REGIO BASILIENSIS 61/2 2020 S. 75-84

Klima *versus* Wetter – und warum die Städte in der Klimakrise Täter und Opfer zugleich sind

Eberhard Parlow

Zusammenfassung
Wetter und Klima gehören eigentlich zusammen und sind doch sehr verschiedene Dinge. Wetter ist das aktuelle Geschehen der Atmosphäre und ändert sich in sehr kurzer Zeit. Klima ist die Summe der Wetterereignisse über einen sehr grossen Zeitraum, der in der Regel 30 Jahre umfasst. Das Klima ist heute ein sehr aktuelles Thema, da der Mensch in rasantem Tempo die Gaszusammensetzung der Atmosphäre, insbesondere der Treibhausgase ändert, was zu einer Änderung des Klimas – global und regional – führt. Da der Mensch heute vorwiegend in Städten wohnt, wird kurz auf das Stadtklima eingegangen, das sich insbesondere bezüglich der mittleren Lufttemperatur vom ruralen Umland unterscheidet und den globalen Klimawandel in den Städten nochmals verstärkt.

1 Einleitung

Wetter und Klima waren und sind Themen, welche immer schon die Menschen beschäftigt haben. So geht der Begriff "*Meteorologie*" auf ein Buch des Universalgelehrten Aristoteles (384–322 v. Chr.) zurück. Er schrieb um 340 v. Chr. ein Buch mit Namen Meteorologia (*μετεωρολογία*), auf das der heutige Begriff zurückgeht. Es umfasste das damalige Wissen über Wetter und Klima sowie über Astronomie, Geographie und Chemie. Mit dem Wort "meteoron" bezeichneten die Griechen "das über der Erde Schwebende" und meinten damit die Lufthülle, welche die Erde umgibt. Auch das Wort "*Klima*" (*κλίμα*) geht auf das Griechische zurück und tritt bereits bei Paramenides von Elea (um 500 v. Chr.) auf. Es bezieht sich auf die Neigung der Sonne (griech. "klimatos" = Neigung), deren Einstrahlung auf die Erdoberfläche einen gewissen Neigungswinkel aufweist. Im heutigen normalen Sprachgebrauch besteht aber eine heillose Verwirrung darüber, was nun der Unterschied zwischen Wetter und Klima ist. Gerade unter dem Eindruck des globalen Klimawandels wird eine trockene Schönwetterperiode schnell mit dem Klimawandel gleichgesetzt.

Adresse des Autors: Prof. em. Dr. Eberhard Parlow, Atmosphärenwissenschaften (vormals MCR Lab), Departement Umweltwissenschaften, Universität Basel, Klingelbergstr. 27, CH-4056 Basel; E-Mail: eberhard.parlow@unibas.ch

2 Grundlegendes – Definitionen

Auch die Annäherung an das Wortepaar gemäss den existierenden Definitionen gestaltet sich schwierig, denn diese Definitionen haben sich im Laufe der Zeit immer wieder geändert. Da die Beschäftigung mit dem Wetter, also die Meteorologie, eine recht junge Wissenschaft ist und erst seit gut 150 Jahren ernsthaft betrieben wird, kann auf eine recht aktuelle Definition des Begriffs "Wetter" zurückgegriffen werden, die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) im Internet-Lexikon gegeben wird (🌍$_1$): "Als Wetter wird der physikalische Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt oder in einem auch kürzeren Zeitraum an einem bestimmten Ort oder in einem Gebiet bezeichnet, wie er durch die meteorologischen Elemente und ihr Zusammenwirken gekennzeichnet ist." Wetter ist daher in hohem Masse dynamisch und variabel in Zeit und Raum. Eine weitere Differenzierung des Wetters kann bezüglich der Grösse und Zeitdauer der atmosphärischen Vorgänge gemacht werden. Es wird hierbei zwischen der Makro- (global bis ca. 2'000 km), Meso- (2'000 bis 2 km) und Mikroskala (2 km bis 1 m) unterschieden. Ein Beispiel für Wetter in der Makroskala ist die Lage und Richtung der Planetarischen Frontalzone oder auch Jet-Stream genannt. Ein Beispiel für die Mesoskala ist ein Tiefdrucksystem mit gut 1'000 km Durchmesser und seiner Warm- und Kaltfront. Die Mikroskala lässt sich durch eine Haufenwolke (Cumulus) oder einen Staubteufel (*dust devil*) veranschaulichen, der sich sehr schnell drehend im Sommer oft über stark erhitzten Oberflächen bildet und Sekunden bis wenige Minuten dauert.

Bei der Definition von Klima wird es schon komplizierter. Alexander von Humboldt (1769–1859) hat bereits 1845 in seinem Buch Kosmos eine recht differenzierte Definition gegeben (*von Humboldt* 1845), die viele Aspekte der modernen Klimatologie beinhaltet: "Das Wort Klima umfasst in seinem allgemeinsten Sinne alle Veränderungen in der Atmosphäre, die unsere Organe merklich affizieren: die Temperatur, die Feuchtigkeit, die Veränderungen des barometrischen Druckes, den ruhigen Luftzustand oder die Wirkung ungleichnamiger Winde, die Grösse der elektrischen Spannung, die Reinheit der Atmosphäre oder die Vermengung mit mehr oder minder schädlichen Exhalationen, endlich den Grad habitueller Durchsichtigkeit und Heiterkeit des Himmels, welcher nicht bloss wichtig ist für die vermehrte Wärmestrahlung des Bodens, die organische Entwicklung der Gewächse und die Reifung der Früchte, sondern auch für die Gefühle und ganze Seelenstimmung der Menschen." Er erwähnt verschiedene Klimaelemente und geht bereits auf lufthygienische sowie bioklimatologische Aspekte ein. Hingegen gibt er noch keine räumlichen und zeitlichen Charakterisierungen von Klima. Im Gegensatz dazu ist die Definition des Intergovernmental Panel of Climate Change nüchterner gehalten (🌍$_2$): "Climate in a narrow sense is usually defined as the 'average weather', or more rigorously, as the statistical description in terms of the mean and variability of relevant quantities over a period of time ranging from months to thousands or millions of years. The classical period is 30 years, as defined by the World Meteorological Organization (WMO). These quantities are most often surface variables such as temperature, precipitation, and wind. Climate in a wider sense is the state, including a statistical description, of the climate system." Hier wird insbesondere auf statistische Kenngrössen und langjährige Mittelwerte eingegangen. Die sog. "Normalperiode" von 30 Jahren spielt eine wichtige Rolle. Sie ist durch die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) eindeutig definiert. Die vergangenen Normalperioden waren die Zeiträume von 1901–1930, 1931–1960, 1961–1990 und schliesslich 1991–2020. Bei einem Vergleich solch langer Zeiträume fallen einerseits die einzelnen Wetterereignisse durch das statistische Raster, andererseits können Veränderungen zwischen den 30-jährigen Mittelwerten auf eine Klimaänderung hinweisen. Aber nicht nur die Mittelwerte, sondern auch die Extremwerte, deren Häufigkeit oder die Anzahl sog. Ereignistage, wie z. B. die Anzahl der Sommertage (Tagesmaximum der Temperatur $\geq$ 25 °C) sind von Bedeutung.

Klima ändert sich nicht kurzfristig und ist, wenn man von vertikalen Gradienten absieht, auch im räumlichen Kontext relativ statisch. Auch beim Begriff Klima gibt es eine weite Fülle von Differenzierungen je nach Betrachtungsmassstab oder Betrachtungszeit. Neben der auch beim Wetter benutzten Skaleneinteilung nach Makro-, Meso- und Mikroklima wird auch bzgl. der betrachteten Zeitskala unterschieden. So beschäftigt sich die Paläoklimatologie mit den Klimaten der vorgeschichtlichen Vergangenheit, also dem Klima vergangener geologischer Zeiträume (z. B. Mesozoikum oder Tertiär, d. h. bis vor vielen 100 Millionen Jahren), der Klimasituation der letzten Eiszeiten (Pleistozän, einige 10'000 bis 100'000 Jahre) oder den letzten wenigen 1'000 Jahren (Steinzeit bis Römerzeit), seitdem der Mensch mit zunehmender Intensität seine Umgebung verändert und damit auch die klimatischen Bedingungen zumindest lokal und regional beeinflusst hat. Seit dem frühen Mittelalter gibt es frühe historische Quellen (in der Regel sind das Einträge in Klosterbüchern), aus denen Spezialisten wie Historiker in der Lage sind, die damaligen Klimabedingungen und Wetterperioden zu rekonstruieren. Diese sog. "Historische Klimatologie" geht bis in die moderne Zeit der ersten Messungen im 18. Jahrhundert. Hieraus kann man auch sehen, dass sich je nach zeitlicher Betrachtung des Klimas unterschiedliche Wissenschaftsdisziplinen dem Thema widmen. Neben den schon genannten Historikern sind es u. a. Glaziologen, Geomorphologen, Geologen, Ozeanographen, Hydrologen, Biologen und viele mehr. Die vorliegende Ausgabe der REGIO BASILIENSIS zeigt eine sehr schöne Auswahl von am Thema Klima arbeitenden Fachdisziplinen.

3 Klima und Klimawandel

Die derzeitige Umweltdiskussion zielt primär auf die vom Menschen verursachten Klimaänderungen ab. Klima und Klimawandel haben sich zur Triebfeder der Umweltdiskussion entwickelt, obwohl natürlich auch andere Themen von grosser Bedeutung sind wie Biodiversität u. v. m. Da die Atmosphäre unser wichtigstes "Lebensmittel" ist (wir atmen es etwa im Sekundentakt ein), wirken Veränderungen beim Klima auch immer in alle anderen Bereiche unseres Systems Erde hinein. Das Klimasystem ist ein auf extreme und nicht-lineare Weise rückgekoppeltes System, bei dem alle "Sphären" des Systems Erde ihren Beitrag leisten (Abb. 1). Insofern ist es auch sinnvoll, Experten vieler anderer Fachdisziplinen bei dieser Diskussion zusammenzubringen.

Ein wichtiger Aspekt des Systems Klima ist es, dass die verschiedenen Prozesse und Interaktionen der Sphären in sehr unterschiedlichen Raum- und Zeitskalen wirken. So gibt es Prozesse in der Zeitspanne von Sekunden, wie Turbulenz, die hauptverantwortlich ist für den Energie- und Massenaustausch (z. B. sensibler und latenter Wärmefluss sowie CO_2-Austausch) zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre, und andererseits von vielen tausend Jahren dauernden Prozessen, wie das Abschmelzen der Polareiskappen.

Die einzige relevante Energiequelle für alle Prozesse auf der Erde ist die Sonneneinstrahlung. Die Solarkonstante, d. h. die solare Einstrahlung ausserhalb der Atmosphäre und bei senkrechtem Einstrahlungswinkel, beträgt 1'360 W/m^2 (oder 1'360 $Js^{-1}m^{-2}$ (*Kopp & Lean* 2011). Um zu erkennen, wie gross diese solare Energieressource ist, kann sie mit dem mittleren jährlichen globalen Primärenergiebedarf verglichen werden, der 2017 bei 585 EJ (EJ = Exajoule = 10^{15} Joule) lag und im Jahr 2019 mit grosser Wahrscheinlichkeit bei ca. 600 EJ (Abb. 2).

Bei der Strahlungsleistung der Sonne empfängt die Erde eine Strahlungsleistung von 173.8 PJs^{-1} (PJ = Petajoule = 10^{12} Joule). Wird dies wiederum in Relation zum globalen Primärenergiebedarf von 585 EJ gesetzt, dann würden 3'366 Sekunden oder ca. 56 Minuten Sonneneinstrahlung ausreichen, um den jährlichen globalen Energiebedarf zu decken!

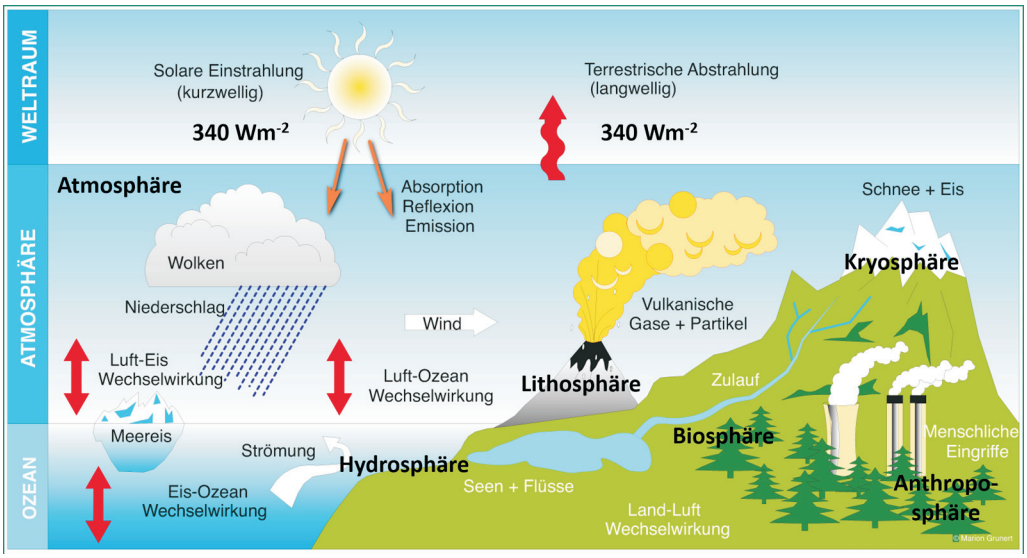

Abb. 1 Das Klimasystem und seine Subsysteme. (Quelle: 🌍3)

Natürlich geht von dieser Energie gleich wieder etwa ein gutes Drittel zurück in den Weltraum (Reflexion und Streuung an Atmosphäre und Wolken), aber das solare Energieangebot bleibt dennoch riesig gross. Der Rest wird durch das System Erde absorbiert, treibt die Prozesse des Systems Erde wie Verdunstung, Wind, Temperaturerhöhung u. v. m. an und wird letztlich wieder in den Weltraum abgestrahlt. Dabei sorgen aber die natürlichen Treibhausgase der Atmosphäre dafür, dass in der unteren Troposphäre (die Schicht zwischen Erdoberfläche und einer Höhe von ca. 12 km) ein Treibhauseffekt entsteht, durch den die globale Mitteltemperatur bei +15 bis 15.5 °C,

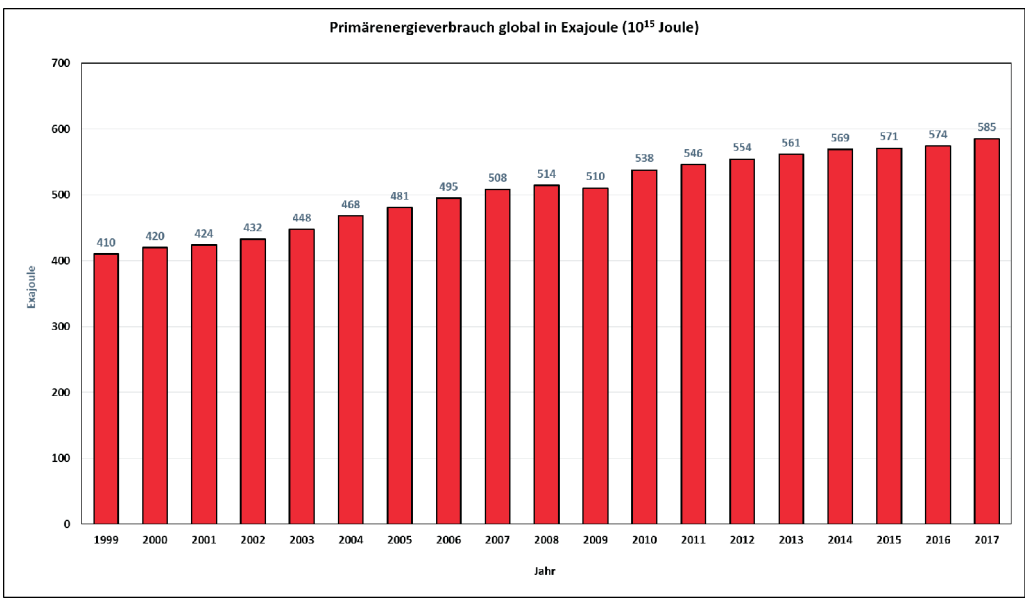

Abb. 2 Globaler Primärenergieverbrauch in Exajoule. (Quelle: 🌍4)

also in einem angenehmen oder habitablen Bereich liegt und nicht bei -18 °C, was der mittleren Strahlungstemperatur der Erde ohne Treibhauseffekt entspräche. Bei diesen Temperaturen wäre Leben auf dieser Erde in keiner uns bekannten Form möglich.

Die Treibhausgase sind nur in sehr geringen Volumina von deutlich weniger als 1 % Volumenanteil vorhanden, weswegen man auch von "Spurengasen" spricht. Die normale Gaszusammensetzung der trockenen Atmosphäre (d. h. ohne Berücksichtigung des räumlich und zeitlich sehr variablen Wasserdampfes H_2O) besteht aus 78.08 % Stickstoff, 20.95 % Sauerstoff und 0.93 % Argon, was zusammen bereits 99.96 % der Atmosphäre ausmacht. Den geringen Restanteil von 0.04 % teilen sich vor allem die Treibhausgase. Das wichtigste Treibhausgas, das in der obigen Volumenbetrachtung unberücksichtigt blieb, aber bei der Treibhauswirkung aller Gase unbedingt genannt werden muss, ist der Wasserdampf. Er kann bis zu einigen Prozent am Gesamtvolumen der Atmosphäre ausmachen. Jedoch verbleibt ein Wasserdampfmolekül im statistischen Mittel nur ca. 8 Tage in der Atmosphäre, wird also sehr rasch wieder entfernt, d. h. ausgeregnet. Wegen der vergleichsweise grossen Menge zusammen mit der kurzen Verweildauer ist der Mensch eigentlich nicht in der Lage, die Konzentration von Wasserdampf in der Atmosphäre im grösseren Stil zu beeinflussen. Anders ist es bei den anderen Treibhausgasen wie Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (N_2O, Lachgas). Die vorindustrielle Konzentration im 18. Jahrhundert ohne starken anthropogenen Einfluss von CO_2 lag bei 280 ppm (parts per million (10^{-6})), die von CH_4 bei 700 ppb (parts per billion (10^{-9}) und die von N_2O bei 275 ppb. Alle diese Gase besitzen im Vergleich zu H_2O eine relativ lange Verweildauer von vielen Jahrzehnten. Daher sind sie in der Regel ziemlich gleichmässig in der globalen Atmosphäre verteilt.

Wegen der sehr geringen Volumenanteile ist es jedoch möglich, durch Hinzufügen kleiner Mengen die Gesamtkonzentration signifikant zu erhöhen. Dies tut der Mensch seit gut 250 Jahren durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe. So haben sich die Volumenanteile der o. g. Treibhausgase drastisch erhöht: Bei CO_2 liegen sie Ende 2019/Beginn 2020 bei 416 ppm (Zunahme von 48.5 % bezogen auf vorindustrielle Werte), bei CH_4 sind es 1'874 ppb (Zunahme von 167 %) und bei N_2O sind es 332 ppb (Zunahme von 21 %) (🌍5). Der Treibhauseffekt, den die Gase bzgl. ihrer vorindustriellen Konzentration zusammen bewirken, bewirkt eine Temperaturerhöhung der bodennahen Atmosphäre von ca. 33 °C, also die o. g. Differenz der globalen Mitteltemperatur zwischen -18 °C ohne Treibhausgase und den tatsächlichen +15 bis 15.5 °C mit den Treibhausgasen.

Das wichtigste Treibhausgas ist zwar der Wasserdampf, der alleine ca. 20–21 °C am Gesamttreibhauseffekt ausmacht und den wir kaum beeinflussen können, aber die drastische Zunahme der anderen Treibhausgase hat eine allmähliche Temperaturerhöhung der globalen Mitteltemperatur zur Folge, was wir heute mit dem Begriff des globalen Klimawandels beschreiben.

Andererseits muss man auch immer daran denken, dass das Klima nicht nur aus Betrachtungen zur Lufttemperatur besteht, sondern alle meteorologischen Elemente miteinander rückgekoppelt sind. Das bedeutet, dass mit einer Temperaturerhöhung auch eine Veränderung z. B. der Verdunstung, der Windsysteme und der allgemeinen Zirkulation einhergeht. Während sich in einem Teil der Erde der Klimawandel v. a. durch eine Temperaturerhöhung zeigt, sind es in anderen Teilen der Erde Veränderungen des Niederschlages bzgl. Menge und jahreszeitlicher Verteilung. In fast allen Gebieten der Erde werden diese Änderungen bereits heute deutlich gemessen und der Klimawandel kann heute nicht mehr geleugnet oder ignoriert werden. Auch wenn in den Medien immer wieder die Stellungnahmen der Politik zur Dramatik des Klimawandels zu lesen und hören sind, passiert in Wirklichkeit eigentlich nichts Entscheidendes. Die Welt ist sich im Prinzip einig, den globalen Temperaturanstieg auf maximal +2 °C begrenzen zu wollen, aber dafür müssten die Treibhausgasemissionen kräftig zurückgehen. Das Gegenteil ist der Fall, wie aus Abb. 3 ersichtlich wird. Zu Beginn der Messungen im Jahr 1959 betrug der Anstieg der Konzentration von CO_2

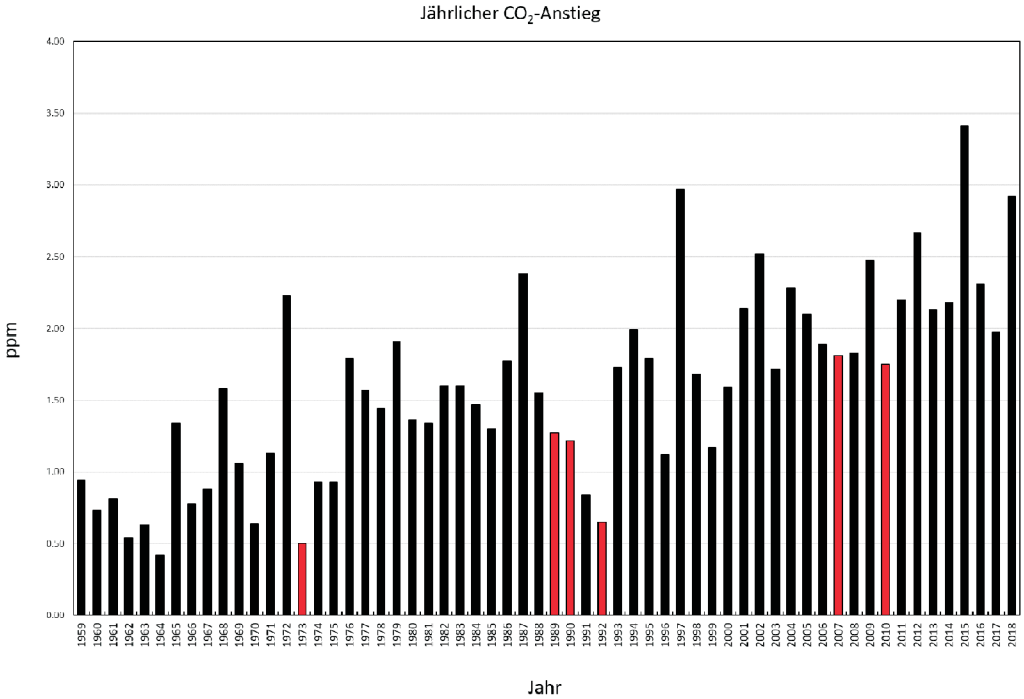

Abb. 3 Jährliche Änderung der CO_2-Konzentration in ppm, Messungen am Mauna Loa Observatorium auf Hawaii. (Quelle: 🌍5)

im Mittel noch ca. 1 bis 1.5 ppm pro Jahr, während seit der Jahrtausendwende die Werte auf 1.5 bis 2.5 ppm pro Jahr angestiegen sind. Mit anderen Worten es ist keine Reduktion der CO_2-Emissionen feststellbar, sondern die jährlichen Emissionen nehmen seit vielen Jahren sogar zu.

In Abb. 3 sind die Jahre 1973, 1989, 1990, 1992, 2007 und 2010 rot eingezeichnet. In diesen Jahren gab es verschiedene Krisen, die sich auf die globale wirtschaftliche Entwicklung ausgewirkt haben. Im Jahr 1973 war es die erste Ölkrise, 1989/1990 geschah der Zusammenbruch der osteuropäischen Wirtschaften, die sehr stark an den Treibhausgasemissionen beteiligt waren, 2007 war die Finanz- und Wirtschaftskrise und 2010 die Krise der Europäischen Währung Euro mit negativen Auswirkungen auf die Wirtschaftsleistung zahlreicher europäischer Staaten. Es wird klar, wie direkt die CO_2-Emissionen und deren jährliche Steigerungen mit der Wirtschaft und damit mit den anthropogenen Emissionen zusammenhängen. Es wird sicherlich spannend sein zu sehen, wie sich die aktuelle Corona-Pandemie und der globale Lockdown der Industrie und die starke Reduktion der Mobilität in den CO_2-Werten des Jahres 2020 wiederfinden lassen.

4 Klima und Stadtklima

Was hat der Klimawandel mit dem Stadtklima zu tun? Die Antwort ist vielschichtig. Vom Aspekt des anthropogen erhöhten Treibhauseffektes aus betrachtet spielen Städte und urbane Agglomerationen eine entscheidende Rolle bei der Freisetzung der vom Menschen verursachten Treibhausgase, denn durch die typischen städtischen Aktivitäten wie Verkehr, Heizung und Abwärme durch industrielle Produktion sind Städte eine entscheidende Quelle für Treibhausgasemissionen. Ge-

mäss *IPCC* (2013) sind städtische Gebiete für 67–76 % des globalen Energieverbrauchs und für 71–76 % der energiebezogenen CO_2-Emissionen verantwortlich. Städte und urbane Agglomerationen haben extreme Auswirkungen auf das globale Klima, obwohl ihr globaler Flächenanteil sehr gering ist. Eine andere Herangehensweise zielt auf die Frage, welche Auswirkung der globale Klimawandel auf die Städte hat, denn hier leben über 50 % der globalen Weltbevölkerung, in den europäischen Industrienationen sind es sogar zum Teil bis weit über 75 % (🌍6).

Städte bewirken durch ihre charakteristischen Bauformen und -materialien eine Modifikation des Strahlungs- und Wärmehaushaltes. Sie haben im Vergleich zu ihrer horizontalen Erstreckung eine um ein Vielfaches vergrösserte Oberfläche, die mit der Atmosphäre im Austausch steht. Sie sind in der Regel hochgradig versiegelt durch künstliche Oberflächen, die kaum Energie für die Verdunstung verbrauchen (Abb. 4). Die verwendeten Baumaterialien speichern tagsüber die Wärme sehr viel besser als dies natürliche Materialien tun. Dies ist gut erkennbar in Abb. 5. Hier sind die Oberflächentemperaturen von Basel und Umgebung dargestellt, die der Satellit ASTER am 13. Mai 2012 um 22:18 Uhr gemessen hat. Die bebauten Flächen der Städte Basel, Weil und Lörrach sowie des Flughafens Basel heben sich um mehrere Grade vom ruralen Umland ab. Auch der Rhein verbleibt nachts auf einem relativ hohen Temperaturniveau. Durch die extrem hohe Wärmekapazität von Wasser kühlt der Wasserkörper im Vergleich zur Landfläche während der Nachtstunden nur unbedeutend ab.

Abb. 4 Dichte Bebauung sowie versiegelte Oberflächen schaffen auch in kleineren Arealüberbauungen gute Voraussetzungen für eine lokale Modifikation des Strahlungs- und Wärmehaushaltes. *Foto: O. Stucki*

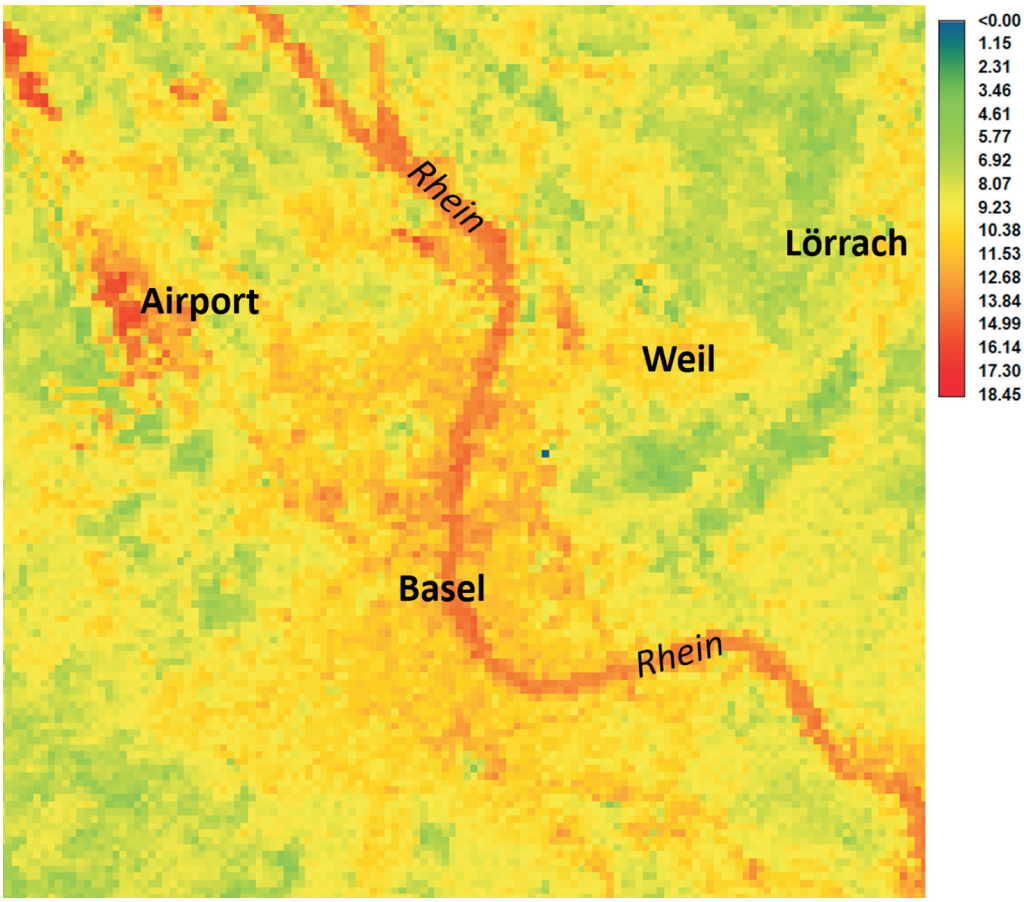

Abb. 5 Nächtliche Verteilung der Oberflächentemperaturen der Agglomeration Basel am 13. Mai 2012 um 22:18 Uhr.

Insbesondere in der Nacht entsteht eine sog. "städtische Wärmeinsel", die sich durch eine Erhöhung der Lufttemperatur um mehrere Grade im Vergleich zum angrenzenden ruralen Umland auszeichnet (*Parlow* 2003). In Basel erreichte dieser städtische Wärmeinseleffekt im August 2003 während der heissesten Phase des Hitzesommers bis zu +8.5 °C (*Parlow* 2011).

Abbildung 6 zeigt die gemessenen Differenzen der Lufttemperatur in Basel zwischen einer urbanen und ruralen Station im Hitzesommer 2003 (1. Mai bis 31. August). Die hohen positiven Abweichungen bis maximal +8.5 °C entstehen ausnahmslos während der Nachtstunden. Die Differenzen am Tage liegen dagegen nur zwischen -2 °C und +1 °C. Basel hatte in diesem Hitzesommer also eine sehr ausgeprägte städtische Wärmeinsel während der Nacht, wobei die Lufttemperaturen am Tage bisweilen sogar etwas niedriger waren als im Umland.

Auch die Anzahl von sommerlichen Ereignistagen wie Sommertage ($T_{max} \geq 25$ °C), Hitzetage ($T_{max} \geq 30$ °C) oder Tropennächte ($T_{min} \geq 20$ °C) sind in Städten erhöht, wobei es vor allem je nach Gebäudedichte und Versiegelungsgrad grosse innerstädtische Unterschiede gibt (*Wicki* et al. 2018). Wird in den Städten noch zusätzlich der Temperaturanstieg durch den globalen Klimawandel berücksichtigt, so werden sich die stadtklimatischen Bedingungen zu einer zunehmend erhöhten Wärmebelastung für die Bevölkerung entwickeln. Daher werden inzwischen auch auf politi-

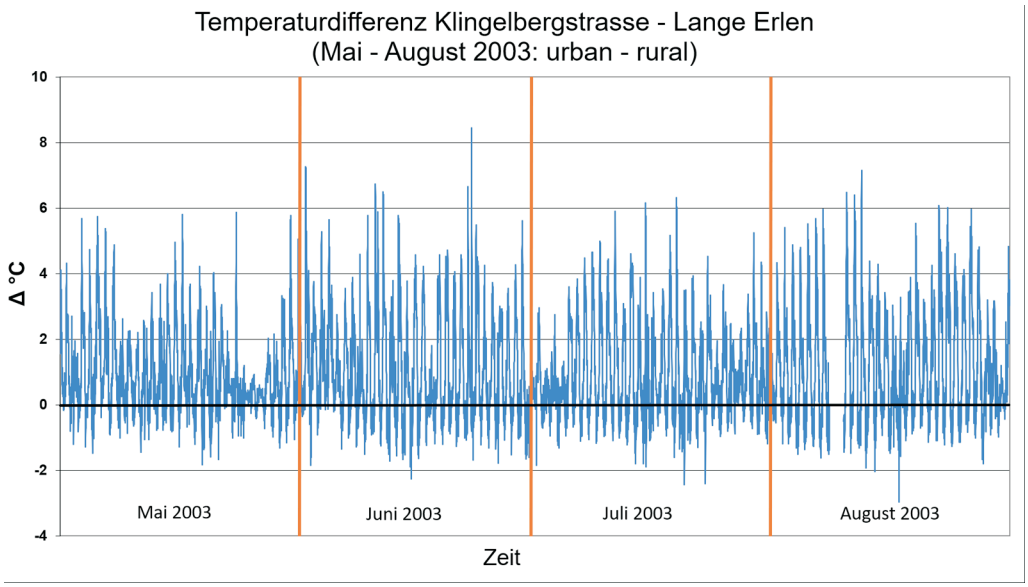

Abb. 6 Differenz der Lufttemperatur zwischen der Innenstadt Basel (Klingelbergstrasse) und der ruralen Station Lange Erlen im Sommer 2003.

scher Ebene Überlegungen angestellt, wie durch geschickte Stadtplanung oder angepasste Stadtarchitektur die Konsequenzen abgemildert werden könnten (*Parlow* et al. 2014; *Wicki* et al. 2019, *Rahuel & Sandtner* 2020). Von einer wirklichen und konsequenten Umsetzung dieser Ideen sind die Städte jedoch noch weit entfernt.

5 Fazit

Wetter und Klima sind nicht das Gleiche, sondern sind unterschiedliche Betrachtungen zum atmosphärischen Geschehen der Erde. Während sich Wetter auf die kurzfristige Situation der Atmosphäre bezieht, die räumlich und zeitlich sehr verschieden sein kann und in der Zeitskala von Stunden und 1–2 Tagen abläuft, bezieht sich das Klima in der Regel immer auf einen längeren Zeitraum von Jahren bis Jahrzehnten. Klima ist sozusagen die Summe aller Wetterereignisse. Auch wenn wir als Menschen unser Wetter nicht beeinflussen können, so ist die Situation beim Klima eine völlig andere. Die mittlere globale Lufttemperatur von +15 bis 15.5 °C ist bedingt durch das Vorhandensein und die Menge von Treibhausgasen, insbesondere Kohlendioxid CO_2. Deren Konzentration hat der Mensch seit ca. 250 Jahren drastisch verändert und lässt sie auch weiterhin stark ansteigen. Dadurch wird sich die globale Mitteltemperatur erhöhen und mit ihr werden sich auch andere meteorologische Elemente wie Niederschlag ändern. Die vergangenen sehr trockenen und warmen Jahre in Europa sind ein Beleg hierfür.

In den Städten kommt zu dem globalen Klimawandel noch der städtische Wärmeinseleffekt hinzu, durch den die Mitteltemperaturen der Städte gegenüber dem ruralen Umland nochmals erhöht sind und zu einer zusätzlichen erheblichen Wärmebelastung für den menschlichen Organismus führen.

Literatur

Kopp G. & Lean J.L. 2011. A new, lower value of total solar irradiance evidence and climate significance. *Geophysical Research Letters* 38: L01706 (1–7).

IPCC 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge & New York, 1–1535.

Parlow E. 2003. The urban heat budget derived from satellite data. *Geographica Helvetica* 58(2): 99–111.

Parlow E. 2011. Besonderheiten des Stadtklimas. In: Gebhardt H., Glaser R., Radtke U. & Reuber P. (Hrsg.): *Geographie. Physische Geographie und Humangeographie.* Heidelberg, 287–294.

Parlow E., Fehrenbach U. & Scherer D. 2014. Klimaanalyse der Stadt Zürich (KLAZ). *Regio Basiliensis* 55(3): 143–164.

Rahuel B. & Sandtner M. 2020. Leben in der wärmeren Stadt. Anpassung an den Klimawandel in der Stadtplanung von Basel. *Regio Basiliensis* 61(2): 135–144.

von Humboldt A. 1845. *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*. Band 1. Stuttgart, 1–359.

Wicki A., Parlow E. & Feigenwinter C. 2018. Evaluation and Modeling of Urban Heat Island Intensity in Basel, Switzerland. *Climate* 6(3): 1–55.

Wicki A., Stöckli F. & Parlow E. 2019. Stadtklima in der Raumplanung – Planung in der Verantwortung. *Collage* 5: 4–6.

Internetquellen

1 Deutscher Wetterdienst (DWD), Wetterlexikon: https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102936&lv3=103164

2 World Meteorological Organization: https://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faq/faq_doc_en.html

3 Hamburger Bildungsserver, das Klimasystem und seine Subsysteme: https://bildungsserver.hamburg.de/das-klimasystem/2063960/klimasystem-und-subsysteme/

4 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Primärenergieverbrauch nach Ländern und Regionen: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/Energiedaten/Internationaler-Energiemarkt/energiedaten-int-energiemarkt-46.html

5 National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA), Earth System Research Laboratory, Trends in Atmospheric Carbon Dioxide: https://scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric_co2/primary_mlo_co2_record.html

6 Worldstat info, städtische Bevölkerung, Europa: http://de.worldstat.info/Europe/List_of_countries_by_Population_in_urban_areas