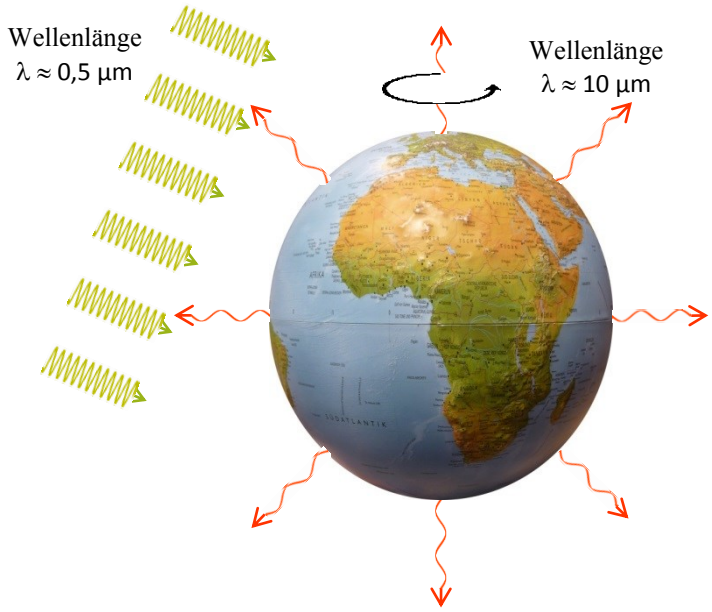
Zum Strahlungsgleichgewicht der Erde

Notwendigkeit und Möglichkeiten des Erhalts eines stabilen Klimas

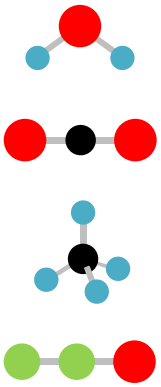
Immer wieder berichten die Medien über von den Menschen verursachte bedrohliche Klimaänderungen. Wie kann es aber überhaupt geschehen, dass menschliche Aktivitäten das globale Klima aus dem Gleichgewicht bringen? Warum führt die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas zu zunehmenden Temperaturen auf der Erdoberfläche?

Die Strahlung der Sonne ist die Quelle allen Lebens auf der Erde. Ihre Energie ermöglichte und ermöglicht die Entwicklung von Pflanzen und Tieren. Über die gesamte Oberfläche gemittelt empfängt die Erde von der Sonne ständig eine Strahlungsleistung von 236 Watt pro Quadratmeter. Diese Energie wird direkt oder über Zwischenstufen, wie z.B. das Pflanzenwachstum, in Wärme umgewandelt. Die Erde ihrerseits sendet zugleich langwelligere infrarote Strahlung mit im Mittel ebenfalls 236 W/m^2 in alle Richtungen des -269 °C kalten Weltraums aus. Ohne Sonne würde es daher auf der Erde nicht nur dunkel werden, sondern infolge dieser eigenen Abstrahlung in kurzer Zeit auch extrem kalt.



Bildunterschrift:
Einseitige solare Einstrahlung auf die Erde und allseitige infrarote Abstrahlung von der Erde.

Bei Fehlen einer Lufthülle oder bei einer, die ausschließlich aus einfachen Gasen wie Stickstoff und Sauerstoff besteht, stellte sich das Gleichgewicht zwischen Einstrahlung von der Sonne und Abstrahlung in den kalten Weltraum bei einer mittleren Temperatur der Erdoberfläche von -18 °C ein. Die seit langem in der Erdatmosphäre vorhandenen Spurengase Wasserdampf (H_2O) und Kohlendioxid (CO_2) bewirken jedoch durch eine teilweise Rückstreuung der infraroten Strahlung zur Erdoberfläche einen natürlichen Treibhauseffekt, der zu einer stabilen Temperatur auf der Erde von im Mittel +15 °C geführt hat. Dieser natürliche Treibhauseffekt war und ist für das Leben von außerordentlicher Bedeutung. Die von der Erdoberfläche ausgehende Infrarotstrahlung verursacht die Anregung verschiedener Schwingungszustände der Atome in den in der Abbildung gezeigten drei- und mehratomigen Treibhausgasmolekülen. Der nachfolgende Übergang in den energetischen Grundzustand dieser Moleküle ist dann jeweils gekoppelt mit der Aussendung der gleichen (Wärme-)Strahlung in alle Richtungen, d.h. damit auch zum Teil zurück zur Erde.



Wasser

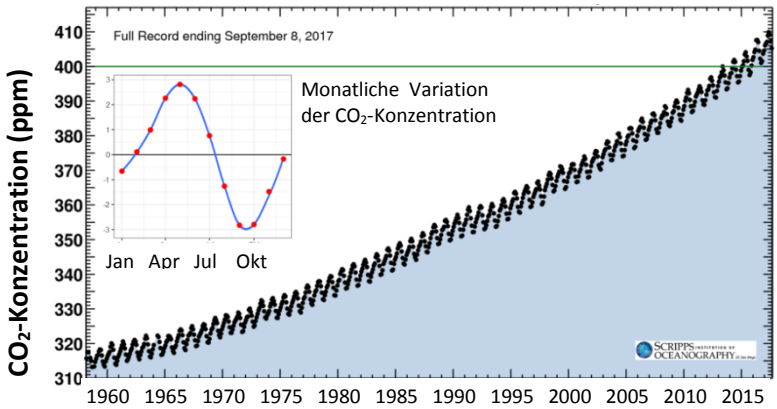
Kohlendioxid

Methan

Distickstoffoxid

Bildunterschrift:
Modelle der wichtigsten Treibhausgasmoleküle
In Deutschland entfielen 2014 bei der Freisetzung von Treibhausgasen 87,9 % auf Kohlendioxid, 6,2 % auf Methan, 4,3 % auf Distickstoffoxid und 1,6 % auf fluorhaltige Gase.

Seit Beginn der industriellen Entwicklung erfolgt eine ständig zunehmende Verbrennung der fossilen Energierohstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas. Damit verbunden war und ist eine kontinuierlich ansteigende CO_2-Konzentration in der Erdatmosphäre. In vorindustrieller Zeit betrug der CO_2-Anteil in der Luft nahezu konstant 0,028 Volumenprozent bzw. 280 ppm (part per million). Die Abbildung zeigt die Ergebnisse des seit 1958 auf Hawaii gemessenen zeitlichen Verlaufs der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre auf der Nordhalbkugel (sogenannte Keelingkurve). In Europa und Asien werden inzwischen die gleichen Resultate erhalten. Die Messwerte variieren im jahreszeitlichen Zyklus. Durch das Pflanzenwachstum auf den Landflächen nimmt im Frühjahr und im Sommer die CO_2-Konzentration in der Luft ab, um dann im Herbst und Winter durch das Verrotten der abgestorbenen Pflanzenteile in gleichem Maße wieder zuzunehmen. Diesem Prozess überlagert ist jedoch ein kontinuierlicher Anstieg von derzeit rund 2 ppm CO_2 pro Jahr. Die Erhöhung des CO_2-Anteils in der Luft vom vorindustriellen Wert 280 ppm bis 406 ppm gegenwärtig entspricht einer Zunahme von 45 %. Die neuesten Ergebnisse bestätigen, dass auch im Bereich des jeweiligen Minimums Ende September bzw. Anfang Oktober die Konzentration nie wieder unter 400 ppm fallen wird.
Bildunterschrift: Nachweis des bedrohlichen globalen Anstiegs der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre durch seit 1958 auf Hawaii in Höhe von 3400 m ausgeführte Messungen (Keelingkurve).



Die erhöhte CO_2-Konzentration sowie inzwischen weitere freigesetzte Spurengase (Methan, Distickstoffoxid und fluorhaltige Gase) verursachen einen zusätzlichen Treibhauseffekt. Dieser menschengemachte Treibhauseffekt hat eine gefährliche Temperaturzunahme auf der Erde zur Folge mit zerstörerischen Stürmen, Überflutungen, Dürren, mit der Ausbreitung von Parasiten und tropischen Krankheiten und in südlichen Gebieten sogar mit dem Übersteigen der Grenztemperatur für Pflanzenwachstum. Dramatische Klimaänderungen sind insbesondere zu erwarten, wenn durch die allgemeine Erwärmung Prozesse angestoßen

werden, die wegen des Überschreitens von kritischen Werten, von sogenannten Kipp-Punkten, Temperaturanstiege auslösen, die selbständig weiterlaufen und nicht mehr rückgängig gemacht werden können.

Wie kann eine solche kritische Entwicklung vermieden werden? Die Verfügbarkeit von Energie in ihren verschiedensten Formen hat in Deutschland zur Erleichterung früher körperlich schwerer Arbeit in der Landwirtschaft, im Bauwesen und in der Industrie und zu einem insgesamt außerordentlich hohen Lebensstandard geführt. Nach Angaben des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie entsprach im Jahr 2015 der Primärenergieverbrauch, d.h. der Verbrauch aller in den Energierohstoffen enthaltenen Energie, im Mittel reichlich 45.000 kWh pro Einwohner. Dabei erfolgte die Bereitstellung von 80 % des Primärenergiebedarfs durch Kohle, Erdöl und Erdgas. Deren Verbrauch war und ist weiterhin verbunden mit der Emission von 11 Tonnen CO_2 pro Einwohner und Jahr bzw. 30 kg CO_2 pro Einwohner und Tag in Deutschland.

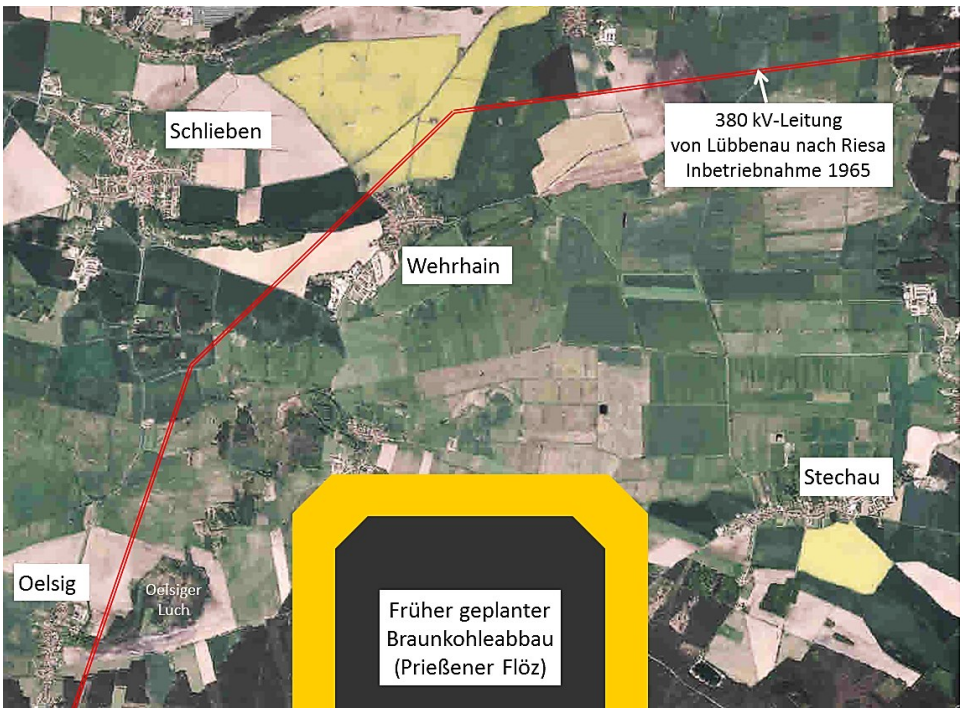
Eine gute Vorstellung über die derzeitige umfangreiche Energienutzung erhält man durch einen Vergleich mit der menschlichen Arbeitskraft. Dividiert man die 45.000 kWh durch die 8760 Stunden des Jahres, so ergibt sich im zeitlichen Mittel ein Leistungsbezug von 5,2 kW pro Einwohner. Ein Erwachsener kann auf einem Energiefahrrad eine Dauerleistung von 100 Watt aufbringen. Ein Leistungsbezug von 5,2 kW bedeutet daher, dass praktisch für jeden von uns ständig 52 Energiesklaven rund um die Uhr arbeiten.

Bildunterschrift: Energiefahrrad zur Erzeugung von elektrischem Strom mit Muskelkraft für die Versorgung verschiedener Verbraucher in der im Herzberger Bürgerzentrum 2014 organisierten Ausstellung "Unser Leben mit Licht, Sehen, Begreifen, Verstehen".

Die gegenwärtige hauptsächlich auf der Verbrennung fossiler Rohstoffe basierende Energieversorgung ist nicht dauerhaft möglich wegen der enormen Importabhängigkeit Deutschlands mit Importkosten von ca. 1000 Euro pro Einwohner und Jahr und wegen der Endlichkeit der fossilen Vorräte in der Erde. Über größere historische Zeiträume hinweg

betrachtet, entspricht die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas nur dem kurzzeitigen Abbrennen eines Streichholzes.

Nach Einschätzung der Regierung der DDR waren 20 Milliarden Tonnen der hier lagernden Braunkohle abbauwürdig, die bei der damaligen hohen Abbaurate nur für etwa 60 Jahre gereicht hätte. Zu dieser zu fördernden Braunkohle gehörte auch das Prießener Braunkohleflöz, für das ein bis einschließlich Frankenhain reichender Tagebau vorgesehen war. Der Abbau der hier vorhandenen Kohle würde zu einer großflächigen Naturzerstörung und zu enormer Staubbelastung der Umgebung führen.

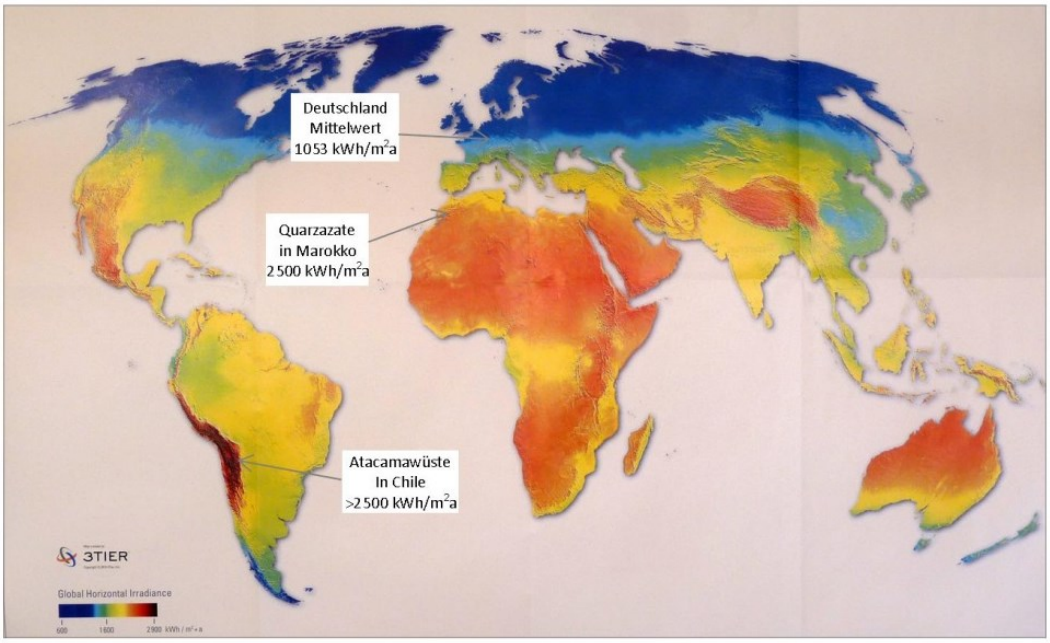


Bildunterschrift: Die 1965 in Betrieb genommene Höchstspannungsleitung umkreist den für einen späteren Zeitpunkt geplanten Braunkohle-Tagebau nahe von Schlieben.

Stärker als alle anderen Gründe erzwingen die mit der Anreicherung von CO_2 in der Atmosphäre verbundenen lebensbedrohlichen Klimaänderungen einen raschen Stopp der gegenwärtig noch massenhaften Verbrennung von Kohle, Öl und Gas. Wie die UN-Klimakonferenz im Dezember 2015 in Paris gezeigt hat, ist sich die Weltgemeinschaft, entgegen der Meinung von Leugnern menschgemachter Klimaänderungen, der Probleme voll bewusst. Nach vielen vorangegangenen, ergebnislosen Konferenzen wurden in Paris in harten Verhandlungen konkrete Klimaschutzziele vereinbart, die auf eine Begrenzung der Erhöhung der Erdtemperatur von maximal 2 Grad (besser 1,5 Grad) zielen. Die Analysen der Klimaforscher zeigen nun, dass zur Einhaltung der 2-Grad-Grenze höchstens noch etwa 800 Milliarden Tonnen CO_2 in die Atmosphäre emittiert werden dürfen!

Reichlich 7,4 Milliarden Menschen leben derzeit auf der Erde. Bei Gleichverteilung des noch verbleibenden CO_2-Budget von 800 Milliarden Tonnen darf jeder der heutigen Erdbewohner die Atmosphäre nur noch als Deponieraum für 110 Tonnen CO_2 benutzen. Im Jahr 2015 lag die Emission im Weltdurchschnitt bei 4,9 Tonnen CO_2 pro Person. Dabei waren es im überreichen Katar jedoch mehr als 40, in den USA 17 und in Deutschland 11 Tonnen CO_2 pro Einwohner und Jahr. Die ärmeren südlichen Länder lehnen jedoch eine Gleichverteilung ab, da sie zur wirtschaftlichen Aufholjagd höhere Emissionswerte beanspruchen und da ihre Bevölkerung weiter sehr stark zunimmt.

Einen Ausweg aus dieser Zwangssituation bietet die Nutzung der zeitlich unbegrenzt verfügbaren erneuerbaren Energien, zu denen insbesondere die Sonnenstrahlung, die Windkraft und die Biomasse gehören. Diese Energien ermöglichen eine dauerhafte und sichere sowie mittel- und langfristig kostengünstige Versorgung. Da die Sonne immer wieder scheint, der Wind immer wieder weht und Biomasse wieder nachwächst, wird mit deren Nutzung künftigen Generationen auch nichts weggenommen. Der Aufbau von z. B. Solar- oder Windenergieanlagen erfordert zwar höhere Anfangsinvestitionen, danach aber nicht die Zuführung von Betriebsstoffen. Damit entfallen Sorgen um künftig steigende Preise. Das Potential der vor kurzem noch belächelten erneuerbaren Energien ist enorm. Die Solarenergie hat gegenüber allen anderen erneuerbaren Energien nicht nur das bei weitem größte Potential, sondern sie ermöglicht mit der Photovoltaik bereits gegenwärtig häufig auch die billigste Art der Stromerzeugung. Im Jahr 2017 lagen Stromerzeugungskosten neuer Photovoltaik-Freiflächenanlagen in Deutschland bereits im Mittel bei 5,66 Cent/kWh. Infolge eines höheren Wirkungsgrades und einer noch weiter verbesserten Langzeitstabilität der Solarstrommodule werden Kosten künftig auf 3-4 Cent/kWh zurückgehen. In südlichen Ländern mit höherer Sonneneinstrahlung liegen bereits jetzt in günstigen Fällen die Kosten bei 2-3 Cent pro kWh Elektroenergie.



Bildunterschrift: Solarstrahlungskarte der Erde mit Angaben über die horizontale Einstrahlung pro Quadratmeter und Jahr.

Für den Umstieg auf erneuerbare Energien bestehen im Landkreis Elbe-Elster gute Bedingungen. In Zukunft sollten sich jedoch hiesige Bewohner mit Unterstützung heimischer Banken zur Bildung von Energiegenossenschaften zusammentun, um anstelle fremder Investoren selbst die Installation erneuerbarer Energien voranzubringen. Eine solche Energiegenossenschaft aus Bürgern mehrerer lokaler Gemeinden könnte sich auf optimale Standorte einigen. Gäbe es genossenschaftliches Eigentum vor Ort, so wäre das nicht nur finanziell für Bürger und die Kommune von Vorteil, sondern es würde auch die Akzeptanz für die neuen Anlagen erhöhen.

Zur Beschreibung der Erdgeschichte dient eine Einteilung in Zeitabschnitte bzw. in verschiedene Erdzeitalter. Deren Bezeichnung erfolgt auf Basis geologischer oder biologischer Veränderungen auf der Erde. Der gegenwärtige Zeitabschnitt der Erdgeschichte, der etwa seit

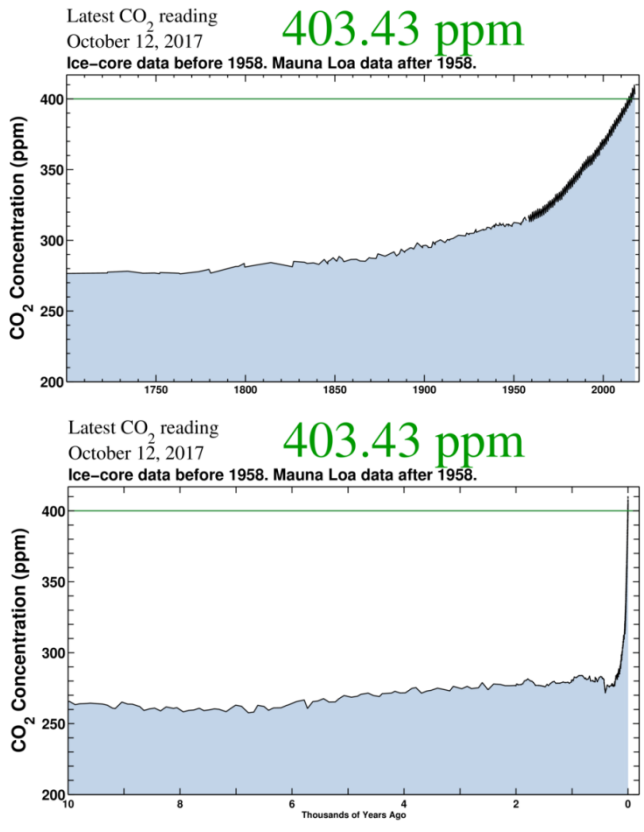
Ende der letzten Eiszeit bis zur Gegenwart reicht, ist das sogenannte Holozän (das völlig Neue). Das die letzten rund 10.000 Jahre umfassende Holozän ist charakterisiert durch eine relativ konstante CO_2-Konzentration in der Atmosphäre, eine lebensfreundliche Temperatur, ein spezifisches Pflanzenwachstum sowie bestimmte Anschwemmungen. Der seit Beginn der Industrialisierung vom Menschen auf die Umwelt ausgeübte Einfluss hat inzwischen u.a. durch Bergbau zur Veränderung der Zusammensetzung der Sedimente, durch Atomspaltung zur Freisetzung von radioaktiven Elementen, durch immer weiter ausgedehnte Landwirtschaft zur Verringerung von Pflanzen- und Tierarten sowie durch die Verbrennung fossiler Vorräte zu einer signifikanten Veränderung der Eigenschaften der Atmosphäre geführt. Vom niederländischen Atmosphärenforscher Paul Crutzen (Nobelpreis für Chemie 2002) wurde daher für den allerjüngsten Zeitabschnitt der Erdgeschichte die inzwischen weitgehend akzeptierte Bezeichnung Anthropozän (menschenbestimmte Epoche) vorgeschlagen. Es ist die Aufgabe der gesamten Menschheit dafür zu sorgen, dass die weitere Entwicklung der Zivilisation im Zeitalter Anthropozän im Einklang mit der Natur und damit unter Erhalt der natürlichen Lebensbedingungen stattfindet.

P. Müller

Zusatzbemerkung

Die berühmte Keelingkurve (https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/) wird von Experten als wichtigste Kurve des 20. Jahrhunderts angesehen. Sie zeigt einerseits das "Atmen" von CO_2 unserer Erde im Jahresrhythmus und andererseits den erschreckenden kontinuierlichen hohen Anstieg. Im Jahr 2015 wurde die Keeling-Kurve von der American Chemical Society durch die Ernennung zum *National Historic Chemical Landmark* geehrt. Das gleiche Verhalten der CO_2-Konzentration wird inzwischen auch bei Messungen auf den Bergen in Deutschland erhalten. Im Flachland werden dagegen die Messungen oft durch lokale Emissionen beeinflusst.

Die nachfolgenden Graphiken zeigen die Darstellung der Kohlendioxid-Konzentrationen über den Zeitraum seit dem Jahr 1700 bzw. den Zeitraum der letzten 10.000 Jahre. Dabei stammen die Daten vor 1958 aus Eisbohrkernen und die Daten ab 1958 aus den Messungen in 3400 m Höhe auf dem Berg Mauna Loa in Hawaii.



Link: https://www.lkee.de/media/custom/2112_5468_1.PDF?1513164407 bzw. https://www.lkee.de/Unser-Landkreis/Klimaschutzregion-Elbe-Elster/Klimaschutzportal-Landkreis-Elbe-Elster