie und CO₂: Methanol aus der Wüste, erschienen in: Chemie – Ingenieur – Technik, 2017
13. Olah, G.A., Goeppert, A., Prakash, G.K.S.: Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy. Wiley-VCH Verlag, 3. Auflage, 2018
14. Quicker, P., Weber, K. (Hrsg.): Biokohle. Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Biomassekarbonisation. Springer Vieweg, 2016
15. Radermacher, F.J., Beyers, B.: Welt mit Zukunft. Die ökosoziale Perspektive. Murmann, 1. Auflage 2007, überarbeitete Auflage 2014
16. Radermacher, F.J.: Der Milliarden-Joker – Freiwillige Klimaneutralität und das 2°C-Ziel, Murmann Verlag, 2018
17. Radermacher, F.J.: Der Marshall Plan mit Afrika – ein Ansatz zur Umsetzung der Agenda 2030?! erscheint in: Herlyn, E.; Lévy-Tödter, M. (2019): Die Agenda 2030 als 'Magisches Vieleck' der Nachhaltigkeit: Systemische Perspektiven, Springer-Gabler, Wiesbaden.

18. Siegemund, S., Schmidt, P. et al.: The potential of electricity-based fuels for low-emission transport in the EU, "E-FUELS" Study. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) und Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST), schöne drucksachen GmbH, Berlin, 11/2017
19. World Energy Council/Weltenergieerat Deutschland: Internationale Aspekte einer Power-to-x Roadmap. frontier economics, 18. Oktober 2018

Danksagung

Der Autor dankt den Herren Heribert Offermanns und Ludolph Plass für die vielen Hinweise zu Methanolökonomie, ohne die dieser Text nicht entstanden wäre sowie Herrn Jürgen Dollinger und Herrn Michael Gerth vom FAW/n für die Unterstützung bei der Datenbeschaffung und den Berechnungen in den Szenarien. Herrn Frithjof Finkbeiner – und seinem Sohn Felix – (Plant-for-the-Planet) gilt der Dank für die langjährige Zusammenarbeit in den Themenbereichen Aufforstung und Desertec. Frau Prof. Estelle Herlyn (FOM) danke ich für die kritische Begleitung der Überlegungen und viele wichtige Hinweise.