



---

**Dokumentation**

---

**Zur CO<sub>2</sub>-Absorption**

Zur CO<sub>2</sub>-Absorption

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 043/19  
Abschluss der Arbeit: 5. Juni 2019  
Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und  
Forschung

---

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Fünfter Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>FluxNet</b>	<b>9</b>
<b>4.</b>	<b>Literatur zu Mooren</b>	<b>10</b>
<b>5.</b>	<b>Literatur zu Ozeanen und Wäldern</b>	<b>11</b>
<b>6.</b>	<b>Literatur zu Städten</b>	<b>12</b>

## 1. Einleitung

In der Natur findet ständig ein Austausch von Kohlenstoff in Form von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) zwischen der Atmosphäre, der Hydrosphäre (Wasser und Eis), Lithosphäre (Gesteine) und der Biosphäre (Flora und Fauna) statt. Dabei ist bekannt, dass es Gebiete, Biotope oder Ökosysteme gibt, die mehr CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre abgeben als sie aufnehmen. Sie werden als CO<sub>2</sub>-Quellen bezeichnet, wohingegen andere CO<sub>2</sub> speichern. Das heißt, sie fixieren Kohlenstoffverbindungen und werden als CO<sub>2</sub>-Senken bezeichnet. Unter natürlichen Bedingungen sind diese globalen Aufnahme- und Abgabeprozesse fast ausgeglichen. Im Zuge der Diskussion um den Klimawandel und den Einfluss von CO<sub>2</sub> werden immer wieder auch die Absorptionsleistungen durch unterschiedliche CO<sub>2</sub> absorbierende Gebiete thematisiert. Hierbei spielen aufgrund der Größe und der guten Löslichkeit von CO<sub>2</sub> in Wasser Ozeane eine besondere Rolle. Daneben stellt die Landbiosphäre die zweite große Kohlenstoffsенке der Erde dar.<sup>1</sup> Eine kompakte und die gesamte Welt abdeckende Darstellung konkreter jährlicher CO<sub>2</sub>-Absorptionsmengen sämtlicher Biotoparten ist aufgrund der Vielzahl an beeinflussenden Variablen nicht möglich. In der vorliegenden Arbeit werden einige dieser Variablen beschrieben und ein Literaturüberblick über Berichte und Studien, die sich der Problematik der CO<sub>2</sub>-Absorption in verschiedenen Biotopen annehmen, geboten.

## 2. Fünfter Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)

Eine umfassende Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten und Daten zu globalen Klimaveränderung ist der in ca. fünf bis sechs-jährigem Abstand erscheinende Sachstandsbericht des IPCC („Intergovernmental Panel on Climate Change“, „Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen“). Die fünfte und derzeit aktuellste Ausgabe stammt aus dem Jahr 2014. In ihm wird insbesondere die Einigkeit unter den Wissenschaftlern darüber herausgestellt, dass sich im 20. Jahrhundert das Klima und die Umwelt massiv verändert haben, dass die Ursache dafür in weiten Bereichen überwiegend auf den Menschen zurückzuführen ist (anthropogener Anteil), und dass diese Veränderungen auch in der nahen Zukunft fortschreiten werden. Insbesondere nach Erscheinen des Berichts wurden die Ergebnisse in der Öffentlichkeit debattiert und unter anderem auch das Ausmaß des menschlichen Anteils am Klimawandel angezweifelt. Nach Maßgabe der in der Wissenschaft üblichen und erprobten peer-reviewed Veröffentlichungen halten eine Mehrheit der Wissenschaftler die menschlichen Treibhausgas-Emissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) für den ausschlaggebenden Faktor für die globale Erwärmung (anthropogener Klimawandel). Allerdings erscheint es zuweilen in der Öffentlichkeit, als sei man sich in der Wissenschaft nicht mehrheitlich einig über den anthropogenen Faktor des Klimawandels. Die Auseinandersetzung mit dieser Diskrepanz ist mitunter Gegenstand einer Arbeit der wissenschaftlichen Dienste des

---

1 Eine einleitende und allgemeinverständliche Einführung in den Kohlenstoffzyklus findet sich in einer Geomax-Publikation der Max Planck Gesellschaft aus dem Jahr 2017: [https://www.max-wissen.de/272645/GEO-MAX22\\_pdf.pdf](https://www.max-wissen.de/272645/GEO-MAX22_pdf.pdf) [zuletzt abgerufen am 3. Juni 2019].

vergangenen Jahres.<sup>2</sup>

Die Arbeitsgruppe I des IPCC liefert zum Fünften Sachstandsbericht eine umfassende Bewertung der physikalisch-wissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels.<sup>3</sup> Das sechste Kapitel („Carbon and Other Biogeochemical Cycles“) befasst sich u.a. mit der Problematik der CO<sub>2</sub>-Senken (Unterkapitel 6.3.2.5 ff).<sup>4</sup> Hierbei wird zwischen CO<sub>2</sub>-Senken durch Ozeane (Ocean Carbon Dioxide Sink (S. 495 ff)) und Land-Senken (Land Carbon Dioxide Sink (S. 499 ff)) unterschieden.

Im vierten Sachstandsbericht des IPCC betrug die geschätzte mittlere anthropogene CO<sub>2</sub>-Senke der Ozeane  $2,2 \pm 0,7$  PgC pro Jahr<sup>5</sup> für die 1990er Jahre<sup>6</sup>, für den Zeitraum 2000-2009  $2,3 \pm 0,7$  PgC pro Jahr und für den Zeitraum 2002-2011  $2,4 \pm 0,7$  PgC pro Jahr. Dies werde, so der aktuelle IPCC-Bericht, durch mehrere neuere Schätzungen gestützt. Die Aufnahme von anthropogenem CO<sub>2</sub> durch den Ozean sei in erster Linie eine Reaktion auf die Zunahme von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre und werde hauptsächlich durch die Geschwindigkeit begrenzt, mit der anthropogenes CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre entstehe und von den Oberflächengewässern in die Tiefsee transportiert werde.<sup>7</sup> Nachfolgend werden in dem Bericht sowohl regionale wie saisonale Unterschiede der Aufnahmekapazität thematisiert (Kapitel 6.3.2.5.2 und 6.3.2.5.3).

- 
- 2 Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages: Zum wissenschaftlichen Diskurs einzelner Aspekte des Klimawandels, WD 8 – 3000 – 067/2018, im Internet abrufbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/568324/12e8c64d9738bab5db8956c16a8f174a/WD-8-067-18-pdf-data.pdf> [zuletzt abgerufen am 28. Mai 2019].
- 3 Details sind im Internet unter: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> abrufbar [zuletzt abgerufen am 3. Juni 2019].
- 4 Ciais, P., C. Sabine, G. Bala, L. Bopp, V. Brovkin, J. Canadell, A. Chhabra, R. DeFries, J. Galloway, M. Heimann, C. Jones, C. Le Quéré, R.B. Myneni, S. Piao and P. Thornton, 2013: Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.; im Internet abrufbar unter: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_Chapter06\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter06_FINAL.pdf) [zuletzt abgerufen am 3. Juni 2019].
- 5 1 PgC sind  $10^{15}$  g Kohlenstoff; die Bezeichnung PgC yr<sup>-1</sup> bezeichnet die Menge des jährlichen Kohlenstoff-Austauschflusses.
- 6 McNeil, B. I., R. J. Matear, R. M. Key, J. L. Bullister, and J. L. Sarmiento, 2003: Anthropogenic CO<sub>2</sub> uptake by the ocean based on the global chlorophyll a and carbon data set. *Science*, 299, 235–239;
- Manning, A. C., and R. F. Keeling, 2006: Global oceanic and land biotic carbon sinks from the Scripps atmospheric oxygen flask sampling network. *Tellus B*, 58, 95–116.
- Mikaloff-Fletcher, S. E., et al., 2006: Inverse estimates of anthropogenic CO<sub>2</sub> uptake, transport, and storage by the ocean. *Global Biogeochem. Cycles*, 20, GB2002.
- 7 Sarmiento, J. L., J. C. Orr, and U. Siegenthaler, 1992: A perturbation simulation of CO<sub>2</sub> uptake in an Ocean General Circulation Model. *J. Geophys. Res.*, 97, 3621–3645.

Zur CO<sub>2</sub>-Senke auf dem Land schreiben die Autoren, dass sich die CO<sub>2</sub>-Senke von einem nahezu neutralen CO<sub>2</sub>-Fluss von  $0,1 \pm 0,8 \text{ PgC yr}^{-1}$  in den 1980er Jahren zu einer Netto-CO<sub>2</sub>-Senke von  $1,5 \pm 0,9 \text{ PgC yr}^{-1}$  in den 2000er Jahren entwickelt habe.<sup>8</sup> Dies verdeutlicht auch die nachfolgende Tabelle aus der Publikation:

**Table 6.1** | Global anthropogenic CO<sub>2</sub> budget, accumulated since the Industrial Revolution (onset in 1750) and averaged over the 1980s, 1990s, 2000s, as well as the last 10 years until 2011. By convention, a negative ocean or land to atmosphere CO<sub>2</sub> flux is equivalent to a gain of carbon by these reservoirs. The table does not include natural exchanges (e.g., rivers, weathering) between reservoirs. The uncertainty range of 90% confidence interval presented here differs from how uncertainties were reported in AR4 (68%).

	1750–2011 Cumulative PgC	1980–1989 PgC yr <sup>-1</sup>	1990–1999 PgC yr <sup>-1</sup>	2000–2009 PgC yr <sup>-1</sup>	2002–2011 PgC yr <sup>-1</sup>
Atmospheric increase <sup>a</sup>	240 ± 10 <sup>f</sup>	3.4 ± 0.2	3.1 ± 0.2	4.0 ± 0.2	4.3 ± 0.2
Fossil fuel combustion and cement production <sup>b</sup>	375 ± 30 <sup>f</sup>	5.5 ± 0.4	6.4 ± 0.5	7.8 ± 0.6	8.3 ± 0.7
Ocean-to-atmosphere flux <sup>c</sup>	-155 ± 30 <sup>f</sup>	-2.0 ± 0.7	-2.2 ± 0.7	-2.3 ± 0.7	-2.4 ± 0.7
Land-to-atmosphere flux <i>Partitioned as follows</i>	30 ± 45 <sup>f</sup>	-0.1 ± 0.8	-1.1 ± 0.9	-1.5 ± 0.9	-1.6 ± 1.0
Net land use change <sup>d</sup>	180 ± 80 <sup>g</sup>	1.4 ± 0.8	1.5 ± 0.8	1.1 ± 0.8	0.9 ± 0.8
Residual land sink <sup>e</sup>	-160 ± 90 <sup>f</sup>	-1.5 ± 1.1	-2.6 ± 1.2	-2.6 ± 1.2	-2.5 ± 1.3

Zu den regionalen Unterschieden konstatieren die Autoren, dass sich immer wieder zeige, dass es eine große Anzahl von Netto-CO<sub>2</sub>-Senken in den nördlichen Extratropen gebe, wenn auch Beobachtungen in den Tropen verhältnismäßig rar seien.

Zum Stellenwert von tropischen Wäldern als Nettoquelle oder Nettosenke von atmosphärischem Kohlendioxid gibt es immer wieder Diskussionen. Die Frage scheint abschließend noch nicht geklärt zu sein. Verschiedene Studien darauf hin, dass es sich um eine beträchtliche Senke bis hin zu einer bescheidenen Quelle handeln könnte. In einer in Science erschienenen Studie aus dem Jahr 2017 werden Satellitendaten über 12 Jahre hinweg (2003 bis 2014) verwendet, um zu bestimmen, wie sich die oberirdische Kohlenstoffdichte der holzigen, lebenden Vegetation in den gesamten Tropen jährlich verändert hat.<sup>9</sup> Sie stellen fest, dass die Tropen eine Netto-Kohlenstoffquelle sind, wobei die Verluste durch Abholzung und Verringerung der Kohlenstoffdichte in stehenden Wäldern doppelt so hoch sind wie die Gewinne aus dem Waldwachstum.<sup>10</sup>

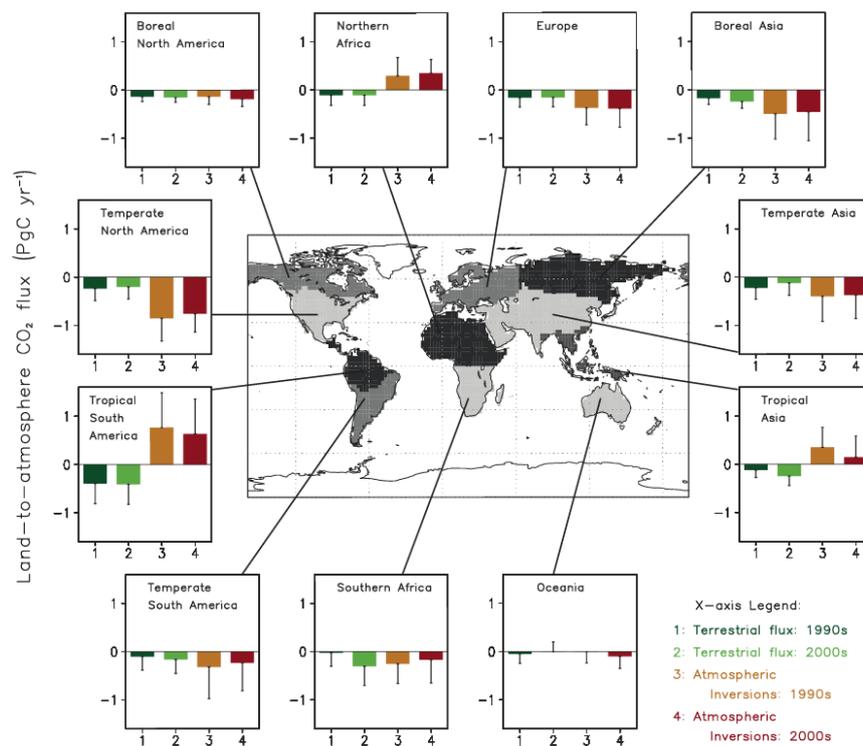
Graven, H. D., N. Gruber, R. Key, S. Khaliwala, and X. Giraud, 2012: Changing controls on oceanic radiocarbon: New insights on shallow-to-deep ocean exchange and anthropogenic CO<sub>2</sub> uptake. *J. Geophys. Res. Oceans*, 117, C10005.

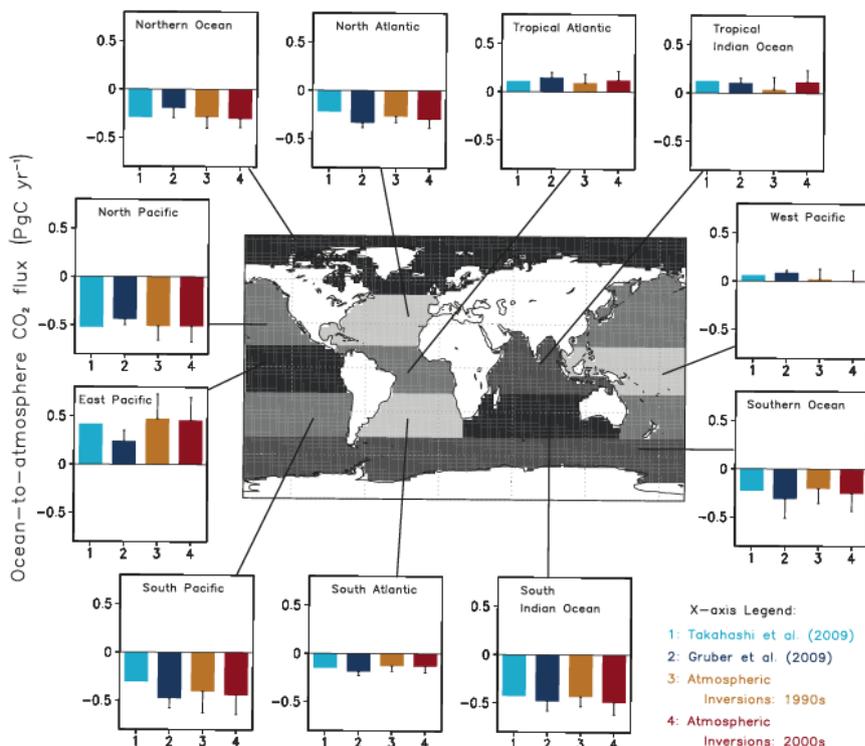
8 Sarmiento, J. L., J. C. Orr, and U. Siegenthaler, 1992: A perturbation simulation of CO<sub>2</sub> uptake in an Ocean General Circulation Model. *J. Geophys. Res.*, 97, 3621–3645.

9 A. Baccini et al.: Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss; *Science* 13. Oktober 2017: Vol. 358, Issue 6360, pp. 230-234 DOI: 10.1126/science.aam5962.

10 Im Detail heißt es, es werden direkte, messtechnische Beweise geliefert, dass die Tropenwälder der Welt eine Netto-Kohlenstoffquelle von  $425,2 \pm 92,0$  Terragrammen Kohlenstoff pro Jahr seien (Tg C year<sup>-1</sup>). Diese Nettofreisetzung von Kohlenstoff bestehe aus Verlusten von  $861,7 \pm 80,2$  Tg C pro Jahr und Gewinnen von  $436,5 \pm 31,0$  Tg C pro Jahr. Gewinne resultierten aus dem Waldwachstum, Verluste aus der Abholzung und aus der Verringerung der Kohlenstoffdichte in stehenden Wäldern (Degradierung oder Störung), wobei letztere 68,9% der Gesamtverluste ausmachen.

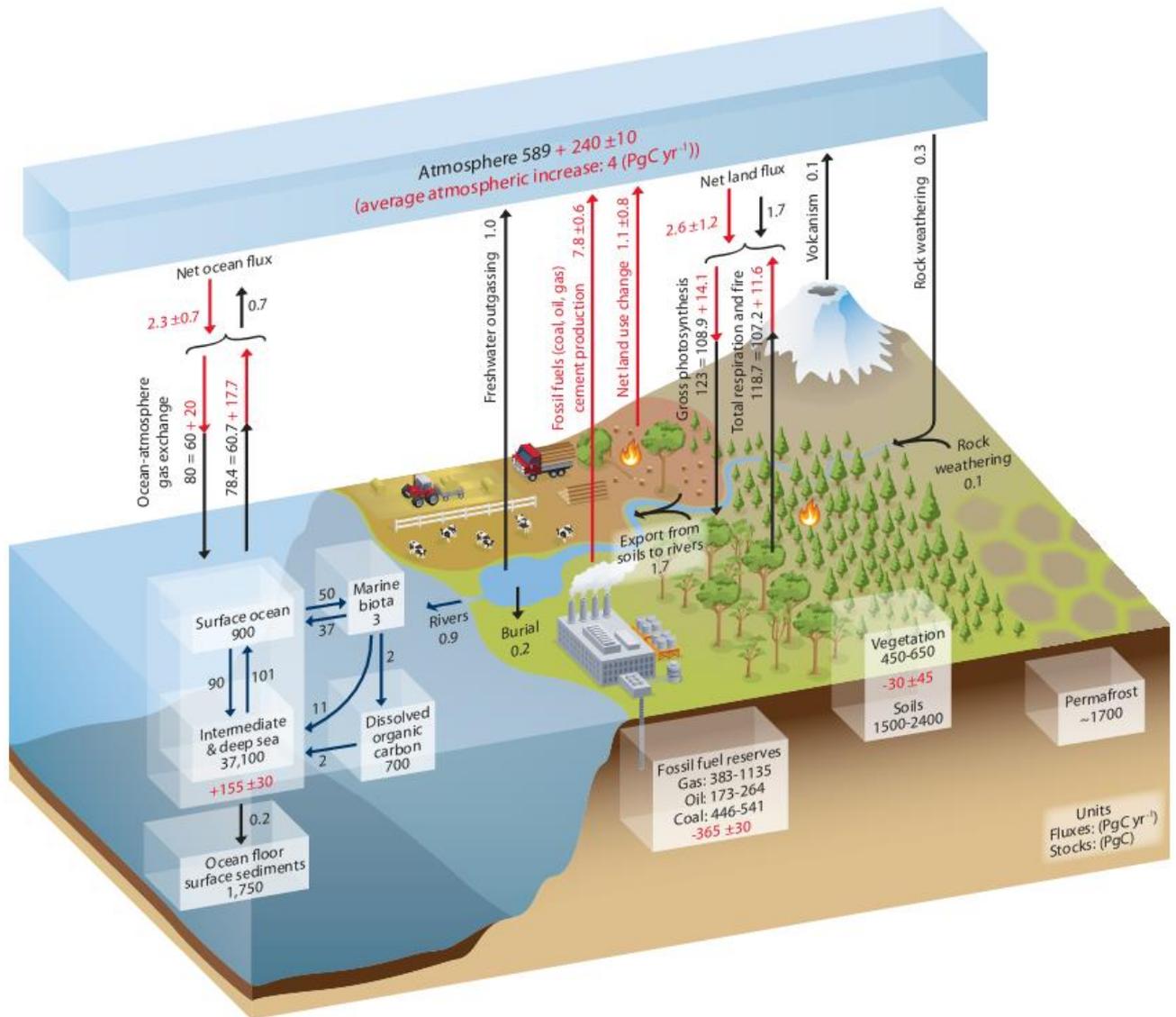
In einer Balkendiagramm-Grafik werden dekadische durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Flüssen für elf Landregionen visualisiert (obere Grafik zeigt Schätzungen, untere Simulationsrechnungen basierend auf zehn Modellen):





**Figure 6.15** | (Top) Bar plots showing decadal average CO<sub>2</sub> fluxes for 11 land regions (1) as estimated by 10 different atmospheric CO<sub>2</sub> inversions for the 1990s (yellow) and 2000s (red) (Peylin et al., 2013; data source: <http://transcom.lscce.ipsl.fr/>), and (2) as simulated by 10 dynamic vegetation models (DGVMs) for the 1990s (green) and 2000s (light green) (Piao et al., 2013; data source: <http://www.lscceodds.cea.fr/invsat/RECCAP/>). The divisions of land regions are shown in the map. (Bottom) Bar plots showing decadal average CO<sub>2</sub> fluxes for 11 ocean regions (1) as estimated by 10 different atmospheric CO<sub>2</sub> inversions for the 1990s (yellow) and 2000s (red) (data source: <http://transcom.lscce.ipsl.fr/>), (2) inversion of contemporary interior ocean carbon measurements using 10 ocean transport models (dark blue) (Gruber et al., 2009) and (3) surface ocean pCO<sub>2</sub> measurements based air-sea exchange climatology (Takahashi et al., 2009). The divisions of 11 ocean regions are shown in the map.

Ein vereinfachtes Schema des globalen Kohlenstoffkreislaufs fasst verschiedene CO<sub>2</sub>-Flüsse zusammen und wird nachfolgend dargestellt. Zahlen stellen die Speichermasse dar, die in PgC angegeben werden und die jährlichen Kohlenstoffaustauschflüsse (in PgC pro Jahr). Schwarze Zahlen und Pfeile zeigen die Speichermasse und die Austauschflüsse an, die für die Zeit vor der Industrieära, um 1750, geschätzt wurden. Rote Pfeile und Zahlen zeigen die jährlichen "anthropogenen" Flüsse an, die über den Zeitraum 2000-2009 gemittelt wurden. Diese Flüsse stellen eine Störung des Kohlenstoffkreislaufs während der industriellen Ära nach 1750 dar. Diese Flüsse (rote Pfeile) sind: Fossile Brennstoff- und Zementemissionen von CO<sub>2</sub>, Nettolandnutzungsänderung und der durchschnittliche Anstieg von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre, auch "CO<sub>2</sub>-Wachstumsrate" genannt.



### 3. FluxNet

FluxNet ist ein globales Netzwerk von mikrometeorologischen Standorten, die den Austausch von Kohlendioxid, Wasserdampf und Energie zwischen Biosphäre und Atmosphäre messen. Es

ist als "Netzwerk regionaler Netzwerke" organisiert und dient dazu, eine Infrastruktur bereitzustellen, damit wissenschaftliche Daten zusammengestellt und archiviert werden können.<sup>11</sup> Es gibt regionale Netzwerke, die zu den beiden wichtigsten FluxNet Portalen beitragen: die FLUXNET-ORNL-Website (<https://fluxnet.ornl.gov/>), die im Oak Ridge National Laboratory (USA) liegt sowie die FLUXNET-Fluxdata-Website (<https://fluxnet.fluxdata.org/>), die am Lawrence Berkeley National Laboratory (USA) betrieben wird.

Diese Daten fließen in zahlreiche wissenschaftliche Publikationen ein. Ein Überblick hierüber ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. In einen aktuellen Artikel, der im Februar 2019 in *Global Change Biology* erschienen ist<sup>12</sup>, fließen beispielsweise die FluxNet Daten ein: Eine weltweit umfangreiche Quelle für In-situ-Beobachtungen der terrestrischen Ökosystemdynamik sei das FLUXNET-Netzwerk, so die Autoren der Publikation. Es liefere standardisierte Beobachtungen der Mikrometeorologie sowie der Kohlenstoff-, Wasser- und Energieflussdynamik. In der Studie wird der sog. LaThuile FLUXNET-Synthesedatensatz verwendet, um den monatlichen Zustand für 204 Standorte abzubilden. Die Autoren postulieren, dass mit den von ihnen abgeleiteten Ergebnissen ökologische Zustandsübergänge als Reaktion auf den Klimawandel dargestellt werden könnten und prozessbasierte Modelle des ökologischen Wandels validiert werden könnten. Diese Karten zeigten, dass von jedem Ökosystem erwartet werden könne, dass es eindeutig auf sich ändernde Belastungen reagiere. Tropische Wälder, heiße Wüsten, Savannen und hohe Erhebungen seien am „elastischsten“ gegenüber dem Klimawandel.

#### 4. Literatur zu Mooren

Von 2006-2010 wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung das Verbundprojekt „Klimaschutz - Moornutzungsstrategien“ gefördert. Seit April 2011 liegt ein Ergebnisbericht vor.<sup>13</sup> Hierin werden Treibhausgasbilanzen nach Moortyp und Nutzungskategorie unterschieden beziffert.

Auf einer E-Learning Plattform der Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät und des Instituts für Biologie an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Humboldt Universität Berlin

- 
- 11 Baldocchi, Dennis; Falge, Eva; Gu, Lianhong; Olson, Richard; Hollinger, David; Running, Steve; Anthoni, Peter; Bernhofer, Ch; Davis, Kenneth; Evans, Robert; Fuentes, Jose; Goldstein, Allen; Katul, Gabriel; Law, Beverly; Lee, Xuhui; Malhi, Yadvinder; Meyers, Tilden; Munger, William; Oechel, Walt; Paw, K. T.; Pilegaard, Kim; Schmid, H. P.; Valentini, Riccardo; Verma, Shashi; Vesala, Timo; Wilson, Kell; Wofsy, Steve (2001). "FLUXNET: A New Tool to Study the Temporal and Spatial Variability of Ecosystem-Scale Carbon Dioxide, Water Vapor, and Energy Flux Densities". *Bulletin of the American Meteorological Society*. 82 (11): 2415–2434.
  - 12 Rong Yu, Benjamin L. Ruddell, Minseok Kang, Joon Kim, Dan Childers: Anticipating global terrestrial ecosystem state change using FLUXNET; *Global Change Biology* vom 22. Februar 2019; <https://doi.org/10.1111/gcb.14602>.
  - 13 Institut für Agrarrelevante Klimaforschung: Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Klimaschutz - Moornutzungsstrategien“ 2006-2010; 04/2011; im Internet abrufbar unter: [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/bitv/dn049337.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/bitv/dn049337.pdf) [zuletzt abgerufen am 3. Juni 2019].

werden unterschiedliche Methoden der Kohlenstoffmessung im Gelände und im Labor und auch verschiedene Methoden der Kohlenstoffbilanzierung beschrieben.<sup>14</sup>

In einer Publikation des Bundesamtes für Naturschutz aus dem Jahr 2017<sup>15</sup> wird die Ökosystemleistung von Mooren in Deutschland umfassend bewertet. Zusammenfassend heißt es zur Bewertung von Mooren als CO<sub>2</sub>-Senke:

In Deutschland bedecken Moore etwa 5% der Landoberfläche (ROBKOPF et al., 2015). Diese Moore enthalten 43 % des Bodenkohlenstoffs in deutschen Böden (FREIBAUER et al., 2009). Die Torfe sind über Jahrtausende aus torfbildenden Pflanzen (Torfmoose, Seggen, Schilf und andere) unter anaeroben Verhältnissen entstanden. Bei der Torfbildung wird Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) langfristig der Atmosphäre entzogen. Ein Teil des Pflanzenkohlenstoffs wird in nassen Mooren als Methan (CH<sub>4</sub>) freigesetzt. Im Hinblick auf die Treibhausgaswirkung gleichen sich die CO<sub>2</sub>-Senke und CH<sub>4</sub>-Quelle in naturnahen Mooren weitgehend aus bzw. wirken langfristig in der Bilanz als Senke und damit im Hinblick auf das globale Klima kühlend (FROLKING & ROULET, 2007). Werden Moore für eine land- oder forstwirtschaftliche Nutzung entwässert, gelangt Sauerstoff in den zuvor wassergesättigten Torf, was zu einer mikrobiellen Freisetzung von Kohlendioxid führt. Dieser Prozess wird auch als Torfzehrung oder Torfschwund bezeichnet. Entwässerte Moorböden sind Hotspots für Treibhausgas-(THG)-Emissionen, insbesondere für CO<sub>2</sub> und das sehr starke Treibhausgas Lachgas (N<sub>2</sub>O).

## 5. Literatur zu Ozeanen und Wäldern

Auf Literatur zu Ozeanen und Wäldern in ihrer Funktion als CO<sub>2</sub>-Senke wurde bereits im Kapitel 2 dieser Arbeit eingegangen.

Darüber hinaus sei an dieser Stelle noch verwiesen auf das Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung. In einem Forschungsschwerpunkt zum Kohlenstoffkreislauf werden beispielsweise CO<sub>2</sub>-Zyklen der Ozeane studiert. Auf der Internetseite heißt es hierzu: „Derzeit wird über die Rolle der Küstenregionen als Quelle oder Senke von Kohlendioxid diskutiert. Kontinuierliche Langzeitbeobachtungen des Kohlenstoffkreislaufs in Küstenregionen sind daher notwendig, um die saisonalen Schwankungen bei der CO<sub>2</sub>-Aufnahme, die Auswirkungen auf die Versauerung der Küstenmeere und den Einfluss auf küstennahe Kohlenstoffkreisläufe zu bestimmen. Die Nordsee ist eine große Kohlendioxidssenke, mit einer effizienten Kohlenstoffpumpe, bei der bis zu 50% des exportierten Kohlenstoffs unter die permanente Thermokline<sup>16</sup>

---

14 Quelle: <https://www.bodenkunde-projekte.hu-berlin.de/carlos/index.html> [zuletzt abgerufen am 3. Juni 2019].

15 B. Tiemeyer et al.: Moorschutz in Deutschland; BfN-Skripte 462, 2017; im Internet abrufbar unter: [https://www.moorschutz-deutschland.de/fileadmin/user\\_upload/ghg/Home/01\\_Projekt\\_Moorschutz\\_in\\_Dtl/BfN-Skript\\_462\\_Moorschutz\\_internet.pdf](https://www.moorschutz-deutschland.de/fileadmin/user_upload/ghg/Home/01_Projekt_Moorschutz_in_Dtl/BfN-Skript_462_Moorschutz_internet.pdf) [zuletzt abgerufen am 3. Juni 2019].

16 Anmerkung des Verf.: Wasserschicht in Ozeanen und Seen, in der die vertikale Temperaturabnahme schneller erfolgt als in den darüber- und darunterliegenden Schichten.

transportiert und so vor der Freisetzung in die Atmosphäre isoliert werden. Dieses große Schelfmeer<sup>17</sup> ist eine dynamische Umgebung mit großen jahreszeitlichen und räumlichen Unterschieden mit Parametern des Kohlenstoffsystems, die die Effizienz seiner Kohlenstoffpumpe beeinflussen können.“<sup>18</sup>

In einem Artikel in Nature im vergangenen Jahr<sup>19</sup> wird die Bedeutung von Waldbewirtschaftungsmaßnahmen, um dem Klimawandel zu begegnen, untersucht. Hierin heißt es, das Pariser Abkommen fördere die Waldbewirtschaftung als Weg zur Eindämmung der Klimaerwärmung durch die Verringerung der Kohlendioxid-(CO<sub>2</sub>)-Emissionen. Die klimatischen Vorteile der Kohlenstoffbindung durch die Waldbewirtschaftung könnten jedoch durch gleichzeitige andere Prozesse verstärkt, entgegengewirkt oder sogar ausgeglichen werden. So könnte ggf. die Forstwirtschaft die CO<sub>2</sub>-Emissionen ausgleichen, ohne den globalen Temperaturanstieg zu stoppen. Es bleibe daher zu bestätigen, ob die gemeinsam vorgeschlagenen nachhaltigen europäischen Forstwirtschafts-portfolios mit dem Pariser Abkommen vereinbar seien, d.h. ob sie die Wachstumsrate des atmosphärischen CO<sub>2</sub> reduzierten, das Strahlungsungleichgewicht in der Atmosphäre verringerten und bis Ende des 21. Jahrhunderts weder die oberflächennahe Lufttemperatur erhöht noch die Niederschläge verringert werden könnten. In der Studie zeigen die Autoren, dass das Portfolio aus Managementsystemen, die lokal die Kohlenstoffsänke durch Kohlenstoffsequestrierung, Holznutzung sowie Produkt- und Energiesubstitution maximierten, die Wachstumsrate des atmosphärischen CO<sub>2</sub> reduzierten, aber keines der anderen Kriterien erfüllt. Die Wissenschaftler zeigen, dass bei einer nachhaltigen (derzeitigen) Bewaldung die durch die Waldbewirtschaftung erzielten zusätzlichen klimatischen Vorteile nur moderat und lokal aber nicht global ausfielen. Die Autoren fordern, dass nicht nur in Waldwirtschaft das Mittel gegen Klimawandel gesehen werden solle.

## 6. Literatur zu Städten

In einer aktuellen Publikation<sup>20</sup>, die in der Zeitschrift PNAS erschienen ist, untersuchen die Forscher eine jahrzehntelange Aufzeichnung des atmosphärischen CO<sub>2</sub> von fünf Standorten mit unterschiedlichen städtischen Merkmalen. Städte sind konzentrierte Bereiche der CO<sub>2</sub>-Emissionen und stehen im Mittelpunkt der Politik für Minderungsmaßnahmen. Allerdings sind atmosphärische Messnetze, die für die Bewertung städtischer Emissionen im Zeitablauf geeignet sind, in der Regel nicht besonders verbreitet. In der Studie präsentieren die Wissenschaftler eine Langzeitaufzeichnung (dekadisch) von CO<sub>2</sub>-Messungen von insgesamt fünf Standorten im gesamten metropolitanen Salt Lake Valley Utahs. Sie korrelieren CO<sub>2</sub> mit Hintergrundbedingungen. Das Bevölkerungswachstum in ländlichen Gebieten mit Vorortentwicklung war mit steigenden Emissionen

---

17 Anmerkung des Verf.: Schelf: vom Meer bedeckte Randbereiche eines Kontinents.

18 Quelle: [https://www.hzg.de/institutes\\_platforms/coastal\\_research/operational\\_systems/in\\_situ\\_measurement/projects/index.php.de](https://www.hzg.de/institutes_platforms/coastal_research/operational_systems/in_situ_measurement/projects/index.php.de) [zuletzt abgerufen am 3. Juni 2019].

19 S. Luyssaert et al.: Trade-offs in using European forests to meet climate objectives; Nature 562, 259–262 (2018); <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0577-1> [zuletzt abgerufen am 3. Juni 2019].

20 Logan E. Mitchell et al.: Long-term urban carbon dioxide observations reveal spatial and temporal dynamics related to urban characteristics and growth; PNAS March 20, 2018 115 (12) 2912-2917; im Internet abrufbar unter: <https://www.pnas.org/content/115/12/2912> [zuletzt abgerufen am 3. Juni 2019].

verbunden. Das Bevölkerungswachstum im entwickelten Stadtkern war mit stabilen Emissionen verbunden. Die Wissenschaftler stellen fest, dass dekadische Skalenänderungen bei den städtischen CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Überwachungsnetze nachweisbar seien und einen wertvollen Ansatz zur Bewertung von Emissionsregistern und Studien über städtische Kohlenstoffkreisläufe darstellten.

Eine weitere bereits 2015 erschienene Studie thematisiert ebenfalls die Unterschiede von CO<sub>2</sub>-Emissionen in städtischen Gebieten in Hinblick auf eine Vielzahl verschiedener Einflussvariablen. Die Unterschiede sind signifikant.<sup>21</sup>

\* \* \*

---

21 H.C.Ward et al.: Effects of urban density on carbon dioxide exchanges: Observations of dense urban, suburban and woodland areas of southern England; Environmental Pollution; Volume 198, März 2015, Seiten 186-200; im Internet abrufbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749114005314> [zuletzt abgerufen am 3. Juni 2019].