



SPRINGER NATURE

SDG – Forschung, Konzepte, Lösungsansätze zur Nachhaltigkeit

Cornel Stan

Klimagerechte Energieszenarien der Zukunft

Mobilität, Heizung, Industrie – mehr
als nur Elektroautos, luftsaugende
Wärmepumpen und Windräderstrom

SDG – Forschung, Konzepte, Lösungsansätze zur Nachhaltigkeit

Die nachhaltige Entwicklung unserer Welt ist eine der wichtigsten Herausforderungen in Gegenwart und Zukunft und zugleich eine Aufgabe, an der alle Wissenschaften beteiligt sind. Um einen sichtbaren Beitrag auf diesem Weg zu leisten, gibt SPRINGERNATURE die Buchreihe SDG – Forschung, Konzepte, Lösungsansätze zur Nachhaltigkeit heraus, in der Arbeiten aus allen Disziplinen publiziert werden können, die die wissenschaftliche Analyse oder die praktische Förderung von Nachhaltigkeit zum Ziel haben, wie sie insbesondere in den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen definiert sind.

Cornel Stan

Klimagerechte Energieszenarien der Zukunft

Mobilität, Heizung, Industrie – mehr als
nur Elektroautos, luftsaugende
Wärmepumpen und Windräderstrom

Cornel Stan
Vorstand – Ehrevorsitzender des Vorstands
FTZ Forschungs- und Transferzentrum
Zwickau
Markkleeberg, Deutschland

ISSN 2731-8826 ISSN 2731-8834 (electronic)
SDG – Forschung, Konzepte, Lösungsansätze zur Nachhaltigkeit
ISBN 978-3-662-68857-1 ISBN 978-3-662-68858-8 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-68858-8>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2024

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Alexander Grün

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Das Papier dieses Produkts ist recyclebar.

Vorwort

Nicht Verbrenner und sonstige Feuerstellen müssen ersetzt werden, sondern das, was sie zu verbrennen haben.

„Um die globale Erwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, müssen die Treibhausgas-Emissionen bis spätestens 2025 ihren Höhepunkt erreichen und bis 2030 um 43 % sinken“ so der Weltklimarat der Vereinten Nationen. 2030, bis dahin sind sehr, sehr wenige Jahre. *Dekarbonisierung*, das ist das Synonym für Treibhausgas, heißt, den Kohlenstoff (Carbon) in sechs bis sieben Jahren um 43% senken. Einfach gesagt: *man sollte die Verbrennung fossiler Brennstoffe eliminieren, um das Klima des Planeten zu retten.*

Fossile Brennstoffe eliminieren? Ihr Verbrauch nimmt gerade zu! Warum denn?

Glaubt irgendjemand ernsthaft, dass Russland mehr als die Hälfte seines Staatshaushalts aus Erdgas- und Ölexporten aufgeben wird? Soll Saudi-Arabien auf fast die Hälfte seines Bruttoinlandsprodukts verzichten, das durch Ölverkäufe erwirtschaftet wird? Oder sollte Kuwait fast alle seiner Exporterlöse, die vom Öl kommen aufgeben?

Die USA, Saudi-Arabien und Russland produzieren 42 % des weltweiten Öls.

Erdgas und Erdöl, die klassischen Vertreter der fossilen Brennstoffe werden kräftig in Asien (*China, Japan, Korea*) verbraucht, um Strom für die Millionen von Null-Emission (*beim Fahren*) -Elektroautos zu produzieren, die sie bauen und verkaufen. 63% des Welt-Verbrauchs an Erdöl und Erdgas in China, Japan und Korea sind eine ganze Menge, obwohl in diesen Gebieten nur 14% gefördert werden.

Und es geht so weiter: Sollten *Exxon Mobil, Chevron, Shell, Total*, ab sofort von Erdöl und Erdgas auf Photovoltaik und Windkraftträder umsteigen?

Das Haupt-Gegenargument ist das Pariser-Abkommen, welches während der UN Weltklimakonferenz (COP21), am 12. Dezember 2015 von 195 Staaten vereinbart wurde. Unter seinen drei Hauptzielen steht auch:

„Die Beschränkung des Anstiegs der weltweiten Durchschnittstemperatur der Erdatmosphäre auf möglichst 1,5 Grad Celsius, auf jeden Fall aber deutlich unter zwei Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter“.

Die Europäer beschlossen dann aber doch ein eigenes, noch ehrgeizigeres Klimaschutzpaket:

„**Fit für 55**“. Was ist das?

Die EU-Staaten haben bei dieser Gelegenheit auch eine Reform des *EU-Emissionshandelssystem (ETS)* vereinbart, für die Einrichtung eines Klimasozialfonds im Umfang von mehr als 80 Milliarden Euro, für ein neues *CO₂-Grenzausgleichssystem (CBAM)*, für **ein separates Emissionshandelssystem für Verkehr und Gebäude** sowie für neue Regeln für den Emissionshandel in der Luft- und Schifffahrt.

Fit for 55 beschloss dann:

„Die CO₂-Emissionen der EU müssen bis 2030 um **55 Prozent** gegenüber 1990 sinken (deswegen fit for 55 – *aber was hat das gerade mit dem Jahr 1990 zu tun?*). Bis 2050 soll Europa dann **treibhausgasneutral**, also praktisch „dekarbonisiert“ werden.

Und so geht es gegenwärtig in der Politik und in viel zu vielen unterhaltsamen Medien aller Art jeden Tag um *Globale Wirtschaft, Wohlstandgrundsätze wie Hauswärme und Mobilität*. Gerade diese Themen werden meist radikal auf dem Altar der Klimarettung geopfert. Vorbei an Physik, Thermodynamik, und technische Vielfalt, werden jeweils monopolartige, universelle Lösungen dekretiert: Automobilantriebe nur noch elektrisch. Dazu Wärmepumpen mit Wärme von der kalten Umgebungsluft, also, als Thermodynamiker sei mir die Bezeichnung *rückwärtslaufende, luftsaugende "Wohnungs-Kühlschränke"* erlaubt. Als Heizöfen, natürlich, Strom für die große und kleine, sehr vielfältige Industrie nur noch aus Windrädern und Solarpaneelen, obwohl ihr Beitrag seit Jahrzehnten nahezu vernachlässigbar bleibt. Dieses Buch stellt einen Versuch dar, auf Basis nachvollziehbarer Zusammenhänge aus Physik und Thermodynamik, solche so bitterbösen wie gefährlichen Klima-Märchen doch etwas zu entzaubern und dagegen effiziente, reale Szenarien zu bauen.

Wind und Sonne sind sicherlich gut und richtig, aber bei weitem nicht genug.

Das Buch beschreibt vielfältige, **klimagerechte Kraftstoffe** aus

*Pflanzenresten, Algen, Altölen und Fetten, es beschreibt "grünen" Wasserstoff als Speicher- oder als Zwischenspeichermedium. Es beschreibt aber auch überraschende, unerwartete **Energieszenarien**, die aus Verkettung sonst üblichen thermischen Maschinen zustande kommen: ein Düsenjet-Strahltriebwerk kombiniert mit einem Dampf-Kraftwerkwerk, ergibt eben einen *Lockheed Martin F-16 Fighting Falcon Düsenjet* oder einen *Leopard-Panzer mit Dieselmotor* als **Block-Heizkraftwerk**.*

Behandelt wird die globale, klimagerechte Energie für Mobilität, Heizen und Industrie.

Das Buch beschreibt technische Lösungen, die effizienter als reine Elektroautos und luftbasierten Haus-Wärmepumpen sind. Es vergleicht Photovoltaik und Windenergie mit neuen, klimagerechten Energieträgern und beschreibt Prozessverkettungen.

In den ersten Kapiteln des Werkes werden die Ingenieur-technischen und die physikalischen Grundlagen der **Photovoltaik-Anlagen** und der **Windkraftanlagen** dargestellt und mit konkreten Beispielen, im Vergleich zu übrigen Kraftwerken, Wasserkraftwerken und Atomkraftwerken belegt. Ob neue Lösungen und Methoden, wie Windkraftanlagen-Parks On-shore & Off-shore und Photovoltaik-Paneele auf Dächern und Balkonen, in der Wüste und auf Wasser, effiziente Lösungen sind wird exemplifiziert und kommentiert.

Ein Kapitel ist der **Elektroautomobile** gewidmet: *es werden zukunftssträchtige "Verbrenner" mit grünem Wasserstoff, mit hydrierten Frittenfetten, mit Ethanol aus Zuckerrohr, mit konkreten Beispielen und Ergebnissen dargestellt.*

Der in den Medien und in der Politik viel diskutierte **Wärmepumpe mit Luft**, also der „Kühlschrank mit umgekehrtem Kreislauf des Arbeitsmediums, der kalte Umgebungsluft als Wärmezufuhr verwendet“, wird in einem weiteren Kapitel nach thermodynamischen und ingenieurwissenschaftlichen Kriterien brauchbare Lösungen wie ganze Wohn- oder Industrieviertel gerüstet mit Wärmepumpen, die über großflächigen Wärmeaustausch vom fließenden Abwasser durch ein Wohnviertel verfügen, gegenüber gestellt.

Den **Klimagerechte Brennstoffen** wird von den Ressourcen, Potentialen, Eigenschaften ein eigenständiges Kapitel gewidmet. Methanol als E-Fuel, Ethanol aus Frittenfetten, hydrierte Pflanzenöl-Reste (HVO-Hydrogenated Vegetable Oils), verarbeitete Plastereste und Tierfette, werden einzeln in Betracht gezogen.

Am Anfang der jeweiligen Kapitel wird sehr kurz und kompakt ein „**executive summary**“ angehängt, ich bedauere die nicht-deutsche Bezeichnung, aber „**Zusammenfassung**“ oder das Deutsche, oder eher Englische „**Abstract**“ gibt den Inhalt so nicht her, wie es gemeint ist. Ein Vorspann von wenigen Zeilen, oft ein Zitat, beschreibt zunächst das eigentliche Problem. Der Leser darf sich manchmal auch wundern. Der Rest, ist ein eigener, oft scharfer Kommentar des Autors dieses Buches, mit Analyse und Lösung des Problems, die auf Grund seinen langjährigen Erfahrungen in Forschungsprojekten mit weltweiten Unternehmen, mit Unterricht in vielen Universitäten von San Francisco und Paris bis Turin oder Kronstadt gesammelt wurden.

Das Werk ist nicht nur für Studenten der technischen- und der Wirtschaftswissenschaften, die über Grundlagen von Physik und der technischen Thermodynamik verfügen, von Interesse, sondern auch für Bearbeiter und Entscheider in der Politik, in Unternehmen und in den Medien.

Cornel Stan

Zwickau, im Januar 2024

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Inhaltsverzeichnis	IX
Kapitel 1	XIII
1 Derzeitige Energieszenarien: Dekarbonisierung	1
1.1 Das Pariser Abkommen, Fit for 55, Prozesse treibhausgasneutral.....	1
1.2 Dekarbonisierung in EU Dokumenten	8
1.3 Emissionszertifikate als Indulgenz- oder Ablassbriefe?	10
1.4 Der Weg von der Primärenergie zur End- und Nutzenergie	11
Literatur zu Kapitel 1	16
Kapitel 2	17
2 Batteriebetriebene Elektroautos und Verbrennungsmotoren mit klimagerechten Kraftstoffen: ergänzen statt ersetzen	19
2.1 Elektroautos, emissionsfrei: lokal, aber nicht global	19
2.2 Nur Elektroautos für die EU, und für den Rest der Welt?	22
2.3 „Verbrenner“ mit Wasserstoff für die große Welt, Elektroauto für die Stadt.....	28
2.4 „Verbrenner“ mit alternativen, klimagerechten Kraftstoffen.....	32
Literatur zu Kapitel 2	39

Kapitel 3	41
3 Wärmepumpen: Wärmetransport gegen Natur benötigt Arbeit..	43
3.1 Natürlicher Ablauf der Wärmeströmung.....	43
3.2 Wärmepumpen und Kälteanlagen: Bilanz von Wärme und Arbeit.....	44
3.3 Wärmepumpen und Kälteanlagen: thermodynamische Prozesse des Arbeitsmittels	49
3.4 Wärmepumpen: Ausführungsbeispiele	52
3.5 Wärmequellen für eine Wärmepumpe	55
3.6 Wärmepumpen: Einsatzgebiete.....	56
3.7 Einsatz von Wärmepumpen in der Welt	57
Literatur zu Kapitel 3	62
Kapitel 4	65
4 Photovoltaik für Elektroenergie und für klimagerechte Brennstoffe.....	67
4.1 Anwendung der Photovoltaik in der Stromerzeugung	67
4.2 Thermodynamische Grundlagen zur Sonnenstrahlung	71
4.3 Sonnenstrahlung und Erde	73
4.4 Aktuelle und zukünftige Materialien für Solarzellen	74
4.5 Temperatureinfluss auf die Funktion der Solarzellen	77
4.6 Nutzung der Photovoltaik in der Welt	78
4.7 Wasserstoff Herstellung auf Basis des photovoltaischen Stroms in Form von klimagerechten Brennstoffen für HVO Kraftstoffe	82
Literatur zu Kapitel 4	89
Kapitel 5.....	93
5 Windenergieanlagen für Strom und Mobilität.....	95
5.1 Nutzarbeit aus Windgeschwindigkeit.....	95
5.2 Windgeschwindigkeit und Energiestrom für Windenergieanlagen - Grundlagen.....	99

5.3 Nutzung der Windströmungen in Windenergieanlagen	104
Literatur zu Kapitel 5	111
Kapitel 6.....	113
6 Wasserstrom und Wasserkraftwerke.....	115
6.1 Elektrische Leistung aus Wasserstrom.....	115
6.2 Arten von Wasserkraftwerken.....	120
Literatur zu Kapitel 6	124
Kapitel 7.....	127
7 Kernenergie für Wärme und Elektroenergie: klimagerecht, ausreichend, aber bedenklich.....	129
7.1 Anwendung der Kernenergie in der Wärme- und Stromerzeugung weltweit.....	129
7.2 Funktionsweise eines gegenwärtigen Kernkraftwerkes.....	131
7.3 Besonderheiten beim Betrieb eines Kernkraftwerkes: Betriebsdauer, Kosten, Betriebssicherheit.....	135
Literatur zu Kapitel 7	139
Kapitel 8.....	141
8 Strahltriebwerk-Strömung anstatt Kernreaktion: Energie für Wärme und Strom.....	143
8.1 Aufbau und Wirkungsweise eines Gas-und-Dampfturbinen- Kraftwerkes (GuD).....	143
8.2 Thermodynamische Grundlagen zum Dampf-Kreisprozess in der Gas-und-Dampf Kreisprozess-Kombination.....	144
8.3 Einsatzperspektiven und Funktionsmerkmale.....	152
Literatur zu Kapitel 8	155

Kapitel 9	157
9 Wärme und Elektroenergie aus Abfall und Biomasse als Treibhausemission-Minderung	159
Literatur zu Kapitel 9	165
Kapitel 10	167
10 Alternative Brennstoffe für umweltgerechte Wärme- und Arbeitsmaschinen	169
10.1 Klimagerechte Energieträger: Ressourcen, Verfahren, Nutzung	169
10.2 Brennstoffeigenschaften für Verbrennungsanlagen	174
10.3 Methanol und Ethanol: Herstellung, Eigenschaften, Speicherung, Nutzung	178
10.4 Wasserstoff: Herstellung, Eigenschaften, Speicherung, Nutzung	183
10.5 Dimethylether: Herstellung, Eigenschaften, Speicherung, Nutzung	185
10.6 Biokraftstoffe: Ressourcen, Verfahren, Nutzung	187
10.7 Fettsäuremethylester (FAME)	188
10.8 Hydrierte Pflanzenöle (HVO)	188
10.9 Synthetische Kraftstoffe: Ressourcen, Verfahren, Nutzung	189
Literatur zu Kapitel 10	191
Sachwortverzeichnis	193

Kapitel 1

Derzeitige Energieszenarien: Dekarbonisierung

*„Um die globale Erwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, müssen die Treibhaus-Gas-Emissionen bis spätestens 2025 ihren Höhepunkt erreichen und bis 2030 um 43 % sinken“ so der Weltklimarat der Vereinigten Nationen. 2030 ist in sieben Jahren. Dekarbonisierung, das ist das Synonym für Treibhaus-Gas, heißt, den **Kohlenstoff** (Carbon) in sieben Jahren um 43% zu senken. Kohlenstoff ist aber nicht nur die Basis unserer DNA, sondern auch jene aller Kohlenwasserstoffe wie Erdöl (Heptan, Oktan, Pentan) oder Erdgas (Methan) oder die Kohle pur. Die Antwort könnte einfach sein: man sollte die Verbrennung fossiler Brennstoffe eliminieren, um das Klima des Planeten zu retten.*

Glaubt irgendjemand ernsthaft, dass Russland mehr als die Hälfte seines Staatshaushalts aus Erdgas- und Ölexporten aufgeben wird?

Soll Saudi-Arabien auf 42 Prozent seines Bruttoinlandsprodukts verzichten, das durch Ölverkäufe erwirtschaftet wird?

Oder sollte Kuwait auf 90 Prozent seiner Exporterlöse verzichten?

Die USA, Saudi-Arabien und Russland produzieren fast die Hälfte (42 %) des weltweiten Öls.

Interessant ist auch, in welchen Regionen der Welt dieses Öl **verbraucht** wird: Asien (diesmal eindeutig China, Japan, Korea) verbrauchen 63%, obwohl in diesen Gebieten nur 14% gefördert werden. Der Nahe Osten hingegen verbraucht nur etwa 10 % seiner Erdölprodukte, die 53 % betragen.

Der größte **Erdgasexporteur** der Welt ist Russland mit einem Anteil von 19,1 % (2019), gefolgt von Katar und den USA mit jeweils rund 10 %.

In Bezug auf **die Kohleproduktion und den Kohleverbrauch** machen Asien und der pazifische Raum einen überwältigenden Teil der Welt aus.

Afrika hat bisher einen sehr moderaten Anteil am Kohleverbrauch. Doch was passiert, wenn China so viele Kohlekraftwerke in Afrika baut? **Die Chinesen werden natürlich auch die Kohle mitbringen.**

Wem nützen die zahlreichen Organisationen aller Welt, die darüber reden und studieren, wenn die Welt brennt?

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), **UNFCCC - Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen**, **UNEP - Umweltprogramm der Vereinten Nationen**, **WWF - World Wide Fund For Nature**

Und es gibt jährlich ein Bericht: nur das Kernteam des Sachstandsberichts umfasste 721 Experten aus 90 Ländern, und fast 3.000 Personen aus der ganzen Welt wurden von Regierungen und Organisationen entsandt, um an der Erstellung teilzunehmen.

Die 40-seitige Zusammenfassung, die speziell für die Politik der Welt verfasst wurde, enthält keine konkreten Ursachen, Maßnahmen oder Lösungen, sondern nur Erkenntnisse darüber, was sich im Klima der Erde verändert oder verändert hat.

Anstatt Vorzeigeländer zu Modellregionen der Treibhausneutralität zu machen, sollten diese zahlreichen Organisationen koordiniert und gezielt, die vielen armen Länder in Afrika, Asien und Südamerika dringend von Öl, Gas und Kohle retten, und zwar nicht durch Geld, sondern durch konkreten Bau von High-Tech Anlagen, die regenerativen, klimaneutralen, oder klimagerechten Energieformen produzieren! Zentral, dezentral, einfach, komplex. Jede Stimme zählt.



1 Derzeitige Energieszenarien: Dekarbonisierung

1.1 Das Pariser Abkommen, Fit for 55, Prozesse treibhausgasneutral

Everything must be made as simple as possible. But not simpler. Macht alles so einfach wie möglich. Aber nicht einfacher (Albert Einstein, 1879 – 1955).

Wollen wir den „Carbon“ (genau übersetzt: Kohlenstoff) aus unserem Universum auf „*Nimmerwiedersehen*“ verbannen? Es wäre fatal: Der Kohlenstoff und seine chemischen Verbindungen in Molekülen vielfältiger Art sind die Grundlage unserer Existenz, unseres Lebens schlechthin, angefangen in der DNA (Desoxyribonukleinsäure) aller Lebewesen.

Lassen wir doch lieber eine unglückliche amerikanische Formulierung (einfach: „Carbon“, als lockerere Form für Carbon Dioxide). Den Kohlenstoff sollte man doch nur „neutralisieren“:

Das Pariser Abkommen, wurde während der UN Weltklimakonferenz (COP21), am 12. Dezember 2015 von 195 Staaten vereinbart. Unter seinen drei Hauptzielen steht auch:

„Die Beschränkung des Anstiegs der weltweiten Durchschnittstemperatur der Erdatmosphäre auf möglichst 1,5 Grad Celsius, auf jeden Fall aber deutlich unter zwei Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter“.

Der Weltklimarat der Vereinten Nationen hatte zuvor darauf hingewiesen, dass das Überschreiten der 1,5-Grad-Schwelle die Gefahr birgt, weitaus schwerwiegendere Auswirkungen des Klimawandels auszulösen, darunter häufigere und *schwerere Dürren, Hitzewellen und Regenfälle*.

Und ein weiterer Zitat: „Um die globale Erwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, müssen die Treibhausgasemissionen bis spätestens 2025 ihren Höhepunkt erreichen und bis 2030 um 43 % sinken“.

Das **Pariser Abkommen ist in sich ein Meilenstein** in dem sehr vielseitigen Klimaschutzprozess, denn zum ersten Mal bringt ein verbindliches Abkommen alle Nationen zusammen, um den Klimawandel zu bekämpfen und sich an seine Auswirkungen anzupassen.

Die Europäer beschlossen dann aber doch ein eigenes, noch ehrgeizigeres Klimaschutzpaket:

„Fit für 55“. Was ist das?

Die EU-Staaten haben bei dieser Gelegenheit auch eine Reform des *EU-Emissionshandelssystem (ETS)* vereinbart, für die Einrichtung eines Klimasozialfonds im Umfang von mehr als 80 Milliarden Euro, für ein neues *CO₂-Grenzausgleichssystem (CBAM)*, für **ein separates Emissionshandelssystem für Verkehr und Gebäude** sowie für neue Regeln für den Emissionshandel in der Luft- und Schifffahrt.

Fit for 55 beschloss dann: „Die CO₂-Emissionen der EU müssen bis 2030 um 55 Prozent gegenüber 1990 sinken (deswegen fit for 55 – *aber was hat das gerade mit dem Jahr 1990 zu tun?*). Bis 2050 soll Europa dann **treibhausgasneutral**, also praktisch „dekarbonisiert“ werden.

UN-Generalsekretär António Guterres erhielt kürzlich eine neue Ausgabe des **Sachstandsberichts des Weltklimarats IPCC**, (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) und seine Reaktion nach der ersten Lektüre der 40-seitigen zusammenfassenden Schlussfolgerungen lautete: "*Ich habe in meinem Leben viele Berichte gelesen, aber noch nie so etwas ... Die Welt ist kaum zu retten.*"

Das Kernteam des Sachstandsberichts umfasste 721 Experten aus 90 Ländern, und fast 3.000 Personen aus der ganzen Welt wurden von Regierungen und Organisationen entsandt, um an der Erstellung teilzunehmen.

Der Bericht der Arbeitsgruppe Nummer I (von III) umfasst einen Umfang von 3949 Seiten und wurde von 234 Wissenschaftlern aus 66 Staaten erstellt. Der Bericht analysiert und synthetisiert 14.000 wissenschaftliche Studien aus verschiedenen Fachgebieten. Die 40-seitige Zusammenfassung, die speziell für die Politik der Welt verfasst wurde, enthält keine konkreten *Ursachen, Maßnahmen oder Lösungen*, sondern nur *Erkenntnisse* darüber, was sich im Klima der Erde verändert oder verändert hat.

Wenn sie also immer noch nicht genau wissen, was sie tun sollen, ignorieren die politischen Entscheidungsträger lieber eine solche Lawine ausgeklügelter und wissenschaftlich und rechtlich aufgewärmter Daten.

Dafür gibt es aber zahlreiche Komitees, Panele und Organisationen vom Weltmaßstab bis zur lokalen Ebene:

UNFCCC - Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, die sich mit der Verhinderung anthropogener Störungen und Maßnahmen zur Verlangsamung der globalen Erwärmung befasst. Allein das UNFCCC-Sekretariat in Bonn beschäftigt 450 Mitarbeiter!

UNEP - Umweltprogramm der Vereinten Nationen mit Sitz in der kenianischen Hauptstadt Nairobi mit 800 Mitarbeitern.

WWF - World Wide Fund For Nature. Sie wurde 1961 als eine der größten internationalen Natur- und Umweltschutzorganisationen gegründet. Das Unternehmen beschäftigt 6.200 Mitarbeiter und erwirtschaftet einen Jahresumsatz von fast 700 Millionen Euro.

Darüber hinaus gibt es international, aber auch in fast allen Ländern, Hunderte, wenn nicht Tausende von Umweltorganisationen mit ähnlichen Zielen.

Was tun all diese Organisationen, all diese Menschen, die über riesige Mittel verfügen, um den explodierenden Kohlendioxidemissionen in die Atmosphäre entgegenzuwirken?

Die Antwort könnte einfach sein: man sollte die Verbrennung fossiler Brennstoffe eliminieren, um das Klima des Planeten zu retten und dazu noch die Energieunabhängigkeit von ihren Exporteuren zu erlangen.

Der Zusammenhang Kohlendioxid – Atmosphärentemperatur wird in verschiedenen Formen, mehr oder weniger komplex, mehr oder weniger wissenschaftlich, oft sehr geprägt von der Perspektive des Verfassers dargelegt.

Eine kurze, vereinfachte Erklärung des Autors dieses Buches, zum grundsätzlichen Verständnis der Zusammenhänge, erscheint an dieser Stelle als notwendig:

Die durchschnittliche Temperatur der Erdatmosphäre von etwa 15 °C ist eine Folge des **natürlichen** Treibhauseffekts, der durch mehratomare Gase wie Wasserdampf (62,4 %), **Kohlendioxid (21,8 %)**, Ozon (7,3 %), Methan und Distickstoffmonoxid (8,5 %) erzeugt wird. Das bereits in der Atmosphäre vorhandene Kohlendioxid wird jedoch jährlich zu einem Prozentsatz von 0,6 % hinzugefügt, der durch menschliche Aktivitäten, nämlich die Verbrennung fossiler Brenn-

stoffe (*Kohle, Diesel, Benzin, Erdgas*), verursacht wird. Dieser kumulierte jährliche Überschuss in der Atmosphäre erhöht den Anteil von Kohlendioxid in diesen Anteilen.

Studien zeigen [1], [2], dass ohne den natürlichen Treibhauseffekt, den diese Gase erzeugen (also ohne das überschüssige Kohlendioxid, das im Laufe der Zeit entsteht), die Durchschnittstemperatur der Erdatmosphäre um 33 °C sinken würde, was minus 18 °C entspräche.

Der natürliche Treibhauseffekt lässt sich der Übersichtlichkeit halber auch in vereinfachter Form erklären: Die Sonnenstrahlen bewegen sich mit großer Intensität und hoher Frequenz auf unseren Planeten zu. Diese beiden Komponenten (Intensität und Frequenz -oder, als Kehrwert der Frequenz, die Wellenlänge) bilden den Energiefluss jedes Strahls. Ein Sonnenstrahl, der die Atmosphäre durchdringt, erreicht die Erde und gibt einen Teil davon als Wärmestrom an die Erdkruste, die Fauna, die Flora und das Wasser der Meere und Ozeane ab. Der Wärmestrom stellt eine Leistung (Kilowatt), die sich aber im Laufe der Zeit in die wohltuende Wärme (Kilowattstunde) umwandelt. Der Sonnenstrahl wird dann in Richtung Atmosphäre reflektiert, aber seine Intensität und Frequenz werden angesichts des Teils der Energie, der an die Erde abgegeben wurde, geringer [Bild 1.1](#). Verursacht durch mehratomigen Gasen in der Atmosphäre, wie, beispielsweise, Kohlendioxid, das in seiner Struktur dem Siliziumdioxid ähnelt (d. h. Glas, das in der Regel klassische Gewächshäuser bedeckt), kann es dieses gasförmige „Dach“ nicht vollständig durchdringen. Eine solche Strahlung wird dann teilweise zur Erde zurück abgelenkt. Und dieses Hin und Her wiederholt sich viele Male. Der Sonnenstrahl, auch wenn er immer schwächer in der Intensität wird, hinterlässt der Fauna, der Flora, der Erdkruste und den Gewässern immer ein Teil Wärme.

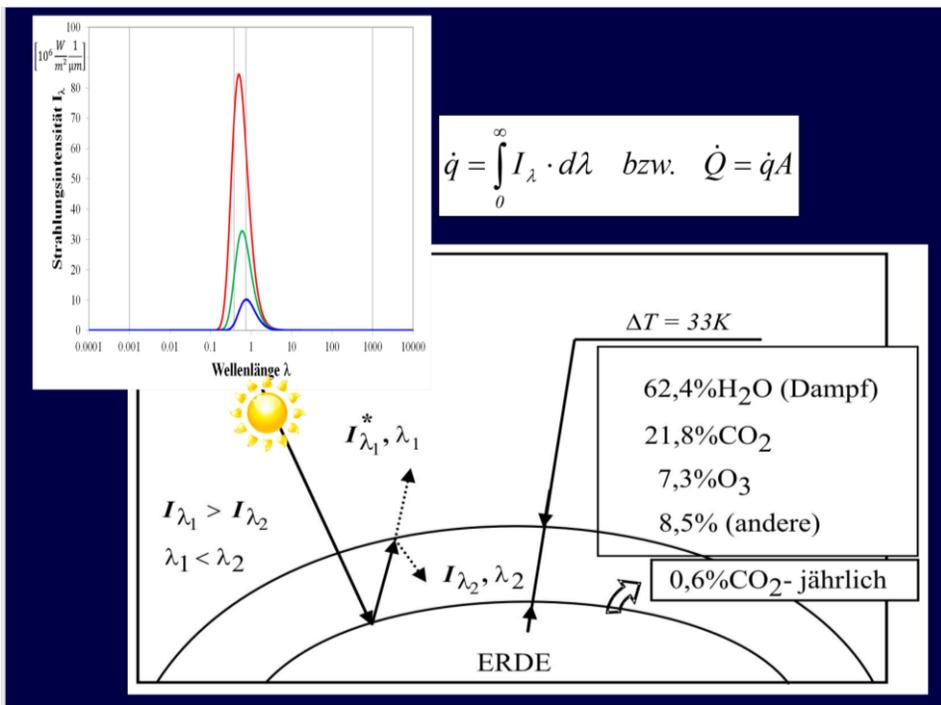


Bild 1.1 Strahlungsspektrum einfallender und reflektierender elektromagnetischer Strahlung, Berechnung der Wärmestromdichte und des Wärmestromes

Seit Beginn der Industrialisierung, nach der Erfindung und Einführung der Dampfmaschine (1712), hat sich die Erdatmosphäre auf diese Weise zusätzlich um etwa 1°C erwärmt. Es ist erwähnenswert, dass gleichzeitig die Konzentration von Kohlendioxid in der Erdatmosphäre von 280 [ppm] (parts per million - *Volumen CO₂ pro Million Teile Luft*) auf 417 [ppm] (*gemessen im Juli 2021 an der Mauna Loa Station, Hawaii*) gestiegen ist. Klimawissenschaftler des Weltklimarats IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) haben auf Basis entsprechender Studien abgeleitet [3],[4], dass dieser Anstieg der Menge an anthropogen erzeugtem Kohlendioxid in der Erdatmosphäre für den Temperaturanstieg verantwortlich ist, zumindest in den letzten 5-6 Jahrzehnten.

Bei der derzeitigen Rate der Kohlendioxidemissionen könnte der atmosphärische Temperaturanstieg bis zum Ende dieses Jahrhunderts $5,8^\circ\text{C}$ erreichen. Wir haben also die Pflicht, schnell zu handeln: Das aktuelle Ziel der Staatengemeinschaft ist es, die Erwärmung der Erdatmosphäre bis zum Ende des Jahrhunderts auf $1,5^\circ\text{C}$ zu begrenzen, indem der menschengemachte Kohlendioxidausstoß drastisch reduziert wird.