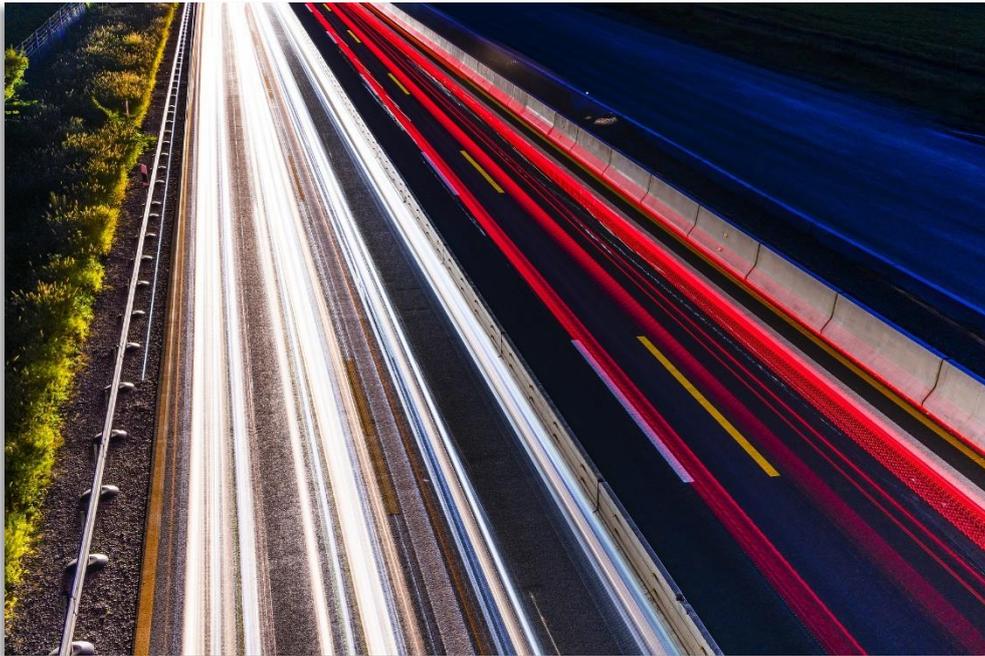


WELTWEITE HERAUSFORDERUNGEN IN DEN BEREICHEN ENERGIE UND KLIMA

ZENTRALE ROLLE VON GRÜNEM WASSERSTOFF UND REFUELS

Franz Josef Radermacher



WELTWEITE HERAUSFORDERUNGEN IN DEN BEREICHEN ENERGIE UND KLIMA

ZENTRALE ROLLE VON GRÜNEM WASSERSTOFF UND REFUELS

Franz Josef Radermacher¹

28. Januar 2021

¹ 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.

Mit Unterstützung durch Prof. Dr. E. Herlyn, FAW/n und FOM (Hochschule für Oekonomie & Management, Düsseldorf) und weiteren Mitarbeitern des FAW/n, sowie Mitgliedern des Vorstands von Global Energy Solutions e.V., Ulm. Herr Dollinger, FAW/n, war wesentlich in die Zusammenstellung des zugrundeliegenden Datenmaterials eingebunden.

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

Titelbild: FelixMittermeier ([Pixabay](#))

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Aufgabenstellung | 6 |
| I. Einführung | 7 |
| II. Zur Debatte: Herausforderungen, Irrtümer, Lösungsansätze | 12 |
| (1) Die Folgen von Kopenhagen (2009) | 12 |
| (2) Die Sonderrolle von China | 13 |
| (3) Fixierung auf Elektromobilität..... | 16 |
| (4) Klima, Energie, Nachhaltigkeit und Weltbevölkerungsentwicklung..... | 16 |
| (5) Bausteine für eine Lösung der Probleme | 18 |
| (6) Regulative Anforderungen an einen European Green New Deal | 19 |
| III. Auf dem Weg zu reFuels | 21 |
| (1) Energie und Klima | 21 |
| (2) Können die Klimaziele erreicht werden? | 24 |
| (3) Die neuen Lösungsbausteine..... | 26 |
| (4) reFuels und Kostenfragen..... | 36 |
| (5) CO ₂ -Recycling..... | 39 |
| (6) Projekte zu reFuels..... | 41 |
| IV. Nature-based Solutions/ Negativemissionen | 43 |
| (1) Negativemissionen | 43 |
| (2) Massive Aufforstung (vor allem auf degradierten Böden in den Tropen) | 45 |
| (3) Regenwalderhalt..... | 45 |
| (4) Humusbildung in der Landwirtschaft | 46 |
| (5) Zur Finanzierung der Nature-based Solutions..... | 47 |
| V. Zusammenfassung | 50 |

| | |
|--|-----------|
| Anhänge | 51 |
| (1) Paris-Lücke / Weltbevölkerungsentwicklung / Wachstum der CO ₂ -Emissionen ... | 51 |
| (2) Klimaneutralität, CO ₂ -Recyclierung, reFuels..... | 58 |
| (3) Methanol – ein wichtiger Baustein im Puzzle | 62 |
| (4) Die USA und Shell-Gas-Produktion..... | 65 |
| (5) Wettrennen in der Arktis | 67 |
| Literatur | 69 |

Verzeichnis der Informationsboxen

| | |
|---|----|
| Infobox 1. Moralisieren, statt den Kern der Probleme in Angriff nehmen..... | 13 |
| Infobox 2. Energiewende, Handelshindernisse und Desertec | 28 |
| Infobox 3. Grüner Stahl in Deutschland?! | 32 |
| Infobox 4. Was tun mit den weltweit immer zahlreicheren Kohlekraftwerken? | 40 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1. Reduktionspfade in der Logik des Paris-Abkommens..... | 52 |
| Abbildung 2. Die zukünftig größten Städte der Welt..... | 54 |
| Abbildung 3. Emissionseinsparpotentiale und drohende Emissionszuwächse | 56 |
| Abbildung 4. Prognostizierter weltweiter Primärenergieverbrauch bis 2040 | 57 |
| Abbildung 5. Status Quo in einem Klimabilanzbeispiel | 59 |
| Abbildung 6. Zukunft in einem Klimabilanzbeispiel..... | 59 |
| Abbildung 7. Klimaneutrales Kraftwerk in einem Klimabilanzbeispiel..... | 60 |

AUFGABENSTELLUNG

*Gemäß Beauftragung durch das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg,
Dorotheenstraße 8, 70173 Stuttgart*

Erstellung eines Diskussionspapiers zum Umgang mit den Herausforderungen in der Energie- und Klimapolitik mit Schwerpunkten auf folgenden Bereichen:

- Globaler Ansatz unter Nutzung der Standortvorteile
- Herstellung von Grünem Wasserstoff als weltweit nutzbarer Energiespeicher und als Basis für Methanol, reFuels und chemische Industrie
- CO₂ als Rohstoff und Recycling von CO₂
- gegenwärtige Stromerzeugung und die Nachteile der Erdgas- und Ölförderung u.a. beim Fracking und in Polarregionen
- Ansätze für Negativemissionen und deren Finanzierung

Aufgabe des Dienstleisters ist es, im Diskussionspapier die skizzierten Zusammenhänge aufzuarbeiten und dabei die globalen Zusammenhänge zu betrachten und möglichen Entwicklungen aufzuzeigen. Dieses soll als Argumentationsgrundlage dazu dienen, politische Maßnahmen für reFuels hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Klima und andere SDGs einschätzen zu können. Auf dieser Basis kann sich das Land bzw. das VM in die entsprechenden Diskussionen auf den Ebenen von Bund und Europäischer Kommission fundiert einbringen.

Hinweis: In einem Begleitdokument werden 4 weitere Informationsquellen in den Kontext der Erörterungen des vorliegenden Diskussionspapiers gestellt. Dies sind:

- (1) Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2020): Pariser Klimaziele erreichen mit dem CO₂-Budget, Umweltgutachten 2020
- (2) Wuppertal-Institut (2020): CO₂-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze
- (3) Landesverband Erneuerbare Energien NRW e.V.; Wuppertal Institut (2020): Bewertung der Vor- und Nachteile von Wasserstoffimporten im Vergleich zur heimischen Erzeugung
- (4) der mit hoher Medienwirksamkeit Anfang Dezember 2020 ausgestrahlte Film „Ökozid“

I. EINFÜHRUNG

*Das vorliegende Diskussionspapier ist eingebettet in eine grundsätzliche Fragestellung: Gibt es noch eine realistische Chance, eine Klimakatastrophe in Form eines durchschnittlichen globalen Temperaturanstiegs um mehr als 2°C im Verhältnis zur vorindustriellen Zeit zu verhindern, und das in wohlstands- und freiheitskompatibler Art und Weise. Besonders kritische Themen sind in diesem Kontext **Kohlekraftwerke, Automobile mit Verbrennungsmotoren, Stahlproduktion und Zement**. Im Bestand geht es dabei bei Kohlekraftwerken weltweit um 10 Milliarden bzw. in den drei anderen Bereichen jeweils um mehr als 5 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr – Tendenz steigend. Das sind in der Summe mehr als 70 % der weltweiten CO₂-Emissionen im energienahen Bereich. Hier muss dringend etwas passieren. Sogenannte **reFuels** spielen in diesem Kontext eine große Rolle.*

Da sich die afrikanische Bevölkerung bis 2050 auf 2,4 Milliarden Menschen verdoppeln wird und in den nächsten 10 Jahren in Afrika mehr gebaut werden wird als in Europa im letzten Jahrhundert, sind die Dimensionen und Erfordernisse bei diesem Thema offensichtlich. Es spricht in einer Gesamtabwägung von Chancen und Risiken vieles dafür, dass eine katastrophale Entwicklung im Klimabereich mit einem Temperaturzuwachs von 3°C und mehr bis 2100 nicht mehr verhindert werden kann. Diese Sorge findet sich auch im jüngsten Emissions Gap Report von UNEP.

Zur Einordnung der Diskussionen im vorliegenden Text ist Folgendes zu beachten: Seit Beginn der Industrialisierung wurden durch menschliche Aktivitäten schon mehr als 2.000 Milliarden Tonnen CO₂ (Kohlendioxid) in die Atmosphäre entlassen. Aktuell sind es etwa 36 Milliarden Tonnen pro Jahr im energienahen Bereich. Die globale Durchschnittstemperatur ist dadurch bereits um rund 1°C gestiegen. Die mit Abstand meisten CO₂-Emissionen unter den Staaten der Welt erzeugt China, nämlich rund 30 Prozent. China legt zudem Wert darauf, als „Entwicklungsland“ seine Emissionen noch bis 2030 steigern zu dürfen. Kohlekraftwerke sind für CO₂-Emissionen eine dominante Größe. Es geht um etwa 10 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr. Davon entfallen etwa 7 Milliarden alleine auf China. China hat Kohlekraftwerke mit mehr als 1.000 Gigawatt Leistung in Betrieb. Wie soll bei derartigen Gegebenheiten das 2°C-Ziel erreicht werden? Von einem 1,5°C-Ziel erst gar nicht zu reden.

Wenn eine Klimakatastrophe tatsächlich mit den heute in der Politik dominierenden Strategien noch verhindert werden kann, dann aus Sicht des Autors am ehesten über 2 Mechanismen:

- (1) In der reichen Welt die Verfolgung von staatlichen Zwangsmaßnahmen zur Durchsetzung massiver Lebensstilveränderungen (manchmal auch als „Ökodiktatur“ bezeichnet), die mit einer **generellen Verarmung** verbunden sein würden. Dabei würde folgende Logik umgesetzt: Das Klimaproblem ist offensichtlich die Folge menschlicher Aktivitäten, die mit wachsendem Wohlstand zunehmen. Also muss man diese zurückbauen, z. B. durch Vernichtung von Eigentumswerten und durch Freiheitsbeschränkungen.
- (2) Für die heute arme Welt mit weiter rasch wachsender Bevölkerung ist ein anderer Weg erforderlich. Letztlich müssen die Menschen arm bleiben, was vielleicht leichter vermittelt werden kann, wenn die Bevölkerung in der reichen Welt ärmer wird. Wenn es über die internationalen Finanzierungsprogramme im Energiesektor und den Einsatz bzw. Nichteinsatz der weltweiten Mittel für Entwicklungszusammenarbeit und der versprochenen Mittel für einen Klimafinanzausgleich gelingen würde, diese Länder auf einen – dort in der Breite nicht bezahlbaren – grünen Entwicklungspfad mit nur noch grünem Strom und Elektroautos zu „zwingen“, könnte dies zu dem beschriebenen Ergebnis, also zur Perpetuierung der Armut, führen. Für die Hoffnungen der Menschen in den ärmeren Ländern wäre das eine Katastrophe, für das Klima der vielleicht wichtigste hilfreiche Effekt über die Verhinderung weiterer Erfolgsbeispiele vom Typ China.

All das würde voraussichtlich massive Zwangsmaßnahmen beinhalten müssen. Das sich weltweit ein Verarmungsprogramm als Politiklinie durchsetzen lässt, erscheint allerdings als nicht besonders plausibel. Es gibt aber mittlerweile Stimmen, die solche Entwicklungen zum Schutz des Klimas als unvermeidbare Notwendigkeit akzeptieren, wobei die Wohlstandsverluste dann manchmal als ein „besseres Leben“ umgedeutet werden. Andere Akteure sehen die Corona-Erfahrungen als Blaupause. Der Staat muss hart durchgreifen, vieles verbieten, massiv veränderte Lebensstile durchsetzen, um existentielle Risiken im Klimabereich abzuwenden. Als neue Vokabel findet der Begriff **Klima-Lockdown** Verwendung.

Der Klima-Lockdown ist aber aus Sicht des Autors kein tragfähiges Programm. Dieser Ansatz ist bis auf weiteres weder konsensfähig noch durchsetzbar. Er könnte auch in Deutschland zu einer Spaltung der Gesellschaft führen. Es gibt bisher keine offene politische Unterstützung für diesen Weg. Moralische Aufrüstung, nationale Alleingänge und Panik in Deutschland bzw. in weiteren wohlhabenden Ländern helfen im Übrigen nicht bei der Stabilisierung der Klimasituation. Denn das Klima ist ein weltweites und kein nationales Thema. Anstrengungen vor Ort laufen ins

Leere, wenn sie durch gegenläufige Entwicklungen in anderen Teilen der Welt konterkariert werden. Ein interessanter **Cartoon** zeigt ein Boot, bei dem im vorderen Teil Wasser durch ein kleines Leck eindringt. Menschen der reichen Welt mit teurem Equipment sind darum bemüht, diesen kleinen Wassereinbruch zu beheben. Gleichzeitig wird im hinteren Teil des Bootes ein massiver Wassereinbruch nicht adressiert. Vertreter der armen Welt sind dort mit ganz anderen Problemen beschäftigt. Unterstützung wird ihnen nicht zuteil. Natürlich wird dieses Boot zum Schluss sinken. Vorher wird die Panik wachsen. Die Aktivitäten an dem kleinen Loch werden verstärkt werden, getreu dem Motto „als sie ihr Ziel aus den Augen verloren hatten, verdoppelten sie ihre Anstrengungen“.

Auf welche Optionen setzt der vorliegende Text? Nach aller Erfahrung sind **kluge neue technische Lösungen** der Schlüssel für einen tragfähigen Weg in die Zukunft – wenn sie denn noch rechtzeitig hervorgebracht werden können. Beispielgebend ist die zügige Impfstoffentwicklung gegen das SARS-CoV2-Virus. Oder die Entwicklungen vor 300 Jahren zu Zeiten von Carl von Carlowitz, als die Wälder aufgrund der unaufhaltsam erscheinenden Abholzung das kritische Energie- und Nachhaltigkeitsthema waren. Die Wälder bildeten damals den zentralen energetischen Engpass. Sie wurden damals nicht durch moralisierende Debatten gerettet, die es auch gab, sondern erst später durch die **Erfindung der Dampfmaschine** und nachfolgend durch die massive Aktivierung von Kohle (aus den „unterirdischen“ Wäldern). Die Folge waren **drei industrielle Revolutionen**, damit mittlerweile verbunden eine Vergrößerung der Zahl der Menschen auf der Erde um den Faktor 10, des Wohlstands um den Faktor 100. Diese Erfolge werden heute gerne übersehen. Es wird so getan, als ginge bald die Welt unter, als wäre alles schlecht.

Wenn man allerdings Menschen, gerade auch junge Menschen fragt, ob sie lieber vor 100, 200 oder sogar 500 Jahren, z. B. zur Zeit der „Eroberung“ der Neuen Welt gelebt hätten, wird abgewunken. Insbesondere junge Frauen treffen eine klare Entscheidung für die heutige Welt. Und übrigens auch die Menschen in den Entwicklungs- und Schwellenländern. Dort lautet überall das Ziel **nachholender Wohlstand**. So hat das schon Indira Gandhi 1972 bei der ersten Weltumweltkonferenz in Stockholm postuliert. **„Erst nachholender Wohlstand, dann die Umwelt“**, lautet bis heute das häufig zu hörende Credo. Das heutige Klimaproblem resultiert vor diesem Hintergrund nicht primär aus „bösen“ Taten der reichen Welt. Es resultiert vielmehr aus den Erfolgen bzgl. der Verbesserung des Lebensstandards von Milliarden Menschen, insbesondere hunderter Millionen Menschen in China, die genau den Lebensstandard erreichen wollen, der bei uns gerne schlecht geredet wird.

Deutlich wird allerdings auch, dass der Erfolg der industriellen Fortschritte der letzten 3 Jahrhunderte nun im Sinne eines **Rebound-Effekts** diejenigen Probleme zur Folge hat, mit denen wir heute konfrontiert sind. So wissen wir heute, dass die Kohle und allgemeiner die fossilen Energieträger, uns über die erzeugten CO₂-Emissionen ein neues Problem beschert haben, seitdem immer mehr Menschen in die Nutzung dieser Energieträger eingestiegen sind. Noch einmal: Die sich jetzt andeutende Klimakatastrophe resultiert nicht aus den CO₂-Emissionen der reichen Länder, wie immer gerne behauptet wird, sondern daraus, dass die Menschen in ärmeren Ländern so leben wollen wie die Menschen in den reichen Ländern, wobei die Bevölkerung in vielen ärmeren Ländern gewaltig gewachsen ist und teilweise noch weiter wächst. Erfolgreiche wirtschaftliche Aufholprozesse dieser Länder, die aus anderen Gründen sehr gewollt und in der Sache völlig legitim und berechtigt sind, bilden heute das dominante Problem im Klimabereich. In der Folge ist China heute bei weitem der größte CO₂-Emittent unter den Staaten. Und die absehbaren Entwicklungen auf dem afrikanischen Kontinent und dem indischen Subkontinent werden die Situation massiv verschärfen.

Kann es trotzdem eine Lösung geben? Aus Sicht des Autors wird auch dieses Mal die Technologie die Lösung sein, wenn eine Bewältigung der Energie- und Klimakrise für 10 Milliarden Menschen in 2050 in einer Umgebung von Wohlstand und Freiheit überhaupt gelingen sollte. Das vorliegende Diskussionspapier versucht dazu aufzuzeigen, wie verschiedene vorhandene Lösungsbausteine in einem funktionierenden Gesamtpuzzle mit Blick auf die weltweiten Herausforderungen geeignet zusammengebunden werden können, um die Herausforderungen noch zu bewältigen. Sogenannte **reFuels** spielen dabei eine wichtige Rolle. Besonders beleuchtet werden in dem vorliegenden Dokument dabei gemäß der Aufgabenstellung die folgenden Themen:

- ✓ Globaler Ansatz unter Nutzung der spezifischen Standortvorteile
- ✓ Herstellung von Grünem Wasserstoff als weltweit nutzbarer Energiespeicher und als Basis für Methanol, reFuels und die chemische Industrie
- ✓ CO₂ als Rohstoff und Recycling von CO₂
- ✓ Gegenwärtige Stromerzeugung und die Nachteile der Erdgas- und Ölförderung u.a. beim Fracking und in Polarregionen
- ✓ Ansätze für Negativemissionen und deren Finanzierung

In der Gesamtschau sind einige knifflige Fragen anzugehen. Was versteht man genau unter einer Mehrfach-Recyclingung von CO₂ in einer **Circular Carbon**

Economy? Sind synthetische Kraftstoffe als klimaneutral anzusehen? Dies mindestens in dem Sinne, wie heute Elektroautos als klimaneutral bezeichnet werden und das Verbrennen von Holz, z. B. als Pellets, als klimaneutral akzeptiert wird. Wichtig sind auch die Kosten für synthetische Kraftstoffe auf Methanol-Basis in einem globalen Lösungsansatz. Auf diese Frage versucht das Diskussionspapier Antworten zu geben.

II. ZUR DEBATTE: HERAUSFORDERUNGEN, IRRTÜMER, LÖSUNGSANSÄTZE

Die Probleme im Klimabereich resultieren aus einem fehlenden internationalen Konsens über Vorgehensweisen und Lastenaufteilung für ein konsequentes globales Klimaregime. Der Versuch einer Konsenslösung wurde 2009 mit dem Scheitern der Weltklimakonferenz in Kopenhagen aufgegeben. Diese Situation ermöglichte in der Folge China ein gigantisches Wirtschaftswachstum zu Lasten des Klimasystems, von dem viele Staaten auf der Welt profitiert haben, insbesondere auch Deutschland. Zugleich verlagerte sich die „Arena“ für Maßnahmen für Entwicklung und Klima mit dem Paris-Vertrag und den SDGs in 2015 zurück in die nationalen Politikfelder, die aber für die Herausforderungen völlig inadäquat sind. Man kann das gut an den hohen Ausgaben für Elektromobilität in Deutschland studieren, während die großen Treiber für die Klimakatastrophe in den Entwicklungs- und Schwellenländern mit rasch wachsender Bevölkerung kaum adressiert werden. Weltweite Lösungen müssten sich mit der rasch wachsenden Zahl der Kohlekraftwerke rund um den Globus, dem Bestand an Fahrzeugen mit Verbrennermotoren und der Situation bei Stahl und Zement beschäftigen, und zwar mit bezahlbaren, weltweit nutzbaren Lösungen. Das geschieht nicht. Im Gegenteil wird teilweise heftig gegen reFuels für Fahrzeuge mit Verbrennermotoren und CO₂-Recycling bei Stahl und Kohle argumentiert. Die Potentiale, die in einer klugen Zusammenarbeit mit Partnern in Afrika liegen, werden kaum aktiviert – stattdessen hofft man mit einem „European Green New Deal“ auf eine „doppelte Dividende“, mit der die negativen Folgen der Corona-Pandemie überwunden werden sollen, gleichzeitig die soziale Balance erhalten wird, der Wohlstand steigen soll und Klimaneutralität erreicht wird. Das ist ein „Traumprogramm“ für eine andere Welt. Die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie will man dazu über WTO-konforme Grenzausgleichsabgaben absichern – machtpolitisch und rechtlich eine Illusion.

(1) DIE FOLGEN VON KOPENHAGEN (2009)

Die Anstrengungen der Weltgemeinschaft zu einer tragfähigen Lösung des Weltklimaproblems in einem funktionsfähigen Gesamtsystem endeten mit der Weltklimakonferenz in **Kopenhagen**, auf die sehr große Hoffnungen gesetzt wurden [37, 41]. Die zentrale Leitidee war ein weltweites *Cap and Trade*-System auf der Basis von **Klimagerechtigkeit** [39]. Kopenhagen scheiterte an einem Veto der beiden entscheidenden Akteure im Klimabereich, USA und China. Die USA hatte schon immer gegen den Gedanken der Klimagerechtigkeit (alle Menschen haben die gleichen primären CO₂-Emissionsrechte, die allerdings zwischen den Staaten

gehandelt werden dürfen) argumentiert, weil das für sie eine Form von **Kommunismus** war. Warum sollten die USA für ihre Bürger mit denselben CO₂-Primärrechten zufrieden sein, wie sie auch Menschen in ärmeren Ländern zugestanden würden, die wie Indien massiv wachsende Bevölkerungen aufweisen. China wiederum wollte sich in seinen Wachstumsambitionen nicht durch hohe Kosten für benötigte Energie für die eigenen Industrialisierungsprozesse behindern lassen.

(2) DIE SONDERROLLE VON CHINA

Die Welt hat die chinesische Position ohne Diskussionen akzeptiert. China war noch ein Entwicklungsland. Es hatte nach allgemeiner Meinung das Recht auf **nachholende Entwicklung**, auch wenn das die Umwelt massiv schädigt. Denn die Industriestaaten hatten diesen Weg ja vorgelebt. Die Industriestaaten wiederum haben massiv von den chinesischen Industrialisierungsprozessen profitiert. Diese haben das Weltwirtschaftswachstum über drei Jahrzehnte massiv „befeuert“. China war in diesem Sinne auch ein Vehikel für die Industrieländer, zusätzlichen Wohlstand durch Externalisierung von Umweltkosten zu generieren und davon zu profitieren, ohne dafür selber am Pranger zu stehen [39]. Alle Beteiligten wollten nicht erkennen, dass sie auf dem Weg in eine veränderte Welt waren, in der sich viele Probleme in anderer Weise stellen als früher. In einer aktuellen, sehr umfassenden Club of Rome Publikation [47] wird hierfür der Begriff der „**vollen Welt**“ verwendet in Abgrenzung zur Vergangenheit, die im Vergleich als „leere Welt“ bezeichnet wird.

In Kopenhagen wurde dann tragischerweise fast achtlos wohl die letzte Chance auf eine ‚sanfte‘ Lösung der Weltklimaprobleme aus Dummheit und Egoismus verspielt. NGOs überall auf der Welt haben dieses Scheitern zunächst heftig beklagt, dann aber die in Kopenhagen erfolgte weitgehende **Nationalisierung der Klimathematik** akzeptiert und sich in Richtung nationaler „Bühne“ umorientiert. Die Klimathematik wurde dabei in den letzten Jahren emotional immer stärker aufgeladen. Man fokussiert sich dabei gerne auf „Nebenkriegsschauplätze“, vgl. die nachfolgende Informationsbox 1.

Infobox 1. Moralisieren, statt den Kern der Probleme in Angriff nehmen

Der weltweite Flugverkehr erzeugte je nach herangezogener Quelle pro Jahr etwa 500-900 Millionen Tonnen CO₂ (vor Corona), der

Schiffsverkehr 700-950 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr. Kreuzfahrtschiffe haben nur einen kleinen Anteil (20-25 Millionen Tonnen). Pro Passagier liegt man bei Kreuzschifffahrten im Mittel unter 1 Tonne CO₂ pro Reise, weniger als bei weiten Interkontinentalflügen. Das sind also vergleichsweise kleine Mengen CO₂, wenn man dies z. B. mit 5 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr aus Fahrzeugen mit Verbrennermotoren, 5 Milliarden Tonnen CO₂ aus dem Bereich Stahl, 6 Milliarden Tonnen bei Zement und 10 Milliarden Tonnen aus Kohlekraftwerken (weit überwiegend in China), vergleicht. Von Afrika her wird bald die nächste Welle anrollen.

Über diese großen Problembereiche wird wenig geredet. Ohne die Fahrzeuge mit Verbrennermotoren kann es weltweit zu einem Kollaps ganzer Gesellschaften kommen. Ohne Stahl und Zement können weder 2,5 Milliarden Menschen bis 2050 zusätzlich in die Weltgemeinschaft integriert werden, noch kann der Weg in die erneuerbare Energie (z. B. Windkraft) weiter beschritten werden. Die vielen Kohlekraftwerke sind da, vor allem in China. Wer will sich schon mit China (einem „selbsternannten“ Entwicklungsland) anlegen und wer mit den Menschen in Afrika mit ihren legitimen Wohlstandsbedürfnissen. Alternativen, z.B. grüner Strom in Afrika, will niemand finanzieren. Wir brauchen unser Geld für erneuerbare Energie in Deutschland. Synthetische Kraftstoff für PKWs mit Verbrennermotoren will man auch nicht. Das könnte in Deutschland die Fokussierung auf die Elektromobilität stören. CO₂-Recycling bei Stahl- und Kohlekraftwerken will man häufig auch nicht, z. B. wegen befürchteter Lock-In-Effekte. Das könnte außerdem Fragen nach der Sinnhaftigkeit der favorisierten teuren deutschen Wasserstofflösung für Stahl- und Zementwerke und der gebetsmühlenartigen Forderung nach Abschaltung der Kohlekraftwerke befördern.

Also klammert man all diese Themen lieber aus und konzentriert sich auf Flugzeuge, Schiffsfahrten und vor allem Kreuzschifffahrts-Touristen. Das betrifft eher wohlhabendere Menschen bzw. Touristen, damit anzahlmäßig vergleichsweise wenige Menschen, denen ohnehin viel geneidet wird. Diese kann man an den Pranger stellen, die sind schuld. Und je nach Sozialisation sind sie empfänglich für ein schlechtes Gewissen und bereit zur „Buße“. Das kann man ausnutzen. Diese Menschen sollen ihren Lebensstil ändern, auch wenn die

Klimaeffekte solcher Änderungen nur gering wären und die Debatten darüber eher vom Wesentlichen ablenken.

In der Folge von Kopenhagen verlagerte sich insofern die Klimapolitik auf freiwillige nationale Maßnahmen, sog. Nationally Determined Contributions (NDCs), die den Kern des **Paris-Abkommens** von 2015 bilden, die aber natürlich nach allem, was heute absehbar ist, das Klimaproblem nicht lösen können. Die Zusagen heute bestehender NDCs würden nicht einmal für die 3°C-Grenze reichen. Denn sie müssen ja logischerweise weit hinter den nicht erreichten Kopenhagen-Kompromiss zurückfallen. Deshalb müssten die NDCs massiv nachgebessert werden. Dazu gibt es aber keinen breiten Konsens, weil das massive Wohlstandseinbußen für jedes betroffene Land zur Folge haben kann. Die NDCs ärmerer Länder sind zudem meist an Geldzuflüsse aus reichen Ländern gekoppelt. Z. B. stehen 100 Milliarden Euro **Klimafinanzausgleich** ab 2020 im Raum. Aber das ist lediglich die Ebene der Worte. Die Zahlungen werden, wie so oft im internationalen Bereich, bei weitem nicht in dem erhofften Maße erfolgen. Die Reduktionen der CO₂-Emissionen dann aber auch nicht.

Die deutsche Klimapolitik hat sich in der Folge weit überwiegend auf das „**Spielfeld**“ **Deutschland** verlegt. Das gilt auch für fast alle NGOs und Umweltschützer. Bei den SDGs ist es ähnlich. **National können Akteure sichtbar punkten**. Im Klimabereich geht es in Deutschland z.B. um den Ausstieg aus der Kernenergie, das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), den Ausstieg aus der Kohle, im sozialen Bereich um Genderfragen und die Frauenquote. Hinter all diesen Themen und Maßnahmen stehen wichtige Anliegen. Aber sie haben wenig mit der Vermeidung einer Klimakatastrophe zu tun [21, 27, 28, 43, 50]. Weil entsprechende nationale Politikprogramme das Weltklimaproblem natürlich nicht lösen können – und ebenso wenig die Entwicklungsanliegen der Welt [28, 37]. Die Zukunft all dieser Themen wird vor allem bestimmt durch die weiteren Entwicklungen in **China, Indien und auf dem afrikanischen Kontinent**. Dort müsste man abgestimmte Lösungsbeiträge befördern und dazu auch viel Geld als verlorene Zuschüsse einsetzen. Da es um eine Schicksalsfrage für die Menschheit, wie insbesondere auch für die Menschen in Europa/Deutschland geht. Aber Geld in Form verlorener Zuschüsse für sinnvolle Maßnahmen im Ausland ausgeben will niemand gerne. Insbesondere sträubt sich der Wähler. Dann doch lieber die vielen sozialen und ökologischen Probleme zu Hause angehen, dafür das eigene Geld verwenden, auch zur Mobilisierung der eigenen Basis. Auch wenn so das Klimaproblem nicht verhindert werden kann. Das erinnert erneut an einen **Cartoon** mit Aha-Effekt. Ein

Betrunkener kreist, auf dem Boden etwas suchend, um eine Straßenlaterne! Kommt ein Passant vorbei und fragt: „Suchen sie etwas?“ „Ja, ich habe meinen Schlüssel verloren!“ Der Passant hilft dem Betrunkenen zu suchen, doch sie finden den Schlüssel nicht! Nach einer Weile fragt der Passant: „Sind sie sich sicher, dass sie den Schlüssel hier verloren haben?“ Da antwortet der Betrunkene: „Nein, ich habe ihn irgendwo da hinten verloren, aber hier ist der einzige Ort, wo es Licht gibt und man etwas sieht“.

(3) FIXIERUNG AUF ELEKTROMOBILITÄT

In Deutschland werden Illusionen über die eigene Politik besonders deutlich, wenn z.B. Lebensstilveränderungen in Richtung **Suffizienz** propagiert werden, aber ausgeklammert wird, was in der Folge mit dem durch einen bescheideneren Lebensstil eingesparten Geld auf dem eigenen Konto, das nun kontinuierlich anwächst, geschieht [37]. Illusionen betreffen auch die Fixierung auf die **Elektromobilität** im Bereich des Individualverkehrs. Solche Fahrzeuge werden trotz hoher damit einhergehender CO₂-Emissionen politisch-regulativ als klimaneutral eingestuft. Sie sind – teilweise verbunden mit Mehrfach-Anrechnung als Null-Emissionsfahrzeug in Flottenwerten von Automobilkonzernen – ein großes Geschäft für Tesla. Denn solche Anrechnungen können zwischen Automobilkonzernen gegen Zahlungen ausgetauscht werden. Die Welt kann diesen deutschen Weg nicht kopieren. Von den Geldvolumina unserer Prämien für Elektroautos leben in den ärmeren Teilen der Welt mehrere Familien ein ganzes Jahr lang. Es gibt einzelne Fälle, in denen jetzt auf diesen Wegen über unterschiedliche Förderungsinstrumente mehrere Tausend Euro pro eingesparter Tonne CO₂ aufgebracht werden [49]. Viele Menschen in Deutschland scheinen nicht nur in fast religiöser Verwirrung an die Elektromobilität zur Lösung der Klimaprobleme zu glauben, sondern wollen diese durch **Technologieverbote** vor „böser“ Konkurrenz, z. B. durch reFuels, schützen und bringen damit, ganz nebenbei, unsere Automobilindustrie in existentielle Schwierigkeiten. Das sind allesamt keine angenehmen Perspektiven. Warum ist die Situation so schwierig?

(4) KLIMA, ENERGIE, NACHHALTIGKEIT UND WELTBEVÖLKERUNGSENTWICKLUNG

Das Klimaproblem ist im Wesentlichen das Problem der Verfügbarkeit von Energie, die das Klima nicht belastet. Energie ist eine zentrale Voraussetzung für Wohlstand und den Bestand von Zivilisationen. Die Energieerzeugung erfolgt

weltweit bis heute weitgehend auf Basis fossiler Energieträger (immer noch 80%). Dies hat hohe CO₂-Emissionen zur Folge, die wiederum „Treiber“ des Klimaproblems sind.

Die aktuellen Herausforderungen sind vor dem Hintergrund großer weltweiter Armut und einer weiter rasant wachsenden Weltbevölkerung zu sehen. So wird die Weltbevölkerung in den nächsten 30 Jahren von heute 7,5 Milliarden auf 10 Milliarden Menschen wachsen. Der Zuwachs entspricht mehr als der 5,5-fachen Bevölkerungsgröße der EU. Jedes Jahr kommt auf der Welt die deutsche Bevölkerungsgröße hinzu, alle sieben Wochen die Bevölkerungsgröße Baden-Württembergs. Die afrikanische Bevölkerung wird sich in den nächsten 30 Jahren von heute 1,2 Milliarden Menschen auf 2,4 Milliarden Menschen verdoppeln. Seit der gescheiterten Weltumweltkonferenz von Stockholm 1972 ist die gleichzeitige Verfolgung der zwei Ziele

- (a) **nachholende Entwicklung** und
- (b) Schutz der Umwelt und des Klimasystems

das eigentliche **weltweite Nachhaltigkeitsproblem** [15, 43]. Bis heute gibt es dazu keinen wirklichen Durchbruch hin zur Verwirklichung der Ziele - weder mit den MDGs 2000-2015, noch mit den SDGs ab 2015, noch mit dem Paris-Vertrag (2015). Was es allerdings gibt, sind viele gute klingende Worte und große Illusionen. Dies wird verbunden mit einer Konzentration auf die Lösung von Problemen vor Ort in den Nationalstaaten, obwohl dies in globaler Perspektive oft eher kontraproduktive Folgen hat.

Die weltweiten CO₂-Emissionen wachsen bisher ständig weiter. China hat den größten Erfolg bei der Armutsüberwindung erreicht, aber heute zugleich auch die mit Abstand höchsten CO₂-Emissionen, von nämlich fast einem Drittel des weltweiten Gesamtumfangs. Das entspricht in etwa dem kumulierten Emissionsumfang der USA, Europas und Japans. Wenn Südasien und vor allem Afrika dem chinesischen Beispiel folgen, ist nicht einmal mehr an das Halten einer 3°C-Grenze zu denken. Wie schon erwähnt, hat jüngst auch UNEP im neuesten *Emissions Gap Report* große Sorgen in diese Richtung geäußert [44]. Details bezüglich der absehbaren Paris-Lücke bis 2050, der weiteren Entwicklung der Größe der Weltbevölkerung und der zu erwartenden Auswirkungen auf die weltweiten CO₂-Emissionen finden sich in Teil 1 des Anhangs.

Um Wohlstandsperspektiven für 10 Milliarden Menschen unter Bedingungen der Freiheit zu eröffnen, ist in jedem Fall ein kluges, bezahlbares Energiesystem für die Welt erforderlich, das

- (1) den vorhandenen Wohlstand erhält und erweitert, dies auch in den reichen Ländern
- (2) bis 2050 einen, wenn auch oft nur bescheidenen Wohlstand im Sinne der SDGs für alle dann 10 Milliarden Menschen ermöglicht, zugleich wegen des wachsenden Wohlstands dazu beiträgt, ein weiteres Wachstum der Weltbevölkerung über 10 Milliarden Menschen hinaus zu verhindern
- (3) das Klimasystem unterhalb eines globalen mittleren 2°C-Temperaturzuwachs im Verhältnis zur vorindustriellen Zeit zu stabilisieren erlaubt. Das 1,5°C-Ziel erscheint aus Sicht des Autors mit Blick auf 2050 als völlig unrealistisch.

All dies muss bei nach wie vor wachsenden weltweiten CO₂-Emissionen und einer wachsenden Weltbevölkerung gelingen [37, 45].

(5) BAUSTEINE FÜR EINE LÖSUNG DER PROBLEME

Die Ergebnisse, über die im Weiteren berichtet wird, zeigen, dass eine Transformation unserer Zivilisation zur **Klimaneutralität** für 10 Milliarden Menschen mit Wohlstandsperspektive und hoher Freiheit noch eine Chance hat. Das Ziel ist im günstigsten Fall bis 2050, vielleicht auch erst bis 2070 erreichbar. Ob gleichzeitig das 2°C-Ziel gehalten werden kann, ist selbst im günstigsten Fall fraglich. Der aufgezeigte Weg entspricht nicht den aktuellen Debatten im Bereich der internationalen Politik, die sich auch mehr als 5 Jahre nach Paris noch nicht einmal über die Ausgestaltung von **internationalen Kooperationsmechanismen im Klimabereich** einigen konnte. Dies ist ein massives politisches Versagen an entscheidender Stelle. Viele unterschiedliche Interessen, gerade auch im begleitenden NGO-Umfeld, verhindern eine Einigung. Noch weiter weg von weltweiten Lösungen ist die dominierende Debatte in Deutschland. Elemente der im vorliegenden Text diskutierten Vorschläge werden von Teilen der deutschen Umweltpolitik aktiv bekämpft – vielleicht aus Unverständnis. Das geht soweit, dass versucht wird, Mineralölkonzernen in Deutschland das Inverkehrbringen von synthetischen Kraftstoffen erheblich zu erschweren. Vielleicht, um den Weg in die Elektromobilität unumkehrbar zu machen. Das wird dem Klima nicht wesentlich helfen und kann unser Land industriepolitisch in eine massive Schieflage bringen. Eine technologieoffene Konkurrenz in dieser Frage wollen viele Akteure rigoros unterbinden.

Will man aber dem Weltklima helfen, muss es u.a. über den Einsatz von reFuels gelingen, die weltweite Bestandsflotte an Fahrzeugen mit Verbrennermotoren klimaneutral zu transformieren. Dies ist mit synthetischen Kraftstoffen möglich. Es geht dabei beim heutigen Bestand um **1,3 Milliarden Fahrzeuge** (davon vielleicht 1 Milliarde PKWs) und etwa um 5 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr (im PKW Bereich etwa 3,5 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr, mehr als das 4-fache der gesamten deutschen Emissionen). Die Zahl der betroffenen Fahrzeuge wird sich in den nächsten Jahrzehnten weiter vergrößern. Weil die Zahl der Menschen in den nächsten drei Jahrzehnten noch um 2,5 Milliarden Personen wachsen wird. Elektroautos sind für die große Mehrheit der Menschen auf dieser Welt keine bezahlbare Option. Das Ausphasen der Automobile mit Verbrennermotoren über Eingriffe der reichen Welt würde erhebliche Wohlstandverluste in ärmeren Ländern zur Folge haben.

In Deutschland wird von vielen auch die **Recyclierung von CO₂ aus Stahl- und Kohlekraftwerken** abgelehnt, wahrscheinlich, weil „nicht sein kann, was nicht sein darf“. Bei einem weltweiten Bestand von Kohlekraftwerken mit CO₂-Emissionen von mehr als 10 Milliarden Tonnen, der außerdem weiterwächst, ist eine solche Position unverständlich. Diese Kraftwerke werden noch Jahrzehnte in Betrieb sein. Wenn für sie keine Lösung gefunden wird, z.B. durch schrittweisen Umbau in klimafreundliche oder sogar klimaneutrale Kraftwerke, braucht man über das 2°C-Ziel nicht mehr zu reden. Einen solchen Umbau hat übrigens RWE schon für ein Kohlekraftwerk in den Niederlanden vorgenommen. Statt fossiler Energie wird dort heute Biomasse eingesetzt. Auch das Argument eines **drohenden Lock-in-Effekts** ist nicht nachzuvollziehen. Der Lock-in – wenn es denn einen solchen gibt – ist schon da. Nicht wegen wissenschaftlicher Überlegungen zur Sinnhaftigkeit des Abfangens von CO₂ aus Kohlekraftwerken, sondern wegen der ökonomischen Gegebenheiten.

(6) REGULATIVE ANFORDERUNGEN AN EINEN EUROPEAN GREEN NEW DEAL

Ein zentrales Thema muss aus deutscher Sicht die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft bei Umsetzung des vorgesehenen europäischen **Green New Deals** sein. Auch diese Herausforderung kann mit den heute vorliegenden Vorschlägen nicht bewältigt werden, da **Grenzausgleichsabgaben** im Klimabereich, wie sie von der EU angestrebt werden, einen Handelskrieg auslösen würden (die Situation gab es vor einigen Jahren schon einmal beim Versuch der EU, ausländische Fluglinien bei Nutzung

europäischer Flughäfen mit einer Klimaabgabe zu belasten. Die EU hat ihr Vorhaben schließlich abbrechen müssen). Hinzu kommt, dass solche Abgaben bei der heutigen Verhandlungslage zum Klima nicht WTO-klimakonform möglich sind [31, 40].

Lösungen für das Klimaproblem sind eventuell möglich in Zusammenarbeit mit unserem **Nachbarkontinent Afrika**. Das betrifft einerseits das Potential der Sonnenwüsten in Afrika und weltweit, ebenso das Potential für sogenannte „**Nature-based Solutions**“ in Afrika und weltweit [16]. Mit Bezug auf die Publikation [39] könnte über Nature-based Solutions in einem über 40 Jahre laufenden, ambitionierten weltweiten Roll-out eine Situation erreicht werden, bei der jährlich **zusätzlich 10 Milliarden Tonnen CO₂** im Verhältnis zu heute der Atmosphäre wieder entzogen werden (Negativemissionen/ biologische Sequestrierung). Das beinhaltet einerseits ein gigantisches „**Entwicklungsförderungsprogramm**“ mit vielen neuen Arbeitsplätzen für sich entwickelnde Staaten, andererseits die Schaffung notwendiger Voraussetzungen für entscheidende Eckpfeiler des in diesem Diskussionspapier vorgestellten Lösungsvorschlags für die weltweiten Energie- und Klimaprobleme, der in ein klimaneutrales Gesamtsystem mündet. Es ist schon tragisch, dass Kompensationen vom Typ Nature-based Solutions von einigen Klimaaktivisten als **Ablasshandel** und „**Mogelpackung**“ bekämpft werden. Aus philosophischer Sicht werden die Denkfehler bei dieser Argumentation in [14] detailliert diskutiert. Die vom BMZ im Umfeld der Klimakonferenz von Kattowitz 2018 gegründete **Allianz für Entwicklung und Klima**, die mittlerweile vom BMZ in eine Stiftung überführt wurde, widmet sich permanent der Überwindung dieser Denkfehler. Der UN-Generalsekretär hat jüngst beim Weltklimagipfel vehement für die Nutzung von Kompensationsmechanismen (**Offsetting**), gerade auch als freiwillige Maßnahme aus dem Privatsektor, argumentiert [18].

III. AUF DEM WEG ZU REFUELS

Kapitel 3 untermauert die Bedeutung der reFuels, insbesondere auch mit Blick auf den weltweiten Bestand an Automobilen mit Verbrennungsmotoren, aber auch mit Blick auf die Zukunft der individuellen Mobilität. Es gibt im internationalen Bereich einen engen Bezug zwischen reFuels und CO₂-Emissionen aus industriellen Prozessen und aus dem Kraftwerkbereich, der bis heute viel zu wenig gesehen wird. Es geht dabei u. a. um die Recycling von CO₂ aus Industrieprozessen und Kraftwerken (Carbon Capture and Usage, CCU) und den graduellen Umbau von Kraftwerken in Richtung Klimaneutralität. Zukünftig muss CO₂ mehrfach recycelt werden. In diesem Kontext wird ein Abnehmer und „Transporteur“ für CO₂ benötigt. Das ist eine „Leistung“ der reFuels. Die angesprochenen Zusammenhänge werden im Weiteren dargestellt.

(1) ENERGIE UND KLIMA

Im Mittelpunkt aller Überlegungen steht die Bewältigung der Klimakrise, die zentral mit der Energiefrage verbunden ist. Energie ist die Basis von Wohlstand. Insbesondere ärmere Menschen rund um den Globus wollen aus guten Gründen mehr Energie und damit mehr Wohlstand. Bundesentwicklungsminister Müller drückt das plakativ wie folgt aus: Jeder Mensch hat ein Recht auf einen Zugang zu einer Steckdose [27, 28]. Das ist auch die Position der Weltgemeinschaft in der Agenda 2030. Hier werden 7 % BIP Wachstum (klassischer BIP-Begriff) in ökonomisch zurückliegenden Ländern in SDG Nr. 8.1 als wünschenswert für Nachhaltigkeit genannt. Die daraus resultierenden Anforderungen, z. B. im Klimabereich, sind vor dem Hintergrund zu sehen, dass sich innerhalb von 30 Jahren die Weltbevölkerung um 2,5 Milliarden Menschen vergrößern wird. Jedes Jahr kommt, wie schon erwähnt, die Bevölkerungsgröße Deutschlands hinzu, alle 7 Wochen diejenige von Baden-Württemberg. In diesem Kontext sollte zumindest ein bescheidener Wohlstand für alle Menschen bis 2050 gesichert werden, der eine weltweite Einhaltung der Menschenrechte ermöglicht. Gelingt das, könnte dies wesentlich dazu beitragen, dass sich die Weltbevölkerungsgröße in 2050 endlich stabilisiert. Dass dies geschieht, ist aber alles andere als sicher. Gelingt das nicht, drohen katastrophale Verhältnisse (vgl. dazu Anhang 1).

China hat den Weg zur Überwindung der Armut von hunderten Millionen Menschen gewiesen. In Afrika und Indien werden Milliarden Menschen versuchen, diesem Weg zu folgen. Immer zu bedenken ist, dass alle diese hinzukommenden Menschen zu versorgen sind. Alle Menschen brauchen auf SDG-Niveau z. B. adäquate Infrastrukturen. Dazu gehören Häuser, Straßen, Verkehrssysteme,

Wasserversorgung, Strom- und Telekommunikationsnetze, Einkaufsmöglichkeiten, insbesondere auch Schulen, Hochschulen, Sportmöglichkeiten und kulturelle Einrichtungen und vieles mehr. Allein in Afrika wird wahrscheinlich in den nächsten 10 Jahren mehr Beton verbaut werden als in Europa im ganzen letzten Jahrhundert. So wie China in nur 3 Jahren mehr Beton verbaut hat, als die USA im ganzen letzten Jahrhundert. Der Zementanteil im Beton ist dabei ein relevanter Klimafaktor, ebenso sind es die CO₂-Emissionen bei Stahl. An den weltweiten CO₂-Emissionen im energienahen Bereich hat Beton / Zement einen Anteil von 6-9 %, Stahl einen Anteil von 5 %.

Gebraucht wird vor allem und für alles preiswerte Energie. Zu rechnen ist dabei mit einer anhaltenden **Externalisierung von Kosten**, z. B. in Bezug auf die Klimaverhältnisse, so wie wir es im Westen in der Industrialisierung ebenfalls gemacht haben und China es weiterhin tut. Bei Kohle ist China mit Abstand der größte Akteur. Die Nutzung fossiler Energieträger ist preiswert, wenn indirekte Kosten für die Umwelt aus der Betrachtung ausgeklammert werden. Das gilt vor allem auch bei Berücksichtigung der Aspekte der Versorgungssicherheit, der permanenten Verfügbarkeit und für einfache Abrechnungsprozesse (ohne aufwendige Digitalisierung). Die angeblich viel preiswertere erneuerbare Energie ist keine Alternative, solange man dazu komplizierte digitalisierte Energienetze mit Lastmanagement, volatiler Energiezufuhr und -nutzungen und Reservekapazitäten konventioneller Energieträger braucht, um die volatile Situation bezüglich Stromverfügbarkeit und Stromnachfragen zu managen [25]. Natürlich kann man den Standpunkt vertreten, dass Menschen aus ärmeren Ländern das alles nicht brauchen, bzw. nicht haben können. Und natürlich lassen sich über Inseln von erneuerbaren Energien in lokalen Netzen große Fortschritte für viele Menschen im Verhältnis zum Status Quo erreichen [48]. Das ist aber nicht dasselbe wie ein stabiles Netz von der Art, wie wir es in Deutschland als selbstverständlich voraussetzen. Und mit Blick auf Städte mit 20 Millionen Menschen und mehr sind lokale Netze auf Basis erneuerbarer lokaler Energiequellen ohnehin keine tragfähige Lösung.

Insofern ist in diesem Diskussionspapier die Ausgangslage in der Einschätzung der Situation die, dass bis auf Weiteres Milliarden weitere Menschen ihren Energiebedarf primär über fossile Energieträger decken werden. Es wird viele neue Kohlekraftwerke geben. Milliarden Menschen werden zumindest einen bescheidenen Wohlstand anstreben. Das bedeutet enormen Ressourcenverbrauch, z. B. für Flächen für Infrastruktur. Das wird einen extremen Druck auf die verbliebenen Regenwälder erzeugen, z. B. zur Ernährung der Bevölkerung, aber auch, um Platz für neue Infrastruktur zu haben. Dasselbe gilt für die landwirtschaftliche Nutzfläche.

Weder für die Umsetzung der SDGs, noch für die Erreichung der Klimaziele, ist das eine tragfähige Ausgangssituation. Die entsprechende Abbildung 3 in Anhang 1 zeigt, dass allein über das massive Bevölkerungswachstum in den afrikanischen Staaten und auf dem indischen Subkontinent bis 2040 etwa 10 Milliarden Tonnen CO₂-Emissionen gegenüber heute dazukommen können, wenn nicht ganz neue Lösungen umgesetzt werden. Wesentliche Treiber sind neue Kohlkraftwerke und weitere Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren, ebenso Beton und Stahl. Die Nature-based Solutions, die in Kapitel 4 diskutiert werden, (und zukünftig vielleicht irgendwann auch Direct Air Capture), können demgegenüber einen Entlastungseffekt von bis zu 10 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr ermöglichen.

Der für den genannten wichtigen Beitrag von Nature-based Solutions notwendige Hochlauf erfordert aber wahrscheinlich mindestens 40 Jahre. Es geht dabei um Aktivitäten auf 1- 2 Milliarden Hektar Fläche. Bis heute wird an einem solchen Entlastungsprogramm weltweit nicht in einem koordinierten Prozess gearbeitet. Das ist ein weiteres massives **Versagen der Staatengemeinschaft**. Es gibt auch keine großen deutschen Aktivitäten zu diesem Thema. Wir sind mit Onshore- und Offshore-Windkraftanlagen vor Ort und mit Aufladestationen für Elektrofahrzeuge gut ausgelastet. Eine wichtige Alternative bzw. Ergänzung zu Nature-based Solutions ist am Horizont sichtbar, nämlich Direct Air Capture-Lösungen. Diese finden hohe Akzeptanz, sind aber bisher viel zu teuer. Ob die Kostenlücke geschlossen werden kann, ist noch unklar. Bis dahin ist es auf jeden Fall noch ein weiter Weg.

Zu beachten ist bei allen Überlegungen immer, dass das Klimathema global ist. Es geht um Tonnen CO₂, die in die Atmosphäre gelangen und ebenso um Tonnen CO₂, die hoffentlich als Negativemissionen wieder aus der Atmosphäre herausgeholt werden. Dabei ist es egal, wo das auf der Erde passiert. Allerdings sind die Kosten für die Maßnahmen extrem unterschiedlich. Es gibt Chancen, weltweit über Aufforstung eine Tonne CO₂ für 10 Euro der Atmosphäre zu entziehen. Bei der Vermeidung der Zerstörung von Regenwald sind die Zahlen manchmal noch günstiger. Direct Air Capture wird hoffentlich irgendwann einmal für 50 Euro pro Tonne CO₂ möglich werden, liegt aber zurzeit von den Kosten her bei mehr als dem 10-fachen dieser Summe. Es gibt demgegenüber andererseits Situationen in der europäischen Automobilregulierung, bei denen im Kontext von Elektroautos für eine eingesparte Tonne CO₂ 1.000 Euro und mehr bezahlt werden [49]. Das ist Verschwendung von Finanzmitteln, die an anderer Stelle und mit großer Hebelwirkung viel größere Klima- und Wohlstandswirkungen entfalten könnten [37, 49]. Bei forcierter energetischer Sanierung von Gebäuden liegen die Kosten nach Analyse des Gesamtverbundes deutscher Wohnungsbauunternehmen (GdW),

in die der Autor und das FAW/n in Ulm involviert waren, bei 750 Euro pro Tonne CO₂, falls aus klimapolitischen Gründen gegen den normalen Sanierungsrhythmus saniert werden muss. Der GdW hat auf diese nicht akzeptable Situation schon mehrfach hingewiesen [12, 13]. Angesichts der generellen internationalen Finanzknappheit, vor allem für sinnvolle gesellschaftliche Anliegen, kann man sich so etwas nicht erlauben.

(2) KÖNNEN DIE KLIMAZIELE ERREICHT WERDEN?

Basis für die Debatten über die Erreichbarkeit der Klimaziele ist der Klimavertrag von Paris. Dieser Vertrag ist in seinen Zusagen und Anforderungen sehr schwach. Er ist **rechtlich nicht bindend**, auch wenn von Klimaaktivisten gerne das Gegenteil behauptet wird. Der Ausstieg der USA aus dem Vertrag, der jetzt glücklicherweise rasch revidiert wird, müsste jedoch jedem zeigen, dass der Vertrag selber rechtlich keine Verbindlichkeit hat. Eine solche entsteht nur, wenn Staaten entsprechende Zusagen in nationales Recht überführen, wie es zurzeit in Europa geschieht. Auch solche, durch ein **Gesetz abgesicherte Zusagen**, können aber über Gesetzesänderungen (oft auch über Verordnungen) jederzeit wieder verändert werden. In den USA werden wir in nächster Zeit einiges an derartigen Gesetzesänderungen bzw. neuen Verordnungen erleben, mit denen Maßnahmen des gerade abgewählten bisherigen Präsidenten korrigiert werden. Die Politik hat generell viele Möglichkeiten, den Kurs immer wieder zu verändern. Hinzu kommt Folgendes: Viele der Versprechen aus Entwicklungs- und Schwellenländern in Form ihrer NDCs sind zudem konditioniert an Geldflüsse von reichen an ärmere Länder, insbesondere an **100 Milliarden Euro internationalen Klimafinanzausgleich** pro Jahr, wobei völlig unklar ist, wo das Geld herkommen soll.

Selbst wenn alle Staaten ihre freiwilligen Paris-Zusagen umsetzen würden, bliebe dennoch bis 2050 eine Lücke von 500-600 Milliarden Tonnen nicht verhinderter CO₂-Emissionen, die zusätzlich zu schließen wäre (**Paris-Lücke**, vgl. Abb. 1). Um diese gewaltigen Mengen werden die Emissionen bis 2050 also zu hoch liegen. Das erfordert stärkere Versprechen, wobei diese Versprechen dann frühestens ab 2020 umzusetzen wären. Es gibt hierzu einige Aussagen aus jüngerer Zeit, aber sie ändern das Bild nicht fundamental. Man betrachte dazu nur die europäische Zielsetzung „Klimaneutralität bis 2050“. Es kann sein, dass dieses Ziel, wenn es denn überhaupt erreicht wird, nur um den Preis einer erheblichen Absenkung des Lebensstandards in Europa erreicht werden kann. Ob das die Bevölkerung zu akzeptieren bereit wäre, muss sich erst noch zeigen. Für das Klima wäre angesichts von (nur) 3,5 Milliarden Tonnen CO₂ aus dem Bereich der EU pro Jahr dennoch wenig erreicht, weil die

Trends in anderen Teilen der Welt dagegen laufen. Noch deutlicher: Je geringer die CO₂-Emissionen der EU sind, umso weniger kann Europa noch einsparen. Maßnahmen in Europa zur Absenkung von CO₂-Emissionen werden damit immer irrelevanter.

Wenn man die Lücke von 600 Milliarden Tonnen CO₂ auf die nächsten 30 Jahre gleichmäßig verteilt, müsste man pro Jahr im Durchschnitt weltweit 20 Milliarden Tonnen CO₂ bis 2050 zusätzlich einsparen. Das ist mehr als 50 % der heutigen Emissionen im energienahen Bereich. Und das in einer Situation, in der die Emissionen bisher weiter steigen, in der sie insbesondere auch in China weiter steigen, obwohl China die bereits mit Abstand höchsten Emissionen der Welt hat. Nun kann/wird alleine schon die Versorgung der vielen weiteren Menschen in Afrika (Verdopplung der Bevölkerung von 1,2 Milliarden auf 2,4 Milliarden Menschen bis 2050) und der immer noch wachsenden Zahl der Menschen in Indien wahrscheinlich bis 2050 einen CO₂-Volumenzuwachs für diese Zwecke von 10 Milliarden Tonnen CO₂ im Energiesektor zur Folge haben (vgl. Abb. 3). Warum wird das in der Debatte über unsere nationalen Ziele meist nicht erwähnt?

Alle Jubelmeldungen aus jüngster Zeit über einen neuen Trend in Richtung 2°C-Ziel haben bisher aus Sicht des Autors keine realistische Grundlage. Es handelt sich um „Wishful Thinking“. Die Verhältnisse sind extrem schwierig. UNEP, als einschlägige UN-Organisation, hat in ihrem neuesten *Emissions Gap Report* deshalb, wie oben schon erwähnt, richtigerweise die Gefahr beschrieben, dass der Temperaturanstieg bis 2100 3°C und mehr betragen wird, wenn die Welt so weitermacht wie bisher [44]. Was sollen wir tun? Eine Absenkung des Wohlstands hätte die gewünschte Wirkung, ist aber enorm konflikträchtig und wird von den Menschen weit überwiegend nicht akzeptiert. Schon gar nicht ist dieser Ansatz für ärmere Länder akzeptabel und gerade dort finden sich die großen Bevölkerungszahlen und gerade dort bestehen hohe und legitime Erwartungen an eine Steigerung des Wohlstands.

Aus ähnlichen historischen Situationen wissen wir, dass in solchen Lagen im Wesentlichen nur der **technische Fortschritt** neue Optionen eröffnet, sonst drohen gesellschaftlicher Zusammenbruch und massive gesellschaftliche Verwicklungen. Exemplarisch ist die vor 300 Jahren in der Zeit von **Carl von Carlowitz** geführte Diskussion um den Schutz der Wälder [1, 5, 17, 34]. Holz war damals der große Engpass. Irgendwann später hat die Erfindung der Dampfmaschine die Probleme für die nächsten paar hundert Jahre gelöst [41]. Auch im Falle des **Corona-Virus** wird die Lösung wohl in neuen Impfstoffen und Medikamenten bestehen, nicht in dem (verdienstvollen) Management der vielfältigen Knappheiten, das die Politik leistet und zurzeit leisten muss, das aber die

Situation nicht fundamental ändern kann und auch nur eine begrenzte Zeit in der aktuellen Form durchzuhalten ist, nämlich höchstens so lange, bis der Staat die weitere Finanzierung der Ausgleichsmaßnahmen nicht mehr leisten kann.

(3) DIE NEUEN LÖSUNGSBAUSTEINE

a) Grüner Strom

Gibt es neue Lösungen? Ja und zwar zunächst einmal die neuen und über die letzten Jahrzehnte stark verbesserten Möglichkeiten, **grünen Strom**, also erneuerbare Energie in Stromform, zu produzieren, vor allem über große Felder von Photovoltaikanlagen und über große Onshore- und Offshore-Windkraft. Sie komplettieren die klassischen Erneuerbaren, also Wasserkraft und z. B. Biomasse. Die Erzeugung großer Volumina von erneuerbarer Energie ist nicht einfach. Man befindet sich mit den neuen Erneuerbaren in Deutschland trotz sehr hoher Förderung über das EEG immer noch deutlich unter 10 % der Nutzenergie, die in Deutschland verbraucht wird. Interessant sind dabei immer die Wintermonate. Dann ist es tendenziell kalt und dunkel. Energie wird dringend gebraucht. Die neuen Erneuerbaren können aber gerade in dieser Zeit meist nur wenig liefern. Die Bundesnetzagentur BDEW veröffentlichte jüngst für die Zeit vom 1. bis 16. Dezember 2020 die folgenden Zahlen: Auf die Erneuerbaren entfielen 28 %, davon 9 % auf sonstige Erneuerbare (z. B. Biomasse und Wasserkraft). 18 % entfiel auf Wind, „dem Packesel der Energiewende“, 1 % auf Photovoltaik. 72 % entfielen damit auf konventionelle Energieträger. Diese können immer liefern, dürfen aber nur insoweit liefern, als die Erneuerbaren nicht liefern können.

Die konventionellen Energieträger müssen in dieser Lage für das Vorhalten von (meist nicht genutzter) Kapazität bezahlt werden. Dies ist einer der Gründe für die hohen Strompreise in Deutschland. Ein anderer sind die Kosten für das Netzmanagement in einer volatilen Einspeise- und Entnahmesituation bei Strom. Bei ausschließlich konventioneller Stromversorgung treten derartige Probleme nicht auf. Anders ausgedrückt: Die **Total Cost of Ownership** ist bei konventionellen Lösungen sehr viel preiswerter. Auch darum werden weltweit immer neue Kohlekraftwerke gebaut. Aus Sicht des Autors sind deshalb CO₂-Recyclingoptionen für Kohlekraftwerke besonders wichtig. Grüne synthetische Kraftstoffe (reFuels) spielen dabei eine zentrale Rolle, denn sie erlauben potentiell einen gangbaren schrittweisen Umbau der klimaschädlichen Kraftwerke in eine klimaneutrale Form, bei der das existierende Geschäftsmodell mit seiner einfachen Versorgungs- und Abrechnungsstruktur und seiner hohen Stabilität erhalten bleibt.

Wie schon erwähnt, hat RWE in jüngerer Zeit einen solchen Umbau in Richtung auf biogenes Brennmaterial in einem Kraftwerk in den Niederlanden vorgenommen.

In Teil 2 des Anhangs werden exemplarisch Möglichkeiten zur Absenkung der CO₂-Emissionen von Stahlwerken und Kraftwerken diskutiert. Dabei besteht eine enge Verbindung zu reFuels, also etwa zur Herstellung von Methanolbenzin und -diesel. Dafür wird zunächst Methanol gebraucht, das aus der Verbindung von grünem Wasserstoff und CO₂ entsteht. reFuels eröffnen insofern die Chance einer Abnahme sehr großer Mengen von CO₂ über CCU, z. B. aus Industrieprozessen oder aus Kraftwerken und vielen anderen Bereichen, was wiederum die Voraussetzung dafür ist, die CO₂-Belastungen durch diese Anlagen massiv und vergleichsweise preiswert zu reduzieren. Das komplementiert andere Optionen in diesem Umfeld, z. B. über die direkte Nutzung von grünem Wasserstoff.

Der mehrfache Hinweis auf reFuels hat schon deutlich gemacht, dass grüner Strom alleine die Energie- und Klima-Probleme der Welt nicht lösen kann. Einerseits weil die Verfügbarkeit der erneuerbaren Stromenergie in der Regel einen volatilen Charakter hat, zudem, weil es eine volatile Situation auf der Nachfrageseite gibt.

Was folgt aus dem Gesagten?

Die Welt braucht preiswerten grünen Strom in **riesigen Mengen**, wenn eine Klimakatastrophe noch verhindert werden soll [38]. Der Autor rechnet für 2050 mit bis zu **400.000 TWh** für die ganze Welt. Dabei wird das weitere Wachstum der Weltbevölkerung, der erhoffte weitere Wohlstandszuwachs (gerade auch in ärmeren Ländern) und die geringere Energieeffizienz in ärmeren Ländern mitberücksichtigt. Berücksichtigt sind auch die Energieverluste, wenn grüner Strom in andere Nutzungsformen (z. B. reFuels) überführt wird. Die gesamte Stromproduktion in Deutschland, inklusive Strom aus Kohle, liegt heute bei etwa 700 TWh. Die deutsche Forschungsministerin will bis 2040 etwa 800 TWh des deutschen Energiebedarfs aus grünem Wasserstoff decken. Das gilt als ambitioniertes Ziel.

Was folgt daraus? Die Staatengemeinschaft sollte Sorge dafür tragen, dass sehr viel von diesem grünen Strom rund um die Erde an den richtigen Stellen produziert wird und das zu Kosten, die im internationalen Vergleich in der Letztnutzung nicht viel höher liegen als die heutigen Kosten in der Energienutzung. Letztlich muss dieser grüne Strom und seine Folgeprodukte (wie grüner Wasserstoff) die heutigen Primärenergieträger Kohle, Gas und Öl weitgehend ablösen. Vernünftigerweise sollte der grüne Weg primär über Kostenargumente, nur sekundär über temporäre öffentliche Förderung so attraktiv gestaltet werden, dass u. a. die entsprechenden, aus dem Bereich der fossilen Energien kommenden Konzerne, Industrien und Staaten ihr Geld nicht mehr in die Neu-Exploration von fossilen Energieträgern

stecken (etwa 600 Milliarden US Dollar pro Jahr), sondern an geeigneten Stellen, vor allem in den Sonnenwüsten der Welt, unglaubliche Volumina an grünem Strom (und in der Folge auch an grünem Wasserstoff) produzieren – aus dem Grund, dass es sich rechnet [38]. Wenn solche Produktionsstätten realisiert und damit niedrige Preise erreicht werden, kann z. B. viel von der so verfügbar werdenden grünen Energie in die Entwicklung der jeweiligen Länder, insbesondere auch in Afrika, gehen. Vielleicht wird man irgendwann auch - gemäß der alten Idee des Club of Rome – solchen Strom mit **Gleichspannung-Hochspannungs-Leitungen** von Afrika z. B. nach Europa bringen. Vorher muss dann allerdings das EEG so angepasst werden, dass es nicht länger als nicht-tarifäres Handelshindernis für grünen Strom wirkt, der außerhalb Deutschlands produziert wurde. Dieses Gesetz war das Aus für Bemühungen deutscher Industrieunternehmen um Desertec, vgl. hierzu die nachfolgende Informationsbox 2.

Infobox 2. Energiewende, Handelshindernisse und Desertec

Um die Jahrtausendwende entwickelte sich in Deutschland mit großer Dynamik eine vom Club of Rome initiierte Idee, nämlich das Potenzial der Sonnenwüsten (insbesondere aus der Sahara) zur Erzeugung von großen Mengen preiswerten grünen Stroms zu nutzen. Der Ansatz war, diesen Strom teilweise über Hochspannungs-/ Gleichspannungsleitungen nach Europa zu bringen, um damit den Weg in Richtung erneuerbare Energie zu fördern. Dieses Projekt, an dem auch heute noch gearbeitet wird, kam aber nie richtig zu großer Wirkung. Gerne wird mit einer gewissen Häme über das „Scheitern von Desertec“ geredet. Dieses Scheitern wird auch heute gerne als Argument genutzt, warum der gesamte Desertec-Ansatz keinen Sinn macht.

Die tatsächlichen Entwicklungen waren allerdings ganz anders. Die Fukushima-Situation, also Probleme mit Atommeilern in Japan, führten zu hektischen Diskussionen in Deutschland und knüpften an die schon bestehende Skepsis bzgl. Atomenergie an. Es wurde nicht diskutiert, dass es sich bei dem Unfall in Japan im Wesentlichen um einen Tsunami-Unfall handelte und die weitaus meisten Todesfälle nichts mit dem Fukushima Atomkraftwerk zu tun hatten. Die Konsequenz in Deutschland war der Ausstieg aus der Atomenergie, bei der kurz vorher ein neuer Anlauf verabredet worden war. Als Alternative wurde dann die erneuerbare Energie in Deutschland auf den Weg gebracht. Wesentlicher Eckpfeiler ist das **Erneuerbare-**

Energien-Gesetz (EEG). Es fördert finanziell massiv die Produktion von erneuerbarem Strom in Deutschland, schließt aber erneuerbare Energie aus allen anderen Ländern in dem Sinne aus, dass die deutsche erneuerbare Energie immer bevorzugt und zu einem garantierten Preis in das Netz eingespeist wird - wenn denn solche vorhanden ist.

Für die Konkurrenz gilt ein solch garantierter Preis natürlich nicht. Die Konkurrenz darf auch nur dann liefern, wenn die deutsche erneuerbare Energie nicht liefern kann. Und auf diesen Moment warten dann zum Beispiel relativ preiswerte, schon abgeschriebene Kohlekraftwerke, die das deutsche Energiesystem in seiner Volatilität stabilisieren.

Wir setzen also in Deutschland auch nicht auf teure neue Gaskraftwerke mit wenig CO₂-Emissionen, weil wir ja zusätzlich zur erneuerbaren Energie ein Rückfallsystem finanzieren müssen und das hätten wir dann gerne möglichst preiswert, auch deshalb, weil unsere Haushalte ohnehin bereits mit Stromkosten belastet werden, die zu den höchsten auf der Welt gehören. Wobei wir gleichzeitig mit mehr als 10 Tonnen pro Kopf auch besonders hohe CO₂-Emissionen haben – etwa doppelt so hoch wie Frankreich.

Kurz gesagt: Deutschland hat seinen Weg in die erneuerbare Energie durch ein **nicht-tarifäres Handelshindernis** für andere Anbieter abgeschirmt. So etwas nennt man üblicherweise Protektionismus. Das ist in Europa möglich, auch im europäischen Binnenmarkt, weil die Energieerzeugung aus diesem Markt weitgehend herausgenommen ist. Wirklich nicht akzeptabel ist aber aus Sicht des Autors das Abwürgen der Chancen von ärmeren Regionen der Welt, ihren großen Vorteil ins Spiel bringen zu können. Und noch schlimmer ist das Narrativ, dass dieser Ansatz, also Desertec, gescheitert sei. Das sei ja offensichtlich, habe nicht funktioniert. Das in einer Situation, in der die, die so argumentieren, viel dazu beigetragen haben, dass ein Erfolg verunmöglicht wurde.

Wir erleben im Moment übrigens ähnliches mit grünem Wasserstoff. Dieser grüne Wasserstoff braucht preiswerten grünen Strom, den kann man bei uns nicht erzeugen. Wir müssen also im Moment grünen Wasserstoff bei uns massiv subventionieren, können das aber gar nicht in dem Umfang, wie wir grünen Wasserstoff benötigen. Das hat viele Konsequenzen, wie etwa die Argumentation gegen synthetische Kraftstoffe für Personenkraftwagen, weil man eben mit der knappen

Menge grünen Strom, die wir vor Ort produzieren können, diese Kraftstoffe sinnvollerweise nicht herstellen wird. Man müsste stattdessen die synthetischen Kraftstoffe gleich in Methanol- oder Methanform aus den Sonnenwüsten der Welt nach Deutschland bringen (**Desertec 2.0**). Aber natürlich bedroht auch dieser Weg die Geschäftsmodelle in Deutschland und so wundert es nicht, dass es mittlerweile eine Studie des Wuppertal-Instituts in Zusammenarbeit mit dem Landesverband Erneuerbare Energien NRW e.V. gibt [51], die argumentiert, dass es vielleicht gar nicht so viel teurer ist, den grünen Strom und den grünen Wasserstoff hier zu produzieren, wenn man die indirekten Effekte in Bezug auf Steuern, Arbeitsplätze usw. mitbedenkt. Wir sind dann voll in protektionistischer Argumentation gegen freien Welthandel.

Man kann sich natürlich auf so einen Standpunkt stellen, es ist dies eine alte **merkantilistische Position**. Die Frage ist nur, ob dies Sinn macht für ein Land, das immer wieder als Exportweltmeister bezeichnet wird und das sehr erfolgreich davon lebt, dass seine Güter weltweit gekauft werden, zum Beispiel seine Industrieanlagen.

Wer weltweit seine Güter verkaufen will, muss auch anderen etwas abkaufen. So wie wir die Energie seit Jahrzehnten importieren. Und vernünftigerweise tun wir das auch in Zukunft, weil es Sinn macht, weil wir den Menschen zum Beispiel in Afrika dringend eine wirtschaftliche Zukunft eröffnen müssen, auch zu unserem eigenen Vorteil. Wenn man das begriffen hat, wird man vorsichtiger sein im Lob über das deutsche EEG, weil man auch den Schaden kennt, den es verursacht hat, den aber zunächst einmal niemand sieht. Und man wird auch nicht mit Häme über Desertec und sein Scheitern reden, wenn man begriffen hat, wie viel man dazu beigetragen hat, dass sich die Verhältnisse so entwickelt haben, wie das geschehen ist.

b) Grüner Wasserstoff

In vielen Anwendungen wird Energie in einer Form gebraucht, die anders ist als Strom und losgelöst von einem Stromsystem und der Verfügbarkeit von Strom zu sehen ist. Heute spielen in diesem Kontext die fossilen Energieträger eine zentrale Rolle, die teils zur Stromerzeugung, teilweise aber auch in völlig anderer Form, z. B. als Kraftstoffe, genutzt werden. Grüner Wasserstoff eröffnet in diesem Kontext neue Optionen [3, 24, 29, 30]. Deshalb war immer klar und wird immer klarer, dass

grüner Wasserstoff als weitere Komponente neben grünem Strom dringend benötigt wird, und zwar in großen Mengen. Das ist mittlerweile auch Teil der deutschen Debatte. Mit dieser Erweiterung der Sicht auf das Thema steht der Weg in eine neue Welt der Energie nicht mehr nur auf dem einen Bein (**grüner Strom**), sondern auf zwei Beinen (**grüner Strom** und **grüner Wasserstoff**), wobei zur Produktion von grünem Wasserstoff sehr große Mengen von grünem Strom benötigt werden, und zwar wegen der Umwandlungsverluste (etwa 30 %) im Vergleich zur Direktnutzung von grünem Strom. Grüner Wasserstoff ist also ein Folgeprodukt von grünem Strom, das u. a. ein großartiger Energiespeicher ist. An dieser Stelle ist Strom nicht geeignet, es sei denn man speichert den Strom in Batterien oder pumpt z. B. mit dem Strom Wasser in hoch gelegene Wasserreservoirs (als Speicher), um bei Bedarf das Wasser wieder den Berg hinab laufen zu lassen, um damit neuen Strom zu generieren (Pumpspeicherkraftwerke). In manchen Aspekten sind auch die Transportmöglichkeiten von Wasserstoff besser als diejenigen von Strom. Viele Anwendungen brauchen Energie in einer anderen Form als Strom. Auf diese Weise kommen der grüne Wasserstoff und Folgeprodukte ins Spiel.

Aus deutscher Sicht ist bei der Behandlung dieser Ausgangssituation das Problem, dass wir uns weder in Bezug auf grünen Strom noch auf grünen Wasserstoff selber versorgen können – so wie wir uns bisher auch nicht mit fossilen Energieträgern vor Ort versorgen können. In Deutschland lässt sich nämlich aufgrund der Flächen- und Sonnenverhältnisse nur vergleichsweise wenig grüner Strom produzieren. Außerdem ist der hier produzierte Strom deutlich zu teuer, um wettbewerbsfähig gegenüber Stromgestehungskosten in anderen Teilen der Welt zu sein. Das bedeutet weiterhin, dass die Herstellung von grünem Wasserstoff bei uns über Elektrolyse unter Nutzung dieses Stroms mit Blick auf Marktpreise ebenfalls viel zu teuer ist. Im Moment gibt es kein internationales Konkurrenzumfeld, in dem man derart hohe Kosten unterbringen könnte. Was ist also tun?

Die Bundesregierung versucht im Moment mit der neuen Förderinitiative **H₂ Global**, zumindest in einem begrenzten Umfang, Volumina von grünem Wasserstoff (und nachfolgend auch von synthetischen Kraftstoffen) von überall auf der Welt her nach Deutschland zu bringen. Der Ansatz erinnert an das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Der Ansatz ist teuer. Die eingesetzten Geldmittel werden nicht weit reichen. Es wird auf diesem Weg also nur wenig grüner Wasserstoff Deutschland erreichen. Es sind in der Folge eines so initiierten „Hochlaufs“ im Bereich grüner Wasserstoff auch keine massiven Kostensenkungen zu erwarten. Denn die eingesetzten Komponenten, z.B. Photovoltaik-Module oder Windkraftanlagen, sind ja seit Jahren im Einsatz und optimiert und auch

Wasserstoff ist in unserer Wirtschaft schon lange und in großem Umfang im Einsatz. Allerdings unter Nutzung eines nicht-grünen Entstehungsprozesses, z. B. unter Nutzung von Erdgas.

Aus Sicht des Autors ist die Debatte um grünen Wasserstoff in Deutschland und Europa nach wie vor viel zu sehr bestimmt durch die wenig realistische Idee mancher Akteure, dass die von uns genutzte erneuerbare Energie in Deutschland bzw. Europa hergestellt werden soll. Wir haben dafür weder die Flächen noch die richtige Sonneneinstrahlung. Es ist letztlich nicht zu verstehen, warum man so fixiert auf die Produktion der Energieträger vor Ort ist. Denn auch Erdöl, Gas und Kohle wurden importiert und durchaus zu unserem eigenen Vorteil, denn im Gegenzug konnten unsere Technologien exportiert werden. Unsere **Zahlungsbilanz als „Exportweltmeister“** beinhaltet seit jeher erhebliche Überschüsse. Das zu ertragen, ist für die Welt schon schwer genug. Man kann sich also fragen, warum jemand die Idee verfolgt, auch die grüne Energie zu Hause zu produzieren. Verdeutlicht wird die Problematik im Folgenden am Beispiel „grüner Stahl“ in der folgenden Informationsbox 3:

Infobox 3. Grüner Stahl in Deutschland?!

Weil Stahl zum Kern einer Industriegesellschaft gehört, z. B. zentral auch für Onshore- und Offshore-Windkraft ist, soll Stahl, mit weltweit etwa 5 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr (fast doppelt so hoch wie der aktuelle Gesamtumfang der CO₂-Emissionen der EU) über andere Produktionsverfahren klimaneutral gestellt werden. Verfolgt wird die sogenannte **Direktreduktion mit grünem Wasserstoff**. Für die 40 Millionen in Deutschland pro Jahr produzierten Tonnen Stahl werden etwa 2 Millionen Tonnen grüner Wasserstoff benötigt. Dafür braucht man etwa 90 TWh grünen Strom. Die deutsche Planung im Rahmen der Wasserstoffstrategie sieht etwa 5 GW Elektrolyseleistung bis 2030 vor. Das erfordert etwa 45 Millionen TWh grünen Strom, der für etwa 1 Million Tonnen grüner Wasserstoff reichen würde, wenn nicht andere Nutzungen noch dringlicher sein sollten. Das Ausbauprogramm an grünem Wasserstoff in Deutschland bis 2030 kann also den grünen Wasserstoff für die deutsche Stahlproduktion jährlich nur für etwa 6 Monate abdecken. Der finanzielle Zuschussbedarf ist dabei erheblich.

Um zu einem wettbewerbsfähigen Preis für grünen Wasserstoff von 1-1,50 Euro pro kg zu kommen, liegt der Zuschussbedarf für 2 Millionen

Tonnen Stahl bei mehr als 3 Milliarden Euro. Das liegt daran, dass wegen der hohen Kosten für grünen Strom bei uns der Preis für grünen Wasserstoff bei etwa 3 Euro statt 1 Euro liegen wird. Das gesamte Fördervolumen für grünen Wasserstoff bis 2030 (etwa 7 Milliarden Euro) reicht also von der finanziellen Seite her nur für kleine Teile einer angestrebten Wasserstofflösung für den Stahlbereich. Viel preisgünstiger wäre das Abfangen von CO₂ im Rahmen der bisherigen Lösung (etwa 1,5 Tonnen CO₂ pro Tonne Stahl) oder eine Direktreduktions-Lösung mit Methan (etwa 0,5 Tonnen CO₂ pro Tonne Stahl). Aber solche Recyclierungen werden von vielen Akteuren im Themenumfeld abgelehnt. Man will Null-Emissionslösungen, sonst nichts. Auch keine Zwischenschritte, wegen befürchteter Lock-In-Effekte. Dabei könnte man das CO₂ gut für die Produktion von reFuels nutzen. Aber das will man wegen befürchteter Lock-In-Effekte auch nicht. CO₂ soll stattdessen zu viel höheren Preisen aus biogenen Quellen, aus nur schwer elektrifizierbaren Bereichen oder aus Direct Air Capture-Anlagen gewonnen werden. Letztere können vielleicht über die nächsten Jahrzehnte attraktiv werden, insbesondere wenn die Preise für grünen Strom in Sonnenwüsten weiter fallen sollten. Aber bis dahin ist noch ein weiter Weg.

Es liegt die Vermutung nahe, dass man mit der oben beschriebenen Politik von Deutschland aus der Welt zeigen will, dass man es zu Hause schaffen kann. Damit kann man auch politische Zeichen setzen, wie z. B. den **Kohleausstieg**. Das vermittelt Erfolgsgefühle und kann Beobachter und Aktivisten motivieren. Letztlich geht es dann eher um Psychologie und Erfolge in der politischen Debatte, weniger um den Schutz des Klimas in einer weltweiten Gesamtentwicklung.

Bei nüchterner Betrachtung ist aber zu bedenken, dass derartige Schritte mit der Lösung des globalen Klimaproblems nur wenig zu tun haben und dass dabei das Geld mit nur minimaler Wirkung verbraucht wird, das an anderer Stelle dringend für Klimaschutz gebraucht würde und dort große Wirkung für das Klima entfalten könnte. Diese Wirkungen finden jetzt nicht statt. In der Folge verschärft sich das Klimaproblem immer weiter.

Anders ausgedrückt: Es sind teure deutsche Lösungen, an denen wir arbeiten, gemäß dem oben schon erwähnten Motto „Als sie ihre Ziele aus den Augen verloren, verdoppelten sie ihre Anstrengungen“. Was bedeutet teuer im internationalen Vergleich? Exemplarisch genannt sei hier erneut die Förderung

eines Elektroautos in Deutschland, das nicht grün ist, mit direkten und indirekten Zuschüssen von 10.000 Euro pro Jahr und mehr [49]. Das ist so viel Geld, dass in anderen Teilen der Welt zwei bis drei Familien davon ein Jahr leben können. Wir zeigen mit den in Deutschland verfolgten Ansätzen vielleicht, dass eine reiche Industriegesellschaft sich durch großen Geldeinsatz und das Zurückfahren des Lebensstandards in Richtung Klimaneutralität bewegen kann. Teils auch durch Verlagerung von Emissionen in andere Teile der Welt (**Carbon Leakage**), teils auch durch Blockieren von Wertschöpfungsmöglichkeiten anderer (z. B. bei erneuerbaren Energien aus Sonnenwüsten). Unter dem Strich ist aber das Fazit, dass solche Lösungen keine Option für Menschen in den ärmeren Ländern sind. Die Klimakatastrophe, das entscheidende Problem, wird sich so auch nicht vermeiden lassen.

Deutlich wird in jedem Fall, dass die Welt neben grünem Strom als zweites Bein einer funktionierenden Energiezukunft grünen Wasserstoff in großem Umfang benötigen wird, vor allem auch für die Speicher- und Transportfragen. Da dieser wieder den grünen Strom voraussetzt, sind beide Themen eng miteinander verknüpft. Grüner Wasserstoff bedeutet viel mehr grünen Strom, ein Thema, das in Deutschland aktuell wegen der Knappheit an grünem Strom diskutiert wird.

Grüner Wasserstoff ist ein internationales Thema. Wir sollten uns nicht zu viel Mühe geben, aus grünem Wasserstoff ein Geschäftsmodell für Akteure in Deutschland zu machen. Man kann den grünen Wasserstoff sicher anderswo auf der Welt viel preiswerter produzieren als in Deutschland. Im Rahmen der aktuell verfolgten deutschen Wasserstoffstrategie können und sollten wir natürlich in Deutschland teilweise Lösungen im Umfeld eines Hochlaufs ausprobieren, um international zu demonstrieren, was wir **mit deutscher Technik alles zu leisten in der Lage sind**. Das Thema ist dann „Schaufenster“ für deutsche Industrieanlagen. In diesem Feld ist Deutschland weltweit führend und anerkannt. Das macht deshalb gerade auch aus Sicht des Anlagenexports Sinn. Letztlich werden die Anlagen für uns das große Geschäft werden, nicht die Produktion des grünen Wasserstoffs vor Ort.

c) Synthetische Kraftstoffe / reFuels

Grüner Strom und grüner Wasserstoff reichen aber alleine für eine weltweite klimaneutrale Zukunft nicht aus. Bei internationaler Herstellung bleiben **Transportprobleme**, die bei Wasserstoff gravierend sind, insbesondere der Transport über große Ozeane. Deshalb brauchen wir neben grünem Strom und

grünem Wasserstoff noch ein drittes Standbein. Dieses dritte Standbein führt zu den **reFuels** (regenerative Kraftstoffe).

Neben grüner Energie und grünem Wasserstoff müssen wir uns also wegen der geographischen und klimatischen Verhältnisse um eine dritte Komponente kümmern. Um Energieträger, die Energie sehr gut speichern können und zugleich geeignet für internationalen Transport sind. Dies führt zu synthetischen Kraftstoffen, wie z. B. **grünes Methanol**, **grünes Methan** und **grünes Ammoniak**, die für vielfältigste Anwendungen geeignet sind und die sich aus dem grünen Wasserstoff herstellen lassen. Es gibt dafür verschiedene Synthese-Wege, die für je spezifische Zwecke geeignet sind. Es gibt z. B. den direkten Syntheseweg und die Fischer-Tropsch-Linie. Besonders attraktiv erscheint dem Autor aus verschiedenen Gründen der Technikpfad über die Direktsynthese von Methanol und Methan. Beide Substanzen sind sehr gute Energiespeicher und vergleichsweise gut transportierbar. Vor allem die Methanol-Schiene eröffnet ein breites Feld in Richtung von Energieflüssigkeiten, wie z. B. Benzin, aber durchaus auch für Stahl, Zement und Kraftwerke. Die grüne Methan-Schiene führt – wie die Methanol-Schiene – in Richtung Gasanwendungen, z. B. Wärme / Kälte in Häusern oder (Kohle-) Kraftwerke. Das Thema **Wärme / Kälte** ist ja von zentraler Bedeutung und es gibt dafür klügere, vor allem auch preiswertere Lösungen als die ausschließliche Konzentration auf die teure energetische Sanierung von Gebäuden, nämlich **klimaneutrales synthetisches Heizöl**. Die Energie-, Transport- und Speicherprobleme werden so weltweit zu niedrigen Kosten lösbar. Wir können die entsprechenden Produkte, insbesondere grünes Methan und grünes Methanol, gut von günstigen Standorten aus nach Europa importieren und dort weiterverarbeiten. Dieser Transportaspekt ist von zentraler Bedeutung.

Von Methanol ausgehend sind die Wege zu **Methanol-Benzin**, **Methanol-Diesel**, **Methanol-Kerosin**, **Schiffsbenzin** sowie zu **synthetischem Heizöl** vielversprechend. Es sind die **reFuels**, die helfen, unsere Zivilisation zu tragbaren Kosten in Richtung Klimaneutralität umzubauen. Das ist ein großer Vorzug des hier beschriebenen Weges. Man hat über solche reFuels insbesondere eine realistische Option, den Gesamtbestand an Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren weltweit in Richtung Klimaneutralität zu bewegen. Dabei spielt die Individualmobilität eine zentrale Rolle, ebenso individuelles Heizen und Kühlen. Im Mobilitätsbereich geht es weltweit um etwa 1,3 Milliarden Fahrzeuge, die insgesamt pro Jahr etwa **5 Milliarden Tonnen CO₂** in die Atmosphäre entlassen. Das ist fast das Doppelte der CO₂-Emissionen innerhalb Europas.

Insgesamt bettet sich der beschriebene Weg in ein seit Jahrzehnten bearbeitetes Umfeld ein, für das auch der Begriff einer **Methanol-Ökonomie** verwendet wird [3, 29, 30, 38].

(4) REFUELS UND KOSTENFRAGEN

Auf der Welt fahren ungefähr 1,3 Milliarden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren, der größte Teil davon im Bereich individueller Mobilität, etwa 300 Millionen Fahrzeuge sind (schwere) LKWs. Es ist damit zu rechnen, dass über die nächsten Jahrzehnte noch viele weitere derartige Fahrzeuge hinzukommen werden und im Durchschnitt mindestens 1,5 Milliarden Verbrennerfahrzeuge fahren werden, dies nicht zuletzt wegen des weiter hohen Bevölkerungswachstums und der verbreiteten Armut und der legitimen Erwartungen an Entwicklung. In Deutschland sind es heute etwa 47 Millionen solcher Fahrzeuge, davon etwa 65% Benziner und etwa 35% Diesel-Fahrzeuge. Der gesamte weltweite Emissionsumfang in diesem Bereich liegt bei etwa 5 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr. Die Emissionen bei Flugzeugen und Schiffen liegen in Summe bei vielleicht einem Drittel der Emissionen im Bereich der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Es wäre zur Erreichung des 2°C-Ziels sehr hilfreich, wenn man mit synthetischen Kraftstoffen, reFuels, zu einer Alternative zum Status Quo käme. Vernünftigerweise sollten aus diesen Kraftstoffen auch Steuereinnahmen generiert werden, wie es heute auch der Fall ist, denn das Straßensystem muss finanziert werden. Trotzdem sollten die Kosten unter 2 Euro pro Liter bleiben können, dann wäre ein Wechsel in Richtung synthetischer Kraftstoffe für letztlich alle Verbrenner auf der Erde eine realistische Option.

Untersuchungen aus dem Bereich der Mineralölwirtschaft und vieler thematisch tangierter Verbände [2], wie Untersuchungen des Verbandes der Automobilindustrie (VDA), wie Untersuchungen im Umfeld des Autors, die vor allem von führenden Persönlichkeiten von Global Energy Solutions e.V. begleitet wurden und auf eine breite Literatur zum Thema wie auf eigenen industriellen Erfahrungen aufbauen, zeichnen bezüglich der Kostensituation folgendes Bild:

In den großen Sonnenwüsten der Welt lassen sich Preise für grünen Strom von unter 2 Cent pro kWh am Übergabepunkt zur Elektrolyse erreichen. Tatsächlich liegen die Preise heute teilweise sogar schon deutlich darunter. Damit kommt man auf einen Preis für grünen Wasserstoff von etwa 1 Euro pro Tonne. Die Weiterverarbeitung des grünen Wasserstoffs zu (grünem) Methanol und der Transport nach Deutschland führen zu einem Preis pro Doppelliter (entspricht energetisch etwa 1 Liter Benzin) von etwa 1 Euro. Bei Weiterverarbeitung zu Methanolbenzin und Zuschlag aller heute gezahlten Steuern bleibt man unter 2

Euro pro Liter. Würde dieser Kraftstoff regulativ als klimaneutral akzeptiert, käme man in eine tragfähige Größenordnung im Verhältnis zum Status Quo, da CO₂-Abgaben auf diese Kraftstoffe entfallen sollten/würden. Vor allem müssen weder die Fahrzeuge umgebaut oder ersetzt noch die Infrastruktur ersetzt werden.

Diese Situation sieht eigentlich sehr vielversprechend aus. Die Zusammenarbeit z. B. von Afrika und Europa würde so die europäischen und die afrikanischen Klimaziele vergleichsweise preiswert zu erreichen erlauben, was keiner der Akteure alleine schaffen könnte. Für Europa ergeben sich danach attraktive **industriepolitische Perspektiven** in einem schwierigen Umfeld, das immer stärker durch Rivalitäten zwischen den USA und China bestimmt wird.

Allerdings erweist es sich als schwierig, den beschriebenen Weg umzusetzen. Das erste Projekt der beschriebenen Art realisieren Siemens Energy und Porsche mit Förderung des Bundeswirtschaftsministeriums in Chile (**Projekt Haru Oni**), weil die infrastrukturellen Voraussetzungen in Chile besser sind als in Nordafrika. Das ist die eine Seite. Auf der anderen Seite wollen diverse private und gesellschaftliche Akteure lieber grüne Projekte vor Ort anschieben, als auf weltweite Kooperationen zu setzen. Diese sollen das Geld im Land halten und neue Arbeitsplätze schaffen [51]. Wo nötig, soll Geld zugeschossen werden, entweder direkt vom Staat oder von den Bürgern, denen dies gegebenenfalls regulativ aufgezwungen werden soll. Gegen Kooperationen mit Partnern in Afrika werden Argumente vorgebracht wie neuer Kolonialismus, Blockierung einer erhofften Energiewende in diesen Ländern, Risiken für die Versorgungssicherheit bei uns etc. Aus Sicht des Autors ist das „Thema verfehlt“. Wie so oft scheint es nicht zu interessieren, wie wir bezüglich der weltweiten Arbeitsteilung mit unseren Partnern, z. B. in Nordafrika, umgehen (siehe EEG als nicht-tarifäres Handelshindernis). Diese Haltung kann international noch viele Konflikte nach sich ziehen. Die vielfältigen Potentiale weltweiter Kooperation werden demgegenüber offenbar völlig unterschätzt.

Die Preise für Wasserstoff bei Produktion in Europa liegen bei fossil-basiertem Wasserstoff bei etwa 1-1,50 Euro pro kg. Direktreduktion mit solchem Wasserstoff ist eine konkurrenzfähige Alternative zum heutigen Einsatz von Koks/Kohle in diesem Bereich. Bei der grünen Variante liegt man in Deutschland bei 4-6 Euro und mehr pro Kilogramm Wasserstoff. Will man die daraus resultierenden Differenzkosten von günstig gerechnet 100 Euro pro Tonne Stahl (bei 40 Millionen Tonnen Produktion in Deutschland pro Jahr) gegenüber den heutigen Kosten von etwa 400 Euro pro Tonne Stahl abdecken, liegt man jährlich bei 4 Milliarden Euro. Die deutsche Wasserstoffstrategie setzt bis 2030 Fördermittel von 7 Milliarden Euro insgesamt für den Wasserstoff-Hochlauf an. Wegen Engpässen bei grünem Strom ist der entsprechende grüne Wasserstoff in dieser Menge hier gar nicht

produzierbar, schon gar nicht bezahlbar. Weder mengenmäßig noch von der Finanzierung her erscheint dieser Weg als zukunftssicher.

Den Zuständigen in Deutschland sind diese Probleme in unterschiedlichem Umfang bekannt. Entscheidend ist der Engpass bei grünem Strom und seine Bezahlbarkeit. Der letzte Punkt erfordert einerseits den Außenschutz über das EEG als nicht-tarifäres Handelshindernis, andererseits Vorgaben gegen „ineffiziente“ Nutzungen des wenigen verfügbaren grünen Stroms, der mit Blick auf das Erreichen der Klimaziele an vielen Stellen gebraucht wird. Dieser soll nicht durch Nutzungskonkurrenz auch noch teurer werden.

Wenn man also auf die erneuerbare Energie vor Ort setzt, wird man alles tun müssen, um Ineffizienzen in der Nutzung des grünen Stroms zu verhindern. Das erklärt die massive Ablehnung vieler politischer Akteure in diesem Umfeld gegenüber reFuels/ synthetischen Kraftstoffen. Deren Einsatz soll insbesondere wegen der hohen Umwandlungsverluste im Verhältnis zum Direkteinsatz von (grüner) elektrischer Energie beim Elektroauto verhindert werden. Deshalb tun sich alle diejenigen, die für die Nutzung von reFuels im Individualverkehr werben, zurzeit in Deutschland schwer.

Nicht beachtet wird in diesen Diskussionen, dass die weltweite Zusammenarbeit extrem wichtig ist und dass über die weltweite Zusammenarbeit der grüne Strom so preiswert produziert werden kann, dass Effizienz Nachteile keine Bedeutung mehr haben und die Endprodukte, z. B. synthetische Kraftstoffe, in die Preisdimensionen der heutigen fossilen Kraftstoffe fallen. Weltweit muss man da hin, wenn man das Klimaproblem lösen will. Bei einer richtigen Ausgestaltung der Strategie lösen sich also diese Effizienzschwierigkeiten auf.

Die entscheidende These ist hier: Wir können die weltweiten Energie- und Klimaprobleme nur lösen, wenn wir ein **drittes Standbein** haben, nämlich neben dem grünen Strom und dem grünen Wasserstoff auch synthetische grüne Kraftstoffe zu tragfähigen Preisen. Indem wir diese international produzieren, nutzen wir eine vernünftige internationale Arbeitsteilung. Wir werden als Deutschland mit Technologieexporten, z. B. **Elektroseure**, viel Geld verdienen, ebenso mit **CCU-Technologie**. Das ist für uns und Europa ein guter Ansatz. Wir sollten die Produktion von grünem Strom, Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen dort geschehen lassen – ja sogar wollen und aktiv fördern –, wo es sich lohnt, preiswert möglich ist und wo es unkompliziert ist. Deutschland hätte einen Vorteil davon, wenn man einen solchen Weg wählt, die Welt ebenfalls. Das gilt im Besonderen für viele Entwicklungs- und Schwellenländer und beinhaltet auch

erhebliche positive Potentiale im Hinblick auf die Bewältigung der Bevölkerungsfrage.

(5) CO₂-RECYCLIERUNG

Der beschriebene Weg zu reFuels beinhaltet eine weitere wichtige Dimension. Grünes Methanol und Methan entstehen aus grünem Wasserstoff über Synthese mit CO₂ bzw. CO. CO gewinnt man aus CO₂. Um dieses CO₂ zu erhalten, bieten sich verschiedene Wege an. In der deutschen Debatte will man wegen der offensichtlichen Konzentration auf Stromlösungen vor Ort vor allem CO₂ aus solchen industriellen Prozessen nutzen, die nicht gut elektrifizierbar sind, also z. B. Kalk und Zement. Wegen der zu erwartenden massiven Bautätigkeit in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern, insbesondere Afrika, gibt es hier ein großes Potential. Positiv gesehen wird biogenes Material, dass aber aus Sicht des Autors wegen der zunehmenden Weltbevölkerungsprobleme zukünftig immer weniger für diesen Zweck verfügbar sein wird. Eine weitere (bis heute sehr teure) Option ist **Direct Air Capture** [23]. Sollte sich der Strompreis in Sonnenwüsten am Übergabepunkt zur Nutzung in Richtung 1 Cent/kWh bewegen und sollten weitere erhebliche Kostensenkungen bei den eigentlichen Anlagen gelingen, kann dies interessant werden. Vielleicht gelingen Preise unter 50 Euro pro Tonne CO₂, aber das wird, wenn überhaupt, noch sehr lange dauern. Ein Erfolg würde es natürlich sehr vereinfachen, die Weltklimafrage anzugehen und langfristig die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre sogar wieder zu senken. Hier würde sich zugleich eine naheliegende Obergrenze für Preise auf CO₂-Emissionen ergeben, die uns die heute teilweise diskutierten, wohlstandbedrohenden Preise von vielen 100 Euro ersparen würden.

Ganz wichtig ist dem Autor ein weiterer Aspekt, der in der deutschen Diskussion teilweise vehement bekämpft wird. Nämlich die offenbar vernünftige und oft relativ **preiswerte Lösung**, CO₂ in großem Stil in Industrieprozessen, z. B. bei der Stahlproduktion und auch bei fossilen Kraftwerken abzufangen und z. B. zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen zu nutzen. Dies z. B. mit dem naheliegenden Argument, dass jede vermiedene Tonne CO₂ Sinn macht. Und wenn man CO₂ in der Stahlproduktion einspart, dass nachher bei der Nutzung von Methanolbenzin in Autos in die Atmosphäre geht, hat man den Emissionsumfang zumindest halbiert. Bei **mehrfacher Recyclierung**, die ein zentrales Element des hier vertretenen Lösungsweges ist, kann man vielleicht eine Reduktion auf 20 % der bisherigen CO₂-Emissionen erreichen.

Infobox 4. Was tun mit den weltweit immer zahlreicheren Kohlekraftwerken?

Während Umweltschützer in Deutschland (aus nachvollziehbaren Gründen) gegen Kohlekraftwerke argumentieren (weltweit etwa 10 Milliarden Tonnen CO₂-Emissionen pro Jahr, davon 7 Milliarden Tonnen in China, fast 10 Mal der Umfang der deutschen CO₂-Emissionen) und nun grünen Wasserstoff als Alternativtechnologie entdecken, zielt die deutsche Wasserstoffstrategie bis 2030 auf etwa 5 GW Elektrolysekapazität für grünen Wasserstoff in Deutschland, während China in den ersten 3 Monaten des Jahres 2020 neue Kohlekraftwerke mit einer Gesamtkapazität von 10 GW genehmigt hat. Bei der hohen installierten Kapazität von Kohlekraftwerken weltweit brauchen wir dringend Möglichkeiten zum Abfangen von CO₂ von solchen Kraftwerken, z. B. zur Herstellung von reFuels über die Verbindung mit grünem Wasserstoff. Der Weg der CO₂-Gewinnung aus der Abluft von Kohlekraftwerken, wie der schrittweise Umbau dieser Kraftwerke zum Einsatz von reFuels, wird von vielen Akteuren aber abgelehnt. Stattdessen werden viel teurere Lösungen anvisiert, um zum benötigten CO₂ zu kommen. Warum? Weil Abfangen aus Kohlekraftwerken das Image der Kohle verbessern könnte und angeblich einen Lock-In-Effekt zur Folge haben würde. Eine absurde Argumentation. Der Lock-In-Effekt ist offenbar schon lange da. Wegen der Kostensituation. Die grüne deutsche Stromlösung ist nämlich sehr teuer. Deutschland liegt ganz oben bei den Kosten für Haushaltsstrom. In ärmeren Ländern sind solche Lösungen nicht bezahlbar. Natürlich kann man auch so dem Klima helfen, nämlich durch Perpetuierung der Armut der Armen. Geschieht das mit Kalkül, wäre es ein zynisches Programm. Ansonsten ist ein Programm große Unachtsamkeit. Der weltpolitische Schaden wird in jedem Fall hoch sein.

Es lässt sich in der angedeuteten Weise ein geschlossener **Kreislauf** organisieren. Das zeigen die Beispiele in Anhang 2. Wir würden dann auf drei Beinen stehen und hätten insgesamt eine gute Ausgangssituation zur Lösung der globalen Energie- und Klimaprobleme herbeigeführt. Es ist wichtig, dass dies in einer Weise gelingt, dass die auf fossilen Energien basierenden Industrien nicht ökonomisch kollabieren. Das würde zu massiven ökonomischen Verwerfungen führen, u. U. auch zu Auseinandersetzungen zwischen den Staaten bzw. zu Bürgerkrieg innerhalb von

Staaten, denen die bisherigen Haupteinnahmen wegfallen. Das Gegenteil sollte passieren. Es soll für die entsprechenden leistungsstarken Akteure attraktiv sein, die Transformation zu einer neuen Energiesparte zu ihrem eigenen Vorteil zu gestalten, vor allem auch zu finanzieren und ihre eigenen Geschäftsmodelle anzupassen. Warum wird ein solcher Ansatz teilweise trotzdem bekämpft? Verwendet werden Argumente wie ein befürchteter Lock-in Effekt für die Kohle. Während man einen Kreuzzug gegen die Kohle führt, sollen Kohlekraftwerke nicht in Richtung einer (teilweisen) Klimaneutralität geführt werden. Egal, ob bei Verzicht auf diesen Weg vielleicht alle Chancen untergraben werden, Energiewohlstand für viele Menschen in Entwicklungs- und Schwellenländern mit Anliegen des Klimaschutzes zu verknüpfen.

(6) PROJEKTE ZU REFUELS

In Bezug auf reFuels hat sich in jüngster Zeit einiges getan. In Baden-Württemberg wurde ein interessantes Projekt unter Beteiligung von Schwenk Zement und dem Flughafen Stuttgart initiiert. Ziel ist vor allem die Produktion von **grünem Kerosin** als reFuel. In der chilenischen Wüste arbeiten Unternehmen schon seit längerer Zeit an den Themen grüner Wasserstoff und grünes Methanolbenzin. Hier wurde das wichtige Projekt „**Haru Oni**“ unter Beteiligung von Siemens Energy und der Porsche AG, wie oben schon erwähnt, gestartet. Dieses wird vom deutschen Wirtschaftsministerium mit acht Millionen Euro gefördert. Das Förderprogramm **H2 Global** ist in Vorbereitung und wird grünen Wasserstoff und seine Folgeprodukte nach Deutschland holen. Das Verkehrsministerium Baden-Württemberg bereitet ein Projekt zu reFuels mit Partnern in Zusammenarbeit mit der **Mineralölraffinerie MiRO** bei Karlsruhe vor. Hier wird zurzeit die Organisation einer Trägergesellschaft vorbereitet. Das CO₂ soll aus Raffinerieprozessen kommen, Anwendungen sind vor allem solche Lösungen im Mobilitätsbereich (wie schwere LKW), die nur schwer elektrifizierbar sind.

Die Empfehlung des Autors ist Folgende: Man nutze verfügbares CO₂ zur Recyclierung, wenn immer dies zu tragfähigen Kosten möglich ist. Es ist gut, wenn es nicht in die Atmosphäre gelangt. Man produziere synthetische Kraftstoffe neben grünem Wasserstoff für alle möglichen Zwecke, wo sie sinnvoll eingesetzt werden können. Alle Nutzungen sollen sich möglichst rechnen, also nicht viel teurer sein, als die heutigen Alternativen. Das alles möglichst so, dass man die bisherige Infrastruktur weiter nutzen kann. Das ist der **reFuels-Ansatz**, der es aber in Deutschland schwer hat, wie oben beschrieben. Statt reFuels, wie immer möglich zu fördern, insbesondere auch Importe aus Ländern mit günstigeren Bedingungen

für die Herstellung als in Deutschland, gibt es eine zu starke Fixierung auf grünen Strom aus heimischer Produktion. Deshalb steht die Effizienz in der Nutzung dieser zu geringen und zu teuren Mengen an grüner Energie ganz im Vordergrund, mit der Folge, dass reFuels problematisiert werden, während Elektroautomobile gefördert werden in einem Umfang, der Zweifel an der Beachtung der Gesetze der Physik aufwirft.

IV. NATURE-BASED SOLUTIONS/ NEGATIVEMISSIONEN

Dieser Abschnitt beschreibt das Potential der Nature-based Solutions, also der Möglichkeit, über biologische Prozesse CO₂ wieder aus der Atmosphäre zu holen. Dafür wird ein Potential von bis zu 10 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr gesehen. In einem Aufbauprozess über etwa 40 Jahre könnte dieses Potential international vollumfänglich erschlossen werden. Das Programm würde einen wesentlichen Entwicklungsbeitrag zu leisten erlauben und könnte einen wichtigen Beitrag zur Finanzierung von weltweitem Klimaschutz aktivieren. Entsprechende Mechanismen könnten zur Absicherung eines European Green New Deal wichtig werden. Trotz der großen CO₂-Effekte gibt es aber viel zu wenig international koordinierte Aktivitäten in diese Richtung.

(1) NEGATIVEMISSIONEN

Angesichts der bedrängenden Probleme im Klimabereich sind Methoden, um CO₂ **wieder aus der Atmosphäre zu holen (Negativemissionen)**, von besonderer Wichtigkeit [11, 16, 19, 20, 28, 32]. Eine Bilanz hat zwei Seiten, so auch bei CO₂ in der Atmosphäre. Leider sind die öffentlichen Debatten zum Klima heute primär geprägt durch eine der beiden Seiten, nämlich durch Diskussionen zur **Vermeidung** von CO₂-Emissionen. Dies, obwohl oft der kluge Begriff „**Netto-Null**“ verwendet wird. Was damit gemeint ist, bleibt aber oft unklar. Dringend sollten Diskussionen zur Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre eine ähnliche Bedeutung wie die Vermeidungsfrage bei Emissionen gewinnen.

Wenn heute über Vermeidung gesprochen wird, finden sich in den Nischendiskussionen oft rein technische Ansätze, die allerdings prohibitiv teuer sind. Manchmal findet man auch futuristische Ansätze eines **Geo-Engineerings**. Diese werfen wegen möglicher Nebenwirkungen viele Fragen auf. Aus Akzeptanzgründen ist in jedem Fall nicht mit einer schnellen Umsetzung zu rechnen. Ein Zukunftspotential haben Methoden des **Direct Air Capture**. Am Karlsruhe Institute of Technology (KIT) wird aktuell eine Promotion in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg zu dem Thema vorgelegt [23]. Direct Air Capture wird vor allem dann interessant, wenn hoffentlich einmal Kosten unter 50 Euro pro Tonne CO₂ erreicht werden. Dies würden (bei teilweise genannten 4.000 kWh Energiebedarf für 1 Tonne CO₂-Entzug aus der Atmosphäre) in Reichweite kommen, wenn Strom in Sonnenwüsten am Übergabepunkt zur Nutzung für 1 Cent pro kWh bereitgestellt werden würde und die Anlagekosten weiter erheblich absinken würden. Außerdem müssten über das

abgefangene CO₂ zusätzliche Einnahmen generiert werden. Das alles könnte über die nächsten Jahrzehnte erreicht werden, ist aber noch „Zukunftsmusik“.

Viel naheliegender, sehr attraktiv und mit vielfältigen **Co-Benefits** verbunden, sind biologische Ansätze (**Nature-based Solutions**). Die biologischen Optionen zur Aufnahme von CO₂ aus der Atmosphäre sind vielfältig, haben ein riesiges Volumen und beinhalten viele für die Menschen vorteilhafte Potentiale. Es ist **internationales Politikversagen**, dass es trotz jahrzehntelanger Diskussionen immer noch keine internationalen Großprogramme in diesen Bereichen gibt. Völlig unverständlich ist das beim **konsequenten Regenwaldschutz**. Es gibt nur noch etwa 1 Milliarde Hektar tropischen Regenwalds, verteilt über Brasilien, die Mitte Afrikas und Indonesien. Diese Wälder haben zentrale Bedeutung für das Klima und den Erhalt der **genetischen Vielfalt**. Über und unter der Erde binden sie (bis zu) 700 Tonnen CO₂ pro Hektar.

Die größten Kohlenstoffspeicher sind die Böden und die Meere, nicht die Atmosphäre. Wie Studien zeigen, finden sich in diesem Umfeld die **besten Win-Win-Optionen** zwischen Verbesserungen im Bereich der SDGs (Einkommen, Ernährung, Infrastruktur, Energie, biologische Vielfalt etc.) und Umwelt- und Klimaschutz [42]. Auch bezüglich der Wechselwirkungen zwischen **Entwicklung und Klima** kommt daher den Nature-based Solutions eine besondere Bedeutung zu. Dies wird auch durch die Allianz für Entwicklung und Klima des BMZ und die gleichnamige Stiftung vertreten. Sie motiviert massive freiwillige Anstrengungen des Privatsektors in diesem Bereich.

Etwa 800 Unterstützter der Allianz setzen sich mittlerweile für diesen Ansatz ein und generieren sehr kräftig Finanzierung für Nature-based Solutions. Mehrere DAX-Unternehmen sind involviert. Die Robert [Bosch](#) GmbH stellt sich als erstes großes Industrieunternehmen bereits ab 2020 klimaneutral. NOVENTI Health SE will mit der Initiative "[Klimaneutrale Apotheke](#)" dazu beitragen, bis Ende 2021 alle 19.500 Apotheken in Deutschland klimaneutral stellen. [Kühne+Nagel](#) plant als weltweit größter Logistiker im Bereich internationaler Containerschiffung die Klimaneutralität all seiner für Kunden durchgeführte Transporte bis 2030.

Zu den Nature-based Solutions, die auch Gegenstand des Bandes [16] der Stiftung des Senats der Wirtschaft sind, gehören insbesondere:

1. Konsequenter Regenwaldschutz
2. Massive Aufforstung (potentiell 1 Milliarde Hektar degradierte Böden in den Tropen)

3. Humusbildung in der Landwirtschaft auch in semi-ariden Gebieten, z. B. am Rande großer Wüsten. Potentiell geht es auch hier um 1 Milliarde Hektar.
4. Feuchtbiotope
5. Moore
6. Mangrovenwälder (Schnittstelle Wasser/Land)
7. Algenbildung im Meer.

(2) MASSIVE AUFFORSTUNG (VOR ALLEM AUF DEGRADIERTEN BÖDEN IN DEN TROPEN)

Die Diskussion um Nature-based Solution ist vielfältig [16, 19, 42]. Ein Problem ist, dass die entsprechenden biologischen Prozesse ohnehin – und in großem Umfang – stattfinden. Und dass der Bestand (z. B. Wälder) ein großes Volumen an Kohlenstoffbindung besitzt. Abgrenzungen neuer Aktivitäten sind schwierig. Welche Aktivitäten können in der eigenen CO₂-Bilanz Berücksichtigung finden?

Zudem gibt es ein Problem der Nutzung. Nutzwälder sind besser vor Zugriff (Plünderung) geschützt als Naturwälder, weil sie ohnehin regelmäßig „geerntet“ werden. Sie sind ein „Business“. Wegen des Themas Biodiversität ist Naturwald oftmals dennoch viel interessanter als Nutzwald. Generell wird häufig die Frage nach der **Permanenz** gestellt – sind die Wälder auch in Zukunft sicher, z. B. vor Feuer?

Dann geht es um **Carbon Leakage** – wird nur aufgeforstet, was an anderer Stelle geerntet oder abgebrannt wurde bzw. werden wird? War es in Ordnung, dass geerntet wurde etc.? Andererseits sollte gefragt werden: Sollen wir mit dem Aufforsten aufhören, wenn irgendwo abgefackelt oder abgeholzt wird? Heute wird dieses Thema oft im Umfeld von Palmölplantagen diskutiert.

(3) REGENWALDERHALT

Aus Sicht des Autors besitzt, wie oben schon angedeutet, Regenwalderhalt die größte Dringlichkeit, auch mit Blick auf **Tipping Points** des Klimasystems. Die Zeit drängt. Aber viel zu viel Zeit wird mit divergierenden Interessen und Forderungen vertan. Für Regenwalderhalt gibt es mittlerweile internationale Zertifizierungsverfahren, insbesondere REED+. Die Prozesse sind allerdings aufwendig und teuer. Regenwaldschutz gelingt bisher auch deshalb nur sehr bedingt.

D. h., dass jedes Jahr etwa 1 % der noch vorhandenen Regenwaldfläche von (nur noch) etwa 1 Milliarde Hektar verloren geht. Das sind 10 Millionen Hektar oder 100.000 km² Verlust pro Jahr. Das ist ein gigantischer Streifen von 100 km x 1.000 km Größe. Diese Verluste sind besonders tragisch, weil, wie schon erwähnt, Regenwälder über und unter der Erde bis zu 700 Tonnen CO₂ pro ha speichern, das dann freigesetzt wird. Außerdem sind die tropischen Regenwälder der wichtigste Ort zum Erhalt von **genetischer Vielfalt**. Es gibt, wie schon gesagt, (nur) noch etwa 1 Milliarde Hektar tropische Regenwälder und es wird nach wie vor in großem Umfang abgeholzt und Brandrodung betrieben – oft illegal. In der Summe ist die Wirkung, dass Wälder, wie Böden in einer Gesamtbetrachtung heute **CO₂-Quellen** und keine CO₂-Senken sind. Das muss dringend geändert werden. Die bisherigen Ansätze reichen dazu nicht aus.

Was ist zu tun? Sollte man nicht andere Ansätze versuchen, als sie heute üblich sind, z. B. 50-100 Euro pro Hektar Regenwald ohne weitere Prüfungen und langfristige Zusagen zum Walderhalt (also ohne gesicherte Permanenz), immer im Nachhinein für 1 Jahr Erhalt zahlen? Jedes Jahr Regenwalderhalt ist gut, schon wegen der dadurch bewirkten Verringerung der Gefahr, **Kipppunkte des Klimasystems zu überschreiten**. Ähnlich sieht es bei Aufforstungen aus, bei denen die Verfahren ebenfalls dringend vereinfacht werden sollten. In diesem Kontext sei auch eine positive Entwicklung aus jüngster Zeit erwähnt, nämlich die international von wichtigen Akteuren gestartete „**Green Gigaton Challenge**“ [9].

(4) HUMUSBILDUNG IN DER LANDWIRTSCHAFT

Auf der Welt ist eine dauernde Verschlechterung der Qualität der Böden zu beobachten, vor allem auch im Bereich der Landwirtschaft. Das hängt unter anderem mit der intensiven Nutzung der Böden zusammen [4, 6, 7, 8, 11, 16, 42]. Die erfolgenden Prozesse der Globalisierung mit dauernd wachsender Bevölkerung erhöhen den Druck, weil viele gute Flächen für andere Zwecke gebraucht werden. Mehr Wohlstand für immer mehr Menschen bedeutet immer wachsende Nachfrage nach immer höherwertiger Ernährung. Perspektivisch brauchen wir mehr hochwertige Böden und eine starke Anreicherung der Humusbildung, die wiederum massiv CO₂ bindet [46]. Das brauchen wir auch und gerade in semiariden Zonen. Dazu müssen z. B. Holz- und Pflanzenreste in **pyrolisierter Form** als **Holz- oder Biokohle** in die Erde eingebracht werden. Natürlich muss die Ausprägung dieser CO₂-Senkenfunktion von Böden von denen bezahlt werden, die CO₂ emittieren. Würde das passieren, wäre das auch ein wichtiger Beitrag zur weiteren Entwicklung, nirgendwo mehr als in Afrika, wo sich in den nächsten 30 Jahren die Bevölkerung

verdoppeln wird. Das ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass sich Afrika heute schon nicht selbst ernähren kann. 30 Milliarden Dollar gehen in Afrika jährlich in Nahrungsmittelimporte. Leider hat man sich international bisher noch nicht auf ein tragfähiges System zur Zertifizierung von Kohlenstoffbindungen in Böden verständigen können. Das ist ein **massives Versagen** der internationalen Gemeinschaft, der einschlägigen Unternehmen, der Wirtschaft, aber auch der NGOs im Umweltbereich. Dies umso mehr, als moderne Satelliteninformationen interessante neue Möglichkeiten in diesem Bereich eröffnen [6].

(5) ZUR FINANZIERUNG DER NATURE-BASED SOLUTIONS

In [39] wird ein Kernansatz für eine klimaneutrale Welt ab 2050 beschrieben. 10 Milliarden Tonnen CO₂ müssen pro Jahr über Nature-based Solutions der Atmosphäre entzogen werden. Dafür müssen diejenigen zahlen, die CO₂ in die Atmosphäre entlassen. Und zwar über den Erwerb hochwertiger Zertifikate. Das ist der Ansatz, den die (Stiftung) Allianz für Entwicklung und Klima befördert. Hochwertige Zertifikate – vor allem im Bereich Nature-based Solutions (Negativemissionen) – sind sehr geeignet. Zukünftig wird das vielleicht auch einmal für Direct Air Capture gelten. Lässt man erzeugte Negativemissionen als Instrument für den Weg zur Klimaneutralität zu, kann die Nutzung von synthetischen Kraftstoffen (doppelt-)klimaneutral gestellt werden [40]. Es ist in derselben Logik auch möglich, batterieelektrische Fahrzeuge, inklusive ihrer Produktionsprozesse und der Batterieherstellung, klimaneutral zu stellen, auch den Strom aus einem Stromnetz, dessen Anteil an erneuerbarem Strom unter 100 % liegt. Auf der Basis dieses Ansatzes kann sogar ein europäischer Green New Deal so ausgestaltet werden, dass die europäische Industrie keine Wettbewerbsnachteile dadurch hat (weder bei Importen, noch bei Exporten) und trotzdem kein Konflikt mit den WTO-Regeln auftritt [40].

Eine Botschaft der Hoffnung für den freiwilligen Bereich des Offsetting stellt eine oben schon erwähnte, aktuelle Initiative von UNEP und vieler weiterer Partner dar – die **Green Gigaton Challenge**, in deren Umfeld auch der Begriff eines „Marshall Plans for Forests“ verwendet wird [9]. Die Initiative zielt auf 1 Milliarde Tonnen Negativemissionen aus dem Waldumfeld bis 2025. Diese sollen im Rahmen eines Multi-Stakeholder-Ansatzes über die Verfügbarmachung und den Verkauf von CO₂-Zertifikaten erreicht werden. Das ist ein wichtiger Anfang. Dies betrifft etwa 10 % des Volumens, das möglich wäre und das in diesem Text vorgeschlagen wird. Positiv ist auch, dass sich UN-Generalsekretär António Guterres im Dezember 2020 ausdrücklich und deutlich für mehr freiwillige Kompensationsmaßnahmen

(**Offsetting**) ausgesprochen hat, zu denen bevorzugt Nature-based Solutions gehören. Dabei erwähnte er auch die „Task Force on Scaling Voluntary Carbon Markets“, die vor einiger Zeit ihre Arbeit begonnen hat [18].

Erforderlich ist ein organisiertes Programm der Staatengemeinschaft. Bisher gibt es keine koordinierten Anstrengungen für ein weltweites Programm zur massiven Aktivierung von Nature-based Solutions, obwohl auf diese Weise viel für Klima und Entwicklung getan werden könnte, zu überschaubaren Kosten.

Richtig eingesetzt, ermöglichen die Nature-based Solutions ein Entlastungsprogramm, bei dem über 40 Jahre eine Situation herbeigeführt werden kann, in der die **Menschheit 10 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr** ohne negative Wirkungen auf das Klima emittieren kann. Dieses Programm könnte schrittweise umgesetzt und kontinuierlich ausgebaut werden, vor allem über Aufforstung auf degradierten Böden in den Tropen und über Humusbildung in der Landwirtschaft [39]. Nach 10 Jahren ist man bei jährlich 2,5 Milliarden Tonnen gebundenem CO₂ und 12,5 Milliarden Tonnen kumulierter Einsparung, nach 20 Jahren bei jährlich 5 Milliarden Tonnen gebundenem CO₂, kumuliert 50 Milliarden Tonnen, nach 30 Jahren bei jährlich 7,5 Milliarden Tonnen gebundenem CO₂, kumuliert 112,5 Milliarden Tonnen, und schließlich nach 40 Jahren bei jährlich 10 Milliarden Tonnen gebundenem CO₂, kumuliert 200 Milliarden Tonnen. Ab diesem Moment sind es Jahr für Jahr 10 Milliarden Tonnen CO₂, die der Atmosphäre entzogen werden [39].

Lösungsbeiträge durch Nature-based Solutions sind glücklicherweise mit enorm vielen weiteren positiven Wirkungen, etwa für die Umsetzung der SDGs, verknüpft. Es geht um den Schutz der Regenwälder, des Wasserhaushalts, massive Verbesserungen der Ernährungslage, Infrastruktur, Jobs, Einkommen, Wohnen, Lebenssituationen von Frauen, Männern und Kindern, Ausbildung, Energiebereitstellung und – ganz wichtig – Erhalt der biologischen Vielfalt. Nature-based Solutions sind ein „Hot Spot“ für die Verbindung von Entwicklungsanliegen und Klimaschutz [42] und daher ein Schwerpunkt der Arbeit der (Stiftung) Allianz für Entwicklung und Klima des BMZ. Von besonderer Wichtigkeit sind die Potenziale für mehr Wohlstand bei gleichzeitigem Umwelt- und Ressourcenschutz für Afrika und Indien. In den Analysen des Autors [39] ist ein Programm dieses Typs ein wesentlicher Anker für eine eventuelle Erreichung des 2°C-Ziels. Am besten würde es mit dem Ansatz von Klimagerechtigkeit verknüpft. In jedem Fall, also auch als Einzelmaßnahme, sollte die Weltgemeinschaft dabei rasch über verschiedene Qualitätsniveaus für entsprechende Projekte und den Prozess der Zertifikaterzeugung für Nature-based Solutions entscheiden und für Klimazwecke anerkennen. Sie sollte auch die begleitenden Finanzierungsmechanismen

entwickeln. Das Geld fließt an die **Erzeuger** der Zertifikate, also z.B. an Land- und Forstwirte überall auf der Welt. Indirekt profitieren natürlich auch die Standortländer der Maßnahmen auf vielfache Weise.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Der Text zeigt, dass die Welt bzgl. Klima und Energie auf keinem guten Kurs ist. In der Folge der Kopenhagen-Konferenz haben sich die verfolgten Strategien im Klimabereich ab 2015 mit dem Paris-Vertrag und den SDGs leider sehr stark auf nationale Politikansätze zurückentwickelt. Diese können die Probleme bzgl. Entwicklung, Energie, Klima und Wachstum der Weltbevölkerung nicht lösen. Die Hoffnungen auf Elektromobilität oder einen European Green New Deal sind illusionär. Das wirtschaftliche Wachstum in Afrika, auf dem indischen Subkontinent und in China droht uns auf einen Pfad zu bringen, der bis zum Ende des Jahrhunderts bei 3°C-Temperaturanstieg zur vorindustriellen Zeit liegen könnte.

Gibt es zur Bewältigung der Probleme noch eine freiheits- und wohlstandskompatible Lösung? Wenn ja, muss man alle Optionen nutzen und darf sich nicht in nationale Aktivitäten verrennen, die vielleicht für viel Geld und verbunden mit Wohlstandsverlusten erlauben, Klimaziele in Deutschland zu erreichen, aber nicht verhindern können, dass sich die übrige Welt mit massivem Wachstum von CO₂-Emissionen in Richtung Klimakatastrophe bewegt. Ganz große Herausforderungen stellen Kohlekraftwerke, Automobile mit Verbrennermotoren, Stahlindustrie sowie Zement in weltweiter Perspektive dar. Hier muss es einerseits um CO₂-Recycling gehen, andererseits um den breiten Einsatz klimaneutraler synthetischer Kraftstoffe, also reFuels. Die Potentiale von reFuels sollten nicht aus verengten Blickwinkeln verbaut werden, die z. B. das Thema grünen Wasserstoff ganz aus deutscher Perspektive mit hoher Knappheit und hohen Kosten für grünen Strom betrachten.

Bei reFuels ist vor allem wichtig, weltweite Bestandsthemen, z. B. Fahrzeuge mit Verbrennermotoren zu adressieren, bisherige Infrastrukturen weiter zu nutzen und in heutigen Preisgrößen zu bleiben. Zugleich muss Entwicklung massiv gefördert werden, z.B. über die Aktivierung von Sonnenwüsten und ihrer Potentiale. Nur so kann eventuell das Bevölkerungswachstum ab 2050 bei dann vielleicht 10 Milliarden Menschen gestoppt werden.

Nature-based Solutions sind in all diesen Prozessen wichtig: für die Ernährung, die Biodiversität, für die Umsetzung der SDGs und für etwa 10 Milliarden Tonnen Negativemissionen pro Jahr. Diese können einen erheblichen Beitrag für bilanzielle Klimaneutralität ab 2050/2060 leisten. Das bisherige Versagen der Weltgemeinschaft an dieser Stelle in unbedingt rasch zu überwinden.

ANHÄNGE

(1) PARIS-LÜCKE / WELTBEVÖLKERUNGSENTWICKLUNG / WACHSTUM DER CO₂-EMISSIONEN

a) Paris-Lücke

Der Autor hat kurz nach dem Scheitern des Weltklimagipfels von Kopenhagen in Publikationen für 2050 eine Lücke von etwa 600 Milliarden Tonnen CO₂ zur Erreichung des 2°C-Ziels vorausgesagt [32, 33, 35, 36]. Dies als Folge der nicht gelungenen Verständigung auf ein funktionierendes *Cap and Trade*-System in Kopenhagen [39]. Die Verhandlungen wurden von USA und China als gescheitert erklärt, die letzte Chance auf eine sanfte Lösung war vertan. Spieltheoretisch resultierte daraus eine erhebliche Lücke bis 2050 gegenüber einer mit dem CO₂-Ziel möglicherweise noch kompatiblen Situation.

Das, was in Paris verabschiedet wurde, bedeutet trotz allem einen großen Fortschritt gegenüber dem Status quo vor Vertragsabschluss. Wenn das umgesetzt wird und noch ein paar absehbare Verbesserungen folgen, ist statt einer Temperaturerhöhung von vielleicht 4-5°C bis zum Ende des Jahrhunderts im Verhältnis zur vorindustriellen Zeit bei Verfolgung eines „business-as-usual-Programms“ nur noch eine Erwärmung von vielleicht 3°C zu erwarten. Die Situation stellt sich aus Sicht des Autors in grober Näherung wie in der nachfolgenden Abbildung wiedergegeben dar:

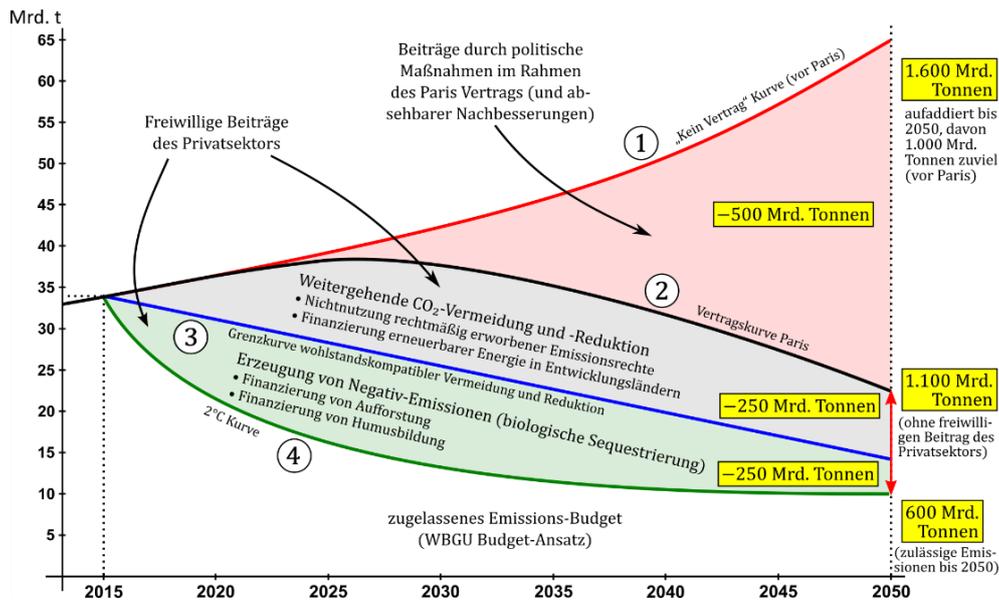


Abbildung 1. Reduktionspfade in der Logik des Paris-Abkommens

Ersichtlich sind geplante bzw. erforderliche Beiträge des staatlichen Sektors und nicht-staatlicher Akteure [vgl. 37]. Die Fläche zwischen den Kurven 2 und 4 bildet die Paris-Lücke.

b) Entwicklung der Weltbevölkerung

Die Situation ist bis 2050 verhältnismäßig klar und bedrohlich genug [41, 45]. Im Jahr 2000 lebten 6 Milliarden Menschen auf der Erde, mittlerweile sind es 7,5 Milliarden. Jedes Jahr ist etwa die Bevölkerung Deutschlands hinzugekommen. Bis 2050 werden 10 Milliarden Menschen erwartet. Es geht also im gleichen Tempo weiter wie bisher. Zwar geht die Wachstumsrate zurück, aber die zugrunde liegende Basis ist immer größer, damit bleibt das absolute Wachstum gleich. Die zentralen Wachstumsbereiche sind die afrikanischen Staaten und die Staaten auf dem indischen Subkontinent. **Entscheidend ist das Wachstum** in Afrika. Die dortige Bevölkerung wird sich in 30 Jahren auf dann etwa 2,4 Milliarden Menschen verdoppeln. Nigeria wird dann nach Indien und China mit etwa 400 Millionen Menschen das Land mit der drittgrößten Bevölkerung der Welt sein – vor den USA. In 2050 werden voraussichtlich 70 Prozent der Weltbevölkerung in Städten leben. In den Entwicklungs- und Schwellenländern entstehen **Megastädte** und **Megaslums**. Es werden sich gewaltige Herausforderungen an die Infrastruktur im Bereich Müllentsorgung, Abwasser, -Wasser, Wohnungen, Jobs ergeben. Die hundertfache Überschreitung europäischer Emissionsgrenzwerte in afrikanischen und asiatischen Megacities ist an der Tagesordnung [27, 28].

Neue Städte entstehen und werden zu Megaslums. Die Jugend zieht es in die Städte. Bis 2050 wird der Anteil der in Städten lebenden Weltbevölkerung auf über 70

Prozent anwachsen. Die Anforderungen an die Infrastrukturentwicklung sind gewaltig. Viele dieser Ballungsräume sind schon heute nicht mehr regierbar, afrikanische und asiatische Megacities stehen schon jetzt vor dem Kollaps. Nicht nur die Verkehrs- und Smogsituation ist lebensgefährlich, sondern die Lebenssituation insgesamt. Dennoch: Abermillionen Menschen ziehen vom Land in die urbanen Zentren.

Es muss unbedingt gelingen, dass 2050 das Weltbevölkerungswachstum bei dann 10 Milliarden Menschen ein Ende findet. Deshalb ist das Ziel Wohlstand für alle und eine Umsetzung einer zumindest bescheidenen Ausprägung der SDGs bis 2050 (**2030** ist nicht möglich) so wichtig. Auch wenn das natürlich den Ressourcenverbrauch und die Klimagasemissionen in der Tendenz weiter antreiben wird. Gelingt das nicht, drohen untragbare Verhältnisse mit Blick auf 2100. Die sozialen Fragen werden dann unlösbar, vor allem wenn die Folgen des Klimawandels hinzukommen.

Mit dem prognostizierten Wachstum der Bevölkerung in Afrika (Verdopplung bis 2050) wird sich die Situation massiv verschärfen. Gelingt an dieser Stelle keine Stabilisierung der Bevölkerungszahl und kommt es zu der befürchteten nochmaligen Verdopplung bis 2100, entzieht sich die Situation in Afrika jeglicher Beherrschbarkeit.

Eine aktuelle Prognose verweist auf die 20 im Jahr 2100 größten Städte der Welt, wenn die befürchtete Entwicklung nicht gestoppt werden kann.² **13 dieser Städte sind aus Afrika**, drei aus Indien. Von den chinesischen Städten gehört keine dazu, natürlich findet sich auch keine europäische Stadt darunter, keine Stadt aus Nordamerika und keine aus Südamerika. Die meisten Menschen werden heute von einigen der dann größten afrikanischen Städte noch nie gehört haben. Die größten Städte der Welt liegen dann bei Bevölkerungsgrößen zwischen 50 und 90 Millionen Menschen. Man befindet sich dann fast im Bereich der Bevölkerungsgröße Deutschlands je einzelner Stadt.

² Vgl. <https://www.visualcapitalist.com/worlds-20-largest-megacities-2100/>

Nicht-afrikanische Städte

| Rank | Population (2100) | City | Country |
|------|-------------------|---------|-------------|
| #4 | 67.2 Millionen | Mumbai | India |
| #5 | 57.3 Millionen | Delhi | India |
| #8 | 54.3 Millionen | Dhaka | Bangladesh |
| #9 | 52.4 Millionen | Kolkata | India |
| #10 | 50.3 Millionen | Kabul | Afghanistan |
| #11 | 49.1 Millionen | Karachi | Pakistan |
| #17 | 40.0 Millionen | Manila | Philippines |

Afrikanische Städte

| Rank | Population (2100) | City | Country |
|------|-------------------|---------------|---------------------|
| #1 | 88.3 Millionen | Lagos | Nigeria |
| #2 | 83.5 Millionen | Kinshasa | Dem. Republik Kongo |
| #3 | 73.7 Millionen | Dar Es Salaam | Tanzania |
| #6 | 56.6 Millionen | Khartoum | Sudan |
| #7 | 56.1 Millionen | Niamey | Niger |
| #12 | 46.7 Millionen | Nairobi | Kenya |
| #13 | 41.4 Millionen | Lilongwe | Malawi |
| #14 | 40.9 Millionen | Blantyre City | Malawi |
| #15 | 40.5 Millionen | Cairo | Egypt |
| #16 | 40.1 Millionen | Kampala | Uganda |
| #18 | 37.7 Millionen | Lusaka | Zambia |
| #19 | 36.4 Millionen | Mogadishu | Somalia |
| #20 | 35.8 Millionen | Addis Ababa | Ethiopia |

Abbildung 2. Die größten Städte der Welt in 2100 bei immer weiter wachsender Weltbevölkerung

c) Weiteres Wachstum der CO₂-Emissionen

Am FAW/n haben wir mit Blick auf die weltweiten Dynamiken abgeschätzt, welche kumulativen Effekte das erwartete Bevölkerungswachstum in den afrikanischen Staaten und auf dem indischen Subkontinent auf die weiteren CO₂-Emissionen hat,

wenn auch nur bescheidene Wohlstandssteigerungen realisiert werden. BM Dr. Gerd Müller (BMZ) spricht in diesem Zusammenhang immer davon, dass alle Afrikaner Anspruch auf einen Zugriff auf eine Steckdose haben. Die folgende Abbildung 3 aus [38] zeigt die Dynamik. Die Bevölkerung in diesen beiden Teilen der Welt wird von heute etwa 2,6 Milliarden Menschen auf wahrscheinlich 4,2 Milliarden Menschen anwachsen. Das ist das 3-fache der heutigen chinesischen Bevölkerung. 1,6 Milliarden Menschen kommen bilanziell hinzu. Wenn sich die Emissionen in diesen großen Teilen der Welt in Richtung 3-4 Tonnen pro Kopf entwickeln, liegen sie noch immer erst bei der Hälfte der heutigen chinesischen Emissionen pro Kopf. Generell sind hier alle Emissionen, nicht nur die mit Energieerzeugung verbundenen, gezählt. Der Zuwachs kann leicht 7 Milliarden und mehr Tonnen betragen. Das ist mehr als das Doppelte der Emissionen in der EU, also mehr als zwei Mal das, was wir in Europa maximal einsparen können.

Das würde allein schon fast das mögliche Zusatzvolumen an Nature-based Solutions (vgl. Kap. 4) von 10 Milliarden Tonnen CO₂ verbrauchen - das es noch gar nicht gibt und das wohl (wenn überhaupt) frühestens 2050 bzw. 2060 realisiert sein wird, sicherlich nicht 2040. Bundesminister Dr. Gerd Müller (BMZ) befürchtet bis zu 1000 neue Kohlekraftwerke in Afrika. Deshalb ist dort CO₂-Recyclierung so wichtig. Die nachfolgende Abbildung 3 verdeutlicht die Situation.

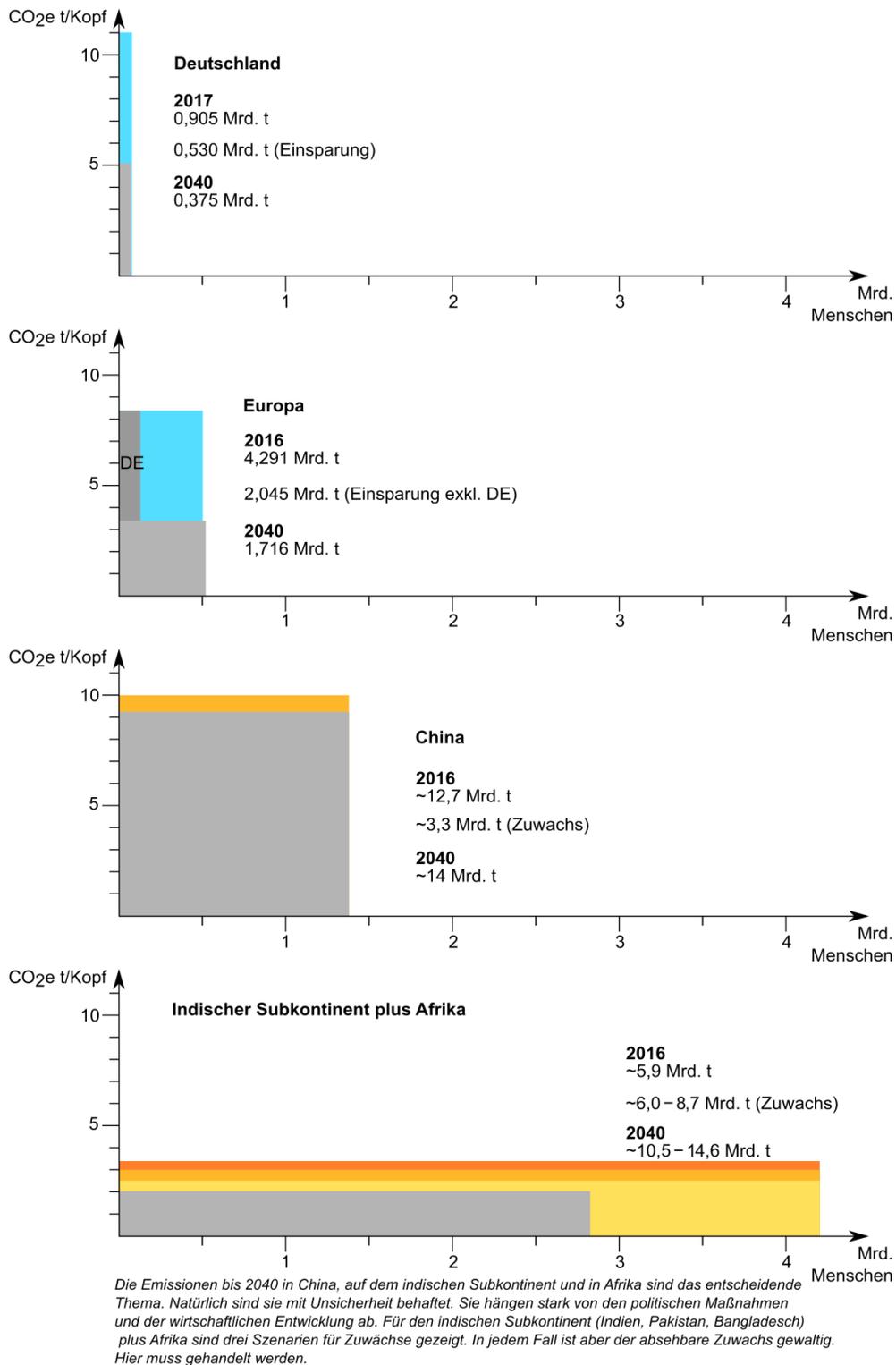


Abbildung 3. Pro-Kopf-CO₂e-Emissionen aktuell und erwartet (2040) (vgl. 38)

Bevölkerungsentwicklung und mögliche Einsparungen (blau) bzw. erwartbare Zuwächse (gelb/orange). Die drohenden massiven Emissionszuwächse in Afrika und auf dem indischen Subkontinent bestimmen das Bild.

Mit einer Absenkung der weltweiten CO₂-Emissionen in größerem Umfang ist in dieser Situation nicht zu rechnen. Schon das Halten des bisherigen Niveaus könnte schwierig werden. Die Internationale Energieagentur (IEA), eine Organisation der OECD, kommt mit Blick auf 2040 zu ähnlichen Ergebnissen, vgl. die nachfolgende Abbildung 4.

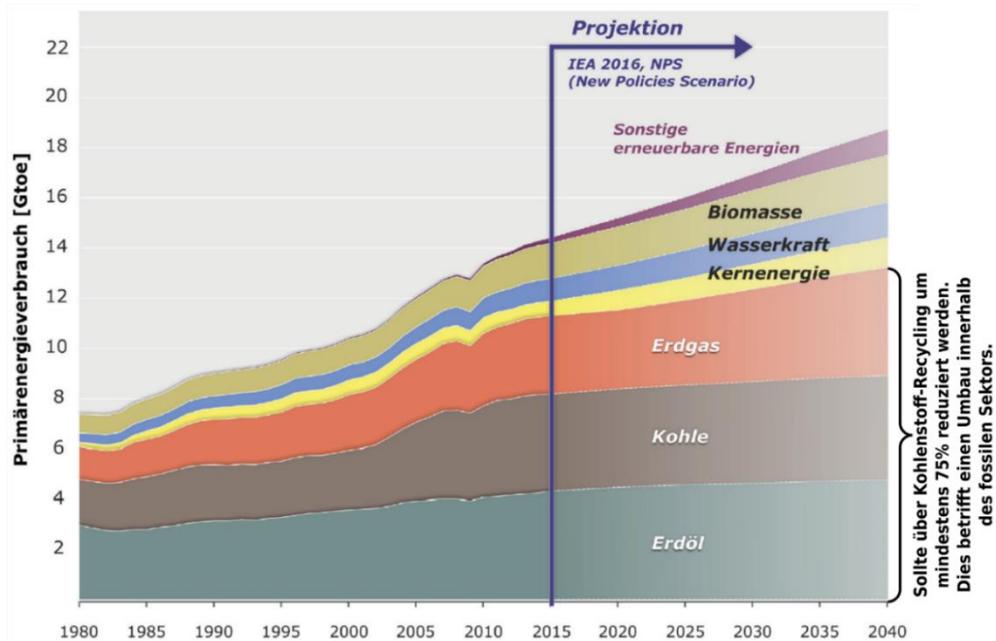


Abbildung 4. Prognostizierter weltweiter Primärenergieverbrauch bis 2040 (vgl. 22)

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

(2) KLIMANEUTRALITÄT, CO₂-RECYCLIERUNG, REFUELS

a) Beispiel 1

Für den Weg der Welt zum 2°C-Ziel spielt aufgrund des Gesagten ein kluger Weg zur Klimaneutralität 2050 eine zentrale Rolle. Der Weg hat allenfalls dann eine Chance, wenn über Nature-based Solutions und massive Aktivierung der (freiwilligen) Klimamärkte (kluges **Offsetting**) ein Potential von 10 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr für die Welt geschaffen wird, die über entsprechende Negativemissionen verwirklicht werden. Das macht den Net-Zero-Ansatz tragfähig. Für die Negativemissionen müssen diejenigen bezahlen, die ihrerseits Emissionen erzeugen, also z. B. der Elektroautonutzer, dessen getankter Strom nicht grün ist, Personen, die Holz-Pellets verbrennen, statt das Holz über Holzkohle im Boden zu deponieren, oder auch die Nutzer von reFuels.

reFuels stehen dabei am Ende einer Kette von Recyclierungen von Kohlenstoff in einer **Circular Carbon Economy**. Nach Kalkulationen des Autors können in dieser zukünftigen Welt vielleicht 80 % des eingesetzten Kohlenstoffs technisch recycelt werden, 20 % werden biologisch über die beschriebenen Nature-based Solutions (oder mittelfristig vielleicht auch über Direct Air Capture) recycelt. Das nachfolgende Beispiel zeigt schematisch eine Konstellation, die leicht erweitert die heutige Welt im Ausschnitt Kraftwerke und Verbrennerfahrzeuge widerspiegelt. Im Status Quo werden 20 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr in die Atmosphäre entlassen, im Zukunftsszenario ergibt sich Klimaneutralität. Dabei werden 14 Milliarden Tonnen CO₂ recycelt, 6 Milliarden Tonnen gehen in die Atmosphäre, werden dann aber über Nature-based Solutions wieder gebunden bzw. recycelt.

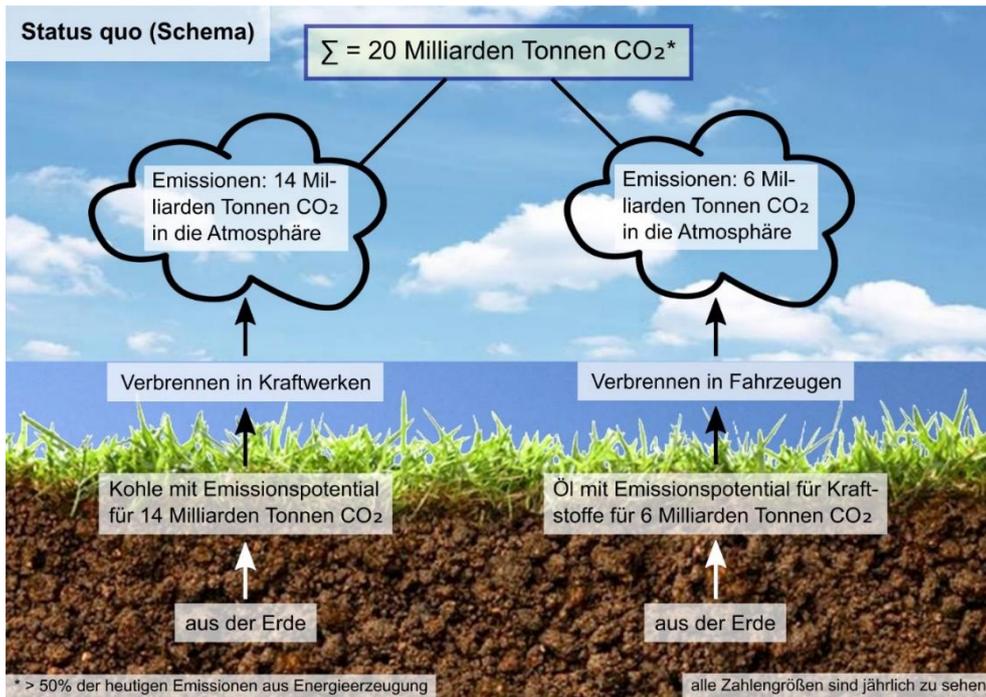


Abbildung 5. Status Quo in einem Klimabilanzbeispiel

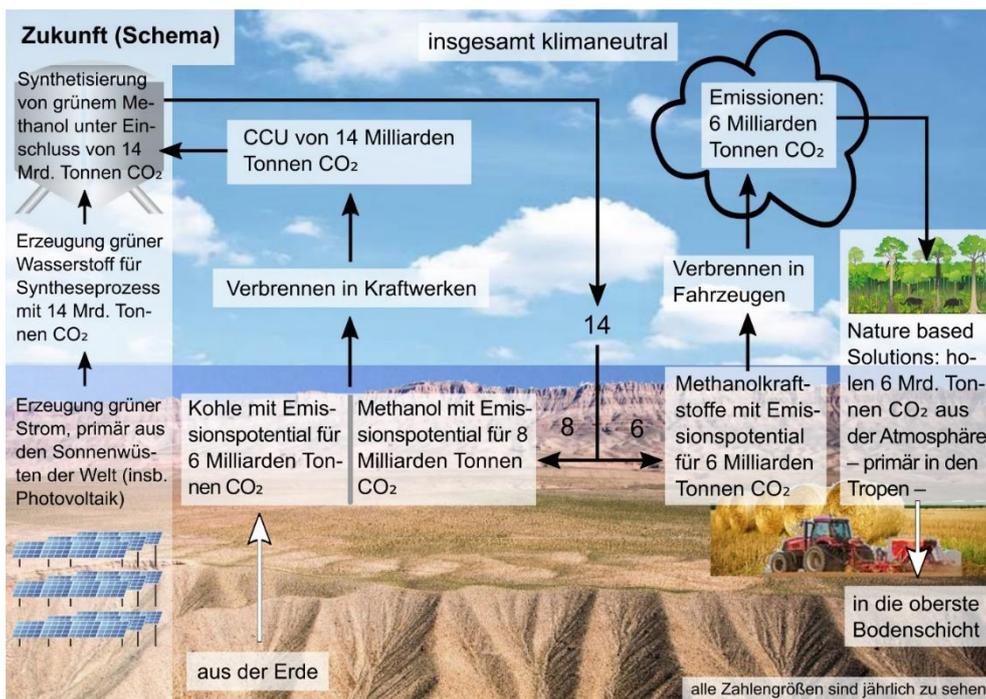


Abbildung 6. Zukunft in einem Klimabilanzbeispiel

Emissionen in Höhe von 6 Milliarden Tonnen CO₂- pro Jahr aus fossilen Kraftwerken werden über CCU abgefangen und recycelt. Emissionen in Höhe von 8 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr aus Kraftwerken (betrieben über Verbrennung von grünem Methanol) werden über CCU abgefangen und recycelt, d.h. **Kraftwerke sind klimaneutral**. Emissionen in Höhe von 6 Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr gelangen aus dem Verkehrsbereich in die Atmosphäre. Diese werden über Nature-based-solutions kompensiert, d.h. auch der **Verkehr ist klimaneutral**.

Eine noch beeindruckendere Situation beschreibt nachfolgend Beispiel 2. Hier wird ein Kohlekraftwerk blockweise umgebaut zu einem Gaskraftwerk auf Basis von synthetischem Methanol bzw. Methan.

Das bisherige Geschäftsmodell des Kraftwerks, die gesamte Infrastruktur, die Abwicklung mit den Kunden bleibt erhalten. Es ist ein stabiles System, es spart sich die enormen Kosten zum Umgang mit der Volatilität der Erneuerbaren und damit auch die Kosten der Digitalisierung des Systems. Erreicht wird eine totale Klimaneutralität des Kraftwerks.

b) Beispiel 2

Umbau eines Kohlekraftwerks zu einem klimaneutralen Gaskraftwerk auf Basis von synthetischem Methanol oder Methan mit 100% geschlossenem Kohlenstoffkreislauf

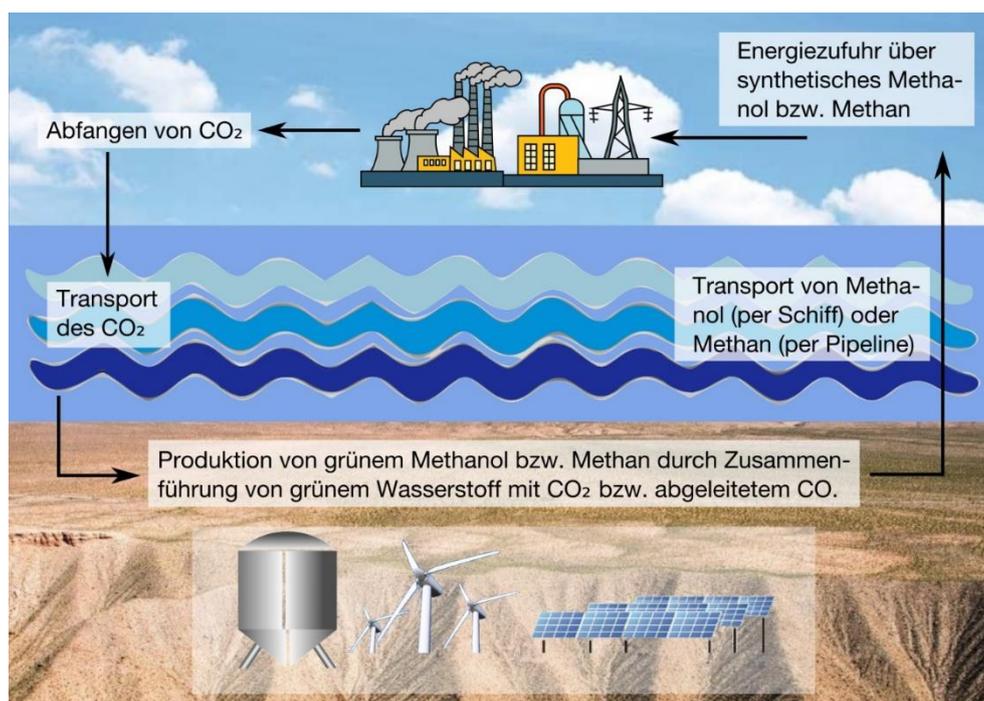


Abbildung 7. Klimaneutrales Kraftwerk in einem Klimabilanzbeispiel

Das Ziel des Umbaus des Kohlekraftwerks ist ein **klimaneutrales Kraftwerk**, das **kein CO₂ in die Atmosphäre** emittiert - obwohl der eingesetzte Kraftstoff kohlenstoffbasiert ist. Ein solches Kraftwerk könnte z. B. irgendwo am Rande von

Europa stehen. Es sollte grundlastfähig sein, aber bei Bedarf auch als Reservekraftwerk schnell zugeschaltet werden können.

Wie kann das gelingen?

1. Das Kraftwerk wird mit synthetischem Methanol bzw. Methan über eine Gasturbine betrieben.
2. Das entstehende CO₂ wird abgefangen und z. B. nach Nordafrika transportiert.
3. Dort wird es mit preiswertem grünem Wasserstoff in grünes Methanol bzw. alternativ nach Überführung von CO₂ in CO (Kohlenmonoxid) in grünes Methan verwandelt.
4. Das grüne Methanol wird mit Schiffen, alternativ das grüne Methan über Pipelines (falls solche existieren) zum Kraftwerk am Rande von Europa transportiert.

In einer solchen Lösung bleibt der Kohlenstoff **für immer in einem geschlossenen Kreislauf** und gelangt **nie** in die Atmosphäre. Geografisch bewegt er sich z. B. zwischen Europa und Nordafrika.

Kann ein solches Vorgehen ökonomisch sinnvoll sein?

Ja, wenn das grüne Methanol bzw. Methan sehr preiswert produziert werden können, während sich kein ökonomisch tragfähiger Weg findet, um den grünen Strom oder auch den grünen Wasserstoff direkt von Afrika nach Europa zu transportieren. Auch wenn die Direktproduktion des grünen Stroms und des grünen Wasserstoffs in Europa viel zu teuer ist bzw. mengenmäßig nicht realisiert werden kann, ist ein solches Vorgehen ökonomisch sinnvoll.

(3) METHANOL – EIN WICHTIGER BAUSTEIN IM PUZZLE

Bei der Lösung der Energie- und Klimafragen sind viele Aspekte zu beachten. Ausgangspunkt ist – sieht man von den kontroversen Alternativen Atomkraft und (Super-)Geothermie einmal ab –, erneuerbarer Strom in schier unglaublich großen Mengen, aus heutiger Sicht primär Photovoltaik und Wind. Es ist allerdings zu erwarten, dass aufgrund der von vielen empfundenen Hoffnungslosigkeit der Situation innerhalb kürzester Zeit die Frage der Atomkraft neu thematisiert werden wird – insbesondere mit Verweis auf neue, kluge, noch einmal viel sicherere Kraftwerke. Im Kontext des Klimaschutzes prüfen einige Länder, wie z. B. auch Finnland, diese Option. Im Weiteren wird dieser Aspekt ausgeklammert und strombasierte Ansätze fokussiert.

Dieser Strom soll preiswert sein, z. B. aus der Sahara oder (als Offshore-Wind) vor der Küste Schottlands. Ziel ist unter 2 Cent pro kWh am Übergabepunkt zu einer Nutzung. Der Transport dahin, wo der Strom gebraucht wird, ist schwierig. Z. B. aus der Sahara nach Südspanien oder Süditalien, z. B. über Hochspannungsgleichstrom-Leitungen. Ist der Strom in Europa, muss er weitergeleitet werden. In Bezug auf die Nutzung stellen sich wegen der Volatilitätsprobleme Fragen der Speicherung. Gute, vor allem preiswerte Antworten gibt es für die Speicherung bisher nicht.

Wandelt man den grünen Strom in grünen Wasserstoff um, ist man mit der Speicherung weiter. Der grüne Wasserstoff sollte maximal 1 Euro pro kg kosten. Das erreicht man am besten am Rande von Sonnenwüsten. Das benötigte Wasser wird in Form von **Meerwasserentsalzung** eingebracht, geht also nicht zu Lasten der Versorgung der Bevölkerung. Der Wasserstoff ist ein guter Energiespeicher, aber kompliziert im Umgang. Kann man ein kontinentales Pipelinesystem nutzen, ist der Transport leichter zu leisten. Zwischen Kontinenten wird es schwierig.

Hier kommt eine dritte Dimension ins Spiel, nämlich **Methanol**. **Methan**, **Ammoniak** – jeweils in synthetischer Form. Besonders interessant sind Methanol und Methan, da sie es erlauben, große Mengen CO₂ zu recyceln. Das hilft dem Klima außerordentlich. Methan kann als Gas einigermaßen gut transportiert werden, Methanol als Flüssigkeit (ähnlich zu Öl oder Benzin) sogar noch besser. Methanol ist dann aber auch der Ausgangspunkt für viele synthetische Kraftstoffe, von Methanol-Benzin über Methanol-Diesel, Methanol-Kerosin bis zu Methanol-Heizöl. Ferner hat Methanol viele attraktive Anwendungsfelder in der Chemie. Deshalb ist Methanol so etwas wie der **Geheimtipp** auf dem Weg in eine klimaadäquate Welt.

Verbindet man grünen Wasserstoff mit CO₂, entsteht **grünes Methanol**. Es ist die einfachste flüssige Kohlenwasserstoffverbindung. Sie erinnert an Benzin, ist weniger giftig. Es gibt sie heute in schwarzer oder grauer Form in breitem Einsatz (nach Öl die am häufigsten synthetische Energieflüssigkeit). Sie wird auch als **flüssiger Strom** oder „flüssige Sonne“ bezeichnet. Die grüne Variante aus grünem Wasserstoff und CO₂ ist der vielleicht wichtigste Baustein zur Lösung des Weltklimaproblems. Viele interessieren sich dafür, z. B. ein Konsortium um den Port of Antwerp, der die Kombination aus grünem Wasserstoff und recyceltem CO₂ als **Sustainable Methanol** bezeichnet.

Zu den Beiträgen grünen **Methanols** gehören: [3, 29, 30]

- (1) Es erlaubt die Recyclierung von CO₂ in großem Stil. Große Teile der Industriegesellschaft können bleiben, wie sie sind. Weil Methanol und ebenso Methan, auch die Industrieprozesse „befeuern“ können, sind sie auch die Basis für eine **Mehrfachrecyclierung von CO₂** (vgl. hierzu auch [38]).
- (2) Es erlaubt die Transformation des grünen Wasserstoffs in eine Energieflüssigkeit, die bequem weltweit transportiert und gespeichert werden kann. Sie kann zu Methanol-Benzin, Methanol-Diesel, Methanol-Kerosin und weiteren flüssigen Energieträgern synthetisiert werden. Sie erlaubt damit die Lösung vieler Energie- und Klimaprobleme im Verkehrssektor (ggf. alternativ durch direkten Einsatz von grünem Methanol in geeigneten Fahrzeugen und Verbrennermotoren) und die preiswerte Adressierung der individuellen Wärme- und Kältethemen. Brennstoffzellen können ebenfalls damit versorgt werden. Wandelt man Methanol dazu an Tankstellen in Wasserstoff für Brennstoffzellen um, kann das CO₂ wieder abgefangen werden (was sich bei einzelnen Fahrzeugen nicht lohnt) und so unmittelbar Klimaneutralität ermöglichen.
- (3) Methanol als Treibstoff wird Benzin und Diesel in vielfältiger Anwendung ersetzen. Methanol ist beides zugleich und viel sauberer. Allerdings müssen die Motoren dafür speziell ausgelegt werden. **Methanol-Fahrzeuge haben das Potential, wichtiger zu werden als batterieelektrische Lösungen.** Dieser Kraftstoff hilft allerdings nur bedingt bei der Bestandsflotte, die etwa 1,3 Milliarden Fahrzeuge umfasst. Dazu müssten Motorteile angepasst werden. Verbrennungsmotoren werden in jedem Fall bleiben, und zwar unter Nutzung von Methanol-Benzin und Methanol-Diesel. Methanol ist

ohne Subvention heute zu Preisen herstellbar wie Benzin – wenn die grüne Energie der Sonnenwüsten für maximal 2 Cent/kWh am Übergangspunkt zur Elektrolyse erschlossen werden kann und in der Regulierung Klimaneutralität zugestanden wird. Es entfallen dann nämlich Abgaben für CO₂-Emissionen nach dem neuen deutschen Klimagesetz. Bei Methanol-Benzin und Methanol-Diesel liegt bei heutigen Steuern der Preis unter 2 Euro. Die Sicherung genügend großer Mengen von grünem Strom zu dem genannten Preis bildet die **größte Herausforderung** für die Lösung der Weltenergie- und Klimafrage. In der Erzeugung riesiger Volumina grünen Stroms zu sehr niedrigen Preisen liegt ein Schlüssel für eine zukunftsweisende europäische Industriepolitik und für einen Marshallplan mit Afrika.

- (4) Der weltweite Bestand von Automobilen, LKW, Schiffe, Flugzeuge, Chemie, Heizungen: wird über Methanol-Benzin, -Diesel, -Schiffsdiesel, -kerosin etc. erschlossen. Sie alle können schon heute auf dem bestehenden Besteuerungsniveau für Preise unter 2 Euro pro Liter produziert werden, wenn der grüne Strom für weniger als 2 Cent/KWh an der Übergangsstelle zur Elektrolyse bereitgestellt werden kann. Perspektivisch sind grünes Methanol und grüner Wasserstoff vielleicht noch günstigere Alternativen. Für alles sind aber gigantische Mengen grünen Stroms zu niedrigen Preisen die Voraussetzung.

(4) DIE USA UND SHELL-GAS-PRODUKTION

Die Pro-Kopf-Emissionen in den USA wurden bemerkenswerter Weise in den letzten Jahren von etwa 20 Tonnen pro Kopf auf jetzt etwa 16 Tonnen reduziert und zwar vor allem durch den Ersatz von Kohle durch Gas. Für 2025 werden etwa 12,6 Tonnen CO₂-Emissionen pro Kopf und Jahr anvisiert. Was erreicht wurde, ist erheblich, es ist etwa die „halbe Miete“ der Paris-Zusage der USA. Und das trotz Austritt aus dem Abkommen, der jetzt glücklicherweise wieder revidiert wird.

Die erheblichen amerikanischen CO₂-Reduktionen in den letzten Jahren haben wenig mit Klimapolitik zu tun [37]. Auslöser ist die enorme US-Produktion von **Schiefergas**, durch die Kohle und Öl vielfach als Energieträger ersetzt wurden. Das gilt übrigens teilweise auch für Mexiko. Die US-Exporte von Schiefergas nach Mexiko haben massiv zugenommen. Schiefergasproduktion wirft viele Umweltprobleme auf, Gas verursacht aber deutlich niedrigere CO₂-Emissionen als Öl und erst recht als Kohle. Die Politik der USA in diesem Bereich hat massive weltweite Auswirkungen. Kanada sieht sich vor die große Herausforderung gestellt, sein Öl nicht mehr in den USA, die auf Energie-Autarkie zustreben, zu verkaufen, sondern an andere Partner weltweit. Dies setzt neue Rohrleitungen an einen Meereshafen voraus, ein in jeder Hinsicht schwieriges Thema für die kanadische Politik. Betroffen ist vor allem die Provinz Alberta, in der die kanadische Erdölindustrie zu Hause ist. Für Kanada geht es um hohe Exporteinnahmen. Die Exporte werden abnehmen. In Europa/Deutschland sind wir konfrontiert mit massiven Versuchen der USA, ihre politischen Positionen über Sanktionen exterritorial durchzusetzen. Das ist unerträglich. Viel spricht dafür, dass ein Hauptweggrund darin liegt, ihr Erdgas (Liquified natural gas/LNG) in Europa abzusetzen.

Die Schiefergasrevolution in den USA und der massive Ausbau der kohlebasierten Basis-Chemie in China setzen aber auch die arabischen Chemieproduzenten strategisch unter Druck. Die Schiefergaspolitik der USA hat vor allem **geostrategische Gründe**. Die geostrategische Dimension der Energiethemen gewinnt in jüngerer Zeit immer stärker an Bedeutung, hatte aber schon zuvor eine zentrale Rolle [26]. Es geht bei Schiefergas in den USA einerseits darum, die eigene Abhängigkeit vom Öl zu reduzieren und die Energiekosten für die US-Industrie niedrig zu halten. Andererseits ist es das Ziel, Russland, den Iran, aber auch die arabischen Staaten und andere über massiv sinkende Ölpreise in wirtschaftliche und nachfolgend politische Schwierigkeiten zu bringen. Diese geopolitische Strategie war ganz im Sinne von Präsident Trump, auch wenn er offensichtlich unterschätzt hat, wie schwierig das Verhältnis zu den genannten Staaten werden wird,

insbesondere Russland, wenn man diese ökonomisch in die Enge treibt. Die Preise im Ölsektor sind in den letzten Jahren erheblich gefallen, ganz im Sinne der US-Strategie. Für den Klimaschutz und die erneuerbaren Energien ist das übrigens keine gute Botschaft.

Der Versuch des früheren US-Präsidenten Trump, neben der Forcierung der Schiefergas- und Schieferölproduktion in den USA zugleich eine Stärkung der Kohle zu bewirken, hat wenig Effekte gezeigt, weil Kohle in den USA zunehmend zu einer ökonomischen Belastung und zu einem finanziellen Problem für Investoren wird, umso mehr, als es in den USA auch weiterhin massive, potentiell weiter steigende Schiefergas- und Schieferöl-Aktivitäten als Konkurrenz geben wird. In diesem Kontext ist es wichtig zu wissen, dass Mengenanpassungen in der Schiefergas- und Schieferölproduktion **finanziell und zeitlich leichter möglich** sind als im konventionellen Förderbereich. Die Kohle kommt insofern unter Druck. Der *Economist* schrieb dazu: „Die wirkliche Bedrohung für Kohle ist Gas, da Fracking billig ist und reichlich stattfindet. Kohle ist nach wie vor die am zweitstärksten genutzte Energiequelle Amerikas und war 2016 Basis für die Erzeugung von 30 Prozent des amerikanischen Stroms, mehr als Kernkraft (20 Prozent) oder erneuerbare Quellen (15 Prozent). Erdgas hingegen erzielte 34 Prozent, ein Anteil, der gestiegen ist, da der Anteil der Kohle gesunken ist – von 2011 bis 2016 um fast ein Drittel. Erneuerbare Energie wird ebenfalls billiger und verbreiteter. Seit 2010 ist der Anteil erneuerbarer Energien an der heimischen Energie um fast 50 Prozent gestiegen.“³

³ Vgl. <https://www.economist.com/united-states/2017/12/14/subsidising-coal-production-is-a-really-bad-idea>

(5) WETTRENNEN IN DER ARKTIS

Um Zeit zur Vermeidung einer Klimakatastrophe zu gewinnen, muss die Welt immer weniger fossile Energieträger aus der Erde holen, zugleich immer mehr CO₂ aus der Atmosphäre holen. Die Staaten reden schon seit Jahrzehnten darüber, das Klimaproblem gemeinsam zu lösen. Ein Bereich, in dem sich internationale Zusammenarbeit anbietet, ja förmlich aufdrängt, ist die Arktis. Die Umwelt ist dort besonders empfindlich, die Produktion fossiler Energieträger besonders teuer und bislang haben Nationen und Konzerne dort noch nicht viel investiert. Es wäre aus Sicht des Klimas geboten, es dabei zu belassen. Letztlich muss ja die Produktion fossiler Energieträger massiv zurückgefahren werden. Deshalb sollten neue Felder solcher Energieträger möglichst nicht exploriert und Nutzungslizenzen nicht vergeben werden. Investitionen sind zu vermeiden, neue Eigentumsrechte – die womöglich zu entschädigen sind – sollten erst gar nicht geschaffen werden. Das Geld sollte für andere Lösungen eingesetzt werden. Zu beachten ist dabei die Wirkungsmacht der sogenannten **Energiecharta** [10]. Es handelt sich um ein **Investorenschutzabkommen** im Bereich der Energieproduktion. Es erlaubt Klagen von Unternehmen gegen Staaten vor privaten Schiedsgerichten. Der Charta Vertrag wurde 1994 unterzeichnet. Ihm gehören zurzeit 53 Vertragsparteien an, darunter fast alle europäischen Staaten und die EU, die Türkei, viele Staaten Osteuropas, Zentralasien und Japan.

In der Arktis passiert jedoch aktuell das genaue Gegenteil von Zurückhaltung [37] – wie an vielen anderen Stellen auf der Welt. Die höheren Temperaturen und das zurückgehende Eis schaffen dort neue Optionen. Die Anrainerstaaten der Arktis beginnen, sich stärker zu positionieren. Nicht nur die Nordwest- und Nordostpassage, die die Transitdauer zwischen China und Europa auf dem Seeweg um mindestens eine Woche verkürzen werden, werden in immer mehr Wochen im Jahr nutzbar. Noch viel attraktiver sind die Potenziale der Erdöl- und Erdgaslagerstätten. Es wird vermutet, dass riesige Felder zugänglich werden. Der *United States Geological Survey* schätzte 2008, dass in der Arktis 50 Milliarden Kubikmeter Erdgas, 44 Milliarden Barrel nasses Erdgas und 90 Milliarden Barrel Öl zu finden sind, der überwiegende Teil davon offshore. Das Volumen könnte 30 Prozent der bekannten Erdgasreserven und 13 Prozent der Ölvorkommen ausmachen und zu heutigen Preisen einem Gesamtwert von 30 Billionen Dollar entsprechen. Wenn weitere Gebiete zugänglich werden, könnten zusätzlich zu den in Teilen der Arktis schon gefundenen Bodenschätzen noch mehr Lagerstätten mit Gold, Zink, Nickel und Eisen entdeckt werden.

Viele Unternehmen sind dabei, Lizenzen zu beantragen und mit Probebohrungen zu beginnen. Länder und Unternehmen, die bereit sind, sich auf die Ausbeutung der Schätze einzulassen, müssen einem Klima trotzen, in dem im überwiegenden Teil des Jahres Nacht herrscht, wo das Meer die meiste Zeit fast zwei Meter tief zugefroren ist und wo im offenen Wasser die Wellen über zwölf Meter hoch sein können.

Es wird eine **schmutzige, schwere und gefährliche Arbeit werden**, insbesondere, wenn man rund ums Jahr fördern will. Zudem sind große Investitionen nötig. Gas-Pipelines sind an vielen Stellen nicht möglich, und die Errichtung einer komplexen Verflüssigungsanlage auf dem Meer ist vor allem bei rauen Bedingungen sehr teuer. Doch die finanziellen und strategischen Gewinne, die zu erwarten sind, werden dazu führen, dass die Schwergewichte Hoheitsrechte geltend machen, mit Bohrungen beginnen und sich nicht von möglichen Auswirkungen auf die Umwelt werden stoppen lassen.

Das Schmelzen des Eises in der Arktis führt zu einer Verhärtung der Haltung der acht Mitgliedsstaaten des Arktischen Rats, dem Forum, in dem heute die Geopolitik zur Geopolartaktik wird. Und weitere Akteure drängen in die Arena.

Ein Maß für die Handlungsfähigkeit vor Ort sind Eisbrecher. Kanada verfügt über elf einsatzfähige militärische und zivile Eisbrecher, Russland mutmaßlich über die doppelte Zahl, darunter allein sechs atomar betriebene, Norwegen über einen. China baut gerade seinen zweiten polaren Eisbrecher, die USA, als Weltsupermacht, verfügen nur über drei.

Russland investiert, wie angedeutet, massiv in die Arktis. Präsident Putin spricht von Murmansk als Russlands nördlichem Energiator. Zum Energienachschub führte Präsident Putin aus, dass „Offshore-Felder“, besonders in der Arktis, Russlands strategische Reserve für das 21. Jahrhundert sind. Die im Aufbau befindlichen Murmansk-Brigaden werden der Grundsockel an Streitkräften sein, die Moskau dauerhaft in der Arktis stationieren will.

LITERATUR

1. Bachmann, G.: Die historischen Wurzeln des Leitbildes Nachhaltigkeit und das 21. Jahrhundert, erschienen in: 300 Jahre Nachhaltigkeit – ein altes sächsisches Leitbild. Hans Carl von Carlowitz (1645-1714). Sein Leben, sein Werk und seine Bedeutung für das 21. Jahrhundert, Sächsische Hans-Carl-von-Carlowitz-Gesellschaft e.V., März 2013
2. 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
3. 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
4. Bossio, D. A., Cook-Patton, S. C., Ellis, P. W. et al: The role of soil carbon in natural climate solutions, nature sustainability ANALYSIS, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>
5. Carlowitz von, H. C.: Sylvicultura oeconomica – Anweisung zur wilden Baumzucht, Leipzig, 1713
6. Castaldi, F., et al.: "Evaluating the capability of the Sentinel 2 data for soil organic carbon prediction in croplands." *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing* 147, 267-282, 2019
7. Deutsche Bundesstiftung Umwelt: Exzellente Forschung: Böden sind wichtig, um Kohlendioxid aus der Atmosphäre zu holen, Verleihung des Deutschen Umweltpreis 2019 an Prof. Dr. Ingrid Kögel-Knaber, www.dbu.de/index.php?menuecms_optik=&menuecms=123&objektid=38392&vorschau=1
8. Dunst, G.: Humusaufbau – Chance für Landwirtschaft und Klima. Sonnenerde Gerald Dunst Kulturerden GmbH, 2. Erweiterte Auflage, 2019
9. Emergent; UN-REDD; Environmental Defense Fund; Forest Trends; Architecture for REDD+ Transactions (2020): The Green Gigaton Challenge. Im Internet unter: <https://www.greengigaton.com/>
10. Energiecharta: siehe <https://www.energycharter.org/process/energy-charter-treaty-1994/energy-charter-treaty/>
11. Farajpour, A.: betterSoil for a better world, 2020. <https://bettersoil.info/>
12. GdW – Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen: "Die soziale Dimension des Klimaschutzes und der Energieeffizienz im Kontext von Bau- und Wohnungswirtschaft". Studie erstellt durch das Forschungsinstitut für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung (FAW/n) unter Leitung von Prof. F. J. Radermacher, April 2011. <http://web.gdw.de/energie-und-klimaschutz/gutachten/489-studie-zur-sozialen-dimension-des-klimaschutzes-und-der-energieeffizienz>
13. GdW – Bundesverband Deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V.: Klimaschutz und Wohnungswirtschaft – Für eine zukunftsfähige Politik, April 2013
14. Gesang, B.: Mit kühlem Kopf. Über den Nutzen der Philosophie für die Klimadebatte. Carl Hanser Verlag, 2020
15. Ghandi, I. (1972: Indira Gandhi's speech at the Stockholm conference UNCHE in 1972. <http://lasulawsenvironmental.blogspot.com/2012/07/indira-gandhis-speech-at-stockholm.html>. Zugegriffen: 17. Jan. 2019

16. Gottwald, F.-Th., Plagge, J., Radermacher, F. J.: Klimapositiv geht! In: Klimapositive Landwirtschaft und andere Nature-based Solutions. Senat der Wirtschaft e.V. (Hrsg.). Erscheint in 2021
17. Grober, U.: Hans Carl von Carlowitz: Der Erfinder der Nachhaltigkeit, erschienen in: 300 Jahre Nachhaltigkeit – ein altes sächsisches Leitbild. Hans Carl von Carlowitz (1645–1714). Sein Leben, sein Werk und seine Bedeutung für das 21. Jahrhundert, Sächsische Hans-Carl-von-Carlowitz-Gesellschaft e.V., März 2013
18. Guterres, A. (2020): Secretary-General's address at Columbia University: "The State of the Planet". Im Internet unter: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2020-12-02/secretary-generals-address-columbia-university-the-state-of-the-planet-scroll-down-for-language-versions>
19. Herlyn, E.: Nature-based Solutions – Aktuelle Herausforderungen und zukünftige Potenziale. In: Klimapositive Landwirtschaft und andere Nature-based Solutions. Senat der Wirtschaft e.V. (Hrsg.), erscheint in 2021
20. Herlyn, E.; Lévy-Tödter, M. (2019): Die Agenda 2030 als 'Magisches Vieleck' der Nachhaltigkeit: Systemische Perspektiven, SpringerGabler, Wiesbaden.
21. Hölscher, L.; Radermacher F.J. (2012): Klimaneutralität - Hessen geht voran, Springer Vieweg/Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Oktober 2012
22. International Energy Agency (IEA) (2017): World Energy Outlook 2017, OECD Publishing Paris/IEA, Paris, 2017
23. KIT – Karlsruhe Institute of Technology: Nutzung von CO₂ aus Luft als Rohstoff für synthetische Kraftstoffe und Chemikalien. Studie im Auftrag der Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg nvbw mbh. Hess, D., Klumpp, M., Dittmeyer, R., IMVT, Dez. 2020
24. Lepercq, T.: Hydrogen is the new oil, le cherche midi, Paris, 2019
25. Lomborg, B.: Ökostrom rechnet sich nicht. Zeitungsartikel in die WELT, Nr. 304, 30.12.2020, Seite 12
26. Marshall, T. (2015): „Die Macht der Geographie. Wie sich Weltpolitik anhand von 10 Karten erklären lässt“, dtv Verlagsgesellschaft, München, 4. Auflage, November 2015
27. Müller, G.: UNFAIR! Für eine gerechte Globalisierung, Murmann Publishers, 2017
28. Müller, G.: UMDENKEN – Überlebensfragen der Menschheit. Murmann Publishers, 2020
29. Offermanns, H.; Effenberger, F.; Keim, W.; Plass, L.: »Solarthermie und CO₂: Methanol aus der Wüste«, erschienen in: Chemie – Ingenieur – Technik, Vol. 89, Issue 3, Special Issue: Nanosafety, März 2017
30. Olah, G.A., Goeppert, A., Prakash, G.K.S.: Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy. Wiley-VCH Verlag, 3. Auflage, 2018
31. Radermacher, F. J.: Kyoto-Vertrag und WTO: Es ist Zeit für einen neuen Ansatz in der Klimapolitik, Bericht FAW/n 2005
32. Radermacher, F.J.: »Weltklimapolitik nach Kopenhagen – Umsetzung der neuen Potentiale«, FAW/n-Report, Ulm, 2010
33. Radermacher, F. J.: »Wege zum 2-Grad-Ziel – Wälder als Joker«, Politische Ökologie 127, S. 136–139, 2011
34. Radermacher, F.J.: »Die Ressourcen der Erde setzen uns Grenzen – vom sächsischen Bergmann Hans Carl von Carlowitz 1713 bis zum neuen Report an den Club of Rome 2052«, in: Die Erfindung der Nachhaltigkeit – Leben, Werk und Wirkung des Hans Carl

- von Carlowitz. Sächsische Hans-Carl-von-Carlowitz-Gesellschaft e. V (Hrsg.), S. 141–155, oekom Verlag, März 2013
35. Radermacher, F.J.: »Klimapolitik nach Doha – Hindernisse in Lösungen verwandeln«, GAIA 22/2, S. 87–92, 2013
 36. Radermacher, F. J.: »Can we still comply with the maximum limit of 2°C? Approaches to a new climate contract«, CADMUS, Vol. 2, No. 3, October 2014, p. 152–161
 37. Radermacher, F.J.: „Der Milliarden-Joker - Wie Deutschland und Europa den globalen Klimaschutz revolutionieren können“, Murmann Verlag, Hamburg, Okt. 2018
 38. Radermacher, F.J.: Die internationale Energie- und Klimakrise überwinden – Methanolökonomie und Bodenverbesserung schließen den Kohlenstoffzyklus. Erschienen in: Gabriel, S., Radermacher, F. J., Rüttgers, J.: Europa fit machen für die Zukunft, Senat der Wirtschaft-Verlag, 2019
 39. Radermacher, F.J.: Das Rio/Kyoto/Paris-Dilemma. In: Kursbuch 202 Donner. Wetter. Klima. Kursbuch Kulturstiftung gGmbH, Hamburg, 2020
 40. Radermacher, F.J.: Handelsrechtliche Lösung für den Green New Deal. FAW/n-Report, September 2020
 41. Radermacher, F.J., Beyers, B.: Welt mit Zukunft. Die Ökosoziale Perspektive. Murmann, 1. Auflage 2007, überarbeitete Auflage 2014
 42. Smith, P.; Adams, J.; Beerling, D.; Beringer, T.; Calvin, K.; Fuss, S.; Griscom, B.; Hagemann, N.; Kamman, C.; Kraxner, F.; Minx, J.; Popp, A.; Renforth, P.; Vicente, J.; Keesstra, S. (2019), Impacts of Land-Based Greenhouse Gas Removal Options on Ecosystem Services and the United Nations Sustainable Development Goals, in: Annual Review of Environment and Resources. Internet unter: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033129>
 43. Töpfer, K.: Klima als globale Herausforderung. In: L. Hölscher & F.J. Radermacher (Hrsg.), Klimaneutralität – Hessen geht voran (S. 21-26). Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013
 44. UNEP – United Nations Environment Programme (UNEP) (2020): Emissions Gap Report 2020, im Internet unter: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>
 45. UNFPA – United Nations Population Fund. (2018): State of world population 2018. The power of choice – reproductive choice and the demographic transition. https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/UNFPA_PUB_2018_EN_SWP.pdf.
 46. von Braun, J.: Welternährung und Nachhaltigkeit – Herausforderungen und Strategien für das 21. Jahrhundert, oekom Verlag, 2015
 47. Weizsäcker, E.U.; Wijkman, A.: Come On! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet; Springer Verlag, Berlin und Heidelberg, Dezember 2017
 48. Wimmer, N.: Innovation & Energie für Millionen Dörfer, MCRE Verlag, 2012
 49. Willner, T.: Climate Protection in the Transport Sector – The Key Role of Alternative Fuels. In: J. Werner, N. Biethahn, R. Kolke, E. Sucky and W. Honekamp (Eds.): Mobility in a Globalised World 2019. University of Bamberg Press, ISBN 978-3- 86309-731-8, Bamberg, May 2020, pp 261-289
 50. Worms, M.J.; Radermacher F. J.: Klimaneutralität - Hessen 5 Jahre weiter. Band II: Neue Impulse, Springer Vieweg, 2018
 51. Wuppertal Institut; Landesverband Erneuerbare Energien NRW e.V.; Bewertung der Vor- und Nachteile von Wasserstoffimporten im Vergleich zur heimischen Erzeugung, 2020